

管道安全保

2026 **2** 总第84期

2011年10月1日创办

本期导读

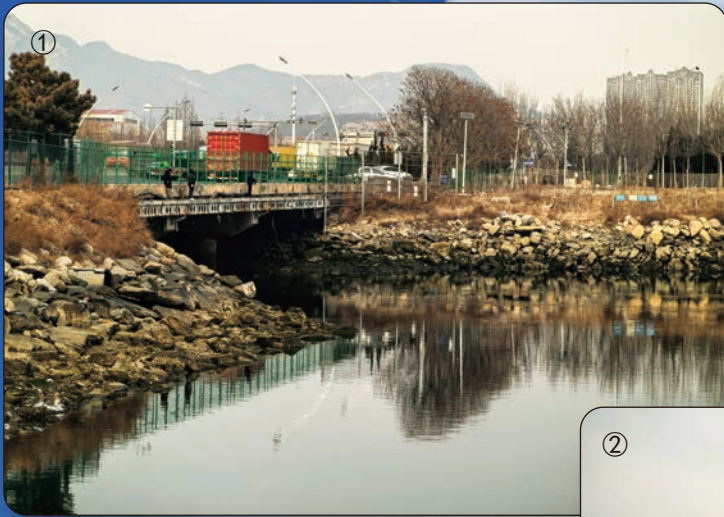
- 卷首语：部门齐抓共管是治理人员密集型高后果区的关键
- 张文伟：加强管道建设期本质安全 防范人员密集型高后果区风险
- 杜加宏：政企合作 守护人员密集型高后果区安全
- 葛天明：GB 46767-2025背景下新加坡管道高后果区管理经验分享
- 对话：我们是如何管控人员密集型高后果区风险的

研究探索的平台 政企合作的纽带
管道文化的载体 发展进步的桥梁

PIPELINE SAFETY PROTECTION

政企联合巡检人员密集型高后果区（封面故事P44） 汤继凯 摄





① 寨子河入海口。2014年6月30日大连市发生了定向钻施工损坏管道，泄漏的原油进入寨子河并在此处发生燃爆。



② 堆码集装箱占压清理后现场

③ 大沈线人员密集型高后果区现场

本页照片由大连市发展和改革委员会 汤继凯 提供




 《中华人民共和国石油天然气管道保护法》规定：管道中心线两侧各五米地域范围内，禁止种植乔木、灌木、藤类及深根植物，禁止取土、采石用火、机械挖掘、堆放重物、挖塘、建温室、建房，严禁阻挠、干扰输油气管道巡护人员正常作业。违反上述规定者，依据《中华人民共和国治安处罚法》和《中华人民共和国刑法》进行治安处罚或追究刑事责任。
 构建输油气管道安全防范体系，严厉打击打孔盗油气等危害国家公共设施犯罪。
 举报管道周围施工或者提供重要信息有重奖
 管理单位：大连输油气分公司 联系电话：4001198383
 大连市公安局

部门齐抓共管 是治理人员密集型高后果区的关键

《管道安全保护》编辑部

人员密集型高后果区是经济社会快速发展的伴生物，是成千上万条油气管道搬不走、必须友好相处的邻居，但是，人员密集型高后果区也存在不可忽视的安全风险，给政府公共治理带来了挑战。

自2013年青岛输油管道特别重大事故发生后，管道安全开始进入公众的视野。2014年，国家制定了GB 32167—2015《油气输送管道完整性管理规范》，第一次提出高后果区的概念；2017年，国家安全监管总局等八部门发出《关于加强油气输送管道途经人员密集场所高后果区安全管理工作的通知》（安监总管三〔2017〕138号），第一次对政府部门提出了人员密集场所高后果区“管好存量、控制增量”的要求。发文单位为当时的国家安全监管总局、国家发展改革委、国土资源部、住房城乡建设部、交通运输部、国务院国资委、国家质检总局、国家能源局等政府有关部门，重视程度堪称空前。2025年，国家又出台了GB 46767—2025《陆上油气长输管道人员密集型高后果区辨识与管理》，第一次形成了环环相扣、完整严谨的人员密集型高后果区风险治理体系。

近年来，人员密集型高后果区已成为政府和管道企业安全保护的主战场，而指挥这场战斗的正是各级政府有关部门。

在管好存量方面，有关部门按照安全生产法、管道保护法、特种设备法、环境保护法等法律和138号文件要求，加强对人员密集型高后果区监管，提升管道本体安全和外部安全水平。督促企业定期开展完整性评价和落实内检测制度，

及时修复隐患；完善第三方施工行政许可制度，防止损坏管道；制止违法占压行为并予以坚决清理；保护管道监控设施和警示标识，帮助企业打通巡检通道；政企合作开展事故应急演练等。对风险无法接受的人口密集场所和易燃易爆物品场所，有关部门根据实际情况，进行搬迁、清理或采取必要的防护措施，并为需要改线的管道协调路由，将风险控制在可接受的范围内。

在控制增量方面，有关部门按照管道保护法、环境影响评价法和危险化学品建设项目安全监督管理办法等要求，严把管道规划、建设关口，做到管道发展规划与国土空间规划以及环境保护等规划相协调，确保实现安全、环保、节约用地的目标。根据管道保护法第十三条的规定，有关部门建立行政许可制度，要求管道建设选线与建筑物、构筑物等应保持法律、法规以及国家强制性技术规范要求的保护距离。根据管道保护法第三十一条的规定，有关部门遵循保障管道及建筑物、构筑物安全和节约用地的原则，对在管道周边修建人口密集建筑物、易燃易爆物品场所应保持的距离进行评估审查，从源头上较好地遏制了人员密集型高后果区无序增长。

发展决不能以牺牲人的生命为代价。人员密集型高后果区治理是一场责任明确、必须打赢的联合攻坚战，没有哪个单位可以置身事外。我们要按照习近平总书记的要求，依法履责、敢于担当，齐抓共管、相互支持，以对人民极端负责的精神抓好人员密集型高后果区安全保护工作，为党和人民交上一份合格的答卷。

主管单位 甘肃省管道保护协会
主办单位 甘肃管道保护出版有限责任公司

主 编 朱行之 13609380359 gsxz9@163.com
副 主 编 张华兵 13832687743 modify78@163.com

责任编辑 徐晓梅 13679498333
编 辑 姜长寿 13919007797

法律顾问 李 勇

地 址 兰州市城关区广场南路77号325室（730030）
投稿邮箱 guandaobaohu@163.com
印 刷 甘肃兴业印务有限公司
印 数 1000册
发送对象 协会会员 管道企业 政府主管管道保护工作的部门



卷首语	01 部门齐抓共管是治理人员密集型高后果区的关键 / 《管道安全保护》编辑部
访谈	04 加强管道建设期本质安全 防范人员密集型高后果区风险 / 张文伟 08 政企合作 守护人员密集型高后果区安全 / 杜加宏
对话	11 我们是如何管控人员密集型高后果区风险的 / 王中利 姜万超 秦广顺 王晓慧 蒋发
管理探讨	17 晋城市构建管道三维防护体系的探索与实践 / 李军亮 19 GB 46767—2025背景下新加坡管道高后果区管理经验分享 / 葛天明 22 油气长输管道建设临时用地耕地占用税征缴及退税政策问题分析及建议 / 孔博昌 雷彬 25 矛盾论视角下如何预防管道第三方施工损坏的深度思考 / 魏昊天 董绍华 29 采煤沉降区内埋地煤层气输气管道安全保护探讨 / 王志勇 潘鑫 智秉瑞 32 输气站管道保护工作现存问题及优化措施 / 刘龙伟 36 燃气工程特种作业安全管控措施探讨 / 董宏尧 张大杰 39 铁塔智慧监控在燃气管道巡查的应用 / 李刚 汪仁义 41 秦巴山区管道管理及防汛工作创新实践与探索 / 杨雪魁 董富强
读者信箱	45 这座学校建在输油管道旁边会不会形成人员密集型高后果区 / 《管道安全保护》编辑部

管道安全保护与你约定

这里能听到你的声音

反映你的观点

汲取进步的力量



管道保护网
GUANDAO BAOHUWANG

<http://guandaobaohuchina.com/>



管道保护微信公众号



内部资料性出版物准印证号
(甘) LK6200066

2026年3月15日 (单月编印)

(内部资料 免费交流)

技术应用

- 46 无人机智能巡检系统在油气管道保护中的应用研究 / 张梦奇 李干 孙丰慧 薛皓元
- 50 基于PCMx检测的燃气管道防腐层破损点dB值及破损面积与管道埋深相关性研究 / 郭光荣 李文兵 王丽琼
- 53 复杂地形地灾监测的无人机巡检与数据采集技术融合方案 / 梁嘉 范钊碧
- 57 低流量天然气支线管道内检测优化案例分析 / 刘陇 胡庆有 朱玲 杜建飞 张春龙 党春晖
- 60 聚乙烯燃气管道定期检验问题分析与对策 / 马轩 张文琪 张谷庆 王璞
- 64 输油泵机械密封泄漏故障分析与处理 / 李超
- 66 提升天然气输气场站压缩机房本质安全的防爆系统研究 / 强常伟 方东 白元飞
- 69 油气管道应急维抢修直管段黄金口关键技术探讨 / 吕军敏 张晓戎 惠天鹏

案例

- 72 一起因地质灾害导致的天然气管道断裂爆炸事故 / 于景浩
- 75 中俄东线天然气管道长永段绕避水源地案例 / 王江宇
- 76 潍坊高新区次高压氢气管道建设与保护案例 / 朱敏 孙海均 苟金鑫
- 78 某原油管道泄漏事故应急处置案例 / 刘金涛 曹兴 薛丽洋 王亚变

管道百科

- 80 管道泄漏监测系统 / 张华兵
- 44 封面故事 汤继凯 文/图



加强管道建设期本质安全 防范人员密集型高后果区风险

《管道安全保护》编辑部：由于油气长输管道具有压力高、口径大、输送易燃易爆介质等特点，管道泄漏事故易引发严重后果。如青岛市“11·22”中石化东黄输油管道泄漏爆炸特别重大事故造成63人死亡，凸显管道途经学校、医院、居民区等人员密集区域带来的安全风险，是管道安全管理的中中之重。为了从源头提升管道本质安全管理水平，切实保障人民群众生命财产安全，2025年国家发布了GB 46767—2025《陆上油气长输管道人员密集型高后果区辨识与管理》强制性国家标准，该标准将于今年5月1日起正式实施。为了帮助广大读者学习领会这部重要标准精神，我们荣幸地邀请到了全国工程勘察设计大师张文伟女士，就如何贯彻落实GB 46767，提升管道建设期本质安全水平，有效防范人员密集型高后果区安全风险，与大家分享交流经验体会。

编辑部邮箱：guandaobaohu@163.com。

编辑部：张总您好，当前我国油气长输管道总里程已经居于世界前列，与管道相配套的各种技术和管理标准也逐步趋于完善。您作为著名的全国工程勘察设计大师，主持和参与了中俄东线等一批国家重点建设工程项目的设计，在我国能源版图上留下了靓丽的一笔。先请您简要介绍一下近年来我国管道建设在保障管道本质安全方面取得的技术进步。

张文伟：感谢《管道安全保护》编辑部的邀请，有机会与大家分享交流。我国油气长输管道建

设始于1958年克拉玛依—独山子输油管道。20世纪70年代“八三工程”建成庆抚线等项目，初步构建东北、华北骨干管网雏形。当前，我国油气长输管道已形成“全国一张网”，配套技术与管理标准持续完善。近年来我国油气管道在本质安全方面实现了系统性、跨越式进步，形成了材料、设计、施工、标准四位一体的安全保障体系。

材料方面，随着X80及以上高强度管材的全面应用，大幅提升抗开裂、耐低温、抗腐蚀性能，从源头增强管道在复杂环境下的安全可靠性能，为高压力、大口径、长距离输送提供坚实硬件支撑。

设计方面，全面转向全生命周期本质安全设计，以定量风险评价为抓手，强化高后果区识别与风险防控；采用应变设计、抗震抗冻融等先进技术，提升管道应对地质灾害能力；依托数字化设计，实现路由优化、参数精准管控，从源头消除安全隐患。

施工方面，积极推进自动化焊接、智能化检测、机械化补口的深度应用。广泛采用智能焊接机组、全自动焊接装备，实现焊接参数实时采集、过



人员密集型高后果区排查评估/关佳智 摄



张文伟简介：全国工程勘察设计大师，中共党员，教授级高级工程师，中国石油管道局工程有限公司首席技术专家。曾获得全国三八红旗手、国家西气东输工程建设先进个人、国家能源局国产化突出贡献奖等荣誉称号。从事油气管道设计30多年，主持设计了西气东输管道工程、中亚天然气管道工程、西气东输二线工程、西气东输三线工程、中俄东线等多项国家大型能源通道工程，多次获得全国优秀工程勘察设计奖。作为课题负责人开展了油气管网系统优化设计、管道并行敷设安全设计、管道定量风险分析、输气管道基于可靠性的设计、1422 mm/X80管道建设关键技术等诸多油气管道领域重点攻关课题，多次获得省部级以上科技进步奖。主编的多项国标（行标）促进了行业整体技术水平的提升，为我国长距离、大口径、高压管道设计进入国际先进行列作出了突出贡献。

程闭环控制；配套全自动超声检测、相控阵检测等智能检测机具，做到焊缝质量精准判定、全程可追溯。同时推广工厂化预制、模块化施工、机械化防腐补口，关键工序数据可上传、质量可追溯，大幅降低人为风险。

标准体系上，已构建起自主可控、与国际接轨的油气管道安全标准体系。特别是GB 46767这部人员密集型高后果区强制性国标，建立超前风险辨识机制和全生命周期安全保障要求，推动管道安全从被动应对向源头免疫、本质防控转变。

编辑部：GB 46767作为人员密集型高后果区管理的首项强制性国家标准，其发布与实施具有里程碑意义。请您结合当前管道安全形势，谈一谈新国标在提升风险防控能力、强化责任落实以及推动行业规范化发展等方面所发挥的关键作用？

张文伟：GB 46767作为我国首部针对人员密集型高后果区的强制性国家标准，具有里程碑意义，也完全契合当前油气管道安全发展的新形势新要求。

目前，我国油气长输管道途经城镇社区、学校、医院等人员密集场所的情况较多，一旦发生事故易造成人员伤亡和社会影响，是管道安全管理的重中之重。在这样的背景下，GB 46767的出台，对提升风险防控、压实安全责任、规范行业发展都

起到了关键性引领作用。

在提升风险防控能力方面，新国标构建了从风险辨识、评估、分级防控到监测预警、应急处置的全链条闭环管理体系，通过明确三级分级管控，推动资源向高风险区段倾斜，实现源头预防、精准防控。同时要求企业动态跟踪管道周边环境变化，及时更新管控措施，大幅提升了风险的预判和处置能力，从根本上降低事故发生概率及社会危害。

在强化责任落实方面，新国标以强制性条文划出清晰红线，为企业和监管部门提供了统一、权威、可执行的技术依据。它明确要求企业建立全生命周期管理机制，进一步压实企业主体责任，形成权责清晰、流程规范的责任体系，也让政府监管更具针对性和权威性。

在推动行业规范化发展方面，该标准填补了我国人员密集型高后果区专项强制标准的空白，与现有管道安全规范（如GB 32167—2015《油气输送管道完整性管理规范》）有机衔接，推动行业从传统粗放管理向精细化、科学化、标准化转型。

总体而言，GB 46767以顶层设计强化底线约束，全面提升人员密集型高后果区本质安全水平，为守护公共安全、促进油气管道行业高质量发展提供了坚实支撑。

编辑部：新国标强调了对人员密集型高后果区

实施全生命周期管理的关键理念。在管道建设阶段，您认为应当着重关注哪些核心环节，以确保管理工作的系统性与前瞻性？

张文伟：新国标强调对人员密集型高后果区实施全生命周期管理，对管道建设阶段系统性考量管道规划、设计、施工、运行直至废弃的管道安全提出了更高的要求。在管道建设这一源头阶段，要确保管理工作的系统性与前瞻性，重点关注以下几个环节：

一是设计目标的战略性延伸与前瞻性规划。新国标要求我们将设计目标从“保障建设安全”深刻转向“确保长期运行安全”。这意味着设计工作必须具备跨越数十年的战略视野。具体而言，在项目最初的选线环节需主动作为，协同自然资源、生态环境、城乡规划、能源、应急管理等部门，将管道发展规划与地方国土空间规划、城市总体规划以及区域中长期发展规划紧密结合起来。设计者需要预判未来十几年甚至几十年内，管道沿线可能出现的城镇扩张、新区开发、人口聚集等趋势。通过这种前瞻性分析，在规划阶段就主动优化路由选择，尽可能规避未来可能形成的高风险、高后果区域。

二是设计内容深化与系统化防御体系构建。对于因地域约束、经济因素等客观条件限制而无法避开、需穿越人员密集型高后果区的管段，新国标提出了系统化、强制性的设计要求。单一强度措施难以保证系统安全，需构建一套“组合拳”式的纵深防护体系并纳入工程概算，包括：优化局部路由，尽可能远离密集建筑；布设监测预警系统；提升防腐层等级；强化阴极保护系统；以及部署具备智能识别功能的视频监控系统，实现对管道周边第三方施工、机械侵入、人为破坏等行为的自动感知与实时报警等措施。这些措施相互支撑，从物理防护、在线监测、智能预警等多个维度，在硬件基础上构筑起一道系统性的安全防线。

三是加强施工新技术应用与过程管控。在人员密集区域实施差异化精细管控，优化施工工序与连头位置，减少特殊焊口数量，合理布设安全作业条件。积极应用智能焊接装备，实现焊接参数稳定可控、过程数据全程记录与可追溯，提升高强度钢管施工质量。依托智能检测机具，采用自动化超声、射线等无损检测技术，提升焊缝质量识别与判定水平。对II、III级人员密集型高后果区管段，严格控

制管口组对精度，强化焊缝质量管控，提升结构完整性。通过智能化技术赋能与全过程质量管控，持续提升工程实体质量，确保GB 46767新国标落地，从建设源头降低安全风险，为管道长期安全运行奠定坚实基础。

四是建立环境动态跟踪与持续优化机制。新国标明确要求管道企业应建立机制，持续关注沿线周边规划与环境变化，定期更新人员密集型高后果区信息并开展风险再评价。这就将设计人员的责任与思维，从图纸交付那一刻延伸至管道整个服役期。因此，在建设阶段，设计方应前瞻性地提出人员密集型高后果区动态跟踪与管理建议，作为成果的一部分提交给建设单位和运营方。包括如何与地方政府规划、应急、住建等部门建立定期信息沟通机制；如何利用卫星遥感、无人机巡检等现代技术手段周期性监测环境变迁；以及如何制定系统性的风险复核流程。这为管道的全生命周期提供了一份前瞻性的管理蓝图和持续优化的行动指南，从而真正实现安全管理的闭环。

上述环节将全生命周期安全管理从理念转化为可执行、可落地、可持续的安全实践，从而实现对人民生命财产安全和社会公共稳定的长效守护。

编辑部：自今年5月起，新版国家标准即将全面实施。对照新标准的具体要求，您认为当前在管道建设过程中尚存在哪些薄弱环节？为确保新标准得以有效落实，应采取哪些关键举措来加强整体保障？

张文伟：对照新国标要求，我国管道建设在规划设计与施工过程层面，仍有进一步优化提升的空间。

规划设计层面，管道线路规划与城镇发展、人口聚集趋势的协同性可持续增强，人员密集型高后果区的事前精准辨识与路径优化仍有提升空间。进一步平衡线路避让和投资控制之间的矛盾，以便科学合理地规避潜在高风险区域并确保安全标准的落实。

施工过程层面，质量精细化与动态环境应对有待提升。如环焊接头智能施工装备可靠性的追溯制度、无损检测精度稳定性保障、第三方交叉施工安全协同机制的落实、过程数据资源的贯通融合及施工动态智能化防控水平与数据化基础。

为有效促进新国标在建设阶段的顺利实施并全

面发挥其预期防护效能，建议：

深化设计源头安全考量。按照《石油天然气管道保护法》第十二条、第十三条等要求，积极协助地方政府层面建立管道安全前置协同审查机制，将管道规划有机融入区域发展总体规划，进行多部门参与的统筹论证。将科学合理规避现有及可预期的人员密集区域作为优先路径原则；对确实难以完全避让的区段，应采用新国标相应安全等级设计标准。建议在设计中系统性地纳入“一区一案”要求，整合包含疏散路线、关键标识、应急资源布点等要素，并与属地公共安全应急预案机制紧密衔接。

构建施工过程智慧化协同防控体系。聚焦环焊接头整体质量提升，强化制度衔接与数据管理平台融合，稳固提升焊接可靠性与检测精度稳定性及追溯性。深化“智能工地+”应用，部署自动化识别监控设备，增强第三方交叉作业及异常行为预警与无人机巡查效能，提升防控水平并巩固数据基础。

编辑部：作为国家勘察设计领域的权威专家，您对于构建管道本质安全的全新体系，推动行业向

更高水平的安全发展有何展望与愿景？

张文伟：构建本质安全体系、推动安全发展是工程设计的核心使命和永恒课题。设计人员应将新国标的核心理念，转化为具体的、可执行的设计动作。大到管道走向，小到特殊焊缝探伤，我们都应把新国标要求的安全等级和新体系倡导的底线思维，不折不扣地落笔成图。

希望设计团队们以持续精进的创新态度拥抱技术进步，以推动行业向更高水平安全发展。积极探索更安全的管材选型、特殊的腐蚀防护结构、智能监测前置方案以及推动施工装备的智能化升级。深度分析学习失效案例，确保每一次优化改进都直指现实痛点。

管道本质安全的构建应以创新为引领，以严谨为准则，全面对标新国标体系。从源头消除潜在隐患，前瞻性地融入智慧化元素，在规划初期就构建起可靠稳固的“管路无虞”系统。这不仅是设计者智慧与责任的体现，更是为国家能源安全筑牢屏障、促进行业可持续安全发展所奉献的坚实承诺。

编辑部：再次感谢张总接受我们的采访。

高后果区现场路由调研/杨建 摄





政企合作

守护人员密集型高后果区安全

《管道安全保护》编辑部：大连市作为我国重要的石化产业基地和人口高度集中的城市，油气管道是经济社会发展的生命线。由于能源发展受地理空间限制，人员密集型高后果区多，公共安全风险突出。大连市发展和改革委员会作为政府主管管道保护工作的部门，面对挑战，主动履责，敢于担当，会同政府相关部门和管道企业坚持不懈开展风险管控和隐患治理，取得了突出成绩。我们特别邀请大连市发展和改革委员会油气管道处处长杜加宏同志向读者介绍他们履行管道保护职责，守护人员密集型高后果区安全的做法体会，欢迎大家参与讨论交流。

编辑部邮箱：guandaobaohu@163.com。

编辑部：杜处长您好，您作为大连市发展和改革委员会油气管道处处长，带领大家长期奋战在管道保护工作第一线，为保障全市能源安全和公共安全做出了突出成绩。请介绍一下大连油气长输管道保护工作开展的情况。

杜加宏：感谢《管道安全保护》编辑部对我们的关注。作为全国石化产业基地，新大线输油管道、新大复线输油管道、铁大线输油管道、铁大复线输油管道、大沈线输气管道、大连支线输气管道和瓦长线输气管道等8条油气长输管道穿越全市境内，总长度达810公里。由于受城市发展和地理条

件限制，管道穿越居民小区、企业、医院、海滨、河流、高铁、铁路、轻轨、高速公路等情形较为普遍，形成高后果区118公里，其中96公里属于人员密集型高后果区。

2014年大连发生“6·30”输油管道因定向钻违法施工导致管体破裂大量原油泄漏燃爆事故，造成比较严重的后果，引起了市委、市政府高度重视。市、县区两级发展和改革委员会普遍设立了管道保护机构，并在政策、资金和人员装备方面给予倾斜。近年来，针对人员密集型高后果区，市县两级先后投资9600余万元，建设管廊保护带，建立油气泄漏预警平台，通过人防、技防、信息防、物理防范等措施，有效预防和消减人员密集型高后果区风险。

管道保护法明确规定了政府有关部门管道保护的职责。为此，市政府建立了由市公安局、市委宣传部、市委政法委、市发展和改革委员会、市应急管理局和管道企业等16个部门及单位组成的输油气管道安全保护工作联席会议制度，协调处理全市油气长输管道安全保护的重大问题，督促检查有关部门和企业依法履行管道保护职责，组织排除管道的重大



大沈线高后果区安全告知宣传牌 汤继凯 摄



杜加宏简介：1968年生，辽宁省大连市发展和改革委员会油气管道处处长，研究生学历，长期从事管道保护工作，带领全处荣立集体二等功、先进集体，个人先后荣立二等功、三等功，多次评为先进个人。联系方式：13354085855。

外部安全隐患。建立大连市打击涉油涉气违法违规犯罪联动工作机制，有效预防、打击打孔盗油和管道保护区域内第三方非法施工行为，为保障管道安全运行发挥了重要作用。

市发展和改革委员会作为市政府主管管道保护工作的部门，始终把制度建设摆在首位，先后制定了全市油气长输管道保护工作细则、管道保护五级联防体系工作方案、管道风险管控和隐患排查治理双重预防机制方案、危险化学品管道相关区域工程施工联合审批暂行规定等文件。通过建立制度，明确了各级人民政府、先导区管委会、各有关部门和企业的职责，促进了管道保护工作逐步走向法治化、规范化、常态化。

编辑部：大连市发展和改革委员会作为主管管道保护工作的部门，是如何与其他政府部门协同开展管道保护工作的？

杜加宏：我们在工作中充分发挥联席会议制度的重要作用，与市应急管理局、市公安局、市市场监管局、市住建局和管道企业等单位密切协同，发挥各自职能和专业优势，联合开展打非治违、督导检查、执法处理、走访宣传和应急演练等活动。通过经常性的工作交流合作，不断培育共识与合力，减少了杂音和干扰，形成了保护管道安全的一个声音、一只拳头。

我们和驻大连管道企业建立“市、区（市县）、街道（乡镇）、社区（村屯）和管道企业巡线员”五级联防体系，县区、街道、社区和管道企业人员共同形成横向到边、纵向到底的管道保护网络，有力遏制了管道保护区域内乱挖、乱建、乱钻、乱堆等行为。与管道企业设立的“400-119-8383”免费有奖举报电话相结合，及时获取管道保护区域内的有关信息，无人机先行喊话告知，采集现场情况，近年来先后阻止管道上方非法施工爆破、挖塘、修建大棚、栽种深根植物、堆码集装箱等影响管道安全的行为160余起，消除了一批安全隐患。

我们联合市住建局争取政府资金，开展“城镇燃气老旧管网改造行动”，针对人员密集型高后果区内与油气管道并行的老旧城镇燃气管网，开展优先改造。区（市县）发展和改革局与住建局联合组织管道企业、城燃企业开展施工挖掘和巡线等交流合作，巡线时相互关注对方管道情况，维修时互派技术人员值守，有情况及时通报，保障双方共同安全。

编辑部：近年来针对人员密集型高后果区，你们做了大量扎实有效的工作，请介绍一下具体做法。

杜加宏：人员密集型高后果区与城市安全发展



息息相关。像大沈线新港至松岚段人员密集型高后果区全长15.9公里，管道中心线两侧各200米范围内有住宅小区、学校、幼儿园、医院、厂区、加油站、集贸市场、物流公司近百家，人口七万多人，被列入国家管网集团公司重大安全环保风险。大连市各级党委政府把人员密集型高后果区安全保护工作列为重中之重。采取政府主导、政企合作，第一步先把存量高后果区管道“封起来、围起来、盖起来”。在寸土寸金的经济技术开发区，街道和社区主动把管道保护区域的集体土地让出来，政府投资建起多段管道保护封闭区、围挡区，保证巡检便道畅通无阻，彻底解决管道上方违法占压问题。为预防重车碾压管道，在道路口修建加强级管道保护涵16公里。建设油气管道泄漏预警平台，在高后果区加装油气泄漏预警设施、摄像头以及开展无人机巡线，联合公安机关加密天眼。在城镇地下排水管网入海口（寨子河口）建立值班室，加装原油泄漏预警装置对水质进行实时监测，遇有突发情况能快速判断处置。

为了控制高后果区增量，强化新建管道建设期管理，在路由选址、可行性研究、设计等阶段，结

合国土空间规划，避开人员密集型区域，施工阶段组织企业开展人员密集型高后果区动态辨识，有效控制增量。

编辑部：GB 46767—2025《陆上油气长输管道人员密集型高后果区辨识与管理》即将实施，您对贯彻落实这部标准有哪些初步考虑？

杜加宏：过去人员密集型高后果区管理只注重运行阶段，往往等问题出现再采取措施为时已晚。新国标覆盖了可行性研究、设计、施工、试运行、运行、停用、封存与报废等管道全生命周期，针对人员密集型高后果区不同阶段分别提出针对性安全管理，特别从源头加强了管控，是一大亮点。新国标还解决了以往认定模糊、管控措施过于原则、缺乏强制性标准依据等问题，对于管道企业加强管理、政府部门进行指导监督服务提供了可靠的依据和方法，必将有力提升人员密集型高后果区安全保护水平。

人员密集型高后果区是管道安全保护工作的重点对象。我们要继续贯彻管道保护法和原国家安监总局等八部门联合发布的138号文件精神，加强和有关部门、管道企业合作，运用新国标指导高后果区管道保护工作。当前管道企业要按照标准要求，全面梳理高后果区台账，开展辨识与分级，在今年5月1日前完成自查整改。各联席会议成员单位要关口前移，共同分析研判高后果区安全形势，制定管好存量、控制增量的具体措施。持续开展隐患整治，消减各种安全风险，努力实现人员密集型高后果区“底数清、风险明、措施实、响应快”的管控目标。

编辑部：再次感谢杜处长接受我们的采访。



我们是如何管控人员密集型高后果区风险的

《管道安全保护》编辑部：管道作为没有围墙的线性工程，途经山川河流，乡村集镇，繁华城市，少不了与自然和人类打交道，各方和谐共处，是管道企业和各级地方政府共同追求的目标。大连市面对比较突出的人员密集型高后果区风险，建立横向到边、纵向到底的管道安全保护工作体系，落实部门、街道、企业的管理责任，齐心协力，迎难而上，发挥各自优势，采取“四防”措施，治理安全隐患，使存在的风险不断消减并逐步处于可控制范围。本期对话栏目特别邀请到大连市应急、发改、规划等部门单位以及街道办事处和协会的同志，交流这方面的工作经验和体会，希望能给读者带来借鉴和思考。邮箱：guandaobaohu@163.com。



国土空间规划管理应高度重视 油气长输管道安全问题

王中利 大连工程咨询中心有限公司

随着城乡建设的高速发展，城镇化水平的提高，部分布局在城市外围使用油气长输管道的化工企业逐渐与城市外拓发展形成交叉，部分油气长输管道也逐渐被居民区、厂房、公共建筑等包围，因而不可避免的出现了一些人员密集型高后果区。深刻汲取油气管道泄漏爆燃等事故的教训，化解城市空间外拓与原有油气长输管道土地利用空间的矛盾，科学规划、建设、管理油气长输管道以保障城市公共安全，是国土空间规划管理的一项紧迫又重大的课题。

GB 46767—2025聚焦人员密集型高后果区，通过量化辨识，精准定位高风险区域，为安全管理提供了明确标准，体现了对公众生命安全的高度负责。新国标将安全管理贯穿管道建设期、运营期、停用期等全生命周期，从源头规避风险，强化了风险管控的系统性和前瞻性。为政府部门和管道企业提供了统一的管理依据，有助于提升土地空间科学

利用和全社会在本领域的整体安全管理水平，促进能源输送与公共安全的和谐统一。

如何从规划阶段预防人员密集型高后果区产生，根据《关于实施遏制重特大事故工作指南构建双重预防机制的意见》（安委办〔2016〕11号）关于“加强城乡规划安全风险的前期分析，完善城乡规划和建设安全标准，严格高风险项目建设安全审核把关，严禁违反国家和行业标准规范在人口密集区建设高风险项目，或者在高风险项目周边设置人口密集区”的要求，提出以下几点建议。

一是做好土地空间利用矛盾点优化。大连市存在多条油气长输管道，市国土空间总体规划中对化工园区的布局和油气长输管道敷设走廊做了相应规划管控措施。管道企业应对已建成的油气长输管道和已有建设计划的油气长输管道（方案）的人员密集型高后果区管段进行识别和控制区域界限划定，共享到相关部门，尤其是自然资源管理部门，自然

资源管理部门和建设部门在编制油气长输管道周围区域规划和进行区域建设时，依据控制区域界线做好规划编制、规划管理和建设管理，避免形成新的或者升级高后果区。经过多方论证，在已经存在的油气长输管道敷设区域城市更新建设时尝试做一些局部拆迁等管控措施，降低高后果区的数量和等级。

二是做好空间布局管理。强化管道规划与国土空间规划、城乡发展协调衔接。用气用油等化工企业新建、拆建选址应与区域城镇布局、产业园区布局衔接，避免油气长输管道再次穿越城区，形成新的人员密集型高后果区。在管道及附属设施规划选址选线环节做好规划核实和区域分析，应遵循远离城镇、村庄等人员密集区域的原则，以降低潜在安全风险，保障民众生命财产安全与生态环境安全。

三是做好各主体间的高效衔接。油气长输管道是线性工程，建设周期长，辐射面广，其路由用地及周边土地使用及项目建设涉及发展和改革、自然资源、住房和城乡建设、应急管理、生态环境管理等多部门。需要多部门通力合作，否则容易造成管道建设、管理与周边环境危险因素错位存在，导致

风险积聚。强化各主体间的衔接，建立高效的联合监管和信息共享机制，从管理源头化解风险。

四是加强高后果区的动态更新管理。高后果区的范围和风险可能随周边环境变化和管道自身因素的变化而动态调整，需建立动态监测和更新机制，确保辨识结果的及时更新和准确性，建议在辨识因素中增加文物保护、生态环境等敏感因素。做到从危险发生的源头化解风险。

总之，贯彻落实GB 46767—2025标准，有效降低人员密集区域的油气长输管道安全风险，需要政企各方共同努力，通过技术创新、管理优化和协同合作，将标准要求转化为实际的安全保障能力，为能源安全输送和公共安全筑牢防线。

作者简介：王中利，1981年生，研究生，大连工程咨询中心有限公司副总经理，正高级工程师，注册一级消防工程师，注册城乡规划师，曾任大连市城市规划设计研究院城市市政规划研究所负责人，主要从事工程咨询、规划咨询和造价咨询工作。联系方式：13840979656，121637596@qq.com



管道保护和安全生产

同部署同落实

姜万超

大连甘井子区应急管理局

大连支线天然气管道、新大输油管道途经我区分别形成长度7.49公里和12.3公里的Ⅲ级人员密集型高后果区，安全风险等级高、监管责任重大。做好高后果区管道保护工作，坚决防范遏制生产安全事故，切实保障人民群众生命财产安全，是区应急管理局履行安全生产综合监管职责的长期重要任务，也是将管道保护工作深度融入安全生产治理体系的关键举措。

我们始终将高后果区管道安全作为安全生产工作的重中之重，把督促指导企业落实主体责任贯穿监管全过程，推动管道保护与安全生产同部署、同落实、同检查、同考核。牵头建立“政府主导、企

业主体、属地协同”三级责任体系，统筹制定年度管道保护专项工作方案，明确高后果区管控目标、责任清单和工作措施，常态化调度、常态化督导、常态化问效。大连输油气分公司严格对标安全生产要求，全面履行高后果区安全保护主体责任，主动落实管道日常巡护、风险辨识评估、隐患排查治理、防护设施维护等具体工作，将责任链条延伸至班组、压实到岗位；大连湾街道等属地单位积极配合开展隐患排查、宣传引导和应急联动，形成“纵向到底、横向到边”的高后果区网格化管理格局。

管道安全保护工作需各部门齐抓共管。我们坚持风险前置、精准管控，联合发改、公安、自然资

源、交通等部门建立高后果区协同监管机制，按照“三管三必须”要求各司其职、同向发力，聚焦第三方施工、地质灾害、人员密集场所等关键风险因素，科学划分高、中、低风险区域，建立动态风险台账并实施闭环管理。对大连支线DZ16[#]段等穿越敬老院、轻轨站等高后果区重点管控区段，严格督促企业落实“一区一策”差异化管控措施，加密巡查、强化技防、完善预案，确保风险可防可控。

在日常监管中，我们督促企业建强专业化巡护队伍，健全高后果区巡护管控机制，推动企业严格执行巡护标准、强化岗位履职。大连支线配置6个班组、31名巡线员，实行每日徒步巡护，落实总区长每两周、分区长每周巡查制度，构建“日巡+周查+月督”闭环管理模式；新大线强化高后果区巡护力量，增设至10个班组、60名巡线员，重点加密穿越大庄高速、海漫滩等特殊地段巡查频次。在节假日、极端天气等关键时段，区应急管理局提级部署管控要求，督促企业严格执行24小时值班值守，将高后果区巡护频次加密至每小时1次，确保风险早发现、早报告、早处置。与此同时，我们还及时督促企业全面完善高后果区标准化防护设施，做到物理防护与警示标识全域覆盖。管道沿线每50米规范设置警示牌，高后果区重点增配风险提示牌，累计安装各类标识牌2000余块；对穿越轻轨站、高速公路等高后果区关键路段，指导企业采取混凝土盖板涵、护坡等工程防护措施，新大线XD20[#]段穿越大庄高速路段专门设置30米顶管防护结构，从工程层面筑牢高后果区安全屏障。

为提升科技监管效能，区应急管理局指导企业逐步推行智能化管道监控系统，在高后果区安装视频监控、激光可燃气体检测、光纤预警等设备，实现24小时实时在线监测。目前大连支线高后果区技防设备覆盖率达100%，新大线增设地下油气监测井，有效提升泄漏早期预警能力；依托物联网平台整合巡护数据、设备监测信号，对异常情况自动报警，应急响应时间缩短至30分钟以内，实现从被动处置向主动防控转变。

在强化企业主体责任落实的基础上，我们充分发挥综合监管作用，不断新高后果区监管模式，联合发改、公安等部门开展跨部门联合检查，严厉打击管道占压、违规第三方施工等危害高后果区管道安全的行为。2025年以来累计处置违规第三方施工12起，拆除占压建筑物3处，整改消除安全隐患50余项，有效净化管道外部安全环境。同时坚持分层分类开展宣传培训，对管道企业重点强化安全管理规范和应急处置能力，对属地街道强化隐患识别和协同监管能力，对周边居民普及管道保护和应急逃生知识，组织观看典型事故案例警示片，持续提升全社会管道安全防范意识，加快构建“政府—企业—公众”协同共治的高后果区安全治理新格局，以高水平安全保障辖区经济社会高质量发展。

作者简介：姜万超，1988年生，本科，辽宁省大连市甘井子区应急管理局监管二科科长，主要从事油气长输管道、危险化学品、工矿商贸行业安全监管工作。联系方式：0411-86339060，815099415@qq.com。



建立油气管道与 市政设施协同治理机制

秦广顺 大连市城镇燃气协会

随着城市化进程的加速，油气长输管道与城市发展矛盾和公共安全风险日益凸显。GB 46767—2025的实施，为我们提供了科学的管理工具。以大

连金普新区为例，在长达15公里的Ⅲ级人员密集型高后果区内，同时存在油气长输管道与港华燃气等城镇燃气管道、市政给水、电力管线，只要其中一

条发生问题，都会给周边单位和居民生产生活秩序带来重大影响，形成一损俱损的廊带效应。为此建议在各级政府的领导下，相关管线权属单位打破各自为政的局面，不断加强感知能力、治理能力和统筹能力等方面的协作，建立安全保护的长效机制。

一是各单位加强合作，打破数据壁垒，建立地下管线三维地理信息系统，共享管线数据。巡检人员配备红外热成像仪，在并行段重点排查管道间的异常温升（输油管道影响）或燃气泄漏聚集风险。利用无人机搭载高精度激光甲烷遥测仪，对人员难以进入的并行狭窄区域进行扫描，快速发现管道的微量泄漏。深刻汲取2014年新大线定向钻损坏事故教训，各单位在高后果区廊带开展的各种挖掘施工活动，要及时告知相邻企业，协商确定施工作业方案，签订安全防护协议后方可施工。

二是建立维抢修协同治理机制，高后果区任何管道的维修都不仅仅是企业行为，而是影响社会公共安全的行为。由于廊带狭窄，长输管道的动火作业可能对仅几米之隔的城镇燃气管道构成热辐射风险。维修方案必须包含对并行管道的保护措施，必要时实行“协同停输”，即在对方降压或停输的状态下进行高风险作业，确保绝对安全。建议将长输管道抢修队与城镇燃气抢修队资源整合，建立共同的应急设备库，储备针对不同压力等级的管材、夹具和堵漏装置。特别是在市政管道遭到施工挖掘损坏时，各方第一时间共同响应，将损失降到最低程度。

三是老旧管道隐患联动治理，对于单条管道的隐患，不应孤立修复。建议利用市政道路大修的“窗口期”，联合多家管道权属单位，对狭窄廊带进行集中开挖、集中整治，一次性解决占压、锈蚀、间距不足等历史遗留问题，减少反复开挖对周边环境的影响。

四是政府监管要从“九龙治水”走向“联防联控”。针对管道周边环境复杂、后续市政工程密集的问题，建议地方政府依据新国标划定“高后果区红线”。任何新建的给水、电力管道与既有油气管道的交叉施工方案，进行第三方安全影响评价，不仅要评价对单一管道的影响，更要评价对“管道群”的整体影响，确保廊道内新增市政设施与既有管道保持合理间距。建议政府搭建“油气管道智能监管云平台”，将大沈线的压力、流量、泄漏监测数据与港华燃气的SCADA数据以及周边市政工程施工备案信息关联。利用AI算法，一旦发现并行段某区域土方扰动异常，立即自动向长输管道、城镇燃气、市政管理三方同时发送预警。针对幼儿园、医院等特定场所，监管机构应强制要求开展在管道发生失效事故状态时的“双盲”演练。检验各单位在信息通报、交通管制、人员疏散（特别是辖区25000户居民的紧急疏散路径）方面的协同效率，并考虑多种交互影响。

作者简介：秦广顺，大连市城镇燃气协会理事长，高级工程师。联系方式：13998672785。



落实属地管理责任 构建全方位安全防护体系

王晓慧

大连金普新区湾里街道经济发展和财政事务服务中心

湾里街道地处大连金普新区南部，辖区内油气管道长输管道分布密集，包括大沈线、大沈支线天然气管道及铁大复线、新大线、新大复线原油管道，总长度21.85公里，多数管道呈并行敷设状态，途经

区域情况复杂，形成多处人口密集型高后果区。如大沈线天然气管道南北纵贯辖区5个社区，管道周边200米范围内有居民小区、大型集贸市场、各类院校、工业园区及商业网点等人员密集场所，居

民近6万人，且穿越两条高速公路及两条地上排水渠，区域内人员交通流动频繁。2014年辖区曾发生定向钻违规施工打穿输油管道的泄漏事故，给群众生命财产安全带来潜在威胁，也为高后果区治理工作敲响了警钟。因此，防范化解管道安全风险、切实保障群众生命财产安全，已成为街道治理工作的核心重点。

针对高后果区安全隐患，湾里街道主动作为，多措并举构建全方位安全防护体系，扎实推进管道安全保护工作。

一是强化责任落实，明确治理分工。街道严格遵照大连市石油天然气长输管道保护工作细则要求，设立管道安全专员，将各项治理任务细化分解到具体岗位、责任落实到具体人员，各社区同步组建管道保护监管小组，构建“街道统筹、社区落实、专人负责、层层联动”工作体系，有效破解了以往工作中存在的职责不清、边界模糊、推诿扯皮等难题。2024年街道与区发改局、管道企业共同开展清障行动，主动腾出土地支持企业设立巡检通道，清理管道沿线建筑材料堆积占压、停车场车辆占压、废品收购点占压和间距不足等5处安全隐患。

二是健全联动机制，精准排查隐患。各社区组织工作人员通过实地走访、逐一排查的方式，全面梳理管道周边企业的基本信息，建立完善管道周边企业实时通讯录，明确企业生产经营内容、安全管理负责人及联系方式，为后续联动处置各类安全隐患筑牢基础。依托该通讯录，配合市、区发改部门及管道企业开展工作时，能够精准掌握管道周边工况及企业动态，高效推进隐患排查、信息核实等工作，实现对高后果区安全隐患的动态管控。同时，

将管道周边安全排查纳入日常工作范畴，街道层面不定期组织开展管道专项巡查，社区依托网格员日常巡查走访，实时掌握管道运行动态及群众反馈情况。一旦发现违规施工、管道异常等安全隐患，第一时间通报相关单位处置，并同步向上级部门报备，确保隐患早发现、早处置、早化解。

三是聚焦宣传引导，筑牢群众防线。结合人员密集型高后果区特点，街道以距离管道20米的吉安社区便民市场为宣传主阵地，每年配合区发改局、管道企业开展现场宣传。通过发放宣传手册、现场解读、案例警示等方式，普及管道保护法规、危害及应急知识，结合举报有奖制度，营造群众主动参与管道保护的良好氛围，从源头减少人为安全隐患。

四是强化应急处置，提升防控效能。为有效应对高后果区管道突发安全事故，街道主动联合发改部门及管道企业，定期在高后果区重点区域开展管道安全应急演练，2019年至2025年间先后在高合、翰林、吉安等社区成功举办多场演练活动。通过模拟管道泄漏、违规施工损坏管道等常见突发场景，锤炼街道、社区、管道企业及周边群众的应急联动、快速响应及协同处置能力，进一步完善应急处置流程、明确各参与方职责分工，确保一旦发生突发安全事故，能够快速启动应急预案、科学处置，最大限度降低事故造成的人员伤亡和财产损失。

作者简介：王晓慧，1991年生，硕士，大连金普新区湾里街道经济发展和财政事务服务中心主任，主要从事石油天然气管道保护工作。联系方式：13504248998，13504248998@163.com。



落实新国标

精准治理人员密集型高后果区

蒋发

大连金普新区发展和改革局

金普新区作为大连市油气长输管道网络的关键节点，区内6条油气长输管线穿越城区街道和涉农

街道，形成了诸多人员密集型高后果区，是大连市管道保护的重点区域。近年来，通过安全生产治



本攻坚三年行动，新区在管道隐患整治、智能化建设、应急能力提升等方面取得了显著成效。

GB 46767—2025首次明确定义了人员密集型高后果区，提出了系统的辨识规则和分级风险管控要求，其核心在于：源头管控，新建管道应优先避让高后果区，无法避让时需采取加强级防护措施；全生命周期管理，覆盖可行性研究至报废的全阶段，特别是对Ⅲ级高后果区管道要求开展定量风险评估；动态协同，要求管道企业跟踪地方规划，与政府、建设单位建立三方协同机制，防止因城乡发展新增高后果区。

对照新国标，金普新区面临的主要挑战在于“存量”高后果区的治理。早期管道穿城而过，周边学校、医院、居民区密集，虽然已开始实施大沈线（新港一小松岚段）15.9公里Ⅲ级人员密集型高后果区安全升级改造项目计划，但未来40个月的施工期也面临诸多困难和挑战。如何在保证安全施工时保障既有高后果区风险可控，是当前工作的难点。

依据《石油天然气管道保护法》及新国标要求，金普新区发展和改革局将继续发挥主导作用，重点抓好以下工作：

落实源头管控，严控增量风险。在审批涉及管道周边的建设项目时，发展和改革部门要会同自然资源、规划、建设等部门，征求管道企业意见，坚决避免在管道周边规划新建学校、医院、大型居民区等人口密集的场所和设施，从源头上防止产生新

的人员密集型高后果区。

推动存量治理，实施分级监管。针对现有人员密集型高后果区，督促企业按照新国标要求重新开展辨识与分级，建立动态更新的高后果区台账。推动实施（新港一小松岚段）Ⅲ级人员密集型高后果区安全升级改造项目尽快开工，实行重点挂牌督办，确保2026年开工、2029年竣工的计划稳步推进。对于Ⅱ级、Ⅰ级人员密集型高后果区，重点检查督促“一区一策”管控措施的落实。

强化执法检查，深化政企联动。将新国标的执行情况纳入年度工作要点。参照国内其他地区的经验，开展针对高后果区视频监控覆盖、风险告知牌设置、应急演练实效的专项检查。同时，依托地企专班和周报制度，协调解决企业在管道保护中遇到的土地、规划纠纷，为企业落实“人防、技防、物防、信息防”措施提供行政支持。

科技赋能增效，升级监测预警。结合新区已有的智能化建设基础（如150个视频监控、海上溢油监测点），进一步推广应用光纤振动监测、无人机巡检场景化建设等技术，实现对第三方施工的实时预警和精准干预。针对人员密集型高后果区开放空间、人员流动大的特点，利用无人机巡检场景化建设工作，提升技防的准确性和有效性。

GB 46767—2025的实施，为金普新区管网密集、高后果区地区提供了有力的管理工具。未来，新区管道保护工作应继续坚持“政府监管”与“企业负责”双轮驱动，将新国标的刚性要求转化为日常管理的具体行动。政府要严把规划审查关，当好“裁判员”；企业则要对标标准补齐短板，当好“运动员”。只有双方共同聚焦隐患动态清零和本质安全提升，才能真正守护好城市的能源动脉和人民群众的生命财产安全。

作者简介：蒋发，1985年生，本科，大连金普新区发展和改革局安全与油气管道科三级主任科员。联系方式：19990070000，357263837@qq.com。

晋城市构建管道三维防护体系的探索与实践

李军亮

晋城市能源局

摘要：晋城市能源局以《石油天然气管道保护法》为指引，通过“制度完善、排查精准、防控智能”三维防护体系，依托“企业排查上报—部门统筹协调—属地协同联动—全程监督管控”模式，累计投入整治资金1.01亿元，整改隐患1806项，破解管道占压、第三方施工损坏管道等历史难题。同时推动科技赋能，打造“空天地”一体化智能巡护示范工程，提升风险动态感知能力，为区域能源安全与高质量发展提供了坚实保障。

关键词：晋城市；管道保护；地企联动；安全隐患整治；智慧防控

晋城市境内蜿蜒着611公里的能源“大动脉”，是山西省油气长输管道分布最密集的区域之一。守护国家能源安全和公共安全的责任重于泰山。“十四五”期间，市能源局以《石油天然气管道保护法》为指引，和管道企业以及政府相关部门共同构建了“制度完善、排查精准、防控智能”的三维防护体系，为油气管道安全稳定运行筑牢坚实屏障。

1 建章立制 构建长效治理新格局

管道保护，制度先行。面对管道占压、第三方施工损坏等外部风险，和有关部门及管道企业建立安全生产专业委员会和安全生产风险会商研判机制，明确各单位责任分工，协调处理管道保护的重大问题，指导监督有关单位履行管道保护义务。推动风险研判处置制度化、常态化、规范化。出台网格化管理体系工作方案，推行网格化管理模式，实现县区属地责任与企业主体责任无缝衔接。针对第三方施工重大风险源，研究制定《油气长输管道建设与安全保护管理手册》和《新建不能满足管道保护要求的石油天然气管道防护方案办事指南》，明

晰行政许可流程，为防范施工损坏管道提供标准化操作模板，让管道保护“有章可循、有据可依”。

在一次常规巡检工作中，某管道企业发现一钢材市场在输气管道上方违规修建钢架厂房、砖混建筑并堆积钢管，构成较大安全隐患。管道企业当即要求停止违法行为，并向市能源局汇报求助。市局接报后立即派出人员现场核查，责令违建方停工，并迅速联系属地镇政府协同处置。为防范风险扩大，同时要求管道企业落实主体责任，并安排专人24小时现场值守管控。在多方联动督促下，相关设施被彻底拆除，安全隐患清零（图1）。近年来已形成“企业排查上报—部门统筹协调—属地协同联动—全程监督管控”的隐患治理模式，为有效整治油气长输管道外部隐患发挥了积极作用。

2 地企联动 精准排查风险除顽疾

在安全隐患整治攻坚战中，以“隐患不整改视同事故”的理念开展专项整治，破解管道保护痛点问题。“十四五”期间，累计投入整治资金1.01亿元，排查整改管道保护问题隐患1806项，协调解决管道外部占压及安全间距不足隐患28处、城镇燃气

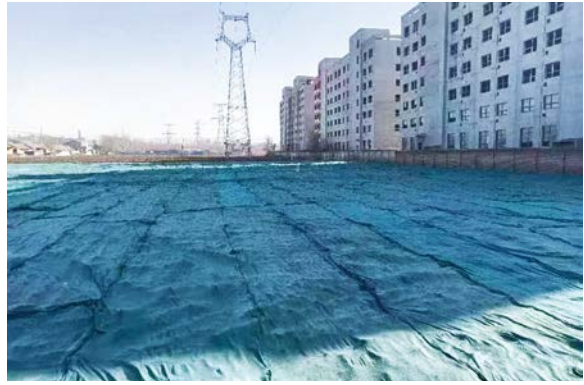


图1 某输气管道上方违规修建钢架厂房隐患治理前（左）后（右）



图2 某干线管道隐患治理前（左）后（右）

管道下穿铁路隐患27处，更新设备402台，更换管道18公里。

某处干线管道建设时期上方遗留1栋二层民房，与管道最近距离仅3米，长期影响双方安全。晋城市能源局督促企业足额落实隐患治理费用，同时联动属地镇政府，经过30余次入户走访沟通，最终促成户主同意配合拆除，彻底消除存在多年的安全隐患（图2）。通过建立“隐患精准排查—费用足额保障—政企地三方联动—耐心攻坚化解”的工作方式，获得了群众的理解支持，使影响企地关系的矛盾最终得到解决。

3 科技赋能 打造智能巡护新标杆

积极组织管道企业走出去参加学术交流，分享研究成果，取长补短，两篇论文被收录至第九届中国油气管道完整性管理技术交流大会论文集。邀请专家开展业务培训，提升政府企业管道保护工作者专业素养和履职能力。支持国家管网西北公司山西输油气分公司从“人防”向“技防”转型升级。投入1128万元，在沁水柿园村、阳城大宁村两段管道开展“精品化管廊带”创建示范工程，

依托无人机、智能摄像头与光纤预警等技术手段构建多维评价、全时监控预判的“空天地”一体化巡护新模式，显著提升管道风险全要素感知与动态管控能力。

“十五五”油气管道建设与保护工作依然繁重。作为管道安全保护的组织者和实施者，我们将以系统性变革推动管道保护模式实现三大进阶：即从被动式隐患整治向主动式风险预警转型，从传统人力巡护向智能化精准监测升级，从单一部门监管向多元协同社会共治演进，不断探索能源密集型城市管道安全治理新范式。为全市油气管道的安全稳定运行提供全方位保障，为区域经济社会高质量发展注入持续动力。



作者简介：李军亮，1973年生，现任晋城市能源局党组成员、副局长，负责油气管道保护、电力与新能源、综合办公室、政策研究等工作。联系方式：13653569901，jccsgd@163.com。

GB 46767—2025背景下新加坡 管道高后果区管理经验分享

葛天明

深圳佳保安全科技股份有限公司

摘要：GB 46767—2025《陆上油气长输管道人员密集型高后果区辨识与管理》的实施，标志着高风险管道的管理进入新的阶段。本文以新加坡为参照，系统介绍了土地的开发控制机制、Safety Case制度、第三方施工法定许可及跨部门协同经验。研究表明，新加坡通过总体规划锁定管道走廊、前置审批、QRA方法规划应用实现了源头风险管控，通过Safety Case管理解决全生命周期风险数据连续性问题，通过“开挖前查询”法定化将第三方施工纳入合规管理，可作为国内进一步实践GB 46767—2025的经验参照。

关键词：管道保护；人员密集型高后果区；全生命周期管理；QRA；Safety Case

强制性国家标准GB 46767—2025《陆上油气长输管道人员密集型高后果区辨识与管理》将于2026年5月正式实施，标志着传统人员密集管段的安全管理开启了全生命周期管理的新阶段。该标准覆盖可行性研究、勘察设计、施工、运营至报废全过程，设立三级分级管控机制。新标准在珠三角、长三角等高密度城市地区，落地实施面临现实困境：城乡快速发展持续催生新增高后果区，管道企业被动应对；存量高后果区整改则面临法规衔接不畅、部门职责交叉、全生命周期数据断链等问题。

新加坡国土面积734.3 km²、人口密度超8000人/km²，其高压燃气输气管道必然穿越人口稠密城区，缺乏中国常见的“城乡结合部”缓冲带。新加坡市区重建局（URA）通过开发控制（Development Control）机制、人力部（MOM）的Safety Case制度、能源市场管理局（EMA）与新加坡民防部队（SCDF）的协同监管，构建了源头锁定—过程控制—末端应急的管理体系，实现了极高人口密度下的管道安全运行。

本文遵循“规划控制—生命周期管理—第三方

管控—社会共治”的逻辑链条，系统介绍了新加坡的管理实践，为国内落实GB 46767—2025提供可参考的样本和经验。

1 Development Control: 源头控制的制度设计

1.1 URA总体规划中的管道走廊法定地位

市区重建局依据《规划法》（Planning Act）赋予总体规划（Master Plan）法定地位，将天然气管道走廊（Utilities Corridor）纳入战略性基础设施用地管制体系。管道走廊被划定为基础设施专用通道，任何改变土地用途的开发申请均须通过开发控制审查，要求开发商遵守管线保护缓冲区、施工前勘察义务，确保新建项目不与现有或规划管线冲突。这种规划层面的“硬约束”确保管道周边土地开发强度与管道风险特性相匹配，避免高密度建筑群对既有管道的占压。

1.2 EMA前置审批与规划协同机制

能源市场管理局依据《燃气法》（Gas Act 2001）及《燃气供应规范》（Gas Supply Code）建立天然气管道安全与技术合规审批。涉及管道

走廊的土地开发项目，开发者须向能源市场管理局提交“无冲突证明”，证明拟建建筑不会侵入管道保护区。能源市场管理局通过注册专业工程师（Professional Engineer, PE）或“合格人员”（Qualified Person, QP）制度强制要求开发商聘请专业工程师核查管道位置，出具管道位置核查报告，证明拟建建筑/施工范围未侵入管道保护区。新加坡能源集团（SP PowerGrid）作为管道设施运营方据此签发施工要求函（Letter of Requirements），明确保护措施与禁建边界。施工要求函和管道位置核查报告，共同构成能源市场管理局认可的“无冲突证明”，并出具安全合规批复（Safety Clearance）审查意见，该意见作为市区重建局颁发规划许可的前置条件。

1.3 QRA在规划阶段的应用

新加坡在规划阶段引入定量风险评价（Quantitative Risk Assessment, QRA）作为土地开发的强制性技术输入。根据人力部发布的《QRA技术指南》（2016年修订版），针对高压天然气管道等危险性设施，开发者须提交管道QRA报告给重大危害部（Major Hazard Department, MHD）进行审批。重大危害部是一个多部门联合办公的协调部门，对QRA审批需要联系的部门均设有职能接入。QRA通过计算个人风险（Individual Risk, IR）和事故升级风险（Cumulative Escalation Risk）。根据《QRA标准导则》（2016年），管道IR（死亡风险）阈值设定为 5×10^{-6} /年（限制在边界内）和 5×10^{-7} /年（限制在工业区内）；IR（伤害风险）阈值为 3×10^{-8} /年（不达到敏感目标）。

新加坡未采用固定距离安全间距，而是基于管道压力、管径、埋深及周边人口密度进行动态计算，通过风险值指导土地分级利用。这种基于风险值的规划管控，使高后果区管理从“距离管理”转向“风险管理”。

2 Safety Case制度：全生命周期风险管理

2.1 Safety Case制度与MHI管理框架

新加坡重大危险设施（Major Hazard Installations, MHI）安全管理采用Safety Case制度，由人力部依据《工作场所安全与卫生（重大危险设施）条例》（WSH/MHI Regulations）实施。当管道位于MHI边界范围内时，运营者须向

MOM提交Safety Case。该文件是动态的风险管理论证体系，要求运营者证明已识别所有重大危害、评估了风险，并建立了将风险降至合理可行最低（ALARP）的控制措施。

根据人力部签发的《ALARP证明导则》（2020年），单一场景风险目标设定为：新设施1~9人死亡频率 $>1 \times 10^{-4}$ /年为不可接受， $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$ /年为ALARP可容忍；10人以上死亡频率 $>1 \times 10^{-5}$ /年为不可接受。现有设施标准相应放宽一个数量级。Safety Case须包含安全管理体系文件、设施设计信息、工艺安全信息、危害识别记录、QRA结果、重大危险源分类、应急响应计划及变更管理程序、ALARP证明。

2.2 全生命周期数据连续性技术实现

新加坡Safety Case制度通过“单一事实源”（Single Source of Truth）理念解决全生命周期数据断链问题。从前端工程设计（FEED）阶段开始，管道的QRA数据、材料规格、焊缝记录等均须以数字化格式提交至能源市场管理局中央数据库，并在运营阶段随设施变更持续更新。根据《工作场所安全与卫生（重大危险设施）条例》，Safety Case须包含“变更驱动的复审”机制——当周边土地开发导致人口密度增加、或管道进行重大维修时，开发者或运营者须向重大危害部获取变更咨询，确认是否需要更新QRA报告和Safety Case。

新加坡通过Safety Case的法定复审机制和EMA数字化监管平台，实现从“文件归档”到“活态数据管理”的跨越。当周边土地开发导致人口密度变化、或管道进行重大维修时，运营者须向重大危害部提交变更咨询，是否需要重新提交风险计算，确保Safety Case始终反映设施实际风险状态。这种“变更驱动”的复审机制直接回应了国内全生命周期数据断链问题。

3 第三方施工的法定化管控

3.1 开挖许可的法定化

新加坡对第三方施工的管控建立在法定许可基础上。依据《燃气法》第17条及《燃气供应规范》第8.4条，任何在高压燃气管道附近的土方工程，施工方须在开工前至少7天向能源市场管理局提交书面通知，并申请作业许可。新加坡建立“开挖前查询”（Dial Before You Dig）强制性法律义

务——任何机械开挖作业前，施工方须先向新加坡能源集团申请获取燃气管道竣工图，并聘请持牌管线探测员现场定位、验证管道实际位置，并在开工前至少7天向新加坡能源集团提交开工通知，未履行查询义务导致管道破坏将承担刑事责任。

新加坡将“查询—许可—监护”链条法定化，使第三方施工从“协商管理”转向“合规管理”。未履行查询义务导致的管道破坏将承担刑事责任，这一制度设计有效遏制了施工方的侥幸心理。新加坡能源集团根据施工方开工通知签发的施工要求函（LoR）明确了保护措施与禁建边界，新加坡能源集团和新加坡民防部队的“一票否决权”确保最终施工方案中必须包含足够的管道保护措施，否则监管部门可直接撤销施工许可。

3.2 管线精确定位与应急联动

新加坡建立强制性持牌管线探测员（Licensed Cable Detection Worker）认证制度。进行机械挖掘前，须由具备EMA核发的有效资质人员使用电磁定位仪（EML）和探地雷达（GPR）确定管线精确位置，并在地面进行物理标识。该要求是获得施工许可的前置条件。新加坡民防部队依据《消防法》拥有即时叫停权：接到管道泄漏报告或发现违规开挖时，新加坡民防部队官员可立即命令停止现场所有作业。

新加坡通过能源市场管理局（能源监管）和新加坡民防部队（消防应急）的明确分工与联合执法机制，实现技术定位—许可审批—应急响应的无缝衔接。当第三方施工触发气体泄漏报警时，新加坡民防部队应急响应预案直接与管道企业的Safety Case对接，确保应急决策基于实时风险数据而非静态流程。这种“零容忍”的技术与管理双重要求，为破解国内第三方施工损坏频发的困境提供了制度参照。

4 社会共治与公众参与

4.1 社区联络与风险沟通

新加坡管道安全管理建立制度化社区风险沟通机制。在裕廊岛（Jurong Island）等化工与能源设施集中区域，管道运营企业须通过社区联络委员会定期向周边企业通报管道运行状况与应急措施。新加坡民防部队可获取相关信息用于应急响应规划。新加坡民防部队定期和相关企业进行联合应急演练，



新加坡裕廊岛俯视/葛天明 供图

习，以便在事故发生后能够及时响应。工业区企业被分为不同的团队，在紧急事故发生时周边企业能够及时支援事故企业，将事故危害在初发阶段进行控制。火灾报警信号自动发送到最近的消防站，便于新加坡民防部队及时提供支援。

4.2 跨部门应急协同数据共享

新加坡通过新加坡民防部队主导的应急响应体系，实现与能源市场管理局和市区重建局的数据实时共享。新加坡民防部队危机管理信息系统与能源市场管理局管道运行监控平台、市区重建局土地用途数据库实现接口对接，管道泄漏报警触发时，应急指挥中心可即时调取周边建筑人口密度、最近的消防水源、交通管制路线及敏感设施分布。这种“一张图”应急指挥模式依赖于制度化的数据共享协议。

重大危害部要求重大危险设施制定的场外应急响应预案（Off-Site Emergency Plan）必须考虑Safety Case中的重大危害场景（Safety Critical Events），并在Safety Case中提出运营方以及受影响的企业、居民的沟通方式。新加坡民防部队须与管道企业的Safety Case进行年度联合演练，并邀请地方政府、医疗机构参与。这种“预案对接—联合演练—社会参与”的三层架构，确保真实事故中不会出现“企业报企业、消防报消防”的信息孤岛。

5 结语

新加坡在极高人口密度的发展背景下，针对管道人员密集型高后果区管理构建了一套源头管控、过程闭环、末端协同的系统性管理体系，其核心通过市区重建局的总体规划法定化锁定管道走廊，以能源市场管理局前置审批与规划协同机制规避开发与管线的冲突风险，同时将定量风险评价作为土

（下转第24页）

油气长输管道建设临时用地耕地占用税征缴及退税政策问题分析及建议

孔博昌¹ 雷彬²

1.国家管网集团北京管道项目管理中心；2.北京市逢时律师事务所

摘要：以长输管道建设项目临时用地缴纳耕地占用税及退税为切入点，深入剖析《中华人民共和国耕地占用税法》第十一条关于临时用地耕地占用税“先征后退”政策在实践中的执行困境。通过分析当前政策在实施过程中存在退税难、程序不规范、地方行政不作为甚至失信等问题，建议税务部门应推动立法机关重新评估并取消对依法复垦的临时用地征收耕地占用税，或优化政策设计，仅对无法恢复种植条件的临时用地征税，以实现耕地保护与营商环境优化的平衡。

关键词：油气管道建设；临时用地；耕地占用税；征缴；退税政策

油气管道作为国家能源战略的重要支撑，其建设常需大规模临时占用土地，尤以长输管道项目为甚，跨区域、线性布局导致临时用地动辄数千乃至上万亩。为保障耕地资源，现行《耕地占用税法》规定对临时耕地占用税实施“先征后退”政策，本意在于以经济手段倒逼复垦履约，然在实践中已演变为企业的沉重负担，退税难、执行乱、矛盾多，严重背离制度初衷。尤其在当前强调优化营商环境、推动高质量发展的背景下，此政策的合理性与可持续性亟待反思。本文将税收政策与土地复垦机制结合分析，系统剖析该政策在油气管道建设中的现实困境，聚焦法律与实践、政企关系与制度效

能，油气管道耕地占用税征缴与退税政策领域研究的不足等问题，提出相关建议，以期为政策优化提供参考。

1 政策现状与执行实态

土地复垦制度遵循“谁损毁、谁复垦”原则，复垦费用已纳入项目总投资并实行专户监管，形成资金保障闭环。耕地占用税作为资源调节工具，理论上可强化土地保护，但在临时用地场景下，其“先征后退”机制与复垦费用功能重叠。针对油气管道这类跨区域、大规模线性工程的税收政策研究仍属空白。

我国临时用地耕地占用税的法律依据主要来自《耕地占用税法》第十一条及《土地复垦条例》。政策设计上，税收作为“保证金”性质存在，旨在激励复垦。执行流程上，企业需先缴税，期满一年内完成复垦并取得自然资源部门出具的验收合格确认书，再向税务机关申请退税。理论上逻辑清晰，但实践中环节脱节、标准不一。

以某省长输管道项目为例，其在5个区县临时地上万亩，累计缴税超2.7亿元。尽管企业完



成复垦并提交验收申请，多地却因验收拖延、验收确认书撤销或税务机关曲解政策而无法退税。部分地方自然资源部门以“复垦质量不达标”为由长期不验收，甚至在出具合格书后反向撤销；税务机关则以“材料不全”“理解偏差”为由拒退。地方财政依赖该类税收，主观不愿退、客观无力退，导致政策空转，企业进退两难。

2 征缴和退税政策存在的问题

2.1 加重企业经济负担

临时用地面积大导致税额高。油气管道建设项目因其线性工程特点，往往需要占用大量的临时用地以满足施工需求。根据近年来国家投资建设的西气东输二线、中俄东线等长输管道项目，临时用地面积在一个区县范围内可达数千亩，跨省项目甚至可能超过数万亩。这种大规模的临时用地需求直接导致了耕地占用税税费的显著增加。此外，由于临时用地使用周期较短且多为非永久性破坏，企业需预先支付高额税款以保障土地复垦义务的履行，尤其是在当前经济环境下，这无疑对企业的资金流动性造成了巨大压力，加剧了其财务负担。

多重费用负担。除了耕地占用税外，企业在临时用地使用过程中还需承担其他多项费用，包括土地复垦费、草原植被恢复费等。这些费用的叠加使得企业的经济负担更加沉重。根据《土地复垦条例》及其实施办法的规定，土地复垦义务人需将土地复垦费用列入生产成本或建设项目总投资，并足额预存至专门账户。然而，在实际操作中，企业不仅需要支付土地复垦费用，还需缴纳高额的耕地占用税，造成多重费用负担。

2.2 退税政策难以落实

退税条件严苛。《耕地占用税法》第十一条规定，纳税人在批准临时占用耕地期满之日起一年内依法复垦并恢复种植条件的，可全额退还已缴纳的耕地占用税。然而，这一政策在实际执行中却因条件过于严苛而难以落实。首先，复垦时间的限制对企业提出了较高的要求。由于油气管道建设项目的复杂性，部分区域的土地复垦工作可能受到自然条件、技术手段等多种因素的制约，导致无法在规定时间内完成复垦。其次，验收合格确认书的获取也存在较大困难。目前，国家尚未制定统一的验收合格确认书规范文本，地方自然资源主管部门在出具

确认书时缺乏明确标准，甚至可能出现故意拖延或拒绝出具的情况。这些严苛的退税条件极大地增加了企业申请退税的难度，使得政策初衷难以实现。

地方政府退税动力不足。地方政府在面对巨额耕地占用税款时，往往缺乏主动退还的动力。一方面，耕地占用税作为地方财政收入的一项重要来源，一旦企业提出退税申请，地方政府需从现有财政预算中调配资金进行退还，这对地方财政平衡造成了一定冲击。另一方面，部分地方政府出于政绩考核等考虑，倾向于将已征收的税款视为既定收入，主观上不愿退还。此外，退税流程的复杂性和不确定性也进一步削弱了地方政府的积极性。

2.3 影响政企关系

地方政府财政压力与退税矛盾。地方政府在收取耕地占用税后，通常将其纳入年度财政预算用于各项支出。然而，当企业按照政策规定提出退税申请时，地方政府往往面临财政压力与退税之间的矛盾。一方面，已支出的财政资金难以迅速回笼，导致地方政府在短期内无法足额退还税款；另一方面，企业因未能及时获得退税款项，可能对其生产经营活动产生负面影响，从而引发对地方政府的不满情绪。这种矛盾在财政状况较为紧张的地方尤为突出。

企业资金挂账与审计困难。对于企业而言，耕地占用税的无法退还可能导致资金长期挂账，给企业的财务管理带来诸多困难。根据现行会计政策，企业缴纳耕地占用税的资金通常不能计入项目投资概算，而是作为专项支出单独列支。若税款长期无法退还，这部分资金将处于悬而未决的状态，既不能用于其他用途，也难以通过审计程序进行核销。这种情况不仅增加了企业的财务风险，还可能引发审计机构对企业财务状况的质疑。例如，在年度审计过程中，未退还的耕地占用税可能被认定为异常支出，要求企业提供详细的解释和证明材料。这不仅增加了企业的合规成本，还可能导致企业与地方政府之间的信任危机，进一步恶化政企关系。

此外，企业在与地方政府沟通退税事宜时，可能遭遇反复协商甚至诉讼，进一步消耗了企业的资源与精力。

2.4 诱发地方政府不诚信行为

在退税博弈过程中，部分行政机关出现失信行为。自然资源部门拖延验收、随意撤销确认书；税

务机关对法律规定做不利于纳税人的解释，甚至设置隐性门槛；一些地方财政紧张，拖延退税。这些行为不仅违反依法行政原则，更严重损害政府公信力。当国家机关可任意撤销自身行政行为时，法治权威与社会信任将受到根本性冲击。

3 建议

当前临时用地耕地占用税“先征后退”政策，虽立意良好，但在油气管道建设实践中已显现出系统性失灵。而《土地复垦条例》已通过复垦费用预存、专户监管、验收考核等制度，构建了足以保障复垦履约的闭环机制，再叠加耕地占用税，实属无益。因此，建议推动制度转型，从“普遍征收”转向“惩戒性征收”。

取消普遍征收。复垦义务已有资金保障，对依法审批、承诺复垦并足额预存复垦费用的临时用地，建议取消耕地占用税的预先征收，为企业减负。

保留惩戒性征收机制。临时用地期满未开展复垦，复垦验收不合格且未整改或土地无法恢复种植条件的情形，此时按永久占用标准征税，体现“失

信惩戒”导向，契合税收公平原则。

完善过渡期机制。在法律修订前应出台实施细则，明确复垦完成认定标准与验收时限；制定全国统一的验收合格确认书范本；建立自然资源与税务部门联合审核机制，实行“一次申请、联合办理”；设立退税承诺制度，地方政府出具可执行的退税承诺函，提升政府公信力。

税收政策应服务于公共利益与经济发展平衡。对油气管道等重大基础设施的临时用地，应以科学、合理、可执行的制度设计替代粗放式管理。取消不合理征收，强化失信惩戒，不仅有助于减轻企业负担、优化营商环境，更将重塑政府公信力，推动土地资源治理现代化，实现耕地保护与项目建设的双赢格局。



作者简介：孔博昌，1982年生，本科，现任公司项目管理中心高级主管，工程师，主要从事建设项目前期管理、项目用地等各类通过权手续办理及研究等工作。联系方式：18910699050, kongbc@pipechina.com.cn。

（上接第21页）

地开发的强制性技术依据，实现从固定间距管理向动态风险管理的转型；依托人力部的Safety Case制度，以“单一事实源”数字化管理保障管道全生命周期风险数据的连续性，通过变更驱动的复审机制让风险管控始终匹配设施实际状态；将第三方施工的“开挖前查询”法定化，搭配持牌管线探测员资质管理、多部门联合执法及刑事责任约束，从制度上遏制第三方施工损坏风险；通过制度化的社区风险沟通、跨部门应急数据共享与联合演练，构建起社会共治的应急响应体系，形成“规划控制—全生命周期管理—第三方管控—社会共治”的完整管理逻辑。

新加坡管理实践为我国落地实施GB 46767—2025，构建起符合我国国情的人员密集型高后果区全生命周期管控体系，真正实现标准要求的分级管控、精准防控，从根本上降低油气长输管道人员密

集型高后果区的事故风险，保障公共安全与能源基础设施的稳定运行提供了有价值的参考样本。



作者简介：葛天明，佳保安全集团副总裁/北京公司总经理。拥有20年油气行业和长输管道咨询从业经验，负责国内外多个大型长输管道项目的风险分析项目，包括陕京管道、西气东输、中缅管道、西部管道，海上平湖油气管道，荔湾3-1外输天然气管道，乌干达东非原油管道等。曾任英国劳氏船级社（LR）能源咨询部门中国区副总经理，负责油气行业风险咨询业务。沃利（Worley）中国咨询业务线总监，负责工程项目技术安全设计与安全风险评估咨询。2026年加入深圳佳保安全科技股份有限公司，负责技术安全咨询和国际业务。

矛盾论视角下如何预防管道第三方施工损坏的深度思考

魏昊天 董绍华

中国石油大学（北京）管道技术与安全研究中心

摘要：在土地空间开发强度持续提升、各类建设活动密集展开的背景下，管道第三方施工损坏呈现随机性增强、碎片化明显的风险特征，已成为影响长输管道安全运行的突出隐患。本文以《矛盾论》为方法论基础，指出该问题本质上是空间开发逻辑与管道安全控制逻辑之间的结构性冲突。通过辨析主要矛盾及其主要方面，揭示外部人为活动在当前阶段的主导作用，厘清人防与技防的功能边界及协同关系，提出将管道安全嵌入地方空间治理体系，强化过程纳管机制，构建“人防前置约束—技防广域感知—机制快速处置”的防控闭环，推动风险治理由末端处置向源头防控转变。

关键词：管道安全管理；第三方施工损坏；矛盾论；主要矛盾

《矛盾论》指出，矛盾是事物发展的根本原因，抓住主要矛盾及其主要方面，就能把握事物发展的方向和解决问题的关键。对长输管道企业而言，安全生产、保供保运、降本增效和改革转型等任务相互交织、系统推进。然而在当前发展阶段，管道第三方施工损坏因其发生频率高、社会关注度高、对运行安全构成直接威胁，依然是影响管道安全运行的热点问题。为应对该类风险，国家于2010年颁布实施《管道保护法》，从法律层面对管道保护作出制度性安排。其中第三十五条明确规定，涉及管道周边一定范围内的跨越施工、工程建设及爆破、勘探、挖掘等作业，应当依法履行报备审批程序，并由主管部门组织施工单位与管道企业协商确定安全防护方案，必要时开展安全评审后方可实施。该条款在制度层面确立了“动土行为前置审批、协商管控”的基本原则，旨在将外部施工活动纳入规范化、可控化轨道。然而从实践看，尽管法律框架已经建立，第三方施工损坏问题仍时有发生，表明其成因并非单纯制度缺失，而是更深层次

矛盾结构作用的结果^[1-3]。

需要强调的是，第三方损坏并非“偶发的违规事件”，也不仅是“巡线不到位”“监测不灵敏”或“施工方不守规矩”的简单叠加。它更像一个“窗口”，通过这一窗口，可以清晰看到管道企业在更大范围、更深层次上的矛盾结构：管道的长期性、隐蔽性、线性分布特征，与外部空间开发的不确定性、碎片化、短周期利益驱动之间的矛盾。若不从这一层面理解，就容易陷入经验主义：一出事就加密巡线、再上系统、再做专项，短期看动作很大，长期却反复发生，治理成本不断抬升，最终形成“越管越累、越防越险”的悖论。

本文尝试以矛盾论为方法论工具，围绕第三方施工损坏这一问题，分析其背后的主要矛盾、主要矛盾方面以及人防与技防的作用边界，并进一步提出从根本上降低风险的思路与路径。

1 第三方施工损坏的特征

从一线看，第三方施工损坏具有几个典型特



征：①频度高、触发点分散：既有大工程，也有小挖机、临时开挖、抢修抢建；②突发性强、窗口期短：从开工到风险暴露可能只有数小时甚至更短；③社会性强、外部因素主导：施工主体多元，链条长（建设单位—总包—分包—劳务—机手），责任边界容易“层层稀释”；④治理成本高、对抗性强：一旦形成误挖，往往涉及停工、协调、赔偿、执法，甚至舆情与群体性问题；⑤“技术越先进、压力越大”的现象在实践中客观存在。随着监测系统、视频巡查、无人机应用以及基于人工智能的识别手段不断投入，企业对管道运行状态的感知能力显著提升，但仍难以实现对外部风险的全面覆盖和实时控制。在此背景下，一线安全生产管理人员在风险识别、响应和责任落实方面承受的管理压力反而持续加大。

这些特征说明：该问题不只是“企业内部管理能力”的问题，而是一个由外部环境强力驱动、并不断重塑风险结构的系统性问题。用矛盾论的语言讲，就是：第三方损坏是多种矛盾交织运动的结果，其中有一种矛盾在当前阶段起领导作用，规定或影响其他矛盾的存在和发展——这就是我们必须识别的主要矛盾。

2 主要矛盾分析

当前多数治理措施把着力点放在“更快发现、更快处置”，其隐含假设是：问题的关键在于企业感知不充分。但现实表明，即便感知能力显著提升，误挖损坏仍可能发生。原因在于：感知只是末端能力，无法改变矛盾的根基。

第三方施工损坏的主要矛盾可以概括为：外部空间开发的高速扩张与碎片化建设行为，和管道作为长期线性基础设施对安全控制边界稳定性的要求

之间的矛盾。这一矛盾有三层“本质含义”。

第一层：时间尺度冲突。

管道寿命常以几十年计，安全管理强调“长期可控”；而外部建设活动以项目周期计，强调“短期完成”。短周期利益驱动下，施工方天然倾向于压缩协调时间、简化手续、追求效率甚至抢工期，而管道安全恰恰要求充分沟通、严格审批、现场监护和过程控制。两者的时间尺度不一致，决定了“程序冲突”是常态而非例外。

第二层：空间边界冲突。

管道埋地、线性分布、穿越区域广，管道权属边界、控制范围、保护区要求与地方土地利用、城市更新、村镇建设等空间治理边界常常不匹配。对地方而言，一条埋地管道是空间要素之一；对管道企业而言，它却是生命线，必须维持一定的安全控制半径。边界不一致，导致“谁来管、怎么管、管到哪”的责任体系容易出现空档。

第三层：治理结构冲突。

管道企业是专业化运营主体，强调制度、规范与技术；外部建设行为却处在多主体、多层级、多合同链条之中，真实执行者往往是最末端的分包队伍甚至单个机手。治理结构的非对称性，决定了“企业再强也难以单独把控外部行为”，必须借助更高层级的社会治理力量把规则前置。

因此，从矛盾论看，第三方损坏之所以顽固，是因为其根子不在“末端能力”，而在“结构冲突”。如果不抓住这一本质，就会把主要矛盾当次要矛盾处理，出现“投入很大、收效有限”的治理困境。

3 外部人为活动的矛盾分析

矛盾论强调，任何矛盾都有两方面，必有一方面居于主要地位，规定着矛盾的性质。就第三方施工损坏而言，矛盾双方大体可以表述为：

一方是管道安全控制体系：制度、巡护、监测、标识、宣传、应急；另一方是外部人为活动：项目建设、临时开挖、抢修抢建、违规施工。

在当前阶段，应当清醒认识到：外部人为活动往往是主要矛盾方面。理由有三点：

①外部活动的随机性、突发性更强，损坏后果更直接；

②外部活动的利益驱动更强，存在规避监管、

压缩手续的内生冲动；

③外部活动的组织链条更长，责任更易稀释，导致“制度在纸上、执行在末端”的断裂。

这意味着，企业若把治理重点长期放在“把自己的系统做得更强”，而没有把外部主导面纳入可治理结构，就会陷入被动：永远在追着外部变化跑，永远在末端救火。

4 人防与技防的矛盾分析

第三方损坏治理中，人防与技防常被简单对立：要么强调“靠人不可靠”，要么强调“技术万能”。但矛盾论的同一性与斗争性告诉我们：两者是统一体中的两个方面，既相互依存又相互制约。关键在于弄清：在什么矛盾条件下，哪一方面居于主导地位；两者如何形成合力；各自边界在哪里。

(1) 技防：提升“发现与证据能力”，但难以替代“前置约束能力”。

技防的价值非常明确：在风险识别上，提升覆盖范围与时效性；在处置决策上，提供客观证据链；在事后追责上，形成可核验记录；在高风险区域上，形成“常态化威慑”。但也必须承认其局限：技防主要解决“看见”和“证明”，很难解决“让对方不做”。尤其面对小型、临时、碎片化施工，技术系统可能存在盲区、误报漏报、响应滞后等现实问题。更重要的是，即便技术发现了风险，如果现场缺乏可立即施加约束的力量，风险仍可能在短时间内转化为事故。

因此，技防在这一问题上更像“盾牌”，而不是“刹车”。它能增强防御，却不天然具备前置制动能力。

(2) 人防：真正的“前置约束”来自社会关系与属地化机制。

人防如果仅理解为“多走几趟、多看几眼”，确实容易被认为效率低、成本高。但在管道行业实践中，真正有效的人防往往并非体力巡查本身，而是背后的属地化机制和社会动员能力：谁能第一时间获知“哪里要动土”；谁能在施工刚启动时就介入、叫停或纳入监护；谁能把管道安全要求转化为当地的共同规则；谁能使“违规动土”在社会层面变成高成本行为。

例如无人机巡线替代问题，其关键并不在“飞得够不够勤”，而在于“是否切断了与当地社会结

构的连接”。在某些地区，本地巡线人员兼具信息节点、协调节点、威慑节点三重身份，其作用远超技术巡查：他们能提前获得线索，能在现场用社会关系施加影响，能在矛盾激化前把问题化解掉。这种能力是纯技术系统难以复制的。

因此，从矛盾论看，人防并非落后，而是对“外部人为主导面”这一矛盾结构的现实回应。在外部活动占据主要矛盾方面的条件下，人防往往承担着更关键的前置约束功能，管道企业要善于走好群众路线。

(3) 人防与技防的正确关系：不是替代，而是“前置—感知—处置”的链式协同。

把人防与技防放到同一个治理链条中，理解更清晰。人防偏“前置约束”：靠属地协同、关系嵌入、制度执行把动土行为纳入可控流程；技防偏“广域感知与证据固化”：在规模化、常态化监测中提高发现概率与响应效率；管理机制偏“快速处置”：发现后能否迅速形成现场控制力、执法支撑力、协调动员力。只有三者形成有效协同并构建闭环机制，才能将外部活动这一主要矛盾方面逐步纳入可治理、可控制的范围。

5 矛盾对抗的化解

矛盾斗争发展到激烈阶段会表现为对抗。对管道企业而言，泄漏事故、紧急停输、抢维修、舆情冲击等，都是矛盾激化后的对抗形式。治理的高水平，不在于对抗时反应多快，而在于让对抗尽量不发生。要做到这一点，就必须把工作重心从末端转向前端，把矛盾解决在萌芽或初发阶段。

结合第三方损坏的本质矛盾，至少应推动三个“根本性转变”。

(1) 从“企业单点治理”转向“纳入地方空



安全技术交底/李虎 摄

施工现场宣传/祁发明 摄



间治理体系”。既然主要矛盾是空间开发逻辑与安全控制逻辑的冲突，那么根本路径就不是企业内部再加码，而是推动管道安全要求进入地方空间治理与工程建设治理体系，使其成为“前置规则”。重点不在口号，而在机制化：①规划、立项、审批阶段对管道保护要求的硬约束；②动土许可、施工报备、现场监护的流程闭环；③对违法施工的可执行惩戒机制。只有当管道安全成为地方治理的刚性约束，外部活动的主导面才可能被结构性削弱。

(2) 从“事后追责”转向“过程强制纳管”。第三方施工损坏的共同点是：一旦发生就可能造成不可逆损失。仅靠事后追责无法弥补损害，也难以形成足够威慑。根本解决在于把外部动土行为强制纳入过程控制：①明确“动土必报备、必交底、必监护、必验收”的底线；②将监管重点放在“开工前24小时—开工后2小时”的高风险窗口；③强化对分包末端的约束，避免责任在合同链条中被稀释。这是把矛盾解决在“生成风险的过程中”，而非停留在“风险造成后果的结果”上。

(3) 从“技术堆叠”转向“技防服务于治理闭环”。技术建设要避免“为了先进而先进”，其价值必须落在治理闭环上：①技防系统要能支撑“快速研判—快速联动—快速到场”；②要能固化证据链，支撑执法与追责；③要能服务属地协同，

让地方单位“愿意用、用得上、用得准”。

否则，技术再多也可能沦为“屏幕上的热闹”，难以改变矛盾结构。

6 结语

第三方施工损坏，表面是安全管理问题，本质是空间开发与线性基础设施安全控制边界之间的结构性冲突；在当前阶段，外部人为活动往往是主要矛盾方面，因此治理不能长期停留在企业内部“自我加码”，而必须推动安全规则前置，纳入地方治理体系，并构建“人防前置约束—技防广域感知—机制快速处置”的闭环。

运用矛盾论的思想方法，对企业管理最大的启示在于：面对复杂问题，不能被现象牵着走，而要透过现象抓住主要矛盾，抓住主要矛盾方面，进而配置资源、设计机制、形成合力。只有这样，才能从根本上降低第三方损坏风险，守住长输管道安全运行底线，更好服务国家能源安全大局。

参考文献：

- [1] 闫长征, 雷宏峰, 陈国庆, 等. 关于管道保护法第三十五条的讨论[J]. 管道安全保护, 2025(3): 10-16.
- [2] 张耀东, 戚爱华. 构建油气管道安全保护的长效机制—《中华人民共和国石油天然气管道保护法》述评[J]. 国际石油经济, 2010, 18(09): 9-16+93-94.
- [3] 董绍华. 中国油气管道完整性管理20年回顾与发展建议[J]. 油气储运, 2020, 39(03): 241-261.



作者简介：魏昊天，1996年生，博士研究生，讲师，研究方向为油气管道完整性管理。联系方式：13261162031, weihaotian@cup.edu.cn。

采煤沉降区内埋地煤层气输气管道安全保护探讨

王志勇 潘鑫 智秉瑞

山西国化能源有限责任公司

摘要：山西省境内煤炭资源较为丰富，地下煤矿开采导致地面沉降可能会引起埋地煤层气输气管道发生位移、形变等异常情况，严重影响管道的运行，也为企业的安全生产带来隐患。本文以实际工程为切入点，在资料收集基础上，详细探讨了采煤沉降区内埋地煤层气输气管道的开挖治理、监测监控、现场巡检、稳定回填、重点管理等相关保护措施，为企业做好管道安全保护工作提供相关实例支持与参考。

关键词：采煤沉降区；煤层气输气管道；开挖治理；应力监测；位移监测

山西省境内煤炭资源较为丰富，油气输送管道在规划建设过程中，不可避免地经过煤田等区域。地下煤矿开采或采掘形成采煤沉降区，会引起上覆岩层下沉，导致地表发生沉降、塌陷，使上方已建成的油气管道承受额外的载荷^[1]，轻则可能会随地表发生位移、沉降甚至变形，在管道本体尤其是受力点会产生应力集中的现象，如果应力超过管材承受强度，将会导致管道发生变形、断裂等失效后果，引发管道泄漏、爆裂等事故^[2]。

《石油天然气管道保护法》第四十六条规定，管道建设工程通过矿产资源开采区域的，管道企业应当与矿产资源开采企业协商确定管道的安全防护方案。因此，对途经采煤沉降区内的油气管道进行有效的保护和管理，是管道及其附属设施正常、安全稳定运行的重要保障。本文以山西某埋地煤层气输送管道为例，探讨沉降区管道安全保护的措施，为矿产资源开采区域的管道管理提供参考。

1 资料收集

矿界范围及开采历史、现状等资料收集。通过收集矿界及采掘资料，详细了解矿界分布区域及开

采历史、现状，在设计施工阶段尽量将管道敷设在非矿界区域或者完成开采且已稳定的区域。采掘资料应包含采掘深度、厚度等信息，如该煤层气输送管道途经的采空区采掘深度200 m左右，平均采厚3 m，巷道长度300 m，采掘巷道范围内管道长度220 m（图1）。

煤矿企业开采计划收集。对管道路由途经的煤矿采空区进行统计，与煤矿企业签订安全协议，建立沟通联络机制，实时掌握煤矿企业的采掘计划，以便提前对管道采取必要的安全防护措施。如该煤层气输送管道所属企业与煤矿企业于2023年2月完成对接，5月实施开采工作，8月对管道造成影响。

管道基本参数收集。该埋地煤层气输送管道的管径为508 mm，壁厚为8 mm，材质为L415M直缝埋弧焊钢管，采用3PE与外加电流联合防腐，设计

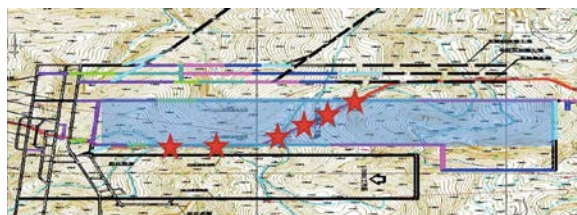


图1 采空区信息

压力6.3 MPa，GA1级。

2 保护措施

管道企业在开展日常巡检维护中发现，煤矿企业开始回采后，回采作业面上方的地面出现不同程度的沉降、错台，管道周围电杆出现倾斜。管道企业组织专家结合现场实际情况进行风险评估后，决定采取以下措施进行整治。

开挖治理。目前，采煤沉降区内埋地煤层气输气管道最有效的治理方式就是开挖治理，使管道处于受力相对自由状态。在地面沉降影响到管道之前，对该影响区域内的管道进行开挖释放应力后，在管道上方压覆装满细土的编织袋，稳固管道的同时防止防腐层遭受暴晒。对部分沉降区如下陷严重的地方进行回填平整，对悬空管道使用装满土的编织袋填塞。用细土填满编织袋缝隙及管道两侧，保证阴极保护的有效性（图2）。

监测监控。针对已开挖管道采取位移监测、应力监测以及视频监控等技术措施，设定报警阈值，通过无线通讯实时传回监控中心。位移监测可实时监控管道周围地面位移情况，掌握采空区沉降的范围及时间，在不同阶段采取不同的巡护方式，如该区域沉降情况通过位移监测显示，在2025年8月后趋于稳定（图3）。实时监控管道监测点的应力变

化，掌握管道的受力情况，及时采取措施防止应力超过管道的安全阈值，如管道企业在现场关键部位设置了4处应力应变监测点，对管道本体的应力和应变进行24小时不间断监测，经过长达两年的应力应变监测，监测点部位管道本体应力应变无明显变化，较为稳定（图4）。

管道企业还设置了视频监控，24小时监控现场地面以及周围环境，确保第一时间发现异常情况，及时启动应急响应，针对管道周围存在电力线路等杂散电流干扰，采取智能阴极保护测试桩对断电电位进行不间断监测（图5）。

现场巡检。管道企业对采空沉降期内的管道巡检人员、频次、时间、内容等进行了详细规定，并通过管道巡检管理系统监督巡检质量，确保第一时间发现问题并及时处理。目前该区域的管道巡检次数为每日徒步巡检2次，分别由属地巡线工和所属输气站巡线岗员工在上午下午时间段各执行1次。

稳定回填。采空区地表沉降稳定后对管道进行详细的检查和检测，包括管道外观检查、环焊缝检测、防腐层电火花检测等，确定无任何缺陷后进行回填处理。针对下沉严重管段，在具备条件的区域实施局部降管或者迁改。

重点管理。对回填后采空区管道立案建档，作为后期线路巡护、管道检测、应急处理等重点监控



图2 完成开挖治理的管道

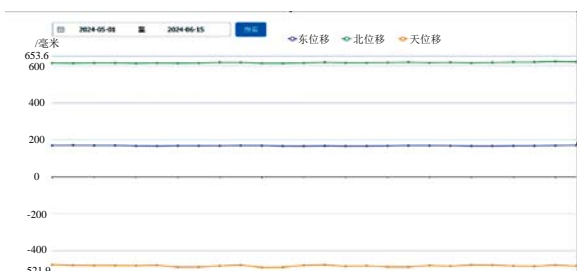


图3 位移监测数据曲线

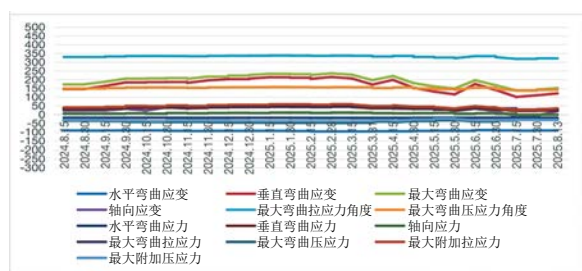


图4 某监测点一年内应力应变监测数据



图5 现场监控（左）及智能阴极保护测试桩（右）

部位，一旦发现问题及时处理。

3 结语及建议

通过提前对接，详细掌握相关资料、数据，及时采取管道保护措施，可避免因采空区沉降引发输气管道突发事件，有效保障管道安全运行。随着煤层气输气管道使用年限增加，煤矿企业采掘范围扩大，管道企业需高度重视采煤沉降区管道的安全管理。在后期管道运行管理中，需持续引入InSAR、无人机、北斗系统等新技术，让高精度、自动化、实时化监测预警技术成为采空区管道管理的重要手段。同时，还要认识到采煤沉降区内输气管道的安全运行作为一项系统工程，需要政府的支持、煤矿企业的配合、管道企业精细管理等多方共同努力。为此，建议如下。

一是严格落实法规要求。管道企业和矿产资源开采企业要严格执行管道保护法相关规定，落实管道安全防护措施。管道企业应严格落实主体责任，制定采空区及沉降影响区管道的专项巡护计划，利用人工巡查与技术监测手段，及时发现并治理隐患。矿产资源开采企业应严格履行保护义务，履行与管道企业约定的防护设施或采取其他防护措施，避免因发生地面塌陷、裂缝、沉降等地质灾害危及管道安全。

二是深化政企协同合作。管道企业应主动与管道保护主管部门、应急、自然资源等政府部门，以及沿线煤矿企业建立常态化合作机制。通过签订

安全共管协议、成立联合工作小组、定期召开协调会议等形式，固化沟通渠道，建立健全沟通联络机制，实现信息、资源等共享。探索搭建统一的信息交互平台，实现采掘活动与管道运行状态的动态对接与风险预警联动。

三是加强应急管理和事故响应。制定并完善专项应急预案，明确管道企业、矿产资源开采企业和政府主管部门等职责，加大应急管理方面的投入，建立地质灾害易发区的监测监控预警机制，配备相适应的抢修设备与物资，定期开展针对沉降突发事件的联合应急演练，提升快速响应、协同处置和恢复保障的能力，最大限度减轻事故影响。

参考文献：

- [1] 陈子峰，王德强，程新亮，等.煤矿开采过程中采空区沉降对输气管道的影响[J].管道技术与设备，2024(05): 14-21.
- [2] 杜彩霞，郭文朋，申倬伟，等.煤矿采空区输气管道沉降防治技术研究[J].能源技术与管理，2022，47(003): 8-9+98.



作者简介：王志勇，1984年生，硕士研究生，高级工程师，现任山西国化能源有限责任公司管道保护部经理，负责管道安全管理工作。联系方式：13453454160，542133770@qq.com。

输气站管道保护工作现存问题及优化措施

刘龙伟

山西国化能源有限责任公司

摘要：针对基层站场管道保护工作面临外部隐患排查难度大、内部腐蚀防护不完善、应急处置能力不足、宣传教育覆盖面窄、专业人才短缺等突出问题，既有政策监管、技术水平等宏观因素，也有基层管理、执行落实等微观原因。需要从强化外部隐患治理、完善内部腐蚀防护、提升应急处置能力、加大宣传教育力度、加强人才队伍建设等方面采取针对性优化措施，还需要政府、企业、社会各界形成合力，强化政策支持与监管，加大科技创新投入，深化行业协同合作，完善管道规划建设管理，构建“政府监管、企业负责、社会参与、科技支撑”的管道保护新格局，推动各项措施落地见效。

关键词：天然气管道；管道保护；安全运行；优化措施

某输气站场负责辖区内74公里天然气管道，途经3个县区、8个乡镇，涵盖山区、河流、农田、城镇建成区等多种地貌。通过分析总结冬季保供、日常巡检维护等运行管理实践经验，站场2023—2024年隐患排查、应急处置等工作数据，反映出当前管道保护工作仍存在诸多亟待解决的问题。本文立足基层站场实际，聚焦管道保护工作的痛点难点，结合具体案例与数据深入分析问题成因，提出切实可行的优化措施与建议，旨在为推动管道保护工作科学化、规范化、精细化发展提供有力支撑。

1 问题与差距

(1) 管道外部安全风险隐患防范难度大。

第三方施工损坏与违法占压已成为威胁管道安全的主要外部因素。该输气站场2023年共排查出第三方施工隐患46起，其中32起未经备案擅自施工，占比达69.6%。如2023年8月，某建筑公司在管道沿线进行道路拓宽施工时，未与站场沟通便使用大型挖掘机作业，导致管道防腐层破损面积达0.8平方米，险些造成天然气泄漏。造成该类问题的主要原因是管道呈现点多面广的特点，传统人工巡

检只能巡查一时不能持续关注，有些第三方施工因手续不全甚至会有意避开巡查时间，偷偷施工，防不胜防。

管道沿线违法占压问题也十分突出。截至2024年6月，站场辖区内仍存在12处违法搭建物，其中7处为居民自建房占压管道安全防护带，不仅阻碍日常巡检，还存在外力挤压可能导致管道变形的风险。造成该类问题的主要原因有三种，一是违建项目发现不及时，导致其已建成或者建成一部分才发现，违建单位投了时间金钱让其拆除不易，处理很被动；二是违建项目发现及时，但建设方不听劝阻，相关政府部门处理不及时或不妥当导致小问题变成大问题；三是部分违建项目甚至还有当地政府的批复文件，比如修建的养殖牛场、猪场等项目，拆迁成本大。

此外，管道穿越山区与林地的42公里区段，受地形限制，人工巡检需徒步完成，单程耗时长达6小时，部分区域因植被茂密无法近距离检查，导致隐患漏检率约为8.3%左右。造成该类问题的主要原因是前期设计未考虑巡检便道的修建以及后期修建巡检便道成本投入的问题。

（2）老旧管道腐蚀严重与监测短板并存。

站场辖区内有38公里管道建设于2005年之前，占总里程的29.7%。2023年管道腐蚀检测数据显示，该部分管道外部防腐涂层老化、脱落率达35%，内壁局部腐蚀最大深度达0.3毫米，超过安全阈值。站场现有腐蚀监测设备仅能覆盖主干管道的60%，且多为传统人工检测方式，检测周期长达3个月，难以实现实时监测。2024年3月某支线管道因内壁腐蚀导致泄漏，经排查发现该区域已连续6个月未进行腐蚀检测，错过最佳维护时机。此外，天然气预处理工艺存在短板，进站天然气露点平均为-15℃，未达到-20℃的标准要求，加剧了管道内壁腐蚀速度。

（3）应急物资、演练与联动机制均存在薄弱环节。

站场现有的应急物资储备中，3台堵漏设备已使用超过5年，存在密封性能下降问题；应急发电机、消防水带等物资缺口达20%，无法满足大规模泄漏处置需求。2023年组织的4次应急演练中，有3次为桌面推演，实战化演练占比仅25%，且演练场景单一，未涉及恶劣天气、夜间泄漏等复杂情况。员工应急技能不熟练，演练中平均堵漏时间达8分钟，超过5分钟的标准要求。与地方应急、消防部门的联动机制不健全，2024年1月某管道泄漏事故中，因信息沟通不畅，地方消防队伍延迟30分钟到达现场，影响了处置效率。

（4）管道保护宣传教育覆盖面不足。

2023年至2024年站场共开展线下宣传12次，均以张贴标语、发放传单为主，形式单一，覆盖群众仅2000余人次，而管道沿线涉及群众达1.2万人，宣传覆盖率不足17%左右。线上宣传仅通过站场微信公众号发布信息，阅读量平均不足300次。宣传效果不佳导致群众安全意识淡薄，违规行为频发，2023年共发现群众在管道沿线焚烧秸秆、挖掘取土等危险行为38起，如2023年10月某村民在管道旁焚烧秸秆，导致管道防腐层局部过热老化，直接经济损失达1.2万元。

（5）人才结构与培训体系难以适应工作需求。

站场管道保护岗位员工共28人，其中45岁以上占比达57%，30岁以下仅3人，年龄结构严重老化。员工中具备中级及以上专业技能证书的仅8人，占比28.6%，且近3年无新增持证人员。企业



桩牌维护/刘龙伟 供图

培训缺乏系统性，2023年共组织培训4次，平均每次时长仅2小时，培训内容以理论知识为主，实操训练占比不足30%。由于基层站场工作环境艰苦、薪酬待遇缺乏竞争力，2023年有4名年轻专业人才离职，人才流失率达14.3%。

2 优化管道保护工作的具体措施

（1）强化外部隐患排查治理。

一是建立第三方施工全流程管控机制。与地方住建、交通部门建立月度沟通机制，提前获取沿线施工计划，2024年完成32个施工项目备案。施工前组织专项培训，签订安全协议；施工过程中安排2名专职监护人员现场监督，配备便携式管道定位仪，实时监测施工位置，2024年上半年第三方施工隐患同比下降41%。二是联合地方政府开展违法占压专项清理行动，制定“一户一策”清理方案，通过法律宣传与政策引导，2024年拆除违规搭建物14处。三是优化“人工+智能”巡检模式，投入80万元新增2台无人机、15套振动传感器和10套泄漏检测仪，实现山区、林地等重点区段全覆盖监测。智能设备可实时传输数据，隐患报警响应时间从2小时缩短至15分钟，2024年上半年隐患漏检率降至1.2%。

（2）完善管道内外部腐蚀防护体系。

管道内部腐蚀防护措施。2024年投入120万元，采用新型聚脲防腐材料完成15公里腐蚀严重管道的防腐涂层更新，预计年均可减少后期维修成本本年均30万元。建立防腐涂层定期检测制度，每季度采用漏磁检测技术开展全面检测，检测覆盖率达100%，2024年累计发现并修复涂层破损点27处，

有效避免局部腐蚀扩大。投入85万元引入超声波检测设备与分布式光纤传感技术,实现管道腐蚀厚度、应力变化的实时监测,数据采集频率达每分钟1次,监测精度误差 $\leq 0.1\text{mm}$ 。同步建立腐蚀监测数据库,整合近5年管道腐蚀数据,每月生成专项分析报告,通过大数据模型预测腐蚀发展趋势,预测准确率达89%。2024年上半年通过监测数据提前处置3处潜在腐蚀隐患,避免管道泄漏风险,间接减少经济损失约120万元。投入60万元采用三甘醇脱水技术改造2套脱水装置,从源头降低潮湿介质对管道的电化学腐蚀风险,使管道内壁腐蚀速率下降25%。针对含湿量较高的3条支线管道,每月定期注入气相缓蚀剂,形成厚度为 $5\ \mu\text{m}\sim 8\ \mu\text{m}$ 的均匀保护膜,经检测可使管道内壁腐蚀速率降低40%,尤其适用于天然气中 H_2S 含量 $\geq 5\ \text{mg}/\text{m}^3$ 的苛刻工况,有效延长管道使用寿命。每半年开展1次全线清管作业,清除管内积液、机械杂质及腐蚀产物,使管道流通效率提升12%,配合内检测同步开展,确保清管效果达标率100%。

管道外部腐蚀防护措施。每年采用PCM管道防腐层检测仪对74公里埋地管道开展2次全面检测,检测深度达 $1.5\ \text{m}\sim 3.0\ \text{m}$,2024年累计发现并修复破损点35处,修复及时率100%。对所有埋地管道采用3PE防腐涂层(厚度 $\geq 2.5\ \text{mm}$)配合阴极保护系统,主干管道采用强制电流阴极保护,经CIPS检测,管道保护电位稳定在 $-0.85\ \text{V}\sim -1.2\ \text{V}$ 之间,电化学腐蚀防护覆盖率达100%。针对30公里穿越酸性、盐渍化土壤的管道区段,铺设 $10\ \text{cm}\sim 15\ \text{cm}$ 厚砂石垫层及高密度聚乙烯防腐卷材,使土壤pH值从 $4.5\sim 5.5$ 优化至 $6.5\sim 7.5$,土壤电阻率提升至 $100\ \Omega\cdot\text{m}$ 以上,降低土壤腐蚀性;对8公里穿越沼



泽、水田的管道,采用钢套管+防腐涂料双重隔离,避免土壤直接接触管壁,使该区段管道外部腐蚀速率下降35%。排查管道沿线5处电气化铁路、高压输电线路等杂散电流源,安装12台极性排流器,将管道杂散电流密度控制在 $0.2\ \text{mA}/\text{m}^2$ 以内,较防护前降低80%,有效避免杂散电流导致的管道局部点蚀,2024年未发生因杂散电流引发的腐蚀破损问题。

(3) 提升应急处置能力。

一是健全应急物资储备体系,2024年投入50万元补充应急堵漏设备、消防水带、防护用品等物资,更换老化设备6台,建立物资定期检查维护制度,每月进行一次全面盘点,确保物资完好率达100%。二是强化实战化应急演练,制定年度演练计划,每季度开展一次实战化演练,增设夜间泄漏、暴雨天气等复杂场景。邀请地方消防、医疗部门专业人员现场指导,提升员工应急技能,2024年上半年演练平均单次堵漏时间缩短至4分钟。三是完善应急联动机制,与地方应急、消防、医疗部门签订联动协议,建立微信群实时沟通平台,每半年开展一次联合应急演练,2024年5月联合演练中,各部门协同响应时间较之前缩短25%。

(4) 加大宣传教育力度。

一是采用“线上+线下”融合模式丰富宣传形式。输气站场通过抖音、视频号等群众喜闻乐见的线上平台,制作发布管道保护科普短视频、典型案例警示片20余条,其中《管道安全“十不准”》短视频播放量达5.3万次,点赞量1.2万次;联合地方融媒体中心开设“管道保护专栏”,每周推送政策法规、安全知识等内容,覆盖用户8000余人。线下创新开展“管道保护进社区、进学校、进乡村”主题活动,模拟管道泄漏应急处置演示、安全知识抢答、发放定制宣传礼品等互动形式,提升宣传吸引力。2024年上半年累计开展线下活动8场,覆盖群众6000余人次,宣传覆盖率提升至50%。二是精准定位宣传对象,针对施工单位负责人、沿线村干部、村民代表等重点群体开展专项培训3场,发放《施工单位管道保护指南》《村民管道安全手册》等针对性资料1200余份,现场解答疑问300余条。三是健全群众参与机制,设立24小时管道保护举报电话,制定《管道保护举报奖励办法》,对举报属实的群众视情况给予500~2000元现金奖励。2024

年上半年共接到有效举报6起，成功处置隐患6处，发放奖金3000元，充分调动了群众参与积极性。

(5) 加强专业人才队伍建设。

一是优化人才培养体系，制定“分层分类”培训计划。针对新员工开展为期3个月的岗前集中培训，涵盖管道巡检、腐蚀防护、应急处置等实操技能训练；针对老员工开展“技能提升班”，每季度邀请行业专家、技术骨干进行新型设备操作、先进技术应用等专题授课。2024年上半年累计开展培训6次，时长达48小时，实操训练占比提升至60%；组织员工参加行业技能竞赛、技术交流活动4次，2名员工获得“省级管道保护技术能手”称号。二是完善人才激励机制，修订《薪酬分配管理办法》，将专业技能等级、工作业绩与薪酬待遇直接挂钩，中级及以上技能证书持有者月均工资上浮20%；设立“管道保护先进个人”“隐患排查能手”等专项奖励，每年评选表彰10名优秀员工，给予现金奖励与晋升优先资格。三是构建人才梯队，实施“导师带徒”计划，安排8名经验丰富的老员工与5名新员工签订师徒协议，通过一对一指导加速青年人才成长。建立人才储备库，将35岁以下、具备潜力的员工纳入储备名单，针对性制定培养计划，为管道保护工作可持续发展提供人才保障。

3 建议

强化政策支持与监管力度。建议政府相关部门进一步制定《石油天然气管道保护法》实施细则，明确管道安全防护带划定标准、第三方施工审批流程、违规行为处罚额度等具体条款，增强法律可操作性。建立跨部门联合监管机制，由住建、交通、应急、自然资源等部门组成联合检查组，每半年开展一次管道安全专项督查，对第三方施工违规操作、违法占压等行为依法从严处罚。将管道保护工作纳入地方政府安全生产考核体系，压实地方政府监管责任，推动管道保护工作落地见效。

加大科技创新与投入力度。建议管道企业设立管道保护科技创新专项基金，每年投入不低于年度营收的1%用于技术研发与设备更新。联合高校、科研机构攻关智能巡检机器人、管道腐蚀在线监测

系统、泄漏应急处置新技术等关键技术，推广应用无人机激光巡检、卫星遥感监测等先进手段，实现管道保护全流程智能化。搭建省级管道保护信息化管理平台，整合各站场巡检数据、腐蚀监测数据、应急处置记录等信息，实现数据共享、实时分析与智能预警，提升行业整体管理水平，如某省已建成省级管道安全监测平台，将隐患处置效率提升了30%。

深化行业协同与交流合作。建议由行业协会牵头，建立全国性天然气管道保护经验共享平台，定期组织行业研讨会、现场观摩会，推广基层站场优秀管理模式与实操经验。推动跨区域、跨企业管道保护协同联动，建立应急物资共享机制与应急救援联动体系，在突发事件处置中实现人员、设备、物资快速调配，如相邻站场之间可签订应急互助协议，共享大型堵漏设备、无人机等资源，降低单独储备成本。同时加强与国际先进企业的交流合作，引进吸收国外管道保护先进技术与管理经验，结合我国实际进行本土化创新，提升我国天然气管道保护工作水平。

完善管道规划与前期建设管理。建议在土地总体规划与管道建设规划中，充分考虑管道安全需求，避开人员密集区、重要基础设施等区域，合理规划管道安全防护带。加强管道建设前期勘察设计与施工质量管理，选用高质量管材与防腐材料，严格执行施工规范，从源头提升管道安全保障能力。建立管道建设与后期保护衔接机制，施工单位须向运营单位移交完整的管道竣工资料、隐患排查记录等文件，确保后期保护工作有据可依。加大对老旧管道更新改造的政策支持与资金投入，制定老旧管道改造三年行动计划，优先改造腐蚀严重、安全风险高的管道区段，彻底消除安全隐患。



作者简介：刘龙伟，1988年生，本科，中级注册安全工程师，输气站站站长，主要从事长输天然气区域站安全生产管理工作。联系方式：15025588357，1119467007@qq.com。

燃气工程特种作业安全管控措施探讨

董宏尧 张大杰

广州燃气集团有限公司

摘要：在城镇燃气管道建设突飞猛进的同时，天然气在国内各行各业中的地位也日益凸显。作为居民日常生活的重要能源之一，天然气易燃、易爆的特点，使其安全使用与管理，成为保障人民群众生命财产和社会稳定的重要课题。加强城镇燃气工程安全管理，更要特别加强燃气工程特种作业的安全控制。本文旨在探讨燃气工程特种作业的安全管控措施，为燃气工程项目的建设与安全

关键词：燃气工程；特种作业；高空作业；重型机械作业；动火作业；城镇燃气

在当前经济建设和人们的日常生活中，天然气作为一种重要的清洁能源得到了广泛的应用。但天然气的易燃易爆特性，使城镇燃气工程安全管理成为保障人民生命财产和社会稳定的重中之重。特别是燃气工程特种作业施工环境复杂、风险较高，安全隐患较大，需要更严格的安全管控措施。本文从多个角度探讨燃气工程特种作业的安全管控措施，以供参考。

1 燃气工程特种作业概述

1.1 定义

燃气工程特种作业是指在燃气工程建设过程中，包括高空作业、重型机械作业、动火作业、有限空间作业、临时用电作业等涉及高风险、高技能要求的作业项目。这些作业项目具有较高的危险性^[1]，在发生意外时往往会发生严重的伤亡事故和财产损失。

1.2 特点

高风险性。由于作业环境复杂、技术要求高，特种作业具有较高的风险性。

高技能要求。特种作业需要作业人员具备较高的专业技能、资格证书和丰富的经验，以确保作业过程中的安全。

高监管要求。为确保特种作业的安全，需要加强对作业过程的监管，及时发现并消除安全隐患。

1.3 重要性

保障施工人员生命安全的核心价值。在燃气工程的特种作业中，如高空作业、重型机械操作及动火作业等，每一项都蕴含着极高的风险。这些作业环节不仅考验着施工人员的专业技能，更对他们的生命安全构成了直接威胁。因此，强化安全管控，通过制定严格的安全规章制度、提供专业的安全培训以及配备必要的安全防护装备，成为降低事故风险的坚固防线，守护施工人员的生命安全。这既是尊重建筑工人的基本权益，也是企业社会责任感的

一种表现。确保工程质量与安全的双重保障。特种作业质量作为燃气工程施工的关键环节，直接影响着工程的整体安全与稳定。强化安全管控，就是要在操作过程中严格按照操作规程去做，确保操作的每一个步骤都准确无误，万无一失。这样既能提高特种作业本身的质量，又能有效防止因施工不当而产生的安全隐患，从而为百姓提供安全可靠的用气服务，从而全面提升燃气工程的整体质量，这就是一种安全、可靠的用气服务。

维护社会稳定与和谐的基石。燃气工程作为关

乎国计民生的基础设施项目，其安全施工与有效管理对于维护社会稳定具有不可估量的价值。加强特种作业安全管控，最大限度地减少建筑施工安全事故的发生^[2]，避免因事故引发的经济损失和社会影响，进而使可能引发的社会矛盾和不稳定因素得到有效缓解，这是一项社会治理工作的重点。此举既是对公共安全的负责，也是对社会和谐稳定的有力支持，夯实了和谐社会建设的基础。

2 燃气工程特种作业安全管控现状

制度层面的不完善。部分燃气施工企业尚未建立系统、全面的特种作业安全管理制度，导致作业流程缺乏明确规范，安全管理存在漏洞。例如，某市老化燃气管道改造项目并网时，因动火作业许可制度执行不严，作业前未进行可燃气体检测，也未落实作业审批手续，最终引发闪爆事故，造成人员伤亡。该案例反映出制度缺失或执行不到位，使得安全管理缺乏有效约束，显著增加事故风险。

监管层面的不到位。部分地区在燃气特种作业监管中存在力度不足、手段滞后等问题，导致监管盲区频现。例如，在合肥某小区进行天然气管道安装，项目部未配备专职安全员，工人自行安排施工作业，项目部管理人员不在场，未及时发现并制止违规作业行为，最终发生一起高处坠落事故，造成1人死亡。此类事件凸显监管资源配置不均衡、技术手段落后等问题，难以实现全过程有效监督。

作业人员安全意识层面的淡薄。部分作业人员安全意识不足，违规操作、冒险作业现象突出，加之安全培训不到位，进一步加剧作业风险^[3]。如在江苏某中压天然气管道碰通工程受限空间作业时，因作业人员未按规定佩戴防护面具、未系安全绳，并在未开启通风设备的情况下，盲目冒险下井作业，导致中毒窒息，造成2人死亡。该案例不仅反映个体安全意识薄弱，也暴露出企业安全教育和现场监督的严重缺失

3 燃气工程特种作业安全管控措施

3.1 通用管控措施

完善安全管理制度。燃气施工企业应建立完善的特种作业安全管理制度，明确作业过程中的安全要求、操作规程和应急措施。制度应涵盖作业人员的资质要求、作业前的安全交底、作业过程中的安

全检查和防护措施等方面。同时，制度应具有可操作性 and 可执行性，确保作业人员能够严格按照制度要求进行作业。

加强安全培训和教育。燃气施工企业要加大对操作人员的安全培训教育，提高操作人员的安全防范意识，提高操作技能。培训内容应包括特种作业的安全操作规程、应急处理措施、安全防护知识等方面。培训方式可采取多种形式，如集中授课，现场演示，模拟演练等。通过培训教育，使操作手掌握必要的安全防范知识和技能，提高了操作手的自我保护能力和应急处置能力。

严格作业前安全交底。在特种作业前，施工单位应组织作业人员进行安全交底，明确作业任务、安全要求和防护措施。交底应该包括各个方面的内容，比如作业过程中的危险点、危险程度、安全注意事项等等。交底应详细、清晰，确保作业人员能够充分了解作业过程中的安全要求。同时，交底应形成书面记录，以备查阅和追溯。

强化作业过程中的安全检查。在特种作业过程中，监理单位^[4]、施工单位应加强对作业现场的安全检查，发现并及时消除安全隐患。检查内容应包括作业人员的操作行为、安全防护设施的有效性、作业环境的安全状况等方面。检查应定期进行，并形成书面记录。对于发现的安全隐患，应立即采取措施进行整改，确保作业过程中的安全。

落实安全防护措施。施工单位在进行特种作业时，为保证作业人员的安全，应采取必要的安全保护措施。包括但不限于安全带、安全网、防护栏杆、警示牌等，应根据作业种类、危险程度等确定防护措施。同时，施工单位应加强对安全防护设施的维护和管理，确保其始终处于良好状态。

加强应急管理和救援能力。燃气施工企业要建立完善的应急管理制度，制定应急预案和抢险措施。应急预案要做到心中有数，对各类可能发生的安全事故做到心中有数，并明确处理过程，明确突发事件的责任分工。同时，施工单位要提高作业人员应急反应和协同作战能力，定期组织应急演练。建筑施工单位一旦发生安全事故，要立即启动应急预案，迅速组织抢险救援力量，把人员伤亡和财产损失降到最低程度。

规范施工市场环境。燃气工程的安全生产和其市场环境有很大的关系。作为燃气施工企业，应严

厉惩治非法的私自承包工程行为，对燃气施工过程中肢解施工项目的行为，要追究法律责任。同时，市场外的监管也应到位，利用切实有效的办法和手段有效规范市场环境，及时遏制和处理不良因素，规避燃气施工过程中的不安全因素。

3.2 专项管控措施

高空作业的安全管理。在燃气工程施工中，经常需要进行高空作业，尤其是当燃气立管敷设在外墙时，作业难度较高。因此，必须采取有效的措施加以避免。在施工计划中，应完整地将施工所需的机具和材料，以及采取的技术措施列入其中。同时，应做好现场技术交底工作，在施工前仔细检查设备、工具和安全标志。确保高空作业人员身体健康、技术熟练，并做好作业人员的体检和考核工作，没有相关资格的人员不得从事高空作业。

重型机械使用的安全管理。对于重型机械的拆装、重大构件的吊装、运输、机械保养、修理作业，要提出保障人身和机械安全的措施。认真进行机械安全检查，消除隐患，确保安全装置灵敏可靠。杜绝由于操作不当、带病运转、管理不严、保管不善、指挥失误等造成的机械损坏、人员伤亡等机械责任事故。机械设备发生故障后，应由专人排除，严禁操作人员擅自排除，避免由此而造成事故。机械在运行中，严禁对其进行维修、保养和调整作业。

电焊、气焊（割）等动火作业^[5]的安全管理。电焊、气焊（割）等动火作业施工现场应设置警戒线、警示牌以及两具以上相应的灭火器具。动火作业前，必须按照相关规定办理动火证^[6]。动火证应明确动火地点、时间、作业内容、安全技术措施等关键信息。动火证需要经过相关部门批准后方可施工，审批过程中，相关部门应对动火作业的安全性进行评估，确保各项安全措施得到有效落实。监护人负责监督动火作业的全过程，确保各项安全措施得到有效执行。监护人不在现场时严禁动火作业。

有限空间作业的安全管理。进入限制空间作业（如阀井、阀室等），严格实行作业审批制度，任何有限空间作业必须事先经过审批，严禁擅自进入有限空间作业。作业申请单应详细填写作业内容、时间、地点、作业人员、监护人员等信息，并经过相关部门审批。必须系好安全带等防护用品，现场必须指派两人以上的监护人员参加，严禁单独作

业。作业人员应严格遵守操作规程和安全规范，不得进行与作业无关的活动。同时，应随时注意自身身体状况，如出现不适或呼吸困难等情况，应立即撤离有限空间。

4 结语

燃气工程特种作业的安全管控是保障燃气工程施工质量和人员生命安全的关键环节。通过一系列综合措施的实施，包括完善安全管理制度、强化安全培训与教育、严格作业前安全交底、加强作业过程中的安全检查、落实安全防护措施、提升应急管理、救援能力、规范施工市场环境、重视高空与临边作业安全、加强重型机械使用安全及动火作业安全等，可以显著降低特种作业的安全风险，确保施工过程的平稳进行。

同时，加强燃气工程特种作业的安全管控需要政府、施工单位和社会各界的共同努力。通过完善法律法规、加强安全监管、推广先进技术和管理经验、加强宣传教育和应急管理等措施的实施，可以进一步提升燃气工程特种作业的安全水平，为燃气工程的顺利建设和长期安全运行提供有力保障。

参考文献：

- [1] 贾雷.城镇燃气工程危险源识别与控制的研究[J].石油化工安全环保技术, 2023, 39(04): 35-38+6-7.
- [2] 何永哲.从事事故预防角度对特种作业管理的分析与思考[J].中国安全生产, 2024, 19(05): 42-43.
- [3] 张新颖, 张因因.特种作业人员安全技术培训问题分析及建议[J].劳动保护, 2022, (02): 80-82.
- [4] 周健生.浅谈对特种作业人员的监理工作[J].建设监理, 2023, (09): 31-33.
- [5] 袁利锋.电气焊等动火作业消防管理问题分析和建议[J].城市与减灾, 2024, (04): 58-62.
- [6] 孙伟锋.强化动火作业风险管控[J].现代职业安全, 2023, (12): 14-17.



作者简介：董宏尧，1983年，本科，工程师，广州燃气花都有限公司副总经理，主要从事城市燃气工程管理、运营、安全技术等方面工作。联系方式：020-36885183, donghy@gdg.com.cn。

铁塔智慧监控在燃气管道巡查的应用

李刚 汪仁义

连云港中新燃气有限公司

摘要：地下燃气管网途经地形地貌复杂，第三方施工、地质灾害、非法侵占等外部风险日益突出，传统人工巡查模式面临高频次、高成本、高强度、高风险、低效率的行业痛点，难以实现全时段、全区域有效管控。依托管道沿线社会铁塔资源，整合人工智能、地理信息系统、大数据等技术，构建铁塔智能监控巡查体系，形成以“高点监控+AI智能识别+联动处置”为核心的全流程智能巡查模式，有效提升了管道巡查效率与隐患识别准确率，降低运营成本和安全风险，为燃气管网智能化运维提供了可复制、可推广的实践方案。

关键词：燃气管网；铁塔智能监控；AI识别；管道巡查；智能运维

随着城镇化进程加快，管道周边第三方施工（道路修建、建筑施工）、违法占压、非法挖掘等行为频发，加之暴雨、滑坡、沉降等地质灾害影响，管道破损泄漏风险居高不下。传统人工巡查依赖徒步或车辆巡检，受人员经验、天气条件、地形限制影响较大，存在巡查盲区多、隐患发现滞后、应急响应缓慢等问题，无法满足燃气管网安全运维的需求。有关数据显示，人工巡查单公里日均耗时约2小时，重点区域每周仅能覆盖1次，全年因巡查不及时导致的第三方施工损坏、管道占压等隐患占比达45%，年均用于隐患整改及事故处置费用超数百万元。部分偏远山区、水域穿越段等人工难以抵达的区域，长期存在巡查盲区，成为管道安全运行的薄弱环节，安全环保风险突出，给管网稳定运营带来较大压力。针对以上问题，连云港中新燃气管网运营部开展了铁塔智能监控在管道巡查中的应用研究，推动巡查模式向“技防为主、人防为辅”转型。

1 铁塔智能巡查技术系统

系统整体架构。针对传统人工巡查存在的外部环境复杂、风险源分散，巡查模式局限、效能低下，技术支撑不足、协同能力薄弱等问题，依托管

道沿线社会铁塔资源，搭建“前端感知+网络传输+后端处置”三级监控系统，实现全方位风险感知与智能管控。前端子系统采用定制化远距离昼夜监控摄像机，集成可见光、热成像、透雾功能，挂载于铁塔高点，覆盖半径可达3~5公里，实现对管道及周边区域的全景监控；传输系统依托光纤网络搭建专用链路，配置10~20M带宽，确保视频数据、预警信息实时传输，无延迟、无卡顿；后端平台整合人工智能（AI）分析模块、地理信息系统（GIS）、大数据处理模块，实现异常行为识别、定位、预警、派发全流程自动化处理。系统部署前，结合管道风险评估结果，在第三方施工多发区、地质灾害易发区、水源保护区、高后果区等重点区段，优化铁塔监控点位布局，确保监控范围无盲区，与人工巡查、无人机巡检区域形成互补。

AI智能识别与预警技术。基于深度学习算法，构建油气管道巡护特征行为库，优化AI识别模型，有针对性地解决传统监控无智能分析、需人工值守的问题。系统可自动识别第三方施工（挖掘机、铲车等机械作业、重车碾压）、非法侵占（违章搭建、堆载物占压）等异常行为；通过热成像与图像比对技术监测山体滑坡、地面沉降等地质灾

害；夜间及恶劣天气下切换热成像模式，捕捉管道温度异常、泄漏点等隐患，实现全天候不间断监控。通过持续的机器学习与人工干预优化，系统日均无效告警数量降低92%，误报率从初始10.6%降至2%，结合GIS系统实现预警地点精准定位，自动生成隐患相关信息并推送至运维人员移动端APP，完成出警任务派发。

多手段协同巡查机制。为解决单一巡查手段的局限性，构建“铁塔监控+无人机+人工”三位一体协同巡查体系，形成优势互补、高效联动的管控模式。铁塔监控实现大范围、常态化实时监测，发现异常后自动触发预警，后端平台同步调度无人机前往现场核查，搭载高清摄像头与红外传感器完成高精建模、细节拍摄及画面回传；对于无人机无法抵达或需现场处置的隐患，调度就近人工巡检人员前往核实、处置，形成“发现—预警—核查—处置—销号”的闭环管理流程。针对偏远山区、水域穿越等薄弱区段，强化铁塔监控覆盖以弥补其他巡查手段不足；在城市核心区等高人员密集区段，结合智能阀门、光纤传感器数据联动分析，提升隐患识别准确率。

2 应用效果评价

巡查效能显著提升。铁塔智能监控系统在中新燃气管网82公里重点管段试点应用以来，单管段巡查时间从人工日均2小时缩短至10分钟，实现全管段每日不间断全覆盖巡查，频次较人工巡查提升28倍；隐患识别准确率达98%，成功预警第三方施工、违章占压等隐患32处，提前规避管道碾压等风险事件4起，隐患发现周期从平均72小时缩短至1小时内，实现风险的超前预警与精准管控。

运营成本大幅降低。相较于传统人工巡查模式，试点区段巡护人员数量减少30%，每年可减少车辆行驶里程8万公里，降低碳排放65吨，节约人工、燃油、设备维护等费用超百万元。同时因隐患处置及时，避免了管道破损泄漏引发的抢修、赔偿等间接经济损失，经济效益显著。

安全环保风险有效管控。通过全天候、全区域监控，有效覆盖了原有人工巡查盲区，第三方施工损坏、非法占压等风险发生率下降75%。在水源保护区、森林公园等环境敏感区域，系统可快速识别泄漏、施工等风险，联动应急处置机制，最大限度

降低环境污染风险，确保管网运营符合安全环保要求，提升了管网完整性管理水平。

管理模式优化升级。基于铁塔监控采集的百万级影像数据，建立管道全生命周期数据库，结合隐患处置记录、风险评估结果，动态调整巡查重点区段与管控策略，实现“一段一策、一季一策”的精准化运维。同时，推动巡护人员从“盲查”转向“靶向排查”，工作重心从现场巡查转向数据分析、隐患复核，优化了人才配置与管理模式，为管网智能化运营奠定基础。

3 结语

铁塔智能监控巡查体系的构建与应用，突破了传统巡查模式瓶颈，通过“高点监控+AI识别+多手段协同”，有效解决了燃气管网巡查覆盖不全、效率低下、预警滞后等问题，安全防控效果显著，为燃气管网智能化运维提供了可行方案。但需关注铁塔位置与管道重点段路由的重合问题，对铁塔覆盖不全的地方可以增加单点监控设施等手段，进行重点补盲。

未来，需针对不同地形、不同风险类型管段，进一步优化铁塔监控点位布局与AI识别模型参数，扩大系统覆盖范围，提升对微小泄漏、隐蔽施工等复杂隐患的识别能力，完善“天空地一体化”协同巡查机制；推进多系统数据融合，将铁塔监控数据与管网资产完整性管理系统（IMS）、泄漏检测系统、应急调度系统对接，实现风险数据互通共享，构建智能决策平台，提升风险评估与应急处置的智能化水平；加强运维人员技能培训，提升人员对智能系统的操作、数据分析及隐患处置能力，建立与智能巡查模式相匹配的考核评价机制，确保系统效能充分发挥。铁塔智能监控技术的推广应用，对燃气企业降本增效、强化安全环保管控具有重要意义，助力燃气管网运维实现数字化、智能化转型。



作者简介：李刚，1989年生，本科，中级注册安全工程师、一级建造师，现任连云港中新燃气管网运营部主任，主要从事天然气场站管网运营管理工作。

汪仁义，1993年生，本科，高级工，现任连云港中新燃气管网运营部站长，主要从事天然气场站管网运行管理。

秦巴山区管道管理及防汛工作 创新实践与探索

杨雪魁 董富强

国家管网集团甘肃公司天水输油气分公司

摘要：本文聚焦天水输油气分公司在山区及湿陷性黄土区域的管道管理与防汛工作，深入剖析其创新工作方法与实践成果。通过“万米水渠”排水设施建设、“坡面覆盖”边坡防护、防汛管理“四必查”“四必带”制度、穿河显现化警示设置以及水泥毯巡检通道铺设等一系列举措，有效提升了管道在复杂地形及恶劣天气条件下的安全性与稳定性，为同类型区域的管道管理及防汛工作提供了宝贵的经验借鉴。

关键词：管道管理；防汛工作；山区管道；创新实践

随着我国能源运输网络的不断拓展，管道运输以其高效、安全、经济等优势，成为能源输送的重要方式^[1]。然而，管道铺设往往需穿越各种复杂地形与地质条件区域，尤其是山区及湿陷性黄土区域，管道面临着严峻的安全挑战。研究表明，黄土湿陷性灾害对管道工程的威胁在西北地区尤为突出^[2]。天水输油气分公司所辖“六干六支”管道地处秦巴山区，管道总长度达2082 km，穿越河流、河沟道483处，同时部分管道位于湿陷性黄土段，地形复杂，地质条件差，防汛压力巨大。在此背景下，天水分公司积极探索，创新工作方法，在管道管理及防汛工作中取得了显著成效。

1 管道管理及防汛工作的难点分析

1.1 复杂地形与地质条件的挑战

秦巴山区地形起伏大，地势陡峭，管道多沿山坡、河谷等复杂地形敷设。在汛期，强降雨极易引发山体滑坡、泥石流等地质灾害，对管道造成直接破坏。同时，湿陷性黄土具有遇水湿陷的特性，相关研究表明其湿陷系数可达0.015~0.070^[3]。当管道周边出现积水时，黄土湿陷会导致管道基础沉

降，进而引发管道变形、破裂等问题。此外，山区河沟道水流湍急，洪水冲击力强，对穿越河沟道的管道安全构成严重威胁。

1.2 第三方施工带来的风险

在管道沿线，第三方施工活动频繁，尤其是在河沟道附近的施工，极易扰动河沟道，改变水流方向，导致水流对管道的冲刷加剧。根据国家能源局近年发布的管道保护通报，第三方施工破坏仍是导致管道安全事故的主要风险源之一。施工机械的碾压可能直接损坏管道及其附属设施，如挖掘机、装载机重型机械在管道上方作业，存在压裂管道、破坏光缆的风险。而且，部分施工单位对管道安全重视不足，缺乏有效的安全意识和防护措施，进一步增加了管道安全风险。

1.3 巡检与维护的困难

山区管道巡检通道建设难度大，传统的巡检小道容易因雨水冲刷、杂草生长等原因损坏，导致巡检人员通行困难。研究显示，复杂地形下人工巡检效率较平原地区下降约40%^[4]。复杂的地形和恶劣的天气条件也增加了巡检工作的难度和危险性，影响了巡检工作的效率和质量。

2 管道管理及防汛工作的创新举措

2.1 “万米水渠”与“坡面覆盖”防护体系

天水分公司针对秦巴山区、湿陷性黄土段管道，在汛前预防和雨前布防中采取了“万米水渠”的创新措施。现场运用地理信息系统（GIS）对管道沿线地形地貌、水文特征进行三维建模分析，精准定位易积水区域和排水薄弱点。通过对管道周边排水设施进行全面排查和疏通，新建总长度超12 km的排水渠，形成了“主渠引流、支渠疏导”的完善排水网络。在排水渠建设过程中，采用预制混凝土U型槽结构，这种结构不仅具有良好的过水能力，且抗冲刷性能强，既能高效排水，又不会对渠体造成侵蚀。在管道沿线低洼汇水较严重的区段还设置了沉泥井，便于定期清淤维护，有效杜绝了低洼汇水点集聚造成的管沟塌陷问题。

同时，采用“坡面覆盖”的方式（图1）对横坡敷设、临边布设段管道边坡进行防护。依据边坡坡度、土质条件等因素，选用高强度、抗老化的三维土工网垫与防渗土工布组合覆盖材料。三维土工网垫具有良好的固土性能，能够有效固定坡面土壤，增强土壤抗侵蚀能力；防渗土工布则可阻止雨水直接渗入坡面土体，降低土体含水量。在实际施工中，先对坡面进行修整，清除浮石、杂草，再铺设三维土工网垫并锚固，然后覆盖防渗土工布，通过U型钉固定和热熔焊接技术，确保覆盖层紧密贴合坡面。以一处坡度45°、长度200 m的临边管道边坡防护工程为例，实施“坡面覆盖”后，经过连续两年汛期强降雨考验，坡面水土流失量较防护前减少了72%^[5]，有效预防了边坡垮塌对管道安全的影响。这种防护方式不仅能够提高边坡的稳定性，还能够减少后期的维护成本，具有良好的经济效益



图1 坡面覆盖防护示例

和安全效益。

2.2 防汛管理“四必查”“四必带”制度

为确保汛期管道安全，建立了完善的防汛管理“四必查”“四必带”制度。“四必查”即管道附近落水洞必查、不明确走向水路必查、低点汇水聚集点必查、管道坡脚扰动点必查。公司组建了由地质专家、管道工程师和经验丰富的巡检人员构成的专业排查小组，配备地质检测仪器、无人机等先进设备。对管道附近落水洞进行探测，能够精准判断落水洞的规模、深度和走向；通过无人机搭载高清摄像头和激光雷达，对不明确走向水路进行空中巡查，快速绘制水路分布地图，确定水流路径。在2023年汛期排查中，通过地质雷达探测发现一处隐藏在灌木丛下、直径达1.2 m的落水洞，及时采取混凝土回填和钢筋网加固措施，避免了因落水洞扩大引发的管道塌陷事故。

“四必带”则是要求巡检人员在巡检过程中必须携带铁锹、编织袋、塑料布、米尺等工具。铁锹用于清淤水渠，确保排水畅通；编织袋可用于反压坡脚，增强坡脚稳定性；塑料布用于遮盖坡面，防止雨水冲刷；米尺用于精准丈量，及时发现管道及周边设施的变形情况。在巡检过程中，巡检人员还配备了便携式数据采集终端，将现场检查数据实时上传至公司智慧管道管理平台，平台利用大数据分析技术，对隐患进行智能评估和分级预警，使巡检人员在发现问题时能够及时采取应急措施，有效降低了安全事故发生的概率。

2.3 穿河显现化警示设置

针对第三方施工对穿越河沟道管道的安全威胁，以“物联网+智能标识”技术为核心，首创管道穿河警示牌动态显现化系统。该系统集成LED智能发光警示、AR实景导航与水位联动监测功能，突破传统静态警示模式，打造出管道穿河区段“立体显现化防护网”。系统中的钢制警示牌采用高强度钢材制作，表面喷涂荧光反光材料，并通过激光雕刻标注警示信息，同时创新性增设应急二维码，扫码即可获得管道详细信息与应急联络方式。

在布设方面，每隔20 m设置一块警示牌，用钢丝绳串联固定形成警示带（图2），并在河沟道两侧安装太阳能自供电动态警示灯，搭配河面浮标、沿岸电子围栏，构建起多维联动预警体系。该体系



图2 穿河显现化警示设置示例

可自动识别河道异常行为并触发声光预警，使警示牌实现全天候可视、全场景预警，较传统标识识别效率提升300%，穿河管道安全隐患识别率提高至98%。

此外，与政府主管部门建立信息共享机制，施工单位在河沟道附近施工前需申请并提交方案，公司安排专人审核与现场技术交底。在此过程中，创新构建的管道穿河警示牌“三显化”标准体系（位置显现化、信息显现化、响应显现化），形成可复制的显现化管理模板。在某河道整治工程中，通过系统预警与方案优化，将原计划的大型机械施工改为小型设备配合人工挖掘，成功避免了管道损坏。

2.4 水泥毯巡检通道铺设

为解决山区管道巡检通道维护困难的问题，采用水泥毯布设巡检通道（图3）。水泥毯是一种由水泥、纺织品和添加剂制成的新型建筑材料，具有施工简便、经济实惠、强度高、耐久性好等优点。其施工过程无需大型机械设备，只需将水泥毯展开铺设在平整的地基上，浇水固化即可。在铺设前，对原有巡检小道进行平整压实处理，对于坡度较大



图3 水泥毯铺设巡检通道示例

的路段，采用台阶式铺设方式，每级台阶高度控制在15 cm~20 cm，宽度30 cm~40 cm，确保巡检人员行走安全。

通过铺设水泥毯，有效预防了林区杂草生长，保护了巡检小道踏步的完好性，同时提高了便道的防滑作用，为巡检人员提供了安全、便捷的通行条件。与传统混凝土巡检通道相比，水泥毯巡检通道建设成本降低了35%，施工周期缩短了60%，维护成本低，使用寿命长，能够有效降低管道巡检和维护的总体成本。

3 创新举措的应用效果

通过实施上述创新举措，天水分公司在管道管理及防汛工作中取得了显著成效。实践数据表明，采用“万米水渠”和“坡面覆盖”等组合防护措施后，关键区段边坡稳定系数提升至1.5以上，有效减少了管沟塌陷和边坡垮塌等地质灾害的发生，保障了管道基础稳定。防汛管理“四必查”“四必带”制度的落实，提高了隐患排查与处理的时效性，降低了安全事故风险。穿河显像化警示设置显著减少了第三方施工对管道的破坏。水泥毯巡检通道的铺设，则提升了巡检工作的安全性与便捷性，保障了日常巡护的持续性。

此外，上述举措也从长期运维角度产生了积极的经济效益。防护体系降低了因地质灾害引发的管道维修频次与运维成本；水泥毯通道以其低维护特性节约了养护费用；智能警示系统通过预防第三方破坏，避免了输气中断可能带来的直接与间接损失。综合来看，这些创新实践在提升管道本质安全水平的同时，也实现了管理成本的优化。

4 结语

天水分公司在山区及湿陷性黄土区域的管道管理及防汛工作中，通过一系列创新举措，有效应对了复杂地形、第三方施工和巡检维护等方面的挑战，取得了显著成效。但随着环境变化和技术发展，仍面临着新的挑战和机遇。未来，还需进一步加强对新技术、新材料的研究和应用，不断优化管道管理及防汛工作方法。例如，基于物联网的管道健康监测系统已在部分工程中实现泄漏定位精度±50 m的技术突破^[6]；需加强与科研机构的合作，开展针对山区及湿陷性黄土区域管

道防护的专项研究，探索更加有效的防护技术和措施。同时，应加强与周边社区和施工单位的沟通与合作，建立更加完善的管道安全保护协作机制，共同保障管道安全运行，为区域经济发展和能源供应提供坚实保障。

参考文献：

[1] 国家能源局.中国油气管道发展报告2022[M].北京：石油工业出版社，2022.
 [2] 王建国，张伟.湿陷性黄土地区管道地基处理技术研究[J].岩土工程学报，2020，42(3)：521-528.
 [3] 李志强，张明，赵丽.陇东地区黄土湿陷性评价及工程对策[J].工程地质学报，2019，27(4)：899-907.

[4] 刘振宇，王海，陈亮.基于GIS的山区管道巡检路径优化研究[J].安全与环境工程，2021，28(2)：145-150.
 [5] 陈晓明.土工合成材料在边坡防护中的应用进展[J].土木工程材料，2020，43(7)：34-39.
 [6] 马宏伟，刘洋，陈静.基于分布式光纤的管道泄漏监测技术研究[J].仪器仪表学报，2022，43(1)：89-97.



作者简介：杨雪魁，1986年生，工程师，现任天水输油气分公司管道管理部负责人。联系方式：0938-2795032，yangxk@pipechina.com.cn。

封面故事

1月26日，在辽宁省大连市金普新区湾里街道大沈线新港至松岚段人员密集型高后果区，金普

新区发展和改革局和国家管网集团东北公司大连输油气分公司的工作人员正在开展联合巡检工作。



据介绍，大沈线新港至松岚段人员密集型高后果区全长15.9公里，管道中心线两侧各200米范围内有大型住宅小区12个，大、中、小学校区9所，幼儿园10所，医院5所，企事业单位11家，厂区39家（含化工厂5家），加油站7座、加气站1座，集贸市场1个，物流公司16家，住户约25000户75000人，被列入国家管网集团公司重大安全环保风险。

大连市发展和改革委 汤继凯 文/图

这座学校建在输油管道旁边会不会形成人员密集型高后果区

某网友来信咨询：

我是一名管道保护工作者，最近某成品油管道旁边要修建一所学校，请问会不会形成人员密集型高后果区？

《管道安全保护》编辑部：

您好，接到您的询问后，我们征求了有关专家的意见，现答复如下：

从提供的信息来看，这条管道2005年10月投运，口径为250 mm，材质X60，壁厚5.6 mm，设计压力10 MPa，运行压力3 MPa~4 MPa，设计符合当时GB 50253—2014《输油管道工程设计规范》要求。根据学校建设方案，在管道中心线一侧200米范围内建有公共实训基地（3层）、机电与化工实训楼（3层）、报告厅（4层）、车辆与交通工程系（6层）、教育信息技术系（6层）、消防实训场地、运动场、风雨操场等教学设施或场地。校区用地红线和管道距离为50米，最近的建筑与管道的距离为64米，规划在校师生人数约7500人。

按照GB 46767—2025《陆上油气长输管道人员密集型高后果区辨识与管理》关于输油管道人员密集型高后果区辨识与分级的辨识规定，这一区域应属于Ⅲ级人员密集型高后果区，为最大的严重程度，建议管道改线或者学校重新选址，从源头避免Ⅲ级人员密集型高后果区产生。若以上两点均无法实现时，建设单位应对学校与输油管道的相互影响充分论证评估，依据《石油天然气管道保护法》第三十一条等规定，严格分析教学建筑、场地等人员密集程度较高的场所与管道的距离是否符合要求，对不符合要求的，制定专项防护方

案，经专家评审并报政府相关部门批准后，方可实施建设。

此外，建议分析输油管道与学校的位置关系及周边地形条件。若管道高程高于学校，管道失效后泄漏油品易流入学校区域，事故后果将显著加重；若学校高程高于管道，油品不易进入学校区域，后果严重程度相对较低。可通过优化学校总平面布局，降低管道失效后的影响范围与程度。学校出入口、消防通道及应急疏散出口若面向管道一侧，会加大事故后果并影响应急疏散效率，应在设计阶段予以避让和优化。学校未来建设的变配电站、供电线路运行产生的杂散电流可能对管道产生一定腐蚀影响，以及输油管道泄漏可能导致电缆沟（井）、给排水管沟（井）等密闭空间积聚可燃气体的风险，应给予关注。

建议管道企业和校方共同严格落实Ⅲ级人员密集型高后果区运行期的防护措施。如建立健全安全管理制度与制定管道巡护方案，完善应急预案并健全应急联动机制，定期组织联合应急演练，加强第三方施工管理，防止损坏和占压管道，设立监控设施和警示标识，持续开展完整性评价和内检测等工作，保障双方共同安全。

（以上内容综合了张华兵、雷宏峰、李仁科、张博、杨伟英等意见建议，在此一并表示感谢）

无人机智能巡检系统在油气管道保护中的应用研究

张梦奇¹ 李干² 孙丰慧² 薛皓元³

1.山东省石油天然气管道保护服务中心；2.中国铁塔股份有限公司山东省分公司行业拓展部；3.晋特信息科技有限公司

摘要：随着我国油气管道网络规模持续扩展，管道安全运营与维护面临全新挑战。本文借鉴全国长输油气管道保护实践先进经验，深入探讨了无人机智能巡检系统在管道管理中的应用价值与发展潜力，以及在管道巡检中的可行性、技术特点、实施成效及未来发展方向。结果显示，传统人工巡检存在效率低、覆盖窄、响应慢等不足，而无人机智能巡检系统通过整合自动机巢、人工智能算法、多源信息协同等技术，可实现管道全方位、高精度、智能化监控。结合山东省油气管道防护工作的现实需要提出相应建议，以期为管道保护实践提供理论支撑与技术指导。

关键词：油气管道保护；无人机巡检；智能算法；空地集成系统；机器智能

近年来，无人机技术的迅猛发展和广泛使用为油气管道巡检提供了全新思路。通过配备高清摄像、红外热成像、激光探测等传感设备，并结合智能算法，无人机智能巡检系统可以完成对能源输送管道的多角度、多层次监测，有效改善了传统巡检模式的不足。国家管网集团、中国航油等企业已在无人机管道智能巡检领域开展了积极探索，验证了其技术可行性与实效性。

本文基于全国长输油气管道保护的先进经验，系统探讨无人机智能巡检系统在油气管道管理中的应用与创新，其通过集成自动机巢、AI算法与多源信息协同，实现高效、精准、全天候管道监控，有效改善传统巡检模式的不足。其在泄漏预警、第三方施工识别、地质灾害监测等方面表现突出，能显著提升巡检效率与安全性，降低运维成本，有效提升油气管道保护工作的技术水准与管理水平。

1 概述

1.1 传统管道巡检技术分析

我国油气管道防护技术方式经历了从人力主导

向人机结合的发展历程。目前，主要的管道巡检模式包括人工巡检、视频监控巡检和无人机巡检三种类型。

人工巡检作为最基础的巡检方法，主要依靠工作人员沿管线徒步检查，通过肉眼观察、声音辨别和接触感知等方式判断管道状态。这种方法操作简单、灵活直观、技术要求低，但存在监控区域有限、处理速度缓慢、人力成本高昂等缺点，难以实现全天候不间断监控，特别在复杂地理环境和极端天气状况下，人工巡检更加难以实施，导致管道安全隐患无法及时察觉与解决。

视频监控巡检作为人工巡检的补充，可连续工作，减少人力投入，但存在监视盲区，且在高山、荒漠等地形复杂区域部署维护成本高。

1.2 无人机管道巡检技术新突破

无人机巡检作为一种新型技防手段，其系统通常由飞行平台、自动机巢、云端服务器及控制程序构成，能够实现自动巡检、自主充换电、图像智能辨识、异常状态警报等功能。相较于传统巡检方式，无人机巡检效率高、范围广、数据准确，

表 1 油气管道主要巡检模式对比

巡检模式	优势	局限性	适用场景
人工巡检	灵活性强、判断直观、技术要求低	人力资源消耗大、覆盖范围有限、反应速度慢	局部精细检查、无障碍区域
视频监控	持续监控、减少人力投入、数据可保存	监视范围有限、存在视觉死角、维护成本高	重点区域监控、出入口管理
无人机巡检	巡检效率高、覆盖范围广、数据准确客观	受气象条件制约、电池续航有限、初期投资大	长距离管线、复杂地形区、应急处理

特别是在复杂地形区和恶劣气候环境下优势明显（表 1）。

人工智能算法的运用已成为无人机管道巡检的核心技术。中国石油华北油田采油三厂肃宁作业区通过多种 AI 算法的同步分析预警，实现烟火识别准确率 97%、泄漏预警响应时间缩短至 15 分钟的技术突破^[1]。此外，多技术融合的巡检模式也成为一种发展趋势。北京管道公司通过光纤预警、视频监控、无人机、卫星遥感等技术的结合，建立“空中+地面+线上”立体巡检体系，实现了对管道的全方位、多维度监控，显著提升管道巡检的效率与安全性^[2]。

1.3 山东省无人机巡检的实践探索

山东省在油气管道无人机智能巡检方面开展了多项探索。山东省油气管道综合管理信息平台构建了“卫星遥感解译+无人机巡检+视频监控+管网 3D 建模”立体化智能监管体系，通过多源数据融合提升管道状态感知能力^[3]。青岛等地在沿海密集管道区域部署无人机常态化巡检，结合 AI 图像识别技术，实现管道腐蚀、第三方施工、地质灾害等风险的早发现早预警。淄博市引入无人机载激光甲烷检测系统，对城市燃气管网进行周期性泄漏筛查，检测灵敏度达到 ppm 级，大幅提升城市燃气安全水平。这些实践表明，无人机巡检在山东管道防护中已形成多场景、多技术融合的应用特点，为构建省级智慧管道监管网络提供了有力支撑。

2 研究方法

2.1 案例分析法

案例分析法是指通过深入探讨全国范围内具有代表性的无人机管道智能巡检应用实例，提炼可推广的经验模式。重点研究了山东省油气管道综合管理信息平台“空天地”一体化监测体系、北京管

道公司陕京管道空天地一体化多源联控智能巡检模式、青海涩宁兰输气管线“空天地”集成化智能巡检体系、中国石油华北油田采油三厂肃宁作业区“AI智巡”系统等。这些案例分布区域广泛、管网类型多样，具有较强的代表性，能够为油气管道防护工作提供多角度参考。

2.2 多源信息融合分析法

多源信息融合分析法是指利用无人机管道巡检中涉及的多元数据，对无人机采集的影像资料、传感器监测数据、地理信息数据以及人工巡检记录进行整合分析。山东省油气管道综合管理信息平台构建了“卫星遥感解译+无人机巡检+视频监控+管网 3D 建模”的立体化智能监管体系，该系统综合运用卫星遥感、无人机、智能视频监控、3D 模型等多元方式，建立空天地立体化智能监管体系。通过多源信息的交叉验证与综合分析，以全面掌握管道运行状态，支撑科学决策。

2.3 系统架构与功能解析

基于案例和数据分析结果，进一步对无人机智能巡检系统的系统架构和功能模块进行解析。完整的无人机智能巡检系统通常包括硬件层、数据层、算法层和应用层四个层次^[4]。

硬件层：包含无人机平台、机巢、各类传感器（可见光相机、红外热像仪、激光检测仪等）以及通信设备。北京管道公司的无人机全自动巡检系统由无人机、机库、云服务器以及控制软件组成，能够实现无人机自动巡检、自主充换电、图像智能识别、异常状态预警等功能。

数据层：负责多源信息的采集、传输、存储和管理。彭州市采用的“开明兽”油气管线无人机智能预警平台，能够通过面源激光探测技术形成宽幅激光面扫描，一次性全面覆盖管道区域，其气体泄漏检测灵敏度可达 5 ppm.m，响应速度小于 25 ms。

算法层：包括图像识别、数据分析、异常诊断等智能算法。中国石油华北油田采油三厂肃宁作业区的无人机巡检系统通过多种AI算法同步分析预警，实现了高热效率识别准确率97%、泄漏预警响应时间缩短至15分钟的技术突破。

应用层：涵盖日常巡检、应急抢险、风险评估等具体应用场景。北京管道公司在2023年7月至8月应对京津冀地区历史极端强降雨过程中，利用无人机航拍现场管道光缆受损情况，实时反馈现场信息，为应急抢险决策提供了有力支持。

3 研究结果

3.1 无人机智能巡检的技术成效

泄漏探测与预警能力。无人机智能巡检系统在油气管道泄漏检测方面表现优异。彭州市“开明兽”油气管线无人机智能预警平台具备高空快速巡检、广域扫描和精确感知三大优势，遥测范围为1~150 m，能够对气体泄漏、环境污染状况、管道材质损坏情况进行全光谱的快速拍摄和故障诊断。技术指标明显优于传统人工巡检方式，能够实现早期泄漏的精确识别和快速定位^[5]。基于无人机探测的高层建筑天然气立管安全预警系统集成热红外（温差检测精度0.5℃）、激光烟雾（灵敏度5 μg/m³）及声波探测（频率范围20 Hz~20 kHz）技术，实现微泄漏、管壁损伤及异常振动的同步识别，漏点定位精度达±0.3 m。这种多模态融合检测技术大幅提升了泄漏探测的准确性和可靠性。

第三方施工识别与预警。无人机智能巡检系统能有效预防第三方施工对管道造成的意外损坏。西气东输公司泰兴作业区的应用实践显示，无人机能够精确识别管道两侧70 m范围内的施工机械，及时发现异常状态并预警。北京管道公司的空天地一体化模式中，光纤振动预警后可自动调用附近的摄像头或无人机现场核实，实现多技术的协同验证和联动响应；实践中共发现13处异常告警，包括8处挖掘机告警和2处推土机告警，有效预防第三方损坏。

3.2 管理效益

巡检效率提升。无人机智能巡检系统快速部署、高速飞行以及自动巡检能力能够显著提高管道巡检的效率。中国石油华北油田采油三厂肃宁作业区依托“空中+地面”协同巡检模式，累计完成管

线巡检1.5万公里，替代人工高危巡线作业2000余次，巡检效率较传统方式提升4倍，隐患主动发现率提高至89%。东广域科技有限责任公司无人值守无人机巡检系统通过无人机与机库的组合，实现重点油井及管线自动监测，免除现场操控无人机及更换电池环节，满足1天多次巡逻需求，显著提高监测准确性与响应速度^[6]。

安全隐患降低。无人机智能巡检系统能够减少人员在危险环境中的暴露，明显降低安全风险，尤其在灾害应急情况下，无人机可以替代人员进入危险区域，保障人员安全。北京管道公司在应对极端强降雨灾害时，利用无人机航拍现场管道光缆受损情况，保障了人员安全。

3.3 经济效益

成本节约分析。虽然无人机智能巡检系统的初期投入较大，但长期来看具有明显的成本优势，能够大幅减少人力成本，提高巡检效率。随州产投集团利用无人机对近30公里供热管道进行全天候自动巡检，解决了依靠人工巡检或群众反馈，效率低、费用高等问题，明显降低了运维成本^[7]。北京管道公司空天地一体化管道防护模式相比于传统方式，减少对人工巡检的依赖，具有明显的降成本和提效率优势。

投资回报评估。无人机智能巡检系统的投资回报不仅体现在直接的成本节约上，更体现在安全隐患的预防和事故损失的避免上。油气管道泄漏会造成巨大的经济损失、严重的环境破坏和社会影响，无人机智能巡检系统能够通过早期预警和快速响应，有效预防此类事故的发生。江汉油田“无人机+AI”巡检技术，通过加装“AI智能核心”，利用图像分析技术对管道裸露、原油泄漏、地面塌陷等典型隐患进行自动识别，识别准确率高达90%，形成了“前端感知—智能分析—协同处置—效能评估”的全链条管理闭环，实现对160公里电力线路、1000多公里管道线路及30座集气站的全天候、高频次巡检，其综合效益显著。

4 建议

4.1 技术难题与对策建议

尽管无人机智能巡检系统在油气管道管理中展现出明显优势，但在实际应用中仍面临续航短、气象敏感、载荷有限等技术挑战。

有限的飞行时间是制约无人机巡检的主要因素，可通过电池技术改进、轻量化设计和能量管理算法进一步提升无人机的续航时间。有研究指出，通过燃料电池、太阳能辅助供电等新型能源技术的应用，无人机的续航时间有望得到显著提升。

气象条件限制会对无人机的飞行安全和稳定性造成影响，可通过开发全天候无人机平台、改进飞行控制算法以及建立气象自适应调度系统来提升无人机在复杂气象条件下的作业能力。

有限的载荷能力使无人机难以携带大型或重量级的传感器设备，可通过传感器小型化、多功能集成以及优化载荷分配来扩大无人机的应用范围。

4.2 管理难题与对策建议

在管理层面上，数据隔离与标准化不足导致“信息孤岛”，老旧系统改造兼容难。

应加强技术标准体系建设，推动数据格式和通信协议的标准化，促进多源信息的融合与共享。西安石油大学研发的“油气管网空天地协同智慧监测与全域风险管控系统”深度融合国家标准和行业标准，保障了系统在数据标准、操作规范等方面的统一性和规范性，增强了系统的兼容性与可扩展性。

智能化技术应用深度有限亟待解决。当前人工智能和大数据分析等技术在勘探开发环节已有试点，但在管网运维、风险预测等场景的成熟应用仍不足。智能传感器、无人机巡检等设备的覆盖率不够，部分区域仍依赖人工操作，实时监控能力受限。对此，应加强人工智能算法的研发与应用，提升缺陷识别能力，降低误漏报率；结合边缘计算实现端侧处理，减少带宽依赖，提高响应速度。

4.3 未来发展趋势

随着技术的持续进步和应用场景的不断拓展，无人机智能巡检系统在油气管道管理中的应用将更加广泛和深入。基于当前的发展趋势，未来无人机管道巡检技术可在以下几个方面取得进一步突破。

空天地一体化深度融合。未来无人机巡检系统将和数字孪生、5G通信、物联网等技术进行更深入的融合，形成更加智能化的管道管理系统。通过构建管道的数字孪生体，可实现管道状态的实时映射和预测性维护，大幅提升管道管理的智能

化水平^[8]。

多介质输送体系拓展。随着能源结构的转型，油气管网行业将不断拓展多介质输送体系，推动氢能、CCUS、绿色甲醇等新型能源管输技术研发，构建“油、气、氢、氨”多能互补的输送网络，将为无人机巡检技术带来新的应用场景和挑战。

低空经济发展赋能。近年来，低空经济作为新兴的经济形态，得到了国家和地方的高度重视，如彭州市等多地已开展多种低空应用场景的试点。无人机管道巡检作为低空经济的重要组成部分，将获得更多的政策支持和资源投入，迎来更加广阔的发展前景。

参考文献：

- [1] 中国石油华北油田采油三厂.AI智巡系统在肃宁作业区的应用与实践[J].油气田地面工程, 2024, 43(2): 45-50.
- [2] 北京管道公司.陕京管道空天地一体化多源联控智能巡护模式研究[R].北京: 北京管道公司, 2023.
- [3] 魏玉, 张梦奇.山东省油气管道综合管理信息平台建设与应用[J].管道保护, 2023(5): 32-33.
- [4] 西安石油大学.油气管网空天地协同智慧监测与全域风险管控系统技术白皮书[Z].2024.
- [5] 彭州市应急管理局.“开明兽”油气管线无人机智能预警平台测试报告[R].彭州: 彭州市应急管理局, 2023.
- [6] 山东广域科技有限责任公司.无人值守无人机巡检系统产品手册[Z].2024.
- [7] 黄振忠.随州产投集团挺进低空经济新赛道[R].随州: 随州日报, 2025.
- [8] 青岛市应急管理局.沿海油气管道无人机智能巡检试点工作总结[R].青岛: 青岛市应急管理局, 2024.



作者简介：张梦奇，1983年生，本科，工程师，现就职于山东省石油天然气管道保护服务中心，主要从事油气管道保护及信息化项目管理工作，具备扎实的专业功底与丰富的管理经验。联系方式：15098819277，gdzxxxjsb@163.com。

基于PCM_x检测的燃气管道防腐层破损点dB值及破损面积与管道埋深相关性研究

郭光荣¹ 李文兵¹ 王丽琼²

1.宁夏哈纳斯燃气集团有限公司；2.银川阅能天然气有限公司

摘要：管道电流衰减法PCM广泛应用于防腐层破损点的定位与严重程度评估，其输出的dB值是现场判断破损点严重性的重要指标。基于2024年银川市83 km环城高压燃气钢制管道的外防腐层检测及后续开挖修复数据，选取了59个有效破损点样本，系统分析了dB值、破损面积与管道埋深三者间的相关性。通过计算Pearson相关系数、绘制散点图并进行二元回归分析，表明dB值与破损面积存在弱正相关关系，而埋深对检测结果具有显著影响。研究建立的二元线性回归模型，验证了利用PCM_x检测数据定量评估防腐层破损面积的可行性。

关键词：高压燃气管道；PCM_x检测；防腐层破损；dB值；破损面积；管道埋深；预测模型

高压燃气钢制管道作为城市能源供应的重要基础设施，其安全运行直接关系到社会经济发展和公共安全。防腐层作为埋地钢质管道的第一道防线，其质量的优劣在一定程度上影响着阴极保护的效果和管道的使用寿命^[1]。因此，定期对管道外防腐层进行检测与评估，并及时修复破损点，是管道完整性管理的核心内容之一。

PCM_x管道电流测绘系统可有效检测埋地燃气钢管防腐层质量状况。结合交流电流衰减法（ACAS）和交流电位梯度法（ACVG）对埋地钢管防腐层总体状况开展检测并对破损点位置进行确定，可有效检测埋地燃气钢管防腐层质量状况，准确定位防腐层破损点^[2]。其代表设备PCM_x通过向管道施加特定频率的交流信号，并沿管线测量电流的衰减情况。当防腐层存在破损时，电流会异常泄漏至大地，形成电流陡降，据此可精确定位破损点位置，并以dB（分贝）值量化其电流泄漏的相对强度。通常认为，同条件下dB值越大，破损面积越大^[3]。实际工作中，也常依据dB值的大小初步判断破损点的严重等级，并据此制定开挖修复计划，

但经常发生误判情况。

目前国内关于PCM_x的dB值与实际破损面积之间定量关系的研究报道相对较少，多为定性描述。为此，以银川市环城高压燃气管道2024年度外防腐层检测数据为基础，对59个已完成开挖修复的防腐层破损点的检测数据进行系统分析，重点研究以下关键问题。

（1）PCM_x检测的dB值与防腐层实际破损面积之间的相关性。

（2）管道埋深对dB值与破损面积相关性的影响。

（3）综合考虑dB值和管道埋深两个因素，建立数学模型，以相对准确地预测防腐层的破损面积。

1 数据与方法

1.1 数据来源

银川市环城高压燃气钢质管道全长83 km，2009年开始建设，2014年投入运行，管径610×8.7 mm。设计压力4.0 MPa，运行压力约3.0 MPa，管道防腐层采用三层聚乙烯（3PE），

阴极保护采用强制电流。2024年采用英国雷迪公司生产的PCMx进行全线外防腐层检测，现场精确记录了每个破损点的管道中心埋深，破损处的最大长度和宽度，对检测出的破损点进行了开挖修复。从中筛选出信息齐全、破损面积较容易衡量的59个破损点作为有效研究样本，选取典型数据如表1所示。

1.2 数据处理

为便于分析，首先将每个破损点的实测长度（ L ，cm）和宽度（ W ，cm）转换为破损面积（ S ，cm²）。考虑到大部分破损形状不规则，为简化计算并统一标准，采用矩形面积近似法计算破损面积，即式（1）：

$$S = L \times W \quad (1)$$

1.3 分析方法

采用统计分析软件进行数据处理与分析。

（1）描述性统计分析。计算各变量的均值、标准差、极值等基本统计量，分析数据分布特征。

（2）相关性分析。采用Pearson相关系数（ r ）来量化dB值、破损面积和埋深三个变量两两之间的线性相关强度和方向。

（3）可视化分析。绘制散点图矩阵，直观展示dB值与破损面积之间的关系。

（4）回归模型建立。以破损面积 S 为因变量，dB值和埋深（ H ）为自变量，建立二元线性回归模型。

（5）模型验证。通过实际案例验证模型的预

测准确性。

2 结果与讨论

2.1 描述性统计结果

对59个样本的关键变量进行描述性统计，结果如表2所示。dB值范围在14 dB~70 dB之间，均值为36.2 dB，表明检测到的破损点严重程度分布较广。

埋深大部分在1 m~3 m之间，均值为2.1 m。但A9埋深达10.4 m，属于异常埋深点。

破损面积差异很大，从1 cm²（最小）~247 cm²（最大），标准差较大，说明破损点的大小非常不均匀。从数据分布特征来看，85%的破损点面积在50 cm²以下，同时存在少数大面积破损点（如A53 204 cm²，A79 247 cm²），这些异常值为研究提供了重要参考。

2.2 dB值与破损面积的相关性分析

使用Pearson相关性分析，得到dB值与破损面积的相关系数 $r = 0.284$ ($p < 0.05$)，表明两者存在显著的弱正相关关系。 p 代表在原假设（两变量无相关）成立时，抽到当前样本相关系数 r ，甚至更极端结果的概率。这一结果说明，单纯依靠dB值评估破损程度存在较大局限性。dB值与破损面积的散点图可更直观地展示这一关系（图1）。

从散点图可知，随着dB值的增大，破损面积整体呈现增大的趋势，但存在很多明显的离散

表1 破损点数据样本示例

编号	分贝值 /dB	埋深 /m	破损长度 /cm	破损宽度 /cm
2024-A2	36	1.77	7	1
2024-A5	29	2.50	10	0.5
2024-A6	28	1.50	15	0.5
2024-A7	30	1.75	8	3
2024-A8	21	1.66	30	2
2024-A9	16	10.40	25	4
2024-A10	39	1.95	4	3
2024-A13	26	1.83	1	1
2024-A16	27	0.90	5	0.5
2024-A21	51	1.00	8	2
2024-A22	33	1.62	13	2
2024-A23	33	1.30	20	1
2024-A24	20	1.40	7	1
...
2024-A98	36	2.44	12	2
2024-A99	30	1.47	4	1

表2 变量描述性统计结果（ $n=59$ ）

变量	最小值	最大值	均值	标准差
dB值/dB	14.0	70.0	36.2	12.3
埋深/m	0.8	10.4	2.1	1.5
破损面积 /cm ²	1.0	247.0	35.6	45.2

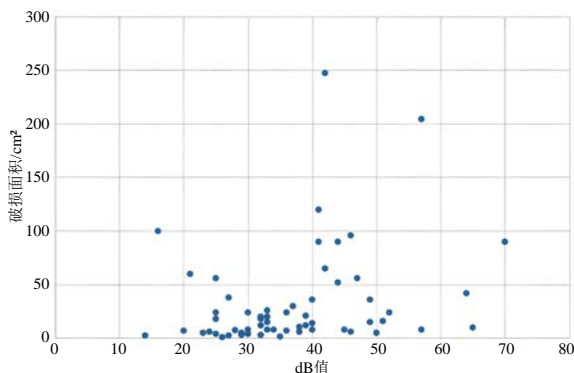


图1 dB值与破损面积散点图

点。例如：A9（dB=16， $S=100\text{ cm}^2$ ）dB值很低，但破损面积非常大；A50（dB=70， $S=90\text{ cm}^2$ ）dB值最高，但破损面积并非最大；A13（dB=26， $S=1\text{ cm}^2$ ）dB值中等，但破损面积极小。

这些离散点的存在说明，仅凭dB值单一指标精确预测破损面积是不充分的。dB值高不一定意味着破损面积绝对大，反之亦然。为此，进一步考察管道埋深的影响。

2.3 埋深对dB值与破损面积相关性的影响

首先，计算埋深与dB值的Pearson相关系数 $r = -0.217$ ($p < 0.05$)，表明埋深与dB值呈显著的负相关。即随着管道埋深的增加，检测到的dB值倾向于减小。这是因为信号在土壤中传播时会发生衰减，埋深越深，信号损失越多，导致仪器接收到的信号强度减弱，计算出的dB值偏低。

据此进一步分析图1中离散点情况。A9埋深达10.4 m，是导致其dB值严重偏低的主要原因。如果不考虑埋深，仅凭dB值16，该点很可能被判定为轻微缺陷而忽略，从而埋下重大安全隐患。

A50埋深仅1.5 m，信号衰减很小，因此即使破损面积不是最大，但检测出的dB值非常高。

可见，管道埋深是影响dB值与破损面积相关性的一个关键干扰变量。它会削弱来自深埋大破损点的信号，导致仅凭dB值评估破损程度会产生误判。

2.4 破损面积预测模型的建立与检验

为更准确地预测破损面积，综合dB值和埋深两个因素，用全部59个样本数据进行回归分析，建立了二元线性回归模型，如式（2）所示。

$$S = -49.34 + 1.64 \times \text{dB值} + 11.12 \times H \quad (2)$$

该模型的判定系数 $R^2=0.298$ ，表明模型具有一定的预测能力。

常数项“-49.34”无实际物理意义。dB值系数“1.64”代表在埋深不变的情况下，dB值每增加1个单位，预测的破损面积平均增加约 1.64 cm^2 。这验证了dB值与破损面积的正向关系。埋深系数“11.12”代表在dB值不变的情况下，埋深每增加1m，预测的破损面积平均增加约 11.12 cm^2 。定量反映了在相同dB值条件下，埋深越深，则防腐层破损面积可能越大。

通过实际案例验证模型的预测准确性。以A9为例，模型预测破损面积：

$$S = -49.34 + 1.64 \times 16 + 11.12 \times 10.4 = 98.6\text{ cm}^2$$

实际开挖验证面积为 100 cm^2 ，相对误差仅1.4%。同理，A50模型预测破损面积：

$$S = -49.34 + 1.64 \times 70 + 11.12 \times 1.5 = 87.2\text{ cm}^2$$

实际面积 90 cm^2 ，相对误差3.1%。验证结果表明模型具有较好的预测准确性。

3 结论与工程应用建议

3.1 研究结论

（1）PCMx检测dB值与防腐层实际破损面积之间存在弱正相关关系（ $r=0.284$ ），说明单一依赖dB值评估破损程度可靠性不足，在实际应用中可能产生严重误判。

（2）管道埋深对dB值具有显著的负向影响（ $r=-0.217$ ），是导致单纯依靠dB值评估破损面积产生偏差的重要因素。

（3）综合dB值和埋深建立的二元线性回归模型量化了二者对破损面积的共同影响，能够在一定程度上预测防腐层的破损面积（ $R^2=0.298$ ）。

3.2 工程应用建议

基于本研究结论，对高压燃气管道的外防腐层检测与维护工作提出以下建议。

优化破损点修复优先级排序。改变过去仅按dB值从高到低排序开挖修复的传统做法。建议对所有检测出的破损点计算其“预测破损面积”，并据此进行修复优先级排序，优先处理预测面积大的破损点。

应用示例。A点dB=40，埋深1.0 m；B点dB=25，埋深4.0 m。传统做法是优先修复A点。但根据研究模型计算预测破损面积如下。

$$\text{A点：} S = -49.34 + 1.64 \times 40 + 11.12 \times 1 \approx 27.4\text{ cm}^2$$

$$\text{B点：} S = -49.34 + 1.64 \times 25 + 11.12 \times 4 \approx 36.1\text{ cm}^2$$

计算结果表明应优先修复B点。该方法能有效避免遗漏像A9（深埋大面积）这样的高风险点。

3.3 不足与展望

本研究的局限性在于样本量59个，仍有扩大的空间，且所有数据均来自同一地区的同一条管道，拟合形成的模型公式不一定适合其他管道，模型的普适性有待在更广阔的地理区域和管道类型中进行验证。此外，破损面积采用了矩形近似法，与实际的不规则形状存在误差。未来可以尝试利用图像识

（下转第56页）

复杂地形地灾监测的无人机巡检 与数据采集技术融合方案

梁嘉 范钊碧

国家管网集团甘肃公司天水输油气分公司

摘要：油气管线穿越的复杂地形区域，地质灾害（地灾）的监测工作受传统手段响应迟缓、人力成本高昂、数据获取困难等问题制约，持续威胁管线安全运营。为解决该问题，本方案提出无人机巡检与数据采集技术融合框架，依托YOLOv8目标检测模型即时识别滑坡、冲沟等典型地灾体，并引入大语言模型（LLM）的语义理解能力，实现“以文搜图”的智能影像检索功能。通过构建“管、控、飞、析”一体化智能管理平台，双模数据的协同增效，提升地灾监测的效率、准确性与预见性，为地灾风险管理从被动响应向主动预警的模式转型提供了坚实的技术支撑。

关键词：无人机巡检；地质灾害监测；多时相分析；YOLOv8模型；数据融合；智能预警

我国油气管线多穿越地形复杂、地质环境脆弱的山区，地质灾害已成为运营安全的主要风险源。传统人工巡查存在覆盖有限、响应滞后、数据主观性强等缺陷，预警效果差且成本高昂。无人机遥感技术虽已应用于地灾监测，但现有技术侧重数据采集，数据处理与分析依赖人工，分析流程割裂，存在“数据丰富”与“决策贫乏”的矛盾^[1]。为此，构建“管、控、飞、析”于一体的智能化无人机巡检方案，融合实时视频流的即时预警与多时相正射影像演变分析，通过多层级AI模型实现从隐患快速发现到趋势深度研判的闭环管理。

1 “管、控、飞、析”一体化设计

建设的智能化管理平台将复杂的巡检任务分解为“管、控、飞、析”四个相互关联的核心环节，确保整个巡检流程的自动化、智能化与协同化。

1.1 管理智能化

智能化管理模块负责组织资源与任务流程的有序调度。核心功能包含两个方面。

架构与权限管理。平台支持构建匹配实际的树

状组织架构，绑定用户账号与组织单元，通过精细化的角色与权限分配，确保不同层级的用户仅能访问和操作其职责范围内的设备与数据。管理员可根据业务变化灵活调整用户权限，快速响应组织变动。

巡检计划配置。为兼顾日常监测与应急响应双重需求，平台支持定期计划与单次计划的灵活配置。系统可自动触发或管理者设定周期性巡检任务，也能针对突发事件或专项检查需求，快速创建临时性单次任务，实现对巡检资源的智能调度与高效利用。

1.2 控制远程化

远程化控制模块实现了对无人机及其配套资产的全面实时监控，主要包括以下内容。

资产全生命周期管理。系统通过建立详尽设备台账，统一注册管理无人机信息，运维人员可远程实时查看设备的在线状态、电量、信号强度等关键参数、追溯运行日志，实现固件远程统一升级，保障机队性能与安全。

空域安全管理。平台内置了强大的飞行区域管理功能。通过设置禁飞区避免无人机误入高风险敏

感区域。同时，划定可飞区明确了地理边界，从源头上保障了飞行的合规性与安全性。

1.3 飞行无人化

飞行无人化提升了巡检作业效率，实现了从航线规划到任务执行的端到端自动化。

智能航线规划。用户可在平台上创建、编辑飞行航线，自定义航点、飞行高度、速度等参数。系统还能自动优化飞行路径，以最短路径、最少能耗完成指定区域的覆盖，提升作业效率。

任务闭环管理。巡检任务可被精准地自动分配至指定的无人机，平台实时跟踪飞行进度与状态。任务完成后，巡检问题、现场影像等结果数据会自动记录并归档，形成“任务分配-执行监控-结果归档”的完整闭环。

1.4 分析精准化

数据分析模块是实现“数据—信息—决策”转化的关键环节，其包括两个部分。

一体化数据可视化大屏。通过集中数据大屏，指挥人员可一站式掌握全局态势。大屏实时展示当前任务进度、多路无人机高清视频直播画面以及无人机的关键飞行参数。

历史数据回放与协同分析。平台支持历史任务飞行轨迹回放，辅助任务复盘和航线优化；巡检过程中产生照片、视频会按维度安全存储分类，支持快速检索、下载与共享，协同分析与报告撰写。

2 双模巡检与数据融合机制

本方案采用“日常实时巡检+周期性影像分析”双模巡检策略，实现快速响应与深度研判的优势互补。

2.1 日常巡检——实时视频流的AI即时预警

日常巡检模式下，通过高频次的自动化飞行，完成管线沿线的常态化监控与异常初筛，核心工作流程如下。

自动飞行与数据传输。无人机按照预设的固定航线自主飞行，机载摄像头将高清视频流通过4G/5G网络实时回传至地面管理平台^[2]。

AI实时分析与识别。平台AI分析引擎对实时视频流逐帧分析，加载YOLOv8目标检测模型，即时识别冲沟、滑坡等地质灾害隐患体^[3]，也可配置模型识别第三方施工等其他风险事件。

自动预警与信息推送。识别出疑似隐患后，系

统立即自动标记问题点，生成预警事件。将包含精确地理位置、现场快照和告警详情的预警信息将通过微信公众号、短信等渠道，即时推送至片区的一线管护人员。

2.2 周期性巡检——多时相正射影像的演变分析

在周期性巡检模式中，通过对同一区域不同时期的高精度正射影像进行比对分析，揭示地表的细微变化与长期演变趋势，从而实现风险的提前研判。其技术细节包括四个方面。

影像精准配准。采用仿射变换等先进的图像处理技术，自动对不同时期采集的同一区域正射影像进行像素级的精准对齐与配准。

智能变化识别。先通过RGB特征分析与深度学习模型，智能识别出地表发生的细微变化（如新增的施工开挖、植被覆盖度的增减、土方量的变化等），再调用YOLOv8滑坡/冲沟模型对变化区域二次识别，双重验证坡面异常区域，大幅提升地灾隐患识别准确性^[3]。

智能检索。引入基于大语言模型（LLM）语义理解的“以文搜图”功能，只需输入自然语言描述，系统即可自动理解语义，在海量影像中匹配并高亮显示出符合该描述特征的风险区域。

报告自动生成。系统可自动生成一份可视化对比分析报告，其中清晰地展示了变化区域的位置、变化类型、时间演变序列，附带初步的风险提示，为管理者的深度研判与决策提供支持。

2.3 双模融合的协同增效机制

通过日常巡检以高频次、广覆盖实现潜在异常的快速初筛和即时告警，发现问题；通过周期性影像分析以高精度、深度分析提供地物演变的量化趋势与风险研判依据，解决预见问题。而且，日常巡检的告警点将成为周期性影像分析的重点关注区域，引导分析资源倾斜。周期性分析识别的高风险演变区域，也会动态纳入日常巡检的重点监控航线中，提高巡检针对性。

通过这种“点”与“面”的有机结合，将地灾监测升级为多维度、全周期的综合风险管理，大幅提升了监测工作的全面性与预见性。

3 AI模型构建与持续优化策略

基于复杂多变的真实野外场景构建AI模型，并在实际应用中建立了持续优化的闭环机制。

3.1 数据集构建与区域级标注策略

针对冲沟与滑坡两类典型高破坏性地灾，构建了专属训练数据集。标注环节，创造性地采用“区域级标注”策略。

滑坡（landslide）。标注含主体的裂缝、鼓胀区以及底部的堆积体等复合特征的整体影响范围。

冲沟（gully）。标注冲沟的主侵蚀沟道以及两侧受侵蚀影响显著的活跃地带。

该策略大幅降低标注成本，保留地灾宏观空间特征，快速定位潜在风险“区域”，避免因光照、分辨率变化导致的微小特征识别不稳定的问题。

3.2 模型选型与持续优化

选用兼顾精度与推理速度的YOLOv8s模型，适配边缘部署需求。为提升复杂地灾场景性能，一方面微调网络P2特征层以增强小目标感知能力，并通过模拟恶劣天气、随机变换等数据增强策略提升模型泛化性；另一方面设计“数据反馈—模型迭代”闭环机制，通过收集一线误报、盲区等反馈数据进行增量训练与版本迭代，并验证优化效果，使模型从静态工具进化为可持续学习的智能体，持续提升鲁棒性与准确率。

4 对比分析

4.1 巡检方式对比

智能化无人机巡检方案相比传统人工巡检方式有明显优势（表1）。

传统人工巡检是典型的被动式、伤害限制型范式，而无人机巡检方案构建了主动式、预测预防

型管理模式。这一转型不仅使长期综合成本降低60%、风险损失减少80%，更从根源上消除了人员高风险作业隐患，真正实现从“治已病”到“治未病”的跨越。

效率革命性提升。依托“管、控、飞、析”一体化平台，实现任务自动规划与无人化执行。“边飞边检”模式，将原本数天甚至数周的人工徒步巡查压缩至数小时内完成，从根本上提升地灾监测作业效率。

响应速度质的飞跃。基于实时视频流的AI即时预警机制，疑似隐患的告警信息可在秒级内通过多渠道推送至一线人员。近乎零延迟的响应实现了隐患的快速定位与即时处置，极大缩短了风险处置周期，有效防止了灾情扩大。

决策支持的科学化。可视化数据大屏为管理者提供了全局态势的直观感知，结合多时相影像分析报告与历史轨迹数据，管理层可依托客观、多维度数据决策，替代零散的、主观的巡查报告，为科学决策提供了坚实依据。

风险管理理念的升维。核心成效是通过多时相演变分析，实现地灾风险管理从被动的“事件响应”向主动的“趋势预警”的根本转变。系统识别坡体植被、土方的细微变化，提前预判滑坡风险演变趋势，为采取预防性措施争取了宝贵的时间窗口^[4]。

4.2 前瞻分析

展望未来，该方案应用前景广阔。一方面可通过LiDAR（激光雷达）、高光谱等多传感器融合，提升地灾识别的精度。另一方面其“管、控、飞、

表1 巡检方式对比及优势分析

对比维度	传统人工徒步巡检	智能化无人机巡检方案	无人机巡检优势分析
工作效率	人日均巡检里程≤10 km，完成200 km管线排查需≥20人	日均巡检里程≥200 km，完成200 km管线排查仅需2人	效率提升≥10倍，实现高频次、广覆盖的常态化监测
人员安全	巡查人员进入高风险区域的概率≥80%，年人身安全事件发生率≥5%	人员全程在安全区域作业，人身安全事件发生率0%	从根源上消除人身安全风险，本质上实现安全升级
数据维度	仅依赖可见光肉眼观测，数据维度为1维，数据主观率≥70%	高清视频+正射影像+多传感器融合，数据维度≥5维，数据客观率≥95%	数据量提升≥10倍，为深度分析提供客观、多维度的基础
分析能力	仅能识别≥50 cm的显性缺陷，缺陷识别率≤40%，无趋势预测能力	可识别≥5 mm的早期隐患，缺陷识别率≥90%，并通过AI算法预测3~6个月内的风险趋势	实现从“被动应对”到“主动预防”的转变，风险预警提前量≥90天
管理成本	人均年成本≥30万元，风险导致的年潜在损失≥100万元	初期设备投入约50万元，长期年运营成本≤10万元，风险损失降低≥80%	长期综合成本降低幅度≥60%，并通过有效预警减少巨额灾害损失

析”框架可扩展性强,应用领域可从地灾监测拓展至环境保护、电力巡检、农业植保等更广泛的领域,创造更大的社会与经济价值。

5 结论

通过构建“管、控、飞、析”一体化智能平台,显著提升了地灾监测的自动化与智能化水平,在保障油气管线等关键基础设施安全方面展现出重大的应用价值。它不仅实现了作业效率与安全性的革命性突破,更重要的是,通过“点面结合”的数据分析,推动了风险管理从事后被动响应向事前主动预警的战略转型。

当前方案仍存在一定的局限性,例如,无人机在暴雨、大风等极端恶劣天气下的飞行能力受限;AI模型的识别能力目前主要聚焦于滑坡和冲沟,对其他类型的地灾(如泥石流、地面沉降)的识别仍需进一步研发。未来的研究方向将重点围绕多传感器数据融合技术,以及将模型泛化至更多地灾类型的能力上,以期构建一个更加全面、智能的空天地一体化灾害监测体系^[5]。

参考文献:

- [1] 牛晓富,黄河,张红民,等.改进YOLOv8的路基边坡裂缝检测算法[J].光电工程,2025,52(1):3-17.
- [2] 张康聪,李清泉,杨必胜.大语言模型赋能遥感影像语义理解与检索研究进展[J].测绘学报,2025,54(2):289-306.
- [3] Jocher G, Chaurasia A, Qiu J. YOLO by Ultralytics. 2023.
- [4] 刘艳霞,殷坤龙,柴波.地质灾害深度学习样本集构建与标注技术规范研究[J].地质通报,2025,44(1):187-195.
- [5] 王楠,葛大庆,张兵.无人机LiDAR与高光谱融合的滑坡精细识别方法[J].遥感学报,2024,28(11):2015-2032.



作者简介:梁嘉,1990年生,本科,助理工程师,主要从事油气管道保护及智能巡护工作。联系方式:15191570527, liangjia.pipechina.com.cn。

(上接第52页)

别技术更精确地计算不规则破损面积。本次研究仅考虑了PCM_x检测防腐层破损点dB值、管道埋深对预测防腐层破损面积的影响,未系统考虑土壤电阻率、发射机参数与距离、外部干扰等因素的影响,后续可加入土壤电阻率等因素作为可变参数进行修正研究。此外,可通过建立分区段评估模型来进一步提高评估结果的准确性和可靠性。

参考文献:

- [1] 尹志彪,曹育军,邹健等.城镇燃气埋地钢质管道防腐层现状[J].腐蚀与防护,2024,45(10):97-101.
- [2] 沃敬凯,胡健,钟军平,等.PCMX技术在埋地钢质燃气管道防腐层状况不开挖检测中的应用[J].全面腐蚀控制,2023,37(3):40-46+64.

- [3] 印军华,张俊.城镇埋地燃气管道防腐层不开挖检测和评价[J].工程技术,2021(9):230-233.



作者简介:郭光荣,1977年生,本科,学士学位,宁夏哈纳斯燃气集团有限公司生产运营党支部书记、技术总监,化工工艺高级工程师,注册一级建造师(建筑)、注册二级建造师(市政)、压力管道检验员、注册

安全工程师,住建部市政基础设施领域应急处置专家库成员,宁夏回族自治区安全生产专家库资深专家、燃气行业专家。主要研究方向为城市燃气智慧化信息化建设、城镇燃气工程施工、燃气管道检验、燃气计量等。联系方式:13995315185, 24598023@qq.com。

低流量天然气支线管道内检测 优化案例分析

刘陇 胡庆有 朱玲 杜建飞 张春龙 党春晖

国家管网集团云南公司

摘要：低流量天然气支线管道因介质流速低、工况波动大、管道口径小等特点导致内检测作业瓶颈。本文以西南地区某低流量天然气支线管道为研究对象，介绍了先期开展两次管道内检测作业的情况，分析了检测故障原因，从“设备设计、工艺操作、流程管理”三方面提出了系统性优化方案，总结了优化后检测方案的技术优势。运用优化方案成功实施了支线管道内检测作业。指出改进后的优化方案是可复制的低流量管道内检测解决方案。

关键词：低流量天然气管道；多粉类管道；管道内检测；分阶段检测；场站阀室工艺调整

西南地区某天然气支线管道全长约200 km，2016年投产，设计压力6.3 MPa，输送压力4 MPa，管径219 mm，钢管等级L290，直缝埋弧焊缝管；主要壁厚5.6 mm、6.4 mm，热煨弯管曲率半径大于5D，共设场站2座、阀室7座。该管道投产后先期开展过两次内检测工作，均因“低流量、多粉类、长距离管道的检测难题”未顺利完成。在深入分析导致检测故障关键原因基础上，提出对检测器结构和检测流程进行调整，优化内检测作业方案，以期顺利实现小口径低流量支线管道的内检测工作。

1 开展管道内检测情况

1.1 首次内检测概况

2020年，管道首次内检测共发送4次泡沫清管器，含低、中密度各1次，高密度2次。2020年9月、10月分别发送低密度泡沫清管器和中密度泡沫清管器，均未到达支线末站收球筒，且2个月后支线首站分输过滤器仍发现清管器碎片。随后，通过阀门工艺操作多次调整站场及阀室分输量，首次发送高密度泡沫清管器成功到达支线末站，

但总运行时间240小时27分钟。清管器自身断裂为两半，磨损不均匀且严重，运行后外径200 mm。初步判定清管器损伤由发球筒温度计伸入管内过长导致。移除发球筒温度计后，第二次发送高密度泡沫清管器，同时调整分输量优化运行，成功到达支线末站，总运行时间79小时42分钟，较前次缩短66.7%。清管器整体结构基本完整，磨损正常，运行后外径205 mm，仅完成内检测器推进任务（图1）。

1.2 第二次内检测概况

2023年9月开展第二次管道内检测，首先联合分输用户调控清管器前后方分输量，建立清管器前后压差（保障检测器运行速度在0.2~5 m/s，管线压力降至4.2 MPa），发送第一个中密度泡沫清管器运行72小时12分钟到达支线末站。清管器整体结构基本完整。继续发送第二个泡沫涡流清管器（模



图1 高密度泡沫清管器清管前后对比



图2 泡沫涡流检测器清管前后对比

拟体)，在4[#]阀室后发生卡堵。随后发送第三个高密度泡沫清管器（救援球），经多次调整站场和阀室的分输量，运行92小时17分钟到达支线末站。第二/三次清管器有多处疑似焊瘤或变形点造成的划痕。后续发送第四个泡沫涡流检测器，经多次调整站场和阀室分输量，共运行64小时07分钟到达支线末站，运行基本正常，没有出现较长时间的卡堵，检测器外观完整无探头损坏（图2），数据存在部分丢失。

2 检测故障原因分析

2024年10月该支线5[#]、6[#]、7[#]阀室进行截断阀更换动火作业，管道打开后发现内部杂质较多，底部存有2~3 cm厚的黑色粉末（主要成分 Fe_3O_4 、 $\text{FeO}(\text{OH})$ 和 FeCO_3 ，未发现冒烟、自燃现象）。结合长距离检测后检测器表面覆盖了一层较厚铁泥，分析管道底部较厚铁泥来源于长距离检测器表面包裹物质。推测管道内检测失败的主要原因是以下3点。

（1）原检测器中涡流探头和几何探头集成封装在泡沫球体内成一个整体，检测时采集数据量大且复杂，几何探头由于反弹设计存在无法回弹问题导致检测的几何数据不准。

（2）管道内粉末杂质影响检测器运行造成卡堵，导致检测失败。

（3）腐蚀传感器采用涡流原理，除腐蚀缺陷外，应力等外部载荷及管道材质等均会造成异常信号，采集的涡流信号外部干扰及噪声导致数据分析结果不准，检测结果无法参考。

2.1 优化方案

（1）设备设计优化。一是拆分检测功能，降低数据干扰：将原“几何+涡流一体化”检测器拆分为独立的泡沫几何变形检测器与泡沫涡流检测器（tu.3），分别聚焦管道变形与腐蚀缺陷检测，避免两类数据叠加导致的分析误差。二是升级硬件配置，强化检测能力。几何检测器探头数量从

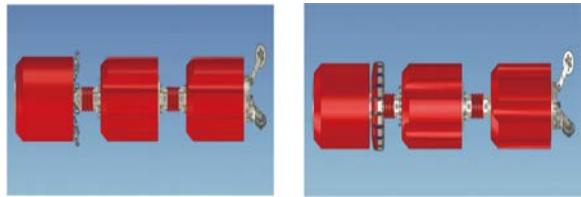


图3 检测器结构调整

6个增至12个，增加IMU定位模块，轴向定位精度 $\leq \pm 0.1 \text{ m}$ （参考环焊缝间距误差），环向定位精度 $\pm 15^\circ$ ，可精准测量凹陷深度（图3）。涡流检测器传感器数量从12个增至20个，提升金属损失检测灵敏度，可识别 $\geq 9\% \text{ wt}$ 的金属损失（原设备易漏检 $< 10\% \text{ wt}$ 的缺陷）。

（2）工艺操作优化。一是压力与流量协同调控，解决低流速问题：针对支线流量低（ $22.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ）导致的设备运行缓慢问题，提出“降压提速”策略是：将运行压力从4.74 MPa降至4.2 MPa，使检测设备平均运行速度从0.65~1.63 m/s提升至0.73~1.83 m/s，总运行时长从69小时12分钟缩短至61小时34分钟，避免了因流速不足导致停滞。二是分输阀室动态管控，减少流速波动：制定“检测器到达前关闭分输阀，通过后恢复分输”的操作流程，避免分输量导致的局部流速骤降。例如，检测器通过2[#]阀室前关闭分输阀（原分输量 $3.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ），通过后重新开启，确保设备通过阀室时速度稳定在1.0~1.2 m/s。

（3）流程管理优化。一是前置清管与踏勘，排除管道障碍：优化方案增加“中密度泡沫清管”前置环节，清除管道内铁粉、螺杆等污物，避免杂质卡阻检测器；同时对200 km管线开展踏勘设标，每1 km埋设1个定标盒（共设置150个），精准定位检测器运行位置，解决“跟丢球”风险。二是完善应急与质量管控，保障作业安全。在应急层面：制定卡堵、泄漏、火灾等14类应急预案，配备救援清管器、带压开孔设备等，如发生检测器卡堵时，可通过“升压推球→发送救援球→割管取球”三级处置，避免管道长时间停运。在质量层面：建立“检测—开挖验证—报告反馈”闭环，并依据GB 32167—2015《油气输送管道完整性管理规范》等标准出具完整性评价报告，确保检测结果可追溯、可验证。

（4）应用场景拓展。优化方案不仅适用于该支线（219 mm管径、X42钢），还成功应用于多

类管道场景，从“单一支线”拓展到“多类型管道”，证明其广泛适配性。

2.2 检测效果

(1) 检测过程与关键数据。2024年12月9日至11日，采用改进后的内检测优化方案对该支线管道进行了内检测作业，于09日14时12分从首站发送经优化设计的独立泡沫几何变形检测器，于11日16时39分顺利抵达末站收球筒，运行时间50小时27分钟，全程无卡堵。相较于2020年、2023年，检测运行效率显著提升。

检测器回收后状态完好(tu.4)，无机械性损坏或探头丢失。几何检测器运行后平均直径磨损约2 mm(由初始209 mm减至207 mm)，磨损均匀，属正常作业损耗(图4)。前置的中密度泡沫清管器清除管道内粉末及杂质，主要为黑色铁基粉末(Fe_3O_4 等)，有效降低了后续检测器的运行阻力与数据干扰风险。

(2) 数据获取与质量评估。本次检测数据采集完整，未出现类似前两次的部分数据丢失或信号紊乱问题。几何检测器记录的环焊缝、弯头、三通等管道特征点识别率超过98%，轴向定位误差控制在 ± 0.1 m以内。涡流检测器采集的信号质量稳定，经初步分析，传感器数据覆盖连续，无大段异常噪声。

(3) 综合成效。本次优化方案的应用，实现了该低流量、多粉类长输支线管道从“无法完成有效检测”到“高效、成功获取高质量检测数据”的根本性转变。检测过程安全、受控，运行时间大幅缩短，数据完整可靠，达到了管道完整性评估的基础数据要求，为后续管道维护决策提供了坚实依据。

3 优化方案关键技术优势

(1) 高适配性，匹配支线管道特殊工况。一是通过能力强，适应复杂管段：设备最小可通过



图4 检测完成后球体回收

3D曲率半径弯头(支线弯头最小半径 $R=5D$)，最大可通过25%管径的管道变形，能顺利穿越沿线7座阀室及2座场站的三通、阀门等管件，避免因管道局部变形导致的卡堵风险。二是宽参数兼容，覆盖支线需求：适应壁厚范围5.6~8.0 mm(支线壁厚5.6~6.4 mm)，工作温度5~70℃、耐压 ≤ 5 MPa，与支线天然气输送介质特性及4.2~4.74 MPa运行压力完全匹配；速度范围0.2~5 m/s，通过工艺调整(如降压至4.2 MPa)可将运行速度控制在1~3 m/s最佳区间，避免低流量导致的设备停滞。

(2) 高稳定性，保障长周期运行可靠。一是结构耐用，损耗率低：采用3节式泡沫结构(几何检测器长度1500 mm、重量40 kg；涡流检测器长度1500 mm、重量45 kg)，外壳耐磨且弹性好，运行后直径磨损仅2 mm，传感器(几何12个、涡流20个)及3个里程轮无丢失或损坏，满足200 km长距离检测需求。二是续航充足，数据连续：设备工作时长可达95~100小时(支线理论运行时长61~69小时)，搭配IMU惯性测量单元，可实时记录里程与位置信息，避免因续航不足导致的数据中断。

(3) 高精度性，减少误判与漏检。一是信号抗干扰能力提升：涡流检测器优化信号过滤算法，减少管道应力、材质差异等外部载荷对腐蚀检测的干扰；几何检测器改进探头回弹设计(原6个探头无法回弹，改进后12个探头回弹稳定)，避免几何数据失真。二是特征识别全面：可精准识别环焊缝、弯头、阀门、三通等基础特征(识别概率 $\geq 98\%$)，以及凹陷、金属损失等缺陷(识别概率 $\geq 90\%$)，经开挖验证均确认缺陷真实存在。

4 结语

针对低流量、多粉类长输天然气管道内检测存在的问题，从“设备设计、工艺操作、流程管理”三方面提出了系统性优化方案。设备设计优化从“一体化”到“模块化”，提升了数据质量；工艺操作优化从“被动适应”到“主动调控”，保障了运行效率；流程管理优化从“单一检测”到“全周期管控”，降低了作业风险；应用场景拓展从“单一支线”到“多类型管道”，验证了方案通用

(下转第63页)

聚乙烯燃气管道定期检验问题分析与对策

马轩 张文琪 张谷庆 王璞

陕西省特种设备检验检测研究院

摘要：本文以聚乙烯燃气管道定期检验为例，分析资料核查、现场巡检与开挖检验中的典型问题，如资料缺失、管道被建（构）筑物占压、焊接缺陷及施工质量等，并提出相应整改对策，强调通过完善资料、加强监测、规范工艺、改善环境等方式控制运行风险。同时，从落实企业主体责任、推进智慧监管平台建设、加强部门协同等方面提出管理建议，为提升燃气管网安全运行与监管水平提供参考。

关键词：聚乙烯燃气管道；定期检验；适用性评价；风险对策

聚乙烯燃气管道定期检验分为全面检验和年度检查，全面检验是通过资料核查、现场巡检和开挖检验，识别并验证已经发生、正在发生或可能发生的危害源，必要时进行适用性（合于使用）评价，并且结合管道风险等级提出风险减缓措施的过程。

以某地级市范围内聚乙烯燃气管道首次全面检验为例，管道总长度约165 km，管道材质PE80/PE100，管道规格基本涵盖DN 63~DN 315 SDR11/SDR17.6（SDR17），管道建设投用时间从2006年至2020年不等，管道主要敷设于主城区街道、周边村镇及工业园区。根据TSG D7004—2010《压力管道定期检验规则—公用管道》及DB61/T 1390—2020《城镇燃气用聚乙烯管道定期检验规则》相关规范要求，结合管道运行基本状况进行资料核查、现场巡检和开挖检验，根据所采集数据，结合使用单位安全管理水平，对失效可能性和失效后果进行分析评价，确定管道风险等级。

1 检验发现的问题

1.1 资料核查问题

全面检验前，检验人员对123条中压燃气管道（包括市政道路及庭院中压管网）进行了数据收集与资料审查，包括管道原始数据（设计、制造、安

装与竣工等技术档案资料）、管道使用及运行管理数据（运行管理制度、程序文件、人员培训及考核记录、运行日志及工艺记录、修理改造资料、应急预案及演练等）及其他所需资料。主要存在管道未进行安装监督检查、运行周期内未按规定进行年度检查、管道技术档案资料不齐全（包括：设计资料缺失、管道元件产品质量证明文件缺失、安装竣工资料缺失、改造或维修资料缺失及资料矛盾）等问题。

1.2 现场巡检问题

现场巡检包括宏观检查和泄漏检测，主要存在管道本体地理位置不清或与其附近地下管网相对位置信息不明；管道被建（构）筑物占压或与其净距不足、可能存在狭长密闭空间；阀门检查井内或管道出地面调压设施前管段附属设施（钢制球阀密封处、调压器前）存在气体泄漏；管道裸露、管道上方路面沉降或塌陷；管道地面标志缺失、磨损或使用错误；阀井内管材未回填完全或井内有淤泥、积水等；管道长期处于污水腐蚀环境；跨越段管道防腐层局部腐蚀严重，管道支座缺失或失效等问题。

1.3 开挖检验问题

在资料核查和现场巡检收集的数据基础上，对管道失效可能性进行评估，识别可能导致管道失效

的危害源，综合考虑危害源评估结果确定管道开挖位置。开挖检验主要测量管道埋深，检查警示装置及示踪装置、占压和净距、敷设环境、管体表面、焊接质量、钢塑转换接头以及附属设备完好性等。

开挖检验主要存在管材错用或与管件不匹配，管材标准尺寸比SDR（公称外径DN与公称壁厚EN的比值）与设计资料不符；管道埋深不符合规范或设计要求；管道周围有尖硬物体接触管壁、警示带或示踪带敷设不符合规定；管道两侧0.75 m范围内有深根植物缠绕、侵扰现象；管体周围存在白蚁、老鼠等生物侵蚀的可能性；管道处于加速老化的外围环境中；管体表面有变形、损坏或有多处划痕、凿痕、凹陷等缺陷，管体表面质量较差；焊接方法选用错误、焊接质量不符合规范要求；钢塑转换接头腐蚀严重、存在泄漏等问题。

1.4 适用性评价

根据GB/T 43922—2024《在役聚乙烯燃气管道检验与评价》，聚乙烯管道适用性评价包括材料性能评价、剩余寿命预测以及其他损伤评价。若发现管道存在运行时间达到设计工作年限以上、材质不明，需要确定材质、老化或局部变形、焊接方法选用错误、材料存放时间超期等安全隐患时，应先对问题管段进行适用性评价。材料性能评价一般在开挖后选取有代表性的位置断管取样，检测和评价方法按照GB/T 15558—2023《燃气用埋地聚乙烯（PE）管道系统》的要求进行；结合管道投用时间、运行工况、老化程度等建立材料老化的预测模型，开展管道剩余寿命预测。

2 问题整改对策

2.1 资料核查问题对策

管道未进行安装监督检验、逾期未进行全面检验等不符合特种设备相关法规政策要求。管道使用单位与管道所在地特种设备安全监察部门联系处理后，检验单位方可进入全面检验流程。

年度检查缺失的情况，检验单位可适当缩短全面检验周期，使用单位按照法规要求按期进行每年1次年度检查。

管道技术资料缺失的处理。根据《关于加快推进燃气压力管道安全排查整治工作的通知》（陕市监发〔2022〕141号）文件规定，管道使用单位联系原设计单位或具有相应资质的设计单位，根据已



安装管道实际情况，补齐设计文件，报当地检验机构检验合格后方可运行；对于不能确定管道原设计或安装单位是否具备相应资质或确定是由无资质单位设计、安装的燃气压力管道，不得继续使用。

2.2 现场巡检问题对策

针对管道本体地理位置不清，有完好示踪线的聚乙烯燃气管道可采用电磁感应探管仪定位管道位置；未敷设示踪线或示踪线失效的管道可采用探地雷达探测法、主动声波探测法、静电力探测法等方法定位管道位置；重点排查燃气管道与排污管沟等狭长密闭空间间距不足或交叉等安全隐患区域，切实消除安全隐患。

管道被建（构）筑物占压或与可能有人员活动的建筑物基础净距不足时，使用单位及时上报地方政府，并择机拆除相关建（构）筑物或对管道进行改线；其他净距不足的情况，对管道安全影响情况进行评估，根据评估结果采取相应处理措施。

关于气体泄漏，为防止可燃气体聚集，以及可能泄漏扩散到地沟、窖井、地下密闭空间等，使用单位立即安排人员现场处置。同时进一步健全管道运行维护制度，落实巡线和泄漏检查工作，加强人员培训和设备保障水平，提升巡线、泄漏检查的有效性。

对于重载或存在明显地面塌陷路段，使用单位提高巡线频次和泄漏检查频率，必要时在特殊区段适宜位置打泄漏检查孔；也可采取择机更换沙土、重新回填等保护措施。

针对管道地面标志缺失、磨损或使用错误的情况，明确管道地理位置信息后，修正错误标志、恢复缺失、磨损标志，并应持续跟进地面标志的后期维护工作。

对于管道裸露以及阀井内管材裸露未进行沙土

回填情况，考虑到大气环境中紫外线、温度变化等因素会加速聚乙烯管材老化，从而降低管道力学性能和耐压强度；外露的管材容易被碰撞、挤压易破损，从而导致漏气，发现后立即采取及时回填等保护措施。

管道长期处于外壁土壤温度较高的环境，建议优化管道敷设路径，避开热源影响区域，特殊区段选用耐温等级更高的聚乙烯管材，无法避让时采用架空敷设或设置隔热管沟；针对管道长期处于污水腐蚀环境，可以在污水易渗漏区加装钢制或玻璃钢防渗套管，两端做好密封处理，防止污水渗入接触管道或进行土壤改良与隔离，避免管道长期处于加剧老化的环境中。

针对跨越段管道防腐层局部腐蚀以及管道支座失效等问题，建议择机进行对应部位的防腐漆补防和管道支座更换工作，避免管道局部受力，产生应力集中或发生腐蚀穿孔、管道形变等缺陷，影响管道正常使用。

2.3 开挖检验问题对策

对于管道埋深不足的管段，提高巡线频次和泄漏检查频率，必要时在特殊区段适宜位置打泄漏检查孔；也可采取择机回填至规定埋深、或在不影响管道结构完整性的前提下下沉区段、或采取其他相应保护措施（支撑墙、套管、砼护板、盖板等）。管道埋设的最小覆土层厚度（地面至管顶）应符合GB 50028—2006（2020版）《城镇燃气设计规范》、GB 55009—2021《燃气工程项目规范》的规定，且应满足设计文件要求。

管道连接焊接方法选用错误，建议对其余管段开挖查验、逐一排查，严格按照相关标准、规程的要求，割除问题接头后由持有相应资质证书的焊工依据经评定合格的焊接工艺、采取适宜的连接方式进行焊接，并按照施工验收规范对焊接接头完成质

量检验^[1]。

开挖处钢塑转换接头严重腐蚀或存在气体泄漏，建议及时更换管件；对于钢塑转换接头表面轻微腐蚀的情况，应在该管道所有钢塑转换接头附近打泄漏检查孔，提高泄漏检查频次。

管道周围有深根植物分布、生物侵蚀的服役环境，提高泄漏检查频率，增加管道外壁完整性检测项目，可采用探地雷达或声波检测技术，落实物理阻隔防根系入侵、主动清除生物侵蚀源、优化巡检与监测方式三类措施，从源头降低对管道本体的破坏风险，避免影响管道本体质量。

管体表面质量较差，划痕、凿根深度超标。一是立即采取临时管控，将该超标管段划为高风险区域，降低管内燃气运行压力，加密泄漏检测频次（可采用激光甲烷遥测仪、便携式燃气检测仪组合检测），严禁在管段周边进行挖掘等外力作业。二是委托专业机构进行评估决策，对管体损伤进行全面评估。三是更换管段施工应选用与原管道同规格、同材质、同压力等级的合格管材，焊接时严格遵循热熔对接或电熔焊接工艺标准，焊接完成后需进行外观检查、翻边切除检查及气密性试验，确保接口无缺陷。

开挖后发现回填质量较差、管道地面标志偏移、管道上方两侧存在施工建设等有可能影响管道失效的第三方损坏因素，根据具体情况采取必要的风险减缓措施。一是彻底清除回填土中的石块、砖块等硬质杂物，采用人工分层夯实素土或沙土；二是重新测量管道的准确位置走向和埋深，校正地面标志位置，确保标识与管道实际位置相对应；三是针对管道周边施工作业，使用单位应及时告知，并与施工单位签订管道保护协议，明确保护责任和措施，并在施工期间安排专人现场监护，实时掌握施工动态。

3 思考与建议

首先，城镇燃气运营企业是燃气管道安全的责任主体，必须切实增强责任意识和风险意识。要全面加强日常安全管理，进一步落实燃气管道安全管理、年度检验和维护保养制度；建立安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制，及时处置巡线和自查发现的问题隐患，做好闭环管控；制定并完善应急救援预案和现场处置方案，加强抢险队伍的



内检测作业/来源网络

应急处置能力建设，并定期组织演练，夯实管道安全基础，确保可靠平稳运行。

其次，城镇燃气管网部署环境情况复杂，涉及住建、城市管理、能源、市场监管等多部门，各级监管部门要加强与当地燃气主管部门的对接协调，加大对燃气管道相关违法违规行为的联合查处力度，督促燃气相关企业落实安全主体责任；燃气管道运营企业应及时建立完善管网地理信息系统（GIS）、数据采集和监视控制系统（SCADA），运用信息手段动态监控管道运行状态；探索城镇燃气安全信息化监管机制，强化数据互通，加强部门之间的协作和信息共享。

目前，需加快推进城镇燃气管道智慧化监管平台的研发，形成特种设备智慧监管及数字化安装监督检查体系，实现安装单位、建设单位、检验单位以及政府主管部门之间实时信息共享、交流。深入

研究城镇燃气管道先进检测与评价技术，着力解决燃气聚乙烯管道在线老化检测及评价技术、焊接接头缺陷检测及评价技术、聚乙烯管道内检测技术等关键技术，进而提升燃气管道检验有效性。

参考文献：

- [1] 党文静，党文亮，张文琪，等.公用聚乙烯管道焊接方式错用原因分析及整改建议[J].特种设备安全技术，2023(06): 38-41.



作者简介：马轩，1991年生，本科，助理工程师，主要从事压力管道检验检测工作。联系方式：19929989052，247298146@qq.com。

（上接第59页）

性。建议设备选型需“适配工况”，针对低流量管道优先选择泡沫材质检测器（过盈量2%~5%），减少运行阻力，搭配IMU定位与低频跟踪设备，避免“跟丢球”。工艺调整要“动态协同”，通过降压、调控分输等方式优化流速，确保设备运行速度在0.25~5.0 m/s区间，同时提前清管排除杂质，降低卡堵风险。质量管控应“闭环验证”：检测后需通过开挖验证（覆盖主要缺陷类型）、数据复核（与超声/射线检测对比）确保结果准确，避免误判导致的资源浪费。优化方案与检测设备通过“适

配性、稳定性、精准性”的三重提升，有效解决了低流量长输管道内检测的核心痛点，为同类项目提供了可落地的技术范式。



作者简介：刘陇，1983年生，高级工程师，2006年毕业于湖南大学机械与运载工程学院机械设计制造及其自动化专业，主要从事管道完整性管理与管道保护工作。联系方式：18693102258，liulong@pipechina.com.cn。

输油泵机械密封泄漏故障分析与处理

李超

国家管网集团甘肃公司酒泉维抢修中心

摘要：针对某原油管道输油泵驱动端机械密封在启动后发生的急性泄漏故障，通过现场系统性检测与根本原因分析，逐项排查轴窜量、振动、动平衡等常规因素，最终将故障根本原因定位为泵壳机械密封安装面与轴线的垂直度严重超差，导致动环组件承受异常应力，引发驱动槽磨损与弹簧卡滞，致使密封失效。研究提出通过精密调整泵壳位置以优化安装面角度的现场修复方案并成功启机验证，消除了泄漏，并为同类设备的预防性维护与检修规程优化提出参考建议。

关键词：输油泵；机械密封；泄漏故障；垂直度；现场修复

技术应用

输油主泵是长输管线的核心动力设备，其运行可靠性直接关系到管线的安全生产与经济效益。某原油管道输油泵（苏尔寿SM203-640）在2024年5月9日启机后，驱动端约翰克兰机械密封在2分钟内发生严重介质泄漏，迫使机组紧急停机。此次故障属于非典型异常，本文通过全面记录此次故障的调查、分析、处理及验证全过程，以期为同类设备的故障诊断与预防性维护提供技术参考和实践案例。

1 故障现象

原油管道输油泵自2013年投运，累计运行约51383小时。2023年8月因机械密封甩油现象更换了两端密封。2024年4月20日进行了计划性大修，内容包括轴承更换、转子动平衡校验、转子圆跳动检查以及两端机械密封更换等，大修后经72小时测试运行正常，并正常运行了7天。2024年5月9日，该泵启动运行2分钟内，作业人员即观察到驱动端机械密封出现大量介质泄漏后，立即执行紧急停机程序。次日，作业人员介入故障排查与处理。本次故障发生前该泵处于完好备用状态。

2 原因分析

为确定泄漏根本原因，检修团队依据机械密

封失效机理，结合大修检查数据，逐项进行了系统性排查。首先检查转子轴向窜动，实测泵轴窜量为0.05 mm，未超出0.05 mm~0.10 mm标准值。检查振动与转子状态，启机振动值为1.6 mm/s，远低于高报值7.1 mm/s；转子动平衡剩余不平衡量2.84 g，优于合格标准（ ≤ 4.48 g）；转子各部位圆跳动量均在标准范围内（ ≤ 0.03 mm）。经厂家现场拆解检查密封本体状态，密封圈完好无损，动静环密封面洁净，无变形、无破损。

通过以上检查，排除了密封件自身质量问题及污物侵入因素后，排查聚焦于以下两个关键问题。一是弹簧卡滞与驱动槽磨损。拆解机械密封后发现动环倾斜，其支撑弹簧一侧未正常弹起，进一步检查发现动环驱动槽存在严重磨损（图1）。二是密封安装面垂直度超差。使用百分表对泵壳密封安装面进行打表测量，发现其与轴线垂直度存在严重偏差。驱动端垂直角度偏差最大达0.35 mm，非驱动端为0.19 mm，均远超 ≤ 0.15 mm的标准值，且均为“下张口”（图2）。

据此表明故障的根本原因是，密封安装面垂直度超差，导致机封动环套在运行中承受不均匀的轴向与径向力，引发动环套驱动槽被持续磨损，间隙增大，动环套与静环发生相对角位移，卡滞静环使

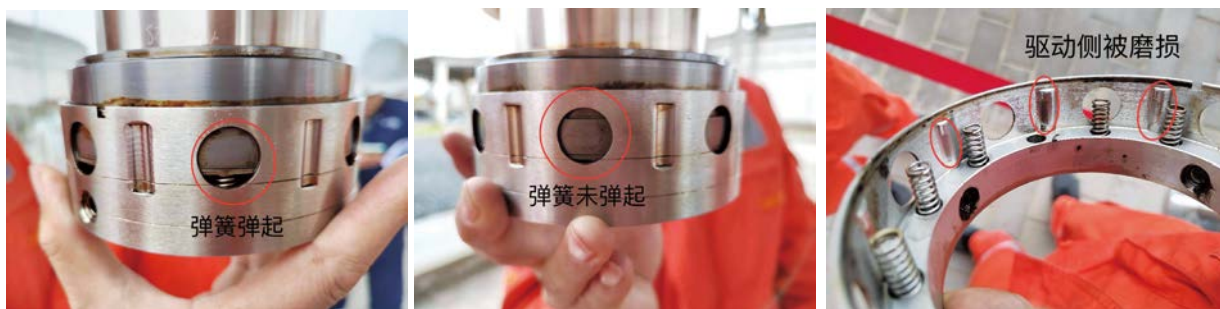


图1 检查弹簧卡滞与驱动槽磨损情况



图2 密封安装面垂直度检查

弹簧无法正常弹起，致使动静环由正常的面接触变为不稳定的线（角）接触，密封功能失效，发生急性泄漏。

3 解决方案

针对垂直度超差的根本原因，作业人员在不引入新部件的前提下，通过精密调整解决。具体方案为调整上泵壳的安装位置，通过微量平移改变两端密封面的角度偏差分布。

使用铜锤精密敲击松动泵壳螺栓与定位销，使上泵壳向驱动端方向偏移 $0.08\text{ mm}\sim 0.10\text{ mm}$ ，确保将驱动端过大的偏差量部分转移至非驱动端，两端偏差趋于均衡。调整后复测，驱动端垂直偏差由 0.35 mm 降至 0.24 mm ，非驱动端由 0.19 mm 升至 0.23 mm 。虽仍未完全达标，但最大偏差得到有效控制。调整完毕后于2024年5月15日进行两次启机测试，分别运行20分钟和连续运行，两次测试中机械密封均无任何泄漏迹象，机组各项运行参数（振动、温度、压力）均正常。维修后正式投入运行，

后续跟踪检查发现运行状态稳定良好。

4 建议

本次输油泵机械密封急性泄漏故障的根本原因，并非常见的密封件损坏或转子动态问题，而是源于泵壳机械密封安装面的制造或装配累积误差导致的垂直度超差。这一隐性缺陷在大修后被激发，通过复杂的受力传递最终表现为密封的快速失效。所采用的现场精密调整泵壳方案，被证明是行之有效且经济的修复手段。为防范类似故障，提升设备可靠性，提出以下建议。

完善检修规程。建议在《输油泵大修作业指导书》中，将“泵壳密封安装面与轴线垂直度”增设为强制性检查项，并明确其测量方法与验收标准。

加强状态监测。鉴于该泵当前垂直度仍处于超标状态，且蜗壳存在单侧汽蚀损伤，建议将其列为重点监控设备，加强振动、轴承温度等参数的趋势分析，评估其长期运行可靠性。

推动根本治理。建议联系泵组原厂家（苏尔寿），对存在几何公差超差的泵壳进行技术评估，寻求根本性的修复方案（如现场镗孔修复或部件更换），以彻底消除隐患。



作者简介：李超，1985年生，大学本科学历，中级工程师，钳工技师，长期从事长输油气管道用输油泵、压缩机、阀门等关键设备检修、故障诊断及处理工作。联系方式：18695193162，774257365@qq.com。

提升天然气输气场站压缩机房本质安全的防爆系统研究

强常伟 方东 白元飞

陕西省天然气股份有限公司

摘要：天然气压缩机房属于典型的防爆重点区域，其安全运行直接关系到站场及人员生命财产安全。本文从本质安全的角度出发，基于“门禁联锁+可燃气体检测+视频监控”三重监测体系，设计一套智能化防爆风机自动联锁系统，实现压缩机房的实时监测、自动通风与远程控制。当检测到人员进入或燃气泄漏时，系统自动启动防爆风机排气，维持室内天然气浓度低于爆炸下限的25%LEL，减少燃气浓度积聚，提升天然气压缩机房的本质安全水平。

关键词：天然气压缩机房；防爆；本质安全；门禁联锁；气体检测；自动排风

天然气作为一种清洁高效的能源，在我国能源结构中占有重要地位。随着天然气管网的不断扩展与输气规模的持续增长，输气场站的安全运行问题日益凸显。

压缩机房作为场站内增压输送的核心单元，其内部设备密集、管线复杂，长期处于高压、高速运行状态，存在密封点泄漏、设备老化、操作失误等多种风险源。天然气主要成分为甲烷，属于易燃易爆气体，其爆炸下限约为5%VOL，一旦在有限空间内积聚并达到爆炸范围，遇点火源即可引发严重事故。目前，多数传统压缩机房的安全防护仍依赖于定期人工巡检、分散安装的可燃气体报警器以及自然通风等方式。这些方式普遍存在响应滞后、覆盖不全、依赖人员经验等问题，难以实现实时、精准的风险管控。特别是在无人值守或巡检间隔期间，安全隐患无法被及时发现与处置，事故风险显著升高。

近年来，随着工业物联网、传感器技术、人工智能及自动控制技术的快速发展，构建智能化、集成化、自动化的安全监测与控制系统已成为可能。在此背景下，本研究旨在从设计与工程应用角度出

发，研发一套适用于天然气压缩机房本质安全的防爆系统。该系统集成门禁管理、可燃气体实时监测与智能视频分析等功能，通过逻辑联锁实现防爆风机的自动启停，从而在泄漏发生初期或人员进入危险区域时迅速响应，维持环境安全，真正实现从“人防”到“技防”的转变。

1 防爆系统内容

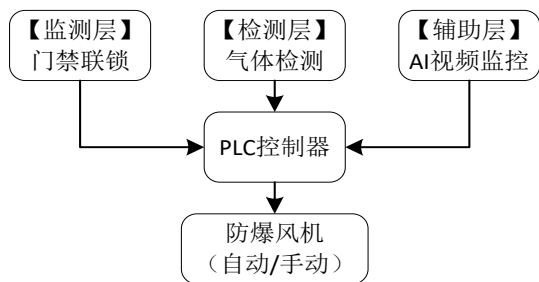
1.1 系统总体设计思路

系统设计遵循“多重探测、智能判断、自动响应、冗余可靠”的原则，以提升压缩机房的主动防护能力为核心目标。系统以高性能PLC作为中央控制单元，负责实时采集、处理来自门禁系统、多路可燃气体检测仪及AI视频监控摄像头的信号，并依据预设的安全逻辑执行相应的控制指令（图1）。

系统具备三种主要工作模式。

(1) 全自动模式。系统根据探测信号自动判断并执行风机启停，无需人工干预。

(2) 远程手动模式。监控中心操作人员可根据实时数据或视频画面，远程手动控制风机运行。



注：当任意探测信号触发→自动开启防爆风机，排气通风同时上传报警信号至监控平台（支持远程控制）。

图1 系统总体逻辑框架

(3) 现场应急模式。机房现场设置紧急启动/停止按钮，用于特殊情况下的本地操作。

系统设计还充分考虑了冗余与可靠性：关键传感器（如气体探测器）采用冗余布置；PLC程序具有自诊断与故障报警功能；通信链路具备断线续传与备用通道。

1.2 防爆风机启动逻辑与计算分析

(1) 气体泄漏稀释时间计算。当压缩机房内出现泄漏时，风机应在最短时间内将天然气浓度稀释至安全值（LEL）以下。其理论稀释时间由式

(1) 计算：

$$t = \frac{V \times (C_0 - C_S)}{Q \times (C_S - C_{OUT})} \quad (1)$$

其中： t 稀释时间，s； V 机房体积， m^3 ； C_0 泄漏后初始浓度，%； C_S 安全浓度，%； C_{OUT} 外部空

气浓度，约0%； Q 风机换气量， m^3/s 。

假设某压缩机房体积 $V=6500 m^3$ ，考虑中等泄漏速率场景，当系统检测到气体泄漏后浓度3%VOL，即60%LEL，属于高风险状态。考虑风管阻力、布置等因素，风机有效换气量 $Q=60 m^3/s$ ，则稀释至1%所需时间： $t=[6500 \times (3-1)]/[60 \times (1-0)]=216 s$ 。即防爆风机（单个防爆风机排气量 $10 m^3/s$ ，共6台）启动后约3.6 min即可将浓度降至安全值以下。

计算结果表明，从系统触发到启动风机，并在理想混合状态下，约需3.6 min即可将室内平均天然气浓度从3%降至1%以下。该计算需结合场所实际体积、风机换气量等因素综合考虑。实际应用中，需考虑泄漏点位置、气体扩散不均匀性等因素，适当增加安全系数。

(2) 联锁响应逻辑分析。系统的核心在于其精确、可靠的联锁控制逻辑。所有感知信号输入PLC后，由内部程序进行综合判断，输出相应的控制与报警指令。具体控制逻辑如表1所示。

1.3 系统硬件组成与通信结构

系统的可靠性建立在关键硬件设备的合理选型与稳定通信之上。所有安装在爆炸性环境内的设备均需满足相应的防爆等级要求（表2）。

表1 系统联锁响应逻辑列表

触发条件	控制与报警动作
门禁开启（人员进入）	自动启动防爆风机，风机持续运行，直至人员离开且气体浓度安全
任一可燃气体浓度检测仪 $\geq 25\%LEL$	立即启动防爆风机并发声光报警，并向监控平台发送一级报警信号
视频识别人员滞留 $> 5 min$	风机自动维持运行，并发送提示信息至监控中心
远程手动指令	风机远程启动或停止，优先级高于部分自动条件（紧急停止最高）
风机运行异常反馈	立即在系统报警，必要时可联动切断该风机电源

表2 系统硬件组成与通信结构列表

模块名称	主要功能	技术参数
门禁联锁模块	管理人员进出权限，检测门体状态，并将“开门信号”联锁风机启动	防爆型读卡器（Exd II C T6 Gb），红外对射探测器，支持刷卡、密码或生物识别
可燃气体检测仪	实时监测甲烷体积浓度	检测范围0~100%LEL；精度 $\pm 3\%FS$ ；响应时间 $< 30 s$ ；防爆等级Exd II C T6 Gb
视频监控系统	识别人形与可视化状态	防爆高清摄像头，分辨率大于1080P；支持AI识别，自动判断人形、行为异常等情况。
防爆风机	排风稀释气体	轴流或离心式防爆风机；风量 $\geq 10 m^3/s$ ；防爆等级Exd II C T6 Gb；电机防护级别IP55；配备防爆控制箱。
PLC主控单元	联锁逻辑控制与远程通信	西门子S7-1200系列或同级产品；支持Modbus TCP/IP等协议

系统通信网络采用工业以太环网为主干，连接PLC与监控服务器。现场防爆区域的传感器与执行器通过本安或隔爆方式接入现场I/O柜，再通过屏蔽电缆与PLC通信。关键数据链路采用双冗余设计，提高系统可用性。

2 系统运行结果与分析

2.1 运行结果与验证

运行结果表明，系统极大地提升了压缩机房安全监控的实时性、准确性和自动化水平。特别是在模拟泄漏试验中，能在3 s内启动防爆风机，响应时间大幅度缩短，气体浓度下降率明显，报警响应延时大幅降低，验证了设计的有效性和工程实用性（表3）。

表3 系统运行结果统计

状态	启动响应时间/s	气体浓度下降速率	风机运行方式	报警响应延时/s
改造前	120	-	自然通风	30
改造后	3	80%/min	自动控制	<1

2.2 系统创新性分析

(1) 多源信号融合触发机制。突破单一检测方式的局限性，将“人员出入管理”“环境气体监测”与“视觉行为分析”三类异构信号进行融合。PLC通过算法综合判断，例如：仅气体瞬时微超限但无人员且视频无异常，可能为探测器误报，系统仅记录不启动风机；而当人员进入伴随气体浓度上升趋势，则立即触发最高级别响应。这种融合机制大大提高了系统判断的准确性与可靠性，减少了误动作。

(2) 智能联锁与远程可控双模式。系统并非完全僵化的自动控制，而是设计了灵活的双模式。在日常，依靠自动联锁实现无人化安全值守；在检修、调试等特殊工况下，监控人员可远程接管控制，或现场人员使用应急按钮，实现了自动化与人工干预的结合，兼顾了安全管理的可靠性与操作灵

活性。

(3) 可计算安全模型。将气体扩散与稀释的理论计算公式直接嵌入系统设计阶段，用于指导风机选型、数量配置和安全响应时间的预估。这使得安全系统从“经验设计”迈向“模型化、量化设计”，提升了工程设计的科学性与经济性，为安全系统的标准化、模块化推广奠定了基础。

3 结论

本文针对天然气压缩机房这一高危场所，深入研究了其防爆本质安全提升的关键技术与系统实现方案，得出以下结论。

(1) 构建了高效的多维感知与联动控制体系。将门禁联锁、分布式可燃气体检测与AI智能视频监控技术进行深度融合，设计并实现了一套以PLC为核心的自动联锁控制系统。该系统能够全方位、实时地感知机房内人员活动与气体环境状态，实现了从风险感知到主动防护的快速闭环。

(2) 显著提升了应急响应速度与安全可靠。引入气体泄漏稀释理论模型进行前期计算，通过强制快速排风，能有效防止可燃气体体积聚，将室内浓度持续控制在爆炸下限以下，从根本上降低了燃爆风险。

(3) 具备良好的行业推广价值。设计理念与技术架构不仅适用于天然气压缩机房，也可经过适应性调整，推广至石油化工、煤化工等存在易燃易爆气体风险的各类封闭或半封闭场所，对推动相关行业本质安全水平的整体提升具有积极的示范意义。



作者简介：强常伟，本科，高级工，输气工，研究方向为天然气输气场站本质安全，主要从事天然气场站安全管理、压缩机运行维保等工作。联系方式：13429728455，402340738@qq.com。

油气管道应急维抢修直管段黄金口关键技术探讨

吕军敏¹ 张晓戎² 惠天鹏²

1.国家管网集团西北公司山西输油气分公司；2.国家管网集团西北公司银川输油气分公司

摘要：本文聚焦油气管道直管段黄金口工艺连接关键技术，系统分析其在管道维抢修中的技术特点与实际应用工况。提出的基于象限点的几何补偿法，有效解决了应力位移下的组对难题。通过精准下料切割、对口焊接与应力控制技术，以及针对不同应力位移工况的技术处理方案，可高效完成管道黄金口连头作业。实际案例验证，该技术使抢修效率提升40%，成本节约25%，为管道全生命周期管理提供关键技术保障。

关键词：管道运输；维抢修技术；直管黄金口；连头工艺；应力控制

我国油气管网途经地形地貌复杂，往往包含黄土湿陷区、山壑地段及江河穿越段，受滑坡、泥石流、水流冲击等自然灾害影响，以及第三方施工损坏、打孔盗油等人为因素干扰，管道变形、腐蚀穿孔及断裂失效等风险始终存在^[1]。如何在事故发生后通过科学高效的维抢修手段快速恢复生产，成为管道运营管理的核心课题。在维抢修作业中，被誉为“黄金口”的最终连头工艺，因其技术难度大、环境变数多，直接制约着抢修工程的质量与效率^[2]。本文针对这一工艺技术难点，提出关于油气管道黄金口组对计算基于象限点的几何补偿法，以期为维抢修作业提供借鉴。

1 黄金口连头的技术难点

黄金口即管道连头的最后一道焊口，通常面临任意空间位置对接的挑战。其难点在于以下几个方面。

累计误差控制。工艺流程涉及测绘、计算、放样、下料、组对等多个环节，任何一个环节的微小误差都会在最终连头时放大，导致组对失败。

复杂应力场。断管后，主管段往往会发生应力

释放，导致轴心线偏移、错位或形成夹角^[3]，要求作业人员具备极强的空间想象力和几何计算能力。

环境制约。抢修现场往往空间狭小，且受温度变化影响，需综合考虑热胀冷缩对组对精度的影响。

2 连头前的准备与测量工艺

基础条件复核。换管位置确定后，首先需校验连接管与主管的物理性能指标（材质、等级）及几何尺寸（壁厚、管径、椭圆度）是否匹配，确保满足焊接工艺评定要求。

断管与应力释放。这是连头成功的关键前提。需查勘主管与连接管的水平高差及走向偏差。在主管两端连头点位置内，靠一端预留足够余量断开管线，利用断管释放主管积聚的载荷应力、自然沉降应力及变形应力。断管后需以场地基准中心面为参照，用粉线查勘主管轴心线的变化情况（图1）。通常分为三种应力释放形态：①无变化；②同向位移形成夹角；③反向位移形成错位。

基准线与象限点的确定。①连接管处理。动火连头前，首先确定连接管的尺寸。利用水平尺配

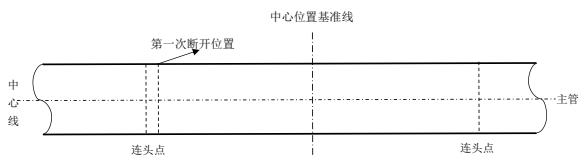


图1 主管应力释放断管示意图

合直尺找出中心线和中点位置基准线，并在两端管口确定四等分象限点，确保象限点位置必须一一对应。这是所有后续几何切割的坐标基础，必须保证标记清晰、准确，且具有耐高温特性，防止热切割过程中标记模糊。②主管处理。在主管上找出中心线，画出换管段的中心位置。以此建立连头场地基准中心面，并在主管两边的场地上做好明显标记。按连接管长度在主管上标定两端连头点，确保主管与连接管中心对应。此步骤能有效避免因视觉误差造成的轴向尺寸偏差。

3 黄金口组对与焊接关键技术

3.1 焊接工艺与组对间隙优化

为缓解焊接热应力导致的间隙收缩变形，并方便连接管顺利到位，可采用预置斜面间隙法^[4]。这种方法利用了金属热胀冷缩的特性和重力对熔池的影响。

采用下向焊工艺时：保持两端管口顶部象限点位置不变，以管口顶部最高点向外1 mm处为起点，向底部象限点成斜面进行修磨处理，吊装时控制连接管从下向上入位。这1 mm的余量能有效补偿焊接过程中因焊缝收缩引起的间隙变窄。

采用上向焊工艺时：保持底部象限点不变，以管口底部最低点向外1 mm处为起点，向顶部象限点成斜面进行修磨处理，吊装时控制连接管从上向下入位。

3.2 吊装平衡控制

合理的吊装不仅省力，更能保证安全。

直管连头：采用“一端固定+一端葫芦”法。即一端采用吊装带直接固定，另一端配合手拉葫芦，便于微调水平度与轴线重合度，防止管口在对接瞬间因惯性撞击而损伤坡口。

异形件连头（三通/弯头）：采用“三点固定”法。仅一端固定，其余两端及关键节点（如三通支管、弯头中部）均使用手拉葫芦，用来调整管口焊接面平衡。这种多点控制能精确调整异形件的空间姿态，确保各管口间隙均匀。

3.3 错边与壁厚处理

焊缝错开：连接管与主管的螺纹位置应错开100 mm以上，避免应力集中，并尽量不要把管螺纹留在管口下方（6点钟位置），因为该位置是仰焊操作的难点，焊缝重叠会显著增加焊接缺陷的风险。

不等壁厚处理：若两者壁厚不同，应以薄壁管内径和外径为基准，按“先内后外”原则，对厚壁管进行30°倒角的减薄处理，减薄至薄壁管的管径和壁厚尺寸，避免焊接过程中产生微裂纹或未熔合缺陷。

4 不同应力位移工况的技术处理方案

在实际抢修中，受地形及残余应力影响，管端常出现角度偏差。本文采用基于象限点的几何补偿法进行修正，该方法通过测量管口不同象限点的空间位置差异，精确计算切割补偿量^[5]。

工况一：断管后无位移（理想状态）。

当两管段轴心线仍重合时，按连接管长度的一半，结合焊接间隙，直接以场地基准中心面为原点，确定另一端切割位置。

操作要点：断第二刀后，先调整两侧管段使其轴心线完全重合。以修整合格的一端管口为新基准，重新标定四等份象限点，再利用连接管尺寸反推另一端连头点。重点校验管口平整度与坡口角度，确保坡口钝边均匀，为高质量焊接打下基础。

工况二：同向位移形成小角度夹角。

当两管段轴心线延长线相交形成夹角时，若不进行几何补偿直接组对，将导致一侧间隙过大无法焊接，另一侧间隙过小无法熔透。需通过几何补偿法修整管口。

操作要点：调整管段至极限位置后，找出形成夹角方向的中心线作为“管顶端中心线”。测量两管口顶端象限点间距与底部象限点间距，其差值即为“补差尺寸”。

连头点修正公式分别为：主管顶端连头点保持不变；底部连头点为象限点尺寸 - 1/4补差尺寸；腰部连头点为象限点尺寸 - 1/8补差尺寸。

连接新的各连头点并切割（图2）。在连接管的对应象限点上，参照基准中心线，用同样方法处理（图3）。通过管口斜面补偿角度偏差，使两个斜面在空间上形成平行对接，保证全周间隙均匀。

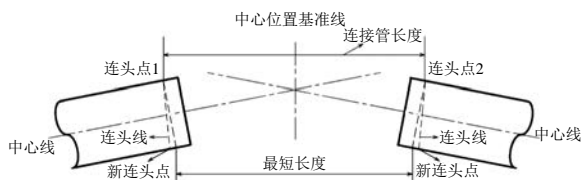


图2 管口连头点示意图

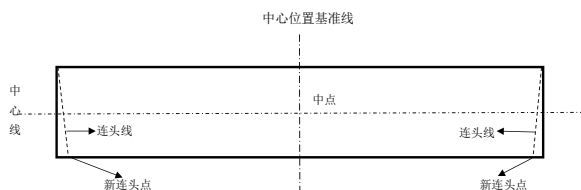


图3 管口连头点对照基准线示意图

工况三：反向位移形成错位口（最复杂工况）。

当两管段轴线平行但错位时，需采用“双向补偿法”。此工况下，管口不仅有角度偏差，还有轴向位移，是考验工艺水平的最高难度。

操作要点：确定错出方向的中心线为顶端中心线，用粉线连接管口新顶端中心线相对应另一端管口中心线，再用直角尺与之配合测量出两管口在垂直平面形成夹角的补差尺寸（图4）。

连头点修正公式分别为：顶端中心线点按连接管一半的尺寸（考虑焊接间隙）；腰部中心线点连接管一半尺寸 - 1/4补差尺寸；底部（错进端）中心线点连接管一半尺寸 - 1/2补差尺寸。

将各连头点连线切割修磨至达到焊接要求。另一端管口及连接管均参照基准中心线，用同样的办法在各中心线上找到相对应的补差尺寸确定连头点进行修磨（图5）。

通过人为制造管口斜度，使两管在组对时能够通过旋转或倾斜实现严密贴合。在实际操作中，还

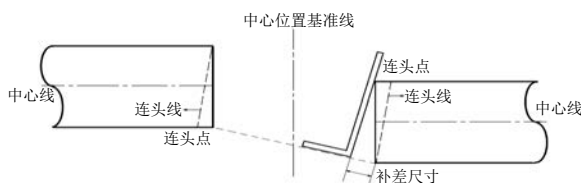


图4 管口连头点补差尺寸示意图

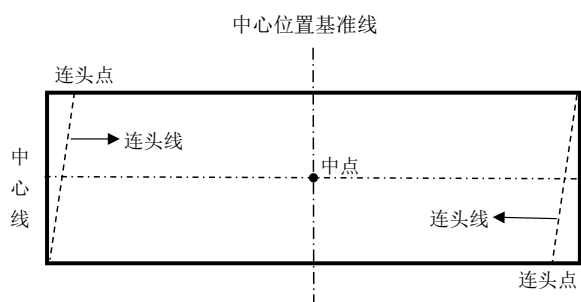


图5 管口连头点补差尺寸对照基准线示意图

需反复试吊装，微调修磨量，直至错边量控制在规范允许范围内（通常 $\leq 2\text{ mm}$ ）。

5 结语

本文提出的基于象限点的几何补偿法，将复杂的空间几何问题转化为直观的线性尺寸，有效解决了复杂应力位移下的组对难题。配合预置斜面间隙与不等壁厚处理技术，显著提升了焊接一次合格率，降低了组对残余应力。

实际案例验证表明，该技术在维抢修作业中表现优异，使抢修效率提升40%，成本节约25%，为管道全生命周期管理提供了关键技术保障。面对日益复杂的“黄金口”连头需求，单纯依赖传统经验已难以为继。未来应进一步推广三维激光扫描技术在连头测绘中的应用，并研发多自由度液压组对器，通过技术迭代实现管道抢修的标准化、数字化与智能化，为国家能源大动脉的安全运行提供更坚实的技术支撑^[6]。

参考文献：

- [1] 王富祥, 冯庆善, 燕冰川, 等. 中国油气管道维抢修技术现状及发展趋势[J]. 油气储运, 2021, 40(06): 601-610.
- [2] 张杰. 长输管道抢修连头施工技术及质量控制[J]. 石油工程建设, 2019, 45(S1): 162-165.
- [3] 贾光明, 岳巍, 孟凡强. 管道维抢修连头失效原因分析及预防措施[J]. 焊接技术, 2020, 49(09): 98-101.
- [4] 崔利军. 长输管道特殊工况下的连头组对工艺改进[J]. 天然气与石油, 2018, 36(02): 112-116.
- [5] 吴森. 基于象限点测量算法的管道连头施工技术[J]. 石油工程建设, 2020, 46(02): 54-57.
- [6] 孙杰, 席时亮, 杜通林, 等. 三维激光扫描技术在管道抢修连头中的应用[J]. 管道技术与设备, 2022(03): 42-45.



作者简介：吕军敏，1972年生，大专，技师，主要从事管道应急维抢修和管道工艺建设安装工作。联系方式：18309515196, lvjm@pipechina.com.cn。

《管道安全保护》编辑部：油气管道因线路长、分布地域广，几乎穿越了我国所有地貌单元，不可避免地受到地质灾害威胁，成为管道安全的主要风险源之一。《石油天然气管道保护法》第十三条规定，管道建设的选线应当避开地震活动断层和容易发生洪灾、地质灾害的区域；新建管道通过的区域受地理条件限制，不能满足规定的管道保护要求，管道企业应当提出防护方案，经专家评审论证和主管部门批准后方可建设。这一规定构建了从源头规避地质灾害重大风险的法律防线。本文介绍一起发生在美国的因持续降雨诱发的地质灾害与管道本体焊缝缺陷耦合，导致天然气管道破裂泄漏并引发火灾爆炸事故，其经验启示可为同类管道的风险防控提供实践参考。

一起因地质灾害导致的天然气管道断裂爆炸事故

于景浩

中国石油大学（北京）

1 事故概况

2012年1月2日，美国哥伦比亚海湾输气公司Line200天然气管道在肯塔基州发生破裂泄漏并引发火灾爆炸，事故未造成直接人员死亡，周边30名居民在紧急疏散中有少数人员受轻伤。

事故管道始建于1965年，管材X65，外径762 mm，壁厚8.2 mm，设计压力6.9 MPa，事故发生时实际运行压力6.26 MPa，潜在影响半径约200 m。事发地三管并行敷设于斜坡区域，其中Line100天然气管道外径762 mm，位于事故管道下坡50 m的坡脚位置；Line300天然气管道外径914 mm，位于斜坡最右侧，事故管道在其下坡15.2 m处^[1-2]。

事故当日19时，压气站值班人员监测到Line200管道压力异常下降；19时10分，涉事企业接到周边居民火情报警，称管道起火爆炸；19时15

分，涉事企业核实Line200管道发生破裂，破裂点位于89号公路以北240 m的一级地区K068+300里程桩，距上下游阀门各6.4 km。事故造成Line200管道周边形成长26.2 m、宽6.7 m的爆炸坑，管道碎片从破裂中心线最远抛射243.8 m（图1）；泄漏的天然气管道点燃后烧毁了周边树木，火灾热辐射导致243.8 m外的活动房屋拖车塑料外墙板发生热损伤



图1 Line200管道爆炸碎片分布及影响范围



图2 Line200管道事故现场情况

变形(图2)。

2 原因分析

事故由长期降雨诱发的地质灾害与管道本体焊缝缺陷耦合所致。该管道横坡敷设,因长期降雨发生土壤蠕变,垂直于管道方向产生弯曲应力过载,导致管道在环焊缝附近区域发生了高能破裂(High energy rupture),引发上游临近环焊缝低能失效(Low energy failure)。

(1) 管材和焊缝的失效分析。

通过事故管道失效分析显示,呈现了高能破裂和低能失效两种不同的失效模式。

高能破裂发生在事故管道10点钟~3点钟位置之间的管道预制弯曲段位置,由于土体沿山坡的地面移动产生了必要的应力,使管道侧弯/下弯段发生弯曲,引起的周向膨胀区恰巧位于环焊缝附近,管道受弯段产生轴向和周向裂纹,在弯曲应力作用下发生了延性扩展与断裂。

低能失效发生在环焊缝裂纹处,该焊缝存在多条氢致裂纹,周长从12.7~304.8 mm不等,裂纹源于热影响区根部焊趾部的内径表面,最大深度为5 mm,约为壁厚的42.8%,裂纹在焊缝中通过管材扩展最终导致断裂。

(2) 沿线地质灾害调查分析。

地质条件分析。涉事企业在事发后两次开展地质灾害的调查分析,勘察事故区域现场,寻找土体移动的证据,并确定相邻的Line300管道可能受到的土体移动威胁,但Line200管线的修复工作破坏了原始地貌,干扰了对周边地质灾害的分析,因此未发现明显的斜坡滑动迹象或由于事故区域原始地

貌受到干扰,无法目测评估斜坡滑动的迹象。通过对比识别Line200管道事故维修前和破裂后的航拍照片,观察到事故区域与北部边缘的土壤隆起,继续向南有一些“轻微的不规则”,并在破裂处附近结束(图3)。调查认为,Line200管道路由沿线地层中岩石上方土壤层较薄(小于3 m),强降雨事件可能会在岩石上的土壤层中积水,降低了土壤强度导致蠕变,致使管道承受了一定的横向荷载。

降雨分析。根据管道附近气象站的降水数据发现,2011年有10个月的降水量高于正常水平。如2011年4月,该区域一次降水量从正常平均水平的101.6 mm增加到279.4 mm,与过去3年正常平均水平相比,降水量增加了175%,使土壤饱和,增加了孔隙压力,降低了土壤抵抗剪切力的稳定性。

地形地貌分析。采用徒步或驾车的方式对事故点上下游压气站之间的管段路由进行现场调查,其地形以陡峭的斜坡为主,由页岩和砂岩覆盖,土壤层较浅,表面堆积着大量岩石碎块和冲积物,很容易因碎屑崩塌、滑坡、蠕变和片状冲刷而造成坡体活动。

地震活动分析。根据以K040里程桩为圆心、289 km半径内的地震活动数据发现,距离K040里程桩参考点93.4~287 km范围内发生了26次地震,震中都不在肯塔基州,最近的一次地震发生在2011年9月19日,震级为2.4级,排除了地震导致事故的发生。

其他分析。调查过程中重点关注了斜坡和河流穿越情况。调查区域共计排查出60处不稳定斜坡,包括非植被斜坡上的侵蚀/冲刷区域、过去的滑坡和蠕变迹象,风险最大的不稳定斜坡在事故管道破裂中心线上游约335 m的K068+100处,坡脚的树



图3 管线破裂位置上下游存在偏移(此处为弯管段)

干变形和倾斜栅栏柱均证明该斜坡受到了蠕变式移动的影响。Line200管道与Line100管道之间有条Woodwards小溪，沿坡脚流动，下切斜坡堤岸，与该处管道路由平行。

3 启示

强化地质灾害早期识别，做实日常巡线排查。土层蠕变属于慢速度地质灾害，易被忽视，但现场存在明显的识别特征，日常巡线中需针对性开展排查。例如对管道沿线斜坡区域，重点关注树干向坡下弯曲的“醉汉林”、电线杆/篱笆/栏杆顺层倾斜、地面或墙体出现裂缝等土体蠕变典型迹象，建立异常迹象台账，做到早发现、早评估、早处置。同时结合航拍、遥感等技术手段，对管道沿线地形地貌进行定期监测，弥补人工巡线的盲区^[3]。

聚焦多雨高陡边坡段，强化现场风险防控。降雨是诱发斜坡失稳、增加管道应力的核心外部因素。针对敷设于高陡边坡的管道，需将排水系统建设与维护作为重点工作，合理设置坡体与管沟排水设施，及时疏通排水沟、截水沟，尽可能减少雨水渗入坡体及管沟，降低土壤饱和度与孔隙压力；针对回填土松散的管沟段管道，要及时进行加固处理，防止地下水带动管沟土体向斜坡前缘滑移，避免管道应力集中。管道企业要建立汛期管道安全管控机制，重点开展汛前全面排查、汛中动态巡查、汛后风险再排查，对汛中发现的小型水毁、坡体轻微变形等隐患，按照“治早治小”原则立即处置，防止隐患扩大升级^[4-6]。

坚持防患于未然，强化源头设计与隐患治理。管道选线时尽量避开滑坡、崩塌、高陡边坡等地质灾害高风险地段；受条件限制必须通过时需同步

采取抗滑桩、挡土墙、管道固定支架等工程防治措施，并设置长期监测点，实时监控坡体与管道变形情况。对排查出的不稳定斜坡按风险等级分类处置，高风险地段采取“监测+工程加固”双重措施，中低风险地段定期开展复测与评估。加强管道本体检测，重点排查环焊缝、弯曲段等薄弱部位的缺陷，及时修复焊缝裂纹、壁厚减薄等问题，消除管道内部缺陷。

参考文献：

- [1] Failure Investigation Report – Columbia Gulf Transmission, Line 200 Rupture in Estill County Kentucky[R].2013.6.26
- [2] 张强, 李睿, 冯文兴, 等.油气储运设施典型失效案例100例[M].山东: 中国石油大学出版社, 2024.
- [3] 薛强, 董英, 张茂省, 等.地质灾害风险精细化识别、核查及防控模式探讨[J].西北地质, 2025, 58(02): 66-79.
- [4] 段贤立.高陡边坡垮塌事故研究及防治措施[J].建筑安全, 2025, 40(10): 36-39.
- [5] 何信予.埋地管线横穿滑坡的力学响应与安全性评价[D].西南科技大学, 2023.DOI:10.27415/d.cnki.gxngc.2023.001128.
- [6] 杨春林.降雨致滑坡作用下山地城市埋地管道风险分析[D].重庆大学, 2013.



作者简介：于景浩，2002年生，中国石油大学（北京）在读硕士，主要从事油气储运工程方向的研究工作。联系方式：13591393359，yjhlove2018@163.com。



《管道安全保护》编辑部：为了总结油气管道规划、建设、运行、应急等阶段开展管道保护工作的成功经验和问题教训，加强源头管理，预防和减少事故发生，保障管道安全运行，我们陆续推出一批典型案例，供广大读者学习参考。欢迎读者结合工作中发生的重要事件，截取有借鉴意义的片段整理成案例，在《管道安全保护》和管道保护微信公众号上发表。来稿请注明：管道保护案例，邮箱：guandaobaohu@163.com。

中俄东线天然气管道长永段绕避水源地案例

王江宇

国家管网集团工程技术创新有限公司

背景

中俄东线天然气管道长岭—永清段原拟在葫芦岛市兴城市沙后所镇西北4.8 km的仙灵寺村穿越烟台河，穿越轴线与秦沈线（秦皇岛—沈阳天然气管道）并行，位于已建秦沈线西侧约160 m处，距离下游（东侧）的京哈铁路约1.28 km、京哈高速约1.39 km。

烟台河中上游是辽西地区一处重要的水源地，其中从碱厂水库出库口至水源井下游200 m及河道外侧50 m范围为一级保护区，一级保护区两侧各1000 m区域为二级保护区。拟定路由通过烟台河水源地长度约2.6 km，其中通过一级保护区0.28 km、二级保护区2.32 km（图1）。根据《石油天然气管道保护法》《水污染防治法》相关规定，作为绿色工程的中俄东线绕避烟台河水源地此处环境敏感区势在必行。

做法

调查分析。管道穿越烟台河水源地对环境的影响主要有五个方面。一是在施工期间开挖作业会造成河水泥沙含量增加，致使河水浑浊；二是大型机械设备在作业过程中滴漏油料会对水源地的水体和土壤造成污染；三是管沟开挖可能对局部范围内地下水的流向和水位造成影响；四是开挖作业和施工

机具的噪声可能对水生动植物的生存和繁殖造成影响；五是穿越段管道运行期间一旦发生失效事故会对水源及周边环境产生一定影响，严重时甚至会造成水源污染。

法律依据。《石油天然气管道保护法》第十条规定，管道的规划、建设应当符合管道保护的要求，遵循安全、环保、节约用地和经济合理的原则。其核心要求是管道建设线路走向选择应避开需要特殊保护的地区及环境敏感区。第十三条规定，管道建设项目应当依法进行环境影响评价。其核心要求是在管道规划阶段，对管道沿线经过的水源地、自然保护区等敏感地区进行环境影响评价，对管道周边的环境以及未来可能出现的情况作出正确的评估，按照国家环保法规的要求，对管道线路进行优化，平衡好管道建设和环境保护之间的关系。

《水污染防治法》第六十五条规定，禁止在饮用水水源一级保护区内新建、改建、扩建与供水设施和保护水源无关的建设项目。

优化设计。中俄东线设计项目组本着“依法合规，环保优先”的原则，决定对烟台河水源地的一级水源地和二级水源地均实施绕避。经过与地方规划部门、水务部门、环保部门、沿途乡镇政府等多个相关方协调，对拟定路由向东南侧大范围调整，



图1 烟台河水源地拟定路由穿越位置

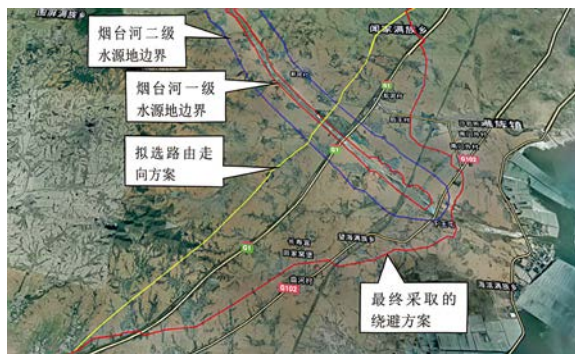


图2 烟台河水源地绕避路由对比位置

调整路由总长40 km，迁移阀室1座，调整后线路增加约8 km，投资增加约8000万元（图2）。

启示

近年来，在油气管道工程的设计过程中，“依法合规、环保优先”的理念得到了越来越深入的贯彻，从决策层、管理层到技术层，都摒弃了“线路长度短、概算投资少、施工简单”等的传统观念，对环保的重视程度大幅度提高。“绿水青山就是金山银山”的思想在管道工程设计过程中一步步凸显出来，对于环境敏感区除了保证最低限度的依法合规外，还逐渐形成了“能绕避不经过、能从边缘过不从中过、能短过不长过、能穿越过不开挖过”

等习惯性的理念和做法。这些理念贯穿于整个建设项目设计过程中，从而大大减少了管道工程与各类环境敏感区的冲突，既有利于管道运营期的安全保护，又有利于管道沿途的环境保护。



作者简介：王江宇，1984年生，理学学士，高级工程师，就职于工程技术创新有限公司公用工程技术中心，主要从事油气长输管道线路工程设计工作。联系方式：15903162936，wjywjywjy20032003@qq.com。

潍坊高新区次高压氢气管道建设与保护案例

朱敏¹ 孙海均² 苟金鑫³

1.云和县天然气有限公司；2.华润（南京）市政设计有限公司；3.山东石油化工学院

背景

潍坊高新区次高压氢气管道工程（宝通街段）是山东省“氢进万家”科技示范工程的重要组成部分，也是国内第一条按照城镇燃气规划、审批、设计、施工的城镇输氢管道，起点位于珠光街华电制氢厂，终点位于宝通街—潍安路路口以北港华燃气门站，全长约5.2 km，管径DN200，设计压力1.6 MPa，输送介质为纯度99.99%以上的燃料电池级纯氢，设计输氢能力3万吨/年，项目主体工程已于2025年10月完工（图1）。

项目旨在验证纯氢在城镇燃气管道中远距离输

送的技术可行性与安全保障能力，并为下游港华燃气门站天然气掺氢验证项目、潍柴动力2 MW燃料电池堆分布式能源验证项目等示范场景提供稳定氢源。作为新兴的能源基础设施，其在设计、施工及保护方面均面临标准尚待完善、经验缺乏等挑战，其建设实践对同类项目具有重要参考价值。

做法

明确规范适用与管理依据。针对项目建设期尚无氢气管道专门的法规标准体系，积极响应《潍坊高新区关于支持氢能产业发展的若干政策》，明确将掺氢及化工园区外输氢管道暂按城镇燃气管道



图1 潍坊高新区次高压氢气管道施工现场

进行管理。严格遵循《城镇燃气设计规范》中关于次高压A级燃气管道的设计要求，确保管道与周边建（构）筑物、其他地下设施的间距满足安全规范，从管理源头确立了项目合法合规建设的基准，同时遵守SY/T 7820—2024《输氢管道工程设计规范》，保证管道输送氢气介质的安全性。

强化材料选用与本质安全设计。管道主体依据GB/T 9711—2023《石油天然气工业 管线输送系统用钢管》，采用L245NS无缝钢管，壁厚6.4 mm，材料具有优良的抗氢脆性能。阀门选用专为氢气介质设计的全焊接直埋球阀，从源头上防范泄漏风险。路由选址充分利用城市道路绿化带，最大限度避让人口密集区，并与既有工业设施、居住区保持规范要求的充足水平间距，降低了外部活动干扰风险与潜在影响范围。

严格施工质量控制与工艺创新。全线焊接采用氩电联焊工艺，确保了焊缝内部成型质量与清洁度。焊缝实施100%射线探伤，并辅以100%超声波复检，实现了双重无损检测保障，有效控制了焊接缺陷。针对不同地段，灵活采用直埋（覆土1.3 m）与水平定向钻穿越相结合的方式。定向钻穿越段采用光固化套外保护层，增强了防腐层在非开挖施工中的抗机械损伤能力。管道防腐采用加强级3PE涂层，并全线配套牺牲阳极阴极保护系统，构成了完整的腐蚀防护体系。

构建“物防+技防”立体防护体系。在物防方面，严格执行管道标识标准，管顶上方0.5 m处敷设警示带，地面沿线按50~100 m间距设置标志桩/牌，转角、穿越起止点等重点部位增设警示标识，确保管道走向清晰可辨。在技防方面，随管道同期部署了光纤管道安全预警系统，利用伴行光缆作为分布式振动传感器，对管道沿线土壤振动进行全天

24小时连续监测，智能识别机械施工、人为挖掘等异常活动，实现实时预警与精准定位，极大提升了第三方施工损坏的预防能力。

启示

强化本质安全与过程控制是氢气管道安全运行的根基。从抗氢脆材料选用、高标准的焊接与检测工艺，到针对性的防腐与保护措施，项目全过程贯彻了高标准的质量安全控制理念，凸显了在氢气特性下，提升管道本体质量与施工质量对防范泄漏风险的极端重要性。

“人防+物防+技防”融合是提升管道外部防护能力的有效手段。在传统标识警示的基础上，部署了光纤预警系统，构建了主动预警防护屏障，对于穿越城镇区域的管道，尤其是风险较高的氢气管道，积极采用智能监测技术，变被动响应为主动预防，显著提升对第三方损坏等外部风险的防控效能。

发挥示范项目的数据积累与经验沉淀价值。作为示范工程，在数字化交付、智能监测应用等方面的实践，为后续氢气管道设计、施工、运行、维护专业标准规范的建立和完善提供了宝贵的一线数据和工程经验。目前，关于氢气管道的国家标准GB/T 20801.5—2025《压力管道规范 第5部分：氢用管道》已发布，对推动我国氢能基础设施安全、健康发展具有重要意义。



作者简介：朱敏，1972年生，本科，注册安全工程师，主要从事城市燃气管道管理相关工作。联系方式：13396522980，zhum1972911@163.com。

某原油管道泄漏事故应急处置案例

刘金涛 曹兴 薛丽洋 王亚变

甘肃省生态环境应急与事故调查中心

背景

庆阳市某原油管道于2014年建成并投入运营，全长14 km，管径114 mm，钢管外采用环氧粉末+保温层黄夹克复合防腐工艺，中途设有1座紧急截断阀室，设计压力4.0 MPa，实际外输压力0.9 MPa，输送温度43℃；设计输量为1200 m³/d，实际输量400 m³/d，输送介质含水率为0.4%。

某日18时许，该管道环江穿越段因年久失修加之环境侵蚀，导致原油渗漏约0.5 m³，并进入环江造成事故点下游马莲河等部分河段出现水体污染。事故发生后，相关单位立即启动应急处置工作，经过连续2日全力奋战，事故得到妥善控制，泄漏隐患彻底消除。

处置

(1) 处置思路。有效应用当地政府《突发环境事件应急预案》《企业突发环境事件应急预案》和《马莲河“一河一策一图”应急响应方案》成果，坚持“源头管控、快速拦截、科学吸附、全面清理、全程监测”的核心思路，优先切断污染源，防止原油持续入河扩散；同步采取物理拦截、吸附净化等措施，降低水体污染程度；全程开展水质监测，实时评估处置效果，联动政企力量，分阶段推进处置工作，确保快速控制事态、消除污染隐患、减少生态影响。

(2) 应对过程。应急处置分为巡查锁定、企

业先期处置、水质监测、政企联合处置四个阶段，各环节衔接顺畅、处置高效。

巡查锁定阶段：油田巡线人员在日常巡检中发现环江水面有原油漂浮后，第一时间向油田项目部上报情况，随后沿管道全方位紧急巡查，快速锁定管道泄漏具体位置，为后续处置工作争取了宝贵时间。

企业先期处置阶段：油田项目部接到报告后，立即启动内部应急预案，关停输油泵停止原油输送，组织专业人员采用应急堵漏措施封堵泄漏点；同时就地开挖临时储油池，彻底截断污染源，有效阻止了泄漏原油继续流入环江。在环江河段紧急设置9道拦油坝，对已入河的原油污染物进行拦截，同步组织人员对事故管道进行清扫、提油，减少管道内残留原油的二次泄漏风险。

监测水质阶段：事发后，油田企业立即抽调内部监测力量，启动环境应急监测预案，对泄漏点周边土壤、环江泄漏段至入河区间的水质断面开展全方位监测，及时核算评估入河原油泄漏量。当日21时许，庆阳市生态环境局组织相关专家和工作人员赶赴事故现场，指导企业开展抢险处置工作，并牵头组织开展第三方应急监测。监测数据显示，事故点下游局部河段及马莲河部分断面石油类指标略有超标，其余指标均符合相关标准。

政企联合处置阶段：根据监测结果和现场处置进展，流域内相关县级政府与油田企业建立联动处置机制，在马莲河干流及支流同步采取强化处置措施，以进一步巩固处置成效、彻底控制污染扩散。油田企业在事发点下游分段选址，设置活性炭滤水坝，强化水体中残留石油类污染物的吸附净化；在事发点采取引流隔离措施，彻底切断渗漏源与河道的连接，防止二次污染。截至事发次日20时，在事故点下游马莲河涉及的3个县域内，沿河分别搭



建活性炭滤水坝2座、6座和3座，累计投用活性炭26t；截至第3日10时，事发点至受影响河段水质全部恢复正常，达到相关水质标准。

此次应急处置期间，累计设置拦油坝9道、活性炭吸附坝11道，回收油水混合液6.5 m³，清理油泥2.6 t，实现了污染彻底清零、生态快速恢复。

(3) 措施评估。结合环江河水文特征、原油污染特性及污染扩散趋势，此次事故应急处置精准采取“堵、截、吸、收、清”五位一体联动措施，处置方向科学、措施务实有效。一是源头管控精准高效。针对管道破裂渗漏的实际情况，及时采用木楔子、堵漏器等应急堵漏方法封堵泄漏点，严格按照“管道一岸上（污染入河前）—支流或短河段—河床—较大水域”的优先顺序，逐步切断污染源，有效遏制了污染扩散势头，为后续处置奠定了基础。二是截污控制全面到位。在切断泄漏源后，同步采取拦截、覆盖、吸附、吸收等综合措施，通过设置拦油坝拦截入河原油，采用吸油材料吸附水体中残留污染物，有效防止了原油扩散至下游水域，避免了二次污染的发生，最大限度降低了污染影响范围。三是工程削污科学适配。结合原油污染物的物理化学特性及当地河流水质特征，针对性采用吸油毡、围油栏、活性炭滤水坝等工程措施，对河道内的油类污染物进行拦截、吸附和去除，处置工艺贴合现场实际，削污效果显著，确保了水质快速恢复达标。

启示

渗漏事故妥善处置后，经专业监测确认，未对环江渗漏点下游的马莲河、泾河水质造成影响，未引发更大范围的生态污染问题，为今后涉油类突发环境事件应急处置、输油管线安全管理提供了宝贵的经验和深刻的启示。

(1) 强化预案编制与应急准备，提升应急处置能力。涉事企业虽及时发现泄漏并采取了停输、拦截等初步措施，但因未能第一时间彻底隔离泄漏源、调配活性炭等关键应急物资，导致含油污水短暂下泄进入河流水体，暴露出应急准备工作的不足。今后需进一步完善涉油类突发环境事件应急预案，增强预案的针对性、可操作性和联动性；强化

应急物资储备，重点保障活性炭、拦油坝、吸油毡等常用应急物资的充足储备，科学规划物资储备区域，尽量靠近风险源和水体，确保应急处置时能够快速调配、高效使用；加强应急救援队伍建设，定期组织开展突发环境事件应急演练，检验应急预案的有效性，提升救援人员的应急处置技能和政企联动处置能力。

(2) 强化管道设计、施工与验收管理，确保管道安全质量。输油管道的安全质量是防范泄漏事故的基础。在管道建设期应严格遵循《输油管道工程设计规范》《输油输气管道线路工程施工及验收规范》等相关标准，规范设计、严谨施工、严格验收，从源头保障管道质量，确保管道在设计使用年限内能够安全稳定运行，从根本上减少管道破裂渗漏事故的发生。

(3) 强化管道常态化管理与维护，健全联防联控机制。输油企业需切实提高安全防范意识，将安全输油作为运营管理的核心，扎实开展管道日常检修维护工作，建立管道隐患排查台账，对排查发现的问题管道及时整改，做到早发现、早处置、早消除；强化管道常态化监管，重点防范人为损坏、管道老化腐蚀等安全隐患。加强管道保护宣传教育，动员周边群众积极参与管道保护和隐患治理监督工作，及时举报不法行为和安全隐患。进一步健全上下游政府、生态环境部门、输油企业的联防联控机制，明确各方职责，加强信息共享和协同联动，提升涉油类污染事件的快速响应和联合处置能力，切实防范生态环境风险。

基金项目：甘肃省科技计划项目（24JRZA158）



作者简介：刘金涛，1994年生，本科，工程师，研究方向为环境应急管理。联系方式：15709443927，1476942461@qq.com。

通讯作者：曹兴，1969年生，本科，高级工程师，研究方向为环境应急管理。联系方式：0931-8725071，857807780@qq.com。

管道泄漏监测系统

GB 46767—2025《陆上油气长输管道人员密集型高后果区辨识与管理》第6.1.2.5条规定，Ⅲ级人员密集型高后果区还应设置管道实时泄漏监测系统。GA 1166—2014《石油天然气管道系统治安风险等级与安全防护规范》（强制性标准）、SY/T 6826—2022《输油管道泄漏监测系统技术规范》（推荐性行业标准）对输油管道安装泄漏监测系统提出了要求。

那么，什么是管道泄漏监测系统？其工作原理和性能指标如何？

SY/T 6826—2022对管道泄漏监测系统的定义是能够实时检测管道泄漏并报警的系统。Q/GGW BF 0119—2021《油气管道预警及泄漏监测规范》（国家管网企业标准）对管道泄漏监测系统的定义是基于某种泄漏监测算法的监测工具，对可检测到的、预示可能发生了管道泄漏的水力异常发出报警，警告管道调度员做出响应。

GB 46767—2025发布之前，管道泄漏监测系统仅在输油管道上有强制安装要求，该监测技术多年前就比较成熟和普及，覆盖管道全线的实施成本低，报警准确率较高，微小的油品泄漏也能监测到。而输气管道的泄漏监测难度较大，很多技术至今应用效果不太理想或实施成本较高，或误报率、漏报率等指标过高，目前仍在发展中。

输油管道泄漏监测系统的原理通常有流量平衡法和声波/负压波法。流量平衡法依据质量守恒准则，通过比较流入和流出管道系统的流体体积的方式报警。声波/负压波法通过检测管输流体自管壁漏点流出时产生的声波信号，或检测由泄漏点向上游传递的负压波信号来进行泄漏报警。此外还有

实时瞬态模型法，各类方法可综合应用。输油管道泄漏监测系统通常监测间距不小于60 km，能检测泄漏速率大于1%输量的突发泄漏，定位精度小于1000 m，响应时间不大于10 min。

输气管道系统主要依靠SCADA系统的压力变化来进行较大泄漏的监测，管道线路RTU截断阀还会设定压降速率阈值进行自动关断，但无法及时发现微小泄漏。管道企业主要依靠地面巡线来发现微小泄漏。也有利用管道沿线伴行光纤通过监测输气管道泄漏点的温变、振动等信号实现泄漏报警。但目前该方法的监测性能还在提升过程中。此外借鉴油气管道站场做法，在高后果区开始应用激光泄漏监测技术，基于激光吸收光谱原理，测得一定范围内管道地表上方空间的甲烷气体浓度，实现泄漏监测目的。该方法虽监测精度和准确性较高，但投入大，依靠云台旋转，单台覆盖管道线路范围有限。

燃气管网因泄漏频率相对较高，有定期进行泄漏检测的规定。燃气企业通常会采用手持式、车载式或无人机搭载的多种泄漏检测设备对燃气管道进行泄漏检测。长输天然气管道也有部分借鉴燃气管道的泄漏检测技术。



作者简介：张华兵，现任河北大学智慧油气管道研究所所长，油气管道完整性管理技术委员会秘书长，甘肃省管道保护协会特约研究员，《管道安全保护》副主编，长期从事油气管道完整性管理技术研究与应用工

作。联系方式：modify78@163.com。



① 施工风险告知

中国石油西南油气田公司 苏帆/摄

② 管道保护宣传

中国石化东北油气分公司 孙昌/摄

③ 重点部位巡检

西南管道重庆输油气分公司 黄操/摄





阳春三月巡检忙 中国石化东北油气分公司 孙昌/摄



管道保护
微信公众
账号