

第2版

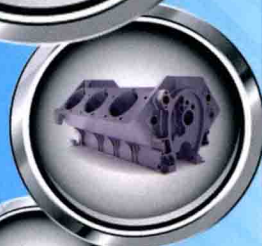


柴油发动机

高压共轨电控系统 原理与故障检修

◎ 郭建樑 主编

CHAIYOU FADONGJI
GAOYA GONGGUI DIANKONG XITONG
YUANLI YU GUZHANG JIANXIU



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



柴油发动机高压共轨电控 系统原理与故障检修

第 2 版

主编 郭建樑

参编 周 敏 何开明 孙步瀛 乔玉强

刘胜利 于永红 孙明霞 徐同浦

刘朝辉 史晋文



机械工业出版社

本书采用全新的阶梯式、系统化的编写方法,对柴油发动机电控原理和高压共轨系统的结构、原理和故障诊断、检查方法进行了详细的讲解,使读者能尽快掌握电控技术并达到能够自主维修的能力。本书主要内容包括电控高压共轨柴油发动机概述、柴油发动机高压共轨燃油系统的结构和原理;高压共轨电控系统电路与检修、柴油机高压共轨电控系统故障诊断与维修。

本书条理清楚,讲解详细,简单明了,由浅入深,层层引入,图文并茂,具有较强的针对性和实用性。本书适合柴油机燃油系统的维修人员、汽车电气维修人员学习,也可作为有关院校、职业学校汽车专业学生的辅助教材。

图书在版编目(CIP)数据

柴油发动机高压共轨电控系统原理与故障检修/郭建樑主编.
—2版. —北京:机械工业出版社,2015.6
ISBN 978-7-111-49925-1

I. ①柴… II. ①郭… III. ①柴油机-电气控制系统-故障修复
IV. ①U464.172

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第074372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:丁 锋 责任编辑:丁 锋 责任校对:张晓蓉

封面设计:张 静 责任印制:刘 岚

三河市国英印务有限公司印刷

2015年6月第2版第1次印刷

184mm×260mm·14印张·345千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-49925-1

定价:49.90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

服务咨询热线:010-88361066

读者购书热线:010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

教育服务网:www.cmpedu.com



前言



随着电子技术的迅猛发展和对汽车性能要求的不断提高,以及日益严格的环保要求,电子技术在汽车上的应用越来越广,特别是微型计算机技术在汽车上的应用,使现代汽车与传统汽车相比发生了翻天覆地的变化。柴油机高压共轨电控技术在车辆上的大量采用,对传统的柴油机维修人员,特别是柴油机燃油系统的校泵人员所带来的困难是空前的。因为传统的柴油机燃油系统基本上没有“电”的参与,长期以来导致了从业人员对电气知识、电气技术的忽视甚至是恐惧。目前的窘境不亚于20世纪90年代汽油发动机从化油器到电子控制燃油喷射的转变。柴油发动机电子控制的时代已经来临,而且高压共轨电子控制作为引领技术以不可阻挡的趋势向前发展,柴油机燃油系统从业人员将面临着一场技术革命。

作者长期从业于汽车维修一线,对故障维修深有体会。维修技工面对车辆故障时,除了听取客户反映以外,更多的是进行故障诊断、电路分析,就好比医生给人看病一样。尽管现在的诊断仪器、检测设备很多,但是,如果没有很好的理论基础和扎实的基本功,就不可能顺利地、高标准地排除故障。

本书正是基于以上主导思想而编写的,旨在让汽车维修人员,特别是那些曾经维修传统的柴油机燃油系统的从业人员,从思想上认识到无论是电气控制技术还是电子控制技术,掌握基础知识、基本原理非常重要、非常关键,它是真正掌握电控技术、共轨技术的必经之路,也是迈向成功大门的第一步、攀登技术高峰的奠基石。

《柴油发动机高压共轨电控系统原理与故障检修》(第2版)的主要内容如下。

第一章概括性地介绍了柴油发动机高压共轨控制系统的基本组成、工作原理以及共轨技术;系统地介绍了控制系统相关部分的分类、工作原理;简单介绍了柴油发动机高压共轨电控系统的控制功能、主要优点、技术现状和发展趋势。

第二章是本书的重点,较为详细地介绍了柴油发动机电子控制系统的组成和工作原理,全面介绍了电控系统常见传感器、开关结构与原理以及电控系统执行器的控制方法;选择市场保有量较大的德国博世和日本电装系统,作为典型的高压共轨电子控制系统,对其结构和工作原理进行了详细的介绍,旨在为市场上各种车型的高压共轨电控系统的学习和维修起到举一反三的作用。

第三章主要针对发动机电控系统电路做了较为详细的分析与介绍。包括发动机电控单元电源电路的常见类型、工作原理和检查方法;发动机电控系统中传感器以及开关电路的工作原理和检查方法;发动机电控系统中执行器的控制电路和检查方法。作为学习发动机电控原理和故障维修的基本电路,有一定的指导意义和实用价值。

第四章主要介绍电控系统故障的诊断思路、诊断方法、诊断流程;维修检测工具和仪器、仪表在检修故障时的作用、使用方法以及高压共轨电控系统常见故障案例分析。无论对于电器修理还是电控修理都非常适用。



尽快提高柴油机燃油系统从业人员的维修素质，为柴油机电控技术，特别是高压共轨技术的普及与推广做出贡献是本书编写的宗旨。在本书的编写和出版过程中，得到了许多前辈、同事和朋友多方面的帮助与支持，在此一并表示感谢。特别是太原震欣油泵服务站的刘胜利先生、山西孟县永红油泵油嘴维修站的于永红先生、北京豫丰盛世油泵油嘴维修站的乔玉强先生，对于本书的维修数据和故障案例的搜集起到了很大的帮助作用，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参阅了大量的文献资料，在此向原作者表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免有错误之处，望业界权威、同行以及广大读者提出宝贵意见。



目录



前言

第一章 电控高压共轨柴油发动机概述	1
第一节 高压共轨柴油系统的组成	1
一、控制系统	2
二、燃料供给系统	11
第二节 高压共轨柴油系统的工作原理	19
一、柴油机基本知识	19
二、高压共轨电控柴油喷射系统	19
三、喷油器工作原理	21
第三节 高压共轨柴油系统的控制功能与优点	26
一、电控高压共轨系统的控制功能	26
二、电控高压共轨柴油喷射系统的优点	28
三、电控高压共轨技术的现状与未来	28
第二章 柴油发动机高压共轨燃油系统的结构和原理	32
第一节 高压共轨电子控制系统的组成与工作原理	32
一、信号传输装置	32
二、电子控制器	54
三、执行器	64
第二节 博世电控高压共轨燃油系统的结构与原理	66
一、概述	66
二、高压共轨燃油系统的构造与作用	70
三、博世共轨电控系统典型电路图	87
第三节 电装电控高压共轨燃油系统的结构与原理	94
一、概述	94
二、高压共轨燃油系统的构造与原理	99
三、电装共轨电控系统典型电路图	108
第三章 高压共轨电控系统电路与检修	116
第一节 ECU 电源电路	116
一、无主继电器的 ECU 电源电路	116
二、有主继电器的 ECU 电源电路	116
三、电控单元 (ECU) 电源电路的检查	118
第二节 传感器电路	123
一、电装公司传感器电路	123
二、博世公司传感器电路	123
三、传感器电路的检查	125



四、开关电路的检查	134
第三节 执行器电路	138
一、电装公司执行器电路	138
二、博世公司执行器电路	139
三、执行器电路的检查	140
第四章 柴油机高压共轨电控系统故障诊断与维修	149
第一节 发动机电控系统故障检测程序和方法	149
一、故障诊断的基本原则	149
二、电喷发动机故障诊断的基本方法	150
三、电控发动机故障诊断的基本流程	151
四、故障征兆的模拟方法	152
五、基本检查	153
第二节 汽车自诊断系统	154
一、自诊断原理与故障码	154
二、自诊断故障信息显示	154
三、第二代随车诊断系统 (OBD-Ⅱ)	155
四、备用系统	158
第三节 故障码与数据流分析	158
一、故障码分析和确定	158
二、数据流分析	179
第四节 维修常用工具和仪表	186
一、诊断跨接线	186
二、测试灯	188
三、测试针	189
四、万用表	189
五、诊断仪	194
第五节 故障维修案例	198
一、起动困难故障	198
二、起动后熄火故障	203
三、跛行回家故障	205
四、其他方面故障	211
参考文献	217



第一章



电控高压共轨柴油发动机概述

第一节 高压共轨柴油系统的组成

电控高压共轨式燃油系统于 20 世纪 90 年代中后期正式进入实用化阶段，作为柴油机燃油系统的第三代电控技术，现在已得到广泛的应用。由发动机驱动的高压供油泵将燃油加压后供入共轨内，变成了高压的燃油经喷油器喷射到相应的气缸内，喷油器是由计算机单独控制的。到目前为止，共轨内的燃油压力可以维持在 130 ~ 160MPa 范围内。

为了改善柴油机的排放，可以自由自在地改变喷油参数和喷油形态，可以高自由度地控制燃油喷射，在一次工作循环中可以实现多段喷油（3 次、5 次或更多次），可以实现标定转速 4000r/min——相当于 $4.2\mu\text{s}$ 的高速控制，将柴油机的燃烧效率、排放性能大大提高一步。

电控高压共轨式燃油系统的基本组成如图 1-1 所示。从功能方面分析，电控共轨系统可以分成两大部分，即电子控制系统和燃料供给系统。

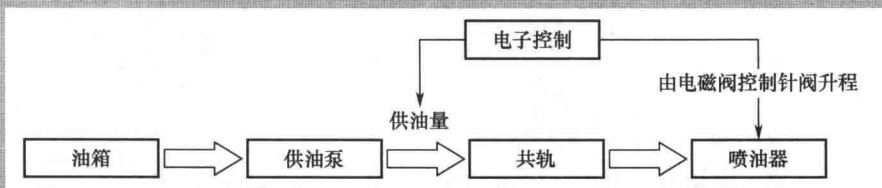


图 1-1 燃油供给系统构成框图

有代表性的是日本电装公司和德国博世公司生产的高压共轨燃油系统。

图 1-2 所示为电装公司适用于轿车柴油机的 ECD—U2（P）型电控共轨系统。

图 1-3 所示为适用于中型和重型货车柴油机的 ECD—U2 型电控共轨系统。

图 1-4 所示为博世公司的第一代高压电控共轨式燃油系统。

博世公司电控高压共轨系统的特点如下。

- 1) 共轨压力为 135MPa。
- 2) 可以实现预喷射。
- 3) 闭环控制。
- 4) 可用于 3 ~ 8 缸轿车柴油机，可满足欧 3 排放法规。

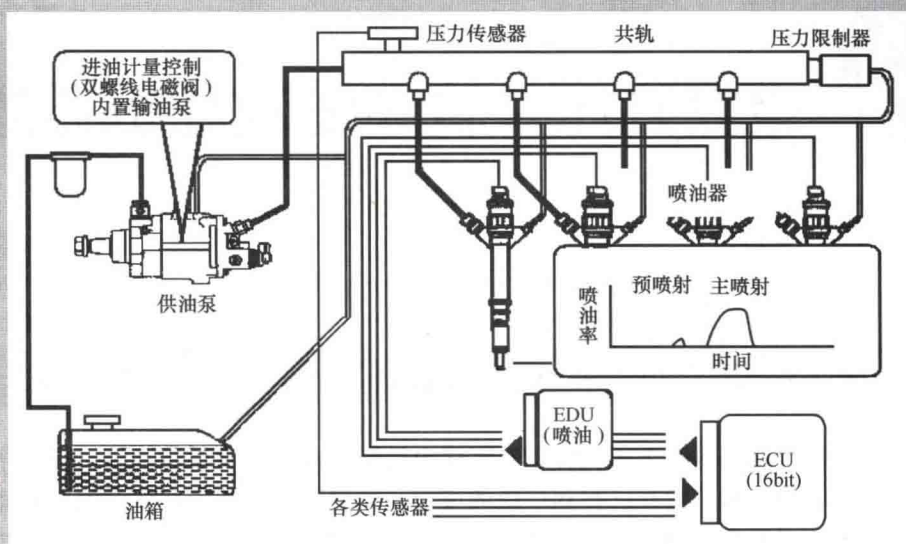


图 1-2 适用于轿车柴油机的 ECD—U2 (P) 型电控共轨系统

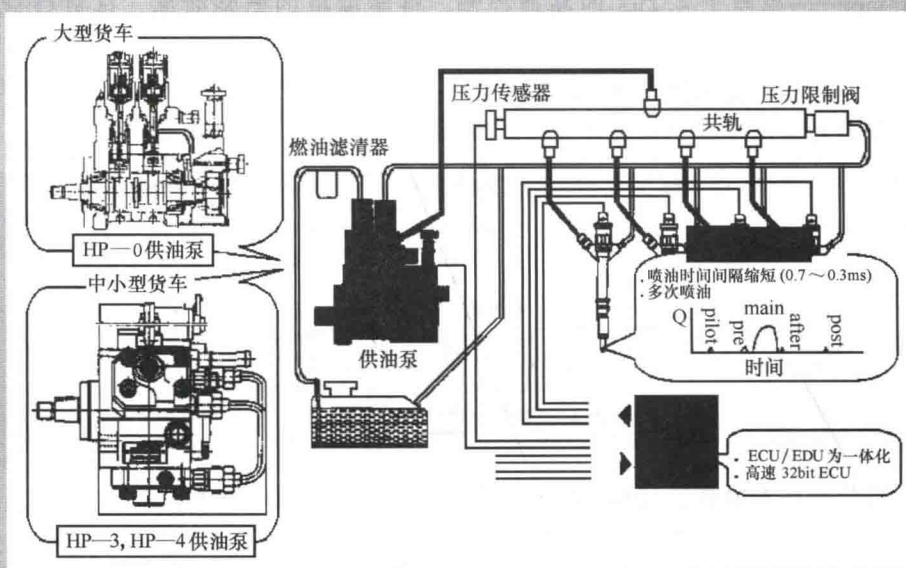


图 1-3 适用于中型、重型货车柴油机的 ECD—U2 型共轨燃油系统

图 1-5 所示是博世公司电控共轨系统在 4 缸柴油机上的安装图。

一、控制系统

高压共轨电子控制系统可以分成三大部分：信号传输装置、电子控制单元（计算机）和执行器。其中，电子控制单元是电控共轨燃油系统的核心部分。

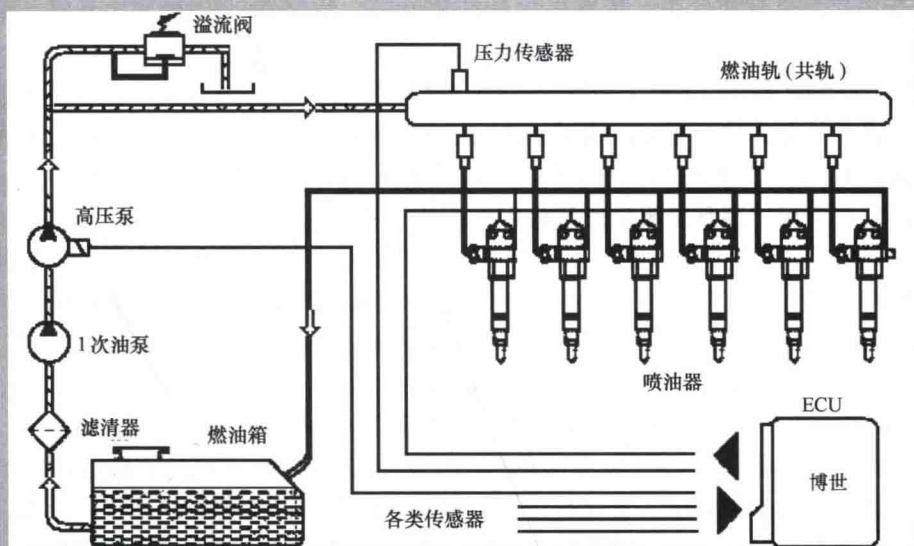


图 1-4 博世公司电控高压共轨式燃油系统

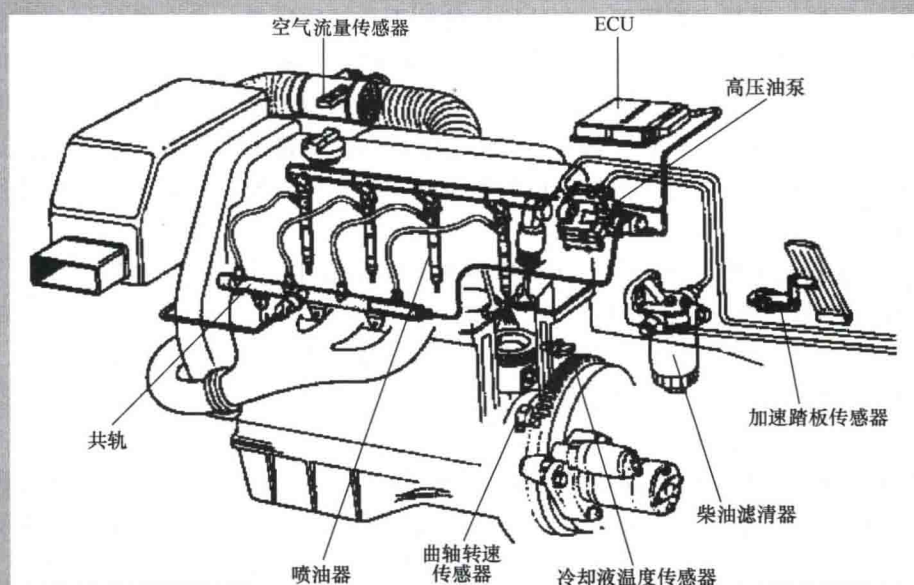


图 1-5 装用博世共轨系统的 4 缸柴油机

1. 信号传输装置



注意

信号传输装置的功用是将发动机及车辆运行时的各种状态信息，由非电量转变为电信号输入电子控制单元，是电子控制器对执行器进行驱动控制的主要分析、判断的依据，它对系统的精确控制起着至关重要的作用。

在电子控制系统中，信号传输装置的种类很多，可按照不同的方法进行分类。



(1) 按输出信息性质分类 按输出信息性质分类, 传感器可以分为开关型、模拟型和数字型。

1) 开关型传感器。工作时呈现两个状态, 用数值“1”或“0”分别表示开或关、通或断。如果传感器的输入物理量达到某个值以上时, 输出为“1”(开启状态); 在该值以下时, 输出为“0”(关闭状态)。其设定的界限值即是开、关两种状态。这种“1”和“0”的数字信息可以直接传递到微机中进行处理, 使用方便。

2) 模拟型传感器。工作时输出的是与输入物理量变化相对应的连续变化的电量。传感器的输入与输出关系可能是线性的, 也可能是非线性的。线性输出信息可直接被采用, 而非线性输出信息则需要进行修正, 或将其变成线性信息。这些信息要先输入到模数(A/D)转换器, 转换成数字信息以后, 再输送到微机进行处理。

3) 数字型传感器。数字型传感器又可分为计数型和代码型两种。

① 计数型传感器。计数型传感器又称为脉冲型, 任何一种脉冲发生器所发出的脉冲数都是与输入量成正比的, 对输入量进行计数后, 用来检测执行机构的位移量。例如, 曲轴或凸轮轴上安装的光栅盘, 就可检测曲轴或凸轮轴转动一定角度所发出的脉冲信息。

② 代码型传感器。代码型传感器又称编码器, 它是一种直接用数字代码表示角位移和线位移的检测器, 每一输入代码相当于一个一定的输入量, 如电平可用光电元件或机械接触式元件输出。例如, 增量式编码器, 它的码盘的外围是计数码道, 最内圈是一个基准, 内圈中的码道称为方向码道, 它的计数码道的线段是同样的, 但偏移了半个线段, 其相位差为 90° 转角。在某一旋转方向, 最外码道的输出超前于内码道的输出, 沿外码道的上升沿产生一个计数脉冲; 当反方向旋转时, 其输出就迟后于内码道的输出, 并沿其下降沿产生计数脉冲, 由此可以确定旋转的方向。把外码道的输出脉冲加到计数器, 再根据转向而向上或向下减就可以计数。

(2) 按传感器的工作原理分类 按传感器的工作原理可以分成5个类型。

1) 力学传感器。力学传感器是将力学量的变化转换成电信息的元件。力学量又可分为机械量和流体量两个类型。在机械量中, 几何量随着时间变化的叫做运动量; 质量、力和转矩等都叫做力学量。在汽车各个电子控制系统常用到的有速度传感器、加速度传感器、压力传感器、空气质量传感器等。

2) 电磁传感器。电磁传感器是将磁信息转换成电信息的元件。除了电磁传感器外, 还有利用磁阻效应、霍尔效应开发成功的半导体磁性传感器等, 经常用做速度传感器和转角传感器。

3) 温度传感器。温度传感器是将温度变化转换成电信息的元件。可分成接触式和非接触式两种。一般情况下, 接触式温度传感器使用较多, 例如: 热敏电阻(固体温度变化引起电阻变化的半导体)、双金属片式温度计等。非接触式温度传感器的实例有车辆中乘客数量传感器就是利用热电效应的红外线传感器。

4) 光学传感器。光学传感器是将光量转换成电信息的元件。由于光和半导体的相互作用, 检测出电子空穴的半导体光学传感器。

5) 电化学传感器。电化学传感器是将化学量的变化转换成电信息的传感器。例如, 用于检测排气中氧浓度用的、由氧化锆陶瓷制成的氧传感器。

在电子控制系统中, 关键是对传感器测量的精度与可靠性要求, 否则, 由传感器检测带



来的误差,将会导致整个控制系统的失灵或故障。另外,在电子控制系统中所用传感器的数量,理论上不受限制,只要位置许可、功能需要都可设置传感器。如果能把所有传感器的信息都转变为电信息,经过多通道输入,计算机就能进行处理,并得到高精度的控制。

在高压共轨电控系统中,除了上述常用的传感器以外,还有一个特殊传感器——共轨压力传感器。它的作用是以足够的精度,在相应较短的时间内,测定共轨中的实际压力,并向 ECU 提供信息,用以对喷油压力进行控制,实现精确的喷油控制。

2. 电子控制单元

电子控制单元常用 ECU (Electronic Control Unit) 表示。不同厂家的名称不尽一致。例如,日本电装公司叫做 ECU,博世公司则称 EDC,威孚公司也称 EDC,还有称 ECM 的。不管名称如何,其基本功能是始终一致的。

电子控制系统的控制框图如图 1-6 所示。

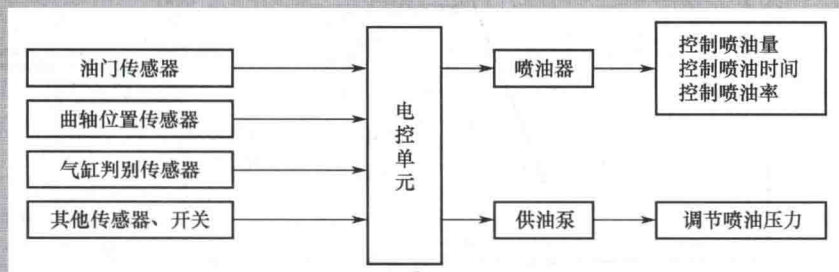


图 1-6 电子控制系统的控制框图

1) 作用与工作原理。



注意

ECU 的作用是接收来自各种传感器的信息,按照预先设计的程序,经过快速的处理、运算、分析和判断后,把各个参数限制在允许的电压电平上,适时地输出控制指令,控制执行器执行各种预定的控制功能,借以控制发动机。

ECU 的核心部件是微型计算机,即微机(电脑),所以有时简单地将 ECU 称为微机或电脑。

微处理器根据输入数据和存储在 MAP 中的数据,计算喷油时间、喷油量、喷油率和喷油定时等,并将这些参数转换为与发动机运行匹配的随时间变化的电量。

图 1-7 所示是柴油机的电控共轨式燃油系统的线路图(电装)。

以发动机的转速、负荷为基础,经过 ECU 的计算和处理,向喷油器、供油泵等发送动作指令,使每一个气缸内都有最合适的喷油量、喷油率和喷油定时,保证每一个气缸的燃烧过程最佳。

ECU 根据发动机转速、油门开度等计算出最佳喷油量,控制喷油器的电磁阀,在指定的时间内开启和关闭喷油器的针阀,从而准确控制喷油量。每循环的喷油量和脉冲宽度近似成正比。

2) ECU 的处理能力。为了适应不断改进的控制功能,ECU 自身技术含量也在不断发展。ECU 中所使用的微型计算机的 ROM(只读存储器)和 RAM(读写存储器)的内存容量也在不断增加。

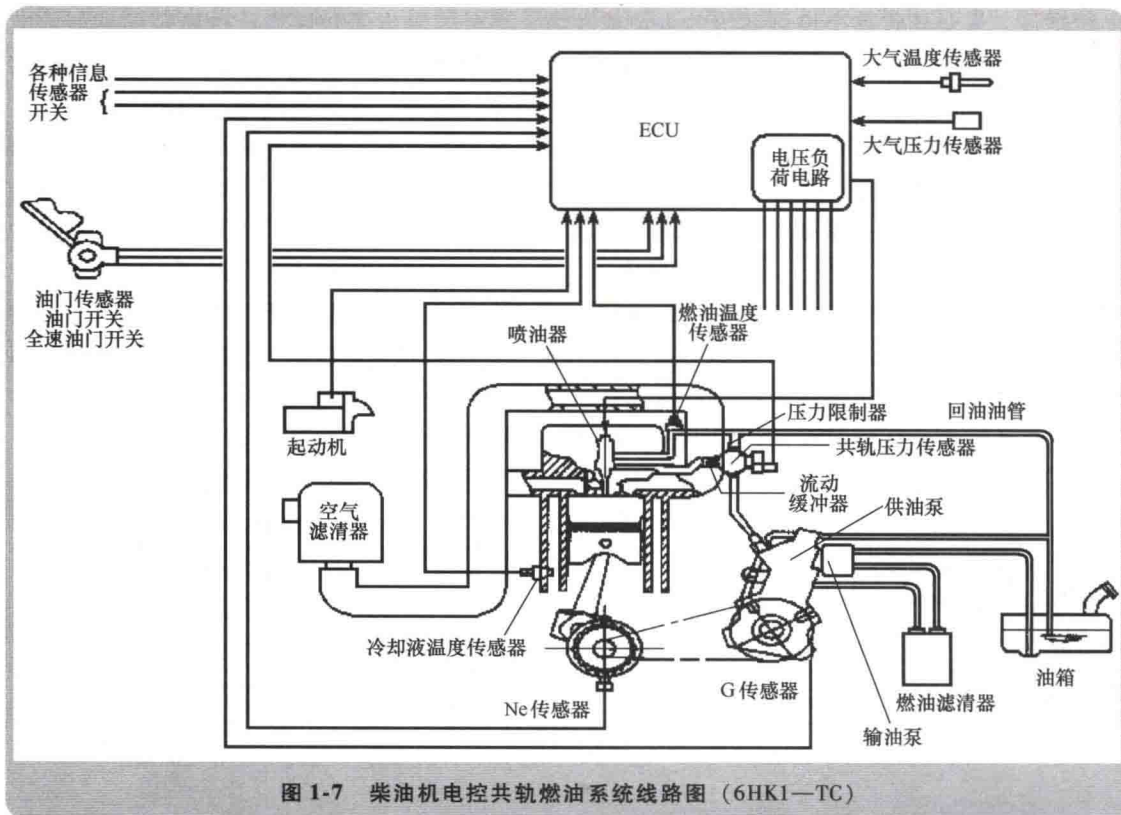


图 1-7 柴油机电控共轨燃油系统线路图 (6HK1—TC)

在控制功能、内存容量不断增加的同时，还要求 CPU 的处理速度不断提升。现在大量采用的是 16 位或 32 位 CPU。今后将以 32 位的 CPU 为主，而且，随着工作频率的提高，高速缓存存储器的广泛采用，浮点小数运算单元、数字信号处理器等也势必进一步扩大应用。

随着控制部件数量的增加、各个气缸控制项目和故障诊断功能的追加、发动机综合控制功能的增加以及模拟电路功能数字化等，数据的输入输出量也在不断增加，A/D 转换器的频道数也将会不断增加。按照不同的功能，随着年代的推移，输入输出信息的变化情况见表 1-1。

表 1-1 微机输入输出信息的变迁

年 代		1990	1995	2000	2005
CPU		8 位	16 位	32 位	32 位
内存/B	ROM	12K	56K	512K	2M
	RAM	384	1.5K	32K	128K
输入输出 信息量	定时器	6	12	64	80
	A/D	8	10	32	32
	I/O	39	58	149	149
	SCI	1	2	5	4
	CAN	0	0	2	4
	FPU	无	无	有	有
封 装		68 针	84 针	256 针	256 针

注：SCI—串行接口；FPU—浮点数字处理单元。

3) 定时功能。喷射定时、多段喷射控制等都要求更高的时间精度。螺线管，电动机的电流控制、相位控制等都要求更高的频率，占空比输出、多个定时同时动作等，在时间方面



的匹配都是非常严格的。为了不给 CPU 增加更多的处理负担，但又要满足上述各种功能，因此要求微机配用的时间定时器更加智能化、功能化。

4) 通信功能。为了实现和故障诊断工具通信、变速控制、牵引控制等和其他控制单元之间的协调控制，实现多种设备之间的高速化和通信简易化，车内局域网（CAN）方式在电子控制系统中得到了广泛的应用，局域网控制器（CAN—Controller Area Network）等必将大量使用。今后，包括其他控制单元和定时器的同步控制功能的通信方式也将被采用。

5) 存储器的多样化。微机中 ROM 在 ECU 工序之前必须将程序写进去，因此，控制程序必须提前决定下来，即使是硬件结构完全相同，仅就程序本身来说，软件的数量也会增加。现在，主要是采用闪存（FLASH MEMORY），在 ECU 装配完成之后，ROM 中的程序可以更改重写。这样，从程序定形开始到 ECU 完成的时间可以缩短，硬件可以实现标准化。

故障诊断结果的记忆，传感器、执行机构的各种特性数据的记忆，防盗装置 ID 代码的记忆等，当电源断掉以后也不会消失，而且要求可以一次又一次的改写。为了满足这样的要求，需要使用电子可擦可编程只读存储器（Electric Erasable PROM，EEPROM）。

6) ECU 的小型化。ECU 的功能不断增加，同时，车辆上电子控制设备的体积等也在不断增大，因此，要求 ECU 可以安装在不同的地方，而且必须追求 ECU 的小型化。主要体现在电子零部件的小型化和布线高密度化。现在，一般采用的方法是将电子零部件安装在线路板的上面。提高电子零部件安装密度的基本方法是追求零部件的小型化。图 1-8 所示为小型高密度 ECU 的内部结构。

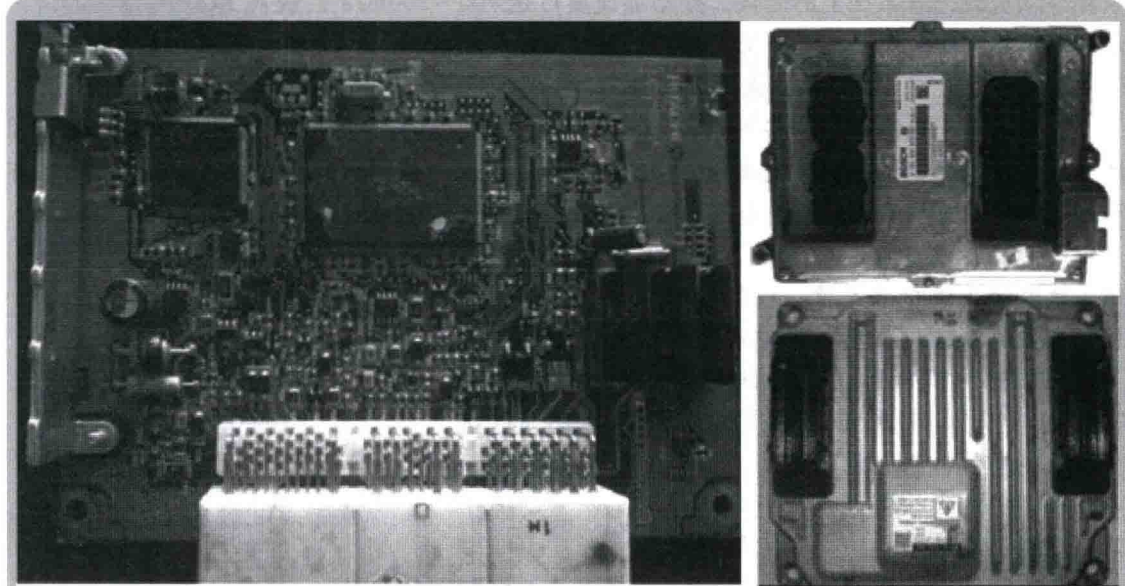


图 1-8 小型高密度 ECU 内部结构（外形）

7) 耐环境性。耐环境性主要包括防水性、耐热性和耐振性。

① 防水性。ECU 安装在发动机室时，首先要求的性能是防水性。例如，在 ECU 内部填充硅油等，侵入到 ECU 内部的水分不会影响到 ECU 的性能。最近，由于追求设计轻量化和重复使用性，将 ECU 设计成全封闭型，但不加填充物质。这时，为了缓和 ECU 内外压力

差，设置了通气孔，同时，还要防止水分从通气孔进入 ECU 内部。此外，还要防止水分从接头处进入 ECU 内部。图 1-9 所示是防水型 ECU 的结构。

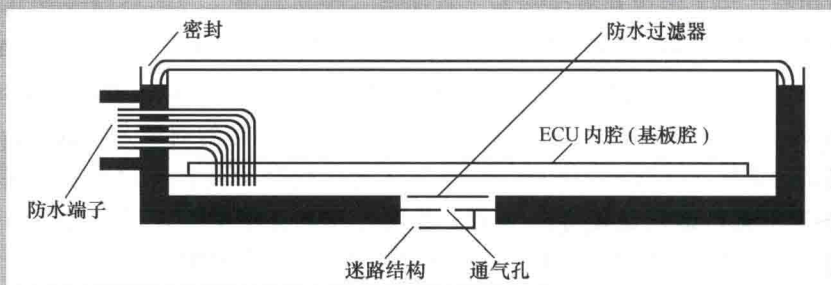


图 1-9 防水型 ECU 的结构

② 耐热性。ECU 布置在发动机室内的另一个问题是耐热性。不仅有发动机主体的热问题，还由于采用了大电流驱动的电磁阀、电动机等执行器的增加，ECU 内部的发热也是一个大问题。提高 ECU 耐热性有以下主要措施。

- a. 采用耐高温的元器件。
- b. 采用低发热元件。
- c. 采取必要的散热结构。

③ 耐振性。当 ECU 安装在底盘上时，传递到 ECU 上的振动加速度为 $40 \sim 50\text{m/s}^2$ ；安装在发动机或进气系统上的时候，振动加速度可达 $100 \sim 300\text{m/s}^2$ 。提高 ECU 耐振性的措施是将基板固定到金属平板上，抑制振动；安装重心低的元件；采用能承受微小摩擦的插座。

3. 执行器

发动机电子控制系统的各种控制功能的实现，都是借助于各自的执行器来完成的。因此，根据发动机电子控制系统具备的控制功能强弱不同，各种车型上控制发动机的执行器亦有多有少。在柴油机高压共轨电控系统中的执行器主要有电控喷油器和燃油压力控制阀等。

(1) 电控喷油器 喷油器总成是高压共轨燃油系统中最关键、最复杂的部件，在共轨系统中，以电控喷油器取代了传统的机械喷油器。在喷油过程中，主要是在电子控制器的控制下进行的，把电信号转变为机械信号，实现机电一体化控制。这个转变过程在电磁阀控制的电控喷油系统中，主要由电磁阀来执行，因此电磁阀在时间控制系统中的作用至关重要。

喷油器中的指令脉冲、针阀升程、指令压力和喷油率图形随时间变化的过程如图 1-10 所示。喷油始点和喷油延续时间由指令脉冲决定，与转速、负荷无关；因此，可以自由控制喷油时间。

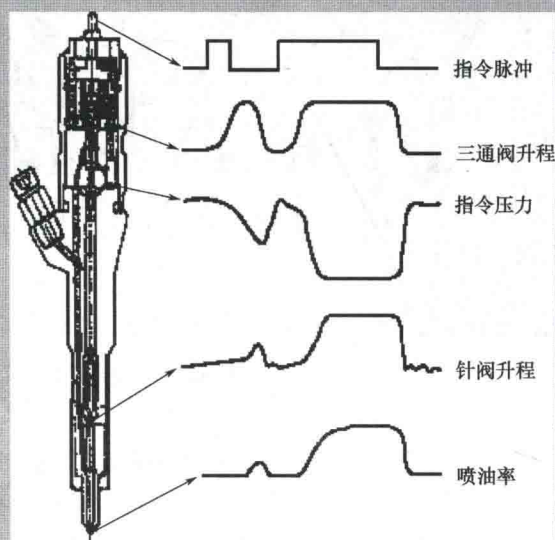


图 1-10 喷油器中的信号谱



在主脉冲之前,有一个脉宽相当小的预喷射脉冲,可以方便地实现预喷射。根据发动机的实际需要,预喷射形状可以有多种形式。

决定预喷射形状的参数有预喷油量大小及预喷油 and 主喷油之间的时间间隔。但是,实现该理想的喷油速率图形的具体方法主要是准确而细致地调节脉冲始点、脉冲宽度和脉冲间隔。

喷油器的控制电路如图 1-11 所示。

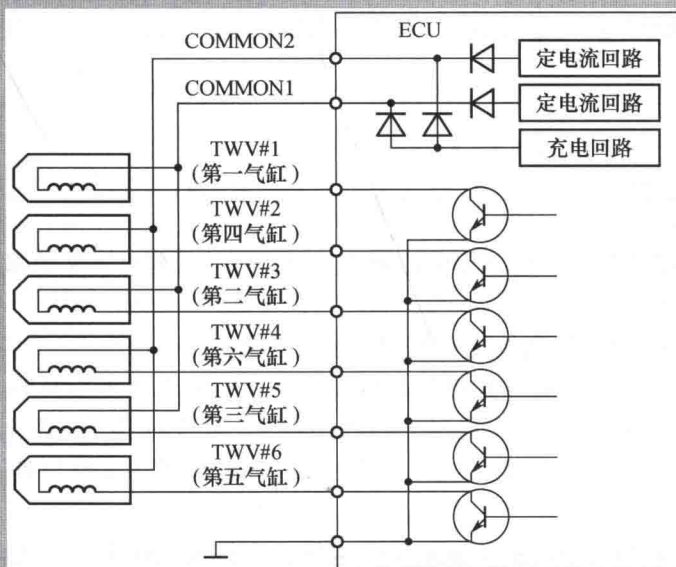


图 1-11 ECD—U2 喷油器的控制电路

根据 ECU 送来的电子控制信号,喷油器将共轨内的高压燃油以最佳的喷油时刻、最适当的喷油量、最合适的喷油率和喷雾状态喷入发动机燃烧室中。



注意

喷油器常见故障如下。

雾化不良——将导致发动机功率下降,排气冒黑烟,机器运转声也不正常。

针阀卡死——将导致发动机功率下降、抖动,严重的甚至无法起动。

针阀与针阀孔导向面磨损——将导致功率降低、起动困难、甚至无法起动。

喷油嘴滴油——会导致当柴油机温度低时,起动困难,排气管冒白烟,柴油机温度上升后则变成冒黑烟且油耗偏高。

回油量过高——会导致喷油压力降低,喷油时间推迟,发动机功率下降,甚至造成柴油机熄火。

近年来,在电控燃油系统的喷油率控制方面取得了新的进展,在一次喷油循环中可以实现 5 段甚至 7 段喷油(理论上可以实现更多段喷油)。但其中只有一次是主喷射,其余均为辅助喷射,目的在于改善燃烧质量,改善排放等。

现代柴油机在经济性、排放、噪声、稳定性、安全性和舒适性等各方面要求都在不断提高,各种高标准的法规已使电磁阀控制难以满足。尤其是电磁阀对必须采用多次喷射才能满



足要求的喷油规律极难适应，为此，德国西门子、博世等公司相继开发了以压电晶体驱动的电控喷油器。与高速开关电磁阀相比，压电晶体控制的喷油器具有更大的优势（表 1-2），高压共轨喷油系统采用了压电晶体控制的喷油器后，能获得更快的响应速度，更灵活、更精确地进行控制，能适应更多次喷射，使柴油机获得更好的综合性能，高压共轨系统的优势更能发挥出来。

表 1-2 电磁阀喷油器与压电晶体喷油器的比较

	电磁阀喷油器	压电晶体喷油器
开关时间	-	+
迟滞时间	-	+
重复性	-	+
能耗	0	+
针阀升程可变的灵活性	-	+

注：+ 表示好；- 表示差；0 表示一般。

采用压电晶体喷油器的高压共轨电控喷油系统，除喷油器外，其他部件与采用高速电磁阀控制的喷油系统相同。

1) 压电效应的性质。压电效应有下述两种不同性质的过程。

① 正压电效应。压电材料（如石英晶体等）在外力的作用下变形时，压电晶体上会产生与应变量成正比的电荷，进而在电极之间产生电压。电荷的多少和极性与所加的机械力的大小和性质（拉力或压力）有关。当外力去除后，压电晶体又重新回到不带电的状态。这种现象称为正压电效应。

② 逆压电效应。如对压电晶体施加一个电压，在外电场作用于压电晶格上时，电流流过会使晶格伸长，当断电后压电晶体又恢复到起始状态。这种现象称为逆压电效应。

上述正压电效应是机械能转变为电能的过程；逆压电效应则是电能变为机械能的过程。两种压电现象统称为压电效应。

在压电式传感器中，大多是利用压电材料的正压电效应，而压电执行器则主要是利用压电材料的逆压电效应。

压电材料有压电单晶材料、压电多晶材料（压电陶瓷）、有机压电材料等。高速开关阀中用的材料，一般是压电材料中石英晶体和各类压电陶瓷。

石英晶体是单晶体中应用最为广泛的一种压电晶体，它没有热释电效应，其主要优点是性能稳定，介电常数和压电常数的温度稳定性特别好。

压电陶瓷是一种多晶铁电体。锆钛酸铅系列压电陶瓷，目前应用较广。它由较高的压电常数和居里点（300℃），工作温度可达 250℃。各项机电参数稳定，随温度和时间等外界因数变化很小。

2) 压电晶体的特点。压电晶体的主要特点如下。

① 响应速度快。作为快速开关时间为 10 ~ 30μs，用作压电执行器比电磁执行器要快很多倍。这是由于压电执行器的磁场建立时间几乎可忽略不计。

② 位移控制精度高，可达 0.01μm，重复性好。

③ 有较大的单位输出力，可达 3.9kN/cm。

④ 能耗低。由于压电晶体是一种电容元件，无电感阻力，只有在充电、放电时消耗少量能量，在维持通电过程中不消耗能量。