

第二批“十四五”职业教育国家规划教材
申报表

教材名称： 现代汽车新技术（第2版）
申报单位： 武汉软件工程职业学院
出版单位： 北京邮电大学出版社有限公司
推荐单位： _____

教育层次： 中职 高职专科 职业本科

教材类型： 纸质教材 数字教材

申报形式： 单册 全套

申报渠道： 行指委、教指委、部属高校

省级教育行政部门

专业大类代码及名称： 交通运输大类

申报序号： G42X135434

推荐序号： _____

一、教材基本信息

教材名称	现代汽车新技术 (第2版)			第一主编	李蓉	
课程名称	现代汽车新技术			课程性质	<input type="checkbox"/> 公共基础课 <input checked="" type="checkbox"/> 专业基础课 <input type="checkbox"/> 专业核心课 <input type="checkbox"/> 专业拓展课 <input type="checkbox"/> 实践性课程	
专业代码及名称	汽车检测与维修技术 500211			编写人员数	2	
适用学制	3年			教学实践起始时间	2019.08	
对应领域 (可多选)	<input type="checkbox"/> 战略性新兴产业 <input checked="" type="checkbox"/> 先进制造业 <input type="checkbox"/> 现代农业 <input type="checkbox"/> 现代服务业 <input type="checkbox"/> 其他_____ (请注明)			教材特色 (可多选)	<input type="checkbox"/> 新型活页式、工作手册式教材 <input type="checkbox"/> 职业教育国家在线精品课程配套教材 <input type="checkbox"/> 特殊职业教育教材 <input type="checkbox"/> “职教出海”项目双语教材 <input type="checkbox"/> “本土化”改造国外优质专业课教材 <input checked="" type="checkbox"/> 其他_____ (请注明)	
(分册)册次	ISBN	版次	出版时间	初版时间	印数	累计发行量
1	978-7-5635-5821-6	第1版第1次	2019.08	2019.08	15000	14000
2	9787563566273	第2版第2次	2022.4	2022.4	12000	11000
教材获奖情况	获奖时间		获奖种类	获奖等级	授奖部门	
纳入省级以上规划教材情况	时间		具体名称 (如“十三五”职业教育国家/××省规划教材)			
	2019		十三五职业教育国家规划教材			

二、教材简介

1.教材简介（含团队简介、教材更新情况等，500字以内）

《现代汽车新技术（第2版）》是一本全面且深入介绍现代汽车相关新技术、新材料和新工艺的教材。它不仅是汽车检测与维修技术、汽车制造与试验技术等专业的重要规划教材，也为汽车设计、制造、维修管理等领域的工程技术人员以及汽车服务业从业者提供了学习参考。

（1）编写团队

本书由李蓉、胡汉桥及行业资深专家共同编写。两位老师均为校骨干教师和优秀教师，高级双师。全书还邀请了企业工程师参加编写。教材内容引进汽车新技术、新工艺，融合企业要求，基础理论和案例拓展融为一体。力求体现行业和企业的需求，又涵盖相关职业标准，同时还符合了学生职业能力的培养规律，体现科学性、实用性和先进性。2019年8月1版，2022年4月2版印刷，累计发行量25000册。

（2）教材更新情况

全书内容丰富，根据汽车行业的技术特点，涵盖多个关键领域。在汽车发动机新技术方面，详细阐述了汽油机直喷技术、替代燃料等，展现了发动机动力技术的前沿；底盘传动新技术领域介绍了四轮驱动技术、自动变速器技术等；新能源汽车部分聚焦电动汽车、混合动力汽车等新技术，顺应了当下汽车行业向新能源转型的趋势；智能网联汽车技术新技术包含发展历程、技术架构和应用情况。

2.教材编写理念与结构、内容设计（含落实课程思政要求情况，600字以内）

（1）编写理念

基于“四育融合”构建教材内容，编者将“专业教育、思政教育、创新教育、劳动教育”融入教材。

在专业教育上：从汽车发动机新技术开篇，涵盖传动系统、底盘、新能源汽车等多个章节，各章节逻辑连贯，从核心动力到整体架构，构建出完整的现代汽车技术知识体系。

在思政教育上：在各章节中巧妙融入思政元素。在讲述汽车安全技术时，强调工程师对生命安全负责的职业操守与社会责任感；在介绍我国新能源汽车技术突破时，激发学生的民族自豪感与爱国情怀。

在创新教育上：紧密贴合行业发展趋势，引入最新技术成果，确保知识的时效性与实用性。引导学生树立为汽车行业发展贡献力量的理想抱负，实现知识、技能与思政教育的有机融合。

在劳动教育上：通过设置团队合作的工单和习题，培养学生现场工程师的思维和劳动精神。在知识传授上，旨在让学生系统了解现代汽车各关键系统的新技术、新材料和新工艺，为未来投身汽车行业筑牢专业根基。在能力培养方面，通过丰富的内容引导学生锻炼分析、解决实际问题的能力，提升其创新思维与实践能力。

（2）内容设计

【案例导入】通过案例激发学生学习兴趣，层层深入，达成学习目标。

【知识技能目标】明确工作领域的工作任务对本项目知识、技能和素质要求。

【理论学习】讲述发动机、车身、底盘等新技术，引导学生学习理论知识，并能设计相关方案。

【任务工单】强化技能，教师对学生考核评分，及时反馈，有利于学生的快速修正。

3.教材特色与创新（300 字以内）

教材特色：

内容上，紧密贴合行业前沿，全面涵盖汽车发动机、新能源、传动、底盘等多领域新技术，如新型电池技术、智能驾驶辅助系统等，让学生接触最新知识。编排独具匠心，充分考虑专科学生学习特点，采用由浅入深、循序渐进的方式，结合大量实例讲解，化抽象为直观，增强学生知识运用能力。

教材创新：

（1）**内容体系创新：**涵盖发动机新技术、新能源技术、车联网、轻量化材料等核心技术模块，每个模块设置"导入案例-技术讲解-行业标准"三级递进结构，形成"理论+实践+标准"的完整知识链。同时，将前沿技术相融合。

（2）**编写特色创新：**在编写中通过案例导入等模块，开展价值观引导，配备思政教学实施建议。

（3）**教学应用创新：**


采用"任务工单+学习笔记+评价量表"三位一体结构，每个技术单元包含企业真实工单案例和6S管理要求。

4.教材实践应用及效果（300 字以内）

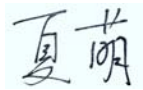
在高职汽车专业教学中，这本教材得到广泛应用。理论授课时，其清晰的知识架构助力教师系统讲解，丰富实例便于学生理解复杂原理。实践环节，书中新技术内容为学生提供理论支撑。教材将课程内容进行序化，层层深入，培养学生的综合职业技能。思政元素融汇于教材，劳动教育融入实践教学内容。

学生反馈表明，教材内容激发了他们对汽车新技术的探索兴趣。整体来看，该教材在专业教学实践中，有效推动了学生专业素养和综合能力的发展。

教材自 2019 年出版以来，累计销售 25000 册，全国骨干院校 40 余所使用，还有部分企业学习者。教材自出版来，满足了众多高职院校汽车相关专业一线教师的教学和学生的专业学习的需要，深受广大师生的欢迎，给予一致好评。


主编/副主编/参编姓名	李蓉	性别	女
政治面貌	中共党员	国籍	中国
工作单位	武汉软件工程职业学院	民族	汉
所在省市	湖北省武汉市	职称	副教授
专业领域	车辆工程	电话	13971256952
何时何地受何种省部级及以上奖励	<p>(1) 2023 年荣获湖北省职业院校教师能力大赛教师能力大赛二等奖。</p> <p>(2) 2018 及 2017 年荣获湖北省职业院校教师能力大赛教师能力大赛一等奖。</p> <p>(3) 2024 年荣获全国高校教师教学元宇宙数字化技术创新大赛二等奖。</p> <p>(4) 2024 年获得第七届全国职业院校汽车专业教师能力大赛动力电池检测赛项二等奖</p>		
主要教学、行业工作经历	<p>教学经历: 2009 年起就职于武汉软件工程职业学院学校, 曾任汽车检测与维修技术专业教研室主任/专业带头人, 高级“双师型”教师。持有高级汽车维修工证书。多年来讲授《汽车发动机构造》、《汽车发动机电控系统》等课程, 教学效果良好。行业工作经历: 曾担任湖北省仙桃诚宇汽车电器有限公司管理顾问; 获得英菲尼迪培训认证</p>		
教材编写经历和主要成果	<p>(1) 2019 年主编《现代汽车新技术》, 北京邮电大学出版社出版, 获教育部“十三五”职业教育国家规划教材。</p> <p>(2) 2017 年主编《汽车营销基础与实务》, 化学工业出版社出版, 获化学工业出版社二等奖, 获得校优秀教材三等奖。</p>		
主要研究成果	<p>课题方面先后承担《职业院校“双师型”教师队伍培养培训体系研究》、《职业教育四合背景下校企合作和模式研究》等课题四项。累计发表学术论文《某车型发动机高压油轨泄漏原因分析及解决方法》、《“发动机构造”课程改革的思考与实践》等三十余篇。其中核心论文三篇, 两篇文章获湖北省机械行业学会论文评选一等奖和二等奖。指导学生获得湖北省大学生科研成果奖三等奖。实用新型专利四项, 横向课题多项。</p>		
本教材编写分工及主要贡献	<p>本人担任教材的第一主编, 负责本教材第一章和第三四章的编写工作, 同时承担 PPT 制作、部分阅读材料的搜集整理、案例的筛选等工作。在编写过程中, 邀请企业高级工程师和高级技师提供工作中的真实案例, 使教材更加贴近当前最新技术, 符合企业用人需求。</p> <p>本人签名: </p> <p>2025 年 2 月 20 日</p>		

副主编 姓名	胡汉桥	性别	男
政治面貌	中共党员	国籍	中国
工作单位	武汉软件工程职业学院	民族	汉
所在省市	湖北省武汉市	职称	讲师
专业领域	车辆工程	电话	18971497205
何时何地受何种 省部级及以上奖励	<p>(1) 2024 年荣获湖北省职业院校技能大赛“汽车故障检修”教师能力大赛二等奖。</p> <p>(2) 2023 年荣获湖北省职业院校教师能力大赛教师能力大赛二等奖。</p> <p>(3) 2023 年荣获全国高校教师教学元宇宙数字化技术创新大赛一等奖。</p> <p>(4) 2024 年指导学生参加职业院校技能竞赛荣获湖北省二等奖。</p> <p>(5) 2023 年指导学生参加全国三维数字化创新设计大赛全国总决赛获得二等奖。</p>		
主要教学、行业工作经历	<p>教学经历：</p> <p>(1) 2016 年起就职于武汉软件工程职业学院学校，曾是汽车检测与维修技术专业教研室主任/专业带头人，“双师型”教师。</p> <p>(2) 多年来讲授《汽车行驶转向制动系统》、《汽车电路分析》、《汽车发动机电控系统》等课程，教学效果良好。</p>		
教材编写 经历和主要 成果	<p>(1) 2019 年主编《现代汽车新技术》，北京邮电大学出版社出版，获教育部“十三五”职业教育国家规划教材。</p> <p>(2) 2023 年副主编《汽车发动机机械系统检修（第 2 版）》，高等教育出版社出版，获教育部“十四五”职业教育国家规划教材。</p>		
主要研究成果	<p>课题：</p> <p>(1) 2024 年主持校级课题《工程教育认证背景下汽修专业毕业设计过程管理和评价机制研究》，已结题。</p> <p>(2) 2024 年主持校级课题《“三全育人”理念下高职课程思政实践路径研究——以〈汽车维护与保养〉课程为例》，在研。</p> <p>论文：</p> <p>发表论文 2 篇。</p>		
本教材编写 分工及主要 贡献	<p>本人担任教材的第二主编，负责本教材第四章和第五章的编写工作，同时承担 PPT 制作、部分阅读材料的搜集整理、案例的筛选等工作。</p> <p>本人签名：胡汉桥</p> <p>2025 年 2 月 26 日</p>		


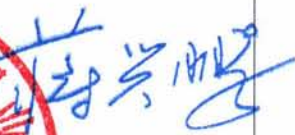
参编姓名	夏萌	性别	女
政治面貌	群众	国籍	中国
工作单位	德阳上川科技有限公司	民族	汉
所在省市	四川省德阳市	职称	高级工程师
专业领域	机械工程	电话	13658122660
何时何地受何种省部级及以上奖励	无		
主要教学、行业工作经历	2015.9~2017.8 四川绵阳富林精工有限公司 质量部 2017.9~今 德阳上川科技有限公司 总经理办公室		
教材编写经历和主要成果	2024年参编《汽车发动机机械系统检修（第2版）》，北京邮电大学出版社，获教育部“十四五”职业教育国家规划教材。		
主要研究成果	实用新型专利两个。 1 专利名称：一种阀套研磨装置，申请号：2019214039344 2 专利名称：一种安全排气壳体，申请号：201921402971.3		
本教材编写分工及主要贡献	本人担任教材的参编，负责本教材第三章第一节的编写工作，同时承担企业案例的筛选等工作。 本人签名：  2025 年 2 月 26 日		

参编姓名	周磊	性别	男
政治面貌	群众	国籍	中国
工作单位	武汉软件工程职业学院	民族	汉
所在省市	湖北省武汉市	职称	讲师
专业领域	智能网联汽车技术	电话	15608411343
何时何地受何种省部级及以上奖励	<p>(1) 2022 年指导学生参加“湖北省工匠杯”技能大赛-全省新能源汽车传感与网联技术技能竞赛中湖北省获一等奖</p> <p>(2) 2024 年参加首届智能驾驶开发者挑战赛（华为 MDC 技术）获华中西南赛区二等奖</p> <p>(3) 2024 年指导学生参加第 21 届全国大学生信息安全与对抗技术竞赛荣获湖北省二等奖</p>		
主要教学、行业工作经历	<p>教学经历：</p> <p>(1) 2020 年起就职于武汉软件工程职业学院，智能网联汽车技术专业教研室专任教师，“双师型”教师。</p> <p>(2) 多年来讲授汽车发动机构造、智能网联汽车技术、底盘线控系统装调与测试、汽车电工电子技术等课程，教学效果良好。</p>		
教材编写经历和主要成果	无		
主要研究成果	<p>课题：2024 年参与教学研究《思政引领、多元融合、数字赋能——“新四化背景下的汽车类专业课程资源建设与应用”》，获武汉开放大学第六届教学成果奖第三名。</p> <p>论文：发表论文 4 篇。</p> <p>精品课程建设：参与《智能网联汽车技术》课程的在线精品课程建设。</p> <p>专利：2023 年发表实用新型专利 1 篇。</p>		
本教材编写分工及主要贡献	<p>本人担任教材的参编，负责本教材第三章的编写工作，同时承担 PPT 制作、部分阅读材料的搜集整理、案例的筛选等工作。</p> <p>本人签名：周磊</p> <p>年 月 日</p>		

四、出版单位意见

出版单位名称		北京邮电大学出版社有限公司		主管部门	教育部
统一社会信用代码		9111018400883850F		通讯地址	北京市海淀区西土城路10号
联系人		彭楠		联系人职务	总编办主任
联系电话		13552169986		电子邮箱	17638970@qq.com
责任编辑	姓名	职务	职称	承担工作	
	许青	责任编辑	中级	本书的编校出版	
出版单位意见	<p>该教材内容完整、系统、实用，以学生为中心，以职业能力为基础。内容编排合理，融入课程思政，可以较好地满足高等职业教育教学。</p> <p>本社推荐该教材参与“十四五”职业教育国家规划教材申报。</p> <p>负责人签字：张颢</p> <p>(单位公章)</p> <p>2025年2月14日</p>				

五、申报单位意见

单位名称	武汉软件工程职业学院	主管部门	湖北省教育厅
联系人	陈帆	联系人职务	教务处副处长
联系电话	027-81655837	电子邮箱	187284005@qq.com
通讯地址	武汉市东湖新技术开发区光谷大道117号	邮政编码	430205
申报单位意见	<p style="text-align: center;">教材推荐单位意见</p> <p>该教材符合党和国家的教育方针、政策要求，坚持正确的政治方向和价值导向。编写定位符合职业教育高技能人才培养要求，注重培养职业精神，符合学生认知特点，遵循职业教育教学规律和人才成长规律，紧扣职业标准、专业标准、课程标准，体现新知识、新技术、新工艺和新规范。</p> <p>本单位承诺以上填报内容真实、准确，并按规定进行了公示和异议处理，同意申报。</p> <div style="text-align: right;">  <p>负责人签字: </p> <p>单位公章</p> <p>2025年3月6日</p> </div>		

赠精品教学
资料包



(第2版)

现代汽车新技术

XIANDAI QICHE XINJISHU

策划编辑：闫洪一
责任编辑：许青
封面设计：刘文东

ISBN 978-7-5635-6627-3



定价：59.80元



「十三五」职业教育国家规划教材

现代汽车新技术

(第2版)

李蓉 胡汉桥 编

北京邮电大学出版社



“十三五”职业教育国家规划教材



AR

(增强现实)

现代汽车新技术 (第2版)

李蓉 胡汉桥 编

胡春红 主审

将“互联网+”思维融入教材中

以信息化技术手段体现

传统与创新的融合，理论和实践的统一

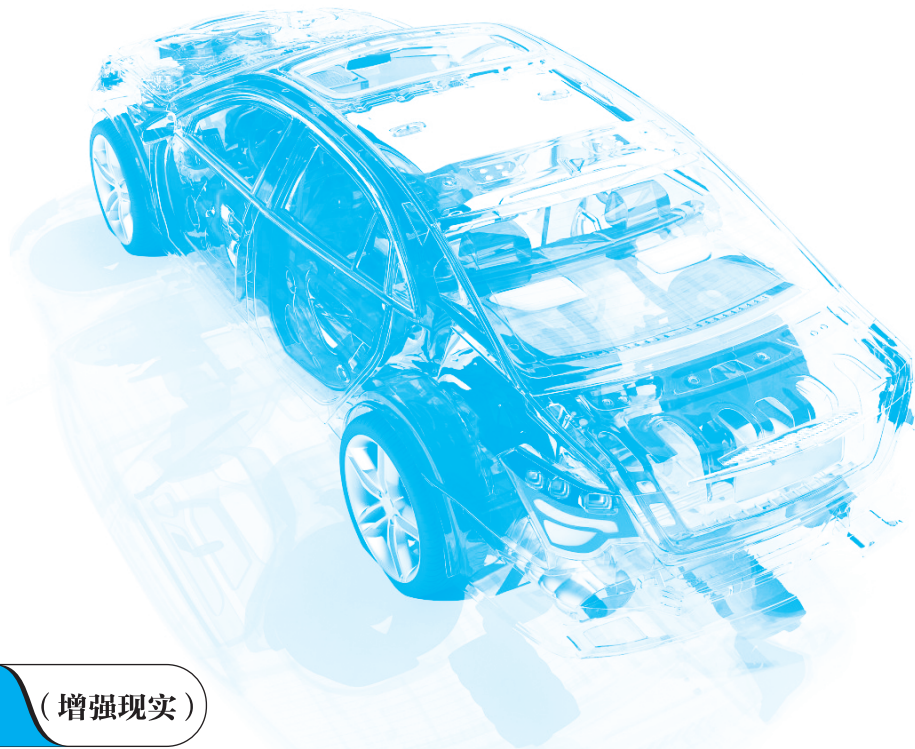
采用AR技术打造实时互动的教学环境



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



“十三五”职业教育国家规划教材



AR

(增强现实)

现代汽车新技术 (第2版)

李 蓉 胡汉桥 编

夏 萌 周 磊 参编

胡春红 主审



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书是“十三五”职业教育国家规划教材。本书共5章,内容包括发动机新技术、汽车底盘新技术、汽车安全新技术、汽车节能降排新技术、智能网联汽车与智能交通。

本书可作为高等职业院校汽车相关专业的教材,也可供汽车行业从业者和汽车爱好者参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代汽车新技术 / 李蓉, 胡汉桥编. -- 2版. -- 北京:北京邮电大学出版社, 2022. 4(2025. 2 重印)

ISBN 978-7-5635-6627-3

I. ①现… II. ①李… ②胡… III. ①汽车工程—高等职业教育—教材 IV. ①U46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 055416 号

策划编辑: 闫洪一 责任编辑: 许 青 封面设计: 刘文东

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt. edu. cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 三河市龙大印装有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 23. 75

字 数: 578 千字

版 次: 2022 年 4 月第 2 版

印 次: 2025 年 2 月第 4 次印刷

ISBN 978-7-5635-6627-3

定 价: 59. 80 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

服务电话:400-615-1233

第2版前言

PREFACE



《现代汽车新技术》于 2019 年 8 月出版发行,该书由于内容创新度高,一经出版,便获得用书教师的一致好评,并被评为“十三五”职业教育国家规划教材。

2020 年 9 月,中国明确提出了力争 2030 年前实现“碳达峰”与 2060 年前实现“碳中和”目标(以下简称“双碳”目标)。2021 年 10 月 24 日,《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》发布,这就使得越来越多的节能环保新技术被应用于汽车中,出现越来越多的节能环保汽车,如气体燃料汽车、清洁代用燃料汽车、混合动力汽车、电动汽车、氢能汽车、太阳能汽车等。近年来,随着刀片电池、自动驾驶、家用电池系统等新技术的不断出现,汽车技术围绕着节能、环保及安全等主要要求,同时兼顾驾驶方便、舒适性、多功能、个性化等方面的需要,向机电一体化、电子化及集中控制等方向发展。

2021 年 3 月 17 日,教育部印发了《职业教育专业目录(2021 年)》,这给“现代汽车新技术”课程的教学提出了新的、更高的要求。

2022 年 10 月,中国共产党第二十次全国代表大会胜利召开。全面建设社会主义现代化国家,是我们党孜孜以求的历史宏愿,是一项伟大而艰巨的事业。习近平总书记所作的党的二十大报告着眼于“全面建成社会主义现代化强国、实现第二个百年奋斗目标,以中国式现代化全面推进中华民族伟大复兴”的宏伟目标和战略安排,鲜明地提出前进道路上必须牢牢把握的五个重大原则,为全面建设社会主义现代化国家提供了根本遵循。为了实现宏伟目标,我们要加快汽车产业的发展,尤其是新能源汽车的发展,为祖国的汽车产业贡献自己的力量。

为了深入推进国家“双碳”目标的要求,适应教育部最新版专业目录,编者团队结合用书老师的反馈与提出的建议,对《现代汽车新技术》一书进行了修订。

修订后的《现代汽车新技术(第 2 版)》具有以下特点。

(1)编写模式新颖,教材体系体现特色。打破传统编写模式,建立了以“理论学习为主,学生工单为辅”的教材体系。

(2)注重“做、学、教”的密切结合和学生在团队合作方面的能力培养。



(3)为便于学生阅读理解和满足考核需要,本书配有大量图表,充分体现了“加强针对性,注重实用性,拓宽知识面”的原则。

(4)将“互联网+”思维融入教材,以信息化技术手段体现,传统与创新相融合,理论与实践相统一;采用 AR 技术打造实时互动的教学环境。

本书学时分配建议如下表:

章 名	学时分配
第一章 发动机新技术	10
第二章 汽车底盘新技术	10
第三章 汽车安全新技术	10
第四章 汽车节能降排新技术	10
第五章 智能网联汽车与智能交通	8
合计	48

本书由武汉软件工程职业学院李蓉、胡汉桥任主编,德阳上川科技有限公司夏萌、武汉软件工程职业学院周磊任副主编。具体分工如下:李蓉编写了第一章和第二章,胡汉桥编写了第四章和第五章,夏萌编写了第三章的第一节,周磊编写了第三章的第二节。武汉软件工程职业学院胡春红负责全书的主审工作。

本书可作为高等职业院校汽车相关专业的教材,也可供汽车行业从业者与汽车爱好者参考。通过对本书的学习,学生能了解现代汽车的前沿技术。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

第1版前言

PREFACE



汽车作为现代化的交通运输工具,已成为许多人不可缺少的消费品。随着社会经济不断发展,知识与信息积累更加迅速,越来越多的新技术型汽车诞生,如气体燃料汽车、清洁代用燃料汽车、混合动力汽车、电动汽车、氢能汽车、太阳能汽车等。汽车的电子化程度更高,并实行集中控制。汽车从过去以机械装置为主、电子设备为辅的状态,转变成以集成电路、电子模块为主,机械装置为辅的电子化汽车。汽车技术的发展围绕着节能、环境保护及安全等主要要求进行,同时兼顾驾驶方便、舒适性、多功能、个性化等方面的需要,向机电一体化、电子化及集中控制方面发展。

本书具有深入浅出、理论和实践相结合的特点,分5章向读者系统地介绍了新技术在汽车上的运用。

本书学时分配建议见下表。

章 名	学时分配
第一章 发动机新技术	10
第二章 汽车底盘新技术	10
第三章 汽车安全新技术	10
第四章 汽车节能降排新技术	10
第五章 智能网联汽车与智能交通	8
合计	48

本书由武汉软件工程职业学院李蓉、胡汉桥任主编。全书由李蓉统稿。

本书配有相关教学资源,给学生提供更多的学习参考。

本书在编写过程中,得到了多家汽车公司的工程师给出的宝贵意见,在此表示感谢。由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录



CONTENTS

▶ 第一章 发动机新技术	1
▶ 第一节 进气控制新技术	1
一、可变进气系统	2
二、可变气门技术	4
三、线控节气门	14
▶ 第二节 进气增压技术	16
一、废气涡轮增压器	17
二、机械增压器	22
三、复合增压器	25
四、气波增压器	26
五、增压中冷技术	27
▶ 第三节 燃油供给及燃烧新技术	28
一、燃油供给新技术	29
二、双火花塞与燃烧新技术	35
▶ 第四节 排放新技术	38
一、汽车尾气的危害	39
二、汽车排放法规	39
三、汽油发动机排放新技术	40
四、柴油发动机排放后处理技术	48
▶ 第五节 其他发动机新技术	52
一、自动停缸技术	52
二、可变排量机油泵	53
三、内燃机循环方式	54
四、可变压缩比技术	57
案例分析	61
思考与练习	61

▶ 第二章 汽车底盘新技术	62
▶ 第一节 汽车传动系统新技术	62
一、双质量飞轮	63
二、离合器新技术	68
三、变速器新技术	73
四、汽车驱动新技术	86
▶ 第二节 转向系统新技术	90
一、液压助力转向系统	91
二、电动助力转向系统	93
三、主动转向系统	95
四、四轮转向技术	98
五、DAS 线控转向技术	100
六、电子控制动力转向系统	102
七、轮毂电机驱动及转向技术	103
▶ 第三节 行驶系统新技术	105
一、悬架弹性元件	106
二、电控主动悬架	109
三、轮胎新技术	112
▶ 第四节 制动系统新技术	114
一、制动器新技术	115
二、电控制动新技术	116
案例分析	119
思考与练习	120
▶ 第三章 汽车安全新技术	121
▶ 第一节 汽车安全技术评价体系	121
一、汽车安全技术法规与标准	122
二、中国汽车 C-NCAP 安全评价体系	122

▶ 第二节 汽车安全技术内容	126
一、汽车主动安全技术	127
二、被动安全	155
案例分析	163
思考与练习	163
▶ 第四章 汽车节能降排新技术	164
▶ 第一节 节能技术概述	164
▶ 第二节 汽车节能标准体系	165
一、国际汽车节能标准法规动态及趋势分析	166
二、我国现行乘用车燃料消耗量标准及实施情况	166
三、节能技术潜力及经济成本分析	168
四、预期达到的社会效益	169
▶ 第三节 汽车轻量化技术	169
一、汽车轻量化技术概述	170
二、轻量化材料	171
三、结构优化设计	184
四、先进制造工艺	185
▶ 第四节 新能源汽车	190
一、新能源汽车的定义与分类	191
二、插电式混合动力汽车技术路线	200
三、充电新技术	201
四、换电技术	211
▶ 第五节 空气动力学优化技术	212
一、车身造型	213
二、空气动力学轮毂提升汽车燃效	217
▶ 第六节 车灯节能技术	218
一、卤素灯	218

二、氙气灯	218
三、LED灯	219
四、激光大灯	219
五、OLED灯	221
▶ 第七节 汽车能量回收技术	222
一、再生制动能量回收技术	222
二、余热发电技术	225
三、悬架能量回收技术	229
案例分析	232
思考与练习	232
▶ 第五章 智能网联汽车与智能交通	233
▶ 第一节 智能网联汽车的概念及发展历程	233
一、智能网联汽车的概念	234
二、智能网联汽车的发展历程	235
▶ 第二节 智能网联汽车技术等级	239
一、技术分类	240
二、等级划分	242
三、智能网联汽车的发展思路	243
▶ 第三节 智能网联汽车的技术架构	249
一、环境感知技术	252
二、智能决策技术	258
三、控制技术	258
四、车联网平台	259
五、智能网联汽车未来的发展目标和重点	275
▶ 第四节 智能交通	280
案例分析	284
思考与练习	285
▶ 参考文献	286

第一章

▶ 发动机新技术



导入案例

某汽车厂商推出了一款搭载新型发动机的车型,宣称其“低速动力充沛,高速油耗更低”。消费者试驾后发现,该车在市区拥堵路段加速响应快,而高速巡航时燃油经济性显著优于同级别车型。工程师透露,这一性能提升的关键在于发动机采用了可变气门升程技术。在本章节中,我们将一起学习相关的知识点。



▶ 第一节 进气控制新技术

知识目标

- 掌握可变进气系统如何优化进气效率;
- 理解可变气门技术如何调整气门正时和升程,线控节气门的电子控制原理;
- 理解这些技术如何提升发动机性能。

技能目标

- 能通过数据或故障现象判断系统问题;
- 能使用现代诊断工具进行故障排除。

素养目标

- 熟悉国家政策和行业发展;
- 培养工匠精神和职业道德,以及环保意识;
- 知晓汽车发展和节能减排要求。



为了提高充气效率,利用先进的进气控制新技术,针对不同运行工况选择不同的进气方式,以达到提高发动机功率和扭矩输出、提高发动机经济性的目的。

一、可变进气系统

可变进气系统(variable intake system,VIS)能够代替传统固定参数的进气系统,使进气过程得到优化,可以在发动机整个工作过程中的转速和负荷下,提供合适的进气通道,从而改善发动机的进气性能,提高充量系数,较好地解决高转速与低转速、大负荷与小负荷时的动力性、经济性与废气排放的矛盾。

进气过程具有间歇性和周期性,致使进气管内产生一定幅度的压力波。此压力波以当地声速在进气系统内传播和往复反射。如果以一定长度和直径的进气管与一定容积的谐振室组成谐振系统,并使其固有频率与气门的进气周期相协调,那么在特定的转速下,就会在进气门关闭之前,在进气管内产生大幅度的压力波,使进气管的压力增高,从而增加进气量。这就是进气波动效应。

谐波增压装置是根据空气动力学原理,利用进气过程中气流惯性产生的压力波和尽量缩小发动机在高低转速下的进气速度的差别,来提高充气效率,从而达到改善发动机经济性和动力性的目的。可变进气系统可分为可变进气管长度系统、可变进气管截面系统和可变气流进气系统。

1. 可变进气管长度系统

可变进气管长度系统是充分利用进气波动效应和尽量缩小发动机在高低转速下的进气速度的差别,从而达到提高发动机充气效率的目的。

为了提高低速扭矩以提高加速性,应加大进气管长度;反之,为了提高高速扭矩以提高额定功率,应减少进气管长度(见图 1-1)。可变进气管长度系统一方面可以使发动机在高转速时进气管的长度变短,流通截面变大,这样就减小了发动机的进气阻力,使发动机的充量系数增大,进而改善发动机的高速性能;另一方面,可以通过改变进气系统参数,利用进气的动态效应,使发动机在某段低转速范围内的充量系数增加,从而使扭矩增大,以达到低速大扭矩的目的。这样使发动机的性能指标在高速、低速时兼顾,而且发动机本身结构改变也不大。

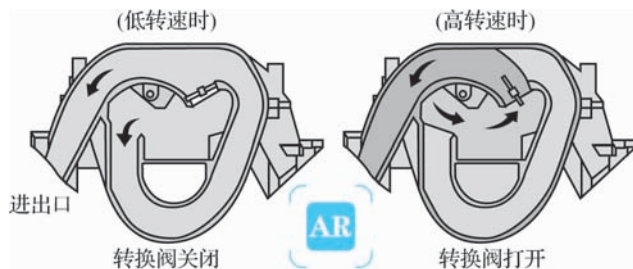


图 1-1 可变进气管长度系统结构原理

奥迪 V6 汽油机采用了可变进气管长度系统,如图 1-1 所示,实际上是在进气总管和进气歧管之间设计一个转换阀;当发动机低速运转时,发动机电子控制装置指令转换阀控制机构关闭转换阀,这时空气经空气滤清器和节气门沿着弯曲而又细长的进气歧管流进气缸。利用气流惯性,直径较小、长度较长的进气歧管内气流速度增大,进而进气量也增加,使进气量增多,提高充气效率;当发动机高速运转时,转换阀开启,空气经空气滤清器和节气门直接

进入粗短的进气歧管。由于进气阻力与进气歧管的尺寸相关,尺寸上较粗较短的管道阻力较小,这样能提高进气质量,也使进气量增多,从而提高高速时的充气效率。

与固定长度进气歧管相比,使用带转换阀进气歧管的发动机在中低转速下扭矩有很大的提升,高速下的功率也有显著改善。可变长度进气歧管不仅可以提高发动机的动力性,还由于提高了发动机在中低转速下的进气速度而增强了气缸内的气流强度,从而改善了燃烧过程,使发动机中低速燃油经济性有所提高,减少排放。

根据发动机的不同转速,还可以通过转换阀改变发动机进气谐振腔以达到改变谐振转速的目的,从而提高充气效率和发动机性能。除了采用两段可调技术的进气管,还可采用多段可调进气管。设置多个转换阀,通过开闭不同的转换阀来获得不同的进气管长度,并通过调节转换阀来改变与之配合的不同容积。通过调节中央转子的角度,连续可调的进气管能够实现回旋进气管长度的改变。这种设计符合发动机在不同工况下对进气的要求,使动力输入更平稳、扭矩更平均、燃油经济性更好,当然其结构也会更加复杂。

2. 可变进气管截面系统

发动机本身在不同转速条件下对涡流运动和流通系数的要求各有侧重,低速要求高涡流比,高速要求大流通系数。可变进气管截面技术能够保证发动机在高速工况下具有较高的流通性能,在低速工况下缸内气体具有较强的涡流运动,从而改善发动机的排放性能和燃油经济性。在进气管或者进气道中安装阀门片,根据运行工况的不同通过电子控制阀门对进气道或进气管的流通面积进行改变,如图 1-2 所示。

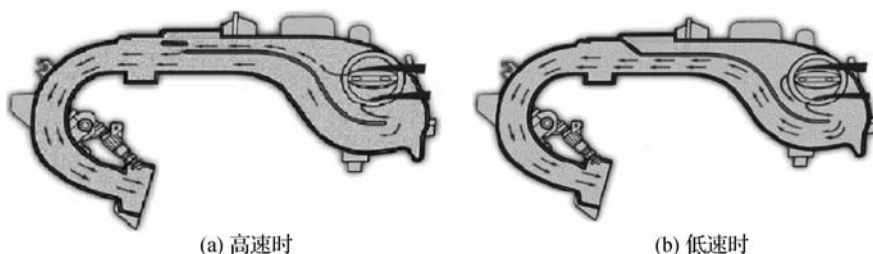


图 1-2 可变进气管截面系统结构示意图

可变进气管截面系统是在各个进气管均设计一个阀门,通过一根轴联动,阀门的打开改变的是进气歧管的截面积。当发动机低转速运转时,需要的进气歧管截面积小,这时阀门适当关闭一些,相当于缩小了进气通道的截面积,提高气缸的进气负压,以此提高进气气流的流速,利用形成的涡流能够使空气与燃料混合更加均匀。而在高转速时阀门在 ECU (electronic control unit, 电子控制单元) 控制下开启,两个进气门同时工作,使用较大的进气歧管截面积提高进气流量。

经过众多试验研究验证,在高速情况下可变进气管截面技术可以保证较高的流通系数,在低速时可以获得高强度的气流运动,提高发动机的燃烧性能。同时,运用恰当的进气充量运动,可以实现发动机的稀薄燃烧、缸内混合气的理想分层,并改善其排放性和经济性(见图 1-3)。

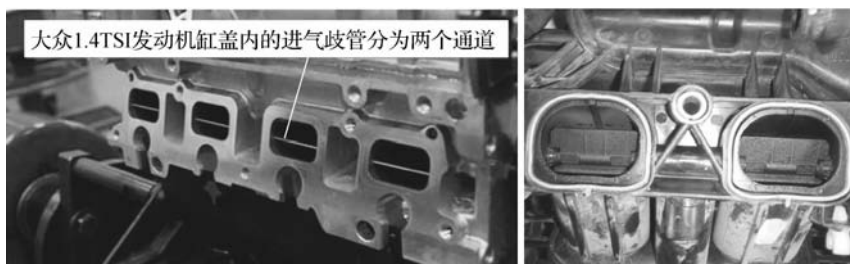


图 1-3 实车可变进气管截面技术

3. 可变气流进气系统

可变气流进气系统包括可变进气涡流和可变进气滚流两种方式。通过在气缸盖进气道入口处加装控制阀来实现。

如图 1-4 所示,在不同转速下,可变气流进气系统通过控制阀使进气以不同的方式进入气缸,形成强度不同的进气涡流或滚流,让燃油喷雾与空气充分混合。控制阀由进气歧管负压或电机驱动打开和关闭。发动机在小负荷或以低于某一转速运转时,ECU 发送指令开启真空电磁阀,控制阀内形成真空,气流形态变为只从一个气道流入或只从气道上部流入,产生强涡流或滚流,提高了燃烧效率,节约了燃油。当负荷逐渐增大或转速提高时,根据温度、转速、进气量等传感器传回的信号,ECU 发送指令关闭真空电磁阀,控制阀不再形成真空度,控制阀靠复位弹簧打开,进气通道变大,进气效率提高,进而发动机的动力性也得到改善。

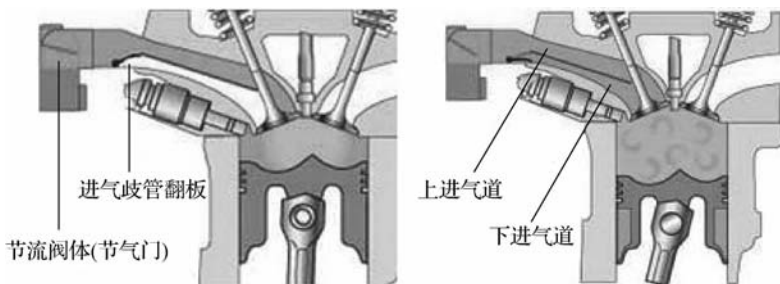


图 1-4 可变气流进气技术

二、可变气门技术

发动机的配气相位(见图 1-5)是用曲轴转角表示的进、排气门的开闭时刻和开启持续时间,配气相位对发动机的动力性、经济性和排气污染都有重要影响。为了改善发动机的换气过程,使发动机进气充分、排气彻底,从而提高发动机动力性能,实际上发动机的气门适当地提前开启和滞后关闭,以延长进气、排气时间。特别是发动机转速变化时,由于气流的速度和进排气门早开迟闭的绝对时间都发生了变化,因此,其最佳的配气相位也应随之改变。要达到更高的充气效率,就需要延长发动机的进气和排气时间。

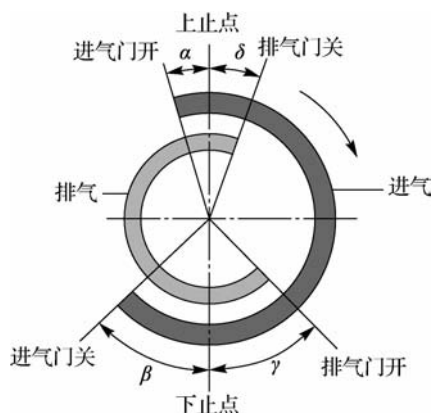


图 1-5 配气相位

最佳的配气相位应使发动机在很短的换气时间内充入最多的新鲜空气(可燃混合气),并使排气阻力最小、废气残留量最少。但是传统发动机气门的开闭时间(气门相位)和开度(气门升程)是固定的,无法适应不同转速下的进气需求。

可变气门技术能根据发动机转速的不同,通过对凸轮轴转角的控制,改变气门开启的角度、升程和时间,从而更合理地控制相应发动机转速所需的空气量:在高转速时,进气门推迟关闭,排气门推迟打开,提升进气量的同时让燃料燃烧更加充分;在低转速时,进气门提早关闭,排气门提早打开,节省燃料同时排气更充分。这样就可以提高发动机的扭矩和功率,改善发动机的动力性、经济性及减少排气污染。

1. 可变气门正时

传统的内燃机采用的是固定不可变的配气相位,进、排气门开闭的时间都是固定的,因此其只适合内燃机某些常用的转速,却很难顾及发动机在不同转速和工况时的需要。内燃机在实际工作过程中,气缸内的燃烧过程和气体的流动、转速有着很大的关系:一方面,当内燃机处于低转速状态时,气体流速和惯性都较小,重叠角较大时,一部分新鲜空气会随废气一起从排气门排出,影响充气效率,从而使内燃机燃烧不充分;另一方面,当内燃机处于高转速状态时,气体流速和惯性都较大,此时需要较大的气门重叠角使发动机进气量增加,改善发动机进气效率。因此,采用相位不变的气门配气机构不能对发动机复杂的工作过程进行有效的调节与控制,很难使内燃机处于最优的工作状态。

可变气门正时(variable valve timing, VVT)系统通过配备的控制及执行系统,对发动机凸轮的相位进行调节,从而使气门开启、关闭的时间随发动机转速的变化而变化,中高转速时要求进排气有较大的重叠角,而低转速时则不能有较大的重叠角,通过控制进气门开启角度的提前和延迟来调节进排气量和时刻、改变气门重叠角的大小(见图 1-6),从而增大进气充量和效率,更好地组织进气涡流,调节气缸爆发压力与残余废气量,从而获得发动机功率、扭矩、排放、燃油经济性、舒适性等综合性能的改善。

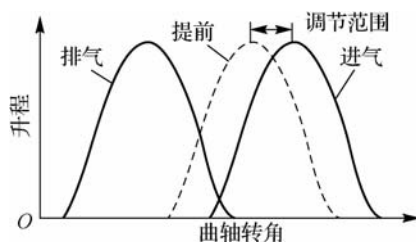


图 1-6 可变气门正时原理

可变气门正时系统由电磁阀、可变凸轮轴相位调节器、发动机 ECU、传感器和机油油道等组成,如图 1-7 所示。

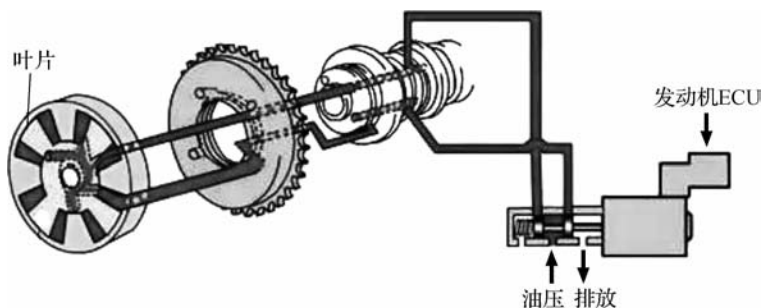


图 1-7 可变气门正时系统的结构

发动机 ECU 根据节气门开度传感器、发动机水温传感器、转速传感器、空气流量计等传来的信号,解算出发动机各工况下所需的气门正时角;同时,发动机 ECU 根据曲轴位置传感器和凸轮轴位置传感器传来的反馈信号计算得出的凸轮轴的实际位置,向电磁阀发出动作信号,改变控制阀中阀芯的位置,从而改变油路中的机油流向和流量大小,把提前、滞后、保持不变等信号以油压方式反馈至 VVT 相位器的空腔内,来实现相位器内部定子和外部转子之间的相对转动,调节凸轮轴的正时角度,从而调整进气(排气)量和气门开闭时间。

通过在凸轮轴的传动端加装一套液力机构,从而实现凸轮轴在一定范围内的角度调节,也就相当于对气门的开启和关闭时刻进行了调整。

凸轮安装在凸轮轴上。凸轮的末端是一个正时齿轮,靠正时皮带(正时链条)带动。在凸轮轴与正时齿轮之间装有液压控制装置,当电控系统发出控制信号时,步进电机带动谐波齿轮传动机构,引起凸轮轴相对于正时皮带轮转动,产生角位移。利用整个凸轮轴相对于正时皮带轮旋转一个角度,实现发动机配气相位的变化,如图 1-8 所示。



图 1-8 可变气门相位部件

2. 可变气门升程

传统的汽油发动机的气门升程是固定不可变的,也就是凸轮轴的凸轮型线只有一种,这就造成了该升程不可能使发动机在高速区和低速区都得到良好的响应。可变气门升程(variable valve lift, VVL)技术的采用,可以在发动机不同转速下匹配合适的气门升程,使得低转速下扭矩充沛,而高转速时功率强劲。低转速时系统使用较小的气门升程,这样有利于增加缸内混合气气流紊流度,进而提高燃烧速度,增加发动机的低速扭矩,而高转速时使用较大的气门升程则可以显著提高进气量,进而提升高转速时的功率输出,从而改善发动机的高速功率和低速扭矩。

AR

按控制效果,可以将可变气门升程分为阶段式气门升程调节(DVVL)和连续式气门升程调节(CVVL),两种方式各有优劣。

1) 阶段式气门升程调节

奥迪的可变气门升程系统(Audi valvelift system, AVS)为每个进气门设计了两组不同角度的凸轮,同时在凸轮轴上安装有螺旋沟槽套筒。螺旋沟槽套筒由电磁驱动器控制,用以切换两组不同的凸轮,从而改变进气门的升程,如图 1-9 和图 1-10 所示。

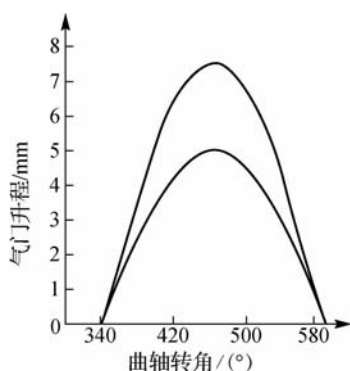


图 1-9 阶段式气门升程原理

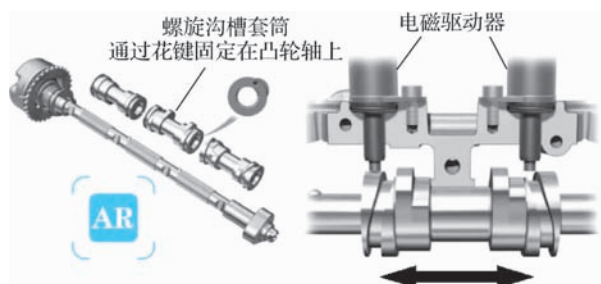


图 1-10 奥迪可变气门升程系统(AVS)的结构

如图 1-11 所示,发动机在高负荷的情况下,电磁驱动器将螺旋沟槽套筒向右推动,使角度较大的凸轮向右移动得以推动气门,切换至高角度凸轮轴。在此情况下,气门升程可达 11 mm,以提供燃烧室最佳的进气流量和进气流速,实现更加强劲的动力输出。



图 1-11 AVS 可变气门升程实现过程

发动机在低负荷的情况下,为了追求发动机的节油性能,此时电磁驱动器将凸轮推至左侧,以较小的凸轮推动气门。此时气门升程可在 2~5.7 mm 进行调节,由于采用不对称的进气升程设计,空气以螺旋方式进入燃烧室;再搭配特殊外廓的燃烧室和活塞头设计,可让气缸内的油气混合状态进一步优化。

创新的奥迪可变气门升程系统(AVS)有效提高了扭矩,减少了油耗,发动机可以在 700~4 000 r/min 转速工作。AVS 最大的优点在于可降低 7% 的油耗,特别是以中等转速进行定速巡航时,其节油效果最为明显。

2) 连续式气门升程调节

相比两段式的气门升程调节技术,气门升程无级可调技术(连续式气门升程调节技术)更为先进,如图 1-12 所示。其最大优势是可以利用气门升程来控制进气量,这样节气门的作用就被弱化,大大降低了泵气损失,同时发动机进气迟滞的现象也会减轻,直接提升了发动机的响应速度。由于进气不存在迟滞,因此发动机的点火正时和配气正时的配合也更为精确,最终发动机的效率得到提升。

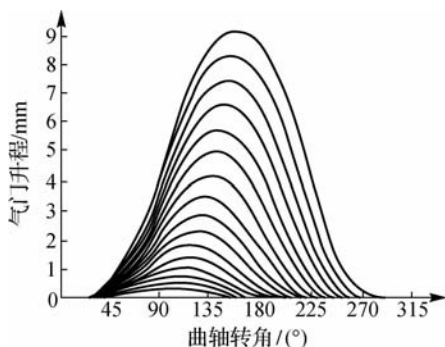


图 1-12 连续式气门升程调节原理

(1) 宝马的 Valvetronic(电子气门技术)系统。宝马的 Valvetronic 系统的核心是中间杠杆技术,在传统的配气相位机构上增加了偏心轴和中间推杆等部件。在负荷较低的发动机工况下,Valvetronic 系统控制气门开度较小,吸入的空气量较少,燃油使用量较少;当发动机负荷增加时,Valvetronic 系统控制气门开度较大,吸入的空气量较大,燃油吸入量多,做功较多,输出动力更强。

这种弹性气门控制系统还可以显著增加发动机低转速时的扭矩,不但可以提升驾驶员

的驾驶舒适性,同时提供其他益处,如可使油耗和排放降低 5%~20%,减少了 NO_x、CO₂ 和 HC 等气体的排放,使废气再循环更加容易。

Valvetronic 系统的组成如图 1-13 所示。

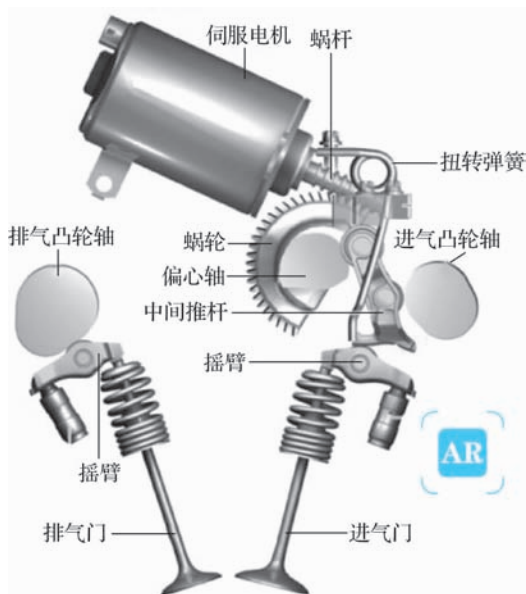


图 1-13 Valvetronic 系统的组成

如图 1-14 所示,当凸轮轴运转时,凸轮会驱动中间推杆和摇臂来完成气门的开启和关闭。当偏心轴驱动电机工作时,蜗轮蜗杆机构会首先驱动偏心轴发生旋转,然后中间推杆和摇臂会产生联动,偏心轴旋转的角度不同,最终凸轮轴通过中间推杆和摇臂顶动气门产生的升程也会不同。在电机的驱动下,进气门的升程可以实现 0.18~9.9 mm 的无级变化。

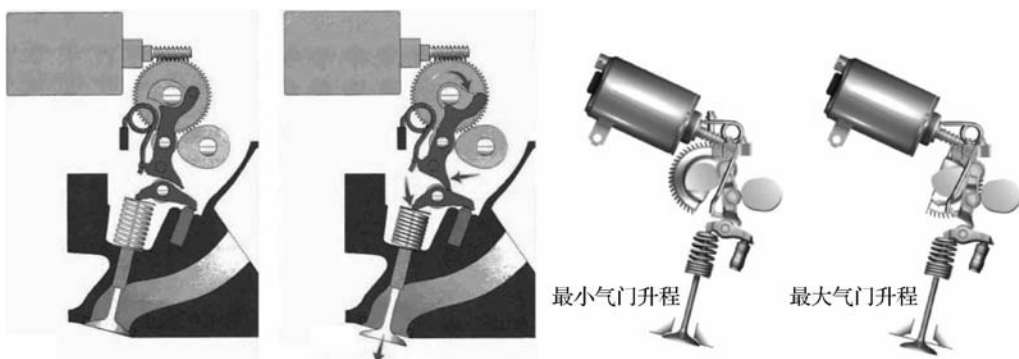


图 1-14 Valvetronic 连续式气门升程原理

Valvetronic 系统在气门升程控制上独辟蹊径,取消了传统发动机进气道中的节气门,取而代之的是一套通过步进电机控制的电子气门,用气门的升程直接实现控制混合器吸入量的目的,减少了泵气损失,从而大大节省了耗油量,特别是发动机低速工况时。没有



了节气门的阻流,进气更加通畅,加速了燃油和空气的混合雾化,提高了燃烧速度,又降低了油耗,可谓完美的设计。配合宝马的 VANOS(可变凸轮轴正时技术控制系统),可以实现气门正时和升程的连续可变控制。发动机从低转速到高转速的气门线性调节能力异常强悍。其缺点是结构较大,增加的机构增加了摩擦损失和惯性,使得此机构不适用于超高转速发动机。

(2)日产的 VVEL(variable valve event&lift,连续可变气门升程)系统。VVEL 系统使用一套螺母和螺栓的组合实现了气门升程的连续可调。如图 1-15 所示,在系统工作时,直流电机通过 ECU 信号控制螺母和螺栓的相对位置,螺母带动摇臂,然后驱动偏心凸轮,最终改变气门升程的大小。此机构看起来结构比较复杂,摩擦副也相对较多,但是由于所有构件采用刚性连接,没有弹簧类的回位机构,VVEL 系统更适合于高转速发动机而无须考虑惯性的问题。

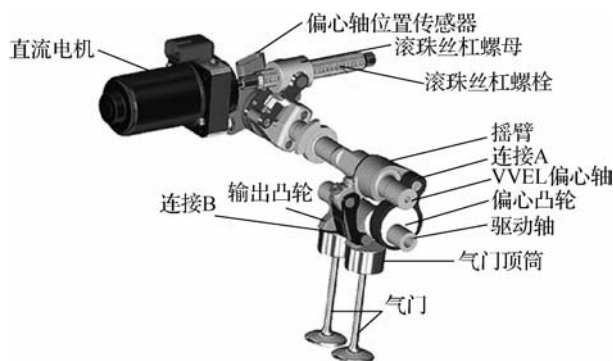


图 1-15 日产 VVEL 系统的结构

VVEL 偏心轴在不同工况下的转角是不同的,偏心凸轮位置不同导致摇臂的支点出现变化,从而控制了气门的开度。至于控制逻辑方面,VVEL 系统也是通过在不同的发动机负荷控制不同的气门开度从而减少进气损失,最终达到优化燃油经济性的目的。据日产的资料,在低负荷工况下 VVEL 系统能够减少 10%的燃料损耗。但在峰值功率上,VVEL 系统并没有太大的贡献,这是因为其进气效率被 VVEL 系统机构新增的摩擦抵消掉了。但日产 VQ37 发动机的最高转速可以达到 7 500 r/min,不像 Valvetronic 系统发动机那样受到高转速的限制。

日产的这套连续可变气门升程系统在一定范围内可实现无级连续调节,针对不同的发动机转速都有相应的气门升程,因此这种形式更加灵活自主。其优点是增强高转速的动力输出,低负荷工况节省燃料;缺点是机构稍显复杂且成本较高。

(3)丰田的 Valvematic 系统。丰田 Valvematic 系统主要由凸轮轴、中间轴、摇臂、滚轮、摇臂推动机构组成,如图 1-16 所示。其最重要的部分是中间轴通过斜齿带动的两个摇臂推动机构和一个摇臂。摇臂推动机构和摇臂的斜齿方向是相反的,所以当中间轴旋转时,摇臂推动机构和摇臂会以相反的方向旋转,从而它们的夹角会出现变化;而凸轮轴通过部件刚性连接的可变中间轴作用在气门摇臂上推动气门运动。具体情况是:凸轮轴作用在滚轮摇臂上,摇臂推动机构推动摇臂。当需要调节气门开度时,只需要使摇臂推动机构和滚轮之间的夹角发生变化即可。夹角增大,气门升程增大;夹角减小,气门升程减小。

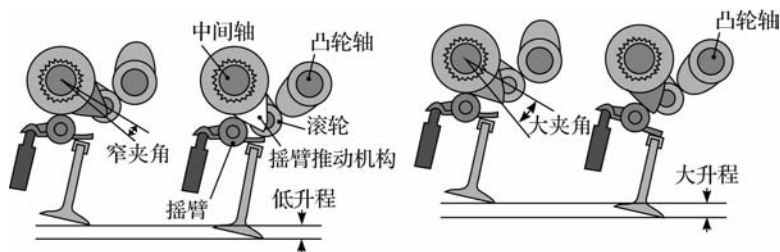


图 1-16 丰田的 Valvematic 系统的结构

由于 Valvematic 系统结构紧凑,构件较少,因此其相对来说能够更好地符合高转速发动机的要求。在第一台 2.0 L 搭配 Valvematic 系统的发动机上,气门的升程可以实现 0.97~11 mm 的无级变化,在减少节气门的同时降低了油耗水平。以同一台 2.0 L 发动机为例,Valvematic 系统能够输出 175 kW 动力,而 VVT-i(智能可变气门正时)系统则只能输出 143 kW 动力。其优点是结构简单、小巧,增加动力同时减少油耗,适应高转速工况;缺点是暂未广泛推向市场。

3. 可变气门相位和升程

本田公司推出了自行研制的可变气门正时和气门升程电子控制系统(variable valve timing and valve lift electronic control system, VTEC),这是世界上第一个能同时控制气门开闭时间和升程的气门控制系统。

如图 1-17 所示,本田 VTEC 发动机采用了不同角度的三个凸轮,分别带动三个摇臂,而这三个摇臂在控制器的控制下,既可以独立地顶开气门,也可以连为一体顶开气门,使得发动机无论是高速还是低速,都能得到最佳的配气相位。当发动机在中低转速时,三根摇臂处于分离状态,普通凸轮推动主摇臂和副摇臂来控制两个进气门的开闭,气门升量较小。此时虽然中间凸轮(高角度凸轮)也推动中间摇臂,但由于摇臂之间是分离的,所以两边的摇臂不受其控制,也不会影响气门的开闭状态。发动机达到某个设定的转速时,ECU 会指令电磁阀启动液压系统,推动摇臂内的小活塞,使三根摇臂锁成一体,一起由高角度凸轮驱动,这时气门的升程和开启时间都相应增大了,使得单位时间内的进气量更大,发动机动力更强。这种在一定转速后突然的动力爆发极大地提升了驾驶乐趣。当发动机转速降到某一值时,摇臂内的液压也随之降低,活塞在回位弹簧作用下退回原位,三根摇臂分开。

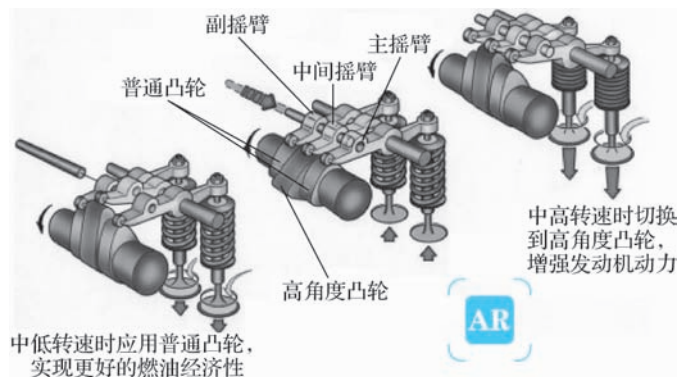


图 1-17 可变气门相位和升程技术



4. 无凸轮轴气门驱动机构

传统的气门控制都是要有凸轮轴驱动的,这样的间接传动,不管其中的配气机构技术怎样革新,都会有气门开闭角和相位的延迟,如丰田 VVTL、日产 VVEL、三菱 MIVEC、宝马 VANOS&Valvetronic、奥迪 AVS 等气门正时和升程技术。无凸轮轴气门驱动(camshaftless valve actuation)机构取消了发动机传统气门机构中的凸轮轴及其从动件,而以电磁、电液、电气或其他方式来打开和关闭气门,实现精确的进排气控制。

(1)菲亚特全电子气门技术 MultiAir。无论是阶段式气门升程调节技术(如 VTEC)还是连续式气门升程调节技术(如宝马 Valvetronic)都无法实现进气行程气门多次开启的动作,在低速工况下只有利用平衡轴或多喷油等额外措施才能提供较好的平顺性和响应性。而全电子气门技术 MultiAir 在实现气门升程的无级调节的同时,还可实现多次气门开启状态的功能,能够在低速工况时改善发动机的平顺性和响应性,如图 1-18 所示。

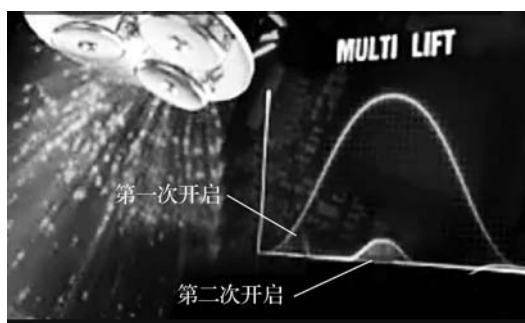


图 1-18 菲亚特全电子气门技术 MultiAir

MultiAir 最大的特点是开创性地使用了电控液压控制系统来驱动气门的正时和升程,虽然发动机为每缸 4 气门的结构,但是取消了进气门一侧的凸轮轴,排气门侧的凸轮轴通过液压机构来驱动进气门。

MultiAir 气门控制机构包括一根用于产生高压油的凸轮轴、高压油泵、控制电磁阀和用于推动进气门的活塞。高压油泵在发动机运转时一直工作,在液压油中产生高压脉冲推动气门开闭。电磁阀的开闭和开度受到电信号控制,从而实现推动气门的活塞时机与行程的控制。现在的 MultiAir 技术采用的是 1 个电磁阀控制 2 个节气门。进气门上方设计有活塞和液压腔,液压腔一端与电磁阀相连,电磁阀则通过 ECU 信号,根据工况的不同适时调节流向液压腔内的油量。由凸轮轴驱动的活塞通过推动液压腔内的油液,控制气门的开启。系统只需要控制液压腔内的油量即可以完成对气门升程的无级可调,如图 1-19 所示。

MultiAir 包括以下四种工作模式:Full Lift(进气门全开)、Late Intake Valve Opening (LIVO,进气门延迟开启,有利于提高进气气流流速及混合气混合)、Early Intake Valve Closing(EIVC,进气门提前关闭,有利于减少泵气损失)、Multi Lift(进气门多次开启)。

菲亚特 MultiAir 技术与宝马 Valvetronic 技术的做法类似,发动机在正常运转时,节气门没有存在的意义。使用 MultiAir 技术的发动机取消了节气门,从而减少了泵气损失,可以精简缸盖结构并减轻发动机自重。由于没有了进气迟滞的影响,配气和喷油精确性也会

得到相应提升,从而提升了燃油经济性。菲亚特的 1.4 MultiAir Turbo 发动机是第一款采用 MultiAir 技术的涡轮增压发动机,获得过欧洲著名的“年度发动机大奖”。在 MultiAir 与涡轮增压技术的加持下,这款发动机比起不采用此技术的发动机,在提升 10% 的功率输出和 15% 的扭矩输出的同时,还降低了 10% 的二氧化碳排放和节省了 25% 的燃油成本。



图 1-19 MultiAir 气门控制机构

(2) 观致 QamFree。观致在 2016 年北京车展上发布了与柯尼塞格合作的 QamFree 发动机,其核心理念是以气动-液压-电动组合的气门执行器 (pneumatic hydraulic electric actuator, PHEA),完全替代已经存在 100 多年的凸轮轴来控制气门的开启与关闭,取消了传统发动机中配气机构中的凸轮轴、凸轮轴皮带轮及正时皮带等。

PHEA 系统的结构如图 1-20 所示。整套系统包括气压管路和油压管路,当需要调节气门正时和升程时,气体从气压管路中涌入执行器,按照传感器的信号来控制气门的开闭。空气的黏度低,且黏度受温度的影响小,运动惯性小,这些都有利于提高执行器对气门驱动响应速度。但空气更具有可压缩性,气压不能非常稳定地输出,会削弱采用它作为介质带来的好处,这时就需要油压来辅助,油压控制系统会通过相关管路来确保驱动气门开闭所需要的压力。

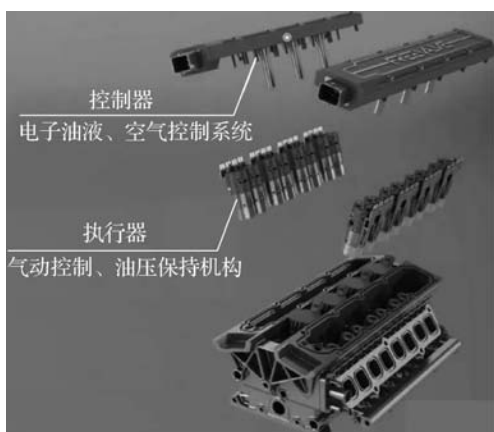


图 1-20 PHEA 系统的结构

与传统曲轴驱动气门的发动机相比,QamFree 发动机带来了显著的优势,简单总结为以下四点。



①燃油经济性更好,能有效降低燃油消耗。由于气门的正时、升程都是无级可变,所以也可以像宝马的 Valvetronic 系统一样取消节气门,没有了引擎的泵吸损失(pumping loss),而且进气和燃烧可以控制得更精确,同时发动机的怠速转速可以变得更低。同样排量(1.6 L)的发动机大约可以提高 15%的燃油经济性。

②发动机性能更强。不同工况下发动机的燃烧效率、进排气效率都得到大幅度提升。进气侧不再需要节气门体,PHEA 可以直接实现节气门的功能,由此获得最佳的发动机响应效果。涡轮增压器不再需要泄气阀,涡轮迟滞更低。

③排放污染更低。燃烧更充分,排放污染自然会降低;同时因为不需要高压直喷系统就能实现高压压缩比,从而减少通常直喷系统带来的颗粒。

④发动机更为轻量化。因为 QamFree 系统比它代替的凸轮轴气门控制机构更小、更轻,发动机整体尺寸可以缩小,更为轻量化。QamFree 发动机整体高度和长度分别可以减少 50 mm和 70 mm,质量可以减轻超过 25 kg。

三、线控节气门

传统汽车的节气门采用钢丝绳和杠杆与驾驶室內的油门踏板相连,驾驶员通过脚踩油门踏板的行程来控制节气门开度,亦即改变节气门进气通道的截面积,调节发动机的充气量,达到改变发动机输出功率的目的。这种方式的控制效果直接受控于驾驶员对油门踏板的操作,而发动机的运行不能很好地结合当前汽车的运行状况,从而不总是处于最佳运行状态,特别在混合动力源中,功率分配不能实现。

航空电子工业的线控技术是一个很好的选择。电子节气门控制(electronic throttle control,ETC)通过增加相应的传感器和 ECU,实现节气门开度的精准控制。踏板开度成为驾驶员的控制意图,作为 ETC 逻辑的一个参数,节气门的实际开度由 ETC 结合当时的汽车行驶状况运行相应的控制逻辑来决定,它可实现发动机扭矩控制和精确空燃比控制,有助于提高汽车行驶的动力性、平稳性和经济性,并能有效降低排放污染。

线控节气门系统主要由电子油门踏板、节气门控制器、电子节气门体等组成,如图 1-21 所示。

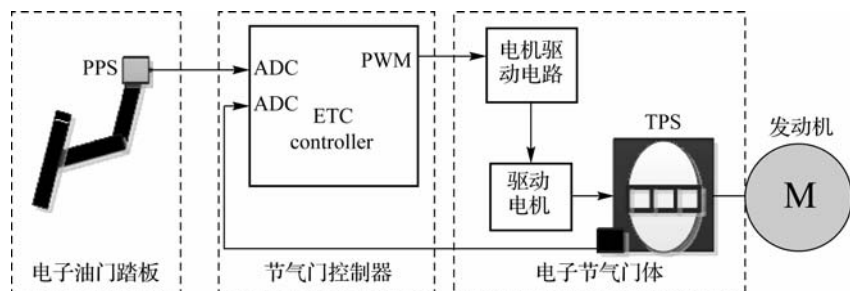


图 1-21 线控节气门系统的组成

线控节气门系统的工作原理如下:通过用线束(导线)来代替拉索或者拉杆,在节气门安装一只微型电机(节气门执行器),用电机来驱动节气门开度变化。油门踏板位置传感器将驾驶员需要加速或减速的信息传递给节气门控制器,控制器根据得到的信息计算出相应的最佳节气门位置,发出控制信号给节气门执行器,由节气门执行器将节气门开到计算出的最佳位置,然后控制器通过 CAN 总线与其他 ECU(如自动变速器 ECU 等)进行通信,获取其

他工况信息。各种传感器也会传递给节气门控制器一些信息(如发动机转速、挡位、节气门位置、空调能耗等),控制器根据这些信息对节气门的最佳位置进行不断修正,使节气门的开度达到驾驶员所需要的理想位置。

1. 油门踏板位置传感器

电子节气门是在油门踏板上设置位置传感器,取代了油门踏板与节气门之间的机械连接。它可以检测油门踏板被驾驶员踩下的位置,将此信号转变为电信号传输给控制单元,所以它也被称为线控操纵。

油门踏板位置传感器实质上就是一个电位计或可变电阻,控制单元向线圈的一端供给 5 V 基准电压,当驾驶员踩下油门踏板时,与线圈接触的滑臂沿圆弧转动,从而改变了基准电压输入端与滑臂触点之间的电阻值,滑臂触点的分电压就反映了油门踏板的位置。它的结构原理如图 1-22 所示。

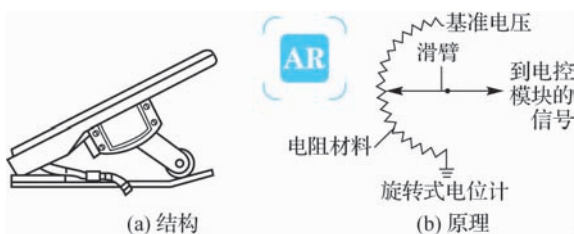


图 1-22 油门踏板位置传感器的结构原理

2. 节气门位置传感器

节气门位置传感器又称节气门开度传感器或节气门开关,其主要功用是检测出发动机是处于怠速工况还是负荷工况,是加速工况还是减速工况,发动机 ECU 根据节气门位置传感器的输出信号可以确定发动机的负荷。它安装在节气门体上,根据传感器的输出特性分为通断输出和线性输出两种类型。线性输出节气门位置传感器的结构和特性如图 1-23 所示,它实际上就是节气门轴驱动滑臂的电位计。滑臂上有连通的双触点与基板上制出的双轨厚膜电阻接触,由滑动触点将两个厚膜电阻短接,在一个厚膜电阻的一端由控制单元供给 5 V 基准电压。当滑臂随节气门轴转动时,双轨厚膜电阻之间的电阻值发生改变,由另一个厚膜电阻的一端输出的电压就与节气门开度呈线性关系。

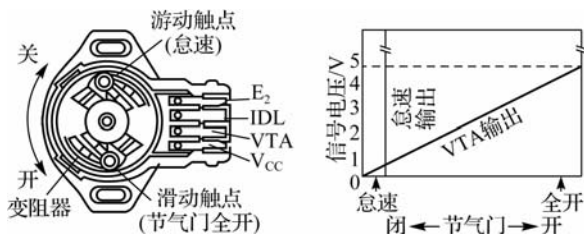


图 1-23 线性输出节气门位置传感器的结构和特性

3. 怠速直流电机

怠速直流电机如图 1-24 所示。当发动机怠速运行,或因发动机冷却液温度低、空调运



转、动力转向的加入等原因使发动机负荷增大时,为使发动机怠速稳定,怠速直流电机经一套齿轮机构推动节气门,加大其开度来增加发动机的进气量,提高发动机的转速;相反,在发动机怠速下减载时,在怠速直流电机的作用下,节气门的开度减小,以避免发动机超速,从而保证发动机在怠速工作。

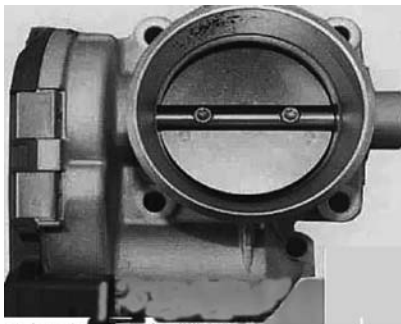


图 1-24 怠速直流电机

线控节气门系统与传统的节气门相比有许多优越之处,主要表现在以下几个方面。

(1)减少了机械故障,操纵更方便。电子节气门控制系统没有拉线,节气门踏板与节气门之间是电控而不是机械控制,因此没有机械磨损,减少了机械故障。

(2)实现发动机全范围的最佳扭矩输出,并能精确控制节气门开度。

(3)节省燃料,改善了发动机的排放性能。线控节气门系统在各种情况下对空燃比进行精确控制,使燃烧更加充分,同时减少了废气的产生;在怠速状态下,节气门保持在一个极小开启角度来稳定燃烧,提高了燃油经济性,排放也得到进一步控制。

(4)具有更高的车辆行驶可靠性。

线控节气门系统的缺点包括以下两个方面。

(1)汽车在起步时会产生油门迟滞现象。

(2)非线性影响。系统存在各种非线性影响,除了弹簧非线性、黏滑摩擦及齿隙非线性等影响外,受到进气气流产生的非线性阻尼力及进气气流的不稳定扰流的影响,导致常规PID控制不能精确地设定反馈的增益,影响控制的精确性。



第二节 进气增压技术

知识目标

- 掌握涡轮增压器的废气能量利用原理和关键部件功能;
- 理解增压中冷技术;
- 掌握关联技术发展与行业应用。

技能目标

- 能对比单涡轮双涡管、可变截面涡轮等先进技术的性能差异；
- 能结合国六排放标准(2024年全面实施),分析增压中冷系统在降低排放中的价值。

素养目标

- 培养学生科技报国与绿色使命感；
- 通过国产涡轮品牌案例,树立核心技术自主化的产业自信。

与自然吸气式发动机相比,工程师通过在进气歧管的前端安装一个增压器来增加进气量。进气增压型发动机在其结构和尺寸不变的情况下可增加进气压力,增大20%~50%的发动机功率和扭矩。例如,排量是1.8 L的涡轮增压型发动机,其功率接近甚至超过2.4 L的自然吸气式发动机,同时油耗明显降低,污染物排放也显著减少。在当前国家节能减排的大背景,以及新能源还不能完全替代传统能源的情况下,内燃机采用进气增压技术无疑是提高传统能源利用效率、节约能源的最佳选择。

进气增压型发动机的工作原理是:把发动机进气系统中的空气压缩后再引入气缸,压缩后的空气密度更大,单位体积所含的氧分子更多,按照理论空燃比混合,需要喷入更多的燃油,这样就能在排量不变的情况下得到密度和质量更大的可燃混合物,经过燃烧后就能获得更多的热能,从而提供更大的动力。另外,由于进入的空气量充足,燃烧也更为彻底。

增压器根据不同的驱动方式,可以分为废气涡轮增压器、机械增压器、复合增压器和气波增压器。

一、废气涡轮增压器

废气涡轮增压器简称涡轮增压器,其发明者是瑞士工程师比希,他于1905年申报了此项专利。当时涡轮增压器主要应用于飞机发动机和坦克发动机,直到1961年美国通用汽车公司才将涡轮增压器试探性地装在其生产的某种车型上。但让涡轮增压技术焕发青春的是瑞典萨博公司,该公司于1977年推出的SAAB 99车型将涡轮增压技术传播得更广泛。只是那时的涡轮增压器仅限于装配在小型汽车的汽油发动机上。到20世纪80年代中期,欧美的卡车制造商才将涡轮增压技术广泛应用在各自的柴油发动机上。相比之下,汽油机涡轮增压的普及程度远不及柴油机。其主要原因是汽油机增压后爆燃倾向增大、热负荷加重、动态响应延迟加大,因此在汽油机上应用涡轮增压技术难度较大。迫于资源日益匮乏,燃油消耗和排放法规不断严格,涡轮增压汽油发动机的优势逐渐得到关注和发展,再加上发动机电控技术和结构的不断改进,涡轮增压技术在汽油发动机上逐渐流行。

涡轮增压发动机是依靠涡轮来加大发动机进气量的一种发动机。涡轮增压器实际上就是一个空气压缩机,它利用发动机排出的废气作为动力来推动涡轮室内的涡轮(位于排气道内),涡轮又带动同轴的叶轮(位于进气道内),叶轮就压缩由空气滤清器管道送来的新鲜空气,再送入气缸,从而通过压缩空气来增加发动机的进气量。当发动机转速加快时,废气排出速度与涡轮转速也同步加快,空气压缩程度得以加大,发动机的进气量就相



应地得到增加,这样可以增加发动机的输出功率,如图 1-25 所示,左侧为高温废气,右侧为新鲜空气。

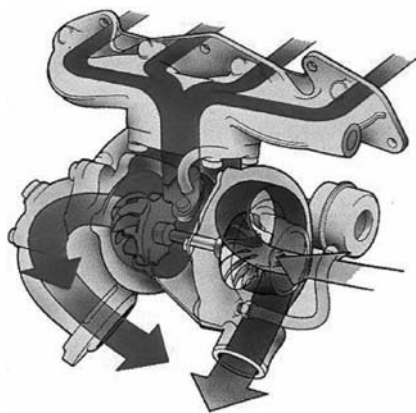


图 1-25 废气涡轮增压器

涡轮增压器主要由压缩机和涡轮机组成,涡轮机的进气口和发动机排气歧管的出口连接在一起,涡轮机的排气口与排气管相连,利用发动机的缸内喷出的气体能量驱动涡轮机的涡轮转动,与其在同一转动轴上的压缩机叶轮也随着转动。压缩机的进气口与空气滤清器入口相接,由于涡轮机与压缩机同轴串联,转速一致,空气滤清器内的空气就会被压缩机压缩,以高于外界空气的压力进入气缸内,如图 1-26 所示。

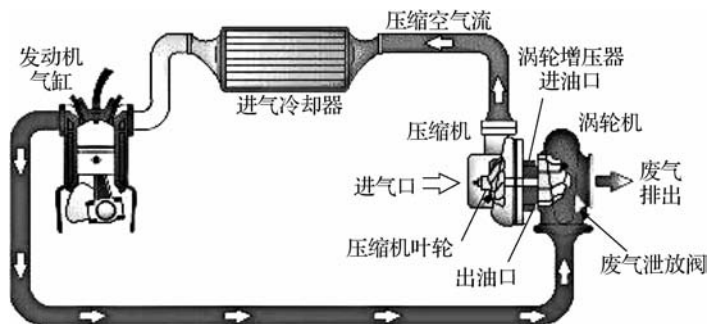


图 1-26 涡轮增压器的工作原理

与传统的自然吸气式发动机相比,涡轮增压发动机具有以下优点:具有更大的体积效率,改进的发动机功率和扭矩,油耗降低,排气减少,再利用废气能量,不受海拔影响,瞬间超增压以满足发动机的直接需求。其缺点是:在经过增压之后,发动机在工作时的压力和温度都大大升高,因此发动机的寿命会比同样排量没有经过增压的发动机短,而且机械性能、润滑性能都会受到影响,这也在一定程度上限制了涡轮增压技术在发动机上的应用。涡轮并不是从一开始就可以实现增压效果,而是随着其转速的增加而产生,所以涡轮介入的早晚直接影响驾驶感受。

涡轮增压器可以按照气体在涡轮机中的流动方向分为径流式涡轮增压器和轴流式涡轮增压器。轴流式涡轮增压器体积大,多用于大型柴油机;汽车发动机由于受空间和质量的限制,多采用径流式涡轮增压器。

径流式涡轮增压器的结构如图 1-27 所示。

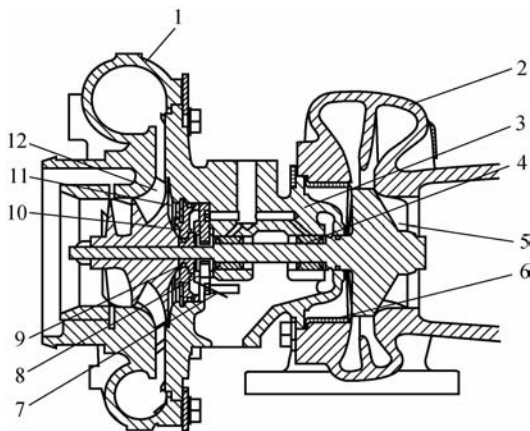


图 1-27 径流式涡轮增压器的结构

1—压缩机外壳；2—涡轮机外壳；3—中间体；4—浮动轴承；5—涡轮机涡轮；6—隔热板；7—挡油板；
8—止推轴承；9—密封组件；10—密封环；11—压缩机后体；12—压缩机后轮

发动机工作时，排出的具有一定压力的高温废气沿着排气歧管进入涡轮机内喇叭口形的喷嘴环上，提高喷射速度后按一定的方向喷射到涡轮上，使涡轮高速旋转。废气的压力、温度和速度越高，涡轮转速就越高，可达 200 000 r/min 以上。废气通过涡轮直径的中心部位流出，再经过排气管和消声器排出机外。在涡轮旋转的同时，压缩机叶轮也以相同的速度旋转，将经过空气滤清器过滤的新鲜空气吸入压缩机室内，高速旋转的叶轮将吸入的空气甩向叶轮边缘，增加空气的速度和压力后，使其进入进口小、出口大的扩压室，使空气流速降低而压力增大，再继续通过截面由小变大的环形压缩机外壳，使压力继续升高，最后高压气流（180~200 kPa）通过进气歧管进入气缸。这样就大大提高了发动机的充气系数，进而增大气缸内的喷油量，使发动机输出更大的功率和扭矩。

1. 单涡轮双涡管增压

如图 1-28 所示，单涡轮双涡管增压器就是将一个涡轮增压器的气流在经过涡管时分为两股气流，每股气流负责 3 个缸。与双涡轮相比，单涡轮的设计也减弱了排气脉冲相互干扰的情况，增加了气体流动效率，涡轮能够更加迅速地做出反应，达到效果。

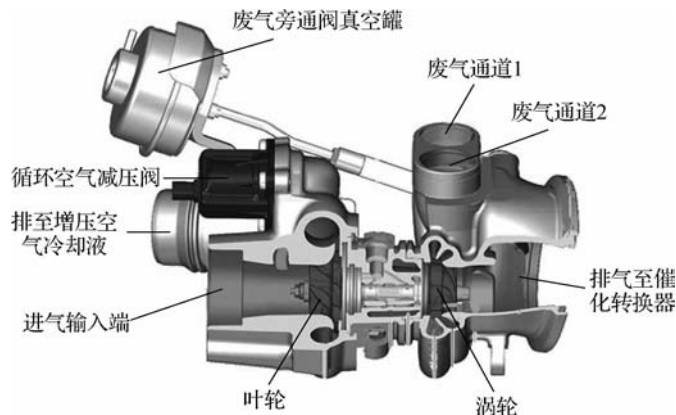


图 1-28 单涡轮双涡管增压器



2. 双涡轮增压

双涡轮增压一般称为 twinturbo 或 biturbo。双涡轮增压器在进气系统中串联一大一小两只涡轮或并联两只同样的涡轮,发动机在 2 个涡轮增压器的共同作用下,进气效率大幅提升,增压效果更加显著,动力性得到很大提升。

在发动机转速较低时,只有一个低速涡轮工作,这时较少的排气即可驱动这只涡轮高速旋转,以产生足够的进气压力;当发动机转速提升以后,大涡轮介入工作,此时推动气体进入高增压值的状态,提供充足的进气量。这样双涡轮增压技术在提高发动机动力性的同时,可以改善涡轮增压的迟滞现象。

与单涡轮增压器相比,双涡轮增压器质量较小,因此切入工作的时机提前,增压反应变快,在一定程度上降低了涡轮迟滞的影响。由于增装了一个涡轮增压器,也相应地增加了安装难度,结构变得复杂,制造成本增加,而且不能完全消除涡轮迟滞的影响。

并联式双涡轮增压系统的进气系统中平行安装有两个规格完全相同的涡轮增压器,每个涡轮增压器负责发动机半数气缸工作。发动机在运行时,半数气缸的排气共同驱动一个涡轮增压器,两个涡轮增压器同时工作,在一定程度上缓解了涡轮迟滞现象,有利于汽车低速行驶时快速充分发挥发动机功率。

由于双涡轮增压发动机在汽车动力性能提升和发动机动态响应速度方面所表现出来的突出优势,目前,包括宝马在内的多家汽车厂商都已经在各自车型上采用了双涡轮增压形式。双涡轮增压安装方式主要应用在中缸(直列 6 缸和 V 型)发动机的车型上,代表车型有宝马 X6 xDrive35i、宝马 335、保时捷 911turbo、迈巴赫 57S/62S 等高端车。

3. 可变截面涡轮增压

涡轮迟滞与增压涡轮的尺寸有关。对于传统的涡轮增压发动机来说,解决涡轮迟滞现象的一个方法是使用小尺寸的轻质涡轮。小涡轮会拥有较小的转动惯量,因此在发动机较低转速下就能达到最佳的工作转速,从而有效改善涡轮迟滞的现象。不过,使用小涡轮也有它的缺点:当发动机在高转速时,小涡轮由于排气截面较小,会使排气阻力增加(产生排气回压),因此发动机的最大功率和最大扭矩会受到一定的影响。而对于产生回压较小的大涡轮来说,虽然高转速下可以拥有出色的增压效果,发动机也会拥有更强的动力表现,但是低速下涡轮更难以被驱动,因此涡轮迟滞也会更明显。

为解决上述矛盾,让涡轮增压发动机在高低转速下都能保证良好的增压效果,可变截面涡轮增压技术便应运而生。

可变截面涡轮增压系统的核心部分是可变涡流截面的导流叶片。从图 1-29 中可以看到,涡轮的外侧增加了一环可由电子系统控制角度的导流叶片,导流叶片的相对位置是固定的,但是叶片角度可以调整。

如图 1-30 所示,在系统工作时,废气会顺着导流叶片送至涡轮叶片上,通过调整叶片角度,控制流过涡轮叶片的气体的流量和流速,从而控制涡轮的转速。当发动机低转速、排气压力较低时,导流叶片打开的角度较小。根据流体力学原理,此时导入涡轮处的空气流速就会加快,增大涡轮处的压强,从而可以更容易推动涡轮转动,有效减轻涡轮迟滞现象,也改善了发动机低转速时的响应时间和加速能力。随着转速的提升和排气压力的增加,叶片也逐渐增大打开角度,在全负荷状态下,叶片则保持全开状态,减小了排气背压,从而达到一般大

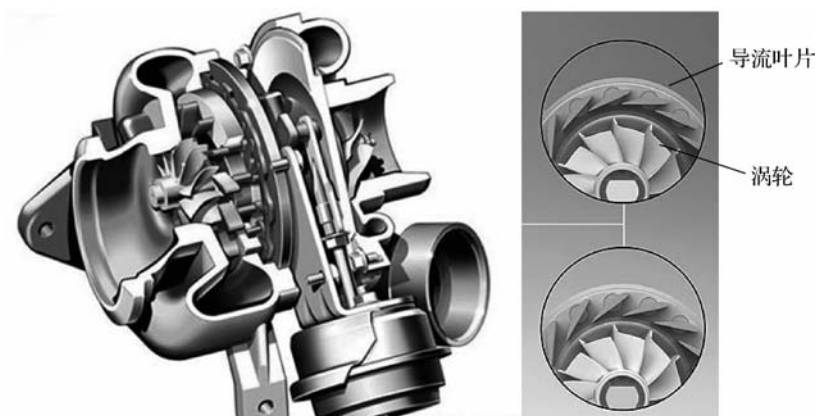


图 1-29 可变截面涡轮增压系统

涡轮的增压效果。此外,由于改变叶片角度能够对涡轮的转速进行有效控制,这也就实现了对涡轮的过载保护。

当叶片角度较小时,排气入口的横截面积会相应减小,从而拥有小涡轮响应快的特点;而当叶片角度增大时,在高转速下能获得更强的动力输出。总之,通过改变叶片的角度,可变截面涡轮增压系统可随时改变排气涡轮的横截面积,从而兼顾大、小涡轮的优势特性。

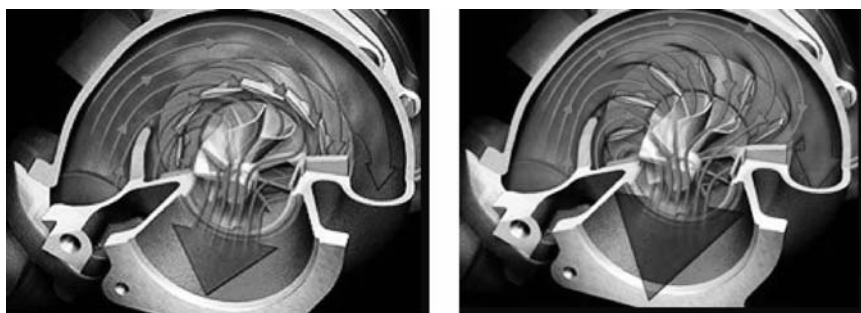


图 1-30 改变导流叶片角度

可变截面涡轮增压器能够在发动机较低的转速下介入工作,不仅较好地解决了涡轮迟滞的影响,而且大大提高了增压效率。由于降低了涡轮迟滞,带可变截面涡轮增压器的车型在整个加速段没有动力陡增的情况,舒适性和安全性都有提高。由于涡轮增压器切入工作的时机提前,减少了发动机低转速状态下涡轮增压器不工作而导致的不充分燃烧带来的燃料浪费,从而大幅降低油耗,特别是在城市道路状况下行驶时的油耗。尽管可变截面涡轮增压系统在一定程度上降低了涡轮的迟滞影响,但仍不能彻底消除。此外,系统设计制造难度较大,生产成本较高。

一般而言,加装废气涡轮增压器的发动机的功率和扭矩可提高,这样小排量的发动机达到了大排量发动机的动力性,而且发动机变得更轻,油耗更低,燃烧更彻底,排放的废气污染物相对较少。另外,它不额外地消耗发动机功率,使用经济性较好。

废气涡轮增压器最大的缺点是涡轮迟滞。因为涡轮增压发动机的增压器需要靠排气能



量驱动,所以当发动机转速较低时,排气能量往往较小,此时有可能无法驱动增压器,而且增压涡轮越大,涡轮就越难以被驱动,造成的结果就是,当涡轮增压器不工作(低转速,1 500~2 500 r/min)时,涡轮增压发动机的动力甚至会小于一台同排量的自然吸气发动机。此外,由于涡轮增压器叶轮的惯性作用,叶轮对油门的瞬时变化反应滞后,通常会使加速后动力提升跟不上,而且在增压器介入工作时动力输出有突兀感。其次,废气涡轮增压器的工作温度较高(600℃左右),对润滑条件和使用要求较高,较高的工作温度会提高进气温度,降低充气密度,所以多数涡轮增压发动机采用了加装冷却器的方法来降低工作温度,此技术称为涡轮增压中冷技术。尽管涡轮增压技术还存在很多缺点,但其高工作效率使得各大汽车厂家都热衷于此项技术,几乎所有汽车生产厂家都有涡轮增压车型。

二、机械增压器

如图 1-31 所示,机械增压器的动力来源是发动机工作时产生的动力,驱动力来自发动机曲轴,其通过皮带由曲轴驱动增压器内的转子转动,以产生增压空气送入发动机进气歧管内,实现对进气的压缩。其整体结构简单,工作温度为 70~100℃,不同于涡轮增压器靠排放废气驱动,必须接触高温废气,因此机械增压系统对于冷却系统、润滑油脂的要求与自然吸气发动机相同,机件保养程序基本一致。

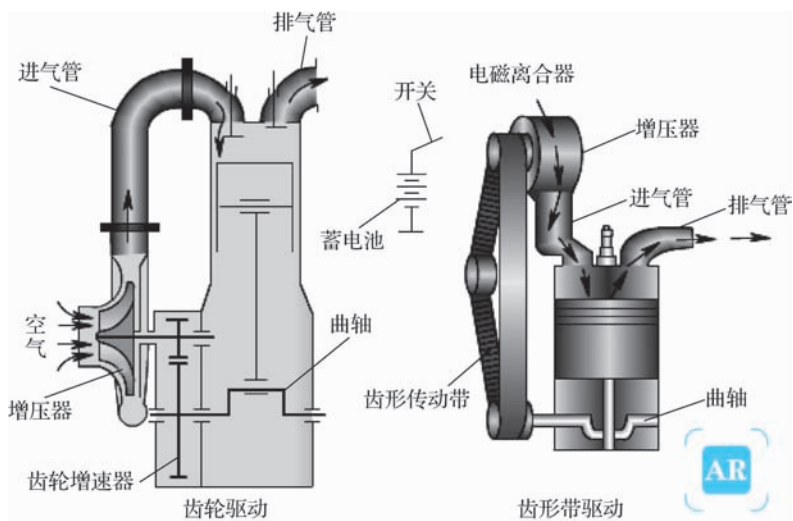


图 1-31 机械增压器示意图

根据驱动方式的不同,机械增压系统可分为齿轮驱动和齿形带驱动两种。根据构造的不同,机械增压系统出现过许多种,包括鲁兹式(Roots)、叶片式(Vane)、温克尔(Wankle)等,现在较为常见的是前两种,如图 1-32 所示。

1. 鲁兹式机械增压器

鲁兹式机械增压器(Roots Supercharger)约占机械增压器总量的 95%,它属于容积式机械增压器,主要应用于低增压领域。

鲁兹式机械增压器按转子不同有双叶、三叶转子两种形式(见图 1-33),目前双叶转子较普遍,主要由皮带轮、主动齿轮、从动齿轮和压缩机转子等机件组成。其构造是在椭圆形的壳体中装两个茧形转子,转子之间保有极小的间隙而不直接接触。两转子借由螺旋





图 1-32 叶片式和鲁兹式机械增压系统

齿轮联动,其中一个转子的转轴与驱动皮带轮连接,转子转轴的皮带轮上装有电磁离合器,在不需增压时即放开离合器以停止增压。离合器的开合则由计算机控制以达到省油的目的。

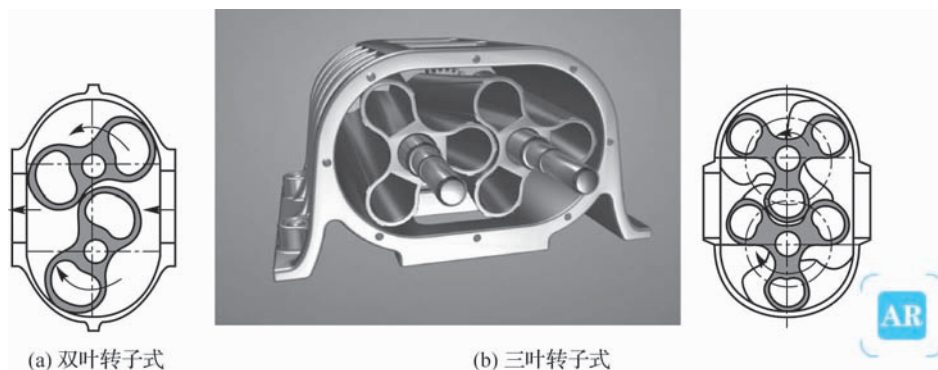


图 1-33 双叶、三叶转子两种形式

鲁兹式机械增压器的工作原理为:机械增压器带轮由发动机曲轴带轮驱动,带动一对同步齿轮转动,使转子相对转动。转子在传动齿轮的带动下做方向相反的等速旋转运动,使在进气口充入容腔的空气随着转子转动,在排气口位置排出,以不断地将空气抽送到发动机的进气歧管中实现向发动机气缸内的供气,如图 1-34 所示。

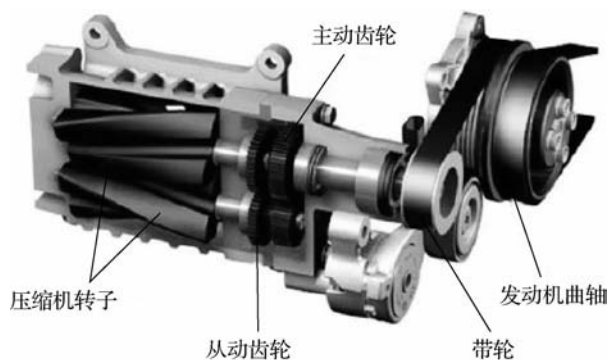


图 1-34 机械增压系统的工作原理



2. 叶片式机械增压器

叶片式机械增压器主要是利用三个可根据不同离心力而改变转速的行星齿轮组带动进气叶片。通过齿轮组与叶片轴心的相互摩擦,提高轴心转速并进一步提高进气叶片的速度,以获得持续不断的增压反应。也就是说,发动机转速越高,进气叶片的转速也就越高。

1) 双螺旋式机械增压器

通过两根类似于涡轮传动的啮合凸缘转子吸入空气,但不同的是,双螺旋式机械增压器还会压缩转子壳体内部的空气(见图 1-35)。其原因在于这些转子具有锥度,这意味着随着空气从增压器进气口流向排气口,气道会变小。随着气道的收缩,空气便被压入更小的空间,使得空气的压缩可以连续进行,提高增压器的效率,使得增压器不需要十分庞大。螺杆泵泄漏量少,增压压力高,但是精密啮合的螺杆增加了制造成本。

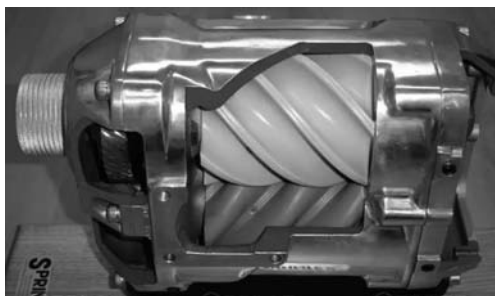


图 1-35 双螺旋式机械增压器

双螺旋式机械增压器采用的是一种回转式容积泵的原理,它是转子泵和叶片泵的折中产物,在效率、噪声和压力波动的综合表现上具有更大的优势。两个圆盘形的置换器具有相同的螺线,两个蜗盘做相互交错的移动滚动,空气从最外侧被吸入,随后逐步被送往中心,过程中空气体积不断被压缩,最终高压气体由中心排出。最常见的双螺旋式机械增压器是大众的 G-lader,主要装备于大众高尔夫和帕萨特等车型,如图 1-36 所示。



图 1-36 G-lader

2) 离心式机械增压器

离心式机械增压器如图 1-37 所示,它也称涡流式机械增压器,其工作原理是利用叶轮发动机的输出动力,通过皮带带动增压器叶轮旋转,将空气高速吸入狭小的压缩机壳体内。

离心式机械增压器吸气效率较高,也是目前最普遍采用的增压方式。由于增压值较高,市面上在安装离心式机械增压器的同时也需要安装中冷器,以降低进气温度。



图 1-37 离心式机械增压器

(1)离心式机械增压器的优点。

①在低转速时便可获得增压。只要发动机工作,离心式机械增压器就可进入工作状态,获得增压效果,解决了涡轮增压器只有达到一定转速才能增压和发生涡轮迟滞的问题。

②动力输出自然平缓。离心式机械增压的动力输出与曲轴转速呈线性关系,即随着发动机转速的提高,其动力输出也随之增强,其操作感觉与自然吸气发动机极为相似。

③工作温度变化不大。离心式机械增压器的工作温度为 $70\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$,与自然吸气式发动机相比,使用保养没有多大区别。

(2)离心式机械增压器的缺点。离心式机械增压器最主要的缺点是增压效率较低。机械增压器由曲轴驱动,始终在消耗发动机的功率,尽管随着发动机转速的升高而增压压力提高,但是增压器本身的运动阻力又随发动机的转速升高而增大,从而导致发动机高速时的负荷增大。为此,机械增压必须在增压值与发动机负荷间取得平衡,以避免高增压带来的负面效应。所以,机械增压在高转速时效率没有涡轮增压高。通常机械增压的进气压力为 $30\sim 120\text{ kPa}$,很难突破 150 kPa ,如果增压压力过高,会大大提高压缩机自身所消耗的功率,降低了发动机的机械效率而提高了燃油消耗率。而涡轮增压早已突破 220 kPa 的超高压。

与涡轮增压器相比,机械增压器目前在汽车上应用较少,主要是个别高档轿车,如奔驰 C200K、路虎揽胜 4.2 的机械增压版等。

三、复合增压器

复合增压器是将废气涡轮增压器与机械增压器串联起来工作,如图 1-38 所示。机械增压器可以从怠速开始就为发动机提供增压效果,消除涡轮迟滞的影响,而废气涡轮增压器在发动机高转速时拥有强大的功率输出。因此,复合增压发动机是一种效率极高的发动机形式,是动力性与燃油经济性的完美统一。复合增压装置在大功率柴油机上采用较多,汽油机上采用复合增压系统的车型还比较少。这种发动机输出功率大、燃油消耗率低、噪声小,但是结构复杂,技术含量高,维修保养不容易,因此很难普及。

以大众高尔夫 GT 1.4TSI(见图 1-39)为例,其工作原理是:当发动机在部分负荷低速运转时,机械增压器投入工作;当发动机转速超过 $1\ 500\text{ r/min}$ 时,涡轮增压器介入工作;当发动机转速超过 $3\ 500\text{ r/min}$ 时,机械增压器退出工作。



图 1-38 复合增压器

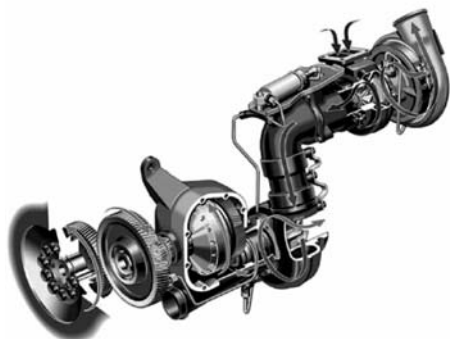


图 1-39 大众涡轮增压器

复合增压发动机很好地发挥了机械增压和涡轮增压的优点,在发动机工作全程内实现扭矩和功率的提升,改善了起步加速,也具有充足的后劲,相对来说动力损耗减到最小,增压效果最好。如高尔夫 GT1.4TSI 发动机的功率与 2.3 L 自然吸气式发动机功率相当,但燃油消耗降低 20%。但是,这种双增压系统结构复杂,成本过高,机械增压器每 5 万千米就需要更换,而且对燃油品质的要求也高。因此,大众公司出于成本的考虑,在我国生产的 TSI 发动机取消了机械增压而仅有涡轮增压。

四、气波增压器

气波增压器是使两种气体工质直接接触并通过压力波传递能量的压力转换器。它用于发动机增压时,利用发动机做功后的废气能量,借助一系列由发动机带动的转子和定子的调节箱,使进入气缸的气体增压。但该种增压形式噪声很大,增压部件体积很大,通常只用于大型柴油机,民用汽车中不常见。

气波增压器的工作原理如图 1-40 所示。当转子按箭头方向转动时,转子上由叶片组成的轴向气道与高压燃气入口接通,遂产生压缩波。压缩波以声速沿气道传播,并将燃气能量传递给充满气道内的空气,使其压力和密度升高并向前流动。高压空气出口设在高压燃气入口的斜对面,并沿转动方向向前错开一个角度。当气道与高压空气出口接通时,高压空气进入发动机进气管。在燃气到达气道长度的 $2/3$ 左右时,气道恰好转过高压燃气入口,燃气停止流入气道。当气道与低压燃气出口接通时,燃气继续膨胀并经排气总管排入大气,气道内的压力继续下降。当气道与低压空气入口接通时,由于气道内处于负压状态,新鲜空气被吸入气道。气道转过低压空气入口和低压燃气出口后,遂充满新鲜充量。转子继续转动又开始下一个循环。

气波增压器提供的增压压力在整个柴油机转速范围内变化不大,能量转换过程也不受转子惯性的影响,因此气波增压器具有良好的速度和负荷特性,较适合柴油机增压的要求,增压比可达 $2.5:1$ 。

气波增压器具有结构简单、制造方便、不需要昂贵的耐热合金材料等优点,而且它的工作适应性能好,适用于中小型柴油机上,特别是车用柴油机及工程机械用内燃机的增压,使汽车具有较好的爬坡能力和加速性能,以及很大的最高速度。但气波增压器运转噪声大,结构不如涡轮增压器紧凑,故实际使用范围不大。



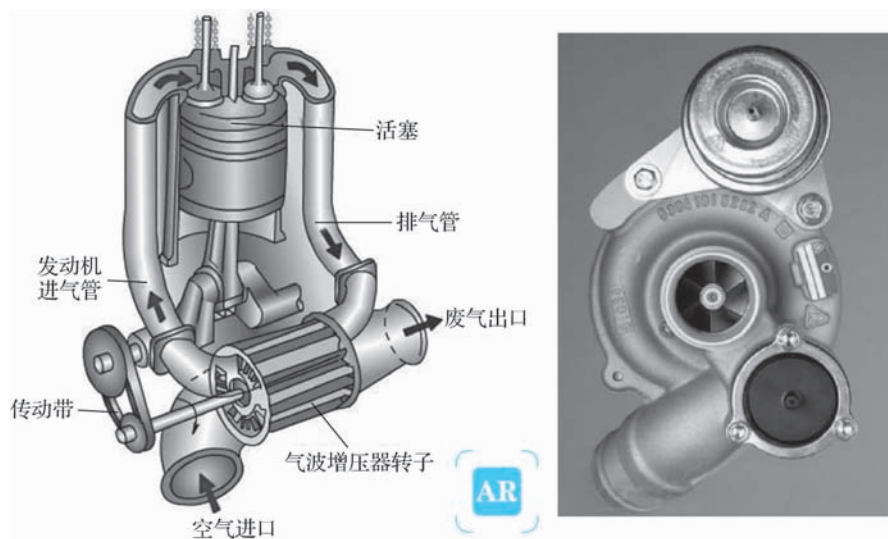


图 1-40 气波增压器的工作原理

五、增压中冷技术

随着发动机向高增压度的不断发展,其热负荷问题变得更加突出。空气经过增压器被压缩后温度升高,发动机转速越高,增压压力越大,温度上升就越大,增压后的气体已经很烫了。高温气体对发动机的影响主要有两点:一是空气体积变大,相当于发动机吸进的空气变少了;二是高温空气对于发动机气体燃烧不利,可能会造成气缸盖断裂、燃烧室镶块烧裂、活塞环烧结卡死、活塞烧裂等现象,涡轮转子也常因热负荷过大而损坏,同时增压空气的温度每上升 10°C ,发动机功率就会下降 $3\%\sim 5\%$,排放性能也会进一步变差。要解决这一问题,就要通过降低空气温度来提升空气密度,从而提高发动机充气效率,于是发动机增压中冷技术出现了。

增压中冷是一项比较好的解决措施。据计算,压缩空气降低 1°C ,最高燃烧温度和排气温度可降低 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$,可以有效缓解热负荷。因此,尤其是对于中增压度以上的增压系统,增压中冷几乎是必不可少的。增压中冷还可以提高发动机充气效率,在不增加热负荷的情况下能够提高功率 $15\%\sim 20\%$,并能降低排放中 NO_x 的含量,改善环境。

增压中冷技术就是当涡轮增压器将新鲜空气压缩经中段冷却器冷却,然后经进气歧管、进气门流至气缸燃烧室。有效的增压中冷技术可使增压温度下降到 50°C 以下,有助于减少废气的排放和提高燃油经济性。发动机中冷器如图 1-41 所示。



图 1-41 发动机中冷器



一般发动机的中冷器采用水冷或风冷的方式来降低进气温度。由于发动机冷却水的温度普遍在 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,水冷的方式并不能达到最佳冷却效果,因此,汽车柴油机大都采用空气冷却式中冷器。空气冷却式中冷器利用管道将压缩空气通到一个散热器中,利用风扇提供的冷却空气强行冷却。空气冷却式中冷器可以安装在发动机水箱的前面、旁边或者另外安装在一个独立的位置上,增压器高压热空气流经中冷器的冷却管,把热量传给冷却管和附着在管子上的散热片。它的波形铝制散热片和管道与发动机水箱结构相似,热传导效率高,可将增压空气的温度冷却到 $50\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。空气和水的流动路线如图 1-42 所示。

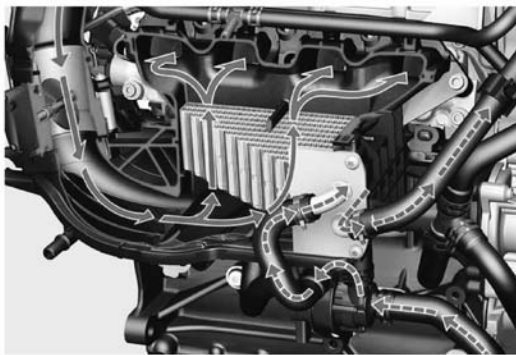


图 1-42 空气和水的流动路线

增压中冷技术不是一项简单的技术,过热无效果,过冷则在进气管中形成冷凝水。因此,要将中冷器和涡轮增压器进行精确匹配,使得压缩空气达到要求的冷却温度。

第三节 燃油供给及燃烧新技术

知识目标

- 掌握燃油供给系统的核心组成、工作原理及技术分类;
- 理解双火花塞结构设计及其对燃烧效率的影响机制。

技能目标

- 能使用诊断工具对燃油供给系统及双火花塞进行故障排查;
- 具备设计实验检测方案的能力。

素养目标

- 树立绿色能源理念;
- 关注双火花塞技术对减少碳排放的社会价值,培养可持续发展观;

- 跟踪新能源技术对内燃机的挑战(如电动化趋势),主动拓展技术边界。

一、燃油供给新技术

汽车电喷系统(auto electronic fuel injection system)分为汽油机电喷系统和柴油机电喷系统。汽油电喷技术有较高的普及率,主要汽车企业均掌握了该项技术;而柴油电喷技术被美国德尔福、德国博世和日本电装等几家企业所垄断。

1. 汽油机燃油供给新技术

简单而可靠的化油器曾经是汽油发动机的主宰。它无需电子控制,通过物理原理调节燃油与空气的比例,但其缺点在于控制不精确,环境条件依赖性很强。随着需求的提升,机械式燃油喷射系统应运而生,它通过发动机曲轴驱动油泵,提供更精确的燃油分配。但其仍有其局限性。后来保时捷公司开始应用D型电子喷射,通过传感器和ECU的控制,实现了空气和燃油的精确混合,多点燃油喷射和电子节气门的引入更是提升了燃油经济性。

面对环保法规的挑战,汽车公司又开始应用缸内直喷技术。它将燃油喷嘴置于气缸内,实现了前所未有的油气混合效率提升和“分层燃烧”技术的可能。在新能源汽车快速发展的浪潮中,燃油车技术正在经历前所未有的革新。内燃机热效率不断提升,48V轻混系统的普及使得传统燃油车的能耗显著降低。马自达的压燃发动机技术将热效率提升至50%,预示着燃油车仍有巨大的技术提升空间。

1) 多点喷射

多点喷射(歧管喷射)就是在每个气缸的进气管上都安装电磁喷油器(见图1-43),发动机ECU控制直接将燃油喷入进气歧管,再与流经进气歧管的空气流混合。当进气门打开时,混合气体被吸入气缸,即汽油是由多个地方(至少每个气缸都有一个喷射点)喷入气缸的,这就是多点喷射(多点电喷),这是目前大多数汽车采用的喷射方式。



图 1-43 多点电喷

多点电喷系统与化油器式进气系统相比,从根本上解决了相邻气缸进气重叠引起的配气不均匀、功率下降、油耗增加等问题,而且多点电喷发动机可以采用顺序喷射,因此空燃比的控制比单点喷射更精确,可以根据正时进行喷油,对喷油量、喷油时刻进行精确控制,所以多点电喷发动机的排放性能更好,也更经济省油。

歧管喷射是目前的主流喷射方式,技术稳定,不过喷油嘴离燃烧室还有一段距离,加上喷射压力较低,有细微的燃油会附着在歧管壁形成油膜,需要通过高温传递才能重新汽化,



并且混合气体受进气气流和气门的影响较大,效率逐渐达到了瓶颈。此外,歧管喷射在冷机起动时无法保证所需的油气混合气,只能通过过量喷油来满足当前工况,造成燃油的浪费。不过还是有车厂愿意去研究一些方法,如日产的 DIS 双喷射系统(见图 1-44),这个双喷射系统在一个进气歧管布置两个喷油嘴,减小喷射细孔孔径的同时增加细孔的数量,日产表示这能让燃油经济性提高 4%。



图 1-44 DIS 双喷射系统

2) 缸内直喷

在对能源和环保要求日趋严格的今天,即使是多点燃油喷射这样的技术也不能满足人们的要求,于是更为精确的燃油喷射技术诞生,即缸内直喷技术。

缸内直喷就是将燃油喷嘴安装于气缸内,直接将燃油喷入气缸内与进气混合(见图 1-45)。喷射压力进一步提高,让喷射出的燃油颗粒直径更小,使燃油雾化更加细致,真正实现了精准地按比例控制喷油并与进气混合。同时,喷嘴位置、喷雾形状、进气气流控制,以及活塞顶形状等特别的设计,使油气能够在整个气缸内充分、均匀混合,从而降低了发动机的热损失,使燃油充分燃烧,能量转化效率更高;燃油蒸发吸收热量,能降低燃烧室温度,这样有助于提高压缩比。增大了输出功率并降低了燃油消耗,对于燃油经济性和动力性都有帮助。但缸内直喷分层燃烧带来的排放问题及油品适应性导致的积炭问题存在不足,且零部件的价格比传统供油系统昂贵许多。

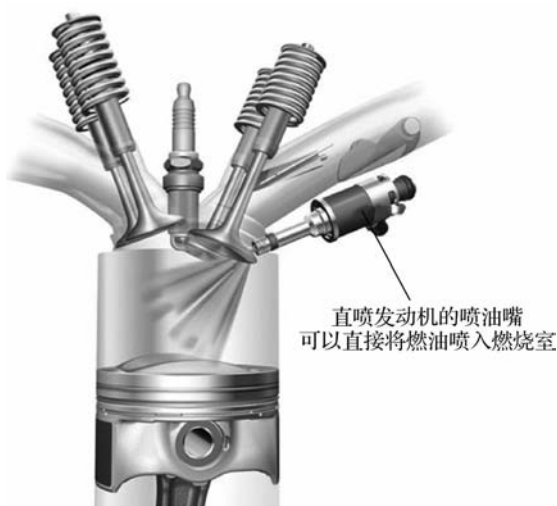


图 1-45 缸内直喷

3) 复合喷射

复合喷射系统有两套喷油系统,将发动机每次循环所需的燃油分为两部分进行喷射。如图 1-46 所示,一部分在进气歧管喷油进入气缸,该燃油与空气形成均质稀混合气并分布在整个燃烧室中;另一部分由缸内喷嘴直接喷入气缸,该燃油将火花塞附近的混合气适当加浓。两种方式结合在一起工作,兼顾了歧管喷射和缸内直喷的优点。

当点火区混合气浓度不能增加但需要增大负荷时,可以增加均质混合气的浓度,直到均质化学计量比达到最大为止,这样不会出现混合气过浓区;当需要减小负荷时,可以减少均质喷油量,也可以减少分层喷油量,从而在负荷很低时保证不会出现混合气过稀区,以避免生成过多的 HC。所以,在负荷由小到大直至满负荷时,都可避免出现过稀、过浓区,使排放性能得到改善。

利用复合喷射系统的高低压喷油器(见图 1-47),通过对主、辅喷油时刻及喷油脉宽的精确控制,在气缸内可形成准均质分层理论空燃比混合气,以满足发动机在各工况下对混合气的要求。复合喷油方式中的两次喷油量的分配比例对发动机的经济性影响显著。辅助喷油量决定着燃烧室内大范围均质混合气的浓度,该浓度在组织方法上应注重雾化蒸发效果,以使均质程度尽量高。主、辅喷油共同决定着火花塞周围混合气的浓度,所以两次喷油量的控制要相当精确。



图 1-46 复合喷射

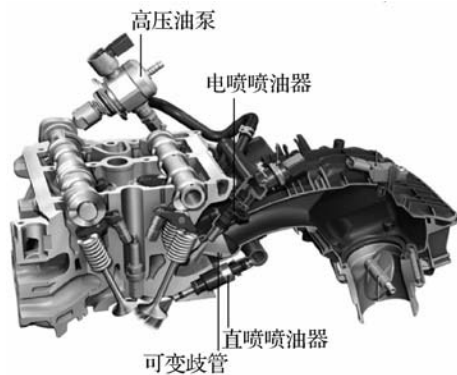


图 1-47 复合喷射系统的高低压喷油器

据相关研究表明,复合喷油方式能够实现目前最好的混合气形成状态,并且其排放能够满足最为严格的法规。冷起动/怠速/低负荷使用单歧管喷射,避免了缸内直喷在这种工况下燃烧效率低、容易积炭的问题;中等负荷时两套喷射系统协同工作,高负荷下则由缸内喷射完全接管。这样就发挥了两套喷射系统各自的优势,使各个转速下动力响应、燃油经济性都很好,而且对发动机运转的平顺性、防止积炭等多方面都有好处。

4) 油水混合喷射

宝马油水混合喷射技术通过向发动机进气歧管或气缸内喷射高压水雾,将水雾与空气混合后一起进入缸内燃烧。水雾在高温的情况下会立刻蒸发,从而降低发动机内部温度,减少发动机爆燃(不正常燃烧)和磨损,使发动机燃烧更充分,动力更强劲,节省燃料,降低排放。



宝马 M4 GTS 的水喷射系统称为 water injection system(WIS),整套系统需要与宝马 HPI 高精度缸内直喷系统配合工作。如图 1-48 所示,进气道中增加了喷水嘴,ECU 根据车辆行驶过程中的各种传感器参数判断发动机的工作情况,然后由发动机 ECU 计算得出最佳的喷水量和喷水压力。



图 1-48 油水混合喷射

该喷射系统先将精密计算后的定量的水雾化并喷射到进气道与空气进行预混合,由于水的比热容大,需要很大的热量才能蒸发,水蒸发时周围燃烧着的物质温度就会降低;然后混合空气随着进气行程进入气缸,高精度喷油器直接把定量的汽油喷射到气缸内,水比汽油密度大,因此喷入气缸内的水雾会被汽油分子包住,能增加汽油的燃烧面积。在点燃汽油的时刻,汽油其实是在和空气和水雾的混合气体进行反应并做功。汽化后的水分子带走了高热,降低了发动机的工作温度。如此也能有效减少发动机爆燃的可能性,且对于高性能车型来说,温度降低、爆燃情况减少后就可以把点火更为提前或者把增压值增大,对于性能上的输出更为直接。

2. 柴油机燃油喷射技术

柴油机电控高压燃油喷射系统目前主要有单体泵、泵喷嘴和共轨三种,在我国商用车柴油机上广泛采用单体泵和共轨两种。

理想的喷油系统应具有以下性能:高喷油压力(100 MPa 以上),且喷油压力可根据工况需要灵活调整,精确控制喷油定时、喷油量和喷油率。

1) 电控单体泵

电控单体泵是带时间控制的高压燃油喷射系统,用于直喷式柴油机。高压单体泵具有高达 205 MPa 的瞬时喷油压力、可变的喷油起点,并可采用预喷。该系统由燃油供给系统的低压部分和高压部分、电控单元和传感器等组成。单体泵是通过制成一体的电磁阀的高压柴油喷射系统来工作的。电磁阀触发的时刻燃油供油开始。

电磁阀触发时间长短决定喷油量大小。电控单体泵安装在每个缸体外部,直接由发动机凸轮轴上的喷油凸轮驱动。高压燃油由单体泵通过高压油管、高压短接管进入喷油器,然后喷入气缸内燃烧。由于这种布置对气缸盖结构变动不大,因此深受商用车和柴油机企业欢迎。国外如奔驰、道依茨、卡特彼勒等都采用单体泵,我国商用柴油机企业如大柴、玉柴、潍柴等也采用单体泵来满足发动机排放标准。

2) 电控高压共轨燃油喷射系统

电控高压共轨燃油喷射系统是建立在直喷技术、预喷技术和电控技术基础上的一种全新概念的喷油系统。它主要由高压泵、带压力传感器和调压阀的共轨管、电磁阀式或压电式喷油器、电控单元(ECU)和传感器组成。电控高压共轨燃油喷射系统目前已广泛应用于商用车柴油机,已发展到第四代。第一代采用喷油压力为 135 MPa 的电磁阀式喷油器;第二代采用喷油压力为 160 MPa 的电磁阀式喷油器;第三代采用喷油压力为 160~200 MPa 的压电式喷油器,其主要特点是以石英压电原理的执行器替代高速电磁阀打开喷油器针阀。

博世公司的石英压电式喷油器利用石英晶体在电场作用下伸长,使喷油器在 1/10 000 s 内做出动作响应,比高速电磁阀动作响应速度提高 1 倍,且其体积非常小,不存在任何摩擦,从而可实现更精准的喷油,有利于提高喷油的雾化质量,使预喷、主喷、后喷之间的时间间隔进一步缩短,从而对整个喷射过程实现更灵活的控制。西门子公司最早开发出压电式喷油器。

第四代采用喷油压力可达 250 MPa 的液力增压式喷油器,允许在喷油器针阀处产生非常高的喷油压力,更提高了燃油雾化质量,同时又使共轨管及共轨管通向喷油器的高压油管内油压保持相对较低(共轨压力只有 135 MPa)。博世公司在开发第四代共轨燃油喷射系统时,除喷油压力提高外,还为降低燃烧时 NO_x 的生成给出了新的喷油规律,允许喷油压力逐步上升,从而实现缸内平稳燃烧,保持缓慢的温度变化梯度和较低的 NO_x 生成,进而使混合气形成得以改善,有利于减少 PM 微粒的形成。

(1) 高压共轨燃油喷射系统的优点。

- ① 可实现高压喷射,最高可达 250 MPa。
- ② 喷射压力独立于发动机转速,可改善发动机的低速负荷特性。
- ③ 可实现预喷和后喷,实现理想喷油规律。
- ④ 喷油定时和喷油量可自由选定。
- ⑤ 具有良好的喷油特性,优化燃烧过程,使发动机油耗、烟度、噪声和排放等综合性能指标得到明显改善,有利于改进发动机的扭矩特性。
- ⑥ 结构简单、可靠性好、实用性强。

(2) 电控高压共轨燃油喷射系统的分类。电控高压共轨燃油喷射系统有共轨液压式、高压共轨式、液力增压式三种。

① 共轨液压式燃油喷射系统。共轨液压式燃油喷射系统由高压机油泵、共轨管机油压力调节阀、带电磁阀的喷油器、传感器、电控单元、输油泵等组成。系统分燃油和机油两条油路,其中机油为喷油器的控制油。高压机油泵将机油输送到高压共轨管。机油管路由低压油管和高压油管两部分组成。低压油管的压力为 0.3 MPa,其作用是由机油泵通过机油冷却器和机油滤清器将机油送到高压机油泵。高压机油泵将机油送到高压共轨管,其压力控制在 200 MPa,由电控单元控制共轨管机油压力调节阀进行压力调节,具体数值依据发动机性能需要调节。

该系统特点如下。

- a. 采用机油作为控制油,解决了柴油在热工况下黏度降低和热起困难问题。
- b. 因机油黏度较柴油要高,系统密封容易。
- c. 控制机油设有回油管路,完成控制作用后,机油回到缸盖上作为润滑油。



- d. 每个喷油过程电磁阀均需完成一次开关,电磁阀响应时间要求高。
- e. 与传统喷油泵相比,易于加工制造。
- f. 冷起动比较困难。

②高压共轨式燃油喷射系统。高压共轨式燃油喷射系统已获得广泛采用,博世、电装、西门子、大陆、德尔福、马瑞利等厂商都在生产。

高压共轨式燃油喷射系统喷油器的电磁阀已向压电式发展。随着共轨压力的提高,对共轨管的材质、加工精度等都有严格要求,博世公司的最大共轨压力为 200 MPa 的压电式喷油器也已正式投产。但进一步提高共轨压力出现难度,因此出现液力增压式共轨燃油喷射系统。

③液力增压式共轨燃油喷射系统。液力增压式共轨燃油喷射系统采用增压活塞,依靠增压作用来提高喷油压力,由共轨管内中等压力的燃油来推动增压活塞向喷油器提供高压油。其中,电磁阀控制液力增压式喷油器是系统中最重要部件。当电磁阀关闭时,共轨内燃油进入增压活塞上方,活塞下行。由于增压活塞直径与柱塞直径之比为 1:15,因此活塞下行时,增压活塞、喷油器针阀腔和针阀顶部的燃油压力可达 100~150 MPa。当电磁阀打开时,增压活塞上方卸压,活塞上行,则喷油器针阀顶部油压下降,而增压室中高压油使针阀抬起,实现高压喷油。

目前,液力增压式共轨燃油喷射系统喷射压力最高可达 250 MPa,而共轨管压力相对较低,只有 135 MPa,远小于高压共轨燃油喷射系统第三代(共轨管压力为 160~200 MPa)的燃油压力,对共轨管和密封要求相对较低。这是商用车柴油机高压燃油喷射系统的发展方向,可提高燃油雾化质量,降低燃油消耗和发动机排放。

(3)柴油机电控高压共轨燃油喷射技术涉及以下三种技术。

①电控技术。电控是指燃油喷射系统由柴油机 ECU 控制,ECU 对每个喷油器的喷油量、喷油时刻进行精确控制,使柴油机的燃油经济性和动力性达到最佳平衡。传统柴油机由机械控制,控制精度无法得到保障。

②高压技术。高压是指喷油系统压力比传统柴油机要高出 2 倍多。压力大、雾化好、燃烧充分,从而提高了动力性,最终达到节油的目的。

③共轨技术。共轨技术是指在高压油泵、压力传感器和 ECU 组成的闭环系统中,将喷射压力的产生和喷射过程彼此完全分开的一种供油方式。由高压油泵把高压燃油输送到共轨管,通过对共轨管内的油压实现精确控制,使高压油管压力大小与发动机的转速无关,可以大幅度减小柴油机供油压力随发动机转速的变化,使柴油机运转更加平顺,从而优化柴油机的综合性能。传统柴油机由各缸各自喷油,喷油量和压力不一样,运转不均匀,造成燃烧不平稳,噪声大,油耗高。

相关数据表明,采用高压共轨技术的柴油机,燃烧效率可达 45%,而汽油机的燃烧效率仅为 35%左右。德国联邦汽车运输管理局(KBA)对大量柴油机的测试表明,同排量共轨柴油机比汽油机节油 30%~35%;而与传统的柴油机相比,其又有着出色的舒适性和环保性。

3. 替代燃料

能源是人类生存和发展的重要物质基础,能源尤其是石油资源的匮乏、全球环境的恶化已成为当今世界发展的两大难题。为缓解我国石油资源匮乏和需求之间的矛盾,实现我国可持续发展的经济发展和环境保护,需要发展内燃机替代清洁燃料以部分取代石油基燃料

(汽油和柴油)。世界各国已相继研发出多种类型的替代燃料,大致有以下几种。

1) 醇类燃料

醇类燃料主要包括甲醇、乙醇,二者的来源广泛,制取方式十分多样。甲醇可以从天然气、煤炭和分类垃圾中制取,而乙醇则主要从含糖或淀粉的农作物中经发酵后制成。

甲醇燃料并非是 100% 的甲醇,而是由含量为 85% 的甲醇另加 15% 的添加剂制成。加入的添加剂可提高甲醇的燃烧性能,解决由于甲醇替代汽油燃料所产生的一系列问题。任何压缩比为 8 以上的车辆,不需要改动车辆的任何部件,只需将原车油路清洗干净,装上制好的甲醇燃料即可使用,其成本比汽油降低 1/3。

醇类燃料的辛烷值高,有利于提高发动机的动力性能和经济性能。高含氧量的醇类燃料也有利于燃料的完全燃烧,从而降低 CO 和 HC 的排放。在相同条件下,醇类燃料的燃烧速度高于普通燃油,燃烧的持续期较短,有利于提高热效率。醇类燃料的着火极限值比普通燃油高,使用也更加安全。

2) 气体燃料

气体燃料主要指天然气(NG)、液化石油气(LPG)、氢气燃料等。

NG 的辛烷值比汽油高得多,具有很好的抗爆性。作为一种清洁燃料,NG 和空气很容易均匀混合,从而减少高负荷时 CO、HC 和 NO_x 的排放量。NG 的自燃温度远高于汽油和柴油,自燃的可能性比汽油和柴油小得多,所以 NG 作为汽车燃料是十分安全的。

LPG 的汽化较为容易,与空气混合的均匀性大大优于汽油,有利于燃料的完全燃烧,从而降低排放。LPG 的辛烷值高,抗爆性能优于汽油,允许采用较高的压缩比,有利于提升发动机的动力性能和热效率。相关试验表明,采用电控顺序进气道气体喷射技术改造的 LPG 燃料汽车与汽油机汽车相比,CO 排放显著下降。

使用氢气作为燃料的汽车,需要一些辅助器件,如燃料罐、燃料泵、蓄冷器等。液态氢应以气体形态导向发动机,从罐中出来的液化氢进入蓄冷器,经过一系列处理后变为气态即可使用。液态氢必须在 -253 °C 的超低温条件下保存,所以技术难度大,很难在近期推广使用,同时成本也比汽油机汽车高。

上述三类替代燃料,能逐步减缓汽车对石油的依赖性,对于缓解我国石油资源供需之间的矛盾,实现我国长期可持续发展的经济发展和环境保护都是十分有利的。

二、双火花塞与燃烧新技术

1. 双火花塞

传统发动机的每一个缸有一支火花塞,每一支火花塞在高压电火花放电的瞬间点燃汽油和空气的混合气体。由于点火时间很短,燃油的能量无法充分释放出来,因而现代汽车逐渐引入双火花塞技术,如图 1-49 所示。双火花塞最早可追溯到第一次世界大战期间的一些飞机发动机上。

本田飞度的 i-DSI 发动机采用了双火花塞设计,即在半球形燃烧室两侧对称布置两个同型号火花塞,四缸机共有 8 个火花塞。从全称“智能双火花塞顺序点火系统”就很容易理解其功能。在气缸一个工作循环内有两次点火时间,第一次点火没有完全燃烧的油气,通过第二次点火更彻底地燃烧。运用这个原理,本田在一台低成本、非缸内直喷的发动机上实现了通常要用缸内直喷才能做到的分层燃烧效果。



图 1-49 双火花塞图示

双火花塞点火系统的优点如下。

(1)采用双火花塞点火后,混合气爆炸燃烧,急速形成较强烈的涡流,大幅度加快了火焰的传播速度,同时火焰传播距离理论上缩短了 $1/2$,燃烧所用的时间也相应缩短,大幅度提高了热量利用率。

(2)由于燃烧时间缩短,最大扭矩的点火提前角可以推迟。因此,点火时燃烧室混合气的温度和压力都较高,有利于点火和迅速燃烧。

(3)燃烧室内的混合气在空间和时间上都是不均匀的,因此存在电火花点火的失火率问题(没点着),而两个火花塞同时点火,可使失火率降低 50% 。在稀薄燃烧发动机中,利用双火花塞的高能点火也是有利的。

(4)两个火花塞可实现更稳定的燃烧。

上述四个优点带来的结果,就是使提高发动机的效率成为可能,主要表现在燃料消耗量的减少上。发动机的油耗和排放大幅度降低。

2. 燃烧新技术

如图 1-50 所示,发动机燃烧模式分为分层燃烧、均质稀燃和均质燃烧。

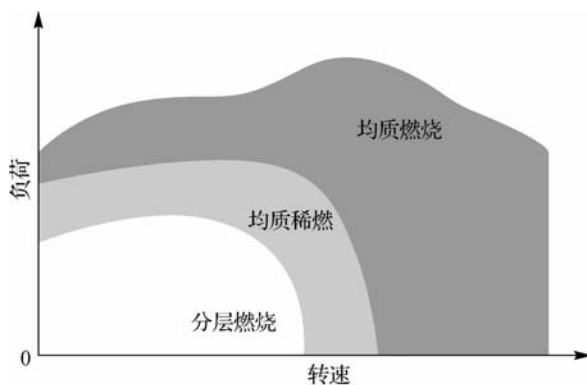


图 1-50 发动机燃烧模式分类

1) 分层燃烧

分层燃烧的好处在于热效率高、节流损失少、有限的燃料尽可能多地转化成工作能量。分层燃烧模式下节气门不完全打开,保证进气管内有一定真空度(可以控制废气再循环和碳

罐等装置)。这时,发动机的扭矩大小取决于喷油量,与进气量和点火提前角关系不大。

分层燃烧模式在进气过程中节气门开度相对较大,减少了一部分节流损失。进气过程中的关键是进气歧管中安置一翻板,翻板向上开启(原理性质,实际机型可能有所不同)封住下进气歧管,让进气加速通过,与 ω 形活塞顶配合,形成进气涡旋。

分层燃烧时喷油时间在上止点前 60° 至上止点前 45° ,喷射时刻对混合气的形成有很大影响,燃油被喷射在活塞顶的凹坑内,喷出的燃油与涡旋进气结合形成混合气。混合气形成发生在曲轴转角 $40^\circ\sim 50^\circ$ 范围内,如果小于这个范围,混合气无法点燃,若大于这个范围就变成均质状态了。分层燃烧的空燃比一般为 $1.6\sim 3$ 。

点火时,只有火花塞周围混合状态较好的气体被点燃,这时周围的新鲜空气及来自废气再循环的气体形成了很好的隔热保护,减少了缸臂散热,提升了热效率。点火时刻的控制也很重要,它只在压缩过程終了的一个很窄的范围内。

2) 均质稀燃

均质稀燃是指通过提高发动机内混合气的空燃比,让混合气在空燃比大于理论值的状态下燃烧。均质稀燃技术的特点是燃烧效率高,经济、环保,同时可以提升发动机的功率输出。因为在稀薄燃烧的条件下,由于混合气点火比理论空燃比条件困难,爆燃也就不容易发生,因此可以采用较高的压缩比设计提高热能转换效率,再加上汽油能在过量的空气里充分燃烧,所以在这些条件的支持下能尽可能获取汽油的所有能量。

采用均质稀燃时可以采用较高压缩比,有利于热效率的提高。稀燃发动机一般不受高负荷时爆燃极限的限制。不用节气门或是小节流,会大大减小泵吸损失,特别有利于改进部分负荷性能。随着空燃比的增加,由于采用稀混合气使燃烧温度降低, NO_x 的排放明显减少,同时燃烧产物中的氧成分有利于HC和CO的氧化,因此,HC和CO的排放也减小。

根据均质稀燃发动机的运转状态,在分层稀薄燃烧到均质理论空燃比燃烧过程中,空燃比连续变化。因此,三元催化器不能够净化排放气体中的 NO_x 。这是因为三元催化器要利用排气中的HC或CO进行 NO_x 还原反应。在稀薄燃烧中,在排放气体中残留很多氧气,不能进行 NO_x 还原反应。同时,稀燃发动机对燃油品质的要求也比较高,喷射器制造精度和成本较高。

3) 均质燃烧

均质燃烧模式混合气形成时间长,燃烧均匀,通过精确控制喷油,可以达到较低的混合气浓度。均质燃烧的点火时间选择范围宽泛,有很好的燃油经济性。

均质燃烧与分层燃烧的进气过程相同,油气混合时间加长,形成均质混合气。燃烧发生在整个燃烧室内,对点火时间的要求没有分层燃烧那么严格。

均质燃烧能充分发挥动态响应好、扭矩和功率高的特点。均质燃烧进气过程中节气门位置由油门踏板决定,进气歧管中的翻板位置视不同情况而定。中等负荷时,翻板依然是关闭的,有利于形成强烈的进气旋流,利于混合气的形成与雾化。高速大负荷时,翻板打开,增大进气量,让更多的空气参与燃烧。均质燃烧的喷油、混合气形成与燃烧和均质稀燃模式基本一样。

奥迪在全球发布的FSI发动机都采用均质燃烧模式,但这不代表分层燃烧不可实现,而只是说分层燃烧实施的时机还不成熟。这主要是因为分层燃烧用稀混合气,提高了缸内温



度,也提高了 NO_x 等有害排放物。对于稀混合气,普通的三元催化转化器很难把 NO_x 转换干净,这就需要额外地增加 NO_x 的催化转化器,加重了空间和成本的负担。另外,现阶段高硫含量的汽油对催化器损害很大,因此还有改造炼油设备、提升燃油品质的成本。

马自达在2018年推出第二代创驰蓝天汽油发动机,新发动机油耗表现比第一代产品提升约30%。燃效提升的关键是新一代汽油发动机上采用的均质压燃(homogeneous charge compression ignition, HCCI)技术,该技术可压缩汽油混合气使其燃烧,而过去压燃一直是柴油发动机所采用的点火方式。虽然各大厂商都在研究HCCI技术,但基本处于闭门造车阶段,技术细节也较少披露。只有马自达在持续发布关于该项技术的进展,甚至连第三代产品的技术方向也已经确定,目标是实现与混动系统相同的油耗。

第四节 排放新技术

知识目标

- 理解混动/插电式动力系统对传统排放技术的替代路径;
- 对比柴油机与非道路机械排放法规的技术适配性要求。

技能目标

- 掌握车载诊断系统故障码解析技术;
- 制定混动系统发动机启停策略,减少城市工况下的冷启动排放。

素养目标

- 树立“全生命周期排放控制”理念;
- 反思柴油机技术路线争议(如“排放门”事件),强化工程伦理意识;
- 关注法规与技术的动态变化。

汽车工业的快速发展和汽车保有量的快速增长,给日常生活带来便利的同时,对空气的污染也越来越严重,极大地破坏了生态环境。特别是近年来汽车尾气污染的日益严重引起的全国性的雾霾现象,给人们的身心健康造成极大伤害,引发人们对环境保护的关注。因此,减少汽车尾气污染物排放,有效控制机动车污染物排放总量,使城市空气质量得到有效改善具有重要意义。

现代汽车采取了多种排放控制系统来减少汽车的排放污染,主要从两个方面入手:一是减少有害气体的生成,主要有燃油蒸气排放(EVAP)控制系统、废气再循环控制(EGR)系统和氧传感器(HO_2S)(提高燃油质量);另一方面是清除已经产生的有害气体,主要有三元催化转化器(TWC)和二次空气喷射控制系统等。

一、汽车尾气的危害

汽车发动机排入大气中的废气中含有 150~200 种不同的化合物,有害气体成分主要是一氧化碳(CO)、碳氢化合物(HC)、氮氧化物(NO_x)、二氧化硫(SO_2)、烟尘微粒 PM(某些重金属化合物、铅化合物、黑烟及油雾)、臭气(甲醛等)。它们都是发动机在燃烧做功过程中产生的有害气体。CO 是燃油氧化不完全的中间产物,混合气浓度大及混合气不均匀都会使排气中的 CO 含量增加。CO 经呼吸道进入血液循环系统,与血红蛋白亲和后生成碳氧血红蛋白,从而削弱血液向各组织输送氧的功能,危害中枢神经系统,造成人的感觉、反应、理解、记忆力等机能障碍,重者危害血液循环系统,导致生命危险。HC 是燃料中未燃烧的物质,由于混合气不均匀、燃烧室壁冷等原因造成部分燃油未来得及燃烧就被排放出去。 NO_x 是燃料(汽油)在燃烧过程中产生的一类物质,它们都是对人体有害的气体,特别是对呼吸系统有危害。PM 也是燃油燃烧时缺氧产生的一种物质,其中以柴油机最明显,固体悬浮颗粒随呼吸进入人体,以碰撞、扩散、沉积等方式滞留在呼吸道的不同部位,引发呼吸系统疾病。醛类对人体最突出的危害是刺激眼睛和上呼吸道黏膜,引起眼睛红肿和咽喉炎。

二、汽车排放法规

世界各国早在 20 世纪六七十年代就对汽车尾气排放建立了相应的法规制度,通过严格的法规推动了汽车排放控制技术的进步,而随着汽车排放控制技术的不断进步,又使更高标准法规的制定成为可能。

1. 欧洲排放标准

欧洲排放标准是由欧洲经济委员会(ECE)的排放法规和欧共同体(EEC)的排放指令共同加以实现的,欧共同体(EEC)是欧盟(EU)的前身。排放法规由 ECE 参与国自愿认可,排放指令是 EEC 或 EU 参与国强制实施的。欧洲从 1992 年开始实施欧 I,1996 年开始实施欧 II,2000 年开始实施欧 III,2005 年开始实施欧 IV,2009 年开始实施欧 V,2014 年起实施欧 VI。

2. 美国排放标准

在美国,国家层面的排放标准由美国国家环境保护局(EPA)制定。州和地方政府可以申请豁免,以制定更严格的规定。由于其早前存在排放标准,且洛杉矶市区空气污染问题尤其严重,美国加利福尼亚州公布自己的更为严格的汽车排放标准。加利福尼亚州的排放法规发展主要历程如下。

1959 年,开始控制汽油车 CO 和 HC 尾气排放,制定了尾气质量标准。

1961 年,强制执行排放控制。

1963 年,美国政府颁布《大气净化法》,当年,加州开始控制曲轴箱燃油蒸发物排放。

1966 年,首次制定有关 HC 和 CO 的废气排放标准。

1988 年,要求从 1994 年开始生产的汽车装备汽车诊断仪,监测汽车排放。

1994 年,加州制定的低污染汽车排放法规,将轻型车分为过渡低排放车(TLEV)、低排放车(LEV)、超低排放车(ULEV)、高级超低排放车(SULEV)和零排放车(ZEV)。

2012 年,颁布 LEV III 排放标准,并从 2015 年开始实施。

欧 VI 标准和美国排放标准有很多相似之处,如都强制柴油车使用 DPF(颗粒捕集器)。两者之间也有不同之处,如欧洲标准有 PN(颗粒物数量)的要求。



中国对治理汽车尾气排放造成的城市环境污染非常重视,国家环保部门和汽车企业正在加速推进国六的达标工作,控制汽车尾气污染的排放已是环保部门、汽车生产厂家及社会各界的一项迫在眉睫、刻不容缓的责任。

3. 中国排放标准

中国排放标准是根据我国具体情况制定的国家标准。欧标略高于国标。

与欧美国家相比,我国汽车尾气排放法规起步较晚、水平较低。根据我国的实际情况,从20世纪80年代初期开始采取先易后难分阶段实施的具体方案,其具体实施至今主要分为四个阶段,也就是我们常说的国一、国二、国三和国四。

2017年1月1日开始,全国范围内全部执行“国五”标准。2020年开始实施被称为“国六”的最新尾气排放标准。“国六”标准相当于欧洲2015年正式实施的世界最严环保标准“欧VI”,尾气中氮氧化物(NO_x)和颗粒物(PM)等污染物大幅度减少。“国六”标准是基于国际标准制定的,在排除工况和测试影响的情况下,整体排放标准相比“国五”的具体变化如下。

- (1)汽油车的一氧化碳排放量降低50%。
- (2)总碳氢化合物和非甲烷总烃排放量下降50%。
- (3)氮氧化物排放降低42%。

随着汽车排放标准的逐步提升,我们的生活环境将变得更加美好。

三、汽油发动机排放新技术

汽油发动机排放新技术分为机前净化技术、机内净化技术和机外净化技术。

1. 机前净化技术

机前净化技术主要是通过提高燃油品质、使用代用燃料、发展新能源汽车等,减少污染物的产生和排放。

1) 提高燃油品质

目前,国内在用汽车排放污染所面临的主要问题不是发动机性能问题,而是燃油质量跟不上发动机技术发展的的问题,因此,提高燃油品质是解决当前我国发动机与燃油之间矛盾的当务之急。如果汽车使用了不符合标准的燃油,会造成燃料消耗和尾气排放增加,还会损坏汽车排放控制系统。

2013年年初,北京、郑州等地爆发的大规模雾霾,给广大市民的日常出行、身体健康、生产生活造成了极大的损害。这种严重环境污染产生的一个重要原因即是燃油中有害成分不完全燃烧。我国燃油质量普遍不高,国际先进发动机技术未能及时引进实行,是导致汽车排放量不能有效减少的一个重要原因。燃油品质对环境和发动机的具体影响如下。

(1)燃油中的水及杂质。燃油中水的含量过高将影响燃油的热效率,同时会加速油品质量的氧化变质。杂质会阻塞过滤器、喷油嘴,损坏燃油泵等精密配件,严重时导致车辆熄火,出现安全事故;增加汽车系统磨损,增大有害尾气的排放。

(2)燃油中的硫含量。硫化物在燃烧后生成的二氧化硫和三氧化硫排放到大气中生成强腐蚀性物质,严重污染环境,同时会腐蚀汽车的发动机及曲轴箱等部件,对环境和发动机造成恶劣影响。降低燃油硫含量成为燃油产品升级的重要指标。

(3)燃油中的芳香烃和苯。芳香烃作为一种具有较高辛烷值和高热值的汽油调和剂,常常被添加到各种燃油中,但芳香烃经过燃烧后会产生致癌物——苯,而苯是一种可燃的有毒

物质,自然挥发及未燃烧完全的苯会随着尾气排放进入大气,给环境和人体健康造成严重影响。同时,芳香烃含量的增加直接导致发动机沉积物的增加。

(4)燃油中的烯烃。烯烃不稳定,受热或遇水等情况下容易聚合,生成高分子化合物,聚集在气门、喷油嘴、气缸壁、油路管线等部位,从而影响发动机性能的发挥。

(5)燃油抗爆剂。辛烷值表征燃油的抗爆性,而提高燃油辛烷值除了改善炼制工艺外,也可以通过人为调入高抗爆组分。抗爆剂种类繁多,如金属类的锰、铁、铅等。但是,抗爆剂的过量使用对发动机有害,特别是对催化转化器及火花塞造成危害。

(6)燃油中的非常规有害成分。燃油中的氯元素、硫元素、金属元素铅等,经不完全燃烧后排放到大气中,对大气、水源和土壤等造成污染,并危害人身健康,还会对发动机相关部件特别是三元催化转化器造成较大影响。世界燃油规范明确规定燃油中不得含有硅,这是因为燃油中硅含量即使很低也会导致氧传感器失效,同时在发动机中和催化转化器上产生大量沉积物,这种燃油在不超过一箱油的范围内就可使发动机的催化系统失效。2012年年初,江苏省太仓市数千辆汽车在加油后出现加油熄火、排气管生锈、不明液体流出等情况。经检测,事故所涉燃油中氯和硅的含量严重超标,其中氯的含量竟然超过美国标准6 000多倍。同一时期,云贵地区也发生多起汽车发动机积炭过多、加油熄火等事故,也被检测出燃油中含有大量硅。柴油中含有硅会加剧柴油机的高压油泵、喷油器、喷油嘴等喷油设备的磨损,加剧气缸、活塞和活塞环等气缸密封件的磨损程度。

评价燃油品质好坏可以参考燃油的相关国家标准,有时燃油品质符合国家标准要求,但是其使用性能不能满足车辆的实际使用要求,或满足不了国家现行尾气排放标准。要看到燃油质量符合现行产品标准要求,而由于汽车本身的故障也时常造成燃料消耗过大、排放不达标等情况。

2) 使用代用燃料

使用代用燃料是目前降低汽车排放的一条重要途径。代用燃料必须储量或原料丰富,能满足汽车的大量需求;能量密度高,保证汽车有足够的续驶里程;污染环境少;价格低廉,比使用汽油或柴油更经济;使用安全,运输、储存方便。目前,汽车使用较多的代用燃料有醇类(甲醇、乙醇)、液化石油气和天然气。使用这些代用燃料不需要对汽车做出太大改动,且有一定的使用经验,技术比较成熟。生物燃料也是未来具有发展前途的代用燃料。

3) 发展新能源汽车

新能源汽车以纯电动汽车、混合动力电动汽车、燃料电池电动汽车为主,目前面临的主要问题是提高蓄电池的性能和驱动技术,以及电动汽车的安全性。从目前的市场形势看,混合动力电动汽车和纯电动汽车已经产业化,国家和地方政府制定了各种优惠政策,鼓励使用新能源汽车。通过节能与新能源汽车的广泛使用,能够有效减少汽车排放污染,对促进大气环境质量的可持续发展具有重要意义。

电动汽车以蓄电池为驱动,在运行时几乎没有尾气排放。但电动汽车消耗的电能如果来自燃煤发电,则火电厂由此增加的废气排放属于电动汽车间接排放的废气。要真正实现零排放,电动汽车的电能应来自太阳能、风能等清洁能源。

2. 机内净化技术

1) 燃油蒸气排放(EVAP)控制系统



燃油蒸气排放控制系统能防止燃油管内的燃油蒸气泄漏到大气中污染环境,同时收集汽油蒸气并适时送入进气管,与空气混合后进入发动机燃烧,提高燃油经济性。

如图 1-51 所示,燃油蒸气排放控制系统主要由蒸气回收罐(活性炭罐)、控制电磁阀、蒸气分离阀(图中未标出)及相应的蒸气管道和真空软管等组成。蒸气分离阀安装在油箱的顶部,油箱内的汽油蒸气从该阀出口经管道进入蒸气回收罐。蒸气分离阀的作用是防止汽车翻倾时油箱内的燃油从蒸气管道中漏出。蒸气回收罐内充满了活性炭颗粒,故又称为活性炭罐。活性炭可以吸附汽油蒸气中的汽油分子。当油箱内的汽油蒸气经蒸气管道进入蒸气回收罐时,蒸气中的汽油分子便被活性炭吸附。

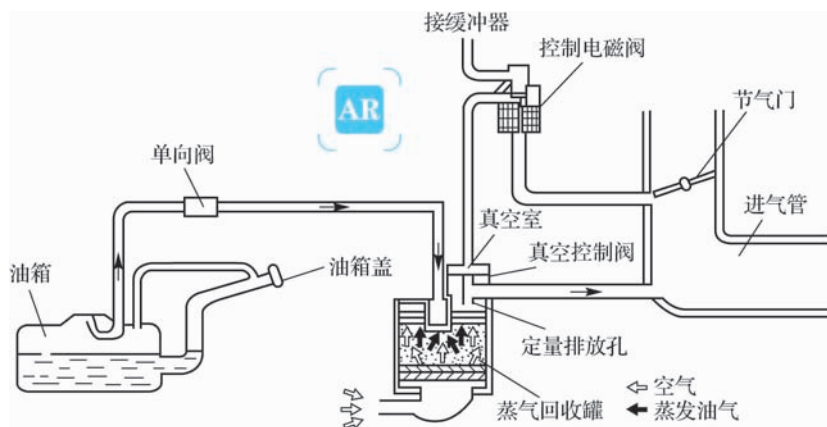


图 1-51 燃油蒸气排放控制系统的组成

蒸气回收罐上方的另一个出口经真空软管与发动机进气歧管相通。软管中部有一个电磁阀控制管路的通断。当发动机运转时,如果电磁阀开启,则在进气歧管真空吸力的作用下,新鲜空气将从蒸气回收罐下方进入,经过活性炭后再从蒸气回收罐的出口进入发动机进气歧管,把吸附在活性炭上的汽油分子(重新蒸发的)送入发动机燃烧,使之得到充分利用;蒸气回收罐内的活性炭则随之恢复吸附能力,不会因使用太久而失效。

进入进气歧管的回收燃油蒸气量必须加以控制,以防破坏正常的混合气成分。这一控制过程由 ECU 根据发动机的水温、转速、节气门开度等运行参数,通过操纵控制电磁阀的开、闭来实现。在发动机停机或怠速运转时,ECU 控制电磁阀关闭,从油箱中逸出的燃油蒸气被蒸气回收罐中的活性炭吸收控制,此时燃油蒸气不能进入进气歧管。当发动机以中、高速运转时,ECU 使电磁阀开启,储存在蒸气回收罐内的汽油蒸气经过真空软管后被吸入发动机。此时,因为发动机的进气量较大,少量的燃油蒸气不会影响混合气的成分。

2) 曲轴箱通风系统

在发动机工作时,燃烧室的高压可燃混合气和已燃气体,或多或少会通过活塞组与气缸之间的间隙漏入曲轴箱内,造成窜气。窜气的成分为未燃的燃油气、水蒸气和废气等,这会稀释机油,降低机油的使用性能,加速机油的氧化变质。水汽凝结在机油中,会形成油泥,阻塞油路;废气中的酸性气体混入润滑系统,会导致发动机零件的腐蚀和加速磨损;窜气还会使曲轴箱的压力过高而破坏曲轴箱的密封,使机油渗漏流失。

为满足日益严格的排放要求和提高经济性,防止曲轴箱压力过高,延长机油使用期限,



减少零件磨损和腐蚀,防止发动机漏油,汽车发动机都有曲轴箱通风系统设计,以便及时将进入曲轴箱内的混合气和废气抽出,使新鲜气体进入曲轴箱,形成不断的对流。

曲轴箱通风包括自然通风和强制通风。如图 1-52 所示,自然通风是将曲轴箱内的混合气直接导入大气,容易对环境造成破坏;强制通风将曲轴箱抽出的混合气通过连接管导入发动机的进气管,吸人气缸再燃烧,这样既可以减少排气污染,又提高了发动机的经济性。因而现在发动机均采用强制通风。

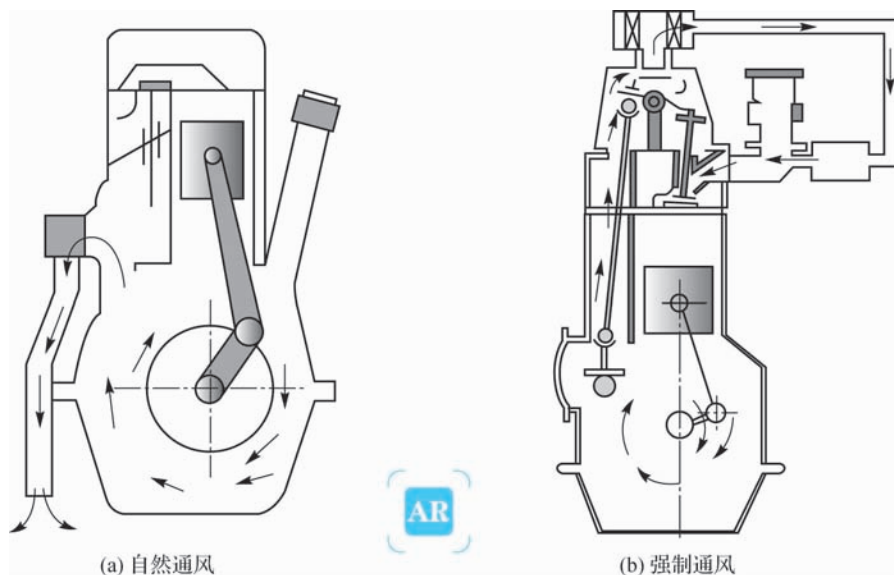


图 1-52 曲轴箱自然通风和强制通风

曲轴箱强制通风系统在进气歧管与曲轴箱之间加装 PCV 阀和通风管道(见图 1-53)。当 PCV 阀开启时,在进气真空作用下,曲轴箱内气体通过 PCV 阀被吸入进气系统中与新鲜空气一起进入燃烧室燃烧。

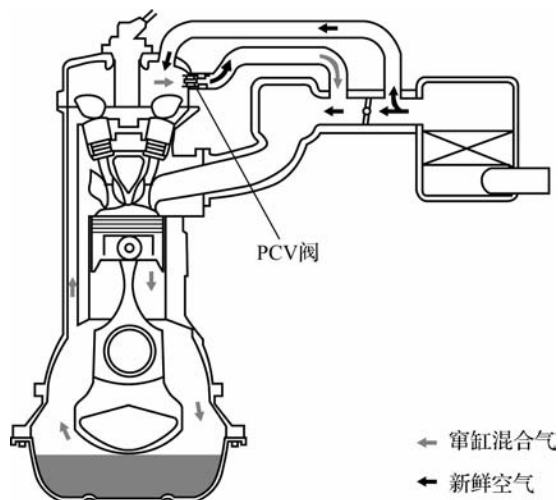


图 1-53 曲轴箱强制通风系统的原理



曲轴箱强制通风系统的关键部件是 PCV 阀,如图 1-54 所示,发动机工况不同,PCV 阀的开度也不一样,通过的气体容量自然不同。一般情况下,PCV 阀的开度在发动机中等功率下达到最大,而发动机怠速和大负荷情况下,PCV 阀的开度较小。

3) 废气再循环系统

废气再循环(exhaust gas recirculation,EGR)技术在 20 世纪 70 年代便被国外使用,不过当时并不能很好地控制吸入的排气量,对发动机性能和经济性都有很大影响。直到 90 年代,与目前类似的 EGR 系统率先在柴油机上使用,有效解决了柴油机的排放问题,现在已经在很多汽油车中普及。

EGR 系统将排气管中 10%~20% 的废气引入进气管,和新鲜混合气一起进入燃烧室,气缸吸入的废气不能燃烧,降低了气缸的最高温度和氧气浓度,废气中的水蒸气和二氧化碳比热容大,可以降低气缸内的燃烧温度从而减少 NO_x 的排放。

如图 1-55 所示,EGR 系统主要由 EGR 控制阀、EGR 电磁阀等元件组成。

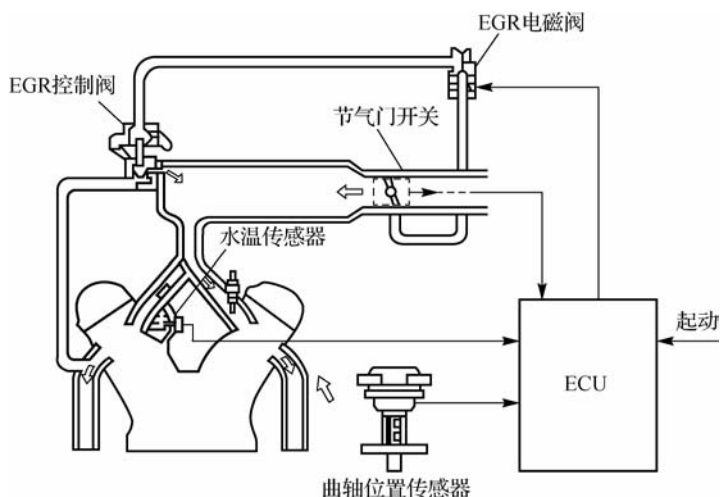


图 1-55 EGR 系统的组成

EGR 系统的工作过程如图 1-56 所示。ECU 根据点火开关、曲轴位置传感器、节气门位置传感器和冷却液温度传感器等的输入信号判定发动机运转工况,并对 EGR 电磁阀通电或断电。

当 ECU 对 EGR 电磁阀通电时,EGR 电磁阀开启,使 EGR 控制阀打开,部分废气经废气再循环通道进入进气歧管与可燃混合气一起进入燃烧室。汽车废气是一种不可燃气体(不含燃料和氧化剂),在燃烧室内不参与燃烧。它通过吸收燃烧产生的部分热量来降低燃烧温度和压力,以减少 NO_x 的生成量。进入燃烧室的废气量随着发动机转速和负荷的增加而增加。当 ECU 对 EGR 电磁阀断电时,电磁阀关闭,EGR 控制阀关闭,不进行废气再循环。

当发动机处于以下工况时取消废气再循环:起动状态;发动机温度低于 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$;发动机在怠速工况;发动机低速、小负荷运转(转速低于 $1\ 000\ \text{r}/\text{min}$);发动机高速运转(转速高于 $4\ 500\ \text{r}/\text{min}$);急加速或急减速工况。

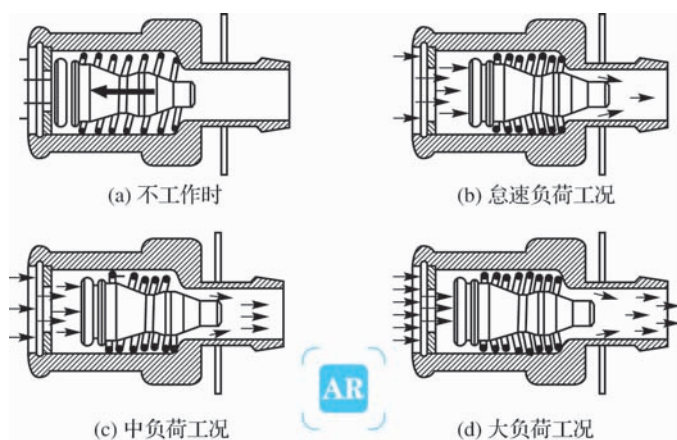


图 1-54 不同工况 PCV 阀的开度情况

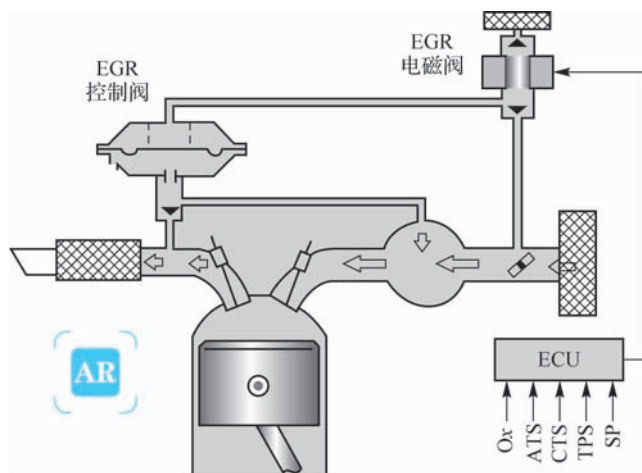


图 1-56 EGR 系统的工作过程

3. 机外净化技术

1) 三元催化转化器(TWC)

带有氧传感器的三元催化转化器是汽车排放控制方面最重要的发明之一,它是在环保技术专家斯蒂芬·沃尔曼(Stephen Wallman)的领导下,由沃尔沃汽车公司在 20 世纪 70 年代初开发的。如图 1-57 所示,用三元催化转化器可降低所排废气中的三种主要污染物(HC、CO 和 NO_x),将其转化成对环境无害的 CO_2 、 N_2 和 H_2O 。

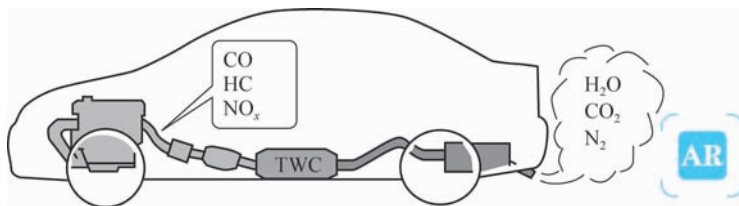


图 1-57 三元催化转化器的作用



三元催化转化器由金属壳体、隔热减振衬垫、催化剂及其载体组成(见图 1-58)。其中,催化剂含有铂、铑等贵金属,在一定条件下与尾气发生化学反应,可除去 HC、CO 和 NO_x 三种主要污染物。

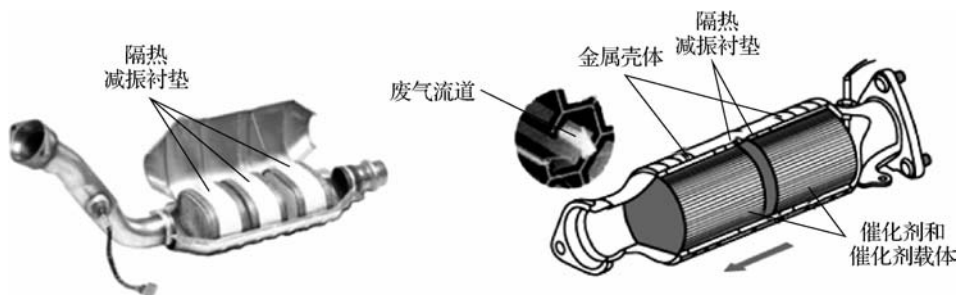


图 1-58 三元催化转化器的结构

三元催化转化器的转化效率与混合气浓度的关系曲线如图 1-59 所示,只有在理论空燃比 14.7 : 1 附近很窄的范围内,三元催化转化器的转化效率才能达到最高。

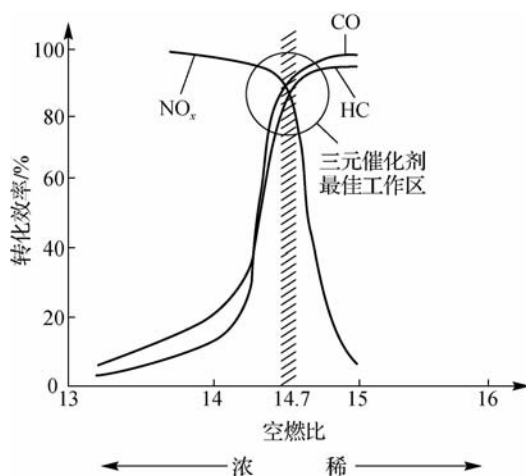


图 1-59 三元催化转化器的转换效率与混合气浓度的关系曲线

为了保证三元催化转化器的转化效率最高,要求氧传感器的工作必须正常,从而保证空燃比在理论范围内。氧传感器(HO_2S)安装在排气管上,通常在三元催化转化器前后各安装一个,分别称为上游、下游氧传感器,或前、后氧传感器(见图 1-60)。其作用是通过检测废气中氧的含量,间接检测混合气浓度,修正混合气浓度,提高燃油经济性,降低排放污染,提高三元催化转化器的工作效率。

当含有 CO 和 HC 的废气通过三元催化转化器时,铂催化剂便触发氧化(燃烧)过程,HC 和 CO 与转化器中的氧结合生成 H_2O 和 CO_2 ,氧化过程对 NO_x 排放没有影响。

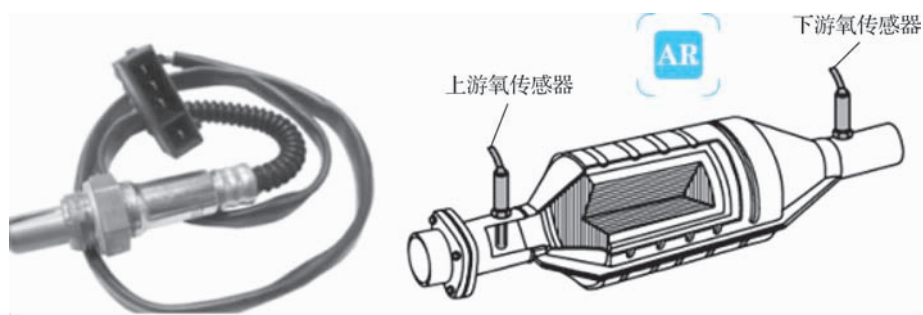


图 1-60 氧传感器

为了减少 NO_x 的含量,需要进行还原反应。还原反应是去掉物质中的氧原子。在三元催化转化器中,铈被用作催化剂,将 NO_x 分解为氮和氧。

这些氧化反应和还原反应只有在温度达到 $250\text{ }^\circ\text{C}$ 时才开始进行,催化剂是利用排气的热量激发的,其使用温度范围是 $300\sim 815\text{ }^\circ\text{C}$,发动机启动预热 5 min 后才能达到此温度。催化剂一旦工作,载体便因反应放热而自动保持高温。如果汽油或润滑油添加剂选用不当,如使用了含铅的燃油添加剂或硫、磷、锌含量超标的机油添加剂,会使磷、铅等物质覆盖于三元催化转化器的催化层表面,阻止废气中的有害成分与之接触而失去催化作用。

2) 二次空气喷射系统

二次空气喷射系统在一定工况下,将新鲜空气送入三元催化转化器前的排气管,促使废气中的 CO 和 HC 进一步氧化,从而降低 CO 和 HC 的排放量,同时加快三元催化转化器升温,使发动机尽快进入空燃比闭环控制过程,从而改善发动机的工作性能,如图 1-61 所示。

二次空气喷射系统按照结构和工作原理的不同可以分为空气泵型和脉冲型两种。

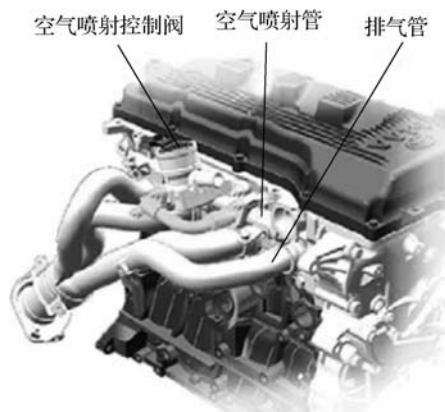


图 1-61 二次空气喷射系统

(1) 空气泵型二次空气喷射系统。如图 1-62 所示,空气泵型二次空气喷射系统由电子空气泵、分流阀、空气滤清器和空气喷射控制阀等组成。

当发动机工作时,通过曲轴传动带带动电子空气泵运转,泵送量大而压力较低的空气流通过软管进入分流阀。正常情况下,分流阀上阀门开启,空气流经分流阀进入空气喷射歧管。空气喷射歧管将空气流喷入发动机排气孔或排气歧管,与排气中的 HC 、 CO 反应,使其进一步转化成 CO_2 和 H_2O ,以减少排气污染。

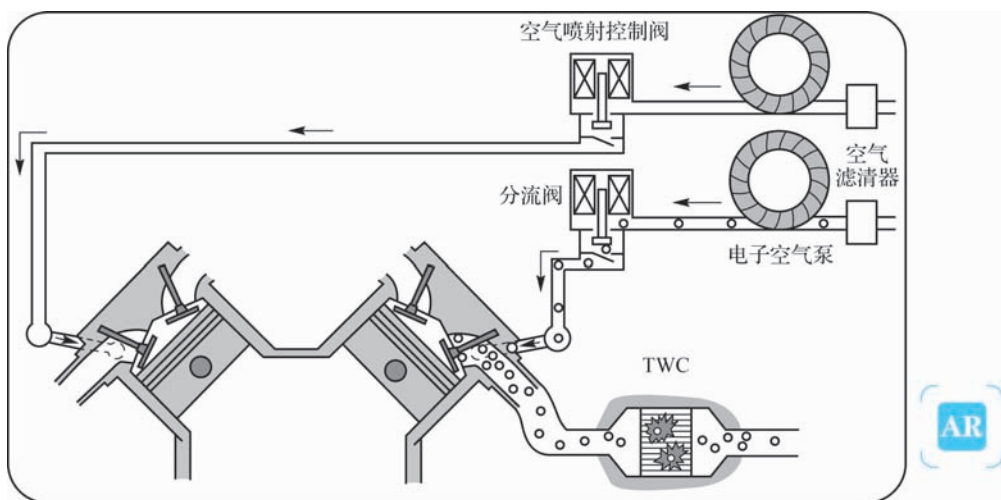


图 1-62 空气泵型二次空气喷射系统

(2)脉冲型二次空气喷射系统。脉冲型二次空气喷射系统也称吸气器型二次空气喷射系统。该系统不是应用空气泵泵送空气进入喷射歧管,而是应用排气压力的脉冲将新鲜空气吸入排气系统。研究发现,每次排气门关闭时,都会有一个很短的时间周期,在该时间周期内,排气孔和排气歧管内的气压都低于大气压力,也就是说产生了一个负压(真空)脉冲。利用这个真空脉冲,经空气滤清器吸入一定量空气进入排气歧管,用这部分空气中的氧去氧化排气中的 HC 和 CO。如果该车还装有催化式排气净化器,也可以用这部分空气去供应催化式排气净化器对氧的需要。这就是脉冲型二次空气喷射系统的工作原理(见图 1-63)。

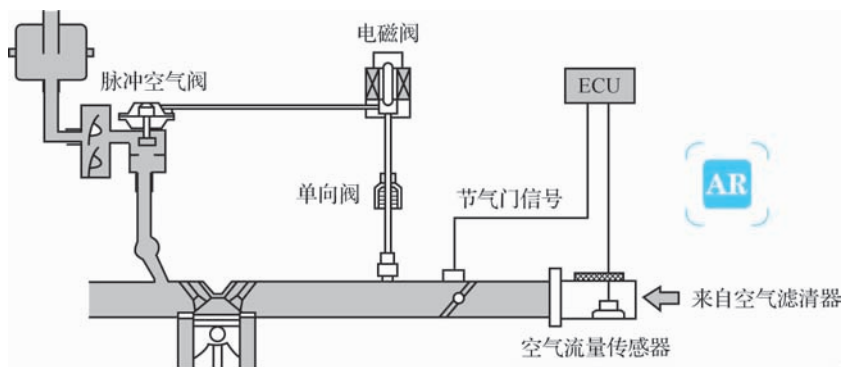


图 1-63 脉冲型二次空气喷射系统的工作原理

同空气泵型二次空气喷射系统相比,脉冲型二次空气喷射系统无须动力源注入空气,而是依靠大气压与废气真空脉冲之间的压力差使空气进入排气歧管,减少了成本及功率消耗。

四、柴油发动机排放后处理技术

柴油发动机燃烧柴油后喷出的尾气中含有上百种不同的化合物,这种气体排放物气味怪异,令人头昏、恶心,影响人的身体健康。世界卫生组织(WHO)专家认定柴油发动机尾气

与石棉、砒霜等物质一样,具有高度致癌性。柴油发动机尾气排放因大众公司的“尾气门”事件,更是引发全球的密切关注。随着环保法规的日趋严格,柴油机尾气污染物对环境的污染和对人体健康的危害越来越受到人们的重视。

柴油机主要排放物为PM(颗粒状物质)和 NO_x ,而CO和HC排放量较低。控制柴油机尾气排放主要是控制PM和 NO_x 生成,降低PM和 NO_x 的直接排放。柴油机排放控制的难点是 NO_x 和PM之间的矛盾性。由于 NO_x 和PM在生成机理上存在此消彼长的关系,通过机内改良技术努力减少其一,将会导致另一污染物的增加,还会影响燃油消耗和发动机动力性能。

对降低PM排放而言,主要是通过安装在排气管上安装各种颗粒捕集器、颗粒净化器等机外净化装置。对降低 NO_x 来说,由于柴油机的燃烧过程属于富氧燃烧,所以无法采用汽油机所用的在排气管上安装三元催化转化器加上氧传感器那样的反馈控制系统来降低包括 NO_x 在内的废气中有害气体的排放。

柴油机主要是通过提高喷油压力、调整喷油规律、增压及增压中冷、合理组织进排气等手段优化燃烧,采用低摩擦技术降低摩擦和机油耗等多个方面考虑产品的开发方向,以期将尾气排放降至最低,再通过排放后处理系统将排放污染物降至限值以下。

为满足日益严苛的排放标准,柴油机尾气排放后处理关键技术主要有以下几种:氧化催化器(DOC),主要利用氧化还原来清除可溶有机成分(SOF)和烃类;颗粒捕集器(DPF)及其再生技术,用于过滤去除碳烟等颗粒状物质;氮氧化物净化技术,主要有选择催化还原(SCR)和氮氧化物储存还原(NSR)两种方法;PM、HC、CO和 NO_x 同时净化的四效催化技术。这些后处理技术分别针对某一种或几种污染物的催化处理技术,是解决柴油机尾气排放污染问题的重要手段。

1. 氧化催化器

氧化催化器(diesel oxidation catalyst,DOC)安装在发动机排气管路中,其通常需要二次空气喷射装置配合工作。氧化催化器提供氧化反应所需的氧气,通过氧化反应把柴油机尾气中的有害排放物,主要指可溶性有机成分(SOF)、HC、CO和PM转化成无害的排放物(如 H_2O 和 CO_2),降低排气中CO和HC的含量(见图1-64)。采用蜂窝状的陶瓷或金属作为载体,通过涂覆在载体上的铂(Pt)、钯(Pd)等贵金属催化剂涂层,可以除去90%的SOF,从而使PM排放减少40%~50%。其对HC和CO的处理效率可以分别达到88%和68%。

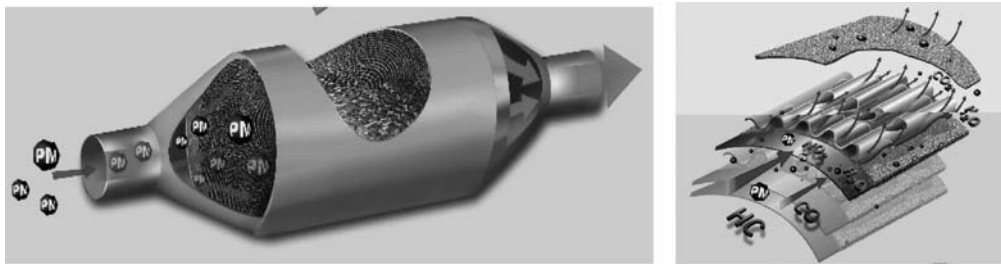


图 1-64 氧化催化器



但该技术脱除碳颗粒物的效果较差,并且催化剂有将排气中的 SO_2 催化转化为 SO_3 而生成硫酸盐颗粒的趋向,尤其是温度较高时硫酸盐生成速率增大,从而使颗粒物排放总量减少甚微;并且硫化物的存在还易使催化剂中毒劣化。因此,柴油机颗粒催化氧化技术一般适用于含硫量较低的柴油燃料。氧化催化器对 PM 的捕捉效果不如微粒捕集器,但是由于 HC 的点火温度较低(在 $170\text{ }^\circ\text{C}$ 下就可再生),所以 DOC 无须昂贵的再生系统,投资费用较低。

2. 选择性催化还原

选择性催化还原(SCR)技术对发动机排出尾气中含量较高的氮氧化物(NO_x)进行处理,以满足法规要求。发动机 ECU 根据发动机运行工况将定量的尿素喷入排气管,尿素分解出的氨与废气中的 NO_x 在催化剂中经过催化还原反应后生成无害的 N_2 和 H_2O (见图 1-65)。

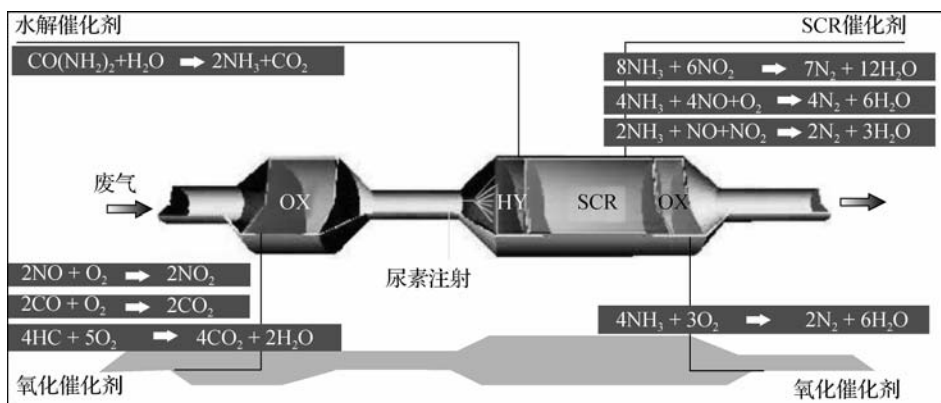


图 1-65 选择性催化还原原理

选择性催化还原技术使尾气中 NO_x 被加速还原,同时有效抑制氧化反应,并能在不降低发动机效率的前提下使 NO_x 转化率达到 90%,具有较好的燃油经济性与高抗硫性等优点。

为满足国五排放标准,SCR 技术已成为中重型柴油机企业首选的 NO_x 净化方案,并成为柴油机尾气 NO_x 处理的主流研究方向。

3. 柴油颗粒过滤器

柴油颗粒过滤器(diesel particulate filter, DPF)是安装在柴油车排气系统(见图 1-66)中,通过过滤来降低排气中颗粒物(PM)的装置。DPF 通过表面和内部混合的过滤装置捕捉颗粒,如扩散沉淀、惯性沉淀或线性拦截,能够有效地净化排气中 70%~90%的颗粒,是净化柴油机颗粒物最有效、最直接的方法之一,已在国际上实现商品化。

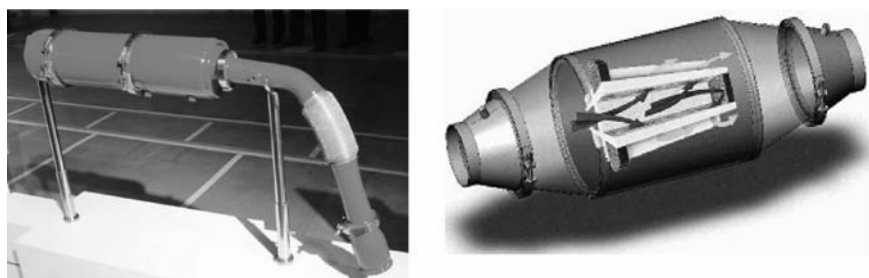


图 1-66 柴油颗粒过滤器

DPF 主要有颗粒过滤器空、颗粒过滤器满和颗粒过滤器还原三个工作过程。在颗粒过滤器空的工作状态下,由于 DPF 内部没有任何存量的颗粒堵塞,废气流动阻力非常小,不会影响发动机的正常工作(如油耗、动力)。随着碳烟颗粒的不断生成,DPF 内部捕集的碳烟颗粒逐渐增多,导致废气排气阻力升高,发动机的油耗和动力受到排气背压增加的影响。发动机 ECU 通过废气压力传感器监测 DPF 内部压力,当监测到 DPF 内部压力达到一定值时,废气便很难排出,极大地限制了发动机的动力性和燃油经济性。此时发动机 ECU 控制自行进行碳烟颗粒的清洁还原工作,将集聚在 DPF 内部的碳烟颗粒通过高温燃烧掉,实现 DPF 的再生。

为满足欧 VI 或美国排放法规,柴油机排气后处理系统将更加复杂,需要将柴油氧化催化器(DOC)、选择性催化还原(SCR)器等集成一体来控制柴油机排放,如图 1-67 所示。

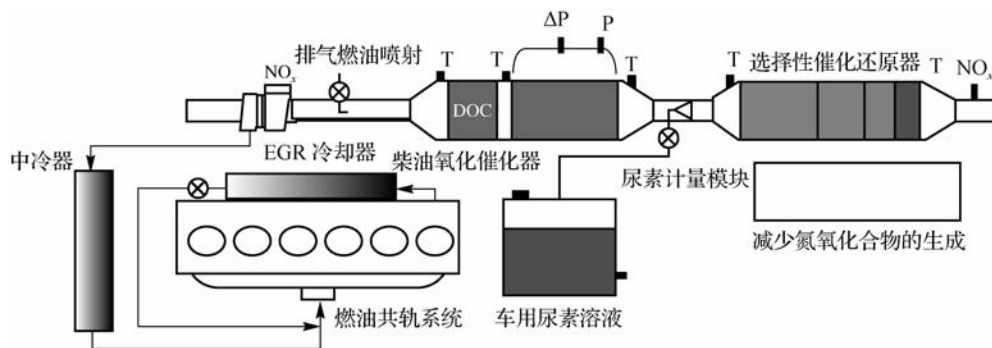


图 1-67 柴油机排气后处理系统

通过将 DOC/DPF 和 SCR 装置进行组合,其被动再生和主动再生能对氧化和清洁过滤器产生更多控制,从而去除超过 90% 的颗粒物。经过后系统优化及与发动机匹配,DOC/DPF+SCR 后处理系统将颗粒物和氮氧化物同时进行有效处理,从而满足更高的排放要求。

4. 四效催化剂

柴油机尾气中氧气含量高。柴油车的尾气动态监测表明,排放的 HC 和 NO_x 的比例不利于二者之间的反应。因为大部分 NO_x 是在高负荷的高温状况下产生的,此时 HC 氧化进行得较为完全,没有足够的 HC 还原 NO_x ,但是柴油车尾气中的 PM 也属于还原性物质,因



而利用 HC、CO 和 PM 在富氧条件下还原 NO_x , 以达到同时去除污染物的目的, 在理论上是可行的。这种四效催化剂是最理想的柴油机排气净化方法。

丰田公司 DPNR 系统是商品化的四效催化器。DPNR 系统将 NO_x 吸附还原技术与 DPF 技术组合在一起, 采用壁流式陶瓷滤芯, NO_x 吸附还原催化剂涂抹在滤芯上。

第五节 其他发动机新技术

知识目标

- 理解自动启停系统的工作原理及其对燃油经济性的影响机制;
- 掌握可变排量机油泵的工作原理。

技能目标

- 能运用诊断工具检测自动启停系统的故障, 并提出维修方案;
- 具备可变排量机油泵的拆装调试能力。

素养目标

- 培养对节能技术研发的前瞻性思维, 关注行业技术动态;
- 树立绿色工程理念, 培养职业责任感。

一、自动停缸技术

大排量的多气缸发动机能带来更多的动力储备, 满足高速、起步急加速和爬坡的需要, 但大排量会带来高油耗, 尤其是在城市拥堵路况等不需要强劲动力时, 大排量发动机就显得很浪费。

为了提高发动机的燃油经济性, 自动停缸技术应运而生。自动停缸技术又称可变气缸技术、可变排量控制技术, 是一种简单有效的节油方式。发动机在部分负荷下运行时, 通过相关机构切断部分气缸的燃油供给、点火和进排气, 停止其工作, 使剩余工作气缸负荷率增大, 以提高效率、降低燃油消耗。这种理论上简单而有效的节油方法, 随着发动机计算机技术的不断完善而变得更加可行, 逐渐受到各大厂商青睐。这种技术大多应用于 V6、V8 等大功率发动机上(见图 1-68), 而普通的直列 4 缸发动机很少采用。

克莱斯勒研发的 HEMI 发动机配备了自动停缸系统, 如图 1-69 所示, 这套系统可在 8 缸和 4 缸模式间自动转换。一台常规的 8 缸发动机在采用这种技术后, 就等于装了两个独立的 4 缸发动机, 可以根据驾驶需要让一台发动机运行, 而让另一台发动机休息。

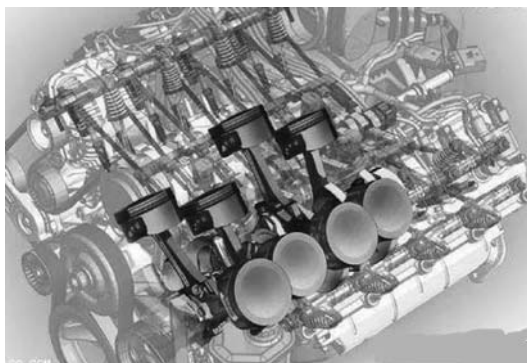


图 1-68 自动停缸发动机

HEMI 发动机的挺柱设计了独特的滑块结构,滑块与气门推杆相连,滑块下方有一个可定位的卡销,卡销可以使滑块与挺柱成为一体,推动气门推杆,或者使滑块活动,使挺柱无法推动气门推杆。工程师们为卡销在发动机中设计了独特的油道,依靠润滑系统中的润滑油提供液压推动卡销(电磁阀控制)。卡销本身带有回位弹簧,当液压消失时便能够自动回位。在发动机正常运转时,卡销将卡住滑块使之不能上下自由移动,挺柱直接推动推杆驱动气门摇臂,而当发动机需要关闭气缸时,卡销松开,滑块便能够上下滑动。挺柱上下移动时滑块与挺柱发生相对运动,不再推动推杆,这样气门就被关闭,同时 ECU 停止向该气缸喷油,便达到了“关闭气缸”的效果,实现了排量可变。

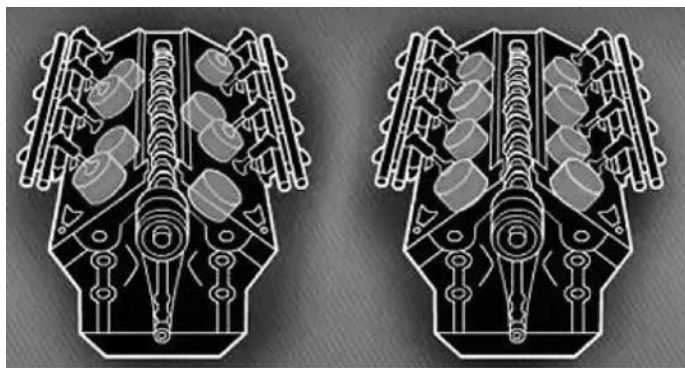


图 1-69 自动停缸系统

二、可变排量机油泵

机油泵从油底壳吸取机油,向整台发动机各个摩擦部件持续提供压力润滑油。如果机油泵的供油量不足,将导致发动机润滑不足而产生磨损。但如果一直保持非常高的供油量,又势必增加发动机的内部功率损耗,造成不必要的浪费。

传统的机油泵工作中,随着发动机转速的增加,机油压力也不断增大。机油的压力主要是通过机油泵内部的限压阀限制,但是这时的机油泵仍然运行在最大输出量,不仅消耗发动机的动力,而且输入的能量转化为热能,加速了机油的老化。因为机油压力高,发动机相应负荷大,燃油消耗也会大;而且较高的机油压力也会有较多的机油参与燃烧,机油消耗大,排放变差。因此,要减少机油泵的功率消耗,需要使机油泵的供油量与发动机的实际机油需求



量进行匹配,而使用可变排量机油泵就能达到这样的要求。

可变排量机油泵可以使发动机在中高速下的主油道压力保持一个相对恒定值,在满足发动机机油需求的同时减少功率消耗,起到节能减排的作用。从国外相关的研究报告来看,采用可变排量机油泵一般能降低乘用车发动机的燃油消耗。

在不工作时,机油泵的定子 在回位弹簧的作用下保持与转子的偏心率最大,如图 1-70(a)所示,此时的排量也最大。定子与油泵外壁间有两个油腔 A 和 B,这两个油腔是调节油泵排量的关键因素。A 腔引入经过滤清器的主油路油压,而 B 腔的油压受到一个电磁阀控制。当发动机 ECU 将电磁阀通电打开时,主油路的油压就会作用在 B 腔,与 A 腔的压力一起将定子向逆时针方向推动。这样,定子与转子的偏心率就减小了,排量也就随之变小[见图 1-70(b)]。

在怠速时,发动机的转速、负荷最小,发动机需求的机油供应量相对也较小。此时,发动机 ECU 对电磁阀通电控制,将机油泵的排量变小,减小发动机运转阻力,节省燃油。而随着转速和负荷的上升,发动机 ECU 在判定需要大排量时就将电磁阀断电,机油泵也就重新变回大排量了。

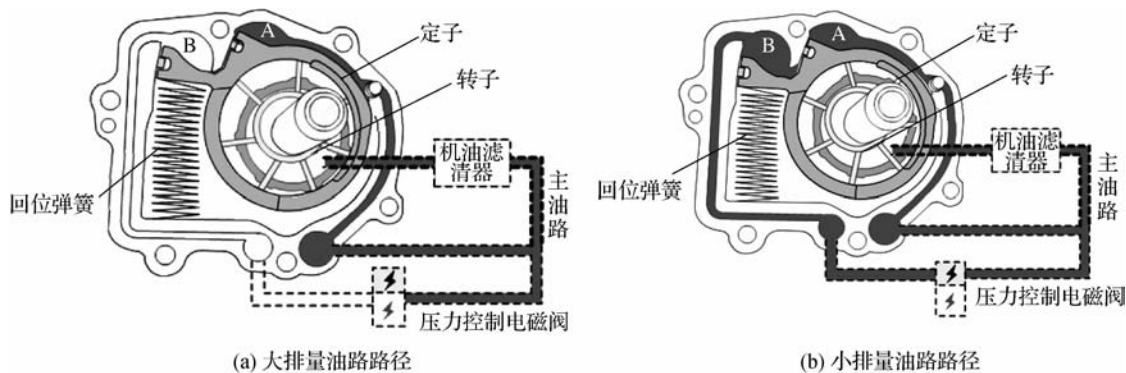


图 1-70 可变排量机油泵的工作原理

三、内燃机循环方式

理论研究表明,提高压缩比可有效增大发动机热效率,从而提升发动机动力和燃油经济性。但是压缩比不能一味提高,因为汽油有它的特性,压缩比太高会发生爆燃现象,进而影响发动机的正常运转。

目前大多数汽车发动机采用的是奥托循环,奥托循环包含进气、压缩、做功和排气四个行程。以应用在气道喷射汽油机上的奥托循环为例,进气行程从活塞上止点附近开始,进气门打开后,随着活塞向下运动,进气歧管中的油气混合气进入缸内,当活塞行至下止点附近时,进气门关闭,油气混合气封闭在气缸内,随着活塞上行开始后续的压缩行程。因此,在奥托循环中,发动机的膨胀比几乎等于发动机的压缩比,即压缩行程与做功行程近似相等。

1. 阿特金森循环

随着国内外排放、油耗法规日益严格及各国政府对于新能源车型的大力推广,传统的奥托循环发动机遭遇到新形势下的严峻挑战,其燃烧效率难以符合未来法规强调的高效率燃

烧标准。于是人们考虑在不大范围增大压缩比的前提下,转而寻求将膨胀比扩大,让做功行程比压缩行程长,提高发动机对外做功行程的输出量,这样燃油发出的能量被利用得更充分,从而改善发动机的热效率。

阿特金森循环与传统发动机的奥托循环相比,其最大特点就是做功行程比压缩行程长,即膨胀比大于压缩比。更长的做功行程可以更有效地利用燃烧后废气残存的高压,再加上改善了发动机的进气效率,所以阿特金森循环发动机的热效率较传统奥托循环发动机得到了提高,燃油效率比传统发动机更高。

通过重新设计较为复杂的曲柄连杆结构,使得活塞吸气、压缩行程变短,做功、排气行程变长,这样就达到了增大膨胀比的效果。但是这种复杂的曲柄连杆结构的发动机体型较大,所以在汽车上的普及率较低,而船用、发电等大型柴油机在很大程度上借鉴了阿特金森发动机的这种特性(见图 1-71)。

目前应用较广泛的油电混合动力车型一般采用驱动电机作为整车驱动的主要来源,阿特金森发动机作为辅助动力来源或仅用于车载电池充电。驱动电机输出动力特点为低速大扭矩,可以弥补阿特金森发动机低速扭矩不足的缺陷。因此,在混合动力系统中,发动机可始终运行在高效工况区域,配合阿特金森发动机特有的高效燃烧特点,以实现较好的节油效果。

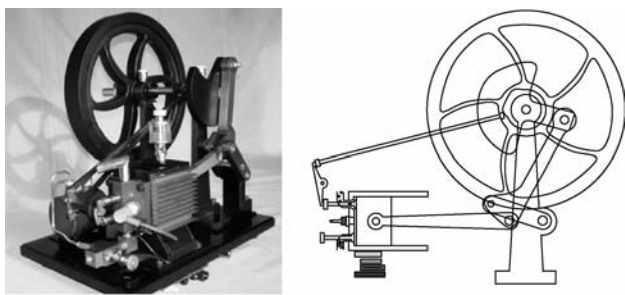


图 1-71 阿特金森循环

丰田 Prius 和福特 Escape 混合动力车的发动机采用了阿特金森循环。由于混合动力车能够利用电动机辅助驱动实现发动机工作区域优化,因此,可以采用高速运转时工作效率高于奥托循环的阿特金森循环发动机,利用电动机低速扭矩的优越性能由电动机弥补低速扭矩的不足。

长安汽车打破了多年来国外汽车制造商对该技术的垄断,自主研发的阿特金森循环发动机在长安汽车研究院通过项目验收,各项指标均达到国际先进水平,填补了国内混合新动力领域的空白,为国内混合动力汽车的发展奠定了坚实的基础。长安阿特金森循环发动机主要拥有以下三大技术特点和优势:通过将压缩比提高到 12,并相对减小燃烧室的容积,发动机热效率更高;通过对原有的配气相位进行全新设计,使发动机膨胀比增加的同时,压缩比没有显著增加,避免了爆燃;通过对电喷系统优化匹配、调整喷油量和点火提前角,进一步提高发动机热效率,改善发动机燃油消耗率。经过多次试验测试,长安阿特金森循环发动机单点油耗降低最高可达 19%,全工况平均降低 8%~10%。通过优化混合动力的控制策略,混合动力汽车还可在不提升任何制造成本的基础上进一步降低 8%左右的油耗。



2. 米勒循环

米勒循环发动机舍弃了复杂的连杆结构,相比于阿特金斯循环发动机不需要改变发动机的行程,而是通过进气门的关闭时刻控制缸内气体压缩终了的温度和压力,从而灵活抑制爆燃,同时保持较大的膨胀比。通过改变气门开闭时间来增加膨胀比,其解决方式为:在吸气行程结束时,采用延迟进气门关闭的方法,在压缩行程的起始阶段(活塞开始上行时),部分进入气缸的空气回流到进气歧管,延迟了压缩起始点,同时通过减小燃烧室容积,使实际的压缩比并没有增大,但是膨胀比提高了,循环的热效率也提高了(见图 1-72)。米勒循环不但能够提高发动机的热效率,并且在部分负荷还能够减小发动机的泵气损失,提高发动机的燃油经济性,特别是在中小负荷时这一改善作用更加明显。

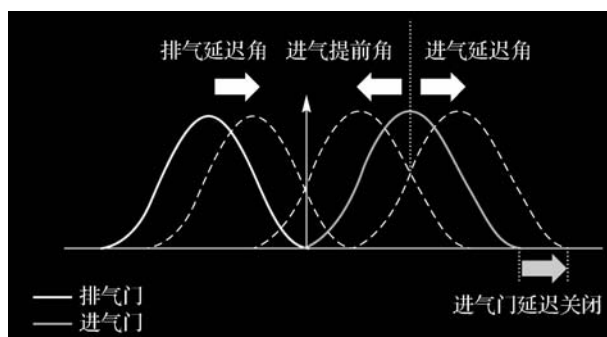


图 1-72 米勒循环

米勒循环发动机在压缩过程中将一部分混合气挤出气缸,这让发动机在低转速运转时充气效率降低,动力性降低,但是在高转速区间可提高发动机效率,这符合混合动力汽车的要求,在低速行驶时通过电机驱动汽车,而在中高速时使用米勒循环。丰田普锐斯和本田雅阁混动版等汽车采用该项技术。

米勒循环的实现因为要灵活控制进气门的关闭而有赖于可变气门正时(VVT)技术。由于电控技术的发展及 VVT 技术的日益成熟,通过对进气正时相位的精准调控,代替了原有阿特金森循环的复杂控制机构,在奥托循环发动机基础上稍加变更即可实现膨胀比大于压缩比,有利于发动机共平台设计及共线生产,缩短米勒循环发动机的开发周期并提高其可靠性,使得实现米勒循环变得更加简单。

使用进气 VVT 推迟进气行程中进气门的关闭时刻,从而实现发动机实际压缩比小于理论压缩比,而膨胀比与理论压缩比相同,通过进气相位的控制实现了类似于复杂连杆机构才能实现的功能。新技术的应用赋予了现代米勒循环发动机三个显著特征:较高的几何压缩比、较迟的进气门关闭时刻和较晚的排气门开启时刻。

已经有不少公司,如丰田公司、宝马公司等,将米勒循环应用在产品上。对米勒循环在汽油机上比较成熟的探究是从 1991 年丰田公司的 VTEC 系统应用在发动机上开始的。之后丰田公司在 2004 年将米勒循环应用在第二代混合动力系统的汽油机中,不但提高了汽车的燃油经济性,还减少了尾气中的 NO_x 排放。2010 年,丰田公司研究人员通过计算得出膨胀比为 20 以上的发动机,能够将发动机的热效率提高 20% 左右,并在一台 4 缸汽油机上进行了实验,取得了热效率提高 15% 左右的结果。

3. 双循环技术

1) 阿特金森-奥托循环发动机

阿特金森-奥托循环发动机在需要强大动力时,发动机系统采用奥托循环模式,以保证足够的动力性;如果是低负荷的情况,则切换为阿特金森循环,这样可以最大化地提高效率,获得最佳的节油效果。

丰田 D-4ST 发动机采用双循环技术,相比以往的 VVT-i 发动机,丰田通过在原有的机构上增加了一组活动组件,使得气门角度的可调节范围从原来的 54° 增加到 80° ,从而实现了 对气门更大范围和更加精准的控制。这就成功地让 2.0T 发动机可以根据不同工况选择两种循环方式,确保发动机工作效率和燃油经济性都达到较高水准。

丰田通过 VVT-iW(超广角可变气门正时)系统,使这台发动机能在奥托循环与阿特金森循环两种模式间无缝切换。在低转速时,D-4ST 发动机以奥托循环模式工作,输出更大扭矩;中转速时,D-4ST 发动机以阿特金森循环模式工作,实现最佳燃油经济性;而在高转速下,为输出更强动力,D-4ST 发动机再切换到奥托循环模式。双循环无缝切换兼顾了最佳动力和最低油耗。目前搭载这款发动机的车型除了全新皇冠外,还有新汉兰达和雷克萨斯 NX200T。

2) 米勒-奥托循环发动机

现代发动机通过电控技术和装置改变发动机的正时实现米勒循环,通过正时变化可切换到奥托循环。在低速和急加速工况使用动力性更好的奥托循环,而在中高速工况采用经济性更好的米勒循环。丰田 2NR-FKE 发动机和马自达创驰蓝天发动机(见图 1-73)拥有该项技术。



图 1-73 马自达创驰蓝天发动机

四、可变压缩比技术

一般情况下,压缩比越大,发动机输出的功率和扭矩也就越大。提高发动机的压缩比,柴油机受机械负荷的限制,汽油机受爆燃的限制。因此,在中、小负荷时采用较大的压缩比,以提高经济性;而在大负荷时适当减小压缩比,可避免汽油机爆燃或柴油机压力过高。

改变发动机压缩比可通过改变气缸的工作容积和燃烧室容积来实现。通常采用改变燃烧室容积、可变活塞压缩高度、可移动的气缸盖和气缸体、可变长度连杆、偏心主轴轴承和可变的曲柄连杆机构等方法来改变气缸压缩容积,还可采用偏心连杆轴承改变气缸压缩容积和工作容积。

可变压缩比技术的研究已取得丰硕的成果,不少知名汽车厂商已经制造出成熟的样



机,代表机型为瑞典 SAAB 公司研发的 SVC(Saab variable compression)发动机、法国 MCE-5 Development 公司研发的 MCE-5 可变压缩比发动机、日本日产公司研发的 VCR 发动机等。

1. SAAB 公司的 SVC 发动机

SAAB 公司开发出一款 1.6 L 可变压缩比机械增压发动机,其压缩比为 $8:1 \sim 14:1$,其最大功率为 168 kW,达到了 3.0 L V6 发动机的水平,最大扭矩为 $305 \text{ N} \cdot \text{m}$,CO、HC 排放值平均可降低 30%,百公里耗油为 8.3 L,且适用代用燃料。SVC 发动机是一款兼顾动力性、经济性及排放性能的产品。

SVC 发动机可分为上下两部分,上半部分的气缸盖和气缸铸成一体,下半部分为曲轴箱。工作时,曲轴箱的位置相对不变,气缸和活塞部分以曲轴为中心偏转一定角度(这个偏转是由独特的液压执行器控制的,见图 1-74),改变了燃烧室的容积,从而改变了发动机的压缩比。

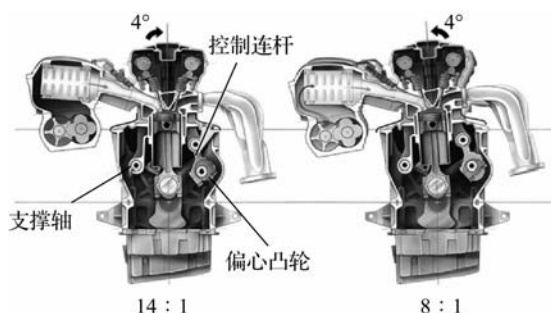


图 1-74 SVC 发动机可变压缩比原理

液压执行器安装在气缸、活塞与曲轴箱的连接部位,由发动机管理系统依据转速、负荷及汽油品质等因素,改变液压执行器中心轴的偏转角度,推动上方的气缸与活塞部分,使上方与下方的曲轴箱中心线呈一定角度的偏斜。最大偏转角度可达 4° ,此时的压缩比为 $8:1$;当发动机处于低转速时,机械增压器不起作用,发动机管理系统控制液压执行器动作,使上方与下方的中心线在一条直线上,此时的压缩比为 $14:1$ 。压缩比的改变是连续进行的,在任何转速下都可以确保发动机压缩比的最佳设定值。但是,该发动机改变压缩比需要整体式的气缸盖运动,惯性质量较大,从而造成耗能较多,一定程度上使经济性下降。另外,该发动机对密封性要求高,结构较为复杂,制造成本也较高,限制了其批量生产和装备。

2. MCE-5 可变压缩比发动机

法国的 MCE-5 Development 公司研发的 MCE-5 发动机是在可变压缩比方向做出的新尝试,也是一款比较成熟的产品。该发动机构思精巧,和传统内燃机活塞连杆装置相比做出了较大改动。采用独特的滚子导向活塞,在控制杆的驱动作用下,利用导向滚子和摆杆控制活塞上下运动,在不改变燃烧室形状的情况下改变上、下止点的位置,起到改变压缩比的目的。该发动机的压缩比可以从 $7:1$ 到 $20:1$ 做无级变化,压缩比从最大到最小的变化过程仅需约 100 ms,且具有很高的精度,工作过程中没有撞击、噪声及活塞侧向力,摩擦损失也大幅下降。这种发动机热效率可提高 20%,燃油经济性可提高 35%。同传统发动机相比,保

持了一定程度的互换性,但其结构复杂,发动机质量大,距离量产装备尚需时日。

MCE-5 可变压缩比发动机的结构如图 1-75 所示,曲轴通过连杆与摆杆连接,摆杆两侧均为齿轮啮合,一侧由控制齿杆控制摆杆位置,另一侧通过长齿轮机构和导向滚子与活塞啮合,使活塞上下运动。根据发动机实际工况的需要,通过伺服电机操纵控制杆凸轮轴,改变控制杆的位置,进而使液压执行器运动,引起控制齿杆位置的变化,进而带动摆杆的位置发生变化,改变活塞上、下止点的位置,从而得到适合工况的压缩比。

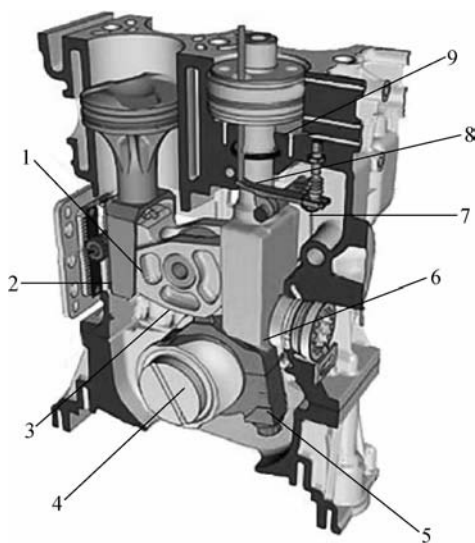


图 1-75 MCE-5 可变压缩比发动机的结构

活塞; 2—导向滚子; 3—摆杆; 4—曲轴; 5—连杆; 6—控制齿杆; 7—控制杆凸轮轴;
8—控制杆; 9—液压执行器

MCE-5 可变压缩比发动机的摆杆、滚子导向活塞、控制齿杆等关键部件的结构如图 1-76 所示。滚子导向活塞通过螺纹与下部的导向齿杆连接,导向齿杆内侧有齿面与摆杆齿面啮合,外侧有螺纹与导向滚子作用。活塞上下运动的导向是由滚子实现的,不需要普通活塞的裙部来导向,因此活塞头部不再因承受侧向力而倾斜,曲轴的扭矩不再是活塞通过连杆来传递,而是由滚珠来传力。所以,MCE-5 发动机的活塞消除了径向应力和活塞的撞击,减少了气缸的磨损和活塞环的张力,传统气缸头部容易形成的磨料磨损大为减少。对于油环来说,降低了刮油和布油的摩擦,提高了密封性,使活塞连杆机构更加可靠和耐久。位于机构中央的摆杆两侧部分的齿轮刻有螺纹,一侧与活塞啮合,另一侧与液压执行器操纵的控制齿杆连接。如果液压执行器使控制齿杆向上运动,则在摆杆的作用下活塞向下运动,由此在活塞行程不改变的情况下使上、下止点位置的燃烧室容积变大,压缩比减小;反之,液压执行器使控制齿杆向下运动,则在摆杆的作用下活塞向上运动,由此在活塞行程不改变的情况下使上、下止点位置的燃烧室容积变小,压缩比增加。也就是说,采用液压执行器控制齿杆,使摆杆做空间移动,即利用几何位移的变化,在适应发动机负荷变化情况的同时,使压缩比改变。



图 1-76 MCE-5 可变压缩比发动机关键部件的结构

1—导向齿杆；2—导向滚子；3—滚子导向活塞；
4—摆杆；5—连杆；6—控制齿杆

3. 日产 VCR 发动机

日产 VCR 发动机通过加入一套装置控制轴的旋转来改变连杆的角度,从而改变上、下止点位置,其压缩比可调节范围为 $8:1 \sim 14:1$,并且配合涡轮增压系统。经试验,在 100 km/h 定速行驶时,其燃油消耗率相比传统发动机可以降低 13% 。但该发动机结构不紧凑,多连杆和控制杆的存在使其外形尺寸较大,多连杆在高速转动时还产生振动,机械损失有所增加。其结构如图 1-77 所示。曲柄销转动部位摆动的杠杆一端与连杆连接,另一端采用与控制轴延伸出来的连杆相连接的结构。连杆与控制轴的偏心部分连接,当控制轴转动时,控制轴连杆使曲柄销回转,从而使杠杆摆动。由此,活塞上止点的位置做上下移动,从而能够连续改变压缩比。控制轴连杆使杠杆的一端向下运动时,杠杆的另一端把曲轴连杆向上推压,于是活塞的上止点向上移动,压缩比提高;控制轴连杆把杠杆的一端向上抬起时,另一端把曲轴连杆向下推压,活塞的上止点向下移动,压缩比降低。压缩比的变化范围在涡轮增压发动机中设定为 $14:1 \sim 8:1$ 。在低增压的低负荷时提高压缩比,有利于降低燃油消耗;而在高增压的高负荷时降低压缩比,可以防止爆燃。控制臂由电动执行器驱动。电动执行器是由电机、梯形螺钉、螺帽构成的,当电机转动梯形螺钉时,螺帽做轴向移动,这种位移被传递到控制轴的叉形部分,其弯曲角最大达到 100° 时控制轴做旋转运动。压缩比从最大值变化到最小值所需要的时间比增压压力上升所需要的时间要短,仅为 0.4 s 。

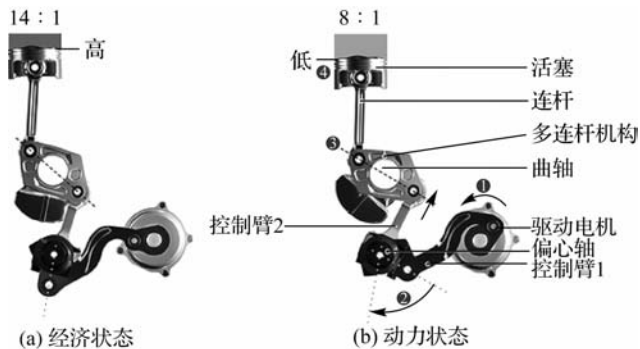


图 1-77 VCR 发动机的结构



案例分析

现在国产新能源车综合实力在世界上已经排在较前位置,这几年无论是新兴车企还是传统车企,都推出了不少产品力很强的车型,如小鹏汽车、唐新能源、蔚来汽车等。根据专业第三方机构测算,与传统燃油汽车相比,2020年小鹏汽车交付的智能汽车共计减少了5 520吨碳排放量。通过交付零排放智能汽车,小鹏汽车得以推动社会出行方式的节能减排。

作为智能汽车倡导者,小鹏汽车不仅关注产品生命周期内的零排放,还看重智能制造、企业运营、能源来源等环节的节能减排。以肇庆小鹏汽车智能网联科技产业园为例,涂装车间从设计之初就本着可持续发展的环保理念,采用先进前处理薄膜技术使废油漆渣产渣量降低94%,能耗降低25%以上。截止到2021年5月,小鹏汽车已实现可回收固体废物利用率100%。

目前,中国已面向国际社会作出郑重承诺,力争2030年前实现碳达峰,在2060年前实现碳中和。作为未来出行方式的引领者,小鹏汽车已经看到气候变化为智能电动汽车带来的变革机遇,并正式公布了2021年碳中和计划,包括长期布局碳中和政策、树立碳中和形象、全面梳理碳足迹、全生命周期碳减排及践行可持续发展战略等多项措施。

根据资料回答问题。

1. 查阅互联网,画出中国机动车排放升级的历程年表。
2. 讨论:什么是汽车的燃油经济性?它对环境保护具有的重要意义是什么?
3. 根据案例讲述国家、企业以及个人在节能减排方面所付出的努力。同学们可以发现,我国作为一个大国的担当和社会责任。为了社会的蓝天白云,我国企业和人民做出了哪些努力。
4. 根据案例分析与讨论物质与精神、责任和义务的统一。



思考与练习

1. 什么是VIS?它的作用是什么?
2. 可变气流进气包括哪两种方式?简述其工作原理。
3. 说明可变气门正时系统的工作原理。
4. 可变气门升程技术分为哪两种?各自的优缺点是什么?
5. 简述日产的VVEL系统。
6. 与传统曲轴驱动气门的发动机相比,QamFree有哪些优势?

第二章

▶ 汽车底盘新技术



导入案例

2024年上市的东风岚图车型凭借“颠簸路段如履平地,高速过弯稳如轨道车”的驾乘体验引发市场关注。用户反馈显示,该车在砂石路面行驶时滤震效果优异,过减速带无明显冲击感;高速弯道中车身侧倾极小,操控精准性接近跑车水平。工程师指出,这一突破性表现的核心在于其搭载的电控主动悬架系统。在本章中,我们将一起学习相关的知识点。



第一节 汽车传动系统新技术



知识目标

- 掌握双质量飞轮的结构原理及其应用;
- 理解新型离合器技术的工作原理;
- 掌握新能源驱动技术(混合动力、纯电驱动、轮毂电机)的能量管理原理。



技能目标

- 掌握智能化传动系统的故障诊断技术;
- 具备传动系统台架试验与实车道路试验的规范化操作能力。



素养目标

- 形成对汽车传动技术迭代规律的认知框架,培养技术创新意识;
- 树立可持续发展理念,养成跟踪技术前沿的习惯

一、双质量飞轮

发动机燃烧过程的周期性会使传动系统内产生扭转振动(扭振),将导致传动系统和车身发出异响。为了降低发动机旋转的不均衡性而造成传动系统的扭振,传统离合器采用扭转减振器来达到减振目的。但是扭转减振器仍无法将整个动力传递系统的固有频率降低到发动机怠速以下,因此,在整个发动机运行过程中仍然存在共振现象。研究表明,发动机、变速器振动系统的固有频率一般为 $40\sim 70\text{ Hz}$,相当于4缸发动机转速 $1\ 200\sim 2\ 100\text{ r/min}$,或6缸发动机转速 $800\sim 1\ 400\text{ r/min}$,一般均高于怠速转速;另外,由于受到扭转减振器弹簧安装半径限制和传递扭矩需要,在实际设计中很难通过降低弹簧刚度来减少扭振,因此在发动机实用转速范围内($1\ 000\sim 2\ 000\text{ r/min}$)难以通过降低减振弹簧刚度来得到更大的减振效果,因为在从动盘结构中,减振弹簧安装位置离圆心较近,其转角又受到限制,如降低减振弹簧刚度,就会增大转角并难以确保允许传递扭矩的能力。

为了解决离合器从动盘式扭转减振器的不足,双质量飞轮(dual mass flywheel,DMFW)应运而生,它可以有效隔振、减振、降噪,有利于改善汽车的使用和舒适性。双质量飞轮式扭转减振器与离合器从动盘式扭转减振器的结构基本相似,都包括弹性元件、阻尼器,一般都是用螺旋弹簧作为弹性元件,干摩擦作为阻尼器。但是其在动力传动系统中的位置发生了改变。如图2-1所示,双质量飞轮式扭转减振器是将扭转减振器从离合器从动盘中取出,然后将其布置到发动机飞轮中间,使发动机的飞轮由单飞轮演化成具有两个转动惯量的双飞轮。

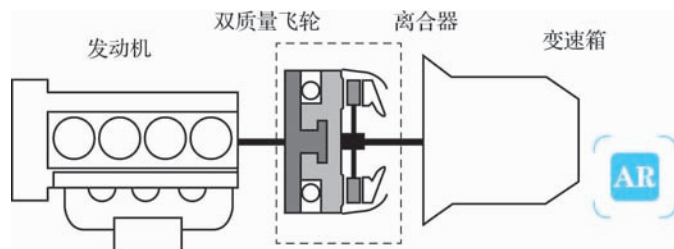


图 2-1 双质量飞轮式扭转减振器

如图2-2所示,双质量飞轮现已广泛应用于手动变速器(MT)、手自一体变速器(AMT)、自动变速器(AT)和双离合变速器(DCT),特别是与双离合变速器系统搭配具有理想的减振效果。

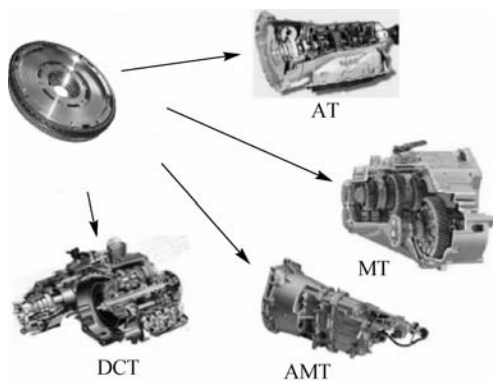


图 2-2 双质量飞轮在不同类型变速器上的应用



如图 2-3 所示,双质量飞轮式扭转减振器两端的转动惯量分配发生了很大变化,它改变了以往传统离合器只能通过改进其刚度和阻尼特性来进行减振的局面,通过合理改变惯量、调整减振弹簧的刚度和阻尼即可得到期望的系统固有频率,进而综合控制动力传动系统的扭振问题;而且由于减振弹簧位置半径的增大,可以增大极限转角并降低弹簧刚度,本质上克服了从动盘式扭转减振器存在的不足。还可以利用转动惯量和扭转刚度的变化来调谐动力传动系统的固有频率,减少共振车速的工况数量。双质量飞轮的次级质量与变速器的分离和接合由一个不带减振器的刚性离合器盘来完成,由于离合器没有了减振器机构,这就减少了离合器从动部分的转动惯量,对变速器的换挡及提高变速器中的同步器寿命十分有利。

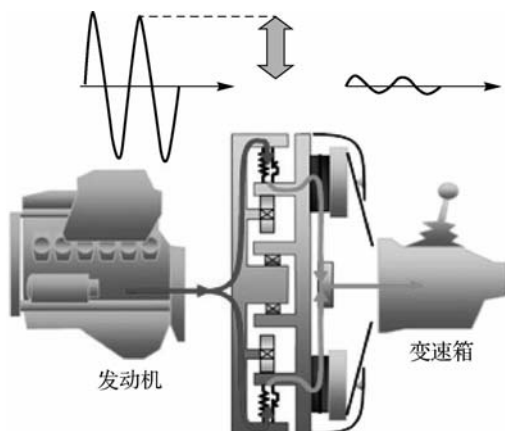


图 2-3 双质量飞轮改善舒适性

双质量飞轮将传统飞轮的质量块一分为三,即第一质量飞轮、第二质量飞轮和两质量飞轮之间的扭转减振器。第一质量飞轮与发动机曲轴输出端法兰盘相连,用于补偿发动机惯量;第二质量飞轮通过一个轴承安装在第一质量飞轮上。第二质量飞轮装有离合器盖,负责提高变速器惯量。第二质量飞轮可相对于第一质量飞轮转动一定的角度,两个飞轮之间用一个或多个减振器连接起来。

双质量飞轮的结构如图 2-4 所示。

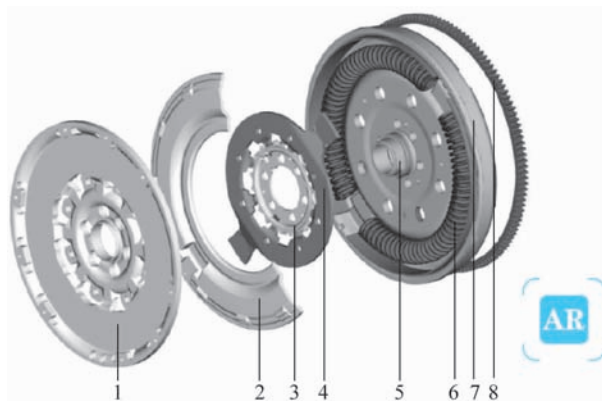


图 2-4 双质量飞轮的结构

- 1—第二质量飞轮; 2—主盖(剖视图); 3—浮动的摩擦装置; 4—法兰盘; 5—滑动轴承;
6—弧形弹簧; 7—第一质量飞轮; 8—起动机齿圈

在多年的发展过程中,双质量飞轮式扭转减振器出现了多种不同形式。人们从不同的角度出发,研究解决实际应用中的一些问题,提出了各自的解决方案,最终使双质量飞轮式扭转减振器的性能不断提高。双质量飞轮的结构形式主要有三种:以德国 LUK 公司产品为代表的周向长螺旋弹簧型(DMF-CS)、以德国 Sachs 公司产品为代表的周向短螺旋弹簧型(DMF-CSS)和以法国 Valeo 公司产品为代表的径向螺旋弹簧型(DMF-RS)。

1. DMF-CS 型双质量飞轮

DMF-CS 型双质量飞轮的结构如图 2-5 所示,飞轮壳与法兰盘铆接在一起,齿圈焊接在飞轮壳上;盖盘扣在飞轮壳上,其内凹的上半滑动腔与飞轮壳的下半滑动腔组成弹簧滑动腔,弹簧滑动腔里有两个凸缘,用来传递动力;连接环与盖盘、飞轮壳焊接在一起,从而使飞轮壳和盖盘相对固定。法兰盘、飞轮壳、齿圈、盖盘、连接环等相对固定,统称为第一飞轮总成(第一质量)。波形密封圈和盘毂盘铆接在一起(盘毂盘总成),盘毂盘总成又和第二飞轮铆接在一起,统称为第二飞轮总成(第二质量),离合器从动盘安装在第二飞轮上面。滑道嵌在飞轮壳和盖盘扣合形成的滑动腔内,引导弹簧的运动;弧形弹簧安装在滑动腔内的滑道里,一端与第一飞轮壳和盖盘的滑道内凸缘接触,另一端与盘毂盘伸出的端部接触。弹簧滑动腔充满黏性油脂,弹簧和黏性油脂形成扭转减振器,连接第一飞轮总成(第一质量)和第二飞轮总成(第二质量),传递动力的同时起到扭转减振的作用。

图 2-6 所示为某轿车 DMF-CS 型扭转减振器的弧形弹簧扭转刚度随转速变化的特性曲线,从图中可以看出,在发动机转速较低时,弧形弹簧扭转刚度很低,随着发动机转速的增加,弧形弹簧的扭转刚度也相应增大。

可见,采用弧形弹簧的 DMF-CS 型扭转减振器具有特殊的非线性弹性特性,其主要原因如下。

(1) 由于弧形弹簧所承载荷的大小和传递方向沿轴线变化,导致其载荷变形特性曲线呈现非线性特征。

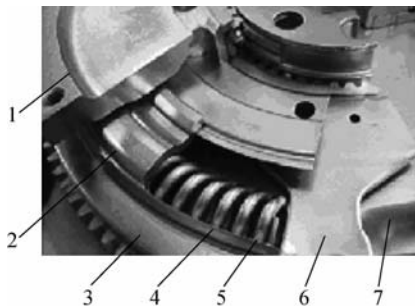


图 2-5 DMF-CS 型双质量飞轮的结构

1—第二飞轮；2—盘毂盘和波形密封圈；3—齿圈与第一飞轮壳；
4—滑道；5—外弹簧；6—盖盘和连接环；7—法兰盘

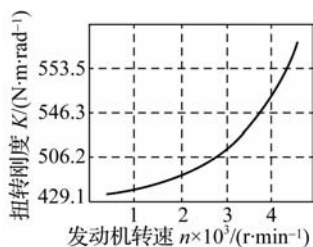


图 2-6 DMF-CS 型扭转减振器扭转刚度随转速变化的特性曲线

(2) 弧形弹簧所受摩擦力随转速变化,随着转速的升高,弧形弹簧所受离心力(摩擦力)迅速增大。加上弹簧舱室中润滑脂的阻尼作用,将导致弧形弹簧弹性特性随转速发生较复杂的变化。

2. DMF-CSS 型双质量飞轮

DMF-CSS 型双质量飞轮的结构如图 2-7 所示。飞轮由两部分组成:第一部分(第一质



量)装有起动齿轮,通过螺栓与发动机的曲轴相连接;第二部分(第二质量)与离合器盖用螺栓连接,通过径向和轴向滑动轴承支承在第一部分上,两部分可以相对转动。

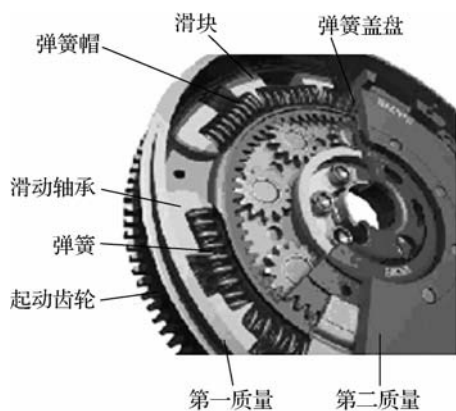


图 2-7 DMF-CSS 型双质量飞轮的结构

双质量飞轮的主要结构特点在于其特殊的弹性机构。该弹性机构由若干个(本例为 2 个)组合弹簧组成,布置在第一质量和弹簧盖盘形成的弹簧室内,由驱动盘将几个组合弹簧并联起来。每个组合弹簧由分布半径相同的多个(本例为 4 个)直螺旋弹簧借助于滑块和弹簧帽串联而成,各个组合弹簧中对应零件的结构参数和布置参数相同。组合弹簧中的弹簧帽和滑块是弹性机构组件中的重要零件,它们是组合弹簧的滑动支架和导向件,同时起限位作用,实现了用直螺旋弹簧沿圆周方向传递力的功能,使得每个组合弹簧相当于一个长弧形弹簧。此外,弹簧帽和滑块既可以防止弹簧与第一质量直接接触,又可限制每个弹簧的最大压缩量,是实现减振器弹性特性分级的必要条件。具体而言,当减振器扭转角增大到使第一级弹簧两侧的滑块和弹簧帽接触时,该级弹簧不再变形。此时组合弹簧的总刚度由开始时所有弹簧的串联刚度转变成其余弹簧的串联刚度,其总扭转刚度增大,由此实现扭转减振器弹性特性的分级。因此,这种 DMF-CSS 型扭转减振器的弹性特性分级既取决于各级弹簧的线刚度相对大小,也取决于每个组合弹簧中相邻滑块间及滑块与弹簧帽间的初始间距。这与传统分级扭转减振器的弹性特性分级方式不同。传统分级扭转减振器全部弹簧都是并联的,随其工作扭转角增大,有更多弹簧逐步开始参加工作,从而实现分级,如图 2-8 所示。

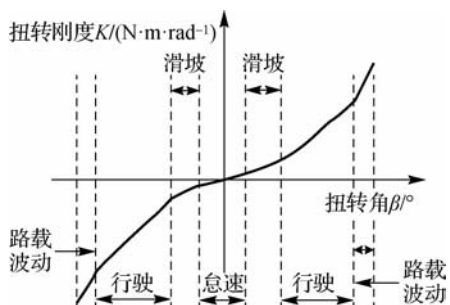


图 2-8 DMF-CSS 型双质量飞轮的扭转刚度变化规律

3. DMF-RS 型双质量飞轮

DMF-RS 型双质量飞轮的结构如图 2-9 所示,其减振弹簧为直弹簧,分组安装在由减振器侧板和从动板组成的沿飞轮径向的弹簧室中,其侧板和从动板之间通过两个传动销分别与飞轮的第一质量和第二质量相连。

当减振器不工作时,弹性机构组件处于沿飞轮径向的初始位置;当飞轮受到扭矩工作时,其第一、第二质量之间产生相对转角,而减振弹簧只产生简单的轴向压缩变形。图 2-10 中用两个半径不同的圆分别表示飞轮的第一质量和第二质量,且只画出一组弹簧组件,图示位置表示减振器处于工作状态,飞轮上作用有扭矩 T ,第一质量和第二质量之间产生相对转角 β ,减振弹簧产生压缩变形 Δl 。

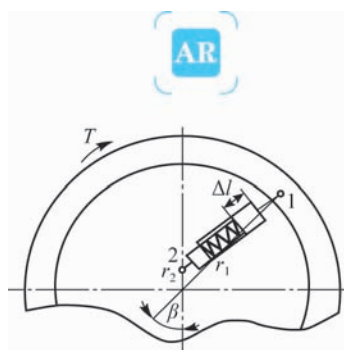
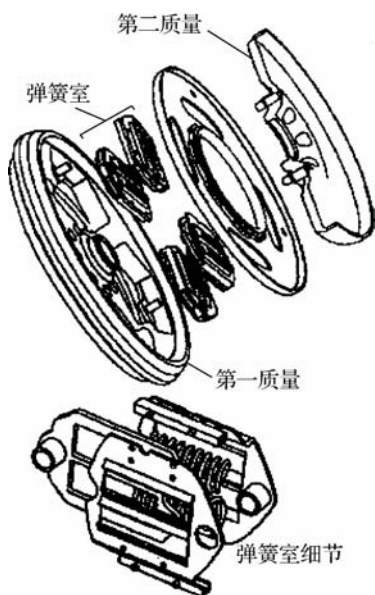


图 2-9 DMF-RS 型双质量飞轮的结构

图 2-10 DMF-RS 型扭转减振器机械原理示意图

在 DMF-RS 型扭转减振器中作为弹性元件的几组直圆柱螺旋弹簧沿飞轮的径向布置,使得 DMF-RS 型扭转减振器具有高度非线性的扭转弹性特性。如图 2-11 所示,其扭转刚度随着传递扭矩的增加而逐渐增大(其中 β_m 和 T_m 分别为选取的最大相对转角和最大扭矩),这种理想的硬非线性弹性特性是 DMF-RS 型扭转减振器独有的优点;DMF-RS 型扭转减振器还具有弹性特性和阻尼特性比较稳定等优点。

图 2-12 所示为 DMF-RS 型扭转减振器的扭转刚度曲线(其中 K_m 为最大扭矩刚度)。可见,当扭矩和相对转角较小时,减振器的扭转刚度很小;而当扭矩和相对转角增大时,扭转刚度随之增大。因此,DMF-RS 型扭转减振器能够以比较简单的结构实现扭转刚度变化较大的硬非线性弹性特性,很适合于动力传动系统扭转减振器的性能要求。

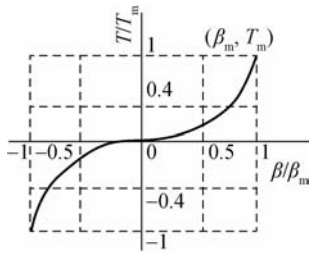


图 2-11 DMF-RS 型扭转减振器的静扭转弹性特性曲线

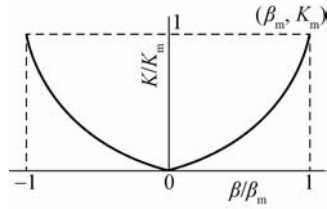


图 2-12 DMF-RS 型扭转减振器的扭转刚度曲线

实践证明,相比以往的双质量飞轮,这种结构可在有限的空间内获得相当好的减振效果,如图 2-13 所示。

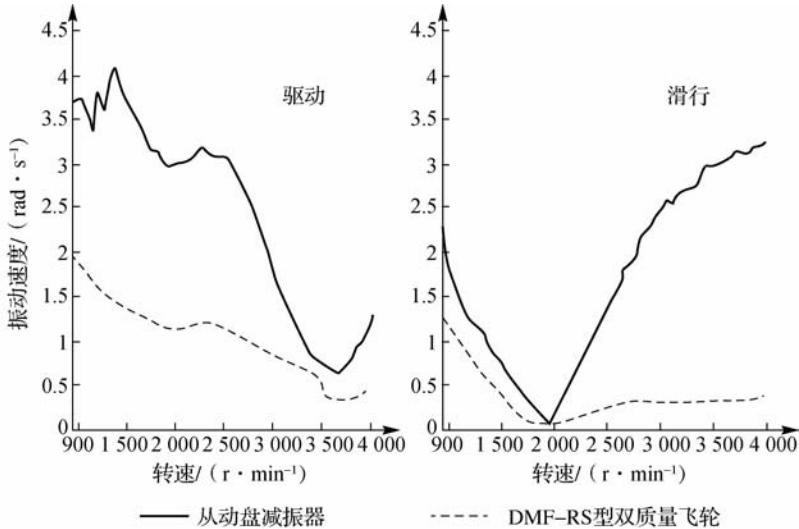


图 2-13 DMF-RS 型与从动盘总成减振效果对比图

目前 DMF-RS 产品发展很快,结构繁多,品种多样。但综合分析,不外乎变更弹性元件和阻尼元件。其弹性元件还有油气弹簧、橡胶弹簧、碟簧、板簧等。阻尼有干摩擦阻尼、油阻尼、液压节流阻尼、机械阻尼等。其各有特点和缺陷,在此不再赘述。

二、离合器新技术

1. 双离合

离合器位于发动机与变速器之间,是发动机与变速器动力传递的“开关”,是一种既能传递动力、又能切断动力的传动机构。离合器的作用主要是保证汽车能平稳起步,变速换挡时减轻变速齿轮的冲击载荷并防止传动系统过载。在一般手动挡汽车上,换挡时通过离合器分离与接合实现,在分离与接合之间就有动力传递暂时中断的现象。而双离合可以使变速箱同时有两个挡位啮合,使得换挡更加快速,传动效率相比传统自动变速箱更高。双离合外观如图 2-14 所示。



图 2-14 双离合外观

双离合变速器源自赛车运动,它最早的实际应用是在 20 世纪 80 年代初的保时捷 962C 和 1985 年的奥迪 sport quattro S1 RC 赛车上,但是因为耐久性问题经过 10 余年的改进后,才真正被普通量产车所应用。

双离合变速器的结构如图 2-15 所示。传动轴被分为两根:一根是放于内里的实心传动轴,另一根则是在外面套着的空心传动轴。一个多片式离合器连接 1、3、5 挡和倒车挡,另一个连接 2、4、6 挡,再加上灵敏的电液控制,两组传动装置可以同时工作。这样当汽车正常行驶时,一个传动系统保持运转,而另一个传动系统已经将齿轮啮合到更高的挡位。当接近下一个换挡点时,控制在高档位齿轮的多片式离合器就会被激活,同时关闭另一个离合器,两个多片式离合器的一合一闭几乎保持在同一时间内完成,就像是接力赛一样,这是解决了顿挫感的关键所在,整个过程往往只需要 0.2 s。

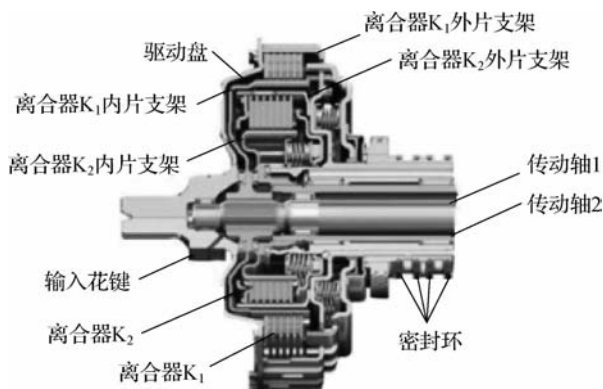


图 2-15 双离合变速器的结构

从图 2-16 可以看出,在最高车速 247 km/h 相同的条件下,双离合变速器的加速时间短,百公里油耗比手动变速器少 10.6%,加速平稳。资料显示,装用双离合变速器的某车型百公里油耗仅为 10.2 L,0~100 km/h 加速时间仅为 6.0 s;而相应装用手动变速器的车型百公里油耗为 11.5 L,0~100 km/h 加速时间为 6.4 s。可见,双离合变速器与手动变速器相比,可使整车具有优良的燃油经济性和动力性。

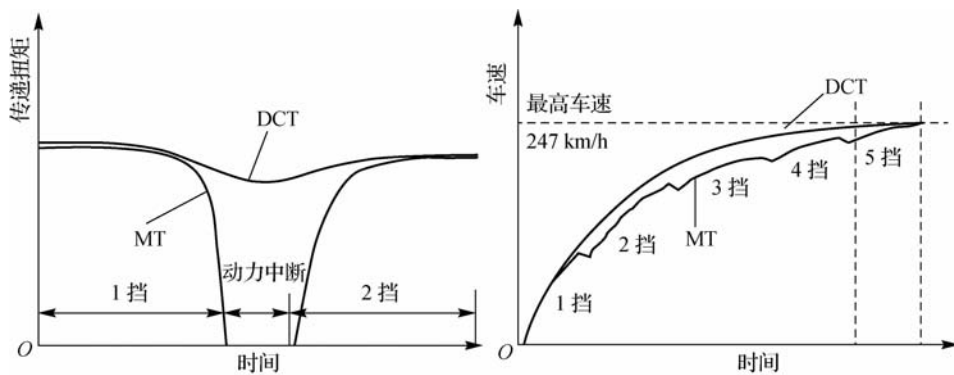


图 2-16 手动变速器(MT)与双离合变速器(DCT)性能比较

双离合器按结构形式的不同分为双面离合器和双重离合器。双面离合器是对单面离合器的改进,从发动机传来的功率可以通过它以串联的形式进入变速器的第一输入轴或第二输入轴,如图 2-17(a)所示。双重离合器即采用两个单独的离合器分别传递动力,发动机的功率通过双重离合器以并联的形式从两路传递到变速器,如图 2-17(b)所示。

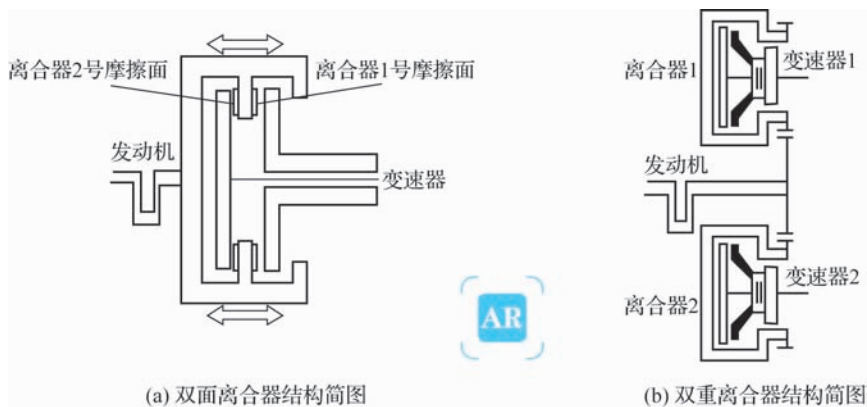


图 2-17 双离合器的结构形式

双面离合器与双重离合器性能对比见表 2-1。

表 2-1 双面离合器与双重离合器性能对比

类型	功率中断时间	离合器形式	换挡品质	车辆燃油消耗	结构复杂性	控制	费用	质量	包装	润滑
双面离合器	短	干式	良好	改善	不复杂	相同	稍微增加	稍微提高	很好	传统形式
双重离合器	无	湿式	极好	显著改善	很复杂	相同	明显增加	明显提高	很好	非标准

双离合器自动变速器的结构形式在不断变化,出现了在结构复杂性、成本质量、安装空间和润滑形式都比较优化的双离合器形式。其又分为湿式和干式两种类型(见图 2-18),其区别就是湿式离合器里面有散热用的油,而干式离合器里面没有。



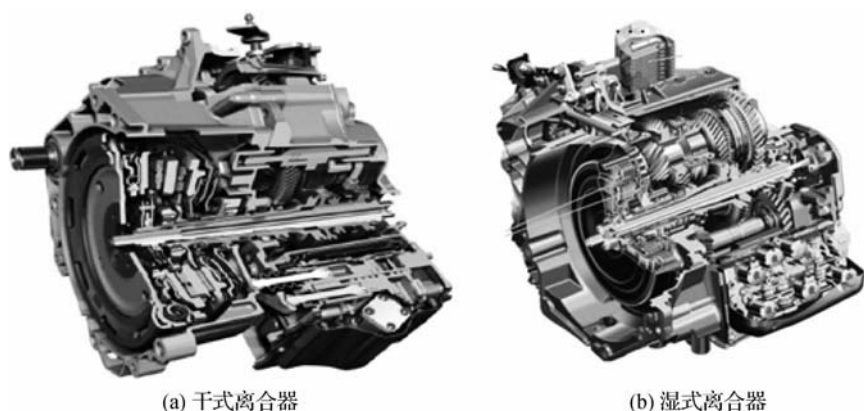


图 2-18 双离合器的类型

干式离合器的摩擦力更大,带来的动力传递更直接,结构也更加简单,体积也可以做得更小,但是会产生太多的热量。大众推出的7速DSG就是采用的干式离合器。湿式离合器相对比较先进,因为离合器里面的离合器片在换挡时会产生摩擦。湿式离合器更有助于控制温度,但存在摩擦力不够、传递动力有限的限制。湿式双离合器的传递扭矩相比干式双离合器来说要大一些,所以湿式双离合器通常用在大排量的车型上,而干式双离合器用在排量相对较小的车型上。干式双离合器传递扭矩较小,在 $300\text{ N}\cdot\text{m}$ 以下,适合装在小排量的车辆上;而湿式双离合器的传递扭矩较大,在 $300\text{ N}\cdot\text{m}$ 以上,适合装在排量大一些的车辆上。

2. 自动离合器

有资料表明,手动变速器汽车在闹市区行驶 100 km ,离合器的使用次数高达 $800\sim 1\,000$ 次,如此频繁的操作给驾驶员带来很大的体力消耗和思想负担,而且会带来诸多不安全因素。

自动离合器(automatic clutch system, ACS)是通过机械、电子、液压等方式实现离合器自动接合与分离控制的装置。自动离合器车辆取消了离合踏板,操作简便。驾车时松开油门踏板,发动机和变速器控制单元即可控制换挡,保证汽车起步平稳、换挡顺畅,提高了车辆行驶的动力性、经济性和安全性,减轻了驾驶员的劳动强度。

自动离合器主要由离合器操纵机构、电控单元(ECU)、电机、电机驱动器、传感器、线束、显示单元等部件组成,如图2-19所示。ECU依据采集发动机转速、节气门位置、车速、制动灯开关、点火开关、换挡杆受力、变速器挡位、离合器操纵机构行程等传感器数据进行计算分析,指令离合器操纵机构驱动离合器分离和接合,替代驾驶员对离合器进行操作。

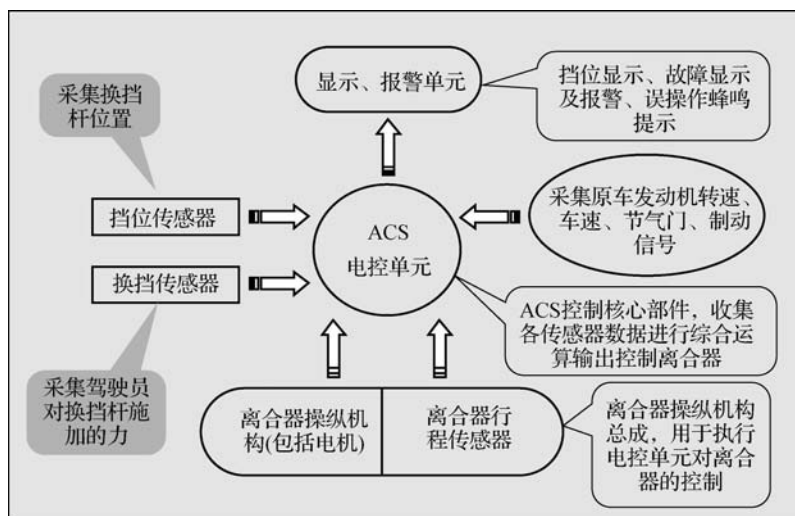


图 2-19 自动离合器的组成

自动离合器只是将原来手动挡车的离合器换成驱动机构驱动,其类型有液压式自动离合器(商用车应用较多)和电机式自动离合器(乘用车应用较多),两者的控制理念和逻辑大致相同,只是离合器驱动机构不同。液压式自动离合器的驱动机构主要由液压缸、液压泵、储压器及油管组成。电机式自动离合器的驱动机构由步进电机、减速器、丝杠螺母组成。步进电机旋转,通过减速机构使丝杠螺母移动,拉动离合器分离杠杆,离合器分离,如图 2-20 所示。

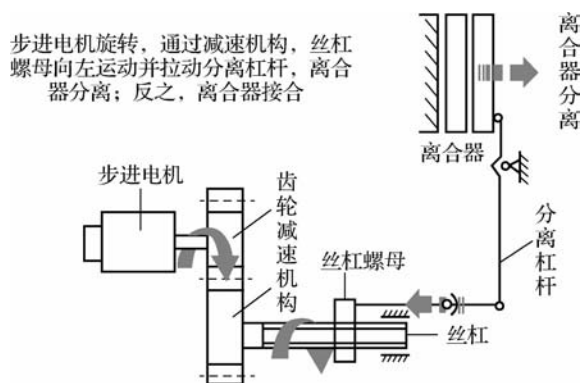


图 2-20 电机式自动离合器

ACS 具有结构简单、操作便捷、生产及使用成本低廉等优点,并且保持了手动挡车型的驾驶乐趣。其特点如下。

(1)成本较低,燃油经济性较好。装有自动离合器的车辆能结合驾驶员意图,模拟最优秀的驾驶技术。

(2)便利性好,故障率低。装有自动离合器的车辆与手自一体车辆手动模式相当,省去了踩离合器踏板步骤,但又不失手动挡换挡乐趣。相比于自动挡车型,采用自动离合器的车辆结构比较简单,故障率也比较低。

(3)行驶中带挡停车不熄火,坡起不后溜。自动离合器具有熄火保护功能,转速过低时离合器自动分离,在任何挡位刹车、停车都不会熄火。坡道起步时离合器也能自动接合,与自动挡车型相似,能有效防止后溜。

三、变速器新技术

汽车变速器是一套用来协调发动机的转速和车轮的实际行驶速度的变速装置,通过换挡可以使发动机工作在最佳的动力性能状态下。其可分为手动变速器(见图 2-21)和自动变速器,随着汽车技术的不断革新,变速器逐渐向自动变速器模式转变。



图 2-21 手动变速器

传统的变速器是手动变速器,它是一种纯机械的换挡装置,调节速度完全依靠人们手动拨动换挡杆来实现。在换挡时需要同时控制离合器、换挡杆和油门,会使得驾驶员操作负担大,易使驾驶员疲劳,影响行驶安全。而不同的驾驶技巧对车辆的燃油经济性、动力性、乘坐舒适性造成极大差异。

自动变速器由微机控制,可以根据车速自动调节发动机转速、离合器离合状态等参数。自动变速器种类很多,主要有电控机械式自动变速器(AMT)、液力自动变速器(AT)、无级自动变速器(CVT)和 DSG 双离合自动变速器。从技术发展角度看,自动变速器的关键是电子技术、电液控制技术和传感技术。

自动变速器的市场占有率将不断提高。随着人们生活水平的提高和交通拥堵状况的加剧,自动变速器将受到越来越多消费者的青睐,其市场占有率肯定会逐渐加大。未来中国汽车市场的竞争将是品牌与核心技术的竞争,而自动变速器将成为这轮竞争中最激烈的焦点之一。

1. 电控机械式自动变速器

电控机械式自动变速器(automated mechanical transmission, AMT)是在通常的手动变速器和离合器的基础上,通过配备一套电子控制的液压操纵系统,能根据车速、油门、驾驶员命令等参数确定最佳挡位,从而完成操作离合器和选挡两个动作,达到自动切换挡位的目的(见图 2-22)。它是糅合了 AT 和 MT 两者优点的机电液一体化自动变速器。从世界范围来看,它是自动变速器的一个重要发展方向。

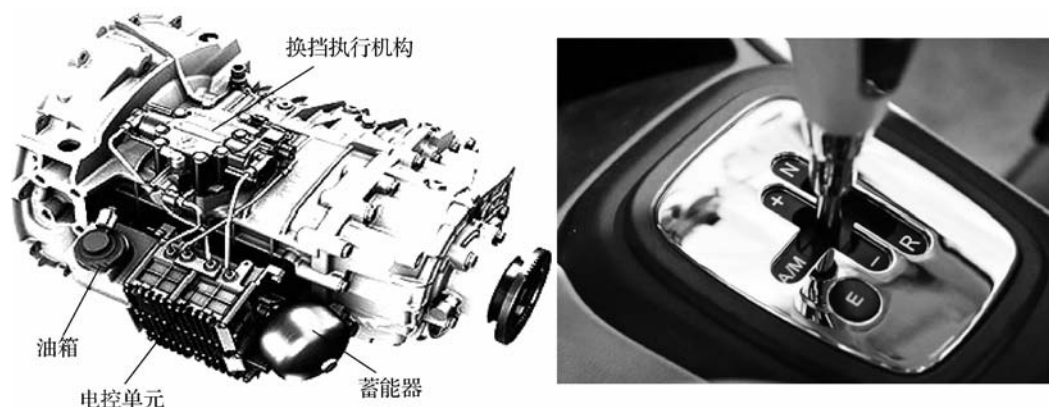


图 2-22 电控机械式自动变速器

配备 AMT 的汽车不再需要离合器踏板,驾驶员只需踩油门踏板就可以非常简单地启动和驾驶汽车。AMT 系统会自动选择换挡最佳时机,从而消除了发动机、离合器和变速器的错误使用,避免换错挡,降低了驾驶疲劳感。这对驾驶新手和整车的可靠性都非常重要。

1) AMT 电控系统的组成

(1) 执行机构:电机(步进电机和直流电机)、电磁阀(普通电磁阀和高速电磁阀)、液压缸等。

(2) 传感器:速度传感器(发动机转速传感器、输入轴转速传感器、车速传感器)、油门开度传感器、挡位传感器等。

(3) 电控单元(ECU):CPU、ROM、RAM、I/O 接口等。

AMT 的换挡控制系统可分为两层:人工控制层和电子控制层。在人工控制层,驾驶员感知外界环境和汽车的运行情况,通过自身的驾驶习惯来改变制动踏板及油门踏板的开度。电子控制层包括电控单元(发动机 ECU 及变速器 TCU)、传感器及传动系统组成部件的各个执行机构。电子控制层通过传感器实时采集反映当前车况、路况及驾驶员操纵意图的信号,TCU 根据这些信号,依据内部控制算法模拟人的思维过程做出相应的决策,同时向各个执行机构发出相应的指令,快速而精确地完成换挡动作。电子控制层设计的好坏直接决定了整个 AMT 系统的换挡品质和舒适性。

2) AMT 的分类

为了提高 AMT 车辆的性能,改善其选换挡操纵控制是一个很重要的方面。目前,按照执行机构动力源的不同,AMT 可分为电控气动 AMT、电控液动 AMT 和电控电动(全电式) AMT 三种类型。

(1) 电控气动 AMT。电控气动选换挡系统对于一般车辆,由于没有气动装置,一般不采用,只在大型或重型车辆等特殊场合使用。重型卡车中的气源很丰盛,可以在原有手动换挡的基础上进行简略改装,便可以实现主动换挡。而且,其构造简略、安装调剂便利,工作稳固可靠,起步、换挡性能好。但目前采用这种系统的换挡装备的结构较为复杂,换挡品质不高,换挡时间稍长,影响了其正常应用。

(2) 电控液动 AMT。电控液动选换挡系统具有操作简便、易于实现安全保护、具有一定的吸振与吸收冲击的能力及便于空间布置等优点。但是在利用高速开关阀控制离合器的系

统中,其主要缺点是温度的变化使离合器的执行机构中液压油的黏度发生变化,从而使离合器回油管路压力损失发生变化。温度降低,阀出口压力增大,回油量减小,离合器的接合速度较慢,导致在汽车刚开始起步时加速度较小。而且温度降低到一定程度之后,液压油的流动性能大大降低。另外,由于受到温度的影响,该系统在北方寒冷地带的使用有一定限制。系统结构复杂,包括液压油油箱、油泵及驱动电机、电磁换向阀(6~10个)、油路比较复杂的集成阀块、驱动油缸、衔接油管等。液压元件对加工的精度要求非常高,特别是高速电磁阀的加工,一般厂家难以加工,所以电磁阀的造价非常高。而且由于零件较多、安装保护难度较大、故障率较高,其工作可靠性下降。

(3)电控电动 AMT。采取电动机带动的方式控制自动变速控制系统中的油门、离合器及选换挡装置。相对于电控液动 AMT 而言,电控电动 AMT 在以下几个方面具有进一步的优势。

①取消了液压系统,从而使整个控制系统的结构更加简单,质量更轻。

②由于直接采用易于控制、精度更高的电机取代液压执行元件,减少了液压元件动作的误差,使得系统的控制方法更简单,控制精度进一步提高,反应动作更加准确。

③在原有的电控液动的基础上,只需对软件和硬件及控制方法做少许改动就能对电控电动 AMT 系统进行控制。

在电控电动 AMT 中的执行电机的优点是可控性好、精度高、反应快、可靠性强,并且对环境的适应性好。其缺点是:活动部件要进行两个方向的活动实现选、换挡动作,所以要解决运动部件的干预问题,换挡时间也比较长。气动系统中的气动执行器体积大、反应时间慢,目前的 AMT 系统已经不再考虑这种方案。

2. 液力自动变速器(AT)

液力自动变速器目前是自动变速器市场的主流产品。AT 是在改善 AMT 换挡存在顿挫感这一需求下诞生的。通常 AT 由与发动机飞轮连接的液力变矩器、紧跟在液力变矩器后方的行星齿轮变速机构及自动换挡控制系统(离合器和制动器)这三大组成部分,如图 2-23 所示。

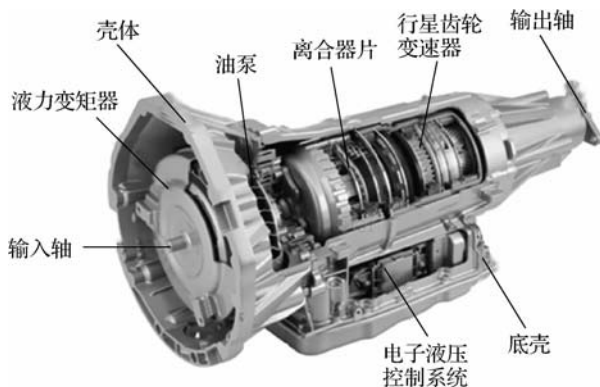


图 2-23 液力自动变速器

通过液力机械装置可将发动机的机械能平稳地传给车轮,通过行星齿轮组合的方式来实现自动变速。一般来说,自动变速器的挡位分为 P、R、N、D、2、1 或 L 等。AT 以其良



好的乘坐舒适性、方便的操纵性、优越的动力性、良好的安全性奠定了在汽车工业的主导地位,是目前市场占有率最高的变速器,AT的发展趋势是向多挡位方向发展。

1)液力变矩器

(1)液力变矩器的作用。

①传递扭矩。发动机的扭矩通过液力变矩器的主动元件,再通过自动变速器油(ATF)传给液力变矩器的从动元件,最后传给变速器。

②无级变速。根据工况的不同,液力变矩器可以在一定范围内实现转速和扭矩的无级变化。

③自动离合。液力变矩器由于采用 ATF 传递动力,当踩下制动踏板时,发动机也不会熄火,此时相当于离合器分离;当抬起制动踏板时,汽车可以起步,此时相当于离合器接合。

④驱动油泵。ATF 在工作时需要油泵提供一定的压力,而油泵一般是由液力变矩器壳体驱动的。

(2)液力变矩器的组成。液力变矩器一般由泵轮(和发动机相连)、导轮、涡轮(和输出轴相连)及锁止离合器组成,如图 2-24 所示。当车速超过一定值时,采用锁止离合器将发动机与变速机构直接连接,这样可以减少燃油消耗。

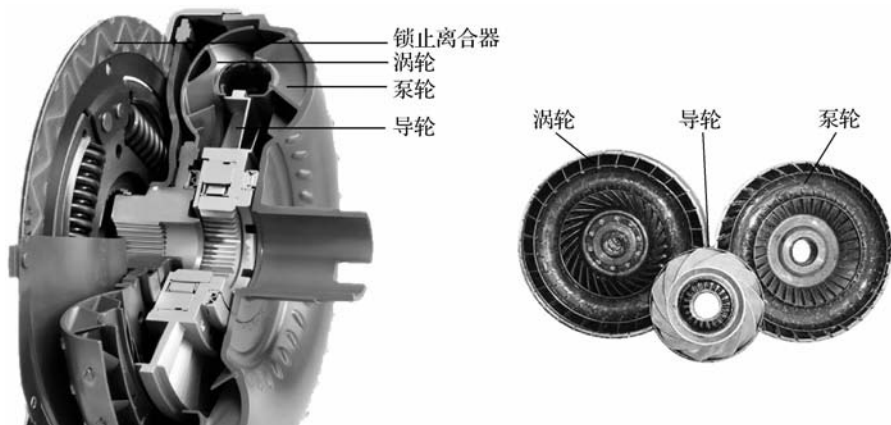


图 2-24 液力变矩器的组成

(3)液力变矩器的工作原理。发动机工作时,飞轮和泵轮一起旋转,泵轮搅动变矩器中的 ATF 推动涡轮叶轮旋转。ATF 在壳体中是一个循环的动作,由于泵轮旋转时的离心力,ATF 会在泵轮的作用下甩向外侧,冲向前方的涡轮,再流向轴心位置,回到泵轮一侧,如此周而复始地循环,将动力传向与齿轮箱连接的涡轮。这就好像把两个风扇面对面地放在一起,开动一个风扇,另一个风扇也会转动一样。

导轮是存在于泵轮和涡轮之间的一个部件,用于调节壳体中 ATF 液流方向,通过单向离合器与箱体固定。导轮使涡轮甩出的油再次冲击泵轮,使得扭矩增大。泵轮和涡轮的转速差别越大,扭矩增加得就越多。这就起到了变速器增大扭矩的作用。而当转速差降低,涡轮泵轮耦合或锁止时,扭矩接近对等,无须增矩,导轮随泵轮和涡轮同向转动,避免自身搅动 ATF,造成动力的损耗。

2) 单向离合器

滚柱式单向离合器的构造和工作原理如图 2-25 所示。导轮逆时针旋转时,滚柱向外座圈和内座圈形成的楔形槽的宽槽处滚动,滚柱与外座圈(包括导轮)一起绕内座圈转动。导轮顺时针旋转时,滚柱向楔形槽窄槽处滚动,从而阻止外座圈(包括导轮)的滚动。

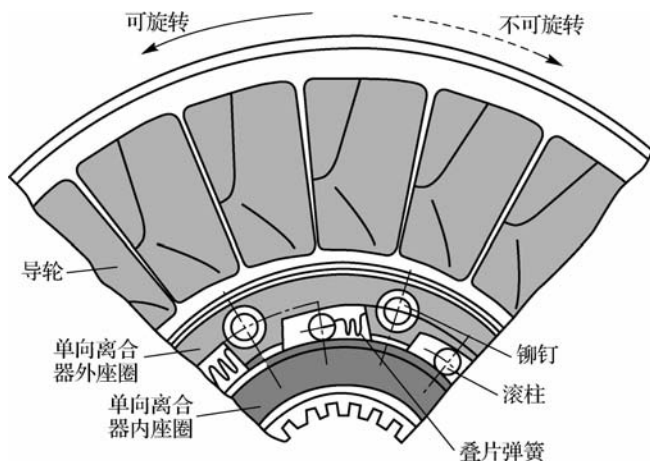


图 2-25 滚柱式单向离合器的构造和工作原理

楔块式单向离合器的构造和工作原理如图 2-26 所示。内座圈固定,当外座圈顺时针旋转时,楔块顺时针旋转, $L_1 < L$,外座圈可相对楔块和内座圈旋转;反之,当外座圈逆时针旋转时,楔块逆时针旋转, $L_2 > L$,楔块阻止外座圈旋转。

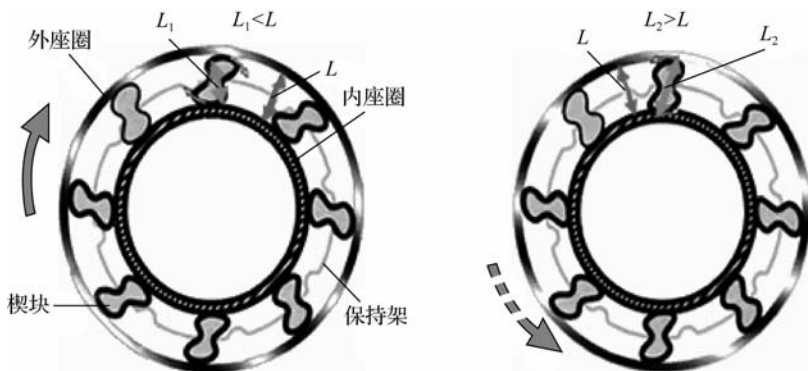


图 2-26 楔块式单向离合器的构造和工作原理

3) 锁止离合器

液力变矩器在低速时有增矩的作用,而高速达到耦合之后就没有增矩的作用了。理论上扭矩比是 1,但由于油内部的摩擦会造成一定的损失,并且泵轮和涡轮之间也有 4%~5% 的扭矩损失,这样就导致实际扭矩比小于 1。为了提高液力变矩器的传递效率,改善变矩器在高速工况下的效率,降低燃油消耗,一般在液力变矩器中都加装锁止离合器,在高速工况中将泵轮与涡轮刚性连接,以提高传动效率。

液力自动变速器每个挡位都由一组离合器控制(见图 2-27),从而实现变速功能。现在的液力自动变速器采用电磁阀对离合片进行控制,使得系统更简单、可靠性更好。液力自动变速器的传动齿轮和手动变速器的传动齿轮并不相同。液力自动变速器采用的是行星齿轮



组实现扭矩的转换。

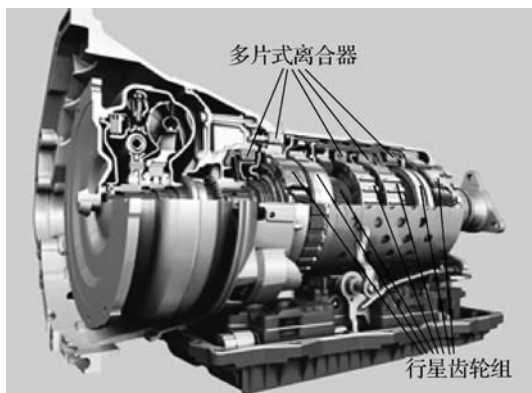


图 2-27 多片离合器

液力变矩器(hydrodynamic torque converter)是通过工作轮叶片的相互作用,引起机械能与液体能的相互转换来传递动力,通过液体动量矩的变化来改变扭矩的传动元件,具有无级连续改变速度与扭矩的能力。液力变矩器对外部负载有良好的自动调节和适应性能,从根本上简化了操作,减轻驾驶疲劳;它能使车辆平稳起步,加速迅速、均匀、柔和;由于用液体来传递动力,进一步降低了尖峰载荷和扭转振动,延长了动力传动系统的使用寿命,提高了乘坐舒适性和车辆平均行驶速度及安全性和通过性。但其具有传递效率不高,经济性较低,结构复杂,维修难度大,制造成本高等缺点。

3. 无级变速器

无级变速器(continuously variable transmission, CVT)能够实现连续无级变化的传动比,它的传动比不是间断的点,而是一系列连续的值。无级变速器可以发挥发动机的最佳性能,是一种理想的传动形式。

1) CVT 的类型

CVT 如图 2-28 所示,其按结构和传动方式可分为电力式、液力式和机械式三种。其中,电力式和液力式无级变速器因为成本高、效率低、结构复杂等原因没有得到广泛应用;而机械式无级变速器与前两种相比,具有结构简单紧凑、成本低、操纵方便等优点,从而成为目前的主流选择。因此,下面所提到的 CVT 都是指金属带传动的机械式无级变速器。

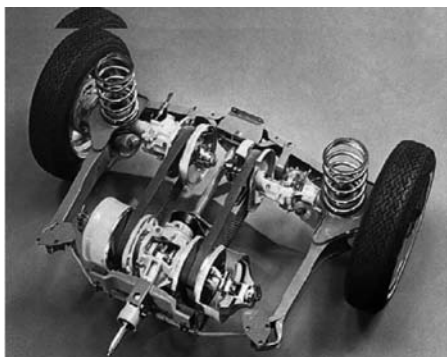


图 2-28 CVT

带式 CVT 根据带的不同可分为橡胶带式、金属推块式和金属链式三种,如图 2-29 所示。橡胶带式 CVT 多用在摩托车、沙滩车等小型机动车上,目前在汽车上成功实现商业化的是金属推块式 CVT 和金属链式 CVT。



图 2-29 带式 CVT

2) CVT 的组成

CVT 主要包括主动滑轮组、从动滑轮、金属带等基本部件,如图 2-30 所示。

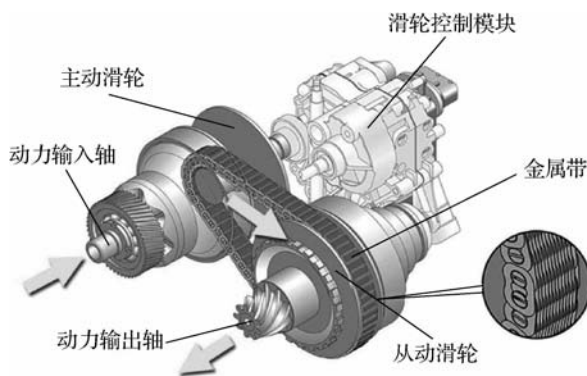


图 2-30 机械式无级变速器

机械式 CVT 主要由起步离合器、行星齿轮机构、无级变速机构、中间减速机构、控制系统组成。

(1)起步离合器。目前,用作汽车起步的装置有湿式离合器、电磁离合器和液力变矩器三种。起步离合器的作用是使汽车以足够大的牵引力平顺地起步,提高驾驶舒适性,必要时切断动力传递。

(2)行星齿轮机构。无级变速器的行星齿轮机构采用双行星齿轮机构,行星架上固定有内、外行星齿轮和右支架。右支架是通过螺栓固定在行星架上,外行星齿轮和齿圈啮合,内行星齿轮和太阳轮啮合。它们可以实现前进挡和倒挡。

(3)无级变速机构。无级变速机构由金属带和主、被动工作轮组成。金属带由 200 多个金属片和两组金属环组成,每个金属片的厚度为 1.4 mm,在两侧工作轮挤压力作用下传递动力。每组金属环由 9 片或 12 片厚度为 0.18 mm 的带环叠合而成。金属环的功用是提供预紧力,在动力传递过程中,支撑和引导金属片的运动,有时承担部分扭矩的传递。主、被动工作轮由可动和不动锥盘两部分组成。



(4)中间减速机构。由于无级变速机构可提供的速比变化范围不能完全满足整车传动比变化范围的要求,故设有中间减速机构。

(5)控制系统。控制系统是用来实现传动比无级自动变化的,多采用机-液控制系统或电-液控制系统。机-液控制系统主要由油泵、液压调节阀(用以调节传动比和传动带与轮之间的压紧力)、传感器(油门和发动机转速)、主从动轮的液压缸及管道组成;而电-液控制系统则是在机-液控制系统的基础上加装了一些电子控制单元、电磁阀和传感器,提高了控制的效率和精确度。

3)CVT 的变速原理

CVT 的主要部件是两个滑轮和一条金属带,金属带套在两个滑轮上,如图 2-31 所示。滑轮由两块轮盘组成,这两片轮盘中间的凹槽形成一个 V 形,其中一边的轮盘由液压控制机构控制,可以视不同的发动机转速进行分开与拉近的动作。V 形凹槽也随之变宽或变窄,将金属带升高或降低,从而改变金属带与滑轮接触的直径,相当于齿轮变速中切换不同直径的齿轮,从而改变传动比,实现无级变速传动。

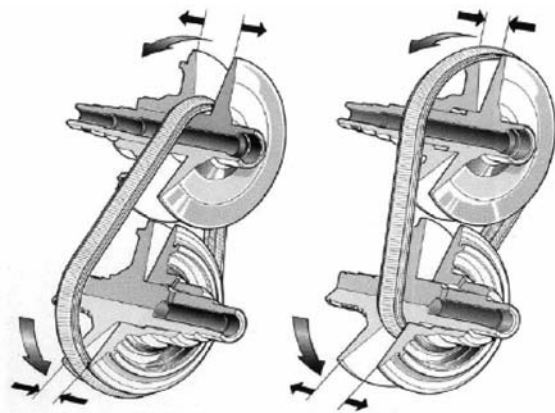


图 2-31 CVT 的变速原理

两个滑轮呈反向调节,即其中一个带轮凹槽逐渐变宽时,另一个带轮凹槽就会逐渐变窄,从而迅速加大传动比的变化,以在相当宽的范围内实现无级变速,从而获得传动系统与发动机工况的最佳匹配,所以它理论上能带来的燃油经济性是最好的。但由于 CVT 的钢带式传动效率比不上传统手动的齿轮传动机构,也不能说它是最省油变速器。由于受到钢带强度的限制,CVT 不能用于较大扭矩的传递中,所以当发动机扭矩较大(大于 $300 \text{ N} \cdot \text{m}$)时,CVT 并不适用。

当汽车慢速行驶时,可以令主动滑轮的凹槽宽度大于被动滑轮的凹槽宽度,主动滑轮的金属带圆周半径小于被动滑轮的金属带圆周半径,即小圆带大圆,因此能传递较大的扭矩;当汽车逐渐转为高速时,主动滑轮的一边轮盘向内靠拢,凹槽宽度变小迫使金属带升起,直至最高顶端,而被动滑轮的一边轮盘刚好相反,向外移动拉大凹槽宽度迫使金属带降下,即主动滑轮金属带的圆周半径大于被动滑轮金属带的圆周半径,变成大圆带小圆,因此能保证汽车高速行驶时的速度要求。

4)CVT 的技术优势

CVT 传递效率较高,行驶平稳,燃油经济性好,结构简单;但传动扭矩有限,造价高,维

修成本较高。

(1)动力性。汽车的后备功率决定了汽车的爬坡能力和加速能力。汽车的后备功率越大,汽车的动力性越好。就传统的 MT 和 AT 来说,挡数越多,发动机发挥最大功率附近的高功率的机会也就越大,汽车的加速和爬坡能力即动力性越强。但是当挡位数超过5个(前进挡)时,就会使变速器的结构和操纵机构大为复杂。由于 CVT 的无级变速特性,能够获得后备功率最大的传动比,所以 CVT 的动力性能明显优于 MT 和 AT;并且相比较起来,CVT 的结构更为简单、紧凑。

(2)低油耗。CVT 可以在一定范围内拥有无数个传动比,能自由控制发动机的工作点,协调汽车路面行驶阻力与发动机负载,从而获得传动系统与发动机工况的最佳匹配,使汽车按最佳燃油经济工作线工作成为可能,提高整车的燃油经济性。

(3)平顺性、舒适性。由于 CVT 在起步和加减速过程中不会像 MT 和 AT 那样出现换挡时的速比跳变,因此,使用 CVT 的汽车行驶更加平顺,乘坐也更加舒适。

(4)操纵性、安全性。由于 CVT 在变速过程中无须中断动力传输,再结合一些电子控制装置,可以大幅减轻驾驶员的劳动强度,提高汽车的操纵性,同时提高行车安全性。

(5)排放性。由于 CVT 能够根据需要控制发动机的工作点,使发动机能最大限度地控制在最佳工作点附近,气缸燃烧室内混合气体燃烧充分,大大降低了尾气中有害气体和粉尘的排放。在相同条件下,CVT 与 AT 进行同比试验得出:使用 CVT 的汽车比使用 AT 的汽车尾气中有害气体的排放减少了大约 10%。

(6)成本。CVT 系统结构简单,零部件数目比 AT 少,一旦汽车制造商开始大规模生产,CVT 的成本将会比 AT 小。由于采用该系统可以节约燃油,随着大规模生产及系统、材料的革新,CVT 零部件(如传动带或传动链、主动轮、从动轮和液压泵)的生产成本将降低 20%~30%。

4. 电控双离合自动变速器

双离合变速器(DCT)的概念已经有七八十年的历史,只是直到现在才完全商业化。早在 1939 年,德国就提出了将手动变速器分为两部分的设计概念,一部分传递奇数挡,另一部分传递偶数挡,且其动力传递通过两个离合器连接两根输入轴,相邻各挡的被动齿轮交错与两输入轴齿轮啮合,配合两离合器的控制,能够实现在不切断动力的情况下转换传动比,从而缩短换挡时间,有效提高换挡品质。该变速器曾经在载货车上进行过试验,限于当时的控制技术,并没有批量生产。随后在 20 世纪 80 年代,保时捷公司也发明了专用于赛车的双离合变速器(Porsche Doppelkupplung,PDK),但也未能批量生产。

经过多年的研究与发展,大众公司与美国博格华纳公司(Borgwarner)于 2002 年向世人展示了合作开发的 6 速湿式双离合自动变速器,并很快将其应用于大众高尔夫 R32 上。6 速 DSG 搭配 1.8 TSI、2.0 TSI 等大排量发动机,可承受的最大扭矩为 350 N·m,多应用在主打操控性的高性能车型上,如迈腾、高尔夫 GTI 等。2008 年,大众公司和德国舍弗勒集团(Schaeffler)旗下的鲁克公司合作开发的 7 速干式双离合自动变速器也投入市场,其可承受最大扭矩为 250 N·m,搭配 1.2 TSI、1.4 TSI 等小排量发动机,主要应用于经济型车型,如速腾、POLO 等。其他整车厂商在双离合自动变速器的研发和生产方面也取得了一定的成果,其中福特公司的 Powershift、宝马公司的 M-DKG 和三菱公司的 SST 均是它们与德国的格特拉克公司(Getrag)合作开发的双离合自动变速器。保时捷公司则将早在 20 世纪 80 年



也就应用于赛车上的保时捷双离合自动变速器 PDK 进行了改进和创新,应用于家用车上。

1) 双离合自动变速器的原理

双离合自动变速系统的主要组成部分有 C1、C2 两个离合器,以及按奇数、偶数挡位分别与两个离合器布置连接的变速器齿轮组,如图 2-32 所示。I、Ⅲ、V 挡与离合器 C1 连接在一起,Ⅱ、Ⅳ、R 挡连接在离合器 C2 上,当车辆以某个挡位行驶时,下一个即将进入运行的挡位可以始终处于啮合状态;当达到下一个挡位的换挡点时,只需将正处于接合状态的离合器分离,将处于分离状态的离合器接合,即切换两个离合器的工作状态,完成换挡动作。由于在两个离合器的切换过程中只会使发动机动力传递出现一个减弱的过程,而不需要完全切断动力传递,因此,DCT 实现的是动力换挡,其换挡过程与 AT 的换挡过程基本类似。

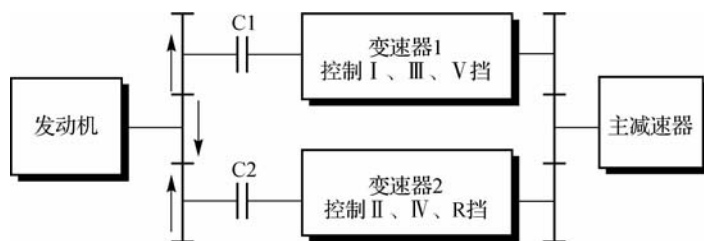


图 2-32 双离合自动变速器系统的结构原理

2) 双离合自动变速器的特点

汽车变速器的性能对比见表 2-2。双离合自动变速器由于既继承了 AMT 和 AT 的结构简单、安装空间紧凑、质量轻、传动效率高、制造成本低、具有相对较好的燃油经济性和低排放等许多优点,又融合 AT 不间断动力、迅速平稳换挡的良好特点,很快成为业界研究开发的新热点。DCT 将在一定程度上改变现有的变速器市场格局,通过表 2-2 可以看出,装有 DCT 的车辆在舒适性、驾驶乐趣、燃油消耗方面都有绝对的优势。未来几年,全球轻型车变速器市场的竞争将在 AT、CVT 和 DCT 之间展开。

表 2-2 汽车变速器的性能对比

性能对比项	新型变速器			传统变速器	
	DCT	CVT	AMT	AT	MT
舒适性	++	++	-	++	--
运动感/驾驶乐趣	++	+	++	0	++
燃油消耗	++	0	++	0	++
价格/成本	0	-	+	0	++

注:“+”代表好,“0”代表适中,“-”代表差。

3) 双离合自动变速器的组成

DCT 的组成包括用来断开和接通动力的离合器系统,用来改变传动比并实现动力传递的齿轮变速机构,用来控制变速器工作的电子、液压控制系统,如图 2-33 所示。

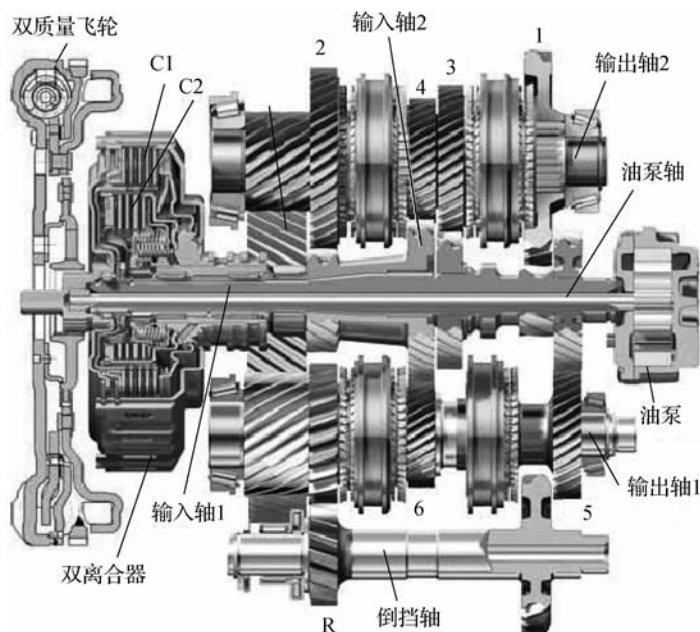


图 2-33 双离合自动变速器的组成

(1) 离合器系统。离合器系统是由两个离合器集成在一起的, 离合器系统包括驱动盘、离合器毂、离合器内支架、离合器内片支架, 还有包括用来挤压摩擦片的活塞和保证密封的活塞环。

(2) 齿轮变速机构。DCT 的齿轮变速机构与 MT 的齿轮变速机构很相似, 都是平行轴式齿轮变速机构。DCT 齿轮变速器包括两根输入轴、两根输出轴、一根倒挡轴、控制换挡的同步器, 还有保证轴正常旋转的轴承。其作用是通过 6 个不同挡位对发动机传过来的力矩进行改变, 然后将变化后的力矩传给驱动车轮。

(3) 液压控制系统。DCT 的液压控制系统主要由起润滑和冷却作用的润滑系统、起接合和中断动力传递的离合器系统和起控制换挡作用的换挡控制部分组成。

具体部件包括油泵、浸在变速器油中的阀体、拨叉轴上的液压缸等。油泵是液压控制系统的动力源, 发动机直接驱动油泵, 所以只要发动机工作, 油泵就工作, 油泵的作用就是给系统提供一定压力的压力油。液压控制系统的阀体上主要有电磁阀和液压阀。

离合器有温度传感器, 它测量离合器的温度, 用来作为离合器压力控制阀增加或者减少冷却滑阀压力的依据。离合器油道的接通和关闭是由冷却滑阀控制的, 系统中的挡位开关阀、多路换向控制阀、离合器压力调节阀控制系统油路实现变速器正常工作。

(4) 电子控制系统。电子控制系统的组成包括检测信号的传感器、用来进行数据处理并发出指令的控制单元和用来执行命令的执行器。传感器包括 5 个挡位传感器、5 个转速传感器、2 个压力传感器、1 个油温传感器、1 个挡位指示传感器和 1 个 TIP 开关。

4) 双离合自动变速器的工作原理

DCT 的结构特点是: 变速器输入轴采用轴套轴结构, 两根输入轴分别通过花键与双离合总成的离合器 C1、离合器 C2 相连, 挡位按照奇偶分别布置在两根输入轴上。从图 2-34 可以看出, 离合器 C1 通过变速器输入轴 1 连接 1、3、5、R 挡, 离合器 C2 通过变速器输入轴 2



连接 2、4、6 挡。在车辆停车时,将同时分离两个离合器,将发动机与传动系统的动力传递路线切断,一旦车辆起步,换挡拨叉自动操纵机构预先将 1 挡同步器接合。然后控制离合器 C1 逐渐接合直到完成起步过程,进入 1 挡稳定运行状态。车辆正常行驶后,随着车速逐渐升高,根据预先制定的换挡规律,判断下一挡位为 2 挡时,由于 2 挡与离合器 C2 相连,此时离合器 C2 处于分离状态,不传递动力,因此换挡拨叉自动操纵机构将较容易地将 2 挡同步器接合。当到达 1 挡升 2 挡的换挡点时,仅仅通过控制离合器 C1 和离合器 C2 的分离接合即可完成换挡过程。车辆换入 2 挡后,在运行过程中,如果车辆继续加速,电控单元根据相关传感器信号,按照预先制定的控制规律预先接合 3 挡同步器,如果车辆减速将进入降挡,则预先接合 1 挡同步器。由于此时 1、3 挡均与离合器 C1 相连,而离合器 C1 处于分离状态,因此换挡拨叉自动操纵机构均较容易实现以上任一过程。当车辆运行到相应的换挡点时,仍只需合理控制两个离合器的分离接合就能很顺利地实现动力换挡过程。发动机的动力在换挡过程中始终不断地传向传动系统,保证了换挡过程的动力不中断,取得了良好的换挡舒适性。双离合自动变速器的工作原理如图 2-34 所示。

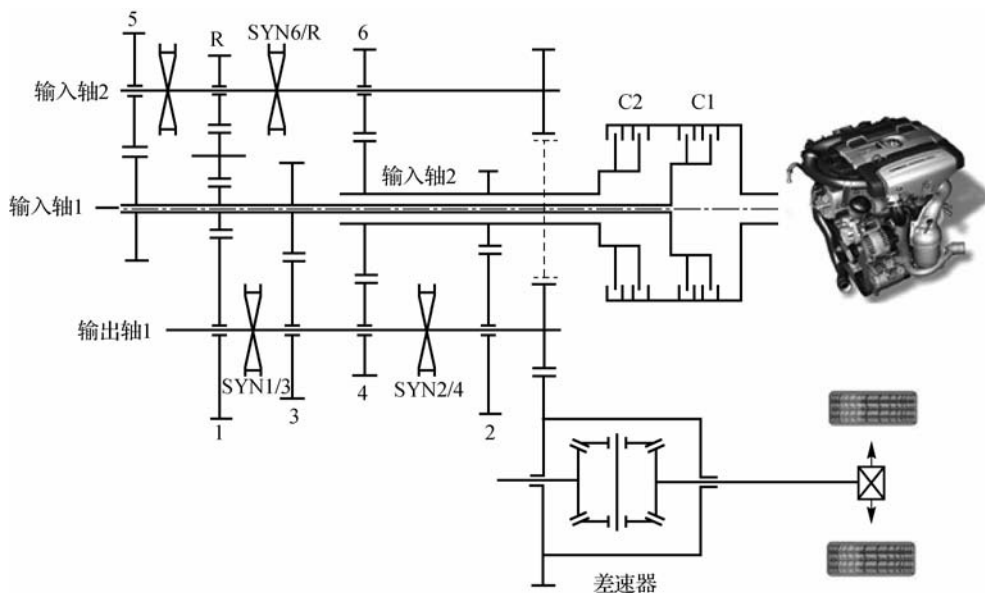


图 2-34 双离合自动变速器的工作原理

5) 双离合自动变速器应用实例

鉴于 DCT 的优越性能及大众公司在 DCT 技术上的成功,全球各大汽车厂商纷纷进行 DCT 技术的研究。大众汽车公司和博格华纳首先携手合作生产将它放置在量产主流车型奥迪上,并命名为直接换挡变速器(direct-shift gearbox,DSG)。随后 DSG 产品陆续配套到了大众捷达、大众途安、大众第五代高尔夫、大众宝来、奥迪 A3、奥迪 TT、西雅特、斯柯达等众多车型。大众公司的 DSG 与传统双离合变速器最大的不同就是它有一个由两组离合器片集合而成的双离合装置,同时有一个由实心轴及其外部套筒组合而成的双传动轴机构,并由 Mechatronic 电子控制及液压装置同时控制两组离合器及齿轮组的动作。

图 2-35 所示为一个大众 6 速 DSG,双离合变速器能够消除换挡时动力传递的中断现象,不仅继承了手动变速器传动效率高的特点,并且比手动变速器换挡更快。缩短换挡时

间,同时换挡更加平顺。

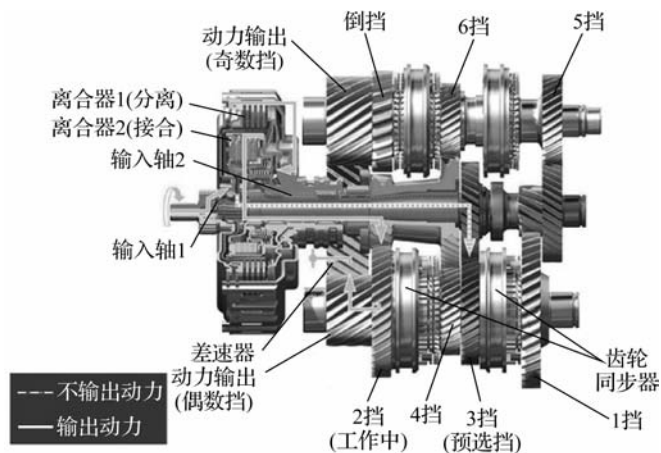


图 2-35 大众 6 速 DSG

5. EVT 双模混合动力变速器

混合动力汽车按其传动系统的拓扑方式可分为串联式、并联式和混联式。混联式综合了串联式和并联式的优点,可以实现传动系统能量流的高效传递,同时使内燃机绝大部分时间运行在高效率区,并根据工况灵活地选择动力源,使得汽车整车具有低能耗、低排放、高性能的优点。

混联式混合动力汽车驱动传动系统的设计需要特殊的动力分离装置,以将内燃机的能量进行分配,一部分用于直接输出,一部分用于拖动发电机进行发电。由于混联式混合动力汽车对动力分离装置的特殊要求,电气无级变速器(electric variable transmission, EVT)作为一种高度集成的机电能量耦合装置,可以实现与基于行星齿轮的混合动力传动系统相同的功能,并提供更丰富和灵活多变的工作模式,是当前混合动力汽车动力系统研究的一个热点。

EVT 混合动力汽车的首次量产是 1997 年丰田推出的 Prius 混合动力汽车,其传动系统采用了发动机+双电机的构型,发动机接行星架,发电机接太阳轮,电动机接齿圈并输出,从而实现电控无级变速和功率耦合,巧妙地实现发动机和电动机的动力耦合及无级变速等功能,更有发电、纯电动等多种工作模式。其结构如图 2-36 所示,发动机和行星排相连,将发动机输出的动力通过行星齿轮输送给外齿圈和太阳轮,一般用作输入端;而太阳轮轴与发电机 MG1 相连,既可作为输入,也可作为输出,具有多种形式;齿圈轴和传动轴及电动机 MG2 连接,一般作为输出。这样通过控制发电机的转速,整个系统实现无级变速,保证发动机可以长时间在低排放或高效率状态运行。而发电机产生的电能用来给电动机供电和给电池充电。该系统除用在丰田公司所有混合动力汽车中,也被绝大多数公司的混合动力汽车采用,是目前使用最广的混合动力耦合系统。

EVT 可以组合出 4 个固定机械传动比,而在这些固定齿比之间又有电机帮助达到无级变速的效果,电子无级变速还分为高速和低速两种模式。双模混合动力技术中加入更多的是直接机械传动,这样做的好处是使混合动力系统效率更高,尤其在高速行驶时能实现更低油耗;可以与很多车型灵活结合,包括不同的驱动形式、不同的车型和不同的车身尺寸。简



单地说,双模混合动力系统用更复杂的结构和控制方式,使得混合动力系统的效率更高,也使得它在高速和低速情况下都能省油。EVT 速比连续变化的特点,使混合动力传动的优化匹配成为可能,节油率高达 45%,是目前混合动力传动系统的理想方案,其优异的燃油经济性和良好的市场表现证明了这一点。

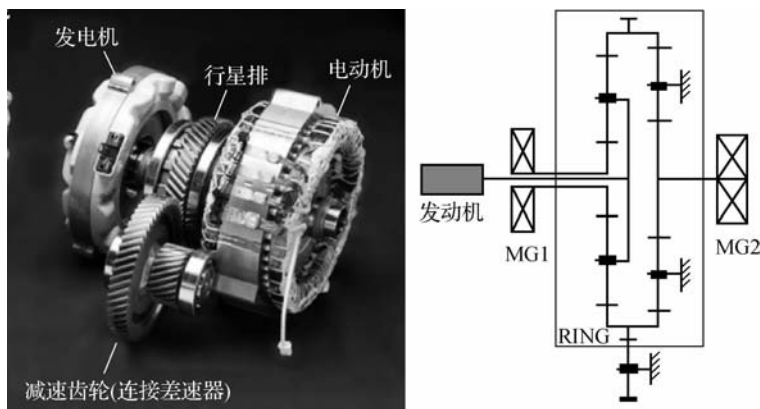


图 2-36 EVT 双模混合动力变速器

四、汽车驱动新技术

汽车驱动方式可分为两轮驱动和四轮驱动两大类。传统汽车绝大部分采用两轮驱动形式,根据发动机在车辆的位置及驱动轮的位置进而细分为前置后驱(FR)、前置前驱(FF)、后置后驱(RR)、中置后驱(MR)等形式。无论是前驱还是后驱,动力只能直接作用到一半的车轮(驱动轮),但是当两驱车的一个驱动轮出现打滑时,另外的车轮也会失去动力,因而人们思考如何让 4 个车轮都作为驱动轮。

四轮驱动是指汽车前后轮都有动力,可按行驶路面状态不同而将发动机输出扭矩按不同比例分布在前后所有的轮子上,这种驱动模式能随时拥有较好的越野和操控性能。根据动力分配情况及驱动力控制系统的不同,四轮驱动可以简单地分为分时四驱、适时四驱和全时四驱三大类。在过去,四轮驱动是越野车独有的驱动形式,而现在,四驱已经开始在一些中高档轿车和豪华跑车中普及。与大部分越野车应用的分时四驱技术不同,豪华运动轿车搭载的全时四驱技术更注重轮胎抓地力,在提高操控性的同时带来更多的驾驶乐趣。

1. 分时四驱

分时四驱可以简单地理解为驾驶员根据不同路况可以手动切换两驱或四驱模式的四驱系统,切换机构有些是分动箱的挡杆,有些则是电子按钮或旋钮。图 2-37 所示为分时四驱结构简图,这种四驱系统的特点是需要驾驶员根据路面状况和经验通过手动操作分动器来实现两驱与四驱的切换;而且都是有车速限制的,甚至要停下车配合离合才能切换,如操作不当很容易给四驱系统造成损害。这样日常使用就不太方便,操作过分依赖驾驶员经验,因而其应用范围具有较大的局限性。

分时四驱分动器是由一套行星齿轮机构用以实现减速功能,动力通过一条高精度无声链条传递到前驱动轮。该分动器的行星齿轮副和后输出轴部件通过油浴和油泵进行主动润滑。分动器的换挡由分动器 ECU 控制,ECU 的挡位选择由换挡开关发出指令。驾驶员自

行判断路况,手动选择换挡开关的挡位。

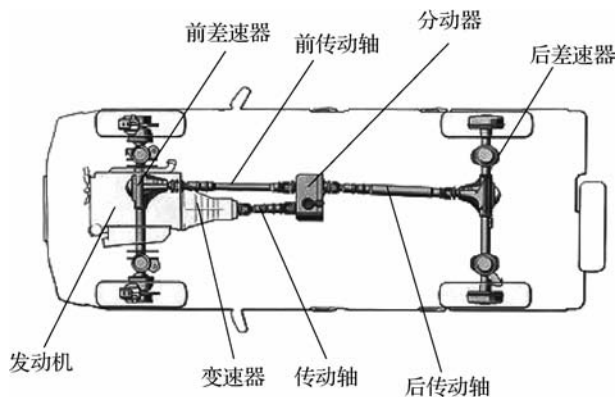


图 2-37 分时四驱结构简图

采用分时四驱系统的 SUV 车型中,一般都有 2H、4H、4L 这 3 个挡位,主要是通过分动器实现两驱、高速四驱、低速四驱间的切换。

(1)2H 挡。两驱高挡位,只有 2 个后轮被驱动,分动器的传动比是 1:1,动力传递路线如图 2-38 所示。

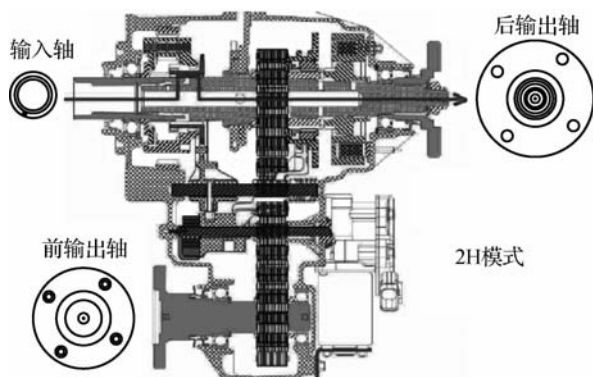


图 2-38 两驱高挡位动力传递路线

(2)4H 挡。四驱高挡位,4 个车轮均被驱动,分动器的传动比是 1:1,动力传递路线如图 2-39 所示。

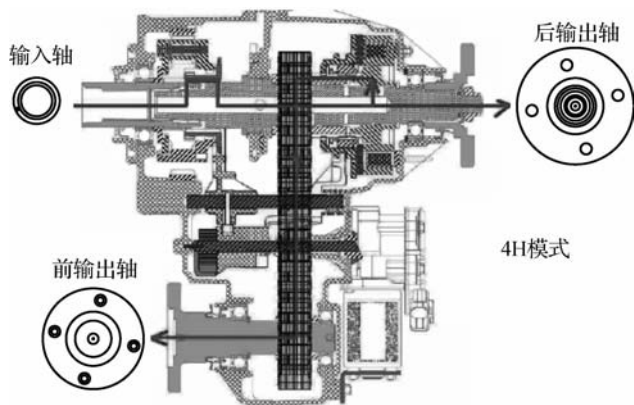


图 2-39 四驱高挡位动力传递路线



(3)4L挡。四驱低挡位,4个车轮均被驱动,分动器的传动比是2.48:1,动力传递路线如图2-40所示。

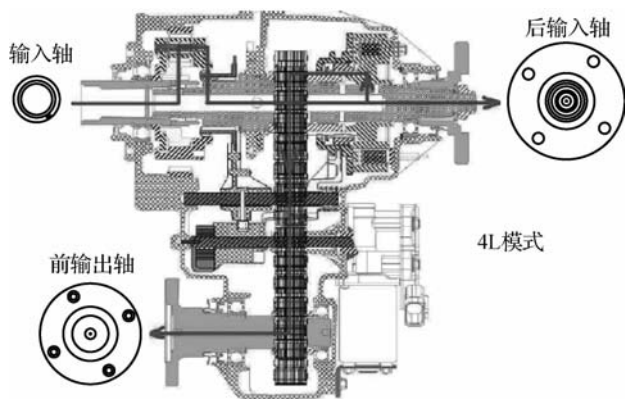


图 2-40 四驱低挡位动力传递路线

正常行驶时,车辆处于2H模式下且在高速行进中。当按下开关4H时,仪表4H指示灯闪亮,ECU控制换挡成功后,4H指示灯常亮,显示切换成功;将4H换至2H时,按下开关2H,仪表4H指示灯闪亮,ECU控制换挡成功后,4H指示灯熄灭。切换4L挡必须停车操作。将4H换至4L,ECU需离合信号,因此驾驶员需要踩下离合踏板,再按下4L开关,仪表4L指示灯闪亮,ECU控制换挡成功后,4L指示灯常亮显示。同样,从4L换挡至4H,停车并踩踏离合踏板,再按下4H开关,仪表4H指示灯闪亮,ECU控制换挡成功后,4H指示灯常亮。

分时四驱系统的优点是结构简单、稳定性高、坚固耐用,能保证车辆的动力性和通过性,又兼顾燃油经济性。但必须要驾驶员手动操作,有些甚至结构复杂,不止一个步骤,同时需要停车操作。

2. 适时四驱

适时四驱就是系统会根据行驶情况自动切换为两驱或四驱模式,不需要人为操作。这种四驱系统相对于分时四驱系统来说,免去了烦琐的手动操作过程,完全不用担心因为切换不当而导致四驱系统损坏,甚至很多时候四驱系统切入也毫无察觉,如图2-41所示。

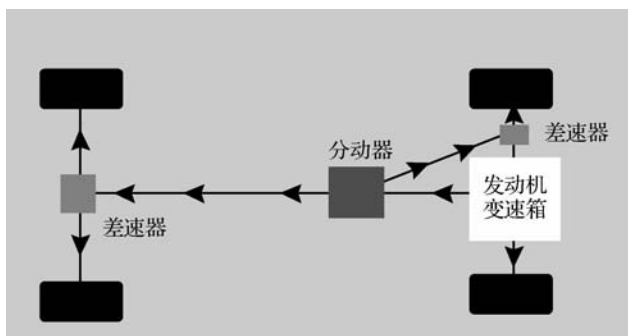


图 2-41 适时四驱系统的结构

适时四驱系统中采用的是多片离合器式限滑差速器。多片离合器式限滑差速器主要是通过湿式离合片产生差动扭矩,而离合器的接合与分离是靠电子系统来控制的。车辆在正常行驶时,驱动形式为前驱,当系统检测到车轮打滑时,通过电子系统控制离合器接合,进而将部分动力传递至后轮,理论上 ECU 会根据车速与路况在 100 : 0~50 : 50 自动分配前后轴扭矩,以达到抓地性能最优化。不过这种四驱系统通常在主驱动轮失去抓地力(打滑)后,另外的驱动轮才会被动介入,所以它的响应速度较慢。相对来说,适时四驱汽车的主动安全性不如全时驱动车高。另外,适时四驱系统的前后轴基本上都采用开放式差速器,如在一些复杂路段,出现单侧两个车轮打滑时,也是无法脱困的。所以适时四驱汽车一旦遇到强度大一些的越野路段就无能为力了。

适时四驱广泛应用于城市 SUV 或轿车上,如本田 CR-V、现代 ix35、丰田 RAV4、日产奇骏、雷诺科雷傲等。

3. 全时四驱

在一些 SUV 车型的尾部经常会看到 AWD 的字样,AWD 即全时四驱(all wheel drive)的缩写。全时四驱指的是汽车的 4 个车轮时时刻刻都能单独提供驱动力,在行驶过程中一直保持四轮驱动的形式,发动机输出扭矩以一定的比例分配到前后轮。全时四驱汽车具有很好的越野性与操控性。

全时四驱汽车传动系统中设置了一个中央差速器,如图 2-42 所示,将动力分配到前后驱动桥。与分时四驱、适时四驱不同的是,全时四驱的车行驶过程中一直保持四轮驱动,根据不同的路况,中央差速器将发动机动力以一定的比例分配到前后轮。

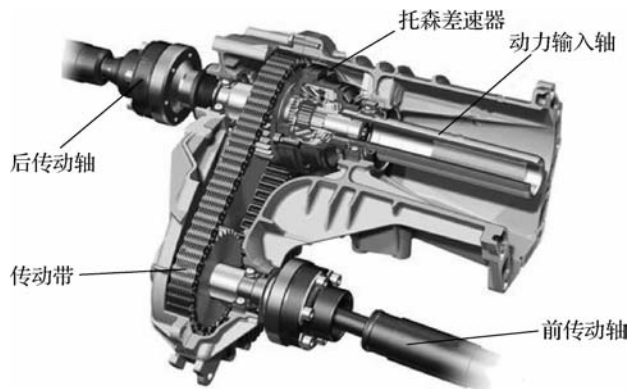


图 2-42 中央差速器

全时四驱系统多用于中高端车型上,如奔驰 GLK、宝马 X5、奥迪 Q7、讴歌 MDX 等。图 2-43 所示为奥迪全时四驱系统的结构简图。

相对于其他四驱系统,全时四驱系统没有了两驱和四驱之间切换的响应时间,主动安全性更胜一筹。全时四驱是将发动机的动力输出经过传动系统分配到 4 个车轮上,所以能获得更为平稳的牵引力。即使碰到极限路况(泥泞湿地、山路)或激烈驾驶时,全时四驱汽车都有很高的通过性和稳定性。不过相对于适时四驱系统来说,其油耗较高。

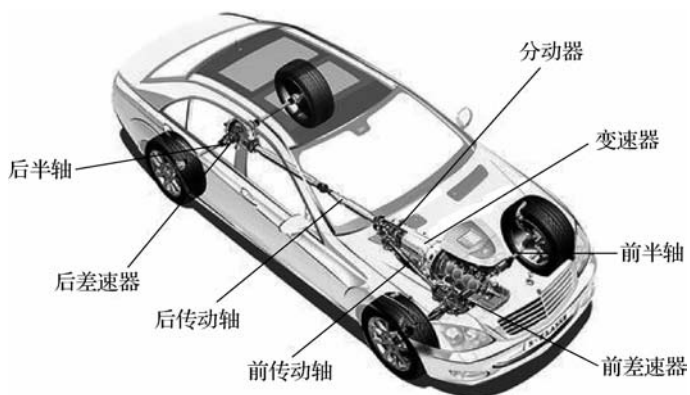


图 2-43 奥迪全时四驱系统的结构

第二节 转向系统新技术

知识目标

- 掌握液压助力转向系统的基本工作原理、主要组成部分及其在车辆中的应用；
- 熟悉电动助力转向系统的结构、工作原理及其优势；
- 了解主动转向系统的功能、工作原理及作用。

技能目标

- 能够进行液压助力转向系统的日常维护和常见故障的诊断与排除；
- 能够进行四轮转向系统的校准与调试。

素养目标

- 能够主动关注行业前沿技术,具备创新思维；
- 能够与团队成员紧密合作,共同解决问题；
- 具备持续学习的意识,能够不断更新知识,跟上转向系统新技术的发展步伐。

汽车转向系统的功能就是按照驾驶员的意愿控制汽车的行驶方向。驾驶员通过一套专设的机构,使汽车转向桥(一般是前桥)上的车轮(转向轮)相对于汽车纵轴线偏转一定角度。在汽车直线行驶时,往往转向轮也会受到路面侧向干扰力的作用,自动偏转而改变行驶方向。此时,驾驶员也可以利用这套机构使转向轮向相反方向偏转,从而使汽车恢复原来的行驶方向。这套用来改变或恢复汽车行驶方向的专设机构称为汽车转向系统,图 2-44 所示为汽车转向系统结构简图。

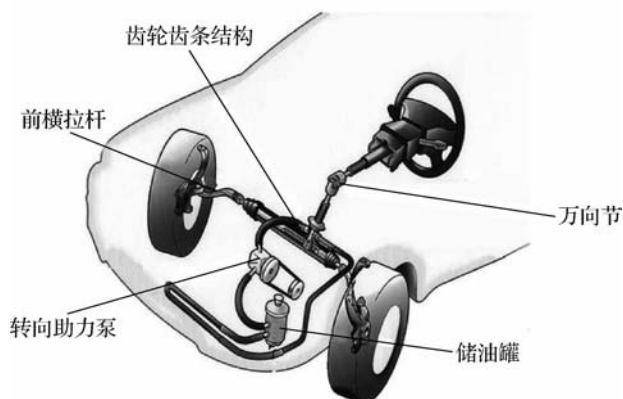


图 2-44 汽车转向系统结构简图

现代车辆转向系统的发展至今大致可以划分为六个阶段,如图 2-45 所示,即机械转向系统、液压助力转向系统、电动助力转向系统、主动转向系统、线控转向系统和自动转向系统。

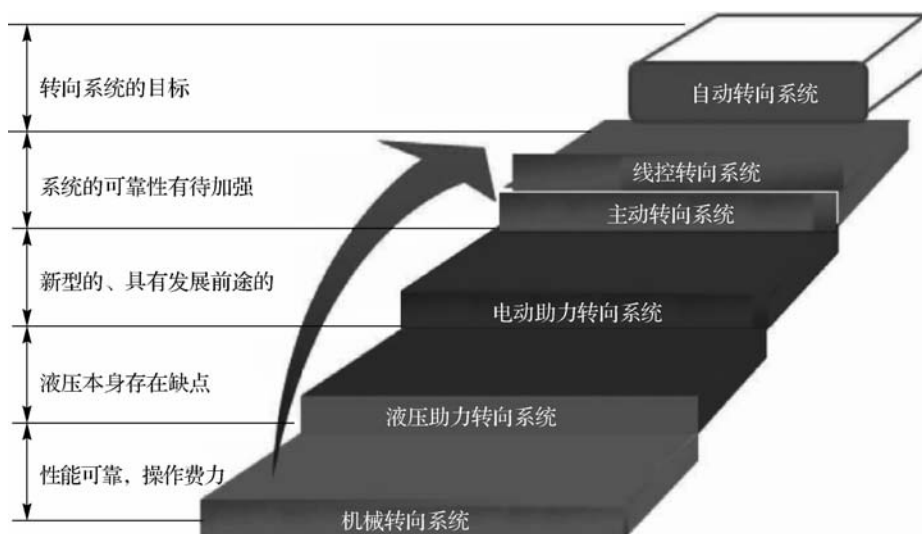


图 2-45 转向系统发展过程

一、液压助力转向系统

1. 机械式液压助力转向系统

机械式液压助力转向系统主要包括齿轮齿条转向机构和液压系统两部分。其工作原理是通过液压助力泵(由发动机皮带带动)提供油压推动活塞,进而产生辅助力推动横拉杆,辅助车轮转向,如图 2-46 所示。

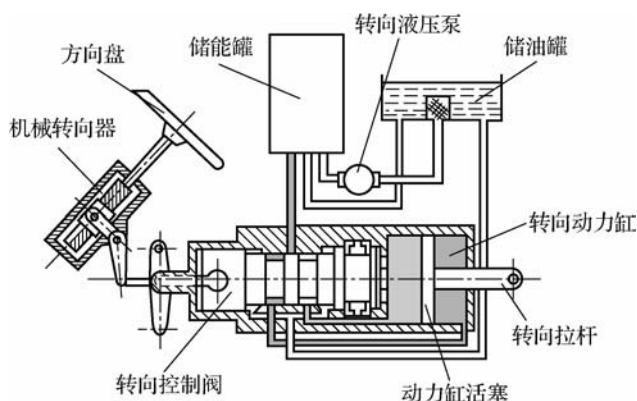


图 2-46 机械式液压助力转向系统的结构

在方向盘没有转动时,位于机械转向器上的机械阀体(可随转向柱转动)保持原位,活塞两侧的油压相同,处于平衡状态。当方向盘转动时,转向控制阀体就会相应地打开或关闭,一侧油液不经过液压缸而直接回流至储油罐,另一侧油液继续注入液压缸,这样活塞两侧就会产生压差而被推动,进而产生辅助力推动转向拉杆,使转向更轻松。

在机械式液压助力转向系统中,如车轮的剧烈跳动和遇到坑洼路面导致轮胎出现非自主转向,可以通过液压对活塞的作用很好地缓冲和吸收震动,使传递到方向盘上的震动大大减少。机械液压助力技术成熟稳定,响应灵敏,可靠性高,应用广泛。但其具有系统结构较复杂、维护成本较高、系统能耗高等缺点。为保持管路油压,系统时刻处于工作状态,经统计,一般轿车每行驶 100 km 要多消耗 0.3~0.4 L 的燃料。其次,助力大小受发动机控制,不能根据实际需要改变,当车辆低速行驶时,发动机转速慢,当车辆高速行驶时,发动机转速快,而助力大小与发动机转速成正比,所以,在低速行驶需要克服更多阻力扭矩时,转向助力小,而高速行驶需要较小助力以便在惯性较大时能够较好地控制车身时,转向助力反而大,这样对获得较好的助力特性是相当不利的。在低温时,受液压系统的影响,系统工作性能急剧下降。这些缺点都使得其使用受到了很大的限制。

2. 电子式液压助力转向系统

电子式液压助力转向系统(electro hydraulic power system, EHPS)的结构原理与机械式液压助力转向系统大体相同,最大的区别在于提供油压油泵的驱动方式不同。后者的液压泵直接通过发动机皮带驱动,而前者采用的是由电力驱动的电子泵,如图 2-47 所示。

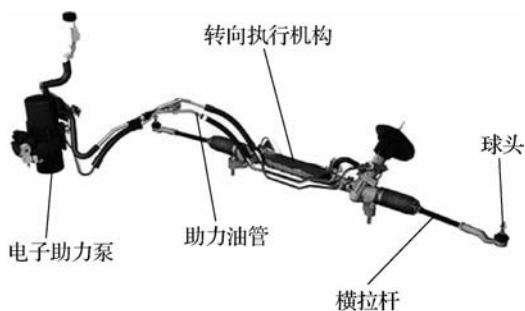


图 2-47 电子式液压助力转向系统

图 2-48 所示为电子式液压助力转向系统的结构,其主要由无刷直流电机、储油罐、齿轮泵、控制器等部件组成。电子式液压助力转向系统的电子泵不需要消耗发动机本身的动力,而且电子泵是由电子系统控制的,不需要转向时,电子泵关闭,进一步降低能耗。电子控制单元利用对车速传感器、转向角度传感器等传感器的信息处理,可以根据转向需求提供多条助力特性曲线,通过改变电子泵的流量来改变转向助力的力度大小,实现随速助力功能,改变传统液压助力转向系统的单一助力特性,改善驾驶操纵性能,使助力平滑,手感好,解决了传统转向系统中存在的方向盘摆振问题。

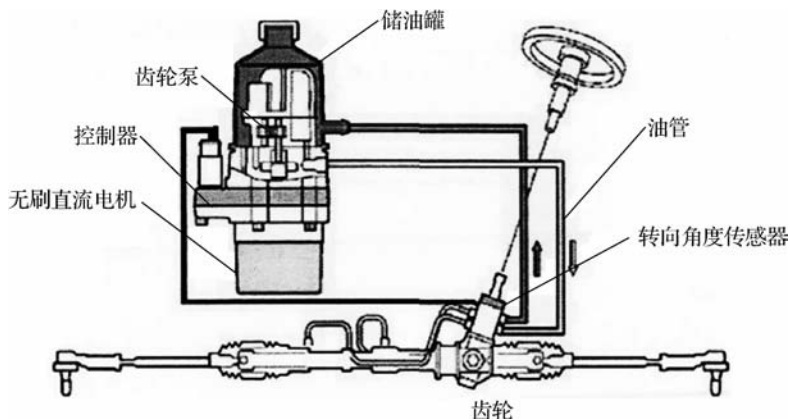


图 2-48 电子式液压助力转向系统的结构

二、电动助力转向系统

电动助力转向系统(electric power steering system)如图 2-49 所示,主要由助力电机、机械转向机构(转向传动轴、转向机和转向拉杆等)、控制装置、扭矩传感器等组成。其工作原理是:在方向盘转动时,位于转向柱位置的扭矩传感器将转动电信号传到控制器,控制器通过运算修正给电机提供适当的电压,驱动电机转动;而电机输出的扭矩经减速机构放大后推动转向柱或转向拉杆,从而提供转向助力。

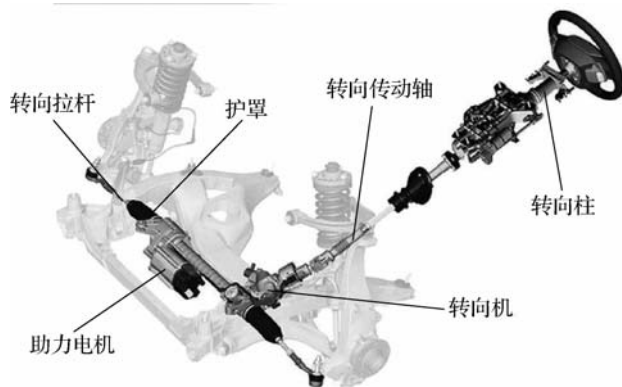


图 2-49 电动助力转向系统的组成

与液压助力转向(hydraulic power steering, HPS)系统相比, EPS 系统的优点体现在以下方面: EPS 系统只有在转向时电动机才助力,而 HPS 系统即使不转向时油泵也一直运转,



所以 EPS 系统减少了燃油消耗。EPS 系统取消了皮带轮、油泵、液压管等零件,和 HPS 系统相比,其零件简单、安装方便、质量较轻;取消了液压回路,可以通过设置不同的程序进行车型匹配,生产周期和开发周期比 HPS 系统短。不存在渗油问题,减少了环境污染和维修成本。与 HPS 系统相比, EPS 系统具有更好的低温工作性能。

根据电动助力转向实现方式不同,电动助力转向系统可分为转向轴式电动助力转向系统、齿轮轴式电动助力转向系统和齿条轴式电动助力转向系统。

(1)转向轴式电动助力转向系统。转向轴式电动助力转向系统的电动机固定在转向轴一侧,通过减速机构将助力电机经减速增扭后对转向柱施加助力,如图 2-50 所示。



图 2-50 转向轴式电动助力转向系统

(2)齿轮轴式电动助力转向系统。齿轮轴式电动助力转向系统的电动机和减速机构通过小齿轮相连,直接驱动齿轮实现助力转向操作,如图 2-51 所示。与转向轴助力式相比,可以提供较大的转向力,适用于中型车。



图 2-51 齿轮轴式电动助力转向系统

(3)齿条轴式电动助力转向系统。齿条轴式电动助力转向系统是对转向拉杆施加助力,将助力电机安装在转向拉杆上,直接用助力电机推动拉杆使车轮转向,如图 2-52 所示。齿条助力式电动助力转向系统可以提供更大的转向力,适用于大型车,结构更为紧凑、便于布置,目前使用比较广泛。



图 2-52 齿条轴式电动助力转向系统

三、主动转向系统

前述的助力转向系统可以大大减轻驾驶员的疲劳强度,但是能够改变的仅仅是助力力度,而转向比是不可改变的。汽车高速行驶时由路面通过轮胎反馈到方向盘的路感降低了,高速时方向盘太轻造成方向稳定性变差。

主动转向系统也称可变转向比转向系统,即方向盘转动的角度与对应的车轮转动角度的比值可以随着汽车工况而改变。主动转向系统分为两类:一类是仅助力力度可变的助力转向系统,也称可变助力转向系统;另一类是速比可变的助力转向系统。

1. 可变助力转向系统

可变助力转向系统能够随车速改变转向的助力力度,在不同情况下,方向盘转角对应的车轮转动角度也是可以变化的。在泊车或低速行驶状态下增加助力,使转动方向盘更加轻盈省力,减轻驾驶员疲劳强度;而当车辆高速行驶时,则能够降低助力,使方向盘转动阻力增大,手感变沉,不再像低速时那样灵敏,车辆的高速行驶稳定性得到提升。

1) 电子液压可变助力转向系统

电子液压可变助力转向系统的电子控制单元能够通过对车速传感器、横向加速度传感器、转向角度传感器等传感器的信息的处理,实时改变电子泵的流量来调整转向助力的力度大小,也就是实现随速可变助力功能。

标致雪铁龙家族的电子液压可变助力转向系统被称作 GEP。在正常情况下,GEP 电子泵的转速与车速成反比,车速越高,电子泵转速越低。通常在低速时电子泵转速为 3 000 r/min,而高速时则降到 800 r/min,带来了泊车时转向轻盈而高速行驶时厚重沉稳的手感。该系统要比传统的机械式液压助力转向系统节省油耗 0.1~0.2 L/100 km。

电子液压助力的优势主要体现在能耗上。由电能驱动的电子泵使用发电机和电池输出的电能不再消耗发动机本身的动力。电子泵的起动和关闭均由电子系统控制,在不做转向动作的时候,电子泵关闭,不像机械液压助力泵那样始终与发动机联动,进一步降低了能耗。

2) 电动可变助力转向系统

电动可变助力转向系统由转向传感器、车速传感器、助力机械装置、电磁离合器、转向助力电动机及 ECU 组成,如图 2-53 所示。

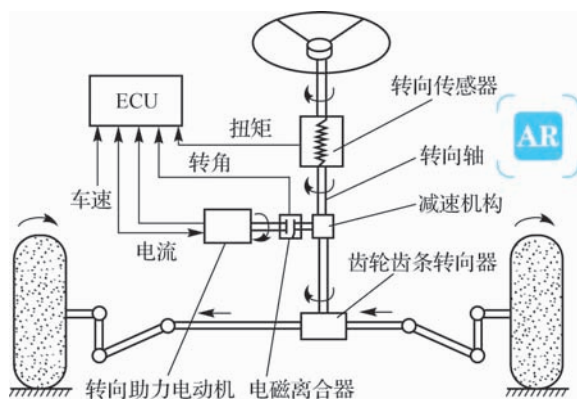


图 2-53 电动可变助力转向系统的组成

该系统工作时,转向传感器检测到转向轴上转动力矩和转向盘位置两个信号,与车速传感器测得的车速信号一起不断地输入 ECU,ECU 通过数据分析,控制电动机的通电电流,调节电动机的工作力矩,进而控制转向助力强度,实现汽车的转向。通过精确的控制算法,可任意改变电动机的扭矩大小,使传动机构获得所需的任意助力值。

电动助力转向系统的助力作用受计算机控制,根据车速变化控制电动机的工作电流,使其随车速的升高而减小,从而达到控制助力强度、改善转向“路感”的目的。在低速转向时的助力作用强,可获得比较轻便的转向特性;随着车速的升高助力逐渐减弱,当车速达到 50 km/h 时停止向电动机供电,并使电磁离合器分离,转向变为完全由驾驶员人为操作,可获得完美的转向“路感”。

2. 速比可变助力转向系统

助力力度可变的助力转向系统能够改变的仅仅是助力力度,也就是只能改变方向盘转动时的阻力,但是转向比(可简单理解为方向盘转动的角度与对应的车轮转动角度的比值)是不可变化的。而速比可变转向系统则要先进得多,不仅能够改变转向助力的力度,还可以在不同情况下改变方向盘转角对应的车轮转动角度。

速比可变助力转向系统在技术的实现上并不相同。目前主要有两种方式实现这种功能:一种方式是机械式,该系统原理简单、成本相对较低;另一种方式是电子式,该系统结构比较复杂,是通过行星齿轮结构和电子系统实现的。

1) 机械式速比可变助力转向系统

如图 2-54 所示,机械式速比可变助力转向系统主要是在齿轮齿条机构的齿条上做变化,通过特殊工艺加工齿距间隙不相等的齿条。方向盘转向时,齿轮与齿距不相等的齿条啮合,转向比就会发生变化,中间位置的左右两边齿距较密,齿条在这一范围内的位移较小,在小幅度转向(如变道、方向轻微调整)时,车辆会显得沉稳。而齿条两侧远端的齿距较疏,在这个范围内,转动方向盘,齿条的相对位移会变大,所以在大幅度转向时(如泊车、掉头等),车轮会变得灵活。

2) 电子式可变转向比系统

如图 2-55 所示,电子式可变转向比系统使用了更复杂的机械结构,并且需要与电子系统相结合。转向柱被从当中打断,将连接方向盘的转向柱一端称为输入轴,将直接连接转向

齿轮的一端称为输出轴,二者通过行星齿轮组连接。行星齿轮组的壳体是一个可旋转的蜗轮,能够由电动机驱动旋转。这套系统有独立的 ECU,根据转向角度传感器、左右车轮转速传感器、横向加速度传感器的信号来控制电动机的开关及运转方向。



图 2-54 不等距齿条

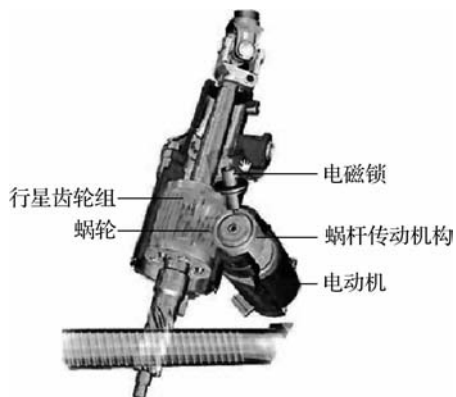


图 2-55 电子式可变转向比系统的组成

当系统未通电或者系统发生故障时,电磁锁会在弹簧的作用下卡在蜗杆的锁槽内,锁止蜗杆,壳体不可旋转,此时输入轴与输出轴的转速是相同的,传动比不发生任何变化。系统此时只是一套可变助力力度的机械式液压助力转向系统。而当系统通入电流、电磁锁打开、电动机开始旋转时,就发生了变化了。当车辆低速行驶时,电动机驱动蜗轮与输入轴同向运转,蜗轮壳体与输入轴的旋转角度相叠加,输出轴的旋转角度大于输入轴,车轮便能转动更大的角度,转向动作被“放大”,使车辆变得非常灵活;而当车速较高时,需要更大的转向比来提供精准沉稳的指向,辅助电动机会驱动蜗轮反向旋转,与输入轴的部分旋转角度相抵,最终输出轴的旋转角度会低于输入轴,转向动作被“缩小”。

3) 伺服式可变助力转向系统

伺服式可变助力转向系统(见图 2-56)在转向盘和转向轮之间安装了一个电子控制的机械机构,车轮整体转向的角度不再是驾驶员输入方向盘的角度,而是在此基础上叠加上蜗轮蜗杆调节机构附加的角度。通过电动机对蜗轮蜗杆调节机构的控制,可以改变传动系统的传动比。

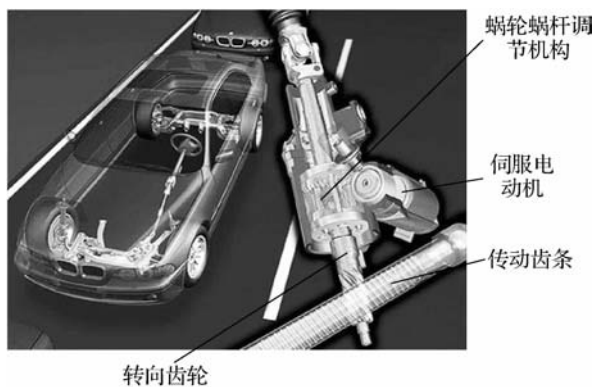


图 2-56 伺服式可变助力转向系统的组成



汽车实际转向角度与转向盘转角的关系如图 2-57 所示。在高速时,通过电动机和蜗轮蜗杆调节机构的作用,使驾驶员转动转向盘的角度比转向轮大,从而减少前轮的转动角度、提高转向稳定性。在低速时,使驾驶员转动转向盘的角度比转向轮小,从而增大前轮的转动角度,使转向便捷。



图 2-57 汽车实际转向角度与转向盘转角的关系

四、四轮转向技术

四轮转向(four-wheel steering, 4WS)技术能使车辆在转弯时后轮直接参与对车辆侧偏角和侧向运动的控制,不仅可以减少转向力产生的滞后,而且能独立地控制车辆的运动轨迹与姿态,使车辆的方向角与航向角重合,提高了车辆的侧向稳定性。

车辆后轮转向有两种转向方式。一是同相位转向,即前后轮向同一方向转动,从转动方向盘起到后轮发生转弯的时间很短,这样整个车身的方向变化与车辆实际的行进方向没有太大差别,可以改善操纵稳定性。在中、高速行驶或方向盘转角较小时,前、后轮实现同相位转向,可使车身横摆角速度减小,也减小了车身发生侧偏的倾向,保证车辆在高速超车等工况下有更好的稳定性。二是逆相位转向,即前后轮转动方向相反,在低速行驶或者方向盘转角较大时,前、后轮实现逆相位转向,且偏转角度随方向盘转角增大而在一定范围内增大。这样便于在低速时减小转弯半径,可以有效提高车辆的机动性,在以前需要多次倒车转弯才能通过的地方可以很轻松地通过。

四轮转向技术还可以分为被动式和主动式两种。雪铁龙赛纳、富康车型属于被动式转向,没有一根从前桥连接后桥的转向传动轴,且后轴没有转向机。这两款车仅仅是在后轮与悬挂、悬挂与车身之间布置了一些橡胶软垫,通过橡胶把悬架与车身柔性连接,在汽车转弯时,后悬架连接点的橡胶软垫在横向力的作用下能发生一定程度的弹性形变,从而带动车轮做一定角度的前束角变化,产生一个很小角度的转向,如图 2-58 所示。由于在过弯时前后轮都可以实现转向角度的改变,其转弯半径将降低,减缓了一般前驱车辆转向不足的转向特性。被动式转向虽然采用了橡胶垫变形的方式来实现后轮的随动转向功能,但是其转向角度非常小,只能进行与前轮同方向的转向,并且只有在车速并不是太低时才会起作用。

典型的主动式四轮转向系统主要由前轮转向系统、传感器、前轮转向执行机构和后轮转向传动机构等组成。其控制流程如图 2-59 所示,转向时,传感器将前轮转向的信号和车辆运动的信号送入 ECU,ECU 内部控制逻辑按一定的控制算法进行分析计算,向后轮转向执行机构输出驱动信号,后轮转向执行机构动作,通过后轮转向传动机构,驱动后轮偏转,实现

车辆的四轮转向。为防止汽车失控,一般后轮的转动角度在 5° 之内。



图 2-58 被动式四轮转向

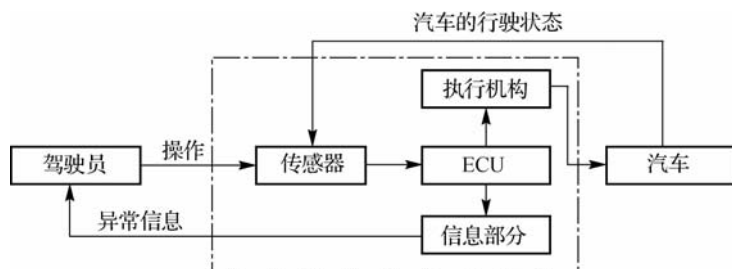


图 2-59 主动式四轮转向系统的控制流程

四轮转向系统可减小汽车转弯半径,从而改善汽车的机动性和操纵轻便性,适用于提升运动型汽车的弯道操控性。体积巨大的卡车或公交车可在狭窄的道路上灵活移动;具备一定装载能力的越野车具备在复杂路况中的脱困能力。

不同速度下四轮转向时后轮角度变化如图 2-60 所示。四轮转向汽车在速度小于 60 km/h 转向时,前后车轮逆相位转向[见图 2-60(a)],可减小车辆的转弯半径,提高快速转向性;在速度大于 60 km/h 转向时,前后轮主要做同相位转向[见图 2-60(b)],能减小车辆质心侧偏角,从而降低车辆横摆率的稳态超调量,减小车辆转向时的旋转运动,改善高速行驶的稳定性。

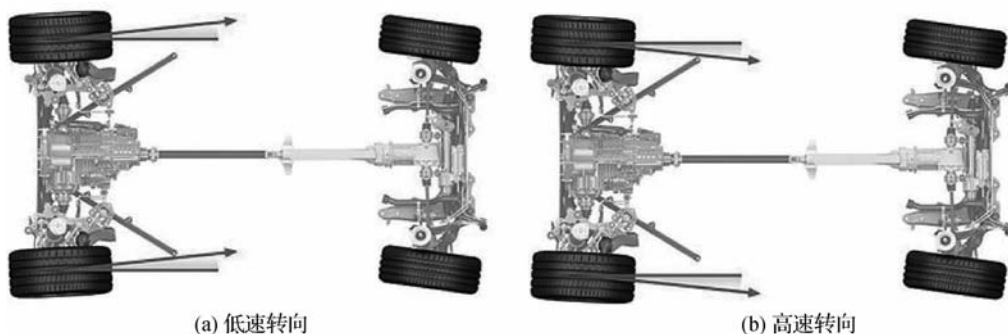


图 2-60 不同速度下四轮转向时后轮角度变化

在宝马 5 系与宝马 7 系上配备的后轮主动转向系统,在低于 60 km/h 的速度行驶时,主动转向系统能够让后轮向前轮相反的方向扭转 2.5° ,这也使得转向更加轻便灵活,而当行驶速度高于 60 km/h 时,后轮与前轮的转向方向完全一致,配合动态阻尼控制(自适应悬挂)和动态防倾杆,在减少后排乘员晃动感的同时大大提高了高速行驶中的安全性。



五、DAS 线控转向技术

DAS 线控转向系统是指通过通信网络连接各部件的控制系统,它替代了传统的机械或液压连接,取消了方向盘和转向轮的机械连接,占据空间小,并且可减少碰撞时对驾驶员的伤害。

搭载 DAS 线控转向系统的车辆进行转向时将无须转动方向盘,只要驾驶员双手做出滑动的动作,系统就能完成对车辆行驶方向的判断。采用这项技术的车辆会在方向盘中安装压电传感器,当驾驶员双手沿着方向盘表面滑动时,传感器会持续监控动作轨迹和压强变化,感知驾驶员转动方向盘的角度和动作数据,传输给 ECU 分析动作后,ECU 指示电机操作前轮的转向机构操作前轮转向,进而改变车辆的行驶方向。在这个过程中,方向盘和前轮之间没有任何机械连接,完全靠电信号来“沟通”。线控转向系统的缺点是需要模拟一个方向盘的力回馈过程,因为方向盘没有和机械部分连接,驾驶员感觉不到路面传导来的阻力,会失去路感。

线控转向的实现有前轮线控转向、后轮线控转向、四轮线控转向等。前轮线控转向又分为几种,如电动汽车利用轮毂牵引电机的牵引力产生绕主销的转向力矩,或通过两个独立的电机驱动左右两轮,实现汽车转向转角。

线控转向系统主要结构包括方向盘模块(力回馈电动机)、转向执行模块(转向电动机)和 ECU,以及为了防止意外手动转向介入的转向柱离合器,如图 2-61 所示。

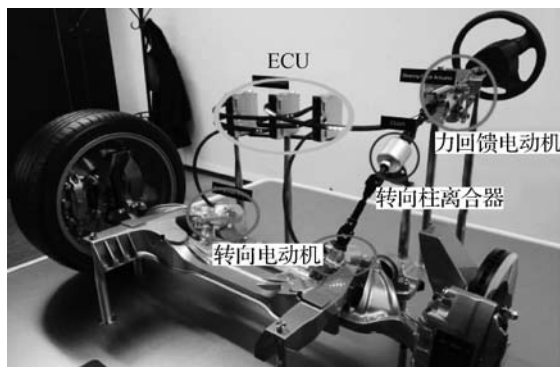


图 2-61 线控转向系统的基本结构

(1)方向盘模块。方向盘模块主要包括方向盘、方向盘转角传感器、方向盘扭矩传感器和方向盘回正电动机。方向盘模块的主要功能是当驾驶员转动方向盘时,方向盘转角传感器将测得的方向盘转角传递给 ECU,而方向盘回正电动机接收 ECU 发出的转矩信号,产生回正力矩,从而提供给驾驶员相应的“路感”信息。

(2)转向执行模块。转向执行模块主要包括前轮转角传感器、转向执行电动机、转向电动机控制器和前轮转向组件。转向执行模块的主要功能是:转角传感器将测得的车轮转角信号反馈给 ECU,并接收 ECU 的指令,通过转向电动机控制器控制转向车轮转动,实现驾驶员的转向意图。转向执行模块目前使用较多的有两种:一种是利用两个或四个轮毂电动机驱动转向轮,电动机牵引力产生绕主销的转向力矩,实现汽车转向;另一种是利用一个转向电动机驱动齿轮齿条转向器。

(3)ECU。ECU 对方向盘转角、前轮转角及车速等信号进行分析处理,判别汽车的运动

状态,向方向盘回正电动机和转向执行电动机发送指令,控制电动机协调工作,保证汽车在各种工况下都具有理想的动态响应,减小驾驶员在转向时随车速变化的补偿频率,从而减轻驾驶员的负担。另外,ECU还可以对驾驶员的操作指令进行识别,判断在当前状态下驾驶员的转向操作是否合理。当驾驶员发出不合理指令、汽车趋于非稳定状态时,线控转向系统会屏蔽驾驶员的错误指令,强行介入转向操作,自动进行稳定控制,以合理的方式自动驾驶车辆,使之尽快恢复到稳定状态。

线控转向系统的工作原理如图 2-62 所示。驾驶员转动方向盘时,ECU 根据方向盘转角传感器、车速传感器测得的信号,由前轮转角算法计算得到参考前轮转角,向转向执行电动机发出控制信号,使其进行位置闭环控制(PD 控制)和电流闭环控制(PI 控制),以实现该参考前轮转角。同时,ECU 根据方向盘回正力矩算法得到方向盘回正力矩。方向盘子系统进行电流的 PI 控制,实现期望的方向盘回正力矩。此外,为了使驾驶员得到更好的转向感觉,可以进行方向盘回正控制和阻尼控制。

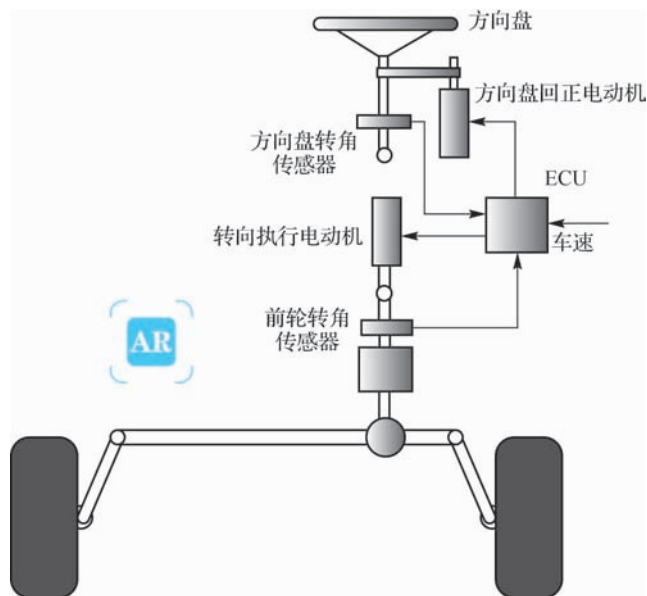


图 2-62 线控转向系统的工作原理

线控转向技术首次在量产车上应用是在英菲尼迪 Q50 上。与机械式操纵系统相比,它的信号更准确、传输更及时、操纵更灵活,可保证方向盘更加稳定,因而连续长时间操作不易疲劳。由于让车轮和方向盘间没有了硬性的机械连接,因此可以把很多不需要的路面反馈信号去除掉,让驾驶更舒适,而且拥有这项技术的车辆将能在零部件数量上有所简化,车身质量减轻。Q50 上保留了传统的转向柱,即方向盘和前轮转向机构之间还是有机械连接的,只是这个转向柱中间加了一个离合器,在转向系统通电的情况下,离合器在电磁力的作用下分离,方向盘和前轮之间的机械连接被断开;当电力切断,如在熄火或馈电状态下,离合器自动接合,转向系统就成为传统的机械式转向系统。在系统监测到 ECU、电动机等任何部件不能正常工作时,也会命令离合器接合,转用“备份”的机械转向系统,保证即使电子系统全部失效,依然可以正常转向。

线控转向系统可以改善传统转向系统不能解决的汽车转向过程中转向力和转向响应时



间的矛盾,使转向系统和方向盘同步工作,控制更加灵敏。具有变传动比特点的线控转向系统,可以根据车速、发动机转速及其他相关参数的变化来不断调整传动比。当汽车低速行驶时,调低传动比,以减小转向或停车时方向盘转动的角度;当汽车高速行驶时,调高传动比,以防止转向盘过于灵敏。

当汽车发生碰撞时,转向柱、转向盘会给驾驶员的胸腔和头部造成极大的冲击,直接威胁驾驶员的生命安全。线控转向系统取消了机械转向柱,完全避免了碰撞事故中转向柱对驾驶员的伤害。方向盘的取消更有利于保护驾驶员的安全。由于安全气囊可以布置在仪表板上,安全气囊与驾驶员的距离增大,当发生碰撞时,安全气囊就有更长的时间来展开并可以展开得更大,从而增强对驾驶员的保护作用。

由于该设计取消了传统的机械结构连接,地面的不平和转向轮的不平衡等扰动不会传递到转向盘上,从而减轻驾驶员的疲劳。

线控转向系统取消了转向柱等机械连接,减轻了整车的重量,降低了油耗,改善了整车的燃油经济性。

线控转向系统与传统的转向系统相比,大大提高了汽车的操纵稳定性、安全性和舒适性,是未来汽车转向系统的发展趋势。

六、电子控制动力转向系统

电子控制动力转向系统就是在液力转向系统的基础上,增加了一套电子控制装置的动力转向系统,可分为电动式动力转向系统、电子-液力式转向系统和电动-液力式转向系统。

1. 电动式动力转向系统

小型汽车发动机室自由空间狭小,其转向助动力要求不大,故多采用电动式动力转向系统。电动式动力转向系统主要由转向助动器组件、电机组件和控制系统构成。转向助动器组件由转向盘侧输入轴、齿轮箱侧输出轴及扭杆所构成。操作方向盘时,扭杆轻微扭转,在输出轴与输入轴之间将产生滑动。同时,即使助动器出现故障,由于设有手动锁销,也不会导致不能转向。设置在转向柱上的电机组件,由涡轮、电磁离合器、直流电机构成。涡轮与固定在转向柱输出轴上的斜齿相啮合,它把电机电磁离合器介于减速器与电机之间,当离合器断电时,不能把电机的驱动力传递给输出轴,此时手动转向发生作用。

控制系统由转向传感器、车速传感器、信号控制器(计算机)等构成。根据转向传感器判断出转向盘回转方向,即在设定值以上为向右旋回,在设定值以下为向左旋回,并以此来决定电机的回转方向。信号控制器从各个传感器处接收输入信号,并且可判断转向助动力的大小与方向,向电机发出驱动指令。

信号控制器可根据车速传感器与转向传感器的输入信号,决定驱动电机的回转力与回转方向,并根据车速决定转向助动力的大小。当系统发生异常时,安全保障机能将发挥作用,切断电机与电磁离合器电源,转为手动转向状态。

2. 电子-液力式转向系统

电子-液力式转向系统主要由油泵、电磁阀、分流阀、动力缸、齿轮箱和控制阀等构成。

根据车速变化,可通过控制电磁阀的动作,使动力转向液压控制回路。根据车速变化,在低速时操纵力减轻,在中低速以上操纵力随手感变化。电脑根据车速传感器信号判断出车辆停止、低速状态与中高速状态,控制电磁阀通电电流。在低速时增大转向助动力,使转

向更轻便灵活;在高速时减小转向助力,并增加阻尼,从而高速行驶时可获得更稳定的转向控制。

3. 电动-液力式转向系统

电动-液力式转向系统是以电机驱动油泵实现动力转向的装置。该系统由电机及油泵组件、转向传感器、动力转向齿轮箱、信号控制器与功率控制器等构成。在信号控制器内,已存储有根据试验获得的不同运行工况下的控制方法,而且可从传感器输入信号判定行驶状况计算出应向电机提供的驱动电流,向功率控制器发出驱动信号。功率控制器接受信号控制器指令,调整油泵驱动电机的供给电流,实现对系统油压的控制。转向传感器可以把转向盘的转动状况转换为电子信号,并输出到信号控制器。

电动-液力式转向系统采用车速感应式控制方式,其转向助力随车速提高而减小。同时,根据道路运行条件,设计了不同控制模式。可根据 20 s 内的平均车速与平均转向盘转角判定车辆当前运行道路条件。变换控制模式最多需要 1.1 s,可避免助力的急剧变化。

七、轮毂电机驱动及转向技术

随着经济社会的不断发展,和人们环保意识的提高。世界各国的汽车公司以及政府都在积极推进和研究新能源汽车的发展,明确了新能源汽车的范围是纯电动汽车、燃料电池车以及插电式混合动力车等。我国的比亚迪公司已于 2022 年 3 月宣布停售燃油车,长城、长安等企业也宣布会在 2030 年停售燃油车,这些公司都在大力布局新能源汽车。而在新能源汽车领域,轮毂电机是汽车的核心组成部件,在新能源汽车领域起着举足轻重的作用。

1. 轮毂电机驱动技术概述

纵观世界新能源汽车的发展,欧洲、美国以及日本等发达国家在新能源汽车领域已经形成了较为完善的汽车产业链。根据《2023 年全球电动汽车展望》报告,2022 年全球纯电动汽车以及 PHEV 的销量突破了 1 000 万辆,电动汽车市场呈指数级增长。我国再次成为领跑者,占全球电动汽车销量的 60%左右。全球道路上超过一半的电动汽车现在在我国,我国已经超过了 2025 年的新能源汽车销售目标。欧盟电动汽车销量在 2022 年增长了 15%以上,这意味着每五辆售出的汽车中就有超过一辆是电动汽车。到 2022 年,第三大市场美国的电动汽车销量增长了 55%,达到 8%的销量份额。汽车的电动化是大势所趋,其核心部件电机作为主要的驱动方式在新能源汽车的发展过程中发挥着重要的作用。

目前在汽车行业普遍采用的电机为轮毂电机,如图 2-63 所示。轮毂电机安装在空间相对较小的轮毂中,使电机系统受磁场饱和、路面激励以及负载等因素的影响较为明显,因此可以严格控制轮毂汽车的性能。

和传统的集中式汽车相比较,采用轮毂式电机驱动的汽车具有底盘结构简化、驱动布置灵活、行驶稳定性高以及传动效率高等优点,轮毂汽车的电机驱动大大简化了其底盘结构,节省了车内的空间,从而增大了车间利用率,整体车的布置较为灵活且质量分布设计自由度较高。

对于轮毂电机而言,其技术要求主要为轮毂电机需要有较高的转矩密度,同时为了满足汽车的快速启动以及加速等动作,轮



图 2-63 轮毂电机



毂电机需要有较宽的抗过载能力,同时在此范围内还需保持较高的频率,轮毂电机还需具备在各种恶劣天气下运行的能力,在恶劣环境下还需保持较高的精度。

2. 轮毂电机驱动形式

按照轮毂电机的不同驱动形式,可以分为内转子轮毂电机和外转子轮毂电机两大类,其中内转子轮毂电机的最高转速为 1 500 r/min。内转子对于电机的要求并不高,但内转子电机引入了减速机构,使得轮毂电机的结构变得复杂从而增加了汽车的非簧载能力。日本的重点大学庆应义塾大学与多家汽车公司一起合作开发,主要内转子轮毂电机参数见表 2-3。

表 2-3 主要内转子轮毂电机参数

电动汽车型号	研发单位	轮毂电机最高转速/ ($r \cdot \text{min}^{-1}$)	轮毂电机最大 功率/kW	轮毂电机减速比
UOT March	东京大学	8 700	36	5 : 1
Colt EV	三菱公司	9 000	20	6 : 1
KAZ	Keio	12 000	55	4.588 : 1
Q MO	NTN 公司	15 000	5	11 : 1
Qine	Qineti Q 公司	9 000	100	2 : 1

外转子轮毂电机作为直接驱动车轮的电机,无需配备减速装置,外转子轮毂电机的转速最高可达 2 000 r/min。和内转子轮毂电机相比,外转子轮毂电机的结构紧凑,轴向尺寸更小,优点是传动效率较高。

3. 轮毂电机驱动系统在电动汽车上的应用

1) 电动汽车的轮毂电机驱动方案

电动汽车的驱动方案主要有传统的集中电机驱动以及轮毂电机驱动两种方式,其中传统的集中电机驱动方式主要以内燃机汽车为基础,采用集中电机驱动系统替代原有的内燃机和变速器之间的连接。集中电机驱动是将内燃机汽车改造成纯电动汽车最快速且简便的方式,但是其只适合小批量生产且适合于成本控制。轮毂电机驱动是将电机设计安装在车轮的轮毂之中,大大简化了车身空间,简化了很多机械动力装置,提升了车身的空间利用率。

2) 轮毂电机的结构和技术参数

纯电动汽车采用轮毂电机是将动力、传动以及控制装置都集中在轮毂中,将车辆的机械部分大大简化。轮毂电机的结构主要由定子、微型逆变器、线圈、转子以及车轮轴承等组成。轮毂电机采用的是分电机结构,每个轮毂由八组电机组成,且每组电机均有独立的逆变器,共享一个转子,当其中一个电机由于某种原因坏掉时,其余电机组也能正常的运作。

3) 轮毂电机驱动的特性分析

采用轮毂电机驱动具有较多优良的性能,其动力传动的硬件连接改为了软连接,同时省略了传统汽车所需的离合器以及变速器等装置,其结构大大简化,同时采用轮毂电机驱动的车轮可以直接动力可控,动力学更加灵活,在两侧的驱动轮之间没有刚性连接,不需要类似传统汽车那种刚性连接轴承以及机械差速器,较大程度减小了车辆的转弯半径,在某些特定

的情况下可以实现车辆的原地转弯以及原地转向,对于特种车辆具有较大的价值,可以更加灵活的协调配合各电动轮的电气制动以及机械复合制动,可有效减少机械的磨损以及损耗,从而提高传动效率。

轮毂电机驱动缺点是对密封的要求较高,在设计原始阶段还需要考虑防水以及散热等问题。此外,我国的轮毂电机主要核心零部件全部依赖进口,一定程度的制约我国的轮毂电机的发展。

第三节 行驶系统新技术

知识目标

- 掌握弹簧、空气弹簧、液压弹簧等的工作原理和特点;
- 了解橡胶、钢材、复合材料等在悬架中的应用及其性能;
- 了解智能悬架、主动悬架等新兴技术的原理和应用。

技能目标

- 具备识别和解决悬架系统常见故障的能力;
- 能够根据案例编写企业内部维修培训文件。

素养目标

- 培养在悬架技术领域的创新意识;
- 提升在团队项目中的协作能力。

悬架是汽车的车架与车桥或车轮之间的一切传力、连接装置的总称,其作用是传递车轮和车架之间的力与力矩,缓冲由不平路面传给车架或车身的冲击力,并衰减由此引起的振动,以保证汽车行驶的平顺性、操纵的稳定性和可靠性。

对以载人为主要目的的汽车而言,乘员在车中承受的振动加速度不能超过国标规定的界限值,悬架要保证车身和车轮在共振区振幅小且衰减快,保持行驶中的汽车具有良好的姿态。保证汽车具有良好的操纵稳定性,在车轮跳动时车轮定位参数不发生较大变化。减小车轮动载荷和车轮跳动量,保证车身在制动、转弯和加速时稳定,减小车身俯仰和侧倾。确保车轮与地面间良好接触,以提高汽车的驱动力,改善汽车的通过性能。最后,保证悬架系统具有较高的可靠性,有足够的刚度、强度和较长的使用寿命。

典型的悬架主要由弹性元件、减振器和导向机构组成,这三部分分别起到缓冲、减振和力的传递作用。弹性元件传递垂向力并缓和由路面不平引起的冲击和振动。减振器指液力减振器,用于加速衰减车身的振动,它是悬架机构中最精密和复杂的机械件。导向机构是指车架的上下摆臂等 A 形刚架、转向节等元件,用来传递纵向力、侧向力及力矩,并保证车轮相



对于车架(或车身)有确定的相对运动规律。

一、悬架弹性元件

悬架根据弹性元件不同可分为钢板弹簧悬架、螺旋弹簧悬架、扭杆弹簧悬架、空气弹簧悬架、橡胶弹簧悬架和油气弹簧悬架等。现代轿车的悬架多采用螺旋弹簧和扭杆弹簧,高档豪华大客车则使用空气弹簧,货车多采用钢板弹簧。

1. 空气弹簧

空气弹簧是空气悬架系统中的关键部件之一。如图 2-64 所示,在一个密封的容器中充入压缩气体,利用气体的可压缩性实现其弹簧作用。空气弹簧的最大的优点是刚度可变,作用在弹簧上的载荷增加时,容器内的定量气体受压缩,气压升高,则弹簧的刚度增大;反之,当载荷减小时,弹簧内的气压下降,刚度减小。因而空气弹簧具有较理想的弹性特性,不像金属弹簧是分级变化的。它的另一个优点是具有可调整性,即弹簧的刚度和车身的高度是可以主动调整的。其缺点是相对体积没有螺旋弹簧小,成本高,寿命相对较短。

空气弹簧按气囊结构形式可以分成囊式、膜式(见图 2-65)和复合式三种。

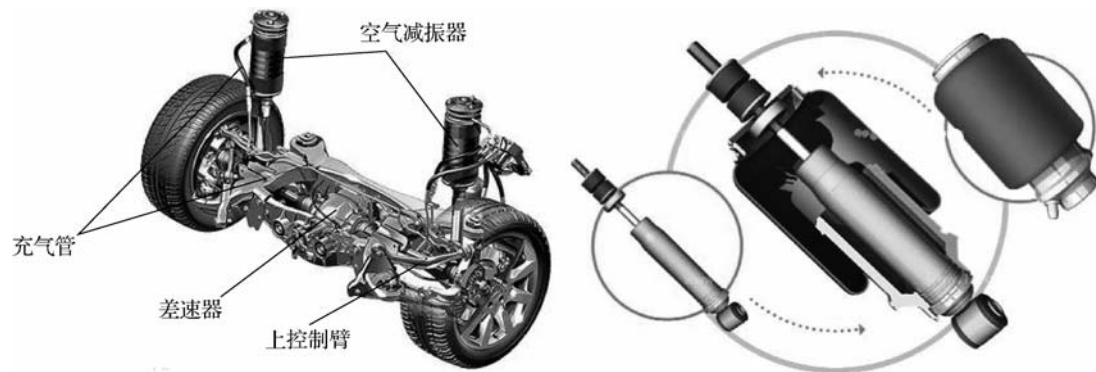


图 2-64 空气弹簧

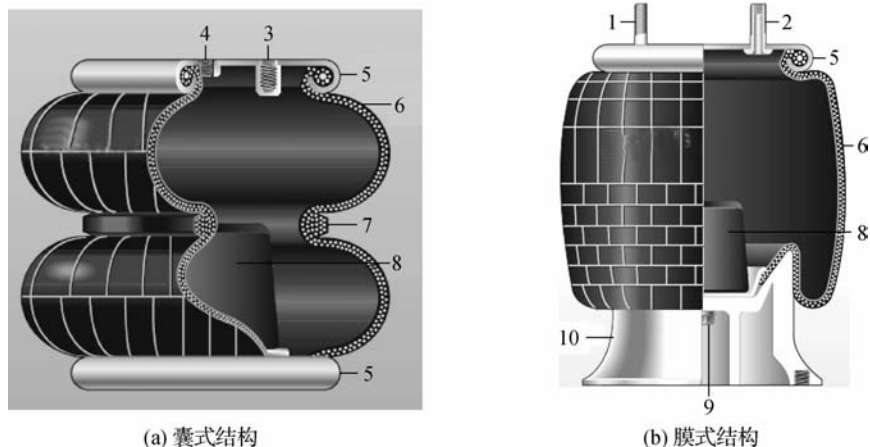


图 2-65 空气弹簧的分类

1—装配用螺柱; 2—装配 & 气路螺柱; 3—装配用螺孔; 4—气路接口; 5—盖板; 6—囊皮;
7—腰环钢圈; 8—缓冲块; 9—活塞装配用紧固件; 10—活塞

1) 囊式空气弹簧

囊式空气弹簧由夹有夹线的橡胶气囊和密闭在其中的压缩空气、上下盖板、底座、辅助气室、夹紧环、缓冲块等组成。气囊的内层用气密性很高的橡胶制成,而外层则用耐油橡胶制成,其内部充满压缩气体。气囊一般做成两节,但也有单节或三节、四节的。节数越多,气囊的弹性越好,但密封性差。节和节之间围有钢制的腰环,使中间部分不致有径向扩张,并防止两节之间相互摩擦。上下盖板将气囊密闭。

通过主副气室的配合使用,使弹簧可以处在两种刚度的工作状态下。主副气室同时使用,气体容量变大,刚度变小;若只使用主气室,则刚度变大。空气弹簧刚度由计算机控制,在汽车高速、低速、制动、加速及转弯等状态下,根据所需刚度进行调节。由于空气压力变化会引起车身高度变化,为了控制车高必须额外装备气泵,以及各种控制附件,如空气干燥器,如保养不善会使系统内部生锈发生故障。另外,如果不同时采用金属弹簧,一旦发生漏气,汽车将无法行驶。

2) 膜式空气弹簧

膜式空气弹簧的密闭气室由橡胶膜片和金属压制件组成。与囊式空气弹簧相比,其弹性特性曲线比较理想。因其刚度较囊式空气弹簧小,车身自然振动频率较低;且尺寸较小,在车上便于布置,故多用于轿车上。

3) 复合式空气弹簧

从结构上看,复合式空气弹簧是介于囊式和膜式之间的一种形式,它综合了上述两种空气弹簧的优点,具有较低的弹簧刚度,但制造工艺复杂。

空气弹簧的质量比任何其他类型弹簧的质量都小,且寿命较长,但高度尺寸较大,多用于大型车辆上,故近些年在大型客车上,尤其是高档豪华大客车上,空气弹簧已得到广泛应用。

2. 橡胶弹簧

橡胶弹簧的弹性元件由金属与橡胶硫化而成,具有随着挠度增加而刚度变大的非线性特性,内阻尼大而具有自身衰减振动的能力,适宜承受较大的冲击载荷(见图 2-66)。它可以在受到冲击时将部分动能转化为热能消耗掉。橡胶弹簧近年来在自卸车的悬架系统中逐渐得到应用。



图 2-66 橡胶弹簧

由于橡胶材料本身具有质量轻、抗冲击和易吸收高频振动等优点,加上橡胶与金属粘



接技术的提高,金属与橡胶组合起来形成的金属橡胶弹簧得到广泛应用。

与钢板弹簧相比,橡胶弹簧具有结构简单,质量轻,刚度可变,承载能力强,免维护,非簧载质量小,无须润滑,舒适性优越,弹性元件损坏不影响整车行驶,轮胎磨损轻等优点。其缺点是橡胶弹簧的疲劳寿命较难准确判断。

3. 油气弹簧

油气弹簧是一种以惰性气体(一般为氮气)作为弹性介质,以油液作为传力介质的气体弹簧。由于油气弹簧采用钢制气室,因而与空气弹簧相比,可以承受更高的工作压力。因此在同样的工作条件下,油气弹簧具有尺寸短、质量轻的优点,便于在车上布置。

按工作原理划分,油气弹簧可以分为单气室油气弹簧、双气室油气弹簧、带有反压气室的油气弹簧、可调式油气弹簧等几种类型。下面以双气室油气弹簧为例进行说明。

双气室油气弹簧有低压气室和高压气室两个压力腔,车轮行程不大时仅低压气室工作;当车轮行程增大后,随着系统腔内压力的不断升高,高、低压气室同时工作,以改善车辆的平顺性与操纵稳定性。

图 2-67 所示为分置式双气室油气弹簧,低压气室在蓄能器中。其初始充气压力为 p ,高压气室放置在动力缸的活塞杆内腔,初始充气压力为 q 。

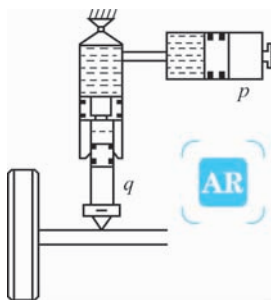


图 2-67 分置式双气室油气弹簧

双气室油气弹簧的结构如图 2-68 所示,其工作过程为:当车轮受地面激励向上运动时油缸与活塞相对压缩,液压腔中的液压油被压到蓄能器中,内腔即二腔通路中没有单向阀与阻尼孔,所以阻尼力较小,蓄能器的弹性力起主要抑制作用,此时外环形腔相对拉伸,在外环形腔和蓄能器的共同作用下,内环形腔的油液流向外环形腔,经过单向阀和阻尼孔。此时单向阀与阻尼孔同时开启,阻尼力较小。综合内腔及两个环形腔可以看出,在活塞与油缸相对压缩过程中,弹性力起主要抑制相对运动的作用,缓解了路面的冲击。当路面激励向下时,车轮向下油缸与活塞相对伸长处于回程状态,这时液压腔体积变大,由蓄能器的弹性力作用,油液流向腔,增加回程速度;而外环形腔的体积变小,因此油液由外环形腔经过阻尼孔(此时单向阀关闭)流向内环形腔,因此产生较大的阻尼力。内环形腔中的油液被挤压到蓄能器中,蓄能器产生弹性力,因此在油缸与活塞的回程过程中,阻尼孔产生的阻尼力与蓄能器产生的弹性力共同起到了减振的作用。

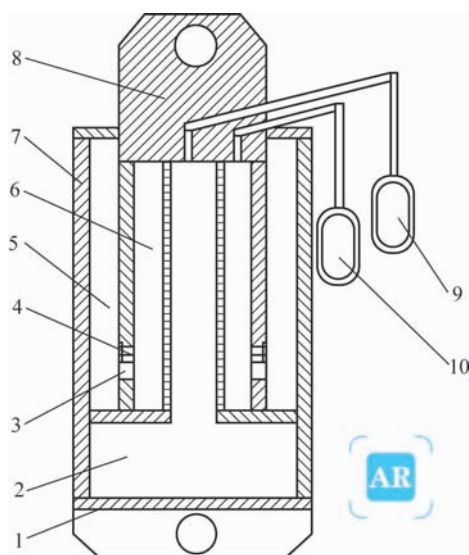


图 2-68 双气室油气弹簧的结构

1—液缸；2—液腔；3—阻尼孔；4—单向阀；5—外环形腔；6—内环形腔；7—缸体；
8—活塞；9、10—蓄能器

AR

二、电控主动悬架

电控主动悬架的刚度和阻尼特性根据汽车的行驶状态(车辆的运动状态和路面状况等)进行动态自适应调节,使悬架系统始终处于最佳减振状态,如图 2-69 所示。按照是否包含动力源,电控主动悬架可分为全主动悬架(有源主动悬架)和半主动悬架(无源主动悬架)。

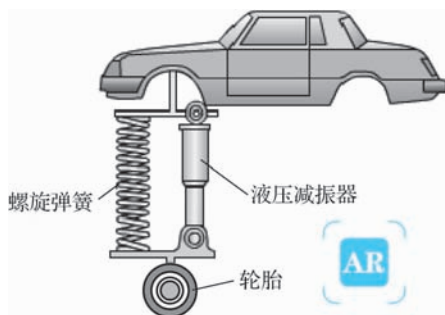


图 2-69 电控主动悬架

1. 全主动悬架

全主动悬架是指根据汽车的运动和路面状况,适时地调节悬架的刚度和阻尼,使其处于最佳减振状态,甚至可以调节车身高度,可同时满足汽车行驶平顺性、操纵稳定性和通过性等各方面的要求。但是全主动悬架结构复杂、能耗大、成本高。

如图 2-70 所示,全主动悬架一般包括决策机构和执行机构两大部分。决策机构由 ECU 和传感器等组成闭环控制系统,通过监测道路条件、汽车运行状态和驾驶员需求,按照所设定的控制规律向执行机构适时地发出控制命令;执行机构包含装在每个车轮上的电液执行机构、动力源等,用于执行控制系统的指令。

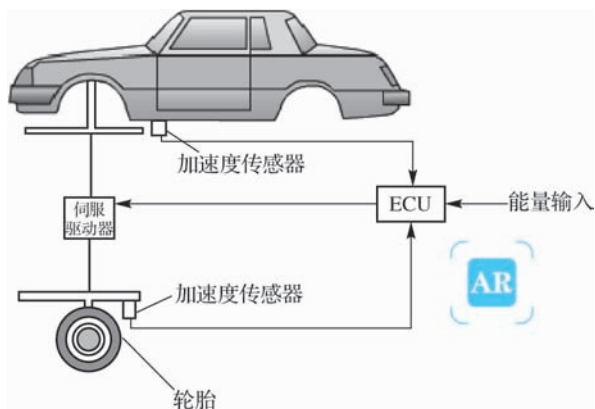


图 2-70 全主动悬架的组成

全主动悬架按控制方式可分为机械控制悬架和电子控制悬架。机械控制悬架较早出现,它主要是通过高度控制阀来调节油气弹簧中的油压,进而调节刚度。虽然其结构简单、成本较低,但控制功能少、精度低,且不能适应多种工况。近年来随着各种传感器的广泛使用、ECU 可靠性的提高及控制策略的完善,全主动悬架逐渐进入电子控制时代。其信息输入量更丰富,功能全面且控制精确,但其结构及控制策略复杂,成本高。

全主动悬架按控制介质不同可分为主动空气悬架、主动油气悬架、主动液力悬架等。下面以主动空气悬架为例进行说明。

主动空气悬架可以消除因乘员人数或装载量的变化而引起的车身高度变化(车身下倾),适当保持悬架的定位和行程,防止行驶稳定性和乘坐舒适性的恶化,在车辆高速行驶时不受空气作用力的影响。

车身高度传感器实时检测车辆高度(车架和车桥间的距离)变化,并把这一信息传递给空气悬架控制单元(ECU),同时 ECU 还接收车速、制动、压力、车门状态等信息。空气悬架 ECU 根据输入信息判断车辆状态,按照预先设定的控制逻辑控制电磁阀动作,实现气囊的充放气,调节空气悬架支柱的高度。ECU 采用脉冲方式控制电磁阀的开启,首先根据当前实际高度与预期调节高度的偏差来计算电磁阀的调节脉冲长度,然后精确控制车辆的高度调节速度,避免高度振荡调节。

奥迪 A8 主动空气悬架主要由空气悬架控制单元、电磁阀体、空气供给装置、车身高度传感器、空气悬架支柱、蓄压器等组成,如图 2-71 所示。当车身高度需要提高时,充气电磁阀和空气弹簧电磁阀打开,储气罐中的高压气体进入空气弹簧,撑大空气弹簧的体积,以此提高车身高度。而需要降低高度时,放气电磁阀和空气弹簧电磁阀打开,空气弹簧的气体直接排入大气。

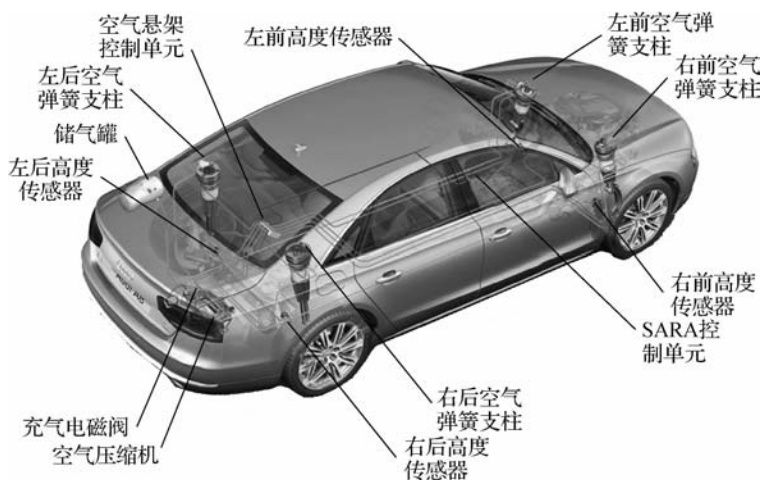


图 2-71 奥迪 A8 主动空气悬架

2. 半主动悬架

半主动悬架是指悬架弹性元件的刚度和减振器的阻尼系数之一可以根据需要进行调节控制的悬架。半主动悬架解决了传统悬架的舒适性与稳定性之间的矛盾,按照存储在计算机内部的各种条件下弹簧和减振器的优化参数指令来调节弹簧刚度和减振器的阻尼状态。通常只有固定的几个参数可调,因而不能随外界的输入进行最优控制和调节。由于半主动悬架结构简单,价格相对便宜,除驱动电机和电磁阀需要消耗能量外,不需要提供额外的附加电源,而且能获得与全主动悬架相近的性能,故有较好的应用前景。

根据动力输出元件特性调节方式不同,半主动悬架大体可以分为刚度可变和阻尼可变两种形式,如空气弹簧和阻尼可变减振器,其中阻尼可变又分为阻尼分级可变和阻尼连续可变两类。

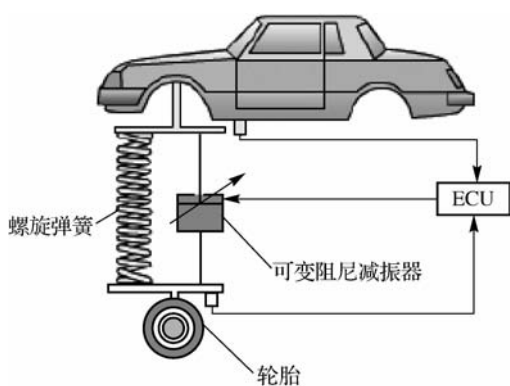


图 2-72 可变阻尼半主动悬架

由于目前半主动悬架中改变弹簧刚度只有通过切换空气弹簧或油气弹簧来实现,而空气弹簧和油气弹簧组件的高精度要求及寿命低、成本高、需配备动力源(空气压缩机)等因素,这就使得改变弹簧刚度较困难。目前,半主动悬架对阻尼控制的研究居多,如图 2-72 所示,通过传感器检测路况、行驶状态的变化及车身加速度等,由 ECU 根据控制策略发出脉冲控制信号,实现对阻尼系数的有级或无级可变。

可变阻尼半主动悬架又可分为有级可变阻尼半主动悬架、连续可变阻尼半主动悬架和无级可变阻尼半主动悬架。有级可变半主动悬架的减振器阻尼系数只能取几个离散的值,而连续可变半主动悬架的减振器阻尼系数在一定范围内可连续变化,无级可变半主动悬架的减振器阻尼系数可在最小值与最大值之间进行无级调节。



有级可变减振器阻尼可在2~3挡快速切换,切换时间通常为10~20 ms。有级可变减振器实际上是在减振器结构中采用较为简单的控制阀,使通流面积在最大、中等和最小之间进行有级调节。通过减振器顶部的电机控制旋转阀的旋转位置,使减振器的阻尼在软、中、硬三挡之间变化。有级可调减振器的结构及其控制系统相对简单,但在适应汽车行驶工况和道路条件的变化方面有一定的局限性。

连续可变减振器的阻尼调节可采取以下两种方式。

(1)节流孔径调节。如图2-73所示,通过步进电机驱动减振器的阀杆,连续调节减振器节流阀的通流面积来改变阻尼,节流阀可采用电磁阀或其他形式的驱动阀来实现。这类减振器的主要问题是节流阀结构复杂,制造成本高。

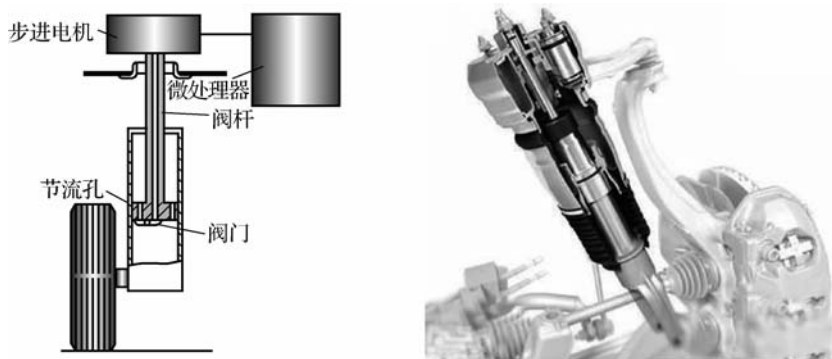


图 2-73 节流孔径调节阻尼

(2)减振液黏度调节。使用黏度连续可调的电流变或磁流变液体作为减振液,从而实现阻尼无级变化,是当前的研究热点。电流变液体在外加电场作用下,其流体材料性能,如剪切强度、黏度等会发生显著变化,将其作为减振液,只需通过改变电场强度,使电流变液体的黏度改变,就可改变减振器的阻尼力。

根据分析和模型试验的结果,全主动悬架的减振效果最好,同时解决了平顺性和操纵稳定性的矛盾;半主动悬架的减振性能接近全主动悬架,操纵稳定性优于被动悬架;被动悬架的性能相对最差。但是全主动悬架的元件都比较昂贵,工作时又需要比较多的能量,同时还使得整车质量增加。因此,全主动悬架会大大增加成本和能量消耗,这也是全主动悬架不能大规模批量生产的原因。半主动悬架以控制阻尼为主,因此成本和能耗比全主动悬架低得多。被动悬架的成本最低,也不需要消耗能量。综合考虑性能和成本的因素,则半主动悬架的性价比是最高的,这也是半主动悬架商业应用多于全主动悬架和被动悬架的原因。

三、轮胎新技术

漫长的100多年汽车工业发展史上,轮胎技术在不断升级进化,现今的轮胎被赋予了越来越多的功能,轮胎也因为制作方式和混合材料的不同演变出繁多的类型,如防爆轮胎、非充气轮胎、运动胎、静音胎、雪地胎、半热熔胎等。

1. 防爆轮胎

防爆轮胎学名泄气保用轮胎。充气后轮胎的胎壁是支撑车辆质量的主要部位,特别是一些扁平比(扁平比是轮胎高度与宽度之比)较大的轮胎支撑质量更高。

如图 2-74(a)所示,传统轮胎在失去压力时,会以极快的速度塌陷,仅靠轮辋与地面接触。相比传统轮胎,防爆轮胎的胎壁厚度更大,因而提高胎侧壁强度,在漏气状态时其胎壁依然能够支撑车辆质量,维持汽车正常行驶。若是发生爆胎情况,胎压突然下降为零,则经过加强的侧壁进入工作,且经过特殊设计的轮辋也能防止轮胎在无气压状态下脱离轮辋,从而支撑车辆继续安全行驶至安全区域,给驾驶员足够的时间处理危险。

防爆轮胎由外胎、常用内胎、折叠内胎、钢圈、气体发生装置(或储气腔)、压力传感器和控制单元组成,如图 2-74(b)所示。



图 2-74 防爆轮胎

如图 2-75 所示,宝马是首个在轿车上装备防爆轮胎的厂商,轮胎缺气或漏气,车辆依然能继续行驶,但通常只能以不超过 80 km/h 的速度行驶,可行驶里程为 100~250 km。



图 2-75 宝马防爆轮胎

防爆轮胎相比普通轮胎的优点如下。

(1) 坚固性。防爆轮胎比普通轮胎的侧壁面要多一层通过纳米技术研制的天然可再生胶,比普通轮胎更坚固。

(2) 耐磨性。防爆轮胎发生爆胎还可以正常地行驶一段距离,而普通轮胎在缺气后都不能再正常行驶。在高速爆胎中,防爆轮胎在安全性上具有较大的优势。

2. 非充气轮胎

早在 2009 年,米其林就推出了一款名为 Tweel 的新型轮胎,它没有传统轮胎的封闭式结构,也不需要充气,其表面和支撑采用了特殊结构,减振能力也比充气轮胎要高[见图 2-76(a)]。如今,丰田也看中了这项技术的广阔前景,着手研发一种非充气式轮胎以减轻汽车质量,进



一步提升汽车性能[见图 2-76(b)]。这种非充气式轮胎被率先搭载在丰田 Fine-Comfort Ride 概念车上,它的轮毂中心由塑料与铝制成,外圈由橡胶带环绕。非充气轮胎的使用前提是能承受对应汽车的质量。



(a) 米其林非充气轮胎



(b) 丰田非充气轮胎

图 2-76 非充气式轮胎

随着新能源汽车的兴起,中国轮胎产业迎来技术革新热潮。历经近百年发展的中国轮胎工业,正通过一系列技术创新,突破性能边界,向全球高端市场迈进。赛轮集团攻克轮胎“魔鬼三角”难题,推出液体黄金技术,获《国际轮胎技术》杂志高度评价。该技术生产的轮胎综合性能全球领先,具备优异的抗湿滑性、静音舒适性和节油耐磨性。燃油车使用可节省 5—10 元/100 km,电动车续航提升至 550 km 以上,轿车轮胎耐磨性至少提升 30%。此外还有双星轮胎研发“Safort”“魔性”支撑体技术等。

第四节 制动系统新技术

知识目标

- 掌握制动器新技术的基本原理、类型、结构及其工作原理;
- 理解电控制动新技术的概念、发展及应用。

技能目标

- 能够熟练操作电控制动系统的检测与维修;
- 能够根据制动器新技术的特点,进行制动系统的故障诊断与排除。

素养目标

- 培养学生的创新意识和实践能力;
- 培养学生的职业素养和社会责任感,使学生能够遵守职业道德规范,具备严谨的工作态度和高度的责任心。

制动系统的作用是使行驶中的汽车按照驾驶员的要求进行强制减速甚至停车,使已停

驶的汽车在各种道路条件下(包括在坡道上)稳定驻车。

汽车制动性能的好坏主要从以下三方面进行评价:制动效能,即制动距离与制动减速度;制动效能的恒定性,即抗热衰退或抗水衰退性能;制动时汽车的方向稳定性,即制动时汽车不发生跑偏、侧滑及失去转向能力的性能。制动系统的工作原理是将汽车的动能通过摩擦转换成热能。汽车制动系统主要由供能装置、控制装置、传动装置和制动器等部分组成。

一、制动器新技术

汽车制动器是汽车的制动装置,汽车所用的制动器几乎都是摩擦式的,可分为鼓式和盘式两大类。鼓式制动器摩擦副中的旋转元件是制动鼓,其工作表面为圆柱面;盘式制动器的旋转元件则为旋转的制动盘,以端面为工作表面。鼓式制动器瞬间制动力度大,但发热后制动力下降快;盘式制动器瞬间制动力较小,但发热后还可以保持较为良好的制动效果,效能较稳定,进水后效能降低较少,在输出制动力矩相同的情况下,尺寸和质量比鼓式制动器小。小型车基本上都采用盘式制动器。

1. 复合陶瓷制动盘

复合陶瓷制动盘是在 1 700 °C 高温下由碳纤维与碳化硅合成的增强型复合陶瓷制成的,如图 2-77 所示。相比一般的制动盘,复合陶瓷制动盘具有质量轻、耐高温、耐磨等特性。

普通的制动盘在全力制动下容易高热而产生热衰退,制动性能会大打折扣,而复合陶瓷制动盘有很好的抗热衰退性能,其耐热性能要比普通制动盘高出许多。

复合陶瓷制动盘在制动最初阶段就能产生最大的制动力,甚至无须制动辅助增力系统,整体制动要比传统制动系统快,制动距离更短。复合陶瓷制动盘有非凡的耐用性,如果正常使用是终身免更换的,而普通的铸铁制动盘一般几年就要更换。当然,它的价格也是非常昂贵的,多用于高性能跑车上。



图 2-77 复合陶瓷制动盘

2. 通风制动盘

制动过程是将摩擦力转化为热能的过程,如果制动器的热量不能及时散出,将会影响制动效果。为了进一步提升制动效能,防止热衰退和提高摩擦块使用寿命,通风制动盘应运而生。如图 2-78 所示,通风制动盘内部是中空的或在制动盘打很多小孔,利用汽车在行驶中产生的离心力使空气对流,冷空气可以从中间穿过进行降温,达到散热的目的。通风制动盘能减少 20%~30% 的温度上升,因此比普通实心制动盘散热效果好许多。



图 2-78 通风制动盘

通风制动盘的特点如下。

(1)制动盘、制动块都裸露在空气中,易散热,且由于有通风机构,所以要比实心制动盘散热性更好,制动器不易过热,减小了制动器的热衰退现象。同时,由于是盘式制动,当制动盘上有水时,在离心力的作用下,水很快被甩干,不易出现水衰退现象,故有较好的制动性能。

(2)结构简单,质量轻,便于维修。

(3)制动盘升温后沿厚度方向上的热膨胀量比鼓式制动器径向膨胀量要小得多,且制动管路中无残压,因此不会出现间隙自调过度问题。

二、电控制动新技术

汽车制动从发展初期的机械式制动系统到气压压力制动系统、线控制动系统(ABS)再到目前的智能制动系统(AEB),共经历了四个大的阶段。制动系统的发展,也反映出人们对安全的重视,慢慢从被动安全转为主动安全。

1. 气压制动系统

气压制动系统以压缩空气为制动源,制动踏板控制压缩空气进入车轮制动器,我国的中、重型货车和各类客车一般安装气压制动系统。

气压制动系统最大的优势是操纵轻便,提供大的制动力矩;另一个优势是对长轴距、多轴和拖带半挂车、挂车等,实现异步分配制动有独特的优越性。相对于液压制动系统,气压制动系统结构要复杂得多,且制动不如液压制动系统柔和、行驶舒适性差,所以气压制动一般只用于中、重型汽车上。

气压制动系统的组成如图 2-79 所示,各部件作用如下。

(1)空气压缩机。空气压缩机借助发动机或电机的动力产生高压气体,并将气体输送到储气罐中,该装置是气压制动系统制动力的来源。

(2)储气罐。储气罐储存高压气体,起到稳定气压和缓冲的作用,减小气压波动对制动的的影响。湿式储气罐还可以冷却空气,分离油水并去除杂质。

(3)制动阀。制动阀是气压制动系统的主要执行元件,控制着制动系统的工作状况,其开度影响制动气室的充气速度。驾驶员踩动制动踏板可控制制动阀开度。

(4)制动管路和制动气室。制动管路连接各个制动部件,将高压气体顺利从储气罐传输到制动气室;制动气室输出制动推力作用到制动器上,其大小和输入的高压气体气压值成正比。

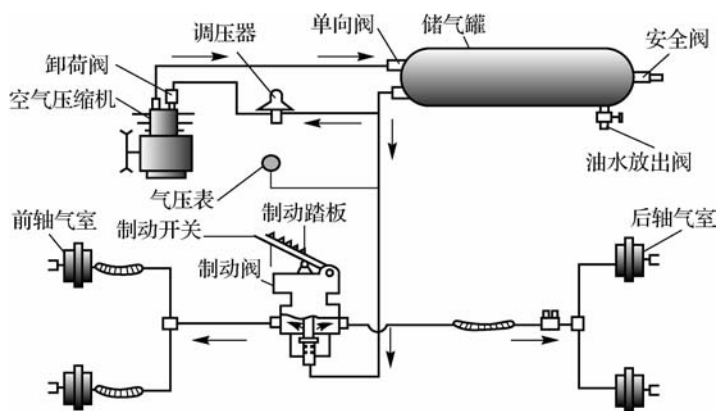


图 2-79 气压制动系统的组成

2. 线控制动技术

随着电子技术,特别是大规模集成电路的发展,汽车制动系统朝着线控制动控制方向发展。线控制动(brake-by-wire, BBW)系统是一种新型的智能制动系统,将取代以液压或气压为传统的制动系统成为未来制动系统的发展方向。线控制动系统组成包括电制动器、线控制动控制单元、传感器、线束、电源、制动手柄或电子制动踏板等。线控制动系统省去了传统制动系统中的制动油箱、制动主缸、液压阀和复杂的管路,提高了整车性能。

线控制动主要有以下特点:其一,导线取代了液压管路,不存在管路冗长带来的制动滞后的问题;其二,结构简单,整车质量低;第三,无制动液,易于维护;第四,便于扩展和增加其他电控功能;第五,可以使用具有容错功能的车用网络通信协议。

线控制动系统目前分为两类:一种是电子液压制动(electro-hydraulic brake, EHB)系统,另一种是电子机械制动(electro-mechanical brake, EMB)系统。

1) 电子液压制动系统

电子液压制动(EHB)系统以传统的液压制动系统为基础,用电子器件取代了一部分机械部件。EHB系统用一个电子式制动踏板替代了传统的液压式制动踏板,制动踏板和制动缸没有任何机械连接,驾驶员踩踏制动踏板的制动意图被电子踏板单元传感器识别并转换成电子信号,电子控制单元接收到信号后,命令液压执行机构完成制动操作。

EHB系统缩短了制动反应时间,减小了系统响应时间,同时避免了因液压机械制动系统反作用力引起震动而使驾驶员不自觉地减小制动力而带来的危险。

EHB系统主要由制动踏板单元、电子控制单元(ECU)、液压控制单元(HCU)及一系列传感器组成。在EHB系统中,制动踏板和制动器之间的液压连接是断开的。带有踏板感觉模拟器和电子传感器的电子踏板模块代替了传统的制动踏板。制动时,制动力由ECU和执行器控制,踏板行程传感器将信息传给ECU。ECU汇集轮速传感器、转向传感器等各路信号,根据车辆行驶状态计算出每个车轮的最大制动力,并发出指令给执行器的蓄能器提供制动轮缸所需的制动力。应急制动系统中当控制器处于故障时备份阀打开,常规液压制动系统起作用,进行制动。EHB系统能根据路面的附着情况和转速为每个车轮分配最合理的制动力,从而更充分地利用车轮和地面之间的摩擦力,使制动距离更短,制动过程更安全。

传统的制动系统在长期使用后,各部件的磨损和变形会导致制动性能的衰退,而EHB



系统会利用算法弥补部件的磨损和变形,使制动性能长期处于良好状态。

EHB 系统可以根据各个车轮的转速和附着力为其分配最恰当的制动力,这就做到了制动的高度灵活性和高效性。

EHB 系统不但能够提供高效的常规制动功能,还能发挥包括 ABS 在内的更多辅助功能。现代汽车电子化程度越来越高,新能源汽车的发展又进一步加快了这种趋势。

但由于 EHB 系统以液压为制动能量源,液压的产生和电控化相对比较困难,不容易做到和其他电控系统的整合,而且液压系统的质量对轻量化不利。

2) 电子机械制动系统

如图 2-80 所示,电子机械制动(EMB)系统用线控制动系统代替了整个液压系统,并用电子踏板模拟器替代了传统液压制动系统中的真空助力器和机械式传力机构。EMB 系统根据数据采集系统采集到的车辆状态信号,经过 ECU 的分析和处理,向车轮制动模块的电机发出信号指令,进而产生所需的制动力。



图 2-80 EMB 系统

EMB 系统与 EHB 系统的最大区别就在于它不再需要制动液和液压部件,制动力矩完全是通过安装在 4 个轮胎上的由电机驱动的执行机构产生的,因而相应取消了制动主缸、液压管路等,大大简化了制动系统的结构,便于布置、装配和维修。更为显著的是,随着制动液的取消,系统对环境的污染大大降低了。

EMB 系统主要由车轮制动模块、中央电子控制单元和电子制动踏板模块等组成。

(1) 车轮制动模块。车轮制动模块由制动执行器、制动执行器 ECU 等组成。目前比较先进的是第三代电子机械盘式制动执行器,该执行器采用了电机内置的结构,其最大特点是模块化,整个机构又分为驱动部分(电机)、行星齿轮减速部分及行星滚子螺旋传动部分(把旋转运动变成丝杠的直线运动)。

(2) 中央电子控制单元。中央电子控制单元的作用为接收驻车制动信号,控制驻车制动;接收车轮传感器信号,识别车轮是否抱死、打滑等;控制车轮制动力,实现防抱死和驱动防滑并兼顾其他系统的制动。

(3) 电子制动踏板模块。在电子制动踏板模块中,EHB 系统与 EMB 系统都去掉了传统的机械式传力机构和真空助力器,取而代之的是电子踏板模拟器,它的输入输出特性曲线应很好地符合驾驶习惯,并根据人体工程学设计,来提高舒适性和安全性。

3) 线控制动系统的关键技术

由于电制动系统在高速制动过程中产生大量热量,因此需要加强系统的热稳定性和散

热性能。需要反复实验验证驱动电机和其他部件在高温条件下的工作性能和稳定性。电制动系统采用大量的电控技术,有大量的电子电路,又由于车辆工况复杂而且在外暴露的电磁场和地球磁场环境中工作,这就需加强电制动系统的抗干扰能力。驱动电机动作需要消耗大量的电能,这是对目前车辆使用的 12 V 电源的一个考验,未来将采取 42 V 电源为系统提供能量。线控制动系统还要加强与其他现行车辆电控系统的整合,最好可以形成一体化、模块化的底盘控制系统,对车辆进行综合控制。



案例分析

案例一:

广州市花都全球自动变速箱有限公司成立于 1998 年,公司产品获得近 30 家汽车生产厂家和变速箱生产厂家的自动变速箱再制造授权,经过各生产厂家多批次的严格检验证明,公司再制造产品性能已达到新品的技术指标。公司主导编制了《汽车零部件再制造产品技术要求自动变速器》等 10 份国家标准,以及中国物资再生协会《可再制造汽车零部件分类分级变速器》团体标准。通过对各体系的认证和推行以保证汽车自动变速箱再制造从产品技术、配套零部件研发、工艺设计、生产和经营全过程的高标准管理,提高再制造技术水平与自动变速箱产品质量。

汽车零部件再制造是战略性新兴产业,特别是中高端自动变速箱一些核心生产制造技术仅掌握在几家跨国公司手中,我国企业在自动变速箱再制造的道路上面临着诸多挑战,但广州市花都全球自动变速箱有限公司将秉承科学的发展理念,敢于迎难而上,应对挑战,突破瓶颈,不断开拓自动变速箱再制造事业新高点。

根据案例回答下列问题。

1. 同学们可以访问该公司的网站,看一下公司的产品中心和维修案例等,然后思考有哪些启发。
2. 自主品牌中一部分有自己的变速箱技术,但绝大多数自主品牌仍然在“卡脖子”阶段。以国内某车型因进口变速箱无法交货导致推迟上市为例,讲述关键技术的缺失给企业和国家带来的影响。
3. 上网查询关于进口变速箱产品的售后规定及海外采购流程,将其与国内同类产品进行对比。民族品牌尽管起步较晚,但是仍然是我们的奋斗方向。

案例二:

制动摩擦副材料逐步向无石棉演变。但无石棉刹车片的成本要比石棉刹车片高出 30%。请分析,工业设计及企业运营中应该如何体现出“以人为本”?你认为技术发展与人类生存延续应如何协调共进?

案例三:

自 2021 年 3 月 26 日起,华晨宝马汽车有限公司召回 1 356 辆汽车。

该公司称,由于生产过程中的失误,本次召回范围内车辆的集成制动系统(IB)制动助力液压单元内的马达电机在生产焊接工艺中的焊接点不正确,可能会导致转子在轴上空转,因此控制系统会监测到不合理的位置信号而报警并进入故障模式。此时,IB 系统会丧失制动助力,仅保持基本的机械制动模式。在车辆需要进行紧急制动时,制动距离将较正常状态有所延长,同时车辆 ABS 功能失效,这增加了车辆发生事故的风险,存在安全隐患。



华晨宝马汽车有限公司、宝马(中国)汽车贸易有限公司将免费为召回范围内的车辆更换制动助力液压单元,以消除安全隐患。未销售车辆将在消除缺陷后再进行销售。

根据案例回答:企业的社会责任是什么?



思考与练习

1. 查询双质量飞轮在哪些车型上有所运用。
2. 什么是自动离合器?它由哪些部分组成?
3. 液力自动变速器是市场占有率最高的变速器,简述其具体组成。
4. 现代车辆转向系统发展至今大致可以划分哪几个阶段?
5. 与 HPS 系统相比, EPS 系统的优点体现在哪些方面?
6. 线控转向技术的优点是什么?

第三章

▶ 汽车安全新技术



导入案例

2025年某高速公路发生一起潜在追尾事故：一辆时速100km的SUV因驾驶员分神未察觉前方车辆急刹，车载自动紧急制动系统(AEB)在0.5秒内识别风险并触发全力刹车，最终在距前车1.2米处完全停稳，成功避免碰撞。该事件被车载黑匣子完整记录，成为汽车主动安全技术预防事故的典型案例。在本章中，我们将一起学习相关的知识点，全面了解安全新技术。



第一节 汽车安全技术评价体系



知识目标

- 能够系统阐述各类汽车安全技术的工作原理；
- 全面掌握国内外主要汽车安全法规的架构与核心内容并能够对比不同法规体系的异同点。



技能目标

- 能够运用所学知识，对给定汽车安全技术案例进行深入分析；
- 能够高效利用学术数据库、行业报告、法规官方网站等资源，获取最新的汽车安全技术和法规信息。



素养目标

- 树立高度的安全意识和社会责任感。在未来工作中，始终将安全置于首位；
- 培养学生关注工程伦理问题的意识，使其明白技术应用应遵循道德准则。



一、汽车安全技术法规与标准

随着汽车保有量的日益增加,汽车事故发生数量呈逐年上升趋势,汽车发展的历史就是汽车安全性能不断提高的历史。汽车交通事故的逐年增加,引起了社会各界对汽车安全研究的重视和关注。据2014年联合国统计数据 displays,每年全世界约有120万人死于道路交通事故,每年交通事故造成的经济损失达5180亿美元,道路交通事故造成的经济损失占到一些国家国民生产总值的1%~2%。为了减少汽车交通事故,各国对汽车安全研究的投入越来越多。汽车安全技术的发展过程也是汽车安全性标准法规发展和完善的过程,两者相互促进、共同发展。各国纷纷制定和实施针对汽车安全的强制性法律法规,技术法规和标准的实施促进了汽车总体技术水平的提高,客观上促进了汽车生产企业不断增加产品研发费用,提高设计、生产水平,加强质量管理,汽车安全是汽车工业不断向前发展的产物。在我国的汽车强制性标准中,汽车安全强制性标准占80%以上,足以说明汽车安全的重要性。

目前,国外的车辆安全法规主要有三大体系:美国汽车法规、欧洲汽车法规、日本汽车法规。美国与机动车辆结构及性能有关的法规是汽车安全法规(Federal Motor Vehicle Safety Standards, FMVSS),这是在美国《国家交通及机动车安全法》的授权下,由美国运输部、国家公路安全管理局制定的与机动车辆结构及性能要求有关的机动车安全法规,于1968年1月10日开始实施,沿用至今,中间不断修改、完善各个条款,以满足社会更加严格的要求。

欧洲汽车法规由欧洲经济共同体(Europe Economic Community, EEC)和联合国欧洲经济委员会(the United Nations Economic Commission for Europe, ECE)联合制定。ECE法规是道路运输工作组的车辆结构专家组(WP9)按照EEC的要求负责起草的,该法规是非强制性的,由各国任意自选;而EEC指令则是成员国统一的法规,是强制性的。ECE法规已被大多数国家所接受,并引入本国的法律体系。汽车技术法规,包含汽车安全、汽车排放、噪声及各零部件等的标准和性能必须满足规定要求。

日本于20世纪50年代颁布《道路运输车辆法》,是以道路车辆法为基础,从而建立了自己的汽车产品形式认证并规定对车辆进行定期检查的法律体系,后经过数十次修订,制定了日本工业标准(JIS)和日本汽车标准(JASO)。该标准的制定和修改根据日本技术审议会的安全长期计划及汽车安全性(EVS)的研究成果,还重点参考了欧洲ECE法规及美国FMVSS法规,从而形成了比较健全的道路车辆安全标准体系。由于日本的汽车工业以出口为主,因此日本生产汽车执行的标准法规大多为美国法规和欧洲法规。

上述法规的内容是根据颁布地的道路形式和高发事故类型特点而制定的,各个法规的侧重点会有所差异,其中欧洲实施的ECE法规体系要求最严格。这三种法规体系对车辆安全措施的有效性提出了类似的规定,主要检测项有正面碰撞、侧面碰撞、追尾、行人保护等试验。车辆或者装备零部件若未达到当地法规体系要求,则不能在当地开展生产和销售。

我国的汽车安全法规体系是在参考发达国家的法规标准基础上制定的,不仅借鉴了已成熟法规对车辆安全性能检测的要求,也结合我国车辆状况和道路交通事故特点进行了相应的改进。2007年,中国汽车技术研究中心建立了中国新车评价规程C-NCAP,将市场上的新车型按照比国家法规更加严格的标准进行实车碰撞安全性能测试,将测试结果按照星级评价,为消费者提供客观可靠的车辆安全信息。

二、中国汽车C-NCAP安全评价体系

NCAP(New Car Assessment Program)即新车评价规程,一般由政府或具有权威性的

组织机构按照比国家法规更严格的方法对在市场上销售的车型进行碰撞安全性能测试、评分和划分星级,并向社会公开评价结果。其根本目的是为消费者提供准确可靠的信息,同时鼓励生产者提高其产品的安全性能,成为汽车企业产品开发的重要规范,对提高汽车安全性能作用显著。

自美国 1979 年最早采用 NCAP 体系以来,汽车安全性逐渐被广大汽车消费者所了解。40 年来,世界各主要汽车生产国家或地区相继开展了 NCAP 评价。在充分研究并借鉴其他国家 NCAP 发展经验的基础上,结合我国汽车标准、技术和经济发展水平,我国于 2006 年正式建立了新车评价规范(C-NCAP)。

实施 C-NCAP 对于提高汽车安全性能和改善道路交通安全都有明显的效果。C-NCAP 实施后,国内汽车整体安全技术水平及评价成绩大幅提高,车辆安全装置的配置率也逐渐增加,大多数企业已将 C-NCAP 作为产品开发和改进的目标。随着 C-NCAP 的顺利实施及研究的深入,我国也对《C-NCAP 管理规则》进行了多次完善和提升,经历了 2006 年版、2009 年版和 2012 年版的变更,促进《C-NCAP 管理规则(2015 年版)》的形成,从 2018 年开始引入对行人保护的评价,从而逐渐完善中国汽车安全法规。随着车辆安全技术的不断发展,C-NCAP 仍会继续研究新的改进方案,全面覆盖车内外主动、被动安全要求,以不断推动车辆安全技术的进步。

C-NCAP 旨在建立高标准、公平和客观的车辆碰撞安全性能评价方法,以促进车辆技术的发展,追求更高的安全理念。该评价的意义在于给消费者提供新上市车辆的安全信息,并推动生产企业增强对安全标准的重视,提高车辆安全性能和技术水平,同时使具有优异的乘员安全保护性能的车辆在评价中予以体现。考虑到与国际先进的新车安全评价体系保持协同,在 2021 版基础上,中国汽车技术研究中心历经 3 年制定出 2024 版 C-NCAP 测试标准。更新后的 2024 版规程则分为乘员保护、弱势道路使用者(VRU)保护、主动安全三大板块,权重分别调整为 54%、25%和 21%。各板块新增了多个评价项目,并提升了部分原有项目的评测难度。在公布的首批车型测评中,理想 L6、山海炮、途观 L 等荣获 C-NCAP 五星安全评级。

C-NCAP 是由中国汽车技术研究中心制定并管理的,它主要包括汽车碰撞试验、低速后碰撞颈部保护试验(鞭打试验)、评分规则等。

1. 汽车碰撞试验

C-NCAP 要求对一种车型进行车辆速度 50 km/h 与刚性固定壁障 100%重叠率的正面碰撞、车辆速度 56 km/h 对可变形壁障 40%重叠率的正面偏置碰撞、可变形移动壁障速度 50 km/h 与车辆的侧面碰撞这三种碰撞试验,根据试验数据计算各项试验得分和总分,由总分确定星级,评分规则非常细致严格。

除 C-NCAP 外,我国是有国家强制标准的,也就是说,所有上市的车辆都必须通过国家碰撞标准的测试。该标准主要是对车身的正面、侧面和尾部三个位置进行碰撞试验。

1) 正面碰撞

国家标准 GB 11551—2014《汽车正面碰撞的乘员保护》规定:正面碰撞分为 100%重叠率碰撞和 40%重叠率碰撞,如图 3-1 所示。其中,100%重叠率碰撞是试验车质量为整备质量加上一个 75 kg 的驾驶员质量,车辆以 50 km/h 的速度正面以 100%重叠率的方式撞击由混凝土制成的刚性壁障。40%重叠率碰撞是试验车质量为整备质量加上一个 75 kg 的驾驶员质量,车辆以 56 km/h 的速度正面以 40%重叠率的方式(碰撞侧为驾驶员侧)碰撞不可变



形的刚性壁障。正面碰撞试验后,应满足以下要求。

- (1)对应于每排座位,若有门,至少有一个门能打开。
- (2)将假人从约束系统中解脱时,如果发生了锁止,通过在松脱位置上施加不超过 60 N 的压力,该约束系统应能被打开。
- (3)从车辆中完好地取出假人。
- (4)在碰撞过程中,燃油供给系统不允许发生泄漏。
- (5)碰撞试验后,若燃油供给系统存在液体连续泄漏,则在碰撞后的前 5 min,平均泄漏速率不得超过 30 g/min。

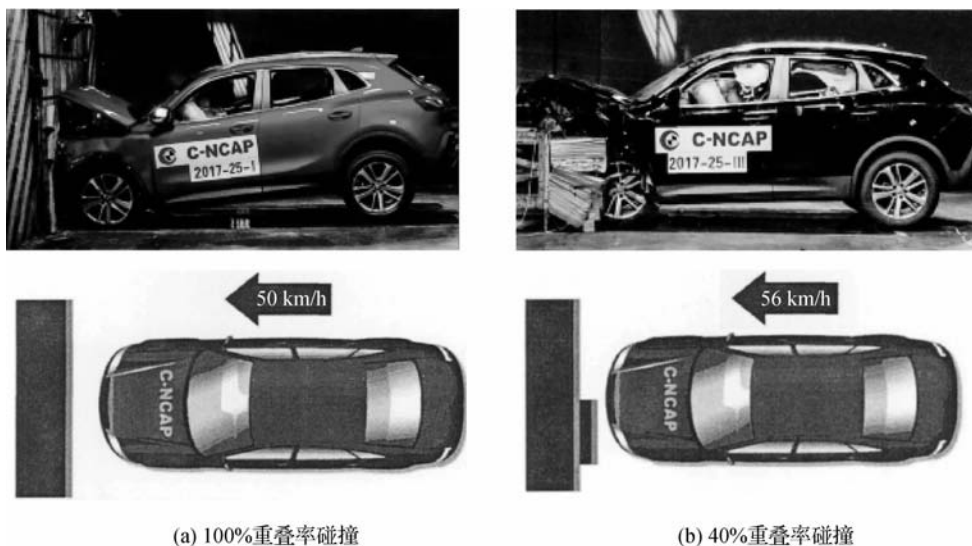


图 3-1 正面碰撞示意图

2)侧面碰撞

国家标准 GB 20071—2006《汽车侧面碰撞的乘员保护》规定:可变形的壁障以 50 km/h 的速度撞击静止车辆的驾驶员一侧,碰撞试验后除了能满足国标正面 100%碰撞的要求外,还要求车内部件在脱落时不得产生锋利的凸出物或锯齿边。侧面碰撞示意图如图 3-2 所示。



图 3-2 侧面碰撞示意图

2. 颈部保护试验

当汽车发生追尾碰撞时,座椅靠背对人体施加一个向前的加速度,使颈部迅速向后弯曲

发生像鞭打的动作。它所导致的甩鞭效应往往会因其对颈部、脊椎造成的巨大伤害而给驾乘员带来难以估量的伤害。当车辆遭受后方猛烈撞击时,驾驶员的颈部往往无法获得有效的支撑,头部会突然后仰撞击头枕,然后向前甩出,如此来回几次的高速甩动将对颈椎造成严重伤害。数据表明,在追尾事故中有近 70% 的伤害部位为颈椎。

资料显示鞭打伤害主要出现于前两个阶段。在鞭打的第一阶段[见图 3-3(a)],胸部在靠背的作用下向前移动而头部仍处于之前的状态,头胸的相对运动使颈椎发生 S 变形。颈部发生 S 变形时,脊柱中的体积改变会引起脊髓的压强突然改变,可引起脊髓神经根受到刺激,神经元细胞膜功能受到损害。在鞭打的第二阶段[见图 3-3(b)],头枕阻止了头部继续后甩并吸收部分能量,减小了韧带撕裂的可能性。但在这个过程中,头部受到头枕的作用力会直接加到颈部,引起颈部剪切力、轴向力与弯矩的改变,可能引起颈部骨头的受伤与关节的变形。



图 3-3 颈部甩鞭试验

C-NCAP 中的鞭打试验评价指标类似于日本标准,重点关注颈部伤害的七个指标,其中包括颈部伤害指数 NIC,颈部上、下方的剪切力、拉力及弯矩。

以安全技术闻名的沃尔沃从 20 世纪 80 年代中期开始关注这个领域,并与医生合作进行了一系列研发,通过对座椅和头枕的设计将甩鞭效应引起的颈部损伤风险降低了约 50%,并将成果应用于沃尔沃全系车型中。当轿车的后部受到撞击时,人会自然向后倾,此时头颈保护系统迅速充气膨胀,整个靠背随着乘坐者一起后倾,乘坐者的整个后背和靠背安稳地贴在一起,靠背会后倾以最大限度地降低后部向前甩的力量,座椅的椅背和头枕会向后水平移动,使身体上部和头部得到轻柔、均衡的支撑和保护,以减轻颈椎和颈部所承受的冲击力。

3. 评分规则

C-NCAP 的最高得分为 51 分。C-NCAP 的评分规则见表 3-1,分为正面 100% 重叠刚性壁障碰撞、正面 40% 重叠可变形壁障碰撞和可变形移动壁障侧面碰撞三种,这三个项目每项试验满分为 16 分,三项试验的总得分为 48 分。对安全带提醒装置及侧气囊或侧气帘分别有 2 分和 1 分的加分。将以上三项得分及加分项得分之和记为总分。

表 3-1 C-NCAP 的评分规则

试验项目	正面 100%重叠刚性壁障碰撞	正面 40%重叠可变形壁障碰撞	可变形移动壁障侧面碰撞
试验评分	头部:5 分 颈部:2 分 胸部:5 分 大腿:2 分 小腿:2 分	头部、颈部:4 分 胸部:4 分 膝盖、大腿、骨盆:4 分 小腿、脚及脚踝:4 分	头部:4 分 胸部:4 分 腹部:4 分 盆骨:4 分



C-NCAP 星级评分标准见表 3-2。在 C-NCAP 的引领下,测试车型的各项安全配置的装载率迅速提升,中国主要汽车生产企业基本掌握了汽车安全约束系统匹配与集成能力。C-NCAP 已经成为引领我国汽车安全技术进步的风向标,国产品牌奇瑞、吉利等不断优化汽车设计,使整车星级高达 5 星。

表 3-2 C-NCAP 星级评分标准

总 分	星 级
≥50 分	5+(★★★★★☆)
≥45 且 <50 分	5(★★★★★)
≥40 且 <45 分	4(★★★★)
≥30 且 <40 分	3(★★★)
≥15 且 <30 分	2(★★)
<15 分	1(★)

第二节 汽车安全技术内容

知识目标

- 能够系统阐述各类汽车主动安全技术的工作原理;
- 全面了解每种主动安全技术在实际驾驶场景中的应用方式与预期效果。

技能目标

- 能运用所学知识,对给定的汽车主动安全技术案例进行剖析。

素养目标

- 培养学生高度的工程伦理意识。使其明白技术应用不仅要追求性能提升,更要遵循道德准则;
- 鼓励学生密切关注行业前沿动态,激发创新思维。

我国汽车安全强制性标准首先从主动安全开始,随着汽车工业的发展,逐步向一般安全、被动安全扩展,目前基本形成了比较完善的汽车安全标准体系,如图 3-4 所示。汽车安全标准体系可以分为主动安全类标准、被动安全类标准和一般安全类标准,这些标准都属于国家强制性标准。主动安全类标准涉及照明信号装置,制动、转向和轮胎等;被动安全类标准涉及约束系统、碰撞防护、防火等;一般安全类标准涉及视野、指示器与信号装置、车辆结构与防盗等。

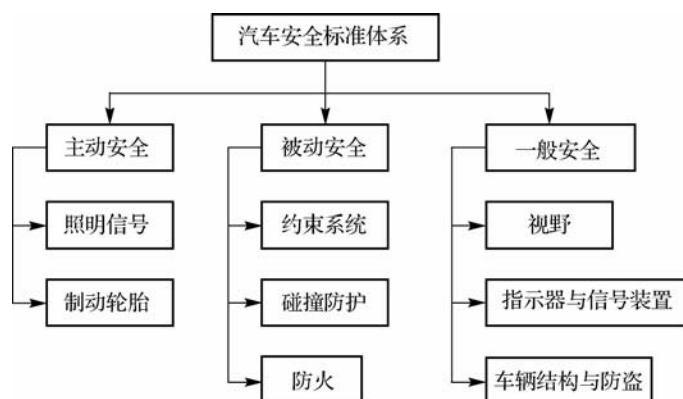


图 3-4 汽车安全标准体系

汽车主动安全性也称事故预防性,是指车辆防止事故发生的能力,一切与防止事故发生相关的人或事都属于主动安全范畴。例如,汽车整车、总成和部件的可靠性,汽车操纵稳定性、制动性、动力性,以及驾驶环境视见性和可靠性。汽车可靠性已形成独立的研究领域,驾驶环境视见性涉及人和道路交通环境领域,汽车自身安全主要包括汽车运动动力学决定的操纵稳定性、制动性、动力加速性,以及汽车驾驶操作负担两个主要方面。例如,要求汽车有良好的照明与信号装置来加强自身行车安全,并对外界承担有效的沟通作用;要求汽车有良好的制动和转向性能来有效抑制汽车交通事故的发生。爆胎往往是造成重大交通事故的主要原因之一。因此,汽车主动安全类强制性标准主要体现在汽车照明与信号装置、制动、转向和轮胎等方面。以现代电子技术、计算机技术等为基础的避免事故发生的装置在汽车上的应用越来越多。

汽车被动安全性可分为车内乘员安全和车外行人保护两个方面。包括合理的车身结构设计和乘员约束系统设计,车身结构件变形吸能以减少对乘员的冲击,利用乘员约束系统保护乘员并减轻乘员和车内部发生二次碰撞的可能,采用车身结构设计和车身外表面安全装置,在与行人发生碰撞时减少对行人的伤害,以最大限度减少人员伤亡。汽车被动安全标准主要体现在约束系统(如座椅、安全带、安全气囊等)、碰撞防护、防火等方面。

汽车一般安全性是指预防汽车火灾发生和发生火灾后防止蔓延扩散的能力以及行李厢的开启和燃料系统的完整性。包括燃料系统防火安全性、汽车内饰的燃烧特性以及后备厢在紧急状况下能从内部打开等。

一、汽车主动安全技术

汽车主动安全控制系统能够积极主动地避免事故的发生,提高了预防事故发生的能力。因此,各大公司和研究机构加大了对汽车主动安全技术的研究。

1. 驾驶环境安全技术

1) 透明 A 柱

A 柱是汽车前方挡风玻璃与前车门玻璃之间不透明的部分,左右两侧都有。A 柱承载着汽车顶盖的质量,对汽车的构造非常重要。在行驶中,特别是驾驶车辆左转弯时常常会有这样的现象:左侧有电动自行车或其他相对高速的物体突然冒出来,由于驾驶员前侧视线易



被 A 柱遮挡,形成一定角度的视觉障碍和视线盲区,转弯时极易发生交通事故。我国车辆驾驶座在左侧,A 柱对驾驶员左侧视线的影响更大,和右侧相比形成盲区的范围会更宽。由于 A 柱需要满足防撞实验要求,很多汽车的 A 柱形状都很粗大,一般情况下 A 柱宽度约为 8 cm,造成驾驶员左侧盲区约有 6.8° 、右侧盲区约有 2.3° ,如图 3-5 所示。宽阔的 A 柱使安全隐患增大,这是汽车设计中长久以来的一个矛盾。国标《汽车驾驶员前方视野及测量方法》中严格规定了 A 柱的双目障碍角不得超过 6° 。

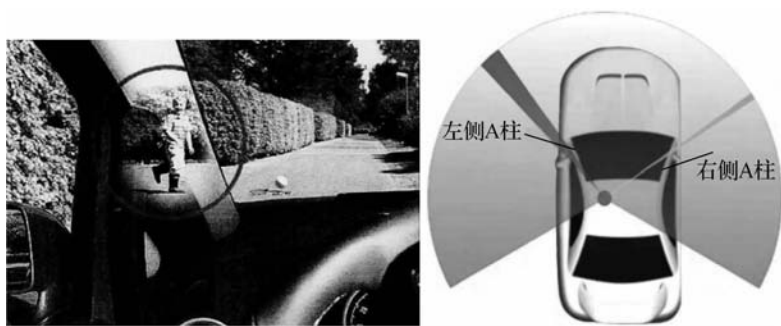


图 3-5 A 柱盲区示意图

如图 3-6 所示,透明 A 柱系统由显示屏支架组件、摄像头支架组件、信号传输线和电源线组成,通过两个摄像头分别对车外路况和驾驶员同时进行拍摄并进行图像分析处理,将摄像头摄取 A 柱盲区的交通状况转换为电信号传送至显示屏,由显示屏再现交通状况,为驾驶员确认前方 A 柱遮挡的位置是否有障碍物或行人等提供了方便,进而有效避免不必要的交通事故,提高汽车驾驶安全性。



图 3-6 透明 A 柱系统

这项利用电子科技使 A 柱透明的技术能让驾驶员看清汽车周围路人、骑行者和其他汽车。在实车行驶过程中,A 柱显示屏默认关闭,当驾驶员转头看向汽车一侧时,系统会自动启动并让对应侧的 A 柱变为透明状态,从而达到在恰当的时间给驾驶员恰当的 A 柱盲区信息。

另一种透明 A 柱是采用透明材料制成的。日本著名调谐器厂商 Tommykaira 采用聚碳酸酯制成无 A 柱挡风玻璃,不仅使车辆 A 柱透明性设计得以体现,而且相比同类传统零件减重 36%,已运用在该公司旗下的纯电动跑车 ZZ EV 上,如图 3-7 所示。



图 3-7 透明 A 柱电动跑车

2) 盲点监测系统

由于汽车后视镜存在视觉盲区,变道之前就看不到盲区的车辆,容易发生碰撞事故。在雨雾天气、夜间光线昏暗时,更加难以看清后方车辆,此时变道就面临更大的危险。盲点监测(blind spot information,BSI)系统就是为了解决后视镜的盲区而设计的。

BSI 系统能帮助驾驶员在变道或转向时减少事故发生,提高行驶安全性。通过在汽车两侧后视镜及后保险杠内安装 24 GHz 雷达传感器,在车辆行驶速度大于 10 km/h 时系统自动启动,实时向左右 3 m、后方 8 m 范围发出探测微波信号。系统对反射回的微波信号通过车载计算机进行分析处理,可计算靠近车辆的速度、距离和运动方向等信息。通过系统算法,排除固定物体和远离的物体。

如图 3-8 所示,车辆在行驶中,当探测到盲区内有车辆靠近时,系统将自动点亮该方向的车外后视镜上的指示标志。若此时驾驶员仍然没有注意到变道指示灯闪烁,则车外后视镜上的指示标志闪烁同时伴有警告声,再次提醒驾驶员此时变道有危险。通过整个行车过程中不间断地探测和提醒,防止行车过程中因恶劣天气、驾驶员疏忽、后视镜盲区、新手上路等原因而造成交通事故。

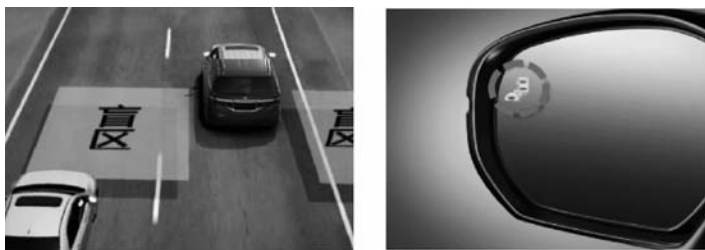


图 3-8 盲点监测系统

除此之外,还有更加先进的视觉显示技术,可显示拐角后实景,该技术可帮助驾驶员看到车辆前方拐角的盲区景象,已运用于福特 Galaxy 和 S-MAX 车型上。如图 3-9 所示,主要由一个安装在车头的微型摄像头来完成工作,该摄像头的直径为 33 mm,其可视范围为 180°,可以将实时景象显示在车内的液晶显示屏上,这样驾驶员就可以在车头刚刚探出拐角或者侧边车辆时看到是否有车辆或行人经过,降低事故发生的概率。



图 3-9 拐角视觉显示技术

3) 后视镜自动防眩目

夜间视线不好是影响行车安全的重要问题,由于光线暗,再加上各向来车的大灯影响驾驶员视野范围,从而导致行驶存在安全隐患,特别是夜间行车中,当其他车辆大灯的强光射入眼睛时,会直接影响驾驶员判断与后车的距离,在并线时也会影响行车的安全。为了减少此类危险事故的发生,后视镜自动防眩目功能应运而生,它可以降低各向车辆灯光的亮度,从而确保驾驶员视野不因灯光影响而产生危及行车安全的事故。

如图 3-10 所示,后视镜自动防眩目一般分为内后视镜防眩目和外后视镜防眩目,两者工作原理基本一致,下面以车内智能防眩目后视镜的工作原理为例进行讲解。



图 3-10 后视镜自动防眩目

车内智能防眩目后视镜一般安装在车厢内,它由两个光敏二极管及电子控制的一面特殊镜子等组成,如图 3-11 所示。该镜子采用一种独特的“三明治”结构,即在两层玻璃间夹一层化学凝胶,通过电流的变化控制后视镜的明暗。防眩目后视镜通过电子控制器接收光敏二极管送来的前射光和后射光信号。两个光敏二极管一个安装在后视镜正面,另一个安装在后视镜背面,它们分别接收汽车前面和后面射来的光线,实时监测光线强度。这两个感光元件是同时工作的,根据前方和后方的光线强度差异来判断是否开启防眩目功能。车头光线强度大于后方光线强度,不开启防眩目功能,镜面颜色保持正常;车头光线强度小于后方光线强度,开启防眩目功能,镜面颜色变深。



图 3-11 车内防眩目后视镜

防眩目后视镜的工作状态如图 3-12 所示,分为非防眩目状态和防眩目状态。当后车的大灯射在车内后视镜上时,从两个光敏二极管的信号比较可以判断后面的光强于前面的光。当光强差值超过设定的(眩光)标准时,则向玻璃镜片通电,导电层上的电压改变镜面电化层颜色,电压越高,电化层颜色越深,使其由正常透亮状态变成墨绿色,后面射来的强光就会被镜面吸收掉很大一部分,从而有效地使反射率下降,使夜晚后方车辆照射到防眩目后视镜的灯光反射到驾驶员眼中时变得柔和,进而消除眩光,提高夜间行车安全性。



图 3-12 防眩目后视镜的工作状态

如果后面没有眩光发生,则后视镜会提供一个正常的后视视野。自动防眩目后视镜所产生的变化是在极短时间内自动智能完成的,驾驶员基本上感觉不到它。

自动防眩目后视镜固然能防眩目,但在从车库中倒车出来时,由于车后面的光线较强而车前面光线弱,此时后视镜如变暗就不利于倒车时看清车后情况,因此一些汽车便设计成当汽车挂倒挡时能自动取消防眩目功能,或者也可以用开关(见图 3-13)手动取消该功能。



图 3-13 防眩目后视镜开关

4) 自适应前照明系统(随动转向大灯)

汽车自适应前照明系统(adaptive front-lighting system, AFS)是一种能自动改变光型以适应车辆行驶条件变化的前照明系统。通过使近灯光轴在水平方向上与转向盘转角联动进行左右转动,在垂直方向上与车高联动进行上下摆动使灯光具有随动的功能,是未来汽车前照明系统的主要发展方向。

传统行车灯的近光只能在一种模式下工作,即固定不变的光学系统,但实际的道路状况、环境状况、车辆的行车工况、车辆固有的属性往往不是一成不变的,如雨雾天气、连续多弯道、左右车轮附着路面高低不平、车辆行李载荷及乘员数量的不同、汽车加减速行驶等,这些行车状况及复杂的道路条件使得交通安全存在巨大的隐患。

伴随汽车电子技术的不断发展,一种更为智能化的符合人们驾驶安全需求、满足人们对夜间行车安全需求的自适应照明系统应运而生。与传统的前照灯不同,AFS 前照灯具有多种能适应不同外界环境的照明模式,能根据汽车所处的不同状态和环境自动改变照明效果。

(1) 自适应前照明系统的分类。欧洲汽车照明研究机构曾经就自适应前照明系统做过



专项调查,结果显示,欧洲驾驶员最希望改善的是阴雨天气积水路面的照明,排在第二位的是乡村公路的照明,接下来依次是弯道照明、高速公路照明和市区照明。

2000年,在欧洲主要汽车制造商和车灯零部件企业的推动下,形成了欧洲第一份 AFS 技术标准 ECE123。在 ECE123 标准框架下,AFS 的照明模式有五种:阴雨天照明模式、乡村道路照明模式、转弯道路照明模式、高速道路照明模式和城市道路照明模式。在不同的自然环境和工况下,AFS 根据从传感器及网络得到的相关信息进行运算、判断,把大灯调整到相应的照明模式,以达到更好的照明效果。

(2)自适应前照明系统的组成与原理。自适应前照明系统的组成如图 3-14 所示。系统首先从方向盘转角传感器、车速传感器和汽车高度传感器中获取各种汽车行驶状态相关信息,这些信息主要是用于判别汽车前向轮的转角、汽车的高度和汽车的速度。控制单元通过精确计算角度和速度信息后得出旋转马达的旋转角度信息,再通过步进电机的旋转角度信息来控制马达转动,实现对汽车前照灯照射光轴的水平调整;通过精确计算汽车车身高度信息,从而控制调高马达对汽车的照射光轴进行垂直调整。

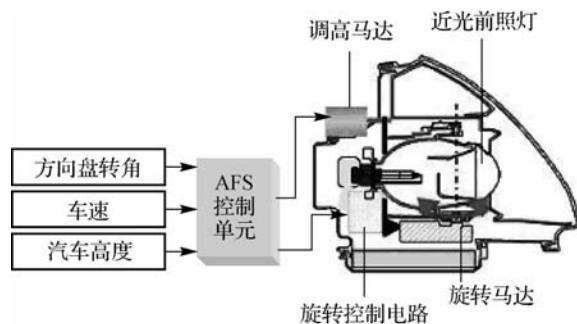


图 3-14 自适应前照明系统的组成

当转动方向盘时,传感器自动检测转向角度和车速信号。控制单元需要对周围环境进行判断,并随着环境的改变不断修正参数、精确分析并发送精确的前照灯操作控制指令给车头大灯组内水平和垂直安装的旋转马达,令其随着车辆动态行驶进行实时调节,从而让照明光束始终与道路保持一致,这样驾驶员能够清楚地看到即将出现的弯道上的路,以便及时采取预防或者紧急避险措施。图 3-15 所示为有无 AFS 照明效果图。可以看出,AFS 的转向灯能够根据方向盘转动角度把有效的光束投射到驾驶员需要看清的前方路面上。

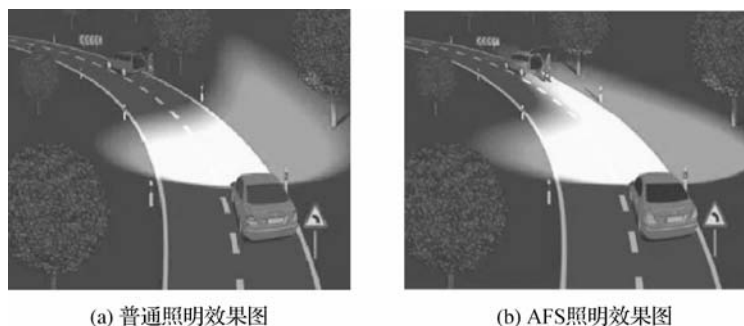


图 3-15 有无 AFS 照明效果图

(3) AFS 照明模式简介。

①阴雨天气照明模式。阴雨天气,地面的积水会将行驶车辆打在地面上的光线反射至会车驾驶员的眼睛中,造成眩目,进而可能造成交通事故。如图 3-16 所示,AFS 通过遮光板或拖动光源等方式使前照灯发出特殊光型,减弱地面可能对会车产生眩光的区域的光强。该模式保护对方驾驶员的安全,也是对自身行驶安全的保证。

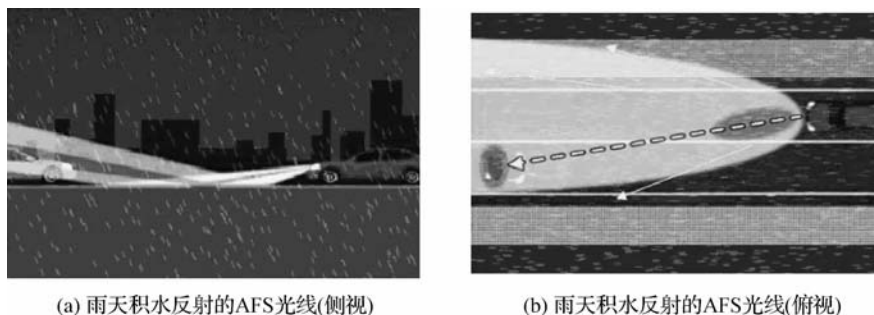


图 3-16 AFS 阴雨天气照明模式

②乡村道路照明模式。乡村道路上环境照明不好,整体视线较差,尤其难以对道路两侧突发状况进行及时发现和处理。此时 AFS 需要把光型拉长、拉宽,以扩大视野范围,及时发现道路两侧突发情况,减少交通事故,如图 3-17 所示。



图 3-17 AFS 乡村道路照明模式

③城市道路照明模式。城市中一般都有路灯照明,但道路复杂、交错。传统前照灯近光因为光型比较狭长,不能完全适合城市道路照明需要。如图 3-18 所示,在市区车辆行驶速度较为缓慢的前提下,AFS 使用比较宽阔的光型,以便在道路边缘和交叉路口都能获得较好的照明,有效避免与岔路中突然出现的行人、车辆可能发生的交通事故。

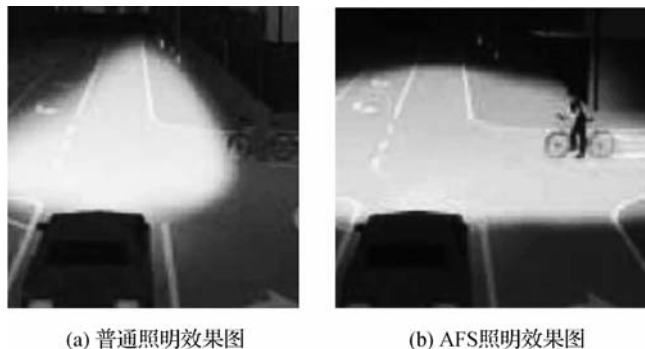


图 3-18 AFS 城市道路照明模式



④高速公路照明模式。车辆在高速公路上行驶,因为具有极高的车速,视野变窄,驾驶员需要观察到更远处的路况,所以需要前照灯比普通前照灯照得更远、更宽。传统前灯存在着高速公路上照明不足的问题,AFS采用更为宽广的光型解决了这一问题,如图3-19所示。

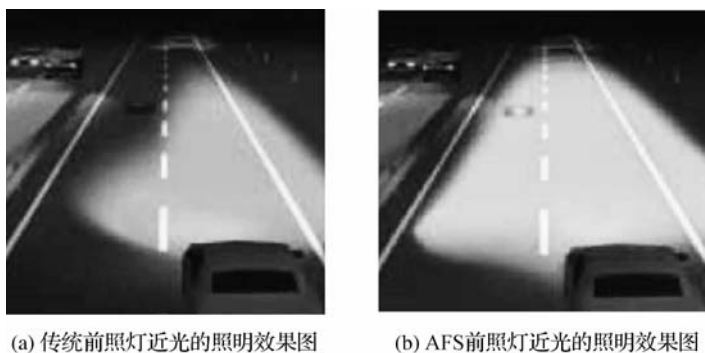


图 3-19 AFS 高速公路照明模式

⑤转弯道路照明模式。传统前照灯的光线因为和车辆行驶方向保持一致,所以在车辆驶入弯道时不可避免地存在照明的暗区。一旦在弯道上存在障碍物,极易因为驾驶员对其准备不足而引发交通事故。如图3-20所示,AFS能够使车辆在进入弯道时产生旋转的光型,给弯道以足够的照明,有效避免上述情况,减少事故隐患。

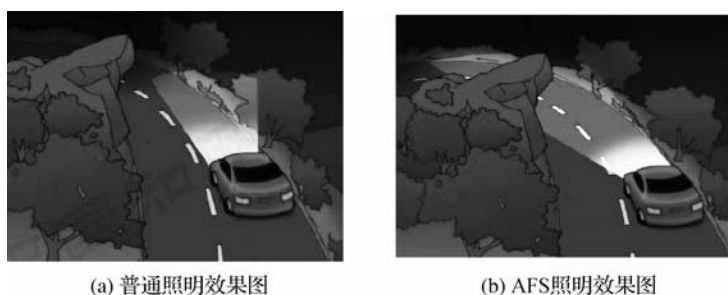


图 3-20 AFS 转弯道路照明模式

5) 汽车夜视辅助系统

夜间行车会有安全隐患。调查显示,60%的交通事故发生在夜间及天气不好的情况下,尤其是夜间在没有路灯的道路上受汽车大灯照射距离的限制,高速驾车时驾驶员视线比较差,容易发生事故。

车载夜视辅助系统给驾驶员带来了极大的安全感。试验表明,一般汽车灯只能照射100 m左右,而夜视辅助系统至少可看到450 m以外的路况信息,在雨雪、浓雾天气公路上的物体及路旁的一切也都能尽收眼底。如图3-21所示,在该系统的帮助下,驾驶员在夜间或弱光线的驾驶过程中将获得更高的预见能力,它能够针对潜在危险向驾驶员提供更加全面、准确的信息或发出早期警告,大大提高汽车行驶的安全性。

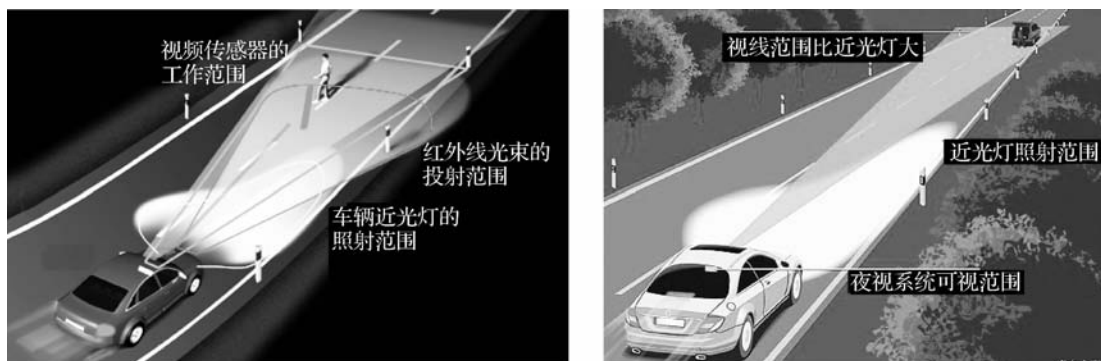


图 3-21 车载夜视辅助系统

(1)工作原理。如图 3-22 所示,夜视辅助系统利用红外光源的光电转化进行图像处理,辅助驾驶员在黑夜中看清道路,减少事故发生,增强主动安全性。系统发出人眼看不到的短程红外线光束,因此,这种主动发射红外线光束在任何交通状况下都可以始终保持开启状态,即使对面来车也是如此;由一个红外感应摄像头记录交通状况并将该信息发送至控制单元;控制单元对视频图像进行处理,然后发送到仪表盘上的显示屏,驾驶员可以通过显示屏看到一个灰度图像,相当于在远光开启时通过挡风玻璃观察车辆前方。

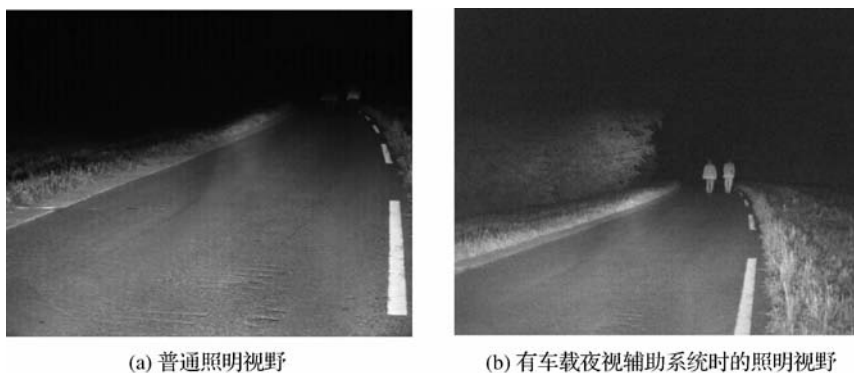


图 3-22 有无车载夜视辅助系统的效果图

同时,夜视辅助系统可改善由对面来车造成眩目时的视野。如图 3-23 所示,在夜间会车时,当遇到对面大灯照射引起的眩目情况时,红外线大灯依然可以判断出对面的行人,提高夜间行车安全性。

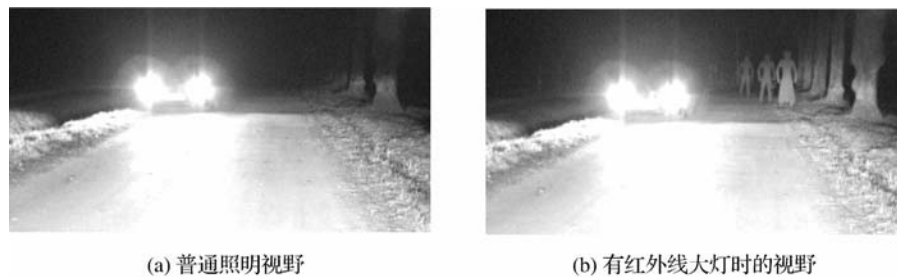


图 3-23 有无红外线大灯时的视野对比图



夜视辅助系统能使驾驶员辨别出距离 210 m 左右路旁身着浅色衣服的人,相比氙气大灯,驾驶员可提前 41 m 观察到路人,而在行人身着黑色衣服时,可提前 92 m 预知路人踪影。这意味着采用夜视辅助系统可以将夜间行车安全性提高 125% 以上。同时,对于潜在危险信息的充分掌握,也能够使驾驶员在夜间驾驶过程中的心理压力大为缓解,进而使驾驶过程更加舒适放松。

(2)分类。按照工作原理不同,夜视辅助系统可分为主动红外夜视辅助系统和被动红外夜视辅助系统。

主动红外夜视辅助系统是采用主动红外成像技术,利用红外探照灯照射目标,把目标物体反射或自身辐射的红外辐射图像转换成人眼可观察的图像。这种系统本身必须具备光源。被动红外夜视辅助系统采用热成像技术,基于人类、动物和行驶的车辆与周围环境相比散发的温度和辐射率差别,利用辐射测温技术对目标逐点测定辐射强度而形成可见的目标热图像。这种系统本身没有光源,仅依靠对物体本身发出的光线进行识别。夜视辅助系统能收集这些信息,然后转变成可视的图像,把本来在夜间看不清的物体清楚地呈现在眼前,增加夜间行车的安全性。

两种系统相比,前者需要具备光源,能对人、目标、场景等进行清晰成像和识别。被动夜视辅助系统本身不需要光源,探测距离较远,道路标志很难看到或看不清,图像清晰度取决于天气条件和时间段,图像与实际景象不完全符合。

(3)组成。汽车主动夜视辅助系统主要由红外发射单元、红外成像单元、控制单元、图像显示单元等组成。

凯迪拉克在 2000 年率先在其所生产汽车上搭载了夜视辅助系统。该系统探测器采用的是红外热成像探测器,安装在车辆前部,以便于探测车辆前方所存在的能辐射红外线的目标。越来越多的汽车厂家开始开发和使用夜视辅助系统,其不仅能够提高驾驶安全性,还能提高豪华程度。随着科技的发展和生产成本的降低,汽车夜视辅助系统将全面普及。比亚迪、红旗等品牌的一些车型已经开始将夜视辅助系统作为标配。

2. 轮胎安全技术

1) 轮胎气压监测系统

轮胎气压监测系统(tire pressure monitoring system, TPMS)可以通过安装在轮胎中的电子传感器记录轮胎转速和气压,对轮胎的各种状况进行实时自动监测,防止因轮胎气压下降所引起的事故,从而为行驶提供有效的安全保障。当轮胎气压下降时,该系统向驾驶员发出报警。

据了解,每年有 46% 的交通事故都是由于轮胎原因导致事故发生,爆胎占了其中的 70%,因而实时监测胎压对行车安全具有重要意义。TPMS 属于汽车主动安全的范畴,它可以在轮胎出现危险征兆时通过中控仪表显示系统及时报警,从而提醒驾驶员采取相应措施,避免严重事故的发生,提高汽车使用过程中的经济性。

(1) TPMS 的优点。

①延长轮胎使用寿命。有资料显示在轮胎气压不足时行驶,当车轮气压比正常值下降 10% 时,轮胎寿命就缩短 15%。TPMS 可提醒驾驶员将轮胎保持在规定的压力、温度范围内工作,进而减少车胎的损毁,延长轮胎使用寿命。

②正常的胎压可降低油耗。轮胎内的气压过低时,就会增大轮胎与地面的接触面积,从

而增大摩擦阻力,当轮胎气压低于标准气压值 30%,油耗将上升 10%。

③可减少悬架系统的磨损。轮胎内气压过足时,会导致轮胎本身减振效果降低,从而增加车辆减振系统的负担,长期使用对发动机底盘及悬挂系统都将造成很大的伤害。如果轮胎气压不均匀,还容易造成刹车跑偏,从而增加悬挂系统的磨损。

美国法律要求从 2007 年 8 月起在美国销售的所有乘用车和轻型卡车必须安装胎压监测系统,欧洲也颁布了相应的法规。中国作为汽车消费大国,胎压监测系统在乘用车上逐渐得到应用,而在商用车上发展则较为滞后。

(2)TPMS 的分类。TPMS 可分为两种:一种是间接式胎压监测系统,是通过轮胎的转速差来判断轮胎是否异常;另一种是直接式胎压监测系统,通过在轮胎里面加装 4 个胎压监测传感器,在汽车静止或者行驶过程中对轮胎气压和温度进行实时自动监测,并对轮胎高压、低压、高温进行及时报警,避免因轮胎故障引发的交通事故,以确保行车安全。

①间接式胎压监测系统。间接式胎压监测系统(见图 3-24)又称 WSBTPMS。WSBTPMS 需要通过汽车的 ABS 的轮速传感器来比较轮胎之间的转速差别,以达到监测胎压的目的。当轮胎压力降低时,车辆的质量会使轮胎直径变小,直线行驶时导致其转速比其他车轮快,车速就会产生变化。经过系统计算机计算,车速变化会触发报警系统,从而提醒驾驶员注意胎压不足。

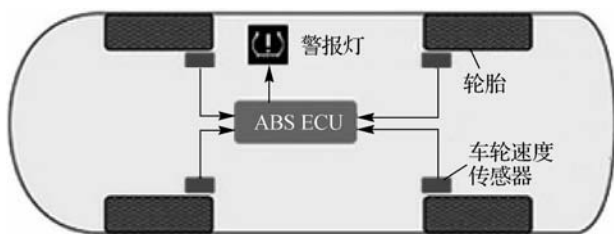


图 3-24 间接式胎压监测系统

间接式胎压监测系统相对便宜,对于已装备轮速传感器的汽车,只需对软件进行升级即可达到胎压监测目的。

安装间接式胎压监测系统的车辆有以下不足:一是绝大多数采用间接式胎压监测系统的车型都不能具体指示出是哪一个轮胎胎压不足;二是如果四个轮胎的胎压同时下降,那么这种装置也就失效了,而这种情况一般在冬天气温下降时尤其明显。此外,当车辆过弯时,外侧轮转动次数会大于内侧轮转动次数,或者轮胎在沙地或冰雪路面打滑,特定轮胎旋转数会特别高。因此,这种胎压监测系统有很多局限性。

②直接式胎压监测系统。直接式胎压监测系统(见图 3-25)又称 PSBTPMS。PSBTPMS 利用安装在轮胎上的压力传感器来直接测量轮胎的气压和温度,利用无线发射器将压力信息从轮胎内部发送到中央接收器模块上,然后对轮胎气压数据进行显示,最后驾驶员可直观看到轮胎胎压数字,实时注意四个车轮的真实气压状况。

当轮胎出现高压、低压、高温时,系统就会报警提示驾驶员。驾驶员可以根据车型、用车习惯、地理位置自行设定胎压报警值范围和温度报警值。直接式胎压监测系统的优点是:在每一个车轮上都安装有压力传感器和传输器(见图 3-26),当任何一个轮胎气压低于驾驶员手册上推荐的冷胎胎压 25%时,便会警示驾驶员。其警示信号比较精确,而且如果轮胎被刺



破,胎压快速降低,系统也能透过行车计算机感知到,进而及时提供警示。

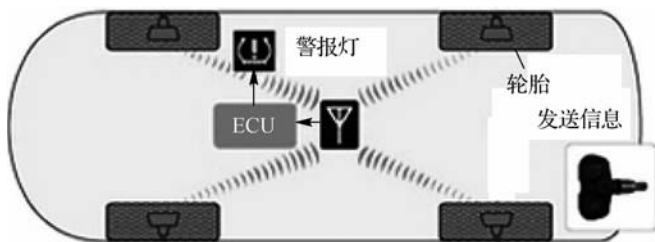


图 3-25 直接式胎压监测系统



图 3-26 压力传感器和传输器

最主流的直接式胎压监测系统为英国 SCHRADER 胎压监测系统,因其性能稳定、精确度高、灵敏度强而深受车主青睐。

2) 车道偏离警示系统

据统计,约有 50% 的汽车交通事故是因为汽车偏离正常行驶车道引起的,其主要原因是驾驶员情绪不稳定、注意力不集中或驾驶疲劳。在美国公路上,车辆偏离车道约占所有事故原因的 1/4、所有死亡事故原因的 1/3。而根据欧盟研究,在几乎所有车辆交通事故中,如果驾驶员的反应能提前 0.5 s,将近 90% 的车辆事故可以有效避免。车道偏离警示(lane departure warning)系统如图 3-27 所示,该技术可有效避免汽车偏离车道引发的事故。沃尔沃汽车研究人员估计,当车速为 70~100 km/h 时,车道偏离警示系统可以使这类事故减少 30%~40%。

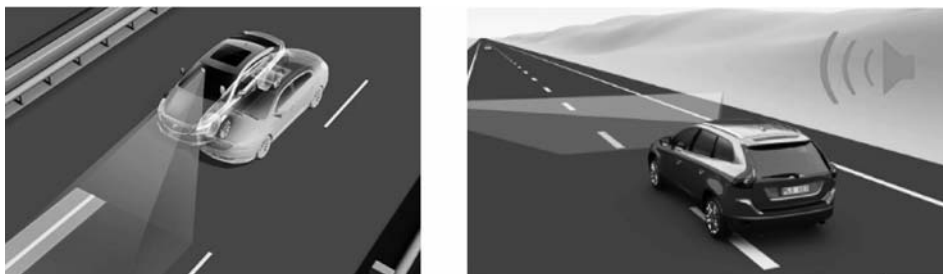


图 3-27 车道偏离警示系统

车道偏离警示系统主要由摄像头、显示器、控制器及传感器组成,如图 3-28 所示。系统主要是扫描道路分割线,然后提供给车载计算机判断,再用声光方式提醒驾驶员注意保持正

确道路行驶。



图 3-28 车道偏离警示系统的组成

车道偏离警示系统的工作原理如图 3-29 所示。当车道偏离警示系统开启时,摄像头(一般安置在车身侧面或后视镜位置)会时刻采集行驶车道的标识线,通过图像处理获得汽车在当前车道中的位置参数。当检测到驾驶员在行车过程中汽车偏离车道,但没有转向的操作(如打转向灯)时,传感器会及时收集车辆数据和驾驶员的操作状态,之后由控制器发出警报信号,整个过程大约在 0.5 s 内完成,为驾驶员提供更多的反应时间,纠正驾驶员不打转向灯的习惯。而如果驾驶员打开转向灯,正常进行变线行驶,车道偏离警示系统不会做出任何提示。该系统是通过一台摄像机检测车辆在车道线之间的位置,当车速超过 60 km/h 时,该系统激活;当车速超过 65 km/h,系统便开始进行干预。

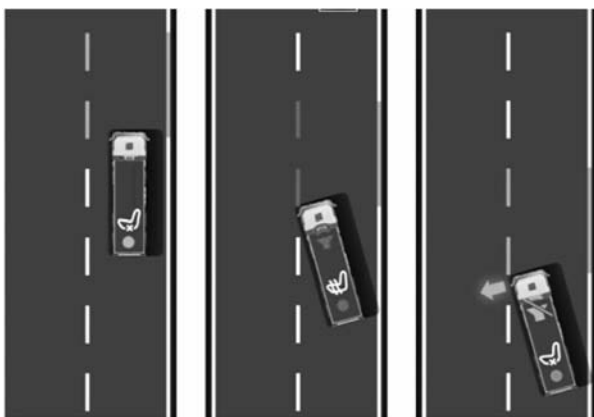


图 3-29 车道偏离警示系统的工作原理

车道偏离警示系统已经商业化使用的产品都是基于视觉的系统,根据摄像头安装位置不同,可以将系统分为侧视系统(摄像头安装在车辆侧面)和前视系统(摄像头安装在车辆前部,斜指向前方的车道)。

无论是侧视系统还是前视系统,都由道路和车辆状态感知、车道偏离评价算法和信号显示界面三个基本模块组成。系统首先通过状态感知模块感知道路的几何特征和车辆的动态参数,然后由车道偏离评价算法对车道偏离的可能性进行评价,必要时通过信号显示界面向驾驶员报警。

由于车道偏离警示系统主要是通过摄像头来识别道路标识线,如果碰上乡村道路或分割线非常模糊的情况,这个功能就不太起作用了。另外,在雨雪天气或能见度不高的路面时,采集车道标识线的准确度会下降。为了解决这个难题,技术工程师开发了红外线传感器采集方式。红外线传感器一般安置在前保险杠两侧,即使在恶劣环境的路面也能识别车道



标识线,便于在任何环境的路况下均能及时提醒驾驶员汽车道路偏离状态。

目前,车道偏离警示系统在大众 CC、宝马 5 系、奔驰 E 级、英菲尼迪 M 系等车型中均已配备。

3. 轮胎新技术

1) 爆胎监测与安全控制系统

轮胎安全在汽车安全中一直备受关注,尤其在高速公路行驶中,由汽车爆胎引起的交通事故占高速公路交通事故的绝大多数。

爆胎监测与安全控制系统(blow-out monitoring and brake system, BMBS)是吉利全球首创,并拥有自主知识产权及专利的一项安全技术,如图 3-30 所示。这项技术主要是出于防止高速爆胎所导致的车辆失控而设计,能实时监测轮胎情况,一旦发现危险就及时主动地制动车辆,将爆胎引发的危险降至最低。



图 3-30 吉利爆胎监测与安全控制系统

BMBS 技术方案的核心即是采用智能化自动控制系统,当车速在 80 km/h 或以上时, BMBS 的安全控制将启动,从而在发生爆胎事故时弥补驾驶员生理局限,在爆胎后反应时间为 0.5 s,替代驾驶员实施渐进式自动制动,保障行车安全。BMBS 与 ABS 和 EBD 相结合,使车轮不长时间抱死,避免车轮抱死导致汽车发生跑偏、侧滑和甩尾的现象。

BMBS 由控制系统和显示系统两大部分组成:控制系统由 BMBS 开关、BMBS 主机、BMBS 分机、BMBS 真空助力器四部分组成;显示系统由 GPS 显示、仪表指示灯、语言提示、制动双闪灯组成。

当爆胎等紧急情况出现时,轮胎气压监测模块即时采集到此信号,并将此信号发送到中央控制模块,中央控制模块即时发出命令到制动模块并在尾灯进行警示。制动模块接收到信号后瞬时爆发强大制动力,从而使汽车紧急制动并安全减速。在制动过程中,为了防止汽车向爆胎方向偏航,在爆胎对应面,完好的轮胎一侧受到的制动力将大于或者接近于爆胎轮胎滚动阻力和制动力的总和。这样,车辆的行驶速度在数秒后便可迅速降低。实验证明, BMBS 技术可将汽车速度在短时间里减到安全范围,从而使汽车可以安全地停靠。尾灯也会发出警示信号,告知其他车辆要紧急避开,降低了爆胎带来的风险,减少因此产生的追尾或碰撞事故。

2) 安全轮胎

安全轮胎在碰到尖锐物后,不会漏气或者漏气非常缓慢,能够保持行驶轮廓,胎圈依然固定在轮辋上,从而保证汽车能够长时间或者暂时稳定行驶,如图 3-31 所示。安全轮胎在

轮胎胎侧中添加了新型高强度材料(芳纶短纤维),耐撕裂性能提升 50%,有效地保证了车辆的行驶安全;采用军用防弹衣材料,保证轮胎可以抵抗高速撞击;轮胎胎肩部采用盾形仿生设计,提高胎侧强度,突出部分的盾形花纹块与普通轮胎相比更厚,在撞上马路沿或其他尖锐物时,大幅降低被损坏的概率;同时,轮胎内壁上增加一层智能纳米密封材料,形成一层特殊的防护罩。在行驶中当穿刺物从外界刺穿胎体时,智能纳米密封材料将紧紧包裹住穿刺物,防止气体漏出,刺穿也不影响汽车行驶安全(钉子直径小于 6 mm 才起作用);当穿刺物从胎体拔出时,轮胎内的智能纳米材料又能自动聚拢在穿孔处,塞住胎面小洞即可做到永久自我修复,防止气体外泄。安全轮胎不需要担心和传统轮胎一样会漏气,也不需要和传统安全轮胎一样进行补胎或者换胎。

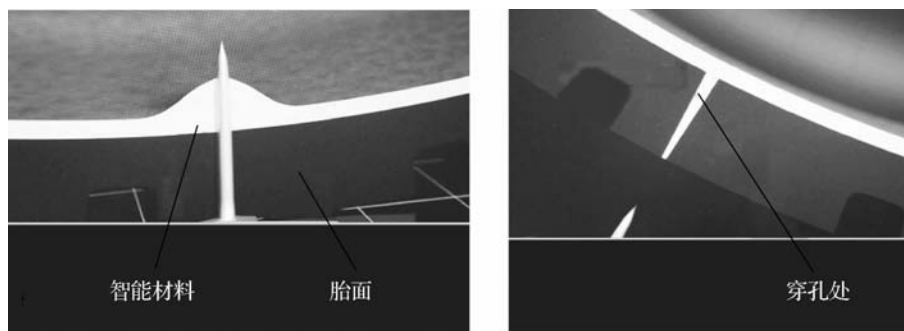


图 3-31 安全轮胎被钉子破坏

4. 提前预警安全技术

1) 驾驶疲劳预警监测系统

随着汽车保有量的持续增加,道路交通事故发生的数量和事故死亡人数将进一步增加。在所有的道路交通事故中,疲劳驾驶所造成的交通事故占有相当大的比例。据统计,每年世界的道路交通事故多达 10 亿次之多,造成汽车碰撞事故的原因 25%~30%是驾驶疲劳。驾驶疲劳问题已经引起世人的关注,人们投入巨大的人力、物力广泛开展驾驶疲劳的研究工作。

驾驶疲劳预警监测系统(driver fatigue monitor system, DFMS)基于驾驶员生理图像反应,由 ECU 和摄像头两大模块组成,利用驾驶员的面部特征、眼部信号、头部运动性等信息推断驾驶员的疲劳状态,并进行报警提示和采取相应措施,对驾乘者给予主动智能的安全保障。

常见的驾驶疲劳预警监测系统的检测方法有基于驾驶员生理信号、基于驾驶员生理反应特征、基于驾驶员操作行为、基于车辆状态信息等。

(1) 基于驾驶员生理信号的检测方法。针对疲劳的研究最早始于生理学。相关研究表明,驾驶员在疲劳状态下的生理指标会偏离正常状态。因此,可以通过驾驶员的生理信号来判断驾驶员是否进入疲劳状态。目前较为成熟的检测方法包括对驾驶员的脑电信号(EEG)、心电信号(ECG)等的检测。

(2) 基于驾驶员生理反应特征的检测方法是指利用驾驶员的眼动特性、头部运动特性等推断驾驶员的疲劳状态。驾驶员眼球的运动和眨眼信息被认为是反映疲劳的重要特征,眨眼幅度、眨眼频率和平均闭合时间都可直接用于检测疲劳。目前基于眼动机理研究驾驶疲



劳的算法有很多种,广泛采用的算法是 PERCLOS,即将眼睑闭合时间占一段时间的百分比作为生理疲劳的检测指标。基于驾驶员生理反应特征的检测方法是利用面部识别技术定位眼睛、鼻尖和嘴角位置,将眼睛、鼻尖和嘴角位置结合起来,再根据对眼球的追踪获得驾驶员注意力方向,并判断驾驶员的注意力是否分散。

(3)基于驾驶员操作行为的检测技术,是指通过驾驶员的操作行为(如方向盘操作等)推断驾驶员的疲劳状态。例如,当驾驶员处于疲劳驾驶状态时,方向盘操作频率会变小且伴有急剧性。

(4)利用车辆行驶轨迹变化和车道线偏离等车辆状态信息也可推测驾驶员的疲劳状态。这种方法和基于驾驶员操作行为的检测方法一样,都以车辆现有的装置为基础,无须添加过多的硬件设备,而且不会对驾驶员的正常驾驶造成干扰,因此具有很高的实用价值。

驾驶疲劳预警监测系统 MR688 是国内已经商业化的产品,它运用图像传感器捕捉人的红外线图像,根据眼睛闭合比检测到驾驶员是否疲劳驾驶,并通过数字信号处理器来判断驾驶员是否存在不专心驾驶行为,能在任何必要的时候发送报警信号来提醒驾驶员。系统主要检测驾驶员的眼睛开闭情况,尤其增加了对瞳孔的识别,睁眼睡觉瞳孔很暗,即使有驾驶员睁眼睡觉也能被识别出,如图 3-32 所示。基于红外图像的处理使得系统在阳光下和黑暗里都能进行识别,系统还能对戴各类眼镜的驾驶员进行识别。

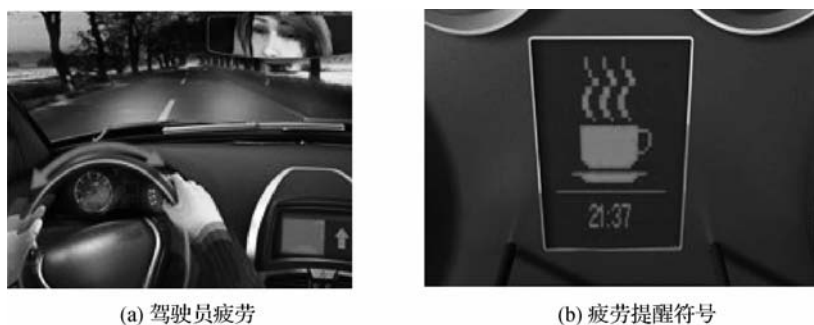


图 3-32 驾驶疲劳预警监测系统

在系统连接电源 2 s 后,绿灯会闪烁 1 s,系统启动。如果是在晚上,有一些红外 LED 发出微暗的红光。在最初的 30 s,系统检测驾驶员的位置并分析现状,在这种情况下不会报警。30 s 之后,系统会发出报警。一旦通电,系统会显示驾驶员眼睛是否睁开。如果绿灯亮了,表示驾驶员的眼睛是睁开的;如果绿灯灭了,说明驾驶员的眼睛闭上了,或者没有在检测范围内。可以根据绿灯是否亮来调整报警器的位置。

大众汽车装备的驾驶疲劳监测系统被称为疲劳识别系统,它从驾驶开始时便对驾驶员的操作行为进行记录,并能够通过识别长途旅行中驾驶操作的变化,对驾驶员的疲劳程度进行判断。驾驶员转向操作频率变低,并伴随轻微但急骤的转向动作以保持行驶方向是驾驶精力不集中的典型表现,如图 3-33(a)所示。根据以上动作的出现频率,并综合旅途长度、转向灯使用情况、驾驶时间等其他参数,系统对驾驶员的疲劳程度进行计算和鉴别,如果计算结果超过某一定值,仪表盘上就会闪烁一个咖啡杯的图案,如图 3-33(b)所示,提示驾驶员需要休息。系统将驾驶员注意力集中程度作为衡量驾驶员驾驶状态的重要考虑因素,以致致力于行车安全性的提高。此外,只要打开疲劳识别系统,无论系统是否进行监测,系统每隔 4 h 都会提醒驾驶员需要休息了。

2)防抱死制动系统



(a) 驾驶员疲劳

(b) 疲劳提醒符号

图 3-33 大众汽车疲劳识别系统

汽车行驶过程中能够实施制动的根本原因是由于地面能够给车轮提供制动力。地面制动力的大小取决于两个力：一是车轮制动器的制动力，二是地面附着力。制动器的制动力是制动器摩擦片与制动鼓或制动盘之间产生的摩擦阻力，地面附着力是轮胎与道路表面之间产生的摩擦阻力。使汽车减速停车的力首先取决于制动器制动力，但同时受到地面附着条件的限制，只有同时获得较大的制动器制动力和地面制动力，才能使汽车快速减速停车。如果制动器制动力小于轮胎与道路附着力，则汽车制动时会保持稳定状态；反之，如果制动器制动力大于轮胎与道路附着力，则汽车制动时会出现车轮抱死和滑移，导致汽车出现不稳定的行驶状态，极易发生交通事故。如果前轮抱死，汽车失去转向控制能力，驾驶员制动过程中躲避障碍物、行人及在弯道上所应采取的必要的转向操纵控制等就无法实现。当后轮抱死时，地面的侧向附着系数趋近于零，所能提供的侧向附着力很小，汽车在受到任何微小外力的作用下就会出现方向失稳问题，汽车后车轮抱死会出现甩尾或方向失控的现象，严重影响行车安全。

装有防抱死制动系统(ABS)的汽车，4个车轮分别安装一个轮速传感器，用来实时采集各车轮的转速信号，并发送给ECU。在制动过程中，ECU根据各轮轮速信号对该轮的车轮速度、滑动率及车轮的加、减速度等运行状态参数迅速判断出车轮的抱死状态，并发出相应的指令给制动压力调节装置，对该轮的制动压力进行调节，使车轮不被抱死，处于边滚边滑(滑移率在20%左右)的状态，使轮胎和地面间的附着系数达到最大值，如图3-34所示。制动压力调节装置主要由调压电磁阀总成、储液器和电动泵总成等组成。它接收来自ECU的控制信号，驱动电磁阀动作以实现压力的调节，从而产生较大的地面制动力，这样就能使汽车在紧急制动时仍能保持较好的制动方向稳定性和制动效能，是ABS的执行机构。ECU是ABS的核心部件，是控制逻辑的载体，它接收来自速度传感器的速度信号，并经过信号处理电路的处理，由运算单元计算出滑移率，然后按照预设的滑移率、加速度及减速度门限值，得出增压、保压或减压的控制指令，并通过电磁阀输出控制指令，防止因制动力过大而将车轮完全抱死。让制动状态始终处于最佳点(滑移率为20%)，制动效果达到最好，行车最安全。

ABS主要由轮速传感器、制动压力调节器和电子控制装置三部分组成。

(1)轮速传感器。轮速传感器用于检测车速，给电子控制装置提供车速信号，用于判断滑移率。如图3-35(a)所示，轮速传感器一般安装在车轮上，也有的设置在主减速器或变速器中。

轮速传感器由永久磁铁、磁极、线圈和齿圈组成，如图3-35(b)所示，齿圈在磁场中旋转时，



齿圈齿顶和电极之间的间隙以一定的速度变化,使磁路中的磁阻发生变化,磁通量周期性增减,在线圈的两端产生正比于磁通量增减速度的感应电压,该交流电压信号输送给电子控制器。

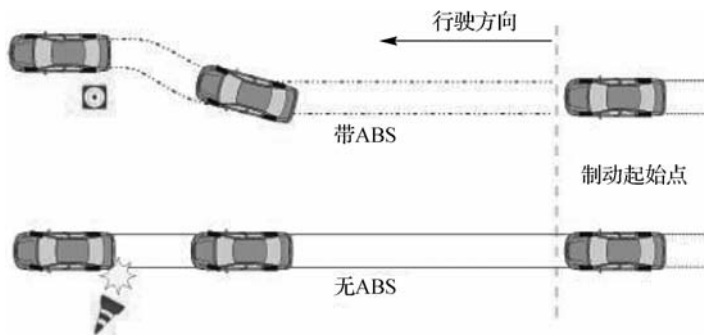


图 3-34 ABS 制动效果图

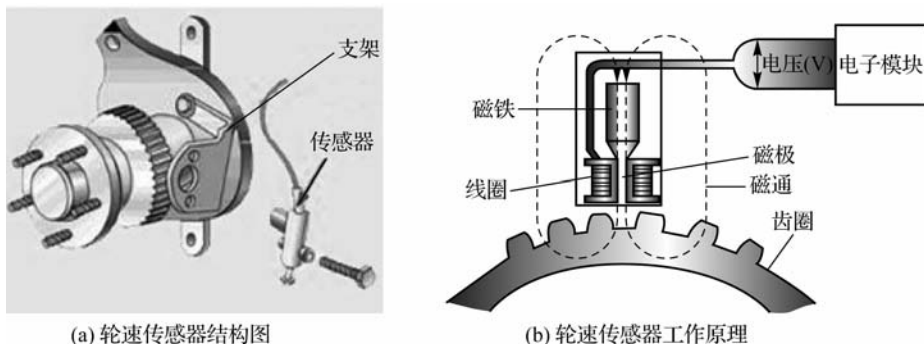


图 3-35 轮速传感器

(2)制动压力调节器。制动压力调节器的功用是接收来自电子控制装置的控制指令,控制制动压力的增减,它是 ABS 的执行器,如图 3-36 所示。制动压力调节器一般分为循环式制动压力调节器和可变容积式制动压力调节器两种类型,在可变容积式制动压力调节器的控制油路中建立控制油压;在循环式制动压力调节器调节压力降低的过程中,将由轮缸流出的制动液经蓄能器泵回主缸,以防止 ABS 工作时制动踏板行程发生变化。



图 3-36 制动压力调节器

(3)电子控制装置。如图 3-37 所示,电子控制装置是 ABS 的控制中枢,接收车速、轮速

等传感器的信号,计算出车速、轮速、滑移率和车轮的减速度、加速度,并将这些信号加以分析、判别、放大,由输出级输出控制指令,控制各种执行器工作。



图 3-37 电子控制装置

ABS 的工作过程一般分为常规制动、制动保压、制动减压和制动增压等阶段。

(1)常规制动阶段。在制动时车轮没有处于抱死滑移状态时属于常规制动阶段,此时 ABS 不参与制动压力的控制,调压电磁阀总成中各进液电磁阀均处于开启状态,出液电磁阀均处于关闭状态,制动总缸到各制动轮缸的制动管路均处于畅通状态,各制动轮缸的制动压力随着制动主缸制动压力的变化而变化。

(2)制动保压阶段。在制动过程中,ABS 的 ECU 根据轮速传感器输入的信号判断车轮的运动状态,根据需要调整车轮制动压力。例如,当 ECU 检测到左前轮有抱死的趋势时,ECU 就发出控制指令,给控制左前轮制动压力的电磁阀通电,使进液电磁阀转入关闭状态,让左前轮制动压力不再升高,此时左前出液电磁阀也处于关闭状态,左前制动轮缸中的制动液既不流出也不流入,左前轮的制动压力就保持一定值。

(3)制动减压阶段。如果在制动保压阶段 ECU 仍检测到左前轮有抱死的趋势,则 ECU 发出控制指令,使左前轮出液电磁阀转入开启状态,则左前制动轮缸中的制动液会逐渐通过出液电磁阀流出,使左前轮制动力迅速减小,左前轮抱死趋势开始消除。

(4)制动增压阶段。当 ECU 检测到左前轮抱死趋势完全消除时,ECU 则发出控制指令,使左前轮进液电磁阀开启,出液电磁阀关闭,这样制动主缸输出的制动液逐渐进入左前制动轮缸,使左前制动轮缸的压力迅速增加,左前轮又开始减速转动。

ABS 使趋于抱死的车轮循环经历保压—减压—增压的过程,将车轮的滑移率控制在最佳值附近,车轮能够获得较大的地面制动力,直至车速减小到很低或制动主缸输出的制动压力不至于使车轮趋于抱死为止。

ABS 的优点是:改善汽车制动时的横向稳定性;改善汽车制动时的方向操纵性;改善制动效能;减少轮胎的局部过度磨损;使用方便,工作可靠。其缺点是:在不平整道路、有沙砾或积雪道路上,ABS 的运行可能导致制动距离比没有安装 ABS 的车辆长一些;ABS 只有在车轮近似于抱死时才起作用;其工作时会产生一定噪声,制动踏板也会产生脉动而反复拱脚。

3) 驱动防滑控制系统

驱动防滑控制(acceleration slip regulation, ASR)系统也称牵引力控制系统(TCS)。如图 3-38 所示,ASR 系统的作用是当汽车加速时将滑动控制在一定的范围内,防止汽车驱动轮在加速时出现打滑,特别是雨雪等摩擦力较小的特殊路面上,以及在非对称路面或转弯



处,当汽车加速时,为维持车辆行驶方向稳定和最佳驱动性能,将滑动率控制在一定的范围内,从而防止驱动轮快速滑动,使行车安全性能提高。ASR 是继 ABS 后采用的一套防滑控制系统,是 ABS 功能的进一步发展和重要补充。

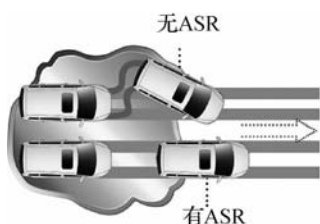


图 3-38 有无 ASR 系统汽车驱动效果

当汽车行驶在易滑路面上时,没有 ASR 系统的汽车加速时驱动轮容易打滑。如图 3-39 所示,如果是后驱动轮打滑,车辆容易甩尾;如果是前驱动打滑,车辆方向容易失控。在转弯时,如果发生驱动轮打滑,会导致整个车辆向一侧偏移,当有 ASR 系统时就会使车辆沿着正确的路线转向。汽车在行驶过程中,工况较为复杂,对于不同的行驶工况需要不同的控制原则来实现驱动防滑控制,以保证不同行驶条件下的性能需求。对于驱动防滑控制而言,汽车的行驶过程可大致分为起步加速阶段、中速行驶阶段和高速行驶阶段。

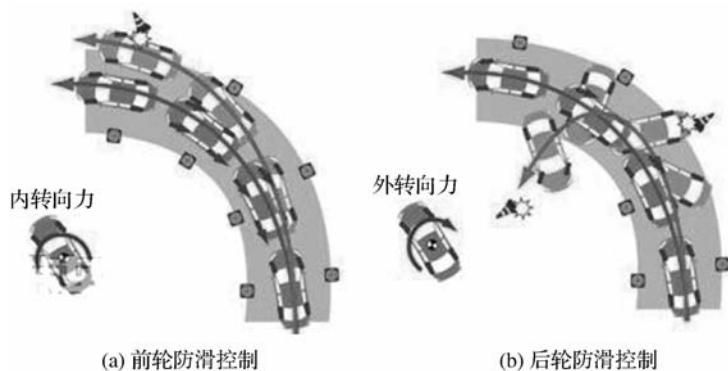


图 3-39 不同驱动形式汽车转向路径

起步加速阶段通过 ASR 系统让驱动轮的纵向附着力达到当前路面上的最大值,或者一直处于最大值附近,使汽车能够一直获得当前路面的最大纵向牵引力,以保证汽车的动力性。在中速行驶阶段,ASR 系统使驱动轮的纵向和横向附着系数都处在较高的范围内,以保证汽车在中速行驶时的稳定性并兼顾其动力性。在高速行驶阶段,ASR 系统的主要控制目标就是保证汽车的横向稳定性,以确保汽车的行驶安全。

驱动防滑控制方式较多,主要有发动机扭矩控制、驱动轮制动控制、主动式限滑差速器及离合器控制。可根据实际需求采用组合控制方式,目前应用比较广的组合方式为发动机扭矩和驱动轮制动联合控制。

(1) 发动机扭矩控制。发动机扭矩控制方式包括喷油量、点火时间及节气门开度控制。喷射量控制通过调整发动机工作循环内工作缸数量实现发动机扭矩多级输出。点火时间控制通常采用点火延时,实现发动机扭矩无级可调。节气门开度控制通过步进电机调节副节气门,调整进气量,进而实现发动机扭矩控制。

(2) 驱动轮制动控制。驱动轮制动控制是在驱动轮出现滑转时,对滑转车轮施加制动力矩,控制车轮滑转率处在最佳区域,提高车辆驱动性能。该方式直接对车轮施加制动,故系统响应速度快。

(3) 主动式限滑差速器。具备驱动防滑功能的差速装置称为主动式限滑差速器,可控制

差速器锁止程度在变化。该装置不工作时,两侧车轮独立转动;该装置完全锁止时,两侧车轮一同转动。正常情况下,两侧轮速差与方向盘转角成一定比例。

(4)离合器控制。离合器控制是指在检测到驱动轮滑转时,减弱离合器主从动盘接合度,从而减小传递至驱动轮的发动机扭矩,进而降低驱动轮滑转。

沃尔沃是世界上第一个在实车上应用 ASR 系统的厂商。该系统是通过调节燃油供给量来调节发动机输出扭矩,从而控制驱动轮滑转率,产生最佳驱动力。

如图 3-40 所示,ASR 系统主要由传感器、ECU、执行机构、发动机(或驱动电机)、驱动轮制动器等组成。ECU 是 ASR 系统的电控单元,可根据轮速传感器产生的车轮转速信号并参考车速,计算确定驱动轮的滑移率和滑转率,并将信号发送给执行机构。执行机构包括制动压力调节器、节气门驱动装置。传感器包括轮速传感器和节气门开度传感器。

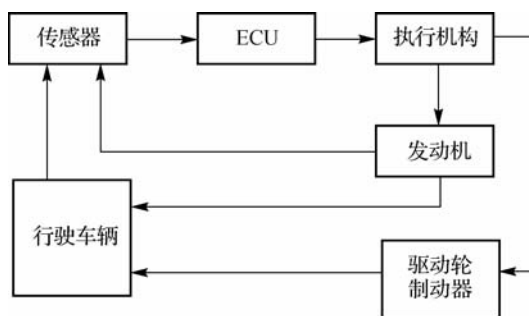


图 3-40 ASR 系统的基本组成

WABCO 公司开发的第五代产品采用发动机扭矩和驱动轮差动制动组合控制方式。当单侧驱动轮滑转时,若车速小于轮速,为最大限度提高车辆加速性能,对滑转车轮进行制动控制,降低车轮滑转率;若车速大于轮速,为提高车辆侧向稳定性,进行发动机扭矩控制,减小动力输出,抑制低速侧车轮滑转。两侧车轮同时滑转时,控制发动机减小扭矩输出,降低车轮滑转,提高车辆动力性和燃油经济性。另外,WABCO 公司还可设置越野模式,通过设置更高的驱动滑移率来提高车辆沙地或泥泞路面的通过性。

宝马汽车的 ASC+T 自动稳定及牵引力控制系统可以降低发动机的功率输出,并对驱动轮进行必要的独立制动控制。

汽车驱动防滑控制系统是伴随着 ABS 的产品化而发展起来的,实质上它是 ABS 基本思想在驱动领域的延伸与扩展。汽车驱动防滑控制系统也将和 ABS 一样逐渐成为汽车的标准配置。

4) 电子制动力分配系统

电子制动力分配(electric brakeforce distribution,EBD)系统能够根据汽车制动时产生轴荷转移的不同,自动调节前、后轴的制动力分配比例,提高制动效能。通常情况下,由于 4 个轮胎附着地面的条件不同,因此,汽车制动时产生的轴荷转移很容易因轮胎与地面的摩擦力不同,产生打滑、倾斜和侧翻等现象。因前后轮荷重不同,所需制动力不同,如图 3-41 所示,在车辆后部无负荷时,适当增大车辆前轮的制动力。车辆后部的荷重加大时,就要加大后轮的制动力。

车辆在转弯时重心外移,为减少外侧车轮的侧滑(见图 3-42),制动时外侧车轮要增加较



大的制动力。

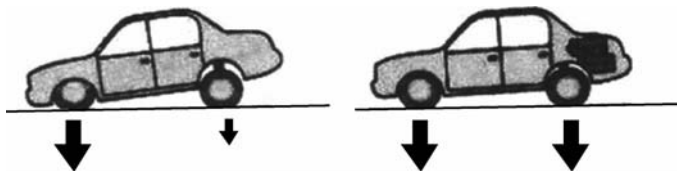


图 3-41 制动时轴荷转移

EBD 系统在汽车制动的瞬间,依据车辆的质量分布和路面条件分别计算出 4 个轮胎的摩擦力数值,然后通过调整制动装置有效分配制动力,达到制动力与摩擦力(牵引力)的匹配,防止出现甩尾和侧移,并缩短汽车制动距离,保证车辆的平稳和安全。EBD 系统通常与 ABS 配合使用,图 3-43 所示为有无 EBD 系统时汽车制动效果图。EBD 系统并没有增加新的元件,而是通过软件升级或改变计算机的程序来实现制动力的合理分配。

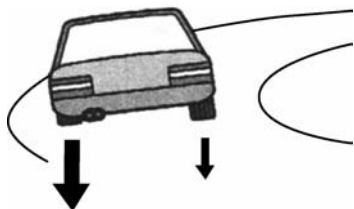


图 3-42 转弯时荷载转移

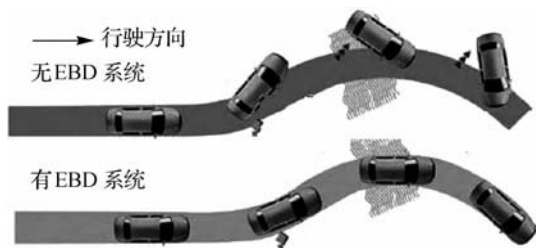


图 3-43 汽车不同配置时的制动情况

EBD 系统主要由转速传感器、制动执行器和防滑控制 ECU 三部分组成,如图 3-44 所示。转速传感器安装在 4 个车轮上,用于检测车轮转速。制动执行器主要由控制后桥压力的常开阀、常闭阀和低压蓄能器组成,低压蓄能器的作用是暂存降压时所排出的制动液。防滑控制 ECU 接收转速信号,根据这些信号计算车辆的参考速度及滑移率,当识别出后轮有抱死趋势即滑移率大于某一个值时,向制动执行器中的电磁阀发送信号,使后轮制动力降低,以保证后轮不会抱死。制动时根据各轮速传感器的信号计算滑移率,通过控制后轮制动压力,使后轮滑移率始终保持小于或等于前轮滑移率,取代机械式分配阀对后轮的控制,实现接近于理想制动力分配曲线的制动效果。

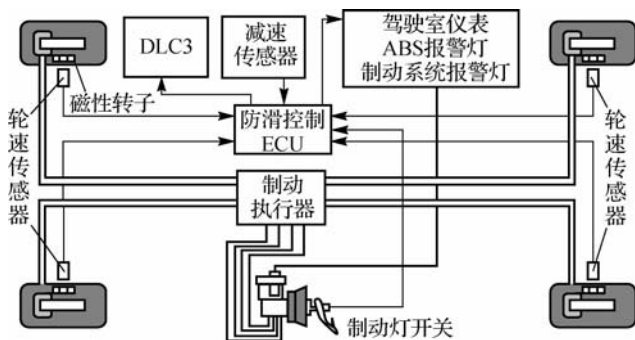


图 3-44 EBD 系统的组成

5) 电子稳定程序系统

电子稳定程序(electronic stability program, ESP)系统是一种在紧急驾驶条件下能主动防止车辆打滑的制动系统。车轮的横向滑动将导致汽车侧滑或横摆,使汽车处于失控状态(不足转向或过度转向),严重影响汽车的转向操控性和循迹能力,如图 3-45 所示。

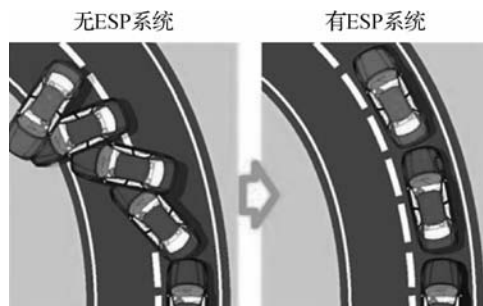


图 3-45 有无 ESP 系统汽车转弯效果图

ESP 系统是博世(Bosch)公司的专利。不同厂商对装备于各自车型上的 ESP 系统有不同的称谓,如戴姆勒等的 ESP,奥迪、大众和标致等的 ESC(electronic stability control),宝马的 DSC(dynamic stability control),本田的 VSA(vehicle stability assist control),日产的 VDS(vehicle dynamic control),丰田的 VSC(vehicle stability control)。它们名称虽有不同,但其工作原理及主要功用是一致的。美国国家高速公路交通安全管理局(NHTSA)早在 2007 年就颁布了法规,强制要求所有总质量在 4.5 t 以下的道路车辆从 2012 年起必须装配 ESP 系统。欧盟委员会通过 ESP 立法,从 2011 年 11 月开始,所有在欧盟注册的新乘用车和商用车都必须强制装配 ESP 系统,而从 2014 年 11 月起,所有新车都必须装配 ESP 系统。中国车市 ESP 系统的整体装车率增速较快。

研究表明,25%造成严重伤害的交通事故和 60%引起死亡的交通事故都是车辆侧滑所致。ESP 系统可以合理控制车辆的横向滑动,通过各种不同的调节策略,在物理性能极限内提供出色的循迹稳定性和主动安全性。ABS 和 ASR 系统可以被动控制车轮纵向滑动,而 ESP 系统可以主动防止很多这种由于侧向滑动所导致的交通事故。

ESP 系统其实是 ABS 和 ASR 系统功能上的延伸,可以说是当前汽车防滑装置的最高形式。如图 3-46 所示,ESP 系统主要由控制单元及方向盘转角传感器(监测方向盘的转向角度)、轮速传感器(监测各个车轮的转动速度)等组成。控制单元通过这些传感器的信号对车辆的运行状态进行判断,计算出车身状态后与存储器中预先设定的数据进行对比。当计算数据超出存储器预存的数值,即车身临近失控或者已经失控时,命令执行器工作,以保证车身行驶状态能够尽量满足驾驶员的意图。执行器接收到控制指令后,自动向一个或多个车轮施加制动力,甚至在某些情况下每秒进行 150 次制动,以把车辆保持在驾驶员所选定的车道内。

ESP 系统各传感器如图 3-47 所示,横摆角传感器一般装在汽车行李厢前部,与汽车垂直轴线平行,用于检测汽车横摆率(汽车绕垂直轴旋转的角速度)。方向盘转角传感器装于方向盘下方,用于检测方向盘的转向角度,输出相应的信号。轮速传感器是一个电磁式传感器,装在每个车轮的相应位置上,用于检测车轮旋转的角速度。

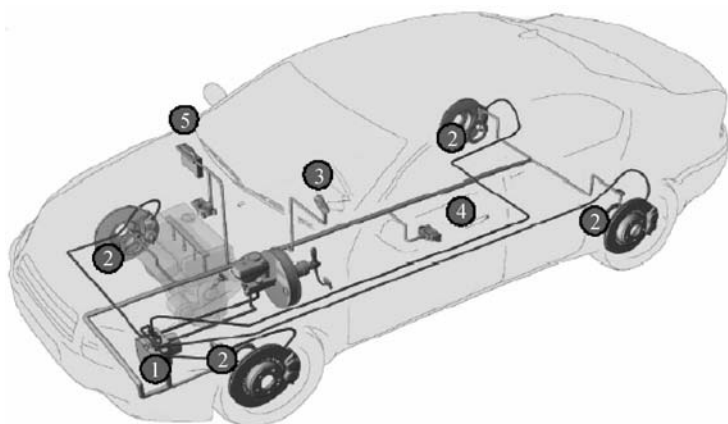
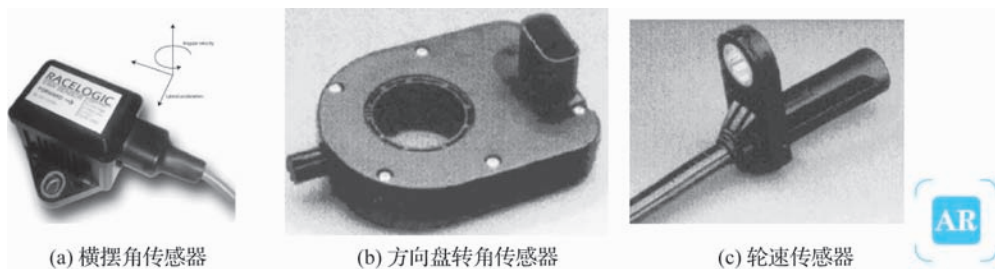


图 3-46 ESP 系统的组成

1—液压调节模块；2—轮速传感器；3—方向盘转角传感器；
4—横摆角和侧向加速度传感器；5—发动机控制模块



(a) 横摆角传感器

(b) 方向盘转角传感器

(c) 轮速传感器

图 3-47 ESP 系统各传感器

ESP 系统最主要的作用是在车辆和地面间还有附着力时,通过对驾驶员的动作和路面等实际情况的判断,对车辆的行驶状态进行及时干预,从而避免重大意外事故。装有 ESP 系统的汽车不再盲目服从驾驶员,系统能纠正驾驶员的过度转向和不足转向。

(1)控制驱动力,防止车轮打滑。ESP 系统能够避免车辆的起步打滑。系统对制动、发动机管理和变速换挡控制及时干预,让汽车在启动时保持合适的扭矩,而整个过程 ESP 系统利用微处理器分析来自传感器的信号并输出相应的控制指令。

(2)控制转向过度或不足。在转向过程中,如果驾驶员对车辆的操作过于激烈,会使车辆不能按照预定的轨迹行驶,后驱汽车常出现转向过度情况,此时后轮失控而甩尾。当 ESP 系统感知到这种情况将要出现时,便会对外侧前轮制动,让前轮得到一个反向扭矩来稳定车身。在转向不足时,为了校正循迹方向,ESP 系统对内侧后轮制动,形成一个加强汽车转向的扭矩,从而校正汽车的行驶方向,如图 3-48 所示。

一辆转向不足的汽车在左转向时,会在前轮上产生向外拉的效果;而通过 ESP 系统在左后轮上施加制动力,车辆将被拉回到正确的行驶轨道上来。在同样的弯道上,一辆转向过度的车会在后轮上产生向外拉的效果而偏离弯道。此时通过在右前轮上施加制动力,ESP 系统会相应产生一个具有稳定作用的顺时针扭矩,从而将车辆拉回到正确的行驶轨迹上来。

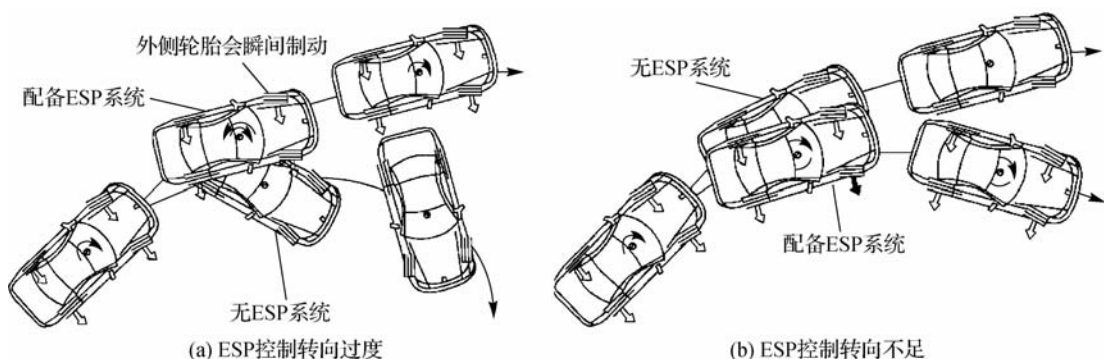


图 3-48 ESP 控制转向过度或不足

(3)控制方向,减少制动距离。当汽车的左右轮分别位于不同附着系数的路面上时,如一半是干燥路面,而另一半是积水甚至是积雪路面,制动系统在对附着力较低的路面上的车轮施加制动力时,为了防止车轮抱死,制动系统不能对车轮施加与干燥路面上的车轮同样大的制动力。原因是如果没有反方向控制车身,不对称的制动力会使车辆受到一个水平方向的扭矩,在路面旋转打滑。ESP 系统察觉到后,会给电动机一个必要的转向角度命令。这时,驾驶员能够感觉到方向盘的变化,并随之继续控制方向盘,反向旋转。在这样的作用下,能把制动距离缩短 5%~10%。

6) 制动辅助系统

制动辅助系统(brake assist system, BAS)最先由梅赛德斯-奔驰公司研制,旨在避免汽车碰撞事故的发生。研究表明,在正常情况下,大多数驾驶员在车辆制动开始时只会施加很小的力,近一半的驾驶员在紧急情况下不能迅速踩下制动踏板或踩踏力度不够,如图 3-49 所示。

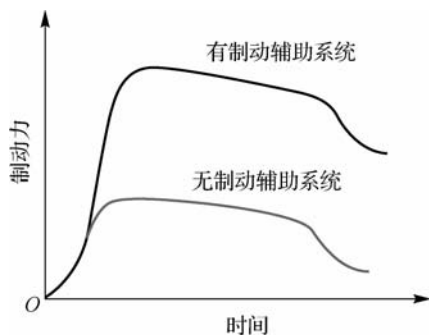


图 3-49 有无制动辅助系统制动力对比

为了缩短制动距离,确保车辆安全,制动辅助系统可以在紧急情况下提高制动力,以达到理想的制动效果,避免交通事故的发生。制动辅助系统可以察觉驾驶员制动动作的缓急程度,当发现驾驶员迅速大力踏下制动踏板时,计算机分析察觉到制动踏板的制动压力“紧急性”增加,便会极快地反应并计算紧急程度,在几毫秒内主动开启全部制动力,增大制动效果,如图 3-50 所示。在实施制动辅助的过程中,一旦驾驶员的脚松开踏板,制动力也会自动减弱,使调控制动变得容易。

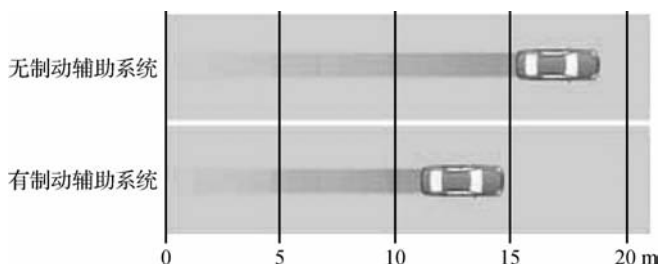


图 3-50 有无制动辅助系统制动效果对比

BAS 主要由车速传感器(测速雷达)、轮速传感器、控制装置(计算机)和执行机构、制动踏板行程传感器和制动压力传感器组成。

通常情况下,BAS 的响应速度都会远远快于驾驶员,这对缩短制动距离、增强安全性非常有利。此外,BAS 对脚力较差的妇女及高龄驾驶员也帮助很大。有关测试表明,BAS 可以使速度高达 200 km/h 的汽车完全停下的距离缩短 21 m,尤其是对在高速公路上行驶的车辆,BAS 可以有效防止常见的追尾意外。

7) 自动紧急制动系统

90%的交通事故是由于驾驶员注意力不集中引起的。汽车厂商开发自动紧急制动(autonomous emergency braking, AEB)系统,它可以在检测到危险时协助驾驶员进行制动,从而减少或避免事故的发生。

有关统计数据表明,装备了 AEB 系统的车型可以减少 27%的事故发生率,并能明显减少事故伤亡。E-NCAP 认为,AEB 系统可以有效减少事故的发生,提升汽车行驶安全性,因此宣布从 2014 年开始,将 AEB 系统列入汽车安全评级加分项中。E-NCAP 将其分为城市、城间快速路和行人保护三大类。

AEB 系统主要由测距模块、数据分析模块和执行机构模块三大模块构成,其中测距模块包括微波雷达、激光雷达和视频系统等。测距模块能检测前方的路况,一般有效距离为 6~8 m。如果探测到潜在的危险,系统将进行预制动,使得车辆有更敏捷的响应。如果在反应时间内驾驶员未能进行制动操作,系统会自动进行制动来避免事故的发生。而在此过程中,如果驾驶员采取了紧急制动或猛打方向,系统将会中断。

E-NCAP 在调查中发现,低速 AEB 系统工作在车速不超过 20 km/h 时,能避免 80%的低速碰撞事故的发生,尤其在一些恶劣的天气。

AEB 系统的分类如下。

(1)城市自动紧急制动(AEB-C, AEB City)系统。如图 3-51 所示,当车速小于 50 km/h 时,若前方存在碰撞危险,系统则主动制动,避免或减缓碰撞。

(2)城间自动紧急制动(AEB-I, AEB Inter-Urban)系统。当车速为 50~80 km/h 时,若前方存在碰撞危险,则主动制动避免或减缓碰撞。如图 3-52 所示,在城间快速道路上,驾驶员可能由于长时间驾驶分心,导致当其意识到危险时由于车速过快来不及制动而发生事故。当雷达检测到危险时,系统先是通过警报信号来提醒驾驶员,如果驾驶员没有做出回应,第二次警示信号就会启动(如安全带突然收紧等),同时制动系统也处于预制动状态。如果驾

驶员依然没有反应,系统将自动进行紧急制动。



图 3-51 城市自动紧急制动系统



图 3-52 城间自动紧急制动系统

与前面不同的是,这种 AEB 系统采用的是远距离雷达检测设备(通常在 200 m 左右),主要在 50~80 km/h 的车速区间起作用。系统主要针对城间快速行驶的情况,在低速情况下可能只会提醒驾驶员。

(3)行人自动紧急制动(AEB-P, AEB Pedestrian)系统。如图 3-53 所示,这种系统不仅能探测道路上的车辆,而且能探测行人。

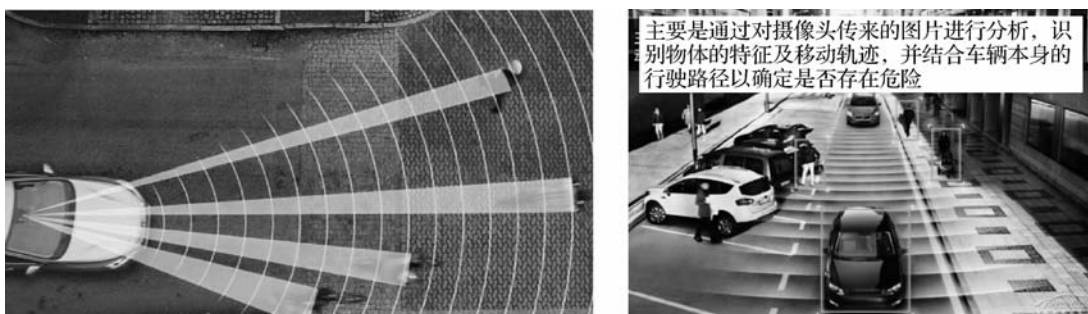


图 3-53 行人自动紧急制动系统

作为未来汽车行驶安全的重要保障,智能制动系统是汽车的发展趋势。我国 2011 年已研发成功自动紧急制动系统,福特于 2012 年在 2013 款福克斯上运用该技术,沃尔沃也于 2013 年在 XC60 应用了此系统。预计到 2022 年,自动紧急制动系统将作为整车的标准配置。



8) 陡坡缓降系统

陡坡缓降(HDC)系统也称斜坡控制系统,是一套用于下坡行驶的自动控制系统。如图 3-54所示,在系统启动后,驾驶员无须踩制动踏板,车辆便会自动以低速行驶,并且能够逐个对超过安全转速的车轮施加制动力,从而保证车辆平稳下坡。根据需要,制动装置自动控制各车轮,以略快于行走速度向前移动,此时驾驶员可完全专注于控制方向盘。

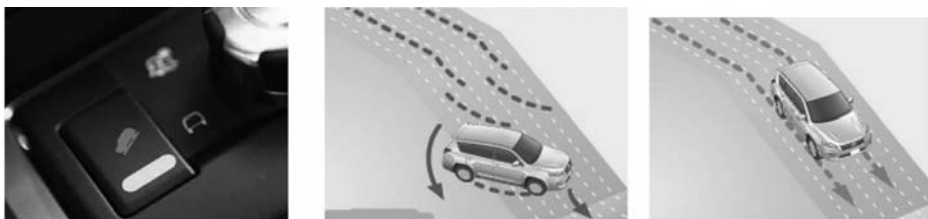


图 3-54 陡坡缓降系统功能图

HDC 系统是结合发动机制动与 ABS 共同作用,令车辆在下陡坡时维持低车速,但不丧失轮胎抓地力。HDC 系统必须在变速箱位于 1 挡或倒挡(下陡坡有前进下坡和倒车下坡两种)时作用。HDC 系统会设定车速上限,以路虎车系为例,HDC 系统设定后的上限车速为 9 km/h,以便驾驶员能从容控制车辆。

当 HDC 系统设定、车辆进入陡坡后,发动机制动本身可以提供相当程度的减速效果。当陡坡坡度过大、发动机制动不足以维持车速上限时,HDC 系统便能借由 ABS,在必要时启动刹车点放作用,降低渐增的车速,以维持稳定而安全的速度下坡。如果驾驶员在下陡坡的过程中必须转向闪避障碍,HDC 系统也会测知并进一步将车速上限降至 6.4 km/h,以确保驾驶员完全控制车辆。

9) 上坡辅助控制系统

上坡辅助控制(hill-start assist control,HAC)系统是在 ESP 系统基础上衍生出来的。如图 3-55 所示,车辆在陡峭或光滑坡面上起步时,驾驶员从制动踏板切换至油门踏板时车辆将向后下滑,从而导致起步困难。为防止此情况发生,当驾驶员松开制动踏板去踩油门踏板时,HAC 系统暂时(最长约 2 s)控制液压制动系统对 4 个车轮施加制动以阻止车辆下滑,驾驶员可以轻松驾车起步并从容操作踏板,从而将向后溜车的情况降至最低程度。

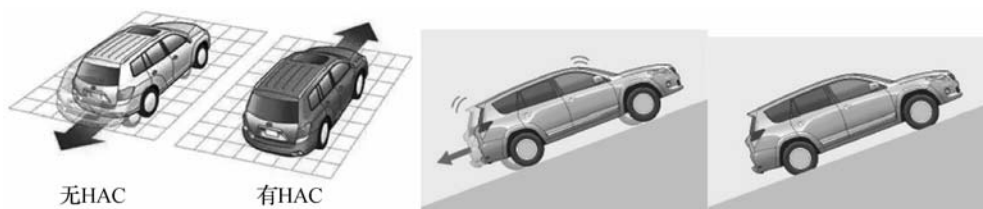


图 3-55 上坡辅助控制系统功能图

上坡辅助控制系统的工作条件如下。

- (1) 换挡杆位于 P 外的任何位置(自动挡车型)。
- (2) 油门踏板未踩下。

(3) 车辆处于静止状态。

(4) 驻车制动未拉起。

二、被动安全

被动安全性能是指车辆在事故发生时大幅降低碰撞强度的功能,是最大限度保护乘员、尽可能避免重大伤亡事故、减少其所受伤害的安全技术。被动安全主要依靠车身的抗变形和相应的安全措施,如车身强度、吸能结构、座椅强度、内部设施强度、安全带、安全气囊、逃逸出口、阻燃防毒内饰、消防设施等。被动安全系统提高了汽车的被动安全性能。

1. 膨胀式安全带

当车辆发生撞击意外时,传统安全带将产生紧束动作,将驾乘人员紧紧地固定于座椅中。由于碰撞力惊人,往往会发生乘员被勒伤的情况。为避免此类情况发生,将乘员的伤害在碰撞意外时降到最低,福特研发部门将安全带与安全气囊相结合,研发出膨胀式安全带(inflatable seat belts)。如图 3-56 所示,在安全带中预留一个空气袋,当安全带产生紧束动作时,此空气袋在瞬间充气,膨胀成圆柱形的弹性空间来保护乘员,让安全带紧束时对于乘员的伤害程度大幅降低。充气后的安全带可以冲抵撞击时产生的力量,对身体的压力仅为传统三点式安全带的 $1/5$ 。



图 3-56 膨胀式安全带

如图 3-57 所示,当传感器检测到车辆发生碰撞时,位于座位底下的气管会将冷压缩气体通过特殊设计的扣环充入每个安全带里面的管状气囊中,使安全带膨胀展开。该过程可在碰撞后的 0.04 s 内完成。



图 3-57 膨胀原理



工程师将这种新型安全带首先运用在后座,可以对头部、胸部和颈部等关键部位进行更好的保护,特别是对于身体比较脆弱的儿童和老年人效果更明显。由于气囊的大面积保护,膨胀式安全带能让乘员躯干部位的伤害再度降低。

2. 主动式头枕

主动式头枕是一种纯机械系统。如图 3-58 所示,头枕上方由衬垫支撑,是由一条连杆连接至座椅靠背内的压力板。当车辆遭后方追撞时,乘员的身体因撞击力的作用会撞向靠背,将压力板往后推,促使头枕向上向前推动,以便在头颈猛烈晃动之前托住乘员的头颈,降低受伤的程度。主动式头枕在动作完成后自动回复到原来位置,以备下次使用,无须进行维修。根据调查显示,配备主动式头枕时,可降低 75% 追撞所造成的颈椎伤害。



图 3-58 主动式头枕

主动式头枕运用机械装置保护颈部,当该装置激活时整个头枕通过金属支撑柱向上移,从而保护人的头颈。图 3-59 所示有两种机械装置。

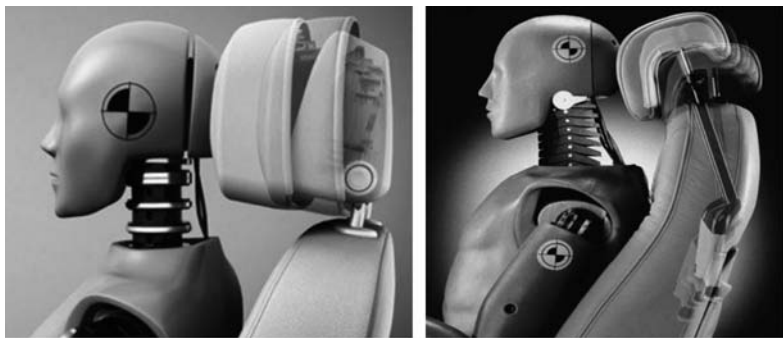


图 3-59 头枕激活方式

(1) 头枕激活。碰撞激活装置放在头枕里面,当受到激活时,该装置使整个头枕通过金属支撑柱向上移,从而保护头颈。

(2) 座椅靠背激活。碰撞主动保护机构安置在座椅里面,当受到激活时,座椅中的机械装置会使头枕向上移,从而保护头颈。

3. 头颈支撑系统

头颈支撑(HANS)系统的结构很简单,如图 3-60 所示,它是一个 U 形装置,由 HANS 主体、肩垫、滑绳和固定扣组成。

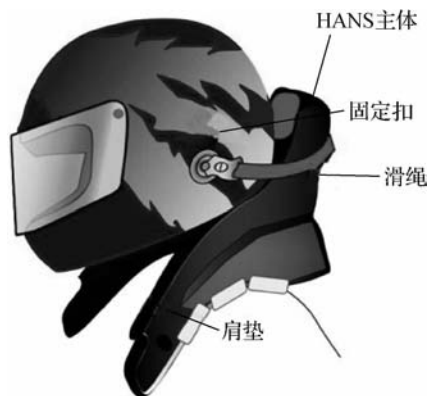


图 3-60 头颈支撑系统的结构

HANS 系统是由美国密歇根州立大学生物力学工程教授、通用汽车碰撞安全工程师罗伯特·哈伯德博士(Dr. Robert Hubbard)设计的。该装置在碰撞测试中被证明能有效降低碰撞对驾驶员头部、颈部造成的伤害。

为了应对高速转弯时产生的巨大离心力,车手都会专门进行颈部肌肉的锻炼,所以他们的脖子看起来强健而粗壮。然而即使这样,在发生事故时,瞬间产生的巨大冲击力还是容易使车手的颈部受伤。根据试验统计,配备 HANS 系统后,撞击时车手头部和颈部受到的力分别减少了 68%和 86%。面对高速撞击,在安全带的保护下,车手的身体能被拉住固定在座椅上,但头部还是会猛地向前摆动(见图 3-61),此时颈部将承受巨大的冲击力。在 HANS 系统的保护下,滑绳将抑制住头部向前摆动的趋势,冲击力也将被从颈椎分散至胸部、躯干、肩膀等处。



图 3-61 HANS 效果图



4. 充气式儿童安全座椅

随着家长安全意识的提高和相关法规的颁布,儿童安全座椅被大部分家长重视起来。如图 3-62 所示,沃尔沃开发的充气式儿童安全座椅具有很多亮点,40 s 完成充放气,真正实现了便携式,放气后将它放进普通双肩包即可携带,而质量只有 5 kg 的充气式儿童安全座椅的便携性特点解决了普通安全座椅使用过于局限的问题。充气式儿童安全座椅能在很大程度上减轻撞击带来的伤害。充气式儿童安全座椅还具备操作方便、抗强压、充气后强度高的特点。



图 3-62 充气式儿童安全座椅

5. 预碰撞安全系统

预碰撞安全系统的大致原理是通过传感器监测车辆状态,在即将碰撞前自动采取应对措施降低危险。如果在正常行驶中预碰撞安全系统被激活,多数情况下意味着碰撞已经在所难免。另外,预碰撞安全系统不是一个独立的装置,而是众多主动和被动安全系统的集合,必要时 ESP 系统和安全带都会被整合进来。

奔驰是最早进行安全研究的汽车公司之一,因此在预碰撞安全系统方面有很高的成就。预碰撞安全系统已经普及到奔驰 C 级、E 级和 S 级车上。可将车辆安全性分为四个阶段:第一阶段,主动安全系统减少事故发生的概率;第二阶段,如果检测到危险,多项预防性措施会降低伤害风险;第三阶段,即事故发生时,被动安全系统为驾驶员提供保护;第四阶段包括事故发生后采取的进一步措施,方便救援工作展开。奔驰 re-safe 系统属于第二阶段。这套系统最早出现在 2003 款奔驰 S 级车上,它通过 ESP 系统监测车辆转向角度、横向加速度和制动力度等数据。当检测到驾驶员在规避危险时,系统可以预先收紧安全带,并把座椅调节到碰撞损伤最低的角度。之后的 pre-safe 系统也进行了升级,增加了微波探测器和制动辅助,在检测即将发生碰撞时,制动系统可以自动施加最大 0.4g 的减速度,同时车窗自动关闭。

丰田的预碰撞安全系统(PCS)搭载在上市的全新 RAV4 上(见图 3-63)。摄像头可识别物体的形状和大小,毫米波雷达可检测物体的速度和位置。在车辆行驶中,如果驾驶员未能及时做出判断,而出现了即将与前方车辆形成碰撞的危险,预碰撞安全系统便会启动。首先,系统会以警报声提示驾驶员存在危险,如果危险进一步加大,可通过强劲有力的辅助制动和自动制动功能,预防发生碰撞事故或减轻碰撞受损程度。此时其他主动安全设备也将被整合起来。经历了几年的发展,丰田的预碰撞安全系统也进行了一定的改进。如

今该系统主要由 4 个系统组成:预碰撞座椅安全带、预碰撞制动系统、预碰撞辅助制动系统和悬架控制系统。悬架控制系统可以抑制车辆在全力制动时的“点头”现象。



图 3-63 搭载预碰撞安全系统的 RAV4

沃尔沃一向以安全著称,其预碰撞安全系统称为碰撞警告和自动制动(collision warning and brake,CWAB)系统。这套系统最早运用在 2006 年的沃尔沃 S80 轿车上,当时这套系统不具备自动制动的功能。它的工作原理是通过车头部的雷达监测前方交通状况,如果有发生碰撞的危险,前挡风玻璃上会投射出警示信号,提示驾驶员立即制动,同时制动卡钳会推动制动片接近制动盘,但并不会施加制动力,而是为驾驶员的制动动作提供最快的反应速度。2007 年这套系统进行了升级,增加了自动制动功能,也就是当驾驶员对警示没有反应时,系统检测到与前车的碰撞已经在所难免,这时车辆会自动实施制动。最终的效果是,车辆会以一个相对较低的速度与前车发生碰撞。

本田的预碰撞系统(collision mitigation brake system,CMBS)最先装备于美版雅阁上,随后开始在讴歌的部分车型(包括 RL、MDX 和 ZDX)上装备。当毫米波雷达探测到前方行驶的车辆、判断有追尾的危险时,用警报的方式提醒驾驶员,继续接近前车时轻轻制动。当判断出难以避免追尾时,CMBS 会采取强烈制动措施,和驾驶员自身的制动一起降低追尾车速,以便有效地降低追尾时的损伤。当车辆的速度高于 16 km/h 时,CMBS 启动,通过车头的传感器探测与前车之间的距离,当系统认为有可能导致追尾时,系统也会自动收紧安全带(E-Pretensioner 系统),确保对前排乘员的约束作用。同时,在车辆自动制动时,也会点亮制动灯,提示后车保持安全距离。

6. 可溃缩式零部件设计

(1)可溃缩式转向柱。可溃缩式转向柱是指在车辆发生碰撞时,转向柱可按预先设计溃缩变形。如图 3-64 所示,在汽车发生剧烈撞击时,驾驶员往往会因为强烈的停止作用而向前倾,胸部会和方向盘发生碰撞。为了使遭到转向柱冲击的驾驶员胸部所承受的冲击力减小,把转向柱设计成在撞击时因遭到外界挤压而发生二到三段的溃缩折叠,可以分散一些因撞击由转向柱传递到人体的冲击力。

一旦发生正面撞击,可溃缩式转向柱会自动收缩进去,或者瞬间“折断”,从而增加驾驶员的生存空间。



图 3-64 可溃缩式转向柱

(2)可溃缩式踏板。权威机构曾经对交通事故所造成的伤害做过大规模的调研与分析,发现在重大交通事故的碰撞中,有相当比例驾驶员的右脚受到很严重的创伤,很多驾驶员的脚部发生粉碎性骨折,甚至造成肢体残疾。

研究人员对这种现象进行了仔细的分析,终于找出了其中的症结。原来在交通事故发生的瞬间,有超过 90%的驾驶员是在做紧急制动,而紧急制动是用右脚猛地踩下制动踏板。从交通事故的另一方面分析,碰撞发生的瞬间,有很强的力通过制动踏板从反方向传递给驾驶员的右脚,这样驾驶员的右脚其实受到了较大的冲击力,而这股冲击力随着车辆本身的行驶速度呈几何倍数增长,人体骨骼根本无法承受。如果此时制动踏板能自动溃缩(见图 3-65),就能缓解右腿的受力。

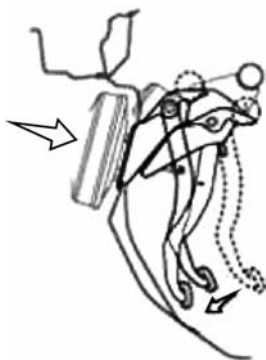


图 3-65 可溃缩式踏板

当轿车发生正面碰撞时,如果此时制动踏板受到的压力经过计算机的判断达到临界值,此时制动踏板会自动脱落或折断,从而使驾驶员右脚受到的冲击力降至最低,避免了驾驶员受到严重的身体创伤。

7. 车身设计

(1)GOA 车身技术。GOA(global outstanding assessment)是由丰田汽车公司开发的一种车身技术。如图 3-66(a)所示,在设计车身时着重加固乘员舱部分,削弱汽车头部和尾部。

其目的在于在车辆发生不可避免的碰撞时,头部或尾部压扁变形同时吸收碰撞能量,从而保证乘员舱不变形,最大限度地保证乘员的安全。此外,在发生撞人事故时,车身的某些机构设计还可以降低对行人的伤害程度。如图 3-66(b)所示,为了降低对行人头部的伤害,在发动机盖及雨刷器周围的挡风玻璃处采用了容易破碎或变形的缓冲结构;而为了降低碰撞时对行人腿部的伤害,保险杠采用了同样的缓冲结构。

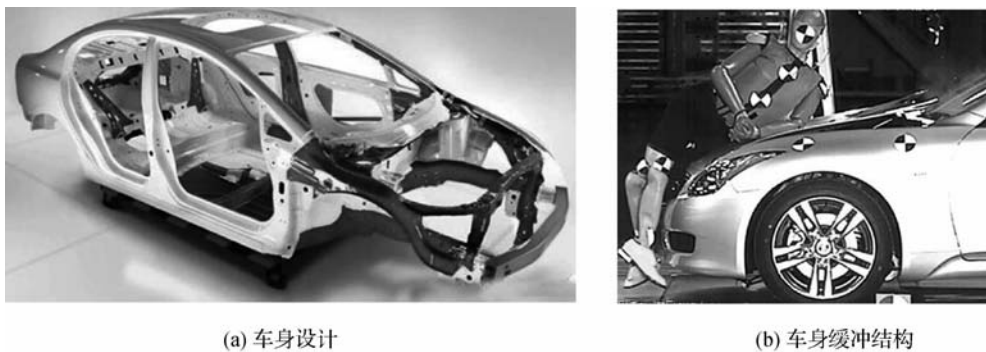


图 3-66 GOA 车身结构设计

GOA 车身技术为丰田独有,是以驾驶舱为安全区,依据世界多数国家的安全基准,结合实际事故的发生状况,经反复碰撞试验后开发出的一种被动安全技术,包含高强度座舱、高效吸收动能车身和乘员约束系统三个方面。前两者保证车辆在碰撞时前车身的柔性结构吸收碰撞能量,并将其分散至车身各部位,使驾驶室变形减到最小,确保驾乘人安全,如图 3-67 所示;乘员约束系统在碰撞中将乘员牢牢约束在座椅上,避免因激烈碰撞脱,乘员离座椅而遭到伤害。

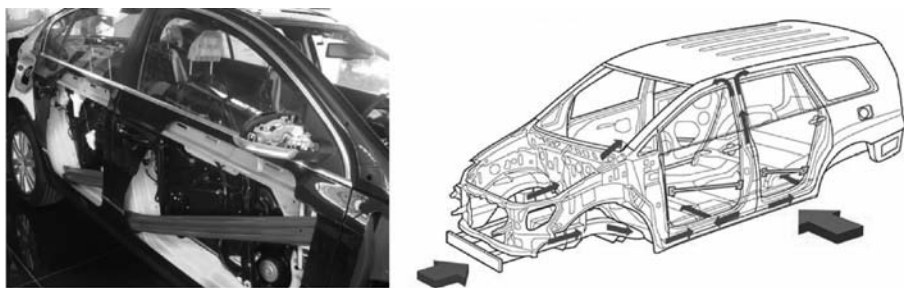


图 3-67 整车结构设计

(2)防撞梁设计。防撞梁设计就是让车辆整个骨架结构承受力,可以最大限度地降低一个点所受到的力的强度。如图 3-68(a)所示,防撞梁两端连接的是屈服强度很低的低速吸能盒,通过螺栓连接在车体纵梁上。低速吸能盒可以在车辆发生低速碰撞时有效吸收碰撞能量,尽可能减小撞击力对车身纵梁的损害,这样可以降低维修成本,而螺栓连接的方式可以更方便地对防撞梁进行更换。

如图 3-68(b)所示,在高速偏置碰撞中,防撞梁可以有效地将撞击力从车身左侧(或右侧)传递到右侧(或左侧),尽可能让整个车体吸收碰撞能量。

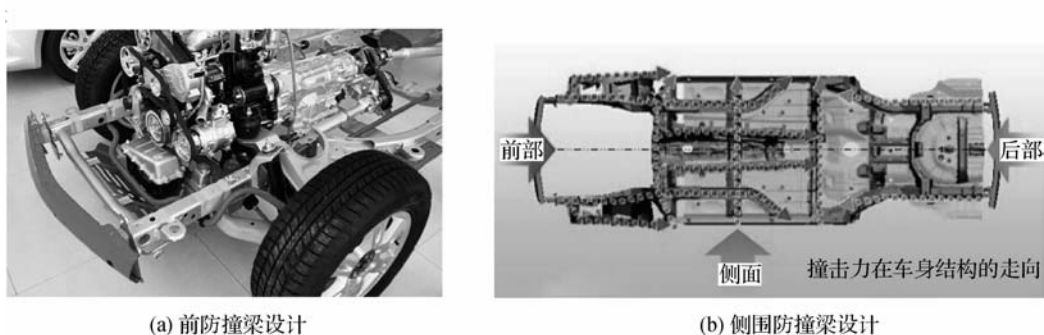


图 3-68 防撞梁设计

8. 安全气囊

(1)全景天窗安全气囊。现代 Mobis 零部件公司推出了一款为全景天窗设计的安全气囊,如图 3-69 所示,目的是防止乘员在翻车碰撞中被弹出车顶。全景天窗安全气囊类似于许多汽车已经使用的侧气帘,其覆盖区域是整个车顶天窗,气囊弹出用时仅 0.08 s,能够有效防止颈部和头部严重受伤,最大限度地减少翻车事故带来的影响。全景天窗安全气囊可以打消一些人对于天窗安全性的担忧。但这个新兴的被动安全装备还面临一些问题,如成本、用户接受度、稳定性和耐久性等,这些最终都需要接受市场的检验。

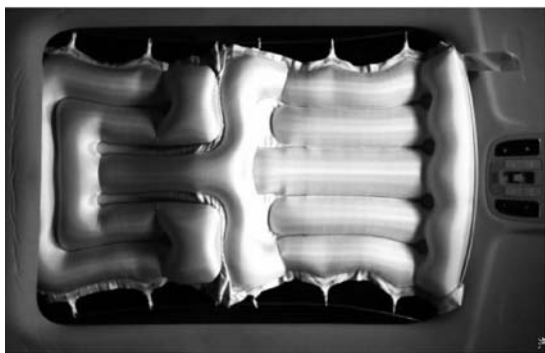


图 3-69 全景天窗安全气囊

(2)行人安全气囊。行人安全气囊能避免猛烈碰撞下行人与乘员受到更大的伤害,可有效减轻车辆正面与行人碰撞后对人体的伤害。

沃尔沃汽车公司采用了两种可在碰撞中对行人进行保护的安全气囊,如图 3-70 所示,一是发动机罩气囊,二是前围安全气囊,两者配合使用可减少最常见的行人伤亡事故。其技术原理是通过安装在前保险杠的传感器进行监测,碰撞前由一个碰撞预警传感器激发,50~75 μ s 内完成充气,保持充气状态时间可达数秒。与行人发生碰撞后发动机舱盖尾部自动翘起,隐藏在内部的安全气囊同时释放,并且会包裹部分前挡风玻璃与 A 柱,这样凸起的发动机舱盖与安全气囊便有助于减轻对行人的伤害。



图 3-70 行人安全气囊

案例分析

近几年国产品牌发展得越来越出色了,各家车企都在努力迎头赶上,甚至有些车企在全球都享有极高的地位,比亚迪便是其中的一个例子。在2021年6月9日发布的中国保险汽车安全指数(C-IASI)测评结果中,参加测试的比亚迪汉EV超长续航版豪华型在“车内乘员安全指数”“车外行人安全指数”“车辆辅助安全指数”测试中获得优秀(G)成绩。作为首款参与C-IASI测评的中国品牌新能源轿车,汉EV在同一批次的测试车型中表现突出,三项核心安全指数创C-IASI测评新能源轿车最佳成绩。

面对疫情的侵袭,比亚迪慈善基金会向西安红十字会捐赠1000万人民币及3000万元抗疫物资。2022年1月,约7万人,历经23轮全员核酸检测,终于迎来西安园区全面复工复产。

讨论:1. 比亚迪汽车在哪些方面具有比较突出的优势?

2. 企业体现了怎样的社会责任感?

思考与练习

1. 什么是主动安全? 什么是被动安全? 举例说明你对两者的认识。
2. 汽车主动夜视辅助系统由哪些部分组成?
3. 轮速传感器的作用是什么? 它由哪几部分组成?
4. 简述电子制动力分配系统的工作原理。
5. 上坡起步辅助控制的工作条件是什么?
6. 什么是可溃缩式转向柱?

第四章

▶ 汽车节能降排新技术



导入案例

2025年某国产新能源汽车品牌推出全铝车身平台,整车质量较传统钢制车身降低32%,续航里程提升18%,同时通过拓扑优化设计实现碰撞安全性能提升25%。这一突破标志着汽车轻量化技术从单一材料替代向“材料—结构—工艺”协同创新的跨越式发展。在本章中,我们将学习到很多汽车节能减排新技术。



节能、环保、缓解能源危机、改善人类生存环境、遏止大气状况继续恶化成为汽车工业可持续发展面临的首要问题和21世纪汽车工业的主要发展方向。



第一节 节能技术概述



知识目标

- 了解节能技术。



技能目标

- 具备节能减排技术的学习能力。



素养目标

- 培养工程师思维。

为应对全球性的资源短缺和气候变暖,世界各国都在抓紧制定新的汽车油耗控制法规,控制汽车燃料消耗增长。

我国汽车产业连续多年快速增长,中国已经成为世界第一大汽车产销国,预计在今后天

段时期仍将保持快速增长势头。随着汽车保有量的持续增长,中国已经成为世界石油的主要进口国,由汽车燃料消耗引起的能源安全和环境问题将更加突出,能源供需的矛盾日益突出,城市的大气污染也变得日益严重。2009年中国政府做出郑重承诺,2020年中国国内碳排放量将比2005年下降40%~45%。为了减少汽车排放对环境造成的污染,缓解石油供应不足与石油消耗量日益增加的矛盾,需要改善汽车的经济性和排放性。国家法规方面,到2030年,重型商用车的油耗限值规定预计比2015年下降约50%。同时,排放要求也必将更加严格。因而节能环保汽车是未来我国汽车产业持续健康发展的必然选择,主要表现在以下几个方面。

(1)能源供应压力。近年来,我国经济持续快速发展,对石油资源的需求不断增长,能源供需矛盾日益突出,对进口石油的依赖度不断提高。目前,汽车用汽柴油消费占全国汽柴油消费的比例已达到55%左右,每年新增石油消费量的70%以上被新增汽车所消耗。预计在未来一段时期内,我国汽车保有量仍将持续增长,由此带来的能源紧张问题将更加突出。

(2)环境保护压力。2012年冬以来,雾霾频繁肆虐于我国部分地区。我国雾霾形成机理复杂,汽车尾气对雾霾的影响情况还在研究。但不解决汽车的环保问题,汽车产业可持续发展必然受到限制。

(3)和谐汽车社会的压力。我国人均汽车保有量较低。截至2017年年底,千人汽车保有量约136辆,远低于欧美国家大于500辆的水平。每个家庭拥有一部汽车应该是未来“中国梦”的一部分,汽车必须实现与社会的和谐健康发展。

加快培育和发展节能环保汽车,既是缓解燃油供应矛盾、减少尾气排放、改善大气环境的需要,也是未来和谐汽车社会的需求,更是我国汽车产业健康可持续发展的必然选择。

第二节 汽车节能标准体系

知识目标

- 了解各法规中关于汽车能耗、排放等关键指标的具体要求;
- 知晓国际汽车节能标准法规未来的发展趋势。

技能目标

- 能运用多种渠道收集国际汽车节能标准法规相关数据;
- 能针对某一新型节能技术,评估其在不同国家法规体系下的应用可行性和市场前景。

素养目标

- 培养学生环保责任感;
- 鼓励学生借鉴国际先进经验,激发学生创新思维,勇于探索新的节能技术。



一、国际汽车节能标准法规动态及趋势分析

为应对全球性的资源短缺和气候变暖,巩固和提高汽车工业未来的国际竞争力,欧美日等汽车工业发达国家和地区都在采取积极措施,推动和促进汽车节能技术发展、提高汽车燃料经济性水平,相继完成新一轮针对2020年甚至更长远的各年度乘用车燃料消耗量标准法规的制定,对乘用车燃料消耗量及对应的CO₂排放提出更加严格的要求。主要国家和地区排放与燃料消耗状态对比见表4-1。

表4-1 主要国家和地区排放与燃料消耗量状态对比

国家和地区	年 份					
	2015		2020		2025(预计)	
欧盟	130 g/km	5.2 L/km	95 g/km	3.8 L/km	75 g/km	3 L/km
美国	36.2 mpg	6.7 L/km	44.8 mpg	6 L/km	54.5 mpg	4.8 L/km
日本	16.8 km/L	5.9 L/km	20.3 km/L	4.9 L/km	—	—

欧盟于2009年用强制性的法律取代自愿性的CO₂减排协议,在欧盟范围内推行汽车燃料消耗量和CO₂限值要求和标示制度,要求到2015年和2020年,乘用车CO₂排放分别达到130 g/km和95 g/km的目标。

美国于2010年4月和2012年8月分别发布了针对2012—2016年(第一阶段)和2017—2025年(第二阶段)的轻型汽车燃料经济性及温室气体排放规定,要求2025年美国轻型汽车的平均燃料经济性达到54.5 mpg。

为了促进汽车产业的节能减排和电动化,日本政府近日提出了新目标。根据日本经济产业省和国土交通省最新公布的标准,在日本国内销售汽车的厂商,到2030财年,其乘用车新车平均燃油经济性需达到25.4 km/L,与2016年的19.2 km/L相比提升32.4%。设立这一目标是为了帮助日本追赶欧洲及中国,加快进入零排放汽车时代的脚步。

尽管各国乘用车保有结构和技术特征存在一定差别,对乘用车节能指标的要求也不同,但从整体来看,各国都在通过技术标准和法规不断加严乘用车燃料消耗量要求。

二、我国现行乘用车燃料消耗量标准及实施情况

1. 标准体系概况

为应对汽车燃料消耗快速增长及由此引发的能源和环境问题,推动汽车节能技术进步和应用,我国从2001年开始正式启动汽车燃料消耗量标准及政策研究。在借鉴国际先进经验的基础上,主要根据我国汽车产业发展实际情况,制定、发布并实施了GB 19578—2021《乘用车燃料消耗量限值》和GB 27999—2019《乘用车燃料消耗量评价方法及指标》等一系列有关汽车燃料消耗量试验方法、限值和标识的重要标准,建立了较为完善的汽车燃料消耗量标准体系(见表4-2),在推动轻型汽车节能降排方面发挥了积极作用。

表 4-2 我国汽车燃料消耗量标准体系

标识标准	《轻型汽车能源消耗量标识 第 1 部分:汽油和柴油汽车》	GB 22757.1—2017
	《轻型汽车能源消耗量标识 第 2 部分:可外接充电式混合动力电动汽车和纯电动汽车》	GB 22757.2—2017
限值目标值标准	《乘用车燃料消耗量限值》	GB 19578—2021
	《乘用车燃料消耗量评价方法及指标》	GB 27999—2019
	《轻型商用车燃料消耗量限值》	GB 20997—2015
	《重型商用车燃料消耗量限值》	GB 30510—2018
试验方法	《轻型汽车燃料消耗量试验方法》	GB/T 19233—2020
	《重型商用车燃料消耗量测量方法》	GB/T 27840—2021

2. 标准实施情况

1)《乘用车燃料消耗量限值》

GB 19578—2004《乘用车燃料消耗量限值》是我国汽车节能领域第一项强制性国家标准。从该标准开始,我国逐步建立、实施了汽车节能管理制度,陆续将乘用车、轻型商用车及重型商用车纳入《车辆生产企业及产品公告》管理,规定在我国生产并销售的车辆必须满足相应的燃料消耗量限值。

2)《乘用车燃料消耗量评价方法及指标》

为进一步完善汽车节能管理制度,我国于 2011 年制定发布了 GB 27999—2011《乘用车燃料消耗量评价方法及指标》,在单车燃料消耗量限值基础上提出了企业平均燃料消耗量目标值的要求。2013 年 3 月,工业和信息化部会同发展改革委、商务部、海关总署、质检总局发布了《乘用车企业平均燃料消耗量核算办法》(2013 年第 15 号公告),明确了乘用车企业平均燃料消耗量的核算范围、核算主体和核算方法。

3. 标准修订过程及主要活动

从 2011 年开始,工业和信息化部即安排汽车标准委员会开展 2016—2020 年乘用车燃料消耗量标准制定前期准备工作:一方面,加强国际交流,密切跟踪国际上特别是欧盟、美国、日本等汽车生产和保有大国(地区)的汽车节能标准法规及政策的动态、变化原因及其影响;另一方面,加强对我国乘用车技术状态和燃料消耗量水平的定期技术分析。

2012 年国务院发布《节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020 年)》以来,我国坚持纯电驱动战略取向,新能源汽车产业发展取得了巨大成就,成为世界汽车产业发展转型的重要力量之一。2020 年 11 月 2 日,国务院办公厅正式发布《新能源汽车产业发展规划(2021—2035 年)》。《规划》提出,到 2025 年,纯电动乘用车新车平均电耗降至 12.0 kW·h/100 km,新能源汽车新车销售量达到汽车新车销售总量的 20%左右,高度自动驾驶汽车实现限定区域和特定场景商业化应用。到 2035 年,纯电动汽车成为新销售车辆的主流,公共领域用车全面电动化,燃料电池汽车实现商业化应用,高度自动驾驶汽车实现规模化应用,有效促进节能减排水平和社会运行效率的提升。

2021 年 2 月 20 日,国家市场监督管理总局、国家标准化委员会发布了 GB 19578—2021《乘用车燃料消耗量限值》,规定了乘用车燃料消耗量的限值、型式认证的申请、燃料消耗量的测定、型式认证值的确定和记录、生产一致性、更改和认证扩展和实施日期。



三、节能技术潜力及经济成本分析

针对 2025 年我国乘用车产品平均燃料消耗量达到 4 L/100 km 的目标,汽车标准委员会从整车、发动机、变速器、车轮/轮胎等几个方面,组织开展较大规模的节能技术发展及应用状态调查,对我国主要企业及乘用车产品的技术状态进行初步分析,梳理节能技术应用现状,对特定技术的成本、节能效果进行调查,组织开展验证试验。在此基础上进行了系统的技术成本分析,如图 4-1 所示。

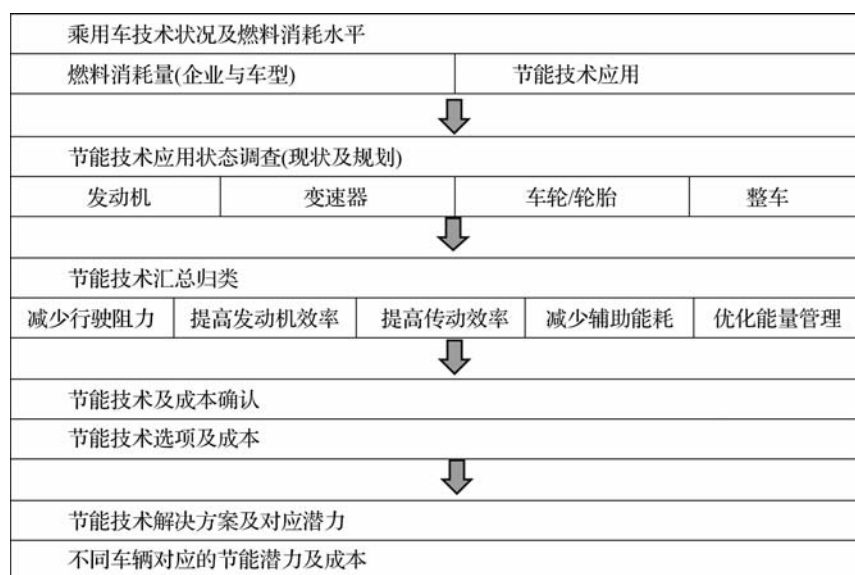


图 4-1 节能潜力技术成本分析主要工作过程

从减少车辆行驶阻力、提高热动能量转换效率、减少能量传输过程损失、减少辅助能量消耗、优化车辆能量管理五个方面,提出节能标准技术选项,如图 4-2 所示。

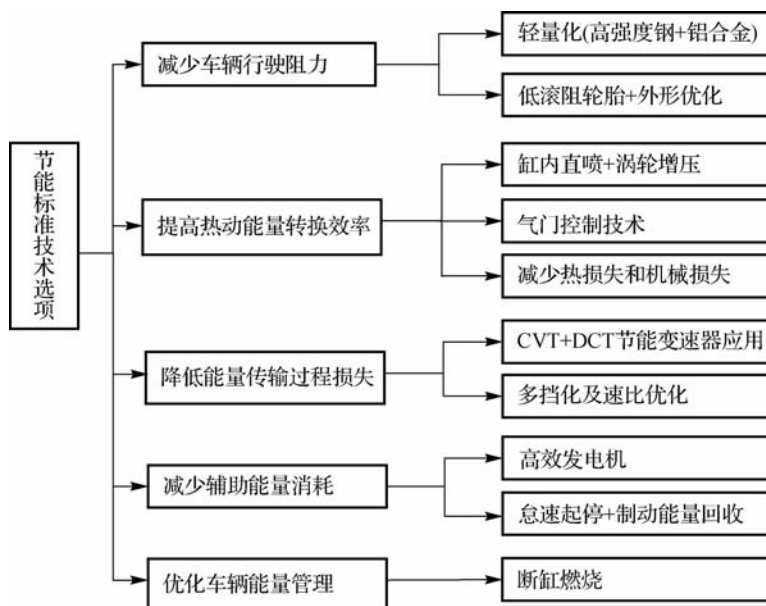


图 4-2 乘用车节能标准技术选项

在我国的汽车节能标准体系中,GB 19578—2021《乘用车燃料消耗量限值》和GB 27999—2019《乘用车燃料消耗量评价方法及指标》是相互支撑、不可或缺的重要组成部分,二者的定位和作用不同。《乘用车燃料消耗量限值》国家标准规定了我国乘用车燃料消耗量的最低要求,适用于我国汽车产品准入管理环节,其目的是淘汰落后产品,促进我国乘用车燃料消耗量的全面降低。不满足《乘用车燃料消耗量限值》的车型,不能获得《车辆生产企业及产品公告》许可,不允许在我国生产、销售、注册、使用。《乘用车燃料消耗量评价方法及指标》是在《乘用车燃料消耗量限值》的基础上进一步从企业层面对燃料消耗量提出的要求,其目的是在乘用车车型燃料消耗量满足国家最低准入要求的基础上,允许企业通过调整产品结构来满足企业平均燃料消耗量要求,给企业产品结构调整留出一定的灵活性。同时修订加严《乘用车燃料消耗量限值》和《乘用车燃料消耗量评价方法及指标》是对现有乘用车节能管理的完善和升级:一方面通过实施更加严格的《乘用车燃料消耗量限值》,加快淘汰较为落后的高油耗车型;另一方面,通过实施更加严格的《乘用车燃料消耗量评价方法及指标》,促使企业加快节能车型的研发、生产和销售,促进新能源汽车的发展和应用。从2021年起,乘用车燃料消耗量限值管理及企业平均燃料消耗量评价正式进入第五阶段。到2025年,乘用车新车平均燃料消耗量目标为4.0 L/100km(NEDC工况),在WLTC工况下约4.6 L/100 km。

四、预期达到的社会效益

GB 19578—2021《乘用车燃料消耗量限值》和GB 27999—2019《乘用车燃料消耗量评价方法及指标》是贯彻落实《节能与新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)》的重要措施,旨在推动我国先进节能技术的发展和應用,持续降低我国乘用车燃料消耗量。

第三节 汽车轻量化技术

知识目标

- 了解各类轻量化材料的性能;
- 熟悉制造工艺对汽车轻量化的影响和作用机制。

技能目标

- 能够根据所选材料和结构设计特点,选择合适的制造工艺;
- 具备检索和整合汽车轻量化技术相关信息的能力。对收集到的信息进行筛选、整理和归纳。

素养目标

- 树立强烈的节能环保意识,为实现汽车行业的可持续发展贡献力量;
- 鼓励学生关注汽车轻量化技术领域的前沿动态,激发创新思维;



- 培养学生的团队协作与沟通能力。

一、汽车轻量化技术概述

随着汽车产量和保有量的增加,汽车在给人们的出行带来方便的同时,也产生了油耗、安全和环保三大问题。节约能源、减少环境污染成为世界汽车工业界亟待解决的两大问题。减轻汽车自重是节约能源和提高燃料经济性的最基本途径之一,因此汽车轻量化成为 21 世纪汽车技术的前沿和热点,轻量化已成为汽车优化设计和选材的主要发展方向。

汽车的轻量化,就是在保证汽车的强度、安全性能和使用寿命的前提下,尽可能地降低汽车的整备质量,从而提高汽车的动力性、减少燃料消耗、降低排气污染,达到节能环保的目标。

汽车的燃油消耗与车重的关系很难用简单的数学关系式表达,但可以从理论分析和试验两个方面找到它们之间的关系。汽车行驶的阻力 F 可由式(4-1)表达。

$$F = Gf + G \sin \alpha + \delta m \alpha + \frac{C_d A v^2}{21.25} \quad (4-1)$$

式中, G 为汽车重力; f 为滚动阻力系数; α 为道路坡度; δ 为汽车旋转质量换算系数; m 为汽车质量; C_d 为空气阻力系数; A 为迎风面积; v 为车速。

汽车行驶阻力越大,耗油越多。汽车行驶阻力包括滚动阻力、坡道阻力、加速阻力和空气阻力四部分。从式(4-1)可以看出,空气阻力主要与车身形状大小有关外,其他三项均与整车质量成正比。经验数据显示,空气阻力约占行驶阻力的 25%。目前,减少这部分阻力的措施通常有流线型车身、全黏结风窗玻璃、隐蔽式刮水器、下地板全封装等。这些措施能将风阻系数降到 0.3,但已到瓶颈。因此,从汽车行驶阻力来看,其他几项都与车重成正比,减轻汽车质量就成为减少阻力从而节约燃油的重要措施。

在汽车市场蓬勃发展的同时,汽车尾气污染已经达到十分严重的程度。资料表明,2018 年,我国大中型城市的尾气污染已占大气污染的 20%~35%,汽车尾气已成为环境恶化的主要根源之一。我国也制定了一系列法规限制汽车尾气的排放。2012 年,国家环境保护部(现为生态环境部)公布了五项更为严格的机动车污染物排放新标准,以代替原有的机动车排放和检测方法标准。数据表明,汽车工业节能降排对于一个国家的能源供应和环境保护都具有重要的意义。

有关研究证明,若汽车整车质量降低 10%,燃油效率可提高 6%~8%,加速时间减少 8%,制动距离减少 5%,转向力减少 6%,轮胎寿命延长 7%。汽车整备质量每减少 100 kg,油耗可降低 0.3~0.6 L/100 km。当前,由于环保和节能的需要,汽车的轻量化是实现节能降排的有效手段,已经成为世界汽车发展的潮流。

汽车轻量化是集多学科、多行业于一体的完整的系统,涵盖设计方法、材料科学、制造工艺等领域。汽车轻量化技术可以分为结构优化设计、轻量化材料的应用和先进制造工艺三个主要方面(见图 4-3)。其中,结构优化设计方面采用 CAE(汽车仿真分析)技术对汽车的结构进行优化,包括汽车结构的拓扑优化、尺寸优化、形状优化和多学科优化,使零件薄壁化、中空化、小型化和复合化;应用轻量化材料,包括高强度钢、镁铝合金和复合材料等,减轻汽车自重,减少资源消耗和废气排放;先进制造工艺方面包括液压成型和激光焊接等。

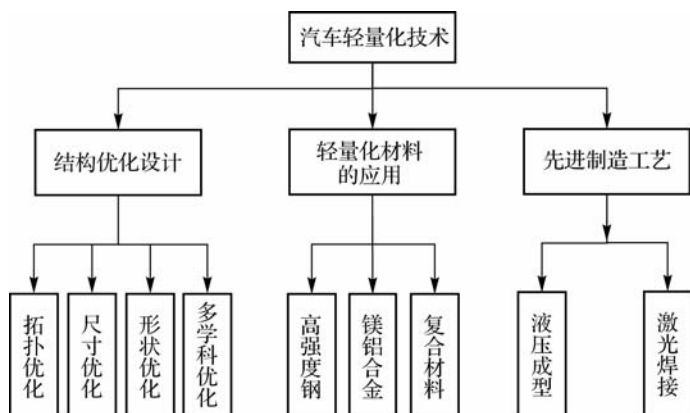


图 4-3 汽车轻量化技术

(1)结构优化设计。结构优化设计已经融合到汽车的前期概念设计阶段。优化结构的主要途径是利用有限元和优化设计方法进行结构分析和结构优化设计,以减少零部件的质量和数量。由于计算机技术的飞速发展,日前利用 CAD/CAE/CAM 一体化技术可以准确实现车身体积结构设计和布局设计,对各构件的开头配置、板材厚度的变化进行分析,并可从数据库中提取由系统直接生成的有关该车的相关数据进行工程分析和刚度、强度计算。这样不仅使得汽车开发周期大为缩短,研发投入大大减少,而且使开发的产品更为优秀可靠。

(2)轻量化材料的应用。轻量化材料在汽车上的应用包括高强度钢、镁铝合金、复合材料等,并在前期与结构设计融为一体,以及相应的装配、制造、防腐、连接等工艺的研究应用。据统计,汽车车身、底盘、发动机三大件占一辆轿车总质量的 65% 以上。一般全钢结构白车身通过优化设计可以减重 7% 左右,采用铝合金的车身可以带来 30%~50% 的轻量化效果,而想减轻更多的质量可采用纤维复合材料。

(3)先进制造工艺。实现汽车轻量化的先进制造工艺主要包括液压成型技术和激光焊接技术。

①液压成型技术。20 世纪 70 年代末期,德国率先开始对管材液压成型技术进行基础性研究,并于 20 世纪 90 年代初率先采用管材液压成型技术制造汽车构件,该技术因 1994 年的“ULSAB”计划的开展而得到快速发展。与传统的冲压焊接工艺相比,液压成型技术可降低 11% 的零件成本、14% 的设备成本,减轻零件 7.3% 的质量。目前,已有超过 50% 的汽车底盘装配有液压成型产品。

②激光焊接技术。该技术是 20 世纪 60 年代发展起来的以高能量密度的激光为热源的精密焊接技术。其应用包括汽车零件的激光焊接、板材的激光焊接、车身激光焊接,激光焊接已成为汽车制造生产中最主要的焊接方法之一。

二、轻量化材料

在 2016 年发布的《节能与新能源汽车技术路线图》中(见图 4-4),轻质材料的应用被列为轻量化的重要技术路径之一。汽车行业普遍注重于开发轻量化材料来降低汽车质量。



发展目标	技术路径	发展重点						
到2030年: · 高强度钢应用比例大幅增加 · 单车用铝量超过350 kg · 单车用镁合金45 kg · 碳纤维使用量占车重5% 整车比2015年减重: <table border="1"> <thead> <tr> <th>2020年</th> <th>2025年</th> <th>2030年</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10%</td> <td>20%</td> <td>35%</td> </tr> </tbody> </table>	2020年	2025年	2030年	10%	20%	35%	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 轻质材料的应用 ▶ 新的制造技术和工艺 ▶ 先进的结构优化或设计方法 ▶ 大力推进高强度钢、铝合金、镁合金、工程塑料、复合材料等在汽车上的应用 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 轿车车身的轻量化 ✓ 轿车动力传动的轻量化 ✓ 底盘轻量化技术 ✓ 高强度钢的材料与工艺提升 ✓ 轻质材料的部件制作工艺研究 ✓ 轻质材料典型部件的标准化、系列化研究 ✓ 复合材料工艺及高效制备 ✓ 轻质材料部件的设计与工艺模拟技术
2020年	2025年	2030年						
10%	20%	35%						

图 4-4 轻量化技术路径

汽车的轻量化对汽车材料提出了更高的要求,即要求零件材料的结构强度和刚度等满足其性能,同时要求零件的质量越轻越好。采用轻质材料在目前看来具有更大的潜力,是汽车轻量化的主流。在确保汽车综合性能指标的前提下,使用轻质材料来制造车身,可以在很大程度上减轻车身的重量。现在已应用于汽车工业的轻质材料有两大类:一类是高强度材料,如高强度钢和高强度不锈钢;另一类是低密度材料,如铝合金、镁合金、钛合金、塑料和复合材料等。

一般来讲,应用于汽车制件的塑料主要是纤维增强塑料,还包括非增强塑料及塑料合金等。在传统车身设计中,塑料只是用于车身的内部覆盖件及内外装饰件,但随着各种新型塑料的相继出现,塑料的应用正在代替钢板向着车身覆盖件和结构件等方面发展,现在已经出现了采用性能优越的新型塑料制成的发动机罩、行李舱盖、顶盖、前后保险杠、翼子板、挡泥板、车门内外板等。

1. 高强度钢

钢铁材料一直是汽车生产中使用最多的材料,但随着新型材料的出现,钢铁的地位受到铝、镁、塑料等低密度材料的巨大挑战。同时这种挑战也促使钢铁行业开发出更轻、更安全、更低成本的新型钢种,促进了汽车车身用高性能钢的发展。

汽车制造新材料领域目前非常有竞争力的材料是高强度钢,它在汽车上最主要的应用场合是车身结构部件、车架及悬架。和其他传统材料相比,这种高强度钢优势比较明显,如抗碰撞的性能非常好,有较强的耐腐蚀性能,可以最大限度地减小钢板的厚度,而且能够节约成本,达到减轻车身自重的目的。如图 4-5 所示,沃尔沃 S40 就是通过使用不同强度的钢材来降低汽车自重的。



图 4-5 沃尔沃 S40 车身

高强度钢主要包括含磷高强度钢、微合金高强度钢、双相钢及烘烤硬化钢等。高强度钢的优势在于价格低、经济性好,能够保证零件的刚度,而且可以利用现有的汽车生产线进行生产。另外,高强度钢对减轻汽车质量起着极其重要的作用,对降低油耗、提高汽车构件强度、确保安全性能等也具有重要意义。一方面,高强度钢由于材料强度的提高,钢板的厚度可以减小。例如,用 350 MPa 的低合金高强度钢制作汽车前梁、发动机支架、保险杠和车门等,钢板的厚度可以减少 15%~25%。当钢板厚度减少 0.05 mm 时,车身质量可减轻 6%;当钢板厚度减少 0.15 mm 时,车身质量可减轻 18%。另一方面,汽车用板的强度的提高,可改善汽车的安全性能。例如,用相变诱发塑性(TRIP)钢制造汽车的防撞和提高安全性能的部件及强度和变形性能俱佳的部件时,能大幅改善汽车的被动安全性。近年来高强度钢在开发、成型及连接技术方面所取得的进展使其成为颇具竞争力的车身新材料。

ULSAB 是超轻钢质车身(ultra light steel auto body)的简称,该项目是由世界主要钢板生产商致力于开发出超轻钢质车身而发起的。在国际先进概念车超轻钢质车身项目计划(ULSAB-AVC)中,根据屈服强度的不同,可将钢分为低强度钢、高强度钢和超高强度钢。把应力在 210~550 MPa 的钢称为高强度钢(high strength steel),把应力大于 550 MPa 的钢称为超高强度钢(ultra high strength steel)。

根据强化机理的不同又把高强度钢分为普通高强度钢和先进高强度钢(advanced high strength steel, AHSS)。普通高强度钢包括低碳钢、无间隙原子钢、各向同性钢、烘烤硬化钢、碳锰钢、低合金高强度钢。先进高强度钢是金相组织强化的钢种,包括相变诱导塑性钢、复相钢、马氏体钢、双相钢等,在提高强度的同时具备了良好的延展性和塑性。

先进高强度钢(AHSS)具有较低的屈强比、较高的应变硬化特性、较好的应变分布能力及优良的碰撞吸能特性和较高的疲劳寿命,在汽车上的使用量不断上升。高强度钢在车身上应用的目的主要是改善车身的变形特性和提高疲劳强度。塑性变形特性的利用模式可分为以下几种。

(1) 增加构件的变形抵抗力,有利于提高车身构件和加强件在受冲击时的抗破坏强度。

(2) 提高能量吸收能力,有利于提高车身的耐碰撞性。

(3) 扩大弹性应变区,这主要应用于外力作用下变形不大的场合,当外力去除后能恢复原有的形状。

高强度钢材使用对象分为两部分:一部分是汽车车身、减振及车轮用部件,另一部分是底盘和排气系统。使用在汽车门内防撞梁、汽车前后保险杠防撞板,车身 A 柱 B 柱,发动机支撑梁,仪表板支架,门槛加强板,汽车座椅骨架等车身部件,车轮轮辐和轮辋高强度钢板、高强度弹簧、高碳传动轴管、高强度发动机螺栓等总成或部件上。汽车结构件用各种特殊钢的强度一般都达到 1 000 MPa,如汽车转向节、转向扭杆等。

超轻车身(ULSAB)、超轻覆盖件(ULSAC)、超轻悬架系统(ULSAS)和新概念超轻车身(ULSAB-AVC)等项目的成功实施,验证了高强度钢在减轻汽车自重和改善车辆性能中的有效性。

汽车用高强度钢板按照轧制方式可分为冷轧钢板(抗压强度在 340 MPa)、热轧钢板(抗拉强度在 370 MPa 以上)及以它们为基底进行表面处理的钢板。在车身制造领域,为了使它们在各异的适用部位上满足所必需的性能,不但要求其具有特定的强度特性,而且要具有优良的冲压成型性、焊接性、疲劳强度、可涂装性等各种特性的综合指标。厚度在 0.15~



3.2 mm的高强度钢板是首选。车身多采用厚度为0.6~0.8 mm的薄钢板,这种钢板的尺寸精度高、表面光滑,具有良好的力学性能、加工性能、成型性能和焊接性能,主要用于车身侧围板、顶盖、发动机罩、翼子板、行李舱盖、车门板和仪表板等覆盖件。

汽车车身上用到的高强度钢板主要有固溶强化型钢板、烘烤硬化型钢板、组织强化型钢板、合金化热镀锌型钢板等几种。汽车用高强度钢板种类选用的情况大致为:属于深拉深型的固溶强化型钢板多用于车身内外覆盖件;轧制时质地较软,烘烤时质地变硬的烘烤硬化型钢板多用于门和盖罩等加工度低的部件;加工时弹性恢复量小,成型性优良,疲劳耐久性也好的组织强化型钢板多用来制造轮辐、减振器支座等;合金化热镀锌型钢板多用于需要具备防腐性的部分。

除高强度钢外,钢铁行业还在发展低密度钢。低密度钢是在铁基上加入3%~30%的铝生产出高含铝量钢,其密度为 $6.09 \times 10^3 \sim 7.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。低密度钢兼有钢的强度高、塑性好和铝的密度低等特点,有望解决汽车中有刚度要求的零部件轻量化的问题。

高强度钢已经广泛应用到很多新款的轿车上。奔驰A级轿车的车身使用了67%的高强度钢,基本上车身所有的关键部位都采用了高强度钢,这样车辆的抗碰撞能力极大地提高,车辆的安全系数提高了几倍。钢的强度不断提高,强度水平已经达到1100 MPa,加上各种计算机设计软件的使用,对车轮结构的设计更加美观实用,在21世纪初期,钢车轮的市场份额又逐渐上升恢复,已经达到近50%。

宝马部分车型中的中通道、地板、B柱、车门防撞杆等均采用高强度钢。

由于钢铁材料的综合性能优良,到目前为止,采用高强度钢仍然是汽车轻量化最直接、最有效的途径。可以预见,在未来相当长的一段时期内,钢铁材料仍是汽车车身的首选材料,主要用于汽车的结构件和安全件的生产,如前后保险杠、车门防撞杆、A/B/C柱等。

2. 工程塑料橡胶材料

1) 塑料弹簧

奥迪公司启用一种纤维玻璃增强环氧弹簧,弹簧芯由长玻纤扭结而成,并在空隙处注入环氧树脂。在弹簧芯周围,依照纵轴 $\pm 45^\circ$ 的角度交错填充了更多纤维,直径只有几毫米。这一交替层互相支撑,发挥压缩或拉伸的作用。整个零部件携带的扭转负荷随后在纤维中被转换为拉伸和压缩负荷。

如图4-6所示,与传统的钢制弹簧相比,纤维玻璃增强环氧弹簧所用的“导线”更厚,总体直径更长,圈数更少。最重要的是,这种弹簧要轻得多。奥迪A4前悬挂系统中所用的钢制弹簧每个质量为2.66 kg,而纤维玻璃增强环氧弹簧仅为1.53 kg,质量减轻了40%以上,但性能毫不逊色。

超轻型设计对汽车底盘和悬挂系统来说尤为重要,因为簧下质量的减少对驾乘舒适性和操纵性的提升十分明显。

FRP弹簧有很强的抗腐蚀能力,能有效抵御车轮清洁剂等化学制剂的侵蚀。FRP弹簧在生产过程中的能源消耗也低于钢制弹簧。FRP弹簧具有很强的可调性,能够灵活满足底盘工程师的要求,让他们得以将车辆的轴载荷和驾乘舒适性与操纵性等特性考虑在内。可调变量包括“导线”的长度、直径和线圈数量。

2) 橡胶车身

在2017年东京车展上展示了一款别致的概念车型——Flesby II。如图4-7所示,它采用类似乌龟的创意造型,以及可以变形的橡胶材质,在碰撞发生时可以有效吸收行人和车辆

之间的冲击力,甚至在必要时将行人反弹出去,从而保护人身安全。它使用了一种轻柔的智能聚合物装置,采用两面弹性电极+中心介质的“三明治”结构,可随着电力的介入而膨胀或收缩,仿佛汽车变成一辆碰碰车,怎么撞都撞不坏。



图 4-6 纤维玻璃增强环氧弹簧(左)与传统钢质弹簧(右)



图 4-7 橡胶车身

3) 塑料仪表盘

塑料是一类重要的非金属汽车用轻量化材料,近年来,塑料在汽车上的用量在急剧攀升,是目前汽车上使用最多的非金属材料。车用塑料主要有聚丙烯、聚氨酯、聚氯乙烯、热固性复合材料、ABS、尼龙和聚乙烯等。

AR

从 20 世纪 50 年代雪佛兰开始使用 SMC 材料做车身覆盖件开始,塑料产品在汽车上的应用与日增多。近年来开发的高性能工程塑料在汽车上的应用越来越广泛。全球能源消耗的日益紧张,日趋严格的燃油消耗和二氧化碳法规,化学工业的不断进取研发出高性能的工程塑料产品,这些趋势不断推动汽车行业使用塑料产品。相对于传统的钢材,塑料具有以下一系列的优势。

(1) 质量轻。以 SMC 材料为例,其密度为 1.7 g/cm^3 。以前端模块为例,SMC 前端模块比金属前端模块轻 $10\% \sim 20\%$;以尾门为例,塑料尾门轻量化效果可达 $20\% \sim 35\%$ 。轻量化的直接好处就是可以有效减少油耗和降低温室气体的排放。所以,目前国内火热的新能源市场很好地带动了工程塑料和复合材料产业的发展。

(2) 提升造型设计自由度。很多钢背门上,摄像头和牌照灯安装区域都要加一个镀铬装饰条,这是该区域钣金成型限制,无法一次成型导致的。塑料尾门外板采用注塑工艺制造,该区域在模具中可一次成型,尾门整体感非常好,如 C5 Air Cross 的尾门。

(3) 成本低。塑料产品的成型工艺繁多,成型能力非常优秀,可以成型非常大而复杂的零件,减少模具和焊接成本。

塑料制品的弹性变形特性能吸收大量的碰撞能量,对强烈撞击有较大的缓冲作用,对车辆和乘员起到保护作用。因此,现代汽车上都采用塑料仪表盘和方向盘,以增强缓冲作用。前后保险杠、车身装饰条都采用塑料材料,以减轻车外物体对车身的冲击力。另外,塑料还具有吸收和衰减振动和噪声的作用,可以提高乘坐的舒适性。

改性塑料已经成为汽车轻量化的重要材料,广泛应用于汽车外饰件、汽车内饰件、发动机周边系统、照明系统等。塑料是由非金属元素为主的有机物组成的,具有密度小、导热和电导性差、耐酸、耐碱、易老化等特性,塑料的力学性能随温度和时间而变化,耐冲击、隔音降噪效果好、防腐蚀、容易回收,塑料在汽车中的应用遍及所有总成,如内装饰件、外装件和功



能件。塑料仪表盘如图 4-8 所示。



图 4-8 塑料仪表盘

3. 轻质合金材料

轻量化的铝铸件近年来在汽车发动机上得到了广泛应用。铝合金铸件大量应用于发动机缸体、缸盖、活塞、进气歧管、摇臂、发动机散热器等部件上。另外,铝镁合金、镁合金、钛合金、铝基复合材料等也开始在汽车发动机上得到推广应用。这些新材料都为汽车节能减排、提高效率奠定了良好的基础。

1) 铝合金

铝合金密度低,比强度高,接近或超过优质钢,塑性好,可加工成各种型材,具有优良的导电性、导热性和抗腐蚀性,可循环利用率高,是汽车应用最广泛的轻质合金材料,如图 4-9 所示。

铝的力学性能与其纯度关系密切,纯铝软、强度低,但与某些金属组成铝合金后,不仅在某种程度上保持铝固有的特点,同时显著提高了硬度和强度,使之几乎可与软钢甚至结构钢相媲美。此外,铝合金比钢更能吸收碰撞能量,大约是钢的 2 倍,能有效提高汽车的碰撞安全性。铝合金成为制造车身变形区的理想材料,以增加车身的被动安全性。对紫外线的不透光性,对水和气体的不渗透性,无味无毒,使它成为一种无污染的材料,同时还是一种可循环的环保材料。所以,铝合金是车身轻量化最理想的选择。



(a) 气缸盖



(b) 车轮轮毂



(c) 变速器壳体

图 4-9 铝合金零件

传统铝合金根据合金元素的含量和加工工艺性能特征可分为铸造铝合金、变形铝合金和铝基复合材料三类。

(1) 铸造铝合金。铸造铝合金是直接用铸造方法浇注或压铸成零件或毛坯的铝合金,又分为重力铸造件、低压铸造件等。其合金元素的含量比较高,质量分数为 8%~25%。一般铸造铝合金铸造性能好,压力加工性能差,且在实际使用中还要求铸件具有足够的力学性能,因此,铸造铝合金的成分并不完全是共晶合金,只是合金元素的含量比变形铝合金高一些。

铝合金铸件主要应用于发动机气缸体、气缸盖、活塞、进气歧管、离合器壳体、车轮、制动

器零件、空气压缩机连杆、传动器壳体、摇臂、发动机悬置支架、把手及罩盖壳体类零件等。铝合金铸件中不可避免地存在缺陷,压铸件还不能热处理,因此在用铝合金生产要求较高强度铸件时受到限制。为此,在铸件生产工艺上做了改进,铸造锻造法和半固态成型法将是未来较多采用的工艺。

(2)变形铝合金。变形铝合金中合金元素含量比较低,常用的变形铝合金中合金元素总量小于5%,但在高强度变形铝合金中可达8%~14%。变形铝合金是指铝合金板带材、挤压型材和锻造材。变形铝合金在汽车上主要用于制造保险杠、发动机体、车门、行李舱盖等车身面板,车轮的轮辐、轮毂罩、车轮外饰罩、制动器总成的保护罩、消声罩、防抱死制动系统、热交换器、车身框架、座椅骨架、车厢底板等结构件及仪表板等装饰件。变形铝合金车轮的轮毂、轮辐在成型加工时会产生加工硬化,强度增加,故与铸件相比,强度、韧性都具有优越性。目前,汽车用变形铝合金量正在逐渐增加。

变形铝合金按其成分和性能特点可以分为不能热处理强化铝合金和可热处理强化铝合金。不能热处理强化铝合金具备良好的抗腐蚀性,故称为防锈铝。可热处理强化铝合金的合金元素含量比防锈铝高一些,这类铝合金通过热处理能显著提高力学性能,包括硬铝、锻铝和超硬铝。

(3)铝基复合材料。铝基复合材料密度低、比强度和比模量高、抗热疲劳性能好,但在汽车上的应用受到价格及生产质量控制等方面的制约,还没有形成很大的规模。目前,铝基复合材料在连杆、活塞、气缸体内孔、制动盘、制动钳和传动轴管等零件试验或使用中显示出了卓越的性能。

随着快速凝固铝合金、粉末冶金铝合金、超塑性铝合金和泡沫铝材等新材料的开发与应用,未来铝在汽车中的应用范围将进一步扩大,并呈现出铸件、型材、板材并举的局面。预计铝将成为仅次于钢的第二大汽车材料。

研究表明,用铝合金替代低碳钢、铸铁或高强度钢,每制造1 kg零部件可以减少13~20 kg温室气体的排放。因此,以铝代钢是汽车轻量化技术的一个发展趋势。自1990年以来,铝合金在轿车上的应用不断增加,在很多豪华车型上,铝对钢的替代趋势更加明显,如奥迪A8就创纪录地采用了全铝合金车身。

1994年,奥迪公司开发了全球第一辆全铝车身框架轿车——第一代奥迪A8(见图4-10),其使用的全铝空间框架结构(ASF车身结构)在车身的强度和安全水平超过了现代轿车的基础之上,汽车自身的质量却减轻了约40%;1999年,奥迪A2成为首批采用该技术的量产车。如今,奥迪独创的ASF技术已经运用于A8、TT、R8等众多量产车型上。



图 4-10 奥迪 A8 全铝车身

制造 ASF 车身结构时,以铝材为主,连接方式多为铆接、焊接、黏结。这种结构适用于多品种小批量生产,改型容易,车型多样化,克服了铝合金不易冲压的缺点,不需要大型冲压



设备,并减少了部件数量。

福特汽车设计师们别出心裁,从巧克力棒的泡沫多孔结构中获得灵感,通过在生产过程中注入气泡的方式制造蜂巢结构 MuCell 轻质塑料零部件,如图 4-11 所示。蜂巢结构塑料零部件可减轻 20% 车重,在未对耐用性折中的前提下改进车辆燃油经济性和排放特性。在零部件铸造过程中注入气体,使其横截面呈现类似巧克力棒的多孔结构,塑料泡沫空腔的存在意味着所需材料总量的下降。零部件制造所需要的能量和时间都有所减少,降低了排放与制造成本。



图 4-11 蜂巢结构塑料零部件

通常车身上有多个部位可以实现减重,主要是通过将金属材料更换为强度更高、密度更低的材料,从而将车辆自重按照千克级别予以减轻。从传统意义上来说,塑料零部件在实现减重的同时很难避免牺牲强度、耐用性和功能性,而福特 MuCell 蜂巢结构塑料却提供了解决矛盾的方案。

MuCell 材料的特殊结构一方面减轻了密度并降低了材料用量,另一方面保持了一定的强度,零部件的完整性未受到影响。空腔与材料强度的关系可以参考空心管与实心管的抗弯强度对比。对于实心圆柱材料而言,中心部分所承受的应力不大,这意味着材料的利用率不高,同直径同材料的空心管材若保持壁厚,抗弯强度并不会明显下降。而在材料总量一定的情况下,空心管材的直径更大,因而抗弯强度更好。因此,在空腔分布较为均衡并且直径相对理想的情况下,泡沫结构材料仍然具备较高的强度,不会因为中空布局显得脆弱。

2012 款福克斯率先使用 MuCell 材料,如果特定的零部件,如发动机外罩对于体积要求并不苛刻,则 MuCell 材料是较为可行的选择。福特欧洲的工程师在 MuCell 材料的测试过程中也证实该结构并不会对材料的强度与耐用度造成影响。

除了保持强度和降低密度之外,其成型所需提供的压强显著降低;与传统工艺流程相比,所花费的工时降幅可达 33%。

目前,铝合金材料在汽车工业应用的最大瓶颈是焊接工艺性和成本控制。进一步加强技术改进,降低成本,提高铝合金的成型性能,将大大促进铝合金在汽车工业中的应用,加速我国汽车的轻量化进程。

2) 镁合金

镁合金具有密度小,比强度、比刚度高,阻尼性、切削加工性、导热性好,电磁屏蔽能力强,尺寸稳定,资源丰富,易回收,无污染等优点。相比高强度钢和铝合金,其轻量化效果更为明显。镁是实际应用中质量最轻的有色金属材料。镁的密度为 1.74 g/cm^3 ,是铝的 $2/3$ 。镁可在铝减重的基础上再减轻 15%~20%。镁合金具有优良的阻尼特性,在各种压力下的比减振量远远高于铝合金和铸铁。镁合金用作车身壳体部件时可以降低噪声、提高密闭性

等,是公认的当今最具发展潜力的汽车轻量化材料。汽车用镁正以年均约 20% 的速度增长,镁合金已成为汽车材料技术发展的一个重要领域。已大批量应用镁合金的主要是车身、汽车仪表、座位架、方向操作系统部件、发动机罩、变速器、进气歧管、轮毂、发动机和安全部件(见图 4-12)。我国镁资源非常丰富,储量居世界首位。镁合金在国内用量很少,尤其汽车行业用量极少,但前景非常广阔。

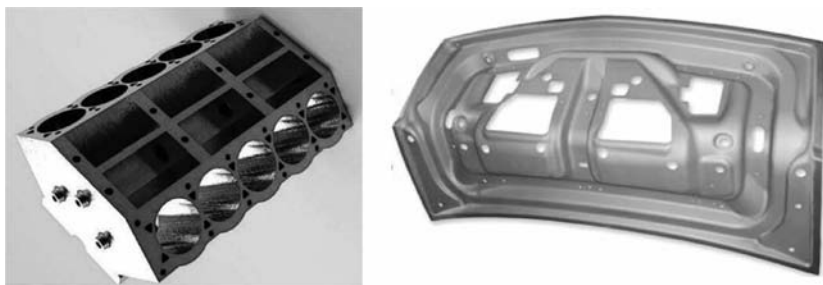


图 4-12 镁合金部件

按照制造工艺不同,可将镁合金分为铸造镁合金和变形镁合金,由于变形镁合金加工制造成本较高,目前应用较多的是铸造镁合金。

(1) 铸造镁合金。铸造镁合金多用于压铸工艺生产,其特点是生产效率高、精度高、铸件表面质量好、铸态组织精良、可生产薄壁及复杂形状的构件。根据不同汽车零部件对镁合金性能的特定要求,新型镁合金材料的开发一直致力于提高强度、改善塑性、提高高温蠕变抗力。

(2) 变形镁合金。变形镁合金是指可用挤压、轧制、锻造和冲压等塑性成型方法加工的镁合金。与铸造镁合金相比,变形镁合金具有更高的强度、更好的塑性和更多的样式规格。变形镁合金主要有 Mg-Al-Zn 系合金(AZ31C、AZ61A、AZ80A)和 Mg-Zn-Zr 系合金(ZK60)两大类。变形镁合金主要用于车身组件(车门、行李舱、发动机罩等)的外板、车门窗框架、座椅框架、底盘框架、车身框架等。变形镁合金在车身上的应用具有很大的潜力。

通用汽车正在业内率先试验应用热成型加工工艺轻量镁合金材料,运用创新工艺生产轻量化、抗腐蚀镁金属板材料结构面板,相比钢材要轻 75%,相比铝材要轻 33%,该材料有望将汽车燃油经济性提高 10%。该材料采用通用专利的抗腐蚀处理技术加工,可增加其应用范围,更多地替代钢材和铝材。通用计划在全世界范围内拓展轻量化汽车零部件的应用,并寻求相关突破性技术的授权许可生产。此举旨在帮助供应商能够通过该项工艺技术进行镁金属板材料的大规模量产,以减轻车体重量。

3) 钛合金

根据国际权威部门统计的数据,汽车燃料燃烧能量的 60% 消耗于自身质量。目前高强度薄钢板、铝材、镁材、金属基复合材料及塑料树脂类材料在减轻汽车质量方面已经发挥了作用,而工业用钛材料的出现使得汽车制造材料有了更好的选择。

钛合金具有密度小、强度高、耐腐蚀性好、耐热性高等特点,同时有很好的韧性、加工性、焊接性;热膨胀系数低,热导率低,无磁性,对环境无污染。汽车采用钛合金材料可极大地减轻车身质量,降低燃料消耗,提高发动机的工作效率,改善环境和降低噪声。

钛的密度为 4.51 g/cm^3 ,介于铝(2.7 g/cm^3)和铁(7.6 g/cm^3)之间。钛合金的比强度高于铝合金和钢,韧性也与钢相当。钛及钛合金抗腐蚀性能好,优于不锈钢,特别是在海洋



大气环境中抵抗氯离子的侵蚀和微氧化气氛下耐腐蚀性好。钛合金的工作温度较宽,低温钛合金在 $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ 还能保持良好的塑性,而耐热钛合金的工作温度可达 $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,其耐热性明显高于铝合金和镁合金。钛合金零部件如图4-13所示。



图4-13 钛合金零部件

早在1956年,通用汽车公司就研制出一种全钛汽车(名为火鸟),只是由于其造价昂贵,后来仅在赛车上保留应用。如今,随着低成本钛合金的不断研制及其制备工艺的不断创新,将钛合金应用于普通汽车成为普遍趋势。2001年,大众汽车公司首次在路波FSI普通轿车上标配了钛合金弹簧,使得汽车减重 82 kg ,同钢弹簧相比,减重 $60\%\sim 70\%$;弹簧高度降低 40% 。

将钛合金应用于汽车工业以减轻车重和提高性能已逐渐被汽车制造厂所认可,目前几乎所有赛车都采用了钛合金材料。车用钛合金主要应用于汽车发动机的制造,如连杆、凸轮轴、进排气门、气门弹簧及一些重要的辅助零件,如排气管、消声器、悬架弹簧及密封件。

(1) 发动机连杆。用钛合金制造发动机连杆的优点是质量轻、疲劳性能高。因为连杆的质量越轻,其振荡能耗越少、噪声越低、振动越小、发动机极限转速越高,车的油耗减少,性能得到全面提高。同时,疲劳性能高意味着使用寿命延长,汽车的质量得到提升。连杆在工作时不仅要受到往复拉压载荷(低周疲劳),同时在高速运转时又受到离心力冲击载荷(高周疲劳),因此,既要求材料具有高的抗拉强度以满足高周疲劳的需要,又要具有一定的塑性以满足低周疲劳的需要。相比钢制连杆,钛合金连杆能减重 $15\%\sim 20\%$ 。最先应用钛合金连杆的汽车是法拉利315LV8。

(2) 气阀。气阀(特别是排气阀)的工作温度较高,而钛合金具有较高的高温强度和抗氧化性能,已被用来制造赛车气阀。钛合金汽车发动机气门质量轻,使用寿命长,而且还能降低油耗。与钢制发动机气门相比,质量减少 $30\%\sim 40\%$,发动机极限转速可提高约 20% 。

(3) 气门弹簧座。钛合金强度高和耐疲劳性的优点契合了气门弹簧座的特性。钛合金气门弹簧座较钢制质量减轻了 $30\%\sim 40\%$,使气门结构降低了惯性质量,发动机最大转速也有所增加。

(4) 钛合金弹簧。钛合金在汽车上最理想、也是目前最成功的应用环节是用来制造弹簧。钛合金的所有特点几乎都在制备弹簧过程中得到了体现,达到了钢铁材料难以达到的性能指标,使其成为最佳的弹簧材料。从弹性性能上说,由于钛合金弹性应变能非常高,是钢的10倍以上,因此,使用钛合金弹簧将明显提高乘车舒适度。其次,从使用寿命上说,由于钛合金具有优异的疲劳极限,可以满足弯曲疲劳强度大于 800 MPa 的要求,其卷簧所需材料的质量减少且寿命延长。同时,钛合金的抗腐蚀能力强,无须额外的表面防锈处理,因此,

钛弹簧的使用寿命比汽车本身的寿命还长,无须中间更换。从加工角度来说,钛合金非常有利于冷拔拉丝,可以利用钢丝的设备进行加工,然后通过时效处理提高强度,因此生产设备简单。最后,从油耗方面来说,由于钛合金的密度小,钛合金弹簧的质量仅为钢弹簧的一半,因此省油效果明显。在相同的弹性功前提下,钛合金弹簧的高度仅为钢弹簧的40%,便于车体设计。

(5)涡轮增压器转子。钛合金具有很好的耐热性和良好的加工性。涡轮增压器的转子长期在850℃左右的环境中工作,这给了钛合金很好的施展空间。

(6)排气系统。钛合金在汽车的排气系统中使用广泛,使用性能、寿命及外观都有所改善,提高燃料燃烧效率。钛合金制排气系统比钢制排气系统质量可减少约40%。

(7)车体框架。钛合金强度高、韧性好,是制作车体框架的理想材料。日本汽车生产厂商用钛合金来制作车身框架,获得了良好的驾驶体验。

(8)钛合金螺栓。钛合金螺栓是改装轮毂必不可少的零件,不仅质量轻,强度也比钢制螺栓更高。特有的光泽也是轮毂上不错的装饰,提升了美观度。

(9)其他钛合金零部件。除了以上几种部件,钛合金还应用于发动机摇臂、悬挂弹簧、发动机活塞销、车用紧固件、挂耳螺帽、汽车门突入梁、汽车挡支架、制动器卡钳活塞、压力板、变速按钮及汽车离合器圆板等汽车零部件。

4. 复合材料

复合材料是指由两种或两种以上的不同形态或不同性质的材料按照一定的复合工艺组合而成的一种结构物。汽车复合材料与汽车传统常规材料(钢、铁、铝及塑料、橡胶)是完全不同的一类新型材料,它不像传统常规材料那样材质均匀、各向同性,而是非均质、各向异性的。

复合材料具有质量轻、强度高、加工成型方便、弹性优良和耐化学腐蚀等特点,已逐步取代一些金属合金,广泛应用于汽车及其他领域。复合材料中的连续相称为基体,而分散相称为增强材料。增强材料以独立的形态分布于基体中。基体的主要作用是承载增强材料,防止增强材料遭受腐蚀和物理损伤。增强材料除了提高复合材料基体的力学性能外,还能提高热变形温度,使复合材料在磁、电、热方面具有新功能。各种材料在性能上互相弥补,使复合材料的综合性能优于原组成材料而满足各种不同的要求。复合材料制成的车身骨架如图4-14所示。

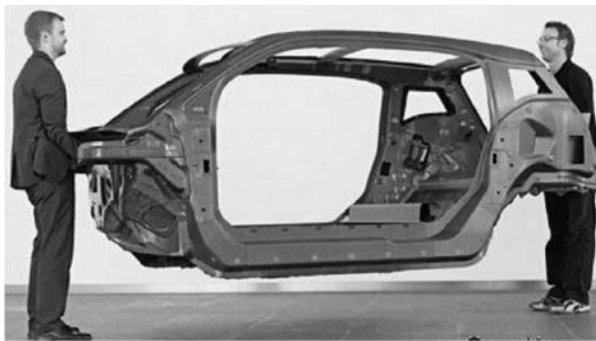


图 4-14 复合材料制成的车身骨架

1) 复合材料应满足的条件



一般来说,复合材料应能满足以下条件。

(1)必须是由两种或两种以上化学、物理性质不同的材料组成的,材料之间有明显的界面。

(2)是用人工方法制造的,各组分的形状、比例和分布均能人为地控制。

(3)复合材料的性能优于各组分单独存在时的性能,具有协同增强的特点。

2) 复合材料的分类

(1)按照材料性质的不同,复合材料可以分为结构复合材料和功能复合材料。结构复合材料包括树脂基复合材料、陶瓷基复合材料、金属基复合材料、碳/氮复合材料、水泥基复合材料等;功能复合材料有导磁功能复合材料、屏蔽功能复合材料、阻尼功能复合材料等。

(2)按其组成,复合材料可以分为金属与金属复合材料、非金属与金属复合材料、非金属与非金属复合材料。

(3)按其结构特点的不同,复合材料可分为纤维复合材料、夹层复合材料、细粒混合型复合材料和混杂复合材料。

(4)按照基体来分类,复合材料可以分成热固性复合材料与热塑性复合材料。

热固性复合材料是指以热固性树脂(如不饱和聚酯树脂、环氧树脂、酚醛树脂、乙烯基酯树脂等)为基体,以玻璃纤维、碳纤维、芳纶纤维、超高分子量聚乙烯纤维等为增强材料制成的复合材料。环氧树脂的特点是具有优良的化学稳定性、电绝缘性、耐腐蚀性、黏结性能和较高的机械强度。酚醛树脂具有耐热性、耐摩擦性、机械强度高、电绝缘性优异、低发烟性和耐酸性等特点。

热塑性复合材料是指以热塑性树脂为基体,以纤维为增强材料制成的复合材料。不同种类的纤维制造的复合材料,其性能差别极大。按复合材料的性能,热塑性复合材料又可分为普通型热塑性复合材料和高性能热塑性复合材料两类。前者是指用玻璃纤维增强的通用性树脂,如聚丙烯、聚乙烯、聚氯乙烯、锦纶等;后者是指用连续的碳纤维、芳纶纤维、高强度玻璃纤维或其他高性能热塑性树脂等材料,如聚醚酮、聚苯硫醚、热塑性聚酰亚胺、聚醚砜等。

3) 复合材料的性能

复合材料是各向异性的非均质材料,与其他材料相比有以下性能。

(1)比强度和比模量高。这是复合材料的最大优点。因为材料比强度提高,制造同一零件质量更小。当用复合材料制成与高强度钢具有同等强度和刚度的零件时,其质量可减轻70%左右。采用比强度和比模量高的材料,可以大大提高动力设备的效率。纤维增强复合材料的比强度和比模量是各类材料中最高的。

(2)抗疲劳性能好。纤维增强复合材料中的纤维与基体间的界面能够有效阻止疲劳裂纹的扩展,外加载荷由增强纤维承担。大多数金属材料的疲劳强度极限是其抗拉强度的30%~50%,而复合材料可达60%~80%。

(3)耐磨性好。在热塑性塑料中掺入少量的碳纤维可大大提高其耐磨性,变为原来的数倍。选用适当塑料与钢板复合可做耐磨构件,如轴承材料等。

(4)化学稳定性良好。纤维增强酚醛塑料,可长期在含氯离子的酸性介质中使用。用玻璃纤维增强塑料可制造耐强酸、盐、酯和某些溶剂的化工管道、泵、阀、容器等。耐碱纤维可以用来取代钢筋和水泥复合。

(5)耐高温性能好。纤维复合材料中除了玻璃纤维软化点较低(700~900℃)外,其他

纤维的软化点一般都在 2 000 ℃ 以上,用这些纤维与金属基体制成发热复合材料,高温下强度和模量均有提高。

(6)工艺性和可设计性好。调整增强材料的形状、排布、含量,可满足构件的强度、刚度等性能要求,且材料与构件可一次成型,减少零部件、紧固件和接头的数目,材料利用率大大提高。

(7)其他特殊性能。复合材料具有耐烧蚀性、耐辐射性、耐蠕变性及隔热性,特殊的电、光、磁等性能,韧性和抗热冲击性好,具有导电和导热性。

复合材料的缺点是层间剪切强度低,耐热性和表面硬度低,易老化、稳定性差、质量不易控制、成本较高。

复合材料基于这些优良性能,在车辆制造中得到了越来越广泛的应用。复合材料在汽车工业中广泛应用于车身板件及灯壳罩、前后护板、保险杠、板弹簧、座椅架、驱动轴等部件中,如奥迪 A6 轿车和帕萨特 B5 轿车的发动机罩,切诺基后举升门总成和前散热器罩等均是采用复合材料制成的。不过,要实现大规模应用复合材料制造车身的目标,仍存在不少问题需要解决。例如,由于复合材料性能的限制,车身中有些零件还不能完全采用复合材料制造;采用玻璃纤维增强复合材料制造的车身件不易腐烂,回收困难;受原材料及生产水平的限制,相对于普通钢铁材料,复合材料的成本还是较高。

4)玻璃纤维增强复合材料

玻璃纤维增强塑料(GFRP)俗称玻璃钢,它不仅质量稳定、资源丰富、成本低,而且吸收冲击能量的性能、耐腐蚀性能较好,降低噪声的效果较好,且设计灵活、强度高、工艺性能好、价格低,是目前汽车上应用最多的树脂基复合材料。其主要用于发动机、发动机周边部件及车身,可用于制造保险杠、发动机罩、挡泥板甚至整个车身壳体。其中在车身制造中,使用玻璃纤维增强复合材料具有很多优点。例如,可以大幅度降低车身质量,满足车身轻量化要求;具有良好的耐疲劳、耐腐蚀性能,使用寿命约为金属材料车身的 2 倍;强度高,在高速下翻车,车身的破坏程度低于钢制车身;成型工艺好,适于轿车改型换代和单件小批量生产,还可以通过整体成型工艺制造出流线型极佳的车身壳体。玻璃纤维增强塑料车架如图 4-15 所示。



图 4-15 玻璃纤维增强塑料车架

5)碳纤维增强复合材料

碳纤维增强塑料具有质量轻、高强度、高模量、减摩耐热、热导率大、自润滑、耐腐蚀、抗冲击性好、疲劳强度大等优越性能,在现代汽车工业中的应用将越来越广泛,其基体材料有各种树脂、碳、金属、陶瓷。



碳纤维增强复合材料是汽车覆盖件最理想的非金属材料,在减轻车身质量的同时,也能保持防撞性能;零部件的集成化、模块化、总装成本低、投资小,避免了传统车身的喷涂过程和相应的环保处理及成本。碳纤维增强复合材料不仅比钢材轻,而且具有很好的能量吸收性能。但其有承载各向异性的问题,即承载零部件在各个方向上的能力有所不同。

碳纤维增强复合材料是汽车工业中大量使用的增强材料,图 4-16 所示为碳纤维轮毂和碳纤维方向盘。要使汽车轻量化、发动机高效化、车型阻力小等,都要求轻型结构材料。碳纤维增强复合材料主要可用于制造发动机系统中的推杆、连杆、摇杆、水泵叶轮,传动系统中的传动轴、离合器片、加速装置及罩等,底盘系统中的悬置件、弹簧片、框架、散热器等,高压泵及液压系统的动力密封装置,车体上的车顶内外衬板、地板、侧门等。宝马在 i3、i8 和全新一代 7 系上量产碳纤维车身。

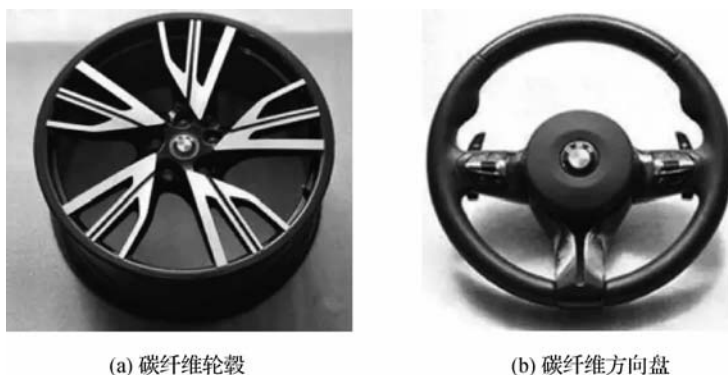


图 4-16 碳纤维零部件

碳纤维增强复合材料成本较高,制约了其在汽车工业的应用和推广,目前主要用于一些小批量的高档轿车及赛车的生产制造中。要扩大其在汽车领域的应用,必须开发低成本快速成型技术,建立数据库和提高复合材料的回收利用率。

6) 陶瓷材料

精细陶瓷是目前在应用上仅次于金属材料和工程塑料、汽车业正在大力发展的第三大类材料。它具有强度高、硬度大、耐腐蚀、耐磨性好、耐热冲击、抗氧化等优点。这些优点决定了其可以用于汽车上产生热量较多、工作温度和环境比较苛刻的零部件的制造,如发动机燃烧室零部件的制造。它可以提高发动机功率,降低油耗,节约能源,间接发挥了轻量化功效。这样一种轻质高性能材料在汽车上的应用还不多,但其在汽车上的应用研究已经很多。现在已经有高性能车生产厂家(法拉利、兰博基尼等)将其应用于制动片的制造。

三、结构优化设计

汽车车身在满足使用性能和安全性能的前提下,采用优化创新的设计理论与方法,从汽车结构上运用先进的设计理念或者从材料上运用新开发的先进材料,合理优化减小零部件的厚度、去除零部件冗余材料、减少零部件搭接结构、改变零部件结构,使零部件的数量大大减少,或通过材料的去除使质量变轻,从而从设计上实现汽车的轻量化,使汽车零部件的材料在空间合理分布,以获得最轻的结构,从而减轻汽车车身、各零部件(如发动机、承载件和内饰件)的质量。

结构优化设计以数学规划为理论基础,将设计问题的物理模型转换成数学模型,运用最优化数学理论,以计算机和商业软件为优化工具,在充分考虑多种约束的前提下满足设计目标。现在,结构优化设计在工程领域的设计方面已经得到越来越广泛的应用。

结构优化设计分为尺寸优化设计、形状优化设计和拓扑优化设计。其中,拓扑优化设计是在设计空间内寻求结构最佳的传力路径,对提高汽车零部件综合性能和减少汽车零部件数量的效果较其他优化更突出。

1. 尺寸优化设计

尺寸优化设计过程中,往往根据质量、强度等优化目标对板厚、梁截面及截面惯性矩等尺寸进行优化,使应力分布均匀化;而且,尺寸优化一般以汽车零部件的形状尺寸为变量,以满足各种工况下的刚度、振动、强度和吸能性等。汽车设计中线性静力学和线性振动问题可以使用传统的数值优化算法对轻量化直接进行设计,以线性弹性尺寸优化为基础的设计方法可以对汽车上使用的零部件进行优化并对汽车进行减重。

2. 形状优化设计

形状优化设计即通过适当改变制件的外形使结构更加均匀地受力,具体措施是对汽车结构整体或局部进行形状优化,从而使材料能够发挥出更大的潜力。工程师们一般利用有限元法来避免应力高峰,使应力分布尽可能均匀化。具体做法是向承受高负荷的部位储存或增强材料,在承受低负荷的部位减薄或去除材料。

3. 拓扑优化设计

拓扑优化设计即对指定设计空间的材料分布进行分析,通过拓扑算法自动得到最优化的动力传递路径,以达到尽可能多节省材料的目标。拓扑优化设计寻求材料在空间的最佳分布,被广泛承认是一种最具有应用价值的方法。常用的结构拓扑优化方法有均匀化方法和变密度法。

四、先进制造工艺

1. 3D 打印技术

3D 打印技术是一种通过逐层增加堆积材料来生成三维实体的快速增材制造技术,不但克服了传统减材制造产生的损耗问题,而且使产品制造更加智能化、精准化和高效。尤其是涉及复杂形状的高端制造,3D 打印技术显示出了巨大的优越性。随着高端制造业的发展,3D 打印技术受到高度关注,与机器人技术、人工智能技术一起被称为推动第三次工业革命的关键技术。

3D 打印技术由三个关键要素组成:一是产品需要进行精准的三维设计,运用计算机辅助设计(CAD)工具对产品全方位精准定位;二是需要强大的成型设备;三是需要满足制品性能和成型工艺的材料。3D 打印技术的最终发展是在高端制造领域的应用。受材料技术的限制,目前 3D 打印材料以塑料最为成熟。塑料材料具有可熔融的特性,在熔融状态下从喷头处挤压出来,通过凝固层层叠加最终形成产品。由于塑料材料良好的热流动性、快速冷却黏接性、较高的机械强度,其在 3D 打印制造领域得到快速的应用和发展。适合于 3D 打印的塑料材料有工程塑料、生物塑料、热固性塑料、光敏树脂和预聚体树脂、高分子凝胶等。

2015 年,美国亚利桑那州的汽车公司使用碳纤维增强型热塑性塑料打印了汽车座椅、车身、底盘、中心控制台、发动机罩等部件,最终组装成了一辆汽车,如图 4-17 所示。整辆汽



车的零件成本约 3 500 美元,制作周期为 44 h,最高速度可以达到 80 km/h。



图 4-17 3D 打印汽车

2. 激光拼焊技术

拼焊技术,即将经不同表面处理、不同钢种、不同厚度的两块或多块钢板通过一种焊接方法组合在一起,然后经冲压成型后获得高性能冲压件的技术。拼焊的目的主要是减轻车身质量、加强车身零部件局部抗腐蚀能力、提高强度和刚度。资料显示,在目前最新的钢制车身结构中,大约有 50% 采用激光拼焊技术制造。由于利用激光焊接技术生产的拼焊板具有巨大的优势,激光拼焊成为最流行的拼焊板生产方法。

近年来,激光拼焊技术发展迅速,在汽车上已经得到广泛应用,主要用于不同表面处理状态的零件整体成型,可以根据车身各个部位的实际受力和变形的大小,预先为各车身部件定制一块理想厚度的拼接板,从而达到节省材料、减轻质量且提高车身零部件性能的目的,并且能实现不同材料板材的焊接,从而进一步发挥其减重的潜力。其应用的典型零件如图 4-18 所示。在汽车中采用激光拼焊板材后,可使零件质量减轻 24%、零件数量减少 19%、焊点数量减小 49%、生产时间缩短 21%,因此,其应用量正在迅速增加。

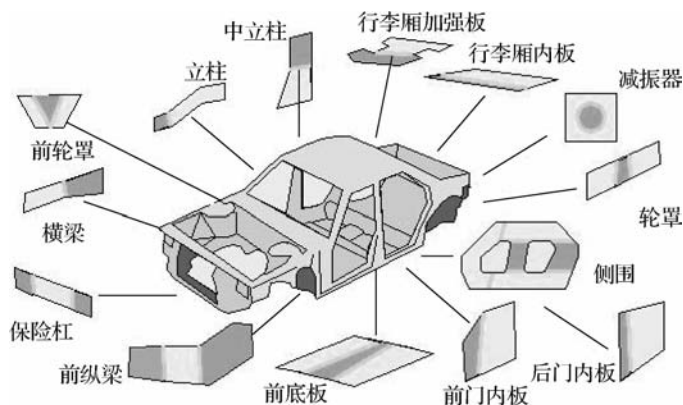


图 4-18 汽车车身激光拼焊技术应用的典型零件

激光拼焊技术具有很多优点,主要有以下几个方面。

(1) 减少了零部件数量。通过激光拼焊板的使用,将原来多个零部件冲压后再用点焊连接起来的工序转变成通过激光拼焊将多张钢板连接在一起后再将其冲压成一个零部件的工序,从而实现了一体成型,减少了大量冲压设备和模具的使用,简化了工序,并且提高了车身的装配精度。在这一方面的典型运用便是轿车的侧围板,某些车型在侧围生产中通过激光

拼焊将 5~6 张不同厚度的钢板连接成一个毛坯件,再冲压成一个零部件,从而大大减少了汽车厂冲压工序和模具数量。

(2)减轻了零件质量。由于采用不同厚度钢板进行拼接,对不承受载荷或承载较小的部位可采用比原先更薄的钢板,从而减轻了车身的整体质量。

(3)提高了车身耐蚀性。采用不同表面处理的钢板进行拼接,使一些受腐蚀较严重的部位可选用更耐蚀的镀锌钢板和其他合金镀层板。

(4)提高车身安全性。这也是汽车结构件采用激光拼焊板最重要的原因之一。由于采用连续的激光焊接代替不连续的点焊,使车身结构刚性和可靠性大大提高。同时存有碰撞要求的部位,使用高强度钢或厚板,而在要求低的部位使用低强度钢或薄板,从而大大提高了汽车零部件抗碰撞的能力。也就是说,激光拼焊实现了高强度要求部位与低强度要求部位的有效组合。

3. 液压成型技术

液压成型技术虽然有着悠久的历史,但并未得到大规模应用。随着计算机技术的发展及对车身轻量化、高质量和环保等的要求,液压成型技术逐渐得到工程师的重视。

液压成型是指采用液态的水、油作为传力介质,代替刚性的凹模或凸模,使坯料在传力介质的压力作用下贴合凸模或凹模成型。由于用液体代替模具,不但减少了模具数量,降低了费用,还提高了产品质量和成型极限。它是一种柔性成型技术,可以成型那些强度高、形状复杂、成型性差的零件。

液压成型工艺应用范围广,能成型碳钢、不锈钢、铝合金、钛合金、铜合金、镍合金等用于冷成型的材料,可以实现车身轻量化设计。

液压成型技术分为板材液压成型技术和管材液压成型技术。目前,在汽车领域应用较多的是管材液压成型技术,图 4-19 所示为排气管液压成型产品。



图 4-19 排气管液压成型产品

4. 热成型技术

随着在汽车车身中新材料的应用,高强度钢板和超高强度钢板都得到了很好的应用。用高强度和超高强度钢板来制造车身结构件,既可以减轻车体质量,又能提高碰撞安全性。但高强度和超高强度钢板的屈服强度都较高,一般认为屈服强度为 210~250 MPa 是高强度钢板,屈服强度大于 550 MPa 是超高强度钢板,而钢板的成型性能和材料的屈服强度有关,屈服强度大的钢板不容易变形,而且在冲压成型后容易产生回弹现象。

热成型技术是将热处理技术(淬火)与冷冲压相结合的制造工艺,可以成型强度超过 1 600 MPa 的超高强度钢板。高强度钢板热成型(热冲压)技术越来越受到工业界的关注。热成型技术的优势是:能够成型强度高达 1.5 GPa 的复杂承载零部件;高温下,材料塑性、成



型性好,能一次成型复杂的冲压件;高温下成型能消除回弹影响,零件精度高,成型质量好。热成型工艺是冲压成型领域的前沿技术,可广泛应用于汽车前、后保险杠,A柱、B柱、C柱,车预构架、车底框架及车门内板、车门防撞杆等构件的生产。

热成型钢是指将钢板经过 950 °C 左右的高温加热后一次成型,又迅速冷却加工而成的一种具有超高屈服强度的钢。采用这种成型工艺制成的热成型钢板,其屈服强度可达到 1 000 MPa 以上,且能承受 1 MPa 以上的压强。当采用热成型钢板制造车身时,在车身质量几乎没有太大变化的情况下,车身的承受力提高了 30%,使汽车的刚度、强度达到一个全新水准。热成型钢板主要有以下几个方面的优点。

(1)极高的材料强度及延展性。一般的高强度钢板的抗拉强度为 400~450 MPa,而热成型钢材加热前抗拉强度就已达到 500~800 MPa,加热成型后则提高至 1 300~1 600 MPa,为普通钢材的 3~4 倍,其硬度仅次于陶瓷,但又具有钢材的韧性。因此,由热成型钢板制成的车身极大地提高了抗碰撞能力和整体安全性,在碰撞中对车内人员会起到很好的保护作用。这方面比较典型的例子是迈腾轿车中热成型钢板的应用,如图 4-20 所示。



图 4-20 迈腾轿车热成型车身

(2)有效减轻整车质量,降低能耗。由于热成型钢板具有极高的材料强度,因此在设计时可以用一个热成型零件代替多个普通零件。如速腾车前后门中间的 B 柱,由于采用了热成型钢板则不再需要加强梁,在保证强度的情况下减少了 5 个零件,质量减少约 4.5 kg,自然减少了汽车的油耗,对缩减车主的使用成本也起到了辅助作用。迈腾车采用热成型钢板后,在同等车身强度前提下,可以使车身减少 20 kg 的质量,使得整车动力性和燃油经济性有更佳的表现。

(3)具有很好的材料成型准确度,消除材料回弹的影响,可实现复杂形状的设计。由于热成型钢板的特殊性质,并且是加热后成型,因此可以在一道工序完成普通冷冲压成型需多道工序才能完成的复杂形状。一次成型的工艺好处在于可以确保钢板在加工过程中,钢板内部纤维流向不必受到二次受力的冲击,保证钢板保持最好的强度和韧度,而且在零件成型后进行快速冷却,零件成型后的回弹量很小,极大地提高了材料成型准确度,为下一步的车身焊接打下良好的基础。

基于上述优点,热成型钢板在车身制造中具有很大的应用潜力,图 4-21 所示为热成型钢板在车身上的应用。



图 4-21 热成型钢板在车身上的应用

热成型工艺分为两种:直接成型工艺和间接成型工艺。直接成型工艺是指直接对板材进行冲压,主要用于形状结构较简单的汽车零件;间接成型工艺是指先将板材在加热之前进行一次预成型处理,然后在具有冷却系统的模具内进行快速冲压,主要针对那些由多块板材组合而成的、形状复杂的、变形程度较大的零件的深拉伸。

5. 黏合技术

汽车胶黏剂是在汽车制造过程中用于零部件生产、整车制造和汽车维修等领域的各种黏结剂和密封胶。汽车工业中几乎涵盖所有类型的胶黏剂,而且应用范围越来越广,整车用量也越来越高。常见胶黏剂如图 4-22 所示。



图 4-22 常见黏胶剂

轻质金属、复合材料和塑料在汽车上的应用使得汽车用胶黏剂和密封胶的用量持续增长。结构黏合剂多利用环氧树脂、橡胶、丙烯酸酯和聚氨酯等,由于环氧树脂优异的机械性能和耐老化湿热性能,目前多选用增韧环氧树脂来开发车用结构黏合剂。

采用黏合技术可以提高驾乘的舒适性、降噪、减振、减轻质量、降低能耗、简化工艺、提高产品质量,达到其他连接方法所难以达到的效果。使用结构黏合剂可增加车身的刚度。和点焊工艺相比,黏合技术能够从点连接扩展到面连接,这有助于消除应力集中点并减少焊点受力,达到增加车身耐久性的目的。2018 款本田奥德赛车身研发主管 Nicholas Goldsberry 提及第五代奥德赛在使用长达 44 m 的结构黏合剂后节约了 5 kg 的额外冲压件和增强材料,而车辆的扭转刚度提高了 10%。其次,使用结构黏合剂可以提升车身的噪声与震动(NVH)性能,原因在于结构黏合剂可填充钣金件中的空隙。奇瑞工程师团队曾通过计算机仿真分析,利用结构黏合剂车身质量只增加了 0.44 kg,但白车身整体扭转模态提高了 0.74 Hz,整体弯曲模态提高了 0.98 Hz,扭转刚度提高了 12.4%,弯曲刚度提高了 12%。并且在使用了结构黏合剂之后,白车身的一阶扭转应变能分布更为均匀,减少了应变能集中的区域,有利于车身结构载荷的分布。

汽车车体结构的黏接部位包括车身、顶棚、车门和座椅等,如图 4-23 所示。

江森自控公司依靠黏合技术方面的进步实现铝材和钢材混合使用。结合其他措施,公



司成功地为后排座椅靠背框架减重 34%，如图 4-24 所示。一直以来，后排座椅靠背框架都采用钢材制成，主要是为了获得材料稳固特性。江森自控考虑为座椅框架结构混合使用钢材和轻质铝材的计划已经酝酿许久，不过怎样将两种材料稳定地结合在一起并且满足各方面的安全需求，形成了铝-钢座椅框架诞生的障碍。



图 4-23 汽车车体结构的黏接部位



图 4-24 铝-钢黏合座椅

除了用铝材替换部分钢材之外，钢制椅背板将厚度从 0.6 mm 减至 0.4 mm，进一步减重 4%。座椅采用模块化设计，能够很好地适应多种车型内部的安装需求。新黏合剂不仅适用于铝-钢，还可用于塑料、天然纤维等其他材料；该技术还与其他接合技术兼容，如铆接、钉接、焊接等，同时满足耐用性、结构强度和碰撞稳定性等各方面的要求。因此，江森自控还着眼于将该技术用于其他零部件，同时获得质量和包装上的优势。

随着汽车向环保节能、安全舒适、轻量化、低成本、长寿命和无公害方向发展，新型高品质汽车黏合剂的开发和应用必将越来越重要。据统计，目前我国每辆轿车用胶约 20 kg，中型车约 16 kg，重型车约 22 kg。2022 年，我国汽车工业对各种类型的黏合剂和密封胶的总需求量已经超过 12 万吨，其中聚氨酯胶约 1 720 t。聚氨酯胶在汽车中主要用作风窗玻璃胶、结构胶、滤芯胶和内饰胶。

第四节 新能源汽车

知识目标

- 理解新能源汽车的定义，掌握新能源汽车的分类；
- 了解新能源汽车充电的技术原理。

技能目标

- 能够对不同类型的新能源汽车进行技术对比，分析其优缺点及适用场景；
- 能够通过故障台架，掌握新能源汽车的基本维护与故障诊断技能。

素养目标

- 能够认识到新能源汽车对环境保护的重要性,树立可持续发展的理念;
- 生能够关注新能源汽车领域的前沿技术,培养创新意识与探索精神;
- 能够理解新能源汽车推广对社会的影响,增强社会责任感,积极参与相关领域的实践与推广活动。

全球能源和环境面临着巨大的挑战,汽车作为石油消耗和二氧化碳排放大户,需要进行革命性的变革。发展新能源汽车已经在全球范围内达成了共识。从长期来看,包括纯电动、燃料电池技术在内的纯电驱动将是新能源汽车的主要技术方向;在短期内,油电混合、插电混合动力将是重要的过渡路线。我国发展新能源汽车,是应对节能降排重大挑战的需要,同时也是汽车产业跨越式发展和提升国际竞争力的需要。欧美国家及日本都把发展新能源汽车作为战略制高点来考虑,国家投入力量加强产业的发展。我国传统汽车领域和国外相比还比较落后,但在新能源汽车方面,我国和发达国家站在同一起跑线上。

开发新型能源汽车的目的是减少能源消耗,用新能源取代有限的石油燃料,减少并最终消除汽车对大气环境的污染。

在政策和市场的双重作用下,2022年我国新能源汽车依然保持爆发式增长,全年产销量分别完成705.8万辆和688.7万辆,同比分别增长96.9%和93.4%,连续8年位居全球第一。同时,新能源汽车的市场占有率达到25.6%,高于2021年12.1个百分点。2013—2022年新能源汽车销量和增长率如图4-25所示。



图 4-25 2013—2022 年新能源汽车销量和增长率

一、新能源汽车的定义与分类

新能源汽车(new energy vehicles)是指采用非常规的车用燃料作为动力源,或者使用常规的车用燃料但是采用新型的车载动力装置,综合车辆驱动和动力控制方面的先进技术,形成技术原理先进,具有新结构、新技术的新型汽车。

我国对新能源汽车没有统一的界定,但比较权威的说法有以下两种。

(1)2009年6月17日,工业和信息化部制定的《新能源汽车生产企业及产品准入管理规则》中对新能源汽车的界定。此规则界定新能源汽车是指采用非常规的车用燃料作为动力来源(或使用常规的车用燃料,采用新型车载动力装置),综合车辆的动力控制和驱动方面的先进技术,形成的技术原理先进,具有新技术、新结构的汽车。如图4-26所示,新能源汽车包括混合动力汽车、纯电动汽车(包括太阳能汽车)、燃料电池汽车、氢能源汽车和其他新能源(如液化石油气、燃气)汽车等。

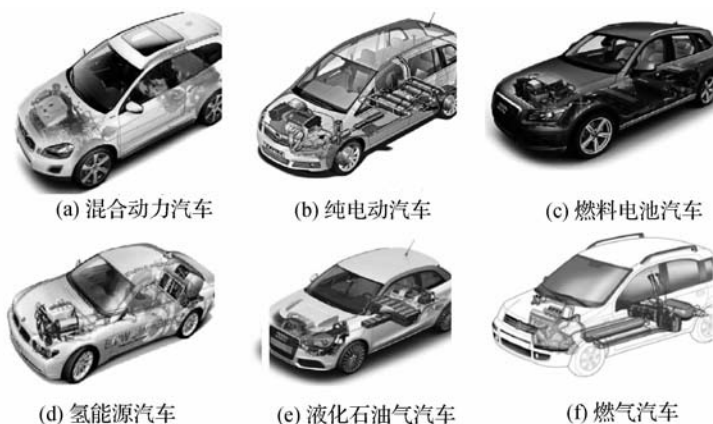


图 4-26 2009 年新能源汽车分类

(2)2012 年 7 月 9 日,国务院发布的《节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020 年)》中对新能源汽车的界定。此规划界定新能源汽车是指采用新型动力系统,完全或主要依靠新型能源驱动的汽车。此规划中所指新能源汽车主要包括纯电动汽车、插电式混合动力汽车及燃料电池汽车,如图 4-27 所示。



图 4-27 2012 年新能源汽车分类

1. 混合动力汽车

混合动力汽车(hybrid electric vehicle, HEV)是指配置了两个或者两个以上动力源、能量转换或储存元件的汽车,如图 4-28 所示。HEV 技术中最典型的代表是丰田的 THS,这是目前最为成熟的混合动力技术。此外,市场上比较成熟的 HEV 技术还有本田的 i-MMD,国内混动版的雅阁、思铂睿、CR-V 都采用了该技术。另外,讴歌 CDX 混动车型也使用该套混合动力系统。

HEV 是传统内燃机汽车和电动汽车的有效组合,它继承了电动汽车低排放的优点,又保持了石油燃料比能量和比功率高的长处,因而能显著改善传统内燃机汽车的排放和燃油经济性,增加电动汽车的续航里程,在由燃油汽车向纯电动汽车的转变过程中起着承上启下的作用。作为传统燃油汽车与纯电动汽车的过渡产品,HEV 已经成为世界范围内新型环保

车辆开发的热点,在节能环保汽车开发过程中更有利于市场化、产品化,具有很好的发展前景和市场潜力。

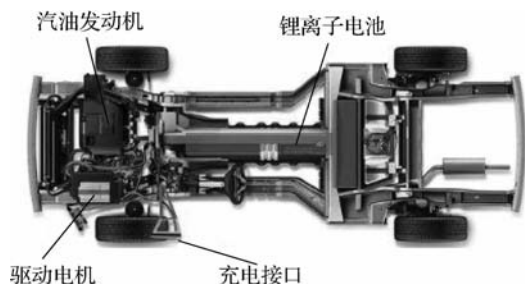


图 4-28 混合动力汽车

一般来说,混合动力汽车是由发动机和相应的能量储存元件通过先进的控制系统进行能量管理、制动及惯性能量回收的新型汽车。混合动力汽车具有投资少、布置灵活、对传统汽车动力传动系统改动较小的特点,作为一项在短期内可以有效降低汽车能源消耗和尾气排放的汽车新技术已经成为世界各国政府、企业和科研机构汇聚的焦点。油电混合动力汽车由两个动力源组成——发动机与电机,使用蓄电池作为其能量储存元件,将发动机、电能转换装置结合在一起,依据车辆行驶工况的不同采用适当的控制策略,可以使它们之间进行良好的匹配和优化控制。

当前一般的混合动力汽车采取的是由内燃机加上一个蓄电池电机组成的动力系统,即插电式混合动力汽车。通过选择较小发动机来满足整车平常大多数情况下的功率需求,而当汽车运行出现极限工况时,驱动则由两个动力共同完成。由于发动机较小,一方面本身就可以降低其能量消耗与改善排放性能;另一方面可大大提高发动机本身的工作负荷率,从而改善整车效率与排放性能。同时,电机的加入可以减少内燃机怠速工况(发动机可通过电机自动控制瞬间起停)。并且,电机与发动机之间工作点可以相互进行补充,即可用电机调节发动机工作在高效区域。另外,电机还可对制动能量进行回收,以提高整车经济性能。

混合动力汽车依据动力传动系统的结构配置形式可分为串联式混合动力汽车、并联式混合动力汽车和混联式混合动力汽车等。

1) 串联式混合动力汽车

串联式混合动力汽车(series hybrid electric vehicle, SHEV)的主要特征是发动机、驱动电机、电池组及其传动系统在结构上呈直线排列形式,即驱动系统的三大动力总成——发动机、发电机和驱动电机是以串联的形式组成的,如图 4-29 所示。相对于传统汽车而言,串联式混合动力汽车的辅助发动机不直接参与汽车的驱动,它与发电机组成辅助动力单元(APU),只做电能的供应。

当车辆动力电池电量不足时,辅助发动机可以在稳定工况区域运行。辅助发动机的机械能通过发电机转化为电能,产生的电能一分为二:一部分给动力电池充电,另一部分则给驱动电机带动车辆行驶。动力电池是该类型车的主要动力源,多数情况下车辆的能量是由它提供的,辅助发动机只有当电池的剩余电量超过规定的下限值时才得到控制系统发出的控制信号开始工作,为蓄电池和驱动电机提供电能。因此,和传统燃油汽车比较,它的发动机的主要目的是增加行驶里程,故又称增程式混合动力汽车。

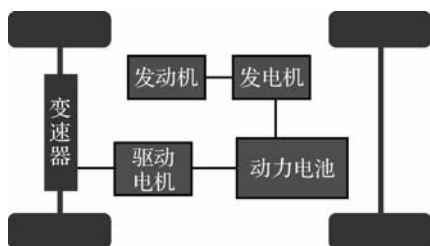


图 4-29 串联式混合动力汽车结构

(1)串联式混合动力汽车的优点。发动机与驱动轮没有机械上的连接,而仅作为发电机发电的辅助动力源。发动机可以设置在最佳工况下工作,并且始终稳定运行,从而提高了效率,大大降低了油耗,所以相对传统混合动力汽车而言,其燃油经济性和排放性能更好。其结构比较简单,所以和其他结构形式的混合动力汽车相比,其在系统控制上也是最简单的,发电机的工作与否主要根据动力电池的剩余电量(SOC)和车辆的运行工况来决定。

(2)串联式混合动力汽车的缺点。驱动电机和动力电池的质量较大。为了满足汽车行驶的各项性能指标,驱动电机的功率必须能够克服汽车行驶过程中的各种阻力功率之和,驱动电机的功率需求较大,因而所配备的动力电池的组数也很多。发动机产生的机械能通过发电机转化成电能,此过程中必然会损失掉部分能量,造成能量损失。

2) 并联式混合动力汽车

并联式混合动力汽车(parallel hybrid electric vehicle, PHEV)的主要特征是发动机和电动机是相互独立的,即在结构上呈并列形式,如图 4-30 所示。在驱动模式上有三种:发动机单独驱动;电动机单独驱动;发动机和电动机联合驱动。在实际操作过程中各自的离合器控制着驱动模式间的转换。当车辆在低功率状态下运行时,可以关闭发动机,利用电动机进行驱动,这一点与串联结构形式一样;在中高速平稳运行时,可以关闭电动机,只利用发动机进行驱动,此时发动机运行在高效区,其动力性、经济性都非常好,其富余的功率还可以通过动力复合装置和发电机转换为电能,对动力电池进行充电;在高速运行或加速时,可以利用动力复合装置对发动机和电动机的输出动力进行叠加,以此来满足此时对动力的要求。

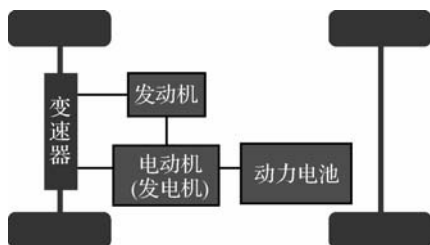


图 4-30 并联式混合动力汽车结构

相比串联结构,并联结构改进了串联系统最大功率不足的缺陷,但也导致其结构更加复杂。由于增加了电动机辅助功能,相比传统汽车来说,由于电动机低速起动可产生大扭矩,因而可以优化内燃机汽车起步、加速和怠速等工况,使得发动机燃油经济性和排放性都得到

很大的提高。并联型动力系统可以关闭效率较低、需经常对动力电池进行管理的电路部分,从而使系统具有更好的经济性。

(1) 并联式混合动力汽车的优点。并联式混合动力汽车的动力源有两个(发动机和驱动电机),在结构布置上发动机和电动机是相互独立的,因此各动力总成的功率可设计得较小,一般为车辆总需求功率的 50%~100%,驱动电机的质量和体积要比串联式小得多。发动机可直接对驱动电机进行驱动,功率损耗较少,故发动机功率利用率较高。当车辆加速或爬坡需要输出大功率时,驱动电机可以为汽车提供辅助动力,故在进行动力系统匹配时对发动机额定功率的选择可以适当缩小,这样不仅在使用中增大了发动机的负荷率,使得整车的燃油经济性和排放性能大为改善,而且使得整车的成本进一步降低。

(2) 并联式混合动力汽车的缺点。在汽车尾气排放方面并联式比串联式要差,其还具有和传统汽车一样的问题,即工作稳定性较差。传动系统各部件,如离合器、变速器等还是需要的,此外还要加上驱动电机、蓄电池、动力耦合器等部件,这造成动力系统结构非常复杂,在整车上的布置较为困难。这也导致并联式混合动力汽车的电控系统非常复杂。

3) 混联式混合动力汽车

混联式混合动力汽车的结构最能体现 HEV 系统的最优化思想,同时也是最复杂、形式最多样和研究难度最大的结构形式。混联式混合动力汽车(PSHEV)综合了 SHEV 和 PHEV 的结构特点。如图 4-31 所示,其动力系统一般由发动机、电动机/发电机、驱动电机三大动力总成组成。复合形式多种多样,目前采用比较广泛的是行星齿轮复合形式,即将动力源发动机的扭矩按比例进行分配,分配后的扭矩将加载到发电机和驱动电机的齿圈上(齿圈的扭矩将与驱动电机扭矩同时驱动车辆行驶),同时发动机转速和发电机、驱动电机转速及车速之间满足一定的等式关系。这种结构形式充分利用了行星齿轮系上各个部件多自由度对发动机的稳定工作和运行状态具有的促进作用,同时可以减小车速变化对其的影响,这样发动机就能在最佳状态下进行稳定工作。此外,其能量转化和利用效率比串联式和并联式高得多,而且能实现较好的制动能量回收,目前被认为是较为理想的混合动力形式。混联式结构更加省油,而且控制模式可自由切换,整套系统不仅动力性、经济性好,而且车辆的平顺性、稳定性和可靠性高。

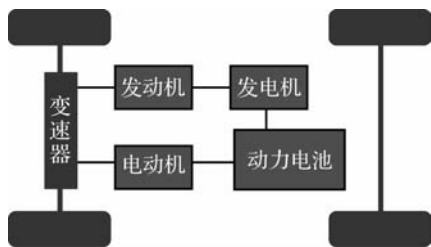


图 4-31 混联式混合动力汽车结构

如图 4-32 所示,混联式具有四种工作模式:纯电模式、纯油模式、混合模式和充电模式。纯电模式时,发动机关闭,动力电池为电动机供电,驱动车辆行驶。该模式多用于中低车速,也有部分车型可以实现高速巡航。纯油模式时,发动机起动,驱动车辆行驶,并带动发电机发电,为动力电池充电。混合模式时,发动机、电动机和发电机同时开启,一边驱动车辆一边充电。该模式也多用于爬坡、急加速及其他高负荷工况下。充电模式时,发动机不驱动车辆



行驶,仅仅带动发电机发电,此时车辆依靠电动机驱动,相当于串联结构的车。当车速提高后,发动机开始介入,即进入混合模式。

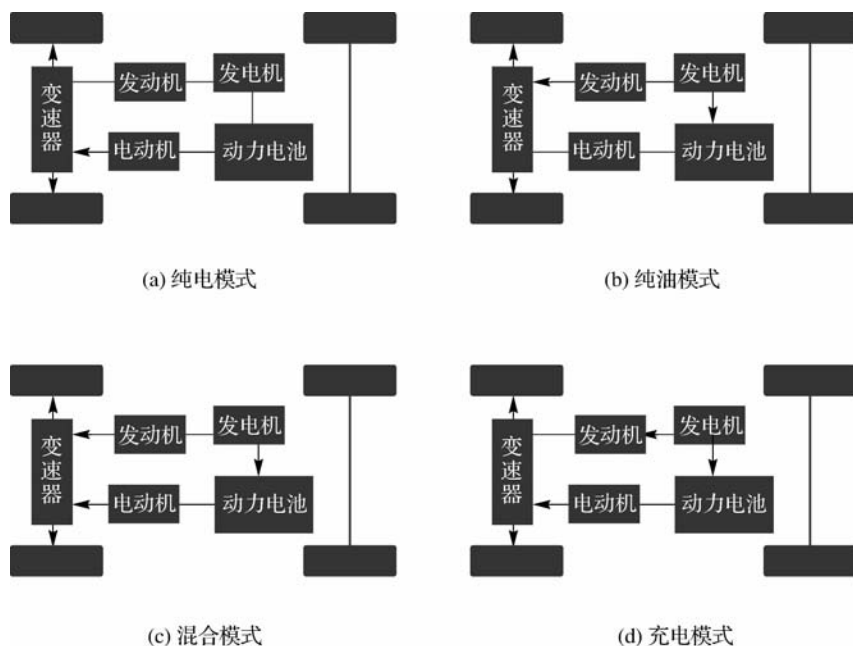


图 4-32 混联式工作模式

(1)混联式混合动力汽车的优点。

①混联式混合动力系统具有并联式系统的所有优点,即各动力总成功率率和体积较小,负荷率较高,有利于提高功率的利用率。

②混联式混合动力系统具有串联式系统的所有优点,有多种驱动模式可供选择,系统综合性能较好。

③混联式混合动力系统能量的综合利用效率较高,车辆起步时,可发挥电动机低速大扭矩的特性,在市区行驶时可实现零污染;高速或爬坡等需要较大功率输出时,可直接采用发动机驱动。

(2)混联式混合动力汽车的缺点。

①因为车辆行驶过程中运行工况是随时发生变化的,所以发动机仍然无法摆脱某一特定行驶工况的影响,相对于串联式车而言,其排放性仍然是需要解决的问题。

②混联式混合动力系统因为融合了串联式系统和并联式系统的特点,整个系统的复杂程度不言而喻,所以动力系统在整车的布置和控制上非常复杂,对技术成熟度的依赖程度非常高,故混联式混合动力系统能够稳定运行的可靠度较差。

③混联式混合动力系统在实现串联和并联模式的切换上是很复杂的,因此对控制系统和控制策略提出很高的要求。

HEV 三种结构形式的特点比较见表 4-3。

表 4-3 HEV 三种结构形式的特点比较

类型	发动机	电 池	传递效率	环境污染	其 他
串联式	可选择范围广,工作比较稳定,排放性和经济性较好	容量大,能够持久供电	能量损失较大	污染小,噪声较低	动力装置功率较大,动力电池质量大,设备规模较大
并联式	可选择范围广,排放和经济性较差,效率较低	电容量比串联式的小(约为 1/3),对电池要求较低	动力直接传到车轮上,能量损失较少,利用率高	污染大,噪声较大	发动机和发电机两大动力总成,所以可以省去发电机
混联式	可选择范围比较广,排放性能和经济性介于串联式和并联式之间	对电池要求不高,依赖较小,不需要外置充电系统	综合了串联式和并联式各自的特点,能量利用率较高	介于串联式和并联式之间	发动机和电动机尺寸和功率均较小,可实现不同驱动方式的切换

2. 插电式混合动力汽车

插电式混合动力汽车(plug-in hybrid electric vehicle, PHEV)利用电网中的电能为电动车提供动力,使得燃料消耗更低,节能减排效果显著,被认为是一种当前最易接受的、市场前景乐观的混合动力汽车。插电式混合动力汽车特别适用于城市内及城郊等一些道路情况较好的地方,在频繁起步和低速运行工况中,使发动机避免了怠速和低速运转的工况,从而提高了发动机的效率。

普通混合动力汽车的电池容量很小,仅在起/停、加/减速时供应/回收能量,不能外部充电,不能用纯电模式较长距离行驶;而插电式混合动力汽车的电池相对比较大,可以外部充电,可以用纯电模式行驶,电池电量耗尽后再以混合动力模式(以内燃机为主)行驶,并适时向电池充电。

如图 4-33 所示,简单来说,相比普通混合动力汽车,插动式混合动力汽车能够外接充电。电动机功率要足够大(一般需要大于 50 kW),确保汽车能够以较高的速度行驶。电池容量也要大很多。

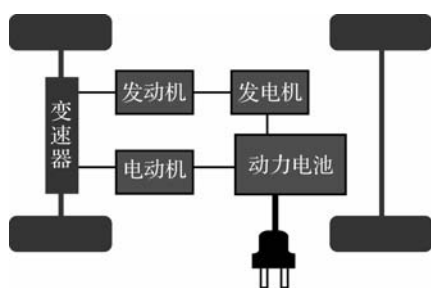


图 4-33 插电式混合动力汽车结构

插电式混合动力形式可以应用前面所述的三种混合动力结构形式中。插电式混合动力汽车在相对较短里程内(城区或城郊)能够真正实现零排放,电池在电量达到规定下限值后,辅助的小型发动机开始工作,并带动发电机发电,向电池和驱动电机供电,实现增程的目的。这种形式解决了当前电动汽车电池容量有限、行驶里程短的问题。

插电式混合动力汽车的百公里综合油耗更低,图 4-34 所示为普瑞斯插电式混合动力汽车,在纯电模式下可以行驶 30 km,使得百公里油耗低至 2 L,比混动版节油约 3 L(普锐斯混动版和凯美瑞混动版油耗相当)。而且充电时间也不长,一般数小时即可充满。如果能够保持良好的充电习惯,用车费用直追纯电动汽车,并且无须担心续航问题。



图 4-34 普瑞斯插电式混合动力汽车

1) 插电式混合动力汽车的优点

(1) 为纯电动汽车在小的区域范围内得到大面积普及提供了可能,也是在现有电池技术上一个新的跨越。由于采用插电式充电方式,可以方便快捷地利用城市电网为车辆充电。

(2) 这种动力模式特别适合于城市上下班的车辆,白天可以使用车辆,而晚上可以利用深夜用电低谷时段对电池充电,合理地改善了电厂的发电机组效率,提高了电能的利用率。

(3) 车辆可以在工作日上下班较短里程内实现纯电动驱动模式,发动机不工作,排放为零;而在休息日出门游玩时则可以利用辅助发动机的增程作用来实现较远途的旅程。

(4) 单从我国来说,用电比用油便宜得多,可以大幅降低车辆的使用成本,所以插电式混合动力汽车更具有市场前景。

2) 插电式混合动力汽车的制约条件

(1) 插电式混合动力最突出的优势就是可以利用城市电网为车辆进行充电,这样可以减少石油资源的使用。因为车辆是一种使用频率非常高的工具,电池的充放电也非常频繁,所以插电式混合动力车对蓄电池性能和容量的要求较高。

(2) 现在国内基础设施还不是很完善,插电式混合动力汽车技术还不是很成熟。同时,充电站并不像传统加油站那样全国都有,可以随时充随时走,这使得插电式混合动力汽车的推广普及受到影响。

(3) 由于插电式混合动力汽车对电池性能要求高,而高性能电池的价格也是造成目前市场电动汽车价格高昂的主要原因。

3. 纯电动汽车

纯电动汽车(battery electric vehicle, BEV)是指以镍镉电池、铅酸电池或锂电池等蓄电池或其他能量储存装置提供电能,由电动机提供车辆行驶动力的汽车,如图 4-35 所示。有一部分纯电动汽车把电动机装在发动机舱内,也有一部分纯电动汽车直接以车轮作为 4 台电动机的转子,其储存电能装置的能量只能来自外部电源。

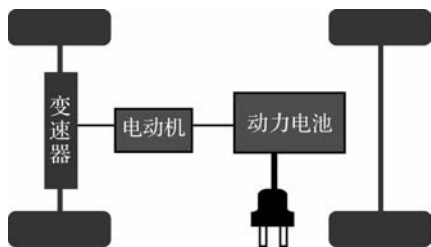


图 4-35 纯电动汽车结构

BEV 的代表有特斯拉的各种车型、日产轩逸、比亚迪和吉利等,其结构相对简单。目前一般采用锂电池,也有两种方案:三元锂电池和磷酸铁锂电池。三元锂电池能量密度比磷酸铁锂电池高不少,但是安全性不如后者。一般来说,乘用车倾向于采用三元锂电池,而商用车用磷酸铁锂电池更合适。

纯电动汽车消除了车辆行驶过程中的尾气排放,随着蓄电池储能技术向着轻量化、低成本、增加充放电次数及使用寿命的方向发展,纯电动汽车有着较为广阔的应用前景。

目前,纯电动汽车主要有以下两类。

(1)城市纯电动汽车(urban electric vehicle, UEV)。这类车的车速和续驶里程都较低,适合于城市短距离交通,主要车型是小型纯电动汽车和城市公交车。目前国内主要汽车厂家,如一汽、上汽、北汽、江淮、东风、奇瑞等生产的主要是城市纯电动汽车,动力电池以锂电池为主。而一些民营企业,由于生产资质不健全,大多没有生产乘用车的资质,主要生产老年代步车、电动观光车、轻型电动车等小型低速电动车,动力电池以铅酸电池为主。

(2)全纯电动汽车(all electric vehicle, AEV)。这类汽车装有足够容量的动力电池,车速和续驶里程基本可以满足日常较远距离的行驶要求,如美国的特斯拉,车速可达到高端跑车的水平。特斯拉 Model S 省去了汽油机、油箱、变速器、传动轴等,这让车身结构变得空前简洁,几乎只分为底盘、车身两个部分。与国内大多数纯电动汽车不同的是,特斯拉的轮胎和电动机几乎融为一体,而整个底盘由电池组成,电池和框架紧密结合,刚性很好。85 kWh 的版本从静止加速到 100 km/h 仅需 5.6 s,最高速度可达 200 km/h,续航里程可达 425 km。在加速性能上,特斯拉 Model S 与宝马 740 相比毫不逊色。

纯电动汽车完全依靠电能驱动,使用成本是目前市售新能源汽车中最低的。由于结构简单,其周期性保养项目、保养费用也比普通汽车低很多,一般更换齿轮油、制动片即可。同时,纯电动汽车的安静程度也比普通汽车好很多,基本上无须刻意加装任何隔音装备,而且电动机具备低转速高扭矩的特点,使得其启动和加速性能也很好。

对于发展纯电动汽车而言,最大的障碍是基础设施建设及价格。与混合动力汽车相比,纯电动汽车更需要基础设施的配套,而这不是一家企业能解决的,需要各企业联合起来与当地政府部门一起建设。

4. 燃料电池汽车

燃料电池汽车(fuel cell electric vehicle, FCEV)是指以氢气、甲醇等为燃料,通过化学反应产生电流,依靠驱动电机为车辆提供行驶动力的汽车。图 4-36 所示为氢燃料电池汽车,其工作原理是使作为燃料的氢气在汽车搭载的燃料电池中与大气中的氧发生化学反应,产生电能驱动电动机,由电动机带动汽车中的机械传动机构,进而带动汽车的前后万向轴、后桥等机械结构,转动车轮驱动汽车。其核心部件燃料电池采用的能源间接来源是甲醇、天然气、汽油等烃类化学物质,通过相关的燃料重整器发生化学反应间接地提取氢;直接来源是石化裂解反应提取的纯液化氢。由于电池的能量来自氢气和氧气发生的化学反应,而非燃油燃烧,燃料电池的化学反应过程不会产生有害产物,因此燃料电池汽车是无污染的汽车。燃料电池的能量转换效率比内燃机要高 2~3 倍,因此从能源的利用和环境保护方面考虑,燃料电池汽车是一种理想的绿色新型环保汽车。

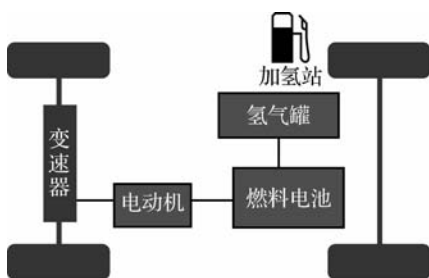


图 4-36 氢燃料电池汽车

近年来,燃料电池技术已经取得了重大的进展。世界著名汽车制造厂,如戴姆勒、福特、丰田和通用等已经宣布,将燃料电池汽车投向市场。目前,燃料



电池汽车指的就是氢燃料电池汽车。但是燃料电池汽车(FCEV)的成本高昂,除了车辆构造更复杂之外,氢本身的生产、运输、储存都有相当的难度,因此一般认为 FCEV 未来会和纯电动汽车共存。

2015年,丰田在美国推出的 FCV MIRAIE 车型成为第一款量产的氢燃料电池汽车(见图 4-37),单次加满氢可行驶约 700 km。该车型在美国的售价为 57 500 美元起,提供与 4 缸汽车相媲美的动力性能。它的燃料电池组位于前排座椅下,0~96 km/h 加速时间在 9 s 左右,最大续航里程约 300 英里(480 km),而加氢时间可与传统汽车的加油时间相媲美。



图 4-37 丰田 FCV MIRAIE 车型

燃料电池汽车被誉为人类交通的最终解决方案,不只是因为它具有普通纯电动汽车的优势,还是因为氢气和氧气无穷无尽,并且加氢和加油一样便捷,没有任何污染。不过目前氢气的产量并不理想,存储难度较大,成本比较高,而建设加氢站的成本也远比加油站和充电站高,并且高压存储的氢气的安全性有待考验。

二、插电式混合动力汽车技术路线

插电式混合动力汽车(plug-in hybrid electric vehicle,简称 PHEV),就是介于纯电动汽车与燃油汽车两者之间的一种新能源汽车,既有传统汽车的发动机、变速器、传动系统、油路、油箱。也有纯电动汽车的电池、电动机、控制电路,而且电池容量比较大,有充电接口;它综合了纯电动汽车(EV)和混合动力汽车(HEV)的优点,既可实现纯电动、零排放行驶,也能通过混动模式增加车辆的续航里程。

与非插电式混合动力汽车相比,插电式混合动力汽车的电池容量更大,可以支持行驶的里程更长,如果每次都是短途行驶,有较好的充电条件,插电式混合动力汽车可以不用加油,当做纯电动汽车使用,具有纯电动汽车的优点。与纯电动汽车相比,插电式混合动力汽车的电池容量要小很多,但是其带有传统燃油车的发动机、变速器、传动系统、油路、油箱,因此在无法充电时。只要有加油站就可以一直行驶下去,行驶里程不受充电条件的制约。又具有燃油汽车的优点。

插电式混合动力汽车结合了传统混合动力汽车的优点,在提供较长的续航里程。但由于一辆车内要集成纯电动汽车和燃油汽车两套完整的动力系统,因此插电式混合动力汽车的成本较高,结构复杂,质量也比较大,相对于单纯的燃油汽车和纯电动汽车又有劣势。不过,在充电站大面积普及,充电时间大幅缩短之前,插电式混合动力汽车作为燃油汽车与纯电动汽车之间的过渡产品将长期存在下去。且在后补贴时期,政府补贴减少、消费者里程需求增加、电池成本降幅较小且车辆售价不能上涨,为插电式混合动力汽车提供了发展机遇但提升插电式混合动力汽车性能混动方案合理化、动力系统集成化、核心部件专用化和控制

策略创新等关键核心技术是亟待解决的问题。

按照电机驱动功率占整车功率的比例(亦可称为混合度),一般可将混合动力汽车分成微度混合动力(混合度在5%以内)、轻度混合动力(一般混合度在20%左右)、中度混合动力(混合度可达30%~40%)和重度混合动力(混合度达40%以上)。

1. 串联式插电式混合动力

串联式插电式混合动力又称为增程式。发动机不直接驱动汽车,需要先用发动机驱动发电机来发电,再供电动机来驱动汽车,能量传递链较长,总体效率不高。代表车型有宝马i3增程式。

2. 并联式插电式混合动力

该类型下发动机和电机均可驱动汽车,动力传动模式较多,动力性较好,结构简单,应用广泛,是主流的技术路线。代表车型有比亚迪唐DM。

3. 混联式插电式混合动力

混联式插电式混合动力又称为动力分流式。一般需要2台电机(一台发电机和一台电动机),同时需要一套用于动力分流的行星齿轮装置。该类型的结构和控制最为复杂。目前只有非常少数的制造商具备生产和制造该类型产品能力,且存在一定的专利壁垒。代表车型有丰田普锐斯。

2008年,比亚迪第一代插电混合动力汽车F3DM正式下线,成为当时全球的第一款量产插混新能源汽车;5年后的2013年推出第二代插混技术的车型比亚迪秦DM-i;2018年,推出第三代插混技术车型比亚迪唐DM;到如今,比亚迪的插混技术已经发展到第四代,拥有14年的历史沉淀和技术累计,才成了现在的比亚迪DM-i超级混动技术。

目前市面上在售的比亚迪插混车型,搭载的都是比亚迪DM-i超级混动技术,从市场的销量反馈来看,比亚迪DM-i超级混动技术已经形成了“一家独大”的局面,其余的合资品牌汽车和自主品牌车企暂时难以撼动比亚迪的地位。根据公开的资料显示,丰田等车企也将和比亚迪合作开发新能源汽车。

三、充电新技术

新能源汽车是我国七大战略性新兴产业之一,已成为汽车行业转型升级的重要推手。充电桩作为我国新能源汽车产业链下游的重要一环,在国家政策大力支持和市场需求驱动下,前景也十分广阔。

2022年我国充电基础设施数量达到520万台,同比增长近100%。其中,公共充电基础设施增长约65万台,累计数量达到180万台;私人充电基础设施增长约190万台,累计数量超过340万台。2015至2020年,在新能源汽车保有量从3.6万辆快速增长至40万辆的背景下,北京充电桩数量由2.1万个增长至23万个,换电站数量由5座增长至159座。

2023年2月,八部委印发的《关于组织开展公共领域车辆全面电动化先行区试点工作的通知》中针对公共领域车量再次提出车桩比1:1的目标,完成该目标需新增约100万个公共充电桩,新增市场规模近500亿元,将进一步刺激我国充电桩行业高速发展。



从图 4-38 中可以看出,驾驶员对于新能源汽车充电难、续航里程短、安全可靠性的关注度都很高。新能源汽车若想继续保持发展趋势,这些问题必须得到妥善解决。

充电便捷性是电动汽车使用便捷性的重要保障,充电基础设施的建设规模和保有量是影响新能源汽车销量的重要因素。从中国电动汽车充电联盟的数据(见图 4-39)中可以看出,2022 年我国充电桩累计保有量同比增加 99.1%,比去年增长了 259.3 万台。新能源汽车销量 688.7 万辆,充电基础设施与新能源汽车继续爆发式增长。桩车增量比为 1:2.7,充电基础设施建设能够基本满足新能源汽车的快速发展。

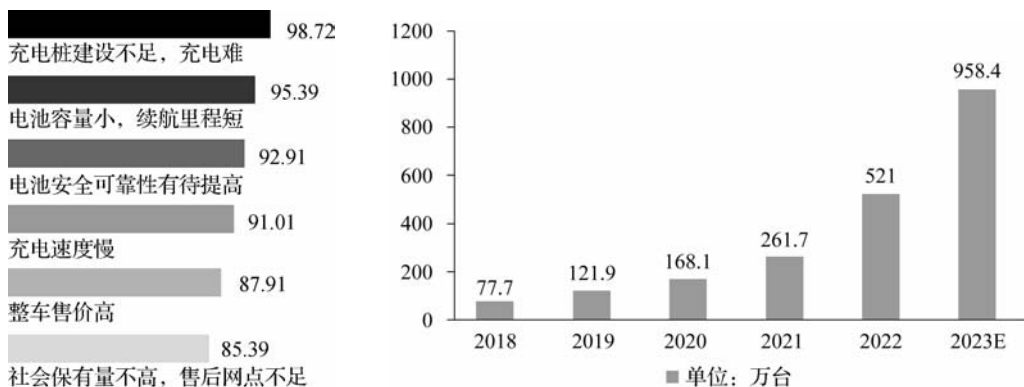


图 4-38 新能源汽车存在的问题

图 4-39 2018—2023 年我国充电桩累计保有量预测趋势图

截至 2022 年 12 月,中国充电联盟内成员单位总计上报公共充电桩 179.7 万台,其中直流充电桩 76.1 万台、交流充电桩 103.6 万台。2022 年 12 月比 11 月公共充电桩增加 6.6 万台,12 月同比增长 56.7%。从 2022 年 1 月~12 月,月均新增公共充电桩约 5.4 万台。常规汽车充电桩如图 4-40 所示。



图 4-40 常规汽车充电桩

在充电网络方面,截至 2022 年底,宝马集团已经在中国接入了超过 50 万个公共充电桩,覆盖 320 多个城市。截至 2023 年 1 月,特斯拉在中国大陆建成开放 1 500 多座超级充电站,10 000 多个超级充电桩,700 多座目的地充电站,1 900 多个目的地充电桩。

1. 常规充电系统

常规充电系统主要针对插电式混合动力汽车和纯电动汽车,采用高电压蓄电池充电系统将电网的电能转化为车载高电压蓄电池的电能,当高电压蓄电池充满后自动停止充电。高电压蓄电池充电系统主要由充电器、充电设备和车载充电接口三部分组成。

1) 充电器

充电器是指将电网提供的交直流电能转化为车载高电压蓄电池所需的直流电能的装置,即 AC/DC、DC/DC 整流器。纯电动汽车和插电式混合动力汽车充电器分为车载充电器(安装在车内)和非车载充电器(安装在充电桩内)两种。图 4-41 所示为车载充电器,它是指将 AC/DC 整流器安装在插电式混合动力或纯电动汽车上,采用地面交流电网或车载电源对高电压蓄电池组进行充电的装置。车载充电器负责与交流电网建立连接并满足车辆充电电气安全要求。此外,还通过控制导线与车辆建立通信,这样可以安全启动充电过程,并在车辆与车载充电器之间交换充电参数(如最大电流)。

2) 充电设备

充电设备是为满足纯电动汽车或插电式混合动力汽车充电而配备的户外使用型供电设备,可固定在停车场、广场及其他便于新能源汽车停靠的地点。充电设备给纯电动汽车或插电式混合动力汽车提供单相或三相交流电源,使用标准非接触式智能卡控制充电开始和结束,并具有过压、欠压、过流、过温、防雷等系统保护功能。

(1)移动充电包。移动充电包就是一条充电线,任何有普通电源插口的地方都可以充电,体积和质量较小,使用非常方便,如图 4-42 所示。可将移动充电包放在发动机室盖下方的移动充电包盒内或后备厢内。由于使用普通家用插座将移动充电包连接到交流电压网络上,因此限制了最大充电电流。在我国针对该交流电压网络提供的相关产品型号可使用最大 16 A 电流或最大 3.7 kW 充电功率,属于车载慢充系统。从计算角度来说,使之前完全放电的插电式混合动力与纯电动汽车高电压蓄电池重新充满电大约需要 7 h。为缩短最大充电功率使用时间,不允许以最大充电电流进行充电,因此实际充电时间更长。



图 4-41 车载充电器

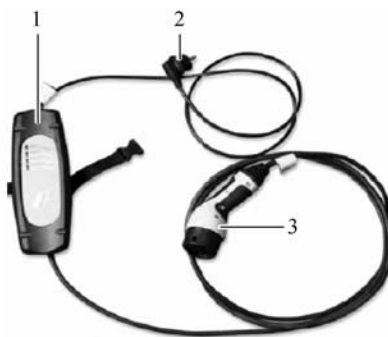


图 4-42 宝马 i3 移动充电包

- 1—电动车辆供电设备(集成型,又称集成式电缆箱);
2—用于连接家用插座的插头;
3—用于连接车辆的插头

(2)固定充电桩。插电式混合动力与纯电动汽车供电设备型号根据其尺寸和电气要求必须以固定方式安装,安装地点如客户屋内或车库内,在公共场所(如停车场)也可以设立这种充电桩。固定充电桩分为交流电充电桩和直流电充电桩。交流电充电桩可通过二相(美国)或三相(在德国普及)方式将交流电充电桩连接至交流电网,但始终通过单相方式与新能源汽车充电接口进行连接。在我国,固定交流电充电桩包括落地式和挂壁式两种,如图 4-43



所示。与移动充电包不同,其最大电流可为 32 A,最大充电功率可为 7.4 kW。这些最大值由电气安装所用导线横截面积所决定。进行安装时,电气专业人员根据导线横截面进行充电桩配置,从而确保可通过控制信号将相应最大电流传输至车辆。

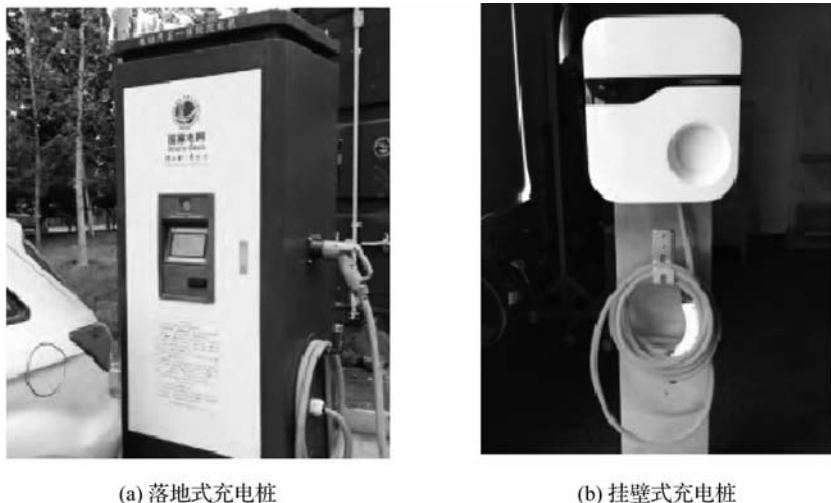


图 4-43 固定充电桩

直流电充电桩是固定充电桩的另一种形式。与交流电充电桩不同,在直流电充电桩内已将交流电压转化为直流电压,因此在新能源汽车上无须通过车载充电器将交流电压转化为直流电压。直流电充电桩通常可提供远高于交流电充电桩的充电功率,因此通过直流电充电桩可更加迅速地给高电压蓄电池充电。

3) 车载充电接口

插电式混合动力与纯电动汽车车载充电可分为快充和慢充。为了保证充电迅速高效,使用特定的充电接口进行充电。像在传统车辆上必须打开燃油箱盖一样,按压充电接口盖或操作遥控钥匙开锁按钮从而使充电接口盖打开。此外,充电时需要保证整车防水密封性要求,通过另一个端盖防止充电接口受潮和弄脏,如图 4-44 所示。并且要保证车载充电接口能够承受瞬时大电流的充电过程。



图 4-44 充电接口防潮保护装置

车载充电接口一般设置在车辆的侧面(原加油口位置)和前面(车标后面),不同厂家略有不同。比亚迪 e6 电动汽车车载充电接口安装在左侧围外板上,如图 4-45 所示。可以用直

流电充电桩给汽车进行充电,以 100 A 或 30 A 的充电电流给高压蓄电池充电(连接图中左侧充电接口);也可以用交流电充电桩或家用 220 V 交流充电(连接图中右侧充电接口)。

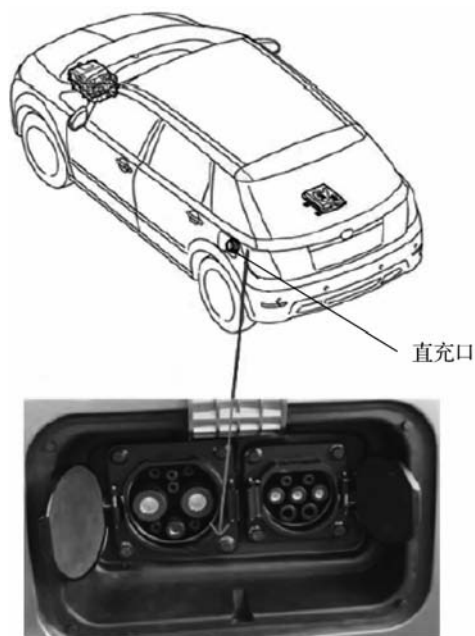


图 4-45 充电接口位置

4) 常规充电系统存在的问题

按照新能源汽车与充电桩 1:1 的标准配置来看,充电设施缺口巨大。普通充电多为交流充电,电压 220 V,一次需要 10 h 左右才能充满,假如充电站有 10 个充电位置,那么一天最多充 30 辆汽车,因而目前数量巨大的电动汽车需要大量的充电站,从而占用大量的城市用地。

另外,充电接口标准很难统一。国际上主要有国际电工委员会、美国、欧洲、日本及中国五套标准体系,见表 4-4。目前国内充电接口主要以国标和美标为主,且两者完全不兼容。此外,采用国标的企业充电接口标准也不尽相同,在参数上会有一些的差别。如果没有统一的标准,每款车都需要配一个自己的充电桩,要换车就需要把充电桩一同换掉,这既制约了新能源汽车的普及,也提高了其使用成本。

表 4-4 主要国家(地区)充电插头型号

充电方式	国家(地区)			
	美国(型号 1)	欧洲(型号 2)	日本	中国
交流电充电				
直流电充电				



快速充电多为直流充电,一次充电需要 10~20 min,10 min 把 35 kW 的电池充电完毕大约需要 250 kW 的充电功率,是一个办公大楼用电负荷的 5 倍,因而城市电网面临巨大的技术挑战和压力。

充电桩的功能类似于加油站的加油机,在电动汽车使用中扮演着重要角色。为了缩短用户充电时间,充电桩普遍采用高电压、大电流的工作方式,这对安全性提出了极高的要求。在实际使用中很多充电桩都是安装在露天环境的,这就难免遭受风吹雨淋日晒,加上充电桩产品质量和标准的参差不齐,无形中增加了安全隐患。

2. 充电公路

瑞典斯德哥尔摩修建了世界上首条充电公路,如图 4-46 所示。在路上嵌入充电铁轨,通过下放一个可移动的连接臂让电动汽车充电,能有效解决电动汽车续航里程的问题。

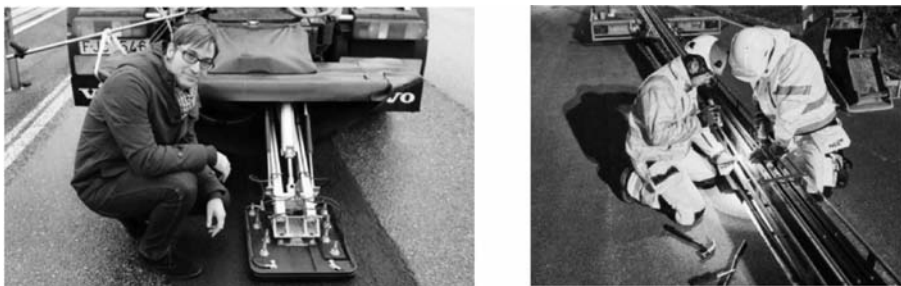


图 4-46 充电公路

当电动汽车在公路上行驶时,可以通过道路上的两条轨道,以及车辆底部连接的移动杆为车辆充电,车辆在行驶过程中即可完成充电,公路上方无须额外的电线,避免了安全隐患。充电公路由多段 50 m 的路段组成,每一段单独供电。为确保安全,车辆停下时电力自动切断。

这项技术的核心在于汽车要搭载集电器,集电器与公路上的电缆连接。汽车不必走在电缆的中央,但车速必须大于 60 km/h。

3. 无线充电

无线电能传输(wireless power transfer, WPT)技术(简称无线充电技术)是利用某种介质(电磁场、激光、超声波等)替代导线进行能量传递,泛指一种以无线(非接触)方式实现用电设备供电的新型电能供给模式。无须物理连接,通过非物理接触的电能传输方式来驱动用电器,在电动汽车等众多领域都可以使用该技术。

由于电池容量及充电基础设施等条件的限制,充电问题成为电动汽车发展过程中面临的最主要的问题。无线充电无须使用电源线和插座,可以解决传统传导式充电面临的接口限制、安全等问题,因而逐渐发展成为电动汽车充电的主要方式。电动汽车无线充电通过埋于地下的供电导轨以高频交变磁场的形式将电能传输给运行在地面上一定范围内的车辆接收端的电能拾取机构,进而给车载储能设备供电,可使电动汽车搭载少量电池组,延长其续航里程,同时电能补给更加安全、便捷。电动汽车无线充电没有外露的连接器,彻底避免漏电等安全隐患。采用无线充电,可以将电源和变压器隐蔽在地下,让汽车在停车处或街边特殊的充电点充电。无线充电站(见图 4-47)因而占地面地小,设备安装简单。

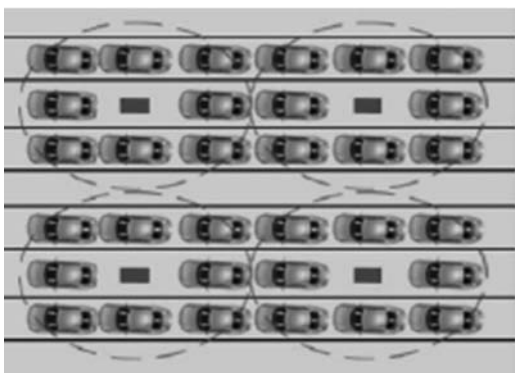


图 4-47 无线充电站

电动汽车无线充电系统的基本结构如图 4-48 所示,包括电力电子变换器、谐振网络、发射线圈、接收线圈、整流滤波和电池负载等部分。系统从电网吸收电能,工频交流电经整流滤波和变频逆变后产生高频交流电,再经功率放大电路和阻抗匹配电路送至发射线圈。当发射线圈的自谐振频率与系统频率相同时,发射线圈的电流最大,产生的磁场最强。此时接收线圈若有相同的自谐振频率,则会通过磁场产生很强的耦合,从而实现电能的高效传输。接收线圈中的电能经整流滤波和调节电路给电池进行充电,同时整个系统通过反馈控制环节来保证稳定性和高效性。

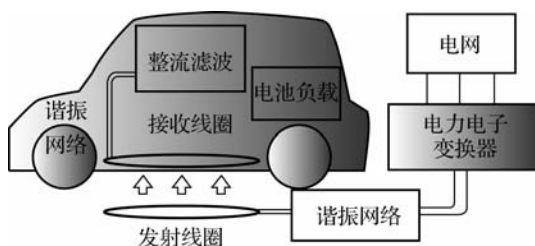


图 4-48 电动汽车无线充电系统的基本结构

目前能够实现电能无线传输的方式主要有微波、激光、超声波、电场耦合和磁场耦合。微波和激光传输距离较远,但效率很低,适用于军事、航天及空间太阳能电站等特殊场合。超声波和电场耦合传输方式的传输功率较小。传统磁场耦合传输方式基于电磁感应原理,传输功率大,近距离传输效率较高,但对于距离较为敏感,适用于短距离传输。

无线电能传输方式包含远场区传输和近场区传输两大类,如图 4-49 所示。远场区传输技术可分为微波式和激光式。微波式无线电能传输技术可实现远距离传输和小型化设计,但是由于辐射功率与传输距离的平方成反比,且远场大功率传输受法律制约,因此,该技术一般被应用于小功率、远距离设备,如射频识别卡等,而大功率微波式电能传输只在特殊行业应用,如军事或航天领域,不宜用于车辆的无线充电系统。激光式无线电能传输技术可实现更长距离电能传输及更小尺寸设计,且对周围环境电磁干扰较低,但是转化效率低,且大气吸收和散射会产生额外损耗,在几百瓦传输功率下,传输效率低于 25%,同时对人体有伤害,因此其应用局限于军事和航天领域,也很难用于电动汽车无线充电系统。

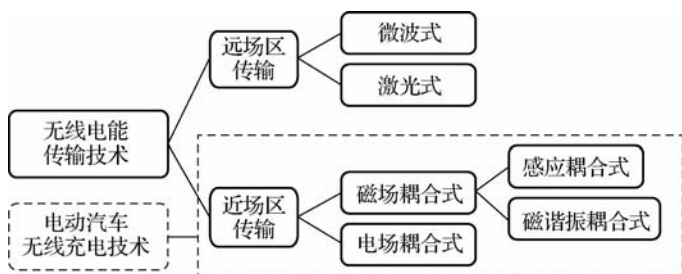


图 4-49 无线电能传输技术类别

近场区无线电能传输技术可分为磁场耦合式和电场耦合式两类,而根据是否发生谐振,磁场耦合式又包括感应耦合式和磁谐振耦合式两类。目前,近场区电能传输技术被车辆无线充电系统广泛采用。

下面简单介绍电磁感应式、电场耦合式、磁谐振耦合式和微波式无线电能传输的工作原理。

1) 电磁感应式无线电能传输

电磁感应式无线电能传输(inductive coupling wireless power transfer, ICWPT)的根本原理是电磁感应原理,类似于变压器。如图 4-50 所示,初级线圈通入一定频率的交流电,通过电磁感应在次级线圈产生一定的电流,从而将能量从传输端转移到接收端。充电线圈(初级线圈)提供交流电并产生磁场时,磁力线穿过与之间隔一定距离的接收线圈(次级线圈),在初级和次级线圈之间有一小段空隙,两线圈间的距离即为系统的传输距离。由于气隙具有较大的磁阻,气隙宽度的大小对传输效果的影响很明显,所以电磁感应式无线电能传输的传输距离往往被限制在毫米或厘米级。交流电产生交变磁场,使接收线圈产生相应的感应电动势并可以对外输出电流。

电磁感应式无线电能传输系统的局限性如下。

(1) 送电距离较短。如果两个线圈的横向偏差较大,传输效率就会明显下降。目前来看,传输距离为 10 cm 左右,而汽车底盘的离地间隙要大于 10 cm。

(2) 耦合的辐射问题。电磁感应在线圈之间传输电力,如同磁铁一样,在外圈有一定的泄漏,人如何避免受影响是一个很大的问题。

(3) 线圈之间有可能有杂物或动物,一旦产生电涡流,就如同电磁炉一样,存在一定的安全隐患。

日产魔方电动汽车采用了可在供电线圈和受电线圈之间提供电力的电磁感应方式(见图 4-51),即将一个受电线圈装置安装在汽车的底盘上,将供电线圈装置安装在地面。当电动汽车行驶到供电线圈装置上,受电线圈即可接收到供电线圈的电流,从而对电池进行充电。目前,这套装置的额定输出功率为 10 kW,一般的电动汽车可在 7~8 h 完成充电。

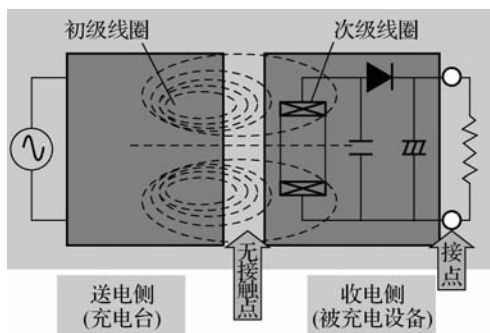


图 4-50 电磁感应式无线电能传输原理



图 4-51 日产魔方电磁感应式无线充电汽车

高通(Qualcomm)是国际汽联电动方程式锦标赛的创始合作伙伴及技术合作伙伴。高通已经通过官方 Qualcomm 安全车(宝马 i8)、医疗车和引导车(宝马 i3)将无线充电汽车引入电动方程式锦标赛中,其先进的 WEVC 无线充电技术将为电动汽车行业带来突破性创新。高通与宝马合作的无线充电汽车如图 4-52 所示。



图 4-52 高通与宝马合作的无线充电汽车

高通 Halo 无线充电技术通过充电垫和接收器之间的磁感应能量传输实现无接触式充电,接收器附着在电动汽车上,而充电垫安置在地面上甚至可以埋进混凝土。需要充电时,驾驶员只要将车辆停放在 Halo 充电板上方即可。至于汽车停放位置是否合适,能否感应到连接,系统配备的 App 将通过手机告诉驾驶员。

2015 年第二赛季的电动方程式锦标赛采用的宝马 i8 安全车,可通过功率达到 7.2 kW 的 Halo 无线充电系统,在 1 h 内充满电,充电效率达到 90%,已经与线缆充电效率相差无几。

高通将继续大力发展无线充电技术,将其融入实际道路上,实现边行驶边充电,让电动汽车不再受续航里程和充电线缆的约束,造福电动汽车消费群体。高通在法国凡尔赛修建了一条 100 m 左右的无线充电公路(见图 4-53),全电动汽车在行驶过程中完成了动态无线充电测试。测试结果显示,汽车行驶过程中系统支持最高 20 kW 的功率为汽车进行无线充电。

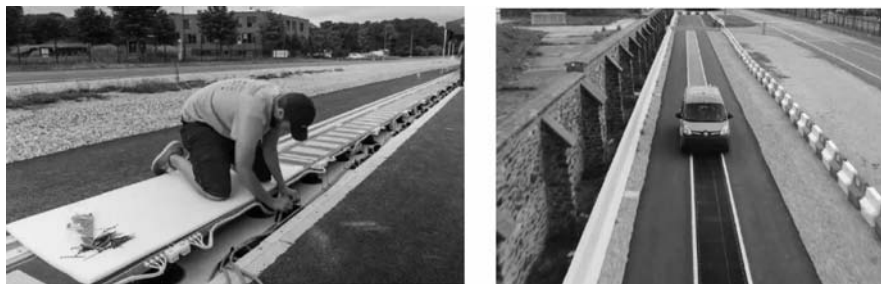


图 4-53 无线充电公路



2) 电场耦合式无线电能传输

电场耦合式无线电能传输的基本原理类似于早期使用的矿石收音机,主要由微波发射装置和微波接收装置组成。接收电路可以捕捉到从墙壁弹回的无线电波能量,在随负载做出调整的同时保持稳定的直流电压。

电场耦合式无线电能传输是基于电容耦合效应实现的。该方式主要在供电部分和接收部分分别设置电极,利用这两个电极间产生的电场来传输电能,系统组成示意图如图 4-54 所示。



图 4-54 电场耦合无线电能传输系统组成示意图

3) 磁谐振耦合式无线电能传输

磁谐振耦合式无线电能传输(resonant coupling wireless powertrain transfer, RCWPT) 又称 WiTricity,如图 4-55 所示,是近几年被提出的前沿课题。

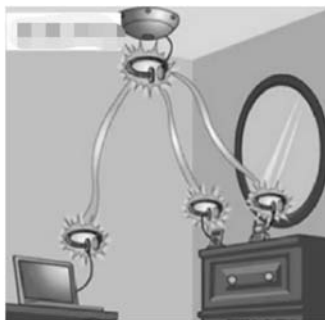


图 4-55 磁谐振耦合式无线电能传输示意图

系统由发射装置和接收装置组成,当两个装置调整到相同频率,或者说在一个特定的频率上共振时,它们就可以交换彼此的能量。其原理与声音的共振原理相同,排列在磁场中的相同振动频率的线圈,可从一个向另一个供电,如图 4-56 所示。

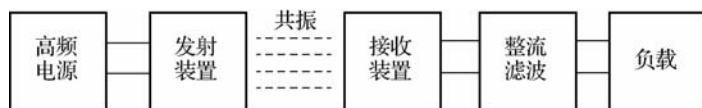


图 4-56 磁谐振耦合式无线电能传输原理框图

发射装置与接收装置包含固有频率一致的振荡器,当高频交变电流通过发射装置振荡回路时,产生的交变磁场在接收装置中产生感应电流。若流入发射装置的电流频率与振荡器的固有频率一致,接收装置中电流幅值将达到最大,同时通过发射装置与接收装置的谐振,实现能量的无线传输。该技术由于接收装置处于发射天线的近场区,磁场具有非辐射性,损耗很小;利用共振技术,大大提高了传输距离,其传输距离可达到米级,同时能量只会共振系统间传递,与非共振系统之间的交互甚小。

现在的技术能力大约是直径 0.5 m 的线圈,能在 1 m 左右的距离提供 60 W 的电力。通过试验实现了 2 m 范围内 60 W 灯泡的无线供电,效率为 40%,当距离缩短为 1 m 时,传

输效率能提高到90%。该技术利用共振原理,具有很好的穿透性,几乎不受中间障碍物的影响,在无线电能传输技术上实现了巨大的突破,引发了全球对无线电能传输的研究热潮。

其技术难点是小型、高效率化。虽然磁谐振耦合式无线电能传输技术有着较高成本和较大技术实现难度,但其用户体验方面,要远远优于电磁感应式。

4) 微波式无线电能传输

微波式无线电能传输(microwave power transfer, MPT)最早是由赫兹提出的。他论证了电磁波可由瞬间高压电弧产生,在自由空间传输后可由接收设备检测接收。但由于当时缺乏将微波转换为直流的整流装置,实验并未实现。直到1899年,特斯拉在科罗拉多建造了一个巨大的线圈球体,通过向其注入300 kW的电能,瞬间的高压电弧产生电磁波向外辐射,进而验证了赫兹的理论。

微波式无线电能传输技术的基本特征是以微波为载体在自由空间实现电能传输。首先通过磁控管(微波发生装置)将电能转变为微波能形式,由发射天线将微波束送出,经长距离的传播后再由接收天线接收,再经转换装置将微波能量重新转变为电能。微波式无线电能传输系统工作示意图如图4-57所示。

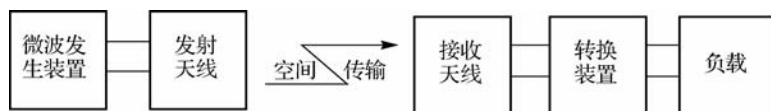


图 4-57 微波式无线电能传输系统工作示意图

该技术利用微波进行能量传输,其工作频率较高,往往在吉赫(GHz)级;微波在空气中传播时,损耗大,效率低;另外,大功率微波电磁场对周围生物的安全和生态环境都会产生很大的影响。但由于微波可实现远距离甚至超距离的无线能量传输,在一些特殊场合有着重要的作用,如空间太阳能发电就是微波式无线电能传输的典型应用。

各类无线电能传输技术性能对比见表4-5,通过比较可以发现,在传输距离、体积、质量和成本等方面,磁谐振耦合式和感应耦合式无线电能传输技术相对其他无线电能传输技术具有显著优势,更适用于电动汽车大气隙(15~45 cm)、高效率(>85%)、大功率(千瓦级)的无线充电技术需求。

表 4-5 各类无线电能传输技术性能对比

种类		传输距离	传输功率	传输效率	安全性能	体积和质量	成本
远场区	微波式	较好	一般	一般	较差	较好	较差
	激光式	较好	一般	较差	较差	较好	较差
近场区	感应耦合式	一般	较好	较好	一般	较差	一般
	磁谐振耦合式	较好	较好	较好	一般	一般	较好
	电场耦合式	较差	一般	一般	较好	较差	一般

无线电能传输技术的缺点是技术不完全成熟、成本高,相比传统充电桩,其功率小、传输效率低、充电慢,电能损耗高于充电桩,同时电磁感应有辐射隐患,因而未大规模推广。

四、换电技术

换电是指电动汽车更换电池组的技术,不使用充电而是直接通过更换电池来满足续航,



这种将车和电池分离进行补能的模式,称为换电模式。

换电技术最突出的优势是,在一般的换电方式下换电只用3~5 min,和燃油汽车充汽油的时间差不多。较大程度地缩短了电动汽车补给电能所需的时间,让汽车用户等待的时间缩短了,较大地提升了新能源汽车的利用率。对于公共交通工具以及出租车,还有网约车等充电次数较多的应用场景,换电技术的优势更明显。其次,降低汽车用户购车成本,消除汽车用户关于汽车电池质保的疑惑和担心。汽车动力电池的制造成本在电动汽车整车成本中占四成上下,事实上汽车用户用车过程中只用了电池寿命的两成到三成价值。在换电技术的应用下,汽车用户能够租赁汽车动力电池,通过这种方式进行汽车电能补给,能够在用车初期减少汽车用户的购车成本。另外还可以延长汽车电池使用寿命。汽车动力电池快充尽管能够缩短电能补给所需要用的时间,但是因为采取直流快充方式的电流量较大,在一定程度上会减少汽车动力电池的充电以及放电循环次数。

现在换电时电动乘用车的主要技术是采用全自动的整体汽车底盘换电方式,代表车企有北汽新能源、上汽荣威和蔚来汽车。

换电技术主要用在电动出租车领域。电动出租车领域的换电主流车型涵盖北汽新能源EU300以及上汽荣威Ei5快换版本,都由奥动新能源提供换电站以及换电技术。私家车领域应用较少,但增长空间较大。换电技术对重卡电动化进程起了关键作用,但推广规模有限。

其中蔚来汽车一直在布局换电站。根据腾讯网消息,2022年12月蔚来官方宣布,关中城市群高速换电网络正式打通,共布局16座高速换电站,连接陕西、甘肃、山西14座地级市,涵盖G5京昆、G30连霍、G40沪陕、G65包茂、G70福银等多条主要高速公路。蔚来换电站总数将突破1200座,覆盖中国内地所有省级行政区,214座地级市,电区房(距离换电站3 km内的职住地)覆盖率达66.23%。

第五节 空气动力学优化技术

知识目标

- 熟悉车身造型设计的流程和方法;
- 了解车身造型设计相关技术与工具。

技能目标

- 初步具备车身造型设计软件应用能力;
- 能够运用相关软件对车身造型设计进行效果展示。

素养目标

- 树立以人为本的设计理念和社会责任感;
- 通过小组讨论、项目合作等方式,培养学生的团队合作能力;

- 鼓励学生积极参与汽车检测与维修技术相关的研讨,提升沟通表达能力。

汽车具有良好的空气动力学性能,有利于提高汽车的动力性和燃油经济性,改善汽车的操纵性和行驶稳定性,进而提高汽车的安全性,改善汽车的乘坐舒适性,如图 4-58 所示。随着汽车设计、制造技术的进步和对汽车性能的要求越来越高,空气动力学性能已成为汽车车身设计中必须考虑的重要因素。

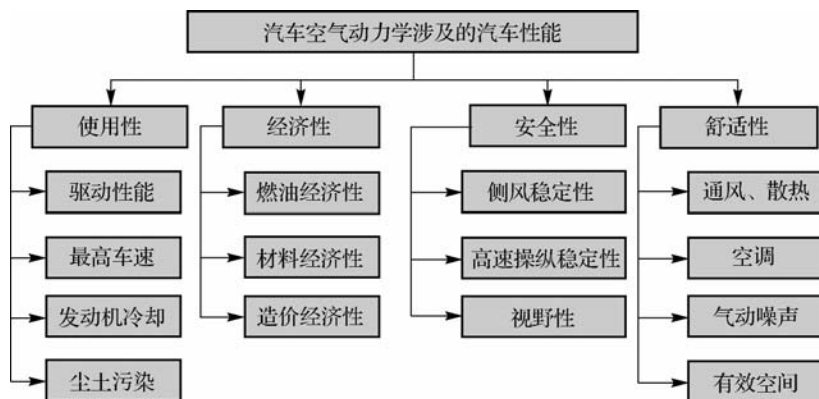


图 4-58 空气动力学性能对汽车性能的影响

一、车身造型

降低车辆空气阻力(风阻)能节省较多的能源消耗。研究表明,车速越快,阻力越大,若空气阻力占汽车行驶阻力的比例较大,就增加了汽车燃油消耗量,影响汽车的动力性能。例如,一辆以 100 km/h 速度行驶的汽车,发动机输出功率的 80% 会被用来克服行驶时受到的空气阻力,减少风阻可有效改善汽车行驶的经济性。

风阻与风阻系数成正比,而风阻的大小很大程度上取决于汽车本身的外观设计。汽车空气动力学的发展历史表明,汽车空气动力学是伴随着车身造型的演变而发展的,而车身造型的发展与道路状况的改善和汽车速度的提高紧密相关,因而汽车车身造型变化的历史就是空气动力学的发展史。一般来讲,汽车的风阻系数平均为 0.28~0.4,科学试验表明:风阻系数每降低 10%,就能节省燃油 7% 左右。正是因为风阻系数有着相当大的重要性,所以降低风阻的重要性已超过其他节能技术,一些大的汽车生产厂家才会斥巨资成立风洞实验室,图 4-59 所示为法拉利赛车风洞及赛车试验图。



图 4-59 法拉利赛车风洞及赛车试验图

根据造型和使用功能,汽车可分为三大类,即乘用车、商用车和赛车,其风洞试验如图 4-60 所示。



图 4-60 不同类型汽车风洞试验

1. 乘用车造型对风阻的影响

乘用车的发展变化反映了汽车空气动力学的发展过程。普通轿车的风阻系数普遍降低到 0.3 左右,为保持其他运行性能,已做到了极限,即使降低 0.01 都很困难。如图 4-61 所示,车头造型对风阻的影响因素主要有车头边角(1)、车头形状、车头高度、发动机罩(3)与前风窗造型(4)等,车身尾部造型对风阻的影响因素主要有后风窗的斜度与三维曲率(6)、尾部造型式样、车尾高度、尾部横向收缩。

车头边角主要是车头上缘边角和横向两侧边角。对于非流线型车头,尖锐边角会产生有利于减少风阻的车头负压区。车头横向边角倒圆角,也有利于产生减小风阻的车头负压区。如图 4-61 所示,车头整体弧面造型相比原型风阻要小。

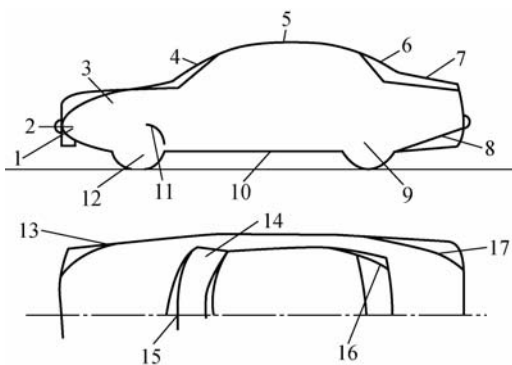


图 4-61 乘用车造型可优化部位

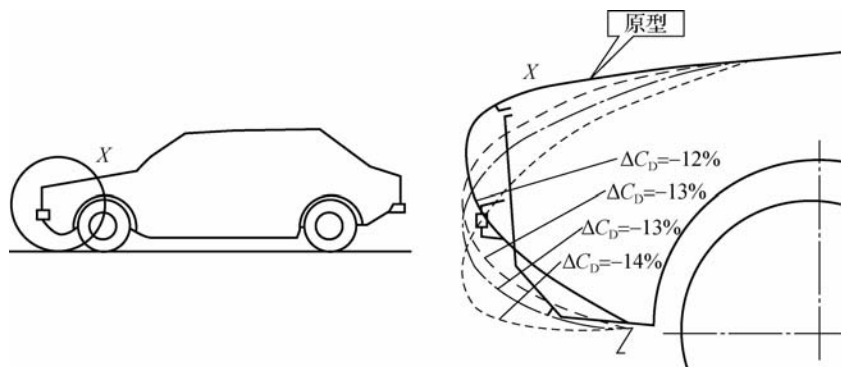


图 4-62 汽车前部造型优化

发动机罩的纵向曲率越小(目前大多数采用的纵向曲率为 0.02 m^{-1}),风阻越小;

发动机罩的横向曲率均有利于减小风阻。发动机罩有适当的斜度(与水平面的夹角)对降低风阻有利,但如果斜度进一步加大对降低风阻效果不明显。发动机罩的长度与轴距之比对升力系数影响不大。

风窗玻璃纵向曲率越大越好,但不宜过大,否则将导致工艺难实现、视觉失真,影响雨刷器的刮扫效果。前风窗玻璃的横向曲率均有利于减小风阻。

如图 4-63 所示,前风窗玻璃的斜度(与垂直面的夹角)不大于 30° 时,降阻效果不明显,但过大的斜度使视觉效果和舒适性降低。前风窗玻璃斜度为 48° 时,发动机罩与前风窗凹处会出现一个明显的压力降,因而造型时应避免这个角度。前风窗玻璃的斜度增大,升力系数略有增加。

后风窗玻璃的斜度(后风窗弦线与水平线的夹角)对风阻影响较大。如图 4-64 所示,斜背式轿车斜度等于 30° 时,风阻系数最大;斜度小于 30° 时,风阻系数较小,应控制在 25° 之内。典型的尾部造型有斜背式、阶背式、方(平)背式,由于具体后部造型与气流状态的复杂性,一般很难确切断言后部造型式样的优劣。但从理论上说,小斜背(角度小于 30°)具有较小的风阻系数。

流线型车尾的轿车存在最佳车尾高度,此状态下风阻系数最小。最佳车尾高度需要根据具体车型及结构要求而定。

一定程度的后车体的横向收缩对降低风阻系数有益,但过多的收缩会使风阻系数增加,具体收缩程度视具体车型而定。

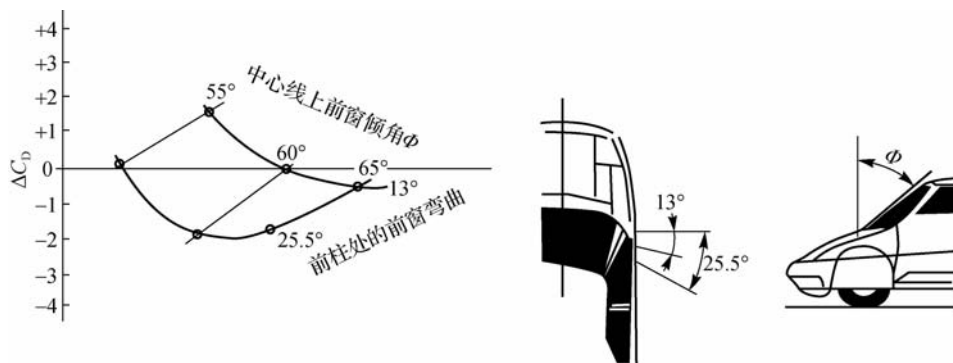


图 4-63 前风窗玻璃的斜度对风阻的影响

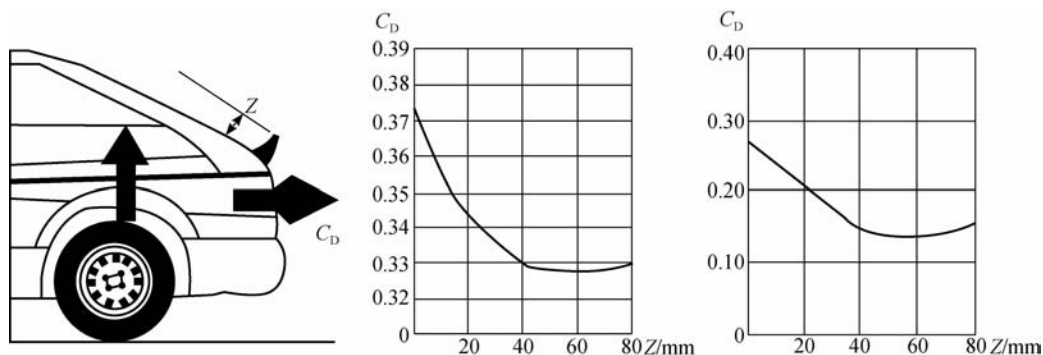


图 4-64 后风窗玻璃的斜度对风阻的影响



车尾离地间隙越大,车尾底部的流线越不明显,则气动升力越小,甚至可以产生负升力,如图 4-65 所示。

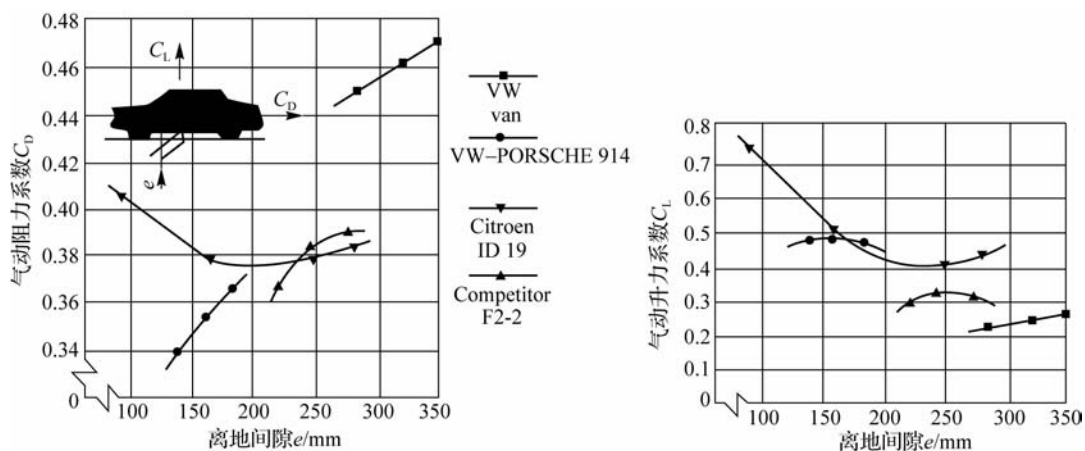


图 4-65 车尾离地间隙对汽车风阻影响

车身底部对风阻的主要影响因素有车身底部离地高度、纵倾角、曲率和扰流器。

一般随车身底部离地高度的增加,风阻系数增加,但高度过小,将增加气动升力,影响操作稳定性及制动性。另外,离地高度的确定还要考虑汽车的通过性与汽车中心高度。

车身底部纵倾角对风阻影响较大,纵倾角越大,风阻系数越大,故底板应尽量具有负的纵倾角;将汽车底板做成前低后高的形状对减小气动升力有作用。

适度的纵向和横向曲率可以减小压差阻力,最佳曲率视具体车型而定。

适当的前扰流器高度和位置对减小风阻非常重要,后扰流器的形状尺寸和安装位置对减小风阻和气动升力也非常重要,但后扰流器对于气流到达扰流器之前就已分离的后背无效。

车轮-轮腔的特性参数(被轮腔所覆盖的车轮高度 h 与车轮直径 D 的比值) h/D 对气动力的影响如下。

当 $h/D < 0.75$ 时, h/D 越大,则风阻系数和气动升力系数越小。

当 $h/D = 0.75$ 时,风阻系数和气动升力系数最小。

当 $h/D > 0.75$ 时,风阻系数又会回升。

适度加宽轮胎对风阻系数有利,但不宜过宽,存在一个最佳宽度。

2. 商用车造型对风阻的影响

随着汽车生产水平的不断提高和高速公路的不断普及,高速物流产业中的重型牵引车的行驶速度也在不断提高,可以达到 $80 \sim 120 \text{ km/h}$,车辆的风阻问题日渐受到重视。美国能源部与能源信息署的公开信息表明,美国运输系统所消耗的能量中,16%用于克服汽车行驶中的空气阻力。如果空气动力学优化装置和相关的减小风阻技术应用到美国所有的重型商用车中,每年可节省近 200 亿美元。因而商用车的节能潜力依然巨大。

货车空气动力学的研究主要集中在驾驶室造型设计、驾驶室的附加装置(驾驶室顶导流罩,锥形分流器,车头前下部导流、侧导流等),以及在货厢的前部边缘进行的倒圆。使用空气动力学技术最成功的案例是:英国汽车工业协会在一辆载货车上安装了一套空气动力学附加装置,应用这些附加装置后车辆的风阻系数由之前的 0.685 下降至 0.325。如图 4-66

所示,该车增加了前阻风板(5)、驾驶室顶部导流罩(1)、侧缘导流片(2,3)、侧挡板(9)等,还改进了局部造型,如货厢侧缘的圆滑设计(8)、低风阻的后视镜设计(6)、货厢尾部的倒角设计(4,7)等,根据实际试验及测试数据得知该车的油耗降低了 26%,安装这套附加装置所增加的成本可以在短时间内收回。

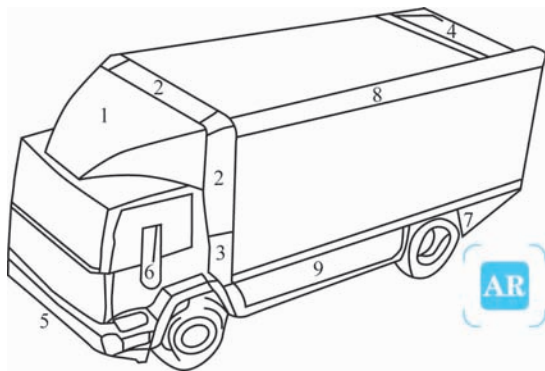


图 4-66 货车造型改进设计部位

二、空气动力学轮毂提升汽车燃效

使用空气动力学轮毂提升汽车燃效这一研究领域,吸引着越来越多工程师的注意力。早期产品造型丑陋,虽然改善了油耗和风阻,但性能指标却难以单独量化。现在人们需要性能明确、造型美观的轮毂设计。

Lacks Wheel Trim Systems(LWTS)公司的一款名为 eVOLVE Hybrid 的轮毂就是这样一种空气动力学产品,如图 4-67 所示。LWTS 公司一共设计了三款不同造型的空气动力学盖板,并在北卡罗来纳州 Moorestown 的 AeroDyn 进行风洞试验,这里也是许多 NASCAR 车队进行风洞试验的场所。试验结果表明,三款盖板将风阻系数不同程度地减小了 6%~9%。之后,风阻系数降低 9%的盖板被筛选出来进行下一步评估。



图 4-67 空气动力学轮毂

LWTS 公司的 eVOLVE Hybrid 轮毂在洛杉矶和纽约车展上亮相,搭载该款车轮的福特福克斯按照 EPA 的工作循环,在公路和市区的路况下,每升燃油的续驶里程比使用原厂车轮的续驶里程分别增加了 5.6%和 2.1%。



第六节 车灯节能技术

知识目标

- 掌握卤素灯的基本原理与结构;
- 了解卤素灯的类型及应用领域;
- 掌握卤素灯的优缺点及发展趋势。

技能目标

- 具备卤素灯的选型与安装能力;
- 具备卤素灯的维护与故障排除能力;
- 具备卤素灯性能测试与评估能力。

素养目标

- 培养工程实践能力和安全意识;
- 树立节能环保理念和社会责任感;
- 提升团队合作能力和沟通表达能力。

为了保证汽车行驶安全和工作可靠,在汽车上装有各种照明和信号装置,用以照明道路,标示车辆宽度,照明车厢内部、指示仪表及夜间车辆检修等。此外,在转弯、制动、会车、停车、倒车等工况下,还应发出光亮或声响信号,以警示行人和其他车辆。

汽车的车灯一般有白炽灯、卤素灯、氙气灯等类型,随着汽车技术的不断发展,白炽灯已被淘汰,时下最普遍的是卤素灯与氙气灯。随着科技的发展,LED技术、激光大灯及OLED技术在车上的应用越来越普遍。

一、卤素灯

卤素灯如图4-68所示,它是在灯泡中注入含有碘等卤素物质的气体,高温下升华的钨丝与卤素进行化学反应,冷却后的钨会重新凝固到钨丝上,形成平衡的循环,避免钨丝过早断裂,这使得卤素灯比白炽灯寿命更长。卤素灯结构较为单一,价格便宜。卤素灯的温度极高,灯光也偏黄,光线十分均匀,具有较强的穿透力,但亮度不够。

二、氙气灯

针对白炽灯亮度低、费电、寿命短等不足,20世纪90年代,专业的车灯制造商海拉将技术成熟的氙气灯推向市场。氙气灯在石英灯管

内填充高压惰性气体,取代传统的灯丝,以23 000 V高压电流刺激氙气发光,在两极间形成



图4-68 卤素灯

完美的白色电弧。

如图 4-69 所示,氙气灯所发出的光照亮度是普通卤素灯的两倍,而能耗仅为其 $2/3$,使用寿命可达普通卤素灯的 10 倍。但是其灯光白色偏蓝,因而在雨雾天气下灯光的穿透力不及卤素灯。此外,氙气大灯会给对面的驾驶员造成眩光,这对于安全是一种隐患,后期自动大灯高度调节开始得到应用,解决了这方面的问题。



图 4-69 氙气灯与卤素灯亮度对比

三、LED 灯

随着科技的发展,LED 技术在汽车上的应用越来越普遍,它可以应用于汽车的转向指示灯、近光灯、远光灯、驻车灯、日间行车灯等。相比卤素灯和氙气灯,LED 灯的亮度更高,也更节能,没有氙气灯的点亮迟滞,更重要的是 LED 灯的单个发光体体积小,因此可以组合成不同造型,并且由于可以单个发光,可以更好地控制光束形状和位置。LED 灯的应用真正实现了车灯智能化。

LED 即发光二极管。LED 灯一般可使用几万乃至几十万小时,因此如果汽车照明灯使用 LED,那么在整个汽车使用寿命中基本不需要更换车灯。LED 灯的色温为 6 000 K,接近于日光的色温,因此有利于驾驶员在夜间行车时看清楚道路状况,以使夜间行车更加安全。LED 灯最大的缺点是其工作时发热量很大,因此发光效率会受高温影响,所以一般都会配有散热器,这也间接造成了高成本。



图 4-70 奥迪 A8 LED 灯

LED 灯最早应用于奥迪 R8 上,在 LED 的基础上,奥迪还推出了矩阵 LED 大灯。奥迪 A8 的矩阵式 LED 前大灯系统由 25 个 LED 远光灯(通过透镜和反光镜将每 5 个 LED 编排为一组)、摄像头、激光测距仪、亮度传感器等组成,如图 4-70 所示。每一组 LED 灯都能够单独开启或关闭,这样能够制造一些动态效果让灯组看起来更加炫酷。此外,根据传感器探测结果,同样可以实现自动调整光线、警示行人的作用,并且能够配合导航将光线投到要走的方向上。

海拉公司开发的 LCD 大灯,也就是液晶显示(liquid crystal display)大灯技术,具备较高像素的分辨率。LCD 大灯发光是数量非常多的 LED 光源共同发光的结果,此外它可以通过一个简单的 LCD 液晶板,实现多变快速的智能照明策略。

四、激光大灯

激光大灯的核心是激光二极管,激光发出光亮后通过透镜控制光束方向。世界上最早



利用激光大灯的量产车是奥迪 R8 LMX。激光大灯具备了 LED 灯的所有优点,如图 4-71 所示。它比 LED 灯更节能,亮度也更高,同时其体积也较小,更加方便设计师设计大灯的造型。但激光大灯的成本是最高的,目前只应用在奥迪 R8、新款 A8 和宝马 7 系等高端豪华车型上。

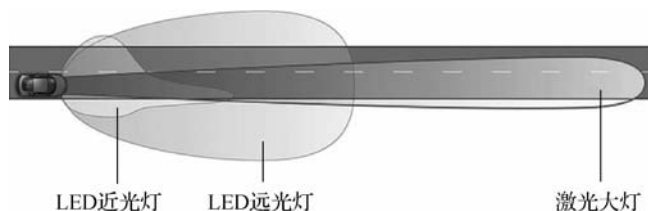


图 4-71 各类灯光照射距离对比效果

LED 的发热问题一直被诟病,需要非常复杂的冷却系统,但激光大灯的发光面积及能耗较小,冷却系统也变得相对简单。激光大灯的照射范围是 LED 的数倍,达到 500~600 m,让驾驶员提前了解前方路况。同时,由于激光大灯总成体积更小、发热更低。再次,得益于激光大灯本身较为狭窄的光斑,无论是照射范围还是穿透力都较 LED 更出彩,尤其在夜间及雨雾天气行车,驾驶员视野因此变得更加开阔,能更早做出判断。此外,激光大灯往往与自适应技术相结合,尤其在会车时,灯光可控范围会更大,提早避免眩目带来的潜在危险。

宝马和美国桑迪亚国家实验室是最早提出激光大灯方案的,它们利用红、蓝、绿、黄四种不同颜色光源进行结合,调配出媲美太阳光的白色光源,同时解决了激光二极管白光渲染质量差的问题。激光可能会对人的肉眼造成伤害,而激光车灯的亮度和色温经过研究,对人类、动物及周边自然环境都是无害的。

目前,宝马的激光大灯技术被设定在 40 km/h 以上启用,宝马表示不希望这些光束长时间照射在人眼上造成凝视静态光,所以当车速减慢时,激光大灯将自动关闭。如图 4-72 所示,宝马激光大灯包括激光光源(激光二极管)、反射镜、黄磷滤镜和反射碗四部分。其工作原理就是让激光经历“射出、穿透、两次反射”共四个过程。首先三束蓝色激光从激光器射出,然后经过反射镜聚焦到黄磷滤镜产生白光,之后在反射碗上再反射一次,最终形成集中照射的圆锥形光束射出车外。

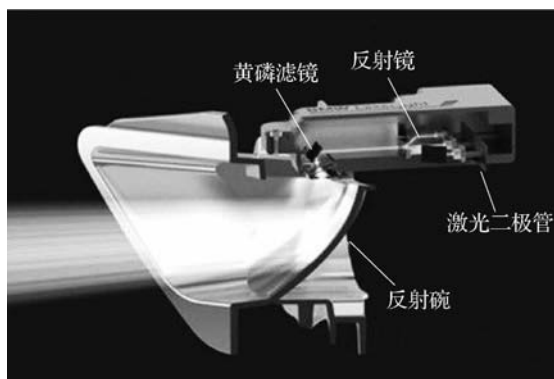


图 4-72 宝马激光大灯的组成

激光大灯的出现,也联动式地促进了后尾灯的技术变革。为了与激光大灯相得益彰,OLED尾灯应运而生。

五、OLED灯

OLED全称为有机发光二极管(organic light-emitting diodes)。OLED属于LED的分支,是用一种超薄有机材料层聚合而成的二极管发光源,相比传统光源有着更大范围的扩散性和穿透性。其光线分布更加均匀,也很节能,发热量更低。不过由于亮度不足,大多数OLED只作为尾灯使用,主要是营造出漂亮的尾部灯光效果。

每个OLED单元含有两个电极,并且其中至少有一个是透明材料。这些电极单元由数层厚度不足千分之一毫米的有机半导体材料组成,低至3~4V的直流电源就可使其发光,而发光的颜色取决于不同的分子组合。值得一提的是,不同于LED半导体结构的光源,OLED是平面光源,其优点是发出的光更加均匀,变光的调节过程也持续可变,光源不仅可以静态显示,更可以动态呈现,如图4-73所示。同时,该技术无须反射器、导光板等光学组件,因此轻量化也是其一大优势。此外,OLED技术几乎无须任何冷却设备,并且在灯组内部的造型布置也更具灵活性,这是LED光源无法比拟的。



图 4-73 汽车 OLED 灯

在奔驰S级和E级车上都采用了亮度可自动调节的尾灯,如图4-74所示。在晚间的亮度是白天时的80%,车辆完全静止时亮度自动下降到60%,有助于减少光线对其他人的影响。



图 4-74 尾灯亮度自动调节



第七节 汽车能量回收技术

知识目标

- 掌握再生制动能量回收技术的基本原理与系统构成;
- 了解再生制动能量回收技术的类型及应用领域。

技能目标

- 具备再生制动能量回收系统测试与评估能力。

素养目标

- 能够认识到新能源汽车对环境保护的重要性,树立可持续发展的理念;
- 学生能够关注新能源汽车领域的前沿技术,培养创新意识与探索精神。

随着人们节能环保意识的不断增强,在国家能源战略调整、产业发展需要升级和环境质量亟待改善的大环境下,越来越多的高校与企业投入汽车节能降排的研究中。一般汽车在制动、悬架减振压缩及排气时发出大量的热量,而将这些凭空消耗的能量回收、储存并加以利用会让车辆节省不少能量,再生能量回收技术开始蓬勃发展,主要有再生制动能量回收技术、废热发电技术和悬架能量回收技术。

一、再生制动能量回收技术

如图 4-75 所示,传统的制动系统在制动过程中将汽车的动能通过摩擦转换为热能消耗掉,不仅浪费了宝贵的能源,而且频繁的制动过程会使制动器产生热衰退性,对汽车的行驶安全构成极大威胁。

通过研究发现,在城市工况中制动消耗的能量占总驱动能量的一半左右。以捷达轿车为例,其在行驶过程中消耗 2 947 kJ 能量,其中滚动阻力将消耗 1 130 kJ 能量,风阻将消耗 530 kJ 能量,制动将消耗 1 287 kJ 能量,制动消耗能量占能量总消耗的 44%。如果将这 44% 的制动能量减小或重新利用,那么将明显提升汽车的经济效率,节省燃料,降低排放,产生十分可观的经济效益和环境效益。目前有关制动能量的研究结果表明:在混合动力汽车上附加制动能量回收这一功能可以使其行驶里程增加 10%~20%,燃油利用率提高 20% 以上。利用再生制动技术不仅能够增加续驶里程,而且能够减少因摩擦制动带来的机械损耗,从而延长制动系统的使用寿命。



图 4-75 制动产生热量

再生制动是指在保证制动安全和制动效能的前提下,在车辆减速或制动时,将一部分动能转化为其他形式的能量储存起来以备驱动时使用的过程。如图 4-76 所示,制动能量再生系统先将车辆减速或制动时的一部分机械能(动能)经再生系统转换(或转移)成其他形式的能量(旋转动能、液压能、化学能等),并储存于储能器中,同时产生一定的负荷阻力使车辆减速制动;当车辆再次起动或加速时,再生系统又将储存在储能器中的能量转化为车辆行驶时需要的动能(驱动力)。

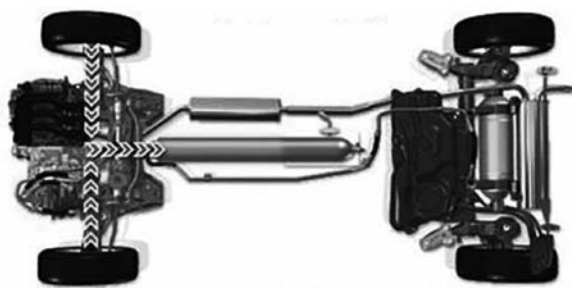


图 4-76 再生制动汽车

下面以电动机发电机一体化制动能量回收系统为例进行说明。它的能量转换装置是电动机,是电动汽车的唯一动力源,在其工作过程中(见图 4-77),电动机不仅可以产生驱动力,同时可以产生制动力,即汽车正常行驶状态下,电动机处于电动运行状态过程中,能量储存装置将电能供应给电动机,电动机作为能量转换装置将电能转化为驱动轮的驱动力矩,从而驱动汽车行驶;汽车减速制动运行状态过程中,电动机处于发电状态,电动机此时作为发电机把机械能转化为电能,然后传递到储能装置,储存的能量可以供应下一次汽车的驱动行驶。

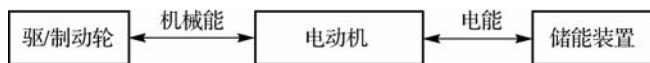


图 4-77 再生制动能量回收系统的工作原理

制动的时候通过变流器改变励磁电流的导通相位,让电机产生负扭矩(反向旋转),线圈绕组中就会产生大的反向电动势,电机实际在发电。给电机输入负扭矩之后,电机的转速就会减慢,达到减速的目的。电机在电动还是发电状态的判断依据就是瞬时转速与同步转速的大小,如果电机瞬时转速比同步转速高,就是发电状态,电机随着制动的持续进行,转速不断降低,达到同步转速之后就处于电动状态,能量回收过程到此结束。

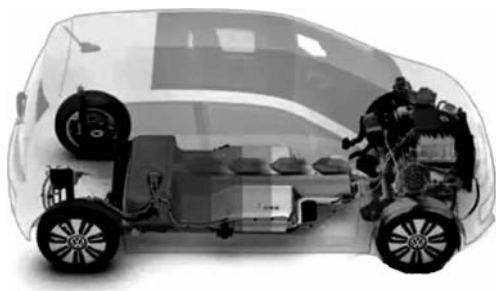


图 4-78 混合动力汽车再生制动系统

由于可以同混合动力系统中的电机进行很好的配合,大多数混合动力汽车都采用了制动力回收系统,如图 4-78 所示。目前,在混合动力汽车上常见的再生制动系统是将动能转化成电能储存到电池中,通过置于车轮的发电机将车辆在制动或惯性滑行中的能量转化为电能储存在蓄电池中,并加以利用,从而降低油耗,提高发动机效率。再生制动是混合动力汽车相对



于传统汽车的一大节能优势,是提高混合动力汽车燃油经济性的有效途径。

1. 储能分类

根据能量存储器的类型不同,再生制动能量回收的模式主要有空气压缩储能、液压储能、飞轮储能和发电储能,见表 4-6。

表 4-6 各种能量回收模式的优缺点

再生制动能量回收方式	优点	缺点
空气压缩储能	成本低、存储方便	体积大、气体易泄漏
液压储能	安全可靠	能量控制策略复杂,主要用于混合动力汽车
飞轮储能	储能密度大,体积小,质量轻,使用寿命长,能量转换率高	受技术和材料限制,成本高
发电储能	能量回收效率高	结构和控制复杂

(1)空气压缩储能。空气压缩储能是在制动过程中,利用制动力对气缸中的空气进行压缩,将动能转化为空气的分子势能。在汽车起动过程中,通过释放空气分子势能而被再次利用。但是空气压缩储能对装置的封闭性要求很高,整体系统庞大,对于电动汽车而言难于实现。

(2)液压储能。液压储能采用液体和气体相结合的方式来进行能量转换。液压储能技术的优点是功率密度大,但是其能量密度低,同样对装置的密封性要求严苛,且装置自身质量偏大,不利于在电动汽车上实现。

(3)飞轮储能。飞轮储能就是将汽车的动能通过机械连接方式转换成飞轮的动能,在汽车起动或加速时,再通过机械装置转换为汽车的动能。飞轮储能对周围环境要求真空及高转速,其所能存储的能量和飞轮的大小与质量有关,而且适于短时间内的能量存储。

(4)发电储能。发电储能是指在汽车制动过程中利用汽车(一般指电动汽车或者混合动力汽车)电机进行发电,将制动过程中的动能转换为电能,经过电力电子变换电路存储到蓄电池或超级电容中。虽然制动能量回收效率有限,但因其结构简单、易于实现,发电储能得到广泛的应用。

以上几种再生制动能量回收模式中,可以用于传统汽车的是空气压缩储能、液压储能和飞轮储能。电动汽车根据其独有的电机作为驱动力来源的特点,可以在制动过程中充分利用电机发电,实现能量回收,电动汽车更适合采用发电储能,其中应用最为广泛的是蓄电池储能、超级电容储能及蓄电池与超级电容混合储能。

2. 电动机发电机一体化再生制动能量回收系统的组成

电动汽车制动系统通过控制功率器件的开关状态,实现电动机的转速、扭矩变化,实现驱动到制动的改变,进而将汽车行驶中的动能转化为电能回收到储能装置(蓄电池)中,其组成如图 4-79 所示。

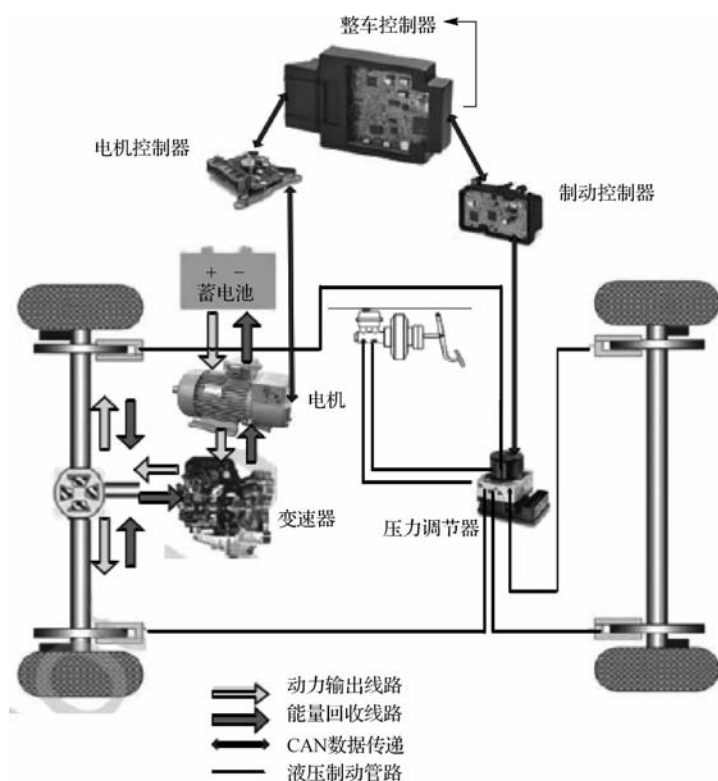


图 4-79 再生制动能量回收系统的组成

二、余热发电技术

汽车燃料在发动机内燃烧后,从热平衡的角度看,其热能转换成不同形式的能量。其中,一部分热能转化为有效功,用于驱动汽车行驶,这部分能量一般占总热量的 30%~35%(柴油机)或 25%~30%(汽油机);一部分热能(包括通过缸盖、缸套、活塞传出的热量及摩擦产生的热量等)由冷却水和润滑油带走;一部分热能被尾气带走;余下部分为其他热量损失。

由表 4-8 可知,目前常用的内燃机效率很低,只有少部分能量用于动力输出,大部分能量以各种形式浪费掉。通过冷却水及汽车尾气带走的废热占总能量的 60%~70%,其中尾气的余热占 30%以上。随着不可再生资源的逐渐减少,人们对汽车余热回收利用研究的投入越来越多。

表 4-7 汽油机和柴油机的燃料能量转换

热平衡各分项	汽油机	柴油机
转化为有效功的热量	25%~30%	30%~35%
冷却介质带走的热量	30%~32%	28%~30%
废气带走的热量	33%~35%	30%~32%
其他热量损失	7%~9%	7%~9%



1. 发动机余热发电技术

利用热马达发电机组的温差发电技术将发动机损失的热量转变成电能加以利用(如驱动空调)或通过发动机尾气余热利用系统将发动机余热加以利用,如图 4-80 所示。

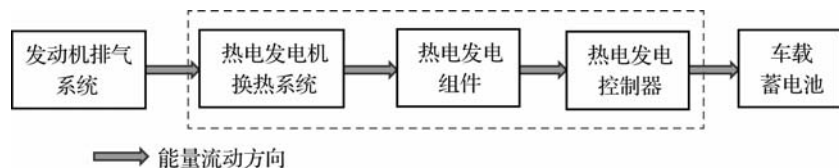


图 4-80 汽车尾气热电发电系统示意图

利用发动机余热取暖包括利用发动机冷却水热能的水暖式取暖及利用发动机尾气废热的气暖式取暖。水暖式暖风装置广泛应用于汽车采暖系统中,它的发热量较小,适用于非严寒地区的小型车辆,目前该技术已经趋于成熟,可在不增加额外能耗的前提下,将发动机余热的近 60% 加以利用。气暖式暖风装置发热量大,但要注意不能增加发动机排气背压,否则将影响发动机的工作性能。这两种方式受气候影响较大,并且汽车尾气的余热利用并不充分。

利用发动机尾气余热对某些替代燃料加热,也可以改善它们的燃烧性能。如甲醇燃料,加热后使其在催化剂作用下能分解出 H_2 、 CO 等可燃气体,改良后的含量可增大 20%,并且可以有效减轻尾气污染,减少积炭。但是,这种方法的缺陷在于适用于部分车辆,并且其目的重在改良燃料而非充分利用废气能量。

利用汽车尾气余热驱动车载空调制冷系统是一个理想的节能方案,也是目前世界各国都在研究的课题。该制冷方式主要分为吸收式制冷和吸附式制冷两种:吸收式制冷原理是以尾气废热的热能作为动力来完成制冷循环的;吸附式制冷是利用某些固体物质在一定温度、压力下能吸附某种气体,而在另一种温度、压力下又能把它释放出来的特性来实现制冷的。这两种方式由于体积过大,制冷效率较低,在汽车上装配较困难,目前不能替代现有的汽车空调系统。

热电发电机(thermoelectric generator, TEG)基于热电转换原理,是利用半导体热电材料的塞贝克效应,直接将热能转化为电能进行发电的一种绿色环保的能源技术,如图 4-81 所示。该发电方式具有性能稳定、无噪声、无磨损、体积小、质量轻、使用寿命长等优点。

热电发电机通常由换热器、热电发电组件、冷却系统及支撑框架等共同组成。热电发电组件(thermoelectric module, TEM)是热电发电机的核心部分,它的高温面与换热器紧密接触,而低温面与冷却器紧密接触。热电发电组件由若干个热电偶串并联组成,每个热电偶由一个 P 型半导体和一个 N 型半导体构成。热电发电组件的高温面和低温面通常由绝缘的瓷片层组成。

美国航海家号宇宙飞船 1 号和 2 号上安装有由放射线同位素供热的热电发电机,这两艘宇宙飞船于 1977 年发射,是目前所有仍在运作的、可继续联系的、距离地球最远的宇宙飞船。热电发电机在航空航天领域应用已有半个多世纪的历史,由于成本高、发电效率低等因素,多年来没有在汽车工业受到重视。然而,近年来随着新材料合成技术发展,各种新型热电材料层出不穷,热电发电效率有了很大提高,其成本也降低了很多。

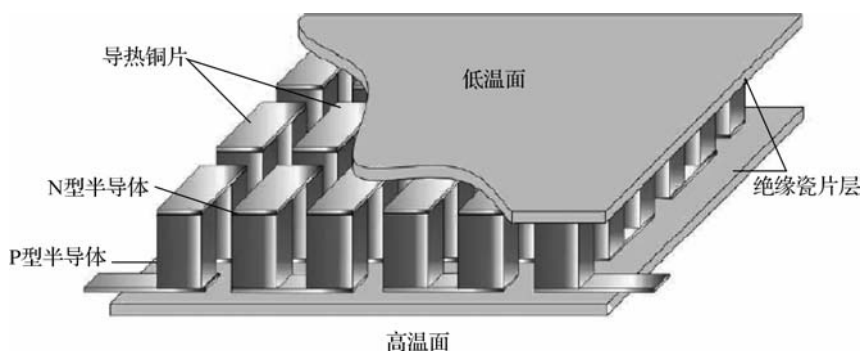
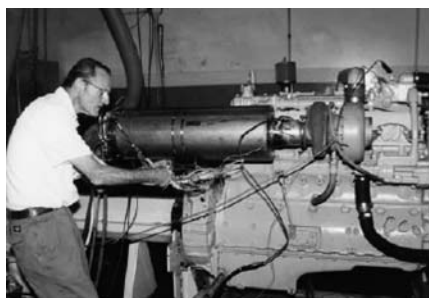


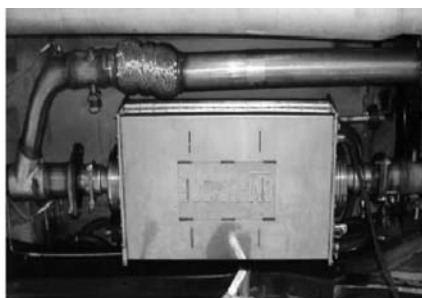
图 4-81 热电发电组件组成示意图

如图 4-82 所示,美国 Hi-Z 技术公司是热电发电机研究方面的领军企业,研制了用于汽车尾气废气回收的热电发电机。美国通用公司 Sierra 皮卡车型上采用 Hi-Z 公司的 HZ-20 热电模块,这是一款发电功率为 300 W 的热电发电机,之后在德尔福公司进行了测试。试验结果显示,该热电发电机可以通过回收汽车尾气废热发电提高整车燃油经济性的 1%~2%,并且仍有很大的改进空间。

热电材料的属性是影响热电发电装置性能的关键因素。热电材料通过多种工艺加工成各种尺寸的热电偶,而热电偶按照一定的顺序和规则组成热电发电组件。热电效应包含了三个基本效应,分别是塞贝克效应、帕尔贴效应和汤姆逊效应,这三种效应奠定了热电理论的基础,表明了电能和热能之间是可以直接转换的,也为热电材料的实际应用展示了广阔的前景。



(a) Hi-Z 热电发电机



(b) 美国通用公司热电发电机样机

图 4-82 热电发电机实用样机

塞贝克效应(见图 4-83)指的是在两种不同导体或导电类型不同的半导体构成的回路中,当两个连接点温度不同时,这两个连接点间会有电动势产生,且在回路中有电流通过。塞贝克效应可由塞贝克系数 α 来表征。

$$\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{dV}{dt} \quad (4-2)$$

式中, ΔV 为电压; Δt 为温度差。



图 4-83 塞贝克效应示意图

塞贝克系数表征半导体热电材料发电电压与半导体热电材料两端温差的关系,当半导体两端的温差固定时,塞贝克系数越大,所产生的电压值越高。

目前已知的热电材料主要包括半导体合金热电材料、氧化物热电材料、方钴矿类热电材料和金属硅化物热电材料等。半导体合金热电材料以化学元素周期表的第Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ族元素及稀土元素为主,由于其制备工艺成熟且价格较低,是目前最成熟的、应用最广泛的热电材料。当前大规模商用的热电发电组件大多数使用的是 Bi_2Te_3 ,它是目前常温下热电性能最好、应用最广泛的半导体热电材料之一。

氧化物热电材料可以长期在氧化气氛里工作,对环境没有污染,大多数情况下没有毒性,在制样时可以在空气中直接烧结,不需要抽取真空,在热电发电领域的应用潜力比较大。具有代表性的层状过渡金属氧化物热电材料有 NaCo_2O_4 和 $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ 。

方钴矿化合物作为热电材料的概念是美国加利福尼亚州的喷射推进试验室首先提出的。方钴矿化合物组成的热电材料具有很多优点,价格比较便宜,易于合成,导电性能较好,而且填入稀土元素可以增加热阻率,进而提高热电材料的塞贝克系数值。

韩国现代集团的一款紧凑型车型 IONIQ 上装载了发动机余热发电系统,如图 4-84 所示。据了解,IONIQ 混合动力汽车和插电式混合动力汽车上所装载的是由佛吉亚公司开发的紧凑型排气热能回收系统。根据美国环保署联邦测试程序(FTP20)测试,其可节省近 3% 的燃料消耗。佛吉亚公司称,这一能量回收系统尤其适用于未来迅猛发展的混合动力车辆。根据相关资料,在这一系统中,排气热能通过整合在排放管线上的气体/液体交换器进行回收,近 3 kW 能量被输送到发动机冷却系统,用来加热发动机和驾驶室,这样可使混合动力汽车长期处于电动模式,从而提高燃料经济性并减少 CO_2 的排放。此外,汽车制造商可以缩小或者舍弃昂贵的电子辅助座舱加热器。



图 4-84 现代 IONIQ 汽车

2. 能量回收轮胎

在汽车行驶过程中,轮胎会产生大量的热量,以往这些热量都被忽视,大量地散发到空气中。固特异 BH-03 概念轮胎(见图 4-85)的特点就是抓住了这些热能,将其转化为电能进行储存或为电动汽车提供电能。BH-03 轮胎能够收集的能量主要包括热量及轮胎变形的

动能。



图 4-85 固特异 BH-03 概念轮胎

具体原理是,在行驶过程中,热量收集装置采集地面与轮胎摩擦产生的热量。热量通过热电材料将热能转化为电能储存到车辆的动力电池中,为电动汽车提供动力。同时在轮胎受压变形时,压电材料把轮胎变形中的动能转换为电能储存到车辆的动力电池中。

如果被刺破,BH-03 概念轮胎通过防爆胎的结构进行支撑,可实现以最高 80 km/h 的车速行驶 80 km。在停车的情况下,BH-03 概念轮胎的热量收集装置能吸收来自阳光和地面的热量。

三、悬架能量回收技术

在行车过程中,每一次车身的变化都会带动悬架系统的形变,在形变过程中因摩擦而产生热能,最终散发在空气中。随着石油资源日益枯竭,能源日益短缺,能量回收系统随之发展,悬架能量回收系统应运而生,将减振消耗的能量通过电能储存起来对车辆节能降排有着重要意义。

为了将不平路面激励所引起的振动能量进行回收,这种具有能量回收功能的悬架称为馈能悬架,其能量流动示意图如图 4-86 所示。



图 4-86 馈能悬架的能量流动示意图

悬架能量回收系统的关键部件主要有传动机构和能量变换机构。其中,传动机构的作用是将悬架的往复直线运动转化为易于处理的旋转运动,主要实现方式如图 4-88 所示,有直线电机式、滚珠丝杠式和齿轮齿条式等;能量变换机构的作用是将旋转机械能转变为可利用的电能,主要实现形式包括压电材料、电磁作动器(包括直线式电磁马达和旋转式电磁马达)、静电式发电机及电介质发电机等。

1. 直线电机式馈能悬架

直线电机式馈能悬架的传动机构主要由定子、滑动轴承和动子组成。如图 4-87(a)所示,永磁组件嵌入动子中,提供磁场;线圈组件与外电路连接。当减振器工作时,动子相对定子运动,定子绕组线圈切割磁感线。绕组线圈中会产生电动势,将减振器的动能转化为电能。反之,如果通过外电路给定子绕组线圈通电,定子绕组中会产生磁场,该磁场与动子永



磁体的磁场之间会产生磁力,即给动子施加作用力。

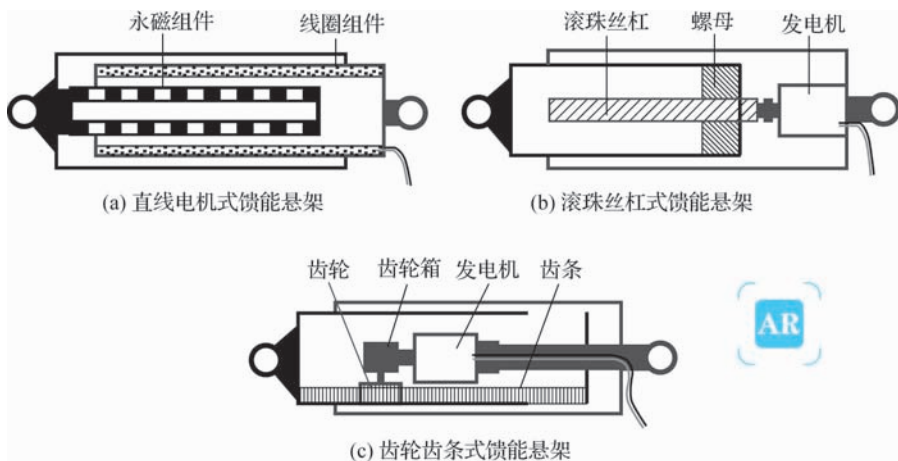


图 4-87 馈能悬架传动机构类型

美国 BOSE 公司开发了一款直线电机式馈能悬架,如图 4-88 所示。该悬架采用一款特制的直线电机作动器替代了传统汽车悬架中的弹簧和减振器,不仅能够传递力和力矩,实现减振,还能将部分振动能量转化为电能回收。该电磁式悬架系统采用了主动控制技术,当处于压缩行程时,主要考虑能量回收;而在伸张行程时,车身减振是主要目的。实车道路测试结果表明,直线电机式馈能悬架系统比普通被动悬架系统能够获得更好的平顺性。

AR



图 4-88 BOSE 公司直线电机式馈能悬架

2. 机械-旋转电机式馈能悬架

机械-旋转电机式馈能悬架采用一套机械传动机构将悬架的往复运动转换成旋转运动,然后驱动旋转式发电机,其中比较典型的有齿轮齿条和滚珠丝杠两种机械结构。图 4-89 所示是美国得克萨斯大学奥斯汀分校机电中心研制的齿轮齿条-旋转电机式馈能悬架结构示意图。其中齿条可以沿着壳体内部的导轨做直线运动,与齿条啮合的齿轮安装在壳体中。当悬架振动时,齿条和导向壳体之间互相运动,齿条带动啮合齿轮转动,再由齿轮驱动发电机旋转发电。

滚珠丝杠-旋转电机式馈能悬架如图 4-90 所示。其中,电机转子与滚珠螺母连在一起,定子与机壳连在一起。当悬架振动时,滚珠螺杆相对机壳做直线往复运动,带动滚珠螺母和转子来回转动,从而使发电机工作。

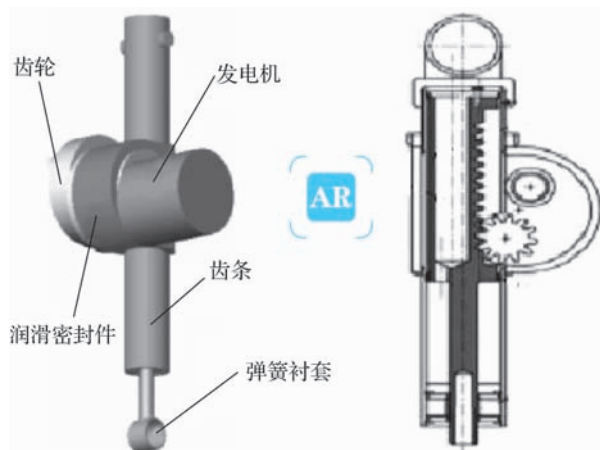


图 4-89 齿轮齿条-旋转电机式馈能悬架结构示意图



图 4-90 滚珠丝杠-旋转电机式馈能悬架

AR

3. 液压-旋转电机式馈能悬架

液压-旋转电机式馈能悬架简称液电馈能悬架，是近年来研发一种新型馈能悬架系统。通过液压系统将悬架的往复直线运动转换成液压马达的单向旋转运动，再由液压马达驱动旋转式发电机工作。比较典型的是美国 Levant Power 公司于 2009 年开发的一款名为 GenShock 的液电馈能悬架，其结构示意图如图 4-91 所示。该馈能悬架的核心是一个由液压缸、管路、单向阀、蓄能器和液压电机组成的液压系统。当悬架工作时，活塞杆相对缸体运动，使液压油通过适当的单向阀经管道进入液压电机，再由液压电机驱动发电机工作。

由于液压/气压传动的工作形式单一，回收后能量的二次利用范围严重受限，而且系统响应频率较低，液压系统结构过于复杂，因而采用蓄能器储能的液压式馈能悬架系统的研究和应用较少。

AR



图 4-91 GenShock 馈能悬架及其结构示意图



4. 压电馈能悬架

近年来,随着智能材料的发展,压电材料因其结构简单、成本低、易于实现等优点在能量回收方面的应用越来越广泛。压电材料具有压电效应,压电效应是压电材料将机械能和电能相互转换的现象。将压电材料用到悬架系统的振动能量回收中,利用其正压电效应,使因悬架振动产生的机械能转换为电能,以供外部用电设备使用,也是一种可行的办法。与其他振动能量转换原理(如电磁原理、静电原理和液压原理)相比,压电能量转换具有很多优势,它产生的电压高,而且机电转换性能好、结构简单、能耗低、惯性小、无电磁干扰,机械阻尼系数也可以设计得比较小。

在实际应用方面,奥迪是较早投入相关产品开发的企业之一。早在2014年,奥迪就在开发一款用来回收悬架能量的系统,如图4-93所示。将减振散发的能量回收并储存在电池组中,用来为混合动力汽车动力总成中的电机或电气元件供电。这套系统可以降低内燃机的工作负荷,提升燃油经济性,还可以从电池中抽取能量对悬架进行调控,实现不同的驾驶感受。

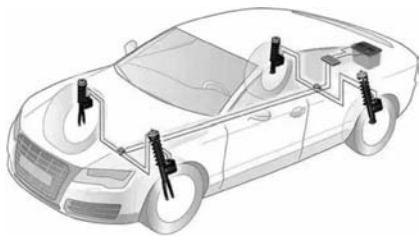


图 4-92 压电馈能悬架



案例分析

眼下,长安汽车重庆两江工厂各条生产线正马力全开。“元旦后开工以来,两江工厂已下线新车13 682辆。按照计划,整个1月份两江工厂要完成产量79 165辆。”长安汽车董事长朱华荣介绍,在刚刚过去的2021年,长安系中国品牌汽车年度累计销量突破175万辆,同比上涨16.7%。

工业和信息化部发布的最新数据显示,虽然受到疫情等不利影响,我国汽车产业依然在“十四五”开局之年呈现稳中有增的良好发展态势,全年产销分别完成2 608.2万辆和2 627.5万辆,同比分别增长3.4%和3.8%,连续13年保持全球汽车产销量第一。

根据案例回答下列问题。

1. 为什么我国新能源汽车产业发展迅速?
2. 查找长安汽车的相关产品,并分析其技术特点、产品定位、销量走势等。



思考与练习

1. 通过网络或者文献查阅国际上汽车节能标准法规动态。
2. 常用的汽车轻量化材料有哪些?
3. 什么是结构优化设计?它分为哪几种?
4. 简述激光拼焊技术在汽车上的运用。
5. 热成型钢板主要有哪几个方面的优点?
6. 新能源汽车的分类有哪些?

第五章

▶ 智能网联汽车与智能交通



导入案例

2025年某智慧城市早高峰时段,一辆搭载V2X通信模块的智能网联汽车行驶至拥堵路段时,通过车路协同系统实时接收交通信号灯倒计时与周边车辆轨迹数据,提前调整车速实现“绿波通行”。同时,城市交通大脑根据全网车辆动态,将事故预警信息推送至3公里范围内所有联网车辆,成功避免二次事故。该事件验证了智能网联汽车与智能交通系统(ITS)深度融合的协同价值。在本章节中我们将进行系统学习。



▶ 第一节 智能网联汽车的概念及发展历程

知识目标

- 掌握智能网联汽车的概念;
- 了解智能网联汽车的发展历程。

素养目标

- 培养民族自豪感;
- 培养工匠精神。

在能源革命和信息技术不断被突破的大背景下,汽车不断向电动化、智能化、网联化、共享化方向发展(见图5-1),整个汽车、交通和信息产业面临深刻变革。汽车产品由传统的交通工具逐步演变为具备代步功能的智能化移动空间,产业价值重心从整车集成制造转变为交通系统化的出行服务方案,产业格局由单一产业转向跨界融合和集成创新,新的商业模式不断兴起,汽车产业生态体系平台正在重塑。

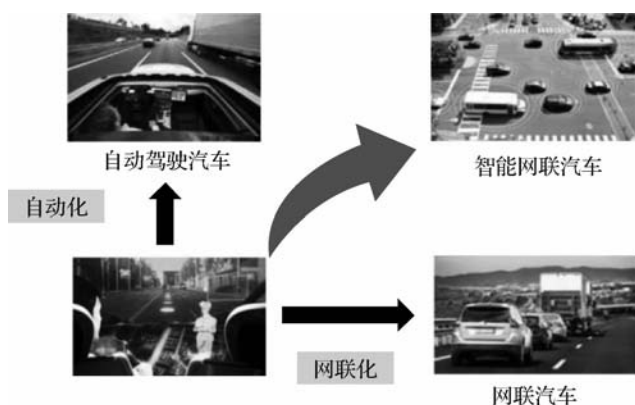


图 5-1 汽车产业未来发展方向

一、智能网联汽车的概念

智能网联汽车(intelligent connected vehicle, ICV)是车联网与智能车的有机联合,是指搭载先进的车载传感器、控制器、执行器等装置,并融合现代通信与网络技术,实现车与X(车、路、行人、云端等)智能信息交换、共享,具备复杂环境感知、智能决策、协同控制等功能,可实现车辆“安全、高效、舒适、节能”行驶,并最终可实现替代人来操作的新一代汽车。它是国际公认的未来生活方式的发展方向 and 关注焦点。

智能网联汽车、智能汽车与车联网、智能交通等概念的相互关系如图 5-2 所示。智能汽车隶属于智能交通大系统,而智能网联汽车则是智能汽车与车联网的交集。智能网联汽车是无人驾驶方面使用智能汽车的典型,也是交通系统方面使用车联网技术的典型,它的出现是为了建立一种新的交通范例,以便在很大程度上降低驾驶员的劳动强度,避免汽车碰撞和减轻交通拥堵等。

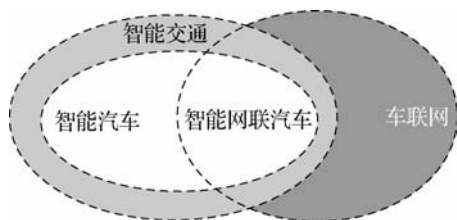


图 5-2 智能汽车、智能网联汽车与车联网、智能交通等概念的相互关系

智能网联汽车信息交流范畴如图 5-3 所示。通过一定的信息交换设备(如卫星通信、路基通信和云端智能等)实现车与车、车与人及车路人之间的连接(人车路协同控制),车与网络中心、智能交通系统等服务中心的连接(全要素网联化感知),甚至是车与住宅、办公室及一些公共基础设施的连接。也就是可以全面实现车内网络与车外网络之间的信息交换,从而全面解决人一车一外部环境的信息交流问题。

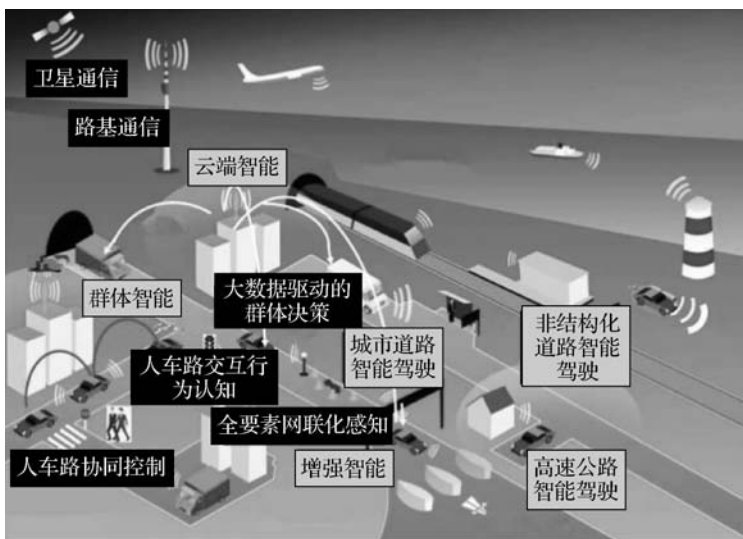


图 5-3 智能网联汽车信息交流范畴

智能网联汽车的出现不仅是产业变革的具象体现,也是加速产业升级的助推器。智能网联汽车定义下的“出行”由单纯的交通行为转变为高品质的交通体验。一方面,智能网联汽车可以有效减少交通事故。据美国汽车安全最高主管机关 NHTSA(美国国家公路交通安全管理局)统计,人为过失引起的车祸事故占全部交通事故的 94%,而依托自动驾驶技术实现车辆的精准感知、高效决策和执行将有效降低该比例,同时将极大地改善道路拥堵的现状,提升出行的便捷度。另一方面,智能网联汽车可以保证乘客出行的舒适度。随着自动化程度的增加,驾驶员的双脚、双手、双眼陆续得以“解放”,移动办公、移动会晤、车内影院、车内图书馆、车内咖啡厅将逐渐变为现实。汽车将成为除家居、工作场所、公共空间之外的“第四空间”,成为人们生活圈的重要部分。

二、智能网联汽车的发展历程

从第一台概念车发展到现在,智能网联汽车已经有近百年的发展历史,走过了概念研发、测试过程,技术不断向前发展。2009 年,Google 推出无人驾驶汽车计划,无人驾驶变为一项系统化的研究工作,发展层次得以提高,越来越多的企业投身于此。智能网联汽车的商业化步伐正在加快,多家企业已经制订了详尽的落地计划。

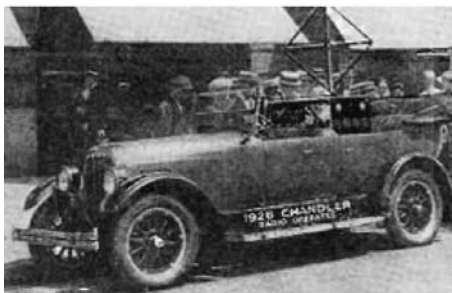
1. 国内外智能网联汽车的发展历程

国外智能网联汽车(见图 5-4)发展历史悠久,具有较为成熟的技术标准和产品,其发展历程如下。

- 1939 年,纽约世界博览会上美国通用汽车首次展出无人驾驶概念车。
- 1970 年,一些车企尝试使用射频和磁钉的方式引导车辆实现自动驾驶。
- 1980 年,美国国防部先进研究项目资助自动驾驶陆地车辆军事化应用研究。
- 1987 年,戴姆勒集团在欧洲启动尤里卡普罗米修斯计划。
- 1995 年,美国卡耐基梅隆大学研制出无人驾驶汽车,在州级公路上完成测试。
- 2009 年,Google 推出无人驾驶汽车计划。



- 2015年,福特获得美国加州的自动驾驶车辆测试许可。
- 2016年,联合国欧洲经济委员会宣布,关于自动驾驶汽车的修正案正式生效。
- 2017年至今,自主式和网联式加速融合,更高级别的驾驶辅助技术逐渐成熟。



(a) 通用无人驾驶汽车



(b) 美国自动驾驶军车



(c) 卡耐基梅隆无人车



(d) Google 无人车

图 5-4 国外的智能网联汽车

我国智能网联汽车起步相对较晚,但现阶段发展迅速。自 20 世纪 90 年代开始,我国高校及车企开展了对自动驾驶技术的研发工作。随着技术的发展,国内众多汽车企业、电子信息企业及通信和互联网行业的科技公司也开始积极加快研发智能网联汽车的关键技术。目前,我国已经在关键技术的研发和自主产品的市场化,以及产业链的布局 and 测试示范等方面取得了积极突破,建立了我国智能网联汽车的测试评价体系和标准。我国智能网联汽车(见图 5-5)的发展历程如下。

- 1992年,国防科技大学研制出国内第一款自动驾驶汽车 CITAVT-I。
- 2001年,国防科技大学和一汽合作研发自动驾驶汽车。
- 2011年,一汽红旗 HQ3 无人驾驶汽车完成从长沙到武汉 286 km 的路试。
- 2013年,中国汽车工程学会联合汽车整车企业、科研院所、通信运营商、软硬件厂商等成立“车联网产业技术创新战略联盟”。2015年7月更名为“智能网联汽车产业技术创新战略联盟”。
- 2015年,智能网联汽车被列为《中国制造 2025》发展重点。
- 2015年,百度无人驾驶汽车完成北京开放高速路的自动驾驶测试。
- 2016年,长安汽车完成 2 000 km 超级无人驾驶测试。
- 2017年,工业和信息化部、国家标准化管理委员会正式发布《国家车联网产业体系建设指南(智能网联汽车)(2017年)》征求意见稿意见的通知。
- 2018年,工信部、公安部、交通部三部委联合印发《智能网联汽车道路测试管理规范

(试行)》。管理规范于5月1日起实施,地方将制定实施细则,具体组织开展自动驾驶道路测试工作。

- 2018年,上汽集团、蔚来汽车拿到上海市第一批智能网联汽车开放道路测试号牌。



图 5-5 国内智能网联汽车

未来我国智能网联汽车产业将以《中国制造 2025》为目标,明确将发展智能网联汽车技术提升至国家战略高度。产学研各界及政府纷纷围绕这项技术,从各个角度谋求突破,以加快各产业联合融合进程,寻求占据智能网联汽车产业制高点。

2. 各国智能网联汽车政策

美国、欧盟国家和日本早在 20 世纪末就开始从国家层面规划智能网联汽车发展;中国的智能网联汽车研发始于 2002 年,起步相对较晚,但产业发展迅速。随着相关企业技术的不断进步,以及科技、互联网企业的加入,预计未来 10 年智能网联汽车行业将进入加速成长阶段。

在政策层面,各国也纷纷出台法律、规划等文件,加强对智能网联汽车关键技术的研发支持。美国将发展智能网联汽车作为美国发展智能交通系统的一项重点工作内容,通过制定国家战略和法规引导产业发展;日本则从智能交通系统开始研究,通过政府跨部门协同作用,推动智能网联汽车项目实施;欧盟则通过支持技术创新、成果转化推动智能网联汽车发展。这些政策直接刺激了本国智能网联汽车的发展,推动智能网联汽车在关键技术取得突破。

(1) 美国。美国将发展智能网联汽车作为发展智能交通系统的一项重点工作内容,通过制定国家战略和法规,引导产业发展。2015 年发布的《美国智能交通系统 (ITS) 战略规划 (2015—2019 年)》,将实现车联网、推进车辆自动化定为两大战略重点。2016 年发布了《美国自动驾驶汽车政策指南》,引起行业广泛关注。为推进智能网联汽车发展,美国运输部 (DOT) 成立了交通变革研究中心 (MTC),进行智能网联汽车大规模示范测试,目前 Waymo、Cruise 和 Zoox 等公司已在旧金山、菲尼克斯等 20 余个城市推出全无人驾驶出租车 (Robotaxi) 服务,并扩展至物流配送领域。

(2) 日本。日本较早开始研究智能网联汽车和智能交通系统,政府积极发挥跨部门协同作用,推动智能网联汽车项目实施。2013 年发布《创建最尖端 IT 国家宣言》,提出的建立一个最先进的 IT 国家战略中,包括一些关于智能网联汽车的元素和目标。2020 年以东京奥运会为契机,在东京临海地区、羽田机场等限定区域解禁 L4 级自动驾驶汽车测试,并推动车企展示前沿技术。2023 年日本《道路交通法》修正案正式生效,允许 L4 级自动驾驶车辆在公路行驶,计划到 2025 年度在全国约 50 个地方开启自动驾驶车辆运行服务。

(3) 欧盟。欧盟支持智能网联汽车的技术创新和成果转化,在世界保持领先优势。通过发布一系列政策以及自动驾驶路线图等,推进智能网联汽车的研发和应用,引导各成员国智能网联汽车产业发展。2011 年出台的《欧盟一体化交通白皮书》指出要重点发展车辆智能安全、信



息化及交通安全管理,并将信息安全与可靠性和大规模示范应用验证作为重点技术研究。2013年推出的“地平线2020科研计划”,从标准体系、基础设施、网络安全等方面全方位加速推进智能网联汽车的研发。2050年,欧盟计划形成一体化智能和互通互联汽车的交通区。

(4)中国。中国的智能网联汽车发展已上升至国家战略层面,发展定位从原来以车联网的概念体现并作为物联网的重要组成部分,向智能制造、智能网联等智能化集成转移。智能网联汽车在我国有着良好的发展机遇,不仅企业投入了大量的人力、财力,而且政府对于车联网也提供了众多的政策支持。国家“十四五”规划中,将车路云一体化基础设施及车规级芯片纳入数字经济核心产业,并设立专项基金支持技术攻关。《2024年政府工作报告》提出:“巩固扩大智能网联新能源汽车等产业领先优势”,为自动驾驶产业发展注入动力。在这一政策导向下,2024年,中国自动驾驶法规在国家和地方层面均取得了重要进展,为自动驾驶技术的产业化落地和规模化应用提供了有力支持。截至2025年,华为鸿蒙OS、斑马智行系统覆盖超千万辆智能汽车,百度Apollo等企业Robotaxi已在15城规模化运营,凸显中国对汽车智能化全球竞速的战略决心。

中国积极出台政策并联合汽车工业和科技公司进行攻关,电动化、网联化和智能化是未来汽车的发展方向。中国发展智能网联汽车的优劣势分析见表5-1。

表5-1 中国发展智能网联汽车的优劣势分析

优 势	劣 势
<p>(1)中国天然的制度优势有利于智能网联汽车跨领域、跨部门的协作发展;</p> <p>(2)科技变革的外部契机与汽车产业转型升级的内部动力兼备;</p> <p>(3)中国拥有规模超大、全球第一的汽车市场,这将发挥重要的引领作用;</p> <p>(4)中国拥有较为强大的信息产业;</p> <p>(5)智能网联汽车在国际上的发展仍处于初级阶段</p>	<p>(1)尚未形成国家层面的智能网联汽车发展战略,缺乏大型国家项目支撑;</p> <p>(2)中国智能汽车领域的基础技术还十分薄弱,核心技术仍落后于世界先进水平;</p> <p>(3)自主零部件企业相对弱小,行业缺乏有效协同研发机制;</p> <p>(4)中国虽有强大的互联网产业基础,但信息产业与汽车的融合层次较浅;</p> <p>(5)智能网联汽车标准法规及测试建设落后较多</p>

相比全球市场,中国智能网联汽车市场的发展稍显滞后,但随着《中国制造2025》《汽车产业中长期发展规划》等文件的发布,在政策的引领下,中国势必迎来智能网联汽车市场的蓬勃发展,届时中国作为全球汽车销量领先的国家,将成为全球最大的智能网联汽车市场。

我国制定了一系列的利好政策来加快智能网联汽车的发展,并制定一系列的发展规划,促进产业转型和升级,拉动经济增长。

到2020年,初步形成以企业为主体、市场为导向、政产学研用紧密结合、跨产业协同发展的智能网联汽车自主创新体系。先进驾驶辅助系统(ADAS)自主份额达50%,网联式驾驶辅助系统装配率达到10%,DA、PA整车自主份额超过40%。

到2025年,基本建成自主的智能网联汽车产业链与智慧交通体系。先进驾驶辅助系统(ADAS)自主份额达60%,网联式驾驶辅助系统装配率达到30%,DA、PA、HA整车自主份额达50%以上。提出车辆相关的智慧交通解决方案,普通道路的交通效率提高80%,交通

事故数减少 80%，交通事故死亡人数减少 90%，汽车二氧化碳排放量减少 20%。

未来多产业相互融合将推进我国车联网汽车跨越式发展，特别是我国新兴车企自身带有互联网基因，汽车成为其对外提供服务的载体，围绕载体创新模式不断，在智能网联、自动驾驶、汽车后市场等方面进行创新发展，成为新兴车企未来发展的优势。

3. 概念车型

近年来，随着人工智能、计算机和互联网产业的飞速发展，智能网联汽车成为一个新的技术热点而备受关注。再加上在工业制造智能化和互联网模式多元化的双引擎驱动下，电子信息、移动通信、人工智能等技术汽车产业加速融合，智能网联汽车方兴未艾。

全球各大汽车厂商和互联网公司纷纷投入巨资进行技术研发，各项新技术层出不穷。除福特、通用、丰田、北汽等传统汽车厂商外，苹果、Google、百度、阿里巴巴、腾讯等互联网企业也纷纷抢滩，跻身智能网联汽车的战场(见图 5-6)。

2005 年，Google 公司开始涉足无人驾驶汽车领域；2009 年启动无人驾驶汽车项目，成立无人车团队，大范围采集街景数据，构建地图数据库；2010 年，对外公布研究无人车；2012 年获得合法车牌；2013 年，正式开始复杂情况下的城市道路实测；2014 年，设计 Firefly 原型车并进行系列改装；2015 年，公司重组为 Alphabet，开始和车企菲亚特合作，不再亲自造车；2016 年，成立 Waymo 独立实体公司，专注研究无人驾驶技术，并和沃尔沃、福特、来福车、Uber 联合成立安全街道自驾联盟(Self-driving Coalition for Safer Streets)；2017 年，拿到美国国家高速公路交通安全机构的认定文件，开启真人乘车试验。截至 2017 年，已在 4 座城市进行道路测试，里程累计超过 500 万千米，达到每行驶 8 000 km 有 1 次人工干预的程度，累计发生安全事故 25 起，没有人员伤亡。

2013 年，百度公司无人驾驶汽车项目起步，2014 年正式启动；2015 年，公布自动驾驶原型车，在北京首次实现城市、环路及高速道路混合路况下的全自动驾驶，随后成立自动驾驶事业部，致力于研究 L4 级别无人驾驶(完全无人驾驶)；2016 年，发布智能汽车战略，成立智能汽车事业部，致力于研究 L3 级别无人驾驶(有限条件自动驾驶)，并获得美国加州政府颁发的上路测试牌照，首次在浙江嘉兴进行开放城市道路运营，并与国内 3 座城市签约进行道路实测合作；2017 年，成立智能驾驶事业群组，并与博世合作研发高精地图，宣布为汽车行业和自动驾驶领域的合作伙伴。

第二节 智能网联汽车技术等级

知识目标

- 了解智能网联汽车的技术和等级划分；
- 熟悉智能网联汽车的发展思路。



(a) Google 无人驾驶试验汽车



(b) 百度无人驾驶试验汽车



(c) Uber无人驾驶试验汽车



(d) 奔驰无人驾驶试验汽车

图 5-6 无人驾驶试验汽车

素养目标

- 通过小组合作培养团队精神;
- 培养工匠精神。

高度自动化阶段的智能网联汽车与传统汽车在感知、决策和控制三个方面有显著区别,这也是智能化、网联化应用的主要体现。

一、技术分类

智能网联汽车实现自动驾驶的技术分为自主式、网联式和智能网联式三类(见图 5-7):自主式汽车(autonomous vehicle, AV)是基于先进的车载传感装置和控制系统,应用人工智能等技术,实现汽车对车身的自主控制;网联式汽车(connected vehicle, CV)是集成信息通信、车联网、云计算等技术,实现车与环境之间的信息互联互通和实时交互,实时获得周围车辆的操作和运行状态,以及提前了解前方路段的运行状况。上述二者的融合,即智能网联式汽车(connected and automated vehicle, CAV 或 intelligent and connected vehicle, ICV)。

自主式系统是指依靠车载传感系统进行环境感知并对驾驶员进行驾驶操作辅助的系统。它有预警系统与控制系统两大类。

(1)预警系统:前向碰撞预警(forward collision warning, FCW)、车道偏离预警(lane departure warning, LDW)、盲区预警(blind spot detection, BSD)、驾驶员疲劳预警(driver

fatigue warning, DFW)、全景环视系统(top view system, TVS)、胎压监测系统(tire pressure monitoring system, TPMS)六大系统。

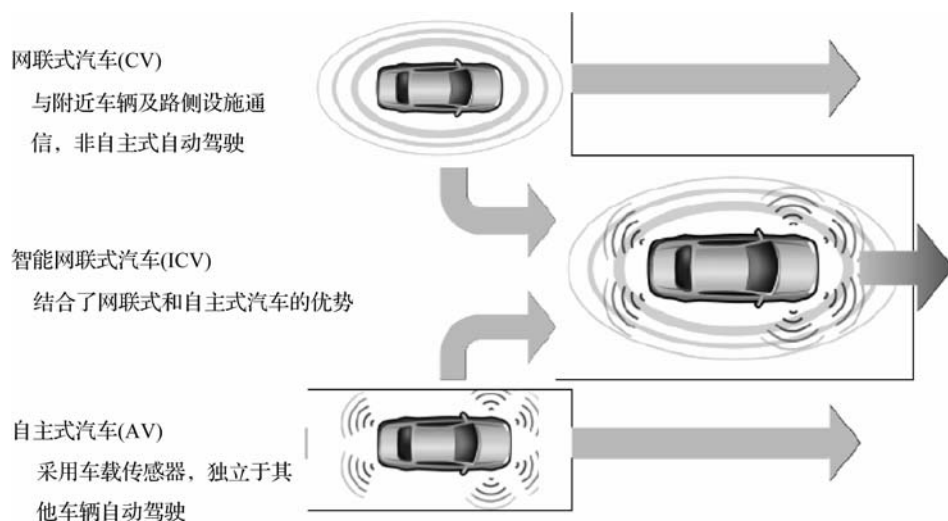


图 5-7 智能网联汽车的三种技术路径

(2)控制系统:车道保持系统(lane keeping system, LKS)、自动泊车系统(auto parking system, APS)、自动紧急制动(auto emergency braking, AEB)、自适应巡航控制(adaptive cruise control, ACC)四大系统。

以奔驰、大众、通用、本田、日产等为代表的整车企业主要采取自主式的技术路线,技术发展较为成熟,见表 5-2。

表 5-2 自主式自动驾驶技术路线企业情况

企 业	功 能	配备传感器
奔驰	碰撞预警辅助、车道保持、主动式驻车辅助	超声波雷达、立体摄像头等
大众	自适应巡航控制、停车辅助、车道辅助	毫米波雷达、激光摄像机、GPS 等
通用	SuperCruise(自适应巡航、同车道保持)	雷达、摄像机、GPS 等
本田	碰撞缓解制动、自动泊车、车道保持	微波雷达、毫米波雷达、单眼摄像机等
日产	碰撞危害减轻制动、同车道保持	激光雷达、声波定位仪、摄像头等

网联式系统是指依靠信息通信技术,对车辆周边环境进行感知,并可对周围车辆未来运动进行预测,进而对驾驶员进行驾驶操作辅助的系统。其主要技术特点为:对环境的感知技术,在传感器的基础上,加上信息通信技术,可对周围车辆未来运动进行预测。网联式系统正在进行实用性技术开发和大规模试验场测试。

而阿里巴巴、苹果、乐视等互联网企业则是网联式路线的主要推动者(见表 5-3)。



表 5-3 网联式自动驾驶技术路线企业情况

企 业	车联网平台	公司优势
阿里巴巴	YunOS 操作系统	阿里通信、高德地图、阿里云计算等
苹果	苹果 Carpaly	i-Tunes、消息应用等
百度	Carlife	百度地图、语音识别、Mycar 云计算等
腾讯	车联 ROM	车联 APP、MCar、QQ、四维图新高清地图等
乐视	LeUIAuto	地图导航、汽车服务、远程控制与管理等

不管是自主式还是网联式,从目前发展来看,企业均无法通过单一路线实现自动驾驶的目标。自主式方案不能充分模拟人体感觉,大规模应用成本较高,并且缺少城市环境的全方位扫描;网联式方案无法实现人车通信,需要较大的基础设施投资。两种方案均不能完全满足全工况完全无人驾驶的需要,要实现全工况完全无人驾驶的目标,必须有效融合自主式和网联式发展路线,即智能网联汽车,通过共同推进自动驾驶时代的全面到来,在自动驾驶技术阶段的清晰划分及技术路线的精准把握之下,整车厂、关键零部件企业及互联网企业纷纷开展自动驾驶技术的研发,并逐步实现不同功能的辅助驾驶及有条件自动驾驶技术的推广。

二、等级划分

1. 自动驾驶技术等级划分

参考国际汽车工程师协会(SAE)和欧盟标准,《中国制造 2025》将智能汽车自动驾驶技术分为驾驶辅助(DA)、部分自动化(PA)、有条件自动化(CA)、高度自动化(HA)、完全自动化(FA)五个阶段,如图 5-8 所示。目前,国外自动驾驶汽车技术处于 DA-PA 阶段,国内处于 PA 阶段。

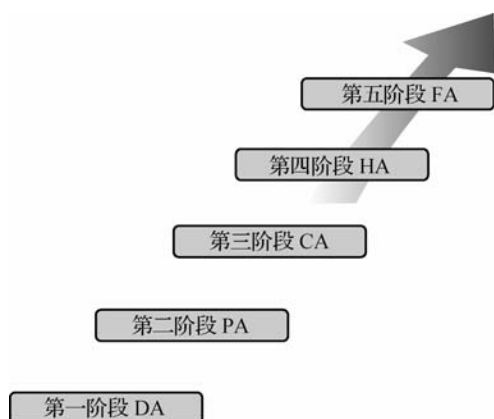


图 5-8 智能网联汽车五个阶段

(1) 驾驶辅助(driver assistance, DA)。驾驶辅助系统可针对驾驶模式执行特定操作,自适应巡航控制和自动制动是第一阶段的典型例子,可以根据驾驶环境信息,执行转向和加速、减速操作,但动态驾驶任务的所有其余方面仍由驾驶员执行。

(2)部分自动化(partial automation,PA)。可以针对驾驶模式执行转向和加速、减速操作,有了自动泊车、ACC和车道控制保持系统,必要时驾驶员可以完全控制汽车,部分车企的车辆已经达到这一阶段。

(3)有条件自动化(conditional automation,CA)。要实现交通拥堵控制、高速路驾驶、自动泊车和公路列车等应用,自动驾驶系统将全面控制驾驶任务,但驾驶员能适当响应干预请求的情况除外。

(4)高度自动化(high automation,HA)。无须驾驶员介入,可以立即做出响应。

(5)完全自动化(full automation,FA)。无须驾驶员介入,可在任何道路和环境条件下执行动态驾驶任务。

2. 网联化等级划分

在网联化方面,按照网联通信内容及实现的功能不同,可分为网联辅助信息交互、网联协同信息感知、网联协同决策与控制三个等级,如表 5-4 所示。

表 5-4 智能网联汽车网联化等级划分

等级名称	等级定义	控制	典型信息	传输要求
网联辅助信息交互	基于车-路、车-后台通信,实现导航辅助信息的获取及车辆行驶与驾驶员操作等数据的上传	人	地图、交通流量、交通标志、油耗、里程等信息	传输实时性、可靠性较低
网联协同信息感知	基于车-车、车-路、车-人、车-后台通信,实时获得车辆周边交通信息,与车载传感器的感知信息融合,作为车辆决策与控制系统的输入	人与系统	周边车辆、行人、非机动车位置、信号灯相位、道路预警等信息	传输实时性、可靠性较高
网联协同决策与控制	基于车-车、车-路、车-人、车-后台通信,实时获得车辆周边交通环境信息及车辆决策信息,车-车、车-路等交通信息参与者协同决策与控制	人与系统	车-车、车-路间协同控制信息	传输实时性、可靠性最高

智能网联汽车网联化等级发展过程如图 5-9 所示。我国智能网联汽车自动驾驶整体的发展策略分为三个阶段:即 2025 年实现有条件自动驾驶应用,2030 年实现城市道路高级别自动驾驶应用,2035 年后可实现完全的自动驾驶应用。

三、智能网联汽车的发展思路

智能网联汽车的发展思路是:近期以自主环境感知为主,推进网联信息服务为辅的部分自动驾驶(PA)应用;中期重点形成网联式环境感知能力,实现可在复杂工况下的半自动驾驶(GA);远期推动可实现 V2X 协同控制、具备高度/完全自动驾驶(HA/FA)功能的智能化技术。

1. 车辆高级驾驶辅助系统

在智能网联汽车发展的现阶段,车辆高级驾驶辅助系统(advanced driver assistance

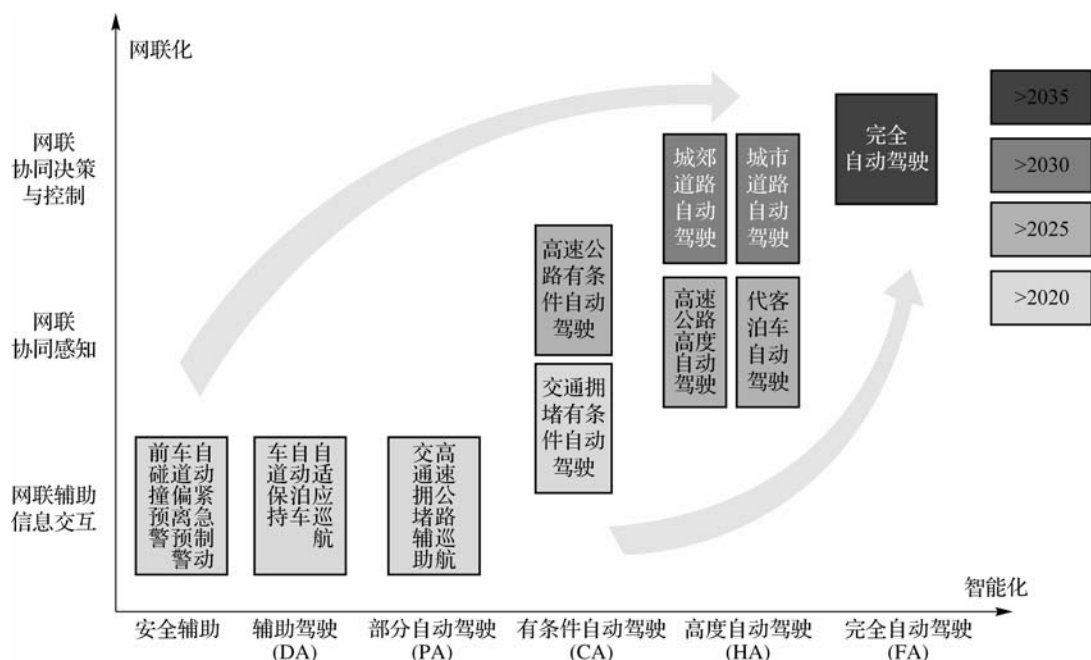


图 5-9 智能网联汽车网联化等级发展过程

systems, ADAS)是最先可能实现也是最基础的组成部分,如图 5-10 所示。ADAS 是利用安装在车上的各种传感器,在汽车行驶过程中随时感应周围的环境,收集数据,进行静态、动态物体的辨识、侦测与追踪,并结合导航系统数据进行系统的运算与分析,从而预先让驾驶员察觉到可能发生的危险,有效增加汽车驾驶的舒适性和安全性。ADAS 的运用是实现自动驾驶的第一步,其核心思想是环境感知,即通过感知周围环境为驾驶员提供危险工况探测、警示及避让。



图 5-10 车辆高级驾驶辅助系统(ADAS)的组成

若要在所有道路情况下实现由系统完全代替人类进行车辆控制的自动驾驶,精准感知、智能决策等技术瓶颈仍有待突破。从产业化角度看,完全的无人驾驶离我们还很遥远。目

前,汽车市场上的自动驾驶产品主要为 ADAS。

已经应用或即将应用的主要辅助驾驶技术分为预警技术与控制技术两类。其中常见的预警技术包括前向碰撞预警(FCW)、车道偏离预警(LDW)、驾驶员疲劳探测系统(DFMS)、盲区预警(BSD)、导航与实时交通系统(TMC)、电子警察系统(ISA)、全景环视(Top View)和胎压监测(TPMS)等;常见的控制技术包括车道保持系统(LKS)、夜视系统(NV)、行人探测系统(PD)、自动泊车系统(APS)、交通标志识别系统(TSR)、盲点探测系统(BSD)、下坡辅助系统(DAC)、自动紧急制动(AEB)、自适应巡航(ACC)、自适应灯光控制(AC)、电动汽车报警系统等。

奥迪 ADAS 如图 5-11 所示。



图 5-11 奥迪 ADAS

作为人类驾驶到无人驾驶的过渡产品,ADAS 率先得到大规模应用。如图 5-12 所示,2017 年 ADAS 中各类产品全面渗透到不同级别车型中。

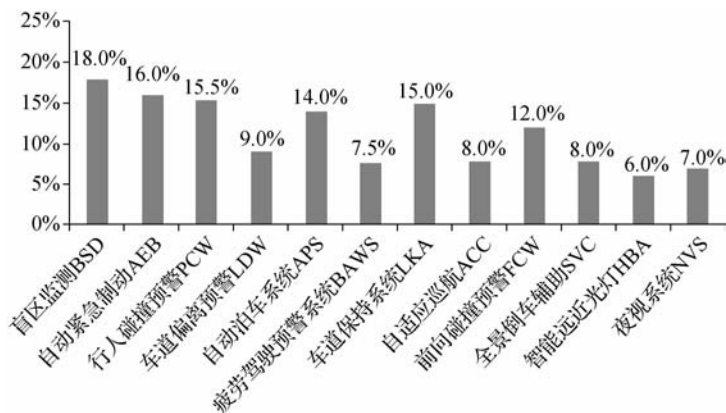


图 5-12 2017 年 ADAS 产品渗透率

目前,美、日、欧等发达国家和地区已经开始将高级驾驶辅助系统(ADAS)引入其相应的新车评价体系。



(1)美国新车评价规程(United States New Car Assessment Program, USNCAP)从2011年起引入LDW与FCW作为测试加分项,美国公路安全保险协会(IIHS)从2013年起将FCW系统作为评价指标之一。2016年5月起,美国各车企被强制要求对其生产的10%的车辆安装后视镜摄像头,这一比例在随后两年中快速提升至40%和100%。

(2)欧洲新车评价规程(European New Car Assessment Program, E-NCAP)也从2014年起引入LDW/LKA与AEB系统的评价,汽车驾驶辅助技术已经成为获取E-NCAP四星和五星的必要条件。2015年11月开始,欧洲新生产的重型商用车强制安装车道偏离警告(LDW)系统及车辆自动紧急制动(AEB)系统。2016年增加了行人防撞AEB的测试,并在2018年加入自动车防撞AEB系统的测试。

(3)2016年,中国的C-NCAP已将LDW/FCW/AEB等驾驶辅助系统纳入其评价体系中,且于2025年新增城市领航辅助(City NOA)和代客泊车(AVP)测试项,AEB行人/自行车识别权重提升至15%。工信部要求2025年7月起,所有新上市乘用车标配AEB和DMS。

2024年中国新车L2及以上ADAS装配量达1098.2万辆,渗透率为47.9%,其中自动紧急制动(AEB)、车道保持(LKA)、前向碰撞预警(FCW)功能普及率最高,随着高阶智驾的技术进步和规模化生产,成本逐步降低将加速其渗透,预计未来中国汽车市场对ADAS的需求量将保持持续增长的态势,年均复合增长率将达到30%~35%。ADAS已经从最初的仅仅进行危急提醒上升到干预和控制;主动安全与被动安全系统的互通协作将更加紧密;传感器、处理器的集成度将进一步提高,系统表现将更加稳定。

2. Telematics 技术

一般来说,网联汽车信息化时代的开启以2010年国际Telematics产业联盟(ITIF)正式成立为标志,也就是说,网联汽车的初级阶段是以Telematics技术为代表的。

Telematics是指远程通信技术(telecommunications)与信息科学技术(informatics)构成的信息技术(information technology),用来描述基于计算机的信息远程传输和处理技术。随着无线通信、计算机、互联网、卫星定位和导航技术的迅速发展,Telematics在汽车和交通领域成为主流应用。Telematics是通过内置在汽车、航空器、船舶、火车等运输工具上的计算机网络技术,借助无线通信技术、GPS卫星导航技术,实现文字、图像、语音信息交换的综合信息服务系统。

Telematics在汽车上的应用如图5-13所示,它是基于无线网络通信技术,以车为主体,利用无线通信技术与外部网络相连接,实现人与外在信息资源之间单向或双向传输的互动系统。通过该系统,可以实现远距离和车辆的交互。典型应用包括e-Call、汽车监控与车队管理、导航与位置服务、故障诊断、互联网接入、娱乐和信息服务、语音和手势识别等。

现阶段网联汽车的核心技术是基于全球定位系统(GPS)技术、地理信息系统(geographic information system, GIS)技术、智能交通系统(intelligent transport system, ITS)技术和无线通信技术。

如图 5-14 所示, Telematics 系统主要包括通信、安防、定位导航和信息娱乐四大类功能。

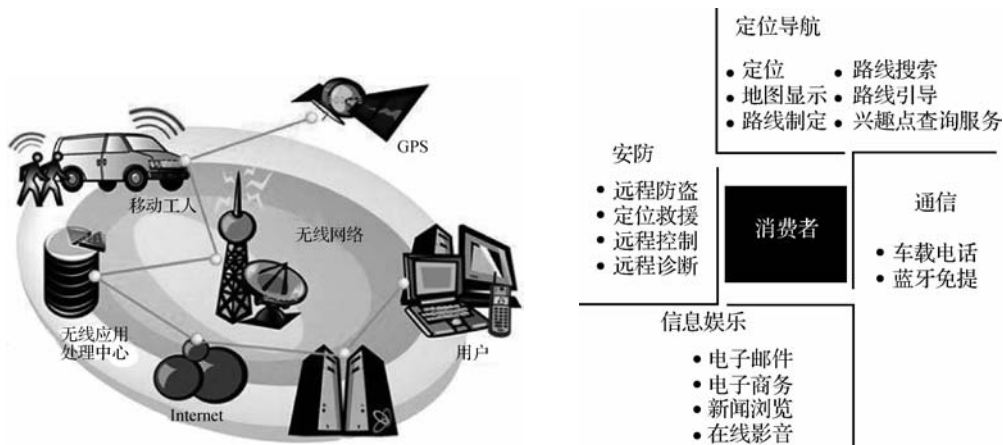


图 5-13 Telematics 在汽车上的应用

图 5-14 Telematics 系统的功能分类

1) 卫星定位导航与车况自检

通过 GPS 确定失窃车辆的位置和行车路线, 以便搜寻与追踪, 追缴车辆并缉拿嫌犯。另外, 还可以通过车辆性能与车况的自动监测技术, 实时传输车辆数据, 进行多地、远程专家会诊, 指导车辆维修等。车载卫星定位导航如图 5-15 所示。

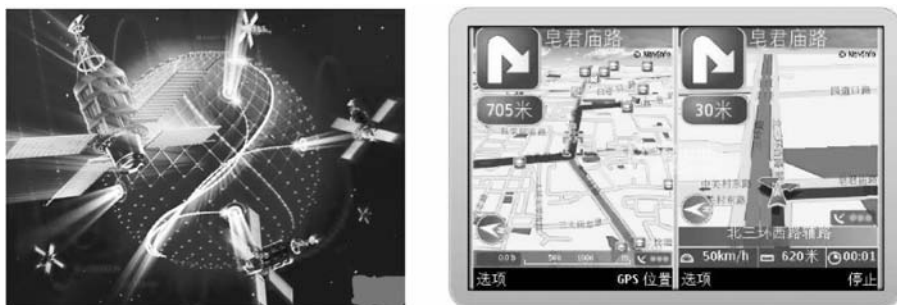


图 5-15 车载卫星定位导航

2) 交通信息预报与娱乐系统

为了避免驾驶员分神, 信息输入方式主要采用语音输入或触摸屏(触控面板)输入, 信息输出方式则为中尺寸面板(LCD 或 OLED)输出、语音输出或投射在汽车前挡风玻璃的抬头显示(head-up display, HUD)。

如图 5-16 所示, 通过 GPS, 结合行车路线, 做电子地图与语音导航相结合的路况报道, 如交通拥堵、复杂路况及交通安全和碰撞警告; 路线指引, 并能提前预报前方路口的车速限制及交通违法摄像头的安装情况, 以确保安全行车。

后座系统主要以多媒体娱乐为主(见图 5-17), 包括互动式游戏、高保真音响视听系统、随选视频资讯、数字广播与数字电视等。例如, 智能手机或互联网功能的平板电脑等移动端与车内多媒体连接, 开启多媒体娱乐之旅。



图 5-16 车载交通信息预报

3) 道路救援与车辆应急预警系统

在行车过程中,如果发生车祸或车辆出现故障,驾驶员可通过 Telematics 系统的紧急申请呼叫按键自动联系紧急服务机构(119、120 等急救机构)或汽车服务站,以获得道路救援,如图 5-18 所示;也可接收来自道路交通管理部门发布的紧急情况警告及应急响应预案,确保行车安全和道路畅通。



图 5-17 车载娱乐系统



图 5-18 道路救援与车辆应急预警系统

3. 人机共驾阶段

人机共驾是指驾驶员和智能系统同时“在线”,分享车辆控制权,人机一体协同完成驾驶任务。与一般的驾驶辅助系统相比,共驾型智能汽车由于人机同为控制实体,双方受控对象交联耦合,状态转移相互制约,具有双环并行的控制结构,因此要求系统具备更高的智能化水平。系统不仅可以识别驾驶员的意图,实现行车决策的步调一致,而且能够增强驾驶员的操纵能力,减轻其操作负荷。

广义的人机共驾包含感知层、决策层和控制层三个层次。感知层主要是利用特定传感器(如超声波雷达、摄像头、红外热释电传感器等)向人提供环境信息,增强人的感知能力。例如,Mulder 等通过方向盘的力反馈协助驾驶员进行车道保持,既减轻了驾驶负担,又提高了车辆安全性。决策层主要技术包括驾驶员决策意图识别、驾驶决策辅助和轨迹引导。例如,Morris 和 Doshi 等人采用多层压缩方法,建立基于实际道路的驾驶员换道意图预测模

型,结果表明系统能够在实际换道行为发生前 3 s 有效预测驾驶员换道意图。Thomas 等人考虑交通管制和物理避障等约束,结合车辆非线性动力学特性,根据模型预测控制方法提出预测轨迹引导模型,辅助驾驶员决策并利用人机交互进行轨迹引导。根据模型预测控制方法提出预测轨迹引导模型,辅助驾驶员决策并利用人机交互进行轨迹引导。人机共驾主要指控制层的控制互补,不同于传统驾驶过程,人机共驾中狭义的人和系统同时在环,驾驶员操控动力学与智能系统操控动力学互相交叉,交互耦合,具有双环交叉的特点。

4. 未来——高度自动/无人驾驶阶段

高度自动/无人驾驶阶段的智能汽车是指车辆将自动完成所有工况下的自动驾驶,驾驶员不需要介入车辆操作。

1) 技术特点

车辆在遇到无法处理的驾驶工况时,会提示驾驶员是否接管,如驾驶员不接管,车辆会采取靠边停车等保守处理模式,保证安全。

2) 发展水平

高度自动/无人驾驶技术还处于研发和小规模测试阶段。

3) 发展态势

(1) 目前,以 Google 为代表的互联网技术公司,其发展思路是跨越人机共驾阶段,直接推广高度自动/无人驾驶系统。

(2) 传统汽车企业大多数还是按照渐进式发展思路进行发展。

第三节 智能网联汽车的技术架构

知识目标

- 了解环境感知技术、智能决策技术、控制技术和车联网平台;
- 熟悉智能网联汽车未来的发展目标和重点。

素养目标

- 提升团队合作能力和沟通表达能力。

智能网联汽车融合了自主式智能汽车与网联式智能汽车的技术优势,涉及汽车、信息通信、交通等诸多领域,其技术架构较为复杂。由驾驶辅助向高度自动驾驶逐步演进是实现自动驾驶的主要趋势。驾驶辅助功能的实现主要通过激光雷达、毫米波雷达等先进传感器的应用,高度自动驾驶功能的实现则需要以高精度地图及先进的算法为基础。

智能网联汽车的技术架构如图 5-19 所示。

智能网联汽车产品体系可分为感知系统、决策系统和执行系统三个层次,分别可类比人类的感知器官、大脑及手脚,如图 5-20 所示。

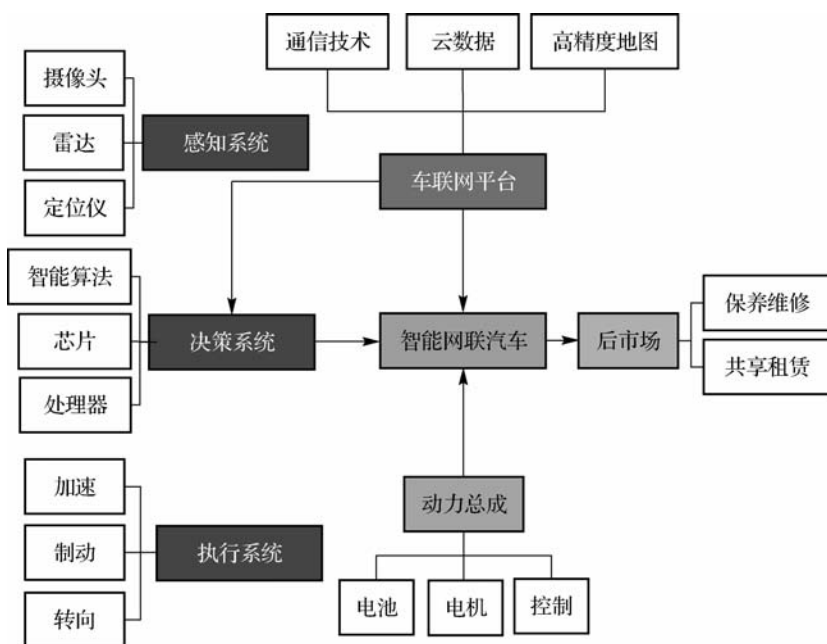


图 5-19 智能网联汽车的技术架构

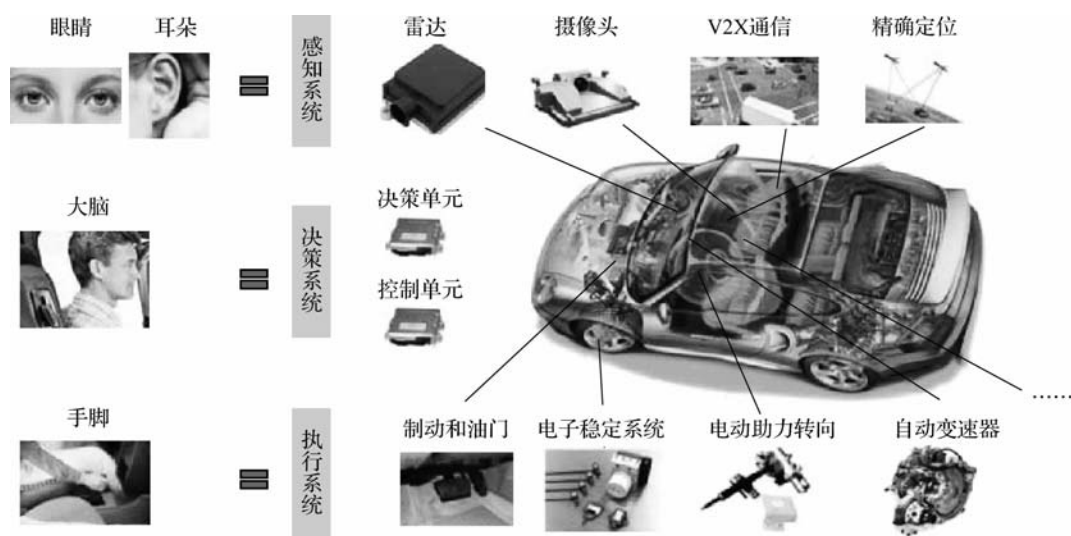


图 5-20 智能网联汽车的产品体系

智能网联汽车涉及的关键技术和愿景如图 5-21 所示,主要包括车辆、信息交互与基础支撑,以及车载平台和基础设施条件。

环境感知技术包括利用机器视觉的图像识别技术,利用雷达(激光、毫米波、超声波)的周边障碍物检测技术,多源信息融合技术,传感器冗余设计技术等。

智能决策技术包括危险事态建模技术,危险预警与控制优先级划分,群体决策和协同技术,局部轨迹规划,驾驶员多样性影响分析等。

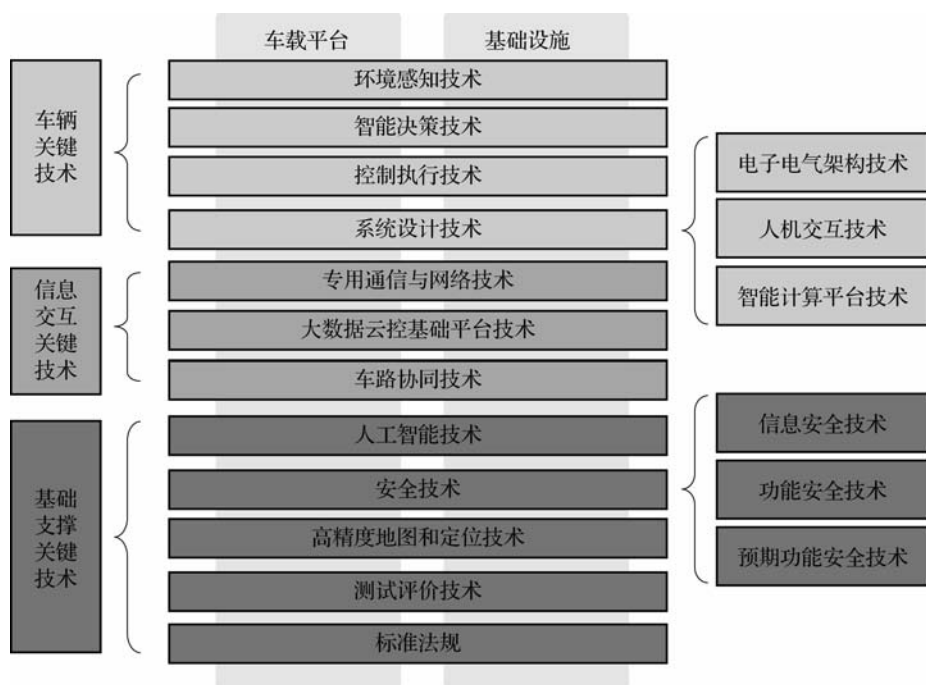


图 5-21 智能网联汽车涉及的关键技术和愿景

控制执行技术包括面向驱动/制动的纵向运动控制,面向转向的横向运动控制,基于驱动/制动/转向/悬架的底盘一体化控制,融合车联网(V2X)通信及车载传感器的多车队列协同和车路协同控制等。

系统设计技术包括电子电气架构技术、人机交互技术以及智能计算平台技术。

专用通信于网络技术是实现车间信息共享与协同控制的通信保障机制,包括移动自组织网络技术、多模式通信融合技术等。

大数据云控基础平台技术包括智能网联汽车云平台架构与数据交互标准,云操作系统,数据高效存储和检索技术,大数据的关联分析和深度挖掘技术等。

车路协同技术是实现车辆与道路基础设施实时信息交互及协同决策的核心支撑,包括V2X通信技术、路侧感知设备融合技术等。

人工智能技术是驱动智能网联汽车环境感知与决策控制的关键引擎,涵盖深度学习算法、多模态传感器融合技术等。

安全技术包括汽车信息安全建模技术,数据存储、传输与应用三维度安全体系,汽车信息安全测试方法,信息安全漏洞应急响应机制等。

高精度地图与高精度定位技术包括高精度地图数据模型与采集式样、交换格式和物理存储的标准化技术,基于北斗地基增强的高精度定位技术,多源辅助定位技术等。

测试评价技术包括智能网联汽车测试评价方法和环境建设。

标准法规包括智能网联汽车整体标准体系,以及涉及汽车交通、通信等各领域的关键技术标准。



一、环境感知技术

环境感知模块将先进的通信技术、信息传感技术、计算机控制技术结合起来系统利用,主要由机器视觉识别系统、雷达系统、超声波传感器和红外线传感器等组成,通过提取路况信息、检测障碍物为智能网联汽车提供决策依据,如图 5-22 所示。生产这些传感器的公司包括 Velodyne、Bosch、Continental、SICK、IBEO、Delphi 等。



图 5-22 环境感知技术

1. 视觉传感器

视觉传感器在整个环境感知系统中占有非常重要的地位,相当于无人驾驶汽车的眼睛,主要由一个或两个图形传感器组成,有时还要配以光投射器及其他辅助设备。视觉传感器的主要功能是获取足够的机器视觉系统要处理的最原始图像,通过对摄像机拍摄到的图像进行处理来计算对象物的特征量(面积、重心、长度、位置等),并输出数据和判断结果。视觉传感器主要用于检测路面的车道线、路边各种标识及红绿灯等。

无人车常用的视觉传感技术一般包括红外摄像技术和普通摄像技术。图 5-23 所示为红外摄像传感器。红外摄像照射距离远,画质细腻清晰,设备也更加经久耐用。红外摄像头的工作原理是红外灯发出红外线照射物体,红外线漫反射,被监控摄像头接收,形成视频图像。从光谱学角度来讲,和普通摄像技术感知可见光的原理类似。

视觉传感器的图像采集单元主要由 CCD/CMOS 相机、光学系统、照明系统和图像采集卡组成,将光学影像转换成数字图像,传递给图像处理单元。通常使用的图像传感器主要有 CCD 图像传感器和 CMOS 图像传感器。图像传感器可以使用激光扫描器、线阵和面阵 CCD 摄像机或者 TV 摄像机。目前摄像头的应用主要有单目摄像头、后视摄像头、立体摄像头(双目摄像头)和环视摄像头。主流视觉传感器设备的主要参数见表 5-5。

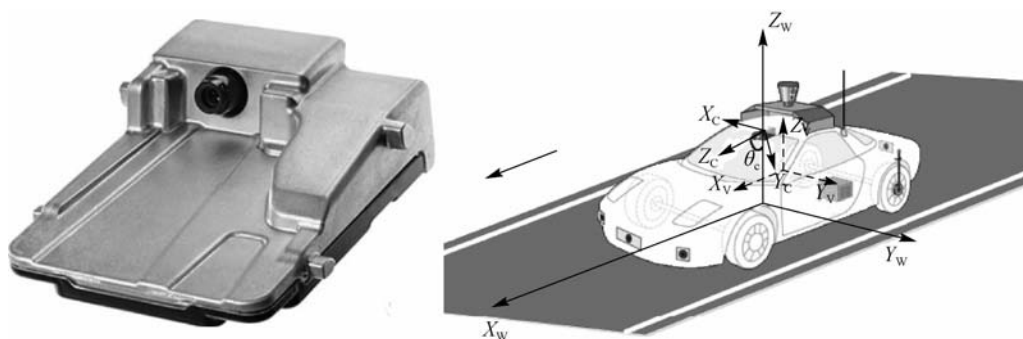




图 5-23 红外摄像传感器

表 5-5 主流视觉传感器设备的主要参数

设备型号	主要参数	报 价	图 片
Point Grey Firefly	每秒帧数 60; 像素单位 $6.0 \mu\text{m} \times 6.0 \mu\text{m}$; 分辨率 $752(\text{H}) \times 480(\text{V})$	0.2 万~0.3 万元	
IDS uEye XS	每秒帧数 30; 像素单位 $1.4 \mu\text{m} \times 1.4 \mu\text{m}$; 分辨率 $2\ 592(\text{H}) \times 1\ 944(\text{V})$	0.6 万~0.8 万元	

摄像头作为主要传感器是因为摄像头的分辨率远高于其他传感器,可以获取足够多的环境细节,帮助车辆进行环境认知,车载摄像头可以描绘物体的外观和形状、读取标志等,这些功能其他传感器无法做到。

视觉传感器的优点是价格便宜,可以量产,体积小,方便安装在各种地方,可以识别颜色。但是容易受外界环境干扰,如当天气非常好、光线很强时,有的物体在光线照射下会出现反光的现象,从而使相机过度曝光;当天气不好、光线弱时,有的地方背光或者光线不足,会使得相机曝光不足。这些情况都会影响相机的拍摄质量,从而影响最终的检测结果。

相机安装位置也会影响最终检测的结果。当相机安装在车辆外部时,外界的光线、天气情况都会对相机拍摄产生影响;当相机安装在车辆内部时,车窗上的污渍和反光也会影响拍摄质量。所以,无论相机安装在何处,都要做好防护措施,避免光线对拍摄产生影响。

同时,无人驾驶汽车的运动状态也会对视觉感知系统产生影响。由于传感器是安装在汽车机体上的,其状态会和汽车当前状态保持一致,再加上拍摄帧数有限,当无人驾驶汽车保持较高速度运动时,相机拍摄的图像会模糊,质量较差,没有静态状态下拍摄的清晰。


2. 激光雷达

激光雷达的核心技术是基于激光的飞行时间(time of flight, TOF)来测量物体与设备之间的距离。具体而言,就是根据激光遇到障碍物后的折返时间,计算目标与自己的相对距离。激光光束可以准确测量视场中物体轮廓边沿与设备间的相对距离,这些轮廓信息组成点云并绘制出 3D 环境地图,精度可达厘米级别,从而提高测量精度。因此,它在 ADAS 及无人驾驶系统中起重要作用。



不同激光雷达的特性见表 5-6。在百度无人驾驶汽车上就安置了一个体积较大、价值 70 余万元的 64 位激光雷达,Google 无人车同样配置了激光雷达。车载激光雷达系统的优劣主要取决于 2D 激光扫描仪的性能。激光发射器线束越多,每秒采集的云点就越多。但激光雷达成本高昂,而且遇到烟雾介质及在雨雪天气中表现一般。

表 5-6 不同激光雷达的特性

设备型号	HDL-64E-Velodyne(64 线)	IBEOLUX(8 线)	SICK LMS511(单线)
主要参数	扫描距离 120 m,分辨率 <2 cm;水平扫描角度 360° ,分辨率 0.09° ;垂直扫描角度 $-24.8^{\circ}\pm 2^{\circ}$,分辨率约 0.4°	扫描距离 200 m,分辨率 10 cm;水平扫描角度 110° ,分辨率 0.125° ;垂直扫描角度 6.4° ,分辨率 0.8°	扫描距离 26 ~ 80 m,分辨率 1 m;水平扫描角度 190° ,分辨率 0.25°
报价	50 万~100 万元	15 万~25 万元	3 万~4 万元
图片			

1) 二维激光雷达

二维激光雷达通常与三维激光雷达配合使用,三维激光雷达安装位置较高,往往会有盲区,而二维激光雷达能检测无人驾驶汽车周边的障碍物,解决盲区问题。如图 5-24 所示,二维激光雷达通过扫描来测量汽车周边区域内的物体与自身之间的距离以及相对于自身坐标系的角度,而且可以设置各种不同角度下的分辨率和扫描频率,这将影响表达每次输出光束的测量距离的方式。



图 5-24 二维激光雷达

为了能够及时获取雷达每次测量的数据,一般都会选用网络接口作为雷达与上机位之间的传输方式,首先建立一个 IP 连接雷达与上机位,雷达通过此连接接收上机位发送的扫描请求,然后雷达再通过网络接口按照人工设定好的频率向上机位传输数据。

2) 三维激光雷达

三维激光雷达是目前无人驾驶汽车中应用最多的一类传感器。它是把很多单线的激光组合在一起,具有非常高的距离、角度和速度分辨率,以及非常强的抗干扰能力,还可以获取三维信息。如图 5-25 所示,三维激光雷达的扫描范围在水平方向上为 360° , 最远检测距离为 120 m,可以在除雨雾等恶劣天气的任何环境下使用。一般来说,雷达安装的位置和摆放的姿势都会影响其检测范围,所以一般在无人驾驶汽车中,都会把三维激光雷达安装在车顶,这样可检测的范围更广。



图 5-25 三维激光雷达

3. 毫米波雷达

毫米波(millimeter wave)是指 30~300 GHz 频段(波长为 1~10 mm)的电磁波。毫米波的波长介于厘米波和光波之间,因此毫米波兼有微波制导和光电制导的优点。如图 5-26 所示,毫米波雷达可用于自动驾驶车辆开展环境识别。同厘米波导引头相比,毫米波导引头具有体积小、重量轻和空间分辨率高的特点。与红外、激光、电磁等光学导引头相比,毫米波导引头穿透雾、烟、灰尘的能力强,可全天候(大雨天除外)工作,与激光雷达的作用产生互补。另外,毫米波导引头的抗干扰、反隐身能力也优于其他微波导引头。但毫米波雷达由于波长原因,探测距离非常有限,也无法感知行人,而激光雷达可以对周边所有障碍物进行精准建模。为了克服这些缺点,需要将这些传感器组合在一起使用。



图 5-26 应用毫米波雷达的汽车



毫米波雷达是智能汽车 ADAS 的标配传感器,可分为24 GHz雷达和 77 GHz 雷达。参照其特性,通常车辆周围的车辆检测使用 24 GHz 雷达,前方车辆检测使用 77 GHz 雷达。常见毫米波雷达公司产品及报价见表 5-7。

表 5-7 常见毫米波雷达公司产品及报价

设备型号	主要参数	报 价	图 片
Continental ARS308	远距离 200 m,分辨率 2 m;视角 56°,分辨率 1° 中距离 60 m,分辨率 0.25 m;视角 17°,分辨率 0.1°	1 万~3 万	
Delphi ESR	远距离 174 m,分辨率 2.5 m;视角±10°,分辨率 0.5° 中距离 60 m,分辨率 0.4 m;视角±45°,分辨率 0.2°	3 万~5 万	
Bosch MRR	远距离 160 m,分辨率 2.5 m;视角±45°,分辨率 0.6° 中距离 80 m,分辨率 0.4 m;视角±45°,分辨率 0.3°	3 万~4 万	

博世 77 GHz 雷达传感器的目标识别率是传统的 24 GHz 雷达传感器的 3 倍,测速和测距精准率提高了 3~5 倍,设计也更为紧凑。77 GHz 也是至今乃至未来汽车雷达永久分配的频段,特别适合于全球汽车市场的车型平台。

在选择具体某个传感器时,通常需要综合考虑其性能特点、价格、形状及厂家供货周期等信息,在保证信息识别效果的同时提高性价比,并且最大化地使得无人车在外观上与原车型保持一致。还需要对天气状况进行了解和分析,主要有雨、冰雪、风、雾、晴天等。需要考虑传感器在各种天气条件下的应用效果,以便针对不同环境都有有效的传感器能正常工作。因此,首先调研了能用来分辨这些情况的传感器及其应用情况,然后给出通过传感器匹配实现不同状况下的精确探测。表 5-8 列出各种天气状况下传感器的应用情况。

表 5-8 各种天气状况下传感器的应用情况

传 感 器	晴 天	雾 天	雨 天	风	冰 雪	白 天	黑 夜
毫米波雷达	√	√	×	√	×	√	√
激光雷达	√	×	×	√	×	√	√
红外摄像机	√	×	×	√	√	√	√
普通摄像头	√	√	×	√	√	√	×

注:√表示可用;×表示效果不好。

而对不同天气的感知和识别也需要通过相应的传感器技术来实现。通常,晴天或雨天可以用雨量传感器探测出来,很多此类传感器也集成了温度、光线强度、雨雪等环境的识别;风速大小对车辆的正常运行影响较大,可以通过风速传感器来感知风速大小和方向,配合车辆运行状态来区分是车辆行驶带来的风速还是外界环境带来的风速;浓雾会造成能见度降

低,可通过摄像头、湿度和光线强度传感器等来识别;雪的探测功能在有些雨量传感器中已经集成,也可以通过摄像头、温度传感器配合探测;白天黑夜的感知,可以用光线强度传感器配合当地时间进行。

此外,针对单一传感器感知能力有限的情况,涌现出不同车载传感器融合的方案,用以获取丰富的周边环境信息,具有优良的环境适应能力。

如图 5-27 所示,Boss 无人驾驶汽车的感知系统由 2 个相机、9 个激光雷达和 2 个处理器 IBEO 组成。其中 9 个雷达包括 1 个三维激光雷达、6 个二维激光雷达和 2 个毫米波雷达。雷达主要用来检测静态的障碍,当道路前存在障碍物,首先由雷达检测并生成相应的障碍物地图,如果障碍物为移动障碍物,会自动从障碍物地图中剔除。

Google 无人驾驶汽车是由车顶安装的激光雷达来检测与车辆周边障碍物的距离,并反馈回系统创建三维地图。由安装的毫米波雷达检测车辆附近的障碍物和激光雷达的盲区,如在盲区发现障碍物则会报警。由安装在车窗处的相机检测车辆是否正确行驶在车道内,如发现偏离车道则会发出预警。安装在车窗处的红外线相机用于在夜间检测路面情况,并在仪表盘上显示出来,障碍物会突出显现。由安装的可见光摄像机检测周围可视路面情况并形成三维图。通过以上感知系统收集信息并传送给 Google 数据库,由 Google 的数据处理中心进行处理。但是 Google 无人驾驶汽车无法处理一些不可预知的情况,同时还无法做到与人驾驶的汽车和平共处。Google 无人驾驶汽车环境感知传感器如图 5-28 所示。



图 5-27 Boss 无人驾驶汽车环境感知传感器

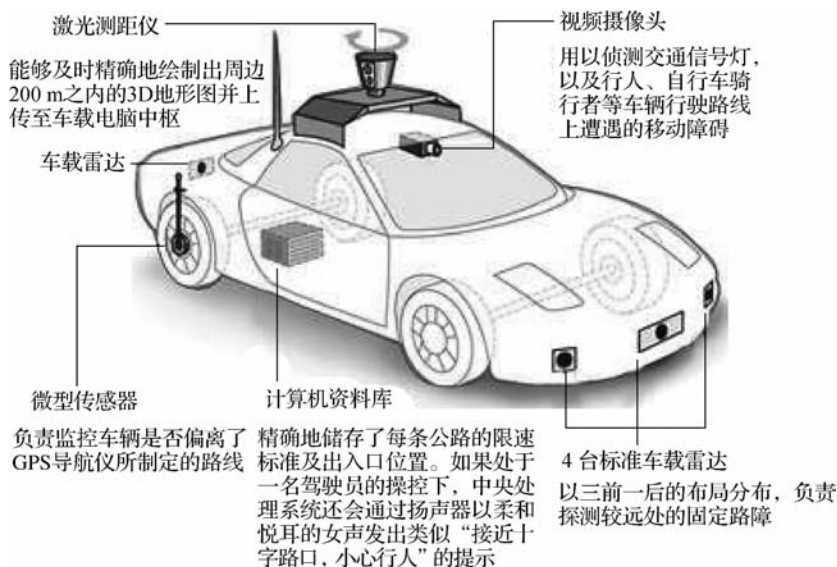


图 5-28 Google 无人驾驶汽车环境感知传感器



二、智能决策技术

根据全局行车目标、自车状态及环境信息等,决定采用的驾驶行为及动作的时机。决策机制应在保证安全的前提下适应尽可能多的工况,进行舒适、节能、高效的正确决策。

常用的智能决策方法包括状态机、决策树、深度学习与增强学习等。

(1)状态机。状态机是一种简便的决策方法,其用有向图表示决策机制。状态机的优点在于具有高可读性,能清楚表达状态间的逻辑关系,在状态明确且较少时设计简单;其缺点在于需要人工设计,在状态复杂时性能不易保证,不能用机器学习。目前的自动驾驶系统多针对部分典型工况,状态迁移不是特别复杂,故采用状态机方法进行决策的案例较多。

(2)决策树。决策树是一种简单而广泛使用的分类器,从根到叶子节点实现分类,每个非叶子节点为一个属性上的测试,边为测试的结果。决策树具有可读的结构,同时可以通过样本数据的训练来建立,但是存在过拟合的倾向,需要广泛的数据训练。决策树在部分工况的自动驾驶上应用,效果与状态机类似。

(3)深度学习与增强学习。深度学习与增强学习是热门的机器学习方法。在处理自动驾驶决策方面,它能通过大量的学习实现对复杂工况的决策,并能进行在线的学习优化;但是其综合性能不易评价,对未知工况的性能也不易明确。深度学习与增强学习由于需要较多的计算资源,一般是计算机与互联网领域研究自动驾驶采用的热门技术。

三、控制技术

控制系统的任务是控制车辆的速度与行驶方向,使其跟踪规划的速度曲线与路径。现有自动驾驶汽车多数针对常规工况,因而较多采用传统的控制方法,如比例-积分-微分(proportion-integral-derivative, PID)控制、滑模控制、模糊控制、模型预测控制、自适应控制、鲁棒控制等。这些控制方法性能可靠、计算效率高,已在主动安全系统中得到应用。

在多目标协调式自适应巡航控制系统中,同时具备自动跟车行驶、低燃油消耗和符合驾驶员特性三类功能,对于全面提升行车安全性、改善车辆燃油经济性、减轻驾驶疲劳强度具有重要的意义。

清华大学李克强课题组的研究首次提出并建立了车辆多目标协调式自适应巡航控制(Multi-Objective Coordinated Adaptive Cruise Control, MOCACC)系统,其控制架构如图 5-29 所示。

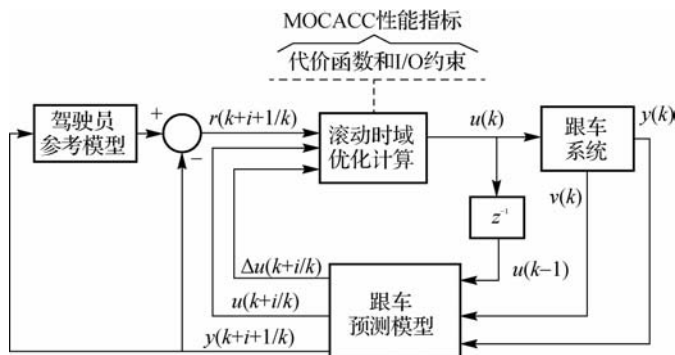


图 5-29 MOCACC 系统控制构架

智能网联汽车中最重要的是决策和控制系统技术,如信息融合技术、路径规划技术和车辆控制技术等。

(1)信息融合技术。大数据是智能网联汽车决策的前提,信息融合技术通过整合不同来源的数据提高系统的可靠性、安全性、精度和可信度。

(2)路径规划技术。路径规划是指在一定环境模型基础上,按照某一性能指标规划出一条无碰撞、能安全到达目标点的有效路径。

(3)车辆控制技术。车辆控制主要通过控制车辆动力(油门和挡位)、底盘(转向和制动)和电子等系统的执行动作实现车辆的自动运行。

四、车联网平台

车联网是车辆与信息化技术相结合的高新技术。车联网是使用无线通信、传感探测等技术收集车辆、道路、环境等信息,通过车-车(V2V)、车-路(V2R)等信息交互和共享,使车和基础设施之间智能协同与配合,从而实现智能交通管理控制、车辆智能化控制和智能动态信息服务的一体化联网。

通过车联网无线通信技术,车载通信系统将更有效地获得驾驶员信息、自车的姿态信息和汽车周边的环境数据,并进行整合与分析。通过集成多种通信技术将车辆内部各部件、车辆内部与外部世界之间连接成网络,实现了在车内网、车际网和车载移动互联网三层网络间的通信,如图 5-30 所示。三层通信将形成一个通信全程覆盖、信息交流充分、服务内容全面、系统功能强大的车联网体系。

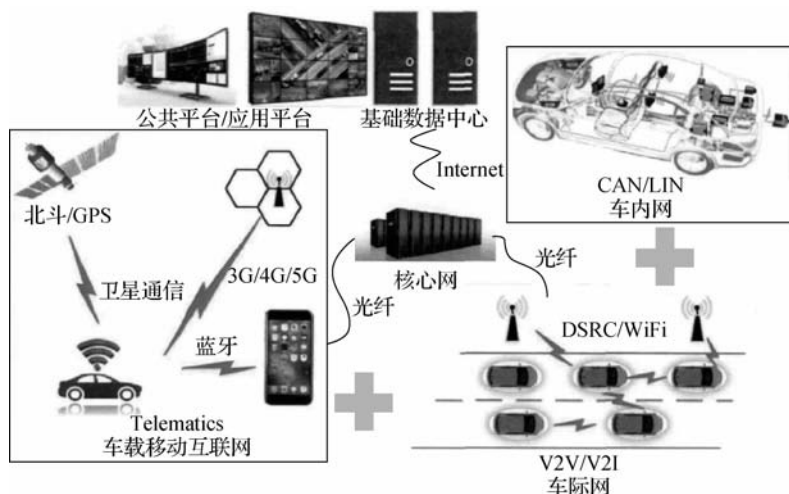


图 5-30 基于车联网平台的三层网络体系框架

车内网是单车实现智能化、网联化的基础技术。车辆基于成熟的 CAN 总线技术[也有采用 LIN(local interconnect network,局域互联网络)总线技术作为 CAN 总线技术的补充],实现车内所有电器、电子单元的状态信息和控制信息的传输、交换和共享,从而形成一个标准化整车网络,即车内网。车辆自身的综合运动状态信息能够在车内网上实时、准确地传输和共享。基于车内网的信息传输和共享,智能网联汽车不仅能够实现状态感知功能,还可以实现故障自动诊断和智能控制等功能。

车际网是车联网和智能网联汽车的核心技术,是指在一定的通信范围内,车辆与车辆、



路侧设施、非机动车、行人等形成的动态网络。基于车联网,车-车、车-路侧设施、车-非机动车、车-行人间能够实现信息交互和共享。例如,车辆与通信范围内的周围车辆进行信息交互:一方面,向周围车辆传递自身的速度、加速度、位置和期望驾驶决策等信息;另一方面,接收通信范围内周围车辆的速度、加速度、位置和期望驾驶决策等信息。如此,智能网联汽车基于车联网,能够获得实时的周围交通环境信息,敏锐地感知驾驶环境的变化和识别危险情况。智能网联汽车在获得全面、准确、实时的路况信息的基础上,才能自主地做出合理的驾驶策略。因此,车联网的主要功能在于满足车辆驾驶安全需求、减少拥堵和提高交通效率。车与车(V2V)、车与道路基础设施(V2I)技术通过微波雷达、红外(infra-red, IR)、DSRC、无线局域网(wireless local area networks, WLAN)等短程通信技术,建立车联网。

车载移动互联网是支撑智能网联汽车进一步发展和完善的关键技术。车载移动互联网是指车载终端通过 3G/4G/5G 等移动通信技术与互联网进行无线连接,从而构建车-互联网、车-中心/后端、车-云端网络间的通信体系。车辆、道路、路侧设施、行人/非机动车的基本状态信息和决策信息通过通信技术汇聚在云端,形成海量的大数据。云端分布式计算机通过对实时的海量数据进行筛选、处理、分析和挖掘,做出路网或局部区域的总体战略规划和决策指引。因此,车载移动互联网的定位是总体把控、信息娱乐和服务管理,为车辆提供智能信息服务、应用管理和控制等功能。车联网是物联网、智能交通、车载信息服务、云计算和汽车电子等多种技术融合应用的结果。Telematics 技术通过全球定位系统(global positioning system, GPS)、第 5 代(5th generation, 5G)移动通信技术等多种远程通信技术建设车载移动互联网。

利用装载在车辆上的传感器、摄像头等获取车辆行驶情况、系统运行状态及周边道路环境信息,同时借助 GPS 定位获得车辆位置信息,并通过设备到设备通信(Device-to-Device, D2D)技术将这些信息进行端对端的传输,继而在整个车联网系统中信息的共享。运输实体,如车辆、路侧基础设施和行人,可以收集处理当地环境的信息(如从其他车辆或传感器设备接收到的信息),以提供更多的智能服务,如碰撞警告或自动驾驶。

国外在车联网平台的技术标准化方面进展较快,典型的平台架构是由宝马公司牵头,联合 Connexis、WirelessCar 共同开发而成的车联网平台体系框架及开放的技术标准协议(NGTP),即下一代车联网架构,为车联网平台的发展应用提供了更大的灵活性及可扩展性。我国企业基本都是自建服务平台,各平台的数据之间无法互联互通,信息安全管理模式也存在问题。交通运输部针对营运车辆推出的联网联控平台已经实现了全国性重点营运车辆的大规模接入,但没有涉及规模最大的乘用车领域。

通信与平台技术的应用,极大地提高了车辆对于交通与环境的感知范围,也为基于云控平台的汽车节能技术的研发提供了支撑条件。

车联网多模式通信框架见表 5-9。多模式通信为车联网的广泛应用打下了坚实的基础,拓展了车联网系统在车辆以外的应用,为跨行业的使用者提供方便。

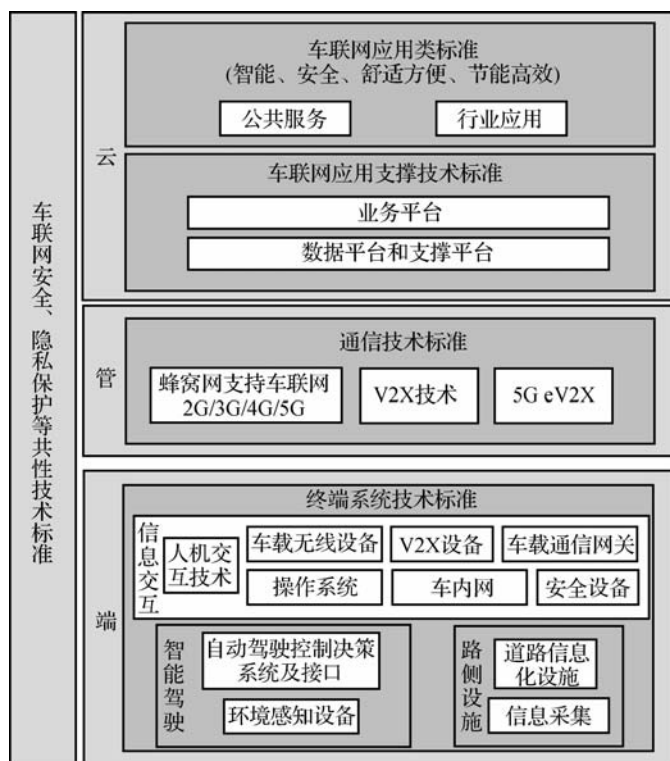
表 5-9 车联网多模式通信框架

通信类型	车载移动互联网	车联网	车内网
卫星通信	北斗/GPS	北斗/GPS	北斗/GPS
远程通信	光纤通信/3G/4G/5G		

续表

通信类型	车载移动互联网	车联网	车内网
短程通信		5.9 GHz DSRC/2.4 GHz WLAN/蓝牙	
总线通信	CAN/LIN	CAN/LIN	CAN/LIN
集成通信	集成通信模块+智能网关		

车联网作为物联网的典型应用,车(智能汽车)、网(通信)、路(智能交通)、牌(车辆智能管理)和电子产品五大重点领域的标准都应当分为感知层(端)、网络层(管)和应用层(云)三个层次,如图 5-31 所示。



端系统是汽车的智能传感器,负责采集与获取车辆的智能信息,感知行车状态与环境,是具有车内通信、车间通信、车网通信的泛在通信终端,还是让汽车具备 IOV 寻址和网络可信标识等能力的设备。

管系统解决车与车(V2V)、车与路(V2R)、车与网(V2I)、车与人(V2H)等的互联互通,实现车辆自组网及多种异构网络之间的通信与漫游,在功能和性能上保障实时性、可服务性与网络泛在性,同时它是公网与专网的统一体。

车联网是一个云架构的车辆运行信息平台,它的生态链包含 ITS、物流、客货运、危特车辆、汽修汽配、汽车租赁、企事业车辆管理、汽车制造商、4S 店、保险、紧急救援、移动互联网等,是多源海量信息的汇聚,因此需要虚拟化、安全认证、实时交互、海量存储等云计算功能,其应用系统也是围绕车辆的数据汇聚、计算、调度、监控、管理与应用的复合体系。



表 5-10 列出了不同终端的集成通信模式。车联网对多样化的信息进行管理和应用。

表 5-10 不同终端的集成通信模式

终端类型	通信需求	通信方式
车载终端(OBU)	车-车、车-路、车-网、车-人、车内、定位	卫星、DSRC、3G/4G/5G、CAN/LIN
路侧终端(RSU)	路-车、路-路、路-网、路-人、定位	卫星、DSRC、光纤、3G/4G/5G
消费者终端 (consumer device)	人-车、人-人、人-网、定位	卫星、3G/4G/5G
中心/网络 (center/Internet)	网-路、网-车、网-中心、网-人	光纤、3G/4G/5G

1. 通信技术 V2X

V2X 是未来智能网联汽车和智能交通运输系统的关键技术,它可以通过通信获得实时路况、道路信息、行人信息等一系列交通信息,提高驾驶安全性、提高交通效率、提供车载娱乐信息等。基于 V2X 技术不仅可以大幅提升交通安全、降低交通事故率,而且可以为自动驾驶、智能交通和车联网创新提供低成本、易实施的技术路线和基础平台,如图 5-32 所示。



图 5-32 V2X 交互系统

V2X(vehicle-to-everything),是指车对外界的信息交换,是一系列车载通信技术的总称。V2X 包含 V2V(vehicle to vehicle,车车通信)、V2R(vehicle to road,车路通信)、V2I(vehicle to instruction,车与设施通信)、V2P(vehicle to pedestrian,车人通信)等多层含义,目前以 V2V 的发展最为成熟。

1) V2X 的种类

(1)V2V。V2V 通信需要一个无线网络,在这个网络上汽车之间互相传送信息,告诉对方自己在做什么,这些信息包括速度、位置、驾驶方向、制动等。V2V 是一种网状网络,网络中的节点(汽车、智能交通灯等)可以发射、捕获并转发信号。网络上 5~10 个节点的跳跃就能收集 2 km 外的交通状况,这对多数驾驶员来说都有足够的应对时间。

V2V 通信被期望能够在车道偏离、自适应巡航控制、盲点侦测、后方停车声波定位、备份照相方面发挥更多的作用,从而提高汽车行驶的安全性。

图 5-33 描述了 V2V 的原理。例如,奔驰 Actros 系列卡车都配备了奔驰开发的公路试点连接软件。在行驶过程中,3 辆卡车通过 V2V 技术自动排成一排。第一辆卡车收集道路数据和自身控制数据,在 0.1 s 内通过 Wi-Fi 传给后面的两辆卡车。队列车辆即时通信,即

可实现同步加速、制动、直行和转向,因而后面的两辆车可以实现车辆跟随功能,而无须驾驶员操作,从而节省了大量的人力成本。



图 5-33 V2V 的原理

与自动驾驶技术中常用的摄像头或激光雷达相比,V2X 拥有更广的使用范围,它具有突破视觉死角(见图 5-34)和跨越遮挡物的信息获取能力,同时可以和其他车辆及设施共享实时驾驶状态信息,还可以通过研判模型算法产生预测信息。



图 5-34 V2V 的应用

(2)V2R。V2R 分为两种场景:第一种是高速公路,第二种是城市道路。高速公路是第一步,而城市道路需要在其基础上增加标识的识别功能后,实现更复杂的数据判断和数据通信。

高速公路上的 V2R 相对来说比较容易。首先是高速公路上标识明确,没有人行道、红绿灯、行人等复杂路况因素的影响,只需要识别高速公路中的行驶车辆和高速公路出入口标识等即可。其次,高精度地图已经提前布局高速公路。高精度地图能够精确到厘米级,对于车辆的路线规划和自动驾驶有着很大的帮助。有了高精度地图的支撑,V2R 的交互就会相对变少,处理起来更加方便。最后,尽快实现 V2V 也能够助力 V2R 的快速开发。因为每一辆车都可以共享采集到的道路信息,并将这个信息传递到云端,促进道路信息的合理化和完善化。V2R 城市道路应用如图 5-35 所示。

而对于城市道路来说,需要处理的信息更多,这也就要求车辆采集的信息更多,处理能力更强,同时与 V2I 和 V2P 都有关联。

V2R 现在通过毫米波雷达和摄像头进行开发的方案很多,再辅助高精度地图和云端支持,只要实现 V2V,半自动驾驶和自动驾驶在高速公路上实现并不遥远。

(3)V2I。V2I 即车辆行驶过程中与基础设施之间的通信,其示意图如图 5-36 所示。V2I 通信功能将采用车载智能交通运输系统的 760 MHz 频段,使用该频段可以在不影响车



载传感器的情况下实现基础设施与车辆之间的相互通信,从而获取必要的关键信息。在交叉路口能见度较差时,V2I通信系统可以接收到红绿灯的信息,并通过V2V和V2P系统接收到车辆和行人的信息,汇总提交给车脑(AB)系统,车脑通过车载操作系统(AOS)分析处理,控制汽车继续行驶还是等待。

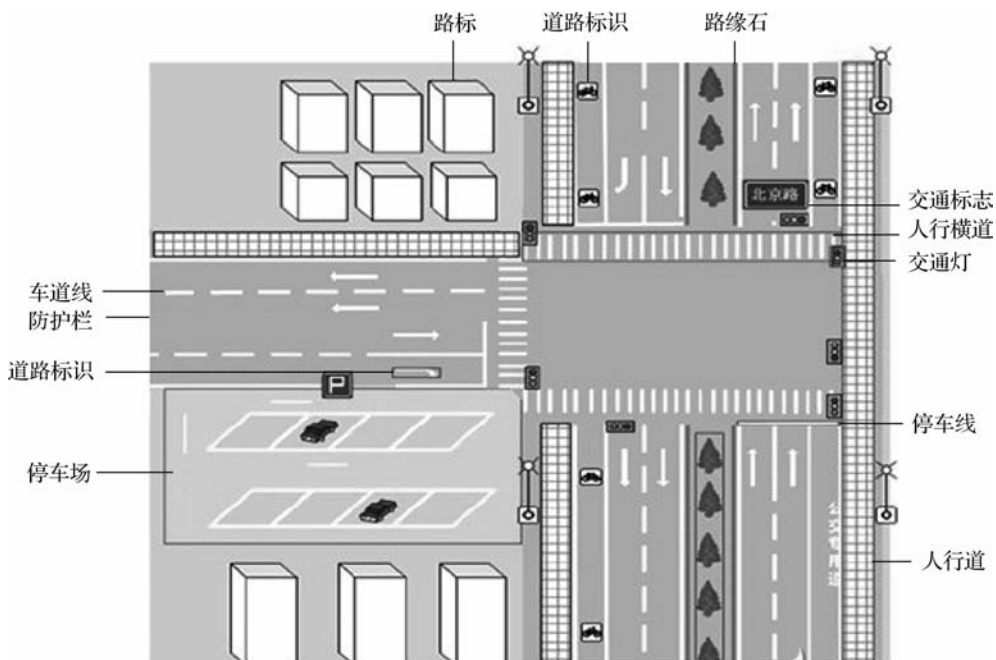


图 5-35 V2R 城市道路应用



图 5-36 V2I 示意图

(4)V2P。V2P是与每个人息息相关的技术,而且不仅仅是技术的问题,还会上升到国家、社会、隐私、道德层面,因而其非常难以实现。V2P示意图如图5-37所示。

2)V2X技术标准

2017年9月中旬,中国智能网联汽车产业创新联盟正式发布《合作式智能交通系统车用通信系统应用层及应用数据交互标准》。该标准属于中国汽车工程学会的团体标准,是国内

第一个针对 V2X 应用层的团体标准,为国内各车企及未来装配 V2X 产品的车辆提供了一个独立于底层通信技术的、面向 V2X 应用的数据交换标准及接口,以便在统一的规范下进行 V2X 应用的开发、测试,对 V2X 大规模路试和产业化具有良好的推动作用。

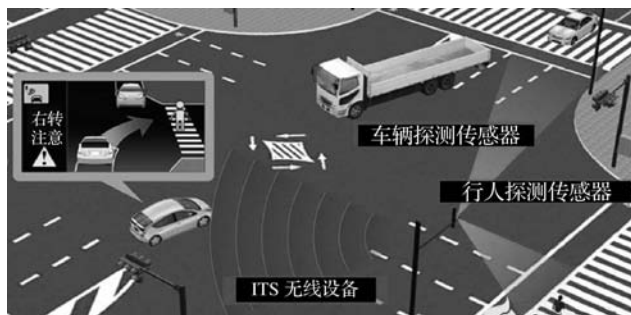


图 5-37 V2P 示意图

根据中国汽车工程学会的定义,车用通信系统通常可以分为应用层、传输层、网络层、数据链路层和物理层,该 V2X 标准主要关注应用层及应用层与上下相邻两层的数据交互接口。该标准从应用定义、主要场景、系统基本原理、通信方式、基本性能要求和数据交互需求六个方面,已经制定出 17 个应用的具体要求,包括通信频率、类型、最大延时、通信距离及定位精度。

目前,V2X 通信技术主要是以 IEEE 802. 11p 为代表的 DSRC 通信技术和以蜂窝为基础的 LTE-V 通信技术。当然,在 V2X 应用中还会有其他一些通信技术,如蜂窝(2G/3G/4G/5G)、Wi-Fi、GPS、NFC、RFID 等。

(1)DSRC。专用短程通信(dedicated short range communications,DSRC)是一种短距离到中距离高效无线通信技术。DSRC 是连接车辆与车辆(V2V)、车辆与路侧装置间的 RF 通用射频通信技术,在车用环境中提供公共安全和中短距离通信服务。它可以实现在特定的小区内对高速运动下的移动目标的识别和双向通信,将车辆和道路有机连接。

DSRC 由物理层标准 IEEE 802. 11p(wireless access in vehicular environment,WAVE)和网络层标准 IEEE 1609 构成,在此基础上,美国汽车工程师协会(Society of Automotive Engineers,SAE)规范 V2V 与 V2I 信息的内容与结构,欧洲相关标准由 ETSI CT-ITS 所规范。IEEE 802. 11p 由 IEEE 802. 11 扩充,专门应用于车用环境的无线通信技术,支持 915 MHz 与 5.9 GHz。

在 915 MHz 频段中,支持传输距离小于 300 m,传输速率低于 0.5 Mb/s;使用 5.9 GHz 频段通信时,传输距离最远可达 1 000 m,以频道带宽 10 MHz 为单位,传输速率最高为 27 Mb/s,允许在车速 260 km/h 下进行车与车之间以及车与道路设备之间的信息传输。

DSRC 系统包含车载装置(on board unit,OBU)与路侧装置(road site unit,RSU)两项重要组件,通过 OBU 与 RSU 提供车间与车路间信息的双向传输,RSU 再通过光纤或无线网络将交通信息传送至后端平台(见图 5-38)。由于车间与车路通信应用情境复杂,汽车数量、距离与道路气候等都会影响无线网络的通信,通信速度与质量将对路人安全造成极大影响,因此车联网安全应用相关通信网络通常被要求具备高移动性与低延迟率。IEEE 将安全应用通信延迟容许范围定在 50 ms 内,最多不超过 100 ms,允许接收信息后有足够反应时间。



图 5-38 DSRC 系统示意图

美国高速公路安全管理局(NHTSA)估计,DSRC 系统(美国车联网标准)可以减少高达 80% 的交通事故伤亡。经过 10 余年的发展,DSRC 在技术上已经趋于成熟,而有关标准的完备也使得其在推广时占据先机。2014 年 2 月,DSRC 被美国交通部确认为车联网标准。而作为全球首家承诺将 V2X 技术投放市场的车企,美国通用汽车公司也在 2015 年宣布将积极推动 DSRC 技术标准在中国的应用。

与其他无线通信相比,DSRC 有更加理想的低延时特性,而这种低延时特性在和主动安全相结合方面更具优势。要实现主动安全功能,最低的延时要求为 1 s 以下,最苛刻碰撞预警的要求需达到 0.02 s 以下,而 DSRC 能够很好地满足这些要求。

但 DSRC 依然存在一些问题。例如,DSRC 采用的高频段信号在穿透性上不及低频段信号,很大程度上限制了城市环境下通信信号的传输范围,而且由于 DSRC 设备的节点是隐藏的,可能导致数据接收不可靠。此外,在重负荷的情况下,DSRC 不能保证所有节点都满足设定的延时要求。由于制式不同,DSRC 在中国还存在潜在的干扰问题。

(2)LTE-V。为了避免 DSRC 在国内的“水土不服”,华为与高通两大蜂窝网技术供应商对此提出了新的标准——长期演进通信技术(long term evolution-vehicle,LTE-V)。

德国电信也将与华为、丰田及奥迪合作,在德国因戈尔斯塔特高速公路的测试场域上进行 LTE-V 技术实证。德国电信将在 LTE 基地台上设置华为供应的 LTE-V 硬件,丰田和奥迪车载 LTE-V 装置同样由华为提供。中国政府也看好 LTE 应用于车联网环境中,由中国信息通信研究院主导成立 LTE-V 核心工作组,在中国通信标准化协会与 3GPP 架构下推动 LTE-V 的标准化与商业化发展。

华为与高通还针对车辆应用定义了 LTE-V 的两种通信方式——集中式(LTE-V-Cell)和分布式(LTE-V-Direct),如图 5-39 所示。集中式也称蜂窝式,需要基站作为控制中心,它定义车辆与路侧通信单元及基站的方式,得益于当前蜂窝的普及应用,可以快速推进车联网的发展;分布式也称直通式,无须基站作为支撑,能够满足终端低延时、高可靠的要求,实现车与车之间的直接通信。

(3)DSRC、LTE-V 标准对比。在标准进程与导入方面,DSRC 发展较成熟,美国、欧洲等国家和地区已提出相关标准规格,LTE-V 已在 3GPP 进入标准制定流程;在布建上,DSRC 由于需要安装新的路侧设备,将增加导入成本与时间,LTE-V 则能够整合既有的基地台装置,不需要大量布建新基础建设,可缩短导入时间,两者之间互有优势,具体

见表 5-11。

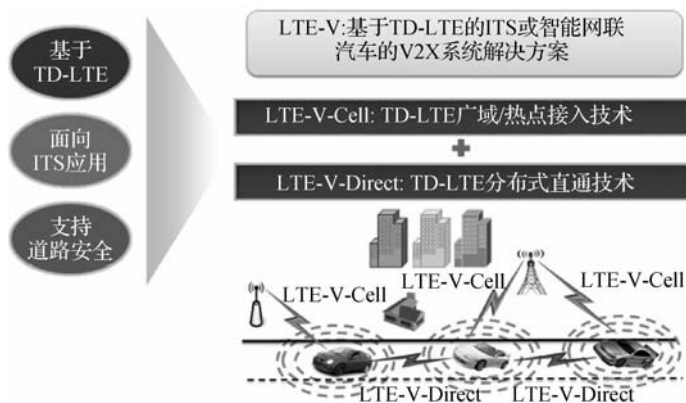


图 5-39 LTE-V 两种不同通信模式

表 5-11 LTE-V 与 DSRC 优劣势对比

优劣势	LTE-V	DSRC
优势	蜂窝技术、可管控 充分利用基础设施 移动安全性好 后续演进(5G) 电信产业支持	成熟度高,已经商用 美国运输部承认 V2V 应用成熟
劣势	成熟较晚,商用待开发 跨部门协调难度大	机制存在隐藏节点、数据竞争碰撞问题 信号穿透和传输距离受限 V2I 技术难度大

①DSRC 关键指标。支持车速 200 km/h,反应时间 100 ms,数据传输平均速率 12 Mb/s(最大 27 Mb/s),传输距离 1 km。根据美国运输部的报告,违反交通信号灯指示的延时要求是小于 100 ms,车辆防撞指示的延时要求是小于 20 ms。

②LTE-V-Cell 关键指标。传输带宽最高可扩展至 100 MHz,峰值速率上行 500 Mb/s,下行 1 Gb/s,延时用户面延时 ≤ 10 ms,控制面延时 ≤ 50 ms,支持车速 500 km/h,覆盖范围与 LTE 范围类似。LTE-V-Direct 目前还没有详细的技术指标。

车间与车路间通信技术可协助提升车辆安全,也是未来自动驾驶车辆的关键技术之一。DSRC 与 LTE-V 都利用车载装置间及车辆与路侧装置间进行信息交换,达到实时信息传递,提供驾驶员判断或车辆自动控制,两者在技术上都必须达到一定传输要求来实现车辆安全应用。

3)5G 通信技术助推 V2X 技术发展

5G 是一个面向场景化的时代,在汽车行业中,对智能网联汽车的应用将起到关键的支持作用。5G 不仅仅连接了人,还连接了物,由三个典型应用场景组成。第一个是 eMBB,增强移动带宽,用户体验速率为 0.1~1 Gb/s,峰值速率为 10 Gb/s,流量密度为 10 Tb/(s·km²);第二个是超可靠低时延通信,主要的指标是端到端的时间延迟,为毫秒级别,可靠性接近



100%；第三个是 mMTC，海量机器类通信，主要指标是连接数密度，为 $10^6/\text{km}^2$ 。

相对于目前的车联网通信技术，5G 系统的关键能力指标都有极大提升。5G 网络传输时延可达毫秒级，满足车联网的严苛要求，保证车辆在高速行驶中的安全；5G 峰值速率可达 $10\sim 20\text{ Gb/s}$ ，连接数密度可达 $10^7/\text{km}^2$ ，满足未来车联网环境的车辆与人、交通基础设施之间的通信需求。

5G 超可靠低时延的特点，可以说正是无人驾驶所需。现有的感知技术，如雷达、摄像头等实际上都只给车提供了一个看的能力，无法与车实现互动，而且这种看的能力会受到雨雾等恶劣天气情况的影响。有了 5G 的交互式感知，车就可以对外界环境做一个输出，不仅能探测到状态，还可以做一些反馈。自动驾驶的协同里面有很多场景，如自动超车、协作式避碰、车辆编队等，都对可靠性和时延性提出了要求，都需要 5G 的保证。5G 技术在汽车上的应用如图 5-40 所示。



图 5-40 5G 技术在汽车上的应用

此外，5G 的高带宽除了满足对车的需求外，也可以满足乘员对 AR/VR、游戏、电影、移动办公等车载信息娱乐，以及高精度地图的需求。厘米级别的 3D 高精度定位地图的下载量在 $3\sim 4\text{ Gb/km}$ ，正常限速 120 km/h 下地图的数据传输速率为 $90\sim 120\text{ Mb/s}$ 。5G 还可以支持融合车载传感器信息的局部地图实时重构，以及危险态势建模与分析。

从自动驾驶运营角度，5G 也提供了一些新的可能，车辆在大多数情况下可以自主完成行驶测试任务；遇到自动驾驶车辆无法自主处理的场景，L3 级别以上的自动驾驶系统可做出判断，并通知位于控制中心的驾驶员远程介入；远程驾驶员可以操控多辆无人驾驶车辆。由此，5G 可以协助对城市固定路线车辆实现部分智能云控制，对园区、港口无人驾驶车辆实现基于云的运营优化以及特定条件下的远程控制。

而将自动驾驶中的协同深入传感器原始信息级别的融合处理，在云端进行自动驾驶控制或决策，则是 5G 的大带宽和低延迟对自动驾驶技术发展的远期探索。

2. 大数据云平台

大数据应用场景是车载终端连接车辆内部 CAN 控制总线，实时收集车辆数据，如图 5-41 所示。一部分数据通过无线通信方式及时传给后台，以满足对车辆状态及故障状态实时监控的需求；其余大部分数据将先进行本地存储（如 SD 卡），再通过离线导入存储在大数据框架中，以便后续进行深度挖掘。



图 5-41 数据采集系统

车联网可支持信息平台中的海量数据获取、传输、存储与计算，基于车联网大数据的分析与挖掘，有助于进行更加高效智能的新一代车联网架构与设计。大数据平台的组成如图 5-42 所示。

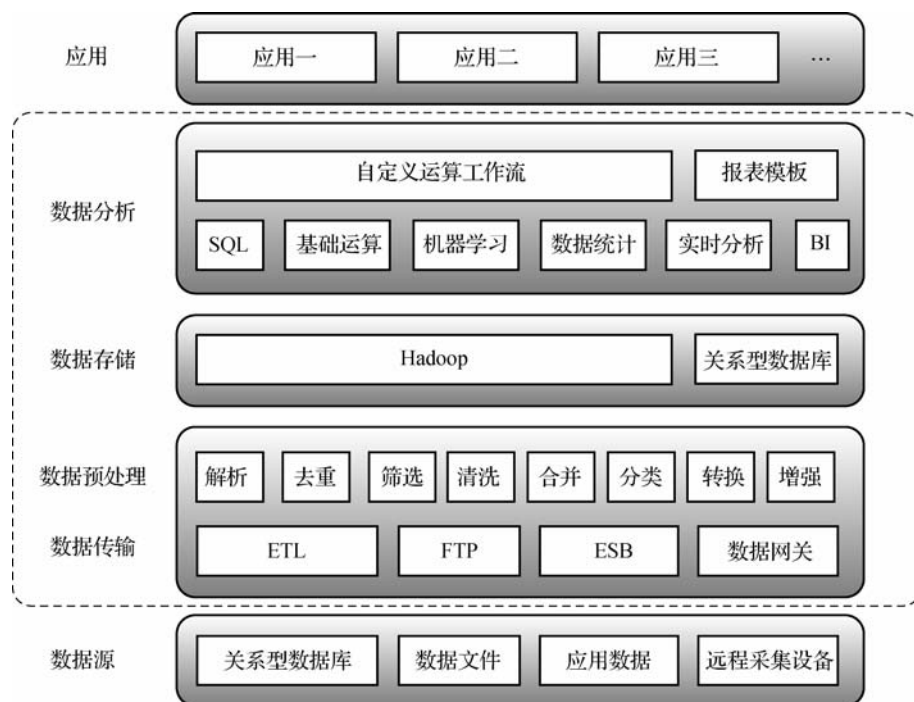


图 5-42 大数据平台的组成

大数据平台的数据源包括两类数据：车载终端数据和应用数据。

(1) 车载终端数据。系统规模由车载终端并发接入量与消息并发处理需求决定，其特点是增长迅速，数据类型繁多且数据格式多变。大数据平台必须保证车载终端高并发远程接入并传输数据，同时应兼顾历史数据的导入。传统数据存储及分析方式往往以两种形式处理这些车载终端数据：一是用传统型关系型数据库，二是用文件系统。



(2)应用数据。应用系统相关数据,数据量相对较小,增长较慢。其数据结构与应用强相关且较为稳定。

大数据平台不应建设在其上的应用系统附加限制,如开发语言、通信协议等。大数据平台应遵循面向服务架构(service-oriented architecture)的设计模式,即各种异构的应用系统可通过独立的消息中间件进行通信,且通信的数据路由、消息传输协议、传输质量与安全都可管理。大数据平台应提供面向消息中间件的数据接入与导出接口。

大数据平台的核心功能是将原始数据通过各种数据分析的手段转换成对用户有意义的信息。大数据平台的数据分析包括基础数据运算、机器学习、自定义数据分析工作流和实时分析。基础数据运算是针对各种数据类型,提供相应的基础数据分析功能,如求平均值、最大值、变化率、数值积分等。机器学习是大数据平台应内置各种机器学习的算法,并为用户提供友好的客户端接口。自定义数据分析工作流是用户可结合应用需求将基础数据运算功能、机器学习及其他分析手段结合在一起组合成自定义工作流,由大数据平台提供任务的调度与结果的展示。实时分析是有些数据时效性较强,即需要被实时处理才能将原始数据转化为对用户有意义的信息或被用于支持一些即时决策。一旦处理不及时,这些数据所包含的信息量将大幅下降。大数据平台可在数据预处理时提供实时数据处理。

3. 高精度导航与定位地图

无人车还需要通过定位系统准确感知自身在全球环境中的相对位置,以使无人车(看作一个质点)与环境有机结合起来。导航技术能够保证无人车(非质点)清楚地“知道”自己所要行驶的速度、方向、路径等信息。而在实际应用中,需要通过信息融合技术实现定位与导航技术的组合,从而使环境信息与车身信息融合成为一个系统性的整体。

1) 导航技术

随着智能交通和自动驾驶领域的飞速发展,现有的普通导航地图在内容、精度和完整性方面已经无法满足高层次的应用需求。因而,针对道路的高精度电子地图被逐步提出并得到了广泛的认同。

高精度地图与现在常见的导航地图(如车载导航地图)相比有很大不同,主要体现在使用者不同、用途不同、所属系统不同、要素和属性不同。导航地图的使用者是人,用于导航、搜索;而高精度地图的使用者是计算机,用于高精度定位、辅助环境感知、规划与决策。因此,导航地图在车内属于车载信息娱乐系统,带显示屏,而高精度地图属于车载安全系统,不需要屏幕。要素与属性方面,导航地图仅包含简单道路线条、信息点(POI)、行政区划边界,而高精度地图包含详细道路模型,包括车道模型、道路部件、道路属性和其他的定位图层,如图 5-43 所示。

普通导航地图的精度在 5 m 左右,只描绘了道路的位置和形态,没有反映道路的细节信息,无法准确知道车辆的所在位置。而高精度道路导航地图的绝对精度要求优于 1 m,相对精度达到 10~20 cm,包含车道、车道边界、车道中心线、车道限制信息等非常丰富的信息。

高精度道路导航地图更加真实地反映道路的实际样式,因此包含更多的图层数量和道路数据,图层描绘也更加细致。高精度道路导航地图不仅具有更高精度的坐标,还拥有更加准确的道路形状。同时,每个车道的坡度、曲率、航向、高程等数据也被添加进来。另外,车道之间的车道线情况(虚线、实线、单线和双线)、车道线颜色(白色、黄色)、道路隔离带、隔离

带材质、道路箭头、文字内容和所在位置在高精度道路导航地图中都需要详尽描述。

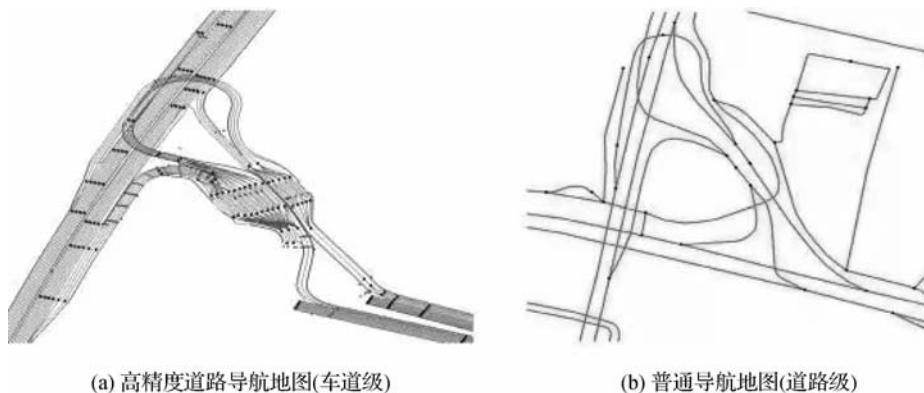


图 5-43 高精度道路导航地图和普通导航地图对比示意图

高精度道路导航地图的数据量是普通导航地图的 10^5 倍甚至更多,目前以云计算为核心的集中式大数据处理模式已经不能满足需求。

随着物联网和 5G 通信技术的快速发展,云端协同的计算方法和大数据处理模式被用于高精度地图。

高精度地图分为两个层级:下层是静态高精度地图,上层是动态高精度地图,如图 5-44 所示。

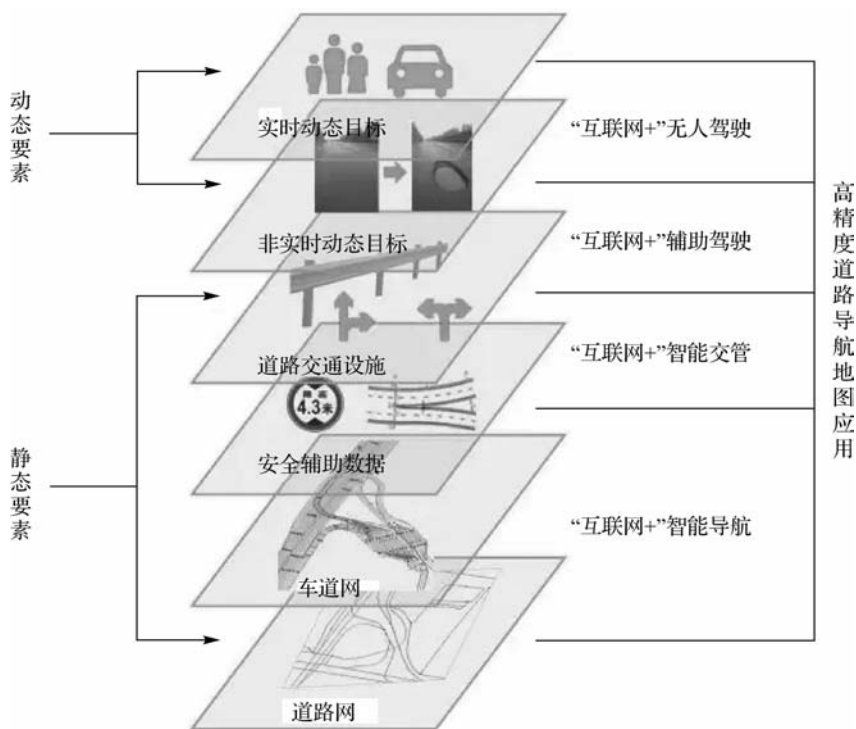


图 5-44 高精度地图的层级

静态高精度地图中包含车道模型、道路部件、道路属性和其他定位图层,这是现阶段图



商重点在做的。首先高精度地图要满足车道级的自动驾驶导航,因此需要包含道路细节信息,如车道线、车道中心线、车道属性变化等,能让汽车知道哪些区域是虚线能够变道,等等。此外,车道模型中还需要包含道路的曲率、坡度、航向、横坡等数学参数,以便让车辆能够准确转向、制动、爬坡等。还需要包含交通标志牌、路面标志等道路部件,并标注出特殊的点,如 GPS 消失的区域、道路施工状态等。

在静态高精度地图之上,需要增加动态高精度地图,获取道路拥堵情况、施工情况、是否有交通事故、交通管制情况、天气情况等动态交通信息。由于路网每天都有变化,如整修、道路标识线磨损及重漆、交通标示改变等,这些变化需要及时反映在高精度地图上,以确保无人车行驶安全。实时高精度地图有很高的难度,但随着越来越多载有多种传感器的无人车行驶在路网中,一旦有一辆或几辆无人车发现了路网的变化,通过与云端通信,就可以把路网更新信息告诉其他无人车,使其他无人车更加“聪明”和安全。

2) 定位技术

目前主要的卫星定位系统有美国的全球定位系统(GPS)、俄罗斯的全球轨道导航卫星系统(GLONASS)、我国的北斗 2 代定位系统、欧洲空间局的 NAVS AT(伽利略计划),见表 5-12。中国几大图商都在积极推进建设面向自动驾驶的高精度地图。基于北斗地基增强系统的高精度定位系统已在国内开展应用,将为自动驾驶车辆提供低成本广覆盖的高精度定位方案。

表 5-12 世界主要的卫星定位系统

导航系统	起始时间	系统特点	定位精度
GPS	1978 年	(1)架构最为成熟,覆盖率高、用户广泛; (2)快捷、高效、精确	军用,民用(精度 10 m)
GLONASS	1982 年	(1)定位精确,略低于 GPS; (2)抗干扰能力强	军用,民用(精度 10 m)
北斗	2000 年	(1)支持双向定位和通信功能; (2)自主研发、高效可靠	军用,民用(精度 10 m)
NAVS AT	2005 年	(1)全球首个基于民用的导航系统; (2)支持多系统合作	民用(精度 15 m)

3) 高精度地图采集信息所需设备

高精度地图采集信息所需设备包括以下几种。

(1)激光雷达。激光雷达首先向目标物体发射一束激光,然后根据接收-反射的时间间隔确定目标物体的实际距离。根据距离及激光发射的角度,通过简单的几何变换可以计算出物体的位置信息。汽车周围环境的结构化存储通过环境点云实现。

激光雷达通过测量光脉冲的飞行时间来判断距离。在测量过程中激光雷达要产生汽车周围的环境点云,这一过程要通过采样完成。一种典型的采样方式是在单个发射器和接收器上在短时间内发射较多的激光脉冲,如在 1 s 内发射万级到十万级的激光脉冲。脉冲发射后,接触到需要被策略的物体并反射回接收器上。每次反射和接收都可以获得一个点的具体地理坐标。当发射和反射这一行为进行得足够多时,便可以形成环境点云,从而将汽车周

围的环境量化。

(2)摄像头。通过车载摄像头,可以捕捉到路面周围交通环境的静态信息,通过对图片中关键交通标志、路面周围关键信息的提取来完成对地图的初步绘制。车载摄像头是高精度地图的信息采集的关键设备,其主要通过图像识别和处理原理来工作。

(3)IMU(惯性测量单元)。IMU 是用于测量物体三轴姿态角(或角速率)及加速度的装置。一般情况下,一个 IMU 包含三个单轴的加速度计和三个单轴的陀螺仪,加速度计检测物体在载体坐标系独立三轴的加速度信号,而陀螺仪检测载体相对于导航坐标系的角速度信号,测量物体在三维空间中的角速度和加速度,并以此解算出物体的姿态。

(4)GPS(全球定位系统)。GPS 接收机的任务是确定 4 颗或者更多卫星的位置,并计算出它与每颗卫星之间的距离,然后利用这些信息使用三维空间的三边测量法推算出自己的位置。要使用距离信息进行定位,接收机还必须知道卫星的确切位置。GPS 接收机存储有星历,其作用是接收每颗卫星在各个时刻的位置信息。在大城市中由于高大建筑物的阻拦,GPS 多路径发射问题比较明显,这样得到的 GPS 定位信息容易产生几十厘米到几米的误差,因此单靠 GPS 并不能实现精准定位。

(5)高精度地图采集车。高精度地图采集车的装备较为复杂,包括多种传感器,用来进行道路和静态交通环境数据的采集。下面分别介绍 ADAS 高精度地图采集车和 HAD 高精度地图采集车的配置情况。以下内容只是一般采集车的配置情况,不同图商的具体设备的配置情况可能略有差别。

①ADAS 高精度地图采集车。ADAS 高精度地图采集车的地图精度大约在 50 cm 级别。车顶安装有 6 个 CCD 摄像头(见图 5-45)。其中 5 个摄像头以圆形环绕,顶部有 1 个单独的摄像头,每个摄像头的像素都是 500 万,总计 3 000 万像素。车内副驾驶的位置有用于采集数据的显示屏,机箱在后备厢位置,用于储存和处理数据。



图 5-45 ADAS 地图采集车的摄像头

②HAD 高精度地图采集车。HAD 高精度地图采集车的地图精度大约在 10 cm 级别。顶部通过装配 2 个激光雷达(位于后方)和 4 个摄像头(两前两后)来满足所需要的 10 cm 级别精度(见图 5-46)。两种方案搭配,能够完成标牌、障碍物、车道线等道路信息的三维模型搭建。



图 5-46 HAD 采集传感器

百度的高精度地图采集车的传感器配置情况为:最顶部的 32 线激光雷达、三个 360°全景摄像头、一个前置的工业摄像头、一个包含 IMU 和 GPS 装置的组合式导航系统及一个 GPS 天线。从具体分工来看,激光雷达负责采集点云数据,摄像头负责采集图片,天线负责接收卫星定位信号,导航系统负责采集 GPS 轨迹(见图 5-47)。



图 5-47 采集导航系统

高德高精度地图的数据不受天气、光线探测距离等因素的影响,从而可以突破常规传感器有效距离,达到超视距感知。同时,高精度地图还借助汽车传感器识别各类静态物体,然后将这些物体与高精度地图上记录的物体进行比对,从而确定车辆在道路上的精确位置和姿态。

高德的高精度地图技术发展将经历三个阶段。

第一阶段的关键词是高精度数据,其核心是建立能够满足商业化需求,实现高精度地图数据采集和更新的流水线。

第二阶段的关键词是融合定位,重点是利用高精度地图数据及环境信息,实现基于差分和高精度惯导、航位推算等手段的高精度绝对定位能力,以及基于视觉识别、点云匹配等手段的高精度相对定位能力。

相比前两个阶段更多为自动驾驶汽车进行个体赋能,第三阶段更偏重于全局。第三阶段的关键词是动态信息,重点是在实现了精准定位的基础上,为自动驾驶提供动态、实时的数据服务,如动态交通信息、智慧红绿灯等交通设施信息、施工等临时或突发信息等。

4. 车联网的发展趋势

汽车是车联网的关键载体和应用对象。车联网是提升汽车安全性、经济性,使得汽车更环保的关键技术,因此,汽车工业是车联网的主流应用领域之一。便捷(mobility)、安全(safety)和环保(environment)是车联网应用的核心价值。

(1)推动下一代车内网络的发展。车内网络以总线结构为主,常见的总线包括 LIN 总线、CAN 总线、TTCAN/Flexray 总线、ByteFlight 总线、Intellibus/MOST 总线等。在车联网中,随着集成无线通信设备、车内用电器件和电控单元的增加,车内网络结构愈加复杂。下一代车内网络通过增加智能网关和多层的拓扑网络结构,将车内各节点连接在通信干线上,实现车内网络的一体化。在车联网的框架下,将构建标准化、模块化的车内网络结构,推动下一代车内网络的开发。

(2)提高车辆行驶安全性。车联网技术将极大地推动协同式车辆安全技术的发展。典型的协同式车辆安全系统包括协同式驾驶安全辅助系统、协同式交叉路口安全支持系统、智能车速自适应系统等。

(3)改善车辆行驶经济性。通过车载移动互联网,根据出行途中的交通和天气状况,实现动态路径规划和动态导航;预测未来一段时间的交通状况,实现智能导航,根据道路地理条件,对车辆速度进行辅助控制,使汽车保持在经济车速。通过车联网,感知周边微观交通状况,进行车速辅助控制,减少不必要的操作;进行车队控制,使汽车保持一定距离,减小空气阻力;根据交叉口信号灯状态,对车速进行控制,减少停车、加速、制动次数;通过车内网,在分析优秀驾驶行为数据库的基础上,感知驾驶员不良驾驶行为,对其进行提醒,减少不必要的浪费。

(4)优化车辆开发流程,提升服务品质。车联网技术将为车辆开发提供海量的数据支撑。通过挖掘目标用户使用习惯、汽车使用区域地理和气候特点、汽车行驶状态等数据库,为汽车企业的汽车设计提供支持;从目标用户群体驾驶特征分类、目标用户群体消费习惯分析、汽车使用区域条件等方面对车辆设计提供历史数据支撑,减少汽车开发的前期投入,缩短开发周期;通过挖掘 4S 店维修记录、汽车保险理赔数据库、交通事故数据库,掌握上市车辆的使用情况和常见故障,及时发现存在的隐患,对车辆进行改进,缩短市场反馈周期,降低投诉率,提升汽车品质,维护企业形象;通过建立车辆用户数据库和远程专家支援系统,实时监控车辆状态,对常见故障的处理进行远程维修指导,为驾驶员提供道路支援服务。

五、智能网联汽车未来的发展目标和重点

智能网联汽车作为未来汽车行业的发展方向,尚在初级发展阶段。短期内,因现有相关法律法规尚未完善,且各项技术仍处于研发试验阶段,智能网联汽车市场不会发生规模剧变。但随着相关技术累积和成熟、市场充分竞争带来价格下降、各项法律法规逐渐规范,人们对智能网联汽车有了更高的接受程度,在经过一段平稳增长期后,智能网联汽车预计在 2025 年左右实现大幅增长。

1. 车间通信系统和交互系统

2017 年奔驰 E 级车配备这种功能,它可以与汽车分享道路信息,如冰、雾和雪等,实现



车辆之间及车辆与交通设施之间的信号联络,可以在出现行车安全隐患时为驾驶员发出预警,也可以提供交通拥堵的预警等。

2. 增强现实感挡风玻璃

据相关调查显示,交通事故中有90%以上是驾驶员失误所造成的,其中又有将近一半是“错觉”引起的。这些距离错觉、速度错觉等其实绝非偶然,并不是单靠人的主观判断就能克服的。如果有了增强现实感挡风玻璃的帮助,对有效感知更多信息、提前预防事故大有裨益。

增强现实(augmented reality, AR)就是通过计算机将虚拟的数据模拟仿真后叠加在现实环境中,再利用同一个画面进行显示的一种交互模式。它可以帮助驾驶员看到之前看不到的东西和信息,可以通过挡风玻璃直接看到叠加的信息,如仪表盘、导航信息等内容,甚至将汽车传感器收集的数据实时反馈在挡风玻璃上,如图5-48所示。



图 5-48 增强现实感挡风玻璃

3. 以深度学习方法为代表的 AI 技术快速发展和应用

以深度学习方法为代表的人工智能(artificial intelligence, AI)技术在智能网联汽车上正在得到快速应用。尤其在环境感知领域,深度学习方法已凸显出巨大的优势,正在以惊人的速度替代传统机器学习方法。深度学习需要大量的数据作为学习的样本库,对数据采集和存储提出了较高要求;同时,深度学习还存在内在机理不清晰、边界条件不确定等缺点,需要与其他传统方法融合使用以确保可靠性,且目前受限于车载芯片处理能力。

4. 激光雷达等先进传感器加速向低成本、小型化发展

激光雷达相对于其他传感器(如毫米波雷达)具有分辨率高、识别效果好等优点,已越来越成为主流的自动驾驶汽车用传感器;但其体积大、成本高,同时更易受雨雪等天气条件影响,这导致它现阶段难以大规模商业化。激光雷达正在向着低成本、小型化的固态扫描或机械固态混合扫描形式发展,但仍需克服光学相控阵易产生旁瓣影响探测距离和分辨率、繁复的精密光学调装影响量产规模和成本等问题。

5. 自动驾驶汽车测试评价方法研究与测试场建设成为热点

自从特斯拉汽车被曝光几起重大安全事故后,自动驾驶汽车的安全性越来越受到关注,关于自动驾驶汽车测试评价方法的研究以及测试场、示范区的建设成为全球热点。如何测试自动驾驶汽车?一种潜在的解决方案是引入“普通人类驾驶员”的抽象概念并建立安全基

线——一系列定性、定量的关键功能、性能指标,表征自动驾驶系统驾驶汽车的安全性。如果把自动驾驶系统看作一个驾驶员,对其的考核也可以类比驾驶员的考核过程。首先需要“体检”,检查自动驾驶系统对环境感知、车辆控制等的基本能力;其次是理论测试,测试自动驾驶汽车对交通法规的遵守能力;再次是场地考核,即在特定场景下的自动驾驶测试;最后是实路考核,将自动驾驶汽车放置于特定开放测试道路内进行实际测试。

在测试场建设方面,美国密歇根大学和密歇根州交通部共同出资建设的 M-City 是世界第一个专门为测试无人驾驶汽车、V2V/V2I 车联网技术设计建造的智能网联汽车测试场(见图 5-49),主要用于模拟高速公路环境的高速试验和城市近郊的低速试验。美国 GoMentum Station 基地的面积约有 8.498 4 km²,具有 32.186 9 km 公路和街道、真实山丘、高架立交桥、隧道、铁路和住宅区等模拟设施,分为高速公路试验区和城区试验区两个区域。



图 5-49 智能网联汽车测试场

日本、欧洲等地也已建成或在积极建设各类智能网联汽车专用测试场。

瑞典 AstaZero 是欧洲现有最大的智能车测试场(见图 5-50)。其测试内容涵盖面较全,包括车辆动力学测试、驾驶员行为测试、V2V/V2I 功能测试、功能可靠性测试、通信技术测试等。其最大优势是综合性能强,具备完整测试功能,特别针对 ADAS 场景模拟测试具有显著优势,分为五个区域:多车道公路区域、高速道路区域、城市区域、乡村道路和主试验中心。

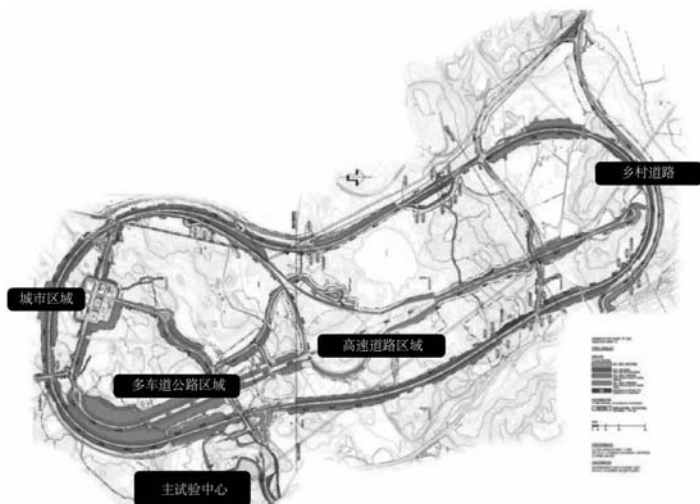


图 5-50 瑞典 AstaZero 测试场



国内建成了5个国家智能网联汽车测试区,分别在上海、北京、重庆、杭州和武汉。上海嘉定于2016年建成中国第一个专业的智能网联汽车测试场,占地面积 2 km^2 (见图5-51)。其致力于打造六大功能性公共服务平台:前瞻、共性技术研发平台,标准、规范研究定制平台,通信、数据采集分析平台,产业孵化、创新集聚平台,交通示范与国际合作平台,公共基础设施建设与政策法律法规平台。



图 5-51 上海智能网联汽车测试场

6. 智能网联汽车市场应用

从京东“6.18”电商节展示的无人驾驶物流车订单配送到驭势科技在杭州来福士地下停车场展示的无人驾驶摆渡车人员接驾,各种低速场景下的自动驾驶应用正在全国各地、各场所陆续展开。相对于开放道路高速行驶的乘用车而言,在低速场景下将自动驾驶应用于园区物流车要简单易行得多,也更容易实现规模化推广。首先,低速场景下车辆危险性更低,即使出现行驶道路偏差、车辆碰撞的情况,由于速度较低,往往不会产生重大人身伤害。其次,封闭园区的道路清晰、基础设施位置固定,可以提前让无人驾驶系统对周围环境进行熟悉,出现突发状况的概率大大减小。最后,物流车主要用于物品运送,本质上体现的是工具特性,如果出现突发状况可以选择“自我牺牲”,不会像乘用车一样陷入无人驾驶的“道德伦理困境”。此外,园区物流车的规模化运行将积累大量数据,丰富人工智能算法的数据投喂量,加速自动驾驶在更广范围内落地。

2018年,美团发布无人配送开放平台,将自动驾驶技术落地应用到外卖配送场景,2019年计划实现片区规模化运营。新款概念车采用L4级别自动驾驶技术,使用激光雷达、超声波、摄像头等多传感器融合方案,具有城市道路低速自动驾驶的通行能力,如图5-52所示。



图 5-52 美团智能网联汽车

图5-53所示为Google最新的自动驾驶汽车,尽管外形简单,但里面蕴藏着精密的科技

和强大的算法。自动驾驶汽车依靠人工智能、视觉计算、雷达、监控装置和全球定位系统协同合作,让计算机可以在没有任何人类主动的操作下,自动安全地操作机动车辆。Google 自动驾驶汽车的感知系统是由车顶安装的激光雷达来检测与车辆周边障碍物的距离,并反馈回系统创建三维地图。由安装的毫米波雷达负责检测车辆附近的障碍物和激光雷达的盲区,如在盲区发现障碍物则会报警。由安装在车窗处的相机检测车辆是否正确行驶在车道内,如发现偏离车道则会发出预警。安装在车窗处的红外线相机用于夜间检测路面情况,并在仪表盘上显示出来,尤其是障碍物会突出显现。由安装的可见光摄像机检测周围可视路面情况并形成三维图。通过以上感知系统收集信息并传送给 Google 数据库,由 Google 数据处理中心进行处理。但是,Google 自动驾驶汽车无法处理一些不可预知的情况,尚无法做到与人驾驶的汽车和平共处。

Google 子公司 Waymo 于 2018 年年底在美国亚利桑那州的菲尼克斯推出首个商业化打车服务。此前 Waymo 已经在菲尼克斯对自动驾驶出租车进行了大约一年的测试,路测里程已累计 800 万英里(约 1 287 万千米),每天新增 2.5 万英里(约 4.02 万千米),超过地球赤道周长(40 075.02 千米)。也就是说,Waymo 的全自动无人车每天能绕地球一圈。部分城区的居民可以在官网报名试乘,一旦申请成功,申请者的全家都可以参与试乘,并反馈用户体验。

2018 年,搭载华为车联网技术的 DS7 在华为中国生态伙伴大会惊艳亮相,这是继 2017 年 11 月华为与标致雪铁龙集团(PSA)联合宣布全球最大前装车联网项目合作后的首款车型,如图 5-54 所示。车企对车联网平台有四个需求:数据采集、AI 与大数据分析、安全部署、生态合作。华为将持续深耕车联网领域,推动汽车行业智能化、网联化、共享化和电动化。



图 5-53 Google 自动驾驶汽车



图 5-54 标致雪铁龙智能网联汽车 DS7

百度推出 Apollo 计划,宣布开放自动驾驶平台,将向汽车行业及自动驾驶领域的合作伙伴提供软件平台,帮助其结合车辆和硬件系统,快速搭建一套属于自己的完整的自动驾驶系统,样车如图 5-55 所示。

腾讯推出腾讯车联 AInCar 系统,针对交互智能和服务场景智能为企业提供了具体的解决方案,开放了五大基于 AI 的能力:智能语音服务、场景化服务、内容服务、社交服务、运营增值服务。

阿里巴巴则和福特汽车公司达成战略合作关系,双方将开展全面合作,共同推进智能网联汽车、人工智能、智能移动服务和数字营销等领域的合作。这本质上代表了汽车产业与互联网产业的融合。阿里旗下的 AliOS、阿里云、天猫、阿里妈妈,以及斑马网络、高德等,都将深入产业



图 5-55 百度智能网联汽车

链为汽车赋能。事实上,阿里的 AliOS 操作系统此前已经和上汽、神龙展开合作。据了解,目前搭载 AliOS 的智能网联汽车已经超过 40 万辆。而福特与阿里合作,更是首次有全球汽车巨头使用中国操作系统,这意味着中国智能操作系统将有能力作为标准方案在全球应用。

第四节 智能交通

知识目标

- 了解智能交通。

素养目标

- 鼓励学生积极参与智能交通相关的研讨,提升沟通表达能力。

现代交通在为人们的生活提供便利的同时,也带来了许多副作用。例如,随着城镇化的加深和汽车数量的持续快速增长,城市交通拥堵加剧、污染严重、事故频发,交通体系面临严峻挑战。为了改善现有交通通行效率,经过长期广泛的研究和探索,综合考虑车辆和道路的状况,通过科技手段进一步改进现有的交通运输管理系统,从而达到提高路网通行能力和服务质量的目标,解决目前交通需求与交通供给之间存在的矛盾。广泛开展的以“保障安全、提高效益、改善环境、节约能源”为目标的智能交通系统理念已在全球范围内形成共识。

智能交通系统(intelligent transportation system, ITS)如图 5-56 所示,是将计算机技术、电子技术、数据通信技术(无线传感网络、GPRS 基站通信等)、自动控制技术(最优控制、现代控制理论等)、信息处理技术和人工智能(神经网络控制、模糊控制、自适应控制)等有机地融合起来,以实时、准确、高效、交互的方式作用于交通运输与管理的智能系统。智能交通系统通过对传统交通系统的变革,以城市道路交通信息的采集、处理、发布、决策为主线,将车辆、驾驶员、道路及其相关的服务部门结合在一起,运用各种先进技术和科学方法,充分利

用现有的交通基础设施,使得交通流在时空上更有效地分配,并为交通参与者提供多样性的服务,从而提升交通系统的智能化、集成化和网络化,保障人、车、路与环境之间的和谐统一,实现更安全、更便捷、更有效的客货运输。

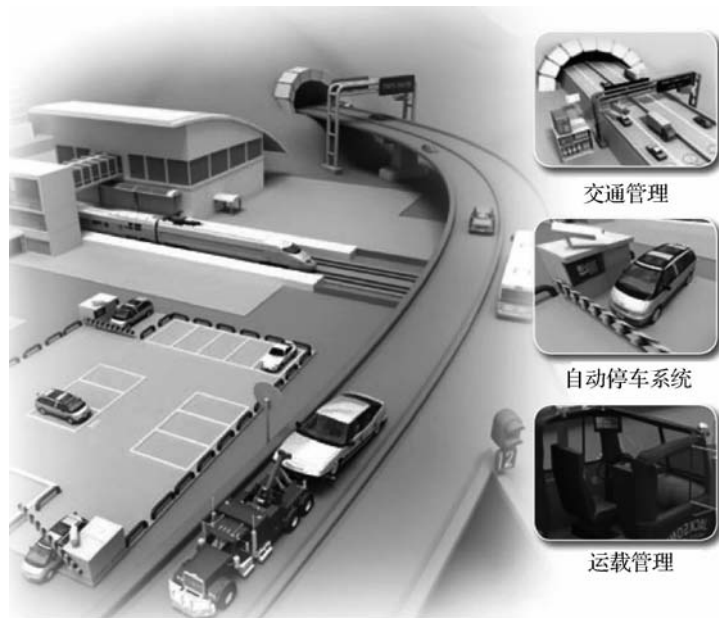


图 5-56 智能交通系统

智能交通系统是以提高交通系统的可靠性、安全性和车辆通行效率为最终目的的。它能有效帮助交通管理者和交通参与者准确掌握实时交通状况,确保车辆的安全有序行驶,提高道路通行能力,缓解交通堵塞,减少交通事故,减少尾气排放等。其经济效益和社会效益显著,是城市交通控制系统新的发展方向,是实现交通运输可持续、绿色发展的极具潜力的有效方法。据初步估计,ITS的应用可使废气排量减少 10%,交通延时减少 20%,停车次数减少 30%,交通拥挤度降低 20%,事故数量降低 50%~80%,事故死亡人数减少 30%,交通工具使用效率提高 50%以上。ITS 将从根本上改变人们出行和交通管理的状况,其涉及道路建设、交通管制、通信、电机、电子、汽车、信息服务、软件等诸多领域,是蕴含巨大社会需求和经济效益的未来新兴产业群,已成为目前世界各国竞相研究和开发的热点。

图 5-57 所示为智能交通系统(ITS)的组成网络。

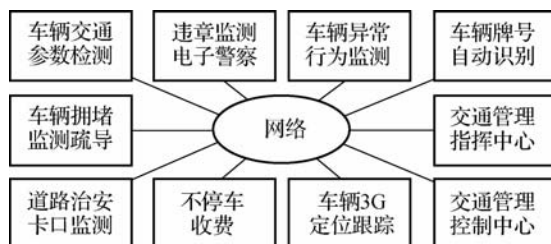


图 5-57 智能交通系统的组成网络

从功能角度看,ITS 由涉及收费、管理、车辆控制、紧急事件管理与救援等方面的子系统构成。



1. 车辆交通参数检测系统

车辆交通参数检测系统在车辆、道路和驾驶员之间建立数据通信,将道路上的实时交通状况报告给驾驶员及交通控制管理人员,并将实时数据(如城市某一主干路当前时刻的车辆数量、某一交通要道突发的交通事故情况等)通过路边独立的大屏幕显示出来,这样就能便于驾驶员和交通管理者迅速做出反应,改变出行计划,提高道路通行效率。

2. 车辆牌号自动识别系统

车辆牌号自动识别系统是计算机视频图像识别技术在车辆牌照识别中的一项典型应用,可识别检测汽车的“身份”。这项技术已经应用于公路收费、停车管理、交通诱导、交通执法、公路稽查、车辆调度、车辆检测等不同场合,系统能够准确识别出车辆登记信息,便于主管部门的统一管理。

3. 违章监测电子警察系统

违章监测电子警察系统已经应用于各大城市的交通网络控制系统中,可实现对城市道路全天候、大范围的实时管理,同时为公安交警执法提供清晰的图像证据,减少因交通事故造成的人员伤亡和财产损失,间接创造了经济价值。根据已建立的系统运行效果表明,它能够促使广大驾驶员遵守交通规则,降低交通事故发生的隐患,从而增强道路交通安全。

4. 不停车收费系统

不停车收费系统是目前运行最为先进的自动收费系统,可解决因人工收费引起的车辆等待时间延误的问题,是智能交通系统成功应用的典范之一,过往车辆通过高速公路收费口时无须停车即可完成缴费功能。现在各大城市高速路口已经广泛安装了这种电子收费系统。当车流量大的时候,人工收费容易引起交通堵塞,而不停车收费系统可解决这个问题,能够有效提高高速路口车辆的通行效率,极大地减少了车辆的排队现象。

5. 交通管理控制中心

如图 5-58 所示,交通管理控制中心运用现代化的遥测、监控、传感、监测装置采集信息,并用电子设备、光缆、通信设施、信号系统、计算机及相关软件传送信息、处理信息,从而对动态交通即运行中的车辆进行准确组织、指引、诱导和调控,使其安全畅通地通行。

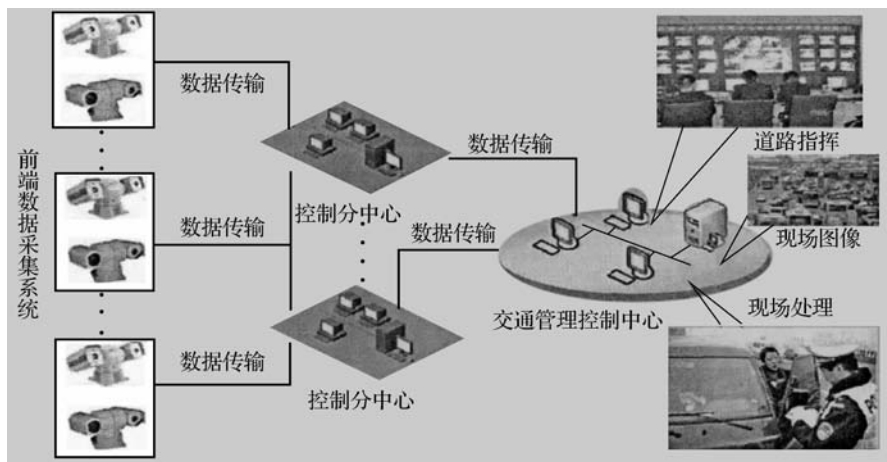


图 5-58 交通管理控制中心

整个智能交通系统包括服务客体的建设和运营、技术体系研发以及基础环境建设三个部分,如图 5-59 所示。



图 5-59 智能交通系统框架

通过系统集成将服务客体中的出行者、车辆和道路有机地结合在一起,加强三者之间的联系。其中,出行者包括驾驶员、乘车人及步行者;车辆分为私家车、公务车、出租车及公交车等;道路包括其所提供的基础设施,如传感线圈、RFID 及交通信号灯等。

技术体系包括硬件环境和软件环境。硬件环境主要包括构成物联网基础架构所必需的通信设备、高精度传感设备、RFID 及计算机、服务器、工作站等硬件平台,软件环境主要包括软件开发、人工智能、神经网络、感知理论、最优化理论等智能算法的研究。智能交通系统技术体系如图 5-60 所示。

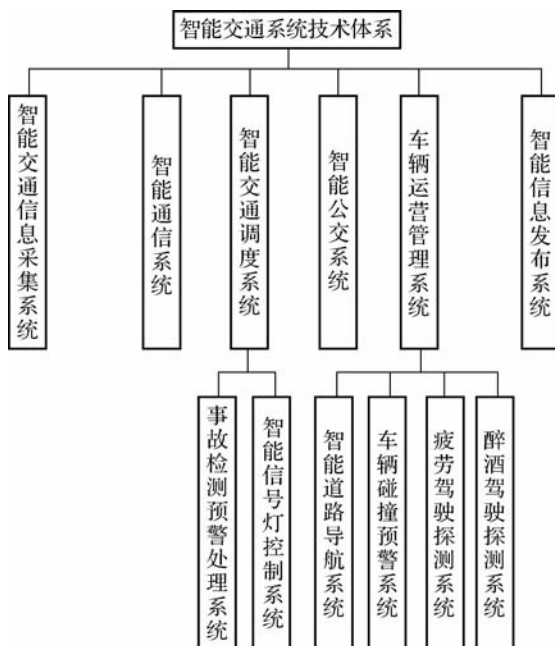


图 5-60 智能交通系统技术体系



6. 智能车辆辅助系统

智能车辆辅助系统的设计目标是:通过汽车电子设备系统、实时路况信息系统、最优道路导航系统、车辆碰撞预警系统、疲劳驾驶检测系统、醉酒驾驶探测系统等,帮助驾驶员实现驾车系统的电子化、智能化。智能车辆辅助系统由两个部分组成:第一部分是安装在汽车内的电子仪器,包括车辆导航系统、车辆碰撞预警系统、疲劳驾驶探测系统及醉酒驾驶探测系统。当探测仪探测出行驶路线中会发生碰撞危险,驾驶员疲劳达到一定的指数,或者酒醉达到一定的指数,将实现车辆自动熄火。第二个部分是在交通控制中心,通过实时路况信息修改导航仪中某些路段的参数信息,并计算当前最优化的路线,反馈到车辆的导航系统中,这样避免车辆再挤入拥堵的路况,一方面节省时间,另一方面尽可能缩小拥堵的范围。从行驶路线最优化及驾车安全性考虑,采用网络通信、控制、信息处理、人工智能,设计出一套技术先进、可靠实用、高效的智能车辆辅助系统。

(1)定位系统。定位系统对车辆进行实时定位,并将位置信息传送至交通控制中心。

(2)数据库管理系统。数据库管理系统提供路况信息的数据库信息管理,可为驾驶员提供实时路况信息,并结合路况信息计算最优化路径。

(3)通信系统。通信系统通过无线网络,实现车辆与控制中心之间信息的互换。

(4)电子地图系统。电子地图系统为路况信息监控提供可视化操作环境,控制中心和驾驶员通过电子地图随时掌握实时路况信息。

(5)导航仪控制系统。导航仪控制系统根据车辆位置、实时路况等信息,计算最优化路径并将数据反馈给导航仪执行。

(6)车辆碰撞预警系统。车辆碰撞预警系统通过智能控制系统处理、预测,对车辆行驶路线中发生的碰撞危险进行预警。

(7)疲劳驾驶探测系统。疲劳驾驶探测系统通过驾驶员面部表情及眨眼时间长短等信息的采集,利用感知计算,计算出驾驶员的疲劳程度,实现疲劳驾驶探测。

(8)醉酒驾驶探测系统。醉酒驾驶探测系统通过驾驶员位置的探测器分析空气中的酒精含量,计算驾驶员醉酒指数,实现醉酒驾驶探测。

7. 智能道路管理系统

(1)智能道路管理系统的设计目标。通过公交车及出租车的车载电子设备,实现全市路况信息的监控,达到智能化的交通信号灯管理。根据交通流量自动控制信号灯变换,尽可能降低交通道路拥堵率,减少车辆等待时间,并可帮助驾驶员寻找最理想的路线。

(2)智能道路管理系统的主要功能。交通控制中心对实时路况信息进行监控并计算车辆经过各个路段的耗时;交通信号灯的智能化控制数据库管理系统提供路况信息以及交通信号灯的数据库信息管理,可为驾驶员提供实时路况信息,并结合路况信息智能控制交通信号灯系统;通过无线网络,实现车辆与控制中心之间的信息交换。



案例分析

新一代科技革命和产业变革促使智能网联汽车成为全球汽车产业发展的战略方向。慧

科与百度 Apollo 将发挥高等教育领域企业与互联网企业各自的优势,在智能交通、自动驾驶、智能网联的大背景下,共同探讨和实践对应的商业模式,加速技术向产品的过渡,共同为智能交通、自动驾驶、智能网联领域提供解决方案,培养面向未来的产业人才。

前瞻产业研究院发布的《无人驾驶汽车行业发展前景预测与投资战略规划分析报告》显示,到 2035 年,预计全球无人驾驶汽车销量将达 2 100 万辆。

高速发展随之而来的是大量高层次产业人才的紧缺。中国汽车工程学会在《智能网联汽车产业人才需求预测报告 2020》中预测,2025 年智能网联汽车研发人才需求数量约为 11.6 万人,届时人才存量约为 7.2 万人,高校相关专业毕业生供给量(按流入产业比例计算)仅为 7 300 人。天津智能网联汽车产业研究院在 2020 年编制的《智能网联汽车技能人才需求报告》中预测,到 2030 年汽车智能网联产业技能人才需求超 1 500 万人。

随着智能网联汽车的迅猛发展,汽车产业的岗位关键词变成了智能网联汽车研发岗、测试岗、算法岗和产品岗等,可谓“软件定义汽车”。“软件定义汽车”决定了智能网联汽车发展需要大量具有 IT 背景的专业人才的加入。从岗位分布上来看,智能网联汽车专业的主要就业岗位包含:汽车智能网联应用工程师、智能网联汽车 V2X 系统工程师、多传感器融合算法工程师、规划算法工程师、控制算法工程师、ADAS 测试工程师、雷达应用工程师、导航设备测试工程师、底盘调试工程师、车联网运维工程师、车辆改装测试工程师等。

根据案例回答下列问题。

1. 如何用事物是普遍联系的观点来看待互联网汽车融合了多个专业?
2. 请结合上述内容,请用辩证的思维来分析你对智能网联这个新专业的看法。这个专业需要哪些技能?你觉得前景如何?



思考与练习

1. 什么是智能网联汽车?简述其发展历程。
2. 比较各国智能网联汽车政策。
3. 简述自动驾驶技术的等级划分。
4. Google 无人驾驶汽车的感知系统是如何实现的?
5. 大数据平台的数据源包括哪两类?简要叙述。
6. 简述智能网联汽车未来发展目标和重点。

参考文献

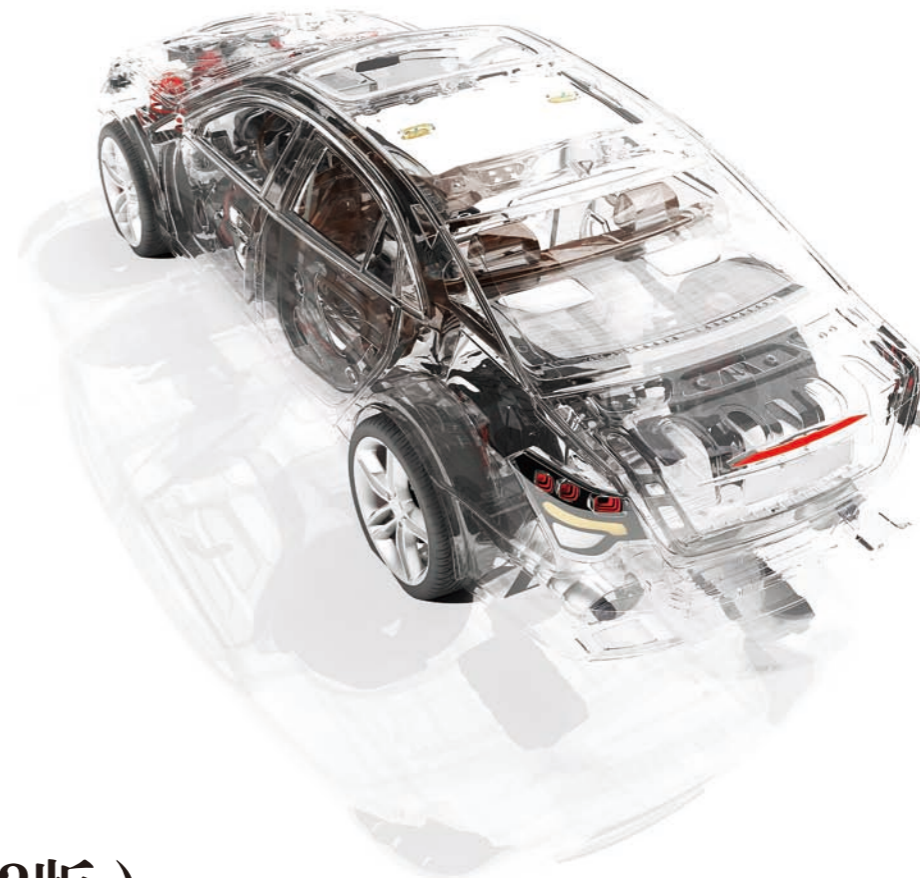
- ▶ [1] 陈家瑞. 汽车构造:上册[M]. 3版. 北京:机械工业出版社,2015.
- ▶ [2] 陈家瑞. 汽车构造:下册[M]. 3版. 北京:机械工业出版社,2015.
- ▶ [3] 焦贺彬,李富强. 可变气门正时与升程技术优化[J]. 制造业自动化,2021,43(5):63-66.
- ▶ [4] 伍赛特. 车用柴油机燃油供给系统技术发展趋势及应用前景展望[J]. 拖拉机与农用运输车,2020,47(5):19-23.
- ▶ [5] 王春风等. 二级可变排量机油泵对发动机油耗率的影响[J]. 内燃机与配件,2020,23:47-48.
- ▶ [6] 阳辉勇,张磊等. 可变压缩比米勒循环汽油机热功转换效率预测及优化[J]. 内燃机学报,2024,42(05):421-428.
- ▶ [7] 上海通用汽车有限公司组编. 汽车转向与悬架系统及检修[M]. 高等教育出版社,2022.
- ▶ [8] 赵飞. 电控制动助力系统 NVH 优化设计及试验方法研究[J]. 传动技术,2023,37(03):30-35.
- ▶ [9] 张伟达.《智能网联汽车信息安全关键技术分析[J]. 交通节能与环保,2025,21(01):111-113.
- ▶ [10] 王贞仁,赖德鹏,劳日智. 纯电动汽车碰撞后的安全断电控制技术研究[J]. 时代汽车,2024(21):74-76.
- ▶ [11] 郭王虎. 智能网联汽车技术路线图 2.0 发布[J]. 智能网联汽车,2020,(06):10-13.
- ▶ [12] 曾鑫. 智能网联汽车技术[M]. 北京:机械工业出版社,2025.
- ▶ [13] 唐诗华. 智能网联汽车发展政策与标准体系探究[J]. 质量与认证,2023,(10):41-43.



(第2版)

现代汽车新技术 学生工单

XIANDAI QICHE XINJISHU



(第2版)

现代汽车新技术 学生工单

李蓉 胡汉桥 编

目 录

第一单元

工单 1-1	可变气门技术	1
工单 1-2	进气增压技术	3
工单 1-3	燃油供给新技术	5
工单 1-4	排放新技术	9
工单 1-5	其他发动机新技术	11

第二单元

工单 2-1	变速器新技术	13
工单 2-2	转向系统新技术	15
工单 2-3	行驶系统新技术	17
工单 2-4	制动系统新技术	19

第三单元

工单 3-1	汽车安全技术法规与标准	21
工单 3-2	中国汽车 C-NCAP 安全评价体系	23
工单 3-3	汽车安全技术内容	25
工单 3-4	驾驶环境安全技术	27
工单 3-5	驾驶环境安全技术	29
工单 3-6	轮胎及制动新技术	31
工单 3-7	轮胎及制动新技术	33
工单 3-8	轮胎及制动新技术	35
工单 3-9	被动安全	37
工单 3-10	被动安全	39
工单 3-11	被动安全	41

第四单元

工单 4-1	汽车节能降排新技术	43
工单 4-2	汽车轻量化技术	45
工单 4-3	汽车轻量化技术	47
工单 4-4	汽车轻量化技术	49
工单 4-5	汽车轻量化技术	51



工单 4-6	结构优化设计	53
工单 4-7	先进制造工艺	55
工单 4-8	新能源汽车	57
工单 4-9	充电新技术	59
工单 4-10	空气动力学优化技术	61
工单 4-11	车灯节能技术	63
工单 4-12	汽车能量回收技术	65
工单 4-13	余热发电技术	67
工单 4-14	悬架能量回收技术	69

第五单元

工单 5-1	智能网联汽车的概念及发展历程	71
工单 5-2	智能网联汽车技术等级	73
工单 5-3	智能网联汽车的技术架构	75
工单 5-4	智能网联汽车的技术架构	77
工单 5-5	智能网联汽车的技术架构	79

第一单元

工单 1-1 可变气门技术

根据可变气门技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

问题:①可变气门技术分为哪三种?请在空白处作答。

②哪些车型使用了这种技术?

③这些车型现在的销售情况如何?(20 * 3=60 分)

答:



学生工单

完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 请你对本小组一位同学的工单进行评价。(10 分)

2. 你觉得此次小组活动的评价是?(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 1-2 进气增压技术

根据进气增压技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 30 分钟。总分 100 分。

问题:增压器根据不同的驱动方式可分为哪几种? (30 分)代表车型有哪些? (30 分)优缺点是什么? (40 分)

1

2



3

4

工单 1-3 燃油供给新技术

根据燃油供给新技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 30 分钟。
总分 100 分。

问题 1:下图所示的是哪种燃油技术?(5分)其特点是什么?(15分)请在图中标出主要部件名称。(10分)





续表

问题 2: 下图所示的是哪种燃油技术? (5 分) 其特点是什么? (15 分) 请在图中标出主要部件名称。(10 分)



续表

问题 3: 以上两种技术, 都有各自的特点和使用范围, 下列图示的燃油技术兼顾了它们的优点, 请在图中指出主要部件名称。(10 分) 并回答, 这种技术在哪些车型上有应用? (10 分) 为什么没有全面普及? (10 分)

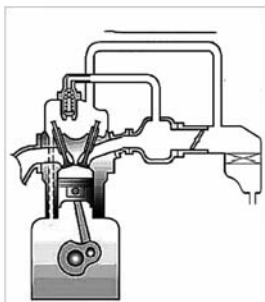


问题 4: 除了上述的 3 种新技术以外, 还有哪些燃油喷射新技术? (10 分)

工单 1-4 排放新技术

根据排放新技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 30 分钟。总分 100 分。

问题 1:下图所示的是哪种排放新技术?(5 分)其特点是什么?(15 分)请在图中标出主要部件名称。(10 分)请用笔画出两种气体的流动路线。(10 分)



问题 2:查询网络或者期刊杂志等,最近 5 年内有哪些品牌发生过和 EGR 或其它排放系统相关相关的召回事件?谈谈你的看法。(30 分)



问题 3:案例分析:

一辆行驶里程约 14.5 万 km 轿车。该车出现发动机怠速不稳且容易熄火,其他工况无异常的现象。故障诊断:

- 1)首先读取发动机故障码,没有任何显示。
- 2)拆下进气软管,检查节气门体没有发现积炭的现象。
- 3)连接燃油压力表,打开点火开关,读取燃油压力为 320kPa,没有发现异常。
- 4)检查火花塞,发现间隙为 1.3mm 有积炭,更换 4 个火花塞后,故障依旧。
- 5)最后在发动机怠速时,使用钳子轻轻夹住 PCV 阀与进气歧管之间的软管,无“咔哒”声(正常情况下 PCV 阀中应发出“咔哒”声),说明有真空泄漏情况。

结合案例回答:

PCV 阀的工作原理是什么?(20 分)

此案例中,故障排除的思路是什么?(20 分)

工单 1-5 其他发动机新技术

根据其他发动机新技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 30 分钟。总分 100 分。

问题 1:下图所示的是普通机油泵还是可变排量的机油泵?(5分)你从那几个方面看出来的?(10分)其工作原理是什么?(5分)



问题 2:

当发动机部分负荷时,切断部分气缸的供油而使工作气缸的负荷提高,以改善发动机性能的技术。这是描述的哪种技术?(5分)这种技术主要应用在哪些车型?(10分)为什么没有普及。(10分)



问题 3:请画出简图表示奥托循环的工作原理。(10 分)这种循环的缺点是什么?(5 分)

请简述米勒循环的工作原理。(10 分)

什么是双循环、双喷射、双增压技术?(30 分)

第二单元

工单 2-1 变速器新技术

根据变速器新技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 30 分钟。总分 100 分。

问题:自动变速器主要分为以下四类。请根据提示,简要填写。

1. 电控机械式自动变速器。其组成和分类?(25 分)

2. 液力自动变速器。其组成和工作原理?(25 分)



3. 无级变速器。其组成和变速原理? (25 分)

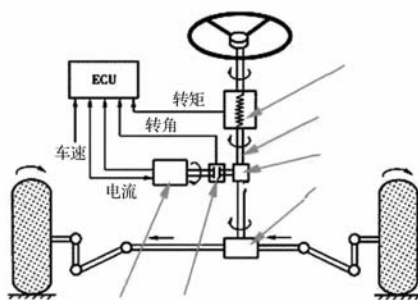
4. 双离合自动变速器。请举例说明其应用。(25 分)

工单完成后,同学们可以交换工单进行互相评价。教师可将优秀工单在班级进行展示。

工单 2-2 转向系统新技术

根据转向系统新技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 30 分钟。总分 100 分。

问题 1:标出图中箭头所指的部件名称。(20 分)



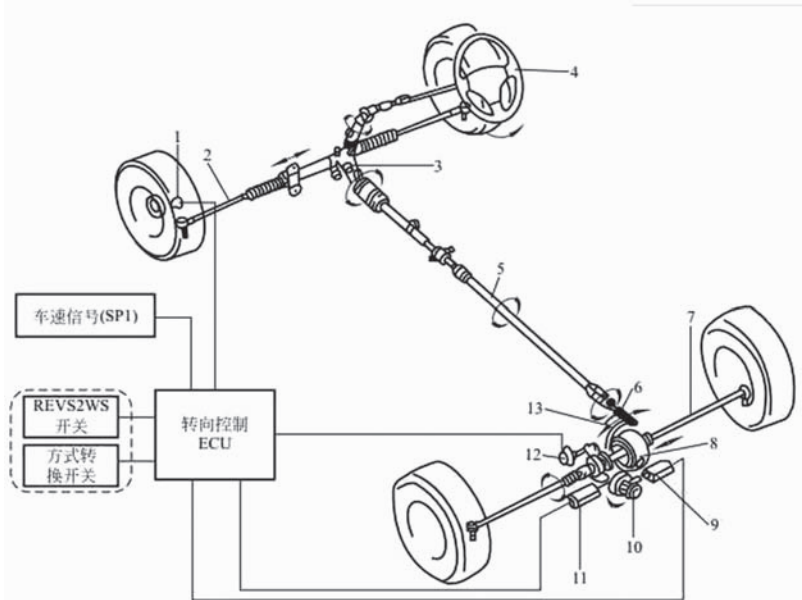
电动助力系统示意图

问题 2:根据本节所学内容填空。(20 分)

线控转向系统首次在量产车上应用是_____车型上。它可以改善汽车转向过程中_____和_____之间的矛盾,使_____和_____同步工作,_____更加灵敏。这个系统取消了_____等机械连接,减轻了车辆的质量,降低了油耗,改善了_____,从而提高了汽车的_____操纵稳定性、_____和_____。



问题 3: 下图是某车型的 4WS 布置图, 请按下列名称标注。(20 分) 并用语言描述其工作原理(20 分)。
 连接轴; 4WS 转换器; 主电动机; 扇形齿轮; 车轮转速传感器; 横拉杆; 输出齿轮; 输入轴; 后横拉杆; 转向
 枢轴; 伺服电动机; 转向角比传感器; 方向盘。



问题 4: 简述转向系统的发展过程以及每个过程的特点。(20 分)

工单 2-3 行驶系统新技术

根据行驶系统新技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 30 分钟。
总分 100 分。

问题 1:根据本节所学内容填空。(20 分)

空气弹簧的最大优点是_____,它的另外一个优点是_____。但其缺点是_____。

电控主动悬架的_____和_____能根据汽车的行驶状态进行_____,使悬架系统始终处于_____状态。

按照是否包括动力源,电控主动悬架可分为_____和_____。

按照_____,又可分为气压式电控悬架和油压式电控悬架。

问题 2:请以奥迪 A8 为例,说明主动空气悬架的工作原理。(20 分)

问题 3:全主动悬架不能大规模批量生产的原因是什么?(20 分)



续表

问题 4: 查阅资料, 并和同学讨论。轮胎发展的新技术有哪些? (20 分)

问题 5: 普利司通、米其林等都是著名的轮胎生产厂家。访问他们的公众号或者网站, 看看有哪些收获。将你的查询结果进行总结。(20 分)

工单 2-4 制动系统新技术

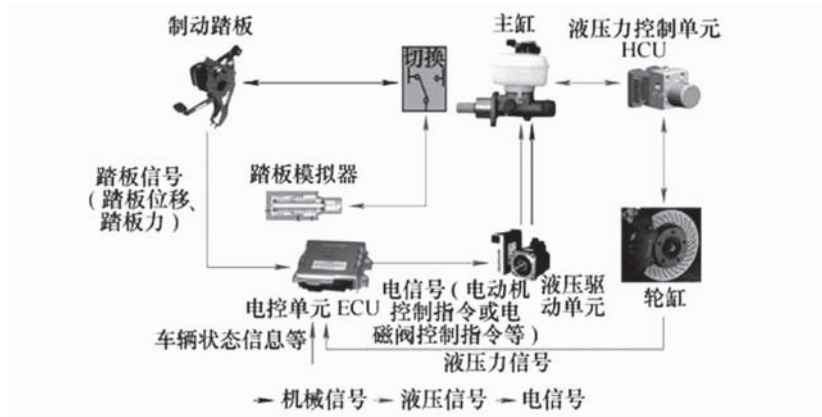
根据制动系统新技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 30 分钟。
总分 100 分。

问题 1:汽车制动性能的好坏,主要从哪三个方面进行评价?(30 分)

问题 2:汽车制动的四个阶段是?(20 分)



问题 3:根据图示,说明电子液压制动系统的组成及工作原理。(30 分)



问题 4:查阅资料,并和同学讨论,线控制动系统的关键技术是什么?(20 分)

第三单元

工单 3-1 汽车安全技术法规与标准

根据汽车安全技术法规与标准的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为20分钟。总分100分。

-
- 问题:①国外的车辆安全法规主要有哪三种?请在空白处作答。
②这三种法规体系对车辆安全措施的有效性均提出了哪些规定?
③现在新车销售中客户最看重的安全参数有哪些?(20 * 3=60分)
-

答:



学生工单

完成此工单后,学生 2-4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 请你对本小组一位同学的工单进行评价。(10 分)

2. 你觉得此次小组活动的评价是?(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 3-2 中国汽车 C-NCAP 安全评价体系

根据中国汽车 C-NCAP 安全评价体系的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

问题:①C-NCAP 成立时间、具体含义和重要意义?请在空白处作答。

②指出 C-NCAP 包含哪些具体测试项目?

③现在新车销售中哪些车型获得了中国汽车技术研究中心 5 星级评价?($20 * 3 = 60$ 分)

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 随着国产汽车 C-NCAP 星级评分不断提高,逐步获得全球汽车消费者的认可,请谈谈这对我国汽车工业的有何积极意义。(10 分)

2. 通过学习本节知识,探讨买新车中应注意查阅哪些关键性安全参数?(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 3-3 汽车安全技术内容

根据汽车安全技术内容的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

问题:①汽车安全强制性标准包括哪三类?请在空白处作答。

②什么是汽车主动安全性和汽车被动安全性,两者有何区别?

③请列举汽车新技术中哪些属于主动安全,哪些属于被动安全?(20 * 3=60 分)

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 沃尔沃汽车素有最安全汽车的称号,请讨论它采用了哪些安全技术?(10 分)

2. 汽车生产中采用的阻燃材料越来越多,请从安全角度上讨论其原因。(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 3-4 驾驶环境安全技术

根据汽车主动安全技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

- 问题:①驾驶员存在的盲区包括哪些部位?透明 A 柱对汽车安全有何意义?请在空白处作答。
- ②什么是汽车盲点监测系统作用?
- ③自适应前照明系统的作用、功能以及哪些车辆装备该技术?(20 * 3=60 分)
-

答:



学生工单

完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 奥迪汽车素有“灯厂”称号,请讨论它采用了哪些照明安全技术?(10 分)

2. 汽车生产中采用的阻燃材料越来越多,请从安全角度上讨论其原因。(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 3-5 驾驶环境安全技术

根据汽车主动安全技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

问题:①驾驶员在夜间行驶时由于视野差,无法及时发现行人,汽车夜视辅助系统可显著提高行车安全,请问其工作原理和可应用的场景?请在空白处作答。

②轮胎胎压对行车安全非常重要,轮胎气压监测系统有何优点?

③车道偏离警示系统的作用、功能以及哪些车辆装备该技术?(20 * 3=60 分)

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 请讨论我国汽车安全法规为何将轮胎气压监测技术强制应用在新车上。(10 分)

2. 随着智能网联汽车的不断发展,车道偏离警示系统已成为标配,讨论未来汽车的安全发展方向。(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 3-6 轮胎及制动新技术

根据轮胎及制动新技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

- 问题:①汽车高速行驶爆胎有何危害?爆胎监测与安全控制系统如何降低危害?请在空白处作答。
②你所知道的国内汽车轮胎品牌有哪些?安全轮胎有哪些厂家在生产?
③驾驶疲劳预警监测系统的作用、类型以及哪些车辆装备该技术?(20 * 3=60 分)
-

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 随着我国汽车工业的快速发展,国内汽车轮胎技术不断进步产销量位居首位,请讨论我国汽车轮胎产业的现状和发展前景。(10 分)

2. 对于未安装爆胎监测与安全控制系统的车辆而言,当汽车高速行驶爆胎时驾驶员该如何操作可降低危害?(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 3-7 轮胎及制动新技术

根据轮胎及制动新技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

问题:①汽车制动时前轴抱死和后轴抱死有何区别?请在空白处作答。

②汽车防抱死制动系统 ABS 的作用和原理?

③驱动防滑控制系统的作用和原理?(20 * 3=60 分)

答:



完成此工单后,学生 2-4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 电影中经常出现汽车启动阶段抬头现象,为什么现代车辆会出现?试讨论其背后原理。(10 分)

2. 为何现代汽车较少出现漂移和侧滑现象?试讨论其背后所采用了哪些技术?(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 3-8 轮胎及制动新技术

根据轮胎及制动新技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

问题:①车身电子稳定系统 ESP 如何实现提高行驶安全性?请在空白处作答。

②车身电子稳定系统 ESP 可在哪些场景应用?

③自动紧急制动系统的作用和原理?($20 * 3 = 60$ 分)

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 随着汽车安全技术的快速发展,车身电子稳定系统 ESP 已经在轿车中普及,但是部分小型货车上仍未配备该技术,导致其紧急制动失控,试分析其原因。(10 分)

2. 采用自动紧急制动系统的汽车可降低事故发生概率,试讨论其工作原理。(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 3-9 被动安全

根据被动安全的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

问题:①膨胀式安全带如何提高乘员安全指数?请在空白处作答。

②主动式头枕如何保护乘员颈椎?

③充气式儿童安全座椅优点有哪些?(20 * 3=60 分)

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10分)

1. 膨胀式安全带相比普通安全带有何优点?(10分)

2. 充气式儿童安全座椅相比普通儿童安全座椅有何优点?(10分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10分)

工单 3-10 被动安全

根据被动安全的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

问题:①可溃缩式转向柱和踏板如何保护乘员安全?请在空白处作答。

②车身结构如何设计可有效保护乘员和行人?

③吸能式防撞梁优点有哪些?(20 * 3=60 分)

答:



完成此工单后,学生 2-4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 在车身设计方面,日系车相比美系车明显更脆弱,请讨论哪种设计更好。(10 分)

2. 可溃缩式结构设计在汽车上的应用有哪些?(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 3-11 被动安全

根据被动安全的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

问题:①安全气囊的作用及其在汽车上的应用场景有哪些?请在空白处作答。

②行人安全气囊的作用?

③行人安全气囊在哪些车型上应用?(20 * 3=60 分)

答:



完成此工单后,学生 2-4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10分)

1. 安全气囊是利用火药爆发产生的气体快速充满气囊从而起到安全保护的作用,那么气囊数是不是越多越好?(10分)

2. 丰田汽车由于安全气囊故障导致召回事件,那么试讨论安全气囊需要具备哪些条件才能满足法规要求。(10分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10分)

第四单元

工单 4-1 汽车节能降排新技术

根据汽车节能降排新技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

问题:①汽车节能对我国能源安全和环境有何重要意义?请在空白处作答。

②各国汽车节能标准法规越来越严苛,你所知道的汽车排放标准有哪些?

③汽车节能标准的技术选项有哪些?(20 * 3=60 分)

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 探讨新能源汽车相比内燃机汽车有何优缺点。(10 分)

2. 讨论哪些节能技术已应用在汽车上。(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 4-2 汽车轻量化技术

根据汽车轻量化技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。
总分 100 分。

- 问题:①汽车轻量化技术的含义。请在空白处作答。
②汽车行驶过程中所受到的阻力有哪些?
③各汽车轻量化技术应用分为哪三个方面? (20 * 3=60 分)
-

答:



完成此工单后,学生 2-4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 现代汽车重量相比之前要减轻很多,是不是意味着质量也随之下降。(10 分)

2. 选择一款车讨论其采用哪些轻量化技术?(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 4-3 汽车轻量化技术

根据汽车轻量化技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。
总分 100 分。

问题:①当今汽车轻量化材料有哪些?请在空白处作答。

②轻量化材料分类?

③列举轻量化材料在汽车上的应用。(20 * 3=60 分)

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 讨论哪些品牌的汽车车身上应用了高强度钢。(10 分)

2. 探讨车身不同部位所采用的材料为什么都有所不同。(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 4-4 汽车轻量化技术

根据汽车轻量化技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。
总分 100 分。

- 问题:①工程塑料橡胶材料在汽车上的应用有哪些?请在空白处作答。
②工程塑料橡胶材料相比传统钢材有何优点?
③为什么在汽车覆盖件中工程塑料橡胶材料应用越来越广泛?(20 * 3=60 分)
-

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 讨论汽车上哪些部分采用工程塑料橡胶材料。(10 分)

2. 探讨工程塑料橡胶材料在汽车设计中的优势。(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 4-5 汽车轻量化技术

根据汽车轻量化技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。
总分 100 分。

- 问题:①轻质合金材料在汽车上的应用有哪些?请在空白处作答。
②钛合金材料相比传统钢材在刚强度、重量、耐腐蚀等方面有何优点?
③复合材料具有哪些优良性能?(20 * 3=60 分)
-

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 查阅并讨论奥迪 A8 全铝车身的生产工艺和轻量化特点。(10 分)

2. 讨论钛合金材料在汽车设计和制造中的优势。(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 4-6 结构优化设计

根据结构优化设计的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

问题:①汽车结构优化设计定义?请在空白处作答。

②汽车结构优化设计类型有哪些?

③大众汽车 EA888 发动机活塞连杆结构优化特点?($20 * 3=60$ 分)

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 查阅并讨论汽车零部件设计中有哪些结构优化设计。(10 分)

2. 讨论汽车在不同发展阶段零部件采用的结构优化设计方案。(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 4-7 先进制造工艺

根据先进制造工艺的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

问题:①3D 打印技术优势和其在汽车制造中的应用有哪些?请在空白处作答。

②激光拼焊技术的优点有哪些?

③粘合技术应用在汽车制造的哪些方面?(20 * 3=60 分)

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 讨论汽车制造中激光拼焊为什么得到大量运用。(10 分)

2. 讨论汽车胶粘剂主要性能和生产厂家。(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 4-8 新能源汽车

根据新能源汽车的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

问题:①我国在新能源汽车产业中有哪些知名企业?请在空白处作答。

②新能源汽车分类?

③我国知名新能源汽车品牌和生产商有哪些?(20 * 3=60 分)

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 讨论我国新能源汽车发展前景。(10 分)

2. 市面上不同品牌新能源汽车所采用的技术有何不同?(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 4-9 充电新技术

根据充电新技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

问题:①现阶段常规充电方式类型和存在的问题有哪些?请在空白处作答。

②充电公路如何实现车辆运动充电?

③无线充电结构组成和优点?($20 * 3 = 60$ 分)

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 讨论和比较各种充电技术的优缺点。(10 分)

2. 哪些企业生产出采用无线充电技术的产品?(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 4-10 空气动力学优化技术

根据空气动力学优化技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

问题:①空气动力学优化技术影响汽车哪些方面的性能?请在空白处作答。

②汽车车身造型和风阻的关系?

③列举不同车型的风阻系数。(20 * 3=60 分)

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 讨论汽车前部造型和后部造型对汽车风阻的影响。(10 分)

2. 跑车的轮毂造型相比普通车有什么特点?(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 4-11 车灯节能技术

根据车灯节能技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

问题:①车灯的发展历史和未来趋势?请在空白处作答。

②LED 车灯相比传统车灯有何优缺点?

③OLED 车灯相比 LED 车灯有何优点? (20 * 3=60 分)

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 讨论 LED 车灯在哪些车型上应用。(10 分)

2. OLED 车灯应用在哪些车型上?(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 4-12 汽车能量回收技术

根据汽车能量回收技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

- 问题:①汽车能量回收技术有哪些?请在空白处作答。
②再生制动能量回收技术工作原理?
③电动机发电机一体化制动能量回收系统组成?(20 * 3=60 分)
-

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 再生制动能量回收技术在哪些车型上应用。(10 分)

2. 制动能量回收系统储能方式有哪些?(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 4-13 余热发电技术

根据余热发电技术的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

问题:①汽车在行驶过程中哪些地方会产生热量?请在空白处作答。

②热电发电机的工作原理?

③能量回收轮胎的工作原理?(20 * 3=60 分)

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 讨论制约余热发电技术大量运用的因素。(10 分)

2. 余热发电技术应用前景?(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 4-14 悬架能量回收技术

根据悬架能量回收的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

问题:①悬架能量回收技术的原理?请在空白处作答。

②馈能型悬架类型?

③馈能型悬架在哪些车型上得到应用?(20 * 3=60 分)

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 讨论悬架能量回收技术前景。(10 分)

2. 针对奥迪馈能型悬架分析结构组成和能力按转换效率。(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

第五单元

工单 5-1 智能网联汽车的概念及发展历程

根据智能网联汽车的概念及发展历程的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

问题:①智能网联汽车的概念?请在空白处作答。

②国内智能网联汽车公司有哪些?

③中国发展智能网联汽车的前景分析?(20 * 3=60 分)

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 讨论国内外各智能网联汽车公司技术有哪些。(10 分)

2. 探讨国内智能网联汽车在自动驾驶和车联网方面的优势。(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 5-2 智能网联汽车技术等级

根据智能网联汽车技术等级的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为 20 分钟。总分 100 分。

- 问题:①智能网联汽车自动驾驶技术等级分为哪五个阶段?请在空白处作答。
②当前市面上车辆高级驾驶辅助系统 ADAS 包含哪些功能?
③国内各汽车品牌采用高级驾驶辅助系统 ADAS 的车型有哪些?(20 * 3=60 分)
-

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 讨论国内外智能网联汽车技术等级目前处于哪个阶段。(10 分)

2. 列举国内自主品牌智能网联汽车在高级驾驶辅助系统的应用案例。(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 5-3 智能网联汽车的技术架构

根据智能网联汽车的技术架构的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为20分钟。总分100分。

- 问题:①智能网联汽车的技术架构?请在空白处作答。
②智能网联汽车的关键技术是什么?
③智能网联汽车的产品体系包含哪三方面?(20 * 3=60分)
-

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 智能网联汽车核心在于芯片,请大家讨论如何突破车用级别芯片技术。(10 分)

2. 查阅并讨论比亚迪汽车在芯片领域的发展历程和前景。(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 5-4 智能网联汽车的技术架构

根据智能网联汽车的技术架构的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为20分钟。总分100分。

- 问题:①智能网联汽车的环境感知技术有哪些?请在空白处作答。
②分析特斯拉汽车环境感知技术为什么采用视觉传感器,有何优缺点?
③列举激光雷达在智能网联汽车上的应用?($20 \times 3 = 60$ 分)
-

答:



完成此工单后,学生 2-4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)

1. 对比和探讨当前各汽车品牌环境感知技术的路线,并分析其优缺点。(10 分)

2. 对比和讨论各种天气环境下传感器适用情况。(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

工单 5-5 智能网联汽车的技术架构

根据智能网联汽车的技术架构的学习,请先独立完成下列工单内容。建议完成时间为20分钟。总分100分。

问题:①智能网联汽车的车联网项目的含义?请在空白处作答。

②国内外在车联网平台有哪些?

③通信技术 V2X 在智能网联汽车上的应用? (20 * 3=60 分)

答:



完成此工单后,学生 2—4 人为一组,然后以小组讨论的形式,完成下列工单。建议小组讨论的时间为 20 分钟,工单完成时间为 10 分钟。

你在小组中承担的角色是?(如组长、组员、记录员等)(10 分)


1. 国内各汽车品牌的车联网技术相比国外的优势和劣势分别是什么。(10 分)

2. 5G 技术在智能网联汽车通信技术 V2X 上的应用。(10 分)

3. 如何改进小组活动,从而获得更好的学习效果?(10 分)

2.


教材编写/责任编辑人员/审核专家
政治审查表

姓名	李蓉	性别	女
出生年月	1979年7月	民族	汉
政治面貌	中共党员	职务	无
工作单位	武汉软件工程 职业学院	职称	副教授
文化程度	研究生	电话	13971256952
身份	<input checked="" type="checkbox"/> 主编 <input type="checkbox"/> 副主编 <input type="checkbox"/> 参编人员 <input type="checkbox"/> 责任编辑 <input type="checkbox"/> 审稿专家		
政治思想 表现情况	<p>李蓉同志在工作中，坚持立德树人的教育理念；政治敏锐性强，能够辨别并自觉抵制错误政治观点；思想品德高尚，社会形象良好。</p> <p>她能够坚定理想信念，拥护党的领导，热爱社会主义事业，在思想上、政治上始终与党中央保持高度一致。无违法违纪记录，无违反师德师风等问题；善于学习，肯于钻研，业务能力强。</p> <p style="text-align: right;">2025年2月25日</p> 		

注：本表所指审稿专家为教材出版过程中的审稿人。

2.

教材编写/责任编辑人员/审核专家 政治审查表

姓名	胡汉桥	性别	男
出生年月	1990年6月	民族	汉
政治面貌	中共党员	职务	无
工作单位	武汉软件工程 职业学院	职称	讲师
文化程度	研究生	电话	18971497205
身份	<input checked="" type="checkbox"/> 主编 <input type="checkbox"/> 副主编 <input type="checkbox"/> 参编人员 <input type="checkbox"/> 责任编辑 <input type="checkbox"/> 审稿专家		
政治思想 表现情况	<p>胡汉桥同志政治立场坚定,始终坚持党的全面领导,坚定“四个自信”,坚持立德树人的教育理念;政治敏锐性强,能够辨别并自觉抵制错误政治观点;思想品德高尚,社会形象良好,无违法违纪记录,无违反师德师风等问题;善于学习,肯于钻研,业务能力强。</p> <div style="text-align: right;">  <p>2025年2月25日</p> </div>		

注: 本表所指审稿专家为教材出版社责任编辑


2.

教材编写/责任编辑人员/审核专家 政治审查表

姓 名	夏萌	性 别	女
出生年月	1987年2月	民 族	汉
政治面貌	群众	职 务	无
工作单位	德阳上川科技 有限公司	职 称	高级工程师
文化程度	研究生	电 话	13658122660
身 份	<input type="checkbox"/> 主编 <input type="checkbox"/> 副主编 <input checked="" type="checkbox"/> 参编人员 <input type="checkbox"/> 责任编辑 <input type="checkbox"/> 审稿专家		
政治思想 表现情况	<p>夏萌同志在工作中，坚持立德树人的教育理念；政治敏锐性强，能够辨别并自觉抵制错误政治观点；思想品德高尚，社会形象良好。</p> <p>她能够坚定理想信念，拥护党的领导，热爱社会主义事业，在思想上、政治上、行动上与党中央保持高度一致。无违法违纪记录，无违反师德师风等问题；善于学习，肯于钻研，业务能力强。</p> <p style="text-align: right;">2025年2月25日</p>		

注：本表所指审稿专家为教材出版过程中的审稿人。

教材编写/责任编辑人员/审核专家 政治审查表

姓 名	周磊	性 别	男
出生年月	1995.09	民 族	汉
政治面貌	群众	职 务	教师
工作单位	武汉软件工程职业学 院	职 称	讲师
文化程度	硕士研究生	电 话	15608411343
身 份	<input type="checkbox"/> 主编 <input type="checkbox"/> 副主编 <input checked="" type="checkbox"/> 参编人员 <input type="checkbox"/> 责任编辑 <input type="checkbox"/> 审核专家		
政治思想 表现情况	<p>周磊同志政治立场坚定，始终坚持党的全面领导，坚定“四个自信”，坚持立德树人的教育理念；政治敏锐性强，能够辨别并自觉抵制错误政治观点；思想品德高尚，社会形象良好，无违法违纪记录，无违反师德师风等问题；善于学习，肯于钻研，业务能力强。</p> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;">  <p>(单位党组织公章)</p> <p>年 月 日</p> </div>		


2.

教材编写/责任编辑人员/审核专家 政治审查表

姓名	胡春红	性别	女
出生年月	1984年3月	民族	汉
政治面貌	中共党员	职务	武汉软件工程职业学院汽车工程学院副院长
工作单位	武汉软件工程职业学院	职称	副教授
文化程度	硕士	电话	13296688728
身份	<input type="checkbox"/> 主编 <input type="checkbox"/> 副主编 <input type="checkbox"/> 参编人员 <input type="checkbox"/> 责任编辑 <input checked="" type="checkbox"/> 审稿专家		
政治思想表现情况	<p>胡春红同志政治立场坚定,坚持立德树人的教育理念;政治敏锐性强,能够辨别并自觉抵制错误政治观点。积极与教材编写团队成员进行沟通,了解编写思路和意图,为编写团队提供了宝贵的指导和建议。在审核过程中,充分尊重编写团队的劳动成果,对于存在的问题和不足,以建设性的态度提出修改意见,帮助编写团队不断提高教材质量。</p> <p style="text-align: right;">2025年2月28日</p>		

注:本表所指审稿专家为教材出版过程中的审稿人。


教材编写/责任编辑人员/审核专家 政治审查表

姓 名	孔明	性 别	女
出生年月	1965.10	民 族	汉
政治面貌	群众	职 务	审读室主任
工作单位	北京邮电大学 出版社有限公司	职 称	副编审
文化程度	大学本科	电 话	010-62283200
身 份	<input type="checkbox"/> 主编 <input type="checkbox"/> 副主编 <input type="checkbox"/> 参编人员 <input type="checkbox"/> 责任编辑 <input checked="" type="checkbox"/> 审稿专家		
政治思想 表现情况	<p>该同志政治立场坚定，拥护中国共产党的领导，遵守党的章程，认同中国特色社会主义，自觉践行社会主义核心价值观，坚持正确的历史观、民族观、国家观、文化观，有良好的思想品德、社会形象，未出现过违纪违规违法情形，未出现过学术不端行为</p> <div style="text-align: center;">  (所在单位党组织公章) 2025年2月15日 </div>		

注：本表所指审稿专家为教材出版过程中的审稿人。

教材编写/责任编辑人员/审核专家

政治审查表

姓 名	许青	性 别	女
出生年月	1981.4	民 族	汉
政治面貌	群众	职 务	责任编辑
工作单位	北京邮电大学出版 社有限公司	职 称	中级
文化程度	本科	电 话	18611628766
身 份	<input type="checkbox"/> 主编 <input type="checkbox"/> 副主编 <input type="checkbox"/> 参编人员 <input checked="" type="checkbox"/> 责任编辑 <input type="checkbox"/> 审稿专家		
政治思想 表现情况	<p>该同志政治立场坚定，忠诚党的教育事业，积极参加政治理论学习，具有较高的政治素养。在出版社的各项工作中，能够深入贯彻党的教育方针，牢记使命，取得了较好的成绩。该同志工作能力和业务水平突出，在出版工作中与编辑室人员密切配合，成效显著。</p> <div style="text-align: right;">  (单位党组织公章) </div> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>		

注：本表所指审稿专家为教材出版过程中的审稿人。

教材编校质量自查情况表

出版单位名称：北京邮电大学出版社有限公司（公章）

教材名称		现代汽车新技术（第2版）		册次	
出版单位		北京邮电大学出版社有限公司		申报序号	
第一作者		李蓉		全书字数	554千字
国际标准书号 (ISBN)		ISBN 978-7-5635-6627-3		版次	2版
页	行	误	正	计错数	备注
1	-6	在各个进气管均设计	在各个进气管上均设计	1	
11	-14	一根	1根	0.1	
20	2	文字内容被图分割	将文字内容移至本页上侧	0.1	
39	图 1-51	进气管	进气歧管	1	
52	4	阿特金森循环	阿特金森循环装置	0.1	说法不统一
检查结果		记错数：2.3			
		差错率：0.23/10 ⁴			
编校质量认定结果		合格			

注：1. 此表由出版单位填写，可根据需要加行。

2. 封面、前言、后记等处错误，在“页”一栏中注明。

3. 图书编校质量差错率计算方法按照《图书质量管理规定》（中华人民共和国新闻出版署令第26号）执行。

《现代汽车新技术（第2版）》使用情况说明

《现代汽车新技术（第2版）》(ISBN: 978-7-5635-6627-3)由李蓉、胡汉桥主编，自2022年4月在我社出版以后累计销量约11000册，据不完全统计，有覆盖全国20个省份的30余所院校使用。

本书被天津滨海汽车工程职业学院、石家庄科技信息职业学院、湖北工程职业学院、山西工程科技职业大学、咸阳职业技术学院、湘西民族职业技术学院、内蒙古农业大学职业技术学院等全国多所院校作为教材使用，获得广泛好评。

教师普遍反映教材内容遵循技术技能人才成长规律，做到了知识传授与技术培养并重，强化了学生职业素养的养成和专业技术的积累。教材将专业知识、职业精神和工匠精神融入教学内容，内容深浅适度，符合学生认知水平。

北京邮电大学出版社有限公司

2025年2月14日



职业学校试用情况报告

由李蓉、胡汉桥主编的《现代汽车新技术（第2版）》（ISBN 978-7-5635-6627-3）教材由北京邮电大学出版社出版，面向全国发行。该教材已在我校学生中使用，受到师生一致好评。

该教材特色明显，具体有以下几个特点：

（1）符合学生认知特点，体现以素质为基础、以就业为导向、以能力为本位、以学生为主体的课程改革指导思想。淡化理论，强化应用，使理论内容为操作技能服务，突出高等职业教育的特色。

（2）科学合理编排教材内容。教材内容设计逻辑严谨、梯度明晰，名称、术语、图表表述规范准确流畅，形式新颖多样、生动活泼；内容由浅入深、系统衔接；语言通俗易懂、简洁明了。大量采用视觉信息，图文并茂，能用图说明的就不用语言说明。

（3）选取企业真实案例，注重技能训练，具有较强的实用性。本书项目内容来自企业实际项目或产品。针对高等职业院校学生实际和相关工作岗位对知识与技能的要求，删减烦琐的原理推导和定量计算内容，侧重基础知识储备和职业岗位技能训练，围绕实践活动编排教学内容，符合从感性到理性的认知规律，实用性强。

该教材通过二维码的形式，拓展和丰富了教材的内容。学生通过手机扫描二维码，可获得视频、动画、音频等视听资料。

从编写理念、编写思路、体例设计等方面来看，该教材符合我校的实际教学需要。同时，配套资源为我校的教学工作提供了很好的帮助。

特此证明！



职业学校试用情况报告

由李蓉、胡汉桥主编的《现代汽车新技术（第2版）》（ISBN 978-7-5635-6627-3）教材由北京邮电大学出版社出版，面向全国发行。该教材已在我校学生中使用，受到师生一致好评。

该教材特色明显，具体有以下几个特点：

（1）符合学生认知特点，体现以素质为基础、以就业为导向、以能力为本位、以学生为主体的课程改革指导思想。淡化理论，强化应用，使理论内容为操作技能服务，突出高等职业教育的特色。

（2）科学合理编排教材内容。教材内容设计逻辑严谨、梯度明晰，名称、术语、图表表述规范准确流畅，形式新颖多样、生动活泼；内容由浅入深、系统衔接；语言通俗易懂、简洁明了。大量采用视觉信息，图文并茂，能用图说明的就不用语言说明。

（3）选取企业真实案例，注重技能训练，具有较强的实用性。本书项目内容来自企业实际项目或产品。针对高等职业院校学生实际和相关工作岗位对知识与技能的要求，删减烦琐的原理推导和定量计算内容，侧重基础知识储备和职业岗位技能训练，围绕实践活动编排教学内容，符合从感性到理性的认知规律，实用性强。

该教材通过二维码的形式，拓展和丰富了教材的内容。学生通过手机扫描二维码，可获得视频、动画、音频等视听资料。

从编写理念、编写思路、体例设计等方面来看，该教材符合我校的实际教学需要。同时，配套资源为我校的教学工作提供了很好的帮助。

特此证明！



职业学校试用情况报告

由李蓉、胡汉桥主编的《现代汽车新技术（第2版）》（ISBN 978-7-5635-6627-3）教材由北京邮电大学出版社出版，面向全国发行。该教材已在我校学生中使用，受到师生一致好评。

该教材特色明显，具体有以下几个特点：

（1）符合学生认知特点，体现以素质为基础、以就业为导向、以能力为本位、以学生为主体的课程改革指导思想。淡化理论，强化应用，使理论内容为操作技能服务，突出高等职业教育的特色。

（2）科学合理编排教材内容。教材内容设计逻辑严谨、梯度明晰，名称、术语、图表表述规范准确流畅，形式新颖多样、生动活泼；内容由浅入深、系统衔接；语言通俗易懂、简洁明了。大量采用视觉信息，图文并茂，能用图说明的就不用语言说明。

（3）选取企业真实案例，注重技能训练，具有较强的实用性。本书项目内容来自企业实际项目或产品。针对高等职业院校学生实际和相关工作岗位对知识与技能的要求，删减烦琐的原理推导和定量计算内容，侧重基础知识储备和职业岗位技能训练，围绕实践活动编排教学内容，符合从感性到理性的认知规律，实用性强。

该教材通过二维码的形式，拓展和丰富了教材的内容。学生通过手机扫描二维码，可获得视频、动画、音频等视听资料。

从编写理念、编写思路、体例设计等方面来看，该教材符合我校的实际教学需要。同时，配套资源为我校的教学工作提供了很好的帮助。

特此证明！



行业企业审读意见

经审读，《现代汽车新技术》符合企业对高素质技能型人才培养的各项需求。下面是具体的审读意见。

本书系统梳理了汽车新技术，如：三电系统、智能驾驶感知技术、氢燃料商业化路径等产业前沿领域，部分内容对今后汽车发展的新趋势还进行了预判，为企业规避技术路线风险提供了重要参考。教材系统梳理了现代汽车的前沿技术，如智能驾驶、车联网等，知识体系构建完整。内容覆盖了企业对掌握现代汽车新技术人才的专业技能要求，能确保学生所学与行业岗位需求无缝对接。同时，教材整合了现代汽车最新相关技术，创新了结构和内容，规范教学大纲。在激发学生创新思维、培养创新能力以及了解行业前沿动态方面优势明显。

综上所述，《现代汽车新技术》教材内容具有科学性、先进性、职业性、适宜性等特点，符合高素质技能型人才培养规律。

同时，我们也提出修改意见供参考：

-增加车企技术转化率案例分析；补充欧盟新颁布的《循环经济法案》对动力电池回收的技术规范要求，建议配套数字版实时更新技术参数数据库。

审读人签字：

高小明

企业单位（盖章）：武汉海阔科技有限公司

2025年03月4日



行业企业审读意见

经审读,《现代汽车新技术》符合企业对高素质技能型人才培养的各项需求。这本书在4S店技术培训、客户服务及维修实践中展现了以下核心价值:

覆盖汽油机直喷、混合动力系统、四轮驱动技术等动力与传动领域,为技师解析发动机故障代码、混动车型维修等场景提供理论支撑;

新增的底盘电控转向、悬架技术章节,帮助员工精准诊断车辆动态性能问题;

新能源汽车技术模块(纯电/插混/燃料电池)显著提升销售顾问对客户的产品讲解深度。

综上所述,《现代汽车新技术》教材内容具有科学性、先进性、职业性、适宜性等特点,符合高素质技能型人才培养规律。

审读人签字

企业单位(盖章):

2025年 月 日



Handwritten signature in black ink.

行业企业审读意见

经审读，《现代汽车新技术》符合企业对高素质技能型人才培养的各项需求。这本书在 4S 店技术培训、客户服务及维修实践中展现了以下核心价值：

覆盖汽油机直喷、混合动力系统、四轮驱动技术等动力与传动领域，为技师解析发动机故障代码、混动车型维修等场景提供理论支撑；
新增的底盘电控转向、悬架技术章节，帮助员工精准诊断车辆动态性能问题；

新能源汽车技术模块（纯电/插混/燃料电池）显著提升销售顾问对客户的产品讲解深度。

综上所述，《现代汽车新技术》教材内容具有科学性、先进性、职业性、适宜性等特点，符合高素质技能型人才培养规律。

审读人签字：何字林

企业单位（盖章）：

2025 年 3 月 5 日



行业企业审读意见

经审读,《现代汽车新技术》符合企业对高素质技能型人才培养的各项需求。下面是具体的审读意见。

本书系统梳理了汽车新技术,如:三电系统、智能驾驶感知技术、氢燃料商业化路径等产业前沿领域,部分内容对今后汽车发展的新趋势还进行了预判,为企业规避技术路线风险提供了重要参考。教材系统梳理了现代汽车的前沿技术,如智能驾驶、车联网等,知识体系构建完整。内容覆盖了企业对掌握现代汽车新技术人才的专业技能要求,能确保学生所学与行业岗位需求无缝对接。同时,教材整合了现代汽车最新相关技术,创新了结构和内容,规范教学大纲。在激发学生创新思维、培养创新能力以及了解行业前沿动态方面优势明显。

综上所述,《现代汽车新技术》教材内容具有科学性、先进性、职业性、适宜性等特点,符合高素质技能型人才培养规律。

同时,我们也提出修改意见供参考:

增加车企技术转化率案例分析;补充欧盟新颁布的《循环经济法案》对动力电池回收的技术规范要求,建议配套数字版实时更新技术参数数据库。

审读人签字: 夏云

企业单位(盖章):

2025年2月28日



行业企业审读意见

经审读,《现代汽车新技术》符合企业对高素质技能型人才培养的各项需求。这本书在 4S 店技术培训、客户服务及维修实践中展现了以下核心价值:

覆盖汽油机直喷、混合动力系统、四轮驱动技术等动力与传动领域,为技师解析发动机故障代码、混动车型维修等场景提供理论支撑;

新增的底盘电控转向、悬架技术章节,帮助员工精准诊断车辆动态性能问题;

新能源汽车技术模块(纯电/插混/燃料电池)显著提升销售顾问对客户的产品讲解深度。

综上所述,《现代汽车新技术》教材内容具有科学性、先进性、职业性、适宜性等特点,符合高素质技能型人才培养规律。

审读人签字:

企业单位(盖章)

2025 年 月 日



行业企业审读意见

经审读,《现代汽车新技术》符合企业对高素质技能型人才培养的各项需求。下面是具体的审读意见。

本书系统梳理了汽车新技术,如:三电系统、智能驾驶感知技术、氢燃料商业化路径等产业前沿领域,部分内容对今后汽车发展的新趋势还进行了预判,为企业规避技术路线风险提供了重要参考。教材系统梳理了现代汽车的前沿技术,如智能驾驶、车联网等,知识体系构建完整。内容覆盖了企业对掌握现代汽车新技术人才的专业技能要求,能确保学生所学与行业岗位需求无缝对接。同时,教材整合了现代汽车最新相关技术,创新了结构和内容,规范教学大纲。在激发学生创新思维、培养创新能力以及了解行业前沿动态方面优势明显。

综上所述,《现代汽车新技术》教材内容具有科学性、先进性、职业性、适宜性等特点,符合高素质技能型人才培养规律。

审读人签字:

企业单位(盖章):

2025年 月 日



Handwritten signature in black ink.

行业企业审读意见

经审读,《现代汽车新技术》符合企业对高素质技能型人才培养的各项需求。下面是具体的审读意见。

本书系统梳理了汽车新技术,如:三电系统、智能驾驶感知技术、氢燃料商业化路径等产业前沿领域,部分内容对今后汽车发展的新趋势还进行了预判,为企业规避技术路线风险提供了重要参考。教材系统梳理了现代汽车的前沿技术,如智能驾驶、车联网等,知识体系构建完整。内容覆盖了企业对掌握现代汽车新技术人才的专业技能要求,能确保学生所学与行业岗位需求无缝对接。同时,教材整合了现代汽车最新相关技术,创新了结构和内容,规范教学大纲。在激发学生创新思维、培养创新能力以及了解行业前沿动态方面优势明显。

综上所述,《现代汽车新技术》教材内容具有科学性、先进性、职业性、适宜性等特点,符合高素质技能型人才培养规律。

审读人签字:

企业单位(盖章):

2025年 月 日



证 明

兹证明我社出版的《现代汽车新技术（第2版）》（主编：李蓉、胡汉桥，书号：978-7-5635-6627-3）一书的著作权归李蓉、胡汉桥所有。

北京邮电大学出版社有限公司

2025年2月14日





当前位置: 我的课程 > 现代汽车新技术 > 第一周期

内容管理

课程知识树

课程知识图谱

课程素材

课程题库

课程设置

课程设置

课程设置

课程设置

课程设置

课程设置

课程设置

课程设置

课程设置

课程设置

课程设置

课程设置

课程设置

课程设置

课程设置

课程设置

课程设置

Excel导入

批量删除

现代汽车新技术 (当前课程)

新增子级

第一章 内燃发动机新技术

编辑

删除

新增子级

1.1 进气控制新技术

编辑

删除

新增子级

1.2 进气增压技术

编辑

删除

新增子级

1.3 燃油供给及燃烧新技术

编辑

删除

新增子级

1.4 排放新技术

编辑

删除

新增子级

1.5 内燃发动机其他新技术

编辑

删除

新增子级

第二章 汽车底盘新技术

编辑

删除

新增子级

2.1 汽车传动系新技术

编辑

删除

新增子级

2.2 转向系统新技术

编辑

删除

新增子级

2.3 行驶系统新技术

编辑

删除

新增子级

2.4 制动系统新技术

编辑

删除

新增子级

第三章 汽车安全新技术

编辑

删除

新增子级

3.1 汽车安全技术评价体系

编辑

删除

新增子级

3.2 汽车安全技术内容

编辑

删除

新增子级

第四章 汽车节能减排技术

编辑

删除

新增子级

4.1 节能技术概述和汽车节能标准体系

编辑

删除

新增子级

4.2 汽车轻量化技术

编辑

删除

新增子级

4.3 新能源汽车

编辑

删除

新增子级

4.4 空气动力学优化技术

编辑

删除

新增子级

4.5 车灯节能技术

编辑

删除

新增子级

4.6 汽车能量回收技术

编辑

删除

新增子级

第五章 智能汽车与交通

编辑

删除

新增子级

5.1 智能网联汽车的概念及发展历程

编辑

删除

新增子级

5.2 智能网联汽车技术等级

编辑

删除

新增子级

5.3 智能网联汽车的技术架构

编辑

删除

新增子级

5.4 智能交通

编辑

删除

新增子级

课程知识图谱

当前位置: 我的课程 > 现代汽车新技术 > 第一周期

- 内容管理
- 课程知识树
- 课程知识图谱**
- 课程素材
- 课程题库
- 课程设置
- 课程设计
- 目录配置
- 课程管理
- 作业考试
- 考核标准
- 统计



课程素材

当前位置: 我的课程 > 现代汽车新技术 > 第一周期

返回

- 内容管理
- 课程知识树
- 课程知识图谱
- 课程素材**
- 课程题库
- 课程设置
- 课程设计
- 目录配置
- 课程管理
- 作业考试
- 考核标准
- 统计
- 作业统计
- 考试统计
- 随堂测验统计
- 资源统计

- 现代汽车新技术 (当前课程)**
- 第一章 内燃发动机新技术 (18)
- 第二章 汽车底盘新技术 (16)
- 第三章 汽车安全新技术 (4)
- 第四章 汽车节能降排技术 (9)
- 第五章 智能汽车与交通 (4)

媒体类型: 全部 应用类型: 全部 审核状态: 全部

素材来源: 全部 自定义分类: 全部 按上传开始时间 按上传结束时间

按文件名搜索 按上传者搜索 查询

添加素材 本地上传 提交审核 提交智能审核 删除

<input type="checkbox"/>	序号	文件名	审核状态	上传者	上传时间	媒体类型	应用类型	是否融入课程思政元素	素材来源	操作
<input type="checkbox"/>	41	3.2汽车安全技术内容	已上架	胡汉桥	2022-05-26 22:38:58	PPT演示文稿	教学课件	否	原创	查看 编辑
<input type="checkbox"/>	42	3.1汽车安全技术评价...	已上架	胡汉桥	2022-05-26 22:38:25	PPT演示文稿	教学课件	否	原创	查看 编辑
<input type="checkbox"/>	43	2.4制动系统新技术	已上架	胡汉桥	2022-05-26 22:37:54	PPT演示文稿	教学课件	否	原创	查看 编辑
<input type="checkbox"/>	44	2.3行驶系统新技术	已上架	胡汉桥	2022-05-26 22:37:28	PPT演示文稿	教学课件	否	原创	查看 编辑
<input type="checkbox"/>	45	2.2转向系统新技术	已上架	胡汉桥	2022-05-26 22:36:52	PPT演示文稿	教学课件	否	原创	查看 编辑

共 51 条 10条/页 < 1 ... 3 4 5 6 > 前往 5 页

课题题库

内容管理

- 课程知识树
- 课程知识图谱
- 课程素材
- 课程题库**
- 课程设置
- 课程设计
- 目录配置
- 课程管理
- 作业考试
- 考核标准
- 统计
- 作业统计
- 考试统计
- 随堂测验统计
- 资源统计

- 现代汽车新技术 (当前课程)**
- 第一章 内燃发动机新技术 (16)
- 第二章 汽车底盘新技术 (19)
- 第三章 汽车安全新技术 (5)
- 第四章 汽车节能降排技术 (3)
- 第五章 智能汽车与交通 (2)

全部题型: 全部 审核状态: 全部 题目来源: 全部

请输入题干名称

<input type="checkbox"/>	序号	题干	题型	难度	知识点	审核状态	题目来源	创建者	创建时间	操作
<input type="checkbox"/>	1	ESP主要是靠对车轮主动产生()力, 产生偏转力矩。	单选题	一般	2.2转向系统...	已上架	手动添加	胡汉桥	2023-06-03 23:42:22	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	2	双离合自动变速器简称为()	单选题	简单	2.1汽车传动...	已上架	手动添加	胡汉桥	2023-06-03 23:42:22	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	3	废气再循环的作用是抑制()的产生。	单选题	一般	1.4排放新技术	已上架	手动添加	胡汉桥	2023-06-03 23:42:22	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	4	以下关于燃油蒸发控制系统功能的叙述哪个不正确? ()	单选题	一般	1.3燃油供给...	已上架	手动添加	胡汉桥	2023-06-03 23:42:22	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	5	高速行驶时, 转向助力将随车速成比例的()。	单选题	一般	2.2转向系统...	已上架	手动添加	胡汉桥	2023-06-03 23:42:22	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

课程管理

当前位置: 我的课程 > 现代汽车新技术 > 第一周期



内容管理

课程知识树

课程知识图谱

课程素材

课程题库

课程设置

课程设计

目录配置

目录配置

课程管理

作业考试

目录配置

课程管理

作业考试

目录配置

目录配置

目录配置

课程管理

作业考试

目录配置

目录配置

课程管理

目录配置

课程管理

目录配置

作业考试

考核标准

统计

作业统计

考试统计

随堂测验统计

资源统计

课程信息

课程公告

教学团队

课程讨论

课程评价

课程教材

课程封面

数字教材

数据总览

学生: **74**

课件: **49**

作业: **5**

考试: **1**

测验: **0**

公告: **1**

基础信息

课程名称

现代汽车新技术

所属专业

汽车制造与试验技术(高职专科),智能网联汽车技术(高职专科),新能源汽车检测与维修技术(高职专科),汽车检测与维修技术(高职专科),汽车

课程类型

学历课程

课程层次

专业基础课(底层)

书证融通课(证书名称)

汽车运用与维修

课程简介

《现代汽车新技术》是汽车专业选修课程,本课程是拓展学生知识面的课程。通过本学习,使生了解并掌握最新汽车技术掌握维修的方法和思路,培养学生素质并拓展设计掌握维修的方法和思路,同时培养学生团结协作、沟通交流管理等社会能力和自主制定方案解决新问题的能力,锻炼学生的职业素养。

学时

36

关键词

发动机新技术、地盘新技术、汽车安全、汽车

推荐词

作业考试

当前位置: 我的课程 > 现代汽车新技术 > 第一周期

内容管理

课程知识树

课程知识图谱

课程素材

课程题库

课程设置

课程设计

目录配置

课程管理

课程修订

课程修订

课程修订

目录配置

课程修订

目录配置

课程管理

作业考试

考核标准

统计

作业统计

考试统计

随堂测验统计

作业

考试

测验

出卷规则

* 作业必须加入到课程内容后学生才能学习

全部

输入作业名称

查询

1

已结束

第一章作业

题库作业

多选、错选少选不得分 | 100分制 | 手动出题

作业要求: 暂无要求

起止时间: 2023-06-05 00:00:00 - 2023-06-17 10:06:00

2

已结束

第二章作业

题库作业

多选、错选少选不得分 | 100分制 | 手动出题

作业要求: 暂无要求

起止时间: 2023-06-05 00:00:00 - 2023-06-22 10:11:00

3

已结束

第三章作业

题库作业

多选、错选少选不得分 | 100分制 | 手动出题

作业要求: 暂无要求

起止时间: 2023-06-05 00:00:00 - 2023-06-27 10:12:00

4

已结束

第四章作业

题库作业

多选、错选少选不得分 | 100分制 | 手动出题

作业要求: 暂无要求

起止时间: 2023-06-05 00:00:00 - 2023-07-05 10:13:00

5

已结束

第五章作业

题库作业

多选、错选少选不得分 | 100分制 | 手动出题

作业要求: 暂无要求

起止时间: 2023-06-05 00:00:00 - 2023-07-10 10:13:00

考核标准

内容管理

课程知识树

课程知识图谱

课程素材

课程题库

课程设置

课程设计

目录配置

课程管理

作业考试

考核标准

统计

作业统计

考试统计

考核标准

总成绩为: 100分

学生得分= 参与度分数*参与度权重+得分分数*得分权重

参与度权重+得分权重=100%

学生总得分: (完成的考核点个数/课程总考核点个数) *100*参与度权重+平均分*作业得分权重+平均分*随堂测验权重+平均分*考试得分权重

参与度权重 考察学生课程中设定考核点的完成情况	50 %
得分权重	50 % 自动计算, 不需要修改
作业权重	15 %
随堂测验权重	0 %
考试权重	35 %

得分:表示学生在作业、随堂测验与考试活动中的平均得分; (未参与的当次得分记为0分, 计入平均分计算中)

作业统计

内容管理

课程知识树

课程知识图谱

课程素材

课程题库

课程设置

课程设计

目录配置

课程管理

作业考试

考核标准

统计

作业统计

考试统计

作业统计

请输入作业标题

查询

序号	作业标题	应交人数	已提交人数	已批阅人数	0-20分	21-40分	41-60分	61-80分	81-100分	平均分
1	第五章作业	74	51	47	1	0	3	0	43	94.68
2	第一章作业	74	41	41	0	4	6	22	12	70.71
3	第四章作业	74	50	47	0	0	0	4	43	97.19
4	第二章作业	74	46	46	0	0	1	11	34	86.3
5	第三章作业	74	45	45	0	0	1	1	44	96

共 5 条

10条/页

<

1

>

前往

1

页

考试统计

当前位置: 我的课程 > 现代汽车新技术 > 第一周期

内容管理

- 课程知识树
- 课程知识图谱
- 课程素材
- 课程题库

课程设置

- 课程设计
- 目录配置
- 课程管理
- 作业考试
- 考核标准

统计

- 作业统计
- 考试统计
- 随堂测验统计

考试统计

请输入考试标题

查询

序号	考试标题	应交人数	已提交人数	已批阅人数	0-20分	21-40分	41-60分	61-80分	81-100分	平均分
1	现代汽车新技术 期末考卷	74	23	19	0	1	3	10	5	70.32

共 1 条

10条/页

<

1

>

前往

1

页

资源统计

当前位置: 我的课程 > 现代汽车新技术 > 第一周期

课程题库

课程设置

- 课程设计
- 目录配置
- 课程管理
- 作业考试
- 考核标准

统计

- 作业统计
- 考试统计
- 随堂测验统计
- 资源统计
- 学生成绩统计
- 讨论统计
- 课程统计
- 任务点统计

资源统计

请输入资源名称

查询

序号	资源名称	所属知识点	资源类型	完成情况
1	1.5内燃发动机其他新技术.pptx	1.5内燃发动机其他新技术	PPT演示文稿	56/74
2	ASR-ESP工作原理.mp4	2.4制动系统新技术	视频类	52/74
3	涡轮增压器内部结构及工作原理_超清.mp4	1.2 进气增压技术	视频类	56/74
4	1.5丰田阿特金森发动机.mp4	1.5内燃发动机其他新技术	视频类	54/74
5	5.4智能交通.pptx	5.4智能交通	PPT演示文稿	53/74
6	EA888_Gen_3_Film_1C阿特金森循环机械机构设计.mp4	1.5内燃发动机其他新技术	视频类	54/74
7	1.2进气增压技术.pptx	1.2 进气增压技术	PPT演示文稿	64/74
8	丰田 Mirai 燃料电池汽车工作原理(中文字幕)_超清.mp4	4.3新能源汽车	视频类	51/74

共 49 条

10条/页

<

1

2

3

4

5

>

前往

1

页

学生成绩统计

当前位置: 我的课程 > 现代汽车新技术 > 第一周期

返回

课程题库

学生成绩统计

考核标准: 参与度权重:50%; 得分权重: 50%

参与情况 得分情况

此处统计的资源数皆为考核点资源

请输入学生姓名或学号

查询

导出

序号	姓名	学号	所属单位	作业	随堂测验	讨论	视频资源	其他资源	考试	参与度
1	申浩言	2022010032	武汉软件工程职业学院	5/5	0/0	0/0	27/28	21/21	1/1	98%
2	林锦贤	2022010054	武汉软件工程职业学院	5/5	0/0	0/0	27/28	21/21	0/1	98%
3	谭震霖	2022010009	武汉软件工程职业学院	5/5	0/0	0/0	27/28	21/21	0/1	98%
4	孙星鹏	2022010065	武汉软件工程职业学院	0/5	0/0	0/0	26/28	21/21	0/1	87%
5	任天新	2022010059	武汉软件工程职业学院	0/5	0/0	0/0	0/28	0/21	0/1	0%
6	郑文豪	2022010024	武汉软件工程职业学院	5/5	0/0	0/0	27/28	21/21	1/1	98%

共 74 条

10条/页

<

1

2

3

4

...

8

>

前往

1

页

课程统计

当前位置: 我的课程 > 现代汽车新技术 > 第一周期

返回

课程题库

课程统计

导出

课程资源与学习信息		总数量(个)	28
授课视频	总时长(分钟)	72.39	
	非视频资源	数量(个)	21
课程公告	数量(次)	1	
测验和作业	总次数(次)	5	
	习题总数(道)	45	
	参与人数(人)	51	
互动交流情况	发帖总数(帖)	0	
	教师发帖数(帖)	0	
	教师回帖数(帖)	0	
	参与互动人数(人)	0	
考试	次数(次)	1	
	试题总数(题)	43	
	参与人数	??	

任务点统计

当前位置: 我的课程 > 现代汽车新技术 > 第一周期

课程题库

课程设置

课程设计

目录配置

课程管理

作业考试

考核标准

统计

作业统计

考试统计

随堂测验统计

资源统计

学生成绩统计

讨论统计

课程统计

任务点统计

说明:

1. 添加在课程设计里的知识点讲解、资源(素材)、测验、讨论、虚拟仿真可以由建课教师设置为任务点。
2. 系统在计算学生总的学习进度时, 只统计已学习完成且被设置了任务点的内容。
3. 以下统计为: 已完成任务点数/总任务点数。

请输入学生姓名或学号

查询

序号	姓名	学号	知识点讲解	资源(素材)	测验	讨论
1	申浩言	2022010032	0 / 0	48 / 49	0 / 0	0 / 0
2	林锦贤	2022010054	0 / 0	48 / 49	0 / 0	0 / 0
3	谭震霖	2022010009	0 / 0	48 / 49	0 / 0	0 / 0
4	孙星鹏	2022010065	0 / 0	47 / 49	0 / 0	0 / 0
5	任天新	2022010059	0 / 0	0 / 49	0 / 0	0 / 0
6	郑文豪	2022010024	0 / 0	48 / 49	0 / 0	0 / 0
7	尹圳	2022010070	0 / 0	7 / 49	0 / 0	0 / 0
8	彭登豪	2022010051	0 / 0	9 / 49	0 / 0	0 / 0
9	朱紫豪	2022010011	0 / 0	47 / 49	0 / 0	0 / 0

共 74 条

10条/页

< 1 2 3 4 ... 8 >

前往 1 页