

基于 ARM 微处理器的船用发动机 示功图测试系统开发

伍柳泉¹, 余永华^{1,2}, 张立浩¹, 万 标¹, 杨建国^{1,2}

(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)

摘 要: 以 ARM 处理器为主要控制单元开发船用发动机示功图测试系统。该测试系统主控芯片具有集成度高、片内资源丰富、数据分析速度快、精度高, 在高温和振动等工作环境下稳定工作的特点; 外围电路设计简单, 抗干扰性强。通过测量的各缸气缸压力示功图和特征参数计算结果的比较, 可以准确有效地定位柴油机故障。试验验证表明: 所开发的测试系统的功能和精度满足船用发动机气缸压力测量要求。

关键词: 船用发动机; 气缸压力; 测试系统; ARM 微处理器

中图分类号: TK421⁺.27 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2017)01-0029-05

Development of Indicator Diagram Testing System Based on ARM Microprocessor for Marine Diesel Engines

Wu Liuquan¹, Yu Yonghua^{1,2}, Zhang Lihao¹, Wan Biao¹, Yang Jianguo^{1,2}

(1. School of Energy and Power Engineering, Wuhan University of Technology, Hubei Wuhan 430063;
2. Key Laboratory of Marine Power Engineering and Technology Granted by MOT, Hubei Wuhan 430063)

Abstract: The indicator diagram testing system for marine diesel engine which taking ARM microprocessor as main control unit has been developed, and its main control chip features high integration level, rich resources within the chip, high speed of data process, high accuracy, and stable operation under the working condition of high temperature and vibration, and its peripheral circuit boasts simple design, and good anti-interference performance. By comparison of each cylinder's pressure indicator diagrams and characteristic parameter calculation results, the failure position could be determined accurately. Experimental results verify that the functions and accuracy of the developed test system could meet the demand of engine cylinder pressure measurement.

Key words: marine diesel engine; cylinder pressure; testing system; ARM microprocessor

0 引 言

船用发动机工作环境十分恶劣, 随着强载度的提高, 发生故障的可能性增大。一旦故障发生, 不仅造成巨大的经济损失, 甚至可能造成人员伤亡。

为了监测船用发动机运行状态, 避免重大事故的发生, 国内外相继开展了船用发动机监测诊断技术的研究。气缸压力示功图中蕴含着丰富的发动机缸内工作状态信息, 是发动机状态监测和故障诊断的重要热力参数之一。国外具有代表性的监测系统有:

收稿日期: 2016-08-18; 修回日期: 2016-10-14

基金项目: 国家科技支撑计划 (2015BAG16B00)。

作者简介: 伍柳泉 (1991-), 男, 硕士研究生在读, 主要研究方向为柴油机监测、诊断与控制技术, E-mail: 751591413@qq.com。

MAN B&W 公司研发的二冲程低速柴油机气缸压力在线监测系统 (Diesel' On-line PMI System), 其采用主从单元设计思想, 实现了在高温、高湿、振动和电磁干扰等恶劣环境下的气缸压力在线监测; Warsilia 则综合采用基于 ABB Cylmate system 技术和气缸压力性能参数检测技术, 研发了 ICM 在线缸压测试系统, 实现了二冲程低速柴油机气缸压力在线测量。国内开发的气缸压力测试系统主要有离线气缸压力测试系统^{[2][3]}, 该测试系统采用电荷型气缸压力传感器, 受外界干扰大, 传输距离有限; 采集控制器以 AT89S52 单片机为核心, 其处理速度及片内可用资源有限, 抗干扰能力差。随着电流型气缸压力传感器的应用, 须开发针对电流信号处理的采集控制器, 以适应转速范围宽的船用发动机气缸压力的测量分析。本文针对电流型气缸压力传感器, 开发基于 ARM 32 位微处理器的船用中低速发动机气缸压力测试系统, 该测试系统主要由便携式采集控制器及其外围电路和上位机分析软件组成; 采集控制器以 32 位处理器 STM32F103VC 系列单片机为核心, 其芯片具有集成度高、内资源更加丰富、数据分析速度快、精度高, 在高温和振动等工作环境下稳定工作的特点。

1 系统硬件设计

船用发动机气缸压力测试系统的硬件结构如图 1 所示, 其核心体现在采集控制器的设计。

1.1 采集控制器工作原理

如图 1 所示, 便携式采集控制器根据上止点和曲轴转角信号对气缸压力信号进行等曲轴转角采集, 多周期平均, 信号当地存储或 RS485 发送。采集控制器通过上止点信号触发气缸压力信号的采集, 再根据曲轴转角脉冲信号触发气缸压力的等曲轴转角采集。采集的数据默认为 10 个工作循环, 也可根据需要修改, 经周期平均后当地保存或通过 RS485 发送至上位机。便携式采集控制器内部结构图如图 2 所示。

1.2 便携式采集控制器设计

如图 1 和图 2 所示, 便携式采集控制器由电源模块、信号调理模块、数据存储及通信模块, 控制器及外围电路模块等部分组成。安装在柴油机飞轮端的霍尔式传感器或磁电式传感器测量获得曲轴转角和上止点信号; 安装在发动机示功阀上的电流型气缸压力传感器测量气缸压力信号。气缸压力传感器主要参数如表 1 所示。

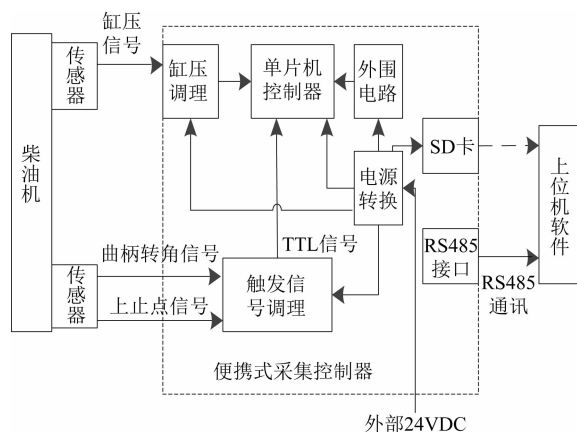


图 1 船用发动机气缸压力测量系统的硬件结构

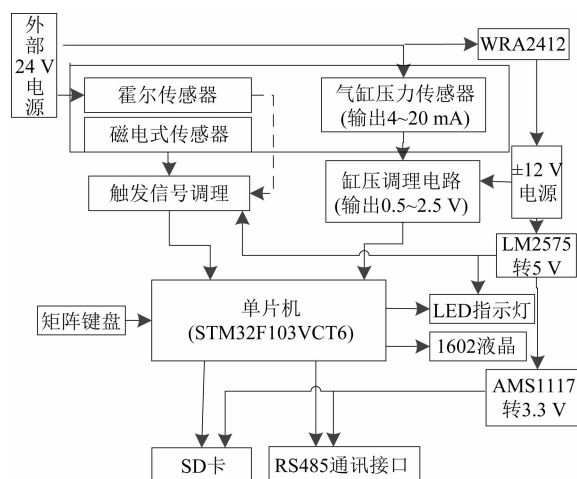


图 2 便携式采集控制器构成

表 1 气缸压力传感器主要技术指标

主要技术指标	参数值范围
供电电压/VDC	18 ~ 32
输出信号/mA	4 ~ 20
测量压力范围/MPa	0 ~ 30
测量环境温度范围/℃	200 ~ 250

(1) 电源模块: 系统须采用 ± 12 、5、3.3 和 2.5 V 的电源, 分别使用相应的电源芯片产生相应的电源, 如图 3 所示。

(2) 信号调理模块: 电流型气缸压力传感器输出 4 ~ 20 mA 电流信号, 须调理转换成电压信号, 并增强信号驱动能力, 再分压调理为控制器 A/D 转换 0 ~ 2.5 V 电压范围的信号, 接入芯片内 A/D 进行采集, 气缸压力调理电路结构如图 4 所示。触发信号调理结构如图 5 所示, 上止点和曲轴转角信号经滤波跟随, 过零比较, 产生 TTL 信号; 曲轴转角信号还可通过精密锁相环进行偶数倍频输出, 此功能根据发动机型号决定是否倍频, 两路信号通过光耦隔离由控制器接收。

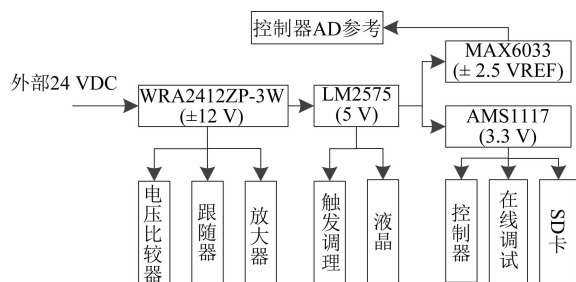


图3 控制器电源模块设计



图4 气缸压力调理结构图

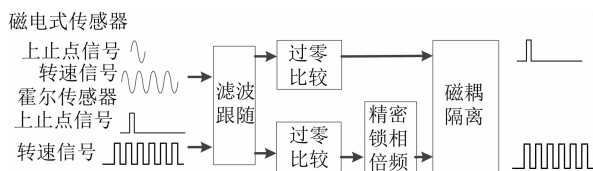


图5 触发信号调理电路结构图

(3) 数据存储及通信模块: 采集到的数据的存储有两种方式, 一种方式是便携式控制器直接通过 RS485 通信将数据发送至计算机, 经上位机软件分析处理并保存至数据库; 另一种方式是将数据存储于本地 SD 卡中, 再将 SD 卡中以文本形式存储的数据拷贝至上位机, 经上位机软件导入读取数据并分析处理。

(4) 控制器及外围电路: 微控制器采用 ARM 32 位单片机 STM32F103VCT6, 其主要功能是控制气缸压力采集与处理、转速测量、数据存储和数据通讯; 液晶和 LED 灯指示当前工作状态, 操作人员可通过液晶指示操作控制器, 通过不同颜色指示灯判断控制器运行进程; 用外接键盘输入气缸压力测量的缸号, 按确认键进行采集存储过程。

2 系统软件开发

2.1 采集控制器软件开发

控制器软件主要实现气缸压力采集、周期平均、数据 SD 卡存储、RS485 串口通讯和转速测量功能。10 个发动机工作循环的测量数据存储于控制器内的存储器中, 将每个周期的对应点相加除以 10 进行周期平均, 周期平均后的数据以文本十六进制形式存储至控制器本地 SD 卡中, 或通过 RS485 发送至上位机分析处理, 同样以文本十六进制形式保存于上位机硬盘中。存储于文本的数据格式为: start + 转速 + 缸号 + 气缸压力数据 + end, 上位机通过识别 start 和 end 字符来截取一组数据。

采集控制器软件流程如图 6 所示。

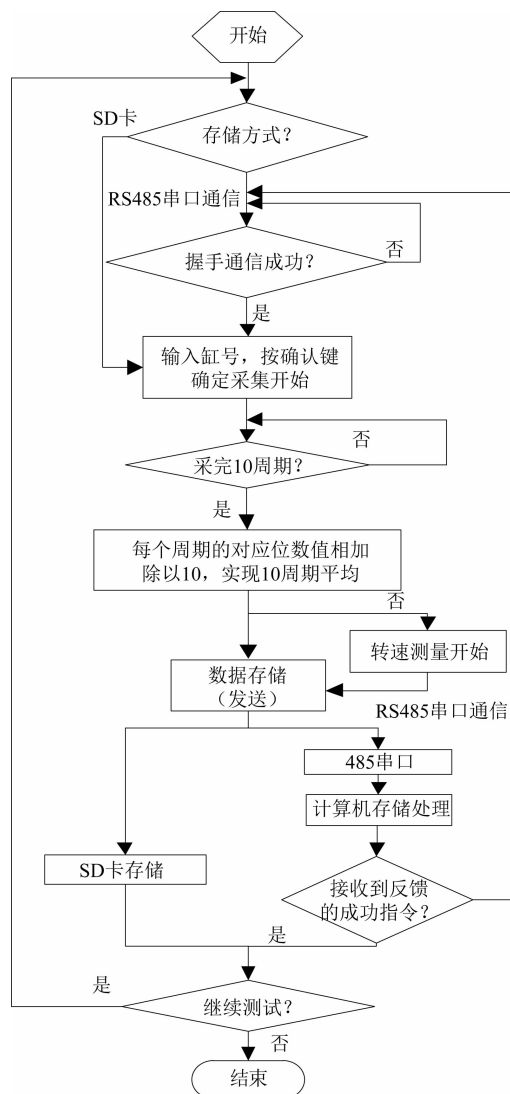


图6 控制器程序流程图

转速测量: 用单片机的 TIMER1 作为定时器, 用 TIMER2 计数器进行计数, 测出单位时间 (1 s) 内的信号变化次数 (频率值)。假设 1 s 内程序检测到曲轴转角方波信号有 a 个脉冲, 柴油机齿数为 $gears$, 则柴油机转速 $n = (a \times 60) / gears$ ($r \cdot \min^{-1}$)。转速测量程序流程图如图 7 所示。

2.2 上位机软件开发

上位机程序完成气缸压力数据的导入接收、分析、处理和存储, 提取发动机特征参数, 计算出各缸平均指示压力、最高燃烧压力、膨胀压力、指示功、燃烧起始角和压缩压力等重要参数, 并将其存储于数据库。计算处理方法如文献 [1]、[2] 所示, 在此不再赘述。开发的上位机软件界面如图 8 所示。

系统侦听 RS485 串口接收到便携式控制器发送的数据接收指令后发送握手确认指令, 随后进入

等待接收数据状态。接收到的数据存储在文本文件中,再经过程序导入文件经数据分析和数据处理程序后,将等曲轴转角采集的气缸压力数据和计算好的指示性能参数存入数据库。若超时未接收到数据或程序正常完成后,则重新开始循环。上位机程序的结构流程图如图 9 所示。

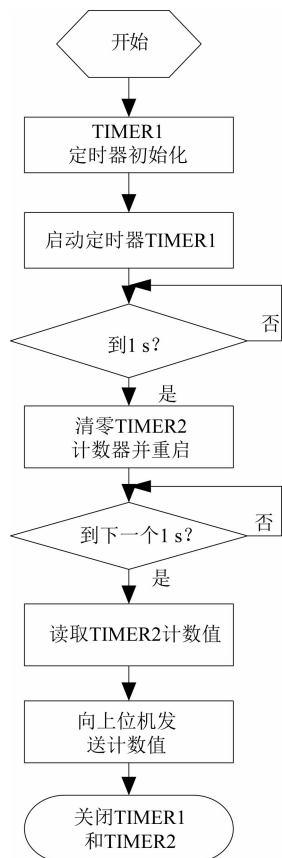


图 7 发动机转速检测程序流程图

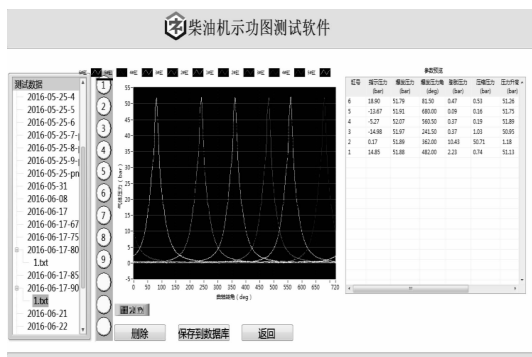


图 8 上位机软件界面

3 测量系统试验验证

开发的气缸压力测量系统在 Z6170ZLCZ-1 型船用中速柴油机上上进行试验验证,测试系统组成如图 10 所示。分别用 NI 采集卡 C-DAQ + Kistler7013C 电荷型气缸压力传感器和本文开发的系

统,测量柴油机 6# 缸的气缸压力示功图,如图 11 所示。计算的特征参数如表 2 所示。经分析可得出结论:控制器的功能和测量精度满足测量要求。

表 2 特征参数计算值对比

特征参数	本系统	C-DAQ	偏差
指示压力/MPa	0.442	0.438	0.91%
最高燃烧压力/MPa	5.201	4.998	4.06%
最高燃烧压力角/(°)	372.50	372.20	0.08%
膨胀压力/MPa	2.634	2.546	3.46%
压缩压力/MPa	3.353	3.361	0.24%
压力升高值/MPa	1.847	1.853	0.32%
指示功/kW	16.37	16.18	1.17%

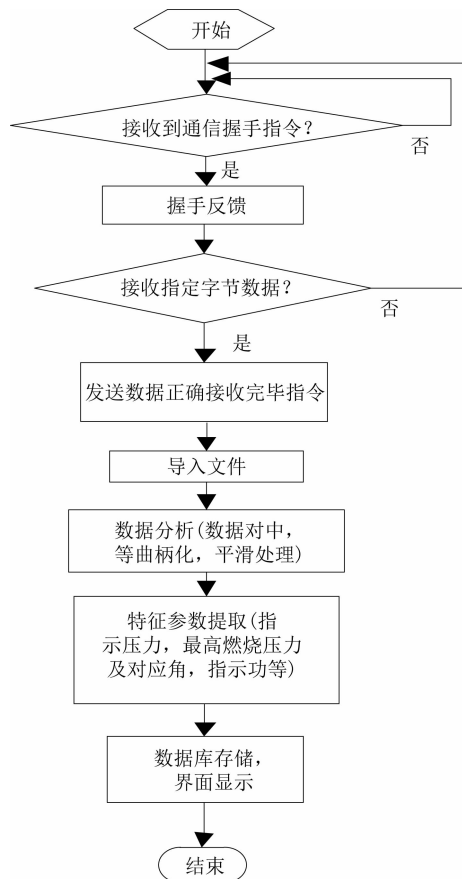


图 9 上位机示功图程序流程图

4 结 论

(1) 所开发的测试系统以 ARM 处理器为主要控制单元,主控芯片具有集成度高、片内资源丰富、数据分析速度快、精度高,在高温和振动等工作环境下稳定工作的特点。外围电路设计更简单,抗干扰性增强。

(2) 基于 LabVIEW 示功图分析与处理软件平台,获取数据并进行分析处理,提取、计算特征参数,通过各缸气缸压力示功图和特征参数计算结果

的对比分析, 可以准确有效地定位柴油机故障, 有效提高船舶动力性、可靠性与安全管理。

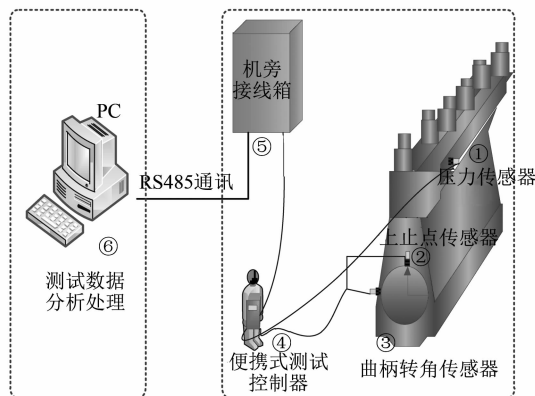


图 10 测试系统组成

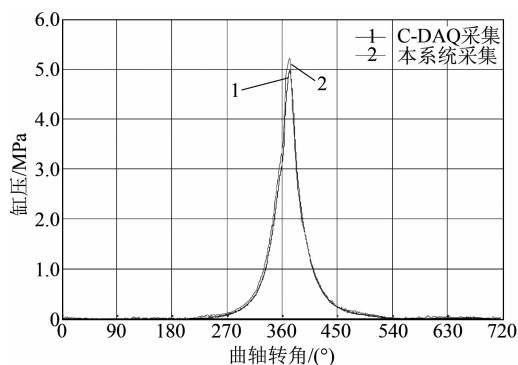


图 11 Z6170ZLCZ-1 柴油机气缸压力测量结果

(3) 分别采用 NI 采集卡 C-DAQ + Kistler7013C 电荷型气缸压力传感器和本文开发的系统, 测量 Z6170ZLCZ-1 柴油机 6# 缸的气缸压力示功图, 结果显示精度满足要求。由于上止点位置的确定存在误差, 以及缸压传感器的选型不同等原因, 可能会导致参数计算和气缸压力示功图略有偏差, 但总体来说, 试验验证了所开发的测量系统的功能、精度满足船用发动机气缸压力测量要求。

参考文献

- [1] 李震宇. 船舶柴油机气缸压力测量系统研制 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.
- [2] 曹国豪, 余永华, 杨建国. 基于单片机系统的船用柴油机示功图测量系统研制 [J]. 航海工程, 2010, 39 (1): 84-87.
- [3] 余永华, 胡闹, 杨欣. 船舶柴油机示功图便携式测试控制器: 201120154473.9 [P]. 2011.
- [4] 柯新宇. 基于 ARM 的数据采集采集卡研制 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2008.
- [5] 陈波. 基于 ARM 处理器的数据采集系统设计 [D]. 武汉: 武汉科技大学, 2009.
- [6] 杨博, 李宛州. 基于单片机的新型多路数据采集系统 [J]. 仪表技术与传感器, 2006 (11): 45-46.
- [7] 胡汉才. 单片机原理及其接口技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1996.

(上接第 25 页)

3 结 论

基于当前改造方案的 LNG/柴油双燃料发动机, 为获得较优的综合性能, 在掺烧策略中应将其工作范围划分为“禁止区”、“控制区”和“健康运行区”, 按照划分的区域对替代率进行标定。本文的研究结果可为单点进气双燃料发动机掺烧策略的制定提供依据。建议不同型号的柴油机或同型号柴油机采用单点进气系统进行双燃料改造时, 应通过发动机台架试验确定其掺烧策略。

参考文献

- [1] 周龙保. 内燃机学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [2] 中国船级社. LNG 燃料动力船舶动力系统应用技术研究报告 [R]. 2015.
- [3] 唐唯唯, 陈小猛, 杜冬峰, 等. Z6170 型电喷双燃料发动机开发 [J]. 中国水运, 2013 (11): 178-182.
- [4] 闫丽, 辛强立, 黄猛. Z6170ZLCZ/S-8 型双燃料发动机 [J]. 柴油机, 2014, 36 (1): 1-4.
- [5] 张凯. 电控柴油/LPG 双燃料发动机改造关键技术及其应用研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2012.