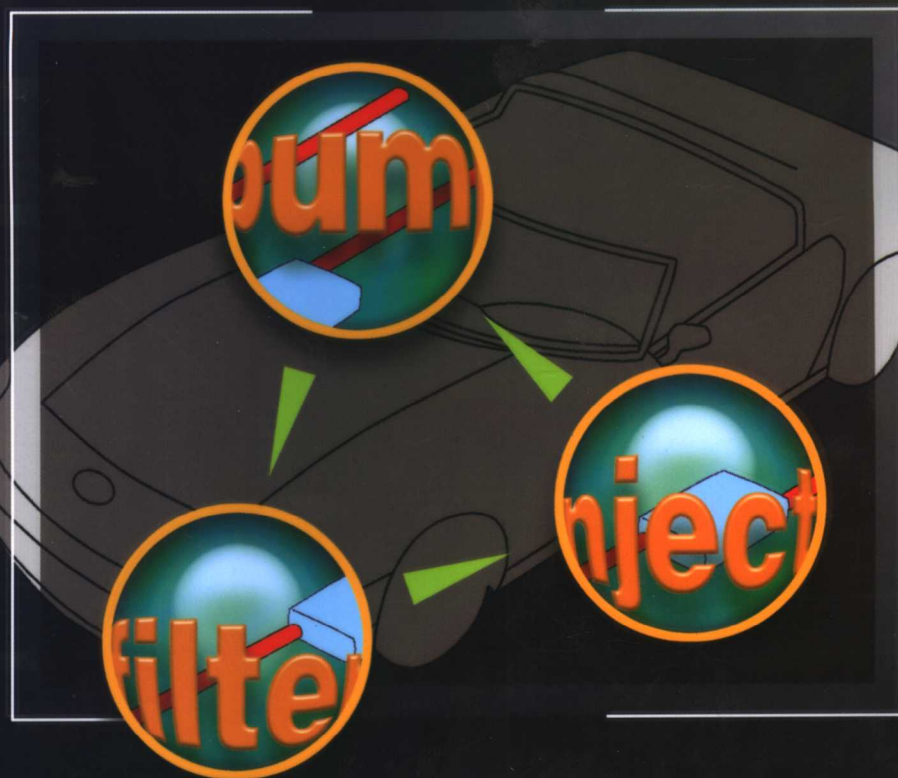


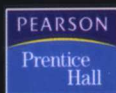
柴油机

燃油系统结构及维修

Diesel Engine and Fuel System Repair



J. F. Dagel 著 司利增 译
R. N. Brady



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

柴油机燃油系统结构及维修

Diesel Engine and Fuel System Repair

J. F. Dagle
R. N. Brady 著

司利增 译

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

Simplified Chinese edition copyright © 2004 by PEARSON EDUCATION ASIA LIMITED and Publishing House of Electronics Industry.

0-13-092981-6 Diesel Engine and Fuel System Repair 5E Chapter 15-23 by Robert Brady, John Dagel, Copyright © 2002.

All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macau).

本书中文简体字翻译版由电子工业出版社和 Pearson Education 培生教育出版亚洲有限公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 Pearson Education 培生教育出版集团激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号图字: 01-2003-3516

图书在版编目(CIP)数据

柴油机燃油系统结构及维修/戴奇(Dagel, J. F.)著;司利增译. —北京:电子工业出版社, 2004.9

书名原文: Diesel Engine and Fuel System Repair

ISBN 7-121-00330-9

I. 柴… II. ①戴…②司… III. ①柴油机-燃油系统-构造②柴油机-燃油系统-维修
IV. TK423.38

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第091477号

责任编辑: 祁 祎

印 刷: 北京天宇星印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 850×1168 1/16 印张: 22.75 字数: 657千字

印 次: 2004年10月第1次印刷

印 数: 5 000册 定价: 39.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话: (010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

序 言

由于汽车及发动机技术在不断进步,特别是从 20 世纪 80 年代中期以来,在社会压力、支持技术和制造商自身努力等多重作用下,汽车及其发动机在电子控制及信息通信等方面的技术进步非常迅速,使汽车及其发动机由过去的机械系统转变为机电一体化系统,这不仅使汽车及其发动机的性能得到显著提高,而且控制功能也得到充分扩展,但与之伴生的是汽车及发动机的结构与原理变得越来越复杂,也越来越精巧。这就要求汽车及发动机的技术人员必须具有坚实而且广阔的知识 and 能力基础,并且要自觉地坚持终生学习,不断地提高技术水准并接受新的知识,才能适应不断提高的职业要求,延长自己的职业生涯。

在美国,汽车和柴油机维修技师与 X 光技师和计算机程序员等一百多种高技能专业人员一样,必须通过执业资格考试获得执业资格证书才能从事相关工作,要获得汽车维修技师执业资格的人员至少应具有高中毕业文凭,再在职业技术培训学院经过一到两年专业培训,并通过 ASE(汽车维修技师)和 TQ(职业资格)考试。由 John F. Dagel 和 Robert N. Brady 编写的由 Prentice Hall 公司出版的《Diesel Engine and Fuel System Repair》就是柴油机维修技师的培训教材,该教材分别于 1982 年、1988 年、1994 年、1998 年、2002 年共出版了五版,特别是在最新的第五版中,增加了许多最新的柴油机电控方面的内容,并对世界上主要的柴油机燃油系统及柴油机制造公司所制造的柴油机燃油系统进行了全面介绍,内容涉及各种机械控制和电子控制燃油系统的发展历程、结构类型、工作原理和使用维修等方面,篇幅约占《Diesel Engine and Fuel System Repair》全书的一半,突显了燃油系统作为柴油机心脏的重要及复杂性。

目前我国出版的关于柴油机燃油系统方面的书籍无论从数量方面还是从内容方面看,都与当前世界柴油机燃油系统方面的发展存在很大差距,说明我们对于柴油机燃油系统的了解和认识还相当局限和落后。

近年来,康明斯等著名的发动机公司也已经在我国销售和生产其产品,我国还进口了很多以柴油机为动力装置的各种汽车和各种设备,而且这些汽车和设备的价格通常又较为昂贵,为了有助于这些汽车和设备的合理使用和有效维修,使我国柴油机领域从业人员了解世界柴油机燃油系统的技术发展情况,电子工业出版社购买了《Diesel Engine and Fuel System Repair》第五版中第 15 章至第 23 章的版权,委托我编译其中关于柴油机燃油系统的内容,编译成本书后内容分为九章,主要如下:

机械式和电子式燃油系统的主要类型及柴油喷射系统的结构变化。

各种机械式和电子式调速器的功用、类型、结构、原理和调整。

各种类型喷油嘴的功能、结构、原理、检查、测试和调整。

电控燃油系统的控制目标、控制功能和控制原理、电子控制基本原理及 SAE 标准故障码。

Bosch(博世)公司生产的各种柴油喷射设备的结构、原理、故障诊断与排除、调整与维修,包括机械控制式和电子控制式喷油泵—高压油管—喷油嘴(PLN)系统、机械控制式和电子控制式径向柱塞式分配泵、电控单体式喷油泵(EUP)、电控单体式喷油器(EUI)、共轨燃油系统(CRFS)。

Mack(麦克)公司 VMAC(汽车管理及控制)电子控制系统的结构和故障排除方法。

Detroit(底特律)柴油机公司的机械式和电子式燃油系统的功能、结构、原理、调整、故障诊断仪器及使用方法等,主要包括机械控制单体式喷油器(MUI)、电子控制单体式喷油器(EUI)。

Cummins(康明斯)发动机公司各种燃油系统的功用、结构、原理、诊断维修仪器以及机械式燃油系统的调整及检查,包括机械式 PT(压力-时间)系统、Celect(Cummins 电子控制)系统、Celect Plus 系统、电控蓄能喷油系统(CAPS)、ISX 及 Signature 型燃油系统等。

Caterpillar(卡特彼勒)公司的喷油泵—高压油管—喷油嘴(PLN)燃油系统、机械控制单体式喷油器(MUI)、电子控制单体式喷油器(EUI)和液压驱动电子控制单体式喷油器(HEUI),燃油系统的目标、功用、结构、原理、故障诊断仪器以及机械式燃油系统的调整和检查。

参与本书翻译工作的还有刘生全、王生昌、李晓霞、马志义和王忠全等同志,在书稿的文字处理过程中朝睿做了很多工作。尽管我在翻译过程中竭尽所能,努力提高译稿质量,但限于自身学识和能力,加之时间仓促,其中不免会有错误,诚恳希望得到指正。

司利增

2003 年 12 月于长安大学

目 录

第一章 燃油系统的类型	1
概述	1
一、基本的燃油喷射系统	1
二、分配泵燃油系统	4
三、Stanadyne DS 型分配泵	8
四、Delphi 汽车系统公司	10
五、Delphi 分配泵概述	12
六、DP200 型分配泵	14
七、DPC 型电控分配泵	15
八、DPCN 型分配泵	16
九、EPIC 型分配泵	17
十、Delphi 柴油共轨系统(DCR)	20
十一、电控单体式喷油器(EUI)	21
十二、小结	22
第二章 机械式和电子式调速器的工作原理	23
概述	23
一、调速器的功用	23
二、采用调速器的必要性	23
三、机械式调速器的工作原理	25
四、调速器术语	28
五、调速器的类型	30
六、零转速降调速器	31
七、可调转速降调速器	31
八、电子调速器	38
九、小结	40
第三章 喷油嘴	41
概述	41
一、喷油嘴概述	41
二、喷油嘴	43
三、喷油嘴的结构和功能	44
四、喷油嘴的油路	45
五、喷油嘴的零部件	45
六、Bosch 喷油嘴	46
七、喷油嘴的油囊容积	48
八、喷油嘴的问题	48

九、喷油嘴的拆卸	48
十、喷油嘴的性能检测	51
十一、喷油嘴的解体和清理	53
十二、喷油嘴重新装配	58
十三、喷油嘴安装	60
十四、小结	60
第四章 电控燃油系统基本原理	61
概述	61
一、电控燃油系统的历史回顾	61
二、电控发动机的优点	62
三、燃油系统的结构及原理	63
四、ECM 串行数据及传感器通信	69
五、发动机保护系统	79
六、电控单体式喷油器	85
七、电子控制模块	89
八、故障排除方法选择	95
九、诊断仪器	98
十、小结	107
第五章 Bosch(博世)燃油系统	108
概述	108
一、公司背景	108
二、概况	108
三、产品概述	109
四、喷油泵的特征	112
五、直列柱塞式喷油泵燃油系统	116
六、供给系的工作原理	117
七、喷油泵的工作原理	119
八、泵油量的调节(计量)	119
九、螺旋槽形式和出油阀	122
十、直列式喷油泵相对于发动机的定时	124
十一、静态溢油定时概述	125
十二、燃油系统中的空气	129
十三、Cummins C 型发动机的喷油定时检查	130
十四、PF 型脉动式喷油泵的定时调整	136
十五、定时自动提前装置	136
十六、燃油系统故障排除基础	138
十七、Robert Bosch 调速器	142
十八、压力膜盒及增压补偿控制	152
十九、海拔及压力补偿器	153
二十、Bosch 柴油机电控系统	153

二十一、燃油分配泵	156
二十二、Bosch VE 型喷油泵	156
二十三、喷油泵静态定时的检查	170
二十四、Bosch VE 型喷油泵的故障检查与排除	172
二十五、电控分配式喷油泵	174
二十六、喷油泵的检测和设定	176
二十七、Bosch 共轨燃油喷射系统	179
二十八、小结	184
第六章 Mack(麦克)电控燃油系统	185
概述	185
一、VMAC 燃油系统的故障排除	185
二、小结	189
第七章 Detroit(底特律)燃油系统	190
概述	190
一、发动机标牌	190
二、燃油系统的基本功能	190
三、机械式燃油系统的组成	191
四、输油泵	192
五、许可阻力下的燃油管最小尺寸	195
六、燃油系统注油	196
七、燃油滤清器的更换	196
八、发动机运转到燃油耗尽	196
九、机械控制单体式喷油器(MUI)	197
十、燃油系统的故障排除	201
十一、非 DDEC 二冲程发动机的调整	205
十二、Detroit 50 及 60 系列四冲程发动机的调整	216
十三、790 型 Jake 制动器——板式制动器	218
十四、Detroit 柴油机电子控制系统	220
十五、诊断仪器	233
十六、优化怠速	239
十七、电控单体式喷油泵系统	240
十八、小结	241
第八章 Cummins(康明斯)燃油系统	242
概述	242
一、公司背景	242
二、PT 燃油系统	243
三、PT 燃油泵	246
四、空燃比控制(AFC)燃油泵	250
五、手动供油中断停机	251
六、PT 燃油泵的检查与调整	251

七、发动机对喷油器的定时	252
八、步进定时控制系统	259
九、Cummins Celect 系统	264
十、诊断故障码	275
十一、ISB 发动机电控燃油系统	290
十二、Bosch VP44 型分配泵	292
十三、Cummins ISC 发动机	295
十四、CAPS 燃油系统	296
十五、Cummins ISX 及 Signature 系列发动机	305
十六、小结	315
第九章 Caterpillar(卡特彼勒)燃油系统	316
概述	316
一、公司背景	316
二、系统的结构及功能	316
三、3306 型和 3406 型发动机的新涡形燃油系统	317
四、输油泵	320
五、调速器	320
六、定时自动提前装置	323
七、发动机的静态喷油定时	324
八、发动机的动态定时	326
九、3406B 型发动机的喷油泵	327
十、3406 系列发动机的气门调整	328
十一、340, 340 A 和 340B 型发动机压缩制动伺服活塞间隙的调整新步骤	329
十二、Caterpillar 电控燃油系统	330
十三、Caterpillar 电控系统的诊断仪器	339
十四、HEUI 燃油系统	349
十五、小结	356

第一章 燃油系统的类型

概述

燃油喷射系统是柴油机的心脏,低速、中速和高速柴油机都是利用高压将适量燃油在上止点前的适当角度喷入燃烧室,以提高柴油机的热效率并降低废气排放。为使道路和非道路用高速柴油机能够满足美国环境保护局(U.S.EPA)、加拿大环境保护局(CEPA)和欧洲经济共同体(EEC)严格的排放限制,柴油机在结构和控制方面的主要技术进步在于极大地依赖电子控制燃油喷射系统和调速系统。尽管在世界范围内仍有大量机械控制燃油系统用于柴油机,但是其最终必将会被电子控制燃油系统完全取代。本章将着重介绍机械式和电子式燃油系统的主要类型,并概要地介绍燃油喷射系统的结构变化,本章所讨论的关于燃油喷射的基本概念在本书各制造商燃油系统章节中将会作进一步说明。

一、基本的燃油喷射系统

1. 发展历史

尽管 Rudolph Diesel (鲁道夫·狄塞尔)因在 1895 年首先设计并试验这种内燃机,并因此获得了以其名字命名这种内燃机的殊荣,但是,在他之前就有很多人为将燃油喷射到内燃机气缸内的想法奠定了基础。早在柴油机发明之前,燃油喷射就被首先用于奥托(Otto)循环发动机(汽油机)上,其目的是使燃油在压力作用下通过喷雾嘴使燃油得到充分雾化,这种理念早于目前的实用化油器,到 1900 年,化油器的结构得到了改进,使其制造成本降低,从而取代了汽油喷射系统,直到 20 世纪 70 年代中期,电子控制汽油喷射系统才又开始在大批量生产的汽车上重新露面。

在 Diesel 的原始设计中,作为燃料的煤粉是被高压空气吹入发动机气缸的,之后由压缩空气将液体燃料带入发动机气缸中,从而产生了初期的通过机械计量将柴油雾化后喷入发动机气缸的燃油系统。1900 年, Diesel 的燃油计量控制方法获得了美国专利,在 Diesel 之前,已经有一些人申请了其他类型液体燃料喷射控制的专利。

在美国, John F. Holland 于 1886 年获得了用机械方法将燃油喷入气缸的专利。用柱塞泵将经过计量的燃油以高压喷入气缸的创始者可以追溯到英格兰人 Richard Hornsby 和 Sons,他们在 1891 年就采用了这种原理。现在众所周知的通过在泵油柱塞上开有螺旋槽对燃油进行计量的机械控制方法由德国人 Carl Pieper 在 1892 年获得了专利权。1895 年英国人 William H. Scott 获得了用双螺旋槽结构控制喷油开始和结束的专利,该设计原理以后被 Robert Bosch 公司采用。

早在 1922 年,位于德国斯图加特的 Robert Bosch (罗伯特·博世)公司决定制造并批量生产燃油喷射设备,从而使一些从事喷油嘴和单体式喷油器以及机械式调速器和控制装置设计的人获得了许多其他专利。1927 年由 Bosch 公司推出了著名的通过螺旋槽对喷油量进行控制的用于单缸和多缸发动机的柱塞式脉动喷油泵, Ottmar Bauer 在 1931 年以这种系统设计获得美国第 1831649 号专利,正是由于这种喷油设备的批量生产,才使高速柴油机一直存在到现在。现在, Robert Bosch 公司及其授权制造商所生产的柴油喷射设备大约占到全世界需求量的 60%。

Robert Bosch 公司的喷油泵—高压油管—喷油嘴(简称 PLN)燃油喷射系统在过去和现在都相当普及,这种系统需要通过钢质高压油管将燃油从喷油泵输送到喷油嘴,这种燃油系统在高压油管扩口端发生扭转、弯曲、过紧或损伤的情况下很容易发生泄漏问题,另外,与安装在气缸盖上的各

个喷油嘴对应的每根高压油管的长度都要求完全相同,以确保从喷油泵向各气缸喷油嘴输送燃油所需的时间完全一致。

用低压向将喷油泵和喷油嘴组合为一体的单体式喷油器供油,可以取消高压油管,从而将其称为“低压结构”。1905年德国人 Carl Weidman 的空气喷射系统获得了专利,1911年 Frederick Lamplough 的机械单体式喷油器(MUI)获得了英国专利,这种机械单体式喷油器与目前所使用的机械单体式喷油器很相似。在美国,商业化采用单体式喷油器始于1931年由 C.D.Salisbury 设计的 Winton 发动机上,1934年由 Arthur Fielden 设计的被 General Motors(通用汽车)公司用于二冲程发动机的单体式喷油器获得了美国专利。Detroit Diesel(DDC 底特律柴油机)公司从1937年开始一直将 MUI 用于其生产的二冲程发动机,直到1985年推出其电子控制单体式喷油器为止。Caterpillar(卡特彼勒)公司也在其生产的3400、3500和3600等几种型号的柴油机上采用了 MUI,后来在3400系列发动机中有些型号改用了电子控制单体式喷油器(EUI)和液压驱动电子控制单体式喷油器(HEUI)。

目前,EUI已被许多主要的发动机制造商广泛采用,如 Detroit Diesel、Caterpillar、John Deere、Cummins、MTU 和 Volvo 等公司。目前,单体式喷油器向燃烧室喷油的压力可以达到193.1~206.8MPa,各种电控单体式喷油器的电磁阀都由 ECM 发出的脉冲电信号进行控制,由 ECM 决定喷油的速率、定时、持续时间和结束时刻。

有许多不在上列的发动机制造商采用了电子控制单体式喷油泵(EUP),采用单体式喷油泵的主要发动机制造商有 Mercedes-Benz、Volvo/Renault VI/Mack、MTU/DDC 等公司。所谓单体式喷油泵就是发动机的每个气缸单独使用一个喷油泵,每个单体式喷油泵都由发动机的凸轮轴进行驱动,只用很短的高压油管将燃油输送给安装在发动机气缸盖上的喷油嘴,每个电控单体式喷油泵的电磁阀都由发动机 ECM 发出的脉冲电信号进行控制,由 ECM 决定喷油的速率、定时、持续时间和结束时刻。

目前,全世界仍有数百家发动机制造商采用 Bosch 公司从1927年就开始批量生产的基本喷油泵和调速器,当然,现在的喷油泵和喷油器都实现了电子控制,尽管许多仍然还是通过凸轮轴和推杆或顶置凸轮轴进行机械驱动,将燃油压力升高到足以开启喷油嘴或喷油器内由弹簧加载的喷油阀。由 International 公司和 Caterpillar 公司联合设计的液压驱动电子控制单体式喷油器(HEUI)被广泛用于其各自的发动机产品上,在 HEUI 中无需机械驱动,而是由发动机产生的高压润滑油进行驱动。关于 HEUI 的工作原理见本书后续章节。

在柴油机上已经并将继续使用的四种基本的机械或电子控制燃油喷射系统是:

- 恒压或共轨燃油喷射系统;
- 弹簧加压或蓄能器燃油喷射系统;
- 源于 Bosch 结构的脉动式喷油泵燃油喷射系统;
- 分配泵燃油喷射系统。

2. 共轨燃油喷射系统

由美国环境保护局以及欧洲和日本官方制定的严格的废气排放控制法规已经规定了几条出路,一条出路是采用一种不论发动机的负荷和转速如何变化都能将燃油以相同雾化程度喷入燃烧室的燃油喷射系统,目前,最广泛采用的一种燃油喷射系统是电子控制共轨燃油喷射系统(见第五、八、九章),全球许多主要的发动机制造商现在都在这一点达成共识。

“共轨”一词大约与柴油机同时出现,其基本含义是将燃油从共同油管或油轨以高压供给所有喷油嘴或喷油器。在 Diesel 的原型发动机上,利用高压空气将经过机械机构计量的柴油以细碎的油雾带入发动机气缸,美国最早出现的机械式共轨喷油系统发动机是由 Atlas Imperial 柴油机公司于

1919 年制造的。多柱塞泵将燃油输送到蓄能器中, 由限压阀将公共油轨中的燃油压力保持在大约 344 75kPa。

类似的共轨燃油喷射系统已经被使用了很多年, 该系统有进油和回油两根油管, 进油管向喷油器总成供应高压燃油, 回油管接收由喷油器总成溢流的燃油。早期的发动机将两根油管平行固定在气缸盖的外部, 后来的发动机将两根油管沿着气缸盖长度方向铸造在气缸盖中。进油管中的燃油压力随发动机的转速而变, 因为由齿轮驱动的油泵的流量与发动机的转速成比例变化, 最大燃油压力由设在燃油泵中的限压阀通过将高压燃油流回吸油口一侧进行控制, 根据系统的不同, 最大燃油压力一般保持在 345~758kPa。因此, 通常将其归类为低压燃油系统, 喷油器内的喷油高压是由摇臂总成驱动产生的。MUI 喷油系统喷油压力的范围一般是 129.3~156.5MPa, 这些共轨喷油系统已经被 Detroit Diesel 公司和 Caterpillar 公司使用了多年。

另一种独特的低压机械式喷油系统是被 Cummins 发动机公司用于部分型号发动机上的压力时间 (PT) 系统, 其工作原理与共轨燃油喷射系统有些相似, 由一个齿轮泵向旋转柱塞供油, 机械调速器根据发动机的转速和负荷调节柱塞的位置, 燃油在压力作用下通过气缸盖中的油道供给喷油器, 发动机的转速决定了供油压力, 供油压力又受限压阀控制, 喷油器中的燃油计量时间决定了喷油量和喷油时间, PT 系统还能通过改变燃油泵的燃油旁通截面尺寸来改变燃油压力, 在满负荷调速转速下, 系统的油轨压力一般为 1034~2068kPa, 而 PT 系统的喷油压力一般在 129.3~149.6MPa 范围内。现在, 在大多数 Cummins 发动机上, PT 燃油系统已被新型电子控制燃油系统所取代, 详见第七章。

3. 蓄能器燃油喷射系统

目前, Cummins 发动机公司在其 ISC、QSC 8.3 和 ISL 等型号发动机上采用了 Cummins 蓄能器燃油喷射系统 (CAPS) (见第七章), 这种电子控制喷油系统的供油压力范围为 34~102MPa, 该系统能够对喷油量和定时 (开始、持续和结束) 进行电子控制, 该系统还能在低怠速与高怠速设定值之间进行调速控制。系统中采用了许多发动机传感器, 这些传感器与 Cummins 电子控制模块 (ECM) 相连。

4. 脉动式喷油泵燃油系统

由 Bosch 公司及其授权公司自 1927 年开始生产的喷油泵—高压油管—喷油嘴 (PLZ) 燃油喷射系统 (见第五章) 就是典型的脉动式喷油泵系统。这些机械控制或电子控制的喷油泵有一根由发动机驱动的凸轮轴, 凸轮轴位于喷油泵壳体底座内, 在多缸发动机上, 凸轮的凸起驱动一系列垂直布置的泵油柱塞进行上下运动, 将燃油压力提升到足够高后输送给喷油嘴, 再由喷油嘴喷入燃烧室中。脉动式喷油泵系统经过多年使用, 其喷油压力范围已达 103.4~137.9MPa, 可以配用不同形式的机械调速器或 Bosch 公司的电子柴油机控制 (EDC) 系统, 这种最为普及的燃油系统已经并将继续被广泛地用于全球数以百万计的柴油机上。

5. 分配式喷油泵系统

分配泵小巧而紧凑, 由比利时人 Francois Feyens 于 1914 年获得专利, 这种喷油系统利用一个旋转的分配转子将经过计量的燃油送入气缸 (详见第五章), 其设计原理源于汽油机上的分电器转子, 但它分配的不是高压电, 而是按照发动机发火次序将高压柴油供给各缸喷油嘴。有些分配式喷油泵采用两个或多个泵油柱塞来产生所需的喷油高压, 另有一些分配式喷油泵则采用一边做往复运动一边做旋转运动的单个泵油柱塞向喷油嘴供油。目前, 分配式喷油泵被用于轻型、小功率、小排量柴油车以及小到中功率工业用柴油机, 这些分配式喷油泵 (由于尺寸太小) 的泵油能力受到限

制, 喷油压力大约只及电子控制单体式喷油器的一半, 新型分配式喷油泵已经实现了电子控制, 喷油压力大约为 96.5MPa。

6. 两阶段喷油

为了满足自 2001 年起开始实施并于 2006 年适用于所有发动机的严格的 EPA Tier 11 废气排放法规, 发动机制造商采用了各种先进的技术。

在全球范围内实施严格的排放法规意味着机械控制喷油系统已经走向了末路, 而必须改用电子控制燃油喷射系统, 废气排放降低效果最终由喷油嘴或喷油器所控制的向燃烧室内喷入的实际喷油量以及喷油开始、喷油持续和喷油结束时刻来决定。预燃控制是一种通过直接改善燃烧过程减少排放的有效途径, 在排放法规给予的过渡时期, 一些发动机制造商被迫采用微粒捕集器和各种催化型系统通过后燃技术对排放进行控制。目前, 工程师们采用最新的基于有限元计算机模型技术和数学预测工具来减小发动机的噪声和减少废气排放, 根据这些完全来自经验的数据和资料, 许多发动机已在设计中采用了两阶段喷油系统, 以减少废气排放。

电子控制燃油喷射系统和 HEUI 燃油喷射系统在发动机工况处于稳定和变动的情况下都是由 ECM 对传感器反馈的运转参数按照预设程序进行处理后所形成的决定进行控制的。喷油泵—高压油管—喷油嘴型电子控制燃油喷射系统也采用多种发动机传感器向 ECM 提供运转信息, 但必须使用经过专门设计的内部装有减轻燃烧噪声的定时控制装置的喷油泵, 通过喷油嘴向燃烧室先喷入少量燃油, 使燃烧室内缓慢形成软性火焰前锋, 这样气缸内的峰值压力和峰值温度都比普通的一次喷射系统的要低, 从而能够降低燃烧噪声。在火焰前锋形成后, 喷油嘴再次持续开启, 将更多燃油以更高的喷油速率喷入燃烧室, 再次喷入燃烧室的燃油通常进入活塞顶上的碗形空间内, 这有助于空气和燃油形成涡流, 由于降低了气缸内的压力升高率, 使燃烧噪声得以降低。

在当前的发动机家族中, 二次燃烧的典型实例是 Isuzu 公司的新型 3LD2 三缸发动机和 4LE2 四缸发动机, 二者都是直喷 (DI) 发动机, 每个气缸采用一个单体式喷油泵, 分别通过一根短高压油管将燃油输送到各自的喷油嘴, 采用两阶段喷油的发动机运转非常安静。Isuzu 发动机采用了高涡流 Cobra 燃烧系统, 降低了预混燃烧阶段的峰值温度, 也就降低了燃烧噪声和 NO_x 排放, 并且极大地促进了扩散燃烧阶段的混合速度, 从而降低了废气中的炭烟和微粒 (PM) 排放, 由于预混阶段的喷油速率较低而扩散阶段的喷油速率较高, 使得燃烧更为完全和有效。在扩散燃烧阶段, 燃油在高压作用下通过喷油嘴上的喷油小孔被破碎成微米级的细小燃油颗粒, 这种设计缩短了燃烧时间, 确保在燃烧后期具有相对较高的涡流强度, 改善了发动机的燃烧效率, 使这种发动机的废气热能比普通的非直喷式发动机低 20%~25%。

二、分配泵燃油系统

分配式喷油泵系统可以在小型和中型柴油机上看到, 也常被称为旋转式喷油泵, 其工作原理与汽油机的分电器相似。这种喷油泵中有一个被称为转子的旋转元件, 能将高压柴油按照发动机发火次序分配给各缸的喷油嘴, 这种系统属于高压系统, 适用于单缸排量在 1.3L 以下的发动机, 分配式喷油泵在供油量、供油压力和供油速率等方面, 不能满足重型货车大功率大排量高速柴油机的要求。分配式喷油泵经过第一级滤清器或燃油滤清及油水分离器从燃油箱中抽吸燃油, 用于 V8 发动机的燃油系统如图 1-1 所示。

燃油由输油泵将压力提高到 21~34kPa, 并通过第二级燃油滤清器, 进入喷油泵壳体。在喷油泵总成端盖内 (驱动端对面) 安装了一个叶片式供油泵, 对燃油进一步加压, 将燃油以大约 896kPa 的调节压力供入喷油泵内的充油通道, 燃油再经喷油泵计量和确定定时以平均为 20.685~

27.56MPa 的压力输送到各个喷油嘴，每个喷油嘴都通过一根高压油管直接连接到喷油泵的泵头上，可以调整的喷油弹簧设定决定了喷油嘴的实际开启压力。回油管将喷油嘴和喷油泵的旁通燃油引流到第二级滤清器总成或燃油箱。

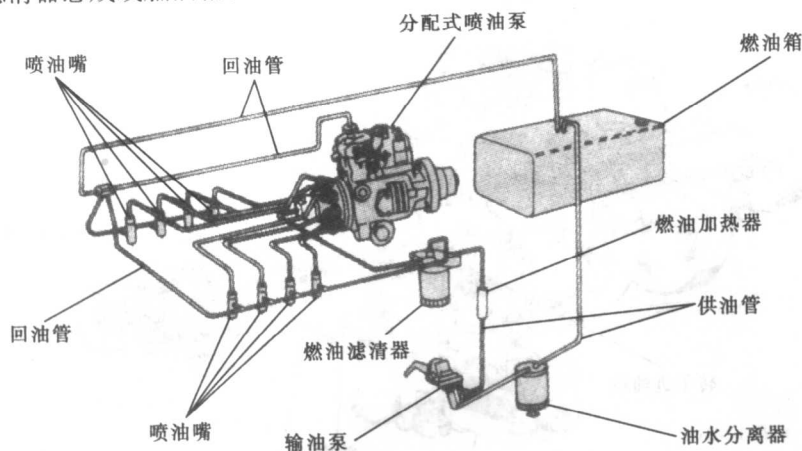


图 1-1 分配式喷油泵燃油系统（经 Stanadyne 柴油系统公司许可）

生产分配式喷油泵的公司有 Stanadyne 柴油系统公司、Robert Bosch 公司和现在属于 Delphi 公司的 Lucas-Varity 公司，其中 Robert Bosch 公司生产的 VE 型分配式喷油泵获得了广泛应用，Lucas-Varity 公司将其分配式喷油泵简称为 DPA，Robert Bosch 公司和 Delphi 公司都在世界范围内向一些公司授权生产用于小型和中型柴油机的分配式转子泵，其中日本和美国的 Zexel 公司就是授权生产商之一。

1. 燃油油路

图 1-2 (a) 所示的是 Stanadyne 柴油系统公司生产的 DB2 型机械控制分配式喷油泵及其主要零部件。燃油在喷油泵中的路径是：燃油以输油泵的输油压力经过第二级燃油滤清器，从泵头（高压油管一端）进入喷油泵，再经过滤网（1）进入叶片式供油泵（2），为了控制由驱动轴驱动的叶片式供油泵的最高供油压力，一个由弹簧施压的调压阀将旁通燃油引流到供油泵的吸油口，设定供油压力时需要将喷油泵安装到喷油泵试验台上才能进行，通常将最大供油压力限制在 896kPa。

供油泵使燃油流过转子中央并通过转子保持器（4）进入喷油泵的泵头内，燃油通过泵头内的连接通道（5）到达定时自动提前装置（6），再流过径向油道（9），然后到达由油门位置和调速器作用控制的燃油计量阀（8）。

与喷油泵驱动轴同速旋转的喷油泵转子（发动机转速的一半）可以使其上的进油通道（10）与泵头上的充油口对正，让燃油流入泵油腔，泵油腔内有两个柱塞，这两个柱塞在滚轮（11）的作用下进行相向运动，而滚轮与凸轮环上的凸起相抵靠。滚轮推动柱塞向内运动，将封闭燃油的压力升高，高压燃油直接通过转子上的出油道从由弹簧施压的出油阀流出，然后进入通往喷油嘴的高压油管。随着转子的转动，高压燃油将被按照发动机发火次序供入相应的高压油管。

泵头上的泄油通道（12）允许一定比例的燃油从供油泵流入喷油泵壳体中，这部分燃油用于携出系统中的空气，并对喷油泵内部的零件进行冷却和润滑，这部分燃油最后通过回油管流回燃油箱。

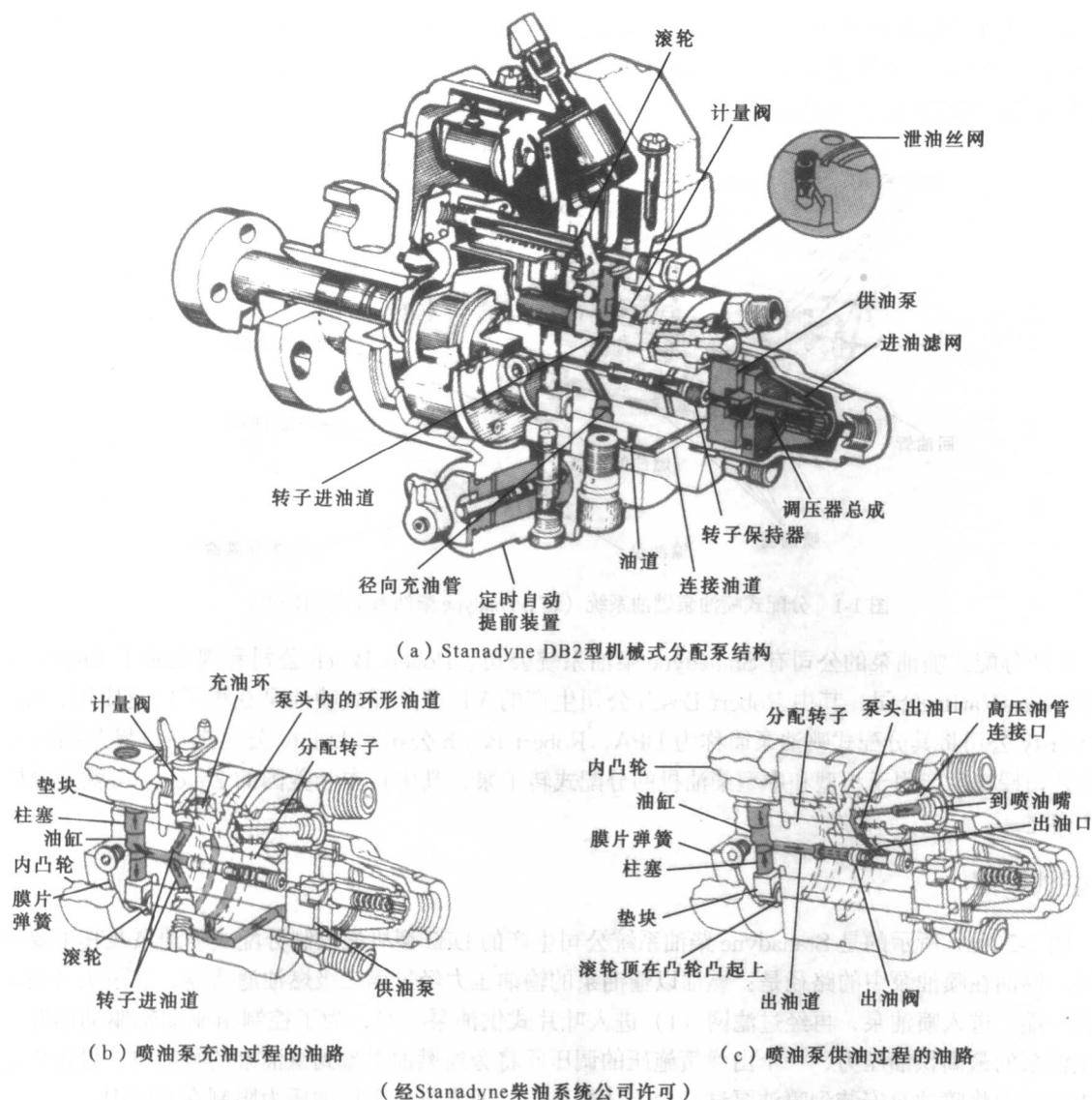


图 1-2

2. 充油和供油过程

(1) 充油过程

转子转动使其上的径向进油道与环形充油口相通，与调速器拉杆连接的计量阀的位置控制着由供油泵供入泵油腔的燃油量，从而决定了两个柱塞相互远离的程度，柱塞的最大行程由与滚轮垫块边缘接触的一个膜片弹簧进行控制，因此，只有在满负荷工况，柱塞才能向外移到其最远位置。图 1-2 (b) 显示了喷油泵充油过程中的油路，转子转动到进油道与泵头内的环形充油口相对时，转子上的出油口就不会与泵头内的出油口相通，并且滚轮也会离开内凸轮环的凸起。

(2) 供油过程

燃油压力通过推杆对内凸轮环产生推动作用，使凸轮环随发动机转速提高自动提前，所以实际的喷油开始时刻会随着发动机转速的提高自动提前。随着转子的转动，原本与进油口正对的转子进油通道将离开进油口，此时，转子的出油口将打开泵头上的一个出油口（见图 1-2c）。

与此同时，滚轮与凸轮环上的凸起接触，推动垫块及柱塞向内移动，使转子出油道内的燃油产生高压，高压燃油将流过转子内的轴向出油道，并打开由弹簧加压的出油阀，燃油再流经出油口进入高压油管 and 喷油嘴，出油阀将持续开启，直到滚轮通过凸轮环凸起的最高处，之后，滚轮将开始向外移动，使转子轴向油道内的燃油压力迅速降低，同时，喷油嘴内的喷油阀在回位弹簧压力作用下关闭。

3. 出油阀的工作原理

为了避免导致燃油燃烧不完全和排气中出现炭烟的后滴现象发生，对于任何高速发动机，都要求能够干脆利落地结束喷油过程。为了确保喷油嘴针阀尽快回落到阀座上，喷油泵转子轴向出油道内的出油阀会使高压油管内的燃油压力在喷油之后降低到喷油嘴针阀关闭压力以下。

从图中可以看到，出油阀位于转子轴向油道内，为了更好地理解其作用，请参看图 1-3，出油阀仅需要一个限制其在转子钻孔内移动量的限位器，而对密封性不作要求，因为出油阀与其阀孔是紧密配合的。对于 DB2 型分配式喷油泵，转子轴向油道按照发动机发火次序向各个喷油嘴供应高压燃油，所以，对应于每个喷油嘴在每个喷油循环接近喷油结束时，出油阀都要关闭一次。

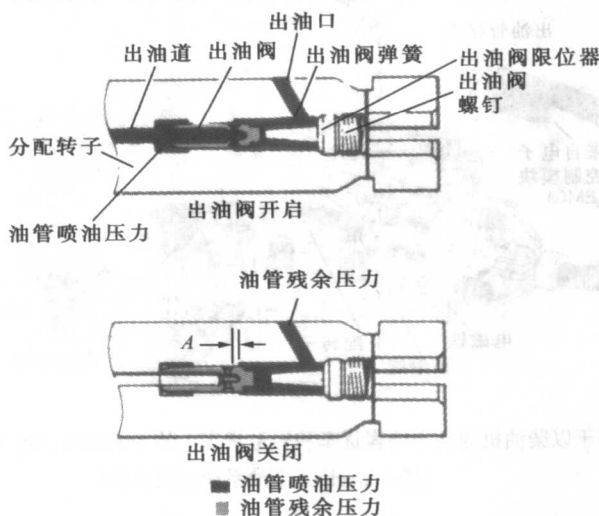


图 1-3 机械式分配泵出油阀工作原理（经 Stanadyne 柴油系统公司许可）

在图 1-3 中，压力燃油将出油阀缓缓推离阀孔，使其容积移入高压出油阀腔中。随着滚轮从内凸轮环凸起向下移动，出油阀柱塞一侧的压力迅速减小，出油阀弹簧将推动出油阀关闭出油通道，从而结束了向某一气缸的喷油过程。

随后，转子出油口将完全关闭，高压油管内的残余压力将保持在 3447~4137kPa。由于泵头与转子之间的紧密配合而产生密封作用，所以高压油管内的残余压力将得以保持。

4. 燃油回流油路

在压力作用下，少量燃油会泄漏到调速器推杆室，流入推杆室的燃油量由一个很小的泄油丝网进行控制，因为泄油丝网控制了向燃油箱回流的燃油量，从而避免了燃油压力的过度损失。泄油通道位于计量阀套的后面，并通过一条短的垂直通道连通到调速器推杆室。泄油丝网组件有多种规格，以控制回流到燃油箱的燃油泄流量，泄油丝网组件的规格取决于喷油泵的具体应用，在正常使用条件下，泄油丝网不应被堵塞，因为它只有在打开调速器壳体后才能更换，只有将喷油泵总成安装到喷油泵校验试验台上进行流量测试才能确定丝网的合适规格。

泄油丝网通道允许所有空气和少量燃油流回燃油箱，调速器壳体上的燃油压力由安装在喷油泵调速器壳体上的球形止回阀保持。

三、Stanadyne DS 型分配泵

生产 DPA 型分配泵的 Delphi 汽车系统公司、生产汽车用 VE 型分配泵的 Bosch 公司和生产 DB 型及 DS 型分配泵的 Stanadyne 公司是生产分配式喷油泵系统的三家主要制造商，并且都已将其各型分配式喷油泵转换为电子控制方式。图 1-4 所示的 Stanadyne DS 型分配式喷油泵就是其中的一例，这种分配泵被通用汽车公司广泛用于涡轮增压的 6.5L V8 型客货车上。

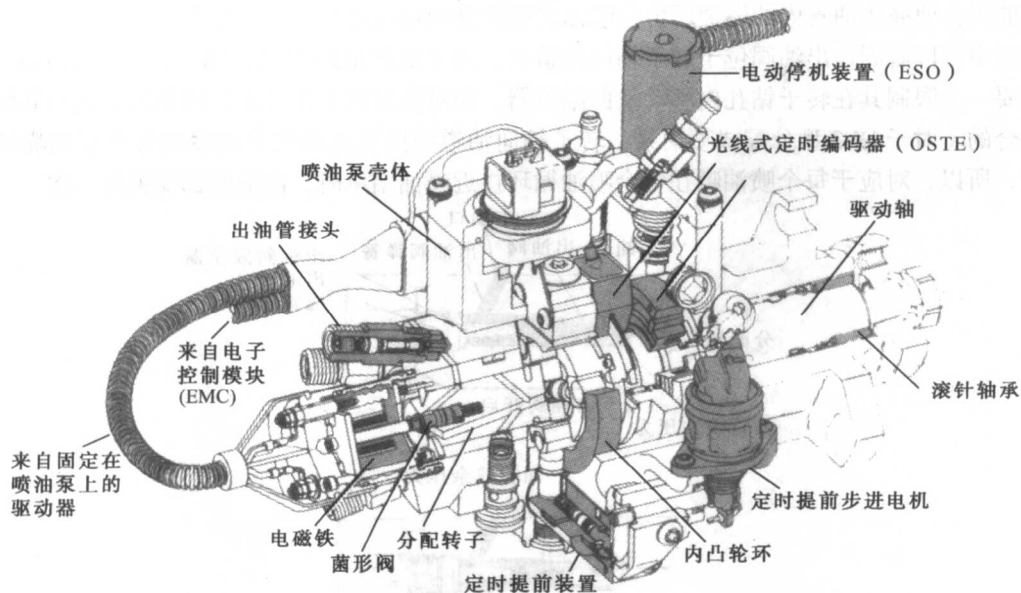


图 1-4 用于以柴油机为动力的客货车和轻型货车上的 Stanadyne DS 型电控分配泵结构
(经 Stanadyne 柴油系统公司许可)

Stanadyne DS 型柴油喷射系统对喷油量和喷油开始都实现了电子控制，如图 1-5 所示，DB2 型汽车用分配式喷油泵所采用的机械式调速器和机械式燃油计量控制系统都被高速电动执行器取代，DS 型分配泵适用于单缸功率在 19kW 以下的发动机，其峰值喷油压力可以达到 100MPa。

所有的电控发动机都是由一系列传感器将发动机的实时运转信息输入 ECM，同时，喷油泵的转速和角度脉冲串列数据也被送入 ECM，ECM 按照特定的算法程序对这些信号进行处理，并将脉宽调制 (PWM) 喷油指令信号发送给安装在喷油泵上的电磁阀驱动器，另外，ECM 还接收和发送用于控制发动机其他功能的输入和输出信号，例如用于控制预热塞和废气再循环阀 (EGR) 的输入和输出信号，图 1-5 是 DS 型分配式喷油泵电子控制系统的简图。取代了作用相似机械机构的电磁阀，对每次喷油进行控制，这种系统可以精确地控制发动机的喷油定时和喷油量，优化了发动机的性能和排放。

DS 型分配式喷油泵的特点是用一个高速电磁阀对喷油量和喷油定时进行控制，电磁溢流阀安装在喷油泵的泵头上，减小了高压容积，这是 DS 型分配式喷油泵喷油压力比类似的机械式分配泵更高的主要原因，泵油内凸轮环的几何形状保证了更高的喷油压力以及控制喷油开始、持续和结束的期望特性。新设计的大直径零间隙驱动轴对滚轮和四个柱塞挺杆进行驱动，从而提高了喷油压力，这种设计使驱动轴的载荷与旋转分配转子隔离，大直径驱动轴能够适应由齿轮传来的大驱动力矩。