

# 油井套管脉冲电流阴极保护监控系统设计

袁森, 周好斌, 徐兴龙

(西安石油大学 材料科学与工程学院, 西安 710065)

**摘要:** **目的** 设计油井套管脉冲电流阴极保护远程监控系统, 确保脉冲电流阴极保护系统安全运行状态, 实现集约化、数字化管理。 **方法** 基于二次逆变及 GPRS 无线通信技术, 设计采用 C8051F020 单片机为控制核心的脉冲电源系统, 并通过 HAR306 模块实现 GPRS 无线数据传输, 结合远程监控中心对油井套管脉冲电流阴极保护过程进行实时监控。 **结果** 该系统具有投入成本低、组网方便、数据传输稳定可靠、人机界面友好、功能强大等优点, 可以实现油井套管脉冲电流阴极保护的集约化、数字化、智能化管理。 **结论** 采用二次逆变方法设计油井套管脉冲电流阴极保护专用电源主电路, 在此基础上应用 GPRS 技术设计脉冲电流阴极保护远程无线监控系统的方案是可行的。

**关键词:** GPRS; 油井套管; 脉冲电流; 阴极保护; 监控系统

**中图分类号:** TG174.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3660(2015)03-0133-05

**DOI:** 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2015.03.023

## Design of Pulse Current Cathodic Protection Monitoring System for Oil Well Casing

YUAN Sen, ZHOU Hao-bin, XU Xing-long

(School of Material Science and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China)

**ABSTRACT:** **Objective** To design a remote monitoring system of pulsed current cathodic protection for oil well casings, in order to ensure the operation safe and achieve intensive, digital management with cathodic protection. **Methods** Based on the secondary inversion and GPRS technology, the microcomputer of C8051F020 was used as the control core for the pulse power supply system and the GPRS module of HAR306 for wireless data transmission, combining with remote monitoring center, real-time monitoring for oil well casing pulsed current cathodic protection was realized. **Results** The system had advantages such as low cost, powerful network building, friendly interface, powerful function and reliable data transmission, which could realize the digital, intensive and intelligent management for pulse current cathodic protection. **Conclusion** The main circuit of pulsed current power for well casing cathodic protection was designed using the second inverter method, on this basis, the scheme of designing wireless remote monitoring system using the GPRS technology was feasible.

**KEY WORDS:** GPRS; well casing; pulsed current; cathodic protection; monitoring system

收稿日期: 2015-01-08; 修订日期: 2015-02-18

Received: 2015-01-08; Revised: 2015-02-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(51271146); 陕西省科技统筹创新工程计划项目(2013KTCL-04)

**Fund:** Supported by the National Natural Science Foundation of China (51271146) and Shaanxi Provincial Science and Technology Innovation Project Coordinating Projects(2013KTCL-04)

作者简介: 袁森(1986—), 男, 陕西人, 硕士研究生, 主要从事油气管道腐蚀与防护技术方面研究。

**Biography:** YUAN Sen(1986—), Male, from Shaanxi, Master graduate student, Research focus: corrosion and protection technology of oil and gas pipeline.

通讯作者: 周好斌(1965—), 男, 陕西人, 教授, 主要从事油气管道腐蚀与防护技术方面研究。

**Corresponding Author:** ZHOU Hao-bin(1965—), Male, from Shaanxi, Professor, Research focus: corrosion and protection technology of oil and gas pipeline.

应用脉冲电流对油井套管实施阴极保护,相对于传统的直流阴极保护可以在很大程度上延长套管保护深度<sup>[1-4]</sup>,使一些深井或超深井的套管得到有效的全线保护。加拿大油田、中东阿曼油田等在 20 世纪 90 年代后期就已推广使用该技术<sup>[5-8]</sup>,在国内该技术目前还处于起步阶段,未见大规模应用<sup>[9]</sup>。实践表明,脉冲电流的参数如频率、占空比、幅值等均对套管保护效果有明显影响<sup>[10]</sup>,因此需要监测的运行参数很多。油井套管分布地域范围广、设备节点多且不易进行现场管理,因此,采用基于 GPRS 技术的油井套管脉冲电流阴极保护远程监控系统对阴极保护过程中的各项参数进行实时传输与监控不仅可以解决人工测量的不便及成本较高等问题,还可以对保护过程进行实时评价与干预<sup>[11]</sup>,确保整个脉冲电流阴极保护系统处于安全运行状态,实现集约化、数字化管理。

1 总体方案设计

目前各大通信运营公司的 GPRS/3G 技术飞速发展,该技术具有覆盖范围广、通信延迟小、数据传输快、组网方便、费用较低等优点,因此采用 GPRS 进行无线数据传输可避免重复建设,有效节约成本,并能解决数据传输距离受限等问题。如图 1 所示,整个油井套管脉冲电流阴极保护远程监控系统由脉冲电源装置、GPRS 通信模块、GPRS 基站、监控中心等组成,其主要功能是将现场采集的脉冲电源输出频率、占空比、输出电流及电压平均值、被保护油井套管实测电位等数据通过 GPRS 无线通信方式,经 Internet 传输至远程监控中心<sup>[12]</sup>,使得工作人员可以实现对数据的远程分析、计算、显示、存储、统计、回放,实现对远端油井套管脉冲电流下阴极保护参数实时监测和控制。一旦脉冲电源出现故障或者油井套管出现“过保护”等现象,能及时对其进行调节,同时可以对不同油

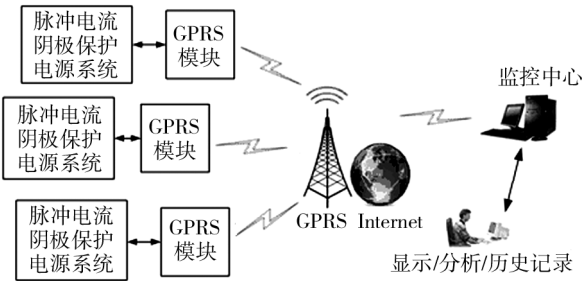


图 1 远程监控系统总体结构拓扑

Fig. 1 Overall topological architecture of the remote monitoring system

井套管达到最佳保护状态时的电源输出参数进行统计分析,摸索规律,建立不同土壤情况及套管服役条件下脉冲电源输出参数专家系统,实现对脉冲电流下油井套管阴极保护的智能化、精确化控制。

2 脉冲电源系统设计

2.1 脉冲电源装置

脉冲电流阴极保护电源装置硬件结构如图 2 所示,整个系统由控制单元与主电路单元构成,主电路单元采用二次逆变结构,即 AC—DC—AC—DC—AC 方式生成频率、占空比、幅值、基值均可调节的调制脉冲波<sup>[13]</sup>,变压器的设计要满足式(1):

$$U=4.44SBNf/10000 \tag{1}$$

式中:U 为输入电压,S 为变压器磁芯截面积,B 为磁感应强度,N 为变压器绕组匝数,f 为逆变频率。

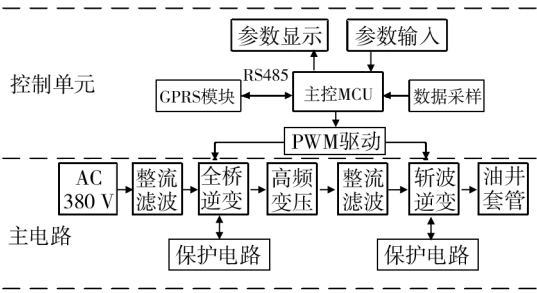


图 2 脉冲电源总体结构

Fig. 2 The overall structure of pulse power supply

由式(1)可知,在输入电压一定的情况下适当提高逆变频率可有效减小磁芯截面积,故引入一次高频全桥逆变单元可在很大程度上减小变压器的体积及质量,使电源获得良好的动特性,同时实现电气隔离。二次斩波逆变单元由单只 IGBT 开关管构成,通过斩波形成宽窄相间的 PWM 波,如图 3 所示,其中粗实线表示宽脉冲与窄脉冲的平均电流。因此通过改变宽、

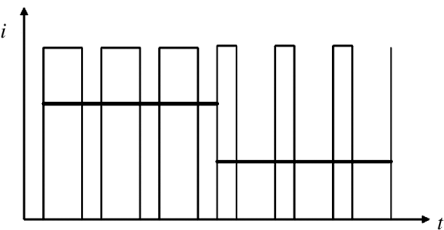


图 3 调制脉冲波生成原理

Fig. 3 The generation principle of pulse modulation wave

窄脉冲的频率与各自的占空比便可获得频率、占空比、幅值、基值均可调节的脉冲电流,再通过对输出电压、电流、管道电位进行采样,经过一定的自动控制算法,便可维持套管的保护电位在设定范围。

2.2 控制系统与数据采集单元

主控 MCU、驱动电路、外部信号采样电路、通讯接口等单元组成一个完整的智能控制系统。运行时,通过采集外部信号如保护电位、输出电压、保护电流等参数,通过滤波算法消除外界干扰,得到接近真实运行的参数值,然后再通过控制算法处理后自动调整脉冲电流的幅值与基值,确保油井套管处于最佳保护状态。每隔一定时间将需要记录的运行参数通过 RS-485 通讯接口与 GPRS 模块连接,将其传输给远程监控系统。本文设计主控 MCU 采用 C8051F020 单片机为控制核心,其最高执行速度为 25 MIPS,并可外扩 32 kB SRAM,512 kB FLASH,提供 24 路 12 位单端 AD 输入、2 路 12 位 DA 输出、1 路 RS485 通讯接口,5 路 PWM 输出,这些特性非常适合完成本文设计中所要求的数据实时采集、处理、存储、传输、显示等功能。

在系统运行过程中,脉冲电源的输出电压、电流可通过电压采样电路与霍尔电流传感器对母线进行直接采样,油井套管的实测电位可通过测量参比电极电位间接得到,测得的电流及电压信号经信号调理电路生成平滑的模拟信号曲线后经 AD 接口传递给微控制器,同时微控制器通过接口与其他外设进行互联,组成一个功能完备的微控制系统,整个微控制系统的接口框图如图 4 所示。

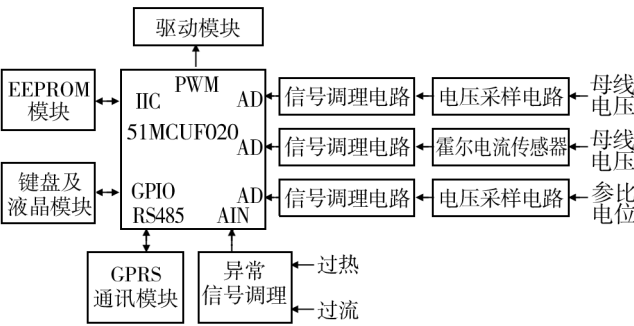


图 4 控制系统接口框图

Fig. 4 Schematic diagram of the control system

由于金属群周围存在杂散电流,且脉冲电流阴极保护电源主功率模块为高频开关电路,因此会产生严重的电磁干扰 (Electromagnetic Interference, EMI)。为了抑制干扰带来的测量误差,在硬件方面需要通过增

加无源缓冲电路、合理布局元器件,对变压器进行磁屏蔽,尽量使设备可靠接地;软件方面则要通过数字滤波算法对数据进行误差消除处理,还要通过循环冗余校验码 (CRC) 对数据帧的正确性进行检测,CRC 校验正确则接收,否则丢弃。

2.3 数据传输模块

数据传输模块主要由通讯接口电路及 GPRS 通信模块构成,单片机负责收集各脉冲电流阴极保护电源的电压、电流、功率模块温度和套管电位等数据,并经通讯接口电路传递给 GPRS 通信模块,再由 GPRS 通信模块发送到网络并最终到达监控中心服务器,监控中心对收集的数据进行分析与计算,同时将控制指令通过 GPRS 发送给脉冲电源对其进行控制<sup>[14]</sup>。

本文设计的 GPRS 电路模块采用华安瑞公司内嵌 TCP/IP 协议的 HAR306 模块。如图 5 所示, HAR306 通过 RS-485 接口与脉冲电源主控 MCU 相连,实现数据的发送和接收。由于 RS-485 最大的通信距离约为 1219 m,最大传输速率为 10 Mbps,RS-485 总线一般最大支持 32 个节点,如果需要采集周边多台脉冲电源数据,可以只使用一台 GPRS 通讯模块,然后通过蓝牙或者有线的方式建立脉冲电源与 GPRS 模块之间联系,这样更有利于节省成本。

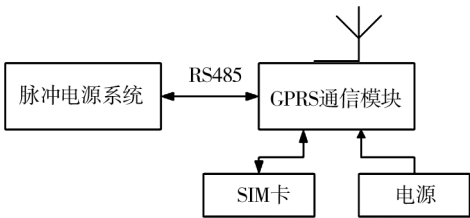


图 5 HAR306 接口示意

Fig. 5 Schematic diagram of the HAR306 interface

2.4 三层闭环控制策略

油井套管脉冲电流阴极保护电源系统的核心任务是保证被保护油井套管的保护电位在合理的范围之内,因此必须采用高效的控制算法对其进行闭环自适应控制,本文提出的三层闭环控制策略,如图 6 所示,其中电流反馈为内环,电压反馈为中环,套管实测电位反馈为外环。运用先进的算法实现脉冲电流阴极保护输出参数和被保护油井套管最佳工况匹配,保证油井套管始终处于最佳保护状态,同时运用该算法匹配电源输出功率到最佳值,更大程度地降低能耗并提升系统的稳定性。

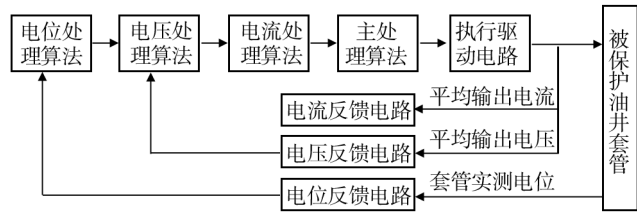


图 6 脉冲电源三闭环控制策略

Fig. 6 Triple closed loop control strategy of pulse power supply

3 中央监控系统设计

3.1 系统流程设计

数据监控中心主要由路由器、数据库服务器以及相应的监控中心操作软件等构成,主要完成数据采集、数据 A/D 转换、数据打包、数据传送等功能。系统软件按功能模块可划分硬件初始化模块、通信模块、数据处理模块、显示模块等。一次完整的数据传输流程如图 7 所示。

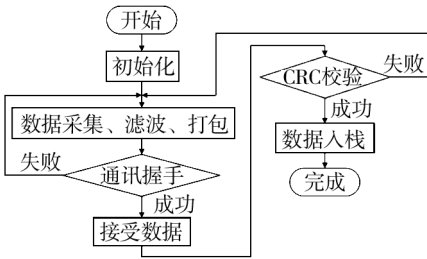


图 7 数据传输程序流程

Fig. 7 Flow diagram of the data transmission program

3.2 操作界面设计

数据监控中心主要完成对管线阴极保护系统参数的在线监控,可实现管道阴极保护参数监视、参数趋势图显示、历史参数查询、参数异常报警、历史报警记录查询、数据存储等功能<sup>[15]</sup>。监控系统对所采集的数据进行处理并以图形化方式显示,图 8 为监控中心的主操作界面。

1) 报警功能。当电源出现异常,如过压、过流、主功率模块过热、套管过保护等情况,及时发出报警信息,并传送维护指令(如紧急停机)给脉冲电源装置,并详细记录异常发生的时间、地点、故障机编号、故障类型等信息。

2) 显示功能。对采集的数据进行实时显示,对电流电压实现曲线显示,以直观判断出变化趋势。

3) 存储功能。采用优化算法,一旦被保护油井

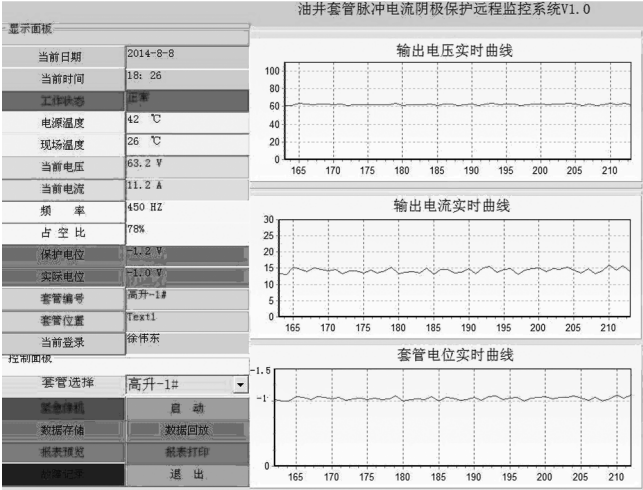


图 8 脉冲电流阴极保护监控系统主界面

Fig. 8 The main interface of monitoring system for pulse current cathode protection

套管在一段时间内处于系统设定的最佳保护电位内,即对该电源输出参数进行存储,建立数据档案,为日后的专家控制系统作数据铺垫。

4) 用户权限甄别功能。为满足级别不同的管理员权限需求,系统设置不同的操作权限。高级管理员可以打印、删除、修改、查询全部历史数据及相关信息,可以操作界面内所有按钮;中级管理员可以打印、查询历史数据,但不能进行数据修改,只能进行部分操作;普通管理员只能浏览页面信息,不能操作页面内容。

4 结论

对油井套管实施脉冲电流阴极保护相对传统直流型阴极保护更具有优势,本文在采用二次逆变主电路结构生成脉冲电流的基础上提出了基于 GPRS 的脉冲电流阴极保护远程监控系统实现方式,这种方式可有效节约成本,设计的人机界面简单友好,对数据信息的操作分析更直观化,特别适用于数字化油田建设需要。

参考文献

[1] 邱于兵,郭稚弧,林汉同,等. 脉冲电流阴极保护技术[J]. 腐蚀科学与防护技术,2001,13(4):226—229.  
QIU Yu-bing, GUO Zhi-hu, LIN Han-tong, et al. Pulsed Current Cathodic Protection Technology[J]. Corrosion Sci-

- ence and Protection Technology, 2001, 13(4): 226—229.
- [2] JONES D A. Principles and Prevention of Corrosion[M]. Upper Saddle River: Prentice Hall Press, 1996.
- [3] MACDONALD D D. Transient Techniques in Electrochemistry[M]. New York: Plenum Press, 1977.
- [4] 胡士信. 阴极保护工程手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1999.
- HU Shi-xin. Cathodic Protection Engineering Handbook [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1999.
- [5] SHIRO W A, ATSUSHI K. Mixed Layer Depth Front and Subduction of Low Potential Vorticity Water in an Idealized Ocean GCM [J]. Journal of Oceanography, 2007, 63(2): 125—134.
- [6] FABRIKANT V I. Resultant Forces and Moments in Mixed-mixed Problems of the Theory of Elasticity [J]. Zeitschrift Fur Angewandte Mathematik und Physik, 1999, 50(2): 948—971.
- [7] NACE. Standard Recommended Practice RP0186—1994[C]// Application of Cathodic Protection for External Surfaces of Steel Well Casings, 1994, RP0619: 7—65.
- [8] DONIGUIAN T M. Americans Gas Operating Section Proceedings [J]. National Geographic of Arlington, 1982, 44(1): 22—33.
- [9] 杨赫, 刘彦礼. 近年我国油气管道防腐技术的应用[J]. 化学工程师, 2008(2): 28—31.
- YANG He, LIU Yan-li. Applications of Corrosion Prevention Techniques on Pipeline of Oil and Natural Gas in China in Recent Years [J]. Chemical Engineer, 2008(2): 28—31.
- [10] 邱于兵, 王昊, 郭稚孤. 油井套管方波脉冲电流阴极保护模拟研究[J]. 油气田地面工程, 2000, 19(6): 35—37.
- QIU Yu-bing, WANG Hao, GUO Zhi-hu. Well Casing Simulation of Square Wave Pulsed Current on Cathodic Protection [J]. Oil Gas Field Surface Engineering, 2000, 19(6): 35—37.
- [11] 陶嘉楠, 黄新敬, 陈世利, 等. 利用集磁环检测管道阴极保护电流方法研究[J]. 传感技术学报, 2013, 26(10): 1374—1378.
- TAO Jia-nan, HUANG Xin-jing, CHEN Shi-li, et al. Research on the Method of Measuring Cathodic Protection Current in Pipelines Using Magnetic Collecting Ring [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2013, 26(10): 1374—1378.
- [12] 薛光, 黄明军. 管道工程智能测试桩和阴极保护监测系统[J]. 油气田地面工程, 2011, 30(6): 63—65.
- XUE Guang, HUANG Ming-jun. Pipeline Engineering of Intelligent Test Pile and the Cathodic Protection Monitoring System [J]. Oil Gas Field Surface Engineering, 2011, 30(6): 63—65.
- [13] 袁森, 周好斌. 一种油井套管阴极保护专用脉冲电源系统的研制[J]. 电源技术应用, 2014, 13(4): 29—30.
- YUAN Sen, ZHOU Hao-bin. The Design of a Pulse Power Supply System for Oil Well Casing Cathodic Protection [J]. Power Supply Technologies and Applications, 2014, 13(4): 29—30.
- [14] 王峰. 强制电流阴极保护及智能监测系统[J]. 油气田地面工程, 2008, 27(7): 68—70.
- WANG Feng. Impressed Current Cathodic Protection and Intelligent Monitoring System [J]. Oil Gas Field Surface Engineering, 2008, 27(7): 68—70.
- [15] 夏泽中, 刘婷. 阴极保护电源远程监控系统设计与实现[J]. 武汉理工大学学报, 2012, 34(1): 4—8.
- XIA Ze-zhong, LIU Ting. Design and Rization of Remote Monitoring of Cathodic Power Supply System [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2012, 34(1): 4—8.

(上接第125页)

- [13] CHEN Y Y. Corrosion Resistance and Mechanical Properties of Low-alloy Steels Under Atmospheric Conditions [J]. Corrosion Science, 2005, 47: 1001—1021.
- [14] TOSHIKI O. Enhancement of Electric Conductivity of the Rust Layer by Adsorption of Water [J]. Corrosion Science, 2005, 47: 2571—2577.
- [15] 李牧铮, 张军, 祁凤玉. 环境因子与大气腐蚀关系数学模型和大气腐蚀预测[J]. 中国腐蚀与防护学报, 1993, 12(1): 10—13.
- LI Mu-zheng, ZHANG Jun, QI Feng-yu. Mathematical Models for Dependence of Atmospheric Corrosion on Environment Factors and Prediction of Atmospheric Corrosion [J]. Journal of Chinese society of Corrosion and Protection, 1993, 12(1): 10—13.