

区域化模式下油气管网无人站集中调控管理研究与实践

高媛媛 (国家石油天然气管网集团有限公司东北分公司, 黑龙江 大庆 163000)

摘要: 随着油气管网规模持续扩大和运行组织复杂度不断提升, 传统以站场为单元的管理模式已无法适应无人化、集约化运行需求。基于此, 本文围绕区域化模式下油气管网无人站集中调控管理体系, 系统研究了“调控中心—巡检外操”扁平架构、集中监控与智能预警运管模式以及预防维护与远程诊断协同维保策略, 并结合标准规范与工程实践进行分析验证, 为油气管网无人站规模化、智能化运行提供参考路径。

关键词: 区域化模式; 油气管网; 无人站; 集中调控管理

中图分类号: TE832 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 002-0085-03

Research and Practice of Centralized Regulation and Control Management for Unmanned Stations in Oil and Gas Pipeline Networks under the Regionalized Mode

Gao Yuanyuan (Northeast Branch of China Oil & Gas Pipeline Network Corporation, Daqing Heilongjiang 163000, China)

Abstract: With the continuous expansion of oil and gas pipeline networks and the increasing complexity of operational organization, the traditional station-based management model can no longer meet the demands of unmanned and intensive operations. Against this backdrop, this paper focuses on the centralized regulation and control management system for unmanned stations in oil and gas pipeline networks under the regionalized mode. It systematically examines the flat organizational structure of “control centers—inspection and external operations,” the operational management model of centralized monitoring and intelligent early warning, and the collaborative maintenance strategy combining preventive maintenance and remote diagnostics. Analysis and validation are conducted based on standard specifications and engineering practices, providing a reference pathway for the large-scale and intelligent operation of unmanned stations in oil and gas pipeline networks.

Keywords: regionalized mode; oil and gas pipeline network; unmanned station; centralized regulation and control management

在能源结构深度调整与新型能源体系加快构建的背景下, 油气管网作为国家能源安全和区域经济运行的重要基础设施, 其运行模式正由传统分散管理向集约化、智能化方向演进。与此同时, 油气管网规模不断扩大、站场数量持续增长, 传统以人工值守为主的管理方式在成本控制、风险防范等方面逐渐呈现出局限性。区域化模式下的无人站集中调控管理, 依托自动化控制、信息通信和智能决策技术, 能够统一感知、集中研判和协同处置管网的运行状态, 推动油气管网高质量发展。因此, 围绕该模式开展系统研究与实践探索, 有利于提高油气管网安全水平、运行效率及现代化管理能力。

1 相关概念

1.1 区域化模式

区域化模式是一种以空间区划和功能协同为核心, 将分散的业务单元、管理职能和资源要素按照地理区位、运行特性及管理层级进行系统整合的组织管理方式, 其本质在于通过合理规划管理边界, 实现资源配置最优与运行效率最大化。在油气管网领域, 区域化模式是基于管网结构特征、输配关系、运行风险

和调控需求, 对站场、管线及附属设施进行整体统筹和分级管理, 从而建立权责清晰、响应高效的运行体系。相较于传统以单站或单线为管理单元的模式, 区域化模式能够有效打破信息孤岛, 促进数据共享, 降低重复配置和管理成本, 为集中调控、无人值守奠定数据基础。

1.2 无人站

无人站又称无人值守站, 是指在满足油气管网安全生产和工艺运行要求的前提下, 依托自动化控制、远程通信等技术手段, 实现站场设备自主运行、状态集中监控和异常远程处置的运行管理单元。其核心特征体现为“少人或无人值守、集中调控、分级响应”, 是管网运行管理由分散化向集约化、智能化转型的重要载体。在区域化管理模式下, 无人站深度融入区域集中调控体系, 通过调控中心对多站点进行统一监视、统一分析和统一指挥。该模式以区域调控中心为核心, 通过通信网络实时汇集无人站的工艺参数、设备状态和视频信息, 实现对站场运行状态的全局感知和协同调度。

相较于传统人工值守站, 无人站在运行方式、人

员配置和管理模式等方面均发生显著变化(如表1)。

表1 无人站与传统值守站运行特征对比

对比项目	无人站	传统值守站
值守方式	少人/无人值守	24h人工值守
监控方式	区域集中远程监控	现场监控为主
人员配置	集约化配置	分散配置
风险处置	分级响应、就近处置	现场直接处置
管理模式	区域化集中管理	单站独立管理

在区域化模式下,无人站作为管网运行的基础单元,为集中调控、统一调度和智能决策提供了坚实基础,其推广应用有利于提高油气管网运行安全性和管理现代化水平。

1.3 集中调控管理模式

集中调控管理模式以系统整体运行最优为目标,统一整合原本分散在不同区域和站场的监控、调度与管理职能,通过集中化的信息采集、分析研判和指令下达,实现对运行对象的协同控制与统一管理。该模式以信息通信、自动化控制和调控平台为技术基础,通过重构管理链条和运行流程,打破传统分散管理模式下信息割裂、响应滞后的局限。在油气管网运行管理中,集中调控管理模式通过设立区域或中心调控机构,对管道、站场及关键设备的运行参数、工况状态和报警信息进行集中监视和统一调度,使运行管理由“单点管控”转向“系统管控”。在区域化模式下,集中调控中心负责统一调度和运行策略制定,各作业区和无人站按照指令实施现场执行与状态反馈,建立上下协同、闭环运行的管理体系,为无人站运行提供必要的组织保障和技术支撑,使无人站能够在失去现场值守的情况下,仍保持可控、可管和可追溯的运行状态。

因此,集中调控管理模式是区域化模式与无人站运行之间的关键纽带,其成熟应用直接决定了油气管网无人化、集约化和智能化管理目标的实现程度。

2 区域化模式下油气管网无人站集中调控管理研究

2.1 构建“调控中心-巡检外操”扁平架构

区域化模式下,构建“调控中心-巡检外操”扁平化组织架构是实现油气管网无人站集中调控的核心管理创新。这一架构以《油气管道完整性管理规范》(GB 32167-2015)和《智能化管道技术规范》为指导,重建传统分级管理体系,形成“集中决策-协同执行”的新型运营范式。

2.1.1 架构设计的理论基础

扁平化架构遵循管理幅度最优原则,其数学表达式可表述为:

$$N = k \times \left[\frac{\log(c)}{\log(s)} \right]$$

其中,N为最优管理单元数,C为调控中心信息处理能力系数,S为站场复杂度指数,k为管网区域化修正因子。该模型表明,当区域化整合度提升至临界值(通常 $k \geq 2.5$)时,扁平架构的信息传递效率较传统模式可提高40%以上。

2.1.2 技术实现路径与标准化配置

其配置标准遵循《油气输送管道系统调度规程》:

- ①调控中心:每班配置调控工程师 ≥ 3 人,具备SCADA、泄漏检测等5类系统操作资质。
- ②巡检单元:每组2-3人,负责8-12座无人站,配备智能巡检系统及数据分析终端。
- ③无人站场:关键设备在线监测覆盖率100%,自动控制率 $\geq 95\%$ 。

2.1.3 运行机制与效能验证

该架构在实际运行中严格遵循“三统三分”核心原则,即统一监控、统一调度、统一标准与分区负责、分级响应、分类处置的有机协同,从而形成“集中决策-分布执行-闭环反馈”的高效运行逻辑。在效能验证方面,基于层次分析法(AHP)构建量化评估体系,其关键运行指标表现如下:①指令传递效率:借助单位时间内人均处理并下达的有效调度指令数量进行评估。②应急响应时间:以系统接警至首个处置指令正式发出的时间间隔为衡量标准。③人员配置密度:以平均每座无人站所需配置的常态化运维人员数量进行计算。④故障定位精度:依托系统自动判定的故障点与实际位置间的空间偏差进行标定。⑤调度指令准确率:统计周期内未引发异常的调度指令所占比例。

这一指标为区域化模式下油气管网的安全、高效运行提供可量化、可验证的实践支撑。

2.1.4 风险管理与持续优化

基于ISO 31000风险管理框架,该架构需建立三级风险管控机制:一级风险(站场级)由智能系统自动处置;二级风险(区域级)由调控中心协同处置;三级风险(管网级)启动全流程应急响应。借助数字孪生技术,构建架构运行模拟系统,从而实现对管理流程的持续优化迭代。实践表明,该架构能够解决传统管理模式下的三大矛盾:一是通过区域化整合解决资源分散与效率低下的矛盾;二是依托集中调控解决无人站安全监管与自主运行的矛盾;三是借助扁平化设计能够解决快速响应与层级冗余的矛盾,为智慧管网建设提供可复制的组织范式。

2.2 推行“集中监控+智能预警”运管模式

“集中监控+智能预警”运管模式是区域化模式下油气管网无人站集中调控的核心技术实现路径。该

模式通过建立“数据感知—智能分析—决策支持—协同控制”的一体化平台，推动管网运行从“被动响应”向“主动预测”的根本性转变，从而实现区域资源优化配置与系统风险超前管控。

在技术架构上，该模式基于多源数据融合与工业互联网平台设立。其数据流闭环可表述为以下过程：

①数据采集层：部署于各无人站的智能传感器网络，实时采集压力 P、流量 Q、温度 T 等工艺数据，采样频率不低于 10Hz，数据完整率要求 $\geq 99.5\%$ 。②模型分析层：基于机器学习算法建立预警模型，在早期识别设备异常与管网风险。③决策支持层：预警事件依据《油气管道系统风险评价方法》（SY/T 6859-2020）进行分级分类，并自动匹配处置预案。系统同步生成处置建议，并推送到调控中心与巡检终端（如表 2）。

表 2 智能预警等级与响应机制

预警等级	判定标准	响应机制
一级（紧急）	$\Delta P_{\text{预警}} > 3\epsilon$	自动联锁保护，人工立即介入
二级（严重）	$2\epsilon < \Delta P_{\text{预警}} \leq 3\epsilon$	调度调整，15min 内人工确认
三级（一般）	$\epsilon < \Delta P_{\text{预警}} \leq 2\epsilon$	持续监测，30min 内巡检检查

实际应用表明，该模式能够提高油气管网运行的可靠性，有效支撑区域化模式下油气管网安全、高效、低碳的运行目标。

2.3 实施“预防维护 + 远程诊断”维保策略

在区域化模式下，油气管网无人站的维保策略需要实现从传统计划性维修向“预防性维护 + 远程诊断”协同模式的根本性转型。这一转型的核心逻辑是将区域性维护资源与集中调控能力深度融合，建立覆盖全管网设备的健康管理系统，从而在保证无人站可靠运行的同时，系统性优化运维成本，将维护工作从基于时间的定期作业，转变为基于设备实时状态的精准干预。其中，预防性维护体系的构建，关键在于依托集中调控平台所汇聚的全域设备状态数据，建立预测性健康评估模型。经过对设备运行参数进行连续监测与趋势分析，系统能够自动识别性能劣化的早期征兆。这一过程可抽象为基于多参数融合的设备健康指数（EHI）计算模型：

$$EHI(t) = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot \phi_i \left(\frac{X_i(t) - X_{i,opt}}{X_{i,lim} - X_{i,opt}} \right)$$

其中， $X_i(t)$ 为第 i 项关键参数的实时值， $X_{i,opt}$ 为最优基准值， $X_{i,lim}$ 为安全限值， ω_i 为该参数的权重系数， ϕ_i 为非线性归一化函数。当 EHI(t) 值超过预设阈值时，系统会自动触发维护工单，并基于区域化原则，派遣最近的维保团队前往指定无人站执行定点作业。

远程诊断则是实现预防性维护闭环的关键支撑，通过部署于无人站的智能传感网络与高清视频系统，能够

实现对设备故障的远程会诊与分析，解决现场人员技术能力不足的问题，大幅提高应急响应效率与诊断准确性，为区域内所有无人站提供按需共享的技术支持。二者在区域化维保体系中的协同关系与流程闭环如图 1：

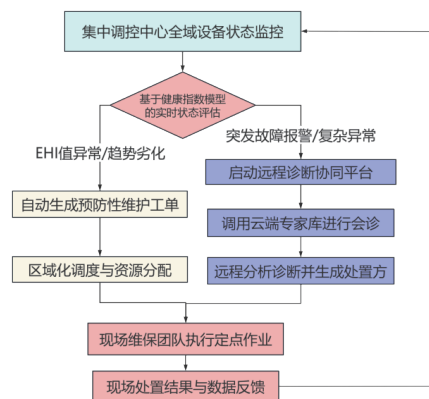


图 1 “预防维护 + 远程诊断” 维保体系流程图

图 1 揭示了该策略的双路径协同机制：一条是基于设备健康预测的计划性路径（预防性维护），另一条是基于突发事件的响应性路径（远程诊断）。两条路径在“区域化调度与资源分配”节点汇合，共同指挥现场维保行动，并将结果数据反馈至集中调控中心，形成一个持续优化的闭环。这种模式能够改变传统运维中“重现场、轻预警”和“等故障、再处理”的被动局面，实现区域化模式下，对分散的无人站群进行集约化、前瞻性的运维管理，是保障油气管网在集中调控模式下安全、稳定运行的核心支柱。

3 结束语

面向能源行业高质量发展新阶段，区域化模式下油气管网无人站集中调控管理不仅是技术层面的创新实践，更是管网治理体系和治理能力现代化的重要体现，为管网安全运行、管理效能提升提供了可持续支撑。未来，随着智能感知、人工智能等技术的深度融合，集中调控将由“可视化监控”向“智能化决策”演进，推动运行管理由经验驱动向数据驱动转变，为油气管网规模化、集约化运行奠定坚实基础。

参考文献：

- [1] 安若华. 输油气站场区域化管理模式创新探索 [J]. 化工管理, 2025(23):9-11.
- [2] 艾力群. 油气管道无人值守站及区域化管理创新与实践 [J]. 石油工程建设, 2024, 50(02):86-92.
- [3] 孙勇. 输油气站场区域化管理综合评价方法及应用 [J]. 油气储运, 2024, 43(06):702-709.
- [4] 吴有更. 油气管道区域化管理的思考 [J]. 石油工业技术监督, 2024, 40(02):26-31.
- [5] 孙勇. 区域化评价在油气管道行业的应用及软件开发 [J]. 仪器仪表标准化与计量, 2022(06):14-16.