

浅析天然气场站运行过程的安全管理

狄 飞

张掖中石油昆仑燃气有限公司 甘肃 张掖 734000

摘 要：天然气场站作为城镇燃气输配关键节点，介质易燃易爆、高压运行风险突出，安全管理至关重要。本文阐述场站工艺流程、安全运行特性及管理核心价值，剖析设备老化、人员违章、制度缺位、外部环境干扰四类运行风险，梳理当前设备运维、人员管控、应急体系、数字化管控现存管理问题。结合场站运维实际，从制度建设、设备运维、人员管理、智慧应急防控提出优化对策，全面降低运行隐患，保障场站供气安全与区域公共安全。

关键词：天然气场站；运行过程；安全管理

引言：现如今天然气成为城市主力清洁能源，输配场站运维负荷持续提升，场站兼具高压密闭、介质高危特征，极易诱发泄漏、火灾、爆炸等安全事故。现阶段国内多数天然气场站安全管理流于形式，设备运维滞后、人员安全素养不足、应急机制不完善等问题频发，制约场站安全生产。为规避运行安全事故，本文立足场站全流程运行工况，识别安全风险、深挖管理缺陷，制定针对性优化管理措施，提升场站安全管控质量。

1 天然气场站运行及安全管理基础概述

1.1 天然气场站核心功能与运行工艺流程

(1) 天然气场站依据功能定位可分为门站、调压站、储配站及 CNG/LNG 加气站等类型，其基础运营职能涵盖气源接收、调压稳压、流量计量、气质检测、加臭处理及输配调度等环节，是城镇燃气输配系统的关键节点。(2) 场站标准运行工艺流程主要包括：上游来气经进站截断阀组进入分离过滤系统，去除管道杂质及游离液滴；随后进入调压系统，通过监控调压器与工作调压器联动将压力稳定至下游需求值；经涡轮或超声波流量计进行贸易或调度计量；部分场站配置储气设施用于调峰补气；最后经加臭装置赋臭后输送至下游管网。全流程由站控系统（SCADA）实施远程监控与数据采集。(3) 场站日常运行中，启停操作须严格执行操作票制度，按规程完成阀门开关顺序与置换吹扫程序；负荷调控应根据下游用气变化，通过调节调压器设定值或切换运行路数实现，调控过程需保持压力平稳、流量波动可控，确保供气连续稳定。

1.2 天然气场站介质与运行安全特性

(1) 天然气主要成分为甲烷，具有易燃易爆特性，爆炸极限范围为 5%~15%（体积分数），最小点火能

量仅 0.28mJ；同时其密度小于空气，泄漏后易向上扩散，但受限空间内可形成聚集性气云；城市燃气中加臭剂（四氢噻吩）赋予其警示性气味，但高浓度下甲烷本身具有单纯性窒息毒性。(2) 场站运行压力通常为 1.6~4.0MPa，属高压密闭容器与管道系统，运行工况下介质能量高度集中。安全风险特质表现为：泄漏引发火灾爆炸风险、超压导致物理爆裂风险、密封失效及外部腐蚀等渐进性破坏风险，事故演化速度快、波及范围广^[1]。(3) 场站运行安全管控核心约束包括：压力不超过设计允许值、温度维持在工艺材料许用区间、流量控制在设备额定能力范围内，以及泄漏浓度实时监测值始终低于爆炸下限（LEL）的 20% 预警阈值。

1.3 天然气场站安全管理内涵与核心价值

(1) 场站全过程安全管理覆盖设计建设、投产运行、维护检修至报废拆除全生命周期，综合运用技术、管理、教育等手段，系统识别、评估、控制安全风险，涵盖工艺、设备、作业与应急四大维度。(2) 在设备层面，通过压力容器定期检验、安全阀校验、防腐层检测等，保障本质安全；在人员层面，依托教育培训、操作规程和行为管控，防止人的不安全行为，构建人一机一环协调的安全状态。(3) 其价值超越企业内部：既保障周边居民及用户的公共安全，防范重大社会灾害；又通过稳定供气守护城市能源命脉，避免因事故导致管网失压、大面积停供及次生灾害，具有显著的社会效益与民生保障意义。

2 天然气场站运行安全风险及现存管理问题分析

2.1 天然气场站运行主要安全风险识别

(1) 设备类风险：埋地及工艺管道受土壤电化学腐蚀、介质冲刷及应力作用，易壁厚减薄、裂纹扩展；阀

门密封件老化变形致内漏或外漏,执行机构卡涩影响紧急切断;压缩机活塞环磨损、气阀损坏及仪表传感器漂移、滞后,可引发超压、误动作。(2)人为操作风险:未严格执行操作票,凭经验跳步或带负荷启停设备,易致水击、憋压;巡检不按路线、不携检测仪、不记数据,遗漏微小泄漏或异常温升;排污、切换、加臭等未按标准流程,增加误操作概率。(3)环境外部风险:雷暴、大风致电力闪断、信号干扰及设备损坏;暴雨洪涝或滑坡致地基沉降、管道悬空变形;周边市政开挖未提前探测与监护交底,易挖破埋地管道^[2]。(4)工艺运行风险:调压器故障或下游阀门误关断致压力骤升,引发安全阀起跳或管道爆破;法兰、焊缝、仪表接头等密封失效,泄漏气体在受限空间形成爆炸性气云;高速气流摩擦及人员活动产生静电,若未有效接地,遇泄漏气体即成引火源。

2.2 场站硬件设备安全管理现存短板

(1)老旧设备运维频次不足,定期检修制度落实不到位。部分场站设备超设计寿命运行,检修周期被动延长,腐蚀监测、壁厚抽检等预防性维修项目被压缩,检修计划与现场实际执行偏差较大。(2)安全监测、报警、消防安防设备老化失灵。可燃气体探测器探头超期未标定、火灾报警控制器回路故障、消防水泵启动装置卡滞、视频监控存储中断等问题普遍,紧急状态下无法提供可靠预警与防护支持。(3)设备备品备件管理混乱,应急更换保障不足。备件台账不清、库存结构不合理,关键阀门、仪表等采购周期长,设备故障后无法及时替换,被迫带病运行进一步加剧损伤。

2.3 人员安全管理体系存在漏洞

(1)一线运维人员专业能力参差不齐,专项安全培训缺失。新员工入职实操培训学时不足,转岗人员未进行差异化安全考核,部分老员工仅凭经验处理异常,对设备原理及应急处置知识掌握不系统。(2)岗位安全权责划分模糊,安全追责机制不完善。班组、技术、管理各层级安全责任界定交叉,异常事件发生后责任追溯困难,追责多集中于直接操作层面,缺乏对管理缺陷的深入归因分析。(3)人员安全意识薄弱,习惯性违章作业频发。长期未发生事故催生麻痹侥幸心理,未按规定佩戴防护用品、高空作业不系安全带、带压紧固螺栓、使用非防爆工具等习惯性违章屡禁不止。

2.4 场站综合安全管理制度运行缺陷

(1)日常巡检、隐患排查流程流于形式。巡检路线存在盲区死角,检查表内容长期不变、缺乏针对性;排

查发现问题多口头通报替代书面记录,整改闭环缺乏跟踪验证与效果复核。(2)应急处置预案针对性弱,实战演练频次不足。预案照搬模板,未结合本站风险特点细化泄漏、火灾、停电等专项处置流程;多数演练以桌面推演收场,实战拉动少,人员对紧急切断、灭火操作等关键动作熟练度偏低。(3)数字化安全管控技术应用滞后,管控效率偏低。多数场站仍以人工抄表、纸质记录为主,SCADA系统数据仅用于实时监视,智能预警、设备健康管理等功能未深度开发,隐患排查数据未结构化积累,难以支撑动态风险分析与精准决策。

3 天然气场站运行安全管理优化实施策略

3.1 完善场站标准化安全管理体系建设

(1)优化全流程安全管理制度,细化岗位操作规程。系统梳理现行制度盲区与冗余环节,围绕交接班、工艺切换、检维修、特殊作业等关键节点,分别制定标准化操作票与作业指导书,明确每一步操作的前提条件、执行步骤、确认要求与应急退守方式,确保制度内容与现场实际操作高度统一、具备指导性。(2)压实全员安全生产责任制,构建分级追责机制。自上而下逐级签订安全目标责任书,将场站安全指标分解至班组及个人,明确场站长、技术员、班组长、操作工各层级安全职责边界;建立“直接责任—管理责任—领导责任”三级追责框架,对异常事件从操作执行、管理监督到决策层面进行系统归因,避免追责片面化^[3]。(3)搭建风险辨识+隐患整改闭环管控工作流程。制定年度风险辨识计划,采用JSA、LEC等方法对作业活动与设备设施进行动态风险评估,编制风险清单并明确分级管控措施;隐患整改严格执行“发现—登记—评估—整改—验收—销号”六步闭环流程,重大问题实行领导挂牌督办,确保整改责任、资金、时限、措施“四落实”。

3.2 强化场站设备全生命周期安全运维管理

(1)落实设备分级检修、防腐检测、仪表校准常态化工作。依据设备重要性及运行状态实施分级维护策略,关键设备缩短巡检周期并增加状态监测频次;制定防腐涂层修复与阴极保护电位定期检测计划;对压力表、温度计、变送器及可燃气体探测器等建立固定校准周期台账,明确强制检定日期与责任人,严禁超期服役^[4]。(2)升级智能泄漏监测、压力预警、消防联动安防设备。在工艺装置区、储罐区、压缩机房等重点部位部署基于激光甲烷检测或红外成像的在线监测终端,实现对微量泄漏的早期捕捉;将压力变送器信号接入超限分级预警模块,替代单一高限报警模式;更新消防控制系统并实现与可燃气体报警、紧急切断阀联动,确保泄

漏后自动触发喷淋与切断保护。(3) 建立设备台账, 落实老旧设备淘汰、备件规范化管理。统一设备编码规则, 完整记录安装日期、运行时长、维修履历及性能测试数据; 结合设备寿命评估结果, 制定年度老旧设备更新改造计划; 优化备品备件库存结构, 设定最低安全储备量并实施动态预警, 关键进口备件提前落实替代选型及采购渠道。

3.3 优化人员队伍安全管控与专项培训体系

(1) 分层开展实操操作、风险防控、应急抢险专项培训。按岗位层级差异化设置培训模块: 新员工侧重基础操作规程与风险认知; 在岗人员强化异常工况识别、应急处置及自救互救技能; 班组长及技术骨干增加事故调查分析、指挥协调等管理类内容, 确保培训内容精准对应岗位能力需求。(2) 落实岗位持证上岗制度, 强化人员安全考核考评。特种作业及关键岗位严格执行取证上岗, 证件有效期实行动态提醒与复证管理; 建立月度安全绩效考评机制, 将操作规范性、隐患排查贡献度、演练表现等量化纳入考核指标, 考评结果与绩效奖惩直接挂钩, 不合格者实行再培训或转岗处理。(3) 打造安全班组文化, 规避人员违章作业行为。推行班前安全喊话、班后总结点评制度, 组织违章行为案例剖析与经验分享活动, 营造“互相监督、互相提醒”的班组氛围; 建立违章行为内部报告与正向激励并行机制, 对主动制止违章、举报重大隐患的员工给予奖励, 逐步形成“不敢违、不能违、不想违”的文化约束力。

3.4 升级应急管理 with 数字化安全防控能力

(1) 贴合场站工况优化泄漏、火灾、超压专项应急预案。针对本站工艺特点与周边环境, 分别编制气质泄漏、设备火灾、管道超压等专项预案, 明确每类场景的启动条件、指挥架构、处置程序及外部联动方式; 预案内容做到流程图化、步骤量化、语言简练, 便于一线人员快速执行。(2) 常态化开展实景应急演练, 提升突发

事故处置能力。制定年度实景演练计划, 每季度至少开展一次全流程实战拉动, 模拟真实事故场景设置突发变化, 考察紧急疏散、工艺隔离、消防灭火、气源切断等关键动作的响应速度与配合默契度; 演练后立即组织复盘评估, 针对性修订预案薄弱环节^[5]。(3) 依托智慧场站系统, 实现运行安全远程实时监控。搭建统一数据采集与监控平台, 集成工艺参数、设备状态、泄漏检测、视频安防等多源数据, 实现场站运行全貌可视化呈现; 开发智能预警与辅助决策模块, 对超限趋势、设备异常信号进行自动识别与推送, 支持管理人员远程实时掌握现场安全态势, 为快速准确决策提供数据支撑。

结束语

天然气场站运行安全管理涉及设备、人员、工艺、环境多维度内容, 贯穿场站运维全生命周期。现有管理漏洞极易诱发安全事故, 威胁民生供气与周边环境安全。通过完善标准化管理体系、落实设备全周期运维、优化人员培训考核、升级数字化应急管控模式, 可全方位补齐管理短板。后续需结合场站工况动态优化管控方案, 依托智慧运维手段夯实安全根基, 实现场站长期平稳、安全、高效运行。

参考文献

- [1] 王扬. 天然气场站运行过程中的安全管理 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(21): 80-82.
- [2] 赵健. 天然气输气场站运行风险辨识及安全管控策略 [J]. 石化技术, 2023, 30(8): 178-179.
- [3] 李国锋, 蒋星华, 刘丹. 网格化管理在输气站场安全管理中的应用研究 [J]. 陇东学院学报, 2022, 33(2): 77-80.
- [4] 刘聪. 天然气场站设备运维隐患及安全管理优化措施 [J]. 现代工业经济和信息化, 2025, 15(2): 156-157.
- [5] 陈宇. 新形势下城市天然气场站安全生产管理难点与改进对策 [J]. 城市燃气, 2023, 11(6): 45-47.