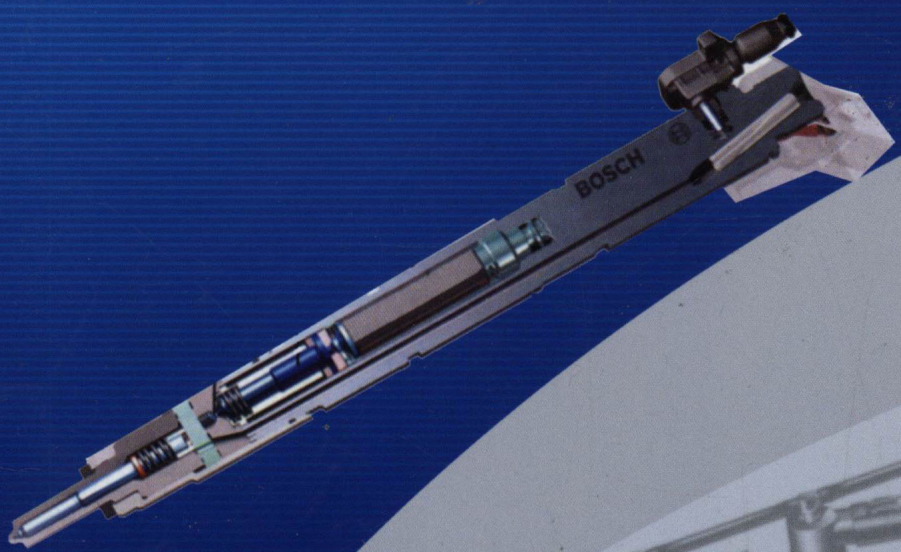
汽/车/技/术/与/维/修/彩/色/图/解/系/列/丛/书

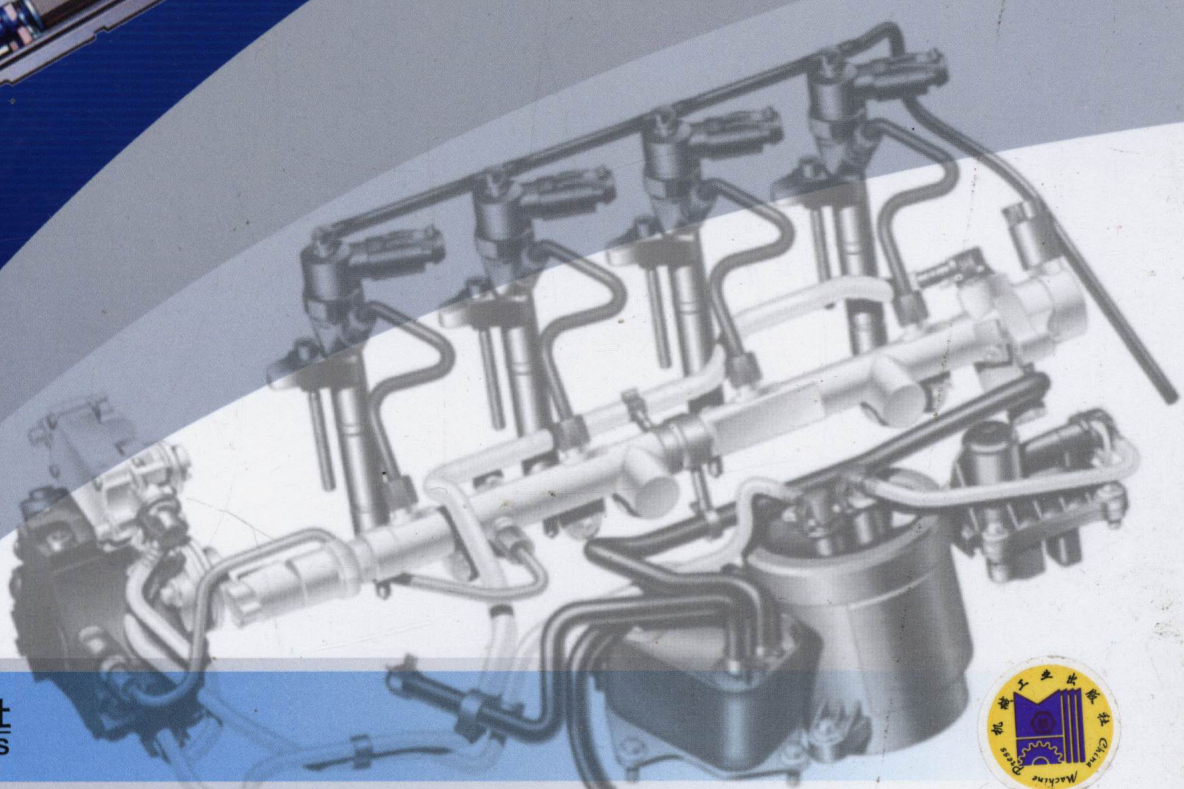
柴油机电控高压喷油系统结构与维修彩色图解

CAISE TUJIE

CHAIYOUJI DIANKONG GAOYA PENYOU XITONG JIEGOU YU WEIXIU

范明强　范毅峰◎主编





机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

需要全本请访问 www.ertongbook.com

汽车技术与维修彩色图解系列丛书

柴油机电控高压喷油系统结构与维修彩色图解

范明强　范毅峰　主编

机械工业出版社

本书深入浅出地介绍了最新的电控高压共轨喷射、电控分配泵和电控泵喷嘴等系统的液压和电子控制原理、故障诊断和维修技术和经验。

本书可供从事发动机及燃油喷射系统产品开发的工程技术人员、维修人员学习，也可供大专院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目（CIP）数据

柴油机电控高压喷油系统结构与维修彩色图解/范明强，范毅峰主编．—北京：机械工业出版社，2012.12

（汽车技术与维修彩色图解系列丛书）

ISBN 978-7-111-39934-6

Ⅰ．①柴…　Ⅱ．①范…②范…　Ⅲ．①汽车－柴油机－喷油泵－结构－图解②汽车－柴油机－喷油泵－维修－图解　Ⅳ．①U464.172-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 234465 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：齐福江　　责任编辑：齐福江

版式设计：霍永明　　责任校对：于新华

封面设计：路恩中　　责任印制：杨　曦

保定市中画美凯印刷有限公司印刷

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

210mm×285mm · 6.5 印张 · 219 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-39934-6

定价：49.80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

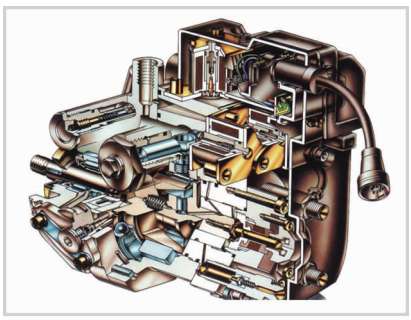
社服务中心：（010）88361066　　教 材 网：http：//www.cmpedu.com

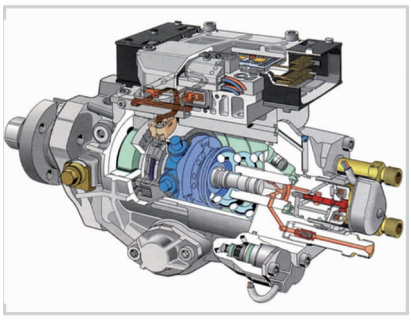
销 售 一 部：（010）68326294　　机工官网：http：//www.cmpbook.com

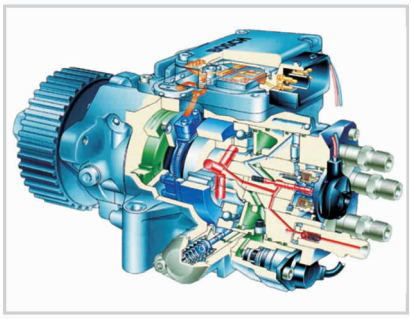
销 售 二 部：（010）88379649　　机工官博：http：//weibo.com/cmp1952

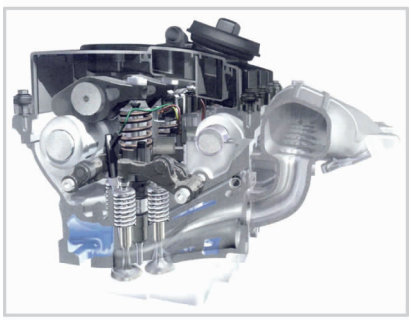
读者服务部：（010）88379203　　封面无防伪标均为盗版

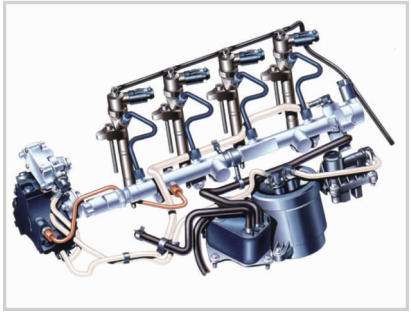
前言
foreword











现代柴油机早就抛弃了以往笨重、噪声响、振动大和冒黑烟的令人厌烦的形象，已成为轻声无烟的清洁动力，广泛应用于商用车和乘用车。现代商用车几乎全部采用柴油动力，即使是乘用车，尤其是以往汽油动力占有绝对优势的轿车也越来越多地应用柴油机作为动力，现在欧洲柴油轿车的市场占有率已超过 50%，家庭第二辆用车几乎都购买柴油轿车，甚至在高档轿车，特别是运动型 SUV 车上，现代清洁柴油机以高转矩、机动性好和低油耗而博得了人们的青睐。

1989 年开始在轿车发动机上大量采用直接喷射是柴油机发展史上的一个重要里程碑。Audi 100 轿车上第一台涡轮增压直喷式（TDI）柴油机装备了博世（Bosch）公司生产的电控轴向柱塞式分配泵。直到 20 世纪 90 年代末，又推出了电控高压直接喷射系统：1996 年的电控径向柱塞式分配泵，1997 年的电控共轨喷油系统，1998 年的电控单元喷油器系统（UIS），亦即众所周知的“泵喷嘴”。

今后，现代清洁柴油机的市场仍将继续拓展，汽车维修人员将会越来越多地碰到现代电控高压柴油喷射系统，这样就为汽车维修工作增添了一些特有的新内容。为了准确无误地诊断故障和专业化的维修，汽车维修人员必须懂得这些新颖的电控高压柴油喷射系统的原理、结构和功能，特别是电子控制技术，并掌握其实际操作和故障诊断及其维修技能。

本书主编长期从事汽车发动机及其燃油喷射系统的研究和产品开发，主持和参加过多款轿车、商用车发动机（汽油机和柴油机）和燃油喷射系统的产品开发工作，特别是参加主持“八五”国家重点科技攻关项目——汽车发动机电子控制技术，荣获国家计委、国家科委和财政部联合颁发的国家级重大科技成果奖。多年来，为汽车维修行业培训了大量的汽车发动机电子控制系统维修人员，并亲自动手修复多款疑难杂症轿车的电控系统，积累了较为丰富的实践经验和技术资料。

本书深入浅出地介绍现代乘用车和商用车上广泛应用的最新的电控高压共轨喷射、电控分配泵和电控泵喷嘴等电控高压柴油喷射系统的原理和结构，包括各种喷射系统液压和电子控

需要全本请访问 www.ertongbook.com

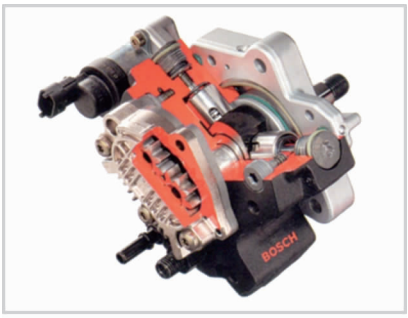
制原理、故障诊断和维修技能等，精美清晰的彩图将有助于读者更好地理解，许多宝贵的实际操作经验将在故障诊断和维修工作中给读者以更多的帮助。

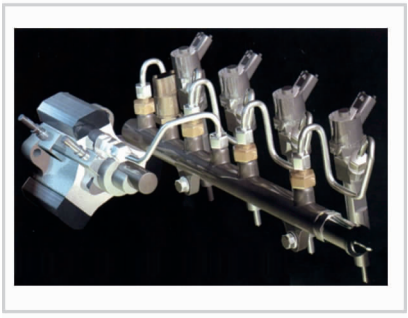
本书由范明强教授级高级工程师和范毅峰工程师主编，参加编写工作的还有全逸敏、范明琦、刘斌和刘荣权等工程师。

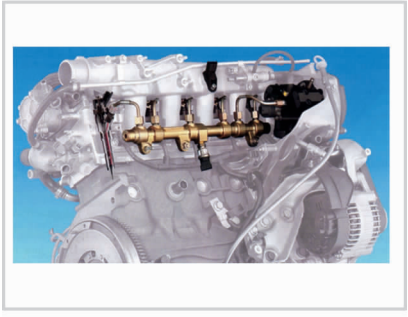
书中内容除了来自编者多年来在实际工作中积累的经验和技术资料外，还参考了很多国内外已公开发表的有关汽车发动机及燃油喷射系统方面的文献资料，在此向原作者一并表示感谢。

希望本书能对国内汽车及维修行业广大工程技术人员和大专院校师生的实际工作和学习有所帮助，并对我国汽车工业的发展有所贡献，也竭诚欢迎广大读者对本书的不足之处予以指正。

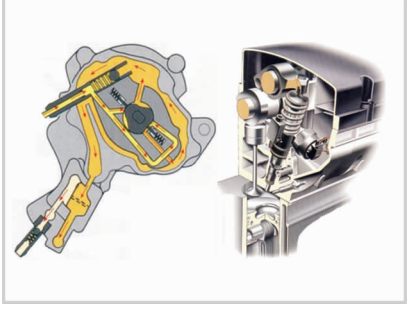
编　者











目录
contents

前言

第一章　燃油喷射及其重要性 …… 1

一、概述 …… 1

二、着火滞后 …… 3

三、预喷射 …… 3

四、主喷射 …… 3

五、后喷射 …… 3

第二章　电控高压喷油系统 …… 5

一、电控高压喷油系统的演变 …… 5

二、电控共轨喷油系统的发展历史 …… 5

三、电控共轨喷油系统的优点 …… 6

第三章　博世电控共轨喷油系统 …… 7

一、低压油路 …… 7

二、高压油路 …… 8

三、电控喷油器 …… 11

四、博世电控共轨喷油系统型谱 …… 17

五、博世共轨喷油系统的实际操作 …… 18

第四章　德尔福电控共轨喷油系统 …… 24

一、电磁阀控制式喷油系统 …… 24

二、压电控制式喷油系统 …… 27

三、调节策略 …… 31

四、德尔福共轨喷油系统的实际操作 …… 32

第五章　西门子电控共轨喷油系统 …… 36

一、燃油回路 …… 36

二、喷油器 …… 37

三、电控单元 …… 39

四、西门子共轨喷油系统的发展 …… 41

五、西门子共轨喷油系统的实际操作 …… 41

第六章　电控泵喷嘴喷油系统 …… 43
一、泵喷嘴及其优缺点 …… 43
二、燃油供应 …… 44
三、泵喷嘴的驱动 …… 45
四、电磁阀式泵喷嘴单元的结构和工作原理 …… 46
五、压电式泵喷嘴单元的结构和工作原理 …… 47
六、电控泵喷嘴系统的前景展望 …… 50
七、电控泵喷嘴系统的实际操作 …… 51
第七章　电磁阀控制式电控分配泵 …… 56
一、电控分配泵的发展 …… 56
二、博世 VP44 径向柱塞电控分配泵 …… 57
三、博世电控分配泵的实际操作 …… 60
四、德尔福 EPIC 电控分配泵 …… 64
五、德尔福 EPIC 电控分配泵的实际操作 …… 65
第八章　柴油机电子控制系统 …… 67
一、电控系统组成 …… 67
二、传感器 …… 69
三、柴油机电控单元 …… 76
四、执行器 …… 84
五、柴油机电控系统的故障诊断 …… 85
参考文献 …… 95

第一章 燃油喷射及其重要性

一、概述

当今，轻声无烟的现代清洁柴油机以其高转矩、机动性好和低油耗而博得了人们的青睐，广泛应用于商用车和乘用车。现代商用车几乎全部采用柴油动力，即使是乘用车，尤其是以往汽油动力占有绝对优势的轿车也越来越多地应用柴油机作为动力，特别是在欧洲市场上，家庭第二辆用车大多选用柴油轿车。在柴油轿车比较普及的国家，例如奥地利、法国和意大利，柴油轿车的市场份额已超过 60%，甚至达到 70%，并且还有继续增长的趋势。由于柴油机的油耗比汽油机大约要低 30%以上，因此目前居高不下的燃油价格水平更进一步促使人们倾向于选用柴油轿车，而且轿车柴油机正在向更清洁、更安静和更省油的电控高压共轨直喷式柴油机发展，使得柴油机更具魅力。至今，轿车柴油机的比功率已达到了汽油机的水平，而其转矩更是汽油机所无法比拟的。

现代汽车柴油机正在向高功率、高转矩、低油耗、低噪声和低排放的方向发展。图 1-1 示出了轿车柴油机升功率和气缸爆发压力的发展历程。至 2011 年，现代轿车柴油机的升功率已达到 90kW/L 左右，与此同时，气缸爆发压力也已超过 15MPa，最高的可达到 18MPa，充分反映出现代轿车柴油机已发展到了非常高的水平。

虽然汽车已成为现代社会不可或缺的主要交通工具，但是随着世界经济的发展，汽车数量与日俱增，

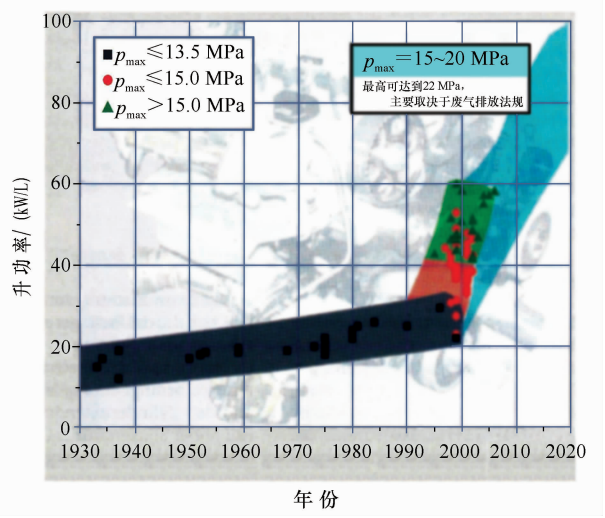


图 1-1　轿车柴油机升功率和气缸爆发压力的发展

它在给人们带来便捷、高效和享受的同时，加速消耗了全球有限的油气资源，能源紧缺状况越来越严重，同时也对人类赖以生存的环境造成了污染。因此，当今世界汽车工业面临能源和环境保护的双重挑战。

从目前的发展趋势来看，新能源的开发和大量供应至少在 50 年以后，在此之前人类不得不继续利用油气资源作为汽车的主要能源，因此汽车的节能已成为全球关注的焦点。虽然现代汽车柴油机的油耗要比汽油机低 30%左右（图 1-2），但是大量汽车尾气排放的二氧化碳却会造成温室效应，加速全球气候变暖，

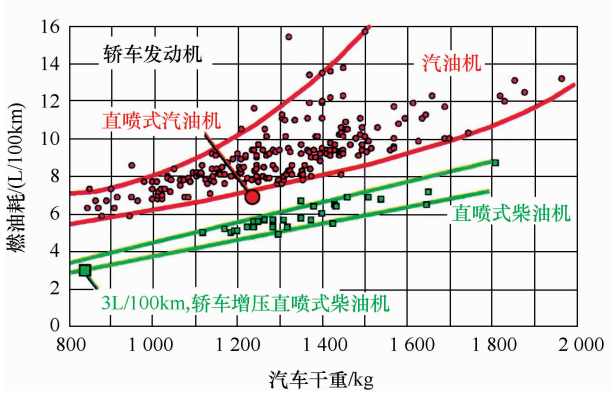


图 1-2　现代轿车柴油机的燃油耗

危及人类赖以生存的环境。因此，欧盟制定了 2012 年将要实施的更为严厉的强制性汽车二氧化碳排放法规。图 1-3 示出了各种轿车发动机的平均二氧化碳排放量以及欧洲议会要求和欧洲汽车制造商联合会（ACEA）承诺的目标。欧洲议会要求所有轿车至 2010 年的二氧化碳排放达到 90g/km（相当于百公里油耗，汽油轿车为 3.8L/100km，柴油轿车为 3.4L/100km），而欧洲汽车制造商联合会（ACEA）根据现

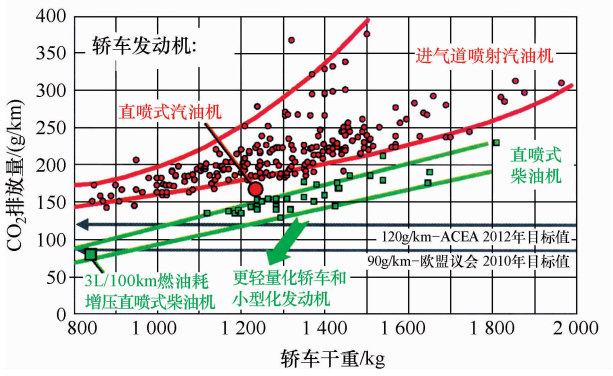


图 1-3　轿车发动机的平均二氧化碳排放量以及欧洲议会要求和欧洲汽车制造商联合会（ACEA）承诺的目标

有的技术水平只能承诺至 2012 年达到 120g/km 的目标（相当于百公里油耗，汽油轿车为 5.1L/100km，柴油机车为 4.5L/100km），与法规要求尚有不小的差距。美国也已正式通过汽车燃油耗法规，要求各汽车制造商生产汽车的平均燃油效率（CAFE）在 2020 年前提高 40%。这些严厉的法规迫使汽车制造商不断开发和应用新技术来大幅度降低能源消耗。

另一方面，汽车废气排放中的有害物质对全球大气环境所造成的污染也已危及人类赖以生存的环境，大幅度降低汽车废气排放已到了刻不容缓的地步。为此，从 20 世纪 90 年代开始实施汽车废气排放法规以来，世界各国的废气排放标准不断加严。以欧洲为例，图 1-4 示出了欧洲柴油轿车废气排放标准限值的演变过程，至 2005 年实施欧Ⅳ废气排放标准，汽车废气有害物排放量与实施排放法规之前相比，已降低了大约 95%以上。继 2009 年实施欧Ⅴ废气排放标准后，欧盟议会又决定 2014 年将实施更为严格的欧Ⅵ废气排放标准；美国也将于 2014 年全面实施非常严格的 EPA Tier2 Bin5 废气排放标准。

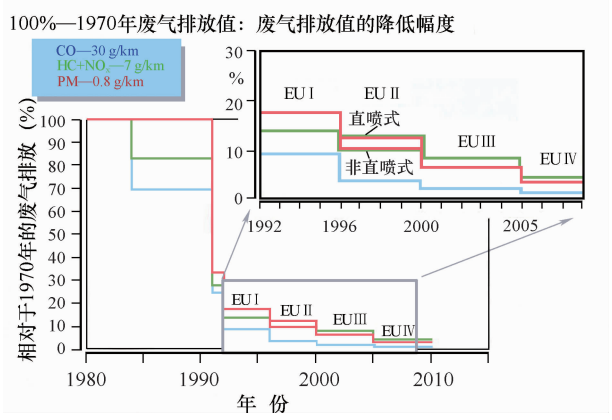


图 1-4　欧洲柴油轿车废气排放标准限值的演变过程

我国的汽车废气排放标准与欧洲标准大体相似，因此欧洲轿车柴油机技术的发展历程对于我国汽车柴油机技术的发展很有借鉴意义。图 1-5 示出了欧洲轿车柴油机在各个废气排放标准阶段所采用的新技术的发展过程，从中可以清楚地看到现代汽车直喷式柴油机节能减排的三大基础技术——电控高压燃油喷射、废气涡轮增压和废气后处理，而其中电控高压燃油喷射是具有主导性的最关键的技术。

对直喷式柴油机而言，良好的混合气形成是燃油完全而有效燃烧的先决条件，而这主要取决于油一气一室的良好匹配，即燃油喷束品质、缸内充量的有组织运动与燃烧室形状三者之间的相互配合，它们决定了直喷式柴油机的燃烧品质，也就决定了柴油机的动力性能、燃油耗和废气排放水平。其中，燃油喷射的品质则是起着主导作用的，它必须以正

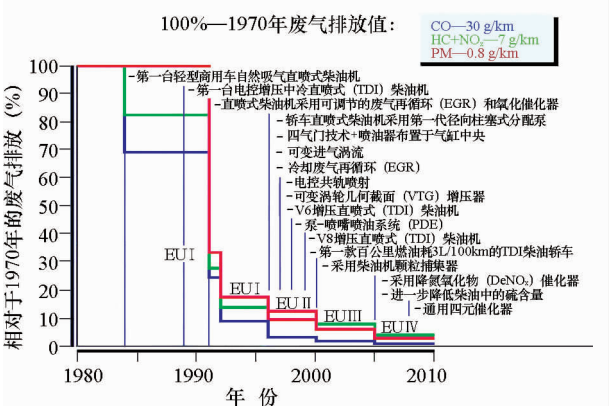


图 1-5　欧洲轿车柴油机在各个废气排放标准阶段所采用的新技术的发展过程

确的油量，在正确的时刻，以尽可能高的压力和良好的雾化品质，将柴油直接喷入燃烧室，并在缸内空气运动的辅助下获得尽可能均匀的油气混合气。在这些方面，燃油喷射即使有微小的误差，也会导致废气中有害物排放的增加，大的噪声和高的燃油耗。以喷油量为例，图 1-6示出了一台按欧Ⅳ排放标准设计的轿车柴油机运转时喷油量的误差对其废气排放性能的影响。从图中可以清楚地看到，喷油量极微小的变化就会导致轿车排放的明显变化，甚至于使得柴油机的废气排放超标。若废气排放标准限值进一步收紧，则对喷油量的允差也必须进一步缩小，对高压喷油系统的要求将会变得更加苛刻。因此，汽车柴油机为获得较低的原始排放，必须首先从喷油量的计量精度着手。

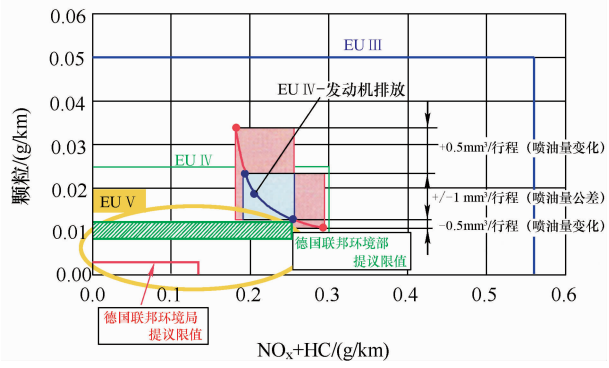


图 1-6　喷油量误差对柴油机废气排放的影响

当然，其他的喷油参数的误差同样也会给柴油机的燃油耗和废气排放造成明显的不良影响。

特别是，从欧Ⅲ（即我国的国Ⅲ）排放标准开始，已取消了最初的 40s 暖机阶段，而是从冷机一起动就开始进行排放测试，那么冷起动的排放问题将变得更为突出。据有关统计资料表明，在与我国汽车排放标准测试循环相似的新欧洲行驶循环（英文缩写 NEDC，德文缩写 NEFZ）和美国城市标准测试循环

（FTP－75）中，冷起动排放量占总排放量的份额最多可高达约 90%，可见对发动机总排放水平的达标影响之大。

因此，现代汽车柴油机为了在任何运转工况下，无论是冷机还是热机运转，是起动还是正常运转，是部分负荷还是满负荷运转，是稳态还是瞬态变工况运转；无论是为了降低柴油机的爆发压力以降低运转噪声，还是为了降低缸内原始排放；无论是为了降低燃油耗，还是为了降低废气排放或者为了颗粒捕集器的再生，都要求燃油喷射系统必须采取完全不同的喷油策略，以适应柴油机各种运转工况各不相同的要求，因而燃油喷射系统的控制就必须具有非常高的柔性，不仅喷油量变化的跨度很大，而且每循环的喷油次数及其时间间隔也必须随柴油机运转工况而变。

为了帮助读者更好地理解本书将要介绍的各方面内容，下面简要介绍有关柴油机燃油喷射及其燃烧过程的一些必须具备的基础知识。

二、着火滞后

从喷油开始到混合气着火使燃烧室中压力开始升高之间的时间间隔被称之为着火滞后。为了优化柴油机中的燃烧过程，降低燃烧噪声和有害物排放，希望着火滞后尽可能短，但是不管怎样，在这段时间内已喷入了相当多的燃油，当这些燃油开始着火燃烧时，就会导致气缸内的压力瞬间急剧地升高，气缸压力升高率（每度曲轴转角的压力升高幅度）大大增加，从而会产生很大的噪声和振动。为了避免产生这种现象，现代柴油机将每循环的总喷油量一般分成 2～3 次或更多次喷入气缸。如图 1-7 所示，最理想的状况是，在转速低于 2 500 r/min 的运转工况区 4 次或 5 次喷射，在中等转速区 2 次或 3 次喷射，而在标定转速区只需单次喷射。

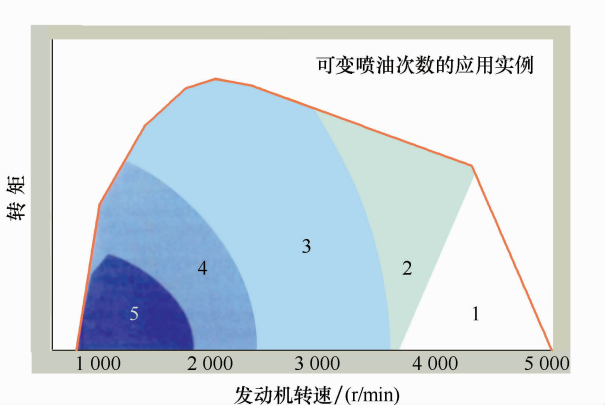


图 1-7　柴油机不同转速和转矩运转工况理想的喷油次数

三、预喷射

预喷射也称为先导喷射，发生在主喷射之前，其作用是为实现一个尽可能柔和的燃烧过程，降低燃烧噪声。由于预喷射的油量非常小，因此着火滞后缩短，燃烧室中的压力和温度平缓升高，为主喷射油量的迅速着火燃烧创造了最佳的前提条件，对降低燃烧噪声和有害的氮氧化物（NO_x）排放起到有利的作用。

图 1-8 示出了气缸压力随时间变化曲线以及与其同步的喷油器针阀升程曲线，从图中可以清楚地看出，预喷射对降低气缸压力升高率及其压力波动的作用。

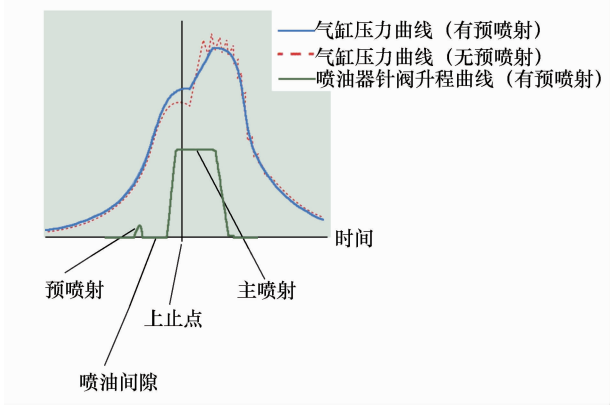


图 1-8　直喷式柴油机燃烧过程气缸压力变化曲线以及与其同步变化的喷油器针阀升程曲线

四、主喷射

主喷射就是每循环总喷油量中主要的大部分油量的喷射。在主喷射的时候，为了获得尽可能完全的燃烧，良好的混合气形成是极其重要的，因此必须要有高的喷油压力，以便使燃油雾化成微小的油滴，并能与空气相互良好地混合，从而实现尽可能完全的燃烧，这样所产生的有害物质排放少，功率收益高，燃油耗低。

五、后喷射

由于后喷射在主喷射之后进行，大多处于柴油机膨胀作功行程的中后期，因此其主要作用并非是增加柴油机的功率输出，而主要是用来提高排气温度，特别是在冷机状态，以便提高废气后处理装置的温度，从而提高其废气净化效率，或者是在装有减少炭烟颗粒（PM）排放的颗粒捕集器情况下，当颗粒捕集器中捕集到的炭烟颗粒累积到一定程度时，排气阻力明显增大，就必须要进行后喷射来提高排气温度，使这

需要全本请访问 www.ertongbook.com

些炭烟颗粒烧尽，以便颗粒捕集器恢复捕集炭烟颗粒的功能，这被称之为颗粒捕集器的“再生”。因此，后喷射并非是一直进行的，而是在上述情况下有必要的时候才实施。

在电控柴油机开发时，已将通过大量试验所得到的所有运转工况最佳的喷油量、喷油次数及其间隔、喷油时刻等运行参数以数字表示被称之为“脉谱图”的形式存储在柴油机电控单元中。柴油机实际运转时，电控单元根据相关传感器得知当时的柴油机运转工况（转速和负荷等），从所存储的脉谱图中调用与此相应的运行参数来进行燃油喷射，使柴油机始终处于最佳的运行状况，从而获得高功率、低油耗、低噪声和低排放。表 1-1 清楚地示出了柴油喷射系统各控制参数与柴油机性能之间的相互关系。

表 1-1　喷油系统参数与柴油机性能之间的相互关系

用户要求	喷油系统控制参数			
	喷油压力/雾化	喷油规律	喷油持续期	喷油策略
排放	●	●		●
功率/转矩	●	●	●	●
燃油耗	●	●		●
噪声	●	●		●
驾驶性能	●		●	●

为了让读者对现代直喷式柴油机缸内的燃油喷射及其燃烧状况有一个比较直观的印象，图 1-9 示出了从特制的单缸试验机上拍摄到的直喷式柴油机燃烧过程中几个典型阶段燃烧状况的高速摄影彩色照片，从左上方第一幅照片开始顺序排列，演示出了从喷油（左上方第一幅照片中央蓝色的 6 个喷射油束）——活塞顶 ω 形燃烧室（照片中黑色圆圈内）中混合气首先着火——火焰逐步扩展至整个气缸的完整的过程，从中也可以清楚地看出柴油机燃烧过程与燃油喷射的密切关系，以及其中燃油喷射所起到的重要的主导作用。

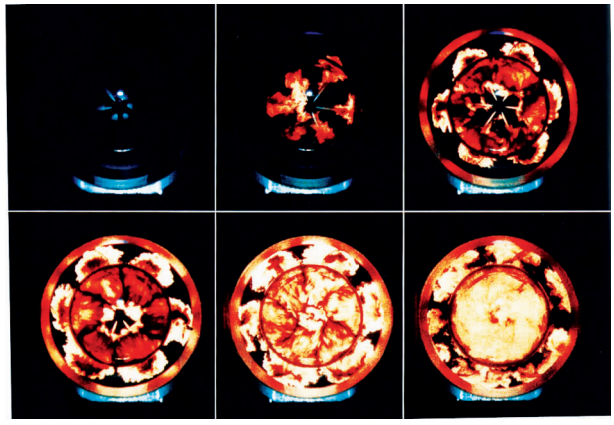


图 1-9　直喷式柴油机燃烧过程中几个典型阶段燃烧状况

第二章 电控高压喷油系统

一、电控高压喷油系统的演变

如图 2-1 所示，自从 1974 年轿车直喷式柴油机问世以后，直喷式柴油机一直普遍使用众所周知的机械

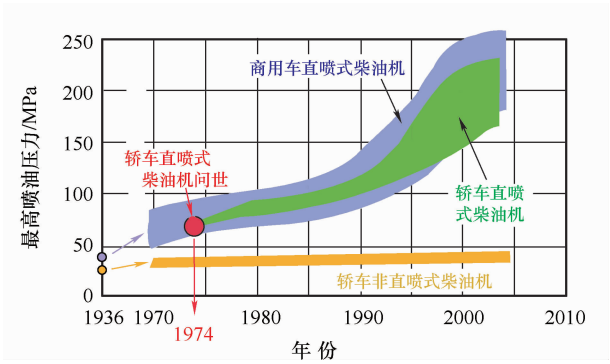


图 2-1　直喷式柴油机最高喷油压力的发展

直列式喷油泵或轴向柱塞式分配泵，最初喷油压力只有 60～70MPa，前者喷油量用柱塞头部的螺旋槽边棱来控制，而后者用油量控制滑套的边棱来控制，因此统称为“边棱控制式喷油系统”（图 2-2），并均用机械式调速器来进行调节。虽然废气排放法规实施后，为满足降低废气有害物排放的需要，喷油压力逐步提高到 100MPa 左右，并且喷油量的调节也采用了电子控制，但是因为它们的喷油压力与发动机转速有关，

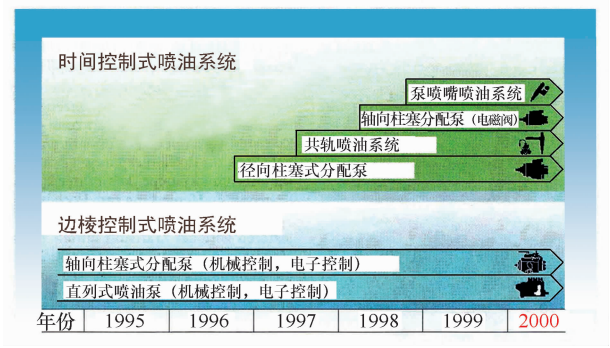


图 2-2　直喷式柴油机喷油系统的发展

喷油定时的调节范围也受到很大的限制，更无法实现预喷射或多次喷射，因此随着废气排放法规的不断严格，这种机械边棱控制式喷油系统已难以进一步提高喷油压力，无法胜任直喷式柴油机和严格的废气排放法规的要求。后来，将轴向柱塞式分配泵改成电磁阀控制的电控分配泵，并又新开发出径向柱塞式电控分配泵，改为采用电磁阀控制的时间控制方式，喷油压力也进一步提高到 100MPa 以上，泵喷嘴喷油系统更能将喷油压力提高到超过 200MPa，但是这些喷油系统的致命缺陷是喷油压力始终没有脱离与发动机转速的关系，无法任意单独调节，发动机每工作循环的喷油次数也受到很大的限制。

1997 年，电控高压共轨喷油系统的问世，终于改变了这种受限制的状况，它将喷油压力的产生和调节分开，并与发动机转速完全无关而可自由选择，喷油过程的始点和持续时间也能任意调节，同时每个喷油器在发动机的一个工作循环内最多可实现多达 7 次喷射，既可实现多次预喷射，又能实现后喷射，为提高发动机冷起动性能、降低发动机噪声、改善废气后处理效率和净化能力再生提供了条件。共轨喷油系统的喷油压力也从一开始的 135MPa 逐步提高到 200MPa，甚至 250MPa，并有进一步提高的潜力，再加上其全柔性的控制能力，为发动机开发商不断优化柴油机燃烧，满足未来更为严格的燃油耗和废气排放法规奠定了基础，成为电控高压喷油系统发展史上的里程碑和现代清洁柴油机最重要的核心技术。

二、电控共轨喷油系统的发展历史

当今，电控共轨喷油系统已成为现代汽车柴油机最重要的核心技术。实际上，其基本原理是由柴油机之父——鲁道夫·狄塞尔（Rudolf Diesel）本人独创的。1912 年在他的一本书中就这样描述过这种原理：“它既简单而又富有创造性：用一台连续运转的柴油泵在一根分配管中产生压力，由这根高压分配管（英语称之为“Common-Rail”——共轨）将柴油准备好并供给所有的气缸”。1926 年在苏黎世（Zürich）大学中继续研究这种喷射原理，但是并没有应用在汽车上。

当意大利飞亚特（Fiat）公司在 Croma TDid 轿车上推出世界上第一台共轨直喷式柴油机的时候，几乎没有一个人相信这种共轨直接喷射系统在轿车上的这个成果。反对这种共轨直接喷射系统有足够的证据，因为当时装备这种共轨喷油系统的直喷式柴油机燃烧噪声大，特别是在低转速运转工况，而且废气排放值相当高，面对严格的废气排放标准显然当时这种共轨喷射柴油机尚未成熟，但是飞亚特公司依然坚持柴油机采用这种共轨直接喷射系统的观点。为了克服共轨直喷式柴油机的这些弊病，该公司继续致力于进一步

改进这种共轨柴油喷射方法。因为当时流行的柴油喷射系统都不能与发动机转速和负荷无关地独立调节喷油压力，也无法实施预喷射，因此最终还是将希望寄托在开发共轨喷射的原理上。

此后，起初将该项目委托给意大利玛格奈特·玛瑞利（Magneti-Marelli）公司，1990 年又将研究小组转移到飞亚特研究中心，与飞亚特集团的工程师们一起继续开发出命名为“Unijet”的共轨喷油系统。当时，虽然共轨喷射原理在理论上为人们所熟悉，但是因压力和工作频率都非常高，要求系统中的零部件极其精密，如此高的精度对于当时的机械加工设备和工艺水平提出了极其严峻的挑战，没有人能够把它制造出来。

直至 1992 年，他们才证实了共轨喷射的技术可行性。当时的喷油压力还只有 70MPa，飞亚特公司试图为这种创新的喷油系统的产业化生产寻找一个合作伙伴。最终，决定与德国博世（Bosch）公司合作，并最终完成了产品开发工作，并为产业化生产做好了准备。当然，这个过程又延续了 5 年，直到 1997 年，第一套批量生产的共轨喷射系统才装备在 Alfa 156 JTD 轿车上，并在德国法兰克福（frankfurter）国际汽车博览会（IAA）上展出。几乎与此同时，博世公司与梅塞德斯·奔驰（Mercedes-Benz）公司合作也开发出一种柴油机共轨喷射系统，并同样也在 1997 年末以缩写词 CDI（Common-Rail Direct Injection）命名推上市场。现在，所有著名的德国、法国、意大利、韩国和日本汽车制造厂商几乎都在生产共轨喷射系统，除了博世公司之外，西门子（Siemens）、德尔福（Delphi）和电装（Denso）等公司都能向汽车工业提供其独特的电控共轨喷射系统。由于它在喷射油量、喷射压力、喷射时刻和喷射次数等方面具有独特的控制柔性，与其他电控高压柴油喷射系统（分配泵和泵喷嘴）相比显示出更多的优越性，能为现代直喷式柴油机的性能开发和节能减排提供了宽广的自由度，在高压喷射系统市场中呈现出一枝独秀的局面，它的市场推广潜力巨大（图 2-3）。

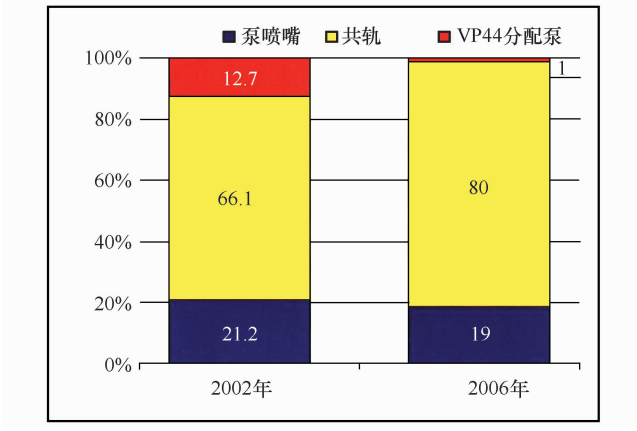


图 2-3　博世公司高压喷油系统在轿车柴油机中所占份额

直到 2000 年年底以前，共轨系统喷油器中用来控制喷油过程开始和结束的执行器仍是电磁阀，但是电磁阀因电磁线圈的电感而具有相对较长的滞后时间。为了进一步提高共轨喷油器的响应速度，2000 年开始用压电陶瓷执行器替代电磁阀来控制喷油过程，而 2003 年又进一步改进，用压电执行器直接控制喷油器针阀动作，即压电直接控制式喷油器，使得共轨喷油器能更迅速地开闭，而且明显提高了喷油量的计量精度，喷油压力最高可达到 200MPa，使现代汽车柴油机有可能进一步降低燃油耗和废气排放，能达到欧Ⅴ废气排放标准的要求而无需采用价格昂贵的降 NO_x 催化转化器，因此这种压电直接控制式共轨喷油系统是柴油机电控共轨喷射历史上一次重大的技术飞跃。

为了满足未来更为严格的法规要求，并尽量减轻对废气后处理的压力，避免应用价格昂贵的降 NO_x 催化转化器，节省整车的制造成本，现代汽车柴油机必须进一步提高最高喷油压力，以进一步改善缸内燃烧过程，尽可能降低缸内的原始排放。2008 年，又推出了最新颖的液力增压柴油喷油器（HADI），它是借助于喷油器中的一个液力增压活塞，将共轨中 135MPa 的系统压力增压到 250MPa 的喷油压力。

至此，电控共轨喷油系统已形成了电磁阀和压电控制、喷油压力 135～250MPa 完整的系列型谱，同时在实施共轨喷射系统更新换代时采用了模块化结构，使得能够根据轿车重量、柴油机比功率和所要达到的废气排放标准的要求来决定电控共轨喷射系统的选择，使得现代汽车柴油机能够满足未来更为严格的废气排放和燃油耗法规的要求。

三、电控共轨喷油系统的优点

与其他的高压喷射系统相比，共轨喷射系统具有众多的优点，其中最重要的一点是燃油的压力产生和喷射是分开的，因此每个运转工况区域的喷油压力与发动机转速无关而能自由选择，在低转速和部分负荷工况区域也能产生高的喷油压力。同时，喷油时刻的选择也有很高的自由度，而在以往凸轮控制的喷油系统中，由于机械结构上的限制，喷油时刻的调节是很有限的。此外，还能将要喷射的油量分成几份喷入气缸，这样为了获得柔和的燃烧就能实现多次喷射，可先进行预喷射，后面再跟随着主喷射和后喷射。因此，电控共轨喷射系统无论是在喷油量、喷射压力、喷射时刻和喷射次数等方面具有独特的控制柔性，能为现代直喷式柴油机的性能开发和节能减排方面提供最宽广的自由度。

此外，共轨喷射系统在总体布置方面也具有较大的灵活性，可很方便地替换传统的高压喷油泵，能很好地适应现有柴油机的改进而无须大的改动费用，这是其结构上的一大优点，更有利于推广应用。

第三章 博世电控共轨喷油系统

博世（Bosch）电控共轨喷油系统（图 3-1）自从 1997 年进入市场以来已发生了许多变化。在这期间，已发展到第三代甚至第四代共轨喷油系统，特别是在高压的产生和喷油器结构设计方面不断地创新发展，喷油压力也不断地提高，使得电控高压共轨喷油技术几乎发展到了顶级水平。然而，共轨喷油系统的基本结构和工作原理仍保持不变。燃油系统（图 3-2 和图 3-3）可分为两个部分：低压油路和高压油路。

一、低压油路

低压油路由燃油箱、电动燃油泵、带预热装置的燃油滤清器和回油管等部件组成。根据制造厂商和柴油机型式的不同，低压油路还可能包括更多的部件，例如，单向阀或补偿储油罐，以保证高压泵进口处的压力保持恒定。为了确保在任何运转条件下高压泵的燃油供应，在某些系统设计中高压泵还可能串联一只机械传动的辅助齿轮泵（图 3-4）。大多数汽车制造厂商都将电动燃油泵和油面高度传感器集成为一个完整的总成安装在燃油箱中。当点火开关接通时，电动燃油泵经燃油泵继电器由柴油机电控单元控制，先运转大约 3s，在管路中建立起预压力。这种程序对排除系统中可能存在的气泡是很重要的，这样一旦发动机运转，电动燃油泵就能连续地将柴油输往低压管路。

在第一代共轨喷油系统中，燃油箱中回油管的末端装有一个节流阀，它可使回油管路中的压力一直保持在 60～90kPa。这样的回油压力对集成在高压泵进油口处的安全阀的功能是很重要的，这种功能将在本章“二、高压油路”的“2. 压力的调节”中予以介绍。

二、高压油路

高压油路由高压燃油泵、共轨、高压油管、电控喷油器和限压阀等部件组成（图 3-2 和图 3-3）。在高压油路中产生喷射所需的燃油压力，并储存在共轨中。电控喷油器用一根短的高压油管与共轨相连，它由电控单元控制将所需的油量精确地在正确的时刻喷入气缸。

1. 高压的产生

高压泵用于产生高压燃油，它的任务是在整个汽车运行期间，在柴油机任何运转工况范围内提供足够的燃油压力。

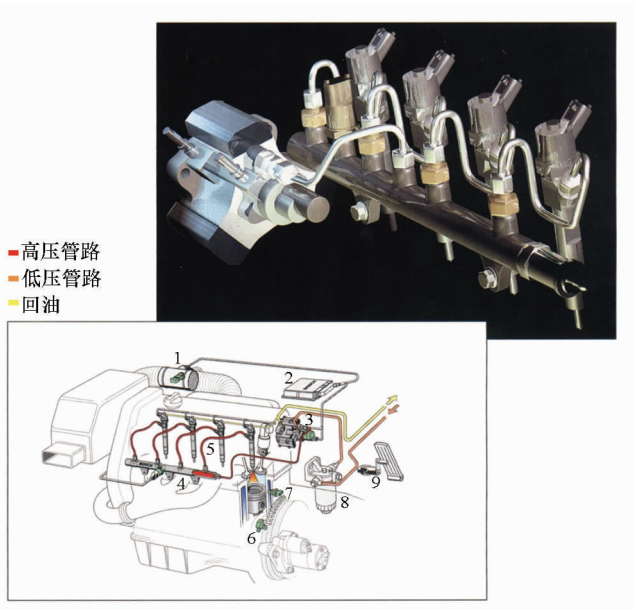


图 3-1　博世共轨喷油系统组成概貌

1—进气空气质量流量传感器　2—电控单元　3—高压燃油泵　4—高压共轨　5—电控喷油器　6—曲轴转速传感器　7—发动机冷却液温度传感器　8—燃油滤清器　9—油门踏板传感器

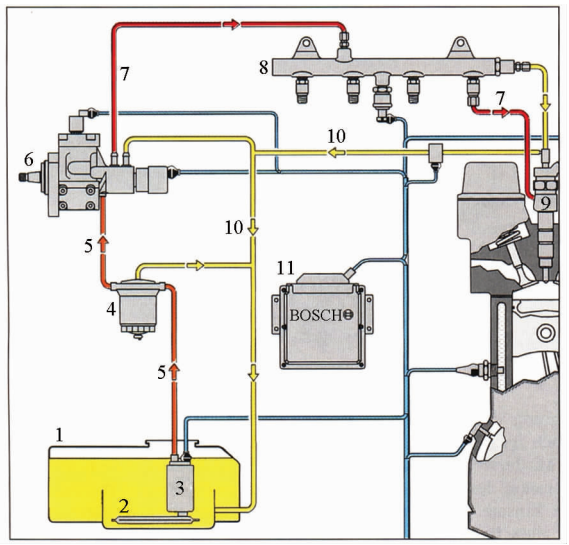


图 3-2　共轨喷油系统的低压和高压油路

1—燃油箱　2—滤网　3—电动燃油泵　4—燃油滤清器　5—低压燃油管　6—高压燃油泵　7—高压燃油管　8—燃油共轨　9—电控喷油器　10—回油管　11—电控单元

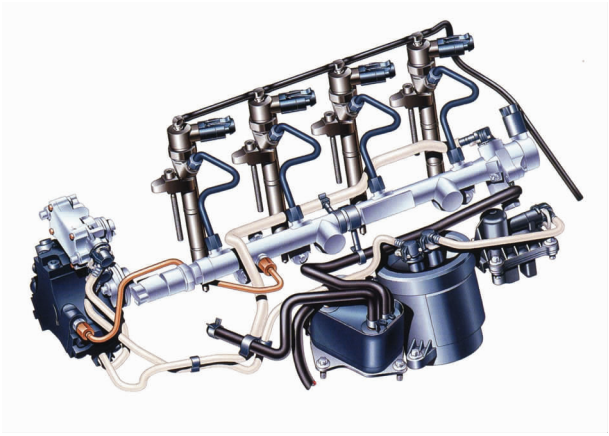


图 3-3　共轨喷油系统的主要部件

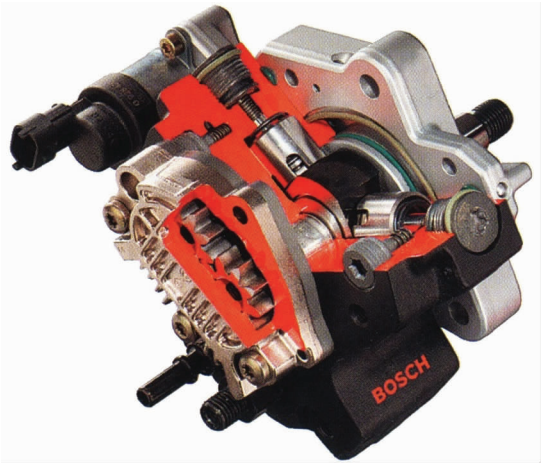


图 3-4　高压泵及其串联的辅助齿轮泵

在第一代共轨喷油系统中，系统的最大工作压力为 135MPa；而在第二代和第三代共轨喷油系统中，系统的最大工作压力则逐步提高到了 160MPa、180MPa 和 200MPa。

最初应用的 CP1 型高压泵是一种径向柱塞泵（图 3-5），根据柴油机结构型式的不同，它的驱动轴可由联轴节、齿轮、链条或齿形带传动，并按照最大油泵转速不超过 3 000r/min 来选择其传动比。高压泵由燃油直接润滑和冷却。在高压泵的驱动轴上有一个偏心凸轮，由其推动呈 120°角度星形布置的 3 个径向柱塞上下运动泵油（图 3-6）。

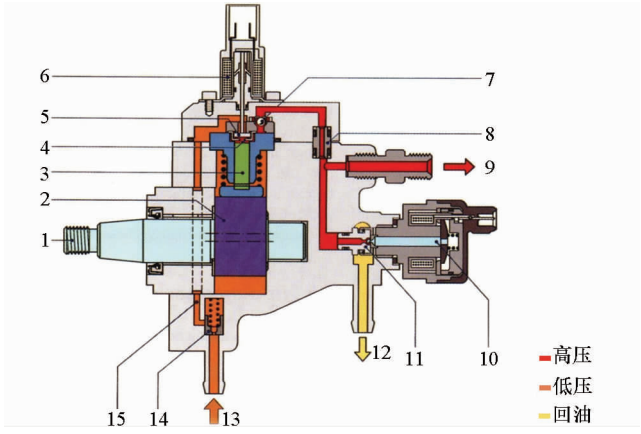


图 3-5　高压泵及其燃油流程

1—驱动轴　2—偏心凸轮　3—泵油柱塞和柱塞套　4—泵油室
5—进油阀　6—泵油室溢流电磁阀　7—出油阀　8—密封元件
9—至共轨的高压接头　10—压力调节电磁阀　11—球阀
12—回油　13—进油　14—安全阀（带节流量孔）
15—至泵油室的低压油通

燃油从低压油路经安全阀进入高压泵。安全阀是一个受弹簧力作用的圆柱形阀芯，其底部有一个直径经过标定的节流量孔，进入的一小部分燃油可经该量孔返回到回油管路。安全阀的任务是阻止气泡进入高压泵，它的开启压力为 0.05～0.15MPa。当泵油柱塞

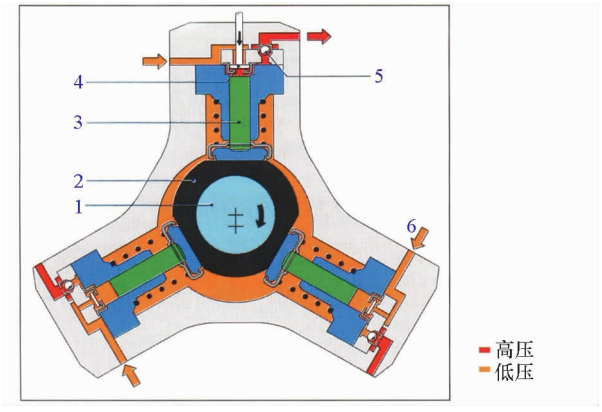


图 3-6　高压泵的工作原理图

1—驱动轴　2—偏心凸轮　3—泵油柱塞和柱塞套
4—进油阀　5—出油阀　6—进油口

向下止点运动的时候，燃油经过进油阀进入泵油室。在泵油柱塞到达下止点以后再开始上升时，进油阀被关闭，燃油被压缩，达到共轨压力时，出油阀被打开，燃油被压入高压管路。在泵油柱塞到达上止点时，由于泵油室的油压突然降低，出油阀被关闭，过程重新开始。

在 2007 年推出的喷油压力高达 200MPa 的第三代高压共轨喷油系统中开始应用新型的 CP4 型共轨高压泵，其基本结构与以往所应用的博世 CP1 型 3 缸偏心轮泵不同，它是一种具有双凸起凸轮和滚轮的径向柱塞泵（图 3-7）。与传统的偏心轮泵相比，这种泵基于双凸起凸轮的工作原理只应用一个柱塞泵油单元，因此 CP4 型共轨高压泵只需要较小的结构空间，并且重量明显减轻。CP4 型共轨高压泵从一开始就是为高转速（泵最高试验转速高达 5 500r/min）设计的，因该泵能适应发动机以高转速和 1∶1 的传动比运转。双凸起凸轮与高的油泵转速相结合，使得供油时间比传统的偏心轮泵明显缩短，因而减少了柱塞的泄漏，从而达到了最佳的效率，所消耗的传动功率也要降低约

20%。图 3-8 示出了 CP4 型双凸起凸轮泵与 CP3 型偏心轮泵的液压效率的比较。为了使得变型数目尽可能少，油泵的高压部分被设计成一个紧凑的泵油模块(图 3-9)，并集成在一个钢壳体中，这样不仅在产品变型管理方面，而且在实际的高压强度和重量方面都带来了不少好处，因此能够采用铝合金泵体，与 CP1H 高压泵相比，进一步减轻了重量，其重量只有 CP1H 高压泵的 60%。为了更有说服力起见，图 3-10 上示出了各种共轨泵每 100MPa 喷油压力的油泵重量比较。

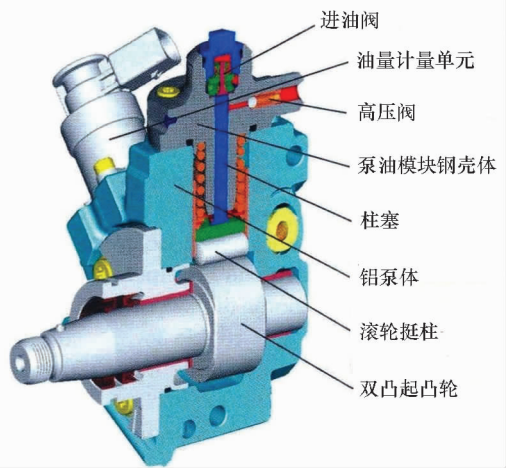


图 3-7　CP4 型双凸起凸轮共轨高压泵

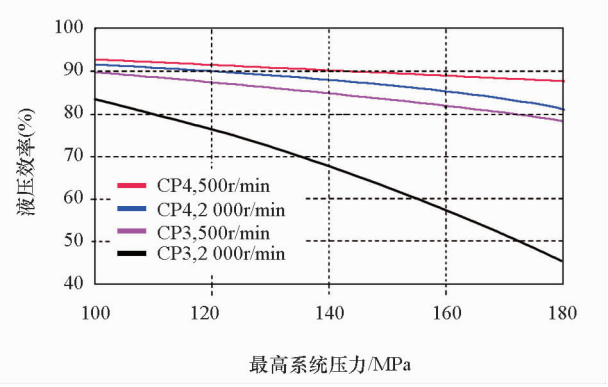


图 3-8　CP4 型高压泵与 CP3 型偏心轮泵效率的比较

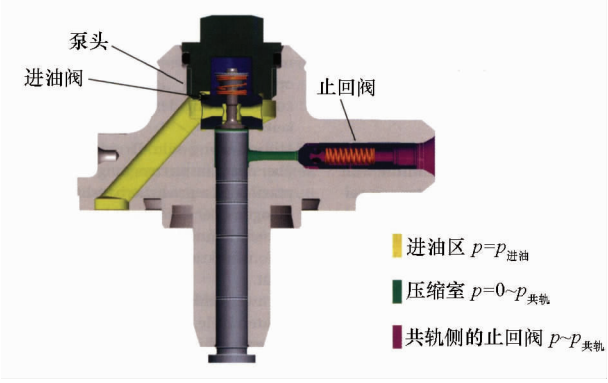


图 3-9　CP4 型高压泵的泵油模块

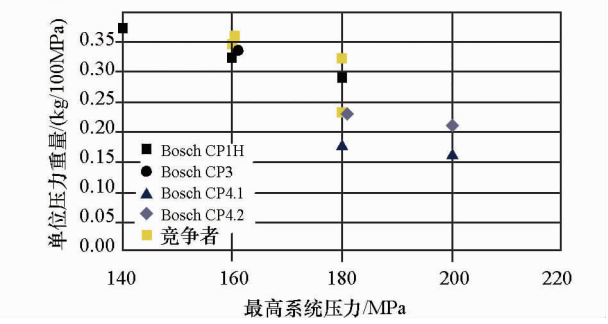


图 3-10　各种轿车柴油机共轨高压泵
单位喷油压力重量的比较

此外，CP4 型高压泵的这种模块化单柱塞或双柱塞结构能够达到通常较大的 3 柱塞偏心轮高压泵所能达到的泵油量。CP4 型高压泵基于其工作原理还具有明显的优点，通过选择适当的传动比能够满足 3～8 缸发动机的同步供油需要。同时，由于 CP4 型高压泵具有高的泵油效率，因此在低转速时就能够达到高的泵油压力。CP4 型高压泵的这些优良性能特别对于排放品质、燃油耗和运转平稳性等都是非常有利的。

除了上述轿车柴油机用的径向柱塞高压泵之外，在商用车上则大多采用直列式高压泵，其外形很像一台传统柴油机所用的两缸直列式高压喷油泵，在柴油机上通常布置在传统高压喷油泵的位置，由柴油机正时齿轮驱动，传动比不受限制，但通常仍保持 1∶2。这种共轨高压泵是以直列式高压喷油泵原理为基础设计而成的，虽然其外形和传动方式与传统的直列式高压喷油泵相似，但是其工作原理（连续泵油）则与前述转子式共轨高压泵相同。

目前，这种商用车柴油机用的共轨高压泵已发展到第 5 代——CPN5 系列，其主要特点是模块化结构。通过对其基本设计方案的进一步升级开发，并通过凸轮凸起数目、柱塞直径和行程以及对发动机的传动比等方面的适当组合，这种高压泵方案还能满足未来高压共轨喷射系统更高的要求，在相同或甚至减少泵重量的情况下将能够明显地提高液力功率（图 3-11，图中“压力分级共轨系统”指的是本章“三、电控喷油器”中“3. 液力增压式喷油器”将要介绍的采用液力增压式喷油器的共轨系统，即共轨泵产生第一级压力，在液力增压式喷油器中产生第二级压力），其泵油量/喷油压力谱将能覆盖从 250L·h^{-1}/250MPa（CPN5-25/2 型）一直到 520L·h^{-1}/90MPa（CPN-9/2 型）的范围。特别是，选择传动比和凸轮凸起数目的适当组合有助于达到最小的喷油量公差。在组合得当的情况下，就能够

需要全本请访问 www.ertongbook.com