

# 基于 CAN 总线的旋转导向仪器控制节点设计\*

尚捷 吉玲 孙师贤 孙龙飞 贾建波

(中海油田服务股份有限公司油田技术研究院 北京 101149)

**摘要:** 为了克服井下的高温、高压、强振动、强冲击等苛刻环境,旋转导向仪器对通信系统的要求很高。CAN 总线技术具有较高的抗干扰性和可靠性,且系统连接线少,可扩展性高,使其成为模块间通信的合适选择。设计了一种基于 CAN 总线的旋转导向仪器各控制节点,包括主控制模块的功能设计和可移植的 CAN 通信固件设计。主控制模块作为上下端通信的枢纽,能有效实现对指令和数据的传递和分析;设计的 CAN 通信系统不仅有效保证了各个模块间通信的可靠性和安全性,更使其可以方便地扩展至不同模块。实验结果表明,该控制节点在高温环境(如 125 °C)下,通信稳定性和控制可靠性均满足旋转导向仪器的要求。

**关键词:** 旋转导向;控制节点;CAN 总线

**中图分类号:** TE927    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 510.10

## Design of control node based on CAN bus for rotary steerable tool

Shang Jie Ji Ling Sun Shixian Sun Longfei Jia Jianbo

(Well-Tech R&D Institutes China Oilfield Service Ltd., Beijing 101149, China)

**Abstract:** In order to overcome the harsh environment such as high temperature, high pressure, strong vibration, and strong impact and so on, rotary steerable tool requires high standard of communication system. Due to the advantage of the high anti-jamming and reliability, CAN bus technology with less connection lines and better scalability is regarded as the appropriate choice of communication among every module. A control node based on can bus for rotary steerable tool was designed, includes the design of master control module and portable firmware. The master control module, as the communication center of the upper and lower terminal, can realize the instructions transmission and data analysis. The portable firmware design guarantees the reliability and safety of the communication among each module; meanwhile, this design is easily extended to different modules. The experimental results show that this control node for rotary steerable drilling tool meets the requirement of stability and reliability in a high temperature environment (such as 125 °C).

**Keywords:** rotary steerable tool; control node; CAN bus

## 0 引言

旋转导向钻井系统具有井身轨迹控制精度高、钻速高、井眼净化效果好以及较强的位移延伸能力等优点<sup>[1-3]</sup>。中海油田服务股份有限公司已于 2012 年成功研制了一套旋转导向钻井系统,然而随着仪器功能模块的增加和设备系统的升级,常用的 RS232 和 RS485 接口因传输效率低、灵活性差、系统不稳定等弊端已不能满足仪器的需求。现场总线技术以其特有的优势成为模块间通信的合适选择,它具有较高的抗干扰性和可靠性,且系统连接线少,可扩展性高。而诸多现场总线中,CAN(control area network)总线即控制器局域网络,是唯一形成国际标准的现场总线,很好

的满足了仪器的应用要求<sup>[4-5]</sup>。本文基于 CAN 总线通信协议,进行了旋转导向控制节点的设计,包括主控制模块的功能介绍、CAN 通信的固件设计和关键功能函数的介绍<sup>[6]</sup>。

## 1 主控制模块的功能

主控制模块是整个系统的核心,采用的 MCU 是 8051 内核,拥有 11 个中断源,2 个优先级,配备了单通道独立 RS485 串行通信模块<sup>[7]</sup>,拥有两个独立的高性能 24 位数据采集与处理系统,62 KB 的片内 Flash/EE 程序存储区,4 KB 的片内 Flash/EE 程序存储区,2 304 B 片内 RAM。

系统采用 HOLT 公司 HI3110 芯片作为 CAN 接口实现的主要器件。旋转导向仪器上挂接了主控制模块、执行

模块、测控模块、电源模块等不同的功能模块,每个模块作为 CAN 总线上的一个节点,协同合作实现系统的数据采集和导向功能。

主控制模块通过串口协议实现与上位机的串行数据转换、数据接收和指令下达,方便仪器调试过程中的数据查询和状态监测。主控制模块通过 CAN 局域网络通与其他功能模块通信。在整个系统运作的过程中,主控制模块全程记录 CAN 总线节点上数据收发源码内容和遥传通信模块或串口通信模块的消息,同时作为日志保存在 FLASH 里。

作为整个系统的控制中心和数据中心,主控制模块主要实现如下两个功能:

1) 查询接收来自各个功能模块的测量数据和状态信息,依据反馈信息判断各个功能模块的工作执行情况,进行信息的梳理、存储和下一步指令的预判。

2) 当上位机或上端仪器进行数据查询请求或下达指令时,接收指令和数据信息,并进行处理和存储,在协调各功能模块工作的基础上向各个模块发送测试指令和具体数据。

整个旋转导向钻井系统的 CAN 总线通信框图如图 1 所示。

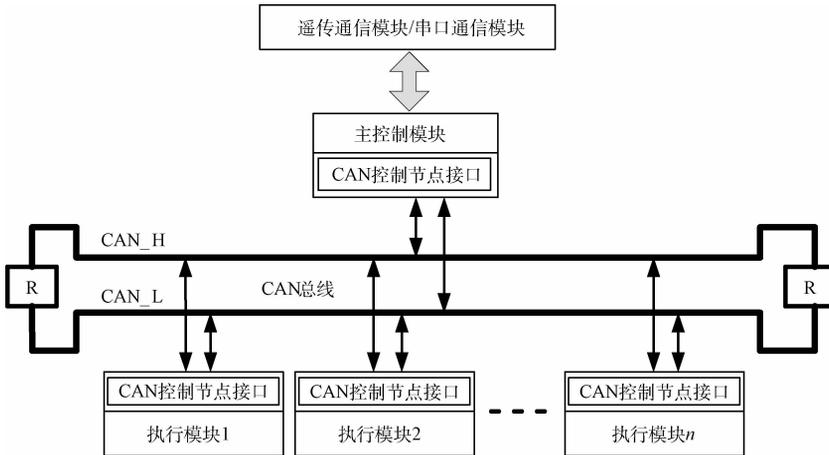


图 1 旋转导向仪器 CAN 总线通信示意图

## 2 具体实施方案

### 2.1 CAN 通信 ID 协议

在 CAN 总线上,一个节点发送 CAN 信息时,其他节点会同时接收,并把接收到的帧信息标识符与滤波器的设置 ID 进行比较。HI3110 支持 CAN2.0 规范,除了支持 11 位标识符的标准帧,还支持 29 位标识符的扩展帧<sup>[8]</sup>,本设计选择标准帧。标准帧的 11 位标识符表示为 ID<sub>10</sub>~ID<sub>0</sub>,完全能够满足本系统当前的节点数。为了充分利用 ID 值,使 ID 包含更多的信息,11 位标识符使用如表 1 所示的协议。

表 1 11 位标识符定义

		单指令 000
ID <sub>10</sub> ~ID <sub>8</sub>	指令性质	单数据指令:100 多数据指令:111
ID <sub>7</sub> ~ID <sub>4</sub>	指令编号	每个目标地址可配备 16 条指令
ID <sub>3</sub> ~ID <sub>0</sub>	设备地址	主控制模块的地址为 0000, 其他设备地址依次递增。

将标识符的 ID<sub>10</sub> ~ ID<sub>0</sub> 分为 3 个部分,高三位用来描述这一帧数据的性质,000 表示单指令帧;100 表示该帧

所带的数据在 8 个字节的长度内即可传送完,表示单数据指令;当数据长度大于 8 个字节时,就要分为多个帧进行传送,即多数据指令帧,此时高 3 位就用 111 来表示。中间的 4 位,表示指令对应的指令编号,每台设备每种指令形式可包括 16 条不同指令。低 4 位表示目标设备地址,将主控制模块的地址定为 0000,1 号电机驱动模块的地址为 0001,其他设备地址依次递增<sup>[9]</sup>。

为了充分利用 8 个字节的的数据区,提高通信速率,每一个标准帧中,这 8 个字节全部用来传递数据信息,指令性质及设备地址信息等包含在 11 位标识符里<sup>[10]</sup>。

### 2.2 各个节点优先级及主被动设计

在 CAN 总线上传输的信息称为报文,通信节点没有主从之分,当总线空闲时任意节点都可以开始发送新的报文。当多个节点同时发送报文时,优先级高的节点具有先通信的优势,不会对通讯线路造成拥塞。相同情况下,ID 越小对应的节点优先级越高。

系统在 CAN 总线流程设计上充分考虑各个节点的优先级,为了防止发生数据冲突,在软件数据发送和节点响应上,采取了主控制模块节点主动发送、其他功能模块被动响应的机制。系统上电时,主控制模块为主动态,其他功能模块节点只能被动响应主控制模块发送的 CAN 总线指令,执行相应动作或回传相应的状态数据。

这种主从通信机制能够有效避免各个节点的报文冲突和数据混乱,各个节点有条不紊地工作,系统的安全性和稳定性有了很好的保证<sup>[11]</sup>。

### 2.3 响应超时判别机制

设计通信协议时规定了各个节点响应主控制模块 CAN 总线指令的最长时间,当超过这一时间时,主控制模块就会向 CAN 总线再次发送该指令,并等待对应的功能模块回复,若在规定时间内还未收到回复消息,则主控制模块认为这是一次异常通信,产生了一次 response error,并记录进系统通信日志,或将其显示在界面上等待人工裁决。

响应超时判别机制在 CAN 通信过程中有效地防止了被响应节点长期不回复导致的系统停滞现象,提高了通信效率,保证了系统流程顺利有序地进行。

## 3 CAN 通信固件设计

固件是在 CAN 通信芯片 HI3110 加电后,加载到系统里以实现 CAN 通信的数据传送功能,其作用是辅助或者控制硬件来完成预期的设备功能<sup>[12]</sup>。固件程序主要包括 CAN 总线初始化程序、CAN 总线数据发送和 CAN 总线数据接收程序以及中断的处理等几个部分。本项目计划编写一款 CAN 通信固件程序,使旋转导向钻井系统中的各个功能模块都能进行移植和使用<sup>[13-14]</sup>。

### 3.1 MCU 与 CAN 通信模块的初始化

首先对 MCU 进行初始化配置。HI3110 在 CAN 总线上接收来自其他模块的 CAN 消息和向 CAN 总线发送来自 MCU 的指令,而 HI3110 与 MCU 通过 SPI 协议通信。

CAN 通信的初始化包括控制寄存器初始化配置、位定时寄存器初始化配置、中断使能寄存器初始化配置、状态标识使能寄存器等。HI3110 规定初始化过程必须在芯片的初始化模式下进行,即控制寄存器 CTRL0 的最高位设置为 1。8 个掩码标识符滤波器必须在初始化模式下设置。HI3110 初始化完毕后需把它再设置为正常工作模式。

然后是 CAN 通信相关的变量初始化,包括标志变量、计数变量等。

### 3.2 CAN 通信波特率的确定

在 CAN 的底层协议里将 CAN 数据的每一位时间 TBit 分为许多时间段 time quanta( $T_q$ ),这些时间段又被分为 4 个部分,包括位同步时间段 synchronization segment (Sync Seg)、传播时间段 propagation time segment (Prop Seg)、相位缓冲段 phase buffer segment 1 (Phase Seg1)、相位缓冲段 phase buffer segment 2 (Phase seg2)。通常将传播时间段和相位缓冲段定义为时间片段 1 (TSeg1),相位缓冲段 2 是时间片段 2 (TSeg2),即  $T_{Bit} = T_{sync} + T_{seg1} + T_{seg2}$ 。

Sync Seg、TSeg1 和 TSeg2 的占用几个时间段都可由程序设置,Sync Seg 在 BIT TIMING REGISTER0 (BTR0)

寄存器里设置, Tseg1 和 Tseg2 占用的时间在 BIT TIMING REGISTER1 (BTR1) 寄存器里设置。本系统在 CAN 的初始化程序里配置了  $BTR1 = 0 \times 14$ , 于是有  $T_{Seg2} = 2T_q$ ,  $T_{Seg1} = 5T_q$ 。即  $T_{bit} = 1T_q + 2T_q + 5T_q = 8T_q$ 。CAN 通信的波特率 (CANbps) 就是  $1/T_{bit}$ , 最终取决于  $T_q$ 。  $T_q$  与系统的晶振频率有关系,由波特率预分频器 (baud rate prescaler, BRP) 决定,具体关系在 (BTR0) 寄存器里设置,本系统设置  $BRP = 5$ 。CAN 芯片外接的晶振频率为 10 MHz,所以  $T_q = 2 \times BRP / f_{osc} = 1 \mu s$ ,  $T_{bit} = 8 \mu s$ 。所以 CAN 通信的波特率为  $1/T_{bit}$ , 即 125 Kbps<sup>[15]</sup>。

### 3.3 CAN 发送和接收函数设计

发送函数接口:

```
void HI3110WriteFIFO (unsigned char ucNumber,
unsigned char * pData, unsigned int nID)
```

该函数包含 3 个参数,包括需要传递的数据字节个数,指向 CAN 数据的指针,和目标设备 ID。

参数 ucNumber 是用来表示当前帧需要发送的数据量。\* pData 指针指向要发送的 CAN 数据存放的数组,该数组最多能存储 8 个字节, nID 参数用来设置 ID 标识符。

接收函数:

```
unsigned char HI3110GetFIFOData(unsigned char *
pucData, unsigned int * pID)
```

该函数包含 2 个参数,包括指向 CAN 消息的数据指针和发送该消息的设备 ID。该函数返回本条消息传递的数据大小。\* pucData 指针指向即将存放 CAN 数据的数组,\* pID 指向存储发送该消息设备的 ID 标识符。

接收方式采用中断方式接收而非查询方式,一旦中断标志位置 1,CPU 就会调用 CAN 数据接收函数去接收传递来的消息,这种方式大大提高了 CPU 的效率。

## 4 实验验证

在 Keil uVision5 中编译和运行代码,通过串口调试助手给主控板发送数据传递指令 0XF1,主控制模块收到该指令后会向 CAN 总线发送 8 个字节数据 (0x01, 0x02, 0x03, 0x04, 0x05, 0x06, 0x07, 0x08),目标 ID 为 0x001。根据通信协议,只有 1 号功能模块能通过滤波接收到数据,并将数据处理(每个字节的数值加 1)后再发送到 CAN 总线上,设置目标 ID 为 0x000,即主控制模块的 ID。通信流程示意如图 2 所示。

CAN 的通信过程中,使用 CANTest 软件和型号为 USBCAN2 的 CAN 卡观察监听 CAN 通信的过程。设备索引号为 0,使用 0 号通道,波特率为 125 Kbps。

如图 3 所示。打开 CAN 调试助手,选择设备 USBCAN2,波特率选 125 Kbps。通信测试中,设置串口调试助手自动每 0.5 s 发送一个指令,CAN 总线上就会有 16 Byte 的信息交换。

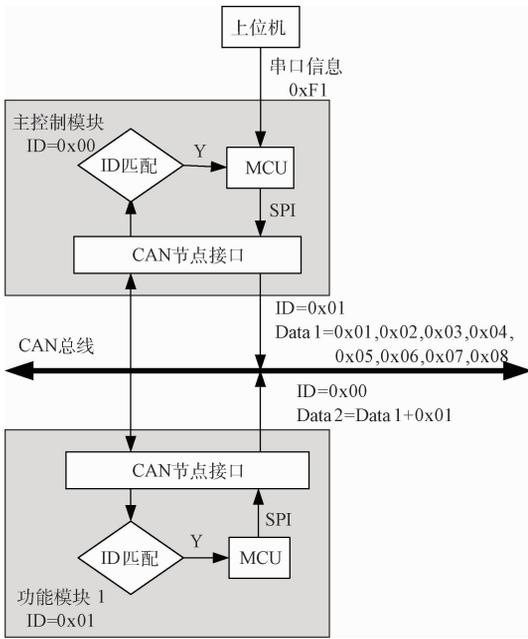


图 2 系统通信实验流程



图 3 CAN 参数设置画面

手动发送串口指令和自动发送指令时,均没有出现通信错误,说明控制节点与上端设备通信良好。当 CAN 总线上通信数据量达到  $2\ 795 \times 8 \times 2 = 44\ 736$  bytes 时,没有出现错误数据,对通信结果进行置信度分析可知置信度达到 99.999%,所设计的 CAN 通信网络可以达到  $10^{-5}$  的误码率。

序号	传输方向	时间标识	帧ID /	帧格式	帧类型	数据长度	数据(HEX)
00002775	接收	14:26:03.034.0	0x00000000	数据帧	标准帧	0x08	02 03 04 05 06 07 08 09
00002776	接收	14:26:03.530.0	0x00000001	数据帧	标准帧	0x08	01 02 03 04 05 06 07 08
00002777	接收	14:26:03.532.0	0x00000000	数据帧	标准帧	0x08	02 03 04 05 06 07 08 09
00002778	接收	14:26:04.047.0	0x00000001	数据帧	标准帧	0x08	01 02 03 04 05 06 07 08
00002779	接收	14:26:04.108.0	0x00000000	数据帧	标准帧	0x08	02 03 04 05 06 07 08 09
00002780	接收	14:26:04.542.0	0x00000001	数据帧	标准帧	0x08	01 02 03 04 05 06 07 08
00002781	接收	14:26:04.546.0	0x00000000	数据帧	标准帧	0x08	02 03 04 05 06 07 08 09
00002782	接收	14:26:05.056.0	0x00000001	数据帧	标准帧	0x08	01 02 03 04 05 06 07 08
00002783	接收	14:26:05.069.0	0x00000000	数据帧	标准帧	0x08	02 03 04 05 06 07 08 09
00002784	接收	14:26:05.556.0	0x00000001	数据帧	标准帧	0x08	01 02 03 04 05 06 07 08
00002785	接收	14:26:05.558.0	0x00000000	数据帧	标准帧	0x08	02 03 04 05 06 07 08 09
00002786	接收	14:26:06.070.0	0x00000001	数据帧	标准帧	0x08	01 02 03 04 05 06 07 08
00002787	接收	14:26:06.072.0	0x00000000	数据帧	标准帧	0x08	02 03 04 05 06 07 08 09
00002788	接收	14:26:06.570.0	0x00000001	数据帧	标准帧	0x08	01 02 03 04 05 06 07 08
00002789	接收	14:26:06.572.0	0x00000000	数据帧	标准帧	0x08	02 03 04 05 06 07 08 09
00002790	接收	14:26:07.084.0	0x00000001	数据帧	标准帧	0x08	01 02 03 04 05 06 07 08
00002791	接收	14:26:07.098.0	0x00000000	数据帧	标准帧	0x08	02 03 04 05 06 07 08 09
00002792	接收	14:26:07.591.0	0x00000001	数据帧	标准帧	0x08	01 02 03 04 05 06 07 08
00002793	接收	14:26:07.605.0	0x00000000	数据帧	标准帧	0x08	02 03 04 05 06 07 08 09
00002794	接收	14:26:08.099.0	0x00000001	数据帧	标准帧	0x08	01 02 03 04 05 06 07 08
00002795	接收	14:26:08.101.0	0x00000000	数据帧	标准帧	0x08	02 03 04 05 06 07 08 09

图 4 CAN 调试界面

## 5 结 论

基于 CAN 通信的旋转导向钻井系统设计合理,在 125 °C 环境温度下,当设置通讯速率为 125 Kbps 时,CAN 通信的误码率达到  $10^{-5}$ ,适用于高温的钻井环境下应用。其便捷的可扩展性和较高的灵活性,为后续旋转导向系统增加其他的功能模块提供了良好的通信参考和环境,并且

目前已在实际的工程应用中取得了良好的效果。

## 参考文献

- [1] 吴超,营志军,郭云,等. 旋转导向钻井系统关键技术研究与实践[J]. 中国海上油气, 2012, 24(3): 52-53.
- [2] 姜伟,蒋世全,付鑫生,等. 旋转导向钻井技术应用研

- 究及其进展[J]. 天然气工业, 2013(4):75-79.
- [3] 白景, 刘伟, 黄崇君. 四川页岩气旋转导向钻井技术应用[J]. 钻采工艺, 2016, 39(2):9-12.
- [4] 李玥. CAN总线技术在电机控制系统中的应用研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2015.
- [5] 胥清华, 李强. CAN总线发展与其他总线的比较[J]. 电气技术, 2011(7):46-49.
- [6] 贾建波, 刘俊彦, 孙师贤, 等. 基于芯片 HI3110 的旋转导向 CAN 通信系统设计[J]. 电子测量技术, 2015, 38(6): 143-147.
- [7] 冯子陵, 俞建新. RS485 总线通信协议的设计与实现[J]. 计算机工程, 2012, 38(20):215-218.
- [8] 宋丽君, 侯学智. 基于 CAN 通信的操纵信号通信控制器设计[J]. 科技创新导报, 2013(30):29-30.
- [9] 王旭东, 朱蕴璞. 基于 ARM 多处理器的 CAN 总线分布式控制系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(5):52-55.
- [10] 邓婕. CAN总线通信原理分析[J]. 电子设计工程, 2012, 20(7):104-107.
- [11] JAIN R, BAWNE N G. CAN bus, an efficient approach for monitoring and controlling [J]. International Journal of Computer and Network Security, 2010, 2 (5):108-112.
- [12] 张聪, 张涛. 基于 USB3.0 设备控制器的固件设计[J]. 电子器件, 2013(3):383-388.
- [13] 姚君. 基于状态机方法的 CAN 总线通信的 FPGA 实现[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(3):64-68.
- [14] 林小娟, 曹战民, 刘丹, 等. 基于 RS422 接口的 CAN 设备智能数据检测节点[J]. 电子测量技术, 2014, 37(11):55-59.
- [15] 易茂祥, 陶金, 吴友杰, 等. 一种基于电力线的现场总线设计与仿真[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(2):258-264.

### 作者简介

尚捷, 1977 年出生, 工学博士, 主要研究方向为随钻测井和旋转导向钻井等领域。

E-mail: shangjie2@cosl.com.cn