

管道场站智能化改造关键技术探讨

彭晓明（贵州天然气管网有限责任公司，贵州 贵阳 550081）

摘要：管道输送是我国能源运输的重要方式之一，管道场站作为管道系统的重要组成部分，其运行状态直接影响着管道的安全可靠性。随着信息技术的快速发展，管道场站智能化改造成为提高管道输送效率和安全性的必然选择。本文首先分析了管道场站智能化改造的必要性，探讨了其改造的目标与要求；接着重点阐述了管道场站智能化改造的关键技术，包括现场设备智能化、过程控制智能化、信息管理智能化等方面的技术创新与实践；最后提出了未来管道场站智能化发展的展望。本文为管道企业管道场站智能化改造提供了理论指导和实践借鉴。

关键词：管道场站；智能化改造；关键技术；运行优化；信息管理

中图分类号：TE242 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)034-0082-03

Discussion on key technologies of intelligent transformation of pipeline stations

Peng Xiaoming (Guizhou Natural Gas Pipeline Network Co., LTD., Guiyang, Guizhou 550081, China)

Abstract: Pipeline transportation is one of the key methods for energy transport in China. As an essential part of the pipeline system, the operational status of pipeline stations directly affects the safety and reliability of pipelines. With the rapid development of information technology, intelligent transformation of pipeline stations has become a necessary choice to improve the efficiency and safety of pipeline transportation. This paper first analyzes the necessity of intelligent transformation of pipeline stations and discusses the goals and requirements of such transformations. It then focuses on key technologies for intelligent transformation of pipeline stations, including innovations and practices in on-site equipment intelligence, process control intelligence, and information management intelligence. Finally, it presents prospects for the future development of intelligent pipeline stations. This paper provides theoretical guidance and practical references for the intelligent transformation of pipeline stations in pipeline enterprises.

Keywords: pipeline station; intelligent transformation; key technology; operation optimization; information management

时下，能源需求呈逐年递增态势，勘探开采技术不断革新突破，为油气行业的快速发展注入强劲动力。管道在油气行业运输体系中处于关键节点，在开采、储运、销售等环节均发挥着至关重要的作用。管道场站作为管道系统的核心构成，承担着压气、计量、储存等重要职能，关乎整个油气供应链的稳定有序运行。不过，传统管理模式已显疲态，难以应对愈发复杂的生产需求，因而亟需进行智能化改造以增强管理效率与安全保障。

1 管道场站智能化改造的必要性

1.1 满足管道行业数字化转型的需求

当下，工业4.0时代全面开启，管道行业正加速推进深度的数字化转型。新一代信息技术如5G、人工智能、大数据的迅猛发展，为管道行业提供了前所未有的发展机遇。管道企业迫切需要运用智能化技术，达成管道在设计规划、施工建设、日常运营以及后期维护等全流程的数字化管理。此番转变，既重视提升管道系统的运行效率，也格外关注安全性的全方位提升。管道场站作为管道系统的核心枢纽，其智能化改造是推动行业数字化转型的关键一步，能实现设备状态实时监测、故障预先预警与精准判别，为行业整体

转型提供坚实保障。

1.2 提高管道场站运行的安全性和可靠性

管道场站内，压力管道、储罐、电力系统等高风险设备大量聚集，其运行情况对管道输送安全稳定影响深远。传统管理模式下，设备状态监测与维护主要依靠人工逐一巡查，不仅耗费大量时间，效率难以提升，而且漏检情况频繁出现。智能化改造通过引入先进的传感器技术和智能算法，实现了对设备运行状态的实时监测与精准分析。一旦察觉异常，系统立即发出警报，自动启动应急处理机制，极大降低事故发生概率。同时，精准诊断技术可深度挖掘故障根源，为维修方案制定提供可靠依据，提升设备运行安全与可靠性^[1]。

1.3 提升管道场站的运行效率和经济性

管道场站作为管道系统的核心节点，其运行效率对整体管道输送能力有着决定性影响。开展智能化改造后，对设备运行状态展开持续监测，运用数据分析手段优化运行参数，确保设备稳定处于最优运行情形。由此，设备利用效率提升，能源消耗与运维成本显著减少。而且，改造增进了场站与其他系统的信息沟通与协同联动，提升了综合效益，助其更迅速契合市场

变动，科学调度，实现资源合理配置，助力企业长远发展^[2]。

2 管道场站智能化改造的目标与要求

2.1 设备智能监控

在管道场站智能化改造工作中，设备智能监控是保障系统稳定、高效运行的重中之重。泵机、阀门、计量表等核心设备的运行状态，对场站安全水平和运行效率有着直接影响。传统监控方式依靠人工定时巡查，不仅存在时间上的滞后，还因主观因素导致判断出现偏差，难以实现精准监控。如今改造过程中，安装了高精度传感装置，可实时采集振动、温度、压力等参数，并通过物联网将数据传至云端。云端通过细致的数据调研和严谨的运算推导，深度解析设备状态，做到故障提前发现、性能精准判断。这一做法提高了监控的及时性与准确性，为预防性维护提供了坚实依据，降低了故障发生概率，延长了设备使用寿命。

2.2 过程自动化控制

管道场站工艺流程盘根错节，涵盖压力调节、流量控制、计量监测等诸多领域。传统人工操作模式效率低微，且极易受人员主观意识左右，产生操作偏差，最终引发失误。于智能化改造推进之际，引入尖端自动化控制系统，达成对工艺流程的精确把控。该系统可依预先设定的参数，自动调整压力、流量、温度等关键要素，确保工艺流程平稳有序运行。同时，经细致的数据梳理与缜密计算，对执行机构（如阀门、泵机）加以优化调节，提升响应速率、强化调节精度，减少能源与物料损耗。改造后，工艺流程稳定性与可靠性显著提升，为场站安全生产筑牢坚实壁垒。

2.3 信息共享与协同

管道场站作为油气输送体系的核心节点，与上下游环节关联千丝万缕。传统管理模式里，信息零散、流通受阻状况突出，上下游系统协同难达预期。开展智能化改造时，搭建统一信息交互中心，促成与上下游系统紧密融合、数据顺畅流通。生产规划、实时动态、应急安排等信息可在中心实时交互，提升了油气输送全程的透明度与协同管控效率。改造后，资源配置优化，应对突发状况的能力大幅跃升。

2.4 决策支持与优化

管道场站完成智能化改造后，在全面且精准掌握设备状态与工艺流程的基础上，决策支持与优化能力显著增强。专业人员对海量数据进行系统分类与深度剖析，挖掘出数据深层的价值，为设备维护、工艺改进、调度规划等提供可靠决策参考。例如，依据设备运行数据估算故障发生概率，提前规划维护；通过工艺数据解读优化生产环节，提升效率；结合市场与能源价

格制定最优调度，降低运营成本。改造提升了管网运营效益，助力企业稳步前行。

3 管道场站智能化改造的关键技术

3.1 现场设备智能化

3.1.1 设备状态实时监测技术

设备状态实时监测是现场设备智能化的核心环节。在管道场站中，于各类设备的关键部位精心布置振动、温度、压力等类型多样的传感器，构建起严密的多参数监测网络，确保对设备运行状态的全面且细致的感知。

传感器所采集的数据，通过高速通信线路快速、准确地传输至监控终端，逐步形成设备运行的动态数据集合。对于地处偏远的场站设备，采用 LoRa、NB-IoT 等低功耗广域通信技术，能实现设备数据的远程、稳定传输，有效突破地理条件的限制。监测系统遵循边缘计算原则，在传感器端对数据进行初步筛选与处理，减少数据传输量，提升系统响应效率。同时，运用时间序列分析技术，从海量数据中精准提取关键特征，建立特征数据库，为故障诊断提供可靠依据。

3.1.2 设备故障诊断技术

设备故障诊断技术基于实时监测数据，深度融合设备运行机理与故障模式既有认知，搭建起严谨的诊断框架。运用卷积神经网络（CNN）与长短期记忆网络（LSTM）联合分析手段，对设备振动信号进行细致入微的解析，达成故障模式的精准自主识别。同时，确立设备健康指数量化规范，全面评估设备运行状况，明确劣化边界，为维护方案的规划提供坚实支撑。

在维修指导领域，增强现实（AR）与虚拟仿真技术成效显著。AR 技术将设备三维形态与实时监测数据融合呈现，使维修人员快速洞悉设备状态。虚拟仿真系统创设故障模拟场景，供维修人员开展虚拟操作训练，强化故障应对能力，进而提升现场维修效能。此技术协同既减少维修潜在风险，又经经验沉淀形成企业维修知识体系，保障维修技能稳步传承。

3.1.3 预测性设备维护技术

预测性设备维护技术着力构建设备寿命预估机制，促使设备维护模式由被动处置转向主动预防。它以设备状态监测所收集的数据以及故障诊断的最终判定为依据，运用随机森林、支持向量机等数理分析工具，构建设备剩余使用寿命（RUL）预估模型，精准评估设备劣化态势。

依托可靠性工程原理，充分考量设备运行的环境条件，对模型参数展开精细调整，提升预估的精确程度^[3]。在此过程中，对大量设备运行数据采用关联规则挖掘、聚类分析等研究方法，归纳出设备劣化规律，

明确设备健康状态与运行参数的内在联系。基于这些研究结果，制定更具弹性的维护方案，推动设备维护从“固定时段维护”转变为“按实际状态维护”。这种基于数据的研究决策方式，显著增强了设备运行的稳定性，降低了意外停机的发生几率，为企业带来了显著的经济效益。

3.2 过程控制智能化

3.2.1 过程优化控制技术

过程优化控制技术是管道场站实现智能化运行的核心支撑。因场站工艺具备复杂特性，故要构建高精度过程模型，此模型融合流体动力学、热力学及材料力学等多学科关联要素。采用梯度下降法、遗传算法等先进优化方法，确立以降低能源消耗、提升输送效率为目标的双目标优化函数：

$$\min_u \left\{ J_1(u) = \int_0^T P_{\text{loss}}(t) dt, \quad J_2(u) = - \int_0^T Q_{\text{out}}(t) dt \right\}$$

其中， $P_{\text{loss}}(t)$ 为瞬时能耗， $Q_{\text{out}}(t)$ 为输送流量， u 为控制变量集。运用动态规划或强化策略实现实时优化，并依托数字孪生技术开展虚拟验证，确保控制策略稳定可靠。

3.2.2 故障诊断与应急控制技术

故障诊断与应急控制技术专注于管道场站异常工况的精确辨识与迅速处置。构建依托知识图谱的故障诊断知识架构，把设备实时运行状况、既往故障详细资料以及行业资深专家经验充分整合，形成全面系统的多模态故障特征体系。

基于卷积神经网络(CNN)和循环神经网络(RNN)的相关理论，对传感器所采集数据进行时空特性分析，达成故障模式的精准划分与准确定位。针对各类故障，制定分层应急控制举措：可恢复故障运用自适应容错调节，修正控制规则维持系统运转；灾难故障立即启动紧急切断，按动态规划理念优化资源安排，降低事故波及范围。同时搭建多智能体协同机制，推动场站子系统信息交互与协同判定，提高响应速度。

3.2.3 工艺安全监测与预警技术

工艺安全监测与预警技术借助物联网与大数据技术成果，搭建起管道场站安全感知系统。于关键工艺参数监测处，布置压力、温度、流量及振动等多种传感器，达成多物理场信号同步采集与统一整合。通过边缘计算模块对原始数据预先处理并提取关键特征，大幅缩减数据传输耗时^[4]。

基于大数据分析思路，构建工艺安全预警模型。运用时间序列分析、关联规则挖掘等具体方法，深入探究工艺参数间的内在联系与动态演变规律，精准锁定潜在安全风险。进一步地，借鉴支持向量机(SVM)与长短期记忆网络(LSTM)的思路，搭建多分类预警

模型，实现安全状况分级预警。借助可视化界面动态呈现安全态势，为操作人员提供坚实决策支撑，保障管道场站安全平稳。

3.3 信息管理智能化

3.3.1 数据采集与管理技术

管道场站运转时，数据采集与管理技术是推动信息管理智能化的重要依托。面对设备运行、工艺参数及安全监测所产生的大规模数据，搭建高效的数据采集体系势在必行。运用边缘计算策略，能在数据起始端迅速采集并开展初步处理，缩短传输时长，增强实时性与可靠性。同时，分布式存储技术的采用，构建了管道场站的数据存储核心区域，既解决存储容量与扩展的难题，又凭借数据冗余与备份，提高数据安全与可用程度，为后续分析决策提供坚实数据支撑^[5]。

3.3.2 数据分析与决策支持技术

针对管道场站运行数据，大数据分析技术是深度挖掘数据内涵、服务管理决策的关键路径。对设备运行数据深度剖析，能精确预判设备故障，合理规划维护安排，削减运维成本；对工艺参数数据详尽探究，可优化管道输送作业，增强输送效能与安全程度；对安全监测数据全面审视，能提前识别潜在安全风险，确保场站持续稳定运转。此外，吸纳相关前沿技术理念，可提升管理决策的科学性与精确性。

4 结语

综上所述，管道场站智能化改造是提升管道输送效率与安全性的关键举措。通过现场设备、过程控制及信息管理的智能化升级，实现了管道场站的优化运行和高效管理。未来，随着技术的持续进步，管道场站将更加智能化、自动化，为我国能源运输安全与高效提供坚实保障，助力能源行业的可持续发展。

参考文献：

- [1] 聂中文. 智能管道场站完整性管理系统研究 [J]. 上海煤气 ,2024(04):26-28+32.
- [2] 赵三强, 王朋云. 长输天然气管道场站智慧安防建设与管理 [J]. 当代化工研究 ,2022(16):21-23.
- [3] 葛振冉. 石油天然气管道场站土建施工常见质量问题探究 [J]. 产业与科技论坛 ,2021,20(16):213-214.
- [4] 罗霄, 史大源, 陈钰婷. 天然气长输管道场站电气设备安全运行探究 [J]. 科技资讯 ,2022,20(11):50-52.
- [5] 王浩, 张斌, 朱桥梁, 等. 长输天然气管道场站数字孪生技术的运用及研究 [J]. 当代化工研究 ,2022(16): 95-97.

作者简介：

彭晓明 (1985-)，男，汉族，河南洛阳人，本科，工程师，研究方向：油气储运。