

高原柴油机二级可调增压器控制系统设计

赵锐^a,姚金飞^b,马乐^b,刘言^b

(军事交通学院 a. 基础部; b. 研究生管理大队, 天津 300161)

摘要:提出了一种高原变海拔条件下二级可调增压器控制系统,分析了该系统的工作原理;以 AVR ATMEGA128 单片机为核心控制器,设计了硬件系统,执行机构采用无刷直流智能电机(SRA);提出了变海拔条件下系统的控制策略,可以改善柴油机在不同海拔下的动力性能。

关键词:高原;二级可调增压器;VGT;无刷直流智能电机;控制策略

本文引用格式:赵锐,姚金飞,马乐,等.高原柴油机二级可调增压器控制系统设计[J].四川兵工学报,2014(10):85-88.

中图分类号:TP273

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2014)10-0085-04

Electric Control of Two-stage Turbocharged Engine System Design for Plateau Diesel

ZHAO Rui^a, YAO Jin-fei^b, MA Le^b, LIU Yan^b

(a. General Courses Department; b. Postgraduate Training Brigade, Military Transportation University, Tianjin 300161, China)

Abstract: This paper presented an electric control of two-stage turbocharged engine system design for Plateau Diesel, described the working principle of the system; designed a hardware system using AVR ATMEGA128 microcontroller as the core controllers, adopted the brushless D. C. motor Smart Remote Actuator (SRA) as the actuator system; proposed control strategy under varying altitude conditions that can improve the performance of diesel power at different altitudes.

Key words: plateau; two-stage turbocharged engine system; VGT; brushless D. C. motor smart remote actuator; control strategy

Citation format: ZHAO Rui, YAO Jin-fei, MA Le, et al. Electric Control of Two-stage Turbocharged Engine System Design for Plateau Diesel[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2014(10):85-88.

柴油机二级增压技术是解决高原气压不足一种行之有效的办法,可变截面涡轮增压器通过调节涡轮流通面积,不仅能适应平原运行时不同发动机转速的进气需求,也能适应海拔变化,满足不同海拔、不同进气压力下的最佳增压需求,实现发动机在各海拔下的最佳动力性和燃油经济性^[1]。随着电子技术的发展,可变截面涡轮增压器电子控制系统以其控制精度高、反应灵敏和便于实现增压器与柴油机在全工况范围内的优化匹配等优点而成为研究的重点^[2]。发动机电控系统(ECU)作为发动机的大脑,其工作状况决定着整

个系统能否按照既定控制策略完成控制,因此开发一个稳定有效的电控系统意义重大。

本文所述的电控系统采用 AVR ATMEGA128 单片机为核心控制器,通过接收柴油机 ECU 传来的转速、油量、增压压力等参数,根据三维 MAP 图查询当前转速、油门下的目标增压压力值,然后通过模糊 PID 控制算法将得到的控制量以 PWM 波的形式发给各个阀门的执行机构(直流电机),使得各个阀门处于所需要的开度,从而使发动机处于最佳工作状态。

收稿日期:2014-06-12

作者简介:赵锐(1957—),男,硕士,教授,主要从事交通信息工程及控制、计算机硬件研究。

1 控制系统总体框架设计

本文所述增压器控制系统以 AVR 系列 ATMEGA128 单片机为核心控制器,主要包括:电源管理模块、信号采集模块、驱动模块、通信模块、状态显示模块和处理控制模块。本文重点介绍 VGT(可变喷嘴截面)的闭环控制系统设计。

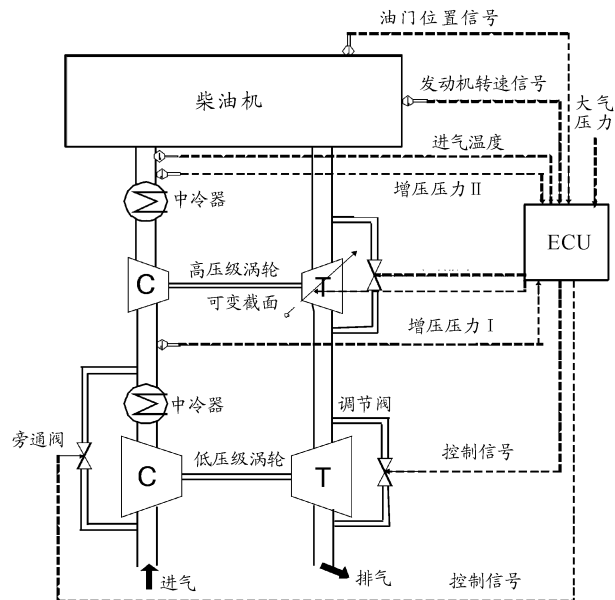


图1 二级可调增压系统总体设计方案

本文为了达到海拔 5 500 m 额定功率恢复至平原状态的 90% 为目标,设计了二级可调增压系统总体设计方案,如图 1 所示。从图 1 中可以看出,控制系统的工作过程:

1) 控制器 (ECU) 的信号采集系统采集发动机转速信号、油门位置信号、增压压力信号、进气温度信号和大气压力信号。

2) 控制器 (ECU) 根据三维 MAP 图查询当前海拔高度 (由大气压力判断)、发动机转速和油门位置下的增压压力,再通过进气温度信号对比增压压力信号进行修正,得到目标增压压力。

3) 控制器 (ECU) 再通过控制高、低压级各个调节阀的开度,从而改变涡轮流通面积,使得进气压力达到目标增压压力值,完成二级可调增压器与柴油机的良好匹配。

2 硬件设计

二级增压控制系统的硬件主要由控制器 (ECU)、传感器和执行机构 3 部分组成。其中整个系统的核心是控制器 (ECU),像大脑一样,起着指挥信号采集、决策和控制的作用。从硬件上看,控制器包括单片机和信号处理电路、电源系统和执行器驱动电路等。另外此系统还包括状态及故障显示单元、以及计算机通信单元。如图 2 所示。

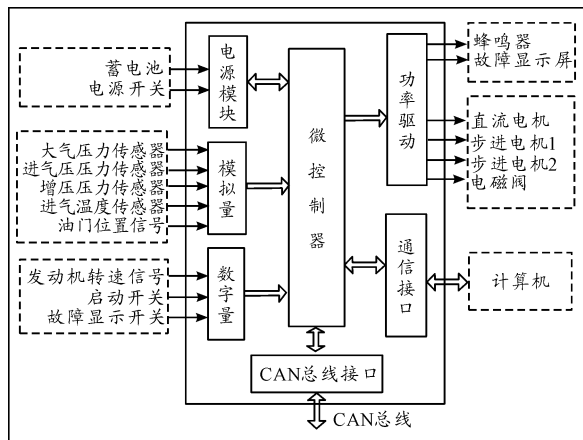


图2 二级可调增压器控制系统硬件设计框图

控制器硬件设计特性:由于该控制器的使用环境非常恶劣,其能否正常工作直接影响到二级可调增压器的正常运行。因此,增压器控制器的硬件设计必须满足高要求,高可靠性。

1) 主控制板:控制系统采用单片机控制,选用 ATMEL 公司的 megaAVR 系列 ATmega128 单片机。其包括 128 kB 的 FLASH 程序存储空间以及 4kB 的内部 RAM 数据存储空间,53 个可编程 I/O 口,输入输出可控,内部 8 通道 10 位 ADC 转换器以及 8 个可编程 PWM 输出通道。此单片机具有较强的扩展能力、方便开发,可以满足此控制系统的需求。

2) 信号采集:为了判断发动机的工况,需要转速传感器和油门位置传感器;由于采用增压压力的闭环控制,所以还需要增压压力传感器;进气温度传感器是因为在实际运用中的大气环境条件与实验室的条件不相同,需要知道进气温度,以对从脉谱图中查出的增压压力进行修正。

3) 执行机构:针对增压器的工作环境以及控制目标的需求,VGT(可变喷嘴截面)调节阀的执行器件为 24 V 无刷直流智能电机 (SRA);高压级及低压级调节阀采用 24 V 大功率 4 相步进电机作为执行机构;低压级旁通阀采用电磁阀进行开关控制。上述直流电机与步进电机均采用闭环控制,能够实现对调节阀的连续控制。

VGT 执行机构的精度、可靠性、响应速度对于整个控制系统能否实现控制目标有着决定性的影响。由于 VGT 的执行机构的设计受涡轮排气温度、执行器动力来源、柴油机振动以及机构尺寸等因素的限制,并且要求其反应迅速、驱动可靠、精确灵活、该系统的开发有一定难度。特别是对于不带气泵的发动机,其执行机构的方案选择受到更大的限制^[3]。

本文选择的 VGT 的电动执行器为德尔福 (DELPHI) 公司的无刷直流智能电机 (SRA),是一个高要求、高精度电动执行器。该设备的结构包括无刷直流电机、齿轮传动结构和控制主板,主板可以通过 CAN 总线与计算机以及增压器 ECU 进行通信,并且控制电机的转动和齿轮传动,从而实现精确的位置控制。SRA 拥有高扭矩和出色的耐久性,扭矩范

围为 1 ~ 10 mm。这个执行器由于体积小,可以快速、准确的实现位置控制,因此适合用于涡轮增压器控制。

无刷直流智能电机(SRA)与 VGT 叶片之间通过连杆机构进行连接,如图 3 所示。由于叶片开度与连杆位移的对应关系已知,因此,通过标定可以得到直流电机的行程和叶片开度的对应关系,这样可以实现对叶片开度的精确控制。

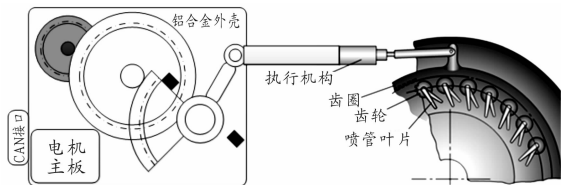


图3 VGT控制原理

4) 电源系统:电源系统电路要求在汽车各种不同的运行工况下,电源电压都能保持稳定精确地输出。本文电源系统电路用来将车载 24 V 蓄电池电压转化为 24 V、12 V 和 5 V 稳定供电电压。其中 24 V 电压的额定电流为 10 A。

5) 抗干扰措施:本系统硬件抗干扰的主要措施为尽量

把干扰信号在进入单片机前加以消除。具体措施为:单片机使用稳压滤波电源;在电源输入端与接地之间分布并联去耦电容;各供电回路公用一点接地;电路接地尽量缩短长度,并用较粗的导线;发动机信号的信息传递中,采用光耦合器,消除其对单片机的干扰;

3 控制策略设计

控制由于本控制系统属于多输入多输出系统,并且工作状况比较复杂,因此想要对各个执行器进行迅速、准确的控制,并且在各个工作状态都能实现良好的控制效果,控制策略在这里就非常关键。

1) 二级可调增压器的工作过程

二级增压系统工作过程:海拔 2 000 m 以下,高压级涡轮增压器工作,低压级增压器不工作;海拔 2000m 以上,两级增压器联合工作模式,在不同的海拔高度通过调节两级涡轮调节阀、可变截面涡轮叶片开度以及进气旁通阀的开闭来保证整机性能。二级可调增压系统工作过程如表 1 所示。

表 1 二级可调增压系统工作过程

海拔高度/m	工作区域	柴油机转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	增压器工作情况	VGT 控制阀	高压级涡轮旁通阀	低压级涡轮旁通阀	低压级压气机旁通阀
0	1	900 ~ 2 100	高压级工作	小	开	开	开
3 000	1	< 1 400	联合工作	小开度	关	关	关
	2	1 400 ~ 2 100		调节开度	调节	调节	关
5 500	1	< 1 400	联合工作	小开度	关	调节	关
	2	1 400 ~ 2 100		调节开度	调节	调节	关

柴油机在不同工况下期望有不同的增压压力,因此要求调节阀具有根据柴油机工况对增压压力进行控制的能力:稳态工况下,实际增压压力要尽量趋近于期望增压压力,并具有抗干扰的能力;瞬态工况下,控制器应能够快速调节增压压力收敛到新工况下的期望值,调节时间要尽量短,而且不能出现过度的超调和振荡^[4,5]。为了实现以上要求,需要对可调二级增压柴油机的增压压力控制策略进行研究。

柴油机二级可调增压控制系统是以高压级涡轮增压器的增压压力值作为实时控制目标的闭环控制系统^[6]。涡轮增压是柴油机空气系统的重要组成部分,由于空气系统的非线性特性,控制系统采用闭环控制来克服滞回特性和延迟特性,另一方面控制系统可以获得实时的柴油机状态参数满足系统的瞬态响应特性。此外,控制系统还要对柴油机的运行工况以及 PID 控制情况进行监视,根据情况是否对切断增压调节控制。涡轮增压调节控制系统的控制策略如图 4 所示。

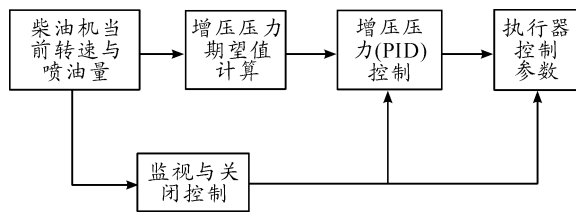


图4 二级增压调节控制策略

2) 二级可调增压系统控制流程

如图 5 所示,当发动机启动时,程序开始执行。控制系统读取环境压力 MAP 信号,如果环境压力大于 80 kPa,低压级压气机旁通阀和涡轮机调节阀全开。如果环境压力小于 80 kPa,低压级压气机旁通阀关闭;程序读取增压压力 IMAP,控制程序确定 MAP 是否升高,若未升高,判断是否降低,若未降低,程序结束。

程序开始读取增压压力 II MAP 信号,判断 MAP 是否升高,若升高,再判断 VGT 是否全开,如果没有全开,增大 VGT,如果全开,再判断调节阀 RV II 是否全开,若没有全开,

增大 RV II,若全开,程序结束。增压压力 II MAP 若降低,判断 RV II 是否全闭,如果全闭再判断 VGT 全闭,如果全闭程序结束。

3) VGT 控制策略的技术特点

以无刷直流智能电机(SRA)为执行器,通过发动机转速传感器和油门位置传感器两个信号查已标定的 MAP 图,得

到增压压力,再通过进气温度信号对比增压压力信号进行修正,得到目标增压压力,进行 PID 控制。瞬态时,采用模糊-PID 控制算法控制 VGT 调节阀的开度;稳态时,采用了随 VGT 开度变化的参数 PID 控制,更加实现了对目标压力的良好控制。

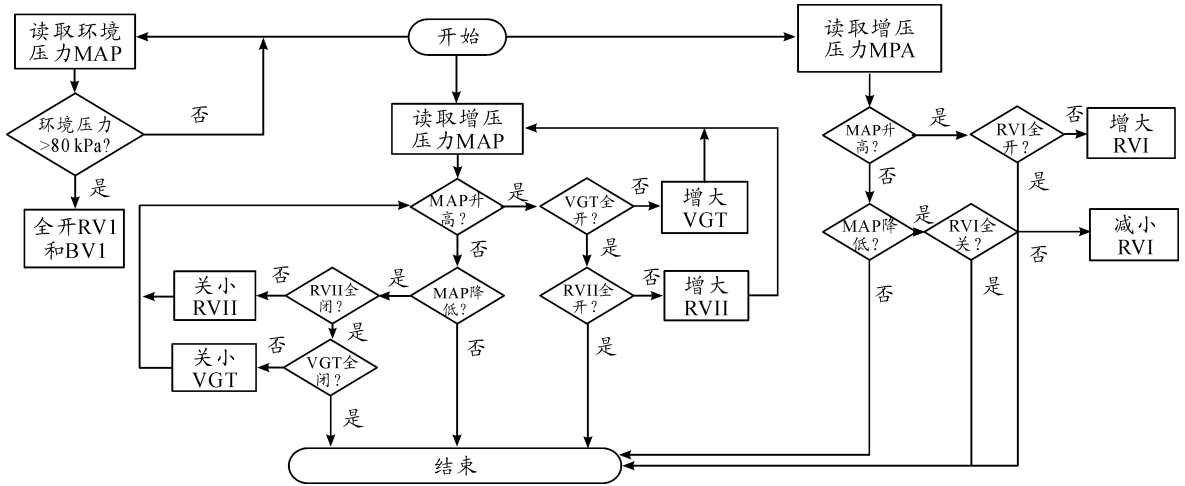


图5 二级可调增压控制流程

4 结束语

本文提出了一种高原变海拔条件下二级可调增压器控制系统设计。设计的控制系统的硬件系统,通过对无刷直流智能电机(SRA)的控制,可以实现 VGT 调节阀快速、准确的位置控制。设计的控制策略可以满足柴油机在变海拔工况时增压器与柴油机的良好匹配,从而改善柴油机在不同海拔下的动力性能。

参考文献:

- [1] 刘瑞林. 柴油机高原环境适应性研究[M]. 北京:北京理工大学出版社,2013.
- [2] 龚振青,周明,李希浩,等. 车用柴油机可变截面涡轮增压

压器控制系统研究[J]. 汽车工程,2001,23(4):279-282.

- [3] Moody J F. Variable Geometry Turbocharging with Electric Control[C]//SAE 860107. [S.l.]:[s.n.],1999.
- [4] 马朝臣,朱庆,杨长茂,等. 涡轮调节方式对增压柴油机匹配性能的影响[J]. 内燃机学报,2000,18(2):165-167.
- [5] 孟长江,褚全红,张春,等. 可变喷嘴涡轮增压器控制策略研究[J]. 车用发动机,2008,175:72-75.
- [6] Alexandros Plianos. Modeling and Control of Diesel Engines Equipped with a Two-Stage Turbo-System[C]//SAE Paper 2008-01-1018. [S.l.]:[s.n.],2008.

(责任编辑 杨继森)