



HONGXINGHUOCHE
XINJISHU YU GUZHANGZHENDUAN

重型货车

新技术

主 编 赵国富 赵 阳
副主编 潘月泉 柏 松

与故障诊断

LNG发动机

高压共轨柴油机

电控泵喷嘴柴油机

SCR尿素喷射系统



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

重型货车新技术与故障诊断

赵国富 赵 阳 主编



机械工业出版社

本书针对重型货车实现高端节能环保化、智能化、高可靠性所采用的现代新技术进行了阐述,包括高压共轨柴油机、电控泵喷嘴柴油机、气体机的原理与维修;SCR 尿素喷射系统原理与维修;防抱死制动系统(ABS)及汽车辅助制动系统原理与维修等内容。

本书为汽车维修人员、汽车服务人员学习之用,也可供职业院校汽车运用与维修、汽车检测与维修等相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

重型货车新技术与故障诊断/赵国富,赵阳主编. —北京:机械工业出版社,2013.8

ISBN 978-7-111-43636-2

I. ①重… II. ①赵…②赵… III. ①载重汽车-新技术应用②载重汽车-故障诊断 IV. ①U469.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第185315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:杜凡如 责任编辑:杜凡如 版式设计:常天培

责任校对:纪敬 封面设计:路恩中 责任印制:杨曦

北京云浩印刷有限责任公司印刷

2013年10月第1版第1次印刷

184mm×260mm·13印张·317千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-43636-2

定价:35.00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

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmpl952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

近年来,随着我国重型货车保有量的不断增加,新技术不断涌现,电控柴油机得到了广泛的应用;防抱死制动系统(ABS)和其他汽车辅助制动系统装车率也在稳步上升。重型货车服务人员迫切需要掌握以电控、智能化为主要特点的现代重型货车维修技能,为此,我们编写了本书。

本书对市场主流电控柴油机的结构、维修进行了系统的阐述。其中共轨柴油机以WP10/12 潍柴发动机为代表,电控泵喷嘴柴油机以ISM11 康明斯发动机为代表;对于两种机型,为实现国Ⅳ排放而增设的SCR 尿素喷射系统结构与检修也做了详细的叙述。

在第3章中,以潍柴WP12NG 系列发动机为例,对新能源发动机——气体机的结构与维修进行了阐述。

重型货车制动性能的提高,依赖于防抱死制动系统、发动机制动器、缓速器等新技术的应用。本书对国内重型货车广泛应用的WABCO 防抱死制动系统、康明斯发动机配备的Jacobs 发动机制动器、VOITH 液力缓速器等进行了详述。

本书较多地采用图形展现各系统构架,便于读者从整体上把握系统功能。对于维修要点和关键操作步骤则重点进行了叙述。主要章节提供的经典案例,供维修服务人员排除实际故障时参考。

本书由赵国富、赵阳主编,潘月泉、柏松任副主编。编写分工:赵国富负责第1、2章、赵阳负责第3章、马果卫负责第4章、潘月泉负责第5章、柏松负责第6章。

在编写本书过程中得到了山东华宇职业技术学院的大力支持和帮助,谨在此表示感谢!

由于编者水平有限,不妥之处在所难免,希望广大读者多提出宝贵意见。

编 者

目 录

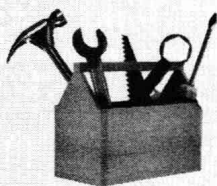
前言

第 1 章 高压共轨柴油机结构与检修	1
1.1 高压共轨柴油机燃料系统的结构原理	1
1.2 博世 EDC7 共轨喷射燃油系统	2
1.3 高压共轨柴油机燃油系统检修	7
1.4 高压共轨柴油机电控系统的结构原理	11
1.5 高压共轨柴油机电控系统检测	29
1.6 高压共轨柴油机电控系统故障与检修	36
第 2 章 电控泵喷嘴柴油机结构与检修	57
2.1 ISM11 发动机结构简介	57
2.2 ISM11 柴油机燃油系统结构原理	59
2.3 ISM11 柴油机装配与调整	65
2.4 ISM11 柴油机电控系统结构原理	71
2.5 ISM11 柴油机故障与检修	82
第 3 章 LNG 发动机结构与维修	95
3.1 LNG 发动机简介	95
3.2 LNG 发动机燃气系统结构原理	97
3.3 LNG 发动机燃气系统使用维护与故障检修	108
3.4 LNG 柴油机电控系统结构原理	110
3.5 LNG 柴油机电控系统故障与检修	116
第 4 章 重型汽车 ABS 结构原理与检修	123
4.1 重型汽车 ABS 简介	123
4.2 威伯科 (WABCO) ABS	126
4.3 ABS 故障与维修	145
第 5 章 重型汽车辅助制动系统	153
5.1 潍柴 WEVB 发动机排气制动系统结构原理	153
5.2 潍柴 WEVB 发动机排气制动系统的检修	156
5.3 皆可博发动机制动器结构原理	158
5.4 皆可博发动机制动器电控系统与故障检修	163

5.5	液力缓速器	165
5.6	电涡流缓速器	177
第 6 章	重型汽车发动机后处理系统	181
6.1	柴油机尾气排放控制概述	181
6.2	非气助式 SCR 系统	183
6.3	非气助式 SCR 系统检测与维修	190
6.4	气助式 SCR 系统	193
参考文献		200

Chapter 1

第 1 章



高压共轨柴油机结构与检修

1.1 高压共轨柴油机燃料系统的结构原理

1.1.1 电控柴油机的概述

传统的机械式燃油喷射系统的各项参数都是通过机械的方式来控制。例如喷油量是由喷油泵内的供油齿杆来控制，喷油正时是由机械式喷油提前角调整装置来控制，而喷油压力是由喷油器针阀弹簧弹力决定的。尽管在机械泵上配备了调速器，但喷油泵的速度特性不能完全被克服。总之，机械控制燃油喷射在燃油喷射压力、喷油量和喷油正时等各方面控制都是有局限的、近似的，不是十分理想的，整个喷射控制的质量与发动机的实际要求有着较大的差距。

近些年来，电控柴油机日益兴起。电控燃油喷射的实现使喷射控制精度得到了明显的改善，发动机的性能和排放都得到了提高。目前市场上的电控柴油机主要有高压共轨柴油机、电控单体泵、电控泵喷嘴、电控转子泵等四个类型。

高压共轨柴油机 就是利用共轨管储存高压燃油，ECU 通过控制共轨管上的分支油路末端的电喷嘴，来实现对喷油量和喷油时刻的控制。共轨喷射方式与汽油机缸内直喷方式结构有些相似，有所不同的是高压共轨喷射系统中，油轨压力是随时变化的。ECU 根据发动机瞬间的工况设定一个理想的轨压，然后通过燃油计量单元把当前轨压调节到目标值。高压的建立由专用的油泵来完成。

电控单体泵 中可以看到传统机械泵的影子，主要元件有油泵、各缸高压油管、喷油器等。其中一类电控单体泵的各缸油泵组合为一体，结构与传统机械泵类似，另一类的电控单体泵各缸分泵各为一个独立元件。电控单体泵在油泵进油口处装有电磁阀，通过控制各缸分泵进油孔通道打开或关闭来实现对喷油正时和喷油量的控制。

电控泵喷嘴 是由电控单体泵演变而来。将电控单体泵的高压油管取消，喷油泵和喷油器整合为一体，就变成了电控泵喷嘴。因此电控泵喷嘴可以看做结构更紧凑的电控单体泵。

电控转子泵 是由传统机械转子泵演变而来，只是将油量调节环改为电控执行器控制，取消了机械调速器。电控转子泵用于轿车和小型汽车，在重型货车上较少采用。

1.1.2 高压共轨燃油喷射系统的优点

- 1) 喷油压力的产生和柴油机转速无关，与喷油过程是相对独立的，这就可以保证喷油压力的稳定。
- 2) 喷油始点和燃油喷射量的控制完全各自独立，因此可实现喷油正时的随机精确控制。
- 3) 可实现预喷、主喷和补偿喷射的多次喷射，这完全由柴油机的性能和排放要求决定。也就是说，根据柴油机性能的不同要求，可精确地控制燃油喷射过程。
- 4) 喷油系统响应灵敏，可实现各种转速范围的喷射控制。
- 5) 喷油量精度较高，最小稳定喷射量可达 $1\text{mm}^3/\text{次}$ 。
- 6) 喷射压力的提高（目前应用 160MPa ，可达 180MPa ）改善了雾化效果，使燃油与空气充分混合，既降低了排放又减少了噪声。
- 7) 油泵的驱动转矩峰值较小，减少了驱动功率，降低了噪声。
- 8) 高压共轨系统可在柴油机主要结构不变的情况下替代传统的喷油系统，从而可加快柴油机的提升和改造。

在共轨式蓄压器喷射系统中，ECU 通过接收各传感器的信号，借助于喷油器上的电磁阀，实现对喷油量和喷油正时的控制，保证柴油机最佳的空燃比、雾化质量和点火时刻。它集成了计算机控制技术、现代传感检测技术以及先进的喷油结构于一身。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后喷，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。

1.2 博世 EDC7 共轨喷射燃油系统

EDC7 共轨喷射系统广泛应用于国内中、重型商用车，排放可达到国三标准要求，如潍柴、锡柴、玉柴均有采用。下面对潍柴 WP10/12 国三发动机配备的博世（BOSCH）共轨燃油系统进行介绍。

1. 燃油系统的构成

如图 1-1 所示，燃油系统由油泵、共轨管、喷油器、粗滤器、精滤器、燃油箱等组成。

高压油泵之前的油路为低压油路，供油泵负责将燃油自油箱泵送到高压油泵。低压油路供油路线：燃油箱→粗滤器→电控单元→供油泵→精滤器→高压油泵。燃油经过电控单元，是为其散热。

在高压油泵上的两根高压油管负责将高压燃油输送到共轨管，共轨管有高压油管和各缸喷油器相连接。这部分油路经过了二次加压，油压较高，故称之为高压油路。

燃油由燃油箱内被吸出，经两级加压、两级过滤后进入共轨管内储存，共轨管内燃油压力最高可达 160MPa 。当喷油器受 ECU 控制打开，高压燃油直接喷入燃烧室内，燃烧做功。

在整个燃油回路中，还有一类油路负责将多余燃油导入燃油箱内，故称之为回油油路。燃油箱的回油由溢流阀、限压阀、喷油器三个方面汇合构成。与高压油泵上的溢流阀相连的回油管路，为低压油路的多余燃油提供回流通道。当低压油路压力超过一定限值时，溢流阀会打开，低压油路的油压便得到了控制。当高压出现异常、压力过高时，装于共轨管上的限压阀打开，将多余高压燃油导入到回油管路。在每个缸喷油器上都装有回油管，这些回油管在发动机正常工作时也会有少量回流。

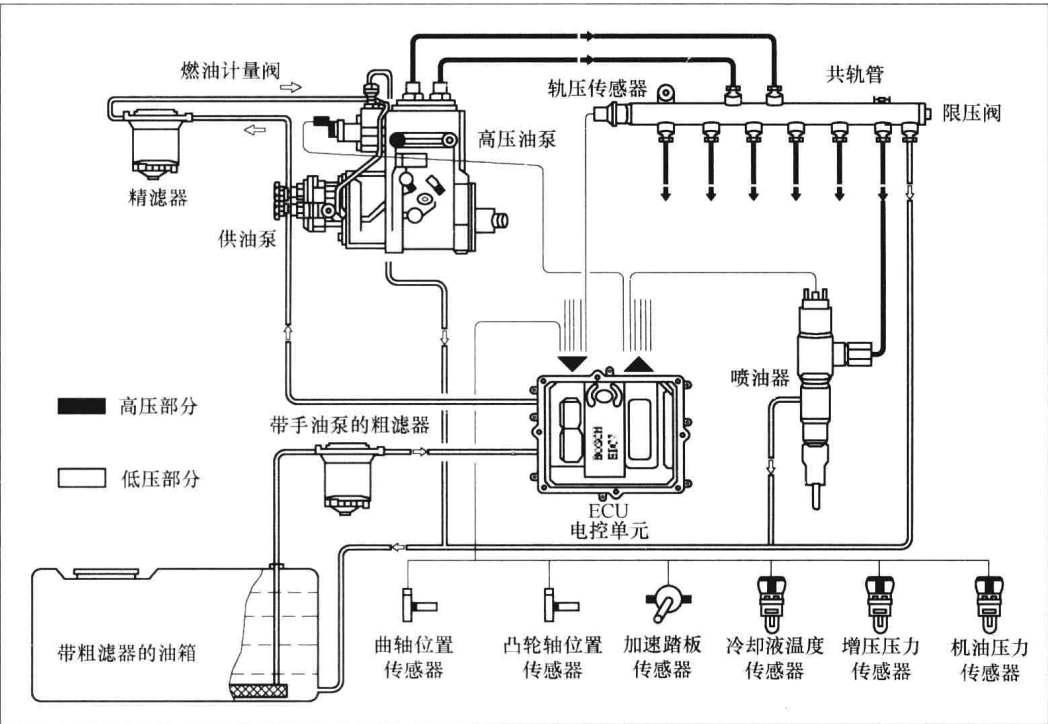


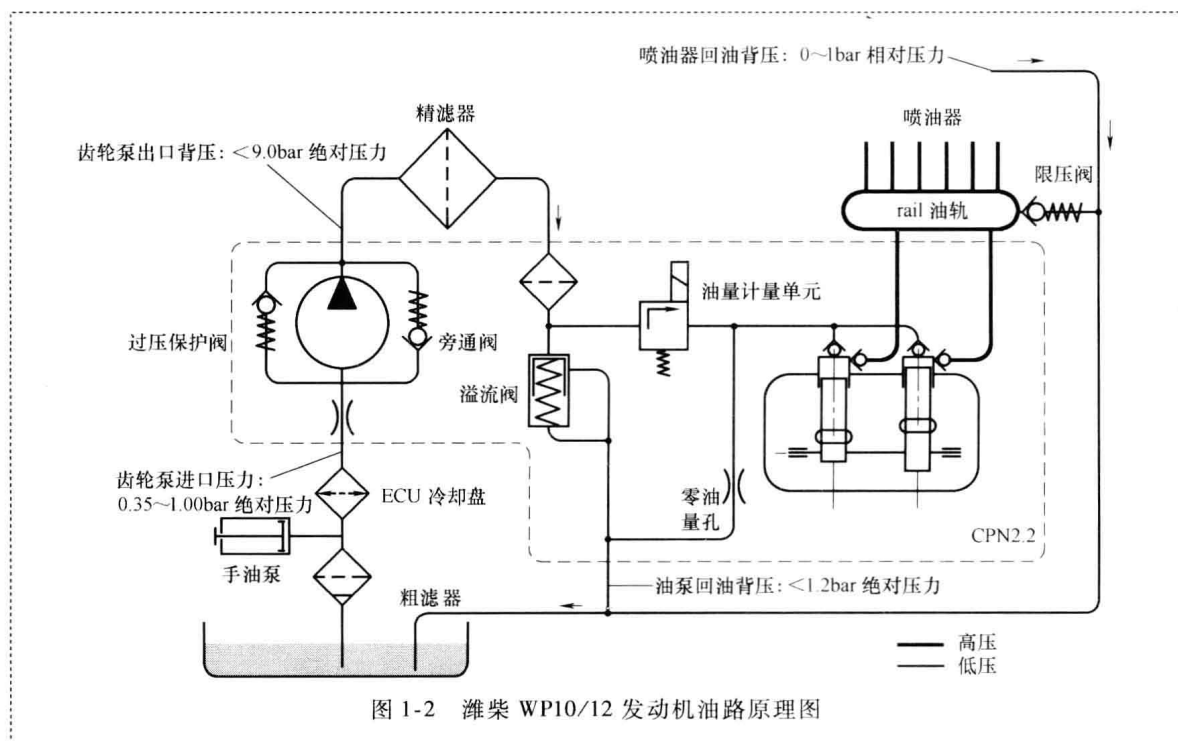
图 1-1 潍柴 WP10/12 发动机燃油回路

2. 轨压的控制原理

如图 1-2 所示，正常情况下，低压油路的压力受溢流阀控制，压力被控制在 9.0bar (1bar = 10⁵ Pa) 以下。油量计量单元装于低压油路和高压油泵进油管路之间。ECU 通过控制油量计量单元的占空比，实现对高压油泵进油量的控制，进而控制高压油路的轨压，使轨压始终趋于设定值。零油量孔用于排除空气。

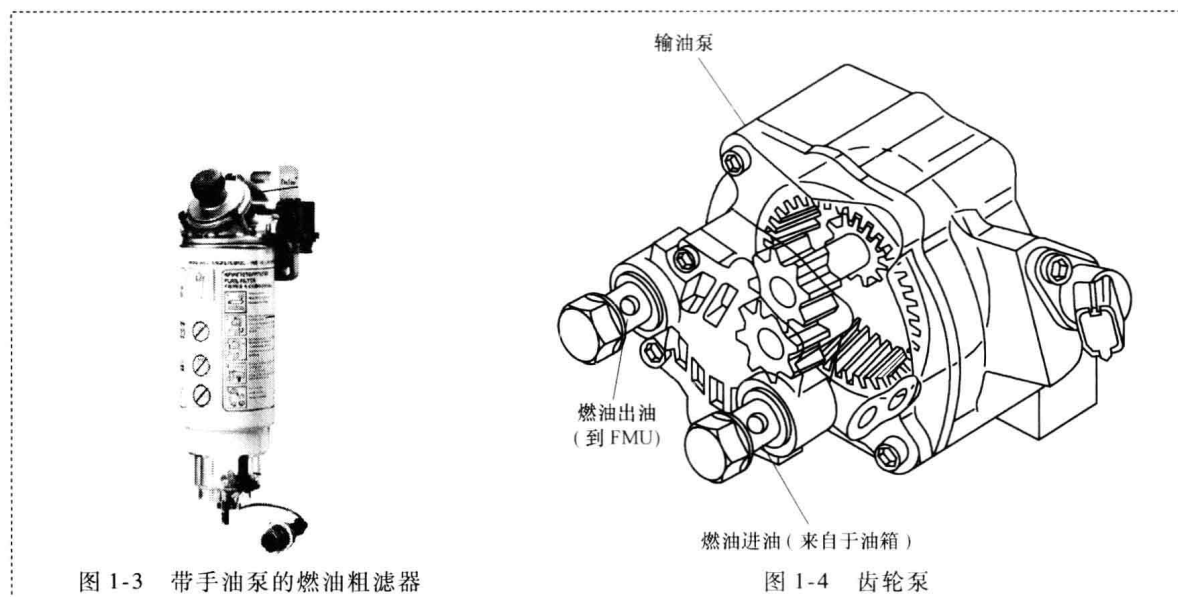
3. 燃油系统的元件

(1) 带手油泵的燃油粗滤器 带手油泵的燃油粗滤器如图 1-3 所示。滤清器带有油水分离器。滤清器在过滤燃油的同时，将水分聚集在集水器内。在日常维护时，应及时地将分离出的水从排污螺塞处排空。粗滤器是旋装在滤清器壳体上的，维护时需定期更换。在粗滤器的过滤器盖上，安装有一个手油泵。当初次装配、维护更换滤清器或系统中存有空气时，需用手油泵排除低压回路中的空气。在滤清器连接法兰的壳体上，有一个排气螺塞，用于排除系统中的空气。旋松排气螺塞，反复压动手油泵，混有空气的燃油将从排气螺塞处排出，直到流出没有空气的燃油为止，将排气螺塞旋紧即可。



(2) 高压油泵 高压油泵总成集供油泵和高压泵于一体。

供油泵是个齿轮泵，如图 1-4 所示。它负责将燃油从油箱吸出，经燃油粗滤器、ECU、供油泵、精滤器向高压泵供油。



高压泵有两组柱塞，如图 1-5 所示，负责向高压共轨管提供高压燃油。高压油泵的高压部分是由凸轮轴、滚轮式挺柱、柱塞、出油接头和燃油计量阀组成。凸轮轴上有相交错的两个三桃尖凸轮，凸轮轴在旋转的同时，两对柱塞往复泵油六次。在高压油泵的两只出油接头内装有出油阀，可向共轨管提供高达 160MPa 的高压燃油。

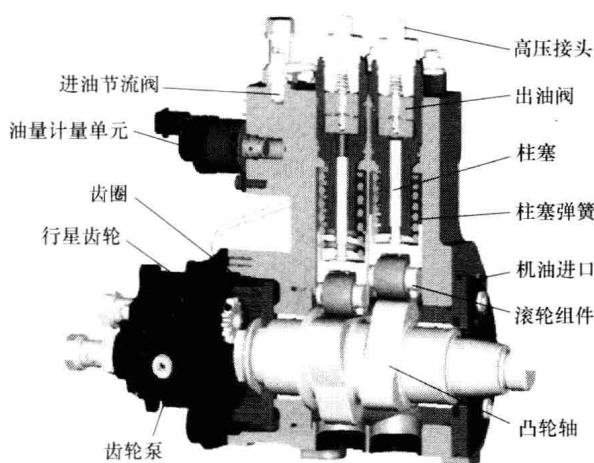


图 1-5 双柱塞高压泵结构

(3) 油量计量单元 安装在高压油泵的进油管路上的油量计量单元，它的主要任务是接收 ECU 的指令，改变高压泵的进油量，从而改变高压泵的输出压力，即共轨压力。油量计量单元出现故障时，发动机将会限制在 1500r/min 的转速内运行。

油量计量单元电阻值为 2.6 ~ 3.4Ω。当油量计量单元断电时，阀门是打开的，如图 1-6 所示，可以提供最大的燃油流量，可以形成最高的共轨压力。当油量计量单元通电时，阀门是关闭的，如图 1-7 所示。ECU 通过改变脉冲信号的通断时间比率来控制高压泵进油量。

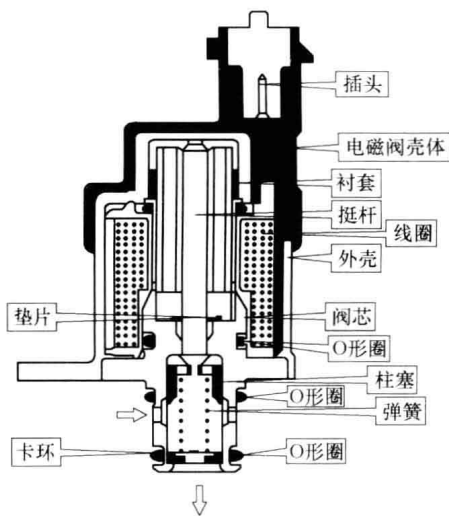


图 1-6 油量计量单元断电打开

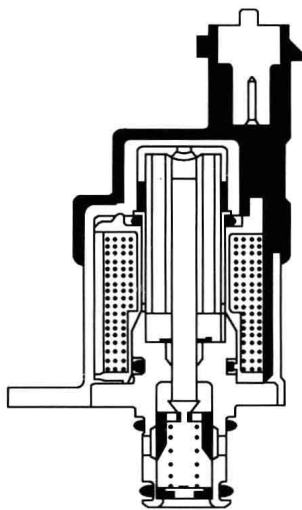
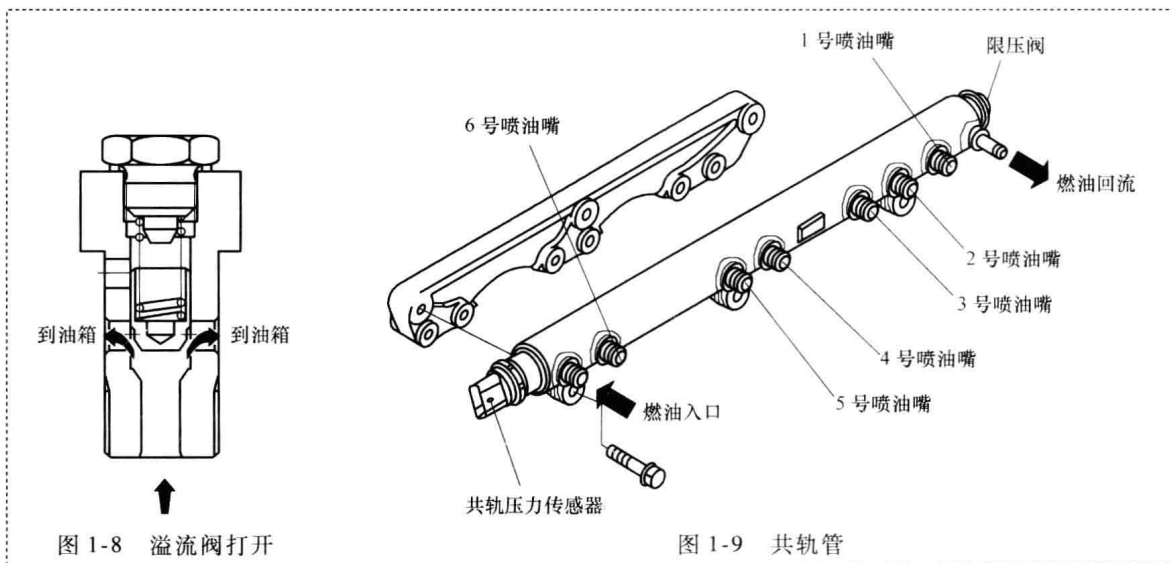


图 1-7 油量计量单元通电关闭

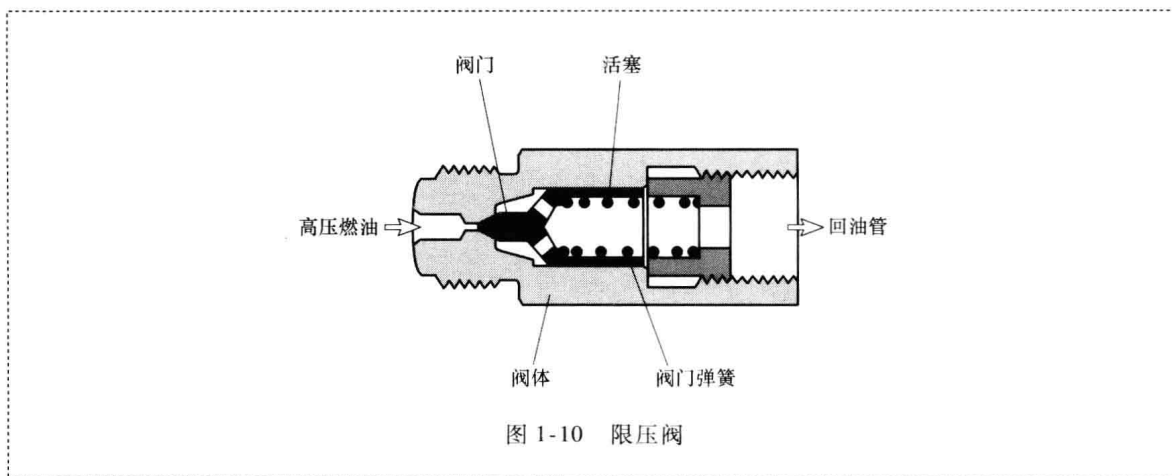
(4) 溢流阀 在高压油泵的低压供油侧，与油量计量单元并联装有溢流阀，高压油泵的回油管线就是从该回油阀接出的。该阀将低压油路压力限定在 9bar 之内（图 1-8）。

(5) 共轨管 高压共轨管是燃油储压装置，一方面它将高压油泵提供的高压燃油分配

到各缸喷油器，另一方面减弱高压油泵的供油压力脉动以及由于喷油器喷油产生的压力振荡，使高压油路的压力波动控制在一定的范围，其结构如图 1-9 所示。



在共轨管的左端安装有一只共轨压力传感器，该传感器将共轨管中的燃油压力随时传输给 ECU，以便 ECU 对轨压进行调控。在共轨管上还安置了一个限压阀，其结构如图 1-10 所示。限压阀在共轨管内压力超 160MPa 时打开，使共轨管内最高压力不超过 160MPa 的设定值。



(6) 喷油器 电控喷油器是燃油喷射系统的关键部位，电控系统的几乎所有元件最终都是服务于喷油器的。它的喷射是受 ECU 控制的，ECU 根据发动机各个传感器输入的状态信息和驾驶人的指令来控制喷油器的喷油量、喷油正时，从而达到当前状态的最佳输出。喷油压力的控制是通过油量计量单元控制高压油泵进油量实现的。而喷油正时，喷油持续时间的控制，是由 ECU 通过驱动喷油器电磁阀来完成的。喷油器的喷油量是由共轨压力和喷油器针阀开启时间决定的，喷油压力越高，针阀开启时间越长，喷油量越大。国Ⅲ柴油机使用 7 孔喷油器，其结构如图 1-11 所示。

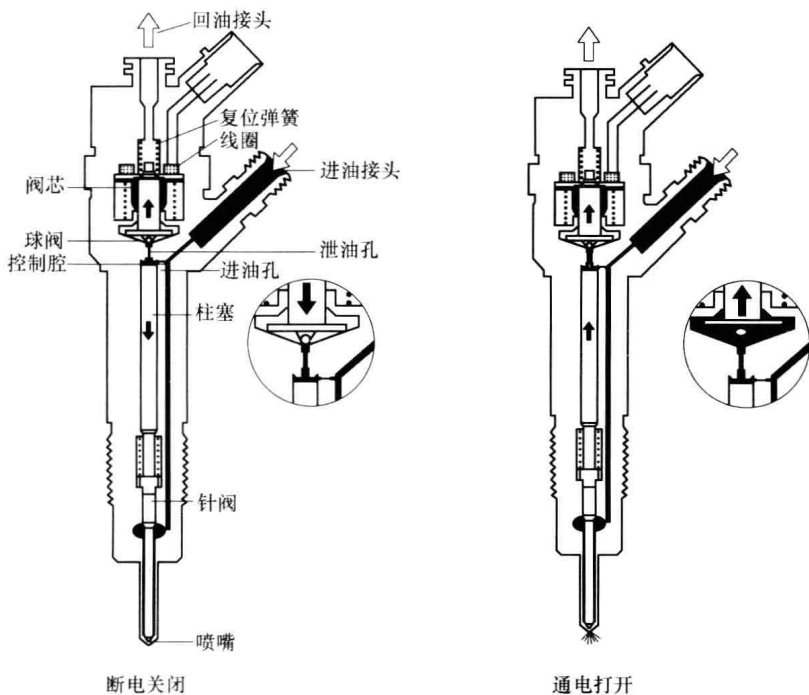


图 1-11 喷油器

自共轨管来的高压燃油由进油接头进入喷油器，由进油孔进入控制腔，此高压油的压力在柱塞的上截面产生向下的推力，与此同时高压燃油进入下腔、作用在针阀的下环面上，产生一个向上推动柱塞的作用力。由于柱塞上截面的面积大于针阀下环形面积，因此作用在柱塞向下的力大于作用在针阀上的向上推力，此时针阀被压紧在阀座上，喷嘴关闭。当 ECU 为喷油器通电时，电磁阀芯被吸引上移，压在泄油孔上的球阀将泄油孔打开，控制腔内的油压卸荷，此时作用在针阀下环形截面的油压克服上方压力迅速将针阀顶起，从而打开喷嘴的喷孔，开始喷油。当 ECU 为喷油器断电时，电磁阀芯在复位弹簧的作用下下移，球阀随即封闭泄油孔，柱塞在控制腔的高压油作用下下移，针阀关闭，喷油器停喷。喷油器的反应速度很快，一般在 $0.1 \sim 0.3\text{ms}$ ，从而可以实现准确灵敏的喷射控制。

1.3 高压共轨柴油机燃油系统检修

1.3.1 燃油系统的排气

当更换粗滤器及对输油管进行拆装，或燃油箱排空时，空气会进入燃油系统。如有空气进入燃油系统中，会导致供油不畅，影响发动机正常工作，严重时发动机无法起动。当遇到以上情况时，应对燃油系统进行排气。

排气步骤如下：

- 1) 停止发动机，拆卸滤清器座上的放气螺塞（图 1-12）。
- 2) 反复按压手油泵（图 1-13），当有油从放气螺塞排出时，将放气螺塞拧紧即可。

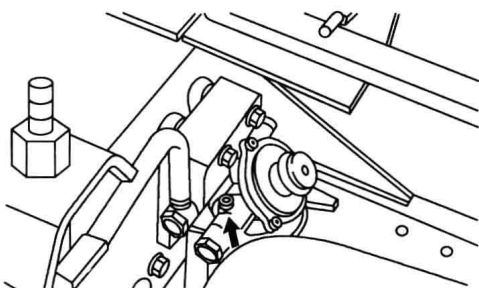


图 1-12 滤清器座上的放气螺塞

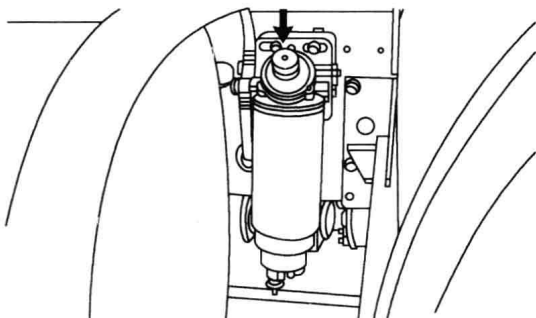


图 1-13 手油泵

1.3.2 集水器排水

当集水器充满了水，则需要将收集到的水放出，以防结冻影响供油，水进入喷油器也会导致喷油器损坏。排水在停机条件下进行。油水分离器底部有放水螺塞，松开放水螺塞即可将水排出（图 1-14）。

1.3.3 燃油系统检测

1. 喷油器的回油量检测

正常情况下喷油器回油量是很少的。检查回油量，便于发现损坏的喷油器。检查时先断开各缸喷油器回油管，用起动机带动发动机运转，检查各缸回油量。如果发现某一缸回油量明显高于其他缸，说明该缸喷油器有故障，应重点检查高压接头与喷油器锥孔之间的密封情况，必要时更换高压接头。如果更换高压接头后回油量仍然高，就说明喷油器内漏严重，应更换喷油器，如图 1-15 所示。

2. 高压油泵检测

高压油泵磨损、损坏会导致轨压不能有效建立。检查高压油泵时，首先要断开高压油泵的两根出油管，然后用起动机带动发动机运转，观察油泵出油情况，出油孔喷出的油柱可以达到 2~4cm 为正常，明显低于 2cm，说明泵已经损坏，应换新件（图 1-16）。

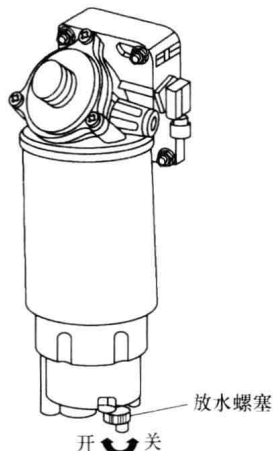


图 1-14 油水分离器上的放水螺塞

1.3.4 燃油系统的拆装

1. 喷油器的拆装

拆卸：

- ① 断开喷油器油管，拆下高压油管接头（图 1-17）。
- ② 拆下气门室盖，拆下接线柱的导线，拆下压块螺栓，取下压块。
- ③ 利用呆扳手转动喷油器，然后将喷油器取出。

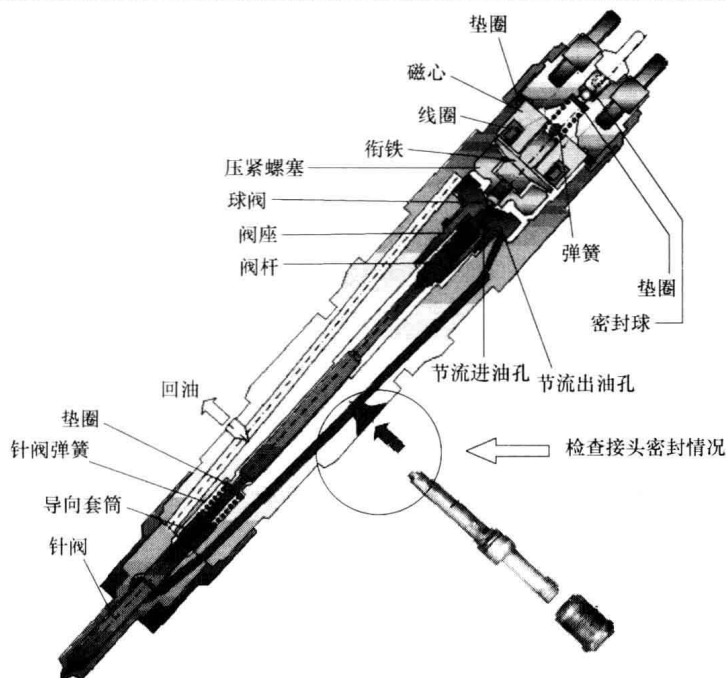


图 1-15 喷油器进油口密封性检查

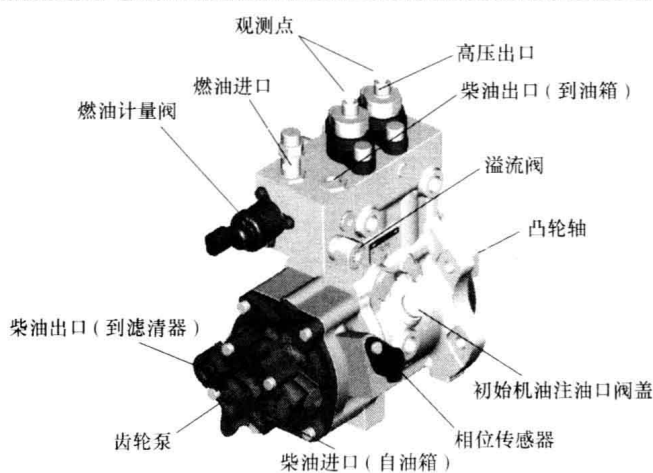


图 1-16 高压油泵性能检查

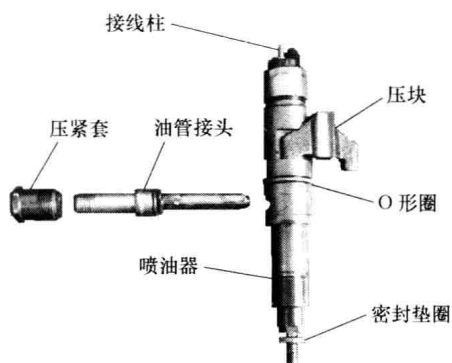


图 1-17 喷油器拆装

安装:

- ① 清理喷油器座孔，O 形圈、喷油器密封垫圈、油管接头，更换新件。
- ② 将喷油器放进缸盖，确保喷油器定位正确，并与密封圈正确接触，并用 $3\text{N} \cdot \text{m}$ 的力矩拧紧喷油器的压块螺栓。
- ③ 松开喷油器夹紧螺栓，使其对喷油器的轴向力为 0。并确保喷油器在气缸盖内正确定位。
- ④ 将高压接头装入缸盖并用 $15 \sim 20\text{N} \cdot \text{m}$ 的力矩预紧高压接头螺母。
- ⑤ 用 $8\text{N} \cdot \text{m} + 90^\circ$ 拧紧压块螺栓。
- ⑥ 用 $50 \sim 55\text{N} \cdot \text{m}$ 的力矩拧紧高压接头螺母。

注意：高压接头、密封垫圈、O 形圈每次拆卸都要换新件。高压接头锥面与喷油器体间渗漏，会使喷油器回油过大，影响轨压建立，甚至会导致发动机不着火。

2. 高压油泵的安装

① 组装油泵。先将中间法兰和齿轮安装在共轨泵上。

② 将 1 号气缸设置在压缩上止点。操作方法：顺时针转动曲轴，将飞轮的 OT 线对正壳体上的指针，再通过检查气门摇臂，确认为 1 缸压缩上止点（图 1-18）。如果是 6 缸压缩上止点，则盘转曲轴一周。

③ 将共轨泵及齿轮组件安装到柴油机上。在安装共轨泵组件时，通过一个 $\phi 4$ 销子插入中间法兰与齿轮上对应的孔中。为检查共轨泵的正确位置，在中间法兰的上面加工了一个槽，与此槽相对应，在飞轮壳连接板上设置了一个沉孔。将中间法兰上的槽与飞轮壳连接板上的沉孔对正后，拧紧固定螺栓。

最后，拔出销子，并用涂有密封胶的螺钉（M5）封堵销孔（图 1-19）。

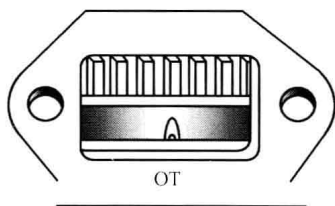


图 1-18 1 (6) 缸上止点标记

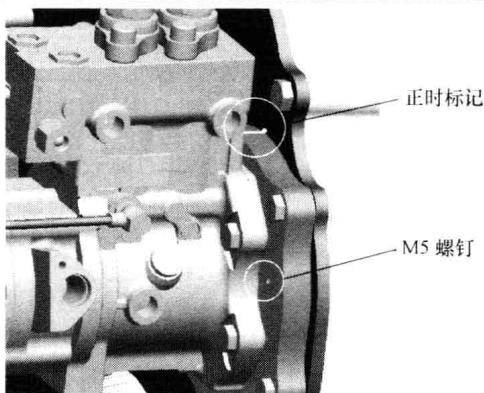


图 1-19 油泵的安装

注意：油泵正时装错，会导致凸轮轴位置传感器信号失准，影响发动机起动，甚至不着火！

1.3.5 燃油系统的故障

1. 不来油

故障现象：发动机运转，低压油路不建压、断开低压油路没有燃油流出。

故障原因：燃油箱油量不足、燃油系统有空气、油路堵塞、油泵损坏等。

排除方法：检查燃油箱油位，不足时添加；检查低压油路有无堵塞、泄漏等情况；检查油泵是否损坏。

故障案例

故障现象：一台装有潍柴 WP12 发动机的重型货车，发动机运转正常，但发动机无法完成起动。

故障排除：松开滤清器放气螺塞，用手油泵泵油，发现有空气。检查燃油箱油位偏低。添加燃油后，将油路空气排尽，起动发动机，故障排除。



2. 来油不畅及轨压异常

故障现象：发动机着火困难，或加速无力、加速熄火，利用诊断仪检查实际轨压明显低于设定轨压；严重时无法起动。

故障原因：与不来油的原因相同。除此之外，油号过低、燃油滤清器堵塞、油量计量阀故障、意外回油也会导致此故障。

排除方法：检查燃油箱油位，不足时添加；检查低压油路有无堵塞、泄漏等情况；检查油泵是否损坏；检查、更换高号燃油；检查更换燃油滤清器；检查油量计量单元；检查溢流阀和限压阀有无卡滞；检查喷油器是否回油异常、有无内漏；检查油压传感器是否损坏。

故障案例

故障现象：一辆装有潍柴 WP10 发动机的重型货车，空载加速正常，车辆运行发动机不提速、车速无法提高。

故障诊断与排除：连接诊断仪，车辆运行状况下读取轨压参数，发现实际轨压明显低于设定轨压。检查发现燃油流动性差，经了解该车入冬以来一直没用，因此燃油箱内还是夏季用油。更换高号燃油后，故障排除。

3. 喷油器故障

故障现象：发动机排烟大、动力下降、运转不平稳、油耗增加，拆下喷油器检查会发现喷油器有油污。

故障原因：喷油器磨损、针阀卡滞。

排除方法：某缸喷油器损坏，会导致故障缸排烟异常。可以松开排气歧管，通过观察各缸排烟情况，确认故障缸、拆检喷油器。

故障案例

故障现象：一辆装有潍柴 WP10 发动机的重型货车，发动机加速不良、动力下降，排烟大。

故障诊断与排除：拆检各缸喷油器，发现 2 缸喷油器有积炭和油迹。将 2 缸喷油器与 3 缸对调，运转发动机一段时间，拆下这个喷油器检查，发现还有油迹。更换新件后，故障排除。

1.4 高压共轨柴油机电控系统的结构原理

1.4.1 共轨柴油机电控系统的概述

共轨柴油机电控系统由传感器、ECU（计算机）和执行机构三部分组成。其任务是对喷油系统进行电子控制，实现对喷油量以及喷油定时的实时控制。转速、加速踏板位置、温度、压力等传感器和开关信号输入 ECU 后，ECU 对这些信号进行分析、处理，计算出最佳供油量和喷油提前角，从而实现对喷油参数的精确控制。柴油机实现电控喷射后，性能得到了质的飞跃：动力性、经济性更好，排放更低。图 1-20 是潍柴 WP10/12 共轨发动机配备的