

INTRODUCTION OF NEW TECHNOLOGIES FOR ENERGY CONSERVATION AND EMISSION
REDUCTION IN VEHICLE POWER SYSTEMS

汽车动力系统 节能减排新技术概论

赵 洋 许广举 李铭迪 王志浩 编著

 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

本书由国家自然科学基金项目(51506011)、江苏省自然科学基金青年基金项目(BK20160406)、江苏省高校自然科学研究面上项目(15KJB470001)、苏州市应用基础研究项目(SYG201515)等资助出版

汽车动力系统 节能减排新技术概论

赵 洋 许广举 李铭迪 王志浩 编著

 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

镇 江

图书在版编目(CIP)数据

汽车动力系统节能减排新技术概论 / 赵洋等编著
· 一镇江: 江苏大学出版社, 2017. 11
ISBN 978-7-5684-0689-5

I. ①汽… II. ①赵… III. ①汽车—动力—系统—节能
减排 IV. ①U463

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 293104 号

汽车动力系统节能减排新技术概论

Qiche Dongli Xitong Jieneng Jianpai Xin Jishu Gailun

编 著/赵 洋 许广举 李铭迪 王志浩

责任编辑/郑晨晖

出版发行/江苏大学出版社

地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)

电 话/0511-84446464(传真)

网 址/<http://press.ujs.edu.cn>

排 版/镇江文苑制版印刷有限责任公司

印 刷/虎彩印艺股份有限公司

开 本/718 mm×1 000 mm 1/16

印 张/18.75

字 数/359 千字

版 次/2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月第 1 次印刷

书 号/ISBN 978-7-5684-0689-5

定 价/49.00 元

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话:0511-84440882)

前 言

内燃机作为国家战略新兴产业,是节能减排的主导产业。内燃机的技术进步关系到我国能源战略的顺利实施和大气环境治理的质量。作为高新技术载体的新兴内燃机动力在节能减排方面还有很大的潜力,可为我国的节能减排战略的实现做出巨大贡献。内燃机除作为汽车配套动力外,还是我国城市和乡镇、机场和港口、公路和铁道、工地和农田、矿区和油井、江河和湖海、高山和边疆不可或缺的动力机械;在我国交通运输基础设施建设、机场和港口建设、农业现代化、国防现代化,以及促进经济发展、提高城乡居民生活水平等方面发挥着重要作用。内燃机作为国家战略新兴产业,是节能减排的主导产业,承担着节能减排的重要使命。在新时期、新常态形势下,内燃机产业应该进一步夯实发展基础,提升核心竞争力,加强与相关产业的互动,支撑配套主机发展。

针对汽车动力系统节能减排新技术,本书以内燃机的战略地位为切入点,通过对比国际先进技术水平和发展趋势,阐明了我国内燃机关键技术存在的差距和今后的发展方向;通过分析内燃机排放物污染形成机理及排放法规发展趋势,详细介绍了汽车动力系统节能减排的主要技术措施和可持续发展的战略性措施。全书共分7章,内容涵盖内燃机工业及产品技术水平、核心零部件产品水平、制造工艺及装备水平等发展现状及趋势,还包括内燃机排放污染物危害及生成机理、排放法规及检测方法,以及绿色智能制造技术、关键制造工艺技术、关键零部件等节能减排新技术详解。同时,本书又坚持基础、经验并重,理论、操作、提高并举,实用性强,覆盖面广,最终的目的就是为了进一步加深读者对内燃机节能减排新技术的了解,为相关研究人员提供较为成熟的经验借鉴。

目 录

第 1 章 内燃机的战略地位	(001)
1.1 内燃机工业是重要的基础产业	(001)
1.1.1 内燃机的发展沿革	(001)
1.1.2 内燃机产业的现状	(003)
1.2 为国家重大装备和重点工程发挥重要的支撑作用	(008)
1.2.1 内燃机工业对汽车产业的支撑作用	(008)
1.2.2 内燃机工业对工农业装备的支撑作用	(010)
1.2.3 内燃机工业对船舶装备的支撑作用	(011)
1.2.4 内燃机工业对发电装备的支撑作用	(014)
1.2.5 内燃机工业对机车装备的支撑作用	(014)
1.2.6 内燃机工业对国防装备的支撑作用	(015)
1.3 内燃机在我国节能减排发展战略中的作用	(017)
1.3.1 我国的节能减排发展战略	(017)
1.3.2 内燃机的能源消耗与污染物排放	(021)
1.3.3 高效内燃机将为节能减排做出重要贡献	(022)
第 2 章 国际先进水平及发展趋势	(025)
2.1 主要先进国家内燃机产业的发展历程和特点	(025)
2.2 主要先进国家内燃机产业的技术水平和规模	(026)
2.2.1 主要先进国家内燃机产业概况	(026)
2.2.2 主要先进国家内燃机产品技术水平	(040)
2.3 世界内燃机产业技术和产品发展趋势	(054)
2.3.1 内燃机产业技术发展趋势	(054)



2.3.2 内燃机产品和产业发展趋势	(061)
第3章 我国内燃机关键技术差距与发展方向	(064)
3.1 技术水平差距	(064)
3.1.1 电控技术	(064)
3.1.2 船用增压技术	(065)
3.1.3 后处理技术	(066)
3.1.4 低摩擦技术	(066)
3.2 核心零部件产品差距	(067)
3.2.1 燃油喷射系统	(067)
3.2.2 增压器	(069)
3.2.3 滤清器	(070)
3.2.4 后处理器	(072)
3.2.5 水泵、机油泵	(076)
3.3 制造工艺与装备差距	(078)
3.3.1 铸造	(078)
3.3.2 机械加工	(080)
3.3.3 装配试验	(081)
3.4 关键技术重点发展方向	(083)
3.4.1 内燃机控制技术	(083)
3.4.2 内燃机增压系统应用技术	(084)
3.4.3 高效内燃机排气后处理技术	(085)
3.4.4 零部件集成模块化应用	(086)
3.4.5 内燃机低摩擦技术应用	(087)
3.4.6 内燃机测试技术及设备开发	(087)
3.4.7 车用混合动力内燃机应用技术	(088)
3.4.8 冷却润滑系统模块化集成技术应用	(089)
3.4.9 内燃机再制造技术	(090)
3.4.10 高压燃油喷射技术	(091)



3.4.11 船舶发动机控制技术	(092)
3.4.12 非道路移动机械用柴油机	(093)
第4章 内燃机排放污染物的危害与生成机理	(094)
4.1 内燃机排放污染物来源	(094)
4.2 主要污染物及其危害	(096)
4.2.1 一氧化碳	(096)
4.2.2 碳氢化合物	(098)
4.2.3 氮氧化物	(098)
4.2.4 光化学烟雾	(099)
4.2.5 颗粒物	(101)
4.2.6 二氧化硫	(102)
4.3 非常规污染的种类及危害	(103)
4.3.1 种类	(103)
4.3.2 理化属性	(103)
4.3.3 危害	(105)
4.4 主要污染物生成机理	(107)
4.4.1 CO 生成机理	(107)
4.4.2 HC 生成机理	(108)
4.4.3 NO _x 生成机理	(110)
4.4.4 颗粒物生成机理	(114)
4.5 影响内燃机排放污染物生成因素	(123)
4.5.1 汽油机影响因素	(123)
4.5.2 柴油机影响因素	(129)
第5章 排放标准与检测方法	(143)
5.1 国外内燃机排放法规发展沿革	(143)
5.2 我国内燃机排放标准	(155)
5.3 排放试验技术与方法	(169)
5.4 非常规污染物测量方法	(183)



5.4.1	羰基类	(183)
5.4.2	芳香烃类	(193)
5.4.3	金属粒子	(201)
第6章	节能减排主要技术措施	(207)
6.1	绿色智能制造基础技术	(207)
6.1.1	绿色制造基础技术	(207)
6.1.2	智能制造基础技术	(210)
6.2	关键设计技术	(214)
6.3	关键制造工艺技术与装备	(215)
6.3.1	铸造	(215)
6.3.2	机械加工	(217)
6.3.3	装配试验	(219)
6.3.4	在线测量与信息化技术应用	(222)
6.4	关键零部件及材料	(224)
6.4.1	国内缸体、缸盖现状及发展趋势	(224)
6.4.2	内燃机曲轴	(224)
6.4.3	内燃机凸轮轴	(225)
6.4.4	内燃机排气歧管	(225)
6.5	高效密封、低摩擦技术	(226)
6.5.1	先进非金属材料	(226)
6.5.2	内燃机先进密封材料	(229)
6.5.3	低摩擦技术	(230)
6.6	测试设备和测试技术	(233)
6.6.1	测试设备的研发与生产现状	(233)
6.6.2	测试技术	(236)
6.7	燃料及应用	(240)
6.7.1	石油类液体燃料	(240)
6.7.2	气体燃料	(243)



6.7.3 其他燃料	(245)
6.8 内燃机再制造	(250)
6.8.1 内燃机再制造产业现状	(250)
6.8.2 发展重点	(255)
第7章 内燃机产品可持续发展战略性措施	(259)
7.1 提高创新能力	(259)
7.1.1 提高法规创新能力	(259)
7.1.2 提高体系创新能力	(260)
7.1.3 提高零部件创新能力	(260)
7.1.4 发挥行业协会的创新引导作用	(261)
7.2 加快结构调整	(264)
7.2.1 完善产业发展政策	(264)
7.2.2 领跑者计划与引领示范作用	(265)
7.3 推动产业升级	(268)
7.3.1 实施“一带一路”战略	(268)
7.3.2 内燃机工业两化融合的培育	(268)
7.3.3 内燃机节能减排基础能力建设	(269)
7.3.4 创新能力增长点的培育	(269)
7.3.5 自主品牌培育	(270)
7.3.6 内燃机零部件支撑体系建设	(271)
7.3.7 产品可靠性及质量保证体系建设	(271)
7.3.8 完善和健全标准体系	(271)
7.3.9 内燃机现代服务业的培育	(272)
7.3.10 强化监督管理	(272)
7.4 行业品牌建设	(272)
7.4.1 强化品牌建设	(272)
7.4.2 行业协会	(273)
7.4.3 职能部门	(274)



7.5	完善标准体系	(275)
7.5.1	标准体系现状	(275)
7.5.2	优化标准体系	(278)
7.5.3	推动标准实施	(279)
7.6	优化企业管理	(279)
7.6.1	现代内燃机企业的现状特点	(279)
7.6.2	内燃机行业的管理现状	(281)
7.6.3	新形势对内燃机企业运营管理的挑战	(282)
7.6.4	优化企业运营管理措施	(283)
参考文献		(287)

第 1 章 内燃机的战略地位

内燃机工业是我国重要的基础产业。内燃机广泛用作汽车、摩托车、工程机械、农业机械、船舶、铁道内燃机车、内燃发电设备、国防装备、地质和石油钻机、旅游运动器械、园林机械和各种通用机械的主导配套动力；内燃机是我国城市和乡镇、机场和港口、公路和铁道、工地和农田、矿区和厂区、江河和湖海、山区和平原不可或缺的动力机械；内燃机在我国交通运输基础设施建设、机场和港口建设、农业现代化、国防现代化及促进经济发展、提高城乡居民生活水平等方面发挥着重要作用。

内燃机是我国石油消耗的最大主体。2014 年我国消耗商品燃油超过 2.9 亿 t，按重量计占全年石油消耗总量的 60% 以上；排出 CO_2 9.14 亿 t，占全年 CO_2 排放总量的 13%。开展内燃机节能减排工作，提高内燃机效率，减少污染物排放是我国实施节能减排发展战略的重要举措，是降低我国石油对外依存度、保护环境的必要和有效途径。

内燃机是战略性新兴产业，是以重大技术突破和重大发展需求为基础，跨学科、知识技术密集、成长潜力大、综合效益好的产业，是引导未来经济社会发展的重要力量，对推进我国现代化建设具有重要战略意义。

1.1 内燃机工业是重要的基础产业

1.1.1 内燃机的发展沿革

内燃机是一种动力机械，它是通过在机器内部燃烧燃料，并将其放出的热能直接转换为机械能的热力发动机。根据所用燃料不同可分为汽油机发动机、柴油机发动机、压缩天然气发动机 (compressed natural gas, 简称 CNG)、液化天然气发动机 (liquefied natural gas, 简称 LNG)、液化石油气发动机 (liquefied



petroleum gas,简称LPG)、乙醇发动机等。另外,还有双燃料发动机(dual fuel engine)、生物燃料发动机(bio-fuel engine)和灵活燃料发动机(bi-fuel engine)等。1876年德国工程师奥托发明了四冲程循环点燃式发动机,即进气、压缩、膨胀与排气。这种发动机的热效率提高到了14%,质量比原来的蒸汽发动机减少了近70%。虽然当时用的燃料是煤气,但它已经奠定了点燃式发动机的工作循环,即目前汽油机和天然气发动机所采用的奥托循环。

随着中东石油的开发,能量密度更高的石油燃料引起人们的重视。1883年德国工程师戴姆勒成功创制第一台立式汽油机,它的特点是轻型和高速。当时其他内燃机的转速不超过200 r/min,立式汽油机的转速却一跃而达到800 r/min,特别符合交通运输机械的要求。1885—1886年,汽油机作为汽车动力运行成功,奠定了汽车及汽车工业发展的基础。而汽车的发展又促进了汽油机的改进和提高。以汽油机为代表的点燃式内燃机是迄今为止经济批量生产的最紧凑的动力机械,被广泛用于汽车、摩托车、小型船舶、小型机械上。

1897年德国工程师狄塞尔发明了压燃式内燃机,采用煤粉和植物油等着火点低的燃料,在接近压缩终了时将其喷入缸内,并与缸内的高温空气形成混合气着火和燃烧。由于这种燃烧方式可以采用较大的压缩比,并具有较大的膨胀比,因此热效率比当时其他的内燃机高1倍。后期燃料改为着火性更好的柴油,至此,汽油机和柴油机均已出现。

经过100多年的发展,内燃机结构和性能不断优化和提高,功率范围越来越广,升功率越来越大,热效率不断提高,燃料也从最初的煤粉、植物油等逐步发展为可以燃烧的汽油、柴油、天然气、甲醇、乙醇、生物柴油、二甲醚等多种燃料的动力装置。

我国第一台内燃机于1908年在广州均和安机器厂诞生,至今已有100多年的历史。中华人民共和国成立之前我国的内燃机产业整体规模、水平和能力等各个方面都比较弱小,没有形成完整的制造体系。中华人民共和国成立后,在党和人民政府的领导下,我国内燃机产业得到了蓬勃发展。从恢复、整顿、改造开始,组织建立了内燃机及其关键零部件的专业化协作生产配套体系,制定了内燃机系列型谱和技术政策,新一代中国内燃机研究者克服种种艰难困苦,经过几十年的努力,我国的内燃机产业取得了长足的进步。从小缸径到大缸径、从单缸到多缸、从汽油机到柴油机、从二冲程到四冲程、从低速到高速、从零部件到整机、从研发到生产制造和标准、质量、检测等各个方面,已经基本掌握了设计、研发具有国际先进水平的内燃机的技术、方法和流程,我国的内燃机产业已形成系列、品种、门类都完整、齐全的制造、生产和质量保证体系。内燃机已成为机械行业



的重要组成部分,是国家重要的基础产业。内燃机已经成为汽车、农业机械、工程机械、船舶、铁道机车、中小型发电机组和国防建设等领域的主要配套动力,内燃机产业为推动我国国民经济发展和社会主义现代化建设事业做出了重大的贡献。

1.1.2 内燃机产业的现状

随着科学技术的发展和法规的推动,现代内燃机融合了电子、信息、环境、能源、石油化工、新型材料和智能制造等诸多高新技术,已成为融合多学科、跨领域的高新技术产品。

我国内燃机产业经历了从无到有、从弱到强的发展过程。在内燃机方面经过 100 余年的艰苦创业、拼搏奋斗后,我国已经成长为当之无愧的内燃机制造大国。根据国家统计局统计数据,2016 年中国内燃机工业总产值突破 4 100 亿元,全国共生产内燃机超过 8 000 万台,总功率达 18 亿 kW。多种内燃机产品产量位居世界第一:其中,车用内燃机占全球产量的 31%;农机用内燃机占全球产量的 47%;工程用内燃机占全球产量的 40%;摩托车用内燃机占全球产量的 31%;小型通用型内燃机产量占全球产量的 40%。

1. 内燃机制造企业现状

我国内燃机行业目前有 3 000 余家制造企业,全行业从业人员近 40 万人。近年来,中国内燃机行业坚持走新型工业化道路,不断深化改革,发展步伐明显加快,经济效益大大提高,企业管理水平和自主创新能力持续提高,经济实力、经营能力和市场竞争力日益增强,在我国现代化建设中发挥了重要的作用。我国内燃机企业按照生产产品可以大体分为整机企业和配套零部件企业。其中整机生产企业又可以分为单缸柴油机企业、小缸径多缸柴油机企业、通用小型汽油机企业、中等缸径多缸柴油机行业、多缸汽油机行业和大功率柴油机行业等。配套零部件企业主要可以分为燃油系统企业、内燃机换热器企业、冷却水泵机油泵企业、曲轴连杆及高强度螺栓企业和排放后处理企业等。

单缸柴油机主要服务于“三农”,用于小型拖拉机、农机具、道路和非道路、移动或相对固定机械配套的动力源。目前,我国单缸柴油机主要生产企业有 50 多家,而持有生产许可证的企业则超过了百家。在单缸柴油机企业中,2014 年销量排序在前 4 位的企业依次是常柴股份有限公司(简称“常柴”)、江苏常发实业集团有限公司(简称“常发”)、江苏江淮动力股份有限公司(简称“江动”)及安徽全柴集团股份有限公司(简称“全柴”)。这 4 家企业的年产销量均超过 50 万台,有的甚至超过 100 万台,2014 年总销售约 515 万台。多年来,单缸柴油机企业



存在老产品多、产品技术含量不高、企业多小散、产品利润率低、投入少、技术与人才难招与难留、优质品牌少、缺乏创新与竞争力等问题。

小缸径多缸柴油机是指功率不大于 100 kW,缸数不多于 4 缸及缸径不大于 100 mm 的柴油机。它主要用于轻型汽车、低速汽车、微型汽车、轿车和皮卡、中大型拖拉机、中小型联合收割机、中小型工程机械、内河湖泊和沿海船舶,以及发电机、水泵、空压机等道路、非道路和固定机组的配套。目前,国内小缸径多缸柴油机行业的主要生产企业有 37 家。年销量在 10 万台以上的企业有 8 家,其中年销量在 30 万台左右的企业有玉柴机器股份有限公司(简称“玉柴”)和全椒柴油机股份有限公司(简称“全柴”)2 家;年销量在 20 万台左右的企业有昆明云内动力股份有限公司(简称“云内”)、浙江新柴股份有限公司(简称“新柴”)、江铃汽车股份有限公司(简称“江铃”)、一汽解放汽车有限公司无锡柴油机厂(简称“锡柴”)。此外还有山东华源莱动内燃机有限公司(简称“莱动”)、常柴股份有限公司、潍柴动力扬州柴油机有限责任公司(简称“扬柴”)、一拖(洛阳)柴油机有限公司(简称“洛拖”)。小缸径多缸柴油机产品经过多年的技术积累和市场检验,尽管已有部分产品得到国内市场的认可,甚至在燃油耗指标、排放指标等方面已经接近国外先进水平,但是,在零部件材料、产品热处理、尺寸精度、可靠性及研发能力、技术储备等方面还存在很大差距。在整个行业处于整机价格低、盈利小、市场不稳定的情况下,企业很难有更多资金进行产品外观“时尚化”、结构优化、体积紧凑化、整机轻量化及性能先进的高端产品的攻关,进一步缩小与国外同类产品的差距。

通用小型汽油机主要作为农林植保机械、小型农机具、园林机械、发电机组、建筑机械、舷外机械等的配套动力。由于通用小型汽油机体积小、重量轻、价格便宜、使用方便,所以在各种机具配套中占有重要位置。特别是在背负式机械之中,通用小型汽油机更是唯一的配套动力。通用小型汽油机一般为单缸机,少数为双缸或四缸机。通用小型汽油机外向度高,出口与内销发展不平衡。自 2003 年起,小汽油机行业出口所占的比例一直在 80% 以上,并且以产品贴牌出口为主,市场、品牌、售后服务均不掌握在自己手中。小型汽油机行业以中小企业为主,自主开发能力较弱,资金也不充裕。目前我国生产通用小型汽油机的企业主要有隆鑫通用动力、华盛中天、林海动力等。

中等缸径多缸柴油机的缸径在 100 mm 以上、160 mm 以下,气缸数量主要为 2~6。中等缸径多缸柴油机主要为汽车、工程机械、拖拉机、联合收割机、船用和发电机组等配套,其配套面广、使用工况复杂、对产品质量要求高。我国目前中等缸径多缸柴油机的生产企业有 40 余家。2013 年我国中等缸径多缸柴油



机的产销量分别为 234 万台和 256.6 万台。其中年产销量在 50 万台以上的企业有潍柴、玉柴；年产销量在 30 万~50 万台之间的企业有锡柴；年产销量在 10 万台左右的企业有东风朝柴、扬柴、上海柴油机股份有限公司（简称“上柴”）、道依茨一汽（大连）柴油机有限公司（简称“道依茨”）、洛拖。

多缸汽油机主要应用于汽车。经过多年的发展，汽车工业已经成为我国国民经济的支柱产业。近年来，我国多缸汽油机行业进入平稳发展阶段，调整产品结构、鼓励和发展小排量、节能环保汽车成为我国汽车工业的主要发展方向。随着经济的发展和人民生活水平的提高，汽车的普及率越来越高。2015 年 2 月 26 日国家统计局发布了《2014 年国民经济和社会发展统计公报》，2014 年末全国民用汽车保有量达到 15 447 万辆（包括三轮汽车和低速货车 972 万辆），其中私人汽车保有量 12 584 万辆；民用轿车保有量 8 307 万辆，其中私人轿车 7 590 万辆。扣除三轮汽车和低速货车，2014 年末全国民用汽车保有量达到 14 475 万辆，千人保有量首次超过百辆，达到 105.83 辆/千人。国内多缸汽油发动机主要由汽车企业自行配套生产。2014 年，销量排名前十位的轿车生产企业依次为：一汽大众、上海通用、上海大众、北京现代、东风日产、神龙、长安福特、东风悦达、一汽丰田和广汽本田，分别销售 158.66, 146.52, 143.63, 85.25, 75.20, 59.00, 58.47, 50.91, 44.21, 42.27 万辆。2014 年，上述 10 家企业共销售 864.12 万辆，占轿车销售总量的 69.82%。

大功率柴油机具有热效率高的显著优点，其应用范围越来越广，主要应用于船舶机械和电力工业等领域。近年来，我国大功率柴油机行业快速发展，大中型船用柴油机扩产能项目较多。尽管中国船用低速柴油机企业数量和生产能力有了显著提升，但是由于企业整体水平不高，核心二轮配套能力不足，导致近一半的主机从国外进口。根据《2011 年典型船舶配套设备本土化情况调查报告》数据，2011 年我国完工典型船舶主机的本土化装船率约为 50%。我国大功率柴油机的生产企业主要是中船集团和中船重工集团下的沪东重机、中船三井、大连船柴、宜昌船柴等企业。这些企业无论是在现有产能还是在生产经营业绩方面，目前仍在国内造机企业中名列前茅，由于产品系列完善，能较为全面地满足两大集团的造船需要。

燃油系统为内燃机提供燃料，是内燃机主要系统。我国燃油系统行业产品大部分与汽车配套，小部分与工程机械、农业机械、船舶等非道路用柴油机配套，电控柴油喷射系统产品为满足国 4 甚至国 5 车用柴油机配套。我国内燃机燃油系统的行业发展主要是随着国民经济的快速增长而增长，由载货运输和工程建设等领域对柴油机的强大需求所带动，其产销量的多少主要取决于汽车（特别是



以柴油机为动力的商用车)的生产与发展。2013 年全行业主要产品的销售收入为 1 326 687 万元。行业销售收入前 6 位的企业分别为无锡威孚高科技集团股份有限公司(简称“无锡威孚”)、山东鑫亚工业股份有限公司(简称“山东鑫亚”)、山东龙口龙泵燃油喷射有限公司、上海电装燃油喷射有限公司(简称“上海电装”)、南岳电控(衡阳)工业技术有限公司、中国重汽重庆燃油喷射系统公司(简称“重油”)。

随着汽车和内燃机工业的发展,汽车或内燃机用换热器产品也不断呈现出多元化。目前,在汽车或内燃机中使用的换热器产品有散热器、中冷器、机油冷却器、机油散热器、空调冷凝器和蒸发器、暖风散热器、EGR 冷却器、液压油冷却器。随着近几年各地众多中小型换热器厂的出现和外资企业的进入,我国现有从事内燃机换热器生产和技术服务的企业有 300 余家。其中,大型企业 8 家、中型企业 20 余家、小型企业 270 多家及三资企业和外商独资企业约 25 家,从业人员约 3 万人。行业前 10 的企业销售额占全行业的 50% 以上。全行业具有年产内燃机换热器 4 500 万只的生产能力。从整体看,我国车用换热器的技术水平、质量状况已基本能够满足国内配套需求。现有的车用散热器产品包括管片式铜换热器、管带式铜换热器、装配式铝换热器及钎焊式铝换热器等系列产品。

2016 年,内燃机行业活塞、活塞销市场需求约 29 329 万只。其中,主机市场 18 922 万只,售后市场 7 568 万只,出口市场 2 838 万只。活塞行业工业总产值约 69.98 亿元,占内燃机工业总产值的 1.89%。活塞销行业工业总产值约 25.29 亿元,约占内燃机行业工业总产值的 0.6%。2014 年活塞、活塞销产销量排名前 4 的企业为山东滨州渤海活塞股份有限公司(简称“滨州活塞”)、湖南江滨机器有限公司(简称“江滨活塞”)、上海科尔本施密特活塞有限公司(简称“上海 KS”)、株洲湘火炬机械制造有限责任公司(简称“株洲湘火炬”)。

此外,由于内燃机结构复杂,其零配件涉及多种材料和加工工艺,内燃机行业中还有众多的零部件企业,如内燃机排放后处理企业、曲轴连杆和高强度螺栓企业、滤清器企业、冷却水泵机油泵企业、气缸套活塞环企业等。

2. 研究院所和科研工作现状

从 1998 年开始,国家实施“科教兴国”战略,建设创新体系,加快科技成果转化。新阶段深化科技体制改革的目标是调整优化科技结构,整合科技资源,建立和完善中国特色国家创新体系。在深化科技体制改革方针政策的指引下,内燃机行业也进行了建立内燃机自主开发和创新体系的探索和实践。

我国内燃机行业科研院所主要有:上海内燃机研究所、天津内燃机研究所、洛阳拖拉机研究所、中国北方发动机研究所、大连机车研究所、中国船舶重工七



——研究所和无锡油泵油嘴研究所。另外,各个企业分别建有企业技术研究中心,如中国第一汽车集团技术中心、东风汽车研究院、潍柴技术中心、玉柴研究院等。从20世纪80年代开始,科研院所逐步转制和各大企业的技术中心进行合并重组。各科研院所转制进入大型企业集团后,密切结合所属公司整车产品平台的发展、迅速整合研发力量。调整发动机产品结构,研发全新换代产品以满足“重、中、轻、轿、微”各类汽车、各种拖拉机、非道路及船舶等配套动力需要。

从事基础研究、前沿技术研究的科研机构是我国科技创新体系的重要组成部分。中国成立以来,我国有多所高等院校的内燃机学科开展了大量的基础研究及前沿技术研究,为我国内燃机工业的科技进步培养了人才。为了进一步发挥高校在凝聚和培养优秀人才、多学科交叉创新和开展国际学术交流方面的优势,也为了稳定基础研究队伍和提高科技创新能力,国家从20世纪80年代中期开始建设一批国家重点实验室。目前,依托于高校建立的内燃机国家级重点实验室分别是天津大学内燃机燃烧学国家重点实验室和清华大学汽车安全与节能国家重点实验室。另外,一些有条件的高校还建有一些隶属于省部委的重点实验室。

国家重点实验室的主要任务是“根据国家科技发展方针,围绕国家发展战略目标,针对学科发展前沿和国民经济、社会发展及国家安全的重大科技问题,开展创新性研究。其目标是获得原始创新成果和自主知识产权”。国家重点实验室成立以来,按照国家赋予的职责定位,发挥学科优势,在内燃机领域努力提高研究水平,取得了多项理论创新和技术突破。国际学术交流十分活跃,加强了与国外高校、汽车和内燃机企业及科研机构的联系。通过研究人员参加国际学术会议、出国考察或短期工作,以及邀请国外专家讲学等多种方式进行国际学术交流。在国内多次主办或参与主办了内燃机国际学术会议。

3. 高校及人才培养现状

我国目前进行内燃机专业人才培养的高等院校共43个,研究院所3个。根据国务院学位办1997年的学科分类规定,内燃机专业属于动力工程及工程热物理一级学科中的动力机械及工程二级学科。国家为了促进高校教学和科研水平的提高,相继在一些高校确定了国家重点学科和各级的重点实验室,以增强为国民经济服务的能力。

以动力工程及工程热物理一级学科为国家重点学科的学校有清华大学、哈尔滨工业大学、上海交通大学、西安交通大学、浙江大学和华中科技大学。动力机械及工程二级学科为国家重点学科的学校有清华大学、上海交通大学、西安交通大学、天津大学、哈尔滨工业大学、北京理工大学。以轮机工程二级学科为国