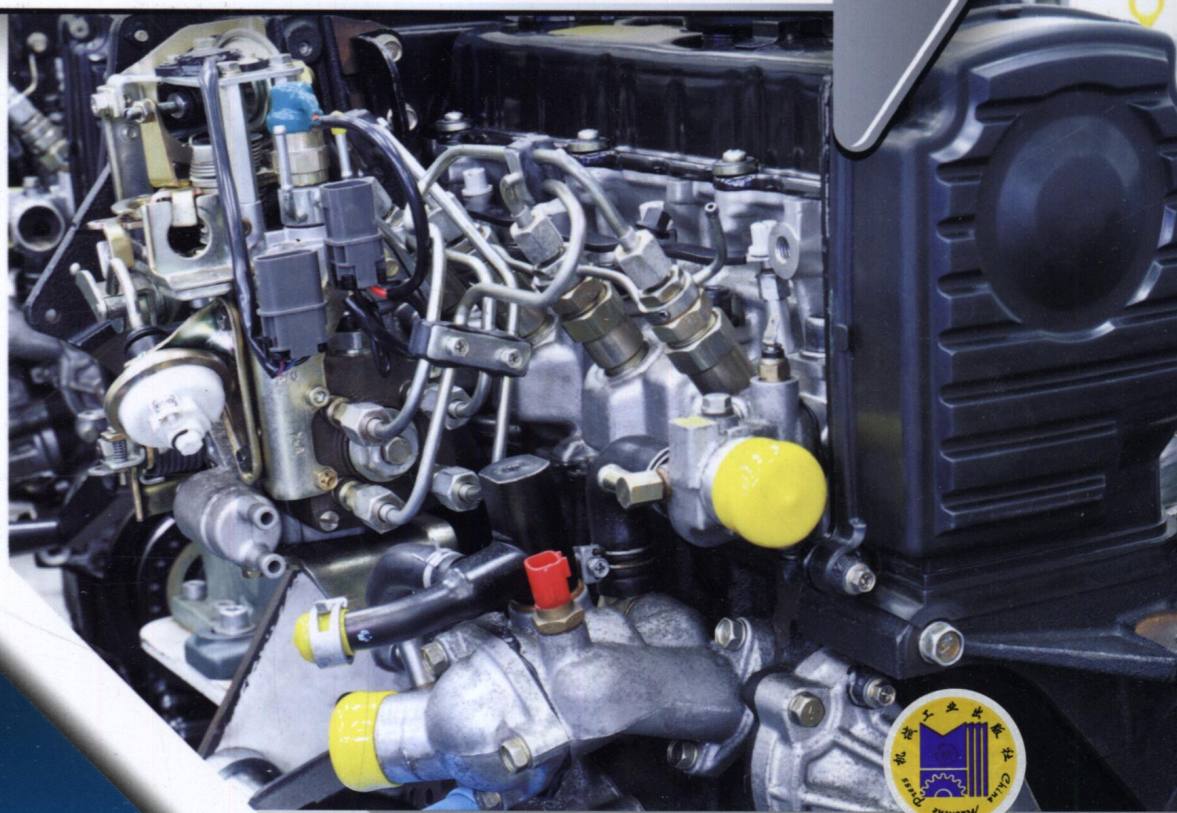


柴油机维修技能修炼丛书

商用车柴油机

检修从入门到精通

方俊 许立峰 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

柴油机维修技能修炼丛书

商用车柴油机检修 从入门到精通

方俊 许立峰 等编著



机械工业出版社

本书立足于柴油发动机电控系统最新类型和技术编写。全书注重理论与实践相结合,突出实用性。根据柴油发动机电控的特点,本书从系统的结构、组成、控制原理及主要传感器的工作原理来阐述,重点介绍了多种类型(共轨、单体泵、泵喷嘴)、不同型号(锡柴 CA6DF3 系列,康明斯 ISBe、ISMe、ISDe、ISLe 柴油机,大柴 DEUTZ 系列等)主流电控柴油机的结构原理、技术诊断检修,并附有相关车型、机型电控系统电路图及故障码列表;同时,本书增加了柴油机基本理论、结构等相关内容,方便读者自学、了解柴油机电控技术。本书图文并茂,通俗易懂,内容丰富,深入浅出,重点突出,准确简练,实践性强。

本书可作为汽车、内燃机等相关专业的教学参考书,也可作为汽车生产、售后服务等行业人员培训用书,其编排结构和内容布局亦非常适合相关人员自学。

图书在版编目(CIP)数据

商用车柴油机检修从入门到精通/方俊等编著.

—北京:机械工业出版社,2015.7

(柴油机维修技能修炼丛书)

ISBN 978-7-111-50337-8

I. ①商… II. ①方… III. ①商用车—柴油机—检修 IV. ①U469.07

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 110382 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:赵海青 责任编辑:赵海青

版式设计:赵颖喆 责任校对:闫玥红

封面设计:马精明 责任印制:乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2015 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·22 印张·2 插页·551 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-50337-8

定价:69.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

前 言

近年,随着经济的发展和国家对节能环保的日益重视,加之柴油发动机(以下简称柴油机)技术发展比较迅速,以商用车为代表的柴油发动机需求量日益增大。近十年以来,我国商用车保有量持续高速增长,一定意义上推动了物流行业的发展,成为国民经济的重要组成部分。

目前,柴油机生产、服务企业由于市场需求旺盛和产销量增加急需进行相关技术人员的培训,同时各大院校也相继开设柴油机或商用车相关专业或课程,此时出版一本较为系统的、具有一定覆盖面和代表性的柴油机电控系统检修方面书籍,非常有必要。

考虑到现在市场上所售有关柴油机参考书籍,或侧重基础理论,或只介绍某一具体机型,或者只侧重柴油机具体新技术类型,少有针对商用车主流车型、主流主机型号、主流技术,以及每一个主流机型具体电控系统的检修方法类的书籍。本书在范围上涵盖了一汽解放汽车有限公司无锡柴油机厂、道依茨一汽(大连)柴油机有限公司、玉柴集团、东风康明斯和潍柴动力发动机有限公司等国内著名柴油发动机生产厂家的产品,覆盖面较全、适用性较广;在排放标准上涵盖了以往售出车型和在售新车型的国Ⅲ、国Ⅵ机型;在柴油机燃油系统类型上包括了目前市场主流的单体泵技术、泵喷嘴技术和共轨技术。

本书在撰写过程中,注意吸收其他相关书籍的优点,充分考虑读者不同水平层次,由浅入深,理论联系实际,突出适用性、实用性和针对性,结构上主要包括以下几个方面。

第一部分为柴油机电控系统知识基础,同时也介绍了柴油机特性和工作原理等基础知识,以适应不同基础的读者。

第二部分主要介绍柴油机电控系统检测,包括具体机型电控系统每个相关元件的位置、结构、原理、电路、检测方法和故障表现等。书中大部分机型数据都经过作者详细测量,核实具体故障表现,内容可靠,图文并茂。读者可以方便快捷地查询相关电控系统元件的具体数据和该元件可能引起的故障表现。

第三部分主要介绍具体机型常见故障的诊断方法和维护保养说明,包括相关机型故障码列表等。这部分内容经过具体细化并认真分类,附在每一个具体机型后,读者可以有的放矢,快速查找相关具体机型的故障码、故障表现、故障排除方法和维护保养方法。

本书适合作为柴油汽车尤其是商用车售后服务和维修企业的学习、培训材料,也可以作为从事商用车后市场服务人员自学、深造的学习材料。同时,本书内容上由浅入深,涵盖机型范围广,适用于全国大部分商用车或主机厂家提供的产品,也可作为本科、高职院校汽车相关或商用车相关专业(或者课程)有关柴油机电控系统检测、维修的系统性学习教材。

在撰写本书的过程中,编者参考了部分汽车生产厂家、发动机主机厂家提供的产品手册及维修手册,也参考了部分其他相关书籍的内容。北京京北职业技术学院方俊、许立峰、邓国伟、胥健,以及石家庄信息工程职业学院李聚霞主要负责本书的撰写工作,同时北京京北职业技术学院蒋家旺、杨金霞、刘春迎、阮保荣、温淑霞等老师也提供了很多宝贵意见,在

此一并表示感谢。

由于水平有限，书中难免存在疏漏和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

本书受“北京高等学校青年英才计划项目(Bei jing Higher Education Young Elite Teacher Project)”资助，项目编号：YETP 1818。

编者

目 录

前言

第一章 柴油机概述	1
第一节 柴油机的产生	1
第二节 柴油机的特点	2
第三节 柴油机混合气形成与燃烧	6
第四节 柴油机增压	11
第二章 柴油机电控系统相关知识	14
第一节 柴油机柱塞喷油泵	14
一、柱塞泵泵油原理	14
二、径向柱塞泵	15
三、轴向柱塞泵	17
第二节 电控柴油机的类型和特点	18
一、脉动式电控喷油系统	19
二、脉动+时间控制式喷油系统	23
三、电控共轨燃油系统	25
四、电控柴油机的主要特点	31
第三节 电控系统控制内容与方式	33
一、燃油喷射控制	33
二、怠速控制	34
三、进气控制	34
四、增压控制	35
五、排放控制	35
六、起动控制	35
七、故障自诊断、失效保护	35
八、柴油机与变速器的综合控制	36
第四节 电控分配泵系统结构原理	36
一、电控分配泵喷射系统的典型构成	36
二、位置控制式电控分配泵系统	37
三、时间控制式电控分配泵系统	38
第五节 电控泵喷嘴系统结构原理	39
一、泵喷嘴工作原理	39
二、电控泵喷嘴结构	39
第六节 电控共轨燃油系统	40
一、系统组成	41
二、油路及元件	42
三、工作原理	46



四、喷油器	46
五、供油泵	48
第三章 锡柴(共轨)电控系统检修	50
第一节 发动机与系统概述	50
第二节 系统各传感器检修	59
一、发动机转速传感器与凸轮轴位置传感器	59
二、冷却液温度传感器	64
三、进气压力(增压压力)传感器	66
四、进气温度传感器	68
五、共轨压力传感器	70
六、加速踏板位置传感器(电子油门)	73
第三节 系统各执行器检修	75
一、喷油器电磁阀	75
二、油泵压力控制阀(燃油计量单元、高压油泵电磁阀、调压阀)	80
三、进气预热继电器(空气加热器)	83
第四节 ECU 检修	84
一、外形结构	84
二、ECU 端子含义	85
三、ECU 安装和储存	88
第五节 锡柴国Ⅲ系列机型维护保养内容及周期	88
第六节 锡柴电控共轨国Ⅲ机型故障诊断、检修与案例	89
一、电控共轨系统故障检修注意事项	89
二、电控系统诊断的一般原则	90
三、常见故障诊断与排除方法及跛行回家模式	91
四、CA6DF 系列闪码和故障码含义	92
五、锡柴(博世共轨燃油电控系统)故障检修示例	96
第四章 潍柴(共轨)电控系统检修	100
第一节 发动机与系统概述	100
第二节 电控系统简介	109
第三节 潍柴电控系统故障诊断、检修与案例	122
一、低压油路建议	122
二、使用、维护、保养	124
三、故障案例与维修	132
第五章 大柴 DEUTZ 系列(单体泵)电控系统检修	138
第一节 发动机与系统概述	138
第二节 电控单体泵供油系统检修	147
一、低压油路	147
二、高压油路	150
三、燃油回流	150
四、燃油喷射模块	150
第三节 ECU 检修	154



一、外形结构	154
二、环境要求	155
三、工作电压	155
四、ECU 功能	156
五、针脚定义	157
六、注意事项	160
第四节 电控系统检修	160
一、检测注意事项	160
二、曲轴位置传感器与凸轮轴位置传感器	161
三、冷却液温度传感器	163
四、燃油温度传感器	165
五、进气压力(增压压力)传感器	166
六、进气温度传感器	168
七、机油压力传感器	169
八、加速踏板位置传感器	171
第五节 DEUTZ 系列电控系统故障诊断、检修与案例	173
一、故障诊断分析	173
二、故障码	174
三、电控发动机故障检修注意事项	183
四、故障排除步骤和技巧	184
五、故障案例	186
第六章 康明斯 ISBe 柴油机电控系统检修	188
第一节 ISBe 发动机与电控高压共轨系统概述	188
第二节 ISBe 柴油机各传感器检修	205
一、冷却液温度传感器	205
二、机油温度传感器	207
三、进气歧管空气温度传感器	209
四、燃油温度传感器	211
五、油轨压力传感器	214
六、增压压力(进气压力)传感器	217
七、机油压力传感器	220
八、发动机转速传感器	222
九、凸轮轴位置传感器	226
十、加速踏板位置传感器	228
第三节 ISBe 柴油机各执行器检修	231
一、喷油器	231
二、电子燃油控制执行器	234
三、进气加热器	236
四、燃油加热器	238
第四节、 ISBe 发动机维护保养内容及周期	240
一、保养日程表	240
二、每天或每周的保养项目	241



三、每隔 12000km 或 3 个月的保养项目	242
四、每隔 48000km 或 1 年的保养项目	243
五、每隔 96000km 或 2 年的保养项目	243
六、每隔 240000km 或 4 年的保养项目	243
第五节 ISBe 发动机故障的检修	244
第七章 康明斯 ISMe 系列(泵喷嘴)电控系统检修	254
第一节 康明斯 ISMe 发动机与控制系统概述	254
第二节 ISMe 柴油机燃油电控系统检修	264
一、发动机位置传感器	264
二、加速踏板位置传感器	266
三、泵喷嘴喷油器	268
四、燃油含水传感器	270
五、燃油进油阻力传感器	271
六、断油电磁阀	273
七、进气歧管压力传感器	273
八、进气歧管温度传感器	275
九、废气旁通阀	276
十、冷却液温度传感器	277
十一、机油压力传感器	278
十二、机油温度传感器	280
十三、车速传感器	281
第三节 康明斯 ISM 系列发动机故障码	282
第八章 康明斯 ISLe、ISDe 系列电控系统检修	288
第一节 ISLe 系列机型	288
一、机型外观	288
二、机型特点	293
三、机型参数	293
四、特性曲线	294
五、机型油路示意	294
六、机型电控系统电路	295
七、故障诊断与排除	295
八、康明斯 ISLe 系列发动机保养	300
九、ISLe 发动机通用技术规范	301
第二节 ISDe 系列机型	303
一、机型外观	303
二、机型特点	307
三、燃油系统特点	307
四、机型参数	308
五、机型油路示意	309
六、机型电控系统电路	309
七、发动机电控系统相关元件位置	309
八、ISDe 发动机通用技术规范	312



第三节 ISLe、ISDe 系列机型故障码	315
一、故障码列表	315
二、常见故障码分析	328
三、典型案例分析	333
附录 康明斯常用英文缩写	339
参考文献	340

第一章 柴油机概述

第一节 柴油机的产生

19 世纪后半期，伴随着蒸汽机的产生和广泛应用，诞生了世界首辆汽车。第一辆汽车是蒸汽汽车，其动力源为一台蒸汽机。蒸汽机是历史上第一种广泛应用的热机。热机是将燃料的化学能转化成内能，然后再将内能转化成机械能的动力机械，如蒸汽机、汽轮机、燃气轮机、内燃机和喷气发动机等。

1892 年，德国的工程师鲁道夫·狄塞尔 (Rudolf Diesel, 1858—1913) 提出了一种新型内燃机的想法并申请了专利，即在压缩终了将液体燃油喷入缸内，利用压缩终了气体的高温将燃油点燃，它可以采用大的压缩比和膨胀比，没有爆燃，热效率可以比当时其他的内燃机高 1 倍。

柴油相对于汽油来说性质非常稳定，但比较难于点燃。最初，柴油只能作为石油炼制的废弃物予以抛弃。但柴油稳定的特性却恰恰适合于压燃式内燃机，在压缩比非常高的情况下，柴油也不会出现爆燃，这正是狄塞尔所需要的。1892 年，狄塞尔试制成功了第一台压燃式内燃机，也就是柴油机，如图 1-1 所示。

柴油机的最大特点是省油、热效率高，但狄塞尔最初试制成的柴油机却很不稳定。1894 年，狄塞尔改进了柴油机并使其能运行 1min 左右，尽管此时柴油机运行还并不稳定，但狄塞尔却迫不及待地把它投入了商业生产。这位只了解技术但并不了解商业运作的发明家犯下了一生中最大的一次错误，他急于推向市场的 20 台柴油机由于技术不过关，纷纷遭到了退货。这使得狄塞尔的晚年陷入了极端贫困。

现在看来，柴油机最大的优势为压缩比大，但这也带来了技术上的难题，即柴油高压喷射的问题。在狄塞尔所处年代的技术条件下，将柴油加压到柴油机运行可接受的压力的装置是不可能出现的，所以狄塞尔只能在空气压缩上做文章，造成了柴油机的笨重、复杂和不稳定。从柴油机发明至今，燃油喷射压力由几十个大气压提升到高于两千个大气压，燃油喷射压力的每一次提高都伴随着柴油机性能的飞跃。

现在人们越来越发现柴油机的无穷魅力：高转矩、高寿命、低油耗、低排放，柴油机成为解决汽车能源问题最现实和最可靠的手段，100% 的重型车和近 30% 的乘用车都在使用柴

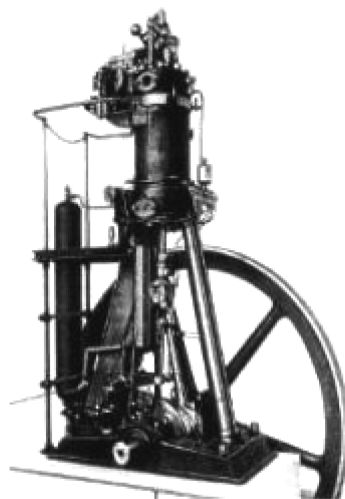


图 1-1 狄塞尔的柴油机



油机。可以让狄塞尔感到欣慰的是，每当打开这些车的发动机舱盖，都会看见一个名字——Diesel。

第二节 柴油机的特点

1. 柴油燃料特点

对柴油机来说，与其性能有关的燃料特性是自燃温度、馏程、黏度、含硫量等，其中，以自燃温度和低温流动性(凝点)影响最大。

(1) 自燃温度和自燃性 柴油在无外源点火的情况下，能够使柴油自行着火的最低温度称为自燃温度。柴油能够自行着火的性质，称为柴油的自燃性，柴油的自燃性用十六烷值衡量。十六烷值高的柴油，其自燃温度低，滞燃期短，有利于发动机的冷起动，适合于高速柴油机使用，但十六烷值过高的柴油在燃烧过程中容易裂解，造成排气过程中的炭烟。

柴油的自燃温度低于汽油，因而决定了柴油机采用压燃的可能性。

(2) 低温流动性(浊点与凝点) 温度降低时，柴油中所含的高分子烷族烃(如石蜡)和燃料中夹杂的水分开始析出并结晶，使原来呈半透明状的柴油变得浑浊，达到这一状态的温度值就是柴油的浊点。当温度再降低时，柴油即完全凝固，此时的温度称为凝点。

我国的国家标准中对轻柴油的标号，即是按照柴油的凝点来规定的。例如，国产0号柴油凝点为 0°C ，适合夏季使用；-20号柴油凝点为 -20°C ，适合冬季或寒冷地区使用。选用轻柴油要根据不同的使用地区和季节条件。

(3) 挥发性 挥发性表示液体燃料汽化的倾向，与燃料的馏分组成、蒸气压、表面张力，以及汽化潜热等有关。燃料的挥发性直接影响油气混合气的形成过程，因此对发动机的进气、喷油、燃烧及做功影响十分显著，一定意义上也决定了发动机的结构。

柴油的挥发性不如汽油，这决定了柴油机的混合气形成必须依赖高喷射压力的喷油器。

(4) 抗爆性 燃料对于发动机发生爆燃的抵抗能力称为燃料的抗爆性。它是燃料一项十分重要的指标，燃料的化学成分不同，燃料的抗爆性差别很大。

汽油的抗爆性是以辛烷值来表示的，我国车用汽油的代号就是以辛烷值命名的。柴油的抗爆性能优于汽油，由此我们可以设计压缩比相对较大的柴油机以满足压燃式发动机经济性的要求。

总而言之，柴油自燃温度低于汽油，同时稳定性(不易爆燃)优于汽油，可以采用较大的压缩比，因此具有了压燃的理论基础，但柴油挥发性低于汽油，均匀混合气形成先天困难，因此必须采用特殊的方式帮助混合。

2. 柴油机的结构及运行特点

汽油和柴油作为燃料的性质差异决定了汽油机和柴油机在混合气形成、着火和燃烧上的差异，从而也决定了柴油机的结构和运行的一些特点。为说明方便，我们将柴油机与较为熟悉的汽油机进行比较。

(1) 混合气形成 混合气的形成有空间雾化混合和油膜蒸发混合两种基本方式。空间雾化混合是将柴油高压喷向燃烧室空间，形成雾状，与空气进行混合。为了使混合均匀，要求喷出的燃油与燃烧室形状相配合，并充分利用燃烧室中空气的运动。油膜蒸发混合是将大部分柴油喷射到燃烧室壁面上，形成一层油膜，受热蒸发，在燃烧室中强烈的旋转气流作用



下，燃料蒸气与空气形成均匀的可燃混合气。在汽、柴油实际喷射中，两种混合方式都兼而有之，只是多少、主次有所不同。

汽油蒸发性较好，主要依靠蒸发，可以采用缸外混合的方式，混合气形成时间较为充分。汽油机吸气行程吸入的是汽油与空气的均质混合气。

柴油蒸发性差，混合气形成主要依靠雾化，同时对混合环境温度要求较高，必须在温度较高的气缸内混合才能保证混合的有效性，所以柴油机的混合气形成发生在压缩行程的末尾，此时缸内压力较高，为了保证柴油雾化的效果，柴油喷射压力必须足够高。为了使混合均匀，要求喷出的燃油与燃烧室形状相配合，并充分利用燃烧室中空气的运动，所以柴油机燃烧室形状甚至进气道都不同于汽油机。

同时，柴油喷入气缸内立即混合并被炙热的压缩空气点燃，因而柴油混合气形成时间非常短暂，混合气亦不如汽油均匀。这一点决定了柴油机最高转速不如汽油机高，因为要为混合气形成留下更充分的时间。

柴油机没有浓混合气，更谈不上较长时间内形成理想均质混合气，这造成了柴油机无法如汽油机一样加装三元催化器以改善排气，同时也造成了柴油机和汽油机的排气污染成分大不相同。

柴油机的这种混合气形成方式决定了其某些结构和运行特点。柴油蒸发不良，为了更好的雾化必须采用较高的喷油压力，所以柴油机的燃油升压和喷射机构远较汽油机庞大复杂。

(2) 发火方式 汽油机采用点燃式，因为汽油自燃温度较高，若压燃必须采用比柴油机更高的压缩比，但此时汽油机会发生剧烈爆燃，无法平稳运行。柴油自燃温度较低且稳定性好，可以采用压燃的方式。从结构上看，柴油机较汽油机而言，不设点火系统，结构上有所简化，但压燃式的点火方式决定了柴油喷入气缸内一遇炙热空气后立即燃烧，决定了柴油机一边喷油、一边混合、一边燃烧、一边做功的工作方式。这种工作方式不同于汽油机先混合、再吸气、再压缩、再混合、再点火、再燃烧、再做功的工作方式。前者喷油后各种过程交织混合在一起，其过程不再能灵活控制。后者各个过程工作步骤层次分明，易于控制。例如，柴油机不可能有点火正时控制的功能，柴油机和汽油机电控的方式、侧重点和难度也有不同。

(3) 压缩比 由于柴油机采用压燃方式，要求柴油机压缩比更大，这就决定了柴油机所受的机械负荷和热负荷大于汽油机，要求柴油机的机体结构强度大于汽油机。显而易见，这就解释了为什么一般柴油机比汽油机质量和体积更大，噪声和振动也较大。具体对比见表 1-1。

表 1-1 柴油机与汽油机的比较

项 目 \ 分 类	汽 油 机	柴 油 机
点火方式	点燃	压燃
混合气形成方式	缸外混合	缸内混合
混合气质量	均匀	不均匀
燃烧	规律燃烧	不规律燃烧
最高转速/(r/min)	4000~10000	1500~5000
过量空气系数	0.7~1.3	>1



(续)

项 目 \ 分 类	汽 油 机	柴 油 机
压缩比	8~11	14~24
压缩压力/MPa	1~1.6	2.5~4.5
压缩温度/°C	350~450	750~900
最高燃烧压力/MPa	3~5	6~8
最高燃烧温度/°C	2500	2000
燃油消耗率/(g/kW·h)	240~430	160~340
热效率	<30%	<45%

3. 柴油机技术发展

由上述可知，柴油机压缩比大，所以热效率高，因此较汽油机省油，但由于柴油机要求燃油喷射压力高，混合燃烧做功过程组织困难，故柴油机发展一直滞后于汽油机。

客观地讲，柴油机确实存在着不少缺陷，其中最大的问题就是重量。柴油机气缸压力比汽油机高很多，因而柴油机的缸体要比汽油机粗壮许多。通常，柴油机的单位功率重量为汽油机的1.5~3倍。柴油机压缩比高，爆发压力也高，可达汽油机的1.5倍左右(不增压的情况下)。为承受高温高压，就要求结构结实，所以柴油机最初只是作为一种固定式发动机使用。在同等排量下，柴油机的输出功率约为汽油机的1/3。因为柴油机把燃料直接喷入气缸，不能充分利用空气，相应功率输出低。假设汽油机的空气利用率为100%，那么柴油机仅为80%~90%。柴油机功率输出小的另一原因是压缩比大，发动机的摩擦损失比汽油机大。这种摩擦损失与转速成正比，不能期望通过增加转速来提高功率。转速最高的汽油机可达10000r/min以上(如赛车发动机)，而柴油机的最高转速却只有5000r/min。同时，早期的柴油机为压缩空气所使用的空气压缩机质量也非常大，这就使得柴油机整体上十分笨重，极不适应当时骨架还很娇小的汽车。

但柴油机拥有汽油机不可比拟的转矩优势，在功率相同时柴油机又拥有很大的燃油经济性优势，这就让人们并没有放弃它。

1909年，奔驰公司的普劳斯珀尔·劳兰治(Prosper L'Orange)申请了带预燃室的柴油机的专利。这种柴油机带有一个半球形状的预燃室，预燃室通过一个小通道与主燃烧室相连，如图1-2所示。其开始部分的燃烧是在预燃室内进行的，因为其中空气量的限制，只有少部分燃油燃烧，温度、压力上升使未燃烧柴油充分雾化并被高速排入主燃烧室。这种方式大大提高了柴油机油气混合气形成过程的效率，并且结构简单、成本很低，至今一直在沿用。

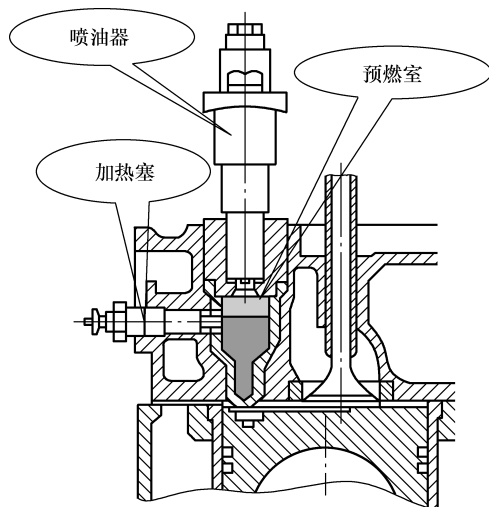


图 1-2 预燃室原理



1923年，第一台装载在道路货车上的柴油机出现在奔驰的产品序列里，燃油消耗率降低25%。

柴油机技术的另一个早期发展方向是直接喷射，通过一个喷嘴直接将柴油喷射到气缸内，借助较高的喷射压力实现柴油的雾化。

1924年，美国的康明斯公司正式采用了喷油器，这一发明有效地降低了柴油机的重量，同年在柏林汽车展览上MAN公司展示了一台装备柴油机的载货汽车(图1-3)，这是第一台装有柴油机的汽车。不久以后，博世公司开始正式生产标准泵喷油器。正是由于柱塞泵的普及，才为柴油机安装在汽车上提供了基础。

1926年，MAN公司推出功率110kW，负载10t的柴油载货汽车，搭载直喷柴油机，如图1-4所示。

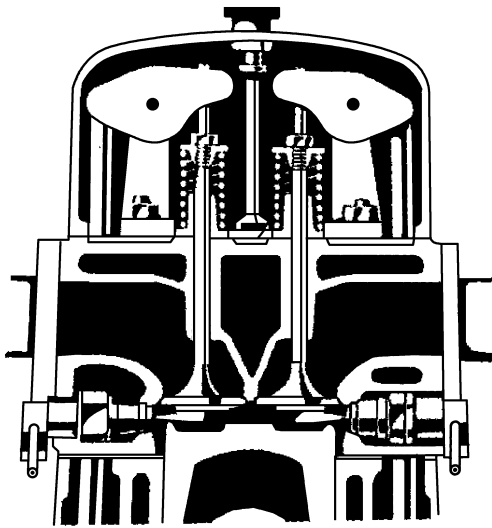


图 1-3 直喷柴油机(MAN,1924)



图 1-4 柴油动力载货汽车(MAN,1926)

1927年，MAN公司制造了废气涡轮增压器，可以极大地提高柴油机的进气量，从而增大喷油量以提高发动机功率。

1936年，奔驰公司生产出了第一台柴油机轿车260D，这时距狄塞尔去世已经23年。

20世纪50年代以后，两大阵营在坦克柴油机功率方面的军备竞赛，无形中大大加速了柴油机技术的发展。

在这个时期，康明斯公司研制成功完全不同于柱塞泵的PT喷油系统，从而大规模地提高了喷油压力。

如果要把柴油机引入轿车领域，那么必须解决柴油机的排放和振动问题。实际上，柴油机排气中CO和HC比汽油机少得多，NO_x排放量与汽油机相近，只是排气微粒较多，这与柴油机燃烧机理有关。

经过研究发现：柴油机喷油规律、喷入燃料的雾化质量、气缸内气体的流动，以及燃烧室形状等均直接影响燃烧过程的进展及有害排放物的生成。

除了靠提高喷油压力和柴油雾化效果来改善排放，使用预喷射也是行之有效的方法。预喷射



就是在主喷射之前的某一时刻精确地喷入 1~2mL 的预喷油量，从而使燃烧室被加热，缩短了随后进行的主喷射的着火延迟期。于是温度与压力上升减缓，降低了燃烧噪声水平和 NO_x 。

20 世纪 70 年代以后，博世公司把电控汽油机喷射技术引入柴油机，从而让柴油机的发展和使用进入了一个新纪元。

最先出现的是电控喷油泵技术，而后又发展出了电控泵喷嘴技术和高压共轨喷射技术，后两种技术是目前最主要的柴油机电控喷射技术。其中，电控泵喷嘴技术的喷油压力非常高，可以达到 250MPa，并且泵和喷嘴装在一起，所以只需要很短的高压油引导部分。泵喷嘴系统也可以实现很小的预喷量，喷油呈三角形，并采用了分段式预喷射，很符合发动机的要求（大众公司的 TDI 发动机就是使用这种技术）。但电控泵喷嘴技术的喷油压力受发动机转速影响，使用蓄压系统的高压共轨技术可以解决这个问题，但它的喷油压力低于泵喷嘴系统，约为 160MPa。有些公司看中了高压共轨技术对任意缸数的发动机喷油压力调节很宽泛的特点，对其大加采用（最早使用高压共轨的轿车是阿尔法·罗密欧 156 和奔驰 C 级车）。

第三节 柴油机混合气形成与燃烧

1. 柴油机混合气形成

柴油机在混合气形成上与汽油机有较大差异，这些差异在工作过程、结构性能等方面的体现相当显著。

由不同的喷雾及气流组织形式组成了各种混合气形成方式，其基本形式可分为空间雾化混合和油膜蒸发混合。空间雾化混合方式将燃油喷射到气缸空间，依靠燃油与空气的相互碰撞、打碎、蒸发汽化与空气混合，要求喷雾尽量喷得细，可以使细小油滴更快蒸发，有利于动力性和经济性的提高。混合气的形成主要取决于喷雾特性，当然，气流运动也起重要的辅助作用。油膜蒸发混合方式为燃油直接喷射到燃烧室表面（活塞顶），利用空气强烈的涡流作用使燃油表面展开形成较薄油膜层，然后受热后层层蒸发成油气，进而扩散与空气混合。这种混合方式应用于小型半开式燃烧室的高速机。

在车用柴油机中，两种混合气形成方式均有，但以空间雾化混合为主。只有采用球形燃烧室的柴油机，才以油膜蒸发混合方式为主。两种方式对比见表 1-2。

表 1-2 柴油机两种混合气形成方式对比

空间雾化混合	油膜蒸发混合
绝大部分燃料喷入燃烧室空间内	利用强烈气流旋转涂布在燃烧室壁上
燃料在空气中呈细小液滴	燃料在壁面呈均匀油膜
细小液滴以液相与空气混合，混合气极不均匀	油膜蒸发，燃油蒸气与空气混合，混合气较均匀
大量液滴周围同时产生燃烧，燃烧点多、面广	混合气分层燃烧，慢而有序
初期燃烧快，生热率高，之后逐渐减慢	受油膜蒸发率影响，燃烧生热率先低后高

由于柴油不易蒸发及柴油机混合气形成时间极短的缘故，要形成柴油机混合气一般都需要组织缸内气流，因而柴油机混合气形成要依靠三方面的相互作用：①燃烧室的结构；②燃料的喷雾；③缸内适当的空气运动。



缸内空气气流组织形式存在如下几种类型，它们的设计依据都是促进或配合混合气形成和燃烧。

(1) 进气涡流 在空气进入气缸的过程中借助于它所具有的动能形成绕气缸中心线旋转的运动称为进气涡流。四冲程发动机常采用带导气屏的进气阀、切向进气道、螺旋进气道；二冲程发动机采用具有切向倾斜角的进气口。

螺旋进气道的气道在气门座上方呈螺旋状，偏离气缸中心，气流形成绕气门中心的旋转运动。切向进气道的气道母线与气缸相切，气流进入气缸后形成涡流。

(2) 挤压涡流 利用活塞顶部的特殊形状，在压缩行程中和膨胀行程初期，使空气在燃烧室中产生强烈的旋转，出现在上止点附近，持续时间短。活塞上行时，产生挤压涡流，如图 1-5a 所示；活塞下行时，燃烧室的气体又会形成向外的涡流，称为逆挤压涡流，如图 1-5b 所示。转速越高涡流越强，对油束的吹散作用越大。空气涡流能加速火焰的传播，使燃烧速率提高。

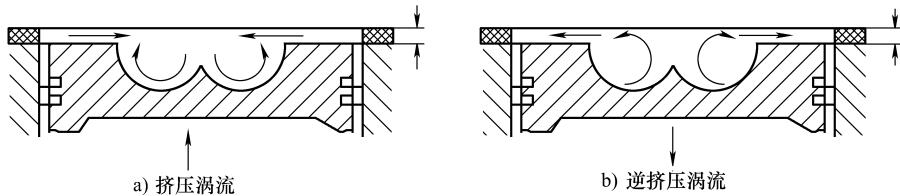


图 1-5 挤压涡流

(3) 压缩涡流 在压缩行程中，气缸中空气被活塞挤压经过通道进入涡流室中，形成强烈的有规律的旋转运动，称为压缩涡流(图 1-6)。其燃烧室(涡流室式燃烧室)分主、副(涡流室)两室。

(4) 燃烧涡流 利用在预燃室中部分燃油燃烧产生的能量，使预燃室中的混合气高速喷入主燃室，造成主燃室空气的强烈涡动称为燃烧涡流(图 1-7)。其燃烧室(预燃室式燃烧室)分为主、副(预燃室)两室。

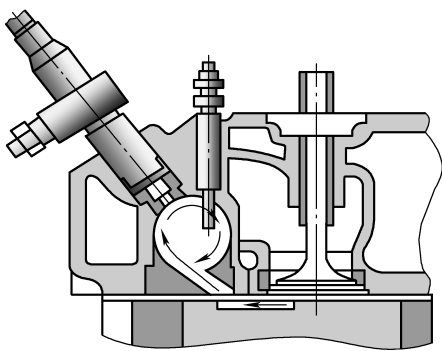


图 1-6 涡流室压缩涡流的产生

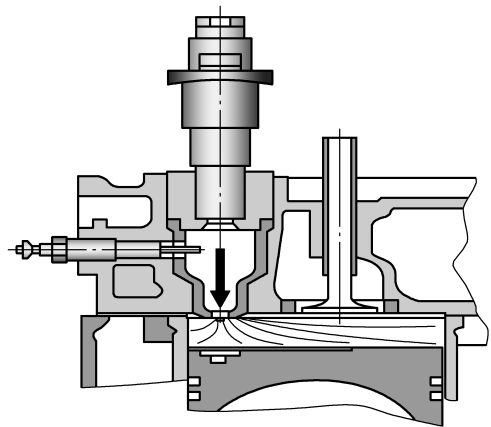


图 1-7 预燃室燃烧涡流的产生

由上可以看到缸内气流的各种组织形式均与柴油机本身，尤其是燃烧室的构造有关，燃烧室的类型和形状必须与喷油和缸内气流相互配合。