



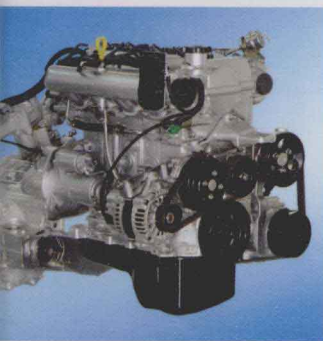
中国汽车工程学会

汽车工程图书出版专家委员会 推荐出版

● “十一五”国家重点图书出版规划项目 ●

汽车发动机 节能减排先进技术

李 骏 著



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



中国汽车工程学会

汽车工程图书出版专家委员会 推荐出版

汽车发动机 节能减排先进技术

李 骏 著

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

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车发动机节能减排先进技术 / 李骏著. —北京: 北京理工大学出版社, 2011. 3

ISBN 978 - 7 - 5640 - 4273 - 8

I. ①汽… II. ①李… III. ①汽车节油②汽车排气 - 空气污染控制
IV. ①U471. 23②X734. 201

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 019836 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](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京中科印刷有限公司

开 本 / 880 毫米 × 1230 毫米 1/16

印 张 / 31. 25

字 数 / 858 千字

版 次 / 2011 年 3 月第 1 版 2011 年 3 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 3000 册

定 价 / 128. 00 元

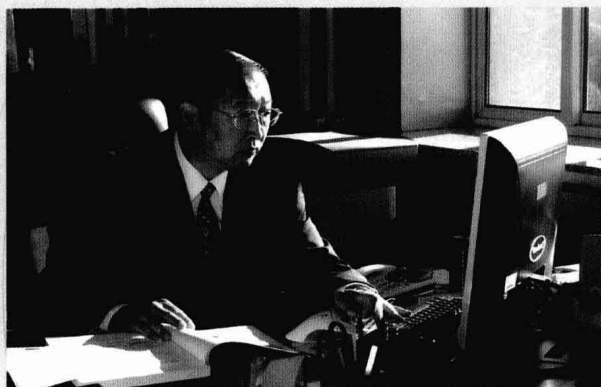


责任编辑 / 刘志实

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换



汽车内燃机及汽车节能环保专家。1958年3月24日出生，吉林省长春市人。1989年5月毕业于吉林工业大学，博士学位。中国第一汽车集团公司副总工程师兼技术中心主任、研究员级高级工程师、博士后工作站导师。主要研究领域为：汽车发动机产品设计开发、节能环保技术、动力总成电子控制技术、混合动力汽车设计开发、发动机与汽车产品开发系统工程方法等。在自主发动机设计开发、柴油机电控喷射系统和混合动力汽车技术等方面的成就显著，为一汽自主研发和可持续发展做出了巨大贡献。

二十年来，主持完成国家级、省部级科技项目20余项，获国家科技进步二等奖1项，省部级科技进步特等奖1项、一等奖2项、二等奖5项，公开发表论文93篇，获授权专利16项；现任中国汽车工程学会常务理事，中国汽车工程学会产品开发分会主任委员，中国内燃机学会副理事长、常务理事，吉林省机械工程学会常务理事，全国汽车标准化委员会发动机分会副主任委员，全国内燃机标准化委员会委员；先后被评为首批“新世纪百千万人才工程”国家级人选、中国机械工业青年科技专家、中国汽车工业优秀青年科技人才、国务院颁发政府特殊津贴、中国内燃机学会“突出贡献奖、中国汽车工业杰出人物、科学中国人2008年度人物、吉林省优秀专家、吉林省第一批拔尖创新人才”、吉林省科学技术进步特殊贡献奖等。

中国汽车工业在全球石油资源不可持续和气候变暖的环境压力下迅速成长，已成为世界汽车生产与消费大国，自主品牌做出了巨大贡献，更为难能可贵的是我们的企业对于自主创新已经有了更加深刻的认识。如何应对全球竞争的崭新局面，以实现中国汽车产业的可持续发展，并完成从消费大国向汽车强国的完美过渡，是我们目前面临的重大挑战。汽车节能环保技术是推动汽车工业可持续发展的重要保障之一，也是我国汽车企业自主创新战略的重要方面。发动机作为汽车的核心动力，在此方面尤为重要。

“一汽”这些年始终在发动机领域坚持自主耕耘，开发出一系列有竞争力的产品，并在一定程度上取得了核心技术的突破。我在“一汽”工作了很长的时间，了解自主产品开发的艰辛与困难，看到并亲身感受到他们不断取得的进步，也欣喜地感受到他们能够立足基础，在技术落后、资源匮乏的条件下，潜心研发，掌握了汽车发动机产品开发领域最为宝贵的知识与经验，为自主发动机事业添上了浓墨重彩，为一汽创造了大量的经济效益。

无论从行业的角度，还是个人的感情，我都在关心一汽自主研发事业的进步，并提出希望一汽能够立足实践，以高瞻远瞩、勇于探索的思路，根据目前汽车发动机技术发展趋势来发现、提炼、总结发动机技术，以广泛扎实的知识基础和独辟蹊径的创新思维，针对现有节能、环保要求，对新兴技术进行系统阐述，将所获得的成果、经过市场检验的技术，上升到理论高度加以认识，对现代发动机先进技术进行剖析与诠释，尤其在全球倡导节能、减排的背景下，编写相关文献提供给行业作为参考。这也是很多了解一汽、关心自主事业的老同志们的共同期望。在这一点上，我与李骏博士进行了多次沟通，获得了他的认可。今天看到了他将一汽开发的成果及经验总结成专著，我十分欣慰，并欣然接受李骏的邀请，题写书序。

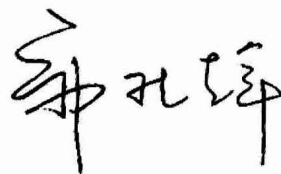
这本《汽车发动机节能减排先进技术》与我以往看过的专著完全不一样，从形式上看，是一本技术论著，从内容上看，都是笔者的亲身实践与对工程技术的感悟，从实际工作中提炼心得，非常实在。该著作在国内首次就节能、减排先进技术这一主题进行编撰，基于对现代欧美最新技术的细致分析，结合一汽产品研发经验和实践，对汽车发动机节能减排先进技术的发展现状及应用前景进行了全面阐述。通过对当代汽车发动机产品设计与开发技术的透彻分析，点明了柴油机、汽油机节能环保技术，并结合动力总成阐明了节能环保战略和产品战略。难能可贵的是，该书从工程的角度对技术进行了深入浅出的分析，融入了生命周期管理的概念，从战略入手，综合技术路线选择、产品开发路径、工程匹配方法等多方面知识进行描述，尤其是对重要参数的定量分析，更是本书的一大特色。不仅如此，该书基于传统发动机技术，向电子控制技术与新能源动力技术进行拓展，指出了汽车动力技术发展的未来与方向，对汽车动力系统自主创新具有重大的启迪作用。

该著作的最大特点是可以作为工具书，对自主节能、环保型发动机开发提供技术支持与理论参考。该书对国内外先进发动机技术进行了归纳概括与详细介绍的同时，有针对性地列举了当代先进的发动机开发实例，并对相关技术路线、技术信息进行了有效的说明。该书的第二大特点是理论与实践的结合，充分诠释一汽在发动机产品自主研发上的感受与

体会，也正是由于有了产品开发工程的理论积淀与实际经验，该专著才能跨越学术与工程的界限，形成这一理论与实际为一体的文献。

最后，我向李骏表示衷心的祝贺，正是由于他能够在产品开发第一线的工作之余，笔耕不辍，做出如此认真地回顾、思考和总结，该书才能最终付梓，同时也希望他能够继续为民族汽车自主事业不遗余力，再攀高峰。

中国工程院院士

Handwritten signature of Li Jun in black ink.

2010 年 10 月

为应对全球气候变暖,环境污染和石油资源匮乏的挑战,必须把建设资源节约型、环境友好型社会的任务放在我国工业化、现代化发展的最突出的位置上。作为国民经济的支柱产业,中国汽车工业在最近十年中得到了飞速发展,在国际金融危机后的2009年上半年,中国汽车产量已位居世界首位,全年预期产量将超过1 000万辆。但我国的汽车产品,特别是乘用车,多为引进技术,因此,迅速提升汽车行业的技术创新和核心竞争力是中国汽车工业的当务之急,也是建设资源节约型、环境友好型社会所期待的。中国汽车工业肩负着将中国由汽车制造大国转变为汽车强国的历史任务,中国在呼唤高度节能、环保型汽车的诞生。

汽车行业的技术创新和核心竞争能力最重要的体现之一是:开发出成本低、车主接受意愿高、性能全面优化、强化(包括动力性、可靠性、耐久性、瞬态响应、NVH值等),能满足最严格排放法规限值要求,同时具有良好经济性的发动机,这是一项系统工程,其实质是应用各种研发手段(包括数值模拟、实验观察、模型实验、新材料新工艺的采用、样机检验等),挖掘出内燃机的全部潜力,各种新思路,新技术在此汇聚融合,由此研发出新一代高性能发动机,最终呈现在大众面前的已不仅是通常意义下的机电合一产品,而是一台经过精雕细刻,可以大批量生产的艺术品,这就是先进设计的魅力。

《汽车发动机节能减排先进技术》一书是基于对欧洲和北美最新发动机研发经验的学习和吸收,结合一汽集团研发6DL、6DM、6DN系列车用柴油机和其他产品的实践经验,对汽车发动机节能减排及性能全面优化的发展现状和应用前景所做的全面介绍和阐述,尤其对反映汽车发动机最新技术发展的核心内容,如:燃烧系统、进排气系统、燃油喷射系统、冷却系统、尾气后处理、电子控制技术、发动机油料技术、发动机结构设计以及发动机和底盘匹配技术等均做了详细地分析和讨论,由于本书是在实践经验的基础上写成的,去粗取精,去伪存真,自成体系,因此具有极高的学习参考价值,特别是对实际技术工作具有立竿见影的指导意义。

本书作者李骏博士,现任一汽集团技术中心主任,中国内燃机学会副理事长,他是我国自己培养的,正活跃在汽车内燃机研发第一线的领军人物之一,他所领导的一汽集团技术中心团队的工作,已为我国车用内燃机的技术进步做出了重要贡献。在繁重的日常工作之余,李骏博士不辞辛劳,利用业余时间把自己多年来从事内燃机研发所积累的经验,梳理总结成书,与全行业共享,这是十分令人感动的。我衷心祝愿他带领一汽集团产品研发团队更上一层楼,在发动机技术创新方面作出更大的成绩,为中国汽车工业争光。同时我也郑重地向我国从事发动机研发工作的科研人员,动力机械及工程、车辆工程专业的老师、本科生、研究生们推荐这本好书。

中国内燃机学会名誉理事长
兼专家咨询委员会主席
西安交通大学教授

李骏

2010年10月

中国汽车这几年的发展很好，自主品牌汽车对我们产业发展做出了重大贡献。我们现在是站在一个历史交汇口，这个交汇口就是说汽车已经做起来了，我们要变得很强。希望我们的企业在成为世界汽车强国的历史进程中发挥特别的作用。近年来，我们的汽车企业对自主创新认识逐步深刻，对自主创新的认识发生了颠覆性的变化，我们的目标越来越清晰，虽然任重道远，但我们前途光明。

汽车行业做出可持续发展、绿色制造、绿色发展，肯定要解决它对环境 and 能源的影响问题。节能环保型发动机的开发，是我们目前面临的重要课题之一，这一点，我与李骏博士的观点不谋而合，我们对此进行了多次交流，并希望一汽能够结合自身的经验与实际情况，将其技术进行整理和扩充，形成专业著作，为整个行业提供技术参考，并起到工具书的作用。当李骏博士以及他带领的团队完成了上述著作的时候，来邀请我做序，我欣然同意。

多年来，李骏博士始终工作在汽车工业自主创新的第一线，作风扎实，思维敏捷，效果突出，是我国汽车工业难得的专家型人才。他在国内率先开展动力总成核心技术的研发，成绩显著，成果颇丰。今天我看到了他将一汽开发的成果及经验总结成专著，这凝聚了李骏博士及其团队的智慧与辛苦，这也是李骏作为一名我国第一代自主培养的博士生对国家及行业的贡献。

该著作作为汽车企业就“节能、安全、环保”汽车可持续发展主题所撰写的专著，所述内容为当前国际最先进技术。该著作的出版表明，我国汽车发动机研发能力已在近十年来实现了跨越式发展，并已与国际接轨。该著作的最大特点是可以作为工具书，对自主节能、环保型发动机开发提供技术支持与理论参考。该著作对国内外先进发动机技术进行了归纳概括与详细介绍，同时还有针对性地列举了当代先进的发动机开发实例，对相关技术路线、技术信息进行了有效的说明。该著作的第二大特点是理论与实践的结合，正由于有了产品开发工程的理论积淀与实际经验，李骏博士才能跨越学术与工程的界限，形成这一理论与实际为一体的专著。

我认为，该著作对从事汽车发动机设计开发的人员来说，是一本难得的工具书，对刚出校门的毕业生来说，是宝贵的参考书，对在校的学生及研发人员来说，是一本智慧启迪的教材，所以说，李骏博士及其他编撰人员，不仅是工程技术专家，而且也是具有雄厚理论功底的研发人才，我相信，他们会对我国汽车工业作出持续不断的贡献。最后，我也希望广大读者，能够针对该著作给予更多的关注与热情，并参考上述模式，为我国汽车工业提供更多更好的理论财富。

中国汽车工程学会常务副理事长兼秘书长

付子武

2010年10月

21 世纪全球汽车工业的可持续发展面临着能源短缺、环境污染及气候变暖三方面的挑战,这三大挑战也成为推动车用能源及动力系统技术进步的三大动力。得益于动力系统技术的不断发展,应对环境污染问题已变得相对轻松,但能源问题和 CO₂ 排放问题受到的关注越来越多。对于中国汽车产业来说,既要面对石油短缺和 CO₂ 减排等世界性问题,也要面对排放法规不断严格化等传统问题,即必须以更短的时间实现发达国家已经完成的发动机电控化、清洁化等重大技术变革,同时还必须适应中国用户使用条件和对成本的要求。因此,未来中国汽车工业面临的挑战更加艰巨,节能环保技术需要取得更大的突破。

党的十六大和国家“十二五”规划都明确提出,中国要走“新型工业化道路”,胡锦涛总书记在党的十七大报告中又进一步强调“要坚持走中国特色新型工业化道路”。而新型工业化道路,就是“一条科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少,人力资源优势得到充分发挥的新型工业化路子”。汽车是新型工业化过程中最具代表性的产业之一,中国已经成为世界汽车产销第一大国,能源压力和环境压力日益增加,节能减排势在必行。由于未来较长一段时期汽车仍将以燃油为主,我们必须全面提升汽车发动机节油减排技术。

内燃机作为动力装置已有悠久的历史,随着新技术的不断渗透,使它又成为一门多学科交叉、技术含量很高的领域,尤其是随着电子技术的应用,汽车发动机技术的发展非常迅速,技术创新不断涌现,另外,内燃机技术领域具有很强的工程性,只有与工程应用密切结合,技术开发和基础研究才有生命力。

我和我的同事们在汽车动力系统领域工作了二十多年,组织参与了 CA6DH、CA6DL、CA6DM、CA6DN 等一系列 6~13 升中重型车柴油机,以及 CA4GA、CA4GB、CA4GC、CA6GV、CA8GV 和 CA12GV 等乘用车 1~6 升直列和 V 型汽油机的开发,同时在混合动力领域也开展了大量工作。很久以来,一直希望组织我的研发团队对这些工程经验进行系统地梳理总结,与行业分享。同时也希望将企业产品研发工程实践介绍给在校学生,作为其了解即将进入的汽车行业的一个窗口。在 2008 年的中国汽车工程学会年会上,我应邀参加了付于武秘书长主持的题为“节能减排,引领未来”的前沿论坛,深刻感受到全行业对汽车节能减排的期盼,2009 年我被推选为 FISITA 主席,更感到责任的重大,为中国汽车技术尽快与国际接轨作出贡献是我义不容辞的责任,在争得同事们的支持下我决定做这个总结。

本书结合一汽集团在车用动力系统方面的自主技术创新成果,广泛吸收国际上的低碳化、低污染最新技术信息,着重介绍汽车动力系统低碳化、低污染技术。第 1 章从世界范围阐述汽车工业面临的能源环境形势和重要汽车公司的应对战略;第 2 章从整车性能出发分析了对动力系统的需求以及发动机性能设计的一般流程;结构设计是发动机开发的基础,第 3 章讨论了结构设计中关于节能减排的考虑;第 4 章至第 8 章分别论述了燃烧系统、燃油喷射系统、换气系统、排气后处理系统和冷却系统在节能减排方面的技术发展;第 9 章讨论了如何减少摩擦损失;第 10 章介绍了油品技术及其对发动机性能的影响;第 11 章论述了天然气发动机技术;当代发动机技术的任何进步都离不开电子控制,第 12 章介绍了发动机电控系统的开发;第 13 章围绕混合动力系统在整车上的应用展开了讨论;

最后，第14章介绍了国际上十几款在节能减排技术应用方面领先的发动机产品。经过两年多的准备，本书即将出版。希望本书能够为企业的新产品和新技术规划、策划、设计、科研提供帮助，为本科生、研究生提供有价值的参考信息。

在撰写这本书的过程中，得到了很多专家和同事的支持与帮助。一汽集团技术中心的许多同事贡献了他们的知识与智慧，提供了大量资料，参与了本书的撰写和讨论，特别是李康博士对本书的观点、论据、论证把关，做了非常重要的工作，由于他的谦虚没有署名，在此表示衷心感谢。

本书的撰写也得到AVL公司、阿尔特（中国）汽车技术有限公司及其吉川诚专家等在资料上的热诚支持，在此表示衷心感谢。

郭孔辉院士、蒋德明教授、付于武秘书长在此书编撰过程中给予了鼓励，并为本书撰写了序言，特别是天津大学姚春德教授为本书作了总审，在此，对他们的关心、指导和帮助表示真挚的感谢！

由于个人学识的限制，对于本书存在的不尽如人意之处，欢迎读者批评指正。

李康

2010年12月

目 录

第1章 汽车发动机面临的低碳化、低污染和高品质挑战 / 1

- 1.1 汽车发动机的燃油供应问题 / 1
- 1.2 汽车发动机的替代能源问题 / 6
- 1.3 汽车发动机的排气污染问题 / 9
 - 1.3.1 轻型汽车排放标准 / 9
 - 1.3.2 重型汽车排放标准 / 17
- 1.4 汽车发动机的 CO₂ 排放问题 / 25
 - 1.4.1 CO₂ 对全球环境影响的历史和现状 / 25
 - 1.4.2 汽车工业 CO₂ 排放状况 / 27
 - 1.4.3 CO₂ 排放相关法规进展及预测 / 29
 - 1.4.4 中国企业满足油耗法规的策略分析 / 32
- 1.5 节能环保战略 / 34
- 1.6 提高产品品质的挑战 / 42
- 参考文献 / 43

第2章 面向整车应用的发动机性能设计 / 44

- 2.1 整车对发动机的动力要求 / 44
 - 2.1.1 发动机功率匹配 / 45
 - 2.1.2 发动机外特性匹配 / 46
- 2.2 发动机在整车上的工作状态 / 49
 - 2.2.1 国外汽车运转循环 / 49
 - 2.2.2 联合国重型发动机运转循环 (WHDC) 的开发 / 50
 - 2.2.3 中国乘用车及重型商用车运转循环开发 / 52
- 2.3 运转循环下汽车燃料消耗量计算 / 53
 - 2.3.1 发动机万有特性及外特性模型建立 / 53
 - 2.3.2 为瞬态运转循环配置行车挡位 / 54
 - 2.3.3 计算瞬态运转循环各时刻车速及瞬时燃料消耗量 / 54
 - 2.3.4 积分计算完成瞬态运转循环所需的累积燃料消耗量并进行修正 / 54
 - 2.3.5 积分计算理想运转循环下汽车行驶里程和燃料消耗量 / 55
- 2.4 基于汽车运转循环的动力传动系统匹配优化 / 55
- 2.5 发动机技术进步降低整车燃料消耗实例 / 58
- 2.6 基于整车优化匹配的发动机性能设计 / 60
 - 2.6.1 基于整车要求的发动机性能设计理念与流程 / 60
 - 2.6.2 发动机性能设计方法 / 63
 - 2.6.3 性能设计与性能开发 / 63
- 参考文献 / 65

第3章 发动机结构设计技术 / 66

- 3.1 气缸盖设计技术 / 66

- 3.1.1 轻型柴油机气缸盖设计 / 66
- 3.1.2 中重型柴油机气缸盖设计 / 70
- 3.2 发动机气缸体设计 / 80
 - 3.2.1 乘用车汽油机气缸体设计 / 80
 - 3.2.2 中重型柴油机气缸体设计 / 88
- 3.3 运动件设计 / 94
 - 3.3.1 活塞技术 / 94
 - 3.3.2 活塞环技术 / 100
 - 3.3.3 连杆设计 / 103
 - 3.3.4 曲轴设计技术 / 108
 - 3.3.5 发动机轴承无铅化技术 / 112
- 参考文献 / 116

第4章 内燃机燃烧技术 / 118

- 4.1 柴油机燃烧技术 / 118
 - 4.1.1 燃烧设计要素 / 118
 - 4.1.2 基于单体泵的国 III 柴油机燃烧开发 / 126
 - 4.1.3 柴油机燃烧技术评价 / 129
 - 4.1.4 未来技术发展 / 131
- 4.2 汽油机燃烧技术 / 133
 - 4.2.1 直喷系统的设计要素 / 133
 - 4.2.2 直喷汽油机的燃油喷雾特点 / 133
 - 4.2.3 汽油直喷发动机缸内气流运动的组织 / 137
 - 4.2.4 汽油直喷发动机的活塞顶形状设计 / 139
 - 4.2.5 汽油直喷发动机缸内流体力学分析 / 139
 - 4.2.6 各公司的直喷燃烧技术介绍 / 142
 - 4.2.7 对直喷燃烧技术的展望 / 146
 - 4.2.8 汽油均质压燃技术 / 147
- 参考文献 / 150

第5章 发动机燃油喷射系统技术 / 152

- 5.1 柴油机燃油喷射技术 / 152
 - 5.1.1 柴油机燃油喷射系统基本性能 / 152
 - 5.1.2 国内柴油机燃油喷射技术 / 156
 - 5.1.3 国外柴油机燃油喷射技术 / 157
- 5.2 汽油直喷技术 / 165
 - 5.2.1 汽油直喷技术概述 / 165
 - 5.2.2 汽油直喷结构原理 / 166
 - 5.2.3 汽油直喷主要技术参数 / 169
 - 5.2.4 GDI 的现状与前景 / 171
- 参考文献 / 171

第6章 换气系统技术 / 172**6.1 进排气歧管技术 / 172**

6.1.1 进气歧管技术 / 172

6.1.2 排气歧管技术 / 174

6.2 配气机构技术 / 175

6.2.1 VVT 技术 / 176

6.2.2 VVL 技术 / 186

6.2.3 停缸技术 / 191

6.3 柴油机增压技术 / 192

6.3.1 增压器与发动机的匹配 / 193

6.3.2 电辅助增压废气涡轮增压系统 / 194

6.3.3 针对高海拔地区的增压器匹配 / 196

6.3.4 柴油机可变废气涡轮增压系统 / 198

6.3.5 柴油机二级增压 / 200

6.3.6 复合增压系统 / 201

6.4 汽油机增压技术 / 202

6.4.1 汽油机增压技术应用背景 / 202

6.4.2 废气涡轮增压器 / 203

6.4.3 中冷技术 / 203

6.4.4 一汽集团开发的 1.3 L 增压汽油机 / 204

6.4.5 机械增压系统 / 204

6.4.6 汽油机不同增压系统的比较 / 206

6.5 EGR 技术 / 207

6.5.1 内部 EGR 技术 / 208

6.5.2 外部 EGR 技术 / 208

6.5.3 促进 EGR 回流的方式 / 209

6.5.4 EGR 阀 / 211

6.5.5 EGR 冷却系统的作用及影响 / 211

6.5.6 EGR 系统的控制 / 211

6.5.7 EGR 分配均匀性的控制 / 212

参考文献 / 213**第7章 发动机排气后处理技术 / 215****7.1 柴油机排气后处理技术 / 215**

7.1.1 氧化型后处理技术 / 216

7.1.2 还原型后处理技术 / 223

7.1.3 后处理技术的组合应用 / 228

7.1.4 柴油机后处理器的系列化封装 / 230

7.2 汽油机后处理技术 / 231

7.2.1 汽油机三效后处理技术的原理 / 231

7.2.2 三效催化技术的发展 / 231



7.2.3 稀燃 NO_x 后处理技术 / 233

7.3 本章小节 / 234

参考文献 / 234

第8章 柴油机冷却系统节能环保先进技术 / 236

8.1 不同阶段排放控制技术的应用及对冷却系统的影响 / 236

8.1.1 欧Ⅲ以前 / 236

8.1.2 从欧Ⅲ到欧Ⅳ、欧Ⅴ / 237

8.2 采用 EGR 策略柴油发动机冷却系统策略 / 237

8.2.1 采用 EGR 策略对冷却系统的影响 / 237

8.2.2 针对 EGR 策略冷却系统可能采用的方案 / 239

8.3 冷却系统电控技术 / 243

8.3.1 冷却系统设计原则和步骤 / 243

8.3.2 冷却系统电子控制 / 244

8.3.3 电控冷却系统核心部件 / 245

8.3.4 电控冷却系统的热管理 / 251

8.3.5 电控冷却系统效果 / 253

参考文献 / 254

第9章 发动机低摩擦技术 / 255

9.1 概述 / 255

9.1.1 发动机摩擦损失分配比例 / 256

9.1.2 发动机摩擦类型 / 257

9.1.3 影响发动机摩擦的主要因素 / 259

9.1.4 低摩擦发动机开发流程 / 259

9.2 低摩擦技术 / 260

9.2.1 滚动轴承在发动机中的应用 / 266

9.2.2 低摩擦活塞组 / 270

9.2.3 缸筒减摩措施 / 278

9.3 发动机摩擦测试分析 / 284

9.3.1 点火发动机摩擦损失的测定 / 284

9.3.2 反拖发动机拆除法摩擦分析 / 285

9.4 低摩擦材料及先进的表面处理技术 / 285

9.4.1 固体自润滑涂层 / 285

9.4.2 新型表面处理技术 / 286

9.4.3 先进的珩磨工艺 / 289

9.4.4 发动机减摩润滑剂 / 292

9.5 一汽发动机减摩技术的应用 / 293

参考文献 / 297

第 10 章 发动机油料技术 / 299**10.1 高品质汽油的节能减排作用 / 299**

10.1.1 汽油机技术的发展促进了汽油技术规格的发展 / 299

10.1.2 汽油品质对发动机节能减排的影响 / 302

10.2 高品质柴油的节能减排作用 / 310

10.2.1 柴油机技术的发展促进了柴油技术规格的发展 / 310

10.2.2 柴油品质对发动机节能减排的影响 / 312

10.3 润滑油的节能减排作用 / 318

10.3.1 发动机技术是发动机油技术规格发展的推动力 / 319

10.3.2 发动机油的节能作用 / 321

10.3.3 发动机后处理技术对润滑油品质的要求 / 324

参考文献 / 324

第 11 章 天然气发动机技术 / 326**11.1 天然气发动机技术的若干重要概念 / 326**

11.1.1 天然气的储存方式 / 326

11.1.2 天然气理化特性 / 327

11.1.3 天然气发动机的燃烧方式 / 327

11.2 天然气发动机的机型与主参数设计 / 328**11.3 天然气发动机性能设计 / 329**

11.3.1 压缩比和燃烧室设计 / 329

11.3.2 进气系统的设计 / 335

11.3.3 增压器匹配设计 / 336

11.3.4 配气相位和凸轮型线的设计 / 337

11.3.5 分层燃烧系统 / 339

11.4 天然气发动机的排放控制 / 345**11.5 天然气发动机的主要系统设计 / 350**

11.5.1 电控系统设计 / 350

11.5.2 点火系统设计 / 350

11.5.3 天然气供给系统 / 350

11.6 天然气发动机的可靠性设计 / 352

11.6.1 活塞环改进设计 / 352

11.6.2 气门与气门座设计 / 353

参考文献 / 353

第 12 章 发动机电子控制技术 / 355**12.1 发动机控制系统基本概念 / 355**

12.1.1 汽油机直喷控制系统构成 / 356

12.1.2 柴油机单体泵控制系统构成 / 356

12.1.3 柴油机高压共轨控制系统构成 / 358

12.2 发动机控制系统软件基本概念 / 360



- 12.2.1 发动机控制系统平台化开发 / 360
- 12.2.2 OSEK 开发规范 / 360
- 12.2.3 AUTOSAR 软件架构 / 362
- 12.3 控制系统软件开发流程 / 364
 - 12.3.1 开发流程 / 364
 - 12.3.2 开发环境 / 367
- 12.4 一汽集团发动机控制软件技术 / 368
 - 12.4.1 工程化开发方法 / 368
 - 12.4.2 柴油机泵、喷油器油量静态修正 / 369
 - 12.4.3 动态缸平衡 / 371
 - 12.4.4 轨压闭环控制设计 / 372
 - 12.4.5 故障隔离设计 / 372
 - 12.4.6 减速断油功能 / 372
 - 12.4.7 冷启动预热控制 / 373
 - 12.4.8 柴油机多状态转矩限制功能 / 373
 - 12.4.9 柴油机后处理系统的控制 / 373
- 12.5 缸压反馈控制 / 376
 - 12.5.1 燃烧闭环控制的优势 / 376
 - 12.5.2 燃烧闭环控制技术的控制算法 / 378
- 12.6 发动机控制系统产品开发管理体系 CMMI / 379
 - 12.6.1 CMMI 起源 / 379
 - 12.6.2 CMMI 等级 / 380
 - 12.6.3 一汽集团技术中心 CMMI 管理流程改进 / 381
 - 12.6.4 一汽集团技术中心 CMMI 应用 / 385
- 参考文献 / 386

第13章 混合动力技术 / 388

- 13.1 混合动力技术的特点 / 388
- 13.2 混合动力汽车开发流程描述 / 389
- 13.3 目标定义 / 389
- 13.4 概念设计 / 390
 - 13.4.1 混合动力系统构型分类 / 390
 - 13.4.2 混合动力系统构型选择 / 392
- 13.5 动力系统设计 / 393
 - 13.5.1 一汽双电动机混合动力系统介绍 / 393
 - 13.5.2 混合动力仿真平台的搭建 / 393
 - 13.5.3 总成参数匹配 / 394
 - 13.5.4 仿真结果 / 399
- 13.6 整车控制系统开发 / 400
 - 13.6.1 整车控制系统开发流程 / 400
 - 13.6.2 整车控制系统方案 / 404

13.6.3	整车控制系统控制策略 / 406
13.6.4	整车控制系统建模及算法 / 409
13.7	整车总布置设计 / 412
13.8	关键总成开发 / 413
13.8.1	混合动力专用发动机开发 / 413
13.8.2	一体化专用变速器开发 / 414
13.8.3	动力电动机系统开发 / 415
13.8.4	电池系统开发 / 427
13.8.5	制动助力系统开发 / 432
13.8.6	再生制动系统开发 / 434
13.9	试验开发 / 435
13.9.1	关键总成试验开发 / 435
13.9.2	动力总成台架试验开发 / 439
13.9.3	整车性能试验开发 / 441
13.10	示范运行 / 442
	参考文献 / 443

第 14 章 著名发动机产品 / 444

14.1	著名汽油发动机 / 444
14.1.1	BMW 3L 双增压发动机 / 444
14.1.2	奥迪 2.0L TFSI 发动机 / 447
14.1.3	大众 1.4 TSI (EA111) 双增压发动机 / 451
14.2	著名轻型柴油机 / 453
14.2.1	Sofim F1C 柴油机 / 454
14.2.2	4JJ1 柴油机 / 457
14.2.3	NGD3.0 柴油机 / 461
14.3	著名重型柴油机 / 463
14.3.1	戴姆勒集团新重型平台 (HDEP) / 463
14.3.2	一汽集团 CA6DM2 重型发动机 / 464
14.3.3	曼公司的 D20 系列发动机 / 466
14.3.4	斯堪尼亚 DC13 系列重型发动机 / 469
14.3.5	沃尔沃 D13 重型柴油机 / 471
14.3.6	康明斯 ISX 重型柴油机 / 472
	参考文献 / 473

缩略语表 / 474
