

## 基于 LoRa 的管道阴极保护电位自动监测系统研发及应用

刘海峰 陈智勇 冯庆华 米杰 刘昱

中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司, 四川 成都 610051

**[摘要]**埋地天然气集输管道易受电化学腐蚀, 为延长管道寿命, 常施加阴极保护系统, 管道阴极保护电位是衡量保护系统是否有效的重点指标之一。本篇文章介绍基于 LoRa 研发的一种天然气集输管道阴极保护电位自动监测预警系统, 可显著提高阴极保护数据监控时效, 有效降低企业的人工巡检成本、减少人工误操作、误测量引起的误判与资源误消耗, 系统采用 LoRa 通信技术与省电功耗策略的使用, 使得采集终端在内置电池供电下, 使用寿命达 1~2 年。系统具备自动采集, 数据统计、自动异常数据报警功能, 为管道运行管理提供了可靠的技术手段。

**[关键词]**阴极保护电位; LoRa 技术; 自动监测; 低功耗; 预警分析

DOI: 10.33142/ec.v6i2.7768

中图分类号: TE9

文献标识码: A

### Development and Application of Pipeline Cathodic Protection Potential Automatic Monitoring System Based on LoRa

LIU Haifeng, CHEN Zhiyong, FENG Qinghua, MI Jie, LIU Yu

PetroChina Southwest Oil and Gas Field Branch, Chengdu, Sichuan, 610051, China

**Abstract:** Buried natural gas gathering and transmission pipelines are vulnerable to electrochemical corrosion. In order to prolong the service life of pipelines, cathodic protection systems are often applied. The cathodic protection potential of pipelines is one of the key indicators to measure the effectiveness of the protection system. This article introduces an automatic monitoring and warning system for cathodic protection potential of natural gas gathering and transmission pipeline based on LoRa, which can significantly improve the monitoring efficiency of cathodic protection data, effectively reduce the cost of manual patrol inspection of enterprises, reduce the misjudgment and resource consumption caused by manual misoperation and mismeasurement. The system uses LoRa communication technology and the use of power-saving power control strategy, so that the service life of the acquisition terminal can reach 1 to 2 years under the power supply of the built-in battery. The system has the functions of automatic collection, data statistics and automatic abnormal data alarm, providing reliable technical means for pipeline operation management.

**Keywords:** cathodic protection potential; LoRa technology; automatic monitoring; low power consumption; early warning analysis

### 引言

阴极保护技术普遍被认为是金属腐蚀防护方法中最经济、有效的一种方法, 因此管道的阴极保护十分重要。目前阴极保护电位数据获取方式通常是人工携带测量仪表现场测量, 为测量数据人员需携带仪器翻山越岭, 费时费力效率低下, 而测量的数据可靠性影响因素众多, 监测周期长、监测点分散, 越来越不能适应当前大规模、自动化的数据采集需求, 其具体原因如下。(1) 建成时间早。管道建设时期, 因受当时技术水平限制, 在数据采集与远程传输方面没有相关的设计考虑。(2) 改造工作量大。建成管道存量, 普遍无电位采集与远程传输功能, 若要实施改造, 工作量巨大。(3) 缺乏经济可行的改造方案。管道周边电力、通讯条件差, 目前已有的方案不适应现场条件或是投入和后期维护成本过高, 不具备经济效益。

### 1 设计方案

#### 1.1 系统设计思路

##### (1) 存在问题及技术选择

为了解决阴极保护电位的采集、传输、运行分析, 一

些企业自主开发了管道电位自动监测系统, 它们将服务器端数据库接口与原先的 SCADA 系统进行对接, 实现基于 GPRS/ 3G/ 4G / NB-L0T 的管道电位在线监控, 但实际使用中往往存在以下问题:

①基站信号覆盖范围有限: 众多油气管道分布于崇山峻岭和偏远地区, GPRS/4G 信号覆盖受限, 在山区、偏远山区等地的部署上存在难度。

②网络建设成本高昂: 建成一个 4G/NB-L0T 基站的平均市场价格需要达到 8-15 万元左右, 且主要依赖中国移动等三大运营商建造, 基站后期运营、维护带来巨大成本。

③如何合理解决供电问题在管道电位监测中是必须要考虑的, 低功耗、低投入、低运维成本是最佳的解决方案, 而这恰恰是现行系统所不具备的。

④设备链接规模受限: LoRa 设备接入量提升了几十上百倍, 并且具备明显的成本优势。

⑤系统功能不完善, 无法对阴极保护进行远程控制, 缺乏数据对比参考, 且数据采集的类型仍有局限, 不能满足采集断电电位和自然电位的需求。

表 1 常见通讯方式性能对比表

通讯方式	Zigbee	NB-IOT	LoRa
基站建设成本(元)	1000	80000	1500
传输距离(KM)	0.01-0.1	5-10	5-10
传输速率	25-250kbps	160-250kbps	0.3-50kbps
最大链接	200-500个	10万/扇区	6万/扇区

### (2) 系统设计框架

经过分析, LoRa 网络最为适合用于通讯条件差的山区管道数据传输。本系统整体框架主要由硬件终端、LoRa 网关和数据监控平台三部分构成。硬件终端依靠传感器实现对管道保护桩的电位数据采集, 系统可监测管道的通电电位、断电电位、自然电位等数据, 利用 LoRa 通讯模块通过基站将采集数据传输至 LoRa 服务器, 传输数据全部整合存储在 InfluxDB 数据库, 最终数据监测平台向数据库请求所需数据从而实现管线阴极保护系统数据的在线检测、自动传输以及智能分析, 远程监测平台负责接收各节点传输来的数据, 并对数据进行接收、处理、显示, 如图 1 所示。

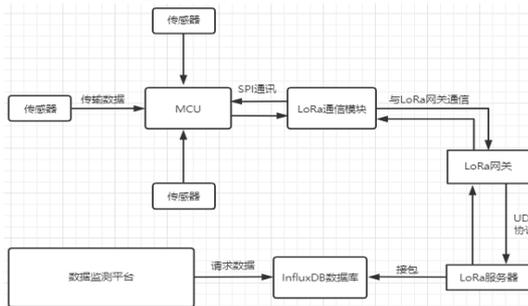


图 1 系统总体设计框架

### 1.2 硬件电路设计

(1) 最小系统。本设计利用了 MCU 的串行通信模块、ADC 采样及定时器中断模块等功能, 不仅提高了电路的可靠性且电路成本非常低。

(2) 供电单元。本设计供电电路由两部分电路组成, VCC 可由 USB 以及 VBAT 提供, 当连接 USB 时, 本设计所有的供电均有 USB 提供, 拔掉 USB 时就由电池 VBAT 供电。同时利用稳压芯片, 将 5V 电压转换成 3.3V 电压给 MCU 供电。

(3) 串行通信单元。该电路由 USB 接口实现人机交互功能, 提高了本系统的可操作性, 进一步加强了管理系统与本系统的通信联系, 提高了系统通信的稳定性和安全性。

(4) 电池充电单元。该电路采用单节锂电池充电器控制电池充电, 兼容大小 3mA-600mA 充电电流。内部采用了 PMOSFET 架构, 加上防倒充电路, 所以不需要外部检测电阻器和隔离二极管, 减少电路成本。

(5) 电位采样单元。通过利用 ADC 和 I/O 功能, 可控制对电池电压的采样, 防止电池过度充放, 有效延长内置电池的使用时间, 充分利用电池的容量, 提高了系统的

安全性和使用寿命。

(6) LoRa 通信单元。硬件终端运用 LoRa 实现数据、指令的无线接收与无线发送。LoRa 通信模块采用 SPI 通讯方式, 与 MCU 进行直接数据通信。此芯片采用 LoRa 扩频技术, 灵敏度高, 抗干扰性强, 可以实现较长距离的无线数据传输, 视距下约为 5000 m, 同时工作频段在 433MHz, 属于中国专用频段。LoRa 无线模块有三种传输模式可进行切换, 分别是定点传输、广播监听、透明传输。本设计运用拨码开关给每个节点设定唯一的地址, 每个节点可以独立地控制, LoRa 模块选用定点传输模式, 分布在不同区域的硬件终端可以分别工作在不同信道。

### 1.3 LoRa 网关

由于需要测试的管道保护桩多数位于位置偏远、地形复杂的山区, 因此需要建立基站用于数据传输。LoRa 网关的主要功能是 LoRa 网络组建和管理、数据传输及协议转换、数据存储等。硬件上, LoRa 网关基于四核 64 位的 ARM Cortex-A72 架构处理器构建, 主频达 1.5GHz, 可选 1G、2G 或 4G LPDDR4 内存, 支持千兆工业以太网, 配备了两个 USB 3.0 和两个 USB 2.0 端口。基站同时配置两个 LoRa 模块, 分别为模块 a 和模块 b。其中, 模块 a 内置 LoRa 集中器 IP 核, 数字信号处理能力强, 可以接收最多 8 个不同扩频因子、不同信道的 LoRa 数据包, 支持国际 LoRaWAN 标准频段。模块 a 与硬件终端进行通信, 实现阴极保护系统数据的采集; 模块 b 用于组网和数据上传至监控平台, 支持 wifi /3G/4G 通信。采用 N 个电位采集节点与单个 LoRa 网关集中管理的方式组织各节点的组网和运行应用服务器部署在内部网络, 接受网关了数据存储和预处理。

### 1.4 数据监控平台

数据监控平台通过读取数据库中的数据, 结合管理和技术分析要求, 可进行数据分析和数据展示, 支持对单一点位不同时间的数据变化情况进行分析, 也可对同一管道的各个节点进行数据分析。结合数据正常运行范围, 支持设置预警, 当数据偏离正常值可推送到平台, 提示数据异常及时处理, 还可根据需要形成报表, 可视化的反映油气管道运行情况并提供管理建议。除此, 也可以根据需要, 与现行的数据平台进行对接, 将相关数据自动推送到信息化系统中, 减少人工工作量。



图 2 上位机诊断系统图

## 2 效果分析

### 2.1 管道电位监测系统的应用

本管道电位监测系统在西南油气田巫山坎增压站至讲治站的原料气管线（门讲线）进行了安装与试验，管线位置处于偏远山区，运营商基站信号弱，符合川东地区典型的地貌特征。此管线于2005年投用，管线长度10.43km，管径159mm，壁厚8mm，采用石油沥青防腐，沿线依次布置了1号-11号共11处管道测试桩，严格按照每公里1个管道测试桩部署，其中10号到讲治站的11号桩距离0.43公里，巫山坎增压站已配置有一台恒电位仪，新设一座基站。通过管道测试桩改造安装、测试比对、系统调试远控终端实现对该管线的阴极保护状态远程监控。

(1) 运行状况检测。阴极保护监测系统可实时显示阴保机的运行参数以及各电位点埋地管道的电位数据，在地理信息系统中展示电位桩的分布状态及实时电位数据。

(2) 数据准确率对比。该系统具有实时传输数据并且本地存储的优势，同时经过现场验证，具备非常准确可靠的数据传输能力。开展数据准确性验证，以人工现场测量管道电位的方式，将人工测量数据与系统采集数据进行对比，验证结果显示人工采集管道电位和系统电位基本一致，表明阴极保护监测系统采集电位是准确可靠的。因此，满足对阴保机和各测试点进行同步通断操作评价阴极保护效果时，阴极保护监测系统数据同样是可靠的。

**表2 实际测量电压和监控电压比对分析表**

测试桩桩号	最低保护电位 (-V)	测试电位 (-V)	监测系统测试电位 (-V)
1	0.85	1.073	1.075
2	0.85	1.025	1.027
3	0.85	1.024	1.019
4	0.85	1.116	1.116
5	0.85	1.063	1.063
6	0.85	1.067	1.064
7	0.85	10.26	1.029
8	0.85	1.139	1.141
9	0.85	1.018	1.016
10	0.85	1.147	1.141
11	0.85	1.056	1.058

(3) 传输距离测试。现场开展试验，依次测量1-11号桩接收基站网络信号的能力，其中1-8号管道测试桩的硬件终端可以接收到安装在巫山坎增压站的LoRa网络基站信号，数据传输稳定、正常，其中8号桩距离巫山坎增压站最远，直线距离4.9公里。当测试到9号桩时发现硬件终端不能搜索到基站信号，直线距离基站位置6.1公里。

(4) 预警分析功能。展示监测点最新时间段的对某一时间的通电电位、断电电位、自然电位等数据，通过设置的阈值，系统能够对数据进行自动判定，异常值突出显

示。系统提供电位监测设备的数据分析功能，实现监测时间选择对报警情况进行过滤，利用图表等方式，分析展示警情汇总情况、空间分布、处置情况、历史趋势等信息，辅助技术人员及时掌握电位监测数据动态。

(5) 阴保机同步控制。管道电位监测系统具备阴保机的同步控制功能，用于控制阴保机的通、断档来满足监测通电电位、断电电位及自然电位等。同时具有三种采集方式，分为间隔采集、定时采集、自动触发采集3种模式，最小采集间隔1ms（可调），并记录整个管道去极化过程，以保证采集数据的准确性。

通电电位采集：每天7:00、13:00、15:00、19:00定时采集1次通电电位，采集数据上传后硬件终端进入休眠状态。

异常电位采集：当有突发电位异常时硬件终端可自动苏醒采集数据并上报预警。

断电电位采集：每季度1号10:00利用LoRa通讯模块控制阴保机断电，硬件终端同步采集断电电位上传，上传后控制开启阴保机，同步硬件终端进入休眠状态。

自然电位采集：每年的3月3日10:00利用LoRa通讯模块控制阴保机断电，断电25小时后硬件终端采集自然电位并上传，上传后同步控制开启阴保机，硬件终端进入休眠状态。

### 2.2 经济性效果评价

(1) 建设成本低。以门讲线为例，监测沿线11座管道保护桩的电位数据，需要11套硬件终端，讲治站和巫山坎增压站各建立1座网络基站，基地安装1台LoRa服务器，费用约5万元。基站对于其他邻近管线的电位测试桩可以共同使用，无需单独建立，因此总体制作成本较低，适合大范围铺设此系统。

(2) 设备功耗小。本系统采用低功耗处理器，在定期采集数据并上传后处理器即进入休眠状态，待机电流低至4μa，当数据异常时，处理器可自动恢复运行并采集数据传输上报，系统可及时获取异常情况，提醒技术人员及时分析处置。经理论计算，单次充电后电池可连续运行1-2年，运行时间长、运维成本低。

### 2.3 网络安全评价

(1) 数据传输过程分析。LoRa不需要先将数据送到运营商云端便可直接发到客户端，LoRa网络采用自建，终端数据的数据传输过程自主可控，能够满足机控检测、环境监测等注重数据保密性的要求。LoRa数据直接在本地完成采集和计算，数据甚至不会离开片区的范围，数据可以完全存储在本地。企业的网络通过内网、外网隔离实现网络安全，从数据传输过程分析（网络层分析）LoRa具有较高的安全特性。所以LoRa在本地收集，处理和存储数据，数据受网络所有者的完全控制，不会离开私有的网络。

(2) 数据加密方法分析。LoRa作为私有网络，可以

根据自身的需求制定数据的安全加密算法,甚至可以牺牲数据率和成本达到安全的目的。LoRa 技术是一个物理层的透传技术,用户可以在其网络层链路层架设自己的安全引擎,可以进行最深度的定制。从数据加密方法分析中,LoRa 的安全性可以得到保证。

### 3 结论

(1) 天然气集输管道部署传统通讯网络和供电系统的巨大成本,是限制管道普及自控功能完善的重要因素,将低功耗长距离无线传输技术和高性价比微处理芯片融合,应用于管道电位数据远程采集,建立管道电位数据在线诊断系统,实现了电位采集轻量化运维,是管道保护领域的自动化数据采集与诊断的适应较强的设计方案。

(2) 本设计方案具有建设成本低、设备功耗小、数

据传输安全等优点,适合在原有天然气集输管道上进行改造,从而实现管道阴极保护数据的自动采集与分析监测,进而提高管道阴极保护数据管理水平。

### [参考文献]

[1] 冉林,王琳琳.燃气管道阴极保护电位自动化监测系统开发及应用[J].2018年全国天然气学术年会论文集(5 储运/安全环保及综合),2018(2):336-373.

[2] 吴玲,兰翔,刘军.长输管道阴极保护电位的自动检测技术研究[J].天然气与石油,2005,23(5):17-20.

作者简介:刘海峰(1970-),男,高级工程师,硕士,1992年6月毕业于中国石油大学油气田开发专业,现任西南油气田分公司规划计划处处长,主要从事油气田开发项目管理。