

智能化监测系统在长距离原油管道储运中的应用 与效能分析

孙宝齐 (山东港源管道物流有限公司, 山东 烟台 264000)

摘要: 超长距离原油管道是能源输送关键基础设施, 其安全运行事关能源供应与生态安全。传统人工巡检存在响应慢、覆盖不全、定位不准等缺陷, 难以满足精细化管理需求。本文基于物联网、大数据与人工智能技术, 阐述原油管道智能监测系统的架构、原理及应用, 分析技术瓶颈并提出完善方案, 为管道智能化升级提供参考。

关键词: 长距离原油管道; 智能化监测系统; 管道储运; 安全预警; 效能分析

中图分类号: TE6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 007-0133-03

Application and Efficiency Analysis of Intelligent Monitoring System in Long-distance Crude Oil Pipeline Storage and Transportation

Sun Baoqi (Shandong Gangyuan Pipeline Logistics Co., Ltd., Yantai Shandong 264000, China)

Abstract: Ultra-long-distance crude oil pipelines are critical infrastructure for energy transportation, whose safe and stable operation is crucial to energy supply guarantee and ecological environment security. Traditional manual pipeline inspection is flawed by slow response, incomplete coverage and inaccurate fault positioning, which can hardly meet the needs of refined management of pipeline storage and transportation systems. Based on advanced technologies such as the Internet of Things, big data and artificial intelligence, this paper expounds the architecture, principles and applications of the intelligent crude oil pipeline monitoring system, analyzes technical bottlenecks and proposes improvement solutions, providing a reference for the intelligent upgrading of long-distance crude oil pipeline storage and transportation for relevant enterprises.

Keywords: Long-distance Crude Oil Pipeline; Intelligent Monitoring System; Pipeline Storage and Transportation; Safety Early Warning; Efficiency Analysis

长距离原油管道具有运输量大、成本低、能耗小、安全性好等特点, 已经成为目前世界上各种原油管道中应用最广泛的输送方式之一; 中国原油管道网络规模不断扩大, 到 2023 年底已经达到近 15 万 km, 国内 7 成以上的原油运输量都是通过原油管道来完成。但是由于长距离原油管道通常穿行于山地、河流、湿地等复杂地带, 同时容易受到土壤腐蚀、第三方破坏及地质灾害等隐患的影响, 在运输过程中极易造成原油泄漏的现象, 进而产生严重的经济损失以及对周围环境和人们的生命财产安全产生重大的威胁。以前的管线监测主要以人工巡检和定点仪表监测为主, 这样会造成监测周期较长、范围较小以及事故发生后不能及时做出反应等情况。随着能源行业的智能化转型步伐加快, 利用智能化监测系统来对长输油品管道进行全面实时的监测会更加及时、准确地反映出整条管道的运行情况, 并能在事故发生时第一时间发现并上报, 因此智能化监测系统的使用与研究有着十分重要的现实意义。

1 智能化监测系统的构成与技术原理

1.1 系统整体架构

长距离原油管道智能化监测系统的整体架构是

“感知层 - 网络层 - 平台层 - 应用层”, 包含了从数据的采集到决策执行的全过程闭环, 具体来说就是, 感知层作为数据采集终端, 具有光纤传感设备、压力传感器、温度传感器、腐蚀传感器、视频监控等感知设备; 网络层采用 5G、北斗通信、工业以太网等方式, 将感知的数据快速、实时传输到平台上; 平台层则是基于大数据、云计算等技术搭建的数据存储、分析、处理中心, 实现了对采集上来的数据进行整理、分析和加工, 实现数据利用的最大化; 应用层是对实际需要监测管道情况、预警、运维的场景开发了泄漏预警、设备运维、风险评估等功能模块, 对相应的管理人员提供决策支持^[1]。

1.2 核心技术原理整合

智能化监测系统的核心技术围绕多维度感知与智能分析构建。光纤传感技术通过将光纤沿管线敷设, 利用散射效应捕捉振动、温度等信息, 依托泄漏引发的光信号变化, 实现 ± 1 m 精度、30 s 内的快速定位; 压力波监测技术在关键部位布设高精度传感器, 通过捕捉泄漏导致的压力突变及波传播特征, 适配长距离大口径管道的泄漏监测需求。人工智能分析技术以机器学习、深度

学习算法为核心, 经历史数据训练生成状态差异模型, 精准识别泄漏、腐蚀等故障并降低误报率; 物联网技术则实现沿线传感器与监控设备的联网互联, 打破信息孤岛, 保障数据实时采集共享, 构建起全方位立体化监测网络, 多技术协同支撑系统高效运行。

2 智能化监测系统在长距离原油管道储运中的核心应用

2.1 泄漏监测与应急处置

泄漏监测对于长输原油管道来说非常重要, 而智能监测系统使用了多种方式实现对于泄漏的快速判断和精确定位。如在某长输原油管道项目上使用分布式光纤传感、压力波组合方案, 实现长 800km 的连续监测, 在管输油品发生小漏损 (漏损量为 $0.5\text{m}^3/\text{h}$) 时, 实现 25s 预警报警, 并且精确定位漏点位置误差为 $\pm 0.8\text{m}$, 通过应用层获取漏点附近摄像机视频画面确定泄漏情况是否属实后, 启动应急预案关断所属阀门, 通过远程调度派遣抢险队伍赶赴现场, 避免出现泄漏损失扩大化的情况, 相比原来的人工巡检发现漏损需要约 4 个小时, 现在可以实现对漏损的 1min 以内发现与处置, 提升了处置效率 95% 以上^[2]。

2.2 管道腐蚀状态监测

长距离原油管道由于土壤腐蚀、原油介质腐蚀等原因会导致管道管壁变薄、穿孔等问题, 影响管道安全运行。智能化监测系统是在管道主要腐蚀部位安装腐蚀传感器, 监测管壁腐蚀速率、土壤腐蚀性、环境等数据, 利用环境监测数据进行腐蚀风险评估, 根据腐蚀速率来预估管道剩余使用寿命, 提前预警并指导管理人员进行防腐处理。采用智能化腐蚀监测系统的某原油管道, 在对其提前发现的 3 处高腐蚀风险区域进行防腐处理后, 没有再发生穿孔泄露问题, 并且每年减少维修费用 200 万左右。

2.3 设备运行的状态检测和智能化维护

长距离原油管道储运系统内拥有泵、阀、压缩机等大量的重要设备, 设备发生故障将会造成整条管线的停工。智能化监测系统利用各类的传感器, 比如振动传感器、温度传感器、电流传感器, 在关键部位安装之后, 实现了对设备运转的一些数据进行采集, 然后应用了人工智能算法进行智能的分析判断设备的运行状况。一旦发生例如设备发生异常振动、温度超限等故障预兆时, 能够自动报警并给出相关维护建议; 并且, 将设备的运行动态数据进行收集整理, 创建设备运维知识库, 能更好地达到运维工作规范化、智能化的目的^[3]。

2.4 第三方破坏监测与预警

第三方破坏 (施工挖损、非法打孔等) 会对长输

原油管道产生巨大的危害, 利用智能化监测系统通过分布式光纤传感和视频监控相结合的方式, 可以对管道沿线第三方的行为开展实时监测。

一旦发生管道沿线有施工振动或人员靠近等情况, 则迅速发出告警信息并联动监控点的视频监控设备抓拍场景照片并发送给后台管理人员终端, 随后管理人员可采取远程喊话、联系当地监管单位等方式及时制止第三方破坏行为。某原油管道利用该系统后, 第三方破坏事件每年由 12 起减少为 2 起, 确保了管道的安全。

3 智能化监测系统的应用效能分析

3.1 安全保障效能显著提升

3.1.1 风险预警能力增强

智能化监测系统的应用实现了“被动应对”到“主动预警”的转变, 在线实时监测, 智能识别判别, 预警准确率可达 98% 以上, 可以有效避免意外事故发生或者突发事件时把小事件变成大灾难, 减少突发事件的发生几率和损失^[4]。

3.1.2 事故损失有效控制

一旦出现泄漏等情况, 系统可以很快、准确地找到事故的位置并指导维修人员进行处理, 从而可以有效地减短事故的持续时间。采用智能化检测系统后, 经过管道泄漏事故的统计分析表明: 管道泄漏事故的平均处置时间由原来的大约 4 个小时下降为现在的 1 个小时以内; 泄漏量减少了 75% 以上。

3.1.3 安全管理覆盖全面

平台可实现对管道全里程、全时段不间断巡查检测, 弥补了传统人工巡线的检测死角缺陷, 在地势险峻、偏僻的地带, 巡线覆盖率达到 100%, 实现全方位的安全防护罩。

3.2 运输效率持续优化

智能化监测系统构建成套设备全生命周期健康管理, 利用振动传感器、温度传感器、压力传感器等多源数据的融合分析, 完成泵机组、阀门、压缩机等重点设备的在线监测工作。当系统通过多源数据融合判断出设备可能存在故障隐患, 并且测得设备振幅过大或者轴承温度过高时, 及时启动三级预警机制并关联历史数据库和故障树模型来精准查找问题所在。

GIS 及实时数据采集模块使管理员可以在可视化界面上看到整个管道沿途各监测点的压力、流量、温度等情况, 大数据分析加机器学习算法可以实现模拟方案运行, 并实时生成当前工况下的最优调控方案, 在冬季低温条件下, 通过判断管道沿线温度的上升趋势, 在保证原油的流动性的前提下降低燃料耗损约 15%–20%, 当处于输油高峰期时, 通过对各个泵站启

动顺序以及输油泵的转速进行优化调整,达到管道输油效率提升8%的效果,大幅度降低了输油的成本,从而把长距离原油管道储运向智能化、精细化的方向发展。

3.3 运营成本大幅降低

相对于传统人工巡检方式来说,人工巡检距离远、地段偏、地形险、情况杂,要靠人工对长距离、多批次的运油车逐条检查,在采用高标号汽油的公司工作量极大,耗费时间长,人工作业效率低,存在较大的安全隐患。而智能监测系统可架设感知设备和智能终端,可自动收集管道运行的数据并持续24h在线检测,利用智能监测系统搭载的先进故障诊断算法对管道设备进行在线健康监测,在线预测潜在故障的发生,并且能够对油罐车辆进行精准判定,在前期预警、重点监测阶段,提前进行判断并及时地做出针对性的工作规划来避免二次突发故障产生的高昂代价,极大地减少了管道设备因运行突发故障引起的大规模维修成本并且也能有效地提高管道设备的寿命。

运用这一系统之后,管道年维修成本能够平均下降超过40%,这为石油管道的效益提供了一定保障,也使得它更加稳定可靠。通过采集管道运行数据、环境参数和设备状态信息,应用智能优化算法,对管道运行调度和设备运维状态进行智能优化。例如:根据原油输送量、管道压力等参数,进行泵机组运行组合的选择优化,避免出现设备空载或无效载荷运行的情况^[5]。

3.4 管理水平大幅提升

通过对管道运行数据采集和分析,可以提供精准、全面的决策依据,从“经验管理”向“数据驱动管理”转变,进一步提高管道管理工作精细化水平;建立统一的数据共享平台,实现管道运管、维管、监管等各业务系统数据的汇集和共享、人员之间的协同配合、部门之间的联动共享,彻底打破信息壁垒,提高工作效率。

4 当前应用中存在的问题与优化方向

目前,长距离原油管道智能化监测中存在技术融合困难、数据安全无保障、缺乏统一的技术标准以及复合型人才欠缺等问题。

①从技术融合来看,光纤传感、压力波监测及人工智能分析等单一技术的应用割裂了管道内部工况各参数间内在关系,不利于形成管道整体健康状态综合判断,预警精度低且预警响应速度慢。

②从数据安全来看,系统产生的如管道位置、运行参数等敏感信息可能在传输或存储中遭到网络攻击、被窃取泄露,数据安全压力较大。

③从标准体系来看,缺乏统一的标准和技术规范,

致使管道内检测设备之间的接口不一致,不同监测装置的数据格式不一致,从而导致系统难以集成,影响系统的大规模使用。

④从人才支撑来看,油气管道行业内缺乏掌握管道技术和物联网、大数据、人工智能等多种专业知识的复合型人才,使得油气管道行业内系统很难向纵深方向应用,进而影响到系统不断进行升级完善。

综上,为了解决以上问题,优化发展方向可以从强化多技术融合创新,集束化融合光纤传感、人工智能、区块链等技术,打造包括管道本体和管周环境多个层次、多个维度的综合监测体系;增强数据安全保障能力,健全相关管理制度,落实诸如密钥加密传输、数据安全使用等措施,全面保障管道数据的安全;尽快构建完备的行业标准体系,保证设备接口统一,让所有数据保持同一种数据格式;利用校企合作、在职培训等方式,培养更多掌握油气管道技术和物联网、大数据、人工智能等领域相关知识的复合型人才。

5 结论

利用物联网、大数据、人工智能等先进信息技术集成,实现了长距离原油管道储运的远程监控、智能预警、精准运维等功能,在长距离原油管道储运的安全保障、工作效率、成本控制方面都表现出很强的应用效果,有效地解决了传统监测模式存在的各种问题,并且有助于推动长距离原油管道储运行业的精细化、智能化、高效化。目前的应用存在技术融合度不够高、信息安全存风险、缺乏相关标准、缺少专业人才等问题,应通过技术上的创新突破和制度的建设、培养出更多的专业人才来加以解决。由于其技术具有不断升级的趋势,所以智能监测系统的运用会更深入的参与到长距离原油管道储运中,对于我国能源安全保障及行业的高质量发展有着很大的助力。

参考文献:

- [1] 仇柏林,李长俊,何杰,等.长距离原油管道瞬态仿真高效求解研究[J].计算机仿真,2025,42(07):337-342.
- [2] 王晓滢.浅析西部原油管道多品种原油安全高效输送技术[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(12):170-172.
- [3] 蒋家欣.长输管道安全运行及数据分析研究[J].石化技术,2020,27(02):171-172.
- [4] 刘琨,余洪强,张二勇,等.高水位长距离顶管施工工艺的应用研究[J].中国石油和化工标准与质量,2012,32(07):64-65.
- [5] 黄翼虎,冯明忠,丁学军,等.检漏软件在输油管道SCADA系统中的应用[J].工程设计学报,2004(06):338-342.