

国III系列 重卡柴油机 常见故障与维修

GUO III XILIE ZHONGKA
CHAIYOUJI
CHANGJIAN GUZHANG YU WEIXIU

赵培全 钟勤俭 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国Ⅲ系列重卡柴油机 常见故障与维修

主 编 赵培全 钟勤俭
副主编 鞠忠民 宿林林 刘华炜



机械工业出版社

本书注重理论与实践相结合, 主要介绍国Ⅲ系列重卡柴油机的结构及工作原理、装配技术以及常见故障现象的故障分析及维修方法。全书共分上、中、下三篇, 共 21 章, 上篇 1~4 章主要介绍重卡柴油机满足国Ⅲ排放的实施路线, 以及 EGR 发动机与共轨发动机的结构和工作原理; 中篇 5~7 章简单介绍在维修过程中所需要的装配技术要求; 下篇 8~21 章详细介绍国Ⅲ系列重卡柴油机在使用过程中常见的故障现象, 以及故障的原因分析和维修方法。

本书内容丰富, 实践性强, 可作为广大国Ⅲ系列重卡用户、维修企业和相关院校从业人员的学习、培训参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

国Ⅲ系列重卡柴油机常见故障与维修/赵培全, 钟勤俭主编. —北京: 机械工业出版社, 2011.9

ISBN 978-7-111-35467-3

I. ①国… II. ①赵…②钟… III. ①柴油机—故障诊断②柴油机—维修 IV. ①TK428

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 153371 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: 赵海青 责任编辑: 赵海青 丁 锋

版式设计: 霍永明 责任校对: 张玉琴

封面设计: 马精明 责任印制: 杨 曦

保定市 中画美凯印刷有限公司印刷

2011 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 14 印张 · 343 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-35467-3

定价: 39.80 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

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销 售 一 部: (010)68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销 售 二 部: (010)88379649

读者购书热线: (010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

目前汽车的排放污染物主要来自尾气。随着我国经济的迅猛发展,物流业也得到迅速发展,工程建设大量增加,重卡市场也随之迅猛发展,市场上重卡的保有量随之提高。重卡发动机都是柴油机,柴油车排出的尾气所含的有害物质主要是:一氧化碳 CO、碳氢化合物 HC、氮氧化物 NO_x 以及大量的颗粒物。为了降低汽车的尾气排放,提高环保性,国家制定了相应的汽车尾气排放标准。

本书紧跟重卡汽车市场发展的步伐,在编写过程中,注重内容的实用性,理论和实践相结合,主要介绍国Ⅲ系列重卡柴油机的结构及工作原理、装配技术以及常见故障的故障分析及维修方法。全书共分上、中、下三篇,共 21 章,上篇 1~4 章主要介绍重卡柴油机满足国Ⅲ排放的实施路线,以及 EGR 发动机与共轨发动机的结构和工作原理;中篇 5~7 章简单介绍在维修过程中所需要的装配技术要求;下篇 8~21 章详细介绍国Ⅲ系列重卡柴油机在使用过程中常见的故障现象,以及故障的原因分析和维修方法。

本书根据市场和用户的特点,注重实用性,图文并茂,通俗易懂,内容丰富,可作为广大国Ⅲ系列重卡用户、维修企业及相关院校从业人员的学习、培训参考用书。

本书是集体智慧的结晶,由山东交通学院的赵培全和中国重型汽车集团有限公司商用车销售部总经理助理钟勤俭任主编,由中国重汽教培中心副主任鞠忠民、山东交通学院宿林林、中国平安财产保险股份有限公司山东分公司车险意健险理赔部经理刘华炜任副主编,参加资料收集和编写工作的有高青、衣丰艳、山云霄、李旭、李丹、巩加龙、孙宏丽、董丽丽、鲍东华、邢永果、肖冬玲,书中插图的处理及校对工作由韩钰、王充、逢格林、徐鸿领、丁建洲完成,在编写过程中还得到了中国重型汽车集团有限公司、潍柴动力股份有限公司的大力支持,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不当之处,恳请广大读者提出宝贵意见和批评,使本书能够在实践中不断完善。

编 者

目 录

前言

上篇 发动机结构及工作原理

第1章 排放标准及国Ⅲ实施路线	4
1.1 汽车排放概述	4
1.2 国Ⅲ重卡柴油机排放技术实施路线	5
1.3 国Ⅲ柴油机的市场细分	11
第2章 重卡柴油机的工作原理及构造	13
2.1 重卡柴油机工作原理	13
2.2 重卡柴油机的构造	15
第3章 EGR发动机的结构和工作原理	39
3.1 EGR发动机的工作原理简介	39
3.2 EGR发动机的结构	41
3.3 EGR发动机的电控系统	46
第4章 共轨发动机结构及工作原理	49
4.1 共轨发动机的工作原理简介	49
4.2 共轨发动机的结构	50
4.3 共轨发动机的电控系统	57
4.4 共轨发动机的燃油系统	68
4.5 共轨发动机的燃油喷射控制	76

中篇 发动机的装配

第5章 WD615 国Ⅲ EGR 系列柴油机的装配	82
第6章 WD615 国Ⅲ共轨发动机的装配	98
6.1 共轨发动机拆装时的注意事项	98
6.2 拆装前的作业	101
6.3 油轨的拆装	102
6.4 供油泵的拆装	105
6.5 喷油器的拆装	112
6.6 发动机 ECU 和各传感器的拆装	114
6.7 拆装后的作业	118
第7章 D12 发动机的装配要点	120
7.1 需预先装配的部件	120
7.2 装配时的注意事项	122

下篇 重卡国Ⅲ柴油机常见故障及维修

第 8 章 WD615 的主要技术参数与使用维护	130
8.1 WD615 国Ⅱ发动机的主要技术参数和测量调整数据	130
8.2 WD615 国Ⅲ发动机的主要技术参数和测量调整数据	133
8.3 WD615 系列柴油机的使用和维护保养	139
8.4 WP10 柴油机的定期检查与技术保养	142
8.5 WP12 柴油机的定期检查与技术保养	144
第 9 章 国Ⅲ重卡柴油机常见故障的解决思路	149
9.1 柴油机常见故障的成因	149
9.2 柴油机常见故障的解决思路	149
第 10 章 国Ⅲ柴油机故障现象——打不着火	152
10.1 关于欧Ⅱ柴油机打不着火的故障	152
10.2 关于 EGR 柴油机打不着火的故障	156
10.3 关于高压共轨柴油机打不着火的故障	156
第 11 章 国Ⅲ柴油机故障现象——发动机异响	161
第 12 章 国Ⅲ柴油机故障现象——早期磨损	167
第 13 章 国Ⅲ柴油机故障现象——机油压力过低	169
第 14 章 国Ⅲ柴油机故障现象——油水混合	172
第 15 章 国Ⅲ柴油机故障现象——输出功率不足	175
15.1 关于欧Ⅱ柴油机的输出功率不足故障	175
15.2 关于 EGR 柴油机的输出功率不足故障	177
15.3 关于高压共轨柴油机的输出功率不足故障	178
第 16 章 国Ⅲ柴油机故障现象——发动机冷却液温度偏高	182
16.1 发动机冷却液温度偏高的原因——水路	182
16.2 发动机冷却液温度偏高的原因——其他	183
第 17 章 国Ⅲ柴油机故障现象——膨胀水箱反水	186
17.1 膨胀水箱反水的原因——冷却系统	186
17.2 膨胀水箱反水的原因——其他	187
第 18 章 国Ⅲ柴油机故障现象——油底壳里有柴油	188
18.1 关于欧Ⅱ柴油机的油底壳里有柴油现象	188
18.2 关于 EGR 柴油机的油底壳里有柴油现象	188
第 19 章 国Ⅲ柴油机故障现象——冒黑烟、白烟、蓝烟	190
19.1 柴油机冒黑烟的故障现象	190
19.2 柴油机冒白烟的故障现象	192
19.3 柴油机冒蓝烟的故障现象	194
第 20 章 国Ⅲ柴油机故障现象——机油消耗严重	197
第 21 章 国Ⅲ重卡柴油机故障诊断软件和仪器简介	198
21.1 EGR 发动机诊断软件的使用	198
21.2 高压共轨诊断系统 EOL 软件的使用	204
21.3 故障诊断仪的使用与操作	209

上 篇

发动机结构及工作原理



内燃机至今已有 200 多年的历史,通常所说的热力发动机起源于 1705 年, T. Newcomen 的蒸汽发动机将注入气缸的蒸汽用水进行冷却,利用所产生的低压驱动矿山水泵。

1774 年, James Watt 发明了蒸气机,掀起了英国的产业革命,但蒸气机是外燃式发动机,燃料的热量只有 6% 被有效利用。使燃料在气缸内部燃烧而产生动力的所谓内燃机起源于 1781 年 Hyghens 的设想,将火药爆炸,利用所产生的动力。1833 年英国人赖特提出了直接利用燃烧压力的发动机方案,1838 年发明了今天仍然采用的在点火前预先将混合气体压缩的所谓压缩式发动机。1867 年 Nicolars A. Otto 和 Eugen Langen 改进了自由活塞式发动机,使热效率达到 11%,其后不久,这种发动机占据了整个市场。

1892 年,鲁道夫·狄塞尔(Rudolf Diesel)发明了压燃式内燃机,也就是柴油机,又称狄塞尔发动机,其最大特点是省油,热效率高。

在柴油机 100 多年的发展历程中,有 3 次重大的技术突破,才使柴油机技术达到今天的水平,其中两次技术突破和燃油系统直接相关,这也可以说明燃油系统在柴油机技术中的地位。

1. 机械式燃油系统

狄塞尔发动机初期采用煤粉作为燃料,高压空气喷射,由于准确混合的技术难题一直无法解决,从狄塞尔发动机诞生到博世公司推出直列式合成泵的 30 年间,狄塞尔发动机在技术上一一直处于探索和徘徊过程中。直到 1927 年博世公司研制出了直列式合成泵,奠定了泵、管、嘴型燃油系统,为柴油机的高速化、改善燃烧条件,提高性能创造了条件。其后,美国通用研制成功了单体柱塞泵,康明斯公司开发了泵喷嘴,20 世纪 60 年代研制成功了适用于中小型柴油机的分配式喷油泵,为轿车和轻型车的发展开辟了广阔的前景。

2. 增压中冷柴油机

涡轮增压和中冷技术是柴油机发展的第二次技术飞跃,是提高燃油经济性的基本手段之一,为柴油机带来了强大的生命力。增压技术在第二次世界大战时主要用于飞机发动机,20 世纪 60 年代,中冷技术在欧美得到开发应用。1978 年在欧洲推出了空-空中间冷却器的柴油机,其热效率可达到 40% 以上。

3. 电控喷油技术

从 20 世纪 50 年代中期开始,汽车的数量越来越多,汽车的排放物对大气的污染日趋严重,直到今天,汽车工业面临的技术难题之一仍然是污染物的排放问题。1960 年,美国加州制定了汽车排放污染物控制法规。1973 年第一次石油危机,向世人表明了石油资源是有限的,因此降低油耗、节约资源成为汽车工业发展重要的追求目标。1979 年第二次石油危机促使人们更加注重汽车的燃油控制。

仅仅根据发动机转速控制喷油量和喷油时刻的机械式燃油系统已经远远不能满足要求,需要根据实时转速和实际负荷进行特殊型的控制。

在满足柴油机排放法规和进一步提高燃油经济性、提高驾驶安全性等社会要求的背景下,从 20 世纪 80 年代开始,电子控制喷油技术先后被世界各大汽车厂商用来控制喷油定时和喷油量,到目前已经历了 3 代技术变化,第一代凸轮压油、位置控制,第二代凸轮压油、时间控制,第三代共轨蓄压、电磁阀时间控制,发展非常迅速。

纵观柴油机和燃油系统发展的历程,可以简单地归纳为两个 30 年和两个 50 年。

第一个 30 年（1893 ~ 1927）是柴油机诞生和探索阶段。

第一个 50 年（1927 ~ 1970）是柴油机发展成熟阶段，机械式燃油技术稳步发展。

第二个 30 年（1970 ~ 2000）受能源、环境污染的挑战，机械式燃油系统已不能满足要求，电控技术得到开发，提高了柴油机的经济性和环保性。

第二个 50 年（2000 ~ 2050）石油资源将枯竭，对发动机技术提出更高更新的要求，电控系统将得到充分发展。

第 1 章 排放标准及国Ⅲ实施路线

1.1 汽车排放概述

1. 汽车排放标准及实施时间

汽车排放是指汽车从废气中排出的 CO（一氧化碳）、HC + NO_x（碳氢化合物和氮氧化物）、PM（微粒，碳烟）等有害气体，它们都是发动机在燃烧做功过程中产生的有害气体或微粒。这些有害气体产生的原因各异，CO 是燃油氧化不完全的中间产物，当氧气不充足时会产生 CO，混合气体浓度大及混合气体不均匀都会使排气中的 CO 增加。HC 是燃油中未燃烧的物质，由于混合气体不均匀、燃烧室壁冷等原因造成部分燃油未来得及燃烧就被排放出去。NO_x 是燃油燃烧过程中产生的一种物质。PM 是燃油燃烧时缺氧产生的一种物质，其中以柴油发动机尤为明显。因为柴油机采用压燃方式，柴油在高温高压下裂解更容易产生大量肉眼看得见的碳烟。为了抑制这些有害气体的产生，促使汽车生产厂家改进产品技术以降低有害气体的产生源头，欧洲、美国和日本都制定了相关的汽车排放标准。我国主要借鉴了欧洲的汽车排放标准，目前国产新车都要求标明发动机废气排放达到的相关标准。

欧洲标准是由欧洲经济委员会（ECE）的排放法规和欧共体（EEC）的排放指令共同加以实现的，欧共体（EEC）即是现在的欧盟（EU）。排放法规由 ECE 参与国自愿认可，排放指令是 EEC 或 EU 参与国强制实施的。汽车排放的欧洲法规（指令）标准具体执行时间见表 1-1。

表 1-1 欧洲排放标准各阶段实施时间

排 放 阶 段	实 施 时 间
欧 0 阶段	1992 年 7 月以前
欧 I 阶段	1992 年 7 月
欧 II 阶段	1996 年 1 月
欧 III 阶段	2000 年 1 月
欧 IV 阶段	2005 年 1 月
欧 V 阶段	2009 年 9 月
欧 VI 阶段	2014 年 9 月

参考欧洲排放实施标准及实施时间，我国制定了相应的排放标准及实施时间，2001 年 4 月实施的《轻型汽车污染物排放限值及测量方法（I）》（简称“国 I 标准”）等效于欧 I 标准，2004 年 7 月 1 日实施的《轻型汽车污染物排放限值及测量方法（II）》（简称“国 II 标准”）等效于欧 II 标准，2008 年 7 月 1 日（原定于 2007 年 7 月 1 日）实施的《轻型汽车污染物排放限值及测量方法》（中国 III、IV 阶段），国 IV 标准在全国范围内的执行日期原计划为 2010 年 7 月 1 日，由于各种技术原因，全国各地实施时间相应推迟。

2. 我国目前的汽车排放现状

为迎接2008年北京奥运会,北京从2008年3月1日起,率先分两个阶段提前实施国Ⅳ标准。首先是自2008年3月1日起,凡是注册登记北京牌照的轻型点燃式发动机汽车,即最大总质量3.5t以下的乘用车和商用汽油车(即轻型汽油车),实施国Ⅳ标准,同时停止销售、停止注册不符合上述要求的车辆。随后自当年7月1日起,凡注册北京牌照的重型压燃式发动机和重型气体燃料点燃式发动机(即柴油和天然气发动机)的公交、环卫、邮政车辆,实施国Ⅳ标准,并要求安装监控氮氧化物排放的OBD(车载排放诊断系统),同时停止销售、停止注册不符合要求的车辆。其他用途的柴油和天然气发动机汽车仍执行国Ⅲ标准。上海从2009年11月1日起,在新车登记注册过程中,对所有轻型汽油车,以及公交、环卫、邮政车辆,提前实施国Ⅳ标准。

目前,国内仅有北京和上海实施国Ⅳ标准,全国其他地区仍在实施国Ⅲ标准。在全国推广国Ⅳ排放标准的确存在难度,难度主要在中石化和中石油等炼油企业需要更新炼油设备,此外,汽车企业的动力总成技术升级也有资金和技术难度。因此,本书中主要讲解国Ⅲ排放系列的重卡柴油机常见故障及维修。

3. 欧洲在各排放阶段的技术路线选择

在不同的排放阶段,汽车生产厂家(主要是发动机生产厂商)需要选择相应的技术路线,进行相应的技术改进或调整。

欧0阶段:由于相应的环保政策要求较低,汽车排放要求相对较松,采用传统的纯机械式供油系统(燃油泵或柴油泵)和自然吸气技术就能满足。

欧Ⅰ阶段:排放要求有所提高,生产厂家只要在欧0发动机传统的机械式供油系统(燃油泵或柴油泵)基础上,辅以废气涡轮增压技术就可满足。

欧Ⅱ阶段:是在欧Ⅰ发动机技术平台上适当改进,主要辅以废气涡轮增压中冷技术(水冷却)或废气涡轮增压中冷技术(空气冷却),供油系统没有本质的变化。

欧Ⅲ阶段:由于欧Ⅲ排放要求较高,需要对欧Ⅱ发动机的技术平台进行重大升级,最为关键的是供油系统发生了本质的变化,经多个汽车厂家(发动机厂商)和技术部门验证原来的机械式供油系统已无法满足排放要求,必须采用电子系统精确控制供油量和供油时间,实现了供油系统由机械式控制向电子控制的转化。主要技术路线包括电控泵喷嘴、电控高压共轨、电控单体泵和电控H泵+EGR。EGR(废气再循环)技术主要是针对有害气体 NO_x 设置的排气净化装置,它将柴油机产生的废气的一小部分再循环送入进气管与新鲜空气混合后进入气缸燃烧,以增加混合气的热容量,降低燃烧时的最高温度,抑制 NO_x 的生成。

从欧洲的排放实施过程来看,在每一级的排放技术提升中,主要是对发动机的进气系统、供油系统和排气处理系统进行改进和优化,进一步降低汽车的尾气排放指标。

为了早日与世界接轨,我国不断出台并实施更为严格的排放法规,特别是制定了中重型柴油车的排放标准,并于2007年初引进欧Ⅲ标准,制定了我国的国Ⅲ排放标准,在2008年7月1日实施。

1.2 国Ⅲ重卡柴油机排放技术实施路线

柴油机喷油技术经历了传统的纯机械操纵式喷油和现代的电控操纵式喷油两个阶段。而

现代电控喷油技术的崛起应归功于计算机技术和传感检测技术的迅猛发展。

从欧洲的发展过程看,从欧Ⅱ排放到欧Ⅲ排放,不是一个量的进步方式,而是质的飞跃。从技术角度讲,要达到欧Ⅲ排放,其喷油系统要具备两种技术特征:首先是要有120MPa以上的喷射压力,以降低微粒排放;其次是要实现对喷油正时的柔性控制,来解决氮氧化物的排放与油耗之间的矛盾。这就要求发动机的供油方式从机械式喷油变为更加经济和高效率的电子喷油,也就是说,汽车柴油发动机电喷系统开始全面取代机械式喷油系统。

目前,国际上车用柴油机针对欧Ⅲ(国Ⅲ)排放标准实施的燃油系统技术路线主要有两大类,即常规技术和非常规技术。电控高压燃油喷射系统是目前实现国Ⅲ排放标准的公认常规核心技术,主要包括电控高压共轨(Common Rail)、电控单体泵(EUP)和电控泵喷嘴(EUI)三种系统。在满足国Ⅲ排放标准的进程中,电控直列泵(EIL)+EGR技术被业内人士称其为非常规技术。

在这两大类四种技术路线中,德尔福在中国市场针对中轻型车推广共轨技术,针对重型货车提供泵喷嘴和单体泵技术;博世在中国市场主推高压共轨系统;电装目前正在研发第3代、第4代共轨系统并为中国市场的共轨系统作适应性二次开发;而中国重汽则推出电控直列泵(EIL)+EGR,由于价格便宜(比共轨便宜1.5万元左右),一经推出就受到市场的追捧。

1. 常规技术

电控高压燃油喷射系统是目前实现国Ⅲ排放标准的公认常规核心技术,主要包括电控高压共轨(Common Rail)、电控单体泵(EUP)和电控泵喷嘴(EUI)三种系统。高压喷射可使燃油充分雾化,提高雾化质量,并为燃油与空气的迅速混合提供充足能量,优化混合气形成,可提高燃烧过程中的碳粒氧化速率,降低颗粒物排放;电子控制则可保证发动机在各种运转工况下喷油定时和喷油规律的优化,有效抑制氮氧化物的生成。提高燃油喷射压力是降低柴油机排放中的微粒(PM)和氮氧化物(NO_x)的重要措施,排放标准越严,喷油压力要求越高。

在国外,电控高压共轨系统多用于轻型车,而电控单体泵系统则多用于重型车,欧洲市场上85%以上的重型柴油机采用电控单体泵技术,而美洲重型柴油机市场则偏向于高压共轨技术。在国内,新开发的柴油发动机广泛采用电控高压共轨系统,而电控单体泵因其具有对原产品结构改动较小、成本低等优点,多用于老产品升级改造。无论是国外还是国内,采用电控泵喷嘴的产品都相对较少。

(1) 电控泵喷嘴技术(EUI) 在泵喷嘴系统中,柴油机电控泵喷嘴将高压油泵、喷油器和控制电磁阀集成于一体,如图1-1所示,装配在发动机燃烧室上方的气缸盖上,由发动机凸轮轴驱动的摇臂进行驱动。柴油机电控泵喷嘴通过各种相关的传感器和发动机电控单元对喷油正时和喷油量进行精确控制。安装在发动机上的各种传感器向发动机电控单元传递相应的发动机工作状态和功能参数,系统将这些信息与存储在发动机电控单元内的经过优化后的参数进行对比,以进一步确定最佳的喷油正时和喷油量,从而使发动机获得最佳性能。然

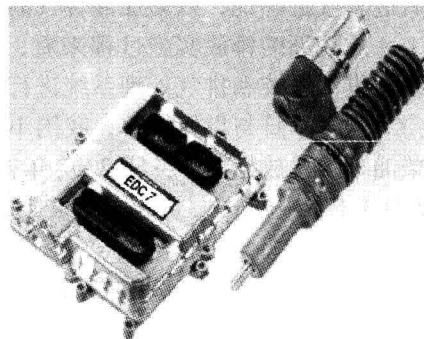


图 1-1 泵喷嘴

后,系统将控制信号传送给电磁阀驱动的溢流阀,通过该溢流阀精确控制燃油喷射正时和喷油量。电磁阀接通时喷油开始,喷油量由电磁阀接通持续时间控制。

电控泵喷嘴的主要优点有:① 燃油喷射压力非常高,燃油雾化效果好,喷射的油粒非常细小,有利于和空气的混合,燃烧效果得到改善,减少了排放积炭与颗粒。② 取消了喷油泵与高压油管,无需担心密封性问题。③ 低转速时输出的扭矩较大,发动机工况更稳定。④ 通过电磁阀的两次动作能实现可控预喷射。

电控泵喷嘴的主要缺点是:① 因为它要求与常规发动机缸盖不同的特殊缸盖,并且还要求加强发动机某些零部件(如连杆、曲轴等)的强度,因此结构改动较大。② 因其供油规律仍受凸轮控制,在喷油压力控制及实现多次喷射等方面不如共轨系统精确。

该技术被沃尔沃、曼、依维柯、东风康明斯发动机有限公司(简称“东风康明斯”)、陕西汽车集团有限责任公司(简称“陕汽”)等企业采用,另外,美国康明斯的全电控发动机应用的也是电控泵喷嘴技术。目前采用该技术的发动机全球保有量已经超过40万台,行驶里程达3000亿km,是久经考验的成熟产品。

(2) 电控单体泵技术(EUP) 单体泵是指一个气缸一个油泵,这里的油泵指的是高压油泵,或称为喷油泵,如图1-2所示。电控单体泵技术的主要特征是其油泵与配气机构共用一根凸轮轴,使结构得到最大程度的简化,并缩短了油泵出口口到喷油器的管路距离。由于油泵提升压力的原理与直列泵类似,所以其喷油规律表现为“三角形”的前缓后急的特征,在一定程度上有利于燃烧过程的优化,最高压力可达到180~200MPa。

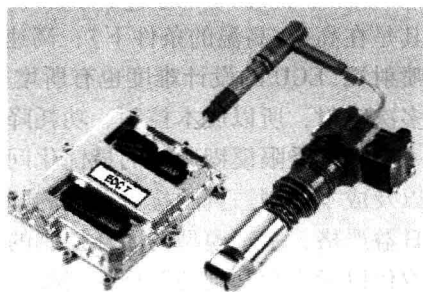


图 1-2 单体泵

电控单体泵系统已在欧美成功使用了十多年,被公认为是性能优越、稳定可靠、使用寿命长的电控燃油喷射系统之一。在21世纪的最初几年内,欧洲和北美的重型车生产商仍采用电控单体泵系统。该技术用在奔驰、珀金斯、依维柯、道依茨等发动机上,国内应用相对较少,主要有道依茨一汽大柴、玉柴等。

对于中国市场来说,采用单体泵对发动机的改动非常少,只在油路系统做些变化,而且单体泵对油品质量的忍耐程度比共轨系统好很多。

由于电控单体泵是在发动机每个气缸装配一个高压泵,因此,它的最大优点是结构相对简单,性能可靠,故障率低,寿命长,维修方便。单体泵对油品的清洁度不太敏感,尤其是大功率柴油机,由于喷射压力较大,在当前国内油品质量无法满足要求的条件下,使用单体泵或其组合泵是较好的选择,但国内已经错过了发展单体泵的最佳时机。

① 德尔福在国内的失势。作为单体泵技术最成熟的企业,德尔福原本有意在国内大力推广其单体泵技术,但是由于种种原因,它在中国市场的发展并不成功,远落后于博世、康明斯等厂家。

② 由于工艺方面的原因,国内单体泵技术在国Ⅲ阶段被“机械直列泵+EGR”技术所取代。某些国内企业在单体泵技术上投入较大,在理论技术上达到国Ⅲ标准问题不大,凭借其价格优势原本在低端重卡市场应有一定竞争力。但是,由于加工/检测能力不成熟(核心问题在泵体锥面密封性的加工技术不过关),造成故障率较高,无法提供大批量装机。随着

“机械直列泵 + EGR”技术的出现，各整车厂在低端市场均转向了该技术，令各个单体泵厂家失去了发展的最佳时机。

③ 国内零部件一致性不足。以单体泵和喷油器连接的高压油管为例，国内能够做好已比较勉强。提升国产零部件的一致性，降低故障率并非一朝一夕可成。

(3) 共轨技术 (Common Rail) “CRDI”是英文 Common Rail Direct Injection 的缩写，意为高压共轨柴油直喷系统，如图 1-3 所示。该系统主要由高压油泵、喷油管、高压蓄压器 (共轨)、喷油器、电控单元、传感器及执行器组成。在高压油泵、压力传感器和 ECU 组成的闭环系统中，喷射压力的产生和喷射过程彼此完全分开，由高压油泵把高压燃油输送到公共供油管，通过控制高压油泵电磁阀开启持续时间，从而对实现公共供油管内的燃油压力精确控制；通过控制喷油器电磁阀开启时刻、持续时间，从而精确控制喷射提前角、燃油喷射量。高压油管压力的大小与发动机的转速无关，可以大幅度减小柴油机供油压力随发动机转速的变化，从而改善发动机的燃烧工作过程，在有效降低发动机排放水平的同时，还能够改善发动机的燃油经济性和降低燃烧噪声。

高压共轨技术的技术关键在于恒高压密封问题 (泵体设计以及喷油器内部的密封，尤其是在高寒/高温的条件下)；高速强力喷油器 (高可靠性、高精度、多次喷射、强力高压喷射)；ECU 的设计难度也有所增加，因为既要满足驱动高速强力喷油器的要求，又要实现多次喷射，所以成本控制、功耗降低、ECU 硬件设计难度皆有所提高；共轨的标定问题是一个多维受限模糊边界的最优化问题，其标定的工作量以及成本控制一直困扰着系统的开发人员，随着法规的日益严格，基于模型的闭环控制的共轨系统可能会逐渐取代以标定为基础的开环控制模式。

高压共轨系统的一大优点是采用独立的高压油泵，可以达到很高的喷油压力，同时喷油压力的大小与发动机的转速和负荷无关，可以独立控制，即使在低转速和低负荷时也能保证足够的喷油压力，而这正是原有机械式油泵的最大缺陷。该系统的另一优点是通过对喷油器的电磁阀进行必要的设计和控制后，可以有效降低燃烧时的噪声和 NO_x 的排放量。

高压共轨技术的主要特点是：

① 采用先进的电子控制装置及配有高速电磁开关阀，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，喷射压力控制精度较高，喷油量控制较准确。

③ 高速电磁开关阀频响高，控制灵活，使得喷油系统的喷射压力可调范围大，并且能够方便地实现预喷射、后喷射等功能，为优化柴油机喷油规律、改善其性能和降低废气排放量提供了有效手段。

④ 系统结构移植方便，适应范围宽。不像其他的几种电控喷油系统，对柴油机的结构形式有专门要求，高压共轨系统与目前的小型、中型及重型柴油机均能很好匹配。

目前，拥有高压共轨系统产品的企业主要有：博世、电装、德尔福、康明斯、斯堪尼亚

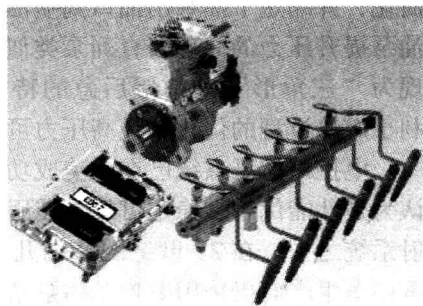


图 1-3 共轨系统

等。采用该技术的国外公司有沃尔沃、奔驰、曼，国内重卡公司有陕汽、一汽解放、欧曼、红岩等企业，国内发动机厂家有潍柴、玉柴、锡柴。高压共轨技术成为目前能够实现国Ⅲ排放标准应用最广泛的技术。

(4) 三种电控高压燃油喷射系统的比较 关于实现国Ⅲ排放标准的常规核心技术的三种电控高压燃油喷射系统的特征比较见表 1-2。

表 1-2 三种电控高压燃油喷射系统比较

项 目	高 压 共 轨	单 体 泵	泵 喷 嘴
喷油规律优化度	好	一般	较好
全工况高压喷射	可以	否	否
喷射压力	可控	不可控	不可控
最高喷射压力/MPa	>200	>300	>300
满足法规	欧Ⅲ/Ⅳ/Ⅴ	欧Ⅲ/Ⅳ	欧Ⅲ/Ⅳ/Ⅴ
主要应用范围	各类商用车、轿车	中重型商用车	中重型商用车、轿车

从表 1-2 可以看出，在达到国Ⅲ排放标准的技术中，电控高压共轨是燃油喷射技术水平最先进、最成熟的技术，也是未来实现更高排放标准的理想选择。如果从系统层面泛泛而谈的话，显然共轨技术的开发难点和关键技术比单体泵要多，电控单体泵技术是基于传统机械式脉动泵式的单体泵加上了电控组件（电磁阀和 ECU）而已；而共轨技术的实现则是柴油机发展史上里程碑式的创举。高压共轨技术虽然最先进，但是其成本较高，对油品质量要求高，而且在短时间内实现国产化难度很大。

电控单体泵一直是与共轨平行的技术路线，都是通过电控喷油来实现燃烧的高效率，只是由于单体泵使用和研发较少，一直是跟随当前的标准，从这个角度而言，单体泵为发展中的技术。单体泵技术由于主要应用中重型商用车上，其关键技术最难的是控制成本（制造成本与共轨相当，甚至更贵，这是系统构成不同导致的），同时也是实现单体泵的高可靠性要求的。

单体泵主要是设计天生有缺陷，即无法做到自由控制燃油喷射压力、柴油机低速性能欠佳、不能实现多次喷射。单体泵对原发动机来说具有一定优点：不要改动缸盖缸体四大件，匹配要求低，具有自主知识产权，国家予以扶助，可以达到欧Ⅲ排放标准，在低端柴油机厂家得到广泛应用。

与共轨技术相比，电控单体泵要便宜 30% 甚至 50%。同时单体泵对油品质量的要求要低于共轨系统。

潍柴动力股份有限公司（简称“潍柴”）的燃气发动机是 IVIO 协助设计的，最早的设计方案是电控单体泵，但是没有厂商提供电控单体泵，而博世在中国只生产电控共轨系统，在这种情况下，潍柴选择了电控共轨系统。在电控燃油喷射技术的选择上，陕汽、东风、还有其他部分商用车企业多倾向于共轨技术，一汽解放等则更愿意使用物美价廉的电控单体泵。

由于国内各整车厂目前国Ⅲ的主机技术以高压共轨和“直列泵 + EGR”技术为主，仅有玉柴机器集团有限公司（简称“玉柴”）、道依茨一汽（大连）柴油机有限公司（简称“一汽大柴”）等少数厂家有单体泵技术。并且，国Ⅲ标准是个过渡阶段，升级到国Ⅳ是必

然的,国内电控单体泵厂商在国Ⅳ技术上并不成熟,在高压共轨主导的市场下,企业采用的技术路线都必须在继承自身条件的前提下进行成本最优的选择和开发,基本为持续升级,发动机厂商并没有多大动力选择电控单体泵方案。

2. 非常规技术

在满足国Ⅲ排放标准的进程中,电控直列泵、电控 VE 泵、废气再循环(Exhaust Gas Recirculation, EGR)等技术被业内人士称其为非常规技术。2008 年 5 月 23 日,中国重汽宣布其自主研发的“电控直列泵 + EGR”技术(简称 EGR 技术)柴油机正式通过国家检测,成为当时国内唯一采用非常规技术的国Ⅲ柴油机企业。

电控直列泵 + EGR 技术全称为机械式电控直列泵燃油喷射系统和冷却的电控 EGR(废气再循环)技术。该技术是由发动机 ECU(电控单元)进行控制,通过进气温度传感器、进气压力传感器、水温传感器、发动机转速传感器、油门传感器以及车辆制动信号来感知发动机的各种状态,从而控制 EGR 控制阀的开度和废气再循环比率(EGR 把一定比例的废气引入气缸内),引回部分废气与新鲜空气共同进入发动机气缸内参与燃烧,既降低气缸内的燃烧温度,又有效控制高温富氧条件下 NO_x 的生成,从而降低了氮氧化物的排放。

EGR 系统的主要缺点是发动机怠速、低速、小负荷及冷机时,容易造成缸体积炭、油耗变大、发动机损坏几率上升等,但现在随着技术的发展,这些缺点均得到了很大改善。2009 年,一汽锡柴、玉柴、上柴、潍柴、东风康明斯等企业也都提供电控直列泵 + EGR 发动机,2009 年一季度装配东风康明斯 EGR 发动机的东风商用车、装配玉柴 EGR 发动机的东风柳汽、装配锡柴 EGR 机型的一汽解放 J5 等各家重卡产品已经在终端市场上批量投放和运营,其技术路线主要为内置式废气再循环路线。

目前,国内 EGR 主要有两种:外置式 EGR 与内置式 EGR。

(1) 外置 EGR 路线 以电子机械泵和冷却式废气再循环技术为典型特征,以中国重汽、大柴道依茨为代表,通过在发动机壳外安装电控 EGR 阀和电控单元,根据瞬时工况调整废气控制电磁阀的开度,以达到国Ⅲ排放标准。

(2) 内置 EGR 路线 该技术经过精确测算,通过控制发动机凸轮轴的机械运行,使气缸排气门在进气时保持 3% ~ 6% 的开度,从而达到溢出废气与进气按不同比例混合的效果,使发动机达到国Ⅲ排放要求。代表性企业主要包括一汽锡柴、玉柴和东风康明斯。

目前,一汽集团中等功率柴油机采用外置 EGR 技术,主要由旗下的大柴道依茨合资公司生产;大功率柴油机则走内置 EGR 路线,由无锡柴油机厂负责生产。潍柴既有外置式 EGR 发动机产品,也有内置 EGR 发动机产品。

目前市场上,用户对国Ⅲ排放路线的认识更加理性。经过近一年的熟悉,用户也渐渐地理解共轨国Ⅲ的优势:油耗低、故障率低。所以在公路用车如牵引车开始接受共轨发动机,而在工程用车如自卸车等选择价格更便宜的 EGR 发动机。

EGR 与高压共轨相比,最大的优势在于价格优势。目前国内国Ⅲ排放的高压共轨发动机相比国Ⅲ排放的 EGR 发动机在价格上贵了约 1 万 ~ 2 万元。以康明斯发动机为例,一台国Ⅲ标准的康明斯共轨发动机价格比国Ⅱ标准的价格高约 1.5 万 ~ 2 万元;而一台国Ⅲ标准的 EGR 发动机价格比国Ⅱ标准的价格仅高约 1 万元。

在国外,EGR 发动机和高压共轨发动机的成本相差无几,如果单从材料成本方面来看,EGR 发动机与高压共轨发动机的成本差不多。目前,价格上的差异主要体现在技术研发费

用方面。由于中国重汽使用的 EGR 发动机技术是由中国重汽自主研发的,核心技术由中国重汽自己掌握,而国内采用的高压共轨发动机的核心部分要从国外进口,所以价格比较高。

EGR 的劣势主要表现在于对燃油品质的敏感性方面。EGR 发动机在运行几百小时后,管道内会有颗粒的沉积,降低 EGR 的效果;另外,EGR 阀的密封性和可靠性问题,也会造成颗粒物的沉积;EGR 节油效果不如高压共轨。

1.3 国Ⅲ柴油机的市场细分

我国在商用车领域全面实施国Ⅲ排放标准已经两年了,此前曾把国Ⅲ技术路线确定为电控泵喷嘴、电控高压共轨和电控单体泵,其中电控泵喷嘴主要应用于轿车柴油机领域,商用车柴油机采用的实际是后两者技术。直到中国重汽推出了电控直列泵 + EGR 路线,并得到了原国家发改委和环保部的确认,玉柴、潍柴、大柴、锡柴、东风康明斯、扬柴等也先后展开了 EGR 型式国Ⅲ柴油机的开发。

两年来,各种国Ⅲ技术路线针对不同的车型和不同的技术状况进行了充分的实践。

1. 玉柴集团

从国Ⅲ排放标准的技术路线看,玉柴柴油机包含了电控高压共轨、电控单体泵、电控组合泵、EGR 等技术路线,是采用国Ⅲ技术路线最多的企业之一。其中,采用电控高压共轨的机型有:YC4G、YC6G、YC4E、YC4F、YC4W、YC6J、YC6L、YC6M、YC6A、YC6K;采用电控单体泵的机型主要有 YC6L、YC6G、YC6M、YC6A、YC4G、YC4E、YC4D;采用电控组合泵的机型有 YC6G、YC4E;采用 EGR 路线的有 YC6L、YC6G、YC6M、YC4G、YC4E 等。

在玉柴的各类国Ⅲ标准柴油机中,以电控高压共轨为主要技术路线。其中,YC6M 是玉柴广泛应用于汽车市场排量最大的重型柴油机,曾是东风天龙的三大主配动力之一(其余两款机型分别为东风雷诺和东风康明斯柴油机),玉柴为了树立其高端品质的形象,选择了电控高压共轨和电控单体泵。

2. 东风康明斯

东风康明斯国Ⅲ柴油机早期主要采用电控高压共轨技术,在中国重汽推出 EGR 国Ⅲ机型后,东风康明斯虽是较晚加入这一领域的企业,但是其 EGR 机型的销量提升很快。目前东风康明斯的国Ⅲ技术既有电控高压共轨,也有电控单体泵和 EGR 技术。

3. 无锡柴油机厂

一汽解放汽车有限公司无锡柴油机厂(简称“一汽解放锡柴”或“锡柴”)国Ⅲ柴油机采用的是电控单体泵、电控高压共轨、电控 VE 泵 + EGR 这三种技术路线。

一汽锡柴配套电控高压共轨的柴油机系列主要有:CA4DW、CA4DX、CA4DF3、CA4DL、CA6DL、CA6DF3、CA6DM、CA6DN;配套 EGR 和电控单体泵的国Ⅲ柴油机机型有:CA6DF3J、CA4DF3J、CA6DF2D、CA6DF2E、CA6DL、CA4DW 等。锡柴推出的排量超过 10L 的 CA6DN、CA6DM 柴油机目前全部采用了电控高压共轨技术,电控单体泵和 EGR 路线还没有采用。

4. 潍柴

潍柴动力股份有限公司(简称“潍柴”)对于国Ⅲ排放的非常规技术路线的选择与其他