



普通高等教育“十二五”规划教材·卓越汽车工程师系列

汽车电控

舒华 姚国平 主编 薛乃恩 郑召才 主审

系统结构与维修 (第3版)



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材·卓越汽车工程师系列

汽车电控系统结构与维修

(第3版)

舒 华	姚国平	主 编
舒 展	赵劲松	副主编
薛乃恩	郑召才	主 审

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书汇集了作者二十多年来研究汽车电子控制系统的最新成果。全书共分九章,内容包括汽车电控系统的应用与发展,以及汽油机电控燃油系统(EFI)、柴油机电控燃油系统(EDC)、汽油机点火系统(MCI)、汽车排放控制系统(AFC、FEC、EGR)、自动变速电控系统(ECT、CVT)、汽车行驶安全电控系统(ABS、EBD、EBA、ASR、VSC、SRS)、汽车巡航电控系统(CCS)、车载网络系统(LAN)和故障自诊断技术(OBD-Ⅱ)等。主要介绍了各种电子控制系统的功能、分类方法、结构组成、工作原理与控制过程等。本书可作为高等院校车辆工程、汽车服务工程和汽车类专业规划教材,也可作为汽车设计、汽车制造、汽车运输、汽车维修管理等工程技术人员、汽车服务业就业群体学习提高和职工培训教材或参考读物使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

汽车电控系统结构与维修 / 舒华, 姚国平主编. —3 版. —北京: 北京理工大学出版社, 2012. 5

ISBN 978 - 7 - 5640 - 2007 - 1

I. ①汽… II. ①舒… ②姚… III. ①汽车-电子系统-控制系统-构造-高等学校-教材②汽车-电子系统-控制系统-维修-高等学校-教材 IV. ①U463.603②U472.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 083717 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京市通州富达印刷厂

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 25

字 数 / 578 千字

版 次 / 2012 年 5 月第 3 版 2012 年 5 月第 1 次印刷

印 数 / 1~3000 册

定 价 / 49.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

第3版前言

DI SAN BAN QIAN YAN

新世纪，我国汽车工业科技的发展战略是：研究开发汽车电子控制技术、汽车轻量化技术和新能源汽车技术。本书依据教育部《卓越工程师教育培养计划》与《普通高等学校本科专业目录》以及人力资源和社会保障部《汽车维修专项技能认证标准》的教学基本要求编写。

学习汽车电子控制技术能够启迪广袤思维，发掘无穷智慧。修订后的《汽车电控系统结构与维修（第3版）》具有下述特点：

一是内容先进、重点突出。根据汽车类专业教育教学改革要求，紧贴学科发展前沿，突出新理论、新技术、新工艺和新方法；新增了柴油机电子控制喷油系统（EDC）、汽车废气再循环系统（EGR）、电子控制无级变速系统（CVT）及车载网络系统（LAN）等内容，符合本学科发展规律。

二是体系完整、编排合理。体系结构按技能型、应用型人才培养模式进行设计构思，基本涵盖了汽车电子控制系统迄今最新成果，各章附有问答题和选择题以及选择题参考答案，便于教学实施和阅读理解。

三是观点正确、方法科学。作者从多年从事汽车电子控制系统的教学与科研实践经验出发，论证推理科学严密、由浅入深、循序渐进，符合认知规律，有利于自学和培养创新能力。

四是资料可靠，数据翔实。以国产汽车电子控制系统为素材，原始资料来源于一汽大众、上海大众和天津丰田等公司；理论与实践结合，检修方法和数据大多数都经过实际测量、实践操作或试验验证。

本书可作为车辆工程、汽车服务工程和汽车类专业规划教材，也可作为汽车设计、汽车制造、汽车运输、汽车维修管理等工程技术人员、汽车行业就业群体学习提高和职工培训教材或参考读物使用。

本书由舒华教授和姚国平高级工程师主编，薛乃恩和郑召才高级工程师主审，由舒展和赵劲松任副主编。编写得到了姚建军、许江枫、马洪文、李文杰、杨华、令狐昌应、白雪峰、范卫新、朱峰、门君、高艳章、李忠光、王贤章、朱愿、朱峰、薛元飞、代会东、黄

玮、童敏勇、何松柏、王建龙、王征、周建平、陈建勤、杨丹、高永刚、张海涛等专家、教授的热诚支持，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，书中不妥或错误之处在所难免，敬请广大读者批评、指正，以便再版修正。

编 者

第2版前言

DI ER BAN QIAN YAN

半个世纪以来，汽车技术的发展主要是汽车电器与电子技术的发展，汽车电子化是汽车发展的必由之路。

本书以现代汽车电子技术为核心，详细介绍了汽车电子控制技术的应用与发展、汽车发动机燃油喷射系统、微机控制点火系统、电子控制自动变速系统、电子控制防抱死制动系统、电子控制制动力分配系统、驱动轮防滑转控制系统、安全气囊系统、巡航控制系统、电子控制悬架系统的结构组成、分类方法、控制过程以及故障诊断与排除方法。不仅参考了国内出版的同类教材和图书，而且参考了国外近年出版的汽车电子技术书籍，并对许多技术数据和维修方法进行了实际测量和试验验证，内容新颖、图文并茂，采用插图 350 余幅、表格 50 余张。

本书由军事交通学院舒华教授、军事交通运输研究所高级工程师姚国平主编，天津市优耐特汽车电控技术公司总经理王征高工和空军装备部北京汽修厂高级工程师杨丹主审，舒展和许玉新副主编。参加编写的还有许江枫、李晓峰、薛乃恩、陈建勤、李文杰、马洪文、赵劲松、范卫新、白雪峰、朱峰、门君、王连玉、刘磊、张绪鹏、高斐、刘凯、陈适、裴庆银、巴威、张芳凌、黄昭祥、唐亮文、周增华等，全书由舒华教授统稿，舒展校核。

编写过程中得到了空军装备部北京汽车修理厂、沈阳军区汽车检测维修中心、上海大众汽车有限公司、一汽大众汽车有限公司、天津市优耐特汽车电控技术有限公司、湖南长丰汽车制造股份有限公司、总后军事交通学院图书馆以及总后军事交通运输研究所等单位的大力支持，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

目录

MU LU

► 第一章 汽车电控技术概述	(1)
第一节 汽车电控技术的应用	(1)
第二节 汽车电控技术的发展	(2)
第三节 汽车电控系统的组成	(16)
第四节 汽车电控系统的分类	(22)
问答题	(25)
选择题	(26)
► 第二章 汽油机电控喷油系统	(27)
第一节 汽油机电控喷油系统组成	(27)
第二节 汽油机电控喷油系统分类	(30)
第三节 电控喷油系统传感器结构原理	(37)
第四节 汽车电控单元结构原理	(69)
第五节 电控喷油系统执行器结构原理	(75)
第六节 汽油机电控喷油系统控制过程	(81)
第七节 发动机怠速控制系统	(98)
第八节 发动机断油控制系统	(107)
问答题	(109)
选择题	(111)
► 第三章 柴油机电控喷油系统	(113)
第一节 柴油机电控系统组成与分类	(113)
第二节 柴油机电控喷油技术基础	(116)
第三节 位置控制式柴油喷射系统	(120)
第四节 时间控制式柴油喷射系统	(128)
第五节 高压共轨式柴油喷射系统	(136)

问答题	(158)
选择题	(160)
► 第四章 汽车点火与排放控制系统	(161)
第一节 汽车排放物的危害与控制对策	(161)
第二节 微机控制点火系统	(164)
第三节 汽油机爆震控制系统	(174)
第四节 空燃比反馈控制系统	(180)
第五节 燃油蒸汽排放控制系统	(187)
第六节 废气再循环控制系统	(189)
问答题	(193)
选择题	(194)
► 第五章 汽车电控自动变速系统	(196)
第一节 电控自动变速系统组成	(196)
第二节 电控自动变速系统控制原理	(199)
第三节 齿轮变速系统的结构原理	(203)
第四节 液压控制系统的结构原理	(214)
第五节 自动变速电控系统的结构原理	(226)
第六节 电控自动变速器系统实例	(231)
第七节 电控无级变速系统	(239)
问答题	(244)
选择题	(246)
► 第六章 汽车行驶安全电控系统	(247)
第一节 防抱死制动系统	(247)
第二节 制动力分配系统	(271)
第三节 制动辅助系统	(272)
第四节 驱动轮防滑转调节系统	(274)
第五节 车身稳定性控制系统	(282)
第六节 安全气囊系统	(286)
第七节 安全带收紧系统	(299)
问答题	(302)
选择题	(304)

► 第七章 汽车巡航电控系统	(306)
第一节 汽车巡航电控系统概述	(306)
第二节 汽车巡航控制系统结构原理	(309)
第三节 汽车巡航控制系统控制过程	(315)
问答题	(319)
选择题	(320)
► 第八章 汽车车载网络系统	(321)
第一节 车载局域网的应用与发展	(321)
第二节 车载局域网的构成与分类	(326)
第三节 控制器局域网	(335)
第四节 控制器局域网应用实例	(340)
第五节 车载局域网故障诊断与排除	(345)
问答题	(350)
选择题	(351)
► 第九章 汽车电控系统故障自诊断技术	(353)
第一节 故障自诊断系统的组成与功能	(353)
第二节 汽车电控系统故障自诊断原理	(357)
第三节 汽车电控系统故障自诊断测试	(360)
第四节 汽车电控系统故障诊断与排除	(376)
问答题	(386)
选择题	(386)
► 附录 各章选择题参考答案	(388)
► 参考文献	(389)

1

第一章



汽车电控技术概述

汽车电子控制技术是汽车电子控制技术的简称，是指以电器技术、微电子技术、液压传动技术、新材料和新工艺技术为基础，以解决汽车能源紧缺、环境保护和交通安全等社会问题为目的，旨在提高汽车整车性能（包括动力性、经济性、排放性、安全性、舒适性、操纵性、通过性等）的新技术。

2009 年 10 月 20 日，我国首次年产第 1 000 万辆汽车下线。2011 年 1 月 10 日，中国汽车工业协会发布 2010 年汽车产销数据：“国内汽车产销双双超过 1 800 万辆，创全球历史新高，再次蝉联全球第一。”这些数据标志着我国已经成为世界最大的汽车生产国和最大的汽车消费市场，同时也彰显了汽车产业对国民经济的支柱作用。因此，研究汽车电子控制技术是每一位与汽车技术有关人员必然面临的课题。

第一节 汽车电控技术的应用

汽车已为人类社会发展和国民经济建设作出不可磨灭的贡献。18 世纪 60 年代至 19 世纪 80 年代，聪明的人类利用各种动力先后发明了各种汽车。

1769 年，法国人尼古拉·约瑟夫·库格诺（Nicholas Joseph Cugnot）利用蒸汽作动力发明了蒸汽动力汽车。

1881 年，法国电气工程师古斯塔夫·特鲁夫（Gustave Trouve）利用电力作动力发明了电动汽车。

1886 年 1 月 29 日（发明专利申请日，1885 年完成汽车样车），在法国工作的德国工程师卡尔·奔驰 Karl Benz 利用内燃机作动力发明了至今仍广泛使用的汽油发动机汽车。

1893 年 2 月 23 日（发明专利申请日，德国专利号 №672071885），德国人鲁道夫·狄塞尔（Rudolf Diesel）博士发明了狄塞尔发动机（柴油发动机或柴油机），1924 年第一台狄塞尔发动机卡车面世。

汽车技术、建筑技术与环境保护技术是衡量一个国家工业化水平高低的三大标志。汽车技术不仅代表着社会物质生活发展水平，而且代表着科学技术发展水平。20 世纪 80 年代以来，提高汽车性能，节约能源和保护环境，主要取决于电子控制技术。汽车电子控制技术已广泛应用于汽油机控制、柴油机控制、汽车底盘控制、汽车车身控制和汽车故障诊断等技术领域。20 世纪 90 年代，电子控制技术在轿车上的应用概况如图 1-1 所示。

当今世界衡量汽车先进水平和档次高低的重要标志主要是汽车品牌、汽车外观和汽车电

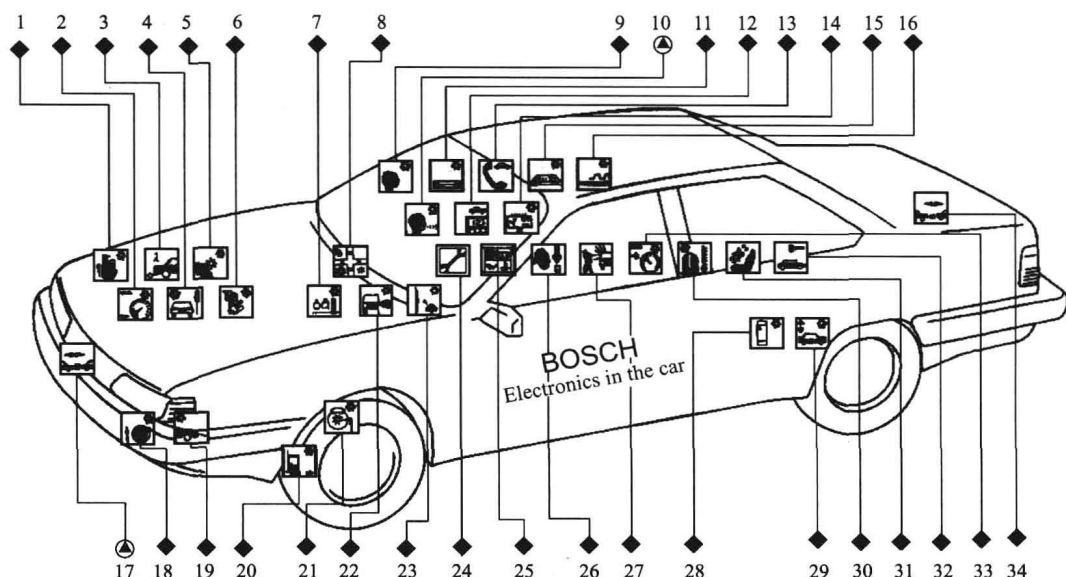


图 1-1 电子控制技术在汽车上的应用概况

- 1—燃油喷射系统；2—怠速控制系统；3—空燃比反馈控制系统；4—发动机故障诊断；5—自动变速；6—微机控制点火；
 7—加速踏板控制；8—控制器区域网络；9—声音复制；10—声控操作（将来采用）；11—音响系统；
 12—车载计算机；13—车载电话；14—交通控制与通讯；15—信息显示；16—线束复用；17—雷达车距控制与报警
 （将来采用）；18—前照灯控制与清洗；19—气体放电车灯；20—轮胎气压控制；21—防抱死与防滑转调节；
 22—底盘故障诊断；23—刮水器与清洗器控制；24—维修周期显示；25—液面与磨损监控；
 26—安全气囊与安全带控制；27—车辆保安；28—前/后轮转向控制；29—电子悬架；
 30—自动空调；31—座椅调节；32—中央门锁；33—巡航控制；34—车距报警

子化程度的高低。汽车制造商普遍认为：增加汽车电子装置的数量，促进汽车电子化是夺取未来汽车市场的有效手段。汽车设计人员普遍认为：电子技术在汽车上的应用，已经成为汽车设计研究部门考虑汽车结构革新的重要手段。汽油机应用电子控制喷油技术，能够精确控制空燃比和实现闭环控制，如果再加装三元催化转化器，就可使汽油发动机的有害排放物降低95%以上；柴油机应用高压共轨式电子控制喷油技术，能够精确控制喷油量和高达160~200 MPa的喷油压力，不仅能够降低油耗和减少排放，而且还能提高动力性；汽车应用防抱死制动技术，可使在湿滑或冰雪路面上的事故发生率降低24%~28%。

21世纪以来，发动机电子控制喷油技术、汽油机电子控制点火技术、防抱死制动技术和安全气囊技术等国内外轿车都已普遍采用。在国产中高档轿车上，每辆轿车电子装置的平均成本已占整车成本的30%~35%，在一些豪华轿车上，电子产品的成本已占整车成本的50%以上，并始终保持逐年增加的趋势。

第二节 汽车电控技术的发展

近半个世纪以来，汽车技术的发展主要是汽车电气技术、电子控制技术和车身技术的发展，汽车电子化（即自动化、智能化和网络化）是21世纪汽车发展的必由之路。

20世纪60年代以来，随着汽车结构与性能的不断改进和提高，汽车装备的传统电器设

备面临着巨大的冲击与挑战。随着电子工业的发展,电子控制技术在汽车上的应用越来越广泛,新型车用电子装置犹如雨后春笋般地涌现,特别是大规模集成电路和微电子技术的应用,给汽车控制装置带来了划时代的变革。在解决汽车油耗、排放和安全等问题方面,汽车电子控制技术具有举足轻重的作用。例如:采用电子控制燃油喷射技术和微机控制点火技术,不仅能够省油 5%~10%,而且还能大大提高汽车的动力性和排气净化性能;采用电子控制防抱死制动技术,不仅可使汽车在泥泞路面上安全行驶,而且可以在紧急制动时防止车轮抱死滑移,保证汽车安全制动;采用安全气囊技术,每年可以挽救成千上万人的生命。在实现汽车操纵自动化,提高舒适性和通过性等方面,电子控制技术也扮演着重要角色。

一、汽车电子控制技术发展动因

汽车电子控制技术是汽车技术与电子技术结合的产物。近半个世纪以来,汽车电子控制技术飞速发展的根本动力和原因包括两个方面:一方面是全球能源紧缺、环境保护和交通安全问题,促使汽车油耗法规、排放法规和安全法规的要求不断提高;另一方面是电子技术水平不断提高。汽车油耗法规和排放法规促进了汽车发动机电子控制技术和新能源汽车技术的发展,汽车安全法规促进了汽车底盘和车身电子控制技术的发展。随着汽车油耗法规、排放法规、安全法规要求的不断提高,汽车发动机燃油喷射电子控制系统、防抱死制动系统和安全气囊系统已经成为国内外轿车的标准装备。

二、汽车电子控制技术的发展历程

汽车电子控制技术的发展经历了机械控制或液压—机械控制、电子电路(即分立电子元件电路与集成电路)控制、微型计算机(即模拟计算机和数字计算机)控制和车载局域网控制等过程。汽车电子控制技术的发展过程,大致经历了以下三个阶段。

第一阶段(1953—1975年):模拟电子电路控制阶段,即采用分立电子元件或集成电路组成电子控制器进行控制。汽车电子设备主要采用分立电子元件组成电子控制器,从而揭开了汽车电子时代的序幕。主要产品有二极管整流式交流发电机、电子式电压调节器、电子式点火控制器、电子式闪光器、电子式间歇刮水控制器、晶体管收音机、数字时钟等。

第二阶段(1976—1999年):微型计算机控制阶段,即采用模拟计算机或数字计算机进行控制,控制技术向智能化方向发展。汽车电子设备普遍采用 8 位、16 位或 32 位字长的微处理器进行控制,主要开发研制专用的独立控制系统和综合控制系统。主要产品有微机控制发动机点火系统、电子控制发动机燃油喷射系统、发动机燃油喷射与点火综合控制系统、发动机空燃比反馈控制系统、巡航控制系统、电子控制自动变速系统、防抱死制动系统、牵引力控制系统、四轮转向控制系统、车身高度自动调节系统、轮胎气压控制系统、安全气囊系统、座椅安全带收紧系统、自动防追尾碰撞系统、前照灯光束自动控制系统、超速报警系统、车辆防盗系统、电子控制门锁系统、自动除霜系统、通信与导航协调系统、安全驾驶监测与警告系统和故障自诊断系统等。

第三阶段(2000年至今):车载局域网控制阶段,即采用车载局域网(Local Area Network, LAN)对汽车电气与电子控制系统进行控制。目前国内外中高档轿车都已普遍采用 LAN 技术。采用 LAN 技术的国外轿车有奔驰、宝马、大众、保时捷、美洲豹、劳斯莱斯等系列汽车。例如,2004 年,在 BMW AG(宝马公司)新推出的 BMW 7 系列轿车上,就装

备了 70 多个微处理器（电子控制单元），利用了 8 种车载局域网分别按这些电子控制单元的作用连接起来。其中，连接多媒体装置的网络就选用了多媒体定向系统传输网（Media Oriented System Transport, MOST）。MOST 协议是 21 世纪车载多媒体设备不可缺少的高速网络协议。国内采用 LAN 技术的有一汽奥迪 A6L 和 A8L、宝来 BORA、上海帕萨特 B5、波罗、广州本田、东风雪铁龙等轿车。电子控制器网络化的多路集中控制系统不仅是汽车电气线束分布方式和电子控制系统控制技术的发展方向，而且也是火车、船舶、机器人、机械制造、医疗器械以及电力自动化等领域控制技术的发展方向。

（一）汽油机电子控制技术的发展

汽车发动机电子控制技术是借鉴飞机发动机汽油喷射技术而诞生，并伴随电子控制技术的发展和汽车油耗法规、排放法规要求的逐步提高而发展到当今水平的。世界主要汽车公司发动机电子控制系统的控制功能及其主要特征如表 1-1 所示。

表 1-1 世界主要汽车公司发动机电子控制系统（EEC）应用情况

年份	系统名称	主要控制功能	汽车公司	主要特征
1967	D-Jetronic	燃油喷射	博世 Bosch	压力传感器检测空气流量
1973	L-Jetronic	燃油喷射	博世 Bosch	翼片式传感器检测空气流量
1976	ELBS	点火时刻	克莱斯勒 Chrysler	微机控制点火
1977	MISAR	点火时刻	通用 General	微机控制点火
1977	EEC	点火时刻、废气再循环	福特 Ford	微机控制系统
1978	EEC-II	燃油喷射、点火时刻	福特 Ford	微机控制系统
1979	ECCS	燃油喷射、点火时刻	日产 NISSAN	微机控制系统、系统自诊断
1979	EEC-III	燃油喷射、点火时刻	福特 Ford	微机控制系统、系统自诊断
1979	DEFI	燃油喷射、点火时刻	通用 General	微机控制系统、系统自诊断
1979	Motronic	燃油喷射、点火时刻	博世 Bosch	热膜式传感器检测空气流量
1980	TCCS	燃油喷射、点火时刻	丰田 TOYOTA	涡流式传感器检测空气流量
1981	I-TEC	燃油喷射、点火时刻	五十铃 ISUZU	微机控制系统、系统自诊断
1981	LH-Jetronic	燃油喷射	博世 Bosch	热丝式传感器检测空气流量
1982	EEC-IV	燃油喷射、点火时刻	福特 Ford	微机控制系统、系统自诊断
1982	KE-Jetronic	燃油喷射	博世 Bosch	机电结合控制燃油喷射
1982	EMS	燃油喷射、点火时刻	卢卡斯 Lucas	微机控制系统、系统自诊断

汽车发动机电子控制系统（Engine Electronic Control System, EEC 或 EECS）的发展已经历近 50 年历程。在 20 世纪 90 年代，汽车电子控制技术步入成熟发展期；到 20 世纪末期，无论汽油机汽车还是柴油机汽车，无论进口汽车还是国产汽车，都已普遍采用电子控制技术。美国、俄罗斯、德国、法国和瑞典等工业发达国家军队装备的柴油机汽车，也都采用了电子控制技术。

（二）柴油机电子控制技术的发展

柴油机电子控制燃油喷射技术从诞生至今已有近 40 年的历史,先后开发了位置控制式柴油喷射系统、时间控制式柴油喷射系统和高压共轨式柴油喷射系统三代产品。人类锲而不舍地研究开发柴油机电子控制技术,并已取得骄人的成绩,其根本目的在于节约燃油、减少排放、降低噪声和提高柴油机整机性能。

早在 20 世纪 70 年代,德国、美国和日本等工业发达国家就已竞相开发研制柴油机电子控制系统并应用于柴油车发动机的实时控制。最初投入使用的柴油机电子控制系统采用了传感器、模拟电子电路和执行器组成的电子控制系统来代替控制喷油量的调速器,能够比较精确地控制柴油机的转速。

进入 20 世纪 80 年代后,德国、美国和日本等工业发达国家利用微型计算机代替模拟控制电路,利用电磁阀作为执行器控制喷油,大大提高了控制电路的设计自由度和系统的控制精度,柴油机电子控制系统圆满解决了当时提出的节约燃油、排气净化和降低噪声等问题。典型产品有日本杰克赛尔 Zexel 公司喷油定时可变速燃油喷射系统(Timing and Injection Rate Control System, TICS)和微型计算机控制喷油量和喷油定时的电子控制分配泵系统(Computed Ve pump Control System-Full, COVEC-F)、日本电装公司 ECD-V3 电子控制分配泵系统,以及德国 Bosch 公司 EDC 型和 VP 系列电子控制分配泵系统等。

20 世纪 90 年代,德国、美国和日本等工业发达国家研制成功了一种全新的柴油机电子控制燃油喷射系统——高压共轨式电子控制柴油喷射系统(Common Rail System, CRS),从此开辟了柴油机电子控制燃油喷射技术的新纪元。

人们对共轨式燃油喷射系统的基本原理并不陌生。早在 20 世纪 30 年代,汽油发动机就已采用共轨式燃油喷射技术并应用到军用战斗机上,20 世纪 50 年代应用到了赛车的汽油发动机上。到 20 世纪末,各型汽油机都圆满完成了从机械式供油系统(即化油器供油系统)向电子控制燃油喷射系统的转换。在柴油机电子控制共轨燃油喷射技术的研究方面,20 世纪 60 年代后期,瑞士的哈勃(Hiber)教授开发成功了柴油机电子控制共轨系统基本原型,随后瑞士工业大学以加尼斯(Ganser)教授为中心的研究团队对柴油机电子控制共轨燃油系统也进行了一系列的研究。到 20 世纪 90 年代中期,柴油机电子控制共轨燃油喷射技术达到实用化阶段。

20 世纪 80 年代中期,日本电装(DENSO)公司完成了汽油发动机电子控制燃油喷射技术的研究与应用,时任电装公司燃油装置事业部主管的藤泽英也先生开始将汽油机电子控制燃油喷射技术应用到柴油机上。

1990 年,在日本千叶县幕张国际展览中心举办的国际汽车展览会上,电装公司展出了配装 ECD-U2 型高压共轨式电子控制柴油喷射系统的柴油机。直到 1995 年年末,电装公司与丰田 TOYOTA 汽车公司联合开发成功的 ECD-U2 型高压共轨式电子控制柴油喷射系统才应用于载货汽车柴油机并开始实现批量生产,从此开创了柴油机高压共轨式电子控制柴油喷射系统的新时代,随后电装公司又开发研制了 ECD-U2P 型高压共轨式电子控制柴油喷射系统。ECD-U2 型高压共轨式电子控制柴油喷射系统是为增压、中冷、中型及重型柴油机设计的电子控制燃油喷射系统,也是全世界最早定型的高压共轨式电子控制柴油喷射系统;ECD-U2P 型高压共轨式电子控制柴油喷射系统是为轿车柴油机设计的电子控制燃油喷射系统。

2000 年开始, 日本丰田、日野、五十铃、三菱和日产等公司都采用了这些高压共轨式电子控制柴油喷射系统。

德国 Bosch 公司也是世界著名的汽车电气与电子控制技术开发商, 在电子控制共轨喷射技术的研究方面亦有杰出贡献。

1994 年年初, Bosch 公司开始与戴姆勒—奔驰公司合作研制高压共轨式电子控制柴油喷射系统。同年, Bosch 公司将高压共轨式电子控制柴油喷射系统应用于直喷式柴油机进行了 200 万千米室外道路试验验证, 证实了电子控制共轨系统在降低排放、减小噪声和简化发动机结构设计等方面的优越性。此后, Bosch 公司与戴姆勒—奔驰公司、菲亚特 FIAT 公司以及菲亚特的子公司依莱赛斯 Elasis 等四家公司联合成立开发组, 共同开发共轨式电子控制柴油喷射系统。当时 Elasis 公司已经研制成功性能优越的供油泵和不带预喷射的电磁喷油器 (准确地说应该是电磁控制油压驱动喷油式喷油器)。

1997 年年末, Bosch 公司研制的轿车柴油机用电子控制高压共轨系统 (CRS) 开始批量投放市场。

2000 年开始, Bosch 公司投入了 800 ~ 900 名工程技术人员专门从事电子控制共轨喷射技术研究; 2002—2003 年, Bosch 研制成功了利用压电晶体控制液压伺服机构的第二代电子控制喷油器 (即压电晶体式喷油器), 用以替代电子控制共轨喷射系统的高速电磁阀控制式喷油器 (即第一代电子控制喷油器), 喷油压力提高到 160 MPa, 每个喷射循环都可实现预喷射、主喷射和多段喷射, 预喷射油量可控制在每行程 1 mm^3 以内。2009 年, Bosch 将喷油压力提高到了 200 MPa。

高压共轨式电子控制柴油喷射技术的基本原理与汽油喷射技术相似, 电动燃油泵 (即输油泵) 将燃油箱内的柴油输送到高压油泵, 高压油泵在发动机驱动下将柴油加压到 160 ~ 200 MPa 后供入公共油轨 (Common Rail, CR, 俗称“共轨”, 相当于电子控制汽油喷射系统的燃油分配管或燃油总管) 内, 在电子控制单元 (ECU) 的控制下, 高压燃油经电子控制喷油器喷射到相应的气缸内燃烧做工。高压共轨式电子控制喷油系统与传统的喷油泵供油系统以及电子控制喷油泵系统的显著区别在于: 燃油高压的产生和喷油的控制是由 ECU 分别独立进行, 燃油压力的产生与柴油机转速与负荷无关, 是由 ECU 控制压力控制阀来调节高压油泵的供油量进行控制。高压共轨式电子控制喷油系统的显著特点是: 能够自由改变喷油压力、喷油量、喷油定时 (即何时开始喷油) 和喷油特性 (即实现引导喷射、预喷射、主喷射、后喷射和次后喷射等多段喷射, 目前已可实现 3 次、5 次或更多次喷射)。通过预喷射, 可降低柴油机噪声; 通过后喷射, 可降低发动机氮氧化物 NO_x 和颗粒物 (Particulate Matter, PM) 的排放量。因此, 柴油机采用高压共轨式电子控制柴油喷射技术, 能使柴油良好雾化、提高燃烧效率, 从而达到降低油耗、减少排放、降低噪声和减小振动之目的。

三、汽车工业科技发展战略

汽车已为人类交通运输作出了不可磨灭的贡献, 未来汽车已不仅仅是一个代步工具, 而且具有交通、办公、通讯和娱乐等多种功能。毋庸置疑, 汽车在造福人类的同时, 也带来了能源紧张、环境污染和交通安全等一系列社会问题。人类历史跨入 21 世纪以来, 国际原油价格一路上扬, 2005 年 6 月, 国际市场原油价格每桶突破 60 美元大关, 创下了近 20 年来的油价新高; 2011 年 5 月 3 日, 伦敦布伦特原油价格上升到了每桶 125 美元, 此后一路走低。

到2012年春节(1月23日),原油价格一直徘徊在每桶110美元。由此可见,能源消耗问题是汽车发展面临的突出问题,如不严加防范,就会给人类特别是子孙后代造成灾难。正因如此,世界各地“救救地球,救救人类”,“既要使现代人生活得好,又要使后代生活幸福”的呼声日益高涨。

就人类目前拥有的科学技术而言,解决这些问题的有效途径依然是继续开发利用智能化网络化技术、开发汽车轻量化技术和研究新能源汽车技术,这也是21世纪我国汽车工业科技的发展战略。

(一) 智能化、网络化技术

汽车智能化、网络化技术主要研究开发智能传感器技术、微处理器技术、智能交通技术、光导纤维技术、模块化设计技术、主动安全技术和网络通讯技术等。汽车电子控制技术发展的终极目标是使汽车发展成为能够自动筛选最佳行驶路线的智能汽车。

1. 智能传感器技术

智能传感器不仅能够提供汽车的状态信息,而且还能对信号进行放大和处理,对温度漂移、时间漂移和非线性数据进行自动校正,具有较强的抗电磁干扰能力,在恶劣条件下仍能保持较高的测量精度。全球汽车传感器市场的年均增长率达20%。

2. 微处理器技术

微处理器已广泛用于汽车发动机、底盘、车身和故障诊断控制系统,车载各类控制系统目前使用的微处理器累计已达30~60个。汽车智能化发展的一个重要趋势就是大量使用微处理器,用以改善汽车的整体性能。

3. 智能交通技术

智能交通系统(Intelligent Traffic System, ITS)是将机器视觉、环境感知、卫星定位、信息融合、决策与控制等相关技术相互融合,使汽车自动筛选最佳行驶路线的系统。

4. 光导纤维技术

光导纤维不仅具有柔软性好、易于连接、质量轻、成本低、弯曲半径小、数值孔径大、耦合效率高等优点,而且还具有电气绝缘性能好、抗电磁干扰和抗辐射能力强等优异的传输特性。随着光导纤维的成本不断降低和在汽车上的应用量逐年增大,必将大大降低汽车电子控制系统乃至汽车整车的制造成本和减轻整车整备质量,同时还可为汽车轻量化开辟一条新的技术途径。

5. 模块化设计技术

所谓模块化设计,是指为开发具有多种功能的不同产品,不需要对每种产品实施单独设计,而是精心设计出多种模块,将其经过不同方式的组合来构成不同的产品,以解决产品品种、规格、制造周期和成本之间的矛盾。汽车整车电子控制系统的零部件用量越来越大,采用模块化设计技术,能够减小体积、减轻质量、缩短装配工时,提高汽车电子控制系统乃至汽车整车的可靠性。

6. 电压倍增技术

理论与实验证明:在电器负载功率不变的情况下,电源电压提高2倍,负载电流可以减小2/3。因此,提高汽车电源电压,就可大大减小汽车电气或电子控制部件的电流,汽车导线、电缆、电动机、驱动线圈等就可减小尺寸、减轻质量。同理,在负载电流大小不变的情况下,提高汽车电源电压,可以增大汽车电气或电子控制部件的功率,电子控制螺线管驱动

可变气门定时、电子控制电动转向、电子控制气动阀机构、飞轮内装起动机/发电机一体式结构、电子控制电动制动器等就能得以实现,电子控制系统就能驱动大功率执行器来实现自动控制功能。个别欧盟国家已于2008年开始实车应用48 V电源电压技术。

7. 网络通讯技术

汽车电子化发展的一个重要趋势是利用网络通讯技术来传输海量的实时数据。网络通讯技术将集成通讯系统与信息系统等车载系统,提供实时的交通信息、气象数据、满足个性化要求的信息以及详细的道路指南等信息。网络通讯技术被视为汽车工业继高压压缩比发动机电子控制技术之后的又一次革命。作为引领汽车产业向另一发展阶段进发的新技术领域,网络通讯技术必将进一步整合移动通讯技术与无线网络技术,使汽车与人类活动紧密相连。

8. 主动安全技术

汽车最新主动安全系统包括车身动态综合管理系统、速度与车距自动调节系统、车辆碰撞预警系统、红外夜视系统、轮胎压力预警系统和驾驶环境控制系统等。

(1) 车身动态综合管理系统 (Vehicle Dynamics Integrated Management System, VDIM)。该系统将防抱死制动系统 (ABS)、电子控制制动力分配系统 (EBD)、电子控制辅助制动系统 (EBA)、驱动轮防滑转调节系统 (ASR) 和车身稳定性控制系统 (VSC) 等控制制动力和驱动力的主动安全系统,以及电子控制动力转向系统 (EPS) 和电子调节悬架系统 (EMS) 等进行综合集成,对车身姿态进行综合控制,使汽车在各种行驶条件下,特别是在转向、制动或打滑时,都能保持方向稳定、行驶安全和乘坐舒适。事实上,VDIM 是一个采用智能识别与判断技术来控制车辆行驶稳定性的主动安全体系。

(2) 汽车速度与车距自动调节系统。该系统是利用安装在车内的雷达探测装置准确探测汽车行进过程中的障碍物信息,由发动机控制系统、自动变速系统和防抱死制动系统等自动采取相应控制策略的集成控制系统。当雷达装置探测到障碍物信息时,系统将采取减速措施,一旦障碍物消失,就会取消制动并控制油门开度增大而加速。

(3) 车辆碰撞预警系统。该系统是一个由前部探测、后部探测和侧部探测装置组成的监控系统,其功能是提醒驾驶员避免车辆发生碰撞。

(4) 红外夜视系统。该系统是一个利用红外探测技术,能在夜间探测到距车 650 ~ 750 m 发热物体 (人、动物和有余热的故障车辆等) 的监测与报警系统。汽车前照灯一般能够照射到距车前方 150 m 的物体,最远只能照射到距车前方 300 ~ 400 m 的物体。红外夜视系统的功能与车辆碰撞预警系统相似,主要是提醒驾驶员躲避障碍物。

(5) 轮胎压力预警系统。该系统是一个集中央轮胎充放气系统为一体的监控与报警系统。该系统利用安装在每一只轮胎中的压力与温度传感器直接监测胎内气压和温度,并用无线射频装置将气压和温度信号发送到驾驶室外的接收与监控器,再由监控器显示与控制每一只轮胎的气压和温度。系统的功能是有有效避免轮胎温度和气压过高而导致爆胎事故,或轮胎漏气导致气压过低而加速磨损,使轮胎始终保持在正常气压和温度状态下行驶,延长轮胎使用寿命,降低汽车燃油消耗。

(6) 驾驶环境控制系统。该系统是一个舒适性控制系统。该系统集自动空调系统于一体,可根据驾驶室内外温度、行驶速度、空气流量、气流方向进行换气通风,给驾驶员营造一个舒适的驾驶环境,减轻驾驶疲劳,保证车辆行驶安全。