

# 天然气管道完整性管理建设与关键技术分析

何 帅 (江西省天然气集团有限公司管道分公司, 江西 南昌 330000)

**摘要:** 本文以天然气管道完整性管理为研究对象, 运用理论分析与技术探讨方法, 剖析其在保障安全、提升效益、保护环境过程中的表现。鉴于天然气需求增长, 完整性管理在安全、经济、环保层面的必要性凸显。通过研究监测检测、风险评估、维护修复等关键技术, 结合政策法规、管理体系及人员培训的实施路径, 提出推进智能化管理与新技术应用的建议, 旨在提升天然气管道运行安全与管理效率, 推动能源输送可持续发展。

**关键词:** 天然气; 管道完整性; 管理建设; 关键技术

中图分类号: TE832

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 034-0118-03

## Construction and Key Technology Analysis of Natural Gas Pipeline Integrity Management

He Shuai (Jiangxi Provincial Natural Gas Group Co., Ltd. Pipeline Branch, Nanchang Jiangxi 330000, China)

**Abstract:** This article takes the integrity management of natural gas pipelines as the research object, and uses theoretical analysis and technical exploration methods to analyze its performance in ensuring safety, improving efficiency, and protecting the environment. Given the increasing demand for natural gas, the necessity of integrity management in terms of safety, economy, and environmental protection has become prominent. By studying key technologies such as monitoring and detection, risk assessment, and maintenance and repair, combined with policies and regulations, management systems, and personnel training implementation paths, suggestions are proposed to promote intelligent management and the application of new technologies, aiming to improve the safety and management efficiency of natural gas pipeline operation and promote the sustainable development of energy transmission.

**Keywords:** natural gas; Pipeline integrity; Management and construction; key technology

天然气管道作为其核心运输载体, 担负着关键的能源输送任务。在管道运行期间, 会面临腐蚀、泄漏、破裂等诸多风险, 所以完整性管理成了保障安全运行的核心问题, 这一管理体系, 直接关乎管道运营安全, 对经济效益和生态环境保护也有深远影响, 已成为能源输送领域的关键研究方向。本文围绕天然气管道完整性管理的体系构建和核心技术突破展开, 系统探讨了实施的必要性以及优化策略。对天然气管道的基础理论、结构组成进行解析, 深入研究完整性管理的关键技术路径和实践方法, 从而为管道安全运营提供理论支撑和实践指引。

### 1 天然气管道完整性管理的必要性

#### 1.1 安全性要求

天然气具有易燃易爆的特性, 管道一旦发生泄漏或出现事故, 就会造成严重的人员伤亡和财产损失。在管道全生命周期的设计、建设、运营以及维护过程中, 都要严格按照安全标准和规范来进行, 要加强管道的结构强度和耐腐蚀性能。在线监测和无损检测技术可以实时发现管道泄漏、腐蚀以及结构异常等潜在风险, 借助科学的风险评估模型, 能提前识别这些风险, 进而制定出应对策略。同时, 有了完备的应急响应机制, 通过制定预案并进行常态化演练, 在突发事

件发生时就能迅速做出响应, 最大程度地减少人员伤亡和环境破坏, 实现安全管控的闭环管。天然气管道完整性管理对经济效益也有着深远的影响。一方面, 通过系统性的风险防控, 能够大幅降低事故发生的概率, 避免因泄漏、爆炸而导致的直接财产损失、高额赔偿以及法律纠纷, 从而有效控制运营成本。另一方面, 依靠定期监测和精准维护, 能够及时消除隐患, 减少非计划性的停产检修, 保障生产的连续性, 提高资源利用效率。

#### 1.2 环境保护需求

天然气虽为相对清洁能源, 然而其运输环节存在潜在泄漏风险, 且全生命周期会对环境产生影响, 这给生态保护带来了严峻挑战。天然气管道一旦发生泄漏, 不仅会造成能源损耗, 而且甲烷具有强温室效应, 会加剧全球气候变暖, 直接威胁区域生态系统。所以, 要削减温室气体排放、守护生态平衡, 关键在于构建高精度的泄漏监测体系以及快速响应修复机制。在管道建设和运营阶段, 要严格按照环境影响评估 (EIA) 和环境管理体系 (EMS) 标准执行。通过对全过程的环境风险进行管控, 尽可能降低施工占地、水源污染以及大气排放等方面负面影响, 随着公众环保诉求不断提升, 企业履行环境责任的压力也在增大。在完

整性管理实践中，企业借助社区沟通、普及环保知识等方式，增强利益相关方在生态保护上的共识。

## 2 天然气管道完整性管理的关键技术

### 2.1 监测与检测技术

在线监测技术和非破坏性检测技术（NDT）是天然气管道完整性管理的核心技术支撑。借助“动态监测+精准诊断”双轨并行的方式，构建起全维度风险防控体系。在线监测技术依托传感器网络，能实时采集管道压力、温度、流量等运行参数，利用无线网络或者光纤将这些参数传输至监控中心。在监控中心，经过智能算法深度分析，就能实现异常工况的自动识别与风险预判；该技术还内置了预警机制，依据阈值触发警报。并且，它与管道管理平台深度集成，能够达成运行状态可视化、风险预警自动化、决策管理智能化。这样一来，就能有效降低事故发生率，同时优化运维成本。非破坏性检测技术采用无损检测方式，可对管道缺陷进行精准定位。超声波检测借助高频声波穿透特性，能快速测定壁厚并评估焊缝质量，适用于各类材质的管道。磁粉检测利用磁场与磁粉耦合效应，可直观显现铁磁性材料表面及近表面缺陷，便于在现场作业时使用，渗透检测凭借渗透剂特性，能检出非磁性材料表面隐患。射线检测通过X射线或 $\gamma$ 射线成像，可深度识别管道内部焊缝瑕疵、气孔等复杂结构缺陷。在线监测技术、非破坏性检测技术与风险评估管理技术协同工作。依据历史数据、环境条件等多源信息，识别风险源。结合定量与定性分析，构建风险矩阵，明确管控优先级。

### 2.2 风险评估与管理技术

风险评估模型借助管道历史数据、环境条件、材料特性以及外部威胁等多源信息，历经风险识别、分析与评估这三个阶段的流程，能够精准找出潜在风险源。其中，像概率风险评估（PRA）、故障树分析（FTA）这类定量方法，和专家评估、历史案例研究等定性手段相结合，对风险发生的概率和危害程度展开系统评估，并且利用风险矩阵让风险等级直观呈现，为决策提供科学的依据，依据风险评估结果构建的风险管理策略，形成了“识别-控制-应急-优化”的闭环管理体系。一方面，采用强化管道设计标准、优化施工工艺、开展定期检修等办法，从源头降低风险发生的概率，或者减轻风险造成的后果；另一方面，配套制定包含响应流程、人员分工、设备配置的应急预案，保证能高效处置突发事件。

### 2.3 维护与修复技术

管道修复技术和应急响应技术一起搭建起天然气管道完整性管理的安全防护体系，借助预防性修复和

应急性处置的有效结合，保障输气系统稳定运行，让风险处于可控状态。管道修复技术利用多种手段应对不同程度的管道缺陷。内衬修复借助植入新型防腐耐磨材料，在保证正常输气的情况下延长管道使用寿命；外包修复采用碳纤维、玻璃纤维等高强度复合材料，针对结构损伤或外部压力突然增大的情况进行带压抢修。焊接修复用于处理严重裂纹和结构性破坏，通过严格控制工艺质量来恢复管道强度。管道更换技术作为最终的解决办法，通过部分或整体更换受损管段，彻底消除安全隐患，应急响应技术着重于突发事件的快速处理，依据风险评估制定分级分类应急预案，明确处置流程、人员职责以及资源调配机制，保证响应的标准化。依靠在线监测和传感器网络实现智能预警，实时捕捉异常数据并触发多级警报。常态化的应急演练和专项培训提高人员协同处置能力，再配合专业化应急物资储备库，实现泄漏检测、封堵抢修等核心装备的快速调配。这两类技术相互协作，管道修复技术从根源上降低风险发生的可能性，应急响应技术在事故发生时把损失降到最低，二者共同为天然气管道的安全运行提供全面保障。

## 3 天然气管道完整性管理的实施

### 3.1 政策法规与标准

政策法规与标准体系是天然气管道完整性管理的制度基础，借助法律约束、行业规范和地方实践的共同作用，构建起全链条的管理框架。各国政府颁布了专项法规，像中国的《天然气管道保护条例》《特种设备安全法》等，从法律角度明确了管道全生命周期的安全要求。这些要求为设计、建设、运维等环节提供了强制性依据，以此确保国家安全标准得以严格落实；国际标准化组织（ISO）、美国石油学会（API）等权威机构制定了行业标准。这些标准围绕管道材料选型、施工工艺、检测技术、维护规程等核心领域，建立起系统化的技术规范，它们推动了行业行为的标准化，提升了管道运行的安全性和可靠性。这些标准不只是技术指引，更成了全球管道建设与管理的通用语言。在实际管理当中，地方政府和企业要结合区域特性、法规要求以及行业标准，定制具有适配性的完整性管理方案。这种因地制宜的实施策略，一方面能保障管道运营的安全与经济效能，另一方面在突发事件中可依托标准化流程迅速响应，有效控制风险。

### 3.2 管理体系建设

天然气管道完整性管理体系依据国际标准和行业规范，制定涵盖设计、施工、运营、维护以及应急响应全生命周期的管理制度。明确各级管理的权责，搭建起高效的信息沟通网络，保证决策指令和现场反馈

能够双向畅通。借助数字化信息管理平台，对管道运行监测、检测数据以及风险评估结果进行整合；凭借实时数据分析和智能预警，为管理决策提供科学依据。同时，构建动态审查评估机制，定期对管理体系的有效性和适应性进行校验，保证其能与技术发展、法规更新以及运营需求同步迭代，人才培养是体系建设的关键支柱。通过常态化专业培训，提升员工的技术能力和安全素养。建立全员参与机制，鼓励一线人员参与到完整性管理实践中，形成从决策层到操作层的协同治理生态。

### 3.3 人员培训与教育

高素质人才不仅可以敏锐地识别潜在风险，还能够精准地开展维护作业与应急处置工作，从根源上提高管道运行的安全性和可靠性。培训体系秉持理论筑基、实践赋能、动态更新的原则，全面涵盖基础知识、专业技能和前沿技术，系统地讲解天然气管道工作原理、完整性管理理论以及行业法规标准，以此强化员工的安全责任意识。

针对监测检测、维护修复等不同岗位，量身定制专项技能培训方案，保证技术人员能够熟练操作在线监测设备，掌握非破坏性检测技术，让维护人员精通管道修复工艺和应急响应流程。借助常态化应急演练和典型案例复盘，模拟泄漏、破裂等事故场景，锻炼员工的应急处置能力和团队协作效能。与此同时，建立持续教育机制，鼓励员工参加行业技术交流和培训，及时了解智能化监测、新型修复技术等前沿动态，促使人才知识体系与行业发展同步更新，为天然气管道完整性管理奠定坚实的人力基础。

## 4 未来发展趋势

### 4.1 新技术的应用

天然气管道完整性管理领域中，新技术的深入应用正在重塑行业的安全管理模式。物联网（IoT）技术打造出全域感知网络，利用分布式传感器实时收集管道运行参数以及环境数据，再借助云端平台达成状态可视化，让隐患排查由被动响应转变为主动预警。无人机巡检系统打破了地形和气象的限制，它配备高清摄像与红外探测设备，能够快速且精准地识别管道外部损伤和泄漏风险，大大提高了巡检效率和覆盖范围，大数据与人工智能融合应用，采用机器学习算法对监测数据进行深度挖掘，构建风险预测模型，可精准研判管道腐蚀、应力异常等潜在隐患，推动维护策略从定期检修迈向智能预维护，提升管理决策的科学性。区块链技术为管道数据管理增添了安全保障，通过分布式账本保证数据无法被篡改，优化多方信息共享机制，增强供应链协同的透明度与信任度。

### 4.2 智能化管理

天然气管道完整性管理实现智能化，借助深度集成智能监测、数据挖掘和决策支持技术，构建起全链条的智慧化管控体系，全方位提升管道的安全韧性和运营效能。利用物联网（IoT）技术搭建全域感知网络，采用分布式传感器阵列实时采集管道运行参数，像压力、温度、流量等，还有土壤腐蚀、第三方施工等环境数据；这些数据经边缘计算节点初步处理后同步到云端平台，形成动态数字孪生体，达成管道状态的全天候可视化监控。协同应用大数据分析和机器学习算法，构建起智能风险预判机制。对历史运行数据、检测报告以及失效案例进行深度挖掘，建立腐蚀预测、应力分析等多维度模型，精准识别潜在缺陷的发展趋势，把传统的事后处置转变为事前预警，大大降低事故发生的概率，智能化决策支持系统依据实时监测数据和风险评估结果，自动生成维护优先级建议和资源调配方案，辅助管理者动态优化检修计划，实现从“定期维护”到“预测性维护”的模式升级。同时，远程运维平台整合SCADA系统和移动终端，支持跨地域协同管理，推动运维效率提升，优化人力成本。

## 5 结语

天然气管道完整性管理是保障能源安全输送、达成经济与环境效益双赢的核心部分；监测检测、风险评估、维护修复等关键技术为管道安全筑牢防线，从隐患预警直至应急处置构建起全链条保障体系。在新技术浪潮的推动下，智能化与数字化转型成为必然走向，凭借政策支持、体系完善以及人才培育，完整性管理水平会持续提升。未来，深化技术创新并且优化管理模式，天然气管道运输会朝着更安全、高效、绿色的方向发展，有力支撑能源行业可持续发展战略。

### 参考文献：

- [1] 史大明. 天然气管道完整性管理建设与关键技术分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(17):73-75.
- [2] 张伟. 长输天然气管道完整性管理与管道腐蚀检测技术 [J]. 全面腐蚀控制, 2021, 35(02):78-80.
- [3] 谢雳雳, 罗嘉慧, 杨浩. 天然气长输管道完整性管理效能评价指标研究 [J]. 内蒙古石油化工, 2024, 50(09):10-14.
- [4] 吴云鹏. 天然气长输管道中完整性管理技术的应用分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(03):73-74.
- [5] 魏新年, 王祖静, 王利娟. 天然气管道完整性管理探析 [J]. 中国科技博览, 2012, 20(33):1-1.

### 作者简介：

何帅（1993-），男，汉族，江西九江人，本科，研究方向为石油化工。