

石油储运中的安全管理措施探析

张元峰（陕西鸣德通圣工程设计有限公司，陕西 西安 710000）

摘要：保证石油储运各环节的安全是石油企业发展的基石，石油企业全方位确保储运安全，在安全管理方面必须采取有效的措施。本文对石油储运安全管理重要价值、储运安全管理存在的问题、以及加强储运安全管理措施等多个维度进行探析，并对石油储运安全管理技术应用前景予以展望。

关键词：石油储运；安全管理；设备安全；先进技术；经济发展

中图分类号：TE8 **文献标识码：**A **文章编号：**1674-5167（2025）025-0142-03

Analysis of Safety Management Measures in Petroleum Storage and Transportation

Zhang Yuanfeng ()

Abstract: Ensuring the safety of all links in petroleum storage and transportation is the cornerstone of the development of petroleum enterprises. To comprehensively guarantee the safety of storage and transportation, petroleum enterprises must take effective measures in terms of safety management. This article explores multiple dimensions such as the significant value of petroleum storage and transportation safety management, the existing problems in storage and transportation safety management, and measures to strengthen storage and transportation safety management, and looks forward to the application prospects of petroleum storage and transportation safety management technology.

Key words: Petroleum storage and transportation Safety management Equipment safety Advanced technology Economic development

石油具备的易挥发、低闪点、宽爆炸极限、高能量密度及静电敏感性等综合特性，决定了石油具有易燃易爆的特性，因此石油在储运过程中，存在着诸多的安全风险，必须严格防范泄漏、控制温度、防止静电，严禁火源，石油储运设备设施也存在较多复杂性，任何一项不安全的因素都可能导致事故，储运设备设施从设计、选型、安装、检验、检测等方面都要执行严格标准，做到科学合理、安全设计、安全应用、安全管理等方面就显得尤为重要。

1 石油储运安全管理的重要性

石油储运涉及到石油的储存和运输，从安全风险、环境影响、经济影响等方面充分考虑，强化石油储运安全管理，具有以下几点重要性：

1.1 防范重大安全事故，保障人员与设施安全

石油及其衍生品具有的易燃、易爆、易挥发等特性，在储运过程中，一旦发生泄漏、静电火花或操作失误，极易引发火灾、爆炸等灾难性事故。例如，油罐区火灾或爆炸，输油管道的泄漏等突发情况，均有可能造成大规模人员伤亡与基础设施损毁。通过规范操作流程、定期设备检测及风险监测系统等手段，采取严格的石油储运安全管理，可以最大限度地降低事故概率，保护人员生命和基础设施安全。

1.2 减少环境污染，维护生态平衡

石油泄漏、挥发会对土壤、水体及大气造成长期的污染。例如，陆地储罐泄漏可能污染地下水源，海上油轮事故可能导致海洋生态系统崩溃。石油储运安

全管理通过防渗技术、应急响应预案、实时污染监测技术手段，能够快速控制污染扩散，降低生态修复成本，同时避免企业因环境事故面临法律追责与社会声誉损失。

1.3 保障能源供应稳定，提升经济发展安全

石油是工业生产和民生的重要战略资源。储运环节若因管理疏漏导致供应中断（如管道停运、港口封闭），可能引发能源短缺，影响交通、电力等关键领域，甚至冲击国家经济链条。高效的资产管理可确保储运系统连续、可靠运行，维护能源供应链稳定，为经济发展和社会秩序提供基础保障。

2 石油储运安全管理中存在的问题

2.1 石油设备老化与维护力度不足

第一，石油储运设备（如管道、储罐）的腐蚀与破损是油气行业长期面临的重大安全隐患。部分管道、储罐因长期使用或环境侵蚀导致锈蚀、裂纹，易引发泄漏或爆炸。这类问题主要由材料老化、环境侵蚀和介质腐蚀共同作用引发。金属管道长时间运行中，受土壤电解质、微生物及输送介质（如含硫原油）等因素综合影响，逐步发生电化学腐蚀和应力腐蚀开裂。例如， H_2S 与金属反应生成硫化亚铁，导致局部点蚀； CO_2 溶于水形成碳酸，加速钢材的均匀腐蚀。并且腐蚀造成的设备失效呈现渐进性和隐蔽性。以储罐底板为例，沉积水中的 Cl^- 离子穿透防腐涂层后，可在焊缝处诱发晶间腐蚀，导致微小裂纹扩展^[1]。

第二，导致设备设施维护滞后问题，本质上是企

业安全管理体系失效的表现。部分企业为追求短期经济效益,设备(如阀门、密封件)检测周期不按照规定的行业标准时间,延迟检测,导致关键部件(如高压阀门、机械密封)的疲劳损伤无法及时识别,维护滞后的技术后果具有累积放大效应,造成经济损失。例如,泵用机械密封的磨损量超过 50 μm 时,密封失效概率呈指数增长。更严重的是,延迟维护会引发“蝴蝶效应”,扩大经济损失。

2.2 运输环节存在的高风险性

第一,管道运输风险。第三方施工破坏是导致管道事故的首要原因,占比超过 40%。这类事故大多由于市政建设、农田开发等工程施工,没能充分掌握地下管网信息,或施工方与管道运营商沟通不畅所致。主要存在以下原因:信息共享机制缺失、技术防控滞后、操作流程不规范、施工违规。另外,我国 60% 长输管道途经地质灾害高发区,受到地质灾害威胁,如输油管道因山体滑坡位移导致应力集中发生破裂。

第二,陆路与海运风险。在公路与海运运输中,根据运输工具事故特征分析,时常存在公路槽车侧翻、铁路罐车脱轨、海上油轮碰撞等事故发生。海运运输现行应急体系存在三重矛盾:①资源调配碎片化,沿海省份海上溢油应急设备库综合利用率仅 35%;②决策链条冗长,跨省陆运事故平均启动部级响应需要 2 个多小时;③技术装备滞后,多数港口仍依赖围油栏+吸油毡的传统处置方式,对高粘度原油回收效率不足 40%。

2.3 技术壁垒与环境挑战

第一,石油储运过程中,存在应急管理 with 检测技术不完善的现象,主要体现在:①智能化监测技术不足,传感器精度与可靠性不足,现有压力、温度传感器易受到环境干扰,误报频率比较高。存在数据孤岛现象,SCADA 系统、GIS 系统、物联网平台缺乏整合,难以实现全流程可视化;②自动化与机器人技术滞后。管道泄漏检测与定位技术存在瓶颈,管道内检测 (ILI) 技术受限:高清晰度漏磁检测器、几何变形检测器的成本高昂。泄漏检测与定位技术瓶颈材料与防腐技术短板,耐腐蚀材料过多的依赖进口,比如,高等级管线钢(如 X80/X100)国产化率低,涂层技术(如 3LPE)易剥离。另外,还存在阴极保护系统优化不足的问题,杂散电流干扰导致保护电位不均,加速局部腐蚀。

第二,外部环境风险与监管漏洞。①自然灾害影响与威胁:极端天气(地震、洪水等)可能破坏储运设施,对储罐和管道稳定性构成威胁,部分企业未落实防灾加固措施;复杂场景适应性差:多相流管道(如

含气原油)的泄漏模型精度不足;环保与清洁技术存在瓶颈;挥发性有机化合物(VOCs)治理成本高,现有吸附-催化燃烧技术能耗大,膜分离技术尚未规模化应用;泄漏事故可能引发土壤、水体污染,环保合规成本高,企业面临巨额赔偿,相关事故会造成无法估量的经济损失,一般会包括直接修复成本、环境治理及停产损失。生物修复效率低:石油降解菌在低温或高盐环境中活性显著下降。②监管执行不力:部分区域存在检查频次低、处罚宽松等问题,企业违规成本低,隐患长期存在^[2]。

除上述问题之外,还存在制度监管执行不力、人为违规操作、管理能力不足放任隐患长期存在等一系列的问题,都是亟待改进和解决的。

3 加强石油储运安全管理的相关措施

加强石油储运安全管理,需要从管理优化(责任追溯、标准化)、应急体系重构和技术升级(智能化、国产化)等方面协同推进,通过材料革新、检测技术升级和维护模式转型,构建主动防御型安全屏障。

3.1 强化防控体系,建立定期检测机制

第一,为确保石油储运安全平稳运行,强化防控体系需要采取多层次技术措施:在材料层面,推广双相不锈钢、镍基合金等耐腐蚀材料的应用;在防护技术方面,应用三层聚乙烯(3LPE)复合涂层配合外加电流阴极保护,可使管道寿命延长至 50 年左右。同时,提升智能检测技术,石油企业依托智能化监测设备进行定期检测,采用超声导波检测(检出率 >95%)结合分布式光纤传感技术,可以实现毫米级缺陷识别。通过全面实施完整性管理,能够有效降低设备与管道的腐蚀泄漏概率。

第二,在设备设施检测方面,有效部署班组以上管理人员,定期对储罐、管线等关键设备设施开展全面细致的检查。检查人员要细致排查每个设备、每条管线、每个部件,检测过程中若发现问题,应即刻详细记录异常情况,并迅速启动整改流程,立即组织人员严格遵循安全操作规程开展维修,完善安全排查机制和员工高度的安全意识,以此提升应对突发事件的高效处置能力。

为防止类似问题复发,石油储运安全管理部门应进一步完善设备维护管理制度,在增加巡检频次、优化巡检流程的同时,同步加强员工安全培训,着力提升全员安全意识和应急处置能力,确保及时发现并消除各类安全隐患,为石油储运的安全、稳定、可持续发展提供坚实保障。

3.2 多措并举,降低运输风险

第一,石油输送过程中,避免第三方施工破坏,

需要采取多维度防控措施：首先，三管齐下构建现代化维护体系，政策层面应强化 TSG 21-2016《固定式压力容器安全技术监察规程》执法，将企业安全投入与信用评级挂钩，其次，构建政企协同的“地下管网数字孪生平台”，强制施工方通过 AR 设备实时查看地下管线；再者，修订法规将第三方破坏入刑，并建立行业黑名单制度；再者，推广分布式光纤传感技术，其可实时监测管道周边 10m 内的振动信号，定位精度达 $\pm 0.5\text{m}$ 。通过该技术能成功预警施工入侵事件^[3]。

第二，在应对陆路与海运风险方面，采取系统性的解决方案，推行“本质安全+过程控制+应急兜底”三位一体策略：在公路运输领域，强制安装胎压-温度实时监控（如 TPMS-Plus 可提前 30min 预警爆胎风险）；铁路运输采用轨道智能巡检机器人，每 8h 自动检测钢轨应力变化；海运实施“黑匣子”计划，要求油轮配备航行决策支持系统（如 NAPA 的 RouteGuard 可动态优化航线规避风险）。同时，建立基于区块链技术的全链条溯源系统，实现从装车到终端各环节数据不可篡改存证。

3.3 攻克技术壁垒，直面环境风险与挑战

第一，解决本质上存在的问题，确保石油储运过程的畅通，消除罐车、管道泄漏隐患，有效杜绝环境污染风险，需要不断的攻克技术壁垒，重点攻克传感器、AI 模型、防腐材料等技术壁垒，突破这些技术壁垒需要企业重视产学研结合，同时完善法规与保险机制以分散风险。技术创新破局的关键是：①部署星-空-地立体监测网，结合 InSAR 卫星遥感（每周形变监测精度达毫米级）、无人机 LiDAR 测绘（生成 5cm 精度三维地形模型）、地面微震传感器阵列；②应用管道应力记忆检测技术，能够提前 3 个月发现管体微观缺陷；③在石油输送路段试点“智能管道”系统，集成地质大数据分析平台，提升预警准确率。

第二，打破环境保护应急响应瓶颈，其改进路径包括：在技术层面，推广基于风险的检测（RBI）技术，通过剩余寿命预测优化维护计划，在管理层面，建立设备数字孪生系统，企业应用预测性维护后，降低设备故障率。同时应推行“全员生产维护”（TPM）模式，将设备点检纳入操作工日常职责，确保隐患识别前移。并且要优化路由设计，采用科学的 Z 型埋设、预应力锚固等工程措施，如某输送管道在湖北恩施段设置 178 处抗滑桩，成功抵御 2022 年特大暴雨侵袭，避免了地质灾害威胁^[4]。

石油储运安全管理无小事，针对制度监管执行不力、人为违规操作、管理能力不足等问题，这些问题的解决需要石油行业从本质安全理念出发，采取一系

列有效措施，建立覆盖设备全生命周期的智能化管理体系，既是保障能源动脉畅通的技术要求，更是履行社会责任的必然选择。

4 石油储运安全管理措施应用前景

近年来，随着技术发展水平日新月异，以及行业需求的变化，国内外在油气储运方面取得了一些重要突破，石油工业领域涌现了许多新技术、新成果，在油气储运方面，全世界在技术和管理水平均取得显著提高。以下是几项主要的新成果与未来趋势：

第一，在国际方面，取得了一些先进实践经验，欧美国家采用分布式光纤传感（DAS/DTS）实现管道实时监测，泄漏定位精度达 $\pm 1\text{m}$ ；挪威将数字孪生技术用于海上平台风险管理。

第二，在国内方面，也取得了一些重的突破，例如，加速了国产高精度传感器（如 MEMS 阵列）研发；推动 AI 驱动的风险预警平台建设；发展低成本无人巡检装备（如无人机集群、智能爬行机器人）；强化多学科交叉研究（如腐蚀大数据+机器学习）。未来，为了进一步落实石油储运安全，企业应该多措并举，树立更加清晰的未来发展方向^[5]。

5 结语

石油储运安全管理作为石油工业中的重要环节，做到有效保证石油储运安全，需要全方位的重视从设计、材料、技术、环境等所有要素，并要进一步完善管理制度，及时解决石油储运过程中的各种问题，预防事故，才能更好促进石油工业企业实现可持续发展目标^[6]。

参考文献：

- [1] 张伟. 石油储运安全管理中的风险识别与控制措施[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(18): 70-71.
- [2] 李强, 王静. 油气储运过程中的安全管理与事故预防策略[J]. 化工管理, 2022(12): 98-100.
- [3] 金欣. 油气储运环节分析及优化措施研究[J]. 化工设计通讯, 2022, 48(02): 13-15+29.
- [4] 陈明, 赵磊. 长输油气管道安全管理与应急响应机制研究[J]. 安全与环境工程, 2021, 28(04): 145-150.
- [5] 刘洋. 石油储运安全环保管理问题及优化对策[J]. 石化技术, 2023, 30(05): 231-233.
- [6] 李旭. 油气储运工艺的优化策略分析[J]. 石油石化物资采购, 2024(10): 47-49.

作者简介：

张元峰（1986.11—），男，汉族，新疆玛纳斯县人，本科学历，工程师，主要研究方向：化工工艺-设计方向。