

# 天然气管道 QHSE 体系下的安全风险识别方法研究

赵泽玲 (国家石油天然气管网集团有限公司华中分公司, 湖北 武汉 430000)

**摘要:** 天然气管道安全稳定运行直接关乎公共安全、生态环境与经济效益, QHSE 体系作为覆盖质量、健康、安全、环境的全要素管理框架, 为管道安全风险管控提供系统化思路。当前天然气管道安全风险识别存在维度单一、方法滞后、覆盖不全等问题, 难以适配 QHSE 体系全要素管控要求。本文基于 QHSE 体系核心内涵, 明确全要素覆盖原则, 梳理管道全生命周期各阶段典型风险, 构建全流程风险识别体系, 提出故障类型及影响分析、危险与可操作性分析等综合识别方法。

**关键词:** 天然气管道; QHSE 体系; 安全风险识别; 全生命周期; 全要素管控

**中图分类号:** TE88; X937      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1674-5167 (2026) 002-0142-03

## Research on Safety Risk Identification Methods under the QHSE System for Natural Gas Pipelines

Zhao Zeling (China Oil & Gas Pipeline Network Corporation Central China Branch, Wuhan Hubei 430000, China)

**Abstract:** The safe and stable operation of natural gas pipelines is directly related to public safety, ecological environment, and economic benefits. The QHSE system, as a comprehensive management framework covering quality, health, safety, and environment, provides systematic insights for pipeline safety risk management. Currently, safety risk identification for natural gas pipelines faces issues such as one-dimensional perspectives, outdated methods, and incomplete coverage, making it difficult to meet the requirements of the all-element control under the QHSE system. Based on the core principles of the QHSE system, this paper clarifies the principle of all-element coverage, identifies typical risks at each stage of the pipeline's full life cycle, constructs a comprehensive risk identification system, and proposes integrated identification methods such as failure mode and effects analysis (FMEA) and hazard and operability analysis (HAZOP).

**Keywords:** natural gas pipeline; QHSE system; safety risk identification; full life cycle; all-element control

随着我国天然气产业快速发展, 管道管网建设规模持续扩大, 天然气管道长期在复杂地质与恶劣气候条件下运行, 面临腐蚀、泄漏、第三方破坏等多重风险, 事故易引发爆炸、火灾等连锁反应, 造成重大损失。当前管道安全风险识别多聚焦安全事故、依赖经验判断且局限于运营阶段, 存在诸多盲区, 难以满足 QHSE 体系全要素、全流程管控要求。基于 QHSE 体系开展风险识别方法研究, 可实现风险识别从单一维度向全要素、经验驱动向技术驱动、阶段管控向全生命周期管控的转变, 精准捕捉潜在风险, 为风险评估与管控提供科学依据, 对提升风险管理效能、保障能源运输安全、推进 QHSE 体系落地具有重要现实意义与工程价值。

### 1 QHSE 体系核心内涵与天然气管道安全风险识别要求

#### 1.1 QHSE 体系核心内涵

QHSE 体系是融合质量、健康、安全、环境四大管理要素的系统化管理框架, 其核心内涵体现为全要素覆盖、全流程管控、全员参与、持续改进四大原则。质量要素聚焦管道建设运营各环节的质量管控, 包括材料质量、施工质量、设备运行质量等, 是保障管道安全运行的基础; 健康要素关注从业人员的职业健康, 避免因作

业环境恶劣、违规操作等导致的职业伤害; 安全要素以防范安全事故为核心, 涵盖管道泄漏、爆炸、第三方破坏等风险的管控; 环境要素强调减少管道运行对周边生态环境的影响, 防范废气、废水、废渣等污染物排放引发的环境问题。四大要素相互关联、相互制约, 共同构成天然气管道安全风险管理的完整体系<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 QHSE 体系下安全风险识别要求

基于 QHSE 体系核心内涵, 天然气管道安全风险识别需满足三项核心要求: 一是全要素覆盖要求, 风险识别需涵盖质量、健康、安全、环境四大维度, 不仅要识别直接导致安全事故的风险因素, 还要关注质量缺陷对安全的潜在影响、从业人员职业健康风险及风险事件引发的环境连锁反应; 二是全生命周期覆盖要求, 风险识别需贯穿管道设计、施工、运营、维护、报废全生命周期, 不同阶段风险特征存在差异, 需针对性开展识别工作; 三是动态性要求, 管道运行环境、地质条件、周边社会环境处于动态变化中, 风险因素也会随之演变, 需建立动态识别机制, 及时更新风险清单<sup>[2]</sup>。

### 2 天然气管道全生命周期典型风险类型梳理

#### 2.1 设计阶段风险

设计阶段是管道安全的源头, 风险主要集中在质

量与安全要素。质量方面,设计参数不合理是核心风险,包括管道管径、壁厚选择不当,压力等级不匹配等,可能导致管道运行中因承受压力超出设计极限引发泄漏;地质勘察不全面会导致设计方案未能适配复杂地质条件,如在地震活动带、断层破碎带等区域管道敷设方案不合理,增加后期地质灾害引发管道破坏的风险。安全方面,管道路由设计不合理风险突出,如路由穿越人口密集区、水源保护区等敏感区域,一旦发生事故将扩大影响范围;安全防护设施设计缺失,如未在高风险段设置应急截断阀、监测设备等,降低了风险预警与处置能力<sup>[3]</sup>。

## 2.2 施工阶段风险

施工阶段风险覆盖质量、安全、健康、环境四大要素。质量风险包括材料质量不达标,如选用的钢管防腐材料不符合标准要求,降低管道抗腐蚀能力与结构强度;施工工艺不规范,如焊接质量缺陷、管沟开挖坡度不足、管道回填压实度不够等,导致管道运行中易出现泄漏、坍塌等问题。安全风险包括施工机械操作不当引发的设备碰撞、管道损伤;高空作业、动火作业等特种作业违规操作引发的坠落、火灾等事故。健康风险主要针对施工人员,包括在密闭空间作业中因通风不良导致的有毒有害气体中毒;长期在恶劣环境下作业引发的职业疾病。环境风险包括施工过程中土方开挖破坏地表植被;施工废水、废渣排放污染土壤、水源等。

## 2.3 运营阶段风险

运营阶段是管道安全风险管控的核心环节,风险类型复杂多样。质量风险表现为设备运行质量下降,如压缩机、调压阀等关键设备因维护不当出现性能衰减;管道防腐层老化、破损导致管道腐蚀加剧。安全风险包括:管道腐蚀泄漏,这是运营阶段最常见的风险类型,主要由介质腐蚀、土壤腐蚀、杂散电流腐蚀等因素引发;第三方破坏,如施工挖掘、占压管道、非法采砂等活动直接损伤管道;自然灾害,如洪水、地震、泥石流等地质灾害破坏管道结构;操作失误,如调度人员误操作、监控人员漏报风险等引发的安全事故。健康风险包括:操作人员在巡检、维护过程中接触有毒有害气体;长期倒班作业导致的疲劳操作风险。环境风险包括:管道泄漏的天然气扩散污染大气;泄漏介质渗入土壤、水源引发环境污染;应急处置过程中产生的废弃物污染环境等<sup>[4]</sup>。

## 2.4 维护与报废阶段风险

维护阶段风险主要集中在安全与质量要素。安全风险包括维护作业违规操作,如带压作业未落实安全防护措施引发的泄漏爆炸;维护设备故障导致的作业

事故。质量风险包括维护措施不到位,如管道防腐修复不彻底、阀门调试不准确等,未能从根本上消除安全隐患。报废阶段风险涵盖安全与环境要素,安全风险包括管道残压未彻底释放引发的泄漏事故;管道拆解过程中违规操作导致的设备损伤、人员伤害。环境风险包括报废管道处置不当污染土壤;拆解过程中产生的废弃物未达标排放等。

## 3 QHSE 体系下天然气管道安全风险识别体系构建

### 3.1 故障类型及影响分析

结合天然气管道风险特征与QHSE体系要求,选取四种核心识别方法,形成综合识别方案。

故障类型及影响分析方法适用于管道关键设备与系统的风险识别,该方法通过梳理设备可能发生的故障类型,分析故障对质量、健康、安全、环境的影响。应用过程中,先明确识别对象(如压缩机、调压阀、管道焊接接头等),再列出可能的故障类型(如泄漏、卡阻、失效等),最后分析故障引发的连锁反应,如阀门泄漏可能导致天然气扩散,引发安全事故与环境风险,同时威胁操作人员健康。该方法能精准识别设备层面的多要素风险,为设备维护与风险管控提供依据<sup>[5]</sup>。

### 3.2 危险与可操作性分析

危险与可操作性分析方法适用于管道运营阶段的工艺系统风险识别,聚焦工艺参数偏离设计值引发的风险。通过组建跨专业团队,包括工艺技术、安全环保、健康等领域人员,以引导词为核心开展分析,如流量过高、过低、压力异常、温度偏差等,识别工艺系统中可能存在的风险因素。

### 3.3 预先危险性分析

预先危险性分析方法适用于管道设计、施工等前期阶段的风险识别,通过预判可能存在的风险因素,提前制定防范措施。在设计阶段,结合地质勘察资料与设计方案,预判路由选择不合理、设计参数不当等风险;在施工前,预判施工工艺不规范、材料质量不达标等风险。该方法能实现风险的源头管控,降低后期风险管控成本,契合QHSE体系源头治理的理念。

### 3.4 全生命周期阶段风险识别

全生命周期阶段风险识别方法针对不同阶段风险特征开展针对性识别。设计阶段采用资料审查与专家论证相结合的方式,审查设计文件的合理性,组织专家论证路由设计、安全防护设施设计等方案;施工阶段采用现场巡查与工序验收相结合的方式,重点排查施工工艺、材料质量、作业安全等风险;运营阶段采用在线监测与现场巡检相结合的方式,通过智能监测设备实时监控管道运行参数,结合定期现场巡检排查

腐蚀、第三方破坏等风险；维护与报废阶段采用维护记录分析与现场评估相结合的方式，识别维护措施不到位、报废处置不规范等风险。

### 3.5 识别流程规范化设计

为确保风险识别工作有序推进，规范识别流程如下：第一步组建跨专业识别团队，明确团队成员职责（包括技术负责人、安全负责人、环保负责人、健康管理负责人等），确保各要素风险均能得到有效识别；第二步开展基础培训，提升团队成员对QHSE体系内涵、风险识别方法、识别要求的认知；第三步实施基础调研，完成资料收集与现场勘察，形成基础资料汇编；第四步开展全要素、全生命周期风险排查，结合选定的识别方法，系统性梳理风险因素，形成初步风险清单；第五步开展风险评估与分级，组织专家对初步风险清单进行论证，明确风险等级与影响范围；第六步建立风险清单与动态更新机制，将最终风险清单纳入QHSE管理体系，定期开展复审与更新。

## 4 工程案例验证

### 4.1 案例概况

选取某天然气长输管道工程作为验证案例，该管道全长52km，管径1219mm，设计压力10MPa，途经平原、丘陵、山区三种地形，穿越河流、水源保护区等敏感区域。管道已投入运营8年，近年来周边城镇化进程加快，第三方施工活动频繁，管道腐蚀风险与第三方破坏风险加剧。为提升安全风险管理水平，该管道运营单位引入QHSE体系下的安全风险识别体系，开展全面风险识别工作。

### 4.2 风险识别实施过程

按照构建的识别体系与流程开展工作。首先，组建跨专业识别团队，涵盖技术、安全、环保、健康、运维等领域人员共12人，开展QHSE体系与风险识别方法专项培训。其次，开展基础调研，收集管道设计文件、施工记录、运营数据、腐蚀监测报告等资料，组织现场勘察42次，重点排查管道腐蚀情况、周边施工活动、地质环境变化等情况。随后，开展全要素、全生命周期风险排查：采用故障类型及影响分析方法排查压缩机、调压阀等关键设备风险，识别出阀门泄漏、压缩机性能衰减等风险；采用危险与可操作性分析方法排查输送工艺系统风险，识别出流量波动、压力异常等风险；采用全生命周期阶段识别方法，梳理设计阶段路由穿越敏感区域、施工阶段焊接质量缺陷、运营阶段第三方破坏与腐蚀、维护阶段维护措施不到位等风险。最后，组织专家论证，形成最终风险清单，明确高风险因素15项、中风险因素28项、低风险因素42项，并建立动态更新机制。

### 4.3 实施效果分析

通过应用QHSE体系下的安全风险识别体系，该管道运营单位实现了风险识别的全要素、全生命周期覆盖。与传统识别方法相比，新增识别出质量要素中的焊接质量缺陷、设备性能衰减等风险因素12项，健康要素中的操作人员巡检防护不足风险因素3项，环境要素中的泄漏介质环境污染连锁风险因素5项。基于识别结果，运营单位针对性制定管控措施，如对高风险腐蚀段开展防腐修复、对敏感区域管道增设防护设施、加强第三方施工管控等。实施半年后，管道风险预警次数较之前下降68%，未发生安全事故与环境污染事件，从业人员职业健康投诉为零，验证了该风险识别体系与方法的可行性与有效性。同时，动态更新机制的建立，确保了风险识别能及时适配管道运行环境的变化，为QHSE体系的持续有效运行提供了有力支撑。

## 5 结论

本文系统研究明确了QHSE体系核心内涵及天然气管道安全风险识别的全要素、全生命周期、动态性要求，梳理了管道全生命周期各阶段典型风险，构建了四阶段识别体系，提出了多方法融合的综合识别方案并规范了流程。工程案例验证表明，该体系与方法可有效弥补传统识别不足，实现全要素风险覆盖与精准捕捉，为管控措施制定提供科学依据。未来可深化智能化技术融合，构建智能识别平台，总结经验形成标准化规范，推动QHSE体系深度落地，全面提升管道安全风险管理水平，保障能源运输与生态环境安全。

### 参考文献：

- [1] 刘贺子, 毕先志. 天然气管道长输企业推进QHSE管理体系建设的探索与实践[J]. 化工管理, 2024(6):7-10.
- [2] 吴运逸. 浅析天然气管道企业QHSE体系与标准体系融合的研究及应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020,40(17):5-7.
- [3] 徐浩然. 天然气管道第三方破坏风险分析与防控[J]. 石化技术, 2025,32(10):237-239.
- [4] 李凯, 高搏. 天然气管道建设工程管理及安全控制[J]. 能源新观察, 2025(08):44-46.
- [5] 张楠楠. 基于天然气管道数据恢复的标准化研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021,41(10):9-10.

### 作者简介：

赵泽玲(1987-), 女, 汉族, 重庆永川人, 本科, 高级工程师, 研究方向: 天然气QHSE体系管理, 侧重安全。