

面向“十二五”高等教育课程改革项目研究成果

电控柴油发动机

DIANKONG CHAIYOU FADONGJI YUANLI YU WEIXIU

原理与维修

凌凯汽车资料编写组 组编
扈佩令 主编



面向“十二五”高等教育课程改革项目研究成果

电控柴油发动机 原理与维修

DIAN KONG CHAI YOU FA DONG JI
YUAN LI YU WEI XIU

凌凯汽车资料编写组 组编

主 编：扈佩令

参 编：狄恩仓 平海东 蔡永红

徐银泉 杨海鹏 邓冬梅 李丽娟

钟利兰 黄 静



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

柴油机的电控系统包括燃油系统的电子控制和柴油机空气供给系统的电子控制, 电子控制系统的应用使得柴油机在动力性、经常性和排放性能等方面都取得了巨大的进步。

本书主要介绍了柴油机电控系统的工作部件、直列柱塞泵与电控分配泵、电控柴油喷嘴燃油喷射系统、电控单体泵燃油喷射系统、电控高压共轨燃油喷射系统、电控柴油机进排气控制系统和柴油机电控系统故障诊断与排除, 内容翔实, 丰富。

本书可作为高等教育应用型本科院校汽车类相关专业的课程教学用书, 也可作为相关行业从业人员的培训和参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

电控柴油发动机原理与维修 / 扈佩令主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2011. 6

ISBN 978-7-5640-4599-9

I. ①电… II. ①扈… III. ①汽车—电子控制—柴油机—理论 ②汽车—电子控制—柴油机—车辆修理 IV. ①U464.172.01 ②U472.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 101162 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京市兆成印刷有限责任公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 10.75

字 数 / 186 千字

版 次 / 2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 1500 册

定 价 / 26.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

出版说明

近年来，随着我国汽车行业的不断发展，汽车保有量呈现出迅猛增加的趋势，汽车维修、售后服务以及汽车销售人才所存在的缺口问题也越发明显。特别是建立在先进传感技术基础上的故障诊断系统在各种汽车上大量应用之后，各种现代化检测诊断仪器和维修技术也应运而生，现代汽车已发展成为机电一体化的高科技载体。这给汽车维修业带来了极大的机遇和挑战，同时也对汽车维修人员的技术水平提出了更高、更新的要求。

为适应企业和市场对人才需求的变化，满足社会对技能型人才的需求，北京理工大学出版社特邀请一批知名行业专家、学者以及一线教学名师，规划出版了这套“面向‘十二五’高等教育课程改革项目研究成果”系列教材。

作者在编写之际，广泛考察了各校学生的学习实际，本着“实用、适用、先进”的编写原则和“通俗、精炼、可操作”的编写风格，着力培养能直接从事实际工作、解决具体问题、维持有序工作的应用型人才。

本系列教材坚持如下定位：

- 以就业为导向，培养学生的实际运用能力，以达到学以致用目的；
- 以科学性、实用性、通用性为原则，以使教材符合汽车类课程体系设置；
- 以提高学生综合素质为基础，充分考虑对学生个人能力的提高；
- 以内容为核心，注重形式的灵活性，以便学生易于接受。

本系列教材配有大量的插图、表格和大量的图片资料，介绍了大量的故障诊断、维修服务和营销案例。

- 在内容上强调面向应用、任务驱动、精选案例、严把质量；
- 在风格上力求文字简练、脉络清晰、图表明快、版式新颖；
- 在理论阐释上，遵循“必需”、“够用”的原则，在保证知识体系相对完整的同时，做到知识讲解实用、简洁和生动。

本系列教材可作为高等教育应用型本科院校汽车类相关专业的课程教学用书，也可作为相关行业从业人员的培训和参考用书。

前 言

本书首先介绍了柴油机电控技术的发展史、柴油喷射系统的分类、系统的功能与优点；接着介绍了柴油机电控系统的工作部件，包括使电控柴油机正常工作的传感器、执行器和控制单元；课题三主要讲述了位置控制式柴油电控喷射系统的组成与工作原理，包括位置控制式的直列柱塞泵和电控分配泵；课题四和课题五重点讲述时间控制式柴油电控喷射系统的组成、原理以及检修，包括电控泵喷嘴和电控单体泵系统；课题六讲述了在柴油机上应用越来越广泛的高压共轨系统，不仅介绍了高压共轨系统的结构与组成、工作原理，还介绍了高压共轨系统的维修和一些常见故障的排除方法；课题七主要讲述电控柴油机的进排气系统，包括涡轮增压系统、废气再循环系统及尾气处理系统；最后介绍了电控柴油机的故障诊断与排除，其中的故障诊断与排除方法，及实际故障案例分析在维修实践中具有重要的意义。

本书内容新颖，与时俱进，详细地介绍了各柴油电控系统的结构与工作原理。本书注重图文结合，描述简洁明了，可供汽车柴油机电子控制系统的维修人员、科技人员、工程技术人员及各院校相关专业的师生使用。

编 者

目 录

柴油发动机电控系统简述

→ 课题一 1

任务一 柴油机电控系统的发展 1

任务二 柴油电控燃油系统的分类 4

- 一、位置控制式电控燃油喷射系统...4
- 二、时间控制式电控燃油喷射系统...9
- 三、时间—压力控制式高压共轨系统...13

任务三 电控系统的功能 17

- 一、喷油量控制...17
- 二、怠速控制...17
- 三、喷油正时控制...17
- 四、燃油喷射压力控制...18
- 五、发动机转速控制...18
- 六、巡航控制...18
- 七、主动喘振衰减...18
- 八、平稳运转控制...18
- 九、发动机制动功能...19
- 十、海拔补偿...19
- 十一、断缸...19
- 十二、喷油量补偿...19
- 十三、平均供油的自适应...19

任务四 电控系统的优点 20

- 一、改善低温启动性...20
- 二、降低氮氧化物和烟度的排放...20
- 三、提高发动机的运转平稳性...20
- 四、提高发动机的动力性和经济性...21
- 五、控制涡轮增压...21
- 六、电控柴油机适应性广...21

课题小结...22

思考与练习...22

柴油机电控系统的工作部件

→ 课题二 23

任务一 传感器 23

- 一、曲轴位置传感器...23
- 二、凸轮轴位置传感器...24
- 三、加速踏板位置传感器...25
- 四、进气压力及温度传感器...26
- 五、油轨压力传感器...27
- 六、冷却液温度传感器...29
- 七、燃油温度传感器...30
- 八、机油压力和温度传感器...31
- 九、车速传感器...31
- 十、离合器开关...32
- 十一、制动开关...32
- 十二、A/C请求开关...33

任务二 ECU电子控制单元·····34

- 一、ECU电子控制单元的结构·····34
- 二、ECU电子控制单元的功能·····35

任务三 执行器·····37

- 课题小结·····38
- 思考与练习·····38

直列柱塞泵与电控分配泵

→课题三·····39

任务一 直列柱塞泵组成与原理··39

- 一、柱塞喷油泵的结构·····39
- 二、电控直列泵的原理·····40
- 三、位置控制式柴油喷射系统的特点·····42
- 四、时间控制式直列泵喷射系统的原理·····42

任务二 电控分配泵组成与原理··45

- 一、电控分配泵·····45
- 二、分配泵的燃油流向·····46
- 三、分配泵的泵油过程·····47
- 四、喷油量的调节·····48
- 五、喷油提前角的控制·····49
- 六、SDI喷油嘴·····51
- 七、轴向柱塞式电控分配泵·····53
- 八、径向柱塞式分配泵·····54
- 九、供油量的控制·····56
- 十、喷油定时的控制·····57
- 十一、喷射控制电磁阀·····58
- 十二、油泵控制单元·····59

十三、时间控制式直列泵喷射系统的结构·····61

- 课题小结·····62
- 思考与练习·····62

电控泵喷嘴燃油喷射系统

→课题四·····63

任务一 泵喷嘴系统结构与组成·····63

任务二 电控泵喷嘴结构与工作原理·····65

任务三 泵喷嘴的检修·····72

- 课题小结·····74
- 思考与练习·····74

电控单体泵燃油喷射系统

→课题五·····75

任务一 电控单体泵结构与组成··75

任务二 电控单体泵工作原理··77

任务三 电控单体泵的检修····80

- 课题小结·····88
- 思考与练习·····88

电控高压共轨燃油喷射系统

→ 课题六 89

任务一 电控高压共轨的结构与组成 89

任务二 电控高压共轨系统工作原理 91

- 一、燃油粗滤器和精滤器 93
- 二、低压输油泵 94
- 三、高压油泵 94
- 四、压力控制阀 (PCV) 99
- 五、燃油计量阀 99
- 六、共轨组件 101
- 七、高压油管 103
- 八、电控喷油器 103

任务三 电控高压共轨系统的维修 106

- 一、高压共轨系统的维修 107
 - 二、常见故障案例 109
- 课题小结 114
- 思考与练习 114

电控柴油机进气控制系统

→ 课题七 115

任务一 进气控制系统 115

- 一、涡轮增压器的工作原理 115
- 二、废气涡轮增压对排放的影响 116
- 三、涡轮增压器的结构 117
- 四、可变截面涡轮增压器 (VNT) 123

任务二 柴油机排放控制系统 128

- 一、废气再循环系统的工作原理 128
- 二、废气再循环对排放的影响 130
- 三、废气再循环系统的检修 131

任务三 尾气处理系统 134

- 一、氧化催化器 134
- 二、氮氧化物还原催化器 135
- 三、颗粒过滤器 136

- 课题小结 139
- 思考与练习 139

柴油机电控系统故障诊断与排除

→ 课题八 142

任务一 故障检查与排除的基本方法 142

- 一、电控发动机故障诊断的基本原则 142
- 二、电控发动机故障诊断的基本方法 144
- 三、电控发动机故障诊断的基本流程 146
- 四、症状模拟方法 147

任务二 电控发动机故障诊断的形式 149

- 一、故障诊断的目的 149
- 二、故障码读取的方式 149
- 三、通过随车故障指示灯 (闪码) 排除故障 149

四、通过专用诊断仪读取故障描述排除故障.....	151
五、利用实际值（或数据流）排除故障.....	151
六、故障诊断及保护.....	152
七、故障主要表现.....	153
八、故障处理方式.....	153

任务三 电控柴油发动机常见故障原因的分析与处理.....155

一、电控发动机不能启动及启动困难.....	155
-----------------------	-----

二、发动机动力不足、加速不良.....	156
三、发动机减速或自动熄火.....	156
四、跛行回家.....	156

任务四 柴油机故障案例分析.....157

课题小结.....	160
思考与练习.....	160



课题一 柴油发动机电控系统简述

○ [学习任务]

1. 了解柴油发动机电控技术的发展过程。
2. 掌握柴油发动机电控系统的类别。
3. 了解柴油发动机电控系统的功能。
4. 了解柴油发动机电控系统的优点。

○ [技能要求]

对比各种类别的电控柴油机，了解其相同与不同的地方。

任务一 柴油机电控系统的发展

电控柴油发动机与传统柴油机的主要区别在于它的燃油供给系统的不同，前者采用的是电控燃油喷射系统，而后者采用的是机械式燃油喷射系统。从结构和功能的角度看，柴油机的电控系统包括燃油系统的电子控制和柴油机空气供给系统的电子控制。电子控制系统的应用使得柴油机在动力性、经济性和排放性能等方面都取得了巨大的进步。

早在20世纪70年代，人们就开始研究柴油发动机电子控制技术来替代机械控制。到目前为止，已经研究出许多功能各异的柴油机电子控制技术，大部分已经产品化并投放市场。这期间经历了三代。

第一代：位置控制式

第二代：时间控制式

第三代：时间—压力控制式（高压共轨式）



第一代柴油机电控燃油喷射系统——位置控制系统。这种系统的主要特点是保留了大部分传统的燃油系统部件，如喷油泵—高压油管—喷油嘴系统和喷油泵中齿条、齿圈、滑套、柱塞上的螺旋槽等零件，只是用电子伺服机构代替机械式调速器来控制供油滑套或燃油齿条的位置，使得供油量的调整更为灵敏和精确。图1-1为第一代电控柴油分配系，最明显的特征就是具有用于调整控制油量的油量调节器及滑套位置传感器。

这类技术已发展到了可以同时控制定时和预喷射的正时和喷油率控制系统（TICS）。

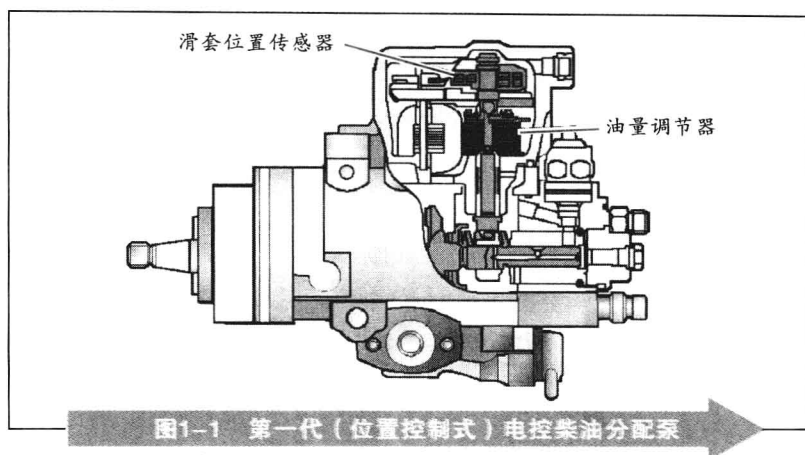
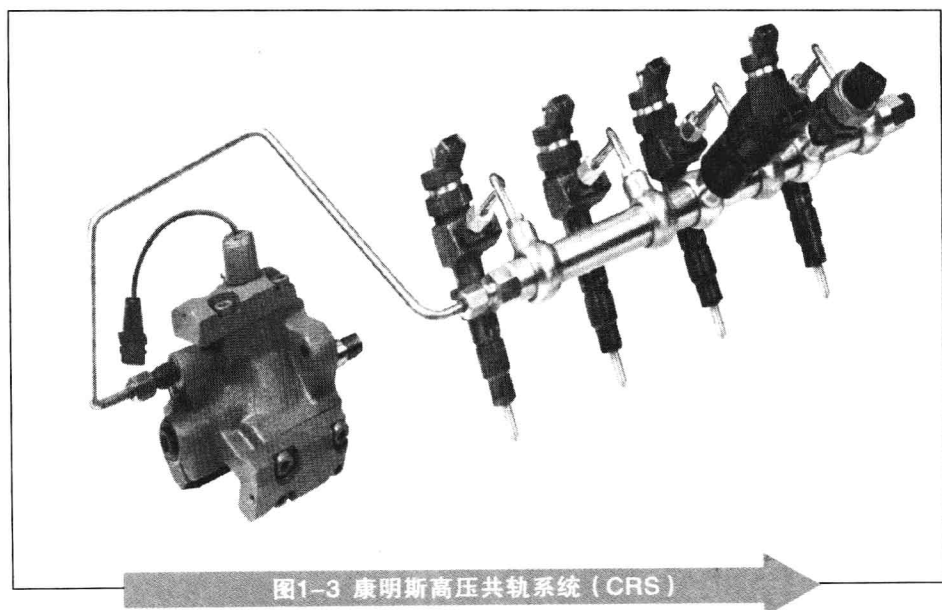
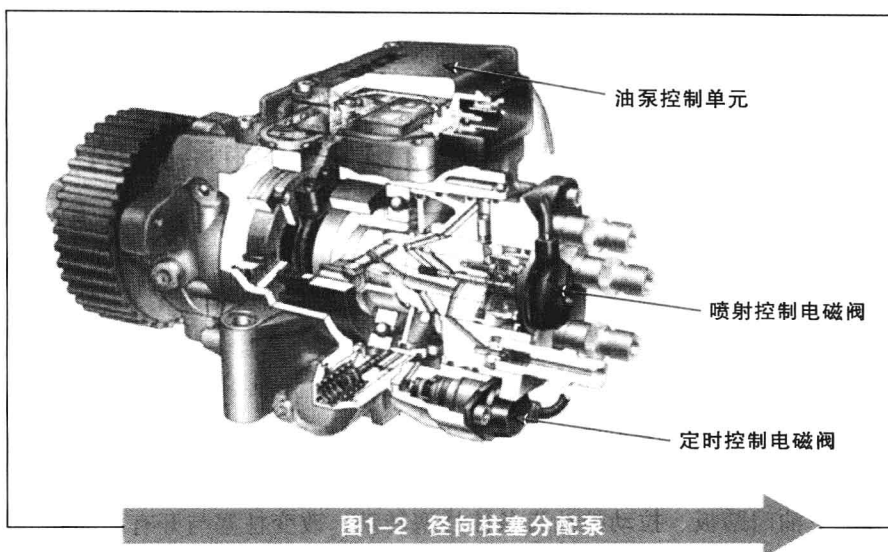


图1-1 第一代（位置控制式）电控柴油分配系

第二代柴油机电控燃油喷射系统——时间控制系统。这种系统可以保留原来的喷油泵—高压油管—喷油器系统，也可以采用新型高压燃油系统。其喷油量和喷油定时是由电脑控制的强力高速电磁阀的开闭时刻所决定：电磁阀关闭，执行喷油；电磁阀打开，喷油结束。即喷油始点取决于电磁阀关闭时刻，喷油量取决于电磁阀关闭时间的长短，因此可以同时控制喷油量和喷油定时。

传统喷油泵中的齿条、滑套、柱塞上的斜槽和提前机构等全部取消，使系统对喷射定时和喷射油量控制的自由度更大。图1-2为时间控制式的径向柱塞分配系，其明显特征是泵上装有油泵控制单元、控制喷油量的喷射控制电磁阀和控制喷油提前角的定时控制电磁阀。

第三代柴油机电控燃油喷射系统——时间—压力控制系统。也称电控高压共轨系统，这种系统包括了高压共轨系统和低压共轨系统。这是20世纪90年代国外最新推出的新型柴油机电控喷油技术。该系统摒弃了传统的泵—管—喷嘴的脉动供油方式，用一个高压油泵在柴油机的驱动下，连续将高压燃油输送到共轨管内，高压燃油再由共轨送入各缸喷油器，通过控制喷油器上的电磁阀实现喷射的开始和终止。图1-3为康明斯柴油机高压共轨系统。



为满足日益严格的尾气排放法规，降低发动机的燃油消耗和减少废气排放中的有害成分，单靠传统的机械控制技术不足以解决问题，目前满足我国国Ⅲ排放标准的柴油发动机主要采用的是电控高压共轨系统。



任务二 柴油电控燃油系统的分类

一、位置控制式电控燃油喷射系统

传统柴油机喷油量大小通过机械方式进行控制，即由喷油泵柱塞顶面封住径向油孔到柱塞斜槽露出油孔的距离决定，也就是由喷油泵的供油有效行程决定。驾驶员踩下油门踏板、拉动控油齿条使柱塞转动，改变柱塞与开有回油孔的柱塞套筒的相对位置，增加或减小柱塞的供油有效行程，从而调节喷油量。加速踏板通过调速器与控制齿条联动，根据发动机的转速和负荷的变化调节供油量。喷油时刻则由安装在发动机和喷油泵之间的供油提前角自动调节器，根据发动机的转速调节凸轮轴的相对位置来调节。所以，传统柴油机的供油量、供油时刻控制精度、供油特性、响应性等较差。

第一代位置控制式燃油系统保留了传统柴油机的高压油泵—高压油管—喷油器（PLN）、控制齿条、齿圈、滑套、柱塞上的螺旋槽等油量控制机构，只是对齿条或滑套的移动位置进行电子控制。用电子调速器代替了传统机械式离心调速器，用发动机转速传感器和加速踏板位置传感器代替了原有的转速和负荷传感机构（如离心飞块、真空室等），用ECU控制的电子执行机构代替了机械离心式调速执行机构和加速踏板传动机构。

第一代位置控制式电控燃油系统，主要有直列柱塞泵和转子分配泵两种位置控制机构。



1. 电控直列柱塞泵的燃油系统

电控直列柱塞泵的燃油系统的喷油量控制装置采用占空比电磁阀式或直流电动机式电子调速器，其反馈元件是齿条位置传感器。占空比电磁阀式电子调速器的结构如图1-4所示。占空比电磁阀安装在原高压油泵供油齿条的一端，电磁阀的铁芯与高压油泵的供油齿条连成一体。当电流流过电磁线圈时，产生作用在铁芯上、与通电占空比成正比的电磁力，铁芯推动供油齿条移动。当电磁力与供油齿条回位弹簧力平衡时，供油齿条就停留在该位置上。改变电磁阀



通电占空比即可调节供油齿条的位置。设置一个供油齿条位置传感器作为反馈元件,向ECU输送供油齿条实际位置,即可实现供油量的闭环控制。直列柱塞泵的供油齿条位置传感器和发动机转速传感器安装在电子调速器内。

电控直列柱塞泵的燃油系统的喷油正时控制机构是在原高压油泵机械式供油提前角自动调节器的基础上,增加电控元件来实现对喷油泵供油正时控制。其控制喷油正时的方式与机械控制方式一样,也是靠改变喷油泵凸轮轴与柴油机曲轴之间的相对位置来实现供油正时的调节。图1-5为直列柱塞泵供油正时电控系统的组成,它主要由正时控制器、电磁阀、转速传感器、正时传感器和ECU组成。

两个电磁阀分别安装在正时控制器进回油路中,控制正时控制器工作的液压油来自柴油机润滑系统。正时控制器安装在喷油泵驱动轴与凸轮轴之间,由液压控制的正时控制器可以使喷油泵凸轮轴相对驱动轴在一定范围内转动。柴油机转速传感器安装在喷油泵驱动轴上,ECU主要根据转速和负荷信号确定基本供油提前角,再根据水温等信号进行修正,并通过两个电磁阀控制正时控制器工作,以实现喷油泵正时控制。正时传感器安装在喷油泵凸轮轴上,用来检测凸轮轴的位置和转角,ECU根据正时传感器信号判断实际的供油正时,并对供油正时进行闭环控制。

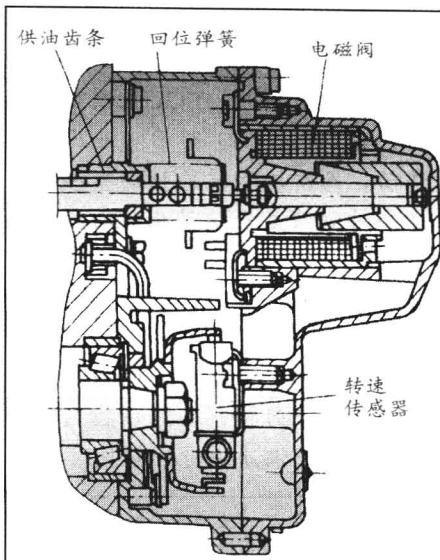


图1-4 占空比电磁阀式电子调速器结构

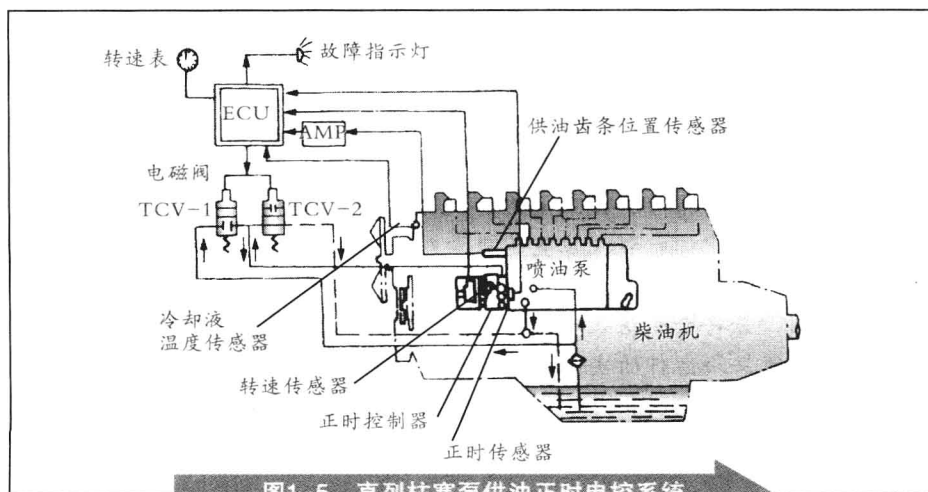


图1-5 直列柱塞泵供油正时电控系统



直列泵常用的正时控制器为电控液压式，它的工作原理如图1-6所示。喷油泵驱动轴通过驱动盘、滑块、滑块销、大小偏心轮驱动凸轮轴转动。当需要减小供油提前角时，ECU控制电磁阀使正时控制器的进油通道关闭而回油通道开启，如图1-6（a）所示。液压腔内的油压下降，在回位弹簧的作用下活塞向右移动，而滑块和滑块销向内移动，安装在滑块销上的大小偏心轮转动，使凸轮轴相对驱动盘沿转动相反的方向转过一定角度，这时，喷油泵供油提前角减小。当需要使喷油泵供油提前时，ECU控制电磁阀使正时控制器的进油通道开启而使回油通道关闭，如图1-6（b）所示。液压润滑油进入液压腔使油压升高，并推动活塞向左移动，活塞推动滑块和滑块销向外移动，偏心轮转动使凸轮轴相对驱动盘沿转动方向转过一定角度，喷油泵供油提前角增大。喷油泵的供油正时随正时控制器液压腔内的油压而变化，ECU通过电磁阀控制液压腔内的油压，完成供油正时控制。

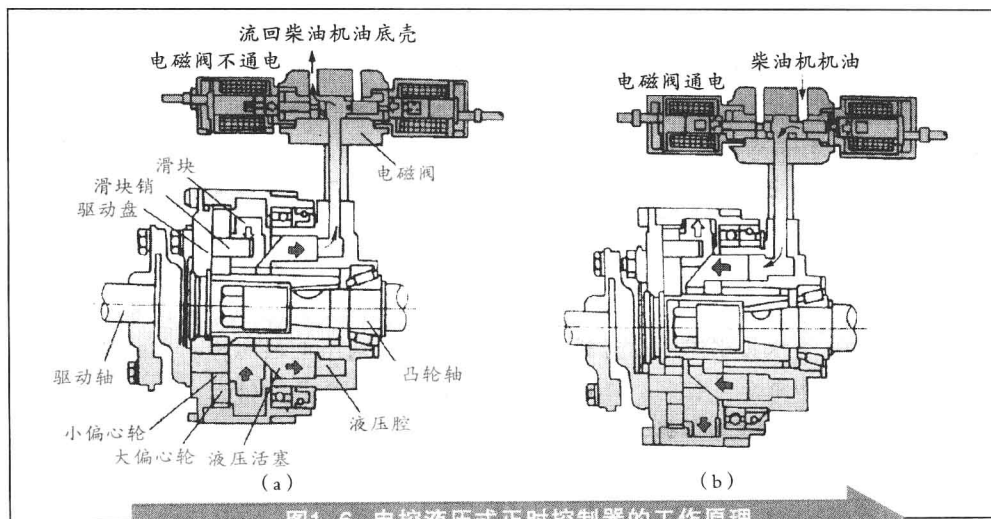
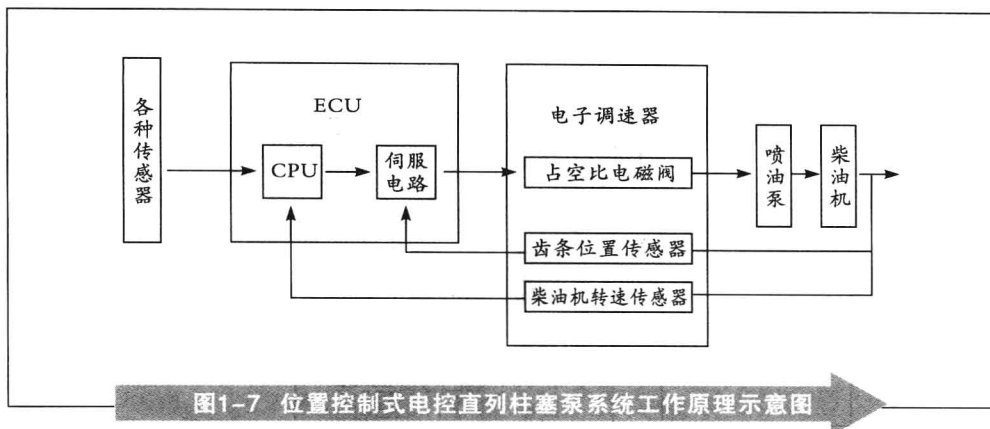


图1-6 电控液压式正时控制器的工作原理

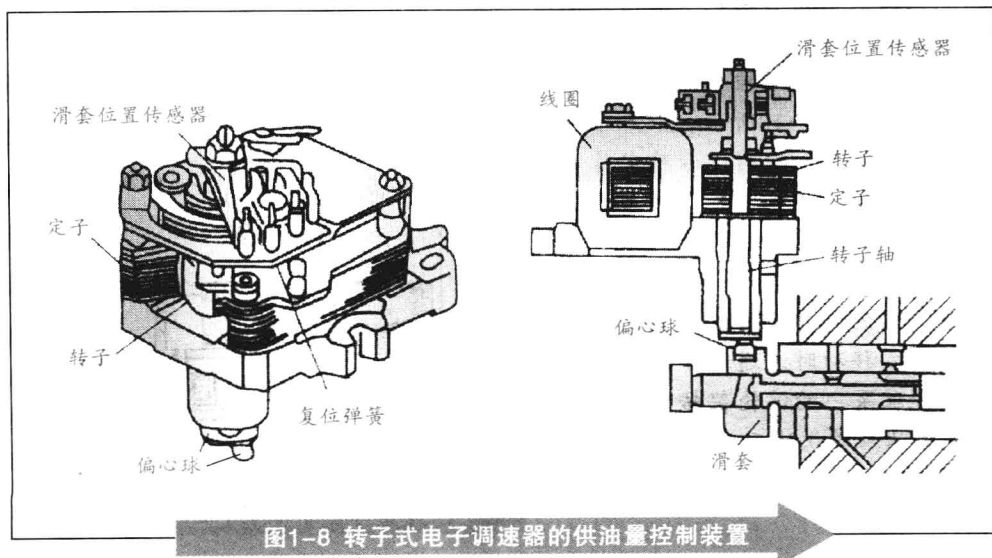
(a) 减小供油提前角；(b) 增大供油提前角

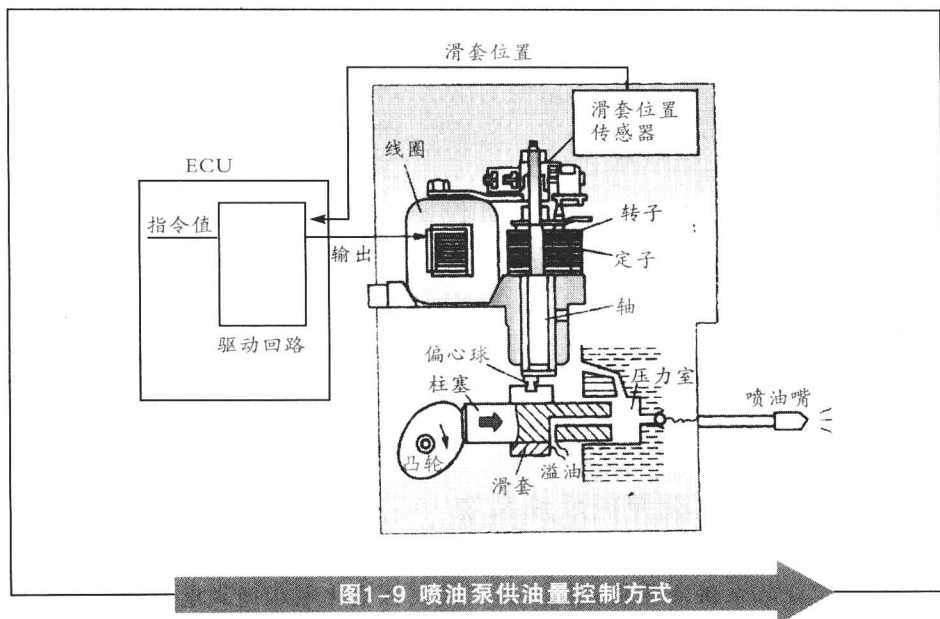
图1-7为位置控制式电控直列柱塞泵系统工作原理示意图。在该系统中，ECU根据负荷（加速踏板位置）信号和转速信号，并参考供油齿条位置、冷却液温度、进气压力等信号，按ECU内存储的数据或脉谱图进行比较并计算出喷油量，再通过ECU中的行程或位置伺服电路，使电子调速器内的占空比电磁阀控制喷油泵供油齿条的位置。而供油齿条的实际位置由电子调速器内的齿条位置传感器检测，并将检测结果反馈给ECU，再对输送给占空比电磁阀的占空比值进行修正，使供油齿杆的实际值与目标值相一致。采用反馈控制，可对供油齿杆位置进行高精度控制和定位，同时也对循环供油量进行精确控制，也可用来监测控制系统是否发生了故障。



2. 电控转子分配泵的燃油系统

电控转子分配泵供油量装置采用转子式或占空比电磁阀式电子调速器。采用转子式电子调速器的供油量控制装置图如图1-8所示。调速器主要由定子、线圈、转子轴和滑套位置传感器组成，转子轴下端的偏心钢球伸入油量控制滑套的凹槽中。因为定子是**不对称的**，当给线圈通入电流变化的直流电时，就会产生使转子轴转动的电磁力矩。当电磁力矩与转子轴回位弹簧力矩平衡时，转子轴就会固定在某一位置；转子轴转动时，通过伸入滑套凹槽内的偏心钢球使滑套轴向移动，从而改变喷油泵的供油量，如图1-9所示。





ECU通过控制流经线圈的电流方向来控制转子轴的转动方向，通过控制通电占空比来控制转子轴转动的角度。滑套位置传感器（或称溢油位置传感器）安装在转子轴上，ECU通过该传感器检测到的转子轴位置信号确定油量控制滑套的实际位置，并对滑套位置（喷油量）进行闭环控制。

转子分配泵供油的正时控制是在原供油提前角自动调节器活塞两侧油腔之间增加一条液压通道，并由ECU通过电磁阀控制该液压通道来实现，如图1-10所示。ECU根据柴油机的转速和负荷信号确定基本供油提前角，再根据水温等信号进行修正，并通过电磁阀控制正时活塞左右两侧的油腔内的燃油压力差，借以改变正时活塞的位置。正时活塞左右移动时，通过传动销带动转子分配泵内的滚轮架转动，从而改变喷油泵的供油正时。

