

# 智能井下节流器控制系统设计

何明格 马发明 陈 艳

中国石油西南油气田公司采气工程研究院,四川 广汉,618300

**摘 要:**智能式井下节流器满足智能完井和数字化油气田技术的自动化和数字化要求,是未来井下节流器发展的趋势。针对井下智能节流工艺技术需要,采用 CAN 总线技术构建一套适用于井下智能节流器的控制系统。介绍了 CAN 总线的技术原理;详细阐述了构建基于 CAN 总线的伺服控制系统体系结构和控制模式、控制系统的逻辑结构模型以及基于分层设计法的系统软件架构模块;给出了整个控制系统的软件运行实例和操作流程。实验反馈数据表明,该控制系统能实时精确地对井下电机完成远程控制,满足智能井下节流器要求的动力控制需求。该系统设计方法对其它智能化井下工具的研发具有一定启发意义。

**关键词:**井下节流;智能井下工具;CAN 总线;智能节流

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2013.05.022

## 0 前言

顺应智能完井和数字化油气田技术的蓬勃发展<sup>[1-3]</sup>,智能式井下节流器能够根据生产需要,通过在地面的监控设备远程调节和监控井下节流器的开度,从而实现远程控制天然气节流的功能,避免更换节流嘴所需的关井作业。控制系统的设计和研发是传统井下节流器升级到智能井下节流器的关键和核心部分。

在设计研发控制系统时,必须实现对井下电机的远距离稳定精准控制。当前,电机控制系统的监控中心通常采用工控机加上位机组态软件的模式;在数据通信方面,主要采用以太网、现场总线以及无线通信等方式。基于以太网通信的电机控制系统的开发成本高、网络设计难度大<sup>[4]</sup>;基于无线网络的电机控制系统<sup>[5]</sup>用于气井生产时,无线传输延时和衰减不可预测,信号受干扰较大,目前尚不成熟。基于现场总线的电机控制系统可靠性高、实时性好、协议简单且可扩展性好<sup>[6-7]</sup>,目前较常见的控制网络现场总线方式有 CAN、PROFIBUS、CC-LINK 等总线<sup>[8-9]</sup>。对比分析,智能井下节流器控制系统采用 CAN 总线通讯模式进行设计。

本文将详细阐述基于 CAN 总线的智能式井下节流器控制系统研究和设计过程,介绍系统的操作控制流程。研发的控制系统能够实现远程实时调节与控制系统相匹配的井下节流器的嘴径大小,达到节流降压稳产的目的,为实现智能化节流工艺提供设备支撑。

## 1 CAN 总线技术

控制器局域网 CAN( Controller Area Network)属于现场总线的范畴,是一种有效支持分布式控制系统的串行通信网络,由德国博世公司在 20 世纪 80 年代专门为汽车行业开发。CAN 总线具有布线简单、典型的总线型结构、可最大限度节约布线与维护成本、稳定可靠、实时、抗干扰能力强、传输距离远等特点。因此,CAN 总线在航天、电力、石化、冶金、汽车业、工业控制、安全防护等领域均得到广泛应用。

### 1.1 CAN 总线协议模型

由于 CAN 总线本身只定义 ISO/OSI 模型中的第一层(物理层)和第二层(数据链路层),通常情况下 CAN 总线网络都是独立网络,所以没有网络层。在实际应用中,

收稿日期:2013-05-15

基金项目:中石油重大专项“低渗透油气田节能关键技术研究”(2011E-2402)

作者简介:何明格(1981-),男,四川南江人,博士后,主要从事智能完井、智能化井下工具等研究工作。

用户需要自己定义应用层的协议,因此在 CAN 总线的发展过程中出现了各种版本的 CAN 应用层协议。现阶段最流行的 CAN 应用层协议主要有 CANopen、DeviceNet 和 J1939 等协议。

在这些协议中,CANopen 协议精练、透明、便于理解,又具有较高的实时性和可靠性,数据传输速率高,组网成本低。CANopen 协议中的实时伺服驱动和运动控制子协议主要用于实时伺服驱动系统和运动控制,其参考模型见图 1。

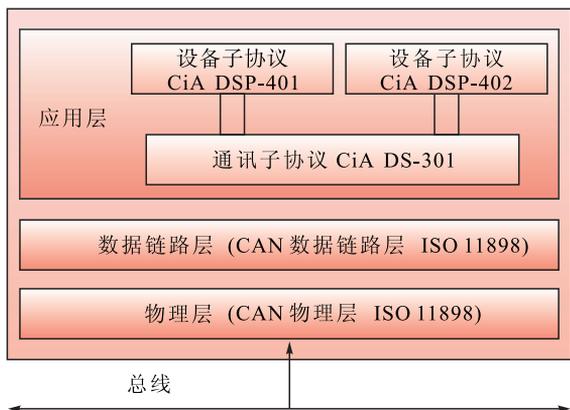


图 1 CANopen 协议参考模型

### 1.2 CAN 控制器结构及工作流程

随着 CAN 总线的不断发展壮大,符合 CAN2.0A 和 CAN2.0B 协议的独立芯片越来越多,并且可直接与普通单片机组合,使该单片机具有 CAN 通信能力,例如 NXP 公司的 LPC2119、LPC2294、LPC2378 等。集成 CAN 功能的 CAN 控制器结构示例见图 2,该控制器带有发送和接收缓冲器的串行接口,工作流程主要分为发送过程和接收过程。

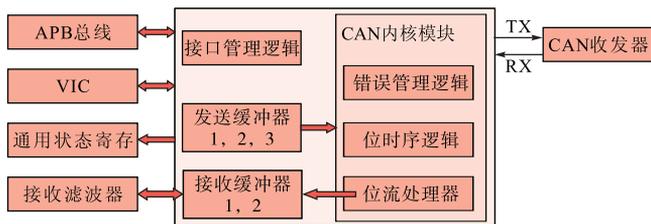


图 2 CAN 控制器结构

发送过程中,CAN 控制器完全受上级处理器控制,上级处理器通过内部总线向 CAN 控制器的发送寄存器里填写需要发送的数据,然后启动 CAN 控制器的发送功能,发送的数据依次经过位流处理器、错误管理逻辑及位时序逻辑、CAN 收发器,最后到达 CAN 总线上,这样就完成了一帧 CAN 数据的发送。

接收过程中,CAN 数据的接收与 CAN 数据的发送是一个相反过程。当 CAN 收发器检测到 CAN 总线上有数据时,CAN 收发器把 CAN 总线上的差分信号转换成

位流数据,经过错误管理器及位时序逻辑单元对位数据流和时序进行检查,再经过位流管理器把位流数据转换成字节数据并存放于接收缓冲器中,当一帧数据接收完后则由接收缓冲器产生数据接收中断,通知上级处理器已经接收到一帧新数据,并将产生的各种状态通过改变状态寄存器的值来表示。

## 2 智能井下节流器控制系统体系

智能井下节流器控制系统旨在应用计算机技术、自动化控制技术和现代信号处理技术,建立一套能将关键电子器件长期置于井下,并可实现远程控制的系统。鉴于节流系统井下较深,系统采用 CAN 总线协议来传输数据,从而保证数据传输的准确性<sup>[6-7]</sup>。

### 2.1 基于 CAN 总线的伺服控制系统设计

电气系统是整个控制系统的核心部分,电气控制部分的性能直接影响节流机构运动的精度和准确性。根据井下的压力、阀芯的有效节流面积和阀芯材料的摩擦系数,计算推动阀芯运动所需的扭矩,根据阀芯运动的转速,选择合适功率的耐高温电机。电机与驱动器相连,在控制卡的监控下精确运动,其运动参数在软件系统里实现和调节。根据选定的电机设计合适的传动机构,从而完成电气控制系统的设计。伺服控制系统连接方式见图 3。由于受井口尺寸的限制和井下高温的要求,电子元器件、控制元件及电机都必须精心设计和选择。

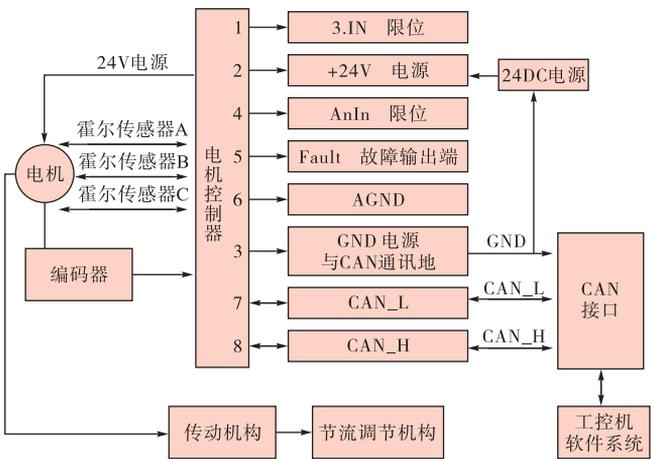


图 3 伺服控制系统连接方式

在本系统中,采用定位闭环控制模式来控制电机,根据实际生产要求输入节流调节机构的目标位置(绝对位置、相对位置均可),然后驱动电机按照一定的转速运动,到达设定目标位置后,电机自动停止转动。基于 CAN 总线的电机定位控制模式见图 4。定位控制器、斜率调节器和调速控制器是其核心模块,各模块中通过内置 PID 算法来实现对电机的精准控制。

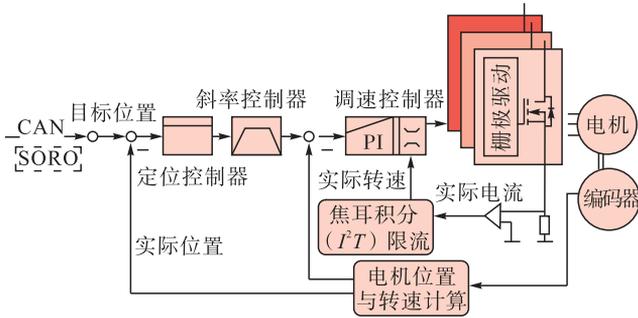


图4 基于CAN总线的电机定位控制模式

通过电气控制系统,可使井下节流器的电机状态参数检测与远程控制实现数字化操作,大大提高了节流系统的自动化和智能化水平,并且具有检测速度快、精度高、可靠性和稳定性好的优点;可同时利用计算机对数据进行全面、客观的采集和存储,便于工程技术人员对数据进行实时处理和后续处理。

## 2.2 基于分层设计法的软件系统设计

软件分析和控制系统模型也是智能井下节流器控制系统的关键环节,其主要作用是采集并分析井下的温度、压力数据以及电机的相关状态参数、运行参数等实时现场数据,再根据这些参数自动或半自动调节节流装

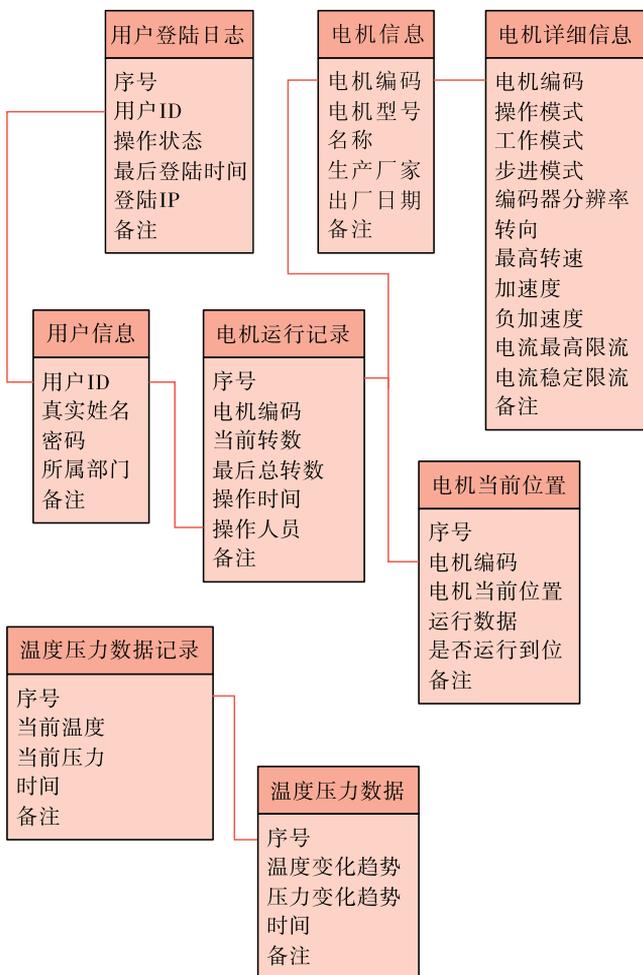


图5 系统数据逻辑结构模型

置的动作,建立井下参数与节流口参数的分析模型。

数据库是进行数据分析和软件设计的基础,目前最常用的数据库是关系型数据库,如 Microsoft SQL Server、ORACLE、Sybase、Informix、IBM DB2 等。关系型数据库的逻辑结构用实体-关系(Entity-Relation,简称 E-R)来表示。通过分析本系统的数据流及数据格式,建立数据逻辑结构模型,见图5。

结合当前常用的软件开发方法和设计思想,按照自上向下、逐步细化的原则,将软件系统划分成相对独立、功能单一的若干模块;采用分层设计的方法,从下到上将本系统分为物理层、链接层、对话层、应用层和用户层,各层之间通过通讯接口互相传输数据和消息。

软件系统采用的是 C/S 软件体系结构,见图6。将数据库服务器和操作系统均安装在工控计算机上,以 Windows 7 操作系统为运行平台,整个系统软件以 COM 组件或 DLL 动态链接库的形式对电机驱动器进行控制,实现井下电机的信息反馈和控制命令执行。

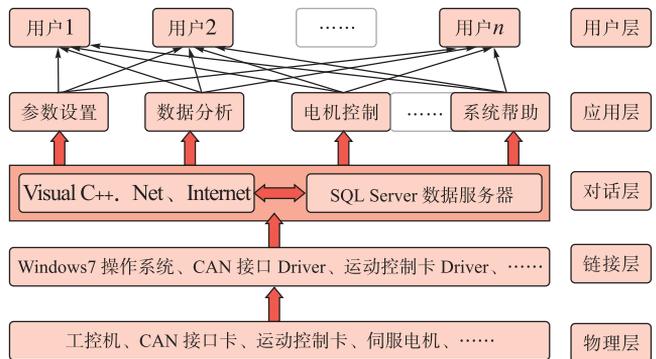


图6 系统软件架构图

## 3 运行实例分析

本系统目前正处于实验室测试评价阶段,系统上位机控制软件的主要功能模块包括参数设置、电机控制、信息反馈以及用户设置等模块,见图7。

整个系统的控制流程见图8。在对电机进行定位控制时,定位比例系数和定位积分系数的值可根据技术人员的需要进行调整,因此,软件还依据 PID 控制算法原理为用户设有 PID 参数输入对话框。

通过在模拟井的实验验证,该系统密封性、耐高温高压性、精准性及稳定性等都达到了 21 MPa 压差的设计工作目标;下一步将进行更大工作压差的实验与系统优化。同时,开发适应不同完井管柱的系列工具系统,以期在实际生产应用中逐步取代传统的纯机械式节流器。

## 4 结论

a) 基于 CAN 总线技术建立的智能式井下节流控制

系统能够为相配套的井下节流器提供动力源和监控手段,在地面上即可实时调节节流嘴大小,改变了传统关井和采取绳索作业更换节流嘴的方式,为革新节流工艺技术打下基础。

b) 智能式井下节流控制系统满足智能完井或数字化油气田技术中的数字化、自动化要求,通过其柔性的软件数据接口,本系统还能很好地同其他油气井现场生产软件系统进行集成。

c)通过对智能节流控制系统的开发设计,为其他井下智能工具提供研发思路,提升完井工具的技术水平,为采气工艺技术的改进提供设备支撑。

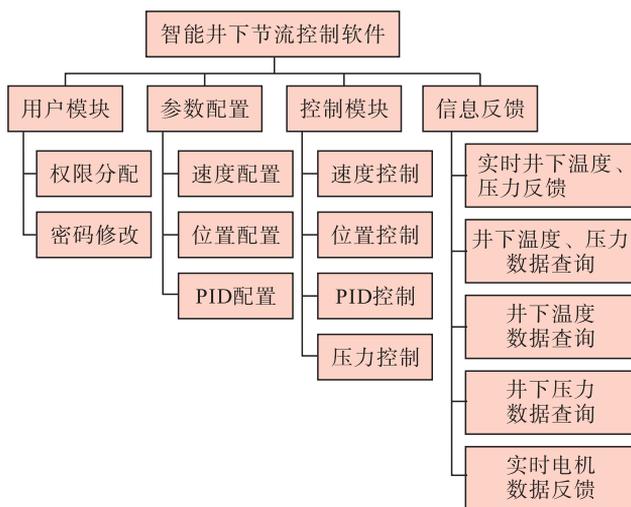


图 7 控制软件功能模块

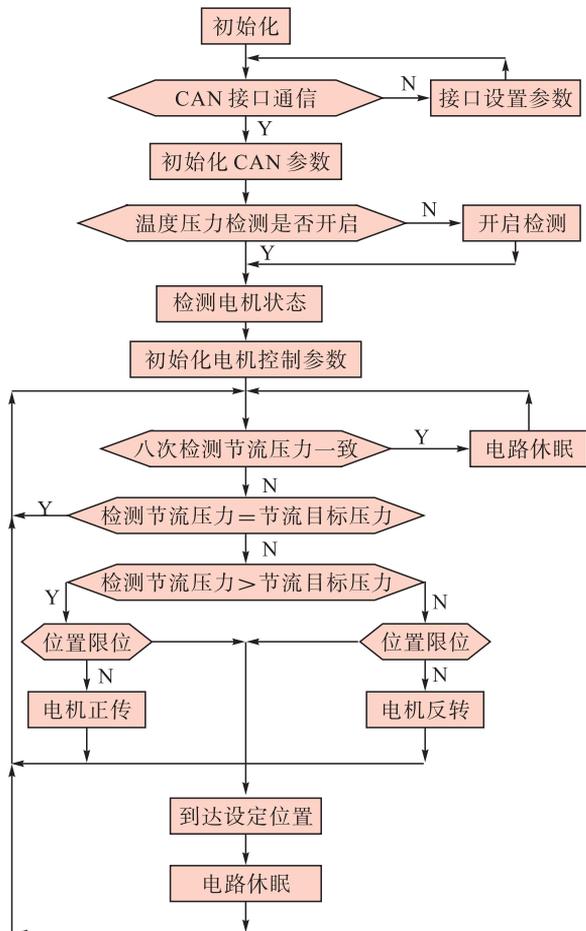


图 8 系统操控流程

参考文献:

[1] Han Danxiu, Li Xiangfang, Fu Lixia. Adaptability Study of Intelligent Well Systems in East China Sea Oil Field[J]. International Journal of Plant Engineering and Management, 2008, 13(4):205-213.

[2] Abdullatif A, Omair A L. Economic Evaluation of Smart Well Technology[D]. Texas: Texas A & M University, 2007.

[3] 李 晶. 数字管道技术在川渝地区的应用[J]. 天然气与石油, 2008,26(4):9-11.  
Li Jing. Application of Digital Pipeline Technology in Sichuan and Chongqing Areas [J]. Natural Gas and Oil, 2008,26(4):9-11.

[4] 王芳芳,易灵芝,陈海燕,等. 基于以太网的嵌入式交流伺服驱动系统实现[J].计算机工程,2012,38(13):218-220.  
Wang Fangfang, Yi Lingzhi, Chen Haiyan, et al. Realization of Embedded AC Servo Drive System Based on Ethernet [J]. Computer Engineering,2012, 38(13):218-220.

[5] 张咏军,王航宇. 油田远程智能电机群控系统研究[J].科技广场, 2007,(9):166-168.  
Zhang Yongjun, Wang Hangyu. Research of Remote Intelligent Motor Group Controlling System in Oil Field[J]. Science Mosaic,2007,(9):166-168.

[6] 贺安超,刘卫国,马 珊. 基于 CAN 总线的多电机嵌入式监控系统设计[J]. 计算机测量与控制,2011,19(7):1605-1607.  
He Anchao, Liu Weiguo, Ma Shan. Design of Embedded Multi-motor Monitor System Based on CAN Bus [J]. Computer Measurement & Control, 2011,19(7):1605-1607.

[7] 张海涛,窦满峰,郝晓宇. 基于 CAN 总线的多无刷直流电机控制研究[J]. 测控技术,2012,31(4):86-89.  
Zhang Haitao, Dou Manfeng, Hao Xiaoyu. Research on Control System of Multi-brushless DC Motors Based on CAN[J]. Measurement & Control Technology, 2012,31(4):86-89.

[8] 李卫成. 电动阀门执行器现场总线控制系统及应用[J].天然气与石油,2007,25(6):28-32.  
Li Weicheng. Application of Main Field Line Control System for Electrically Operated Valve Actuator [J]. Natural Gas and Oil, 2007,25(6):28-32.

[9] 段向军,曹桂玲,蔡云升,等. Profibus-DP 和 WinCC 在 MPS 改造中的应用[J]. 机械制造与自动化,2008,37(3):140-143.  
Duan Xiangjun, Cao Guiling, Cai Yunsheng, et al. Application of Profibus-DP and WinCC during Reforming MPS[J]. Machine Building & Automation, 2008,37(3):140-143.