

基于 MC68376 单片机的柴油机电控技术的试验研究

郑培 陈慧岩

(北京理工大学机械与车辆工程学院,北京 100081)

摘要 对国内外柴油机电控技术的发展态势进行了分析,阐述了柴油机燃油喷射位置式 PID 电子控制方法的原理。对基于 MC68376 单片机的柴油机燃油喷射电控系统的组成及其功能进行了研究。针对 BF8L413F 柴油机和 BOSCH P8AE 喷油泵调速系统的特点,分析了进气压力和温度,及燃油温度对电控柴油机性能的影响。台架试验结果表明,增加进气压力和温度,及燃油温度等控制参数后,改善了电控柴油机的整体性能,能够满足实际车辆的使用要求。

关键词 柴油机;电控;MC68376;PID

中图分类号 TK421.6

文章编号 1007-4333(2003)06-0054-04

文献标识码 A

Study of diesels controlled technology on the base of MC68376

Zheng Pei, Chen Huiyan

(Department of Mechanical & Vehicular Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract The development process of electronic control technique of diesel engines was reviewed. The proportional-integral-differential principles of the position electronic controlled is discussed. To feature of BF8L413F diesel engine and BOSCH P8AE pump. The effects influencing the diesels' oil temperature & input air pressure were analysed. The diesels controlled system by adding pressure sensor and temperature sensor to improve BOSCH P8AE pump properties and adaptabilities were discussed. Bench test for MC68376-based BF8L413F diesel with this electronic control system was carried out. The results of test showed that the properties of this system is better and this system has some application worthiness.

Key words diesel engine; electric control; MC68376; PID

柴油机是一个热效率比较高的动力机械,已广泛应用于各种车辆。随着日益严格的排放法规的颁布和实施,人们对柴油机整体性能和排放性能的要求越来越高,而柴油机整体性能和尾气排放性能的提高必须依靠电控技术^[1]。柴油机采用电控技术后,其响应速度快,调速精度高;对于不同的柴油机只需对软件进行修改,使得系统应用灵活。柴油机燃油喷射电控方式主要有位置控制式、时间控制式和压力-时间控制式等^[2]。

位置控制式电控燃油喷射系统通过控制喷油泵齿条执行器和喷油定时来完成柴油机的转矩和转速控制,其代表性产品有美国卡特皮勒公司的 PEEC 系统、日本 Zexel 公司的 COPEC 系统和 TICS 电控

系统、日本电装公司的 ECD-P 系列电控直列泵和 ECD-V 系列电控分配泵,以及德国 BOSCH 公司的直列泵和分配泵电控系统等^[3]。

目前我国鉴于柴油机电控技术起步晚,技术与发达国家差距较大等原因,柴油机实现电控的一般途径是,对原有柴油机结构进行较小改动,加装电控执行器来实现电子控制。位置控制方式对原有柴油机结构改动较少,开发难度和成本较低,易于实现,因此在我国现有情况下有较好的推广前景。

1 BF8L413F 柴油机位置式电控方法

BF8L413F 柴油机是我国 20 世纪 80 年代引进德国 KHD 公司的风冷柴油机,广泛应用于载重汽

收稿日期:2003-04-08

基金项目:国防预研基金资助项目

作者简介:郑培,博士,主要研究方向为动力传动系统控制、计算机控制

车、公共汽车、农业机械和特种车辆等，具有单缸功率大、功率覆盖面宽、经济性好、大修期长、可靠性和可维护性好等优越性能。它采用 BOSCH-P8AE 泵进行喷油，其调速执行器为机械式飞铁，对其进行电子化改造的主要工作就是将原来的机械式飞铁改为电磁执行器，以解决机械式调速器动态响应滞后、调速精度低等问题。

对柴油机的控制原理进行分析，选择直线位移电磁铁作为执行器，其传递函数可以简化为^[4]

$$\frac{z(S)}{U_a(S)} = \frac{K_M}{(ST_M + 1)(ST_E + 1)} \exp(-\tau_2 S) \quad (1)$$

式中： z 为电磁铁位移； S 为拉氏变量； K_M 为增益常数； T_M 为机械时间常数； T_E 为电气时间常数； τ_2 为电磁力矩建立时间常数； U_a 为加在电磁铁两端的平均有效电压，其大小与电源电压和 PWM 输出的占空比成正比。由于 $T_M \gg T_E$ ，式(1)简化为

$$\frac{z(S)}{U_a(S)} = \frac{K_M}{ST_M + 1} \exp(-\tau_2 S) \quad (2)$$

从式(2)可以看出，用直线位移电磁铁作为执行器时，其传递函数为一阶惯性环节 + 滞后环节。

当执行器与柴油机的喷油泵正常连接以后，电磁铁位移就是喷油泵齿杆的位移，而在柴油机调速范围之内，BOSCH-P8AE 喷油泵齿杆位移与循环供油量的关系即为柴油机喷油泵速度特性，可以用式(3)表示^[4]：

$$g_B = (k_0 + k_1 z) (1 + \tau_E / k_2) \quad (3)$$

式中： g_B 为柴油机的循环供油量； τ_E 为柴油机转

速； z 为喷油泵齿杆位移，即电磁铁的位移； k_0, k_1, k_2 为系数。可见，柴油机的循环供油量是柴油机转速和喷油泵齿杆位移的函数。目前，国内外研究者建立的增压柴油机模型考虑了柴油机本体、供油装置、涡轮增压器、进气管、排气管等因素，其数学模型可以简化为二阶线性非齐次微分方程。

由以上分析可知：一阶惯性环节 + 滞后环节的直线位移电磁铁应采取比较成熟的 PID 控制方式较为适宜。其原理是，传感器检测齿杆的位移，通过反馈系统将该位移当作目标喷油量进行闭环控制，再通过控制柴油机的油门位置和实际柴油机转速，用进气压力、温度和燃油温度修正其喷油量，从而得到不同工况下优化的目标转速。

对采用 PID 控制方式的 BF8L413F 柴油机进行台架试验，其电控调速系统控制原理见图 1。其控制原理是典型的双闭环位置式数字 PID 控制 + 参数(燃油温度、进气压力)修正的控制方法，内环是齿条位置 PID 控制，外环是转速 PID 控制，其离散的算法表达式为^[5]

$$u(k) = K_{PT}(k) + K_{IPT} \sum_{j=0}^k e(j) + K_{HPT}[e(k) - e(k-1)] \quad (4)$$

式中： k 为采样序号， $k=0, 1, 2, \dots$ ； $u(k)$ 为第 k 次采样时刻的计算控制量； $e(k)$ 为第 k 次采样时刻输入的偏差值； K_{PT}, K_{IPT} 和 K_{HPT} 分别为与进气压力和燃油温度有关的比例系数、积分系数和微分系数，可由试验得出。

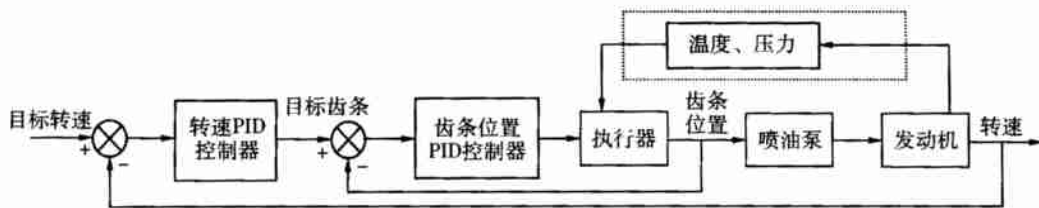


图 1 电控调速系统控制原理

Fig. 1 The principles of electronic governor system

2 基于 MC68376 单片机的柴油机电控系统的组成及其功能

本电控系统由电控单元、外围电路、执行机构、数据采集系统和传感器电路组成(图 2)。

电控单元主要由 MC68376^[6]为核心的 32 位单片机(Motorola 公司生产)组成，包括定时处理器单元 TPU、队列串行模块 QSM、系统集成模块 SIM、

队列 A/D 转换模块 QADC 和 RAM(1MB)。TPU, QSM, QADC 经过系统初始化，无需 CPU 干预即可完成设定的功能。

外围电路包括模拟信号处理电路、开关量信号处理电路、频率处理电路、功率放大驱动电路和串行通信接口电路。QADC 可以提供 16 个 10 位 A/D 转换通道，其中有 5 路用于模拟信号转换。这些模拟信号(油门位置、齿条位移、进气压力、进气温度和

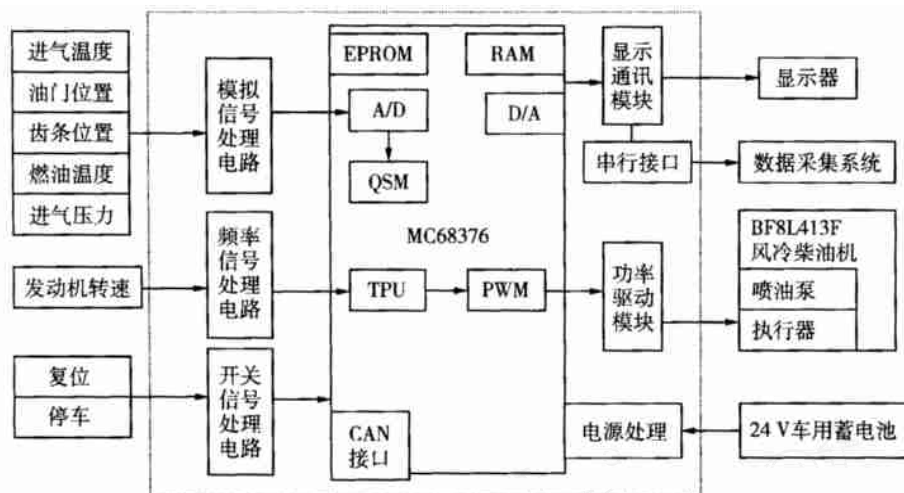


图2 柴油机电控系统组成

Fig. 2 The hardware structure of control system

燃油温度)经过处理后由 ECU 进行采集;复位和停车 2 路开关量信号直接从 I/O 口读取;柴油机转速通过频率处理电路的处理后,由 TPU 定时中断完成信号的采集和存储,喷油泵电磁执行器所需脉宽调制(PWM)也通过 TPU 输出。QSM 包括 SCI(串行通信接口)和 QSPI 2 个串行 I/O 子系统,可以实现高速的同步或异步串行传输,用于实时显示柴油机运转状态以及简单的故障代码;键盘用于调试程序、设置控制参数。

执行器主要由线性电磁铁和齿条位移传感器构成。线性电磁铁的位移由驱动电流决定,而驱动电流的大小是由 ECU 输出的 PWM 脉宽信号的占空比的大小决定的。电磁执行器位移改变时,使得柴油机喷油量发生改变,进而柴油机的速度也随之改变。齿条位移传感器反馈电磁铁的位移,即反应柴油机的喷油量的大小。

数据采集系统通过 ECU 的 SCI 与 PC 上位机进行串行通讯,其功能是把柴油机运转状态的实时监测、记录数据和故障代码传送到上位 PC 机,以便于调试系统和记录有用数据。

传感器电路由转速传感器、齿条位移传感器、油门位置传感器、燃油温度传感器、进气压力和温度传感器组成。转速传感器采用磁电传感器,由于飞轮上的突齿做切割磁力线运动,每个突齿转过时均产生一个正弦电压,可以将输出的正弦波信号作为转速信号,经过整形后送入 ECU。齿条位移传感器由直线位移电磁铁带动线性电感产生与位移成正比的

电压送入 ECU。油门位置传感器采用电位计传感器,油门的大小与电位计的电压成正比。温度传感器采用热敏电阻,它将温度值转变成电阻值,进一步转换成电压信号后送入 ECU。进气压力传感器采用半导体压敏电阻传感器,它将进气压力转变成电阻值,再经过调理电路转换成电压信号送入 ECU。

3 压力及温度对电控柴油机性能的影响

柴油机的燃烧过程实质上就是将喷入气缸的柴油燃烧后转化为热能,使得缸内气体膨胀做功,推动活塞产生往复运动,然后通过曲轴输出转矩和转速。由于柴油机本质上是一个多变量、非线性的复杂系统,要建立其准确的数学模型非常困难,因此抓住主要矛盾是解决问题的关键所在。柴油机的燃油温度和进气压力是本研究考虑的重要因素。研究表明,当燃油温度上升 50% 时,柴油机功率下降 1.8%,燃油消耗率增加 1.5%^[7];而燃油温度主要与转速与环境温度有关,进气压力与海拔高度和大气温度有关。考虑到整个系统的实时性,以及使用车辆的复杂环境,必须对进气压力和燃油温度对电控柴油机性能的影响进行分析研究。

3.1 进气压力及燃油温度对电控柴油机性能影响的试验分析

BF8L413F 柴油机燃油量随燃油温度和进气压力的变化而变化,燃油量决定柴油机的输出转矩和转速。表 1 示出燃油温度和进气压力与柴油机转速的关系^[8]。

表 1 燃油温度和进气压力与发动机转速的关系

Table 1 Relations between oil temperature, input air pressure and diesel speed

转速/($r \cdot \min^{-1}$)	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 500
进气压力/kPa	103.5	103.8	110.4	110.7	103.5	99.0	96.5	95.8
燃油温度/K	353	343	333	303	303	303	303	303

由表 1 可见,燃油温度和进气压力与柴油机转速呈非线性关系。为了使柴油机有较好的调速特性,当燃油温度升高时,油量应适当减少,反之亦然;进气压力增大时,油量也应适当减少。发动机功率与喷油量有直接的关系,而喷油量不仅与 PID 的 K_{PT} , K_{IPT} , K_{HPT} 参数有关,而且与燃油温度和进气压力有关。

3.2 台架试验

试验条件:BF8L413F 风冷柴油机;PE8A 喷油泵,博许公司生产;位置式 PID 电子控制系统,自行设计;CW260-1800/7500 电涡流测功机,南峰机械厂生产。

柴油机的怠速和突卸负荷试验是测试柴油机调速性能的重要试验,能否在怠速和突卸负荷下稳定工作直接影响到柴油机的调速性能和动态特性。因此, K_{PT} , K_{IPT} , K_{HPT} 参数应该是不同的一组运行参数。PID 参数可用试验法选取^[9]。

1) 怠速试验。发动机在怠速 $600 r \cdot \min^{-1}$ 、空载和油门开度为 0 时,选择 K_{PT} , K_{IPT} 和 K_{HPT} 使得燃油温度在 $300 \sim 353 K$ 之间,进气压力在 $101.0 \sim 110.7 kPa$ 之间试验,优选出一组 K_{PT} , K_{IPT} , K_{HPT} 参数。图 3 示出燃油温度 $303 K$,进气压力 $110.5 kPa$, K_{PT} , K_{IPT} , K_{HPT} 分别为 1.4 , 0.16 和 2 时的怠速试验曲线。从整个试验过程看最大转速波动小于 $\pm 6 r \cdot \min^{-1}$,明显优于原 $\pm 10 r \cdot \min^{-1}$ 的最大转速波动。

2) 突卸负荷试验。选择参数 K_{PT} , K_{IPT} , K_{HPT}

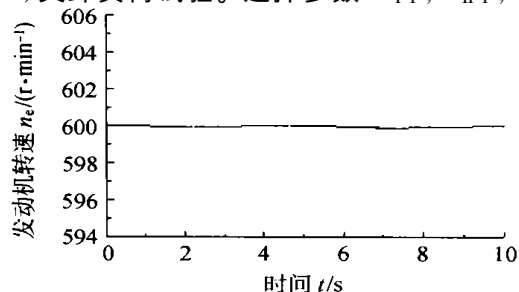


图 3 怠速试验曲线

Fig. 3 The curve of electronic diesel idle speed

使得柴油机运转在燃油温度 $330 K$,进气压力 $110.7 kPa$,转速 $1 500 r \cdot \min^{-1}$ 的工况下,加载负荷 $800 Nm$ 后,突然卸掉全部负荷,优选一组 K_{PT} , K_{IPT} , K_{HPT} 分别为 1.2 , 0.17 和 2.1 。试验曲线见图 4。试验结果表明,突卸负荷 $2.1 s$ 后转速稳定,最大扰动转速 $117 r \cdot \min^{-1}$,原机分别为 $3.1 s$ 和 $200 r \cdot \min^{-1}$ 。

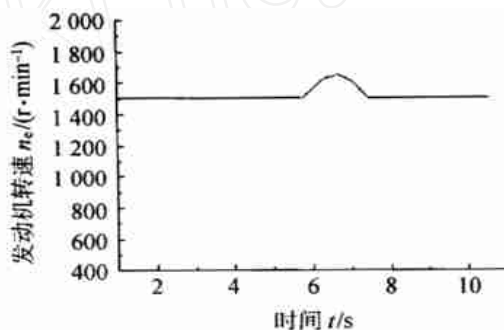


图 4 大负荷突卸试验曲线

Fig. 4 The curve of electronic diesel under big unload

综上所述,采用电控系统的柴油机修正后的调速性能比较好,能够满足复杂条件下装车的使用需求。

4 结束语

对采用位置式 PID 电控系统的 BF8L413F 柴油机进行的怠速和突卸负荷台架试验表明,其怠速可以稳定在 $600 r \cdot \min^{-1}$,转速波动小于 $6 r \cdot \min^{-1}$;柴油机在 $1 500 r \cdot \min^{-1}$,加载负荷 $800 Nm$, $2.1 s$ 后稳定,转速波动小于 $6 r \cdot \min^{-1}$ 。柴油机采用电控系统后,比原来的机械调速器控制精度高,稳态时转速波动小于 $6 r \cdot \min^{-1}$, $800 Nm$ 负荷突卸时,最大扰动的转速 $117 r \cdot \min^{-1}$ 。

参考文献

- [1] 王有信,王松. 柴油机电子控制的现状与进展[J]. 山东内燃机,2002(1):1~5
- [2] 王浩,张欣,王大兴. 大功率柴油机共轨式电控喷射系统的研究[J]. 柴油机设计与制造,2001(1):16~20

(下转第 68 页)

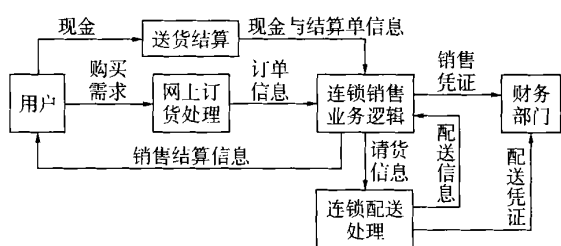


图3 总体数据流图

Fig. 3 Total data flow chart

4 中间层的设计与实现

中间层(应用层)处于表示层和数据层之间,中间层的设计也就是数据库应用程序的设计。中间层功能模块见图4。

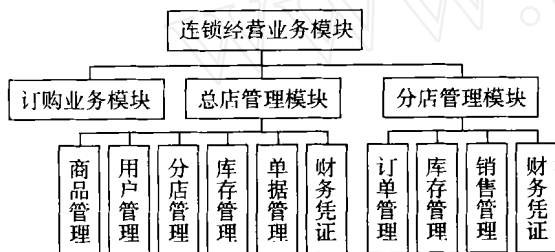


图4 中间层功能模块图

Fig. 4 Functional module diagram of mesosphere

在三层结构体系当中,中间层一方面接受使用者通过浏览器传来的页面请求,经处理后提交到数据库服务器;另一方面把数据库的返回信息传递给使用者,以实现连锁企业的经营业务逻辑。需要特别声明的是,这里提到的使用者不仅仅指通过网络

购买商品的普通消费者,还应该包括连锁店的经营管理人员,他们同样通过浏览器登录进入管理界面,以完成商品的库存管理、销售管理、单据管理等功能。

5 结束语

在充分考虑连锁店经营特点和当前电子商务应用限制的基础上,基于软件工程中 MVC 模式设计思想,进行了软件需求分析和结构化程序设计;采用近年来新兴的三层结构网络数据库体系,使用开放源码组合 LAMP 构建了一个性能好、成本低的电子商务平台,并可以方便地扩展更多的 Web 应用。该设计方案主要适用于中小型连锁企业建站,实现企业 B2C 模式的电子商务。对于资金充裕、网络流量大、对 B2B 模式有较强需求的大型连锁企业,如果采用 UNIX + JSP + Oracle 建站方案,或采用 Weblogic 等中间件技术,可获得更好的性能和可移植性。

参 考 文 献

- [1] 叶飞跃. 基于 Internet 的连锁商业企业的电子商务系统研究[J]. 计算机应用研究, 2001. 4: 64 ~ 65
- [2] 刘力军. 基于 COBRA 的连锁型商业信息系统构架及实现[J]. 计算机应用, 2001. 7: 45 ~ 47
- [3] 张建英, 赵 鹏. 基于分布式数据库与 C/S 的连锁药店管理系统设计与实现[J]. 微机发展, 2002. 2: 66 ~ 69
- [4] 与应用[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1993. 1 ~ 200
- [7] 夏云晔, 杨振祥, 高宗英. VE 型分配泵回油温度控制方法的研究[J]. 内燃机工程, 1999(4): 60 ~ 64
- [8] 魏春源, 何常贵. 风冷柴油机[M]. 北京:机械工业出版社, 1998. 36 ~ 43, 188 ~ 214
- [9] 陶永华, 尹怡欣, 葛芦生. 新型 PID 控制及其应用[M]. 北京:机械工业出版社, 1998. 3 ~ 79

(上接第 57 页)

- [3] 黄 强, 刘永长. 车用柴油机电控燃油喷射的现状与发展[J]. 柴油机设计与制造, 2001(2): 31 ~ 37
- [4] 廖成林. 动力传动一体化控制系统研究与开发[D]. 北京:北京理工大学, 2001
- [5] 夏迎春, 陈慧岩. BF8L413F 柴油机实现电控调速的开发研究[J]. 车用发动机, 2001(6): 31 ~ 34
- [6] 齐秋群. MOTOROLA 32 位单片机 M68300 系列原理