

输油气站压力容器与收发球筒的风险评估与事故预防

刘琪

国家石油天然气管网集团有限公司山东分公司

摘要：压力容器与收发球筒是输油气站中不可或缺的核心设备，其安全性和稳定性对输油气系统的高效运行具有重要意义。本文从常见事故类型及风险来源出发，系统分析了压力容器和收发球筒的技术性及管理性预防措施，并结合案例探讨事故改进策略及效果评估。

关键词：压力容器；收发球筒；风险评估；事故预防；输油气站

本文以压力容器和收发球筒为研究对象，结合事故案例分析风险来源与成因，提出技术性与管理性预防措施，并评估改进效果，为设备安全管理与事故防控提供科学依据。

1 输油气站压力容器与收发球筒的基本概述

1.1 输油气站的功能与组成

输油气站是能源传输网络中的重要节点，主要负责原油、天然气等介质的接收、储存、调压、加压和分配，其功能包括介质的安全存储、长距离输送及压力调节，确保管道运输的高效性与稳定性^[1]。站内主要设备包括压力容器、收发球筒、储罐、加压设备、管道及控制系统，其中压力容器和收发球筒是保证系统稳定运行的核心。为应对突发情况，站内还配备监测系统、安全阀及消防设备。现代输油气站引入了自动化和智能化管理系统，大幅提升了能源传输的稳定性与安全性。

1.2 压力容器与收发球筒的作用与分类

压力容器与收发球筒在输油气站中发挥着关键作用。压力容器主要用于储存和调节介质，包括缓冲压力、分离

杂质及稳定流量，按功能可分为储存容器、换热容器、反应容器和分离容器。收发球筒则通过发球、接球流程清除管道杂质，保障管道运行效率及安全性，按用途分为单向清管筒和双向清管筒，按结构分为水平式和垂直式。两者协同作用，确保输油气系统的高效、安全与环保达标。

1.3 常见故障及风险来源

压力容器和收发球筒的常见故障包括腐蚀、泄漏、密封失效及疲劳损伤。腐蚀风险多因介质中的硫化氢、氯离子等化学成分引起，可能导致局部腐蚀或穿孔。收发球筒频繁启停操作和机械应力则易引发结构疲劳失效或焊接裂纹。泄漏故障通常源于密封件老化或压力超标，可能造成介质外泄及环境污染。操作失误与维护不足，如超压运行或清管器卡滞，也是主要风险来源^[2]。这些问题不仅威胁设备安全，还可能导致严重的经济损失和环境灾害。

2 压力容器与收发球筒的风险评估

2.1 风险评估理论基础

风险评估通过定量和定性手段分

析设备失效的概率及后果，以制定有效的防控措施。其理论基础包括系统安全工程、概率统计及失效分析。压力容器与收发球筒的风险评估通常基于设备运行条件、结构特点和历史数据，采用失效模式与效应分析（FMEA）、层次分析法（AHP）及故障树分析（FTA）等方法。动态评估与实时监测逐渐成为风险管理的重要方向，借助物联网技术实现设备状态的实时监控与预测，为事故预防提供有力支持。

2.2 风险评估指标体系的构建

风险评估指标体系是分析设备运行安全的基础，需覆盖设备运行的多维因素，如结构安全、操作环境、维护水平及应急能力。具体指标包括介质压力、温度、腐蚀速率、焊缝质量、密封性能及设备老化程度等。指标体系需具备全面性与科学性，并通过专家打分法或权重分析法量化各风险因素，明确主要风险来源^[3]。科学构建的指标体系为后续风险分析及优化措施的制定提供了重要依据。

2.3 风险评估方法及模型

风险评估方法与模型是对设备风险进行量化分析的工具，常用方法包括

层次分析法 (AHP)、故障树分析 (FTA) 及模糊综合评价法等。这些方法能够针对不同类型的风险因素, 结合定量与定性分析, 为设备安全管理提供决策支持。AHP 通过构建指标权重矩阵, 实现对风险因素的层次化分析; FTA 则以系统失效为目标, 通过构建逻辑树分析各失效路径的概率。实际应用中, 常将多种方法结合使用, 以提高评估结果的精确性与实用性。在风险评估中, 传感器设备的状态监测至关重要。压力容器与收发球筒内部的压力波动、介质泄漏和温度变化等因素, 均可通过传感器实时检测, 辅助风险评估模型的数据输入。如图 1 所示, 该传感器由连接螺纹、电极放大器、压电晶体和膜片等部分组成, 其结构设计能够精准捕捉运行参数, 提供可靠的数据支撑, 显著提升风险评估的准确性^[4]。

2.3.1 基于层次分析法 (AHP) 的风险评估

层次分析法 (AHP) 是一种定量与定性相结合的风险评估方法, 特别适用于多指标、多层次的复杂系统。针对压力容器与收发球筒的风险评估, AHP 的步骤包括确定评估目标、构建指标体系、建立判断矩阵及计算权重。在具体应用中, 可通过专家评分法获取各指标的相对重要性, 并利用一致性检验确保矩阵的可靠性。最终通过综合评分对设备的风险等级进行分类, 为风险管理提供直观的量化依据。

2.3.2 基于故障树分析 (FTA) 的风险评估

故障树分析 (FTA) 是一种基于逻辑推理的风险评估方法, 适用于分析系

统失效的根本原因及其传播路径。在压力容器与收发球筒的应用中, FTA 通过构建顶事件 (如设备爆炸或泄漏) 及底事件 (如密封失效、焊缝裂纹等), 分析风险因素间的逻辑关系。通过计算失效路径的发生概率, 识别设备的关键风险点, 为预防措施的制定提供数据支持。

3 压力容器与收发球筒的事故预防

3.1 常见事故类型及原因分析

压力容器与收发球筒常见事故包括泄漏、爆炸、结构失效和清管器卡滞。泄漏多由焊缝腐蚀、密封件老化或超压运行引起, 可能导致介质外泄, 危害环境与安全; 爆炸通常与压力容器疲劳失效或操作不当有关, 造成设备及管道严重损坏; 结构失效主要发生在收发球筒, 由频繁启停导致机械应力集中引起; 清管器卡滞则多因设计不合理、管道内壁复杂或操作不规范造成。这些事故的根本原因在于设计缺陷、材料问题、操作失误及维护不足, 需通过科学的预防措施加以防控。

3.2 技术性预防措施

3.2.1 压力容器的材料与结构优化

为防止压力容器的结构失效和腐蚀问题, 应优先选用高强度、耐腐蚀的材料, 如不锈钢、合金钢等, 同时根据工况优化容器设计。先进的有限元分析技术可用于预测设备的应力分布, 减少应力集中部位的失效风险。应在设计中增加安全附件, 如爆破片、压力安全阀及在线监测传感器, 以提高容器运行的安全性。

3.2.2 收发球筒操作流程改进

针对收发球筒清管作业中的风险, 应优化清管器的设计, 使其适应多种介质和管道条件, 避免卡滞现象。应制定详细的操作规范, 包括清管器装填、压力调节和启动顺序等, 减少人为因素造成的失误^[5]。通过自动化控制系统实现

清管作业的全过程监测, 有助于提高操作精度与安全性。

3.3 管理性预防措施

3.3.1 检修与维护制度的完善

建立完善的定期检修与维护制度, 对压力容器与收发球筒的关键部位进行重点检查, 如焊缝、密封件及压力表等, 及时更换老化部件。利用先进的无损检测技术, 如超声波、射线检测等, 发现潜在缺陷, 避免隐患积累。

3.3.2 人员培训与安全意识提升

操作人员的培训是事故预防的重要环节, 应定期组织技术培训和应急演练, 提高人员的设备操作能力和事故应对水平。通过宣传和激励措施强化全员安全意识, 建立“全员参与、主动防控”的安全文化。

3.4 应急管理 with 事故处置方案

构建完善的应急管理体系对于输油气站的安全运行至关重要。在事故发生时, 快速响应和有效处置能够显著降低事故的影响。应急管理体系包括以下几个关键环节: 事故报警、快速响应、应急资源调度及事故后评估。如图 2 所示, 不同类型事故的响应时间和控制时间对事故损失程度有显著影响。压力容器泄漏的响应时间通常较快 (约 10min), 但若控制不及时, 事故后果可能迅速扩大。而收发球筒密封失效因其特性需要更高的控制精度, 响应和控制时间均稍长。管道系统爆裂的事故损失减少, 这表明快速有效的事故处置对降低此类事故影响的作用更加显著^[6]。

4 案例分析

4.1 压力容器典型事故分析

某输油气站压力容器因内壁腐蚀导致的爆炸事故表明, 设备材料选型和防腐处理存在不足。事故调查显示, 容器设计中未考虑介质中的硫化氢成分, 导致应力腐蚀开裂。运行过程中未进行定期的超声波检测, 未能及时发现腐蚀扩展的早期迹象。事故造成了设备损毁

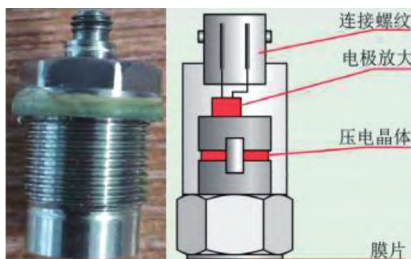


图 1 压力容器用传感器结构示意图

和管道中断，经济损失显著。这一案例强调了材料选择、腐蚀监测及维护的重要性。

4.2 收发球筒典型事故分析

某站收发球筒在清管作业中发生卡滞事故，导致管道压力骤升并引发清管器损坏。调查发现，清管器直径与管道内壁不匹配，同时未按要求进行管道内壁清理，导致作业过程中摩擦力过大^[7]。事故还暴露出操作人员未严格遵守清管流程的问题。该案例表明，优化清管器设计、规范操作流程及加强操作人员培训是避免类似事故的关键。

4.3 事故经验总结及启示

通过对压力容器和收发球筒的典型事故案例分析发现，不同的改进措施在事故防控中的效果各不相同。如图3所示，密封材料的升级能够显著降低设备的故障率（降低幅度高达70%），但其实施成本较高，适合用于风险较高的关键部位优化；调整操作流程在平衡成本与效果方面表现突出，能够降低50%的故障率，尤其适用于收发球筒的操作优化，是一种高性价比的改进策略；优化监测技术虽然对故障率的直接降低效果相对较小（46%），但在长期维护成本控制和设备运行状态的实时监测方面具有重要价值，适合作为事故预防体系的重要补充^[8]。从这些数据中可以看出，改进措施的选择应根据具体的设备运行条件、故障类型及经济效益进行评估。

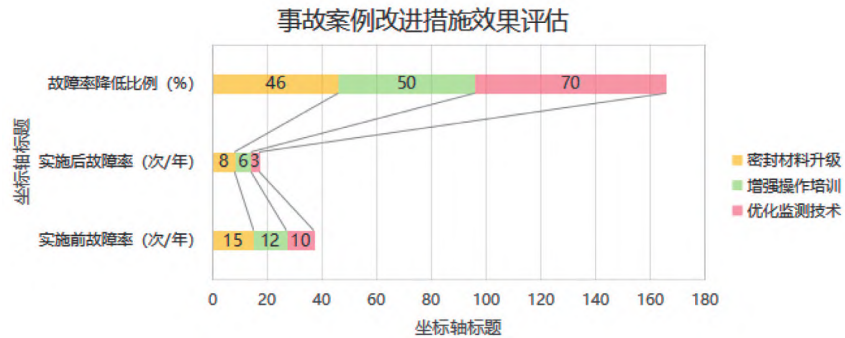


图3 事故案例改进措施效果评估

对高风险部位应优先采取密封材料升级等高效措施，而针对日常运行中的管理改进，则可通过调整操作流程和优化监测技术实现更好的防控效果。进一步加强行业内的技术经验分享和创新实践，不仅能够提升事故防控的效率，还能为设备管理的优化提供更多科学依据。

5 结语

压力容器与收发球筒的安全管理是保障输油气站高效运行的重要环节。本文分析了设备常见故障及事故原因，结合风险评估理论，提出了密封材料升级、操作流程优化和监测技术改进等措施，并通过案例验证了其有效性。这些措施显著降低了设备故障率，提升了运行效率，控制了事故损失。未来应加强智能监测技术的开发与应用，实现设备状态的实时监控与预警；推动全生命周期管理，完善事故预防与应急体系。通过行业技术交流与经验共享，不断提升整体

安全水平。持续改进设备管理和技术创新，不仅有助于提高输油气站的安全性及经济性，也将促进行业的绿色发展。

参考文献：

[1] 扈永鹏. 基于深度残差网络的输油气站场双电源快速切换风险预警模型[J]. 微型电脑应用, 2024, 40(6): 184-188.

[2] 张荣刚, 张志成. 输油气站场 UPS 系统供电稳定性和科学性提升实践[J]. 中国高新科技, 2024(10): 67-68+71.

[3] 郭苗. 输油气站场工控系统网络安全防护探讨[J]. 仪器仪表标准化与计量, 2024(2): 5-7+17.

[4] 孙勇, 刘朝阳, 李秋娟, 等. 输油气站场区域化管理综合评价方法及应用[J]. 油气储运, 2024, 43(6): 702-709.

[5] 张博文. 输油气站场完整性管理与关键技术应用[J]. 全面腐蚀控制, 2022, 36(9): 32-33.

[6] 边钢月, 张福琴. 碳中和背景下石油石化行业发展动向及建议[J]. 流程工业, 2021(1): 12-15.

[7] 谢信军. 阳极分布对区域阴极保护效果的影响[J]. 全面腐蚀控制, 2021, 35(9): 38-41+51.

[8] 刘文华, 张晓松, 杜华东, 等. 基于GIS的三维可视化输油气站场设备设施管理系统设计与实现[J]. 信息系统工程, 2021(9): 50-55.

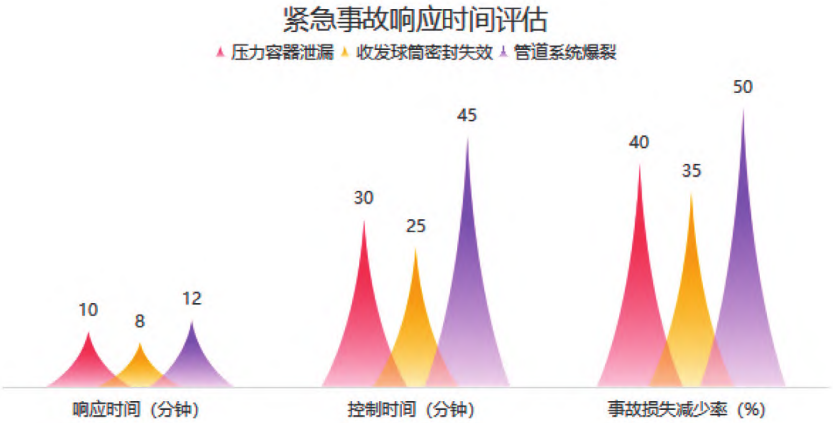


图2 紧急事故响应时间评估