

船用中速柴油机嵌入式机旁监控系统研制

张 猛¹, 杨建国^{1,2}, 胡旭钢³, 余永华^{1,2}, 陈智君¹, 胡 宾³

- (1. 武汉理工大学能源与动力工程学院, 湖北 武汉 430063;
2. 船舶动力工程技术交通行业重点实验室, 湖北 武汉 430063;
3. 上海齐耀系统工程有限公司, 上海 200245)

摘 要: 介绍了船用中速柴油机嵌入式机旁监控系统的研制, 包括总体结构、系统硬件及软件, 并进行了监控系统的船用中速柴油机实机试验。试验表明: 所研制的嵌入式机旁监控系统实现了柴油机运行参数监测、起停、调速和压力温度监测、自诊断和远程诊断等功能, 为船用中速柴油机机旁监控系统的工程应用提供了技术支持。

关键词: 机旁监控系统; 嵌入式系统; 船用中速柴油机

中图分类号: TK421⁺.6 文献标识码: A 文章编号: 1001-4357(2019)02-0036-06

Development of Embedded Local Monitoring and Control System for Medium-Speed Diesel Engines

Zhang Meng¹, Yang Jianguo^{1,2}, Hu Xugang³, Yu Yonghua^{1,2}, Chen Zhijun¹, Hu Bin³

- (1. School of Energy and Power Engineering, Wuhan University of Technology, Hubei Wuhan 430063;
2. Key Laboratory of Marine Power Engineering & Technology under the Ministry of Communications PRC, Hubei Wuhan 430063;
3. Shanghai Qiyao System Engineering Co., Ltd., Shanghai 200245)

Abstract: The development of an embedded local monitoring and control system for marine medium-speed diesel engines is present, including the overall structure, hardware and software of the system. The monitoring and control system was tested on a marine medium-speed diesel engine. The test results show that the developed embedded local monitoring and control system could realize the functions of monitoring the diesel engine running parameters, starting and stopping the engine, regulating the speed, monitoring the pressure and the temperature, self-diagnosing and remote-diagnosing, which offers technical support for the engineering application of local monitoring and control systems for marine medium-speed diesel engines.

Key words: local monitoring and control system; embedded system; marine medium-speed diesel engine

0 引 言

机旁监控系统是船用中速柴油机的关键部件之一。国际著名船用发动机厂商均开发了自主的智能监控系统, 如德国 MAN B&W 公司的 SaCoSone 系统和芬兰 Wärtsilä 公司的 UNIC 系统等。SaCoSone

系统采用模块化设计、热冗余总线、高性能嵌入式芯片及智能控制等前沿技术, 具有对船用柴油机运行操作、安全保护、监测报警和电子调速等功能。UNIC 系统采用模块化设计及总线通讯方式, 系统扩展和配置方便, 可用于船用柴油机安全保护、机旁监控、负荷控制及系统运行自检等^[1]。

收稿日期: 2018-05-13; 修回日期: 2018-09-17

基金项目: 上海市经济和信息化委员会信息化发展专项 (201602020)。

作者简介: 张猛(1994-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为柴油机监控系统, 496614772@qq.com。

目前我国引进专利生产的柴油机主要采用进口的机旁监控系统。国外厂商基于核心技术封锁及保护等因素,并未考虑将机旁监控系统本土化生产;而国内也尚未完全研制出与国外技术相当的船用柴油机监控系统。目前,国产柴油机机旁监控系统只能提供满足船级社基本要求的监测、报警和安全模块等功能。因此,开发与国际先进技术水平相当的船用机旁监控系统具有十分重要的意义和工程应用价值。

本文在分析国际先进船用中速柴油机机旁监控系统技术特点及市场调研的基础上,开展集机旁控制和远程监测为一体的嵌入式船用中速柴油机机旁监控系统的研制。与国外先进技术相比,所研制的机旁监控系统除具备同样产品性能,还新增系统自诊断和在线标定等功能。

1 系统总体结构

船用中速柴油机控制系统主要由遥控操纵台、机旁监控系统、调速器和外部以太网等组成,其系统结构如图1所示。

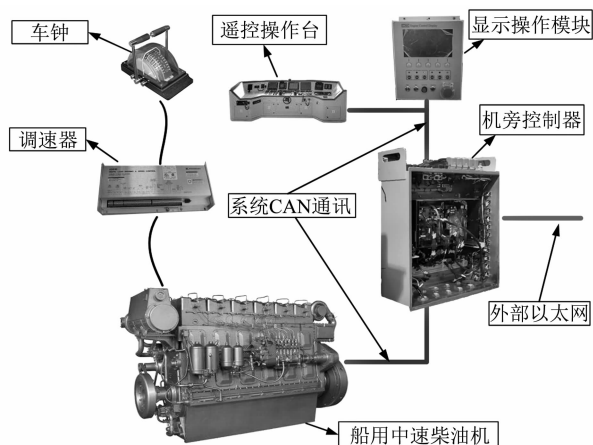


图1 船用中速柴油机控制系统结构图

船用柴油机的起停可在集控室、机旁或驾驶台手动操作,均设有手动急停按钮,也可手动控制车钟进行换向或转速改变。

2 系统硬件设计

嵌入式系统是集软件、硬件为一体,面对特定应用对象的系统。开发的船用中速柴油机嵌入式机旁监控系统硬件的总体架构如图2所示。系统由主控单元、人机交互单元和电子调速单元构成。主控单元与人机交互单元通过CAN总线进行数据通讯。

2.1 主控单元

主控单元由监测及控制模块、安全保护模块

组成。

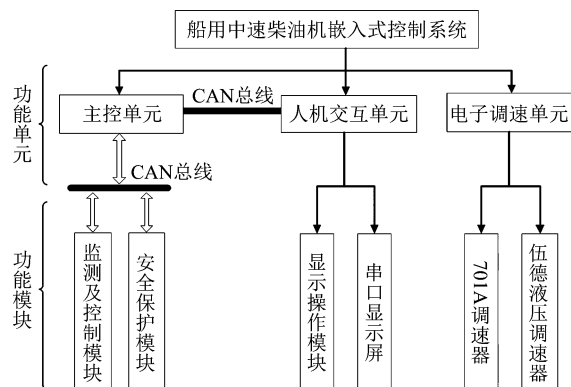


图2 机旁监控系统的硬件架构

监测及控制模块应满足体积小、抗电磁干扰能力强和运行处理速度快等技术要求。考虑到船用柴油机监测参数较多,主控芯片应有丰富接口,选用了STM32F系列STM32F207ZET6单片机作为主控芯片(图3)。监测及控制模块通过芯片自带的ADC模块采集PT100、PT1000热电阻以及4~20 mA压力信号;采用芯片TIM(定时器)模块测量频率量转速信号。使用2路CAN总线进行通讯。逻辑控制I/O输入32路、输出17路,均自带隔离及断线检测电路,以保证信号的可靠性。

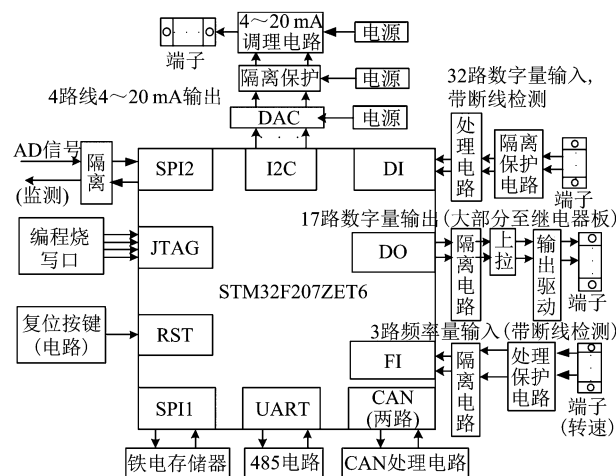


图3 监测及控制模块主控芯片

安全保护模块有输入量16路和输出量6路,主控芯片采用STM32F系列STM32F207ZET6单片机(图4)。通过芯片自带的ADC模块进行模拟量采集;芯片TIM(定时器)模块测量脉冲转速信号,用以处理紧急或故障停止。

2.2 人机交互单元

人机交互单元由显示操作模块和串口显示屏组成。

显示操作模块实时监控柴油机的运行状态和参

数,并记录若干条报警记录。主控芯片仍采用 STM32F 系列 STM32F207ZET6 单片机(图5)。此模块与主控单元中各模块间通过 CAN 通讯接口连接。模块实现启停、遥控、机旁、复位、试灯、UP 和 DOWNS 等按键命令,并将运行状态参数和报警信息等通过 232 串口实时发送至串口显示屏中。

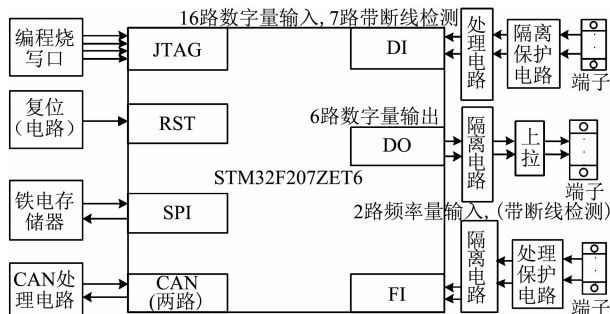


图4 安全保护模块主控芯片

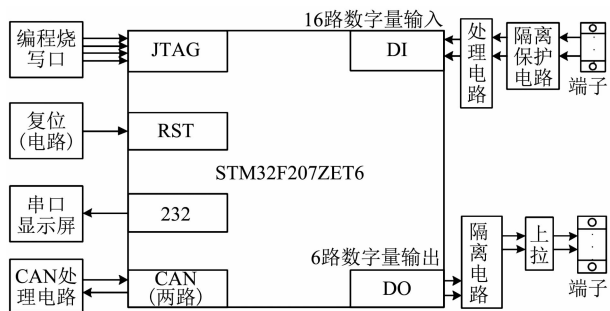


图5 显示操作模块主控芯片

串口显示屏选用标准 DGUS 屏,主要显示包括开关量和模拟量等参数,其中部分开关量参数用图形显示;断线检测开关量显示传感器状态;部分模拟量用柱状图显示,辅以数值显示。

2.3 电子调速单元

调速单元框图如图6所示,车钟输出 4~20 mA 标准电流信号给 701A 控制器,调速器驱动 WOODWARD UG-A 液压执行器,实现对柴油机转速调控。

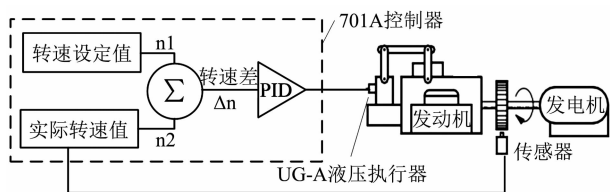


图6 调速单元组成框图

应用数字 PID 进行系统调速,其算法如下式:

$$u(k) = K_p(e(k) + \frac{1}{T_i} \int e(k) dk + T_d \frac{de(k)}{dt}) \quad (1)$$

式中: $u(k)$ 、 $e(k)$ 为调节量和转速偏差量; K_p 、 T_i 、 T_d 分别为比例增益、积分时间常数、微分时间常数^[2]。

701A 控制器在求和点比较转速传感器输出的转速值与转速参考值,如转速低于或高于参考值,则 PID 的响应计算值被送至执行器,增大或减小执行电流,执行器相应执行驱动信号,重新定位燃油齿条位置,改变原转速,直至输出转速值与参考值相同^[3]。

3 系统软件开发

嵌入式机旁监控系统软件的核心是对柴油机运行参数进行监测和显示,实现对柴油机的安全保护、操纵、故障诊断和在线标定等功能,其架构如图7所示。基于硬件的集成开发环境,运用结构化 C 语言进行系统开发。使用 C 语言可极大增强代码复用能力,其层次清晰,便于按模块化方式组织程序,易于调试和维护。上位机及下位机的软件开发采用 Keil μ Vision5,其生成的目标代码效率高、汇编代码紧凑和条理清晰。

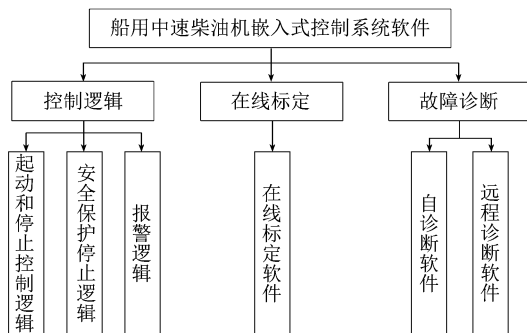


图7 机旁监控系统的软件架构

3.1 控制逻辑

柴油机起动和停止逻辑控制如图8所示。柴油机满足盘车开关断开、柴油机停止、停止电磁阀关闭及燃油手柄打开等全部条件时允许起动。按下对应起动按钮,起动空气电磁阀打开,6 s 后达到起动转速后起动电磁阀关闭,否则起动失败。柴油机处于运行状态时,按下停止按钮,燃油手柄开关关闭时,停止电磁阀打开,柴油机停止。

安全保护停止逻辑如图9所示,安全保护模块自动监测重要参数和状态,当柴油机出现不正常状态或故障时发出报警信息。安全保护模块还设置了以下安全保护功能:

- (1) 故障减速。柴油机滑油压力低或淡水温度高时,控制其减速至设定的转速。
- (2) 故障停止。柴油机超速、淡水温度过高

和滑油进机压力低时, 控制停止电磁阀停油、停机。

(3) 应急停止。特殊情况下可应急停止, 在机旁或集控室手动按下“应急停止”按钮, 直接控制停止电磁阀动作, 实现停油、停机。

机旁监控系统对温度与压力的报警逻辑如图 10a) 所示, 其流程基本相同, 均采用报警阈值、复位阈值和报警延时。开关量报警逻辑如图 10b)。

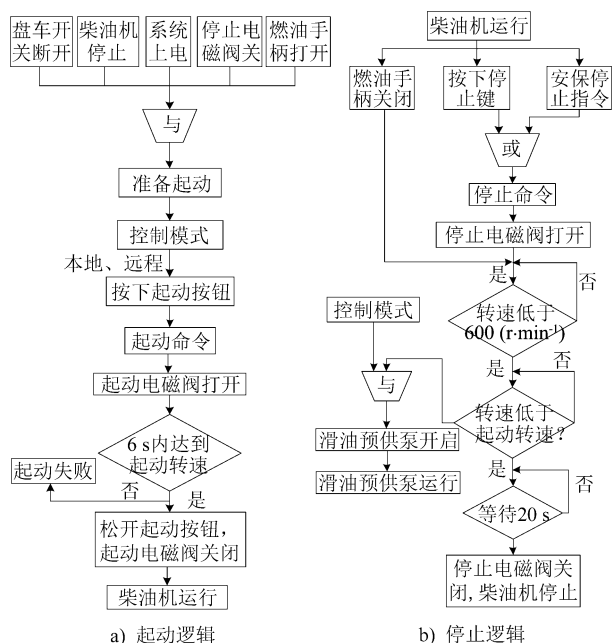


图 8 起停逻辑流程

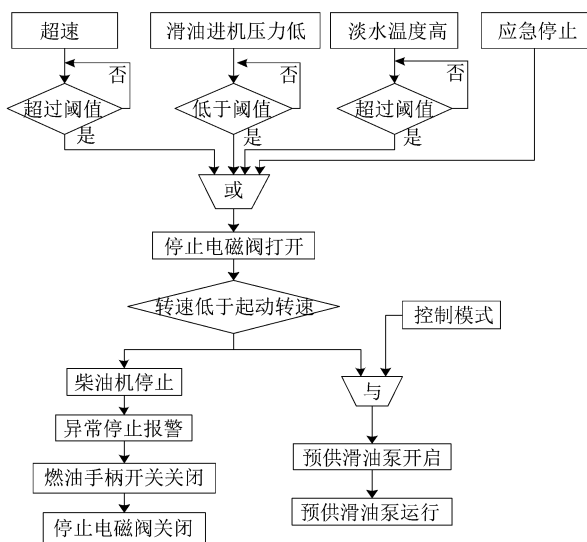


图 9 安全保护停止逻辑

3.2 在线标定软件

在线标定软件与主控单元各模块间通过 CAN 总线用 CCP 协议进行通讯 (图 11), 实时监视参数并记录, 可在机器运转时实时修正热力参数的状态信息。在线标定软件位于实时数据界面时, 若有

新报警则对应通道应高亮变红显示。可将监测及控制模块中储存的历史报警记录读取至标定软件, 并以表格的形式显示。在线标定模块的参数配置界面可以对须要配置的通道进行配置, 包括报警界限、报警延迟和模拟量数据显示。

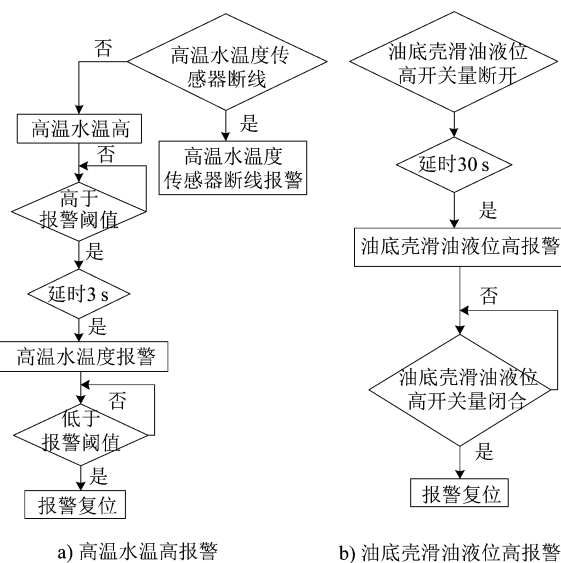


图 10 报警程序逻辑

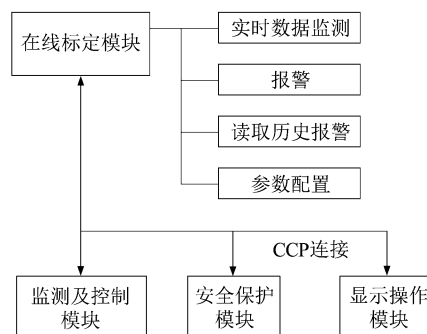


图 11 在线标定软件 CCP 通讯

3.3 故障诊断

故障诊断包括自诊断及远程诊断。自诊断主要包括监测系统与安保系统的诊断、控制功能模拟诊断以及通信状态检测。自诊断软件以数据为基础, 所有控制和检测元件连接到基本单元, 实现柴油机运行参数采集, 实时监控转速和燃油进机压力等参数。当有参数超过阈值时启动响应, 必要时报警并启动应急措施, 同时将须要显示的参数和报警以通讯形式发送至显示操作模块。

远程诊断软件通过外部通信将实时数据发送至外部数据库, 用于故障诊断及记录, 通过外部通信回传控制命令, 如图 12 所示^[4]。

局域网均采用 IEEE802.3 方案组网, 在其之上的网络层和传输层协议采用 IP 和 TCP 协议, 外

部连接接口选用 W5500 以太网芯片, 因篇幅有限不详细介绍。

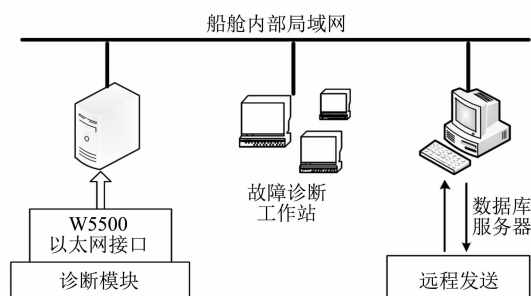


图 12 远程诊断结构

4 船用柴油机试验验证

本文基于 MAN 6L16/24 型船用中速柴油机进行机旁监控系统试验验证。MAN 6L16/24 主要参数如表 1 所示。用所研制的机旁监控系统取代原机旁控制系统, 在柴油机试验台架上进行系统接口、监控系统各部分功能和性能测试, 如图 13。

表 1 MAN L16/24 柴油机主要参数

类型	直列、四冲程
缸数	6
缸径/mm	160
冲程/mm	240
转速/($r \cdot \min^{-1}$)	1 000
最高燃烧压力/MPa	18.5
额定功率/kW	540

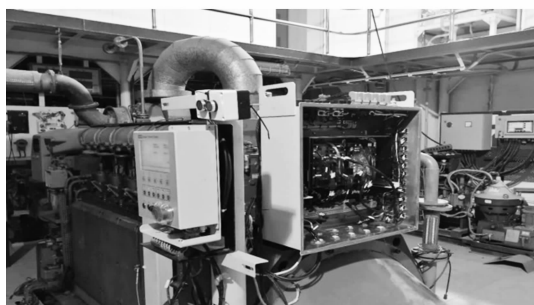


图 13 柴油机试验现场

根据中国船级社 (CCS)《钢质海船入级规范》(2012) 及 GD01-2006《电气电子产品型式认可试验指南》规定要求, 分别在柴油机 0%、50%、75%、100% 负荷下进行试验, 将试验结果与柴油机试车报告进行比对, 并测试柴油机起动、停止、应急停止、故障停止和报警等功能。

为防止出现柴油机运行后无法正常停止的意外状况, 首先测试停止电磁阀功能, 确认无误后进行起动试验。通过系统平台观测系统响应停止所发出的信号。图 14 是柴油机起动过程: 柴油机 3 s 内

达到起动转速, 4 s 达到额定转速, 完成起动。

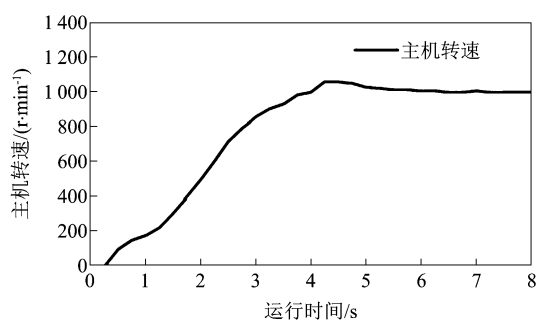


图 14 柴油机起动过程

柴油机达额定转速后停止过程 (图 15): 按下停止按钮后, 3.5 s 内低于起动转速, 7 s 内柴油机停止。

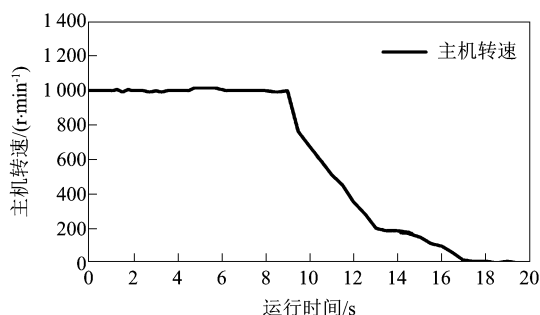


图 15 柴油机停止过程

选取柴油机超速、滑油低压、高温水温等典型故障进行停止逻辑试验, 采取调整阈值或更改测量位置的方法进行模拟, 试验结果如表 2 所示。

表 2 停止逻辑试验结果

试验名称	阈值	延时/s	实现
启动故障	ON/OFF	10	OK
超速停止	800 ($r \cdot \min^{-1}$)	1	799 ($r \cdot \min^{-1}$)
高温水温高停止	50 $^{\circ}\text{C}$	0	49.9 $^{\circ}\text{C}$
滑油压力低停止	0.3 MPa	0	0.29 MPa
本地/遥控切换	功能	0	OK
电源故障	ON/OFF	0	OK

为保证本系统在柴油机复杂工况下可完成相应功能, 根据中国船级社 (CCS)《钢质海船入级规范》(2012) 及其 2013 修改通报第 7 篇第 2 章规定的工况环境 (水力测功器测量柴油机功率), 柴油机负荷从 0% ~ 100% 逐渐递增, 选择 0%、0 ~ 50%、50% ~ 75%、75% ~ 100% 四个状态, 观察系统运行状况。

柴油机负荷从 0% 增至 100% 过程中, 其转速保持在其额定转速 1 000 ($r \cdot \min^{-1}$), 功率从 20 kW 增至额定功率 540 kW。低温水、高温水、

燃油各监控结果如图 16 所示。柴油机按负荷特性, 其高温水温度随负荷增加, 从 41℃ 平稳增至 72℃ 左右; 低温水及燃油温度较平稳; 排气温度亦呈明显的递增趋势, 随负荷增加各缸排气温度值趋于平稳, 如图 17 所示。

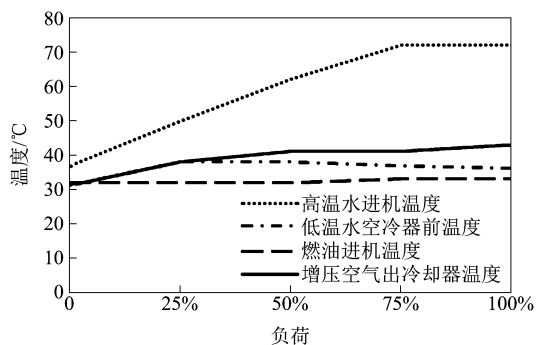


图 16 柴油机不同负荷下的温度参数

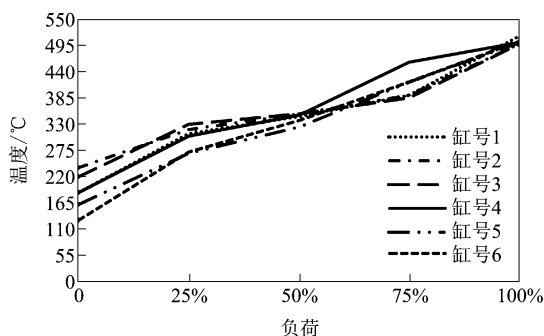


图 17 柴油机不同负荷下的各缸排温

监测到的滑油压力等较为平稳, 在相同的环境温度条件, 柴油机 50% 负荷下滑油压力偏差在 0.01 MPa 以内; 75% 负荷下的偏差在 0.005 MPa 左右; 100% 负荷的偏差为 0.01 MPa, 满足设计及规范要求。图 18 给出柴油机不同负荷各点的压力平均值。

MAN B&W 6L16/24 型柴油机的实机试验表明: 所开发的船用中速柴油机嵌入式机旁监控系统参数采集准确可靠, 数据偏差符合 CCS 规范要求; 通讯显示稳定及时, 控制响应均保持在 1 s 内; 长

时间运行不影响监测和控制功能。

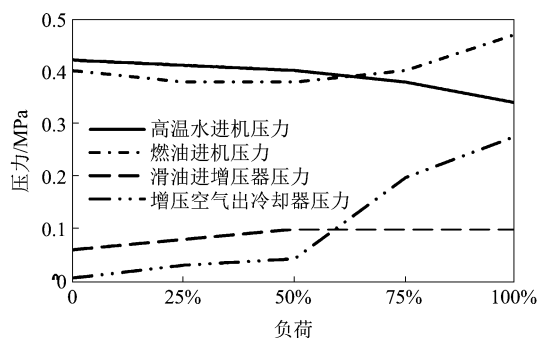


图 18 柴油机不同负荷下的压力平均值

5 结论

(1) 所研究的监控系统实现了柴油机运行参数监测、起停、调速、自诊断、安全保护等功能, 满足了船用中速柴油机安全稳定和可靠运行的要求。

(2) 监控系统实机试验表明: 开发的嵌入式船用中速柴油机机旁监控系统工作稳定可靠, 抗干扰能力强, 技术指标达到了中国船级社 (CCS) 《钢质海船入级规范》(2012) 及 GD01-2006 《电气电子产品型式认可试验指南》所规定的要求。

参考文献

- [1] 吴卓成, 黄文君. 船用柴油机智能报警监控系统的设计 [J]. 中国造船, 2009, 50 (3): 146-150.
- [2] 汪忠海, 陆平, 宋恩哲, 等. 柴油机数字式电子调速器 [C]. 第十六届全国大功率柴油机学术年会, 2005.
- [3] HU Y, YANG J G, HU N, et al. Research and development of electronic speed control strategies for medium-speed marine diesel engines [J], International Journal of Engine Research, 2017 (8): 146808741772500.
- [4] 喻方平, 金晓军, 杨建国, 等. 船舶柴油机远程诊断系统诊断中心的设计 [J]. 海军工程大学学报, 2002, 14 (1): 11-14.