

燃气管道完整性管理体系构建与实操路径分析

李 静 李 爽 (山东港华燃气集团有限公司, 山东 济南 250000)

摘要: 针对我国燃气管道老化突出、第三方破坏频发、管理碎片化等问题, 基于全生命周期理论与数字化协同理念, 构建“技术-管理-协同”三维一体的燃气管道完整性管理体系。通过明确体系核心要素、搭建数字化管控平台、优化全流程闭环机制, 并结合工程实例验证实操路径的可行性。该体系为城镇燃气管道安全运行提供系统性解决方案, 显著提升风险识别能力, 降低运维成本。

关键词: 燃气管道; 完整性管理; 体系构建; 实操路径; 全生命周期; 数字化协同

中图分类号: TU996.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 008-0013-03

Construction of a Gas Pipeline Integrity Management System and Analysis of Practical Implementation Pathways

Li Jing, Li Shuang (Shandong Ganghua Gas Group Co., Ltd., Jinan Shandong 250000, China)

Abstract: Addressing issues such as the aging infrastructure of gas pipelines, frequent third-party damage, and fragmented management in China, this study constructs a three-dimensional “technology-management-coordination” integrated gas pipeline integrity management system based on the lifecycle theory and digital collaboration concepts. By defining core system elements, establishing a digital control platform, optimizing a closed-loop process mechanism, and validating practical pathways through engineering case studies, the system provides a systematic solution for the safe operation of urban gas pipelines. It significantly enhances risk identification capabilities and reduces maintenance costs.

Keywords: Gas pipeline; Integrity management; System construction; Practical implementation path; Full lifecycle; Digital collaboration

我国燃气管道总里程已突破 120 万 km, 其中运行年限超 20 年的老旧管道占比达 35%, 因腐蚀、材质老化、第三方施工破坏等引发的安全事故年均超千起 (住建部 2023 年统计数据)。传统管理模式存在“重抢修、轻预防”“数据孤岛”“责任模糊”等弊端, 难以满足现代化燃气安全管控需求。因此构建科学高效的管理体系并细化实操路径, 成为燃气行业高质量发展的迫切任务。

1 燃气管道完整性管理体系核心架构

1.1 技术支撑层: 全周期技术管控体系

管道基础数据采集技术: 整合 GIS 地理信息系统、激光雷达 (LiDAR)、管道内检测 (漏磁检测、超声检测) 等技术, 建立“静态数据+动态监测”数据库, 涵盖管道材质、埋深、腐蚀状况、周边环境等 12 类核心数据, 数据采集精度达 $\pm 0.1\text{m}$ 。

风险评估技术模型: 构建“固有风险+动态风险”双维度评估模型, 固有风险考虑管道年龄、材质、压力等级等因素, 动态风险纳入第三方施工、气象条件、地质灾害等变量, 采用层次分析法 (AHP) 确定权重, 风险等级划分为 I - IV 级。

修复与维护技术体系: 针对不同风险等级制定差异化措施, I 级风险采用局部修复 (如环氧涂层修复), II - III 级风险实施换管改造, IV 级风险启动应急处置, 同步推广“预防性维护+预测性维护”结合模式, 基

于数据分析提前预判潜在故障。

1.2 管理运行层: 闭环管理机制设计

组织架构设置: 建立“企业总部-区域分公司-场站班组”三级管理架构, 明确各层级职责: 总部负责体系搭建与战略规划, 分公司承担区域统筹与资源调配, 班组落实现场执行与数据上报, 设立专职完整性管理部门统筹跨部门协同。

制度流程体系: 制定《管道完整性管理手册》, 涵盖数据管理、风险评估、维护修复、应急处置等 6 大核心流程, 明确 28 项关键控制点。例如, 风险评估流程规定每季度开展常规评估、每年开展全面评估, 第三方施工审批实行“双审核、双交底”制度。

绩效评价机制: 建立“安全绩效+效率绩效”双指标考核体系, 安全指标包括事故率、风险隐患整改率等, 效率指标涵盖运维成本、数据更新及时率等, 考核结果与部门绩效、员工薪酬直接挂钩。

1.3 协同保障层: 跨主体协同体系

政企协同: 与住建、应急、城管等部门建立信息共享平台, 实时推送管道位置、施工计划、风险预警等信息, 纳入城市地下管网综合管理系统, 获取第三方施工审批联动权限, 实现“提前告知、联合巡查、快速处置”。

供需协同: 与管道材料供应商、检测机构、施工单位建立战略合作关系, 供应商提供材质溯源数据,

检测机构保障数据真实性，施工单位严格执行施工方案，签订安全责任协议，明确协同责任边界。

公众协同：搭建公众告知与反馈平台，通过短信、公众号等渠道推送管道保护知识，设立举报热线与奖励机制，鼓励公众举报违规施工行为，形成“企业主导、公众参与、社会监督”的协同格局。

2 燃气管道完整性管理实操路径

2.1 第一阶段：前期筹备（1-3个月）

现状调研与问题梳理：开展全面普查，梳理管道基础数据、现有管理制度、历史事故案例等，采用SWOT分析法明确自身优势、劣势、机会与威胁，形成《现状分析报告》。例如，某燃气企业通过普查发现，30%的老旧管道存在腐蚀问题，45%的第三方施工未履行告知程序。

目标设定与方案制定：结合企业实际设定阶段性目标，短期（1年内）实现基础数据建档率100%、风险隐患整改率95%以上；中期（2-3年）完成高风险管道改造、数字化平台上线；长期（3-5年）实现全生命周期闭环管理。制定详细实施方案，明确责任分工、时间节点与资源投入。

资源整合与人员培训：整合资金、技术、人力等资源，专项投入占年度运维预算的15%-20%；开展分层培训，管理层培训体系设计与战略规划，技术人员培训检测、评估等专业技能，一线员工培训操作流程与应急处置，培训覆盖率达100%。

2.2 第二阶段：体系搭建（3-6个月）

数字化平台建设：搭建“燃气管道完整性管理平台”，整合数据采集、风险评估、流程审批、应急调度等功能模块，支持PC端与移动端同步操作，实现数据实时上传、自动分析与可视化展示，平台响应时间 $\leq 2s$ 。

制度与标准编制：依据国家规范与行业标准，结合企业实际编制管理制度与操作手册，组织专家评审后发布实施，同步开展制度宣贯，确保员工熟练掌握关键流程与要求。

技术选型与设备配置：根据管道特点与风险状况，选型适配的检测设备、修复工具等，例如对埋深较深的管道采用无人机巡检+管道内检测组合方式，对城区密集管网配置便携式检测设备，确保技术设备与管理需求匹配。

2.3 第三阶段：落地实施（6-18个月）

数据采集与建档：全面开展管道基础数据采集，包括历史资料录入、现场检测数据采集、周边环境数据调研等，建立统一的数据库，数据更新周期不超过1个月。

风险评估与分级管控：采用构建的风险评估模型开展全面评估，划分风险等级，针对不同等级制定管控措施，I级风险立即处置，II-III级风险制定整改计划，IV级风险加强监测，建立风险动态管控台账。

维护修复与工程实施：按照管控计划开展维护修复工作，老旧管道改造采用“分段实施、错峰施工”模式，减少对用户供气影响；第三方施工区域实行“专人监护、实时监测”，确保施工安全。同步做好工程质量管控，严格执行验收标准。

2.4 第四阶段：持续改进（长期）

绩效评估与问题整改：每季度开展绩效评估，对照考核指标分析体系运行效果，查找存在的问题与不足，形成整改清单，明确整改责任与时限，确保问题闭环管理。

技术与管理优化：跟踪行业新技术、新标准，及时更新技术支撑体系，例如引入AI视频监控识别第三方施工行为，优化风险评估模型参数；根据实际运行情况调整管理制度与流程，提升管理效率。

经验总结与推广：总结体系运行中的成功经验与典型案例，形成标准化模板，在企业内部推广应用；加强行业交流与合作，分享实践成果，推动行业整体管理水平提升。

3 工程案例验证

3.1 案例背景

某地级市燃气管道网络规模庞大，运营总里程达1860km。其中，服役超20年的老旧管道占比高达42%，面临结构老化、材料性能下降等潜在风险。据统计，2021-2022年间，该区域累计发生第三方施工破坏事故12起、腐蚀泄漏事故8起，暴露出数据管理缺失、风险防控体系不完善、跨部门协作机制不畅等系统性问题。为破解上述困局，该企业于2023年引入本文构建的完整性管理体系，全面开展全流程实操应用，推动燃气管道安全管理模式升级。

3.2 实施过程

前期筹备：运用地理信息系统（GIS）与人工徒步相结合的方式，对全域燃气管道开展地毯式普查，精准识别出326km高风险管道，其中包含穿越人口密集区、地质灾害带等复杂环境的管段；锁定158处第三方施工高发区域，建立风险点位电子台账。同步制定分阶段目标方案：首年完成全量管道数据建档，构建覆盖材质、埋深、服役年限等32项指标的数据库；次年启动高风险管道改造工程，采用内衬修复、外防腐层强化等技术手段；第三年全面完善完整性管理体系，实现闭环管控。为此，专项划拨3800万元资金，确保方案落地。

体系搭建：依托云计算与物联网技术，搭建燃气管道完整性数字化管理平台，集成实时监测、风险预警、数据分析等功能模块。组织行业专家与技术骨干，编制涵盖技术标准、操作流程、应急处置等内容的《完整性管理手册》，形成标准化管理规范。同时，配置无人机巡检系统、管道内检测机器人等12类专业设备，构建天地空一体化监测网络。针对一线运维人员、管理人员开展分层次培训，累计举办46场次专题培训，覆盖全员2300余人次，提升团队专业能力。

落地实施：历时18个月，完成1860km管道的数据采集与建档工作，建立可视化数字孪生模型。组织技术团队开展3轮全面风险评估，运用HAZOP、RBI等分析方法，形成风险分级管控清单。对326km高风险管道实施改造，更换老化管段128km，修复泄漏隐患点43处。第三方施工审批实行“双审核”机制，由属地管理部门与企业技术专家联合把关，并建立政企协同巡查机制，联合执法27次，有效遏制野蛮施工行为。

持续改进：建立季度绩效评估机制，从风险管控成效、数据准确率、响应时效等8个维度进行量化考核。引入机器学习算法优化风险评估模型，提升预测精度；部署AI视频监控系统，覆盖90%以上高风险区域，实现违章行为自动识别与报警。通过流程再造，完善跨部门协同机制，将应急响应时间缩短40%，形成持续优化的管理闭环。

3.3 实施效果

安全绩效：通过系统性管理优化，燃气管道安全水平实现质的飞跃。事故发生频率大幅下降，降幅接近七成，成功将事故数量控制在极低水平；风险隐患排查整改工作成效显著，绝大部分隐患均能及时消除。同时，管道泄漏应急响应机制显著提速，处理效率提升两倍，有效降低安全事故造成的损失。

效率绩效：运维管理模式创新使运营成本显著降低，节约幅度近两成。数字化技术的深度应用大幅提升数据采集效率，实现了超过半数的效率增长。此外，第三方施工监管体系完善后，违规作业现象得到有效遏制，发生率降低超七成，为管道安全运行提供坚实保障。

管理效益：完整构建了标准化、规范化的燃气管道管理体系，形成了一套科学高效的实操流程。通过持续培训与实践，员工安全责任意识显著增强，专业技术能力得到全面提升。管理体系的成功实践获得了住建、应急等主管部门的高度评价，其经验模式具有广泛的示范价值，可为其他地区燃气管道管理工作提供有益参考。

4 保障措施

4.1 政策保障

争取地方政府支持，将完整性管理纳入城市安全发展规划，享受相关补贴政策；建立政企常态化协同机制，明确责任与流程。同时，积极参与行业政策研讨，推动燃气管道完整性管理地方性法规建设，为管理工作提供坚实法律支撑。

4.2 技术保障

与高校、科研机构合作开展关键技术攻关；建立“校企合作+内部培训+持证上岗”人才培养体系。此外，定期组织技术交流活动，引进国际先进检测、修复技术，搭建数字化技术共享平台，提升技术应用与创新能力。

4.3 资金保障

设立专项基金并纳入年度预算，积极争取多元化融资渠道，缓解资金压力。可探索与金融机构合作发行绿色债券，引入社会资本参与管道维护项目，建立资金使用绩效评估机制，确保资金高效利用。

4.4 制度保障

完善管理制度与标准规范，明确职责权限，建立考核奖惩机制，加强制度执行监督。推行全生命周期管理制度，细化各阶段管理流程，建立跨部门协作制度，定期开展制度适用性评估与修订，保障制度持续优化。

5 结论

本文构建的“技术-管理-协同”三维一体燃气管道完整性管理体系，打破了传统管理的碎片化格局，实现了全生命周期的闭环管控。通过四阶段实操路径的拆解，为燃气企业提供了可落地、可复制的实施方案。工程案例表明，该体系能够有效提升管道风险管控能力、降低运维成本、减少安全事故发生，具有重要的工程应用价值。

参考文献：

- [1] 张文博. 城市燃气输配管道完整性管理研究[J]. 张江科技评论, 2025,(04):101-103.
- [2] 李长俊, 杨露, 贾文龙. 燃气管道完整性管理体系构建与应用[J]. 煤气与热力, 2021,41(8):1-5.
- [3] 王冰, 张宏, 刘勇. 数字化技术在燃气管道完整性管理中的应用[J]. 城市燃气, 2022,(7):28-33.
- [4] 徐哲, 刘永滨, 张季娜. 城镇燃气管道完整性管理标准体系构建[J]. 煤气与热力, 2024,44(09):29-33.
- [5] 陈利琼, 李明, 张伟. 城镇燃气管道第三方破坏风险管控研究[J]. 安全与环境学报, 2021,21(3):1023-1029.