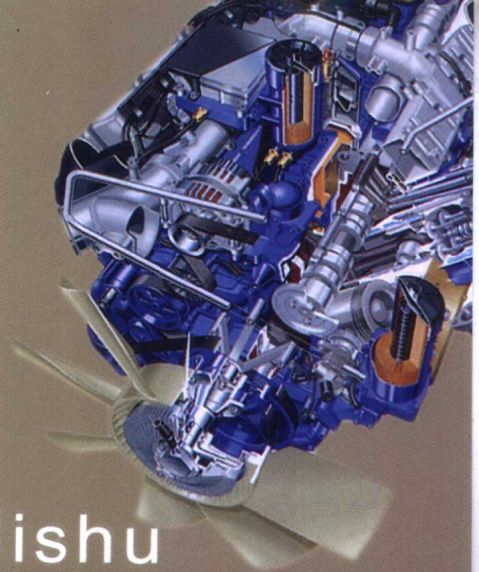


C hai You ji

Diankong Penyou Jishu



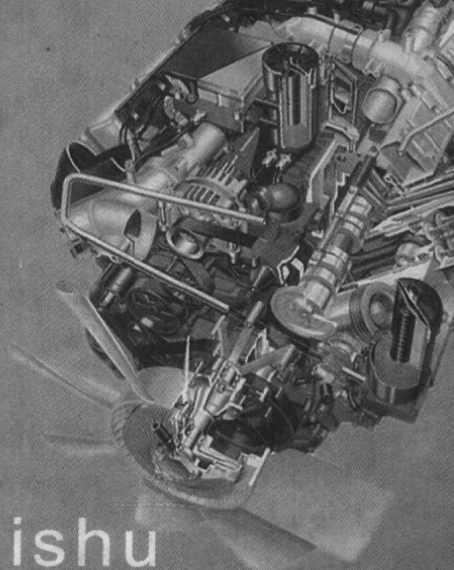
柴油机 电控喷油技术

徐家龙 [主编]



人民交通出版社

China Communications Press



Chai Youji

Diankong Penyou Jishu

柴油机 电控喷油技术

◎ 徐家龙 主编



人民交通出版社

内 容 提 要

本书采用了全新的编写方法, 综合比较机械式燃油系统和电控式燃油系统的各项基本功能, 从而充分说明电控燃油系统的优越性, 详细介绍了各种电控燃油系统的特点、工作原理、结构、控制方法等, 概括地介绍了迄今电控燃油系统的最新成果。

本书内容殷实、实用性强, 可供从事柴油机及柴油机燃油系统的工程技术人员、修理人员、相关专业的大学师生、研究生、工厂和研究所的工程技术人员阅读、参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

柴油机电控喷油技术/徐家龙著. —北京: 人民交通出版社, 2004.3

ISBN 7-114-04918-8

I. 柴… II. 徐… III. 柴油机-电子控制-喷油-技术 IV. TK421

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 121617 号

柴油机电控喷油技术

徐家龙 主编

正文设计: 姚亚妮 责任校对: 刘 芹 责任印制: 张 恺

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京交通印务实业公司印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 26.5 字数: 678 千

2004 年 3 月 第 1 版

2004 年 3 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0 001~3 000 册 定价: 48.00 元

ISBN 7-114-04918-8

《柴油机电控喷油技术》编写委员会

主任委员：许良飞

副主任委员：王伟良 王晓东

委员：徐家龙 李绍安

《柴油机电控喷油技术》编写组

徐家龙 藤泽英也(日本) 徐岩峰 高世伦

王亚伟 温任林 于生和 赵波 郑铭

刘佳才 杨乃章 苏湘州 刘天成 曹宪维

徐朗峰 陈照基

作者介绍

徐家龙

1942 年生于江苏省盐城市。1967 年毕业于吉林工业大学内燃机系。1968 年到无锡油泵油嘴厂工作。1981 年在江苏理工大学获得工学硕士学位。1981 年进入无锡油泵油嘴研究所工作。

1988 年和 1990 年先后到日本国进修和工作, 和日本国知识界、技术界有广泛的接触和联系。

1975~1978 年参加了《机械工程手册(内燃机篇)》和《柴油机设计手册》的编写工作, 和史连佑先生合作编写了柴油机设计中的“燃油供给系统”部分。上述两部著作分别由机械工业出版社和中国农业机械出版社出版发行。其中,《机械工程手册(内燃机篇)》曾获得第一届全国科学大会奖。

1990 年编译了《柴油机燃油喷射》一书。该书原版是由日本电装公司的藤泽英也和川合静男合作编著的, 编译本于 1992 年由机械工业出版社出版发行。

在近十多年间, 通过国家智力引进办和日本 JODC(日本海外贸易开发协会, Japan Overseas Development Corporation) 等机构, 先后引进日本学者、工程技术专家 20 多名来中国工厂、大学、研究所进行技术交流、合作。藤泽英也先生就是引进的专家之一。

藤泽英也

1932 年生于日本国带广市。1957 年毕业于日本东北大学工学部, 同年进入日本电装公司。负责柴油机燃油喷射装置的研究、开发和机械式汽油喷射装置的开发。

从 1968 年开始, 从事电子控制汽油喷射装置的开发、设计; 1986 年开始就任燃油喷射事业部部长(燃油喷射系统部门的最高负责人), 负责柴油机燃油喷射装置、电控汽油喷射装置两项工作。1987 年 3 月就任电装公司董事, 1991 年 3 月就任常务董事。

1987 年藤泽英也先生和小林久德合作编写出版了《电子控制汽油喷射》一书。

1988 年藤泽英也先生和川合静男合作编写出版了《柴油机燃油喷射》一书。

1993 年藤泽英也先生和小林久德等合作编写出版了《最新电控汽油喷射》一书。此书于 1998 年 4 月由北京理工大学出版社翻译出版。

从 1997 年开始, 藤泽英也先生经国家智力引进办邀请到无锡油泵油嘴研究所及无锡威孚集团公司进行技术交流。

1999 年藤泽英也先生被聘请为无锡油泵油嘴研究所的高级技术顾问。

序

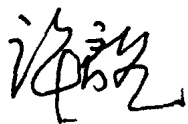
柴油机发展历史上经历了三次重大的技术飞跃：机械式燃油系统、增压中冷和电控喷油。

电控喷油技术的技术基础是：电子技术、计算机、传感器和控制理论等。培养、引进和集聚高素质技术人才，优化组合、充分发挥人的聪明才智是开发研制柴油机电控喷油系统的关键，领导艺术和经济实力是成功的重要保证。

《柴油机电控喷油技术》一书是无锡威孚高科技股份有限公司在研制开发电控共轨系统、引进世界上电控喷油系统专家来华进行技术指导的过程中，和我国科技人员共同编著的。全书高度概括了柴油机电控燃油系统的最新技术，内容翔实、图表数据丰富，具有很高的实用价值。

21世纪是充满机遇和挑战的世纪、是中华民族振兴的世纪、是中国内燃机和汽车产业腾飞的世纪，也是我国柴油机电控燃油系统蓬勃发展的伟大时代。

我们应当有所作为，我们也一定能够有所作为。



2003年9月

前 言

100 多年前，狄塞尔发明的柴油机对世界文明、人类生活起到了巨大的推进作用。

他山之石，可以攻玉。我国的科技人员经过数十年的奋斗，借鉴国外的经验，走自己的发展之路，使我国的柴油机产业从无到有，从弱到强。研制开发的各种柴油机产品，不仅能满足国民经济各行各业的需要，在国民经济发展中发挥巨大作用，而且还走出了国门，走向了世界。

我国的科技人员开发研制的具有中国特色的系列合成泵，开发成功整体式全封闭、带凸缘柱塞偶件的新型喷油泵等，可以满足国内排放法规的要求；引进国外的先进技术，生产的 A 型泵、P 型泵等和国外同类产品具有同等性能。

21 世纪是绿色柴油机的时代。传统的机械式燃油系统已经不能适应柴油机技术发展的需要，柴油机电控燃油系统是必然之选。

《柴油机电控喷油技术》一书正是适应这一时代需要而编写的技术专著。

希望年轻的技术人员，努力奋斗，自强不息。站在已有的历史台阶上，努力研究先进的技术，剖析先进的产品，发展自己的技术，开发具有自己特色的新产品。

《柴油机电控喷油技术》是一本电控燃油系统最好的参考书之一。

本书详细介绍了日本电装公司、德国博世公司的电控燃油系统产品。同时，也介绍了国内厂家开发研制的电控燃油系统。

今天，我们还没有自己的电控燃油系统。但是，可以确信：若干年之后，我们也会拥有自己的电控燃油系统。

我国威孚公司和德国博世公司合作，在无锡建设专门生产电控燃油系统的工厂。这是一项前瞻性的战略合作。数年之后，配装电控燃油系统的柴油机将会由我国的柴油机厂源源不断地流向市场，走向世界。

《柴油机电控喷油技术》的主要内容如下：

第一章主要介绍狄塞尔发动机的发明、柴油机技术的三次飞跃、柴油机在我国的发展历程和技术现状，世界上柴油机汽车的发展趋势以及柴油机面临的技术问题和社会问题等。

第二章主要介绍燃油喷射装置的发展过程、机械式喷油系统的基本组成和技术现状。

机械式燃油系统的产生和定型，花了 30 多年的时间。机械式燃油系统曾经大大推进了柴油机产业的发展。但是，时至今日，机械式燃油系统正在制约着柴油机产业的进一步发展。

第三章主要介绍柴油机电控喷油技术、电控喷油系统的基本理论、结构和原理。

到目前为止，柴油机电控燃油系统的主要类型有：电控直列泵、电控分配泵和电控共轨燃油系统。本书较为详细地介绍了这些产品。

在本章的最后，以五十铃公司的中型载货汽车配装的电控共轨燃油系统柴油机为实例，全面介绍了电控共轨燃油系统在柴油机上的布置、结构、电控系统各零部件的型号、特性参

数、图形和作用等。

第四章主要介绍柴油机中喷油量的控制方法。

第五章主要介绍喷油压力和喷油率的控制方法。

第六章主要介绍喷油时间的控制方法。

第四章到第六章是本书的重点。喷油量、喷油率、喷油压力和喷油时间是柴油机控制过程中最重要的参数。在机械式燃油系统中，这些参数不能自由控制，因此，柴油机燃油系统的技术人员在不停地努力，尽量做到各个喷油参数都能够按照人们所要求的那样改变。但是，由于机械式燃油系统的局限性，始终不能如愿以偿。

电控共轨式燃油系统基本上可以实现自由控制喷油量、喷油率、喷油压力和喷油时间。一台设计良好的柴油机配用性能优越的电控共轨式燃油系统后，柴油机的经济性、动力性和排放指标都可以达到前所未有的水平。

在电子控制式燃油系统发展的 30 多年中，已经出现了多种电控式燃油系统。总的发展趋势是：由位置控制向时间控制过渡，由模拟控制向数字控制过渡。控制精度越来越高，控制自由度越来越灵活。

在机械式燃油系统和电控共轨式燃油系统之间的各种电控燃油系统产品可以称为过渡型电控燃油系统产品。

第四章到第六章的介绍方法是：对于每一个喷油参数，机械式燃油系统的控制方法——过渡型电控燃油系统的控制方法——电控共轨式燃油系统的控制方法。在对比中说明，可以清楚地看到技术发展的延续性和电控共轨系统的优越性。这是本书的重要特点，也是前所未有的、大胆的尝试。

第七章主要介绍电控燃油系统中所采用的各种传感器。

传感器是当代各种高新技术的结晶，发展非常迅速。本书介绍了多种实用的传感器，是各种接触电控系统人员的必备手册型参考资料。

在本书的编写和出版过程中，得到许多老朋友、老同学多方面的支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢。特别是，现在仍在海外学习和工作的徐朗峰、刘佳才、王子和、张永波、陈照基等诸位先生，对于本书的最后完成起了很大的作用，在此表示感谢的同时，书以记之，做永久的纪念。

徐家驹

2003 年 10 月 21 日 于无锡

目 录

第一章 20 世纪的柴油机	1
第一节 狄塞尔发动机	1
一、热力发动机	1
二、狄塞尔发动机的诞生	2
三、汽车柴油机	3
四、中国柴油机产业	5
第二节 柴油机技术的三次飞跃	5
一、机械式燃油系统	6
二、增压和中冷技术	6
三、电控喷油技术	8
四、两个 30 年和两个 50 年	9
第三节 柴油机汽车	11
第四节 柴油机排放及其对策	13
一、汽车排放	13
二、越来越苛刻的排放法规	16
三、今后的动向	17
四、几种排放法规的比较	20
五、降低排放的技术	22
第二章 柴油机机械式燃油系统	27
第一节 前言	27
一、燃油系统的五项基本功能	27
二、柴油机对燃油系统的基本要求	30
第二节 燃油喷射装置的历史回顾	31
一、初期探索	31
二、机械式燃油系统	33
第三节 机械式燃油系统的基本组成	36
一、合成泵	36
二、分列泵（不带凸轮轴的喷油泵）	47
三、泵喷嘴	51
四、分配泵	57
五、输油泵	63
六、喷油器	67
七、喷油嘴偶件	84
第三章 柴油机电控式燃油系统	92

第一节 柴油机电控喷油技术概述	92
一、柴油机电控喷油技术的发展历程	92
二、电控燃油系统的原理和实践	93
三、电控燃油系统的三代历史	99
四、柴油机电控喷油技术的关键要素	101
第二节 电子控制系统的基本理论	104
一、喷油量控制	105
二、喷油时间控制	108
三、喷油压力控制	109
四、喷油率控制	110
五、附加功能	111
第三节 电控燃油系统的结构和原理	114
一、电控燃油系统的组成和特征	114
二、电控直列泵结构和原理	116
三、电控分配泵结构和原理	121
四、电控泵喷嘴	125
五、电控高压共轨燃油系统的结构和原理	125
第四节 电控直列泵系统	131
一、第一代电控直列泵	131
二、TICS 系统	131
三、德国博世公司的 EDR 型电控直列泵	138
四、德国博世公司 EUP 系统	139
五、美国 Caterpillar 公司 PEEC 系统	140
六、日本小松公司的 KP21 型电控直列泵	140
第五节 电控分配泵系统	141
一、电控分配泵概述	141
二、德国博世公司的电控分配泵	144
三、日本电装公司电控分配泵 ECD-V 系列	145
四、中国威孚公司电控分配泵	147
五、ECD-V1 电控分配泵系统	148
六、ECD-V3 和 ECD-V3 (A) 型电控分配泵	149
七、ECD-V4 型电控分配泵	154
八、ECD-V5 电控分配泵	160
九、杰克赛尔公司 COVEC-F 型电控分配泵	165
第六节 电控共轨系统	174
一、电控共轨系统的简史	174
二、典型的电控共轨式燃油系统	176
三、电控共轨系统的特点	178
四、电控共轨系统的技术现状	181
五、电控共轨系统的未来	182

第七节 电控共轨系统的组成	183
一、电控喷油器	183
二、供油泵	203
三、ECU	212
四、特种传感器	220
第八节 电控共轨柴油机一例	228
一、概述	228
二、结构和参数	228
三、电控共轨柴油机的特点	229
四、燃油系统组件、传感器及各类开关	231
五、故障诊断	237
六、信息流	239
第四章 喷油量控制	240
第一节 每缸每循环喷油量与发动机性能	240
第二节 燃油加压、供油和分配	242
一、燃油加压机构	242
二、分配和供油	244
三、燃油喷射	245
四、凸轮柱塞式压油机构	246
五、凸轮及相关技术问题	247
六、柱塞偶件	253
七、出油阀偶件	257
第三节 燃油喷射	261
一、两种基本结构	261
二、自动阀的喷油过程	262
三、电控式喷油器的喷油过程	264
第四节 机械式燃油系统的喷油过程	264
一、符号说明	265
二、模拟计算前提	266
三、典型燃油系统的数学模型	266
四、计算系统的结构	269
五、计算结果的试验验证	270
第五节 喷油量调节	271
一、喷油量受到诸多因素制约	272
二、喷油量的控制机构	274
三、柱塞几何行程的概念	276
四、动态供油	277
五、最小喷油量	278
六、喷油量的试验与模拟计算	279
第六节 机械式燃油系统喷油量控制	279

一、喷油量的两种控制模式·····	279
二、调速器概述·····	280
三、无锡威孚公司 T110 调速器 ·····	289
四、杰克赛尔公司 RED 系列电子调速器 ·····	292
第七节 电控式燃油系统喷油量控制·····	304
一、喷油量控制概述·····	304
二、电控分配泵的喷油量控制·····	306
三、电控共轨系统的喷油量控制·····	309
第五章 喷油压力和喷油率控制·····	312
第一节 喷射压力控制·····	312
一、最高喷油压力·····	312
二、关于超高压喷油·····	314
三、高压喷射的目的·····	317
四、控制喷油压力的方法·····	319
第二节 喷油率控制·····	322
一、各种燃油系统的喷油率·····	324
二、共轨系统的喷油率·····	324
三、多段喷油·····	328
第六章 喷油时间控制·····	333
第一节 喷油时间概述·····	333
第二节 提前器·····	337
一、提前器的分类·····	337
二、手动式提前器·····	339
三、自动机械式提前器·····	339
四、液压式提前器·····	342
第三节 提前器工作原理和特性·····	343
一、SA 型提前器的工作原理 ·····	344
二、SP 型提前器的工作原理 ·····	345
三、折线提前角特性·····	346
四、机械式提前器的特性和应用·····	346
五、改变预行程法·····	347
六、分配泵提前器的工作原理和特性·····	351
第四节 电控燃油系统的喷油时间控制·····	354
一、电控分配泵喷油时间控制概要·····	354
二、主要零部件·····	355
三、电控分配泵喷油时间控制方法·····	355
四、电控共轨系统喷油时间控制·····	359
第七章 传感器·····	360
第一节 传感器概述·····	360
一、传感器在汽车工业中的作用和地位·····	360

二、传感器的分类·····	361
三、传感器的技术动向·····	364
第二节 传感器原理·····	365
一、温度敏感原理·····	366
二、压力敏感原理·····	370
三、位置和时间的敏感原理·····	374
四、排气成分敏感原理·····	377
第三节 温度传感器·····	380
一、进气温度传感器·····	381
二、冷却水温传感器·····	382
三、排气温度传感器·····	383
四、实用温度传感器·····	386
第四节 压力传感器·····	388
一、压力传感器的种类·····	388
二、进气歧管进气压力传感器·····	389
三、燃烧压力传感器·····	391
第五节 曲轴转角传感器·····	395
一、分电器一体型·····	395
二、凸轮轴和曲轴分开设置型·····	396
三、实用传感器例·····	397
第六节 其他传感器·····	398
一、NO _x 传感器·····	398
二、HC 传感器·····	399
三、氧传感器·····	401
参考文献·····	404
编后纪事·····	407

第一章 20 世纪的柴油机

20 世纪，柴油发动机技术经历了定型、完善、成熟的一个历史过程。

柴油机应用于社会生活的各个领域。从小型的农用机械、汽车、拖拉机、发电站、建筑机械、机车、船舶，直到数万匹马力的大型船用发动机。由于柴油机的热效率高、适应性好、功率范围宽，广泛应用于农业、工业、交通运输业和国防建设事业。因此，柴油机工业的发展，对国民经济和国防建设都具有十分重要的意义。

目前，我国有内燃机生产厂 270 多家，内燃机配附件厂 800 多家。形成了以专业厂为主、大中小相结合。主机与配附件基本协调发展、相互促进的完整的工业体系。

当然，柴油机在汽车动力方面也是极其重要的，柴油机汽车活跃在世界的各个角落。为改善人类生活，创造社会文明做出了巨大的贡献。

随着柴油机技术的进步，柴油机的应用范围仍在不断扩展之中。

在欧洲，自从柴油机诞生以来，大型和中型商用汽车清一色地采用柴油机，而且，轿车柴油机化的趋势正在迅速推进。

北美具有使用大型商用柴油机车的悠久历史；近年来，中型商用车也在迅速柴油机化。

我国柴油机的发展更是迅猛异常，载货汽车正在全面向柴油机化方向发展。

进入 20 世纪 70 年代以后，由于发动机排放物对大气的污染和能源危机，柴油机面临新的挑战。21 世纪，发动机技术工作者们必须为解决环境和能源两大问题而努力。

在全面研究柴油机电控喷油技术的时候，我们应全面地回顾 20 世纪中柴油机技术的发展。

第一节 狄塞尔发动机

一、热力发动机

利用物质燃烧时所产生的热量这样的智慧，自人类文明开始的时候就已经产生了。但是，不仅仅是利用燃烧时产生的热量进行加热，而且，作为动力而利用的智慧则可以追溯到公元前 200 年左右的 Alexandria 的学者 Heron 所提出的反蒸汽涡轮。

今天，通常所说的热力发动机起源于 1705 年的 T.Newcomen 的蒸汽发动机。将注入气缸中的蒸汽用水进行冷却、使之凝缩，利用所产生的低压驱动矿山水泵。

1774 年，James Watt 发明了蒸汽机，利用蒸汽压力使活塞运动。一开始的时候，活塞只作上下运动。到了 1799 年左右，改良了连杆机构，作为一种新型的旋转动力源掀起了英国的产业革命。

但是，蒸汽机是外燃式发动机，燃料具有的热量只有 6%~10% 被有效利用。

使燃料在气缸内部燃烧而产生动力的所谓内燃机起源于 1678 年 Hyghens 的设想：将火药爆炸利用其所产生的动力。1833 年，提出了直接利用燃烧压力的发动机方案的是

W.L.Wright。

1838年，W.Barnet 发明了今天仍在采用的、在点火前预先将混合气进行压缩的所谓压缩式发动机。

在此之前的所有方案仅仅只是在实验时成功，并未正式作为产品推向市场。1860年，Lenoir 将可以实用的燃气发动机推向市场。

没有压缩的点燃式发动机的热效率只有 4.5%，但是可以均匀地运转，所以，有相当一部分投入实际使用。

1867年，Otto 和 Langen 改进了自由活塞式发动机，热效率达到 10%，其后不久，这种发动机就统治了整个市场。

1862年，M.A.Beau de Rochas 首先提出了四冲程发动机的基本原理。

1876年，N.A.Otto 根据四冲程发动机原理，试制了燃气发动机。最初的热效率是 10%~12%；1894年热效率达到 20%~26%。

1883年，由 Daimler 首先试制成功汽车用汽油发动机。1885年将汽油机试装到二轮车和四轮车上。

Benz 几乎就在同时也试制成功发动机，1886年试制成功三轮车。

Benz 公司申请的专利被正式登录的 1886年 1月 29日是汽车的元年。

1926年，Daimler 公司和 Benz 公司合并，成立了 Daimler-Benz 公司。

二、狄塞尔发动机的诞生

狄塞尔发动机的诞生比汽油机稍晚几年。

狄塞尔提出的新型发动机是根据 Sadi Carnot 构思而提出的一种旋转式热力发动机。基本工作过程是：在上止点之后、向气缸内被压缩到 200 个大气压的空气中吹进炭粉，使之燃烧，然后再平稳地膨胀到大气压。

这就是有名的德国专利 No.67207——热力发动机原理与结构，1892年正式提出，1893年 2月 23日在柏林被认可。同时，狄塞尔还提出了论文：“代替蒸汽机及现用发动机的合理的热力发动机的理论与设计。”

一般认为，狄塞尔发动机从此诞生。

鲁道夫·狄塞尔（Rudolf Diesel）博士 1858年 3月 18日出生在法国巴黎。父亲是德国移民，经营一家皮革制品的小工厂。1875年进入 München 工业大学，Carl von Linde 教授将热力学方面的知识传授给狄塞尔，从而影响了狄塞尔的一生。

1893年以后，狄塞尔到处宣传他的革命性的设计思想。

当他向 Maschinenfabrik Augsburg 公司（后来的 MAN 公司）进行说明时，虽然对他的清楚的解析给予赞赏，回答却是消极的。但是，最终还是被狄塞尔的信念和热心所感动，1893年 3月 27日最终达成协议：狄塞尔提供设计图纸，MAN 公司试制和试验。

最初是单缸发动机，气缸内径为 150mm，行程 400mm。上部的缸头和缸体做成整体型。进气和排气采用同一个气阀。活塞不带活塞环。开始时，采用炭粉作为燃料进行试验，也曾用汽油进行过试验。其后，不断进行改进，不断进行试验。

1894年 2月 17日，突然燃烧变得稳定，发动机第一次依靠自身的力量开始输出动力。这次运转，仅仅稳定地工作了一分多钟。但是，却迎来了一个新时代。

这台狄塞尔发动机一直运转到 1896年 9月。

这台狄塞尔发动机今天仍然保存在曼恩公司的博物馆里（图 1-1）。

从 1897~1902 年间，世界上很多公司访问狄塞尔，并要和他签订合同。但是，狄塞尔发动机诞生以后不久，由于机械故障接连不断地发生停机现象。

由于经验不足、问题不少。再加上狄塞尔的对手和竞争者们夸大宣传；而且，狄塞尔自己没有生产工厂，设计了很多图纸，和其他公司进行共同开发，但是，都不能立即取得成功。由于复杂的周边环境和资金不足，1898 年成立的公司不得不于 1911 年破产。狄塞尔在财政上陷于极度的困境之中。

但是，许多公司对狄塞尔发动机的未来坚信不移，慢慢地、一步一个脚印地继续开发研制。进入 20 世纪以后，试图将狄塞尔发动机应用于汽车和机车，但是，一直没有获得成功。

这个阶段可以称为狄塞尔发动机的第一历史阶段——探索徘徊阶段，一直持续到 1926 年。狄塞尔发明的发动机采用炭粉作为燃料。因此，燃料系统一直限制着狄塞尔发动机的发展。在这个历史过程中，围绕狄塞尔发动机的燃料系统进行着一系列的探索和研究，并且取得了一个又一个成果，使狄塞尔发动机的燃油系统逐步向成功靠近。详细资料请参看第二章第二节。

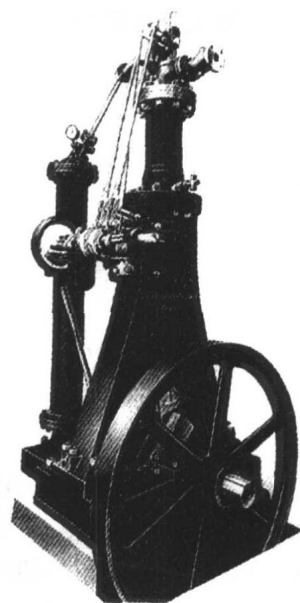


图 1-1 第一台狄塞尔发动机

三、汽车柴油机

开始阶段的狄塞尔发动机采用炭粉作为燃料，因此，还不能叫做真正意义上的柴油机。

自从狄塞尔发动机问世以后，许多人都开始动脑筋企图将狄塞尔发动机装到汽车上去。但是，最大的障碍是：难以操纵的空气压缩机，将很少量的燃料送进燃烧室的技术。直到狄塞尔去世之前，狄塞尔发动机一直在不断地进行改良，1910 年，对 40 马力的车辆用狄塞尔发动机进行了试验，同样也因为没有良好的燃油系统而结束。

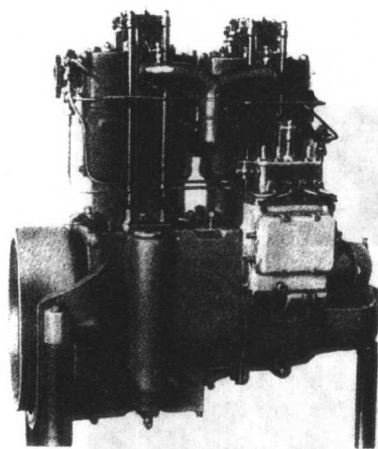


图 1-2 第一台卡车狄塞尔发动机

1915 年，MAN 公司开始研究将燃料直接喷入燃烧室。具体方案是：在气缸头的中央用弹簧控制一个燃料阀，燃烧室是设置在活塞顶部的凹坑。

1923 年，第一辆车用狄塞尔发动机——40 马力（29.4kW）、900r/min 试制成功（图 1-2）。第二年，MAN 公司将该狄塞尔发动机装在 4t 卡车上（图 1-3），在 Augsburg-Nürnberg 之间行驶。从此，开辟了柴油机汽车的新纪元。

Benz 公司修改了 L'Orange 发明的预燃烧室式燃烧室，并进行了试制。使燃料喷入预燃室，燃料在预燃室内着火、在主燃烧室内燃烧。这种机型非常成功，不久，这种狄塞尔发动机就成功地应用于农村中的拖拉机上。

1923 年秋，将 50 马力（36.8kW）、1000r/min 的预

燃式狄塞尔发动机成功地安装在 Benz-Gaggenau 公司的汽车底盘上。第二年，也就是 1924 年，世界上开始销售狄塞尔发动机卡车。



图 1-3 第一辆狄塞尔发动机汽车

在柏林的戴姆勒公司，A.Reinsch 教授试制成功了空气喷射式 40 马力（29.4kW）、1000r/min 的发动机，并将该发动机装到公共汽车上；在 1923 年的试验中，车速达到 30km/h；在 1924 年的柏林博览会上，这种发动机引起了全世界注目。许多公司竞相开发，直接喷射式、预燃室式、涡流室式、空气燃烧室式等等各种机型迅速发展。

1922 年，博世公司开始着手开发喷油泵和喷油嘴。1927 年，开发成功直列式喷油泵。从此，制约狄塞尔发动机的技术关键被攻克。柴油机开始了第二历史阶段——蓬勃发展的阶段。

第二次世界大战时期是狄塞尔发动机发展的重要历史阶段，柴油机的生产量大幅度增加。战后在欧洲结成了欧洲经济共同体，经济活动范围扩大，高速公路网进一步发展；作为商用汽车动力的柴油机由于其经济性、耐久性和大功率正符合当时的要求，大型柴油机得到了飞速进步。

1954 年曼恩公司、1964 年奔驰公司、1967 年日本五十铃公司、日野汽车公司等相继推出直接喷射式柴油机。

20 世纪 80 年代，我国的直喷式柴油机进入迅速发展阶段。

柴油机技术的成熟，使柴油机迅速地进入到社会生活的各个领域。柴油机也曾经用做飞机的动力。例如，英国 Bristol-Phoenix 公司在 1918 年前后开发了四冲程、9 缸、星型飞机用柴油机。1934 年柴油机飞机的飞行高度达到 8 370m。

图 1-4 是世界上以批量生产的柴油机为动力的飞机的照片。

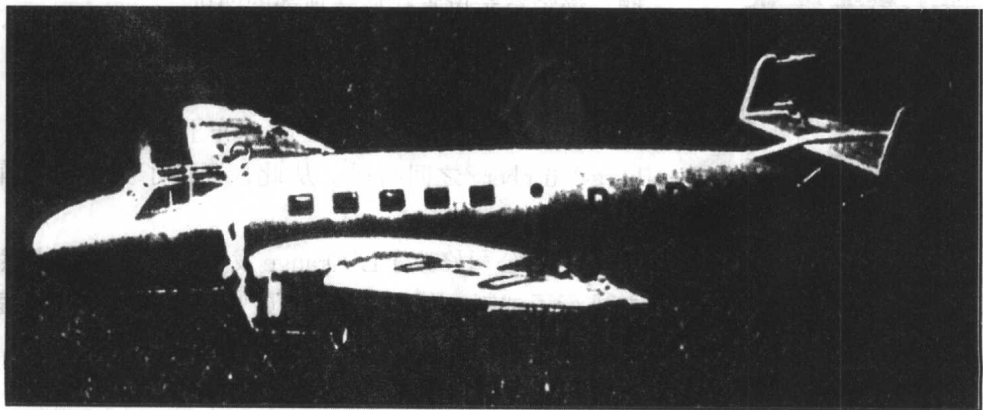


图 1-4 世界上以狄塞尔发动机为动力的飞机