

柴油机高压共轨燃油喷射系统现状与发展趋势

刘斌彬,李国岫,郑亚银

(北京交通大学,北京 100044)

摘要:介绍柴油机电控高压共轨喷射系统的原理和结构,对当今国外典型的高压共轨喷射系统进行介绍和分析,总结各种系统的最新进展,最后提出未来的研究目标和发展趋势。

关键词:柴油机;高压共轨;喷射系统

中图分类号:TK428.8 文献标识码:A 文章编号:1000-6494(2006)02-0001-03

Existing Status and Trend of High - pressure Common - rail Injecting System in Diesel Engines

LIU Bin - bin , LI Guo - xiu , ZHENG Ya - yin

(Beijing jiaotong University , Beijing 100044 , China)

Abstract :This paper introduces and analyzes the principle and structure of typical foreign electric - control high - pressure common - rail injecting systems and summarizes the latest development of each mentioned systems . It puts forward future research targets and trend in the end .

Key words :diesel engine ;high - pressure common - rail ;injection system

为了节省能源、降低排放,柴油机电子控制燃油喷射技术已经取得了巨大的进步,而共轨喷射技术的应用,实现了柴油机发展史上的一大飞跃。柴油机高压共轨系统在整个内燃机行业被公认为 20 世纪三大突破之一^[1],是 21 世纪柴油喷射系统的主流。若想在保持直喷柴油机卓越的燃油经济性的同时,又能满足越来越严格的排放法规,除了降低润滑油消耗、优化增压系统和发展废气后处理系统外,最重要的还是进一步改善燃烧过程。而燃油喷射系统的性能是影响柴油机燃烧过程的关键环节。为了有效地减小燃油消耗率,改善动力性能和满足更严格的排放标准,要求喷射系统具有高的喷油压力和更灵活的燃油喷射控制。高压共轨喷射系统正是顺应以上需求而出现的,并得到了很大的发展。

1 柴油机高压共轨喷射系统原理和结构

与前两代喷油系统相比,电控共轨燃油喷射系统克服了燃油压力受柴油机转速的影响,不再采用传统的柱塞泵脉动供油原理,而采用了公共控制油道——共轨管,高压油泵只是向公共油道供油以保持所需的共轨压力,通过连续调节共轨压力来控制喷射压力,使其达到与工况相适应的最优数值,而且还使得喷油压力和喷油速率的控制成为可能,且系

统的控制自由度及精度得到了大幅度提高。

高压共轨喷油系统的结构见图 1,为典型的电控高压共轨喷射系统,主要由高压泵、带调压阀的共轨管、带电磁阀的喷油器、各种传感器和电控单元(ECU)组成。

国内外很多内燃机方面的专家学者都在研究开发电控高压共轨喷射系统。德国 Bosch 公司、意大利菲亚特集团、英国 LUCAS、日本电装公司、美国德尔福公司等世界著名油泵油嘴制造商相继开发了高压共轨系统,下面就部分公司的电控高压共轨喷射系统进行介绍和分析。

2 国外主要的高压共轨喷射系统

目前,国外在柴油机电控共轨喷射系统方面的研究进展很快,并有多种共轨喷射系统设计并投产。笔者主要介绍德国 Bosch、意大利菲亚特和美国的德尔福公司的高压共轨系统。

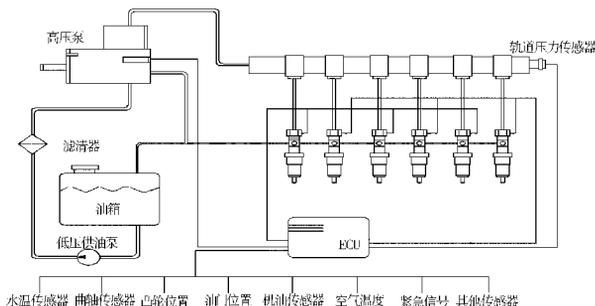


图 1 高压共轨喷射系统结构

作者简介:刘斌彬(1982-),男,汉,研究生,主要研究方向为柴油机电控系统研究与开发。

收稿日期:2005-09-28

2.1 德国 Bosch 公司的高压共轨系统

目前为止 ,Bosch 公司总共规划和设计了 3 代高压共轨系统。如图 2 所示为 Bosch 公司的高压共轨喷射系统。第一代已经于 1997 年 7 月批量投放市场 ,主要应用于轿车 ,喷射压力达 135 MPa。第二代于 2000 年开始批量生产 ,开始使用具有油量调节功能的高压泵和经改进的电磁阀喷油器 ,喷射循环由预喷射、主喷射和多级喷射等多次喷射组成 ,最大系统压力提高至 160 MPa ,采用降噪新技术 ,主要适用于功率在 55 kW/L 以下的发动机^[2]。

Bosch 公司第三代高压共轨喷射系统的开发重心转移到系统的技术复杂度和精密程度上。高压油泵前端的齿轮泵将燃油从油箱抽出 ,通过滤清器送入具有泵油量调节功能的高压油泵升压 ,分配单元将进入的燃油分成两路 :一路供给泵油元件 ,另一路用以冷却。高压油泵将燃油压缩至最高压力 160 MPa ,并将其输入共轨。共轨上安装的压力传感器、压力调节器和电控装置形成闭环的压力控制回路。高压燃油经油轨到喷油器。第三代高压共轨喷射系统最大的特点在于采用了一个快速开关的压电直列喷油器 ,压电执行器内置于喷油器轴体上 ,相比于传统喷油器减少了约 75% 的运动件及 75% 的质量 ,开关速度也得到很大提高。第三代高压共轨燃油喷射系统能满足严格的欧 IV 标准。图 3 为压电式喷油器。

高强度模块式激光焊接油轨为一铸造管 ,是连接高压油泵和喷油器的桥梁 ,也是一个蓄压器 ,见图 4。

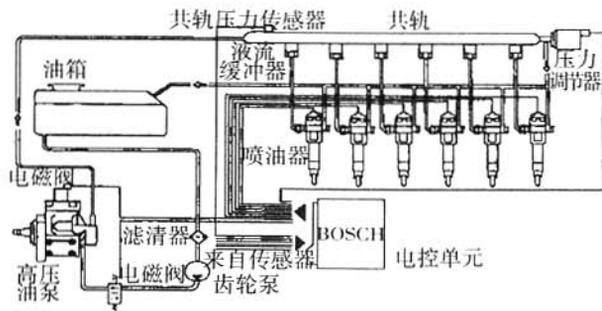


图 2 Bosch 公司的高压共轨喷射系统



图 3 压电共轨喷油器



图 4 激光焊接油轨

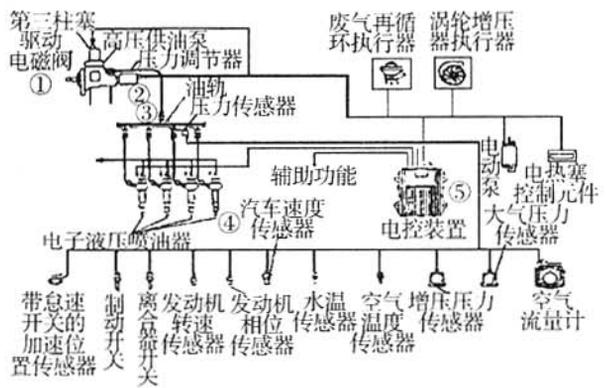


图 5 菲亚特集团的 Unijet 喷射系统

共轨中压力波动是设计所要考虑的重要参数 ,为使共轨压力波动和启动油压的建立几乎不受喷油器、高压油泵和调节阀工作的影响 ,共轨的长度、内径和容积应有一合理的数值。为使其最佳化 ,Bosch 在设计阶段运用 AMESIM 程序进行了模拟计算。与迄今最好的电磁或压电控制的喷油系统相比 ,Bosch 第三代高压共轨喷射系统排放物控制效果和燃油的计量精度有明显的提高。

Bosch 公司第四代高压共轨喷射系统将会采用最新研制的同轴可变喷嘴及压力扩大器技术 ,最高喷射压力将会超过 200 MPa。

2.2 意大利菲亚特集团的高压共轨系统

1997 年菲亚特集团推出了世界上第一台采用 Unijet 高压喷射系统的共轨式柴油发动机 ,并将其装配在阿尔法 156 汽车上。Unijet 高压共轨系统主要由喷油泵、传感器、电液控制喷油器和 ECU 组成 ,如图 5 所示。

与传统凸轮驱动的喷油系统相比 ,Unijet 系统对于降低 NOx 和碳烟排放量具有最佳的喷油压力匹配能力 ,并且能提高最大扭矩^[3]。Unijet 系统在预喷射定时和预喷油量方面具有灵活性 ,有效地利用这种灵活性能恰当地协调燃烧噪声和烟雾控制之间的关系。

2003 年 ,菲亚特研制成功第二代 JTD 16 气门多重喷射柴油发动机。第二代共轨式发动机的特点在于 :多次喷射系统在发动机的每一个循环中能够进行更多次数的喷射 ,多次喷射系统的奥秘在于控制单元和喷油嘴的设计 ,它们可以产生一系列间隔非常小的喷射。菲亚特研究人员开发这一技术的目的是保证更精确地控制燃料室内的压力和温度 ,同时更有效地利用进入到气缸内的空气。由于柴油被分配得更细 ,从而得到更平顺的燃烧效果。同时 ,发动机的主要部件和控制程序都进行了彻底改进。这些技术降低了发动机的运转噪声 ,特别是降低了发动机冷态时的噪声 ,提高了功率和扭矩 ,油耗减少 ,降低了尾气排放 ,提前满足了严格的欧 IV 排放法规的要求。

2.3 美国德尔福公司的 Multec DCR 系统

德尔福最具代表性的就是先进的 Multec DCR 柴

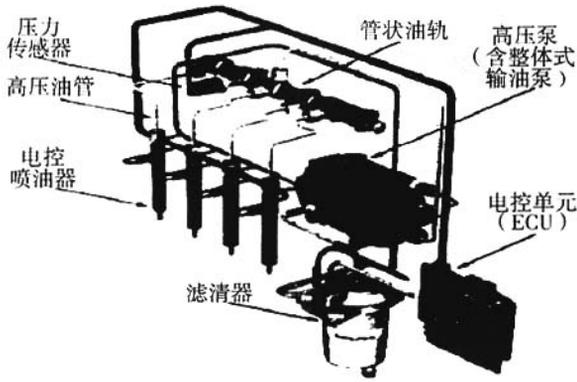


图 6 德尔福公司的 Multec DCR-1400

柴油共轨喷射系统。Multec DCR 柴油共轨喷射系统的主要部件有共用高压油轨、高压燃油调压器、高压燃油泵、燃油喷油器、电控单元、燃油滤清器和传感器等,如图 6 所示。

跟其他的尖端高压喷射系统一样, Multec DCR 柴油共轨喷射系统的喷射压力与发动机转速和负荷无关,即使在低速运行时,系统仍可保持足够压力的高压燃油喷射。可实现多次喷射,能满足欧 III 排放法规要求。相比之下,其喷油器的设计更加独特。

Multec DCR 主要采用了带有平衡控制和反馈控制策略的电控电磁阀结构的电液式喷油器^[4],它能提供极快的动作响应并精确地进行燃油流量的计量。这种响应迅速、结构紧凑、小巧玲珑的电磁阀控制的喷油器只需常规 12 V 汽车蓄电池驱动就能正常工作,比世界上现有的任何一种柴油机共轨喷射系统都节能,这大大降低了汽车电子系统设计的系统生产成本和复杂程度。整个系统采用积木式设计,便于应用于不同形式和不同种类的发动机。德尔福公司专门为共轨喷射系统开发了一套以加速度信号处理为基础的喷油控制策略,使 Multec DCR 高压共轨系统具有较低的燃烧噪声和排放。

近年来德尔福公司确定了三个研发领域:喷油器和喷油嘴设计参数的最佳化,系统液力稳定性和多次喷射控制策略的最佳化,改善发动机参数的协调性,以满足未来排放法规的要求和降低噪声^[5]。德尔福将进一步改进其柴油喷射系统,以满足下一轮全球排放法规。

3 高压喷射系统的研究目标和方向

3.1 研究目标

就燃油喷射控制原理而言,各种共轨喷射系统近期不会有大的变化。未来的柴油机燃油喷射系统将向着高喷射压力、喷油量及喷油定时可灵活控制、最佳喷油速率控制的方向发展,全电子控制的燃油喷射系统是实现燃油喷射过程柔性控制的必然趋势。综合分析国内外对柴油机电控燃油喷射系统的研究历史和现状,柴油机喷射系统应将以下几点作

为研究目标:

a. 进一步高压化。为解决尾气排放达标问题,最根本还是提高共轨压力。电控高压共轨燃油喷射系统的发展趋势是喷射压力达 180 ~ 200 MPa,甚至出现了“超高压喷射”的概念。当然,喷射压力也不是越高越好,相关研究指出,在保证油束贯穿距离足够大、压力提高对燃烧改善效果较明显的前提下,最高喷射压力取 180 MPa 为宜。

b. 更小的喷孔直径、更短的响应时间和更低的功率消耗,提高关键部件的可靠性和寿命。随着喷射压力的提高,对电磁阀、喷油器的要求相应提高,要求其响应速度快,高压稳定性好,同时可靠性好,寿命长,这将依赖于零部件制造技术的发展。关键技术如采用压电晶体喷油器代替原有的电磁阀进行控制。

3.2 研究方向

柴油机高压共轨喷射系统的研究方向为:

a. 新型智能型传感器的研制,更高精度和响应速度的传感器的生产和应用。

b. 新型电磁阀的研究。未来的电磁阀要求有更快的响应能力、工作精确性、重复、可靠性以及良好的流通能力。如采用压电陶瓷驱动器研制高响应电磁阀。

c. 共轨燃油压力波动的控制和计算的研究,持续恒压反馈控制的进一步深入研究和完善。

d. 最佳控制策略的研究,即多次喷射的控制技术以及通过控制压力调节喷油规律等。

e. 安全保护与提高故障诊断及紧急运行能力的研究。

f. 研究整个喷射系统优化匹配。

4 总结

电控高压共轨燃油喷射系统的发展是一门综合性的新兴技术。随着现代制造业和电子工业的发展,未来柴油机的经济性、动力性及排放性能将会随之而改善。综合分析国内外的研究史和发展现状,柴油机高压共轨喷射系统将会有更大的发展空间。

[参考文献]

- [1] 王均效,陆家祥,等. 柴油机高压共轨喷油系统的发展动态[J]. 柴油机, 2001 (5).
- [2] 董尧清. 德国 Bosch 最新动态. 内燃机燃油喷射和控制[J]. 2001 (3).
- [3] Cichocki R, 等. Technologies for future HSDI passenger car diesel engine. International symposium powertrain technologies for a 3 liter car.
- [4] 范明强. 新颖的德尔福共轨喷射系统及其低排放控制策略[J]. 现代车用动力, 2003.
- [5] 豪彦. 德尔福集团公司燃油共轨喷射技术[J]. 汽车与配件, 2003 (2).