

智能阴极保护系统在长输油气管道中的发展及应用

张红兵¹ 于立军² 张本革² 鲍洁³

[1. 国家石油天然气管网集团有限公司工程部; 2. 国家管网集团工程技术创新有限公司;
3. 辽河油田(盘锦)储气库有限公司]

摘要 随着全球物联网、5G 移动网络、云计算、大数据等新兴技术的快速发展,长输油气管道的智能化建设和运行已成为不可阻挡的历史潮流;智慧管网成为长输油气管道的发展方向。智能阴极保护系统作为智慧管网建设的重要一环,对降低管道腐蚀风险,保证管道安全运行具有重要意义。国家管网集团已初步建成了以智能阴极保护管理平台为主体的阴极保护数据自动化采集、传输、存储、智能化分析及辅助决策系统,为管道的腐蚀防护决策起到了重要的技术支持作用。

关键词 智慧管网;智能阴极保护系统;智能测试桩;ER 腐蚀速率探头

1 前言

进入 21 世纪以来,我国长输管道迎来了战略发展机遇期;截至 2022 年底,全国长输天然气管道总里程已超过 11.8km。国家管网集团“十四五”规划新建油气管道里程约 2.5 万 km,其中西气东输三线中段(中卫—吉安)、西气东输四线天然气管道工程(吐鲁番—中卫段)等重大工程建设已接近尾声,虎林—长春天然气管道、川气东送二线天然气管道工程等项目已开工建设。目前,长输管道的建设和管理正在向智能化方向发展,管道的焊接和防腐补口等已经实现了自动化和智能化施工,智慧工地建设成绩斐然;同时智慧无人站的建设也取得了较大进展,在齐齐哈尔支线天然气管道工程等项目率先应用。总之,随着全球物联网、5G 移动网络、云计算、大数据等新兴技术的快速发展,长输油气管道的智能化建设和运行已成为不可阻挡的历史潮流。

2 智慧管网

智慧管网是在标准统一和管道数字化的基础上,以数据全面统一、感知交互可视、系统融合互联、供应精准匹配、运行智能高效、预测预警可控为目标,通过“端+云+大数据”的体系架构集成管道全生命周期数据,提供智能分析和决策支持,用信息化手段大幅提升质量、进度、安全管控能力,实现管道的可视化、

网络化、智能化管理,最终形成具有全面感知、自动预判、智能优化和自我调整能力,且安

全、高效运行的智慧油气管网。

智能阴极保护系统作为智慧管网建设的重要一环,对降低管道腐蚀风险,保证管道安全运行具有重要意义。目前,国家管网集团形成了以智能阴极保护管理平台为主体的阴极保护数据自动化采集、传输、存储、智能化分析及辅助决策系统,为管道的腐蚀防护决策起到了重要的技术支持作用。

3 智能阴极保护管理平台

3.1 概述

智能阴极保护管理平台包括数据感知、数据传输、数据存储、智能分析及辅助决策等系统,可实现阴极保护数据的远程监测与控制,提高阴极保护数据采集的准确性,大大降低现场管理人员的工作量;智能阴极保护管理平台能够通过数据感知系统提供的数据及时发现管道沿线的交/直流干扰源,为交/直流干扰防护决策提供数据支持,也可以根据相关数据判断交/直流干扰防护措施的有效性。

近年来,随着大数据和物联网技术的发展,智能阴极保护管理平台已经具备以下功能:

(1) 根据智能终端系统的运行参数和状态,通过算法控制,自动调整终端设备的运行参数,保证阴极保护效果。

(2) 根据智能终端系统上传的阴极保护数据,结合相关数据的阈值设定,通过数据汇总和智能算法分析,自动判断阴极保护系统的运行状况。

(3) 将阴极保护的数据分析结果及系统的运行状态发送给终端用户, 用户可以随时掌握相关状况及信息。

(4) 通过设备的运行参数和运行状况, 智能判断设备是否运行正常。

(5) 根据智能诊断评估结果, 给出建议措施, 辅助用户进行故障和异常分析决策。

(6) 智能提醒用户处理工作任务, 对日常工作任务执行情况进行汇总统计。

3.2 数据感知

数据感知系统主要包括智能测试桩、RE 腐蚀速率探头、电位传送器、恒电位仪等数据采集设备。

3.2.1 智能测试桩

智能测试桩是应用最为广泛的阴极保护数据采集工具, 它由参比电极+试片(或极化探头)、数据采集仪、数据传输模块及桩体构成。智能测试桩能够采集管道的自然电位、通电电位、断电电位、交流电压、交流电流及直流电流等阴极保护参数, 并通过数据传输模块传输到智能阴极保护管理平台。同时, 可以通过管理平台对数据采集频率、触发电压等进行远程控制。对于存在直流干扰影响的区域, 可以通过设置触发电压, 从而实现阴极保护数据的自动、实时记录, 及时发现直流干扰对管道的影响, 从而为直流排流提供技术支持。

3.2.2 ER 腐蚀速率探头

ER 腐蚀速率探头主要应用于交/直流干扰区管道腐蚀速率的测量, 同时也可以测量通电电位、断电电位、交流电压、交流电流密度、直流电流密度及防腐层破损点扩散电阻等数据。ER 腐蚀速率探头主要由 ER 腐蚀探头、参比电极+试片(或极化探头)、数据采集仪、数据传输模块及桩体构成。

3.2.3 电位传送器

电位传送器主要应用于阀室处阴极保护电位的测量。传统的电位传送器只能采集管道的阴极保护电位, 通过点对点或 Rs485 接口将数据传入站控系统。近年来, 随着技术的不断发展; 将检测试片、无线数据传输等集成到电位传送器中, 形成了智能型电位传送器, 具有智能测试桩的全部功能, 同时能够实现数据的有线和无线传输。

工艺站场区域阴极保护系统通常为多回路保护系统, 每个回路相对独立, 存在多回路数据采

集、上传的需求, 为满足工程需要, 研发出了多路数据采集和多路数据传输为一体的多路型智能电位传送器, 已经开始在部分项目中成功应用。

3.2.4 智能型恒电位仪

恒电位仪是阴极保护系统的核心设备。传统的恒电位仪通过恒电位(或恒电流)模式控制管道的阴极保护电位, 通过汇流点处参比电极反馈的通电电位对恒电位仪进行手动调节控制。智能型恒电位仪通过极化探头(或参比管组合)能够实现管道阴极保护断电电位的测量, 并且根据预设的阴极保护范围阈值进行自动调节, 确保管道上的阴极保护电位始终在设置的区间内。

3.3 数据传输

目前, 智能恒电位仪和电位传送器的数据传输方式主要包括 Rs485、点对点、RJ45 及无线传输等; 其中点对点和 Rs485 传输方式只能将数据传输到站控系统, 后续可以通过公网将数据传到智能阴极保护管理平台, RJ45 和无线传输方式可以通过公网系统直接将数据传到智能阴极保护管理平台。

智能测试桩和 ER 腐蚀速率探头通过无线传输方式直接将数据传到阴极保护管理平台。

3.4 阴极保护管理系统

阴极保护管理系统软件为 B/S 架构, 能够将系统的客户端管理软件和服务程序软件分离, 便于管理和维护; 以地理信息系统(GIS)作为管理平台, 更直接、形象的反映被保护管道的运行状况, 方便查看管道的走向、设备的位置以及环境地貌的情况, 更准确的定位设备; 特别是存在报警信息时, 能及时准确的反映报警设备所在的位置。

用户通过电子地图可以直接查看管道全线阴极保护状况, 在地图上对阴极保护设备进行远程监控和管理。阴极保护管理系统能够自动存储阴极保护数据, 提供数据人工录入和自动统计分析功能, 通过数据智能分析和大数据计算, 辅助用户进行故障和异常分析决策。

4 智能阴极保护管理平台的应用

目前, 国家管网集团大部分长输管道线路阴极保护数据已经接入智能阴极保护管理平台, 形成了以地区公司为中心的管理架构体系, 具体如图 1 所示。同时, 国家管网集团在高压直流感地极干扰区安装了 ER 腐蚀速率探头, 实现了对直

流杂散电流干扰影响进行实时在线监控；在部分站场实施了智能区域阴极保护，实现了区域阴极

保护的远程监测与管理。

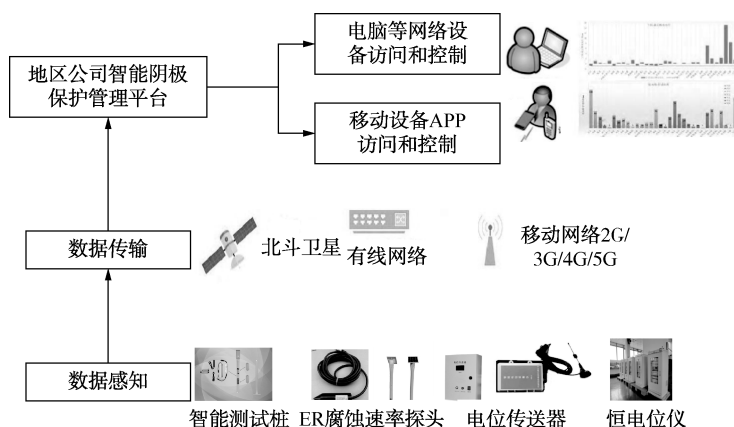


图1 智能阴极保护管理平台架构

4.1 高压直流接地极干扰防护

随着我国西电东送和特高压直流输电技术的发展，长输管道和输电线路不可避免的出现同一路走廊中。高压直流输电线路在故障或检修状态下，会有大量的电流通过换流站接地极流入大地中，导致接地极附近埋地管道和大地之间产生很高的电位差，造成直流杂散电流腐蚀；同时，也会在阀室内的绝缘卡套、引压管部位容易形成近距离放电，严重威胁设备和现场操作人员的安全。对于高压直流接地极干扰的防护，长输管道主要采用分段绝缘、恒电位仪强制纠偏、牺牲阳极排流和极性排流器排流等多种方式进行防护。

同时，采用ER腐蚀速率探头和智能测试桩对直流干扰区进行动态实时监控，将数据传输至智能阴极保护管理平台。根据阴极保护数据的变化，评估直流防护措施的有效性、确定接地极的放电时间。

4.2 智能区域阴极保护

区域阴极保护是目前公认的减缓站内埋地管道腐蚀的有效措施。国家管网大部分站场都采取了区域阴极保护，但运行中存在电流分配不均、相互干扰、屏蔽及调节困难等问题。同时，还需定期对阴极保护设施的状态进行人工测试，根据测试结果手动调节恒电位仪输出参数。随着智慧无人站的建设，亟需解决站内区域阴极保护测试、运行及维护问题。

智能区域阴极保护采用“检测—分析—调整—再检测—再分析—再调整”的PID循环控制方法，由点到面、由局部到全局的控制策略，持

续动态调整，均衡优化阴极保护效果，降低区域阴极保护管控的复杂度以及人力成本，提升阴极保护运行效果，助力管道安全高效运行。目前，已经在西部管道少数站场进行了试点应用，并取得了良好的效果。正在建设中的西气东输四线天然气管道工程（吐鲁番—中卫段）站场内采用了智能恒电位仪和智能电位变送器相结合的方法，实现了全部区域阴极保护数据的自动化采集、上传及阴极保护智能化调整，能够实现区域阴极保护远程实时监测和管理，大大降低现场人员的工程量。

5 结论与建议

智能阴极保护系统的建设与应用实现了线路阴极保护数据的实时传输、在线监测和故障诊断，大大提高了长输管道的阴极保护管理水平，降低了现场工作人员的工程量；同时，根据上传的交流电压、直流电流等数据能够及时识别管道沿线的交/直流干扰情况，记录高压直流接地极放电、直流轨道交通系统的干扰情况，为交/直流干扰防护设计提供技术支持。

随着物联网技术、5G移动网络、大数据及人工智能技术的发展，智能阴极保护技术将迎来更广阔的发展，建议在以下领域进行应用和研究：

（1）进一步推动智能区域阴极保护技术的发展，实现区域阴极保护系统在线监测、管理及智能化控制，助力智慧无人站建设。

（2）智能阴极保护的数据传输通过公网传输，应更加重视数据传输和终端软件的安全。

(3) 加强智能阴极保护管理平台数据接口标准管理, 加快建设管网集团统一的智能阴极保护管理平台, 尽快实现阴极保护成果和数据共享。

参 考 文 献

- [1] 国家能源局. 中国天然气发展报告[M]. 北京: 石油工业出版社. 2023: 6-7.
- [2] 王振声, 陈朋超, 王巨洪. 中俄东线天然气管道智能化关键技术创新与思考[J]. 油气储运, 2020, 39(7): 730-739.
- [3] 姜昌亮. 中俄东线天然气管道工程管理与技术创新[J]. 油气储运, 2020, 39(2): 121-129.
- [4] 董绍华, 张轶男, 左丽丽. 中外智慧管网发展现状与对策方案[J]. 油气储运, 2021, 40(3): 249-255.
- [5] 张来斌, 胡瑾秋, 肖尚蕊. 油气智慧管道“端+云+大数据”跨域“信息-物理”安全保障技术现状及发展趋势[J]. 安全与环境学报, 2023, 23(6): 1825-1836.
- [6] 马贵利, 刘海峰, 彭磊, 等. 长输油气管道智慧化管理的应用及发展趋势[J]. 天然气技术与经济, 2022, 16(5): 45-49.
- [7] 程万洲, 王巨洪, 王学力, 等. 我国智慧管道建设现状及关键技术探讨[J]. 石油科技论坛, 2018, (3): 34-40.
- [8] 李锴, 李江, 顾清林, 等. 西气东输智慧管网建设实践[J]. 油气储运, 2021, 40(3): 241-248.
- [9] 徐建辉, 聂中文, 蔡珂. 基于物联网和大数据的全生命周期智慧管道实施构想[J]. 油气田地面工程, 2018, 37(12): 6-13.
- [10] 郑安升, 黄留群, 范安强, 等. 智能管道技术在长输管道防腐领域的应用[J]. 焊接, 2023, 46(1): 24-30.
- [11] 李春雨, 何鹏程, 耿立娟, 等. 智能阴极保护系统在青海油田的应用与评价[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2022, 39(6): 60-64.