

## 知识目标

- 了解柴油发动机电控系统的发展历程及类型。
- 了解柴油发动机电控系统的组成和控制原理。
- 了解共轨喷射系统的技术优势。
- 能够找出、识别柴油发动机电控系统的主要传感器、执行器、ECU 等部件。
- 了解电控分配泵喷射系统的结构及组成。
- 了解电控分配泵喷射系统的控制原理。
- 识别柴油机上的电控分配泵喷射系统。
- 能对电控分配泵喷射系统引起的故障进行分析、诊断和排除。
- 掌握泵喷嘴、单体泵的工作原理。
- 掌握电控共轨式燃油喷射系统的基本组成及工作原理。

## 任务分析

在现代社会里,随着国家对环境保护要求越来越高,人们也越来越关注汽车尾气对环境的污染,传统的机械控制式柴油机已经不能满足要求,这就迫使柴油发动机必须采用发动机电子技术。到目前为止,柴油机电子技术也有较快的发展,已有许多功能各异的柴油机电子技术得到应用。

### 任务一



## 柴油发动机电控系统概述

### 一、柴油发动机电控系统的发展历程

柴油机电子控制技术是在解决能源危机和排放污染两大难题的背景下,在飞速发展的电子控制技术平台上发展起来的。到目前为止,柴油机电子控制技术大致可分为以下 3 种类型。

#### 1. 位置控制系统

如图 3-1 所示,位置控制系统是指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部件,只是取消了机械控制部件(调

速器等),增加了传感器、ECU、执行器等控制系统,使控制精度和响应速度得以提高。这类技术已发展成了可以同时控制定时和预喷射的 TICS 系统。

## 2. 时间控制系统

时间控制系统也是保留了传统燃油供给系统的组成和结构,通过高速电磁阀直接控制高压燃油的适时喷射。一般情况下,电磁阀关闭,执行喷油;电磁阀打开,喷油结束。因此,时间控制系统既可实现供油量控制,又可实现供油正时的控制,如图 3-2 所示。

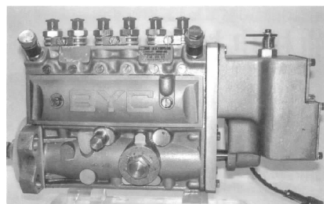


图 3-1 柴油机位置控制系统

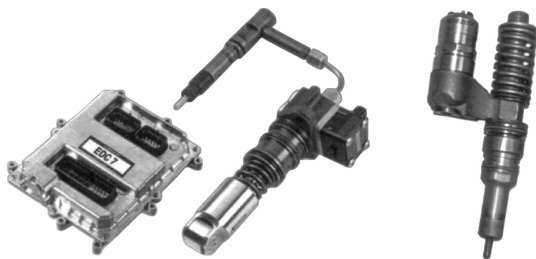
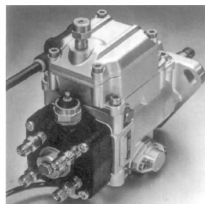


图 3-2 柴油机时间控制系统

## 3. 时间-压力控制系统

时间-压力控制系统(高压共轨系统)是 20 世纪 90 年代国外推出的一种新型柴油机电控技术。该系统基本改变了传统燃油供给系统的组成和结构,如图 3-3 所示。它主要以电控共轨(各缸喷油器共用一个高压油管)式喷油系统为特征,直接对喷油器的喷油量、喷油正时、喷油速率、喷油规律和喷油压力等进行时间-压力控制。高压共轨系统是柴油机燃油系统的一个发展方向,目前在卡车和轿车柴油机上得到广泛应用,发展速度十分迅速。

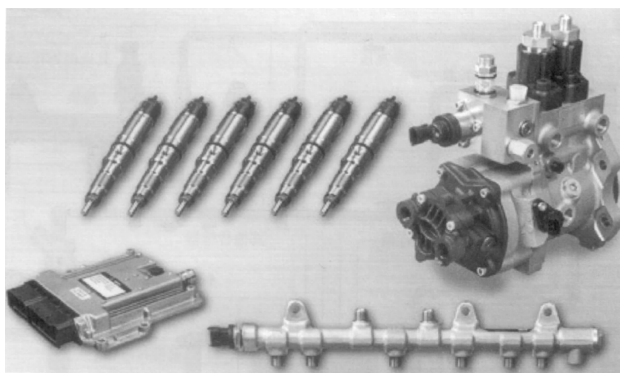


图 3-3 柴油机高压共轨控制系统

# 二、柴油机电控系统的组成和控制原理

## 1. 柴油机电控系统的组成

柴油机电控系统主要由传感器、ECU(控制单元)和执行器三部分组成,如图 3-4 所示。

## 2. 柴油机电控系统的控制原理

柴油机电控系统是对喷油系统进行电子控制,实现对喷油量及喷油定时和随运行工况的实时控制。电控系统采集发动机转速、温度、压力等传感器信号,将实时检测的数据同步输入 ECU 并与 ECU 内储存的参数进行比较,经过处理计算得出最佳值,从而对喷油泵、废气再循环、预热塞等

执行机构进行控制,驱动喷油系统,使柴油机运行状态达到最佳。

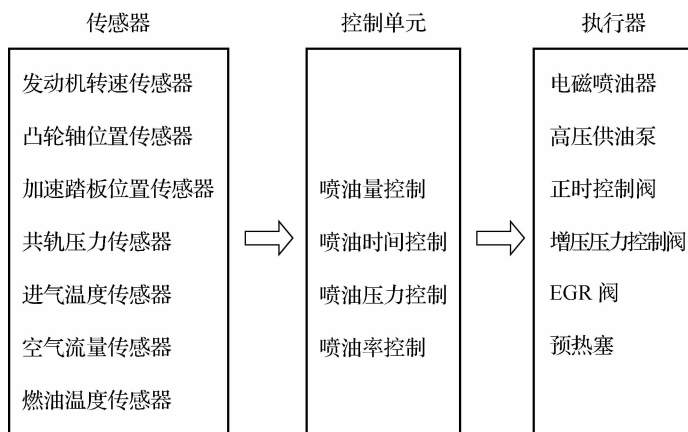


图 3-4 柴油机电控系统的组成

### 三、共轨式燃油喷射系统的技术优势

柴油机共轨式电控燃油喷射技术是一种全新的技术,因为它集成了计算机控制技术、现代传感检测技术和先进的喷油结构于一体。它不仅能达到较高的喷射压力,实现喷射压力和喷油量的控制,而且能实现预喷射和分段喷射,从而优化喷油特性,降低柴油机噪声和大大减少废气的排放量。该技术的主要特点如下:

(1)采用先进的电子控制装置及高速电磁开关阀,使得喷油过程的控制十分方便,并且可控参数多,益于柴油机燃烧过程的全程优化。

(2)采用共轨方式供油,喷油系统压力波动小,各喷油器间相互影响小,喷射压力控制精度高,喷油量控制较准确。

(3)高速电磁开关阀频率高,控制灵活,使得燃油喷射系统的喷射压力可调范围大,并且能方便地实现预喷射等功能,为优化柴油机喷油规律、改善其性能和降低废气排放提供了有效手段。

(4)系统结构移植方便,适应范围广,尤其与目前的小型、中型及重型柴油机均能很好地匹配,因而市场前景广阔。

(5)可独立地柔性控制喷油正时,配合较高的喷射压力(120~200 MPa),目前常用的是博世公司的共轨系统,其共轨压力为 145 MPa,可同时控制  $\text{NO}_x$  和微粒(PM)在较小的数值内,以满足排放要求。

综上所述,共轨式燃油喷射系统有助于减少柴油机的有害尾气排放量,并具有降低噪声、降低燃油消耗、提高动力输出等方面的综合性能。

#### 任务实施

(1)如图 3-5 所示,找出柴油分配泵、电子调速器,并观察其结构及安装位置。

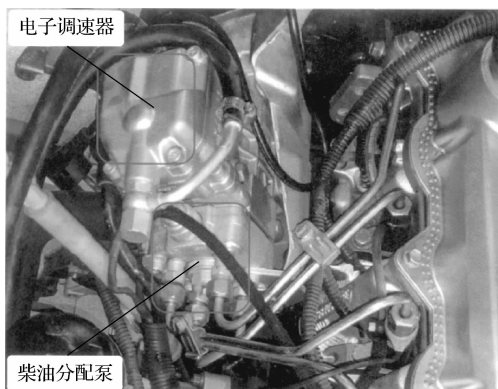


图 3-5 柴油分配泵及电子调速器的安装位置

(2)如图 3-6 所示,找出喷油器、预热塞,并观察其结构及安装位置。



图 3-6 喷油器及预热塞的安装位置

(3)如图 3-7 所示,分别找出高压油泵、油量计量阀、共轨压力传感器、增压压力传感器、高压油轨、发动机 ECU、喷油器电磁阀驱动线、燃油滤清器等零部件,并观察各自的安装位置。

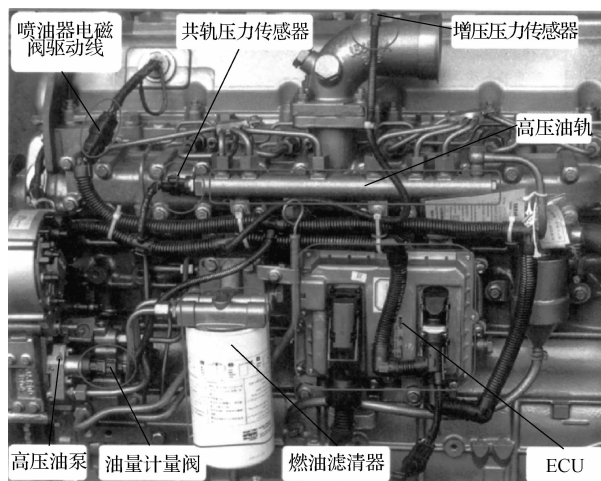


图 3-7 共轨发动机主要部件的安装位置

(4)如图 3-8 所示,分别找出各喷油器高压进油管、高压油轨进油管及回油管,并观察其结构和布置。

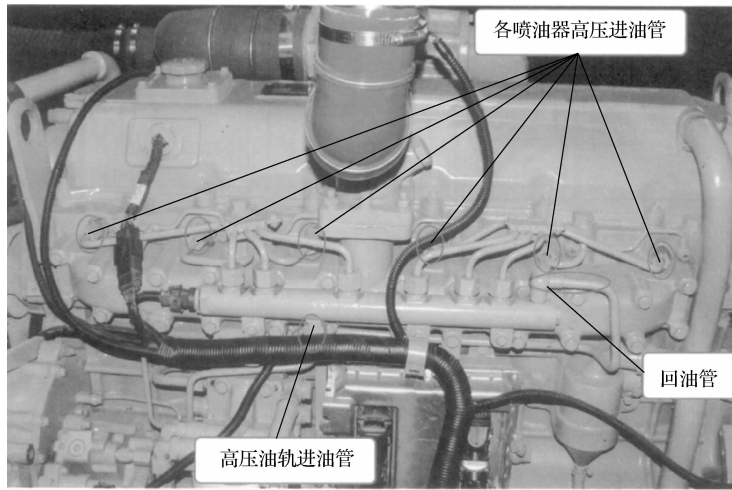


图 3-8 共轨发动机各进、回油管的布置

(5)如图 3-9 所示,找出发动机曲轴位置传感器、冷却液温度传感器等传感器,并观察其结构及安装位置。

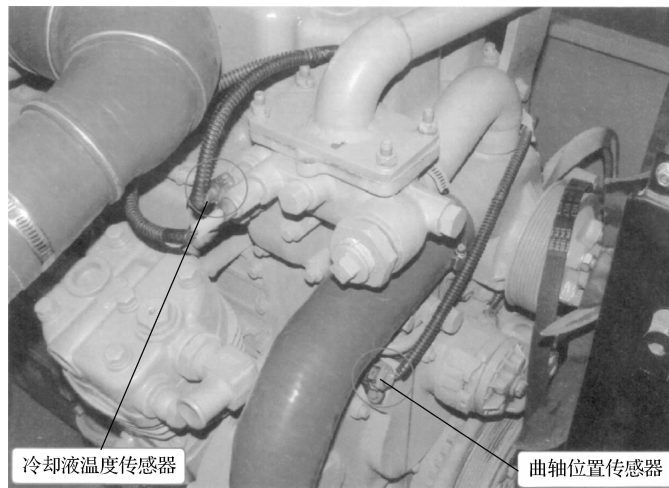


图 3-9 发动机曲轴位置传感器、冷却液温度传感器等传感器的安装位置

## 任务二



# 电控分配泵燃油喷射系统检修

## 一、电控分配泵燃油喷射系统的组成

以一汽大众捷达 1.9SDI 轿车为例,它是首款应用国际成熟柴油技术的国产轿车。它采用德国 Bosch 公司的 VP37 分配泵,属于第一代位置控制式电控系统,其基本组成有传感器、控制单元和执行器,如图 3-10 所示。

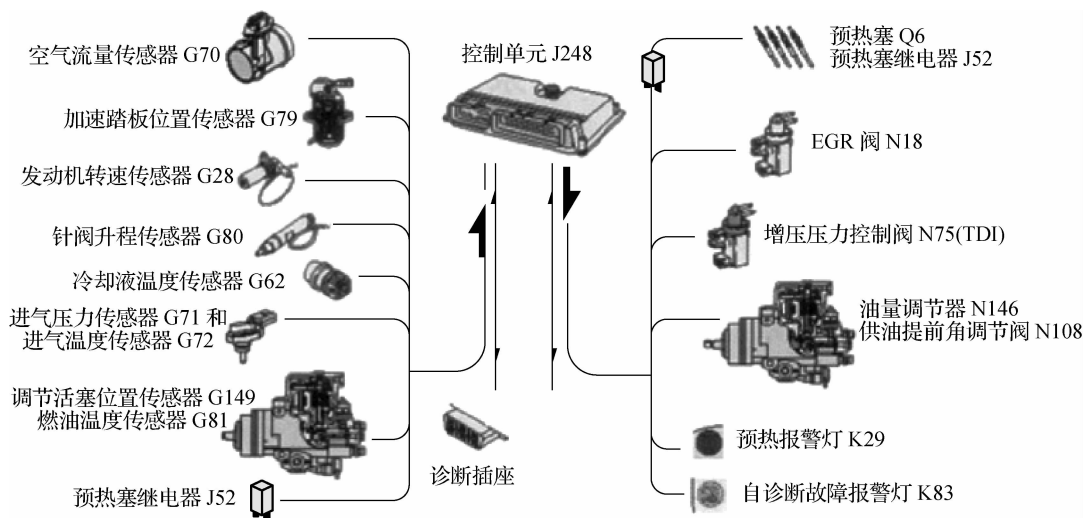


图 3-10 电控分配泵燃油喷射系统的基本组成

## 二、电控分配泵的工作原理

电控分配泵的工作过程分为进油、泵油、停油和压力平衡 4 个阶段,如图 3-11 所示。

### 1. 进油过程

当端面凸轮转过滚轮架上的滚轮时,柱塞在回位弹簧的作用下向左移动。此时,泄油孔被油量控制滑套封闭,分配孔与柱塞套上的出油孔错开,泵腔容积增大,真空度增大;当柱塞上的某一轴向进油槽与进油孔接通时,来自叶片泵的柴油经进油道、进油孔和轴向进油槽进入泵腔,分配泵完成进油过程。进油过程示意图如图 3-11(a)所示。

### 2. 泵油过程

随端面凸轮继续转动,端面凸轮使柱塞向右移动,泵腔内油压升高(轴向进油槽与进油孔错开,泄油孔仍被封闭)。当分配孔与柱塞上的某一出油孔接通时,泵腔内的高压柴油即经柱塞中心油道和分配孔进入出油道,并顶开出油阀供往喷油器,分配泵完成泵油过程。泵油过程示意图如图 3-11(b)所示。

### 3. 停油过程

在分配泵泵油过程中,随柱塞向右移动,当泄油孔从油量控制滑套中露出时,分配泵内腔的高压柴油经柱塞中心油道和泄油孔流入泵壳内腔,出油道内油压迅速下降,出油阀关闭,分配泵泵油过程结束。停油过程示意图如图 3-11(c)所示。

### 4. 压力平衡过程

在柱塞转动 180°后,压力平衡槽对准出油道,使出油道中的燃油压力与泵壳内的油压相平衡,这将有助于改善各缸分配的不均匀性。压力平衡过程示意图如图 3-11(d)所示。

当点火开关处于 ON 位置时,断油阀电路接通,分配泵进油道开通;反之,分配泵进油道截止,分配泵停止供油,柴油机熄火。

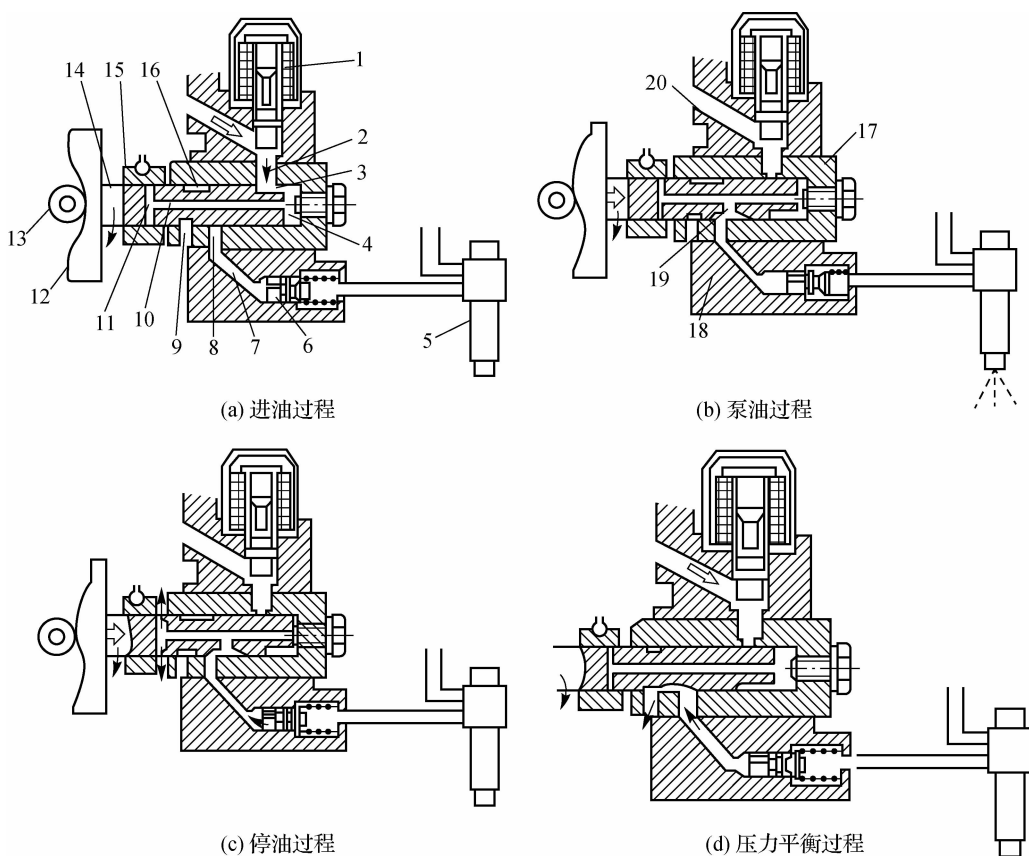


图 3-11 电控分配泵的工作过程

- 1—断油阀; 2—进油孔; 3—进油槽; 4—柱塞腔; 5—喷油器; 6—出油阀; 7—分配油道;  
 8—出油孔; 9—压力平衡孔; 10—中心油孔; 11—泄油孔; 12—平衡凸轮盘; 13—滚轮;  
 14—分配柱塞; 15—油量控制滑套; 16—压力平衡槽; 17—柱塞套;  
 18—喷油泵体; 19—燃油分配孔; 20—进油道

## 三、电控分配泵燃油喷射系统的控制原理

### 1. 喷油量控制

捷达 SDI 分配泵为轴向压缩式分配泵,由其分配转子的转动来实现泵油和燃油分配。分配泵供油量的调节是通过改变油量控制滑套在柱塞上的轴向位置来实现的,分配泵油量控制结构如

图 3-12 所示。滑套向左移动时,在泄油孔从滑套中露出之前,柱塞有效泵油行程减小,供油量减少;滑套向右移动时,柱塞有效泵油行程增大,供油量增加。

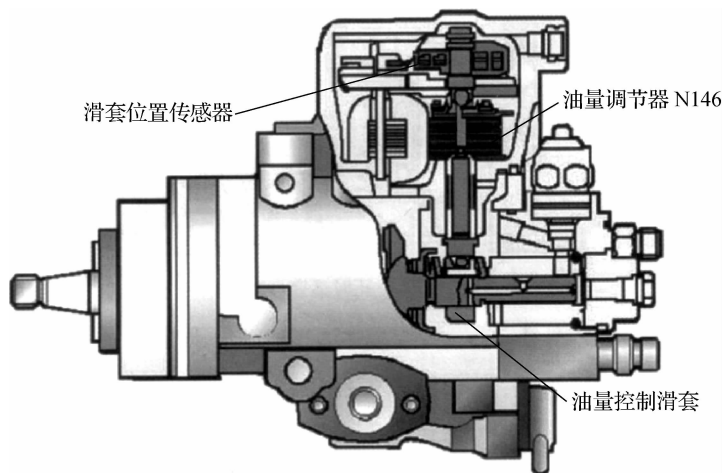


图 3-12 分配泵油量控制结构

如图 3-13 所示,油量控制滑套的轴向位置由电子调速器控制。怠速时,控制滑套向左移动,实际供油的有效行程减小,供油量减少;有负荷时,控制滑套向右移动,实际供油的有效行程增大,供油量增大。

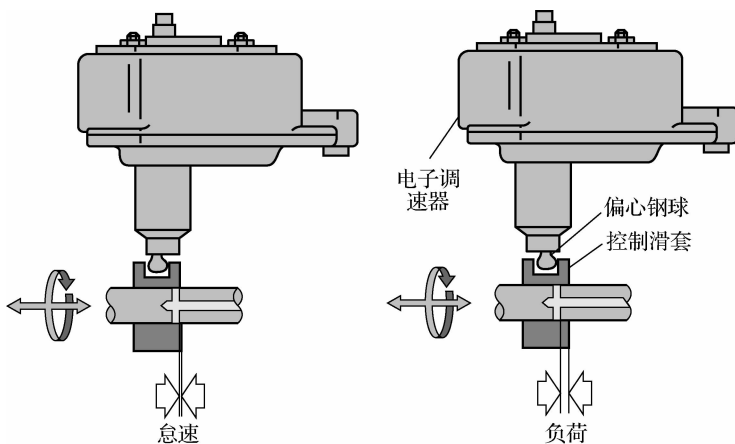


图 3-13 分配泵供油量控制原理

## 2. 供油正时控制

电控分配泵供油正时的控制通常是在原供油提前角自动调节器活塞两侧高低压腔之间增加一条液压通道,依靠占空比控制的正时控制阀使活塞两侧的油压发生变化,从而控制供油正时。如图 3-14 所示,由 ECU 发送信号使电磁线圈 N108 产生电磁力,吸动滑动铁心,铁心带动阀门移动,使正时活塞左侧(低压腔)与右侧(高压腔)之间的压力差发生改变,从而使正时活塞移动,带动分配泵滚轮架转动,以实现调整供油时刻。



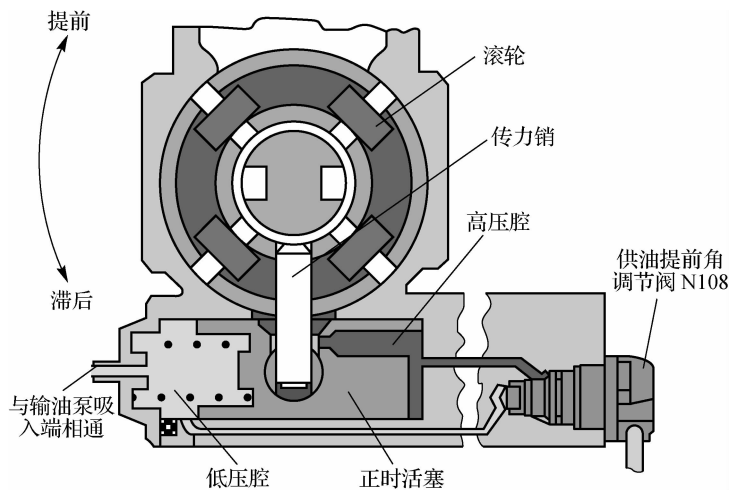


图 3-14 分配泵供油正时控制原理

### 任务实施

(1) 打开车门, 铺好“三件套”(一次性座套、方向盘套和脚垫), 拉动发动机舱盖手柄, 打开发动机舱盖。

(2) 如图 3-15~图 3-19 所示, 找到燃油分配泵、喷油器、预热塞、针阀升程传感器、滑套位置传感器和油量调节器、喷油正时控制阀和废气再循环阀等部件的位置, 熟悉其结构及拆装方法。

(3) 检测电控分配泵燃油喷射系统主要传感器和执行器的数据。

① 针阀升程传感器 G80 的检测。如图 3-20 所示, 关闭点火开关, 拔下传感器插头, 测量插头两触点间的电阻值, 标定值为  $80 \sim 120 \Omega$ 。若不符合规定, 应予以更换。

② 燃油温度传感器 G81 的检测。如图 3-21 所示, 关闭点火开关, 拔下燃油温度传感器(喷油泵监控插头), 测量触点 4 与 7 间的电阻值。

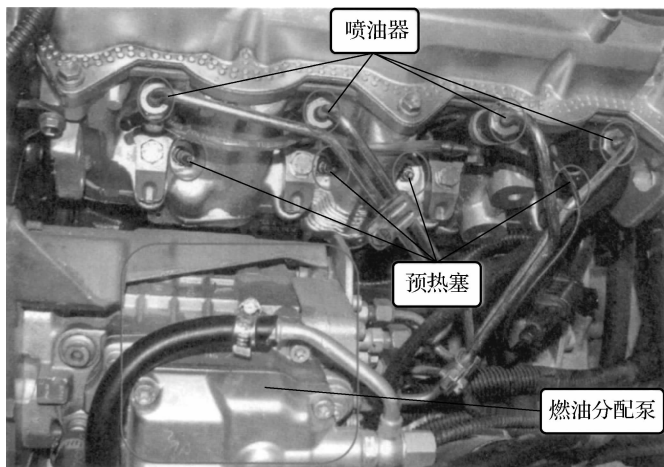


图 3-15 捷达 1.9SDI 柴油发动机主要部件的安装位置



图 3-16 针阀升程传感器的安装位置



图 3-17 废气再循环阀的安装位置

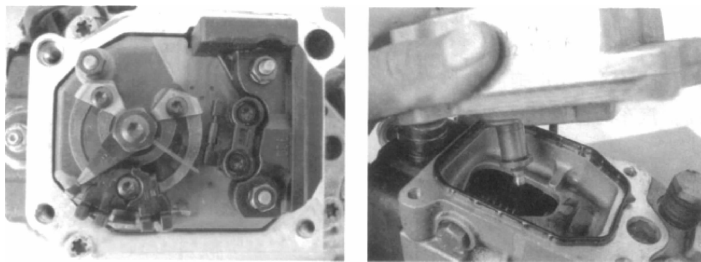


图 3-18 分配泵内部结构(滑套位置传感器)

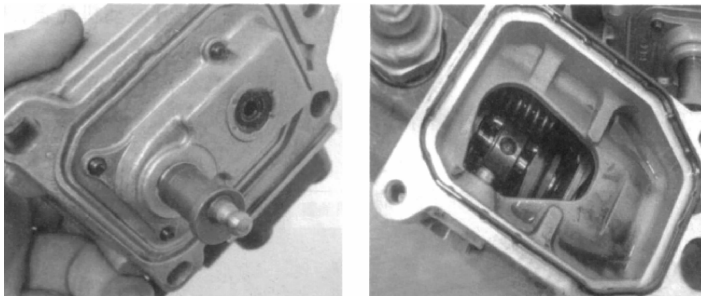


图 3-19 分配泵内部结构(油量调节器)



图 3-20 针阀升程传感器 G80 的检测



图 3-21 燃油温度传感器 G81 的检测

燃油温度传感器电阻、信号电压随温度变化的关系如表 3-1 所示。

表 3-1 燃油温度传感器电阻、信号电压随温度变化的关系

| 温度/°C | -10     | 0       | 20      | 50        | 80        |
|-------|---------|---------|---------|-----------|-----------|
| 电阻/kΩ | 7.5~9.5 | 5.2~5.8 | 2.2~2.6 | 0.75~0.95 | 0.18~0.25 |
| 电压/V  | 4.1~4.3 | 3.7~3.9 | 2.4~2.8 | 1.3~1.5   | 0.6~0.7   |

③滑套位置传感器 G149 的检测。关闭点火开关,拔下喷油泵监控 10 孔插头,测量插头端子 1、2 与 2、3 间的电阻,标定值为 4.9~7.5 Ω,如图 3-22 所示。若不符合规定,应予以更换。

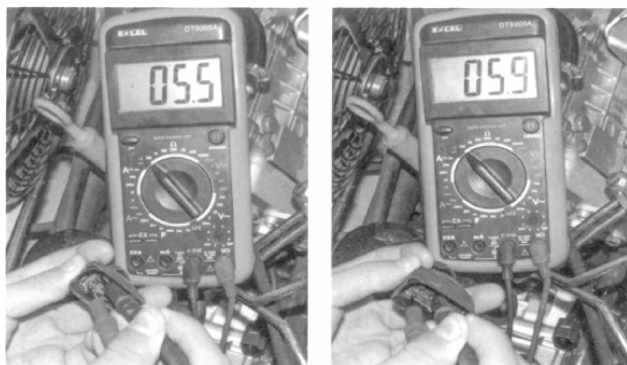


图 3-22 滑套位置传感器 G149 的检测(1、2 号与 2、3 号电阻)

④油量调节器 N146 的检测。关闭点火开关,拔下喷油泵监控 10 孔插头,测量插头端子 5 和 6 的电阻值,标定值为 0.5~2.5 Ω,如图 3-23 所示。若不符合规定,应予以更换。

⑤喷油正时控制阀 N108 的检测。关闭点火开关,拔下喷油泵监控孔插头,测量插头端子 9 与 10 间的电阻,标定值为 12~20 Ω,如图 3-24 所示。喷油始点阀的最大喷油提前效果可达 6° CA (曲轴转角)。



图 3-23 油量调节器 N146 的检测



图 3-24 喷油正时控制阀 N108 的检测

## 故障实例

### 1. 故障描述

一款捷达 1.9SDI 柴油轿车配置 AQM 发动机,发动机怠速运转不稳定,行驶过程中加速无力,并出现轻度冒黑烟的现象。

### 2. 诊断思路

捷达柴油轿车的怠速运转不稳,一般是由以下几个方面原因引起的:

- (1)个别气缸的气缸压力过低。
- (2)VP37 轴向柱塞式分配泵损坏,进而导致供油量不均匀。
- (3)个别气缸喷油器损坏或有堵塞。
- (4)针阀升程传感器失效。
- (5)燃油中有水或杂质。

### 3. 维修过程

首先测试气缸压力,气缸压力均在标准范围(2 500~3 100 kPa)内。排除了气缸压力的问题,故障点就集中在 VP37 泵和喷油器上。用 V. A. G1551 进行检测,检测结果如下:

- (1)存储器内无故障。
- (2)柴油泵喷油量在 2.0 mg/s 左右变化,变化范围较大。
- (3)供油时刻起始值为 94。
- (4)数据组 013 数值如表 3-2 所示。

表 3-2 数据组 013 数值

| 气 缸                       | 1 缸 | 2 缸  | 3 缸 | 4 缸 |
|---------------------------|-----|------|-----|-----|
| 喷油量/(mg·s <sup>-1</sup> ) | 1.7 | 2.08 | 1.6 | 1.8 |

根据以上数据,首先调整喷油起始角 04 功能下 000 组,2 区数值为 50~60,故障现象依旧。然后检查燃油系统,柴油中未发现水或杂质,供油畅通。检查电路系统,各传感器一切正常。因此怀疑是 VP37 泵出现了故障,更换一个新的 VP37 泵,故障现象依旧。重新分析怠速稳定控制数据组 013 数据,2 缸做功比其他 3 个缸都好,且超出了调整的允许范围(-1.9~+1.9 mg/s),这说明 2 缸供油过多。因此,拆下 2 缸喷油器测试其开启压力,结果是在压力达到 7 000 kPa 时喷油器开始喷油。标准的开启压力为 19 000~20 000 kPa,即 2 缸喷油器在未达到标准压力时提前开启,更换 2 缸的喷油器,故障排除。经拆检,发现 2 缸喷油器中的一个弹簧断裂。

### 4. 故障总结

修复后对此故障进行分析。捷达 SDI 柴油轿车的喷油器是采用双螺旋弹簧控制喷油器开启压力的,2 缸喷油器的一个弹簧断裂致使开启压力过低,喷油器开启过早,喷油量过多,针阀升程传感器把这一信号反馈给发动机 ECU。针阀升程传感器能够向发动机 ECU 准确反映喷油起始时刻、喷油持续的时间即喷油量,同时还起到判缸的作用。这时,发动机 ECU 控制 VP37 泵减少喷油量,也就是按针阀升程传感器的信号供油,2 缸的喷油量已足够。而到 1、3 和 4 缸时,开启压力较高(需 19 000~20 000 kPa),此时就会导致 1、3 和 4 缸供油量不足,做功能力不足。此时,发动机 ECU 为了维持怠速运转稳定,就会出现供油量变化范围较大现象,从而维持发动机的怠速运转,给维修人员的直观感觉是柴油泵已经损坏。因此,捷达 AQM 发动机在维修过程中,如果发现喷油量过大或过小,不一定是 VP37 轴向柱塞式分配泵损坏,一定要做仔细全面检查。

## 任务三



# 电控泵喷嘴、单体泵燃油喷射系统检修

## 一、泵喷射系统的结构与工作原理

以大众宝来 1.9TDI 轿车为例,该车采用了最新的高压燃油喷射技术——泵喷射系统(独立喷油系统或泵喷嘴系统)。

### 1. 泵喷嘴系统的结构

泵喷嘴系统由以下三部分组成,其结构如图 3-25 所示。

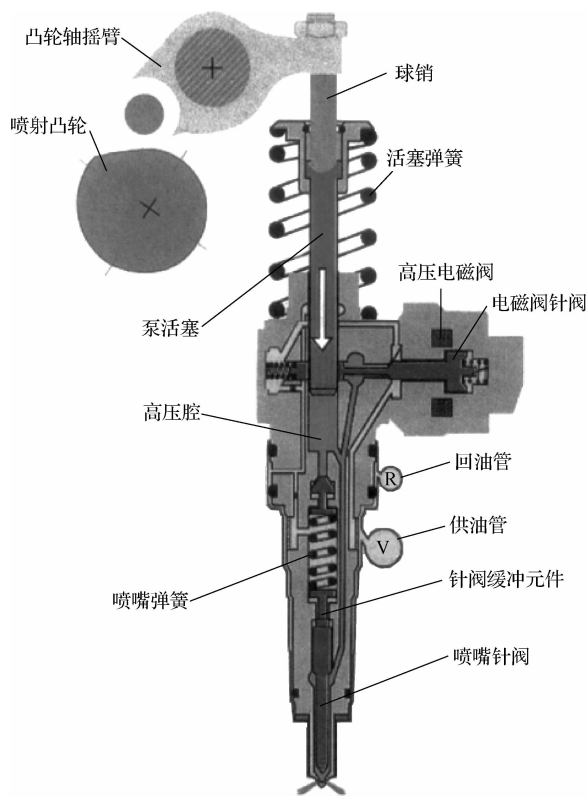


图 3-25 泵喷嘴系统的结构

(1)产生高压的部件。产生高压的部件主要有泵体组件、泵柱塞和回位弹簧。

(2)高压电磁阀。高压电磁阀由线圈、电磁阀针阀、衔铁、磁芯和电磁阀弹簧等组成,其任务是接收 ECU 的信号,控制喷油起始时刻和喷油持续时间。

(3)喷油嘴。喷油嘴安装于泵喷嘴体上,它将燃油雾化,精确定量并分布到燃烧室中。

### 2. 泵喷嘴系统的工作原理

泵喷嘴系统的工作过程也分为 4 个阶段。

(1)进油过程。当凸轮轴摇臂落在喷射凸轮基圆上时,凸轮未能驱动摇臂,泵活塞在其活塞弹簧作用下上移,高压腔容积增大。ECU 控制喷嘴电磁阀不动作而处于打开位置,燃油流入高压腔。进油过程示意图如图 3-26(a)所示。

(2)预喷射过程。当喷射凸轮旋转 to 上升凸轮面时,摇臂开始将泵活塞压下,高压腔容积减小,燃油压力上升。当压力上升到 18 MPa 时,喷嘴针阀克服弹簧弹力上升,开始预喷射过程。预喷射过程示意图如图 3-26(b)所示。当压力上升到使泵活塞下移时,高压腔容积增大,于是压力瞬时下降,喷嘴针阀下移关闭,预喷射结束。

(3)主喷射过程。预喷射结束喷嘴针阀关闭后,高压腔内油压重新上升,这时电磁阀仍然关闭,泵活塞继续下移。当高压腔油压上升到 30 MPa 时,喷嘴针阀再次上升,主喷射开始,由于泵活塞下移速度快,而喷孔直径小,因而喷油压力最高可达 205 MPa。主喷射过程示意图如图 3-26(c)所示。

(4)主喷射结束。当 ECU 停止供电,电磁阀打开时,高压腔与进油腔连通,燃油压力迅速下降,喷嘴针阀在其弹簧作用下迅速下移,关闭喷孔,主喷射结束。主喷射结束示意图如图 3-26(d)所示。

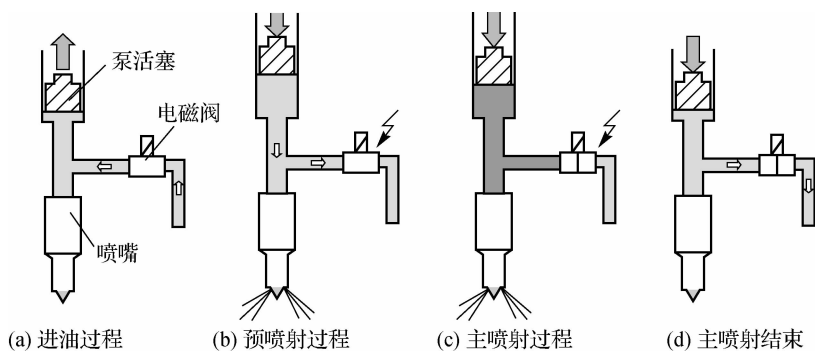


图 3-26 电控泵喷嘴的工作原理

## 二、单体泵燃油喷射系统的结构与工作原理

### 1. 单体泵燃油喷射系统的结构

电控单体泵燃油喷射系统的结构如图 3-27 所示。单体泵通常装在发动机缸体上,通过滚轮由发动机凸轮轴上的凸轮驱动挺柱体,柱塞回位弹簧相对发动机凸轮轴压紧滚轮,挺柱体使泵体中的柱塞上下运动,燃油通过内装在发动机缸体内的输油口注入泵中的柱塞腔。



图 3-27 电控单体泵燃油喷射系统的结构

## 2. 单体泵燃油喷射系统的工作原理

单体泵电磁阀安装在单体泵的上部,电磁阀断电时,回油通道打开,单体泵内的柱塞即使已开始泵油,也不能建立高压,只有当电磁阀通电时,回油通道关闭,油压才迅速升高;高压燃油经过高压油管进入喷油器使其喷油。电磁阀断电时,回油通道打开,迅速溢流卸压,喷油停止。电磁阀通电的持续时间决定了循环供油量。电控单体泵燃油喷射系统的工作过程分为以下4个阶段:

(1)进油过程。电磁阀不通电,当柱塞下移时,喷射系统内部压力将低于低压油路的喷油压力,此时低压系统燃油将通过柱塞套上的进油口进入高压喷射系统。

(2)旁通过程。当柱塞上升时,柱塞腔里的燃油被压缩,但如果电磁阀仍处于断电状态,那么柱塞腔里的燃油压力将由回油溢流阀的开启压力决定,此压力远低于喷油器的开启压力,这样燃油将通过回油通道流回油箱。

(3)喷射过程。柱塞上升过程中,如果 ECU 在某个特定时刻发出了一个控制喷油的脉冲信号,使电磁阀通电,这时回油通道被关闭,柱塞腔形成了一封闭容积。随着柱塞上升,封闭容积里的燃油被压缩,压力迅速上升,并且喷油器的喷射压力也急剧上升,当压力高于喷油器的开启压力(约为 30 MPa)时,喷油器打开,燃油喷到燃烧室中。最高喷射压力可达 180 MPa。

(4)卸荷过程。当控制喷油脉冲信号终止时,电磁阀断电,回油通道重新打开,燃油由此溢流,柱塞腔及喷嘴压力迅速下降,喷嘴闭合,喷射过程结束。

### 任务实施

#### 1. 泵喷嘴的拆卸

(1)拆卸齿型皮带护罩和气缸盖罩就能看到每缸的泵喷嘴,如图 3-28 所示。

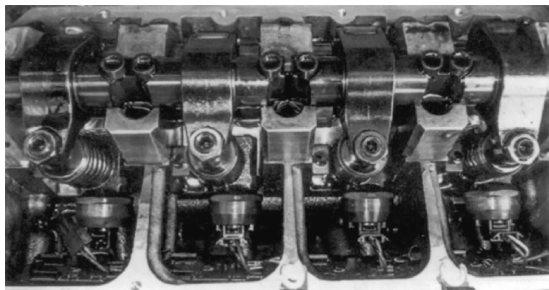


图 3-28 泵喷嘴的安装位置

(2)转动曲轴,直至待拆卸泵喷嘴的凸轮朝上。

(3)松开调整螺钉的锁紧螺母,将螺钉拧出,直至相应摇臂顶住泵喷嘴的柱塞弹簧。

(4)用 3410 拆卸摇臂紧固螺栓(由外向内),拆下摇臂轴,用 T10054 拆下张紧块紧固螺栓并拆下张紧块。

(5)用螺丝刀撬开泵喷嘴插头,用手指轻轻压住插头的另一侧,以免其倾斜,在原安装张紧块的泵喷嘴一侧的槽内装上拉拔器;轻轻

敲打,将泵喷嘴从缸盖上拉出。

#### 2. 泵喷嘴的安装

(1)将紧固螺栓拧到张紧块内,直至泵喷嘴可转动自如。

(2)将泵喷嘴校正至与凸轮轴轴承垂直,用游标卡尺检查气缸盖外缘到泵喷嘴圆角边的尺寸。一缸为 $(32.2 \pm 0.8)$ mm,二缸为 $(244.2 \pm 0.8)$ mm,三缸为 $(152.8 \pm 0.8)$ mm,四缸为 $(64.8 \pm 0.8)$ mm。

(3)安装摇臂轴并按下述方法拧紧紧固螺栓:先拧紧内部螺栓,再拧两侧外部螺栓,按同样顺序将螺栓拧紧至  $20 \text{ N} \cdot \text{m}$  再加  $90^\circ$ 。

(4)将千分表装在泵喷嘴调整螺钉上,沿发动机旋转方向转动曲轴,直至摇臂滚轮位于凸轮最高点;拆下千分表。

(5) 将调整螺钉拧入摇臂,直至顶住,再将调整螺钉回拧  $225^{\circ}$ ,调整螺钉保持在该位置,并以  $30 \text{ N} \cdot \text{m}$  的力矩拧紧锁紧螺母。

(6) 连接泵喷嘴插头,安装气缸盖罩和齿型皮带护罩。

## 任务四



## 电控共轨式燃油喷射系统检修

### 一、电控共轨式燃油喷射系统的基本组成及工作原理

以博世高压共轨系统为例,该系统由燃油供给系统和电子控制系统组成,其基本组成如图 3-29 所示。

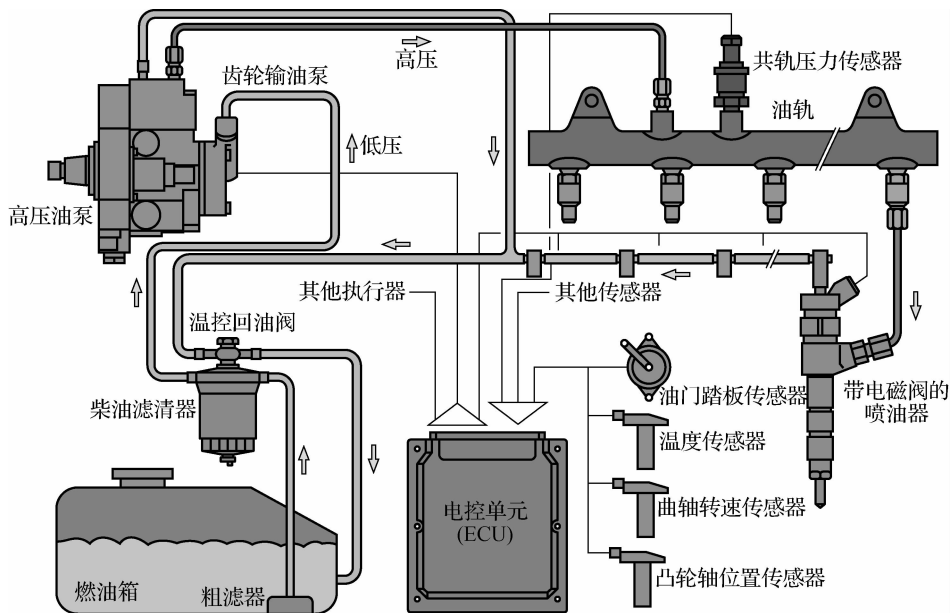


图 3-29 高压共轨式燃油喷射系统的基本组成

#### 1. 燃油供给系统

燃油供给系统主要由燃油箱、柴油滤清器、低压输油泵、高压油泵、高/低压油管、油轨、喷油器等组成。如图 3-30 所示,燃油供给系统可分为低压油路和高压油路两部分。

低压油路包括燃油箱(带有滤网)、输油泵、燃油滤清器及低压油管。

高压油路包括带调压阀的高压泵、高压油管、作为高压存储器的油轨和喷油器。

#### 2. 电子控制系统

电子控制系统主要由传感器、电控单元和执行器组成,如图 3-30 所示。



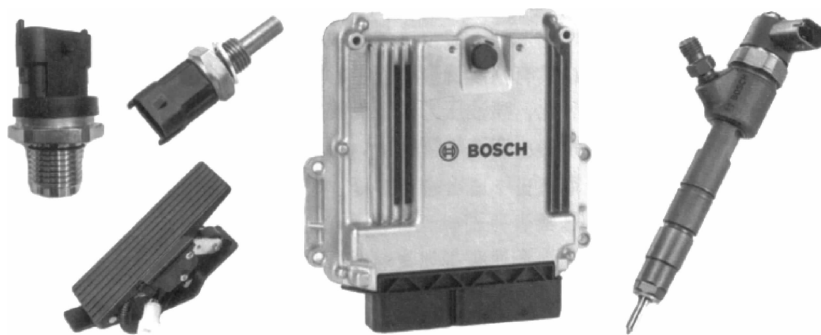


图 3-30 电子控制系统的组成

### 3. 共轨式燃油喷射系统的工作原理

高压泵从油箱经柴油滤清器过滤后将柴油吸出,并提高燃油压力,再经调压阀调整压力后送入共轨,共轨中的燃油压力由电控单元根据柴油机工况的要求进行调节,然后送给每个喷油器,电控单元再根据柴油机工况控制喷油:电磁阀的通断,按时按量地向柴油机气缸内喷油。多余的燃油都经回油管流回油箱。如图 3-31 所示。

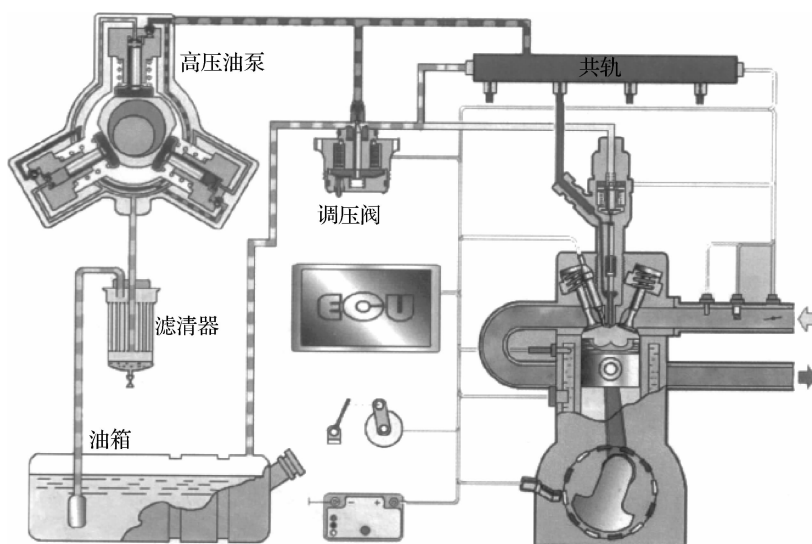


图 3-31 共轨式燃油喷射系统的工作原理

## 二、共轨式燃油喷射系统各部件的结构及工作原理

### 1. 电控单元

电控单元是柴油机的控制中心,接收各传感器传送来的发动机运行信息,按照预先设计好的程序计算处理后,发出指令控制各执行器动作。其主要对喷油量、喷油时间、喷油压力和喷油率进行控制。

### 2. 高压油泵

高压油泵的主要作用是将低压燃油加压成高压燃油,储存在共轨内,等待 ECU 的指令。供油压力可以通过压力限制器进行设定,所以在共轨系统中可以自由地控制油压力。

博世高压共轨系统中采用的高压油泵的结构如图 3-32 所示,实物如图 3-33 所示。

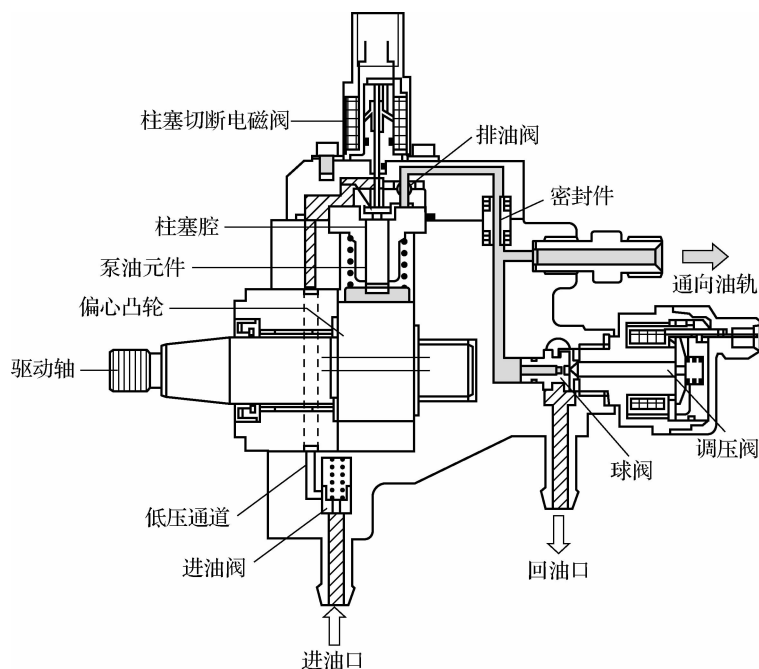


图 3-32 博世高压共轨系统中采用的高压油泵的结构

高压油泵的工作原理:高压油泵是由发动机通过联轴器、齿轮、链条或齿形带中的一种驱动方式驱动,并且以发动机转速的一半转动。如图 3-34 所示,在高压油泵总成中有 3 个泵油柱塞,泵油柱塞由驱动轴上的凸轮驱动进行往复运动。当泵油柱塞向下运动时,进油阀将会开启,低压燃油进入柱塞腔,当泵油柱塞到达下止点时,进油阀将会关闭,即为进油过程;当偏心凸轮推动柱塞向上运动时,柱塞腔内的燃油被加压后打开排油阀送到储能油轨中,高压燃油被储存在油轨中等待喷射。

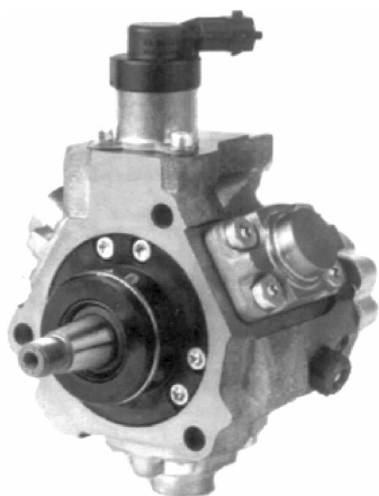


图 3-33 博世高压共轨系统中采用的高压油泵

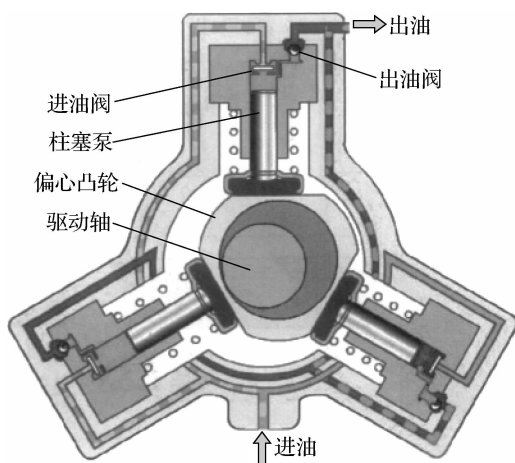


图 3-34 高压油泵的工作原理

### 3. 高压油轨

油轨是将高压油泵提供的高压燃油经稳定、滤波后,分配到各喷油器中,起到蓄压作用。在油轨上还装配共轨压力传感器、限压阀和流量限制阀等,如图 3-35 所示。

(1)共轨压力传感器。共轨压力传感器是测定共轨中的实时燃油压力,并向 ECU 提供电信号的,其结构如图 3-36 所示。当共轨压力变化时,膜片形状发生改变,膜片上涂层的电阻发生变化,使 5 V 供电的电阻电桥中产生的电压也发生变化,为 0~70 mV,经求值电路放大到 0.5~4.5 V,通过连接导线将产生的电信号传送到 ECU。

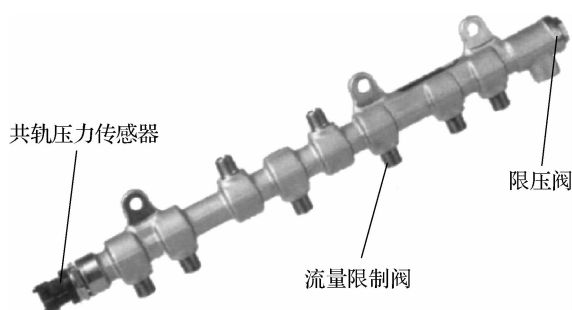


图 3-35 高压油轨的结构

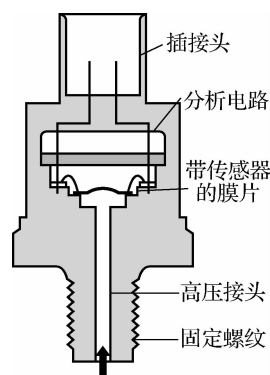


图 3-36 共轨压力传感器的结构

(2)限压阀。限压阀的作用是限制共轨中的压力,防止燃油压力过大,相当于安全阀。当共轨中的燃油压力过高时,打开回油孔卸压。当压力超过弹簧的弹力时,阀门打开,高压燃油经回油孔流回油箱。限压阀的结构如图 3-37 所示。

(3)流量限制阀。流量限制阀的作用是在非正常情况下防止喷油器常开并导致持续喷油的现象。一旦共轨输出的油量超出规定油量,流量限制阀就关闭通往喷油器的油路。

流量限制阀一侧接在共轨上,另一侧接在喷油器的进油管上。其内部有一柱塞,弹簧将其压向共轨方向。正常工作时,柱塞处于静止状态,受弹簧作用处于共轨端;当喷油量过大、压力过高时,柱塞将被压到喷油器端的密封面上,关闭通往喷油器的进油口,限制喷油流量。流量限制阀的结构如图 3-38 所示。

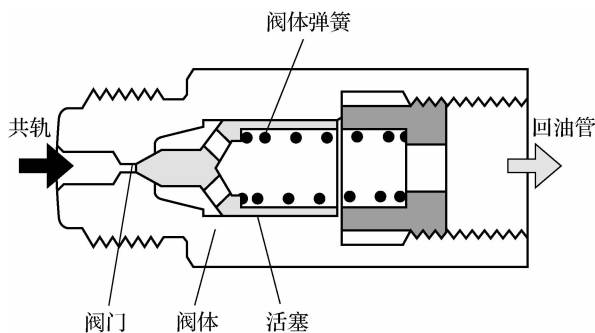


图 3-37 限压阀的结构

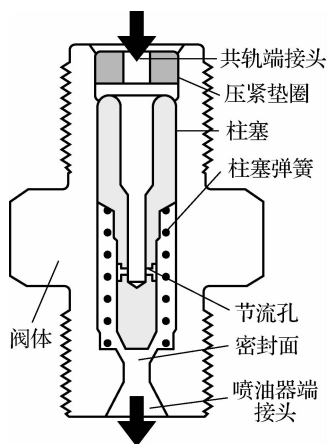


图 3-38 流量限制阀的结构

#### 4. 电磁喷油器

电磁喷油器是高压共轨式燃油喷射系统中的核心部件,其作用是准确控制向气缸喷油的时间、喷油量和喷油规律。图 3-39 所示为电磁喷油器的结构,其顶端装有电磁阀,用来控制喷射过程。



图 3-39 电磁喷油器的结构

当喷油器电磁阀不通电时,衔铁在弹簧力的作用下将球阀压向回油节流孔,回油节流孔关闭。来自高压共轨管内的高压燃油经流量限制阀进入喷油器的进油节流孔、控制油腔和进油管道内,当控制油腔内的高压燃油压力大于进油管道内的燃油压力时,针阀关闭,喷油器不喷油。电磁喷油器的工作原理如图 3-40 所示。

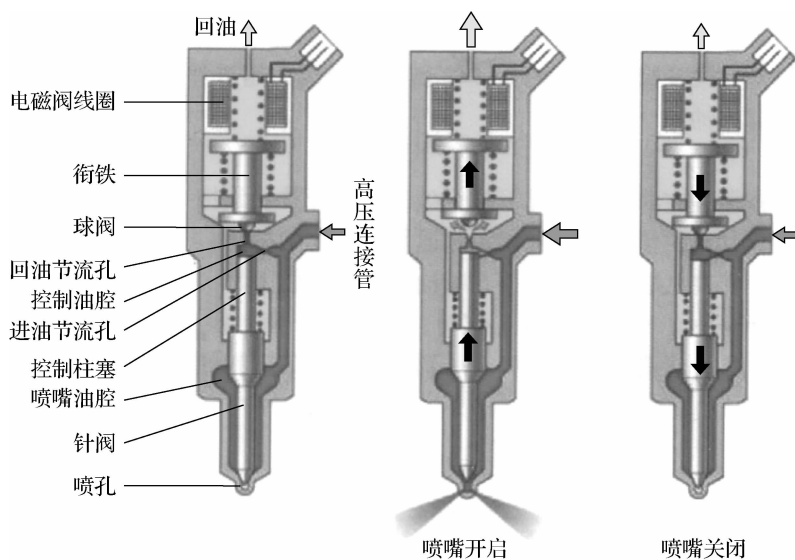


图 3-40 电磁喷油器的工作原理

当喷油器电磁阀通电时,电磁阀产生电磁吸力,吸动衔铁克服弹簧的弹力向上移动,球阀被打开,控制油腔内的高压燃油经回油节流孔流回燃油箱;这时,控制油腔内的高压燃油压力下降,喷嘴油腔室内的高压燃油使针阀上升,燃油经喷孔喷入气缸内。控制油腔内的燃油压力作用在控制柱塞上,当弹簧弹力总和大于进油管道和喷嘴油腔内燃油的压力时,喷油器不喷油,反之则喷油。

### 三、共轨式燃油喷射系统的控制原理

喷油量可分为基本喷油量和最大喷油量两种类型,不同类型喷油量的控制方法也不同。

#### 1. 喷油量控制

基本喷油量主要是由加速踏板开度和发动机转速两个参数决定的,最大喷油量主要是由发动机转速决定的。发动机 ECU 通过比较基本喷油量和最大喷油量的大小,取两个喷油量中较小的一个喷油量作为最终的喷油量。电控共轨式燃油喷射系统的喷油量控制原理如图 3-41 所示。

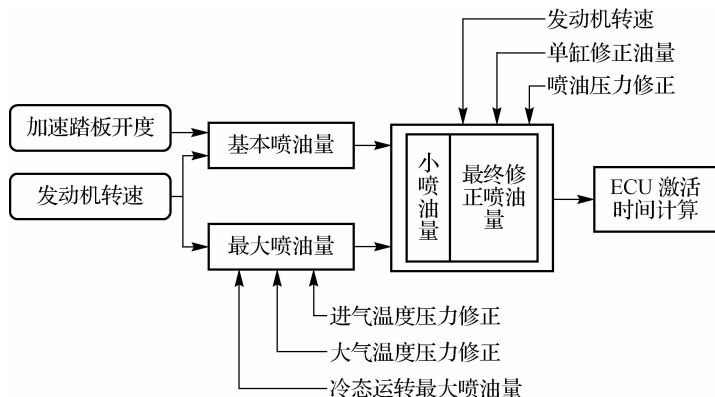


图 3-41 电控共轨式燃油喷射系统的喷油量控制原理

#### 2. 喷油压力控制

在电控高压共轨系统中,共轨压力的精确控制是众多控制量优化控制的一个前提,它不仅决定了喷油压力的高低,而且是喷油量计算的重要参数,其稳定性和动态响应直接影响发动机起动、怠速、加速等动力性能。特别是喷油量的精确控制,严格地依赖于共轨压力。共轨压力控制有两种方式,即开环控制和闭环控制。开环控制响应速度快,其控制精度取决于运行工况和状态参数的测量精度;闭环控制对传感器和执行器的精度依赖较小,可以实施优化控制,但其控制周期长且响应速度慢。所以,为了迅速建立轨压,起动时采用开环控制;当达到目标压力后,采用闭环控制。

#### 3. 喷油时间控制

喷油时间可分为主喷油时间和预喷油时间。

主喷油时间是按最终喷油量、发动机转速和水温计算出来的,但发动机起动时只按水温 and 发动机转速计算。

预喷油时间是按主喷油时间加上预喷油时间间隔进行控制的。预喷油时间间隔是按最终喷油量、发动机转速和水温计算出来的。

### 任务实施

#### 1. 高压共轨系统各部件、传感器认识

(1)如图 3-42 和图 3-43 所示,找出高压油泵、燃油滤清器、油水分离器、油轨及进出油管,观察其结构和安装位置。

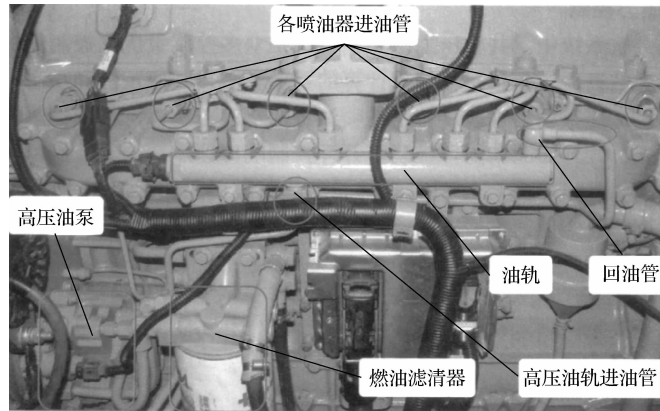


图 3-42 广西玉柴博世共轨发动机主要部件的安装位置

(2)如图 3-44 所示,找出曲轴位置传感器、凸轮轴位置传感器和冷却液温度传感器,观察其结构和安装位置。



图 3-43 油水分离器的结构

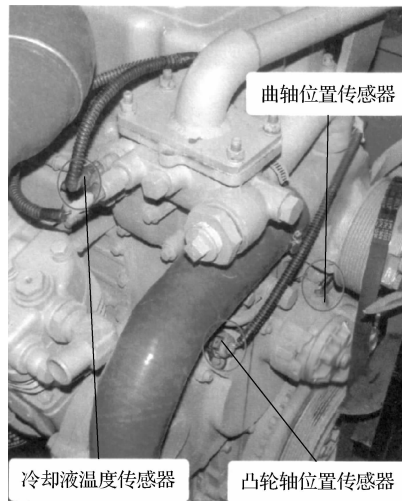


图 3-44 各传感器的结构和安装位置

(3)如图 3-45 所示,找出 ECU、燃油计量阀、共轨压力传感器和喷油器电磁阀驱动线束,观察其结构和安装位置。

(4)如图 3-46 所示,找出增压压力温度传感器和油门踏板传感器,观察其结构和安装位置。

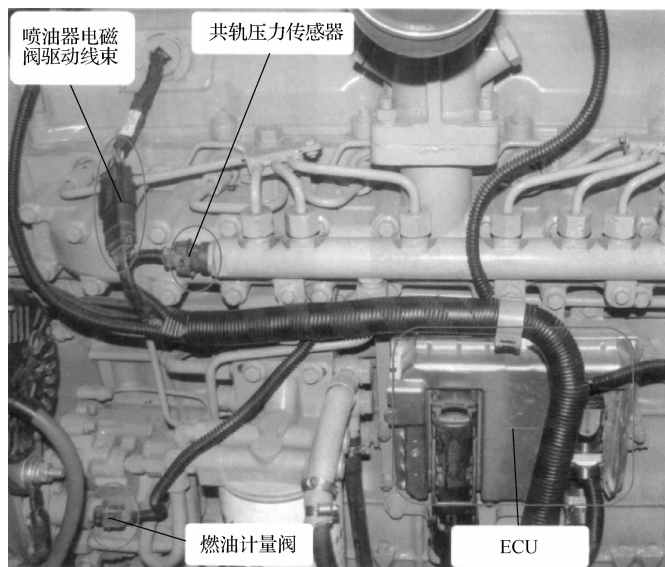


图 3-45 广西玉柴博世共轨系统 ECU 及各传感器的结构和安装位置

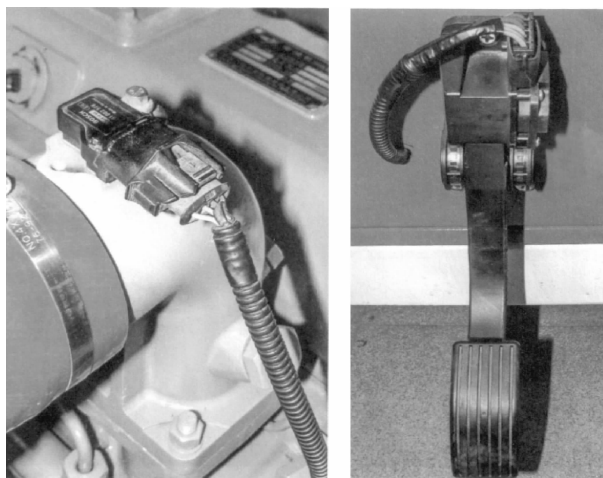


图 3-46 广西玉柴博世共轨系统增压压力温度传感器及油门踏板传感器的结构和安装位置

## 2. 高压共轨系统部分传感器的检测

(1)如图 3-47 所示,检测燃油计量阀的电阻,电阻值应为  $2.6 \sim 3.15 \Omega$ ,若不符合规定,应给予更换。

(2)如图 3-48 所示,检测凸轮轴位置传感器的电阻,电阻值应为  $774 \sim 946 \Omega$ ,若不符合规定,应给予更换。

(3)如图 3-49 所示,检测温度传感器的电阻,常温下电阻值应为  $2.5 \text{ k}\Omega$  左右,若不符合规定,应给予更换。

(4)如图 3-50 所示,检测曲轴位置传感器的电阻,电阻值应为  $774 \sim 946 \Omega$ ,若不符合规定,应给予更换。



图 3-47 燃油计量阀电阻的检测



图 3-48 凸轮轴位置传感器电阻的检测



图 3-49 温度传感器电阻的检测



图 3-50 曲轴位置传感器电阻的检测

### 3. 电磁喷油器的拆装及检测

(1)如图 3-51 和图 3-52 所示,关闭点火开关,断开喷油器线束插接件,将缸盖罩线束锁片拆掉,用 10 号套筒扳手拆下 14 颗缸盖罩螺栓,取下缸盖罩。

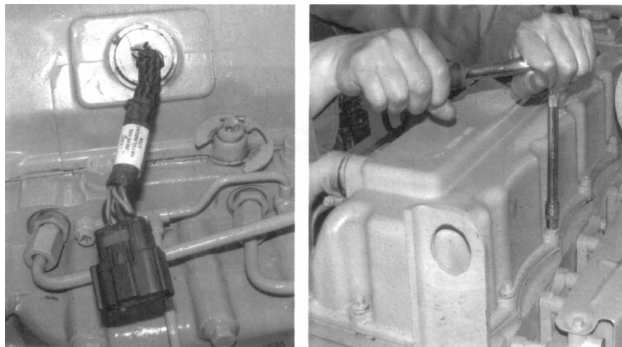


图 3-51 发动机气缸盖罩的拆卸



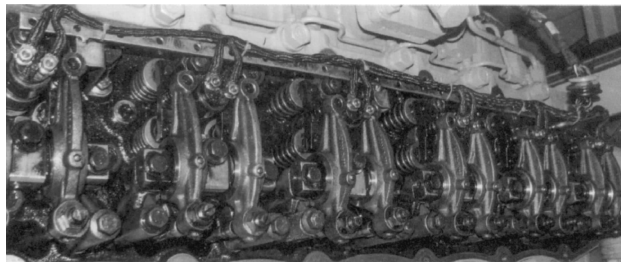


图 3-52 发动机气缸盖罩拆卸后的摇臂、摇臂轴及喷油器

(2)如图 3-53 所示,用 8 号套筒扳手拆下喷油器上的两个线束螺母,用万用表检测喷油器的静态电阻,电阻值应为  $0.3 \Omega$  左右,若不符合规定,应给予更换。



图 3-53 电磁喷油器的静态电阻的检测

(3)如图 3-54 所示,用 22 号套筒扳手拆下高压连接油管,用 16 号套筒扳手拆下喷油器压板螺母,取下压板及喷油器。

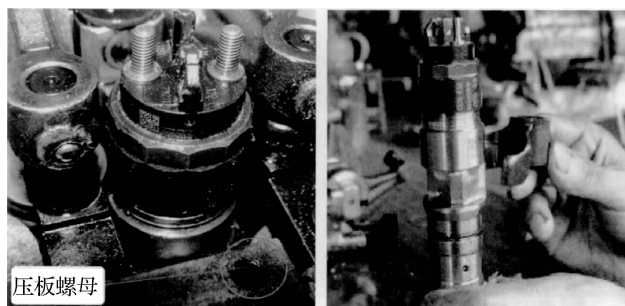


图 3-54 喷油器压板螺母及喷油器的拆卸

(4)喷油器的安装。按照拆卸相反顺序,将喷油器安装到位,各螺栓、螺母按规定力矩拧紧,最后将喷油器线束插接件连接好。

## 故障实例

### 1. 故障描述

一辆小货车,配置玉柴 YF4F100-30 国 3 电控共轨式柴油机,行驶了 9 万千米时,发动机突然异常熄火。发动机起动运转正常,瞬间有着火点燃迹象,但随之又熄火,仪表盘上发动机故障灯点亮闪烁,再次起动发动机还是不能着车。

## 2. 诊断思路

玉柴 YF4F100-30 国 3 电控共轨式柴油机的燃油系统采用的是美国 DELPHI 高压共轨燃油喷射技术。该系统顺利着车应具备的条件如下:

- (1) 保证 ECU 有正常的电源给其供电。
- (2) 保证油轨压力迅速建立, 起动油压不小于 100 bar。
- (3) 保证发动机曲轴位置传感器、凸轮轴位置传感器相位同步。
- (4) 保证发动机未进入停机保护状态。

只有符合上述所有条件, ECU 才会发出喷油指令, 电控喷油器才能工作。该车起动出现啸叫着不着车, 通过啸叫故障现象, 分析不能着车的根源所在。按照啸叫着不着车可能发生部位零部件的性质, 该故障一般可分为机械部位故障和电控部位故障, 有时也会同时产生两种故障。若电控系统出现故障, 一般发动机故障灯会点亮。根据发动机故障灯点亮, 初步分析认定为电控系统故障。

## 3. 维修过程

根据 DELPHI 电控高压共轨发动机起动着车具备的条件来查找啸叫着不着车原因。首先, 用数字万用表简单检查: 拔掉水温传感器接插件, 打开点火开关, 在直流电压挡位测量水温传感器端子处有 5 V 电压, 说明 ECU 已工作, 并证明 ECU 有正常的供电。

连接 BOSCH 的 KT670 故障诊断仪, 打开后, 出现诊断界面, 进入德尔福发动机共轨诊断程序(注意: 玉柴共轨喷射系统使用了两个诊断程序, 即德国的博世系统和美国德尔福系统), 读取故障码为: ①轨压超高, ②燃油计量阀故障。清除故障码, 再次读取, 现行故障码为 P0255, 仍然存在。故障码解释为: 燃油计量阀驱动线路故障——开路。读取发动机状态数据流: 在起动汽车过程中轨压在 400~1 846 bar 波动。故障码解释得十分明确, 将燃油计量阀插接件拔开, 将点火开关置于 ON 位置, 用数字万用表直流电压挡检测燃油计量阀两条线, 与搭铁间的电压分别为 12 V 和 3.5 V, 均正常; 电阻挡测量燃油计量阀驱动线圈无开路, 电阻符合要求, 检测无问题。检测轨压传感器的工作电压(5 V)、信号电压, 均正常。

难道是故障诊断仪提示有误码? 重新梳理检查判断的每个过程。以往的检测都是在发动机不运转(静态)时进行的, 那么动态会有什么变化呢? 于是边起边测量, 这时万用表所监测电压出现了无电压显示状态, 随即产生啸叫声。起动停止, 电压又恢复正常。由此断定故障的原因是线束有断路处。为进一步验证, 从电源继电器处另接一根电源线, 直接给燃油计量阀一个工作电压, 这时起动发动机, 很快就着车了, 而且啸叫声也消失了。再读取发动机状态数据流, 均在正常值范围内, 试车加速性能良好, 发动机技术状况正常。由此看来, 此故障就出在继电器供电线到燃油计量阀的线束上。起动发动机时, 发动机产生摆动, 附在发动机上的线束跟随摆动出现断路, 不起动(发动机在静态)时, 线束虽断路但它还能处于接通状态, 更换了该段线束, 故障排除。

## 4. 故障总结

高压油泵燃油计量阀是电控共轨式燃油喷射系统执行器重要的部件, 它能控制高压油泵的进油量, 保持共轨压力满足指令要求。但为什么燃油计量阀处于开路状态, 无电流通过时会造成油轨压力超高呢? 当燃油计量阀通过电流为零时, 它保持着最大的供油量; 当电流大于 820 mA 时, 它保持着零供油量。也就是说, 燃油计量阀失效, 较低的发动机转速仍然可以将油轨内的压力驱动到很高程度, 当油轨压力超出最高标定值时就会迅速泄压, 超高的油压打开高压油泵高压端的油压限制阀, 一路去了共轨管, 一路流回了泵腔。

喷油器回油是利用文氏效应吸取喷油器的回油。然后通过高压油泵上的文丘里管使喷油器、油泵内多余燃油返回油箱。此时, 带有超高压力的燃油大部分聚集在高压油泵回油腔处泄压, 回

油路径小,压差又很大,聚集高压油泵回油腔处泄压的燃油在挤压作用下产生释放,发出了啸叫声。

该故障处理提示我们:排除电控系统故障时,一定要熟悉该系统的工作原理,要清楚每个传感器、执行器的功能特性,这样有利于分析和排除故障;检查、判断故障时,要遵循先思后行的原则,制定合理的诊断程序,进行深入细致的检查,才能收到立竿见影的排故效果。

### 项目小结

通过汽车发动机电控系统认识项目的实施,了解和掌握以下知识和技能点:

(1)柴油机燃油喷射主要是由控制中心接收各传感器传送来的发动机运行信息,按照预先设计好的程序计算处理后,发出指令控制各执行器动作。其主要对喷油量、喷油时间、喷油压力和喷油率进行控制。

(2)柴油机燃油控制系统是通过高速电磁阀直接控制高压油的适时喷射。一般情况下,电磁阀关闭执行喷油,电磁阀打开喷射结束。因此,既可实现供油量控制,又可实现供油正时的控制。

(3)柴油机燃油喷射主要由四部分组成:进油过程、预喷射过程、主喷射过程和主喷射结束。柴油机燃油喷射系统按控制喷油起始时间和喷油持续时间将燃油雾化并分布到燃烧室中。

(4)柴油机燃油供给系统主要由高压泵经柴油滤清器过滤后,将柴油吸出并提高燃油压力,再经调压后送入电控单元,并根据柴油机喷油器电磁阀的通断,按时按量地向柴油机气缸内喷油,多余的燃油经回油管流回油箱。

### 思考与练习

- (1)柴油机燃油控制系统主要由哪些部件组成?
- (2)柴油机电控系统主要由哪些部件组成?其控制原理是什么?
- (3)柴油机电控分配泵燃油喷射系统主要由哪些部件组成?其电控分配泵的工作原理是什么?
- (4)简述柴油机电控分配泵燃油喷射系统的控制原理。
- (5)柴油机泵喷射系统主要由哪几部分组成?
- (6)柴油机泵喷射系统的工作原理是什么?
- (7)柴油机共轨式燃油喷射系统主要由哪几部分组成?
- (8)柴油机共轨式燃油喷射系统的工作原理是什么?
- (9)柴油机共轨式燃油喷射控制系统的工作原理是什么?
- (10)简述柴油机电控系统检测仪器的检测使用方法。