

# 油气储运过程中长输管道的安全风险与措施分析

董 军（北京石油化工工程有限公司西安分公司，陕西 西安 710075）

**摘要：**随着时代的发展，油气储运过程中长输管道的安全风险与措施分析极为重要，这不仅关系到国家能源安全，还直接影响人民群众的生命财产安全和社会稳定。长输管道作为油气输送的重要方式，其安全风险主要体现在管道腐蚀、泄漏、火灾爆炸以及第三方破坏等方面，这些风险会导致严重的环境污染和资源浪费。因此，对长输管道安全风险进行深入分析，能够帮助施工人员更好地识别评估潜在的安全隐患，从而有针对性地制定预防措施。同时，通过分析长输管道安全措施，可以优化现有的安全管理体系，提高应对突发事件的能力，确保在事故发生时能够迅速有效地进行应急响应，最大限度地减少损失。

**关键词：**油气储运；长输管道；安全风险；措施

油气储运过程中长输管道的安全风险与措施分析的重要性在于，它是确保能源供应链稳定和环境保护的关键。随着全球能源需求的不断上升，长输管道成为油气资源输送的主要方式，其安全性能直接影响到国家能源安全和社会经济发展。分析长输管道的安全风险，能够帮助施工人员识别可能导致泄漏、火灾、爆炸等事故的潜在因素，从而采取相应的预防措施，避免或减少事故的发生。

## 1 油气储运过程中长输管道安全风险的潜在因素

### 1.1 设备老化

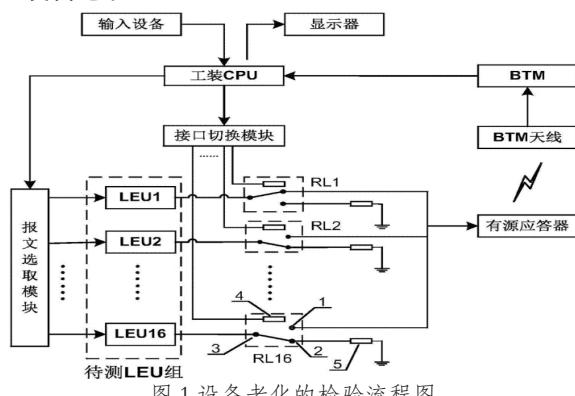


图 1 设备老化的检验流程图

随着时间的推移，管道及其相关组件如阀门、泵站、压缩机等，都会不可避免地出现材料疲劳、腐蚀加剧、结构强度下降等现象，这些现象直接影响了管道系统的安全稳定运行。设备老化会导致管道泄漏、破裂甚至火灾爆炸等严重事故，不仅会造成巨大的经济损失，还可能对周边环境和人员安全构成威胁。石油和天然气在长输管道中的流动，管道及其组件长期承受压力和温度变化，容易导致材料疲劳和性能下降<sup>[1]</sup>。长输管道设备老化可能引起泄漏、破裂，甚至火灾爆炸事故，对环境和人员安全构成威胁，此外，温

度波动、土壤位移等环境因素也会加速管道老化，设备老化的检验流程图，如图 1。

### 1.2 设计缺陷

设计缺陷主要包括管道选线不合理、管道结构设计不当、安全防护措施不足等方面。选线不合理可能使管道经过地质条件复杂或自然灾害频发的区域，地震带、滑坡区、洪水多发区等，增加了管道受损的风险。结构设计不当表现为管道壁厚不足、焊接接头设计不符合标准、管道弯曲半径过小等，这些都会在运行过程中导致管道应力集中，进而引发破裂或泄漏。安全防护措施不足则体现在对潜在风险的预防措施考虑不周，缺乏有效的地质灾害监测系统、防腐蚀措施不到位、紧急切断系统设计不完善等。

### 1.3 施工质量问题

管道材质的选择和采购是关键环节，使用了不符合标准的管材，会在运行过程中因承受不了压力而发生破裂，造成严重的泄漏事故。并且管道的焊接质量至关重要，焊缝缺陷如未融合、裂纹、气孔等，在油气高压输送过程中会成为裂纹扩展的起点，导致管道结构性破坏。此外，管道的防腐措施也是施工质量的重要部分，若防腐层施工不均匀或存在漏点，将加速管道内部的腐蚀，长期下去可能会降低管道的承压能力，增加泄漏风险。地形地貌的变化也会对长输管道的施工质量产生影响，特别是在山区、河流等地形复杂的区域，若管道铺设不符合地质条件要求，会因土壤沉降、水流冲刷等原因导致管道暴露或损坏。

### 1.4 管理失误

安全意识不足是管理失误的常见表现，管理层对安全风险的认识不足，会导致安全投入不足，在人员培训、安全设施更新等方面投入不够，从而增加了事

故发生可能性。此外，应急预案的不完善也是管理失误的一部分，若应急预案缺乏针对性和实用性，一旦发生紧急情况，无法及时有效地进行处置，会扩大事故的影响。在人员配置方面，管理失误表现为关键岗位人员配备不足或专业素质不高，这会影响管道日常巡检、维护和应急响应的效率。技术管理方面的失误也不容忽视，可以对管道运行数据的监控和分析不充分，无法及时发现管道运行中的异常趋势，或者对管道维护保养计划的忽视，导致设备老化加速，增加了故障发生的风险<sup>[2]</sup>。

## 2 风险分析

### 2.1 腐蚀速率计算

工业管道腐蚀速率的计算通常采用公式：

$$\text{腐蚀速率 } CR = K \times (C_1 C_2) \times t$$

其中  $K$  为腐蚀速率常数， $C_1$  为管道内腐蚀介质的腐蚀速率（mm/yr）， $C_2$  为管道外表面的腐蚀速率（mm/yr）， $t$  为腐蚀时间（年）。腐蚀速率常数  $K$  是一个与管道材料、腐蚀介质、温度等因素相关的参数，通常需要通过实验测定得到。 $C_1$  和  $C_2$  分别表示管道内外的腐蚀速率，可以通过实验测定或者根据工艺条件和腐蚀介质的特性进行估算。腐蚀时间  $t$  则是指管道在特定条件下的运行时间。腐蚀过程通常是缓慢进行的，初期不易察觉，但随着时间的推移，腐蚀程度会逐渐加深，直至影响管道的正常运行。不同材质的管道、不同环境条件下的腐蚀速率差异较大。

### 2.2 泄漏影响范围

泄漏率计算方法：

$$\text{泄漏率 } S = (1 - P_2 t_1 / P_1 t_2) \times 100\%$$

$P_1$  表示试验开始时系统压力、 $P_2$  表示试验结束后系统压力、 $t_1$  表示试验开始时系统温度（K）、 $t_2$  表示试验结束时系统温度（K），泄漏率在长输管道运行中表现为隐蔽性强，不易被及时发现，往往在累积到一定程度后才被发现，此时可能已造成严重后果。同时，泄漏的发生具有突发性，即使是微小的缺陷也可能在瞬间导致大量油气泄漏，增加了应急处理的难度。此外，泄漏率的不可预测性使得风险控制变得复杂，因为泄漏能由多种因素共同作用引起。

### 2.3 泄漏的主要设备

泄漏率是衡量风险的关键指标，而主要设备的安全运行则是控制泄漏率的核心。这些设备包括阀门、法兰、接头、补偿器、传感器和泵站等。阀门作为控制流体方向和压力的关键组件，若发生故障或磨损，可能导致泄漏率上升，因此需要定期检查和维护以保

证其密封性能。法兰和接头是管道连接的重要组成部分，它们的紧固度和材料质量直接关系到泄漏风险，必须确保每个连接点都符合标准，无松动或腐蚀迹象。补偿器用于缓解管道因温度变化而产生的应力，若补偿器失效，会导致管道变形甚至破裂，增加泄漏风险，因此其性能监测至关重要。传感器负责实时监测管道压力、流量和温度等参数，一旦传感器失准或故障，将无法及时预警泄漏，因此传感器的精度和可靠性必须得到保障。泵站作为油气输送的动力源，其运行状态直接影响到整个管道系统的稳定性，任何泵站的故障都可能导致压力波动，进而引发泄漏，因此对泵站的日常维护和故障排查不容忽视。

### 2.4 泄漏后果

泄漏后果的严重性不容忽视，它可能导致环境污染、财产损失、人员伤亡和社会恐慌等一系列问题。一旦发生泄漏，油气会迅速扩散到土壤和地下水中，造成长期的环境污染，修复成本高昂且恢复周期漫长。此外泄漏的油气若遇到火源，引发火灾或爆炸事故，造成周边设施损毁，直接经济损失巨大。在人口密集地区，泄漏事故还可能威胁到居民的生命安全，造成人员伤亡，社会影响极其恶劣，同时，泄漏事件会引起公众对油气管道安全的担忧，导致社会信任度下降，对企业的声誉造成负面影响。

## 3 油气储运过程中长输管道的安全措施

### 3.1 设计规范

油气储运过程中长输管道的安全措施设计规范至关重要，旨在确保管道系统的稳定运行和防止事故发生。设计规范首先要求管道材料必须具备良好的机械性能和耐腐蚀性，以适应不同的地质和环境条件，管道设计应考虑线路的最优化，避免穿越高风险区域，必须安装泄漏检测系统，以便及时发现并处理泄漏问题。管道的防腐措施包括涂抹防腐涂料和实施阴极保护，以延长输管道的使用寿命。安全截断系统应在设计中得到体现，以便在紧急情况下迅速切断油气流动。管道的布局设计应考虑到未来的维护和检修需求，确保有足够的操作空间。抗震和抗风设计是管道安全的关键，必须根据当地自然条件进行强化。施工过程中的质量控制至关重要，所有焊接点必须经过严格检查。此外，设计规范还应包括对管道周边环境的保护措施，减少对生态的影响，应急预案的制定和演练是设计规范的一部分，以确保在事故发生时能够迅速有效地应对。

### 3.2 施工质量控制

焊接质量控制是核心，要求焊工持证上岗，严格

执行焊接工艺规程，确保焊缝质量。安装过程中，管道走向、坡度和支撑系统必须严格按照设计图纸执行，避免偏差。无损检测是发现潜在缺陷的重要手段，对焊缝和接头进行100%检测，确保无漏检。回填作业要分层进行，保证回填材料和压实度满足规范要求。环境管理需对施工区域进行风险评估，采取有效措施减少对环境的影响。施工现场安全管理是保障施工人员安全的基石，定期进行安全培训和检查，防止事故发生。试压和泄漏测试是检验管道系统完整性的必要步骤，必须按照规定程序执行。施工记录要详细、准确，包括材料、焊接、检测等所有环节，便于质量追溯。最后，施工完成后，组织专业验收，确保管道系统安全可靠，满足油气储运需求，并且在该过程中油气管道风险评估流程发挥着重要的作用，如图2。

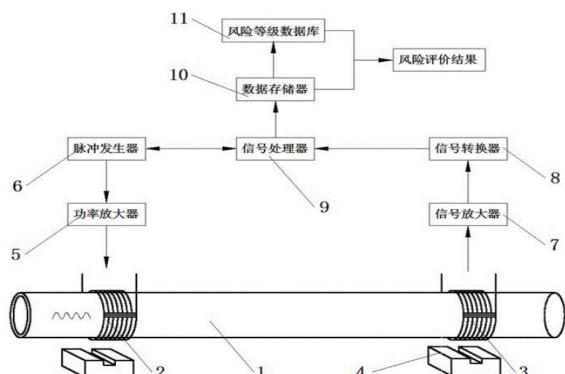


图2 油气管道风险评估流程

### 3.3 安全培训

安全培训还着重于应急预案的制定与演练，使员工能够在紧急情况下迅速反应，采取正确措施。个人防护装备的正确使用是培训的重点，确保员工在危险环境下得到有效保护。隐患识别培训帮助员工及时发现潜在的安全隐患，采取预防措施。风险管理培训教会员工如何评估和控制施工过程中的安全风险，降低事故发生率。环境保护培训强调施工过程中的环保措施，减少对环境的负面影响。此外，培训还包括安全文化建设，鼓励员工积极参与安全管理，形成良好的安全氛围。培训方式多样，包括课堂讲授、现场实操、模拟演练、网络学习等，确保培训效果。培训结束后，进行考核评估，确保员工掌握培训内容。定期复训和更新培训内容，以适应不断变化的工作环境和安全要求。通过全面的安全培训，为油气储运长输管道的安全施工提供坚实的人力保障。

### 3.4 应急响应计划

应急资源准备包括救援设备、通信器材、个人防护装备、急救药品等，确保资源充足、状态良好。救

援程序详细规定了事故发生后的行动步骤，包括事故报告、人员疏散、现场控制、抢险救援、环境监测等。信息沟通机制确保事故信息能够在第一时间内传递给相关部门和人员，以便快速做出响应。在应急响应过程中，定期进行信息更新，确保救援行动的准确性和时效性。恢复与重建计划指导事故处理结束后，恢复正常生产和生活秩序的措施。此外，应急响应计划还包括定期的应急演练，以提高员工的应急能力和熟悉应急流程。整个应急响应计划注重人员安全，优先考虑人员疏散和救援，确保事故影响最小化。

### 3.5 技术更新

油气储运过程中长输管道的安全措施技术更新不断推动行业安全标准提升，从防腐技术到智能监控，从材料升级到管理优化，一系列创新技术被广泛应用。先进的防腐技术如电镀、涂层和阴极保护系统，有效抑制腐蚀发生，延长输管道寿命。智能监控系统利用传感器和网络技术实现实时数据采集，及时发现异常并预警。新型管道材料具有更好的抗拉强度和耐腐蚀性，减少泄漏和破裂风险。设计与管理规范的更新，确保管道建设与运营符合最新安全要求。快速修复技术的应用，复合材料补丁和冷焊接技术，大幅缩短维修时间。

综上所述，油气储运过程中长输管道的安全风险与措施分析揭示了管道安全对于整个能源供应链稳定性的重要意义。通过对潜在风险的全面梳理，包括腐蚀、泄漏、第三方破坏、自然灾害等因素，本文提出了系统的安全措施和对策。这些措施涵盖了设计优化、材料升级、防腐技术应用、智能监控、泄漏检测技术提升、应急预案制定与演练等多个方面。实践表明，这些措施能够有效降低安全风险，保障管道的长期稳定运行。然而，我们也认识到，油气储运安全是一个动态变化的过程，需要不断适应新技术、新法规和新环境的要求。因此，未来的工作中，应持续关注长输管道安全风险的新趋势，加强技术研发，优化管理流程，以实现更加高效和安全的长输管道运营。通过不懈的努力，我们有望在保障能源安全、保护环境、维护公共安全方面取得更大的进步，为油气储运行业的可持续发展做出贡献。

### 参考文献：

- [1] 陈阳, 张丽媛, 蒋晓斌, 曲杰. 长输油气管道半定量风险评价方法研究及应用实践 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(05): 4-6+10.
- [2] 杨旭, 田鑫荣. 油气储运工程过程中管道防腐问题的分析和研究 [J]. 全面腐蚀控制, 2023, 37(07): 116-122.