

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2026.02.010

燃气输配厂站智能化转型与分阶段路径探究

韦永金

贵州燃气热力设计有限责任公司

摘要: 随着我国城镇化进程加速和“双碳”战略推进,燃气输配厂站作为城市供气核心节点,其运行安全与效率面临严峻挑战。本文基于某燃气企业厂站管理现状,剖析了当前燃气输配厂站在设备老化、维护低效、安全管理薄弱、数据孤岛等方面的系统性难题,指出传统运维模式已无法满足智能化发展需求。通过分析无人/少人值守模式的试点成效,揭示了智能化转型的潜力,但同时也面临保障技术可靠性、强化网络安全、重构应急体系及完善标准等核心挑战。文章提出分阶段发展路径,包括短期改进措施与长期智能化部署,强调技术融合、标准制定及应急能力提升的重要性,为燃气行业智能化升级提供理论参考与实践方向。

关键词: 燃气厂站;智能化运行;无人值守;发展路径

Intelligent Transformation and Phased Pathway Exploration for Gas Transmission and Distribution Stations

WEI Yongjin

Guizhou Gas and Heating Power Design Co., Ltd.

Abstract: With the accelerated urbanization process and the advancement of the “carbon peaking and carbon neutrality” strategy in China, gas transmission and distribution stations, serving as core nodes in urban gas supply, are facing severe challenges in operational safety and efficiency. Based on the current management status of a specific gas enterprise’s stations, this paper analyzed the systemic issues in existing gas transmission and distribution stations, including aging equipment, inefficient maintenance, weak safety management, and data silos. It pointed out that traditional operation and maintenance models can no longer meet the needs of intelligent development. By evaluating the pilot outcomes of unattended/minimally attended operation modes, this paper revealed the potential of intelligent transformation, while also highlighting core challenges such as ensuring technological reliability, strengthening network security, restructuring emergency response systems, and improving standards. The paper proposed a phased development pathway, including short-term improvement measures and long-term intelligent deployment. It emphasized the importance of technological integration, standard formulation, and emergency response capacity enhancement, thereby providing theoretical references and practical directions for the intelligent upgrading of the gas industry.

Keywords: gas station; intelligent operation; unattended operation; development pathway

1 引言

燃气输配厂站是城市燃气供应链的关键,其安全运行关乎民生与公共安全。在城镇化加速和“双碳”战略推动下,燃气行业迫切需要智能化转型。但目前,许多厂站面临设备老化、维护低效、安全管理薄弱及数据孤岛等难题,传统运维模式已难以满足高

效、智能化的发展需求。偏远地区厂站因地理和人力资源限制,运行风险加剧,亟需技术创新与管理优化。近年来,无人/少人值守模式作为智能化转型的重要方向,在试点中展现了降本增效的潜力,远程监控等技术提升了运行效率,但也暴露出技术可靠性、网络安全等新问题。同时,行业标准缺失和技术路线碎片化,阻碍了智能化转型的推广,因此,探索科学、

[第一作者简介] 韦永金,高级工程师,从事燃气设计与技术研究工作。

可行的分阶段发展路径成为燃气行业关键。本文基于某燃气企业厂站实际,深入分析其痛点,结合无人值守试点经验,提出短期改进与长期智能化部署结合的优化路径,为燃气行业智能化升级提供理论和实践指导,推动构建安全、高效、可持续的燃气输配体系。

2 现状分析

2.1 燃气输配厂站运行管理痛点与系统性难点分析

2.1.1 设备设施老化与维护效能低下,运行可靠性承压大

(1) 关键设备故障隐患突出。调压器、过滤器、阀门、计量仪表等核心设备普遍存在老化问题,故障率逐年上升。维护难点集中于调压器阀芯、流量计传感单元等精密部件的修复与校准,部分进口设备配件采购周期长、成本高,显著增加非计划停气风险。

(2) 维护模式被动低效。现行维护以固定周期预防性维护与故障后纠正性维护为主,缺乏基于设备状态监测的预测性维护能力。例如,加臭泵故障红色报警无处置记录、SCADA系统监视界面出现阀门开度负数等异常数据时,缺乏有效复核机制,导致隐患长期滞留系统。

(3) 工艺匹配性缺陷明显。监控系统逻辑与现场物理布局偏差较大,如安全阀放散管汇总后仅设单一压力监测点,在分公司中心站无法精准定位具体起跳的安全阀,延误应急处置;工艺流程图中缺失水泵前后阀等关键阀门标识,削弱系统对现场的真实映射与操作指导价值。

2.1.2 安全管理体系存在脆弱环节,风险防控难度大

(1) 监测预警能力不足。泄漏监测系统在偏远厂站的覆盖范围与精度有待提升,现有防火防爆措施对网络攻击引发的异常工况等新型风险适应性差。某些控制站系统界面“消防可燃气体参数”描述模糊、颜色标识不统一,反映出基础监控信息标准化与可读性缺失,影响运行人员对风险的快速准确识别。

(2) 应急响应机制薄弱,时效性难保障。省级支线管道厂站多地处偏远山区,交通极为不便,一旦突发泄漏、设备故障或自然灾害,抢维修队伍难以及时抵达;现有应急预案多围绕有人值守场景制定,对于无人值守时(如夜间、恶劣天气或网络中断)多系

统并发故障等复杂情况,缺乏针对性举措与有效演练;应急班组以操作工为主,在控制系统和电气设备故障判断上能力不足,过度依赖外部抢修力量,且具备自动化、仪表、机械等综合知识的专业抢修人员匮乏。

(3) 物理与信息安保风险交织。厂站作为反恐重点目标,外来人员物理访问控制与中心控制室、厂站工艺区域“禁止拍照”等信息保密措施需强化;同时,中心控制室监控界面操作分级授权不严,存在误操作或内部恶意操作隐患。

(4) 自然灾害威胁显著。偏远无人值守站易受洪水、地质灾害、极端温度、雷击、山火等影响,现有厂站设计与应急预案对这类风险的抵御能力不足。

2.1.3 传统运维模式效率瓶颈凸显,人力资源结构性矛盾加剧

(1) 巡检监控模式落后。高度依赖人工现场巡检,耗费大量人力且易出现疏漏;反恐视频系统、SCADA系统、气体在线监测系统分散独立,操作人员需反复切换界面,信息整合困难,无法形成全局态势感知,监控集中度与操作便捷性低下。

(2) 工作量分布不均、能效低。日常维护存在“忙闲不均”现象,大量时间消耗在低价值、重复性的基础巡检与手动数据记录上,而对于设备状态评估、故障预诊断、运行优化等高质量工作投入不足。

(3) 人员能力与智能化需求错配。技能断层与知识老化,一线操作工及原有人值守站转型人员对复杂设备原理、控制系统逻辑、基础故障诊断方法掌握不足,且年龄偏大、知识结构老化,难以学习智能化技能;关键岗位依赖度高,少数核心技能人员支撑关键工作,人才梯队建设滞后,存在“人走技失”风险;转型适应困难,人员从“现场操作员”向“远程监护员/分析师”角色转变时,在应急处置判断、远程协作沟通等方面明显不适应,部分企业甚至面临无专业力量、无基本处置能力的无人值守困境。

2.1.4 数据孤岛与系统割裂,决策支持基础薄弱

(1) 信息碎片化与共享缺失。厂站数据多沉淀于分公司中心站控制层级,未有效上传至集团公司调度中心,形成数据孤岛,阻碍集团层面的集中监控、资源优化调度与大数据分析决策。

(2) 系统整合度低,协同性差。SCADA系统、视频监控、气体监测、消防报警等业务系统多为独立

建设，数据格式不统一，缺乏深度融合与联动，难以实现基于多源信息融合的智能分析与联动控制。

(3) 数据质量与呈现问题突出。存在SCADA系统界面阀门开度负数、“消防可燃气体参数”名称定义不规范、颜色标识混乱、显示内容与实际不符等问题，降低数据可信度与可理解性，直接影响运行人员判断效率与准确性。

(4) 网络基础设施薄弱。偏远厂站光纤信号衰减（光衰）问题普遍，恶劣天气下易损坏，信号质量差；未规范关键数据传输依赖公网还是专网，公网存在延迟、中断及被攻击窃听风险，专网建设投入不足；缺乏备用网络或冗余通信链路，主网中断易导致厂站失联，重大安全隐患突出，亟需专网或其他高可靠通信方案。

2.2 智能化运行（含无人值守）现状

燃气行业智能化转型浪潮已然掀起，其中，无人/少人值守模式成为推动行业提质增效、降低成本的关键之举。以某厂站无人值守技改项目为例，远程调度中心能够对厂站设备进行集中操控，控制指令响应时间以秒计；PL4200流量调节阀可依据上下游压力差，在5min~15min内完成自动分输，压力控制精度高达 $\pm 0.01\text{MPa}$ ；RCS8000智能控制系统运行稳健，阀门开度调节精度达 $\pm 1^\circ$ ，热力与加臭系统远程启停功能正常，锅炉自动启停温度控制偏差小于 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。在数据传输方面，采用4mA~20mA标准信号与RS485通信协议，传输成功率超过99.9%；激光式安全检测系统精度达到ppm级别，可燃气体探测器报警响应时间短于30s。从经济效益来看，该厂站改造前配备9名生产运行人员，年运营成本约90万元；改造后实现无人值守，直接削减人力成本90万元，同时设备维护频次与故障率降低，间接节约维护成本15万元，投资回收期仅约2.5年。在能耗优化层面，智能控制系统自动调节设备参数，使锅炉能耗降低8%、水泵系统能耗降低12%，年节约能耗成本约8万元。此外，厂站运行效率与气体分输稳定性显著提升，客户满意度也随之大幅改善。然而，无人值守厂站发展仍处于初级阶段，面临技术、安全、管理、人才、标准等多重挑战。

2.2.1 智能化技术应用现状：基础初具，深度不足

(1) 基础自动化与远程监控广泛覆盖。SCADA系统远程监控、调压计量等关键设备自动控制、视频

监控等基础技术已在多数厂站部署，实现基本数据采集、远程监视与部分控制功能，为“少人化”提供初步技术支撑。

(2) 点状应用见效但协同不足。云台扫描式气体在线监测等试点应用提升了特定场景监测能力，但各系统独立运行、数据未打通、功能未联动，未能形成“1+1>2”的整体智能，智能化价值仅体现于信息获取便利性，未实现运行模式优化或决策智能化。

(3) 无人值守实践处于初级阶段。部分新建或改造厂站依托SCADA系统扩展远程监控能力，尝试无人值守运行，但受设备可靠性、数据质量、网络状况、人员能力等基础问题制约，实际“无人”程度与安全性保障有限。

(4) 智能程度浅层化，协同融合缺失。当前智能化多停留在单点技术应用与数据可视化层面，SCADA、视频、气体监测、消防等系统缺乏有效集成，未形成具备自感知、自分析、自决策、自执行能力的智慧厂站。

2.2.2 向无人/少人值守转型的核心挑战：多维困境待突破

(1) 技术可靠性与系统抗压能力不足。复杂工况感知与诊断能力弱：现有系统对设备内部健康状态（如调压器膜片疲劳、阀门内漏早期征兆）、微小泄漏、复杂故障模式（多安全阀潜在失效关联性、隐蔽性电气故障）的感知精度与智能诊断能力不足，缺乏基于机理模型或大数据的故障预测与健康管理系统；网络依赖性与可靠性瓶颈：无人值守高度依赖稳定、低延迟、高带宽网络，但公网传输存在延迟、抖动及中断风险，偏远厂站网络基础薄弱（光纤易损），且缺乏备用网络/冗余机制，系统对网络波动、中断的耐受性与降级运行能力设计不足。

(2) 网络安全风险急剧放大。攻击面扩大，无人值守模式下控制指令、关键数据高度暴露，易成为高级持续性威胁、勒索软件、DDoS攻击目标，攻击者可篡改压力、流量等参数误导人员，拦截/注入指令破坏设备（如关闭阀门、修改调压值），或使SCADA/DCS系统离线瘫痪（如美国 Colonial Pipeline 事件）；防御体系薄弱，普遍缺乏边界防护、网络分区、主机加固、入侵检测/防御、安全审计等纵深防御体系，对IT与OT（运营技术）融合的安全风险（协议漏

洞、老旧系统补丁难)认知不足,缺乏针对性安全监测、事件响应与恢复机制。

(3) 运行规程与应急体系需颠覆性重构。规程智能化适配滞后,传统基于人工现场操作的运行规程、标准作业程序与应急预案在无人化场景下失效,需清晰定义人机职责边界(明确现场干预、远程授权、系统自动处理的操作范围),制定适配不同自动化等级与故障场景的响应策略,建立远程协作应急流程;应急响应时效性与有效性挑战大,控制系统失效、网络中断、自然灾害等极端工况下,关键安全功能(紧急切断阀ESD动作、安全泄放)的可靠触发与备用机制保障不足,且缺乏利用有限远程信息快速定位故障点(如单一安全阀压力监测点无法定位起跳阀门)、协调远程技术支持与抢修资源的能力,针对无人值守场景的实战化应急演练不足。

(4) 标准规范体系严重缺失。顶层设计空白,国家层面缺乏统一的燃气无人值守厂站设计规范、建设标准、验收规程,目前仅有《无人值守厂站运行及风险防控水平综合评价导则》(国家标准)与《城镇燃气无人值守站技术要求》(中国城市燃气协会团体标准)正在编写,尚未填补行业空白;运维管理无据可依,缺乏无人值守模式下的运维管理标准、安全操作规程、网络安全防护规范、应急响应标准;评估体系缺位,无公认的无人值守站安全性、可靠性、经济性评估指标与方法;技术路线碎片化,企业各自为政导致技术选型、系统架构差异大,重复建设、互操作性差、经验难共享,阻碍行业整体提升与规模效应形成,多数企业管理方式仍处于摸索阶段。

3 优化发展路径分析

3.1 短期可操作性改进措施

(1) 工艺与设备优化。对老化核心设备实施“一用一备”冗余改造,优先国产化替代以缩短故障停机时间;在安全阀放散管分支点加装独立压力传感器,解决起跳阀定位难题;修订SCADA系统流程图,补充关键阀门信息,确保界面与现场一致。

(2) 管理效能提升。建立SCADA系统异常数据自动复核机制,24h内处理并记录;关键设备加装检测装置,以数据趋势为依据制定维护计划,替代固定

周期保养;在偏远厂站储备应急装备,并与当地抢险队伍签约,缩短应急响应时间。

(3) 数据质量与系统集成。统一参数命名与颜色标识,消除歧义;为光纤衰减严重厂站部署4G/5G备用链路,关键指令采用公网与专网双通道传输,缩短主备路切换时间。

3.2 智能化(无人值守)发展路径

第一阶段:基础夯实。目标是提升设备可靠性、打通数据孤岛、完善标准框架。技术上部署传感器,实现设备故障早期预警,搭建集团级数据中台整合多系统数据;制度上制定设备准入标准,编制异常数据处置及网络中断操作手册。

第二阶段:少人值守试点。核心目标为核心厂站减员50%,推行“远程监护+现场应急”模式。技术引入AI算法分析设备劣化趋势、AR眼镜实现远程协作;制度上修订应急预案,建立操作工远程监护资质考核体系。

第三阶段:无人值守推广。旨在实现偏远标准站全面无人化,形成“智慧厂站”集群。技术上构建数字孪生仿真模型支持自主决策,部署安全防御体系抵御网络攻击;制度上制定网络安全规范,建立多维度效能评估模型,要求故障率下降超30%、投资回收期不超3年。

4 结语

燃气输配厂站当前面临设备老化、维护低效、安全管理薄弱、数据孤岛等系统性难题,传统运维模式已无法满足高效、安全、智能化的行业需求,亟需通过智能化技术重构管理体系。无人/少人值守模式在试点中已展现降本增效潜力,但技术可靠性、网络安全、应急体系等领域仍面临核心挑战,行业整体智能化仍处于初级阶段,需分阶段推进。

建议加快技术融合与标准制定,推动物联网、数字孪生、AI等技术与燃气设施的深度融合,同时由国家层面牵头制定无人值守厂站的设计、运维及网络安全标准;强化网络安全与应急能力,建立覆盖IT与OT的纵深防御体系,部署冗余通信链路;针对无人值守场景重构应急预案,定期开展多系统并发故障的实战演练,提升远程协同处置能力。