

浅谈天然气长输管道完整性管理措施

程 帅 潘 宇 张文康

国家管网集团西气东输公司合肥分公司 安徽 滁州 239000

摘 要：在能源需求持续增长的背景下，天然气长输管道作为能源输送的“生命线”，其安全稳定运行至关重要。本文对天然气长输管道完整性管理展开探讨。先阐述天然气长输管道完整性管理的概念，接着指出其面临数据管理不完善、风险识别与评价方法待优化、检测技术有局限、维修与维护资金不足以及应急管理能力有待提高等问题。然后从风险识别与评价、数据采集与管理、检测与监测、维修与维护、应急管理等方面提出相应的完整性管理措施，旨在保障天然气长输管道的安全稳定运行，提高其管理水平和可靠性。

关键词：天然气；长输管道；完整性；管理措施

引言：天然气作为一种清洁、高效的能源，在能源领域中占据着重要地位。天然气长输管道是天然气输送的关键基础设施，其完整性对于保障天然气的稳定供应、避免安全事故的发生具有至关重要的意义。然而，在实际运行过程中，天然气长输管道面临着诸多挑战，完整性管理存在着一系列问题。因此，深入分析天然气长输管道完整性管理面临的问题，并提出有效的管理措施，对于提升天然气长输管道的运行安全性和可靠性具有重要的现实意义。

1 天然气长输管道完整性管理概述

天然气长输管道完整性管理是以管道安全运行和风险控制在核心，通过对管道全生命周期内数据的收集、分析，对潜在风险的识别、评价，以及对管道状态的检测、监测等一系列手段，确保管道在物理和功能上始终处于完整状态的系统性管理模式。其目标是有效预防管道泄漏、破裂等事故的发生，最大限度降低运营风险，实现管道的安全、高效、可持续运行。这一管理模式涵盖管道设计、施工、运行、维护等各个阶段。在设计阶段，需充分考虑地理环境、地质条件等因素，确保管道具备良好的初始完整性；运行阶段则通过实时监测与定期检测，掌握管道的运行状况，及时发现缺陷和隐患；维护阶段根据风险评估结果，对存在问题的管道进行修复或更换^[1]。

2 天然气长输管道完整性管理面临的问题

2.1 数据管理不完善

管道完整性管理需要大量的基础数据支持，包括管道的设计资料、施工记录、运行参数、检测报告等。然而，目前部分管道运营单位的数据管理存在不规范、不完整的问题，数据更新不及时，数据共享困难，导致在风险评估和决策过程中缺乏准确、全面的数据依据。

2.2 风险识别与评价方法有待优化

风险识别与评价是完整性管理的核心环节之一。目前常用的风险识别与评价方法虽然在一定程度上能够反映管道的风险状况，但仍存在一些局限性。例如，部分方法对风险的定性分析较多，定量分析不足；对一些复杂的风险因素考虑不够全面，导致风险评估结果与实际情况存在一定偏差。

2.3 检测技术局限性

尽管目前管道检测技术不断发展，但仍存在一些局限性。例如，内检测技术对管道内的复杂障碍物适应性较差，可能导致检测盲区；外检测技术受环境因素影响较大，检测精度和可靠性有待提高。此外，对于一些新型的管道缺陷和损伤形式，现有的检测技术可能无法准确识别和评估。

2.4 维修与维护资金不足

天然气长输管道的维修与维护需要大量的资金投入。然而，部分管道运营单位由于经济效益等因素，对管道完整性管理的资金投入不足，导致一些必要的维修和维护工作无法及时开展，影响了管道的安全运行。

2.5 应急管理能力有待提高

在管道事故应急处理方面，部分管道运营单位存在应急预案不完善、应急演练不足、应急救援设备配备不齐全等问题。一旦发生管道事故，可能无法及时、有效地进行应急处置，导致事故损失扩大^[2]。

3 天然气长输管道完整性管理措施

3.1 风险识别与评价

3.1.1 建立风险识别体系

建立完善的风险识别体系是开展天然气长输管道完整性管理的基础。首先，需组建由管道设计、运行、维护等多领域专家构成的专业团队，结合历史数据与行业

经验,梳理出涵盖管道本体缺陷、外部环境威胁、人为破坏等各类潜在风险清单。其次,借助信息化技术,构建风险识别数据库,将管道沿线地质条件、周边人口分布、施工活动等信息进行整合,形成可视化风险地图。此外,还要建立风险信息动态更新机制,确保能够及时捕捉新出现的风险因素,使风险识别体系始终保持有效性和针对性,为后续的风险评价与管控提供准确依据。

3.1.2 优化风险评价方法

优化风险评价方法有助于更精准地评估天然气长输管道面临的风险等级。摒弃单一的评价方式,综合运用定性与定量相结合的评价手段。一方面,采用故障树分析、专家打分法等定性方法,从专业角度对风险的可能性和影响程度进行主观判断;另一方面,运用概率统计、数值模拟等定量方法,对风险发生的概率和潜在后果进行量化分析。引入模糊综合评价、层次分析法等先进模型,充分考虑风险因素的不确定性和相互关联性,增强评价结果的科学性和可靠性。

3.1.3 定期开展风险评估

定期开展风险评估是持续掌握天然气长输管道风险状况的关键举措。制定科学合理的风险评估周期,对于高风险区域和老旧管道,缩短评估间隔,增加评估频次;对于运行状况良好的管道,可适当延长评估周期。在每次评估过程中,严格按照既定的风险识别体系和评价方法,对管道面临的风险进行全面梳理和重新评估。分析管道运行参数变化、环境因素演变等对风险状况的影响,及时发现潜在风险的发展趋势。

3.2 数据采集与管理

3.2.1 完善数据采集系统

完善数据采集系统是保障天然气长输管道完整性管理的数据基础。一方面,在管道沿线合理部署多样化传感器,如压力传感器、温度传感器、泄漏检测传感器等,实时采集管道运行参数,包括压力波动、介质温度、流量变化等关键数据,实现对管道运行状态的动态感知。另一方面,运用地理信息系统(GIS)、遥感技术(RS)等,收集管道周边地形地貌、地质构造、气象条件等环境数据,以及第三方施工活动、人口分布等外部影响数据。同时,通过建立数据采集质量管控机制,对采集设备定期校准维护,确保数据采集的准确性、完整性和时效性,为管道完整性管理提供可靠的数据支撑。

3.2.2 加强数据管理

加强数据管理是提升天然气长输管道完整性管理效能的关键。首先,建立标准化的数据存储体系,对采集到的各类数据进行分类编码,采用关系型数据库与非关

系型数据库相结合的存储方式,实现结构化与非结构化数据的高效存储。其次,制定严格的数据管理制度,明确数据录入、审核、修改、删除等操作流程,保障数据的规范性和安全性。此外,运用数据清洗、数据挖掘等技术,对海量数据进行深度处理,剔除无效数据,提取有价值的信息,并建立数据备份与恢复机制,防止数据丢失,确保数据资源能够持续、稳定地服务于管道完整性管理工作。

3.2.3 推动数据共享与应用

推动数据共享与应用能够充分发挥数据价值,优化天然气长输管道完整性管理。企业内部打破部门壁垒,搭建统一的数据共享平台,实现设计、运行、维护等部门间的数据互通,使各环节人员都能及时获取所需信息,协同开展工作。同时,加强与政府监管部门、科研机构、行业协会的合作,建立数据共享机制,实现管道数据与外部资源的整合。通过数据共享,引入外部先进技术和经验,促进数据分析模型的优化;利用大数据、人工智能等技术对共享数据进行深度分析,挖掘数据潜在价值,为管道风险预测、维修决策、优化运行等提供科学依据,提升管道完整性管理的智能化水平。

3.3 检测与监测

3.3.1 合理选择检测技术

合理选择检测技术是准确掌握天然气长输管道状况的前提。针对不同的管道材质、运行环境及缺陷类型,需匹配相应的检测技术。对于管道本体的腐蚀、裂纹等内部缺陷,可采用漏磁内检测、超声波检测等技术,利用其穿透性强、灵敏度高的特点,精确定位缺陷位置与大小;对于管道外部损伤,如第三方施工造成的机械损伤,可借助地面激光扫描、无人机巡检等技术,快速获取管道周边地形地貌及管道外观信息。同时,结合新兴技术发展,引入电磁超声导波检测、声发射检测等,拓展检测范围,提高检测效率,确保能够全面、准确地发现管道潜在问题。

3.3.2 制定科学的检测计划

科学的检测计划能够确保天然气长输管道检测工作有序开展。依据管道设计年限、运行状况、风险评估结果等因素,制定差异化的检测周期。对于高风险管道,如穿越复杂地质区域、运行年限较长的管道,缩短检测间隔,增加检测频次;对于低风险管道,可适当延长检测周期。在制定计划时,详细规划检测内容,明确不同阶段需检测的项目与重点部位,合理安排检测时间与资源投入,避免因检测过度增加成本,或因检测不足导致隐患漏检。同时,将检测计划与管道维护、维修工作紧

密结合,确保检测发现的问题能够及时得到处理。

3.3.3 加强实时监测

加强实时监测是实现天然气长输管道安全运行动态管控的关键。在管道沿线部署压力、温度、流量等在线监测设备,实时采集管道运行参数,并通过通信网络将数据传输至监控中心。利用物联网、大数据分析等技术,对实时数据进行处理与分析,及时发现参数异常波动,预测潜在风险。同时,建立智能预警系统,根据不同的风险等级设定相应的预警阈值,一旦监测数据超过阈值,立即发出警报,通知相关人员采取措施。

3.4 维修与维护

3.4.1 制定维修与维护策略

制定科学的维修与维护策略是保障天然气长输管道稳定运行的基础。根据风险评估结果和管道检测数据,将维修维护工作分为紧急维修、计划维修和日常维护。对于突发泄漏、严重腐蚀等紧急情况,建立快速响应机制,确保第一时间开展抢修;针对检测出的潜在隐患,制定详细的计划维修方案,合理安排施工时间与资源;日常维护则侧重于管道防腐层检查、设备润滑保养等常规工作。

3.4.2 加强维修与维护质量管理

加强维修与维护质量管理是延长天然气长输管道使用寿命的关键。建立严格的质量管控体系,从维修维护材料采购、施工过程到验收环节进行全流程监督。对维修使用的管材、防腐材料等进行严格质量检测,确保符合国家标准和设计要求;施工过程中,安排专业技术人员进行现场监督,规范操作流程,保证焊接、防腐等工艺达标;维修维护完成后,依据相关标准和规范进行验收,对不合格项目责令整改。

3.4.3 开展预防性维护

开展预防性维护能够有效降低天然气长输管道故障风险。通过对管道历史运行数据、检测数据的深度分析,预测管道可能出现的问题和故障。例如,利用大数据算法分析管道腐蚀速率,提前规划防腐修复工作;根据设备运行时长和性能参数,制定设备更换计划。同时,定期对管道附属设施,如阀门、压缩机等进行全面检查和保养,及时更换磨损部件,消除潜在隐患。此外,加强对管道周边环境的监测,对可能影响管道安全的第三方施工、地质灾害隐患区域,提前采取防护措施,将潜在风险消除在萌芽状态,提升管道运行的安全性和可靠性。

3.5 应急管理

3.5.1 完善应急预案

完善应急预案是天然气长输管道应急管理的核心。结合管道运行实际,针对可能发生的天然气泄漏、火灾爆炸、第三方破坏等事故类型,制定详细且具有可操作性的预案。预案需明确应急组织机构及职责分工,确保在事故发生时各部门能够迅速响应、协同作战。同时,充分考虑管道沿线地形地貌、周边人口分布、交通状况等因素,规划科学合理的应急疏散路线与救援方案。

3.5.2 加强应急演练

加强应急演练是提升天然气长输管道应急处置能力的关键手段。制定年度应急演练计划,涵盖桌面推演、实战演练等多种形式。通过桌面推演模拟事故场景,组织相关人员分析讨论应急处置流程,检验预案的可行性;开展实战演练,模拟真实事故环境,检验应急队伍的响应速度、协调配合能力以及应急设备的使用效果。演练结束后,及时总结经验教训,分析演练过程中暴露的问题,如信息传递不畅、救援行动迟缓等,并针对性地进行改进。

3.5.3 配备应急救援设备

配备充足且先进的应急救援设备是保障天然气长输管道应急救援工作顺利开展的基础。根据管道运行风险和应急预案要求,配备专业的应急救援设备,如气体检测仪、堵漏工具、消防器材、防爆设备等。定期对应急救援设备进行维护保养和性能检测,确保设备处于良好的运行状态。同时,结合技术发展和实际需求,及时更新和补充设备,引入智能化、高效化的应急救援装备,如无人机巡查设备、智能监测仪器等,提高应急救援的效率和准确性^[1]。

结束语

天然气长输管道完整性管理是保障能源安全、促进经济社会稳定发展的关键环节。通过构建科学的风险评估体系、运用先进检测技术、完善应急管理机制等措施,能够有效降低管道失效风险,提升运行可靠性。未来,随着数字化、智能化技术的发展,完整性管理将向更精准、高效的方向迈进。

参考文献

- [1]王婷,郑洪龙.大型天然气管道的完整性管理[J].中国设备工程,2019,11(31):15-17.
- [2]周廷鹤.城市燃气管道的完整性管理[J].重庆大学学报(自然科学版),2020,17(03):26-32.
- [3]黄志潜.管道完整性及其管理[J].中国石油和化工标准与质量.2017,14(03):106-108.