

The Practical Path and Value Redefinition of Quality Management Throughout the Entire Process of Crude Oil Storage and Transportation

Jiaxin Li

Victory Oilfield Branch Company, Dongying, Shandong, 257000, China

Abstract

In the context of the dual-carbon goals and digital transformation in the industry, crude oil storage and transportation, as the core hub of the energy industry chain, requires breaking the boundaries of traditional control and constructing an integrated system of "technology integration - engineering control - risk prevention - culture cultivation - innovation transformation". This paper, based on practical experience from production stations and depots, elaborates on the implementation path of full-process quality management from five dimensions: new technology integration application, refined control of storage and depots and pipelines, dynamic prevention of quality risks, green quality management and collaborative integration with new energy, and quality culture cultivation. It can provide a replicable practical model for the high-quality development of the crude oil storage and transportation industry.

Keywords

oil storage and transportation; quality management; integration of new technologies; quality risk management

原油储运全流程质量管理实践路径与价值重塑

李佳欣

胜利油田分公司, 中国·山东 东营 257000

摘要

在双碳目标与数字化转型的行业背景下, 原油储运作为能源产业链的核心枢纽, 其全流程质量管理需打破传统管控的边界限制, 构建“技术融合-工程管控-风险防控-文化培育-创新转化”的一体化体系。本文结合生产站库实践经验, 从新技术融合应用、储库与管道工程精细化管控、质量风险动态防控、绿色质量管理与新能源协同融合、质量文化培育五大维度, 阐述全流程质量管理落地路径, 可为原油储运行业高质量发展提供可推广的实践范式。

关键词

原油储运; 质量管理; 新技术融合; 质量风险管控

1 引言：原油储运质量管理的时代命题

当“双碳”目标成为能源行业的发展底色, 当数字化转型重构传统产业的管控逻辑, 原油储运这一连接开发与炼化消费的纽带, 其质量管理已不再局限于单一环节的点状把控, 而需升级为覆盖“交接-化验-存储-外输-管道”的全流程系统性守护体系。从站库实践来看, 面临人工化验效率低、能耗管控难度高、管道风险识别被动等行业共性痛点, 这正是当前原油储运领域质量管理困境的典型缩影。

原油储运全流程质量管理, 核心在于以“全要素协同”打破环节壁垒, 以“新技术赋能”替代经验依赖, 以“绿色低碳”重塑质量内涵。从原油库的“碳中和”实践到输油管道的智能监测, 从化验做样机器人的设想研究到数字孪生模

型的场景仿真, 当代原油储运质量管理已超越“合格交付”基础目标, 迈向“安全高效、低碳协同、价值创造”更高维度。本文结合行业实践与典型案例, 解析全流程质量管理的落地路径, 为能源行业高质量发展提供参考。

2 新技术融合：重构全流程质量管理的“智能内核”

人工智能、物联网、工业互联网等新技术, 并非简单的工具叠加, 而是重塑原油储运质量管理逻辑的核心支撑。在站库生产实践中, 推动新技术深度渗透全流程关键节点, 助力质量管控从“事后追溯”转向“事前预判”, 从“人工干预”转向“智能闭环”。

2.1 化验做样机器人：突破“化验瓶颈”的实践创新

原油交接后的化验环节, 是质量管控的首道关键关口。传统人工取样存在“样品代表性不足、检测效率低、数据反馈滞后”的问题, 在质量管控机遇中也明确识别。为突破这

【作者简介】李佳欣(2000-), 女, 中国山东东营人, 本科, 助理工程师, 从事储运工艺、质量管理等研究。

一困境,部分企业开展调研、设想引入“取样-预处理-检测-数据联动”一体化化验做样机器人^[1],将单样品密度、有机氯、含水检测时间从60分钟压缩至15分钟,效率提升6倍;通过与工业互联网平台实时联动,检测数据10秒内上传,若超标则自动触发报警指令,形成“检测-调控”瞬时闭环。可提高外输原油质量检测效率、精确性,适应化工工退休现状,减少人员职业病伤害,切实保障原油外输质量和人员职业健康。

2.2 工业互联网:构建全流程质量数据协同网络

“数据孤岛”是传统质量管理的核心障碍,交接数据分散于计量阀组、化验数据留存于实验室、存储数据局限于罐区、外输数据滞留于泵站,信息割裂导致管控滞后。通过构建互联网平台,整合关键设备、生产参数、管道腐蚀监测设备等3262个数据采集点,实现全流程质量状态“一屏掌控”:罐区温度传感器实时传输原油温度数据,外输泵站压力传感器动态捕捉压力波动,管道光纤监测仪持续追踪泄漏风险,所有数据经边缘计算处理后反馈至管控中心,异常响应时间缩短。以数据驱动替代经验判断,确保每一组质量数据精准可溯。

2.3 数字孪生与区块链:强化质量管控的信任支撑

数字孪生技术为油气储库质量管控提供“虚拟仿真-实际调控”双向通道。通过构建数字孪生模型,模拟稀油、稠油等不同原油类型,以及环境温度变化下的质量波动:当模拟显示环境温度骤降5℃时,模型能提前预判原油粘度上升趋势,自动推送加热盘管参数调整建议,规避结蜡风险;在管道管理中,模型可复现腐蚀传感器采集的管道壁厚数据,预测未来腐蚀速率,为维护计划制定提供科学依据。

区块链技术则为质量追溯注入“不可篡改”的信任保障。在原油外输环节,区块链系统记录“交接取样-化验结果-外输计量-压力参数”全环节数据,每条数据附带时间戳与操作人信息,上游采油厂、中游储运企业、下游炼化厂可按权限查询,成为产业链质量协同的“信任纽带”。

3 工程管控:筑牢全流程质量管理的“硬件基石”

原油储运全流程质量管理,需以储库与管道两大核心工程的“本质安全”为根基。从储库的分质分储优化,到管道的完整性监测,再到新能源与传统储运的协同融合、工程建设的精益管控,每个环节的质量把控,都是全流程质量稳定的核心支撑。

3.1 原油储库:以“分质+温控”保障存储质量

原油储库是存储阶段质量保障的关键载体,温度波动、混油存储易导致原油品质下降。行业调研显示,不同品质原油混储会使炼化企业加工能耗增加,轻烃挥发量增加。国内典型原油库通过“分质分储+智能温控”实现质量与能耗协同优化。

分质分储精准匹配:根据原油性质,将储罐分类编配,如重质低硫低酸原油专储供炼化企业生产汽油、柴油,重质高硫高酸原油专储供加氢装置加工,避免混储导致的质量降级。

动态温控模型优化:以含水率、粘度等为输入变量,环境温度为干扰变量,结合“储运量-换热量”曲线分析,构建动态温控模型,明确稀油、稠油最优温度区间,自动调整加热参数,降低温度波动,减少结蜡量。

绿色低碳技术融合:将“碳中和”融入储库管理,利用光伏发电;采用“绿能三级梯级利用”技术回收蒸汽凝结水余热,换热器传热效率提升;配套VOCs回收装置和环保检测装置,减少挥发性有机物排放;合规充分利用空间种植草皮,打造“花园式”油库;储油罐集成“抑爆型三重密封”、浮顶支柱采用无挥发支柱、导向柱可伸缩密封套等工艺,实现储罐油气挥发减少90%^[2];排水采用雨污分流设计,对污染雨水、清洁雨水、工业污水进行分类收集、处置,配备雨水在线监测系统,实现清洁排放;工艺管道保温应用新型复合硅酸盐保温材料,减少管道散热损失等,让绿色低碳成为储库质量管理的重要维度。

3.2 集输管道:以完整性管理保障输送安全

集输管道是原油储运的“核心动脉”,腐蚀、泄漏等风险直接影响输送质量与安全。可参考“风险量化管控”思路,构建管道完整性管理体系,形成“风险识别-评估-预警-修复”全流程闭环:输油管道沿线部署腐蚀传感器与光纤泄漏监测仪,实时采集管道外壁腐蚀速率、土壤电阻率数据;基于AGA与EGIG数据库,引入管道服役年限、维护频率等修正系数,构建定量风险评估模型^[3];开发风险可视化平台,设定预警和报警响应程序。

3.3 新能源融合:以协同创新拓展质量内涵

随着“双碳”目标推进,新能源与油气储运的融合成为质量管理的新方向。在北方地区原油库试点地热加热技术,为寒冷地区原油库绿色质量管理提供新路径。探索“天然气+光伏+储能”多能互补模式:光伏供电用于站内设备运行,储能系统平衡天然气处理负荷波动,既降低传统电能消耗,又通过供电稳定性保障处理工艺参数稳定,使天然气外输纯度提升;在管道领域,试点利用管道沿线光伏电站为阴极保护系统供电,既确保防腐效果稳定,又减少电网供电依赖。实践表明,新能源融合不仅是低碳要求,更能通过能源供应稳定性间接提升油气储运质量管控水平,实现“绿色”与“优质”的协同共赢。

4 风险防控:构建全流程质量管理的“安全屏障”

油气储运环节多、覆盖跨度大、风险点分散,质量风险管控需从“被动应对”转向“主动防控”,通过闭环管理,将质量隐患消除在萌芽状态。

4.1 全维度风险识别：消除“质量盲区”

质量风险的隐蔽性决定识别工作需“全覆盖、无死角”。建立涵盖“设备-工艺-环境-人员”四大维度的风险识别体系：设备维度，通过定期诊断识别螺杆泵机械密封泄漏、储罐浮盘倾斜等风险，提前预测、采取对策；工艺维度，分析分质分储切换、外输流程调整可能引发的质量波动，及时响应、规避风险；环境维度，关注暴雨、低温等极端天气对储罐加热、管道输送的影响，如冬季低温导致的管道凝管风险；人员维度，排查操作不规范、智能装备操作不熟练等人为风险。以输油管道为例，风险识别团队需要监测管道本体腐蚀，同步跟踪沿线土壤电阻率变化、第三方施工干扰等外部风险，建立“管道风险台账”，实现风险点“动态更新、逐一销号”。

4.2 定量风险评估：科学量化“风险等级”

“凭经验判断风险”是传统管理的短板，定量风险评估模型则让管控更精准。科研团队计划结合风险量化方法，基于“风险=概率×后果”构建模型：失效概率参考数据库确定基础值，再结合管道服役年限、维护频率等参数修正；失效后果则按泄漏量、影响范围、经济损失量化。这种“数据驱动”的评估方式，避免“一刀切”的管控弊端，让资源精准投向高风险环节，隐患处置效率提升。

5 质量文化：培育全流程质量管理的“软实力”

技术与工程是质量管理的“硬支撑”，质量文化则是“软实力”，从制度要求转化为员工的自觉行动，从“被动遵守”升级为“主动追求”。通过“全员参与、培训赋能、案例推广”，培育具有油气储运特色的质量文化。

5.1 全员参与：深化“质量责任”认知

质量不是单一部门的职责，而是每个岗位的核心任务。将质量责任分解至各岗位：交接岗确保原油取样代表性，化验岗保障检测数据精准，罐区岗维持储罐温度稳定，外输岗控制压力波动。同时建立“质量KPI考核机制”，将化验准确率、风险预警及时率、外输合格率纳入绩效考核，与薪酬直接挂钩，例如开展“质量明星”评选，每月表彰在质量管控中表现突出的员工，通过典型引领让“人人关心质量、人人创造质量”成为普遍氛围。

5.2 培训赋能：提升“质量能力”水平

智能时代的质量管理，对员工能力提出新要求——既

要掌握传统工艺，也要熟练操作智能装备。构建“培训-实践-激励”三位一体人才培养体系：培训内容围绕化验做样、管道风险评估、质量体系等应用展开，实践环节建立“导师制”，由专家一对一指导年轻员工；激励方面，对取得管道完整性管理、阴极保护CPI等资质的人员给予奖励，激发学习积极性；针对性开发VR仿真培训系统，模拟储罐泄漏、管道腐蚀等场景，提升员工实操能力。提高质量技术人才占比，为全流程质量管理提供坚实的“人才支撑”。

6 挑战与展望

当前油气储运全流程质量管理面临三重挑战：新技术与业务场景融合深度不足，新场景适配能力欠缺；跨部门数据协同存在壁垒，信息流通效率偏低；人才技能迭代滞后，出现“数字化能力强、现场工艺经验弱”断层问题，导致新技术的质量管控价值未充分释放。

未来，全流程质量管理将向“更智能、更绿色、更协同”升级。技术维度，深化智能协同，打通数据壁垒，实现质量数据全环节可追溯、跨部门共享，推动虚拟仿真与实际运维实时联动。绿色层面，锚定碳达峰目标，强化多能互补管控，拓展光伏、余热、地热应用，实现绿色与优质协同。协同维度，联动油田开发与炼化业务，建立“产供储销”质量协同机制，构建“智能技能+工艺经验”双轨培训体系，打造适配智能管理的人才队伍。

油气储运全流程质量管理是技术创新、工程管控、风险防控、文化培育的有机统一。实践证明，新技术赋予智能内核，工业互联网织就数据网络；工程管控筑牢硬件基石，管道完整性管理保障本质安全；风险防控构建安全屏障，闭环处置消除隐患；质量文化培育软实力，形成全员参与的良性循环。未来，该模式将成为行业高质量发展核心支撑，为实现国家能源安全与环保目标提供坚实保障。

参考文献

- [1] 佟帅,黄东浩,马丽娜,等.自动化验机器人系统中运动规划与控制的研究[J].电脑编程技巧与维护,2025,(06):88-90.DOI:10.16184/j.cnki.comprg.2025.06.002.
- [2] 陆取.大型外浮顶原油储罐安全管理浅析[J].石油化工技术与经济,2025,41(06):46-50.
- [3] 林冬,王毅辉,秦林.国外管道失效数据库建设对我国管道风险管理的启示[J].焊管,2012,35(10):64-66+72.DOI:10.19291/j.cnki.1001-3938.2012.10.014.