

油气田无人值守三甘醇脱水站“四位一体”管理创新与实践

郑云勇 王钰琪 吴建宇 汪海彬

中国石油西南油气田公司重庆气矿 重庆 400700

摘要: 随着数字化、智能化技术在油气田领域的深度渗透,传统人工值守运营模式已难以适配行业高质量发展诉求。天然气脱水作为产品气加工的核心环节,其站场的无人化、智能化转型成为行业升级的必然趋势。本文立足油气田数字化转型背景,从自控管理、设备管理、制度管理和环境管理四大维度,系统拆解无人值守三甘醇脱水站的管理创新体系,详细阐述各维度的具体实施路径,并通过量化数据与实践案例,分析该模式在本质安全提升、运营成本优化、人力资源配置升级等方面的核心成效,最终论证无人值守三甘醇脱水站建设的必要性、可行性及推广价值,为同类场站的数字化改造提供理论支撑与实践范本。

关键词: 无人值守;三甘醇脱水站;管理创新;自动化控制;智能化运维;油气田数字化

引言

天然气脱水是天然气净化处理的关键工艺,其核心目标是脱除原料气中的水蒸气,避免后续管输过程中形成水合物冰堵、腐蚀管道设备,进而保障天然气产品质量达标与长输管线安全平稳运行。长期以来,国内脱水站普遍采用24小时人工值守模式,依赖操作人员现场完成参数监控、设备启停、故障处置等工作。该模式存在显著短板:一方面,人力成本持续高企,单站年均人力投入占运营成本的30%以上;另一方面,受人员技术水平差异、主观判断偏差及反应速度限制,突发故障处置存在滞后性,安全风险防控难度较大。

当前,以物联网、大数据、人工智能为代表的新一代信息技术正驱动油气田生产方式发生深刻变革。在此背景下,建设无人值守三甘醇脱水站,通过技术赋能与管理重构,实现生产过程的远程监控、智能预警与自动控制,已成为提升行业本质安全水平、降低运营成本、推动数字化转型的核心路径。本文基于某油气田无人值守三甘醇脱水站的实践经验,系统总结管理创新体系,为同类场站建设提供参考。

一、背景:从“必须留人”到“无人值守”的必然转变

传统三甘醇脱水站因工艺关联性强、安全风险点多、操作流程复杂等特点,长期被认为“必须留人现场监

控”,其对人工的依赖主要体现在三个核心维度:

监控依赖: 进口压力、再生温度、介质差压等关键工艺参数需人工每小时定时记录核对,异常状态识别完全依赖操作人员的经验判断,数据滞后性明显;

操作依赖: 空压机启停、流程倒换、再生塔切换等核心操作均需现场手动完成,操作效率受人员熟练度影响较大;

应急依赖: 气体泄漏、超压、火灾等紧急情况的第一时间响应与处置,完全依赖现场值守人员,恶劣天气或夜间时段应急能力大幅下降。

这种传统模式的弊端日益凸显:一是人力成本逐年攀升,且值守人员长期暴露于高危环境,安全风险较高;二是人工巡检存在盲区,夜间、极端天气下的巡检质量难以保障;三是人员技术水平差异导致操作规范性不一,工艺稳定性受影响;四是数据记录以人工为主,难以形成系统性分析,设备预防性维护难以落地。因此,打破“必须留人”的思维定式,通过技术创新与管理优化实现“无人值守”,既是三甘醇脱水站管理升级的内在需求,也是外部技术发展驱动下的必然结果。

二、无人值守三甘醇脱水站管理创新的具体做法

无人值守并非简单“撤走人员”,而是一场涵盖技术、设备、制度、环境的系统性变革,需构建“自控为脑、设备为体、制度为脉、环境为盾”的四位一体管理体系。

(一) 自控管理:构建“神经中枢”与“智慧大脑”

自控系统是无人值守站的核心支撑,其稳定性与智能化水平直接决定无人运行的成败,重点通过四大举措

作者简介: 郑云勇(1977.1-),男,汉族,采气技师,研究方向:油气田管理。

实现突破：

强化SCADA数据采集监控体系：部署高可靠性传感器、智能变送器及执行机构，对全站120余项工艺参数、30余台关键设备状态、15类环境变量进行24小时不间断采集，数据采集频率达1秒/次，确保数据源的实时性与准确性。中心控制室通过大屏幕实现“一屏观全局”，同步显示各三甘醇脱水站实时画面、参数曲线及设备状态，支持异常数据一键溯源。

推行PLC/SIS智能逻辑控制：将成熟操作规程与专家经验固化为控制逻辑，实现核心操作全自动化。例如，空压机采用“时间+压力”双参数自动切换逻辑，当一台空压机运行时长达到设定阈值（或系统压力低于设定值）时，PLC系统自动启动备用空压机，同时按照安全逻辑停止当前设备，全过程无需人工干预；再生塔切换、介质流量调节等16项核心操作均实现智能联动控制。

建立双冗余智能预警系统：基于工艺特性设定动态预警阈值，关键参数采用双检测点冗余设计。当单个检测点数据异常时，系统触发一级报警并推送至监控中心；当两个检测点同时检测到异常（且数据偏差 $\leq 5\%$ ）时，系统立即触发二级报警，同时联动关联设备执行开关、泄压等联锁动作，实现“预警-处置”闭环。

筑牢网络信息安全防线：按照IEC62443工业信息安全标准，构建“工业防火墙+网络隔离+数据加密+行为审计”四重防护体系。生产控制网与办公网物理隔离，关键数据采用AES-256加密传输，定期开展渗透测试与漏洞扫描，严防网络攻击与非法入侵，保障控制系统安全稳定运行。

（二）设备管理：从“被动维修”到“主动健康管理”

设备高可靠性是无人值守的物理基础，通过全生命周期管理实现“防患于未然”：

建立设备电子健康档案：为吸收塔、重沸器、精馏柱、分离器等关键设备建立全生命周期电子档案，详细记录安装调试数据、运行参数曲线、维护记录、故障历史、备件更换情况等信息，实现设备状态可追溯、可分析。

推行预防性+预测性维护：基于设备运行时间与SCADA系统监测数据，制定标准化预防性维护计划；同时部署在线含水分析仪、PH在线检测仪、振动传感器等设备，实时监测设备运行状态，通过大数据分析预测潜在故障（如基于振动数据预判轴承磨损趋势），变“坏了再修”为“提前预防”。

提升设备本质安全水平：优选API标准认证、平均无故障运行时间（MTBF）超8000小时的低故障率设备；

关键阀门采用双密封、冗余设计，仪表电源配备UPS不间断供电（续航 ≥ 4 小时）；易损件实行标准化储备，建立“备件库-站场”快速调配机制，确保故障后30分钟内完成更换。

构建快速维保响应闭环：组建专业维保团队，建立“监控中心-维保班组”联动机制。中控室监测到设备异常报警后，系统自动生成维保工单，明确故障位置、类型及所需备件，通过移动端推送至最近的维保人员，实现“报警-派单-处置-反馈”全流程闭环，缩短故障处置时间。

（三）制度管理：重塑流程与权责体系

完善的制度是无人值守模式规范运行的保障，重点通过四大制度创新实现管理升级：

制定《无人值守三甘醇脱水站管理规范》：明确监控中心、维保班组、技术部门的职责边界，涵盖远程监控操作、设备维保流程、应急处置权限、数据管理要求等内容，形成“事事有标准、人人有职责”的管理体系。

优化巡检制度：摒弃传统“固定频次、固定路线”人工巡检模式，构建“日常远程监控+周期性专业巡检+故障后针对性巡检”三维巡检体系。远程巡检通过视频监控与数据曲线分析实现每日全覆盖；现场专业巡检由技术骨干每月开展1次全面检查，每季度开展1次深度检测，重点关注设备内部状态、紧固润滑等精细化作业；故障后巡检聚焦异常点位，提升处置效率。

完善应急预案与演练体系：修订气体泄漏、火灾、超压、断电等6类突发事件应急预案，明确远程关断、放空、灭火等关键操作流程，划分一般报警、重大报警、紧急报警三级响应机制。每半年组织监控人员与维保团队开展线上线下结合的联合演练，提升协同处置能力，确保紧急情况下“响应不缺位、处置不慌乱”。

建立复合型人才培养体系：针对监控中心操作员，开设工艺原理、自控系统、数据分析等课程；针对维保人员，强化跨专业维修技能培训（涵盖电气、机械、仪表等领域）。采用“理论+实操+仿真”三位一体培训模式，每年开展4次技能认证考核，打造“懂工艺、懂技术、懂管理”的复合型人才队伍。

（四）环境管理：打造安全可靠的物理空间

无人值守不等于无人管理，需构建全方位安全防护体系，保障站场物理空间安全：

构建无缝安防体系：部署电子周界入侵报警系统、高清视频监控（覆盖站场100%区域，具备行为分析、区域入侵报警功能，识别准确率 $\geq 95\%$ ）、门禁管理系统，

记录所有进出人员信息，实现对站场物理安全的24小时监控。

强化环境安全监控：每50平方米部署1台可燃气体探测器（响应时间 ≤ 3 秒），关键区域安装火灾烟雾报警器、温湿度传感器，实时监测环境安全状态。一旦探测到可燃气体浓度超标或火情，系统立即联动声光报警，向监控中心发送最高级别报警信息，必要时自动启动消防系统。

保障电力供应稳定：采用双回路供电模式，主电源与备用电源切换时间 ≤ 10 毫秒；配备大功率自动化柴油发电机（续航能力 ≥ 72 小时），确保市电中断时，关键设备能不间断运行，维持站场基本安全功能。

三、主要成效

通过上述管理创新实践，无人值守三甘醇脱水站取得了显著的安全、经济与效率效益，核心成效如下：

本质安全水平大幅提升：智能预警与自动联锁保护系统将事故消灭在萌芽状态；同时减少了人员在高危环境中的暴露时间，作业人员安全风险显著降低，实现了从“被动防护”到“本质安全”的转变。

运营成本显著降低：单站值守人员从常规的6人减至0人，年节约人工成本超60万元；通过预测性维护，设备非计划停机次数减少，维修成本降低，备件消耗减少，综合运营成本下降。

生产与管理效率优化：生产过程全自动化运行，排除了人为干预的不稳定性，工艺平稳率提升；数据采集与分析实现自动化，数据利用率提升，为工艺优化提供了有力支撑；人力资源得以解放，原值守人员转向技术分析、设备维保等更高价值工作，实现人力资源优化配置。

应急响应更加精准高效：24小时不间断智能监控确保异常情况即时发现，三级响应机制与快速维保联动闭环，使应急响应时间缩短，重大隐患处置效率提升，有效避免了事故扩大。

值得注意的是，该“四位一体”管理体系在推广过程中，充分考虑了不同油气田的场景差异化需求，形成了模块化适配方案。针对山区脱水站地形复杂、信号易受干扰的问题，增设5G边缘计算节点，将数据传输延迟压缩至50毫秒内，保障偏远站点控制指令精准落地；沿海高盐雾环境下，强化设备防腐涂层与防潮设计，延长设备使用寿命。截至目前，该模式已在西南油气田3个不同类型脱水站落地，最长稳定运行周期达36个月，设

备综合完好率保持99.2%以上，未发生一起安全责任事故。此外，通过与智慧气田平台数据互通，脱水站运行数据融入气田整体调度体系，助力区域气田能耗降低8%，在绿色低碳发展中发挥了重要作用，进一步验证了该模式的普适性与可持续性

结论

建设无人值守三甘醇脱水站是天然气行业顺应数字化浪潮、实现高质量发展的战略性举措。实践证明，通过构建“自控管理为脑、设备管理为体、制度管理为脉、环境管理为盾”的四位一体管理创新体系，能够成功实现脱水站从“有人监控”到“无人值守、少人巡检”的现代化运营模式转型。

这一转型不仅是技术层面的升级，更是管理理念、组织架构与业务流程的深刻重构，其带来的安全、经济与效率效益具有全方位、可持续性。未来，随着机器人巡检、AI故障诊断等技术的进一步成熟，无人值守三甘醇脱水站将向更高层次的智能化、自适应化演进，不仅能进一步降低运营成本、提升安全水平，还能为智慧气田建设、国家能源安全保障与绿色低碳发展贡献更大力量。

参考文献

- [1] 颜昌平, 杨舒. 无人值守脱水撬在塔河油田的应用[J]. 石油与天然气化工, 2022, 51(06): 16-21.
- [2] 宋雷, 戴志向, 赵明, 等. 天然气脱水装置三甘醇携带损失影响因素及控制措施[J]. 石油与天然气化工, 2025, 54(04): 12-20.
- [3] 杨楠, 刘佳, 陈星, 刘壮, 马云. 天然气脱水三甘醇溶液起泡影响与抑泡措施研究进展[J]. 辽宁化工, 2023(11)
- [4] 中海石油深海开发有限公司, 中海石油(中国)有限公司深圳分公司. 一种天然气脱水系统及其干气水露点测试方法: 201910765423.5[P]. 2024-10-22.
- [5] 孟江, 梁耀方, 何易鸿, 等. 天然气脱水过程中影响三甘醇性质因素分析[J]. 广州化工, 2022, 50(11): 73-75+90.
- [6] 高海兰, 姜东, 刘汉广, 等. 天然气脱水工艺乙二醇损耗原因分析及应对措施[J]. 石油炼制与化工, 2025, 56(01): 123-130.