

CAN 总线技术在斯特林发动机中的应用

顾明芳¹, 宗 情², 曹 毅²

(1. 中国船舶重工集团公司第七二六研究所, 上海 201108; 2. 上海齐耀动力技术有限公司, 上海 201203)

摘 要: 从网络构成、硬件和软件三方面介绍了 CAN 总线通讯技术在斯特林发动机中的应用。通过 RS232 网络与 CAN 网络组合, 设计了带有 CAN 通讯功能的功能控制单元以及具有 RS232 和 CAN 通讯数据交换功能的通讯转换模块, 并对其硬件设计和软件流程进行了说明。实际应用表明: 该控制系统有效提升了斯特林发动机运行的可靠性和安全性。

关键词: 斯特林发动机; 控制系统; CAN 总线; 通讯

中图分类号: P273; U664.124 文献标识码: A 文章编号: 1001-4357(2019)03-0022-04

Application of CAN Bus Communication Technology on Stirling Engines

Gu Mingfang¹, Zong Qing², Cao Yi²

(1. Shanghai Marine Electronic Equipment Research Institute, Shanghai 201108;

2. Shanghai Micropowers Co. Ltd., Shanghai 201203)

Abstract: The application of CAN Bus Communication technology on Stirling engine are introduced from the three aspects of network construction, hardware and software. By the combination of RS232 and CAN network, a control unit with the CAN communication function and a communication transformation module which can realize RS232 and CAN data exchanging have been designed, and the hardware and software are introduced. The application results show that this control system could effectively improve the reliability and safety of Stirling engines.

Key words: Stirling engine; control system; CAN bus; communication

0 引 言

斯特林发动机具有噪声低、维护保养费用低、输出功率稳定等特点^[1], 其由工质系统、燃烧系统、冷却系统以及并网系统等功能单元组成。传统控制方案是: 控制元件一般安装在一个集中的电气控制箱中; 各个功能单元之间距离较远, 与电气控制箱之间的信号传输须通过铺设电缆完成; 各个功能单元的每个传感器和执行机构均对应一根电线接入电气控制箱。由于传感器和执行机构数量较多, 导致线缆数量很多; 与此同时还须防止线缆不被燃烧系统产生的高温损伤。斯特林发动机会产生强烈的电磁干扰, 极易干扰传感器信号, 如采用传统控

制方式, 较长的信号传输距离不仅增加了控制系统安装和维护的难度, 且信号线容易窜入干扰, 引起控制系统误动作, 降低系统的可靠性和安全性。

本文介绍一种 CAN 总线通讯技术方案。该方案使用 2 根信号线和 2 根电源线以并联方式连接各个功能模块单元, 实现信号传输。功能模块控制器单元就近安装, 使系统的电缆数量大为减少, 有利于控制系统的安装和调试。CAN 总线具有可靠性高、抗干扰能力强的特点^[2], 使信号传输交换稳定可靠。通过上述方案的实施, 不仅方便了控制系统的安装施工, 还大幅提高了斯特林发动机控制系统的可靠性和安全性。

收稿日期: 2018-08-18; 修回日期: 2018-10-09

基金项目: 上海市科技人才项目计划 (16QB1402600)。

作者简介: 顾明芳(1983-), 女, 工程师, 主要研究方向为发动机控制系统, caoyi@micropower.com。

1 通讯网络总体架构

主体采用 CAN 总线网络，用于实现人机对话界面 HMI 和系统各个功能模块控制器之间的数据信息交换。人机对话界面 HMI 采用常用的 PC 机完成，但是目前常见的 PC 机均不具备 CAN 通讯接口，因此方案中设计了单独的 RS232/CAN 通讯转换模块，以实现 RS232/CAN 总线的数据交换，相当于网桥的功能。由 HMI、转换模块和各个功能控制单元构成的网络分为 2 个部分：HMI 和转换模块处于网络一层，为 RS232 网络；转换模块的 CAN 总线接口与各个功能模块控制器构成网络二层，为 CAN 总线网络。整个通讯网络架构如图 1 所示。

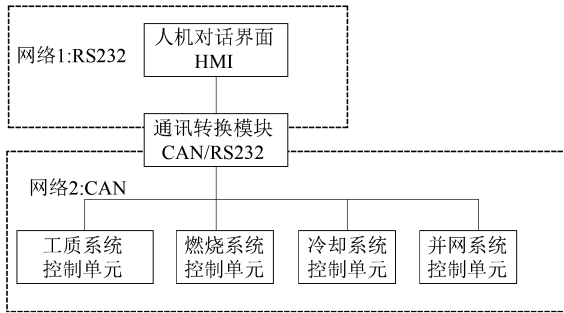


图 1 通讯网络架构示意图

2 通讯网络协议

通讯协议包括硬件和软件两个方面的内容，在该方案中，应用了 RS232 和 CAN 两种通讯形式，下文分别做说明。

2.1 RS232 网络通讯设置

本方案的 RS232 网络包含 2 个节点：人机对话界面 HMI 和功能模块控制器，采用的是前后台循环中断模式，通过发送和接收数据缓冲区解决 RS232 和 CAN 两种通讯的响应以及速率不一致问题。RS232 网络通讯波特率设置为：57 600 bps，数据格式设置为：8N1。

数据帧格式：HMI < - > 通讯转换模块：固定 4 字节。

EE	data0	data1	0D
起始符	数据	数据补码	结束符

为了提高通讯可靠性，采用双帧校验方法，即每个数据帧连续发送 2 次，若 2 次数据不一致则丢弃。另外，在每个数据帧内还采用了补码校验方法，即令 data1 为有效数据 data0 的补码，接收端将 data1 和 data0 相加，结果为零，则数据正确。上述校验方式可以避免复杂的 CRC 校验计算，简单实用，处理速度快，应用效果良好^[3]。

data0 的 8 个 bit 定义如表 1 所示。

表 1 data0 位定义

bit 位	7	6	5	4	3	2	1	0
含义	0	0	0	0	4F	3F	2F	1F

人机对话 HMI 发给转换模块的数据中，4F ~ 1F 为斯特林发动机功能控制单元的标识符，其中：4F 表示工质系统控制单元，3F 表示燃烧系统控制单元，2F 表示冷却系统控制单元，1F 表示并网系统控制单元。例如，数据为 0x02，b1 为 1，其余为 0，则表示 HMI 正在将数据与冷却系统控制单元进行通讯。

2.2 CAN 网络通讯设置

根据 SAE J1939^[4] 协议，CAN 网络使用的波特率为 250 kbps。斯特林发动机各个功能单元之间要求协调控制动作，因此要求大部分信息能够同时为各节点所共享。为保证控制性能，通信方式主要采用广播式通信；同时，对重要的信息采用周期式发送，以保证信息及时更新。在广播式和点对点传送方式中都要标明信息的源地址。斯特林发动机 CAN 网络的地址分配如表 2 所示。

表 2 CAN 网络地址分配

节点名称	地址
工质系统控制单元	0100
燃烧系统控制单元	0011
冷却系统控制单元	0010
并网系统控制单元	0001
通讯转换模块	0101

CAN 控制器采用 SJA1000 芯片，自带 CRC 校验功能，具有较高的可靠性。CAN 总线通讯数据采用单帧发送，有效数据为 2 个字节：data0 和 data1，仍然保留补码校验。

3 硬件设计

3.1 通讯转换 CAN 硬件设计

RS232/CAN 通讯转换模块主要包括电源、单片机、RS232 接口和 CAN 接口等，其中单片机采用 ATmega128。该单片机是基于 AVR RISC 结构的 8 位低功耗 CMOS 微处理器，内带 128 kB 的系统内可编程 FLASH 程序存储器；4 kB 的 EEPROM；串行外围设备接口（SPI）；53 个可编程的通用 I/O 脚，32 个通用工作寄存器；4 个灵活的具有比较模式和 PWM 功能的定时器/计数器（T/C）；自带 8 通道 10 位 ADC，可选的可编程增益；JTAG 测试接口，可用于片上调试；峰值运算速度达 16 MIPS，非常适合应用于强干扰环境中^[5]。

CAN 控制器采用 SJA1000 芯片。SJA1000 是一款独立的 CAN 总线控制器，主要用于工业环境中。经过简单总线连接，SJA1000 可完成 CAN 总线的物理层和数据链路层的所有功能。SJA1000 由 CAN 核心模块、发送缓冲区、接收 FIFO、验收滤波器和接口管理逻辑组成。

CAN 收发器采用 TJA1050 芯片，是 CAN 协议控制器和物理总线之间的接口，可以为总线提供不

同的发送性能，为 CAN 控制器提供不同的接收性能，与“ISO 11898”标准完全兼容。此外，TJA1050 内部还具有电流限制电路和温度保护电路，保护发送器。

在实际应用中，为了提高抗干扰能力，在 SJA1000 芯片和 TJA1050 芯片之间加入高速光耦 6N137 进行隔离，同时采用独立电源供电，地线严格隔离。CAN 总线硬件电路图如图 2 所示。

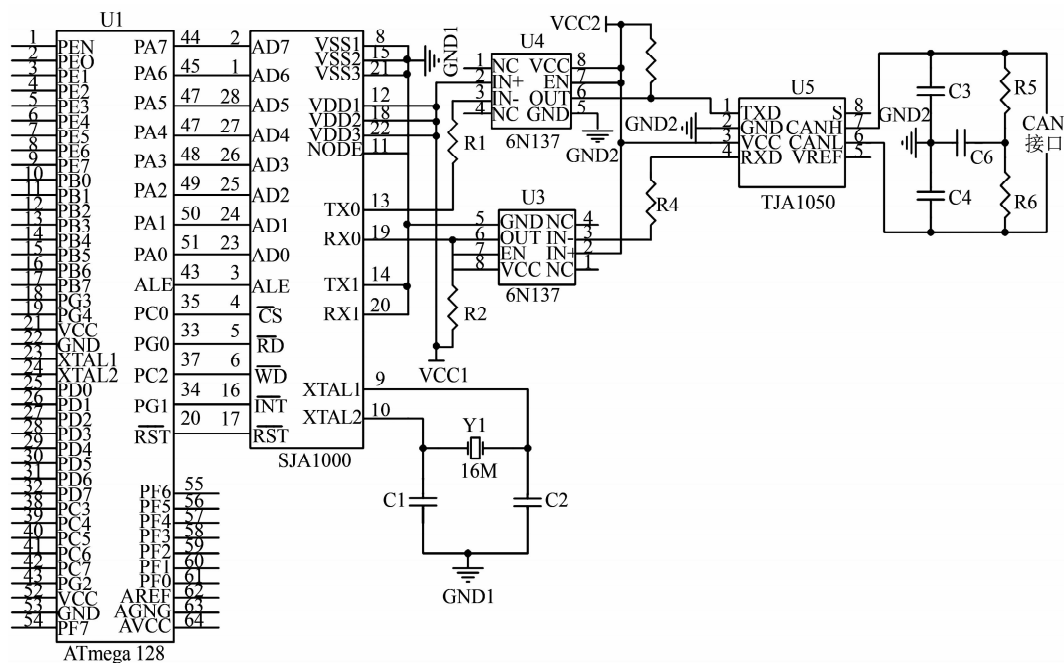


图 2 CAN 总线硬件电路图

3.2 功能控制单元 CAN 硬件设计

斯特林发动机由工质系统、燃烧系统、冷却系统以及并网系统组成，虽然这些组成系统使用的传感器和执行机构的类型与数量各自有所不同，但各个系统控制单元的 CAN 结构形式是一致的，如图 3 所示。

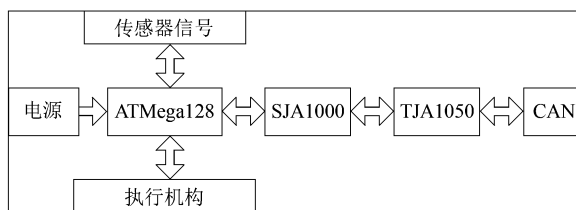


图 3 功能控制单元 CAN 结构形式

功能控制单元的单片机、CAN 控制器和收发器均采用和 RS232/CAN 通讯转换模块一致的技术方案，不再详细说明。

4 软件设计

4.1 功能控制单元 CAN 软件设计

基于 ATMEL 公司的 AVR STUDIO3.53 集成开

发环境，包括：AVR ASSEMBLER 编译器、AVR STUDIO 调试功能、AVR PROG 串行、并行下载功能、JTAG ICE 仿真功能。本设计采用 JTAG ICE 仿真调试，关键是编写 CAN 驱动程序。主程序只须通过调用驱动程序提供的接口来实现数据的接收和发送。驱动程序包括 4 个部分：CAN 控制器的初始化、接收数据、发送数据和总线异常处理。图 4 为主程序流程图。

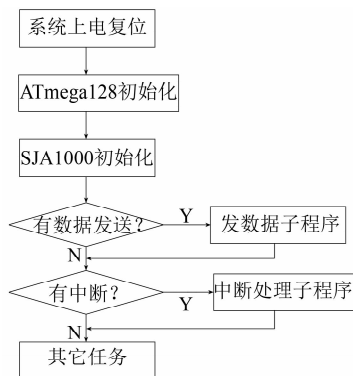


图 4 CAN 通讯主程序流程图

初始化 CAN 控制器的操作包括: 硬件使能、软件复位、设置报警界线、设置总线波特率、设置中断工作方式、设置验收滤波器工作方式、设置工作模式并起动 CAN。初始化程序如下:

```
void CAN_ Init ( const msgID MaskID [ 2 ],
const msgID FilterID [ 6 ])
    U8 temp; //设置为配置模式
    CAN_ ChgMODE ( CAN_ msk_ Mode_ Config-
uration ); //设置控制寄存器
    //接收缓冲器只接收符合滤波条件的标准帧,
    使能
    CAN_ WriteReg ( RXB0CTRL, CAN_ msk_
RxbMode_ ExtStd );
    if ( DEBUG ) CAN_ ReadReg ( RXB0CTRL,
&temp );
    CAN_ WriteReg ( RXB1CTRL, CAN_ msk_
RxbMode_ ExtStd );
    if ( DEBUG ) CAN_ ReadReg ( RXB0CTRL,
&temp );
    //设置中断使能寄存器, 使能接收缓冲器 0 和
    1 的装载报文中断
    CAN_ WriteReg ( CANINTE, CAN_ msk_
RX0IE 1 CAN_ msk_ RX1IE );
    if ( DEBUG ) CAN_ msk_ ReadReg ( CANINTE,
&temp );
    CAN_ WriteID ( RXM0SIDH, MaskID [ 0 ] );
    //设置接收屏蔽标识符
    CAN_ WriteID ( RXM1SIDH, MaskID [ 1 ] );
    CAN_ WriteID ( RXF0SIDH, FilterID [ 1 ] );
    //设置接收滤波标识符
    ...
    if ( DEBUG ) CAN_ ReadReg ( CANSTAT, &tem
//设置 RXnBF 引脚控制寄存器和状态寄存器
```

将待发送的数据打包成报文后写入发送缓冲区, 并自动发送; 在发送数据时须要加入一定时间延时, 确保数据发送完毕。图 5 为发送子程序流程图。

接收数据采用中断方式, 在初始化程序中必须使能接收中断。在中断服务子程序中, 读取 CANICR (CAN 中断服务寄存器), 判断是否有接收中断标志, 有则读取接收缓冲区数据。为了防止接收缓冲区数据溢出, 可开辟一个循环接收数据队列来暂时存储数据, 主程序则通过查询该队列来获得总线数据^[6]。

4.2 通讯转换模块软件

通讯转换模块主要完成 RS232 通讯与 CAN 通

讯之间的转换, 人机界面 HMI 通过 RS232 把控制指令下达给斯特林发动机的功能控制单元, 功能控制单元通过 CAN 通讯把斯特林发动机的状态传递给人机界面 HMI, 以便 HMI 做出决策。通讯转换模块软件流程图如图 6 所示。

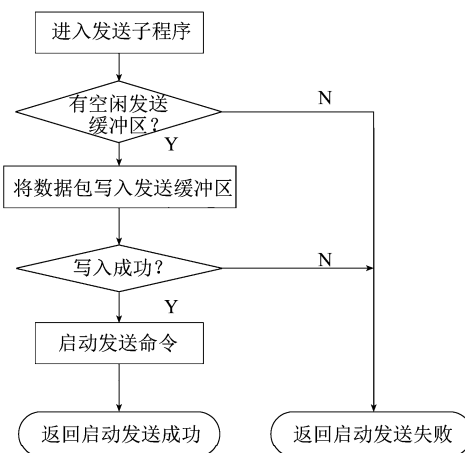


图 5 发送子程序流程图

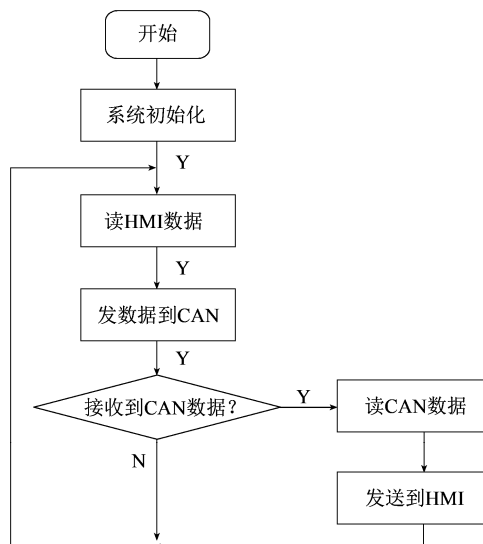


图 6 通讯转换模块软件流程图

5 结束语

本文所设计的基于 CAN 总线技术控制系统已在斯特林发动机上投入使用。由于可以靠近控制对象安装控制器单元, 减少了现场电缆的长度, 大大方便了控制系统的安装和调试工作; 同时, CAN 总线传输信号方式, 提高了控制系统的可靠性和抗干扰性能。通过实际现场跟踪测试, 信号传输稳定, 完成了斯特林发动机组的控制任务。实际应用结果证明了本方案的正确性和可行性, 具有一定的设计参考价值。

(下转第 45 页)

表 15 柴油机振动评级结果 (6 875 kW/1 000 (r · min⁻¹))

测点 编号	X 方向			Y 方向			Z 方向		
	a/级	v/级	d/级	a/级	v/级	d/级	a/级	v/级	d/级
1.1	7.1	11	7.1	7.1	18	7.1	7.1	18	7.1
1.2	7.1	7.1	7.1	7.1	11	4.5	7.1	11	2.8
1.3	11	11	7.1	7.1	18	2.8	11	11	2.8
2.1	4.5	7.1	4.5	2.8	18	7.1	7.1	11	7.1
2.2	4.5	4.5	7.1	2.8	11	2.8	4.5	11	2.8
2.3	2.8	4.5	4.5	2.8	11	2.8	4.5	11	2.8
3.1	11	7.1	7.1	11	18	11	11	18	7.1
3.2	7.1	4.5	4.5	7.1	11	2.8	7.1	18	4.5
3.3	11	4.5	4.5	11	11	4.5	4.5	11	2.8

4 结论

柴油机运行时产生振动是无法避免的，良好的隔振设计是保证整体结构正常运行的关键。在柴油机设计阶段，隔振器选型可以采用初期理论计算，后续进行振动测试加以验证。本文的方法为柴油机设计阶段时隔振器的选型提供参考。

参考文献

[1] 陈绍纲. 轮机工程手册 [M]. 北京：人民交通出版社，1992.

[2] 陈晓白，何克强，张建武. 16V280ZJA 型柴油机振动特性分析 [J]. 铁道机车车辆，2005，25（4）.

[3] Christie&Grey Ltd. Calculation report for dalian diesel engine Co. , Ltd. [R]. 2016.

[4] 中华人民共和国工业和信息化部. 船用柴油机振动评级：GB/T 3256-2013 [S]. 北京：中国船舶工业综合技术经济研究院，2013.

(上接第 25 页)

参考文献

[1] 金东寒. 斯特林发动机技术 [M]. 哈尔滨：哈尔滨工程大学出版社，2009.

[2] 饶运涛，邹继军，王进宏，等. 现场总线 CAN 原理与应用技术 [M]. 2 版. 北京：北京航空航天大学出版社，2007.

[3] 项福禄，孙鹏，刘若成，等. CAN 总线通讯技术在岸桥升降机中的应用 [J]. 仪表技术与传感器，2014（9）：57-59.

[4] 黄森仁，宋建峰. 混合动力汽车. CAN 总线通讯系统的设计与仿真 [C]：安徽汽车工程学会 2010 学术年会论文集，2010：669-675.

[5] 陈冬云，杜敬仓，任柯燕. ATmega128 单片机原理与开发指导 [M]. 北京：机械工业出版社，2006.

[6] 武建平，李冰. 基于 SEP3203 嵌入式微处理器的 CAN 接口设计 [J]. 测控技术，2008（2）：63-66.