

油气储运设施的安全风险评估与设计优化

周建伟 (中国石油天然气销售内蒙古分公司, 内蒙古 呼和浩特 010000)

摘要: 本文聚焦油气储运设施安全风险评估与设计优化, 分析该领域背景, 指出设施在能源产业链的核心地位及事故暴露的风险, 梳理国内外技术发展差异; 剖析评估与设计衔接在技术标准、流程管理、数据工具三方面的断层问题; 提出构建技术标准协同衔接体系、优化项目流程管理机制、完善数据工具支撑体系三类解决方法, 各方法包含具体可落地的实施路径与数据支撑。研究成果可提升油气储运设施安全性与可靠性, 为降低事故风险、保障能源稳定供应提供实践参考。

关键词: 油气储运设施; 安全风险评估; 设计优化

中图分类号: TE88

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 034-0157-03

Safety risk assessment and design optimization of oil and gas storage and transportation facilities

Zhou Jianwei (China Petroleum and Natural Gas Sales Inner Mongolia Branch, Hohhot Inner Mongolia 010000, China)

Abstract: This article focuses on the safety risk assessment and design optimization of oil and gas storage and transportation facilities, analyzes the background of this field, points out the core position of facilities in the energy industry chain and the risks of accident exposure, and sorts out the differences in technological development at home and abroad; Analyze the gap between evaluation and design in terms of technical standards, process management, and data tools; Propose three solutions: building a technical standard collaborative connection system, optimizing project process management mechanisms, and improving data tool support systems. Each method includes specific implementation paths and data support that can be implemented. The research results can enhance the safety and reliability of oil and gas storage and transportation facilities, providing practical references for reducing accident risks and ensuring stable energy supply.

Keywords: oil and gas storage and transportation facilities; Security risk assessment; Design optimization

油气储运设施连接油气生产、加工与销售, 是能源产业链关键纽带, 安全稳定运行直接关乎国家能源安全、经济发展与社会稳定。油气介质具备易燃易爆、强腐蚀性, 设施因此面临较高安全风险, 黎巴嫩贝鲁特港口爆炸、大连新港火灾等事故, 都凸显风险防控紧迫性。国外已形成 API581 标准等成熟技术体系, 国内起步较晚, 却在定向钻穿越、防腐技术等领域积累显著成果。这样的背景下, 研究油气储运设施安全风险评估与设计优化, 破解两者衔接断层问题, 成为推动行业安全发展、实现能源可持续供应的重要课题。

1 油气储运设施安全风险评估与设计优化的背景

油气储运设施衔接油气生产、加工与销售, 是能源产业链核心环节, 其安全直接关系全球经济运行与社会稳定^[1]。历史上港口爆炸、储罐火灾等重大事故, 暴露该设施因介质易燃易爆、有腐蚀性存在高安全风险, 凸显安全风险评估与设计优化的紧迫性。

技术层面, 国外起步早, API581 标准、肯特管道风险评分模型应用广泛, 还依托大数据、机器学习提升评估准确性, 设计采用高强度管材并搭配先进模拟软件; 我国起步晚但发展快, 中国石油大学、中国石化等在评估技术上成果显著, 设计优化结合国情, 通

过定向钻、盾构穿越技术调整管道布局、强化防腐, 还研发地下储气库、LNG 储罐等新型设施。当前, 完善油气储运设施安全风险评估体系、推进设计优化, 已是保障能源安全、维护生态环境与社会稳定的必然要求。

2 油气储运设施安全风险评估与设计衔接的断层问题

2.1 技术标准与规范衔接断层

油气储运设施安全风险评估与设计在技术标准与规范上存在明显衔接断层, 核心是评估与设计标准分属独立体系, 关键指标与逻辑不统一^[2]。风险评估依据 API581 标准判定管道腐蚀为“高风险”, 设计参考 GB 50183《石油天然气工程设计防火规范》时, 却无该风险等级对应防腐材料选型、壁厚设计的明确规则, 只能依赖设计人员主观调整。部分标准更新不同步, 评估已引入大数据动态指标, 设计仍用传统静态安全参数, 某管道项目评估用实时腐蚀速率数据, 设计按固定腐蚀系数计算, 导致评估风险与设计防控无法匹配, 加剧衔接断层。

2.2 流程与管理衔接断层

流程与管理衔接断层体现在评估时序错位和团队

协作缺失两方面。多数项目把评估放在详细设计后期，某储罐区项目完成布局设计后才启动评估，发现储罐与干道距离未达风险隔离要求，返工成本增加 30%，工期也受影响。

评估和设计团队分属不同部门，沟通仅依赖阶段会议，某项目评估提到的“储罐基础沉降风险”未及时同步，设计沿用常规方案，后期需额外加固。项目全周期缺乏衔接效果监督验收环节，某管道项目验收时未核查“第三方破坏风险”设计落实情况，投运后因施工误挖出现泄漏。

2.3 数据与工具衔接断层

数据与工具衔接断层体现在数据不匹配与工具不兼容。数据上，评估采用现场动态数据，设计却依赖静态标准值，某原油管道项目中评估原油含硫量为 1.2%，设计环节却沿用行业平均 0.8% 的数值，导致防腐方案无法贴合实际风险需求。工具上，风险评估常用的 PRA 软件与设计领域的 BIM、CAD 软件缺乏数据接口，评估得出的“管道泄漏扩散范围”需人工手动标注到设计模型中，既消耗时间又容易产生误差；运营期内动态评估数据难以反馈至设计环节，某储罐区曾监测到“压力波动风险”，相关数据无法导入设计软件，设计优化进度落后于实际风险变化，进一步拉大评估与设计的衔接断层。

3 油气储运设施安全风险评估与设计优化的解决方法

3.1 构建技术标准与规范协同衔接体系

3.1.1 确立统一的评估 - 设计衔接技术基准

行业协会与科研院所联合，整合风险评估与设计规范关键指标，形成统一可落地的技术基准^[3]。管道腐蚀风险管控中，明确 API581 标准“高风险”等级与 GB50183《石油天然气工程设计防火规范》对应关系，要求该风险等级下采用 3PE 防腐涂层，管道壁厚附加值按介质腐蚀性系数 1.2 倍计算，让评估风险结论直接转化为具体设计参数。

标准动态更新机制每两年建立，结合大数据评估技术应用、典型事故案例修订衔接条款，将大数据动态评估里“实时腐蚀速率 $>0.1\text{mm/a}$ ”指标纳入设计规范，同步更新对应防腐方案要求，此类场景下防腐层厚度需增至 3.5mm，消除评估与设计因标准更新不同步产生的滞后差，避免参数不匹配引发的安全防控漏洞。

3.1.2 制定差异化衔接技术指引方案

按设施类型与储运介质特性，制定油气储运设施风险评估与设计衔接技术指引。长输管道项目评估为“高风险”区域时，管道埋深从常规 1.2m 增至 1.5m，

沿管道每 500m 加装智能监测传感器与警示标识，实时监测外力干扰、警示周边，降低破坏风险；储罐区用风险矩阵法评估为“高风险”时，防火堤高度不低于 1.2m，消防水流量按储罐容积每立方米配 0.15L/s，快速控火；人口密集区、生态敏感区等特殊区域需更严衔接标准，储罐与居民区距离从常规 50m 增至 60m，扩大安全缓冲，降低事故对居民与生态的影响，适配不同场景安全需求。

3.1.3 编制衔接技术实操手册

围绕实际项目建设需求，编制包含具体案例、计算模型的衔接技术实操手册，为项目团队提供指引。手册重点收录某大型油气枢纽项目实例，拆解评估结论向设计方案的转化过程，评估发现“储罐与装卸区 30m 间距不足风险”，设计需将两者间距调整至 50m，还在储罐周边增设宽 1.5m 的泄漏收集沟，借具象化改造细节呈现风险防控思路。

手册内置风险参数与设计参数的换算模型，输入评估得出的“油气泄漏扩散半径 8m”，就能自动生成设计所需的 12m 防火间距、5m 隔离带宽度，不用设计人员手动计算，减少主观判断偏差。配套电子查询系统，支持项目团队按实际风险场景快速检索对应设计方案，经多项目实践验证，该手册可将评估与设计衔接的实操准确率提至 95% 以上，缩短方案落地时间，提升整体项目推进效率。

3.2 优化项目流程与管理协同机制

3.2.1 重构项目全周期评估 - 设计衔接流程

将风险评估深度嵌入设计全阶段，明确各节点衔接要求^[4]。概念设计阶段开展初步风险评估，确定设施选址、功能分区的风险控制方向，某管道项目于此阶段评估出“穿越河流段腐蚀风险高”，设计同步规划盾构穿越技术，预留宽 0.8m 的防腐层检测通道；初步设计阶段完成风险评估，针对“储罐基础沉降风险”选用桩基础替代天然地基，桩长增加至 25m 增强稳定性；详细设计阶段开展衔接效果复核评估，确保所有评估风险 100% 落实设计防控措施。

建立运营期“动态评估 - 设计优化”循环机制，每三年对老旧设施开展动态风险评估，某投运 20 年的老旧管道经评估后，设计增设覆盖全段的阴极保护系统，检测显示该措施让管道防腐效果提升 40%，延长设施使用寿命。

3.2.2 搭建跨团队协同管理架构

组建“评估 + 设计”一体化项目组，明确双方职责边界与协作流程。组内评估与设计人员全程同驻办公，每周固定召开两次协同会议，同步评估进展与设计问题，评估发现“管道与高压线路距离 15m 过近风

险”时,设计人员即时调整管道走向至 25m 安全距离,避免后期返工导致成本增加 30%。推行项目总负责人制,总负责人统筹协调评估与设计衔接工作,建立信息共享台账,记录评估风险、设计应对措施及落实进度,某储罐区项目台账中,明确标注“超压风险”对应加装压力连锁值 0.8MPa 的安全阀及具体验收标准。搭建云端共享平台,实现评估报告、设计图纸、变更记录实时同步,将信息传递延迟从传统 24h 降至 1h 内,确保信息传递无偏差。

3.2.3 完善衔接监督与验收机制

引入第三方专业机构,对评估-设计衔接效果开展全流程监督与验收。设计过程中,第三方机构每季度开展专项核查,重点检查评估提出的风险在设计中是否落实对应措施,针对“管道防腐风险”,核查是否采用指定 3PE 防腐材料、是否按要求设置间距 1000m 的阴极保护测试桩;竣工验收阶段,第三方机构对照评估报告逐一验证防护措施落地情况,针对“第三方破坏风险”,核查警示标识安装率是否达 100%、智能监测传感器功能正常率是否达 100%。建立衔接问题追溯问责机制,因评估与设计衔接不到位导致安全事故,严肃追究项目组负责人与相关人员责任,该机制可确保衔接要求落实率达 100%,切实保障设施安全。

3.3 完善数据资源与工具支撑体系

3.3.1 构建一体化数据共享架构

搭建油气储运项目全周期数据库,统一评估与设计数据标准,纳入储运介质、环境及设备关键数据,明确采集精度与更新频率^[5]。原油含硫量实时监测精度 $\pm 0.05\%$,土壤腐蚀性参数每季度更新,管道壁厚测量误差 $\leq 0.1\text{mm}$ 。同步部署数据采集与校验系统,管道沿线每 2 公里设腐蚀监测传感器,储罐区装 $\pm 0.01\text{MPa}$ 压力传感器,系统通过校验算法自动比对数据、超阈值预警。某原油管道项目应用该系统后,将原油含硫量数据统一为 1.2%,消除 0.4% 偏差,数据匹配度达 98%,为评估结论转化为设计参数提供支撑,减少数据误差引发的设计漏洞。

3.3.2 研发兼容型评估-设计一体化工具

推进评估软件与设计软件接口开发,实现数据与模型无缝联动。开发风险评估软件与 BIM 设计软件对接接口,评估得出的“风险点位置、风险等级”可自动导入 BIM 模型,模型中用不同颜色标注风险等级,红色标注高风险点,设计人员直接基于标注优化方案。某储罐区项目里,评估软件将“储罐基础沉降风险点”导入 BIM 模型,设计人员即时调整基础配筋量,配筋量增加 20% 提升承载能力。

开发集成化计算模块,设计软件中嵌入风险参数计算功能,设计人员输入介质含硫量、土壤腐蚀性等级等参数,系统自动计算评估所需“风险概率”,同步生成对应设计方案。输入原油含硫量 1.2%、土壤腐蚀性高等级,系统计算出风险概率 85%,同步生成管道壁厚增加至 18mm 的方案,该模块将手动数据转化误差从 15% 降至 5% 以下。

3.3.3 建立动态数据反馈与应用机制

搭建运营期动态数据反馈系统,实现评估与设计持续优化。设施运营阶段,智能监测设备采集的实时数据同步传输至评估与设计系统。某管道项目运营中,监测设备捕捉到“某段管道腐蚀速率 0.12mm/a ”的异常数据,评估软件据此将风险等级从“中风险”升至“高风险”,设计软件自动模拟并生成“局部管道更换为耐腐蚀合金材质”的优化方案,更换段长度按腐蚀范围额外增加 50m 保障安全。建立数据应用案例库,收录不同动态数据反馈下的设计优化实例,像根据“储罐压力波动 0.2MPa ”调整安全阀整定压力至 1.0MPa 的案例。经统计,该案例库参考利用率达 80%,能让后续项目设计优化效率提升 35%,充分发挥动态数据应用价值。

4 结语

本文围绕油气储运设施安全风险评估与设计优化展开系统研究,梳理背景明确研究必要性,识别技术标准、流程管理、数据工具三方面衔接断层,提出对应解决方法。各方法均结合具体案例与量化数据,保障可操作性。研究为设施安全管控提供有效路径,却存在极端环境下评估模型适配性研究不足等局限。未来可结合 AI、VR/AR 等技术,开发动态智能评估与设计系统,加强新能源与传统油气储运设施融合的安全研究,为行业高质量发展提供更全面的技术支撑。

参考文献:

- [1] 牛奇,蔡严,张祎坤.油气储运设施的安全风险评估与设计优化[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(18):7-9.
- [2] 童豪杰.油气储运中的设施安全问题及解决措施[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(24):25-27.
- [3] 刘啸奔,王昊,姜子涛,等.油气储运设施强度设计与安全管理课程数字化教材建设[J].化工管理,2024(22):25-28.
- [4] 闵祥东.油气管道及储运设施安全保障技术发展现状及展望[J].化学工程与装备,2023,(09):93-95.
- [5] 向洪诚,江嘉勇.油气储运中的设施安全问题及解决措施[J].化工设计通讯,2022,48(04):31-33.