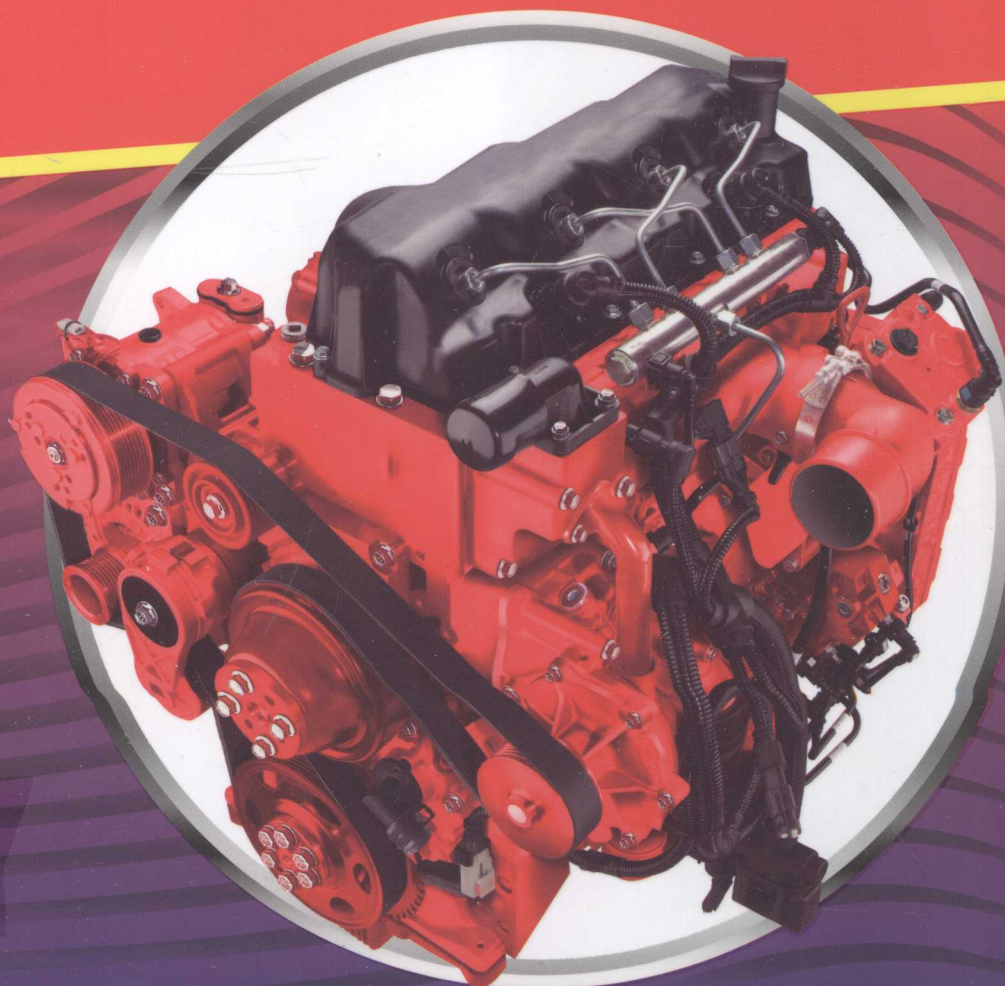


DIANKONG CHAIYOUJI
WEIXIU JI DIANXING GUZHANG JIEXI

电控柴油机

维修及典型故障解析

李勇勤 主编 刘 强 刘 忠 副主编



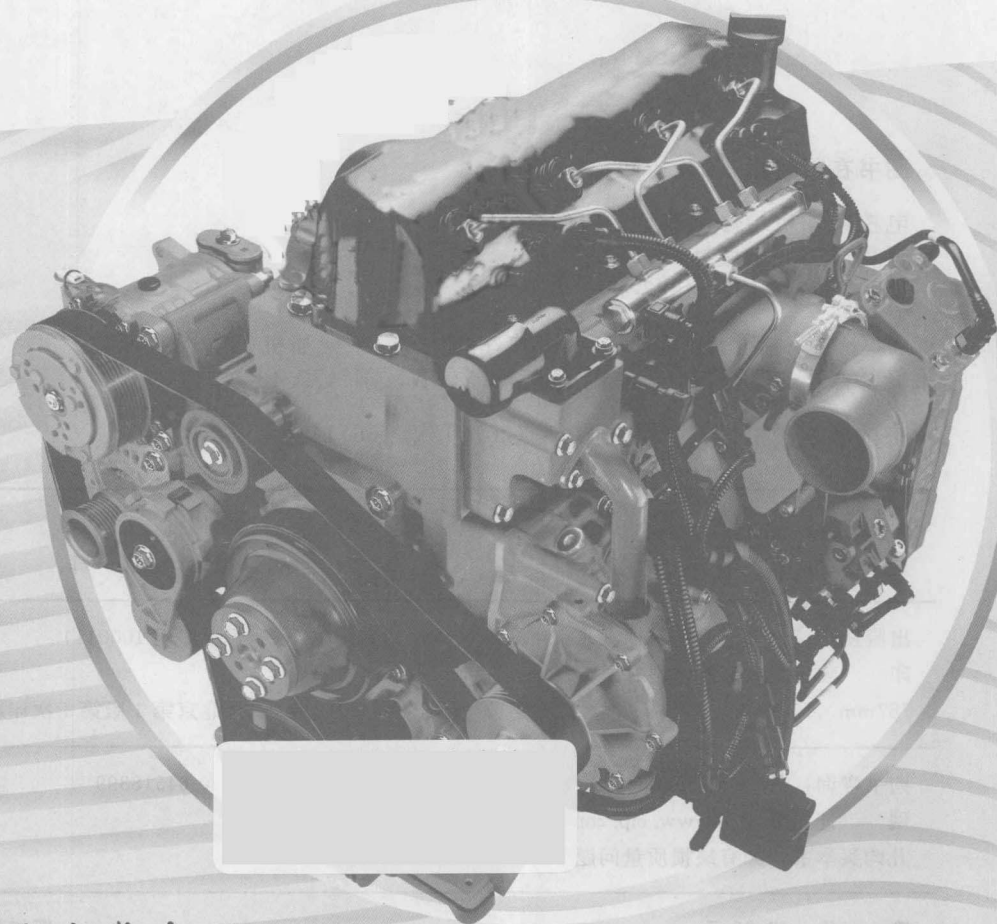
化学工业出版社

DIANKONG CHAIYOUJI
WEIXIU JI DIANXING GUZHANG JIEXI

电控柴油机

维修及典型故障解析

李勇勤 主编 刘 强 刘 忠 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

电控柴油机维修及典型故障解析/李勇勤主编. —北京: 化学工业出版社, 2012.9

ISBN 978-7-122-14937-4

I. ①电… II. ①李… III. ①汽车-电子控制-柴油机-维修②汽车-电子控制-柴油机-故障诊断 IV. ①U472.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 166114 号

责任编辑: 卢小林

文字编辑: 云 雷

责任校对: 宋 玮

装帧设计: 张 辉

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 17 字数 435 千字 2012 年 11 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

FOREWORD

前言

21 世纪的前十年我国的经济发展十分迅速,特别是汽车工业的高速发展为人民生活带来了翻天覆地的变化,汽车由原来的财富与权力的象征变成了寻常百姓的代步工具。自 2009 年以来,我国的新车销售量超过美国,成为世界第一大汽车生产国和新车销售国。用 20 年的时间走完了西方发达国家近百年的发展之路。在这值得骄傲的同时也为我们带来了很大的麻烦。交通拥堵、环境污染、能源紧张等一系列的问题几乎同时提上日程。汽车对我国城市空气污染率已达到 60% 以上。减少石油消费,减少空气污染已成为汽车工业发展的必由之路。在目前新能源动力尚未达到实用水平前,车用发动机柴油化是节约能源和减少空气污染的不二选择。西方发达国家,特别是能源相对紧缺的欧洲国家大力发展柴油动力是欧盟的共识。但柴油机的主要缺点如燃烧噪声大,排烟严重和排放物中的异味等阻碍了柴油机在小型乘用车上的应用。

解决这些问题的途径在 20 年前的内燃机界就达成共识,即柴油燃烧汽油化,用控制汽油机燃烧的方法解决柴油机燃烧中的问题。而近 30 年来在微型计算机发展的带动下汽车工业也为解决能源与环境问题提供了可能,电控系统在汽油机上的成功应用就是最好的例证。但对于燃烧过程远比汽油机复杂的柴油机而言,电子控制系统的复杂性和困难程度要远高于汽油机,但近年来在节能环保的双重压力下,柴油机的电子控制系统有了突破性的进展,控制能力、成本均达到商品化的水平,目前不仅在载重汽车、大客车等原有的柴油机传统领域有了重大发展,就是在传统汽油机的占主导地位的小型乘用车领域,柴油机的比重也越来越大。甚至像美国这种对发展小客车柴油化有很强阻力的国家,其车辆柴油化也在稳步进行中,并有加快的趋势。

我国由于汽车工业起步晚,技术储备少等客观条件限制下,柴油机电控发展较晚。在乘用车领域最早是一汽大众推出捷达电控柴油机,在实际使用中由于维修设备与维修人员的培训水平,特别是我国目前车用柴油无论是数量还是质量均不能满足电控柴油机的要求等客观条件,小型乘用车的柴油比重远小于发达国家。但目前汽车保有量激增,能源和排放压力日益增大的形势下近年来电控柴油机在我国应用越来越广泛,大量的新型柴油动力车上市,当然重点还是在大型车领域中,但面对电控柴油机的应用我们的维修设备与维修人员均没有做好准备,一线维修人员可使用的参考书也较少。为此我们编写了这本书,希望能为一线维修人员提供一点帮助。

本书由李勇勤主编,刘强、刘忠副主编,参加编写的人员还有王秀伟、路春、田振彤、王伟、杨竞超、牛海平等人。

由于编者水平所限,不妥之处还望同行指正。

编者

CONTENTS

目录

第一章

柴油机工作原理及电控理论

第一节 柴油机燃烧过程 / 2

一、柴油机的工作过程与对喷油系统的要求 / 2

二、传统柴油机供油系统的组成与缺点 / 4

第二节 柴油机电子控制燃油系统的组成与工作原理 / 5

一、柴油发动机电控系统的组成 / 5

二、柴油发动机电控系统的控制内容 / 6

三、电控柴油发动机的分类 / 8

第三节 柴油机电控系统中的传感器 / 9

一、温度传感器 / 9

二、压力传感器 / 15

三、转速传感器 / 21

四、空气质量流量计 / 28

五、位置传感器 / 31

六、氧传感器 / 39

第四节 典型电控柴油发动机燃油喷射系统 / 41

一、电子控制直列泵燃油系统 / 41

二、电子控制分配泵燃油系统 / 45

三、电子控制泵喷嘴燃油系统 / 49

四、电子控制共轨燃油系统 / 53

第二章

轿车电控柴油机维修

第一节 捷达汽车 SDI 发动机系统原理与检修 / 65

一、捷达汽车 SDI 发动机电控系统的组成 / 66

- 二、捷达汽车 SDI 发动机电控系统的工作原理 / 66
- 三、捷达汽车 SDI 发动机电控系统的类型 / 68
- 四、捷达汽车 SDI 发动机电控系统的主要元件 / 70
- 五、捷达汽车 SDI 发动机系统的检修 / 75
- 第二节 宝来汽车 TDI 发动机系统原理与检修 / 110
 - 一、宝来汽车 TDI 发动机系统特点 / 110
 - 二、宝来汽车 TDI 发动机的喷射过程 / 111
 - 三、宝来汽车 TDI 发动机的结构原理 / 112
 - 四、宝来汽车 TDI 发动机系统的检修 / 116
- 第三节 江铃欧Ⅲ发动机柴油共轨系统结构与检修 / 136
 - 一、柴油共轨工作原理及主要零部件介绍 / 136
 - 二、电控单元功能介绍 / 147
 - 三、发动机装配调试操作过程及注意事项 / 148
 - 四、柴油共轨系统常见故障及可能的故障部位 / 148
- 第四节 长城哈弗 2.8TC 柴油发动机电控系统原理与检修 / 151
 - 一、共轨柴油机概述 / 152
 - 二、博世 CRS2.0 共轨系统组成、功能及控制策略 / 153
 - 三、博世 CRS2.0 共轨系统各零部件的工作原理及检修 / 154

第三章

商用车用电控柴油机

- 第一节 玉柴发动机电控系统结构特点与检修 / 172
 - 一、玉柴发动机电控单体系控制系统的结构特点与检修 / 172
 - 二、玉柴 BOSCH 电控高压共轨系统主要结构特点与检修 / 185
- 第二节 锡柴发动机电控系统结构特点与检修 / 205
 - 一、锡柴国Ⅲ系列发动机电控单体系系统 / 206
 - 二、锡柴系列发动机 BOSCH 共轨系统（以国ⅢCA6DM2 系列柴油机电控高压共轨燃油喷射系统为例） / 213
 - 三、电控发动机代码故障诊断一般方法 / 227

第四章

电控柴油机典型故障案例

- 第一节 柴油机不能启动故障原因与排除 / 238
 - 一、故障实例 / 238
 - 二、故障影响因素分析 / 246
- 第二节 柴油机启动困难故障分析与排除 / 249

一、故障实例 / 249

二、故障影响因素分析 / 252

第三节 柴油机热机启动困难故障原因与排除 / 252

一、故障实例 / 252

二、故障影响因素分析 / 253

第四节 柴油机排黑烟故障分析与排除 / 254

一、故障实例 / 254

二、故障影响因素 / 256

第五节 柴油机动力不足故障分析与排除 / 257

一、故障实例 / 257

二、故障影响因素 / 259

三、故障影响因素分析 / 260

第六节 电控柴油机无法熄火故障 / 262

第七节 电控柴油发动机故障灯常亮，故障码不能清除 / 262

第八节 电控柴油发动机异响 / 263

参考文献 / 265

第一章

柴油机工作原理及电控理论

从 1897 年笛赛尔发明第一台柴油机开始,柴油机以其热机中最高热效率(42%左右)、强大的扭矩和单机功率、与车辆扭矩要求较好的匹配,在大功率车用发动机中居于主导地位,如大客车和大货车中几乎 100%使用的都是柴油机,但其升功率低,比重大,振动、噪声大,并存在排烟和臭味以及冷启动困难等原因,在整个车用发动机中和现代汽车汽油机的竞争中却长期处于劣势,20 世纪全世界汽油机的产量大约是柴油机的 4 倍,这主要是因为中小型车辆中柴油机在升功率、比重量、排放物方面并没有多少优势,但自 20 世纪 70 年代以来的电子革命,世界上许多发达国家竞相开发柴油机电子控制系统,现大部分技术已产品化,并大量投放市场,对柴油机产生了革命性的变化。使现代柴油机的升功率、比重量与排放指标等均达到甚至超过了汽油机,结果无论是大型商用车辆还是小型乘用车,柴油机车所占的比例日益提高,特别是近 10 年来还有明显的提速趋势。但是由于柴油机燃烧的特殊性,使得柴油机的电控系统远比汽油机复杂,而市场保有量的增加也必然为汽车维修领域造成一定的困难。

事实上,使用电控柴油机的主要目的是改善柴油机的燃烧过程,对柴油机的燃烧过程的改进方向,也是几十年前就提出的,主要有:

- ① 在保证燃烧完全迅速的条件下,尽可能地提高柴油机的空气利用率。
- ② 在保证经济性的条件下减少燃烧噪声以达到工作柔和可靠。
- ③ 排放污染小,主要是控制排放污染物特别是炭烟与控制噪声,还有不受欢迎的臭味。
- ④ 对工况变化不敏感,包括急加速不冒烟,

宽的转速范围等。

⑤ 冷启动性能好,在冬天不用或少用辅助启动措施。

⑥ 燃烧性能稳定,对制造质量、维修设备、外界环境、使用条件不敏感。

完全满足上述要求相当困难,甚至是不可能的,因为它们往往相互矛盾,例如在传统柴油机燃烧系统中,为了保证柴油机经济性和动力性,希望燃烧迅速并在靠近上止点附近完成,但这会使压力升高率值增大,柴油机工作粗暴;降低工作可靠性及寿命。又如,为提高柴油机经济性,保证燃油完全燃烧,希望有较大的过量空气系数,但这又导致汽缸容积利用率低,动力

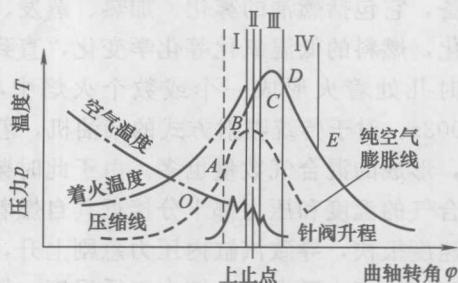


图 1-1 柴油机燃烧过程的几个阶段

性不好,另外,降低废气中 NO_x 的含量又常与其他要求相抵触等。解决好这些矛盾是研究柴油机的主要课题,也是目前电控柴油机的进展方向。为了更好地理解电控柴油机的基本工作过程和控制目的与控制项目,我们应首先讨论一下柴油机的燃烧过程。

第一节 柴油机燃烧过程

汽油机与柴油机从工作原理上都属于热机,在燃烧过程的化学反应十分相似,但它们的物理过程却很不相同,汽油机在正常工作时燃料基本上处于气态,燃料、空气以及残余废气在点火时已混合的相当均匀,火花塞点火使着火点在一个或几个固定位置,而点火时间也被精确地控制在某一曲轴转角,这是由于汽油有良好的蒸发性和较差的自然燃性决定的,以上的特点使汽油机燃烧控制难度较小。而柴油的蒸发性差而自然燃性很好,如果使用汽油机的燃烧控制方式不是不能制成发动机,而这种发动机的性能是非常差的。所以根据柴油的物理化学特点,柴油机使用了所谓压燃方式。柴油机在进气过程中吸入的是纯空气,这些空气与少量的残余废气混合后,被强烈压缩(压缩比在 $12\sim 22$ 之间),温度被升高到柴油混合气自燃温度以上,柴油以液态形式用喷油器以高压喷入汽缸,与高温、高压的空气混合后,自行着火燃烧。这就使柴油机的着火时间和着火点不能像汽油机那样容易控制。

一、柴油机的工作过程与对喷油系统的要求

由于柴油机燃烧过程的复杂性,所以到目前为止对其汽缸内部燃烧过程的了解与掌握远不如汽油机那样深入。通常还在燃烧室内压力变化分析过程,即使用汽缸压力传感器(示功器)。把燃烧过程中汽缸内压力变化记录下来,绘制成示功图(如图1-1所示),因压力的变化与燃烧变化有关,用以研究缸内燃烧过程的进行,以柴油机燃烧室内部的压力变化通常可以把柴油机的燃烧过程分为四个时期。

1. 着火延迟期(图中Ⅰ位置)

从喷油器针阀打开到汽缸内出现火焰中心为止。大约为 $0.0007\sim 0.003\text{s}$ 或 10° 左右曲轴转角。

柴油机的着火延迟期的过程较汽油机复杂但也更重要。主要影响因素有:燃烧室内温度、压力和燃料的十六烷值(即燃料的自然燃性)等。

柴油机着火过程,一般认为是低温多阶段着火过程。从喷油到着火需要一定的物理化学准备,它包括燃油的雾化、加热、蒸发、扩散与空气混合等物理变化,以及燃料中重分子的裂化,燃料的低温氧化等化学变化,直到在混合气浓度比较合适,氧化充分的地方,一处或同时几处着火形成一个或数个火焰中心。柴油机的着火延迟期按秒计一般为 $0.0007\sim 0.003\text{s}$ 。对于传统喷射方式的柴油机,着火延迟期愈长,在着火延迟期内喷入的燃料量就愈多,形成的混合气数量也多。由于此时柴油机燃烧室内的温度和压力都比较高,所以形成的混合气的温度和压力都十分接近其自燃着火点,因此一旦火焰中心形成后会同时燃烧,使燃烧速度极快,导致汽缸内压力急剧上升,最高压力增大,柴油机工作粗暴,噪声大,所以应适当缩短着火延迟期。缸内工质温度、压力和燃料性质是影响着火延迟期长短的主要因素。温度愈高,压力愈大,着火延迟期愈短。十六烷值高和蒸发性好的燃料其着火延迟期短。

2. 速燃期(图中Ⅱ位置)

从压力偏离单纯压缩线到最高压力点出现。在着火延迟期内已喷入汽缸的燃油事实上基本形成浓度不均的混合气,而且在汽缸内的

高温高压下已十分接近着火点，在有火焰产生的条件下几乎同时燃烧，而且此时活塞正靠近上止点附近，因此，汽缸内压力急剧上升，接近等容燃烧。这阶段压力升高率非常高，近似于爆炸的压力升高率引起机件剧烈振动成为柴油机燃烧噪声的主要来源。但如前所述，速燃期内燃烧速率是不可控的，所以降低柴油机的燃烧噪声只能是使在速燃期内参加燃烧的燃料量较低。也就是说必须减少在着火延迟期内的形成的混合气数量。理论上减少着火延迟期内的混合气数量有两个途径：一是减少在着火延迟期内喷入汽缸的燃料量，这对传统机械式喷油器无论是直列泵还是分配泵都无法达到较理想的水平；二是减缓着火延迟期的混合气形成（M 过程）。但在减少燃烧噪声的同时，其他指标变得恶化或无法控制，以这种方式工作的发动机在 20 世纪 90 年代已退出市场。而近年来高速电磁阀控制的喷油器可以实现在柴油机上止点前进行一次或两次预喷射，这样在着火延迟期内的混合气数量控制在理想的水平内，可大大降低柴油机的燃烧噪声。减少在速燃期内参加燃烧的混合气数量的另一个更重要的原因是，在速燃期内燃烧室处于高温富氧的环境，是氮氧化合物 NO_x 生成最多的时期，减少在速燃期内参与燃烧的燃料量可以降低燃烧温度，有效地减少氮氧化合物的形成。

3. 缓燃期（图中Ⅱ位置）

从最高压力点开始到最高温度点为止。

在此阶段开始时，传统喷油系统的喷油仍在继续，燃烧仍在激烈地进行。大部分燃油在此阶段中燃烧。但随着燃烧进行，燃烧产物逐渐增多，氧和燃料的浓度下降。燃烧条件变得更加不利，燃烧速度也逐渐缓慢，加上活塞下行使汽缸容积不断增加，虽然汽缸内的温度还在上升，但压力几乎保持不变。一般在上止点后曲轴转角 $20^\circ \sim 35^\circ$ 出现循环最高温度，其放热量达循环放热量的 $70\% \sim 80\%$ 。

缓燃期中缸内温度很高，燃料化学准备时间极短，如果燃料和空气的混合跟不上或混合不均，燃料就会在高温缺氧的条件下不完全燃烧，裂解成炭烟，致使经济性下降，排气冒黑烟。所以改善缓燃期混合气形成条件，是保证完全燃烧的先决条件，也是柴油机燃烧组织又一关键问题。目前为了保证完全燃烧，柴油机均在 $\alpha > 1$ 的条件下工作，一般汽车拖拉机用柴油机在 $\alpha > 1.3$ 左右，即至少有 30% 的空气未被利用，使柴油机空气利用率较低，这是其比重量、升功率不如汽油机的主要原因之一，如果能在此时改善燃烧条件则柴油机的空气利用率可以有所上升。从理论上解决缓燃期的问题主要是要提高燃料与空气的结合速度与结合率，方法是改善在此期间空气的流动使燃料颗粒容易与空气结合形成混合气，再有就是提高喷油压力，使喷出的油束的平均直径进一步降低，使其表面积增加，蒸发速度变快。1mL 柴油的表面积约为 483.6mm^2 ，如果喷雾颗粒直径为 $5\mu\text{m}$ 则其表面积将增大到原体积的 2400 余倍。喷雾颗粒直径为 $1\mu\text{m}$ 则其表面积将增大到原体积的 12400 余倍，其蒸发速度将变大。缓燃期燃烧速率越快、越早结束，则柴油机的热效率就越高。改善空气流动的方法

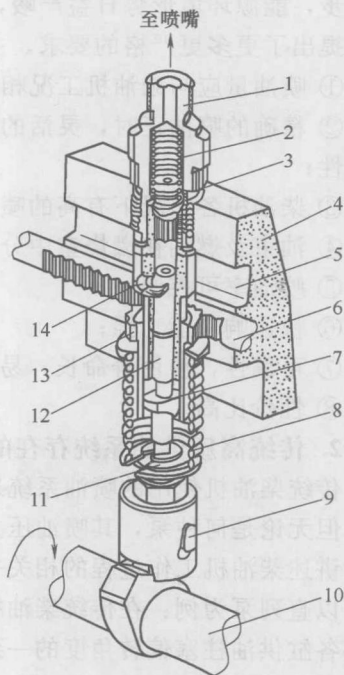


图 1-2 柱塞式直列泵结构图

1—出油阀接头；2—出油阀弹簧；3—出油阀偶件；4—喷油泵体；5—低压腔；6—齿杆；7—柱塞套筒；8—柱塞弹簧；9—挺柱体部件；10—凸轮轴；11—弹簧座；12—柱塞偶件；13—调节齿圈；14—进回油孔

通常是改善燃烧室设计和改进进气道形状,近年来进展不大,但电控柴油机在提高喷射压力方面有巨大的进步,传统喷油器的喷射压力通常低于 30MPa,而电控共轨喷射的喷射压力较低的是 150MPa,在试验室中可达 300MPa 以上,是传统喷油器的近 10 倍。

4. 补燃期(图中Ⅳ位置)

从最高温度点到 95%~97% 燃料的热量放出为止。

这一阶段终点很难确定,一般当放热量达到循环总放热量的 95%~97% 即可认为补燃期结束。

在高速柴油机中,由于燃油和空气形成混合气的时间短促,混合不均,总有一些燃油不能及时燃烧,另外在前面的燃烧过程中产生的高温分解也要在膨胀过程中重新聚集,由于这部分热量是在活塞远离上止点时放出,故做功的效果很差,但会增加传给冷却水的热量,会使排气温度升高,零件热负荷增加,导致柴油机经济性和动力性下降,所以应尽量减少补燃。减少补燃量的方法主要是强化缓燃期内燃烧速度与燃烧完全度,前者加大则缓燃期结束时活塞接近上止点,补燃时参与燃烧的燃气还有较大的膨胀机会,燃烧完全则可以减少未燃气体的数量,从而使补燃量下降。

二、传统柴油机供油系统的组成与缺点

1. 柴油机对喷油系统的要求

喷油系统是柴油机的重要系统之一,其对柴油机性能起决定性作用。随着科学技术的不断进步,能源环境形势日益严峻,社会对柴油机的要求也越来越高,因此对柴油机的喷油系统也提出了更多更严格的要求。主要有:

- ① 喷油量应与柴油机工况相适应,各汽缸各工作循环的喷油量有良好的一致性;
- ② 精确的喷油正时,灵活的喷油正时控制性能,各汽缸各工作循环喷油正时有良好的一致性;
- ③ 柴油机各工况下有高的喷油压力和喷射能量,随工况的变化喷油压力可自由控制;
- ④ 油束及燃油在燃烧室中分布合理,有利于混合气形成;
- ⑤ 喷油率可控制;
- ⑥ 快速响应能力强;
- ⑦ 可靠性,使用寿命长,易于维修;
- ⑧ 性价比高。

2. 传统高压供油系统存在的问题

传统柴油机使用的喷油系统通常有两种:直列泵和分配泵,如图 1-2 及图 1-3 所示。

但无论是何种泵,其喷油压力、喷油时刻和喷油量均由柱塞与油孔相对位置来控制(请参考讲述柴油机工作过程的相关书籍)。

以直列泵为例:在传统柴油机的供油系统中各缸喷入的油量的一致性是在高压泵校正时调整各缸供油柱塞偏转角度的一致性来实现的,这样既复杂、困难又难以校准。供油时刻的一致性是靠高压泵挺柱的高度来实现的,而真正的喷油时间即喷油器针阀开启时间(按曲轴转角计)又与供油量、柴油机转速、针阀响应特性等一系列因素相关几乎可以认为是不可控的。而对任何一种内燃机都必须严格控制循环供油量在传统柴油机供系统中要与柴油机的转速有关,转速越快则供油量越大(油泵速度特性)。这是个很大的缺点:它会引起柴油机的“飞车”。另外燃烧噪声(工作粗暴)与排气冒烟也是在传统供油系统中无法解决的问题。

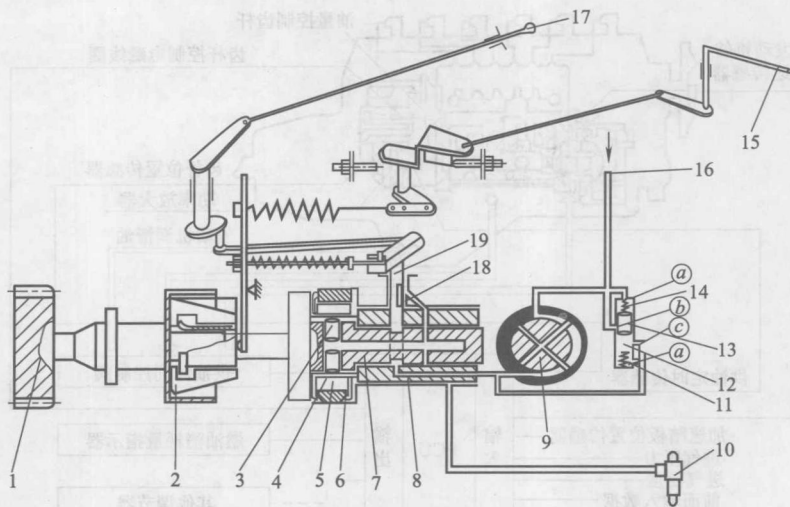


图 1-3 分配式油泵总成示意图

- 1—传动齿轮；2—飞锤；3—柱塞；4—滚柱座；5—滚柱；6—内凸轮；7—分配转子；8—分配套筒；
9—滑片式输油泵；10—喷油器；11—弹簧；12—调压阀；13—柱塞；14—弹簧；15—油门拉杆；
16—与精滤器相通的管道；17—停油拉杆；18—进入分配转子的油道；19—油量控制阀

总之，传统柴油机的供油控制系统的控制不严格，反应太慢，造成柴油机的四大问题，即混合气形成不良，燃烧噪声，排气冒烟和冷启动困难。进一步的问题是不能满足国家排放标准的要求。而 20 世纪中叶微型计算机的发展，使对柴油机进行电子控制以提高其性能和满足国家排放标准成为可能。

第二节 柴油机电子控制燃油系统的组成与工作原理

一、柴油发动机电控系统的组成

从宏观上看，作为电子控制系统，柴油发动机电控系统和汽油发动机电控系统一样，由传感器、电控单元（ECU 或 ECM）及执行器三部分组成，如图 1-4 所示。但由于控制对象和控制内容侧重点的不同，在具体要求及构成上有所差异。

1. 传感器

传感器的主要功能是采集柴油发动机运行参数及状态参数，并将这些物理量转换成电量，然后将这些电量输送到电控单元。柴油发动机电控系统所需的传感器的功能大多与计算机控制汽油发动机相同（温度传感器、进气歧管绝对压力传感器等），少量为柴油发动机运行控制特有的专用传感器。

2. 电控单元

电控单元是柴油发动机电控系统核心，电控单元工作的可靠性，控制程序和控制方法的科学合理，直接关系到柴油发动机的经济性、动力性、环保性和工作可靠性。柴油发动机电控系统电控单元基本功能及组成与汽油发动机基本相同，在此不再重复。

3. 执行器

执行器是完成某一特定功能的装置，它在电控系统控制下动作，是电控系统实现对柴油

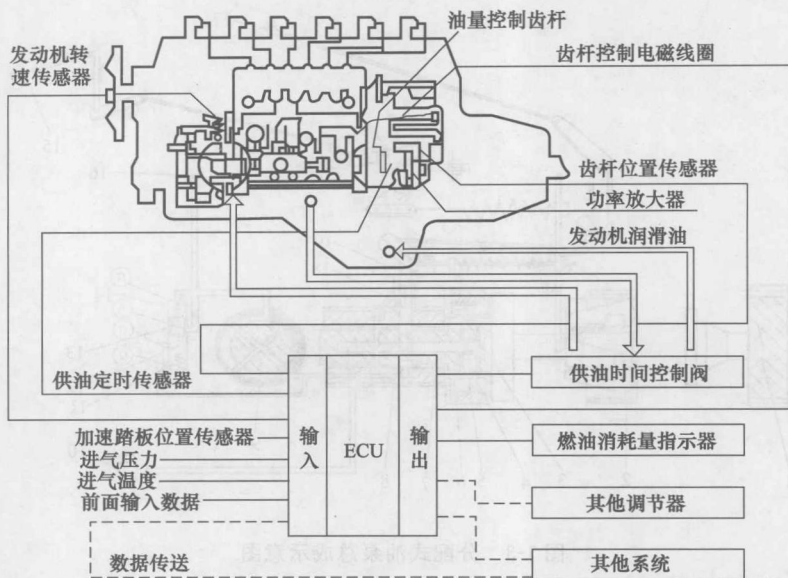


图 1-4 柴油发动机电控系统

发动机运行过程进行调控的最终手段。柴油发动机计算机控制系统所需执行器，除少量与汽油发动机相似外，由于柴油发动机的混合气形成方式、着火方式等与汽油发动机完全不同，因此与汽油发动机差异很大。特别是柴油发动机的燃油喷射系统类型较多，不像汽油发动机那么单一，因此同样是计算机控制的柴油发动机，由于燃油喷射系统的不同，所用的执行器也有很大的差异。虽然电控柴油发动机的执行器种类较多，但就其组成及执行电器而言与汽油发动机是相同的。大多数执行器都由执行电器和机械执行机构两部分组成，执行电器大多采用电磁铁、螺线管、直流电机、步进电机和力矩电机等，机械执行机构的形式则由所要完成的具体控制功能和在柴油发动机上的布置决定。

柴油机电子控制系统工作流程是：传感器检测到的各种信号先送入模/数（A/D）转换器（如果输入信号是模拟量），然后通过电子控制单元的接口输入。在电子控制单元的储存器中，存有所需的发动机的调控参数或状态的目标数据。这些目标数据是柴油机的各种不同参数和最优运行结果的综合，一般是通过统计或实测而得到的。当由传感器检测到的发动机的某一实际参数进入电子控制单元后，先与储存器中的相应参数和最优运行结果比较。如果两者相同，则整个柴油机电子控制系统保持原状态，发动机继续按先前状态运行。反之，当实际参数偏离目标参数时，电子控制单元则会根据该偏离值的大小和极性（正或负），按一定的控制策略进行有关信息的处理（见图 1-5）。

二、柴油发动机电控系统的控制内容

（一）燃油喷射控制

燃油喷射控制是柴油发动机电控系统最主要的控制功能，其主要包括喷油量控制、喷油正时控制、喷油规律控制，其他还有各缸喷油量不均匀性控制、喷油压力控制等内容。

1. 喷油量的控制

电控系统以柴油发动机转速和负荷为基本控制参数，根据预先设定的计算程序或三维脉谱图确定基本循环喷油量，然后根据其他有关输入信号（如进气温度、进气压力、燃油特性

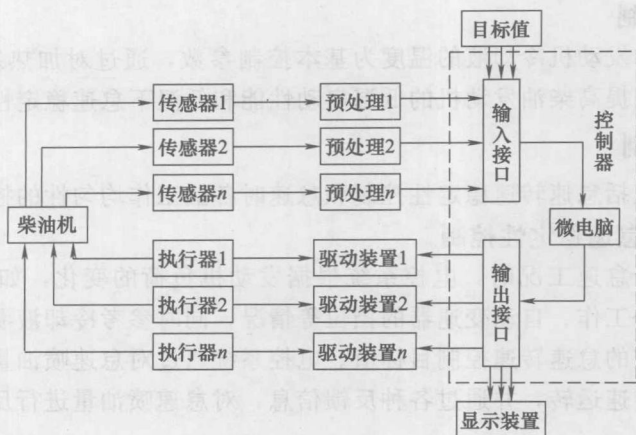


图 1-5 电子控制柴油机的控制框图

修正、低温启动后的修正和急减速时的修正等）进行修正，最后确定实际循环供（喷）油量。

2. 喷油正时控制

电控系统以柴油发动机转速和负荷为基本控制参数，按预设的基本供（喷）油正时三维脉谱图确定基本供（喷）油正时，然后根据其他有关输入信号（如进气温度、进气压力等）进行修正。在有些柴油发动机电控系统中，专门配置了着火正时传感器，对实际燃烧开始时间进行检测、ECU 根据着火正时传感器的输入信号修正喷油正时。

3. 燃油喷射规律控制

燃油喷射规律控制即喷油速率和喷油量随时间变化的规律，电控系统以柴油发动机转速和负荷为基本控制参数，按预设的喷油速率和喷油规律完成循环的喷油过程的控制。

4. 各缸喷油量不均匀性控制

电控系统以各缸间转速波动允许偏差为控制目标值，通过精确测定各缸做功行程曲轴转速的偏差，修正各缸的喷油量，以保证各缸间转速波动在控制目标值内。

（二）进气控制

进气控制是电控柴油发动机的第二个主要控制功能，进气控制包括可变进气涡流控制、可变配气正时控制、进气节流控制和进气预热控制等内容。

1. 可变进气涡流控制

电控系统以柴油发动机转速和负荷为基本控制参数，按预设的最佳进气涡流比脉谱图对进气涡流强度进行控制，以满足高、低转速工况时对进气涡流强度不同的要求。

2. 可变配气正时控制

电控系统以柴油发动机转速和负荷信息为基本控制参数，按预设的最佳配气相位，通过各种电控可变配气正时机构改变柴油发动机的配气相位，以满足不同工况时对配气正时的要求。

3. 进气节流控制

电控系统以柴油发动机转速和负荷信息为基本控制参数，通过对进气管中节流阀开度的控制，适应高、低转速工况对进气流量的不同要求。另外，为降低怠速时的振动、噪声和柴油发动机停车时的振动，电控系统通过怠速时节流控制和停车时中断进气来减轻发动机的振动。

4. 进气预热控制

电控系统以柴油发动机冷却液的温度为基本控制参数,通过对加热塞通电时间的控制,对进气进行预热,以提高柴油发动机的低温启动性能和低温下怠速稳定性。

(三) 怠速控制

怠速控制主要包括怠速转速稳定性控制和怠速时各缸工作均匀性的控制。

1. 怠速转速及怠速稳定性控制

柴油发动机处于怠速工况时,电控系统根据发动机负荷的变化,如空调离合器是否接合、空气压缩机是否工作、自动变速器的挡位等情况,同时参考冷却液温度、进气温度等修正因素,按预先确定的怠速转速控制目标值。电控系统通过对怠速喷油量的控制,使柴油发动机在适当的怠速转速运转,并通过各种反馈信息,对怠速喷油量进行反馈控制,以保证怠速转速的稳定。

2. 怠速时各缸均匀性控制

柴油发动机处于怠速工况运转时,电控系统通过对发动机曲轴转速的精确测定,计算出怠速时各缸工作的循环差,然后对各缸的喷油量进行补偿调节,以保证怠速时各缸的不均匀性在允许的范围内。

(四) 废气再循环控制

废气再循环控制的内容和作用与汽油发动机基本相同,控制包括废气再循环工况的确定和废气再循环量的控制。

(五) 废气涡轮增压压力控制

废气涡轮增压压力控制的目的是与汽油发动机基本相同,即防止增压压力过高使发动机爆发压力过高,或增压压力过低,造成空气量不足使排气温度过高。控制方式视增压器而异,主要有废气旁通通道控制和涡轮流通截面控制两种方法。

1. 废气旁通通道控制

废气旁通通道控制与汽油发动机废气涡轮增压压力控制方法基本相同,计算机控制系统以目标增压压力为基本参数,通过控制废气旁通阀的开度,调节增压压力。

2. 涡轮流通截面或喷嘴截面控制

电控系统以目标增压压力为基本控制参数,通过改变废气涡轮进口截面或涡轮喷嘴截面,调节增压压力。

(六) 故障自诊断与带故障运行控制

电控柴油发动机故障自诊断与带故障运行控制的内容与汽油发动机基本相同,当电控系统出现故障时,自诊断系统将对驾驶员发出提示警告信息,并存储故障信息以便维修人员检修时调用,同时电控系统进入带故障运行控制程序,仍能维持最基本的行驶功能,开到维修站进行检修。

三、电控柴油发动机的分类

(一) 按控制方式分类

按电控柴油发动机燃油喷射系统的控制方式分类可以分为位置控制方式和时间控制方式两种类型。初期的电控柴油发动机均采用位置控制方式,现在已逐渐被时间控制方式所代替。

1. 位置控制方式

位置控制方式的基本特点是保留了原直列式喷油泵和转子式分配泵的基本结构,由装在喷油泵上的齿杆位移传感器、凸轮轴转角位移传感器、电磁式执行器和微处理器组成的控制系统,对喷油量和喷油定时进行控制和调节。喷油量通过对柱塞的初终位置计算,即柱塞供油始点和供油终点间的物理长度,有效确定压油行程。

位置控制方式对原机械控制的喷油泵改动最小,此类电控喷油泵的商品化程度最高。其主要缺点是动态响应速度慢,控制精度低,不能对原来的喷油规律进行修改(除电控可变预行程喷油泵外),喷油压力难以进一步提高。另外直列喷油泵的喷油定时执行机构必须承受喷油泵凸轮轴的驱动力矩。典型的系统和产品有日本 ECD-I 系统、德国 Bosch 公司的电控直列泵、日本 Zexel 公司研制的可变预行程式直列喷油泵、英国 Lucas 公司的电控径向柱塞分配泵等系统。

2. 时间控制方式

电控高压喷射装置的工作原理与传统机械式的完全不同,时间控制方式在高压油路中布置一个或两个高速电磁阀,利用高速电磁阀的启闭控制喷油泵和喷油器的喷油过程。喷油量的控制由喷油器开启持续时间(即高速电磁阀开启的持续时间)、喷油压力大小决定,而喷油正时的控制则由高速电磁阀的开启时刻确定。采用时间控制方式可实现喷油量、喷油定时和喷油速率的柔性控制和一体控制。时间控制方式就其控制原理而言,与汽油发动机的汽油喷射控制类似,但柴油发动机的电控燃油喷射系统的功能更多,控制的技术要求更高,难度更大。典型的系统和产品有日本 ECD-II 系统、美国 DDC 公司的 DDRC 电控泵喷嘴喷油系统和日本电装公司的 ECD-U2 高压共轨式喷油系统。

(二) 按喷油系统分类

1. 脉动式喷油系统

脉动式喷油系统采用电控直列喷油泵、电控分配泵等。脉动喷油系统对喷油量及喷油规律控制靠柱塞螺旋槽(分配制套筒)、电子调速器和油泵凸轮来实现,喷油定时由电控-液压机构控制。它们的供油方式都是脉动的,从低压到高压,经喷油器喷入汽缸。

2. 蓄压式喷油系统

蓄压式喷油系统不采用柱塞泵脉动供油,而是由公共油道(共轨)或蓄压室向各喷油器提供所需的高压燃油,通过实时控制共轨上的高速电磁阀调节喷射压力和喷油规律,与发动机的工况相适应。

第三节 柴油机电控系统中的传感器

电控柴油机电子控制系统中,传感器作为输入元件,它的功能是进行信号变换,即把被测的非电量信号转换成电信号,并把这些信号输入电控单元。电控单元根据输入的电信号对发动机的喷油量、喷油时间进行最佳控制,以减少废气排放污染并提高发动机的输出功率和燃油经济性。

在电控柴油机控制系统中使用的传感器有温度传感器、压力传感器、曲轴转速传感器、凸轮轴位置传感器、空气质量流量计(传感器)、加速踏板位置传感器和氧传感器等。

一、温度传感器

在柴油机电控系统中,电控单元根据对冷却液温度、进气歧管温度、机油温度、燃油温

度和排气温度的测量得到的附加信号修正喷油量,使发动机的功率输出适应转速和负荷的需要。电控柴油机中所用的温度传感器有金属热电阻和半导体热敏电阻式两种。

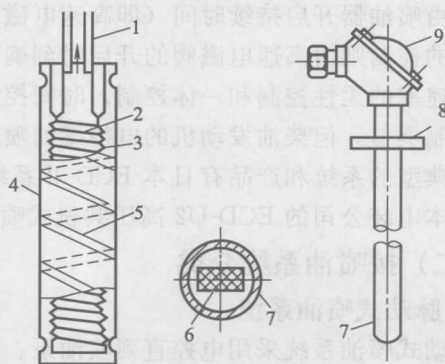
金属热电阻温度传感器是利用感温电阻,把测量温度转换成电阻的电阻式测温系统,常用于测量 $-200\sim 500^{\circ}\text{C}$ 范围内的温度。电阻率随温度而变化的关系称为热阻效应,金属热电阻温度传感器就是利用金属导体的这种热阻效应制成的热电式传感器。纯金属导体和半导体的电阻率都随温度变化,都被称为热电阻。纯金属有正的温度系数,半导体有负的温度系数。用金属导体或半导体制成的传感器,分别叫做金属电阻温度计和半导体电阻温度计。

用金属导体制成的温度传感器,要求材料的物理、化学性质稳定,希望在测温范围内是温度的线性函数,以利于实现温度表的线性刻度特性。要求有比较大的电阻率,以减小热电阻的体积,减小热惯性。最常用的材料有铂、铜、铁及镍。其中铂的物理、化学性能非常稳定,是制造热电阻的最好材料。铂电阻主要作为标准电阻温度计广泛应用于温度的基准、标准的传递,是测温复现性最好的一种温度计(图1-6)。

铂热电阻的结构如图1-7所示,铂电阻一般由直径 $0.05\sim 0.07\text{mm}$ 的铂丝绕在片形云母骨架上。铂丝的引线采用银丝,引线用双孔绝缘瓷套管绝缘。



图 1-6 铂热电阻传感器外观



(a)剖面

(b)外形

图 1-7 铂热电阻的结构

- 1—银引出线；2—铂丝；3—锯齿型云母骨架；4—保护用云母片；5—银绑带；6—铂电阻横断面；
7—保护套管；8—连接法兰；9—接线盒

热敏电阻温度传感器所用的热敏电阻是由一些金属氧化物(如钴、锰、镍等的氧化物),采用不同比例的配方,经高温烧结制成;采用不同的封装形式,制成珠状、片状、杆状、垫圈状等各种形状。其结构形式如图1-8所示,它主要由热敏元件、引线和壳体组成。

半导体热敏电阻随温度变化的特性分三种类型:负温度系数热敏电阻(NTC);正温度系数热敏电阻(PTC);在某一特定温度下电阻值会发生突变的临界温度系数热敏电阻(RTC)。其特性曲线如图1-9所示。在测量温度中,主要采用NTC型或PTC型热敏电阻,但NTC型负温度系数热敏电阻应用最多。

(一) 进气温度传感器

进气温度传感器用负温度系数热敏电阻制成,因为进气温度传感器元件的温度系数要大,随温度变化的电阻值也要大,负温度系数热敏电阻正好适应这种需要。传统的进气温度传感器考虑到热传导性,制成的传感器要封装在金属套管内。现在生产的进气温度传感器安