

油气管道 12 小时应急抢修复产体系建立与研究

韩瑜

国家管网集团乌鲁木齐维抢修中心

DOI:10.12238/jpm.v6i9.8428

[摘要] 随着管道建设和运行技术的快速发展，管道运输在日常生活中发挥着日趋重要的作用。在水运、公路、铁路、航空及管道等五大运输体系中，对于石油、天然气运输而言，管道运输最为常见、运输能力最大，而且安全可靠。国家管网应急救援中心承担着油气管道干线突发事件的抢修任务，确保“12 小时抢修复产”目标，以最大限度减少对区域能源供应的影响。本文围绕油气管道抢修核心需求，结合抢修现场标准化管理、动火施工智能化指挥、自动化设备应用及关键技术革新，分析长输油气管道应急抢修体系现状，提出针对性的体系建立策略，构建覆盖 12 小时的应急抢修体系，旨在进一步提高抢修效率，缩短停输时间，为油气管道安全提供支持。

Establishment and Research of a 12 Hour Emergency Repair and Resumption System for Oil and Gas Pipelines

Han Yu

Urumqi Maintenance and Repair Center of National Pipeline Network Group

[Abstract] With the rapid development of pipeline construction and operation technology, pipeline transportation plays an increasingly important role in daily life. Among the five major transportation systems of water transportation, highway, railway, aviation, and pipeline, pipeline transportation is the most common, has the largest transportation capacity, and is safe and reliable for the transportation of oil and natural gas. The National Pipeline Network Emergency Rescue Center is responsible for the emergency repair of oil and gas pipeline trunk accidents, ensuring the goal of "12 hour repair and resumption of production" to minimize the impact on regional energy supply. This article focuses on the core requirements of oil and gas pipeline repair, combined with standardized management of repair sites, intelligent command of hot work construction, application of automation equipment, and key technological innovation. It analyzes the current situation of emergency repair system for long-distance oil and gas pipelines, proposes targeted system establishment strategies, and constructs an emergency repair system covering 12 hours, aiming to further improve repair efficiency, shorten shutdown time, and provide support for oil and gas pipeline safety.

引言

能源安全是国家战略安全的重要组成部分，长输油气管道凭借运量大、成本低、效率高的优势，成为原油、天然气跨区域运输的核心载体。近年来，随着我国油气管道里程持续增长^[1]。截至 2024 年，全国长输油气管道总里程超 18 万公里。管道老化、第三方破坏、地质灾害等引发的泄漏、断裂等泄露频发，一旦发生泄露，不仅造成能源浪费与经济损失，还可能引发火灾、爆炸等安全事故，对周边环境与公众生命财产安全构成威胁。“12 小时抢修复产”是行业针对重大泄露提出的高效处置目标，但其实现依赖完善的应急体系支撑。当前行业内抢修工作存在“现场流程乱、指挥效率低、设备自动化弱、技术迭代慢”等痛点，导致抢修时长难以可控，影响能源供应稳定性。研究 12 小时应急抢修复产体系的建立路径，可为行业应急能力提升提供理论与实践参考。

1 长输油气管道应急抢修体系现状

1.1 重事后处置，轻预防与数据治理

随着全国长输油气管道总里程突破 18 万公里，行业对管道抢修的重视程度持续提升，当前抢修队伍已具备快速响应能力，在泄漏、断裂等事故发生后，能迅速组织力量开展处置，有效遏制事故扩大，保障管道尽快恢复基本输送功能，减少能源供应中断时长。

但是目前来看，我国长输油气管道的治理体系并不完善，抢修治理虽及时，但大多抢修工作都未关注“事前控制”，而是在泄露问题发生以后开始抢修，没有源头治理的观念。这种治理体系虽然可以保证我国油气长输管道的正常运作，但是也致使抢修工作损失消耗较大，影响整体治理的经济效益。另外，治理体系的不完善导致抢修治理工作中，没有对历史维修记录的整理分析，一些反复出现的、重点的维修工作没有得到汇总，在抢修工作中没有参照，导致抢修工作人员抢修耗时长，且难以应对一些复杂的、突发的状况。

1.2 标准规范可操作性不足，执行流程衔接不畅

目前长输油气管道抢修领域已初步构建基础管理框架，多

数企业制定了泄漏响应的基本流程与制度规范，在常规泄漏、小型破损等常见场景中，工作人员可依托现有经验完成抢修作业，保障管道恢复运行，为行业应急工作积累了丰富实践经验。但目前来看，要实现“12 小时抢修复产”，现有体系在标准化与流程衔接上仍存在一些不足之处。

比如，制度上，现有规范多为原则性要求，缺乏针对不同管径、输送介质、地理环境的具体执行细则，对抢修物资储备量、设备维护频次、人员资质审核等关键事项界定模糊，导致基层执行时无据可依、弹性操作；工作流程上，从泄露上报、方案制定到现场实施的全链条衔接缺乏清晰指引，各部门间信息传递无固定渠道与时限要求，常出现信息滞后或遗漏；日常管理更显碎片化，未建立常态化的风险排查、应急物资盘点、设备功能测试机制，多依赖临时指令开展工作，导致应急准备工作零散无序，无法形成持续改进的管理闭环，进一步削弱了抢修响应的及时性与有效性^[2]。

1.3 智能化应用停留在表层，数据驱动能力薄弱

目前，在长输油气管道的治理中，管道基础信息存储、简单泄露数据统计等方面已经实现突破，部分动火施工环节也尝试通过智能设备辅助监测，为后续智能化升级积累了初步经验，一定程度上减少了传统人工操作的重复劳动，展现出技术赋能的潜力。但从目标的核心需求来看，现有智能化应用仍存在治理深度不足、场景融合不充分的问题，需进一步深化技术与业务的结合，释放更大效能^[3]。

具体而言，目前抢修队伍关键工种调配、设备实时工况等动态信息，因缺乏高效采集与传输机制，难以及时汇聚至指挥中枢，导致资源调度滞后、协同效率低下，错失最佳抢修时机。数字化平台虽有搭建，但功能局限于简单数据录入与查询，未充分利用其构建涵盖管道全生命周期数据模型，难以模拟不同泄露场景、预测潜在风险，无法为决策提供精准、可视化支持。

表 1 标准化管理体系机构设置思路

机构	职责	人员/设备配置
维修队	基层维护单元，扎根于各行政管理区域，与管道日常巡检人员紧密配合。日常工作聚焦于管道防腐层修复、小型阀门的保养更换、仪表的校准等，确保管道处于良好运行状态，当遭遇如管道穿孔泄漏这类中等规模事故时，能迅速携带专业封堵、动火焊接设备奔赴现场。	初级、中级技能人员为主，搭配少量高级技师。经验丰富的抢险焊工、熟练的重型设备操作工，且配备专业应急救援人员。
企业级维抢修中心	一方面统筹协调旗下各维抢修队资源，遇到复杂抢修场景，如长距离管道破裂、多点泄漏时，能迅速调配人力、物力跨区域支援；另一方面，中心具备强大的技术研发与储备能力，紧跟行业前沿，研发新型维抢修工艺、材料，并为基层队伍提供技术培训与指导，提升企业整体维抢修水平。	广纳各领域专家型人才，设立技术研发、应急调度、培训教育等多个部门，人员知识结构多元互补。
集团公司级维抢修中心	同时应对三点甚至更多点的重大抢修任务，还承担着引领行业发展的重任	组建智囊团，开展前瞻性研究。

各个机构根据自身的责任，保障自身工作的稳定开展，确保油气稳定输送。

2.2 开发智能抢修系统工具，提升抢修作业效能

在带压封堵环节，研发具备智能感知与精准操控功能的带压封堵设备，利用传感器实时监测管道压力、温度及介质泄漏情况，自动调整封堵参数，确保封堵作业安全、快速完成，有效避免传统作业中因人为判断失误导致的封堵失败风险。在管道下料换管时，可以引入自动化下料系统，通过激光测量与智能纠偏技术，精确切割所需管段，大幅提升下料精度，减少材料浪费与尺寸偏差，同时结合机械臂辅助吊装与定位，加快新管段安装进程，降低人工劳动强度。

针对管道焊接难题，大力推进自动化多枪头焊接技术研发，借助先进算法实现焊缝自动跟踪与焊接参数智能优化，使焊接质量更稳定，效率较传统手工焊接提升数倍，显著缩短抢修工期。智能化堵漏机械臂的研制也刻不容缓，该机械臂需配备高清视觉系统与灵活的操作末端，能够在复杂环境下精准定

大量维抢修业务数据仍依赖人工统计、整理，效率低且易出错，难以沉淀为可供挖掘分析的高质量数据资产，阻碍了数据驱动的管理优化与流程创新。

1.4 人员专业化与执行力不足，缺乏系统训练与责任机制

当前长输油气管道抢修队伍已具备基础专业技能与应急响应意识，在日常小型泄漏处置中，能熟练完成维修作业，保障管道基本运行；多数企业也建立了初步的人员管理与指令传达机制，为应对常规突发情况提供了人员保障，积累了一定实战经验。但面对复杂、大型泄漏事故，人员队伍仍存在明显短板，比如，面对突发泄露时，管理常出现指令传达延迟、执行环节拖沓的问题；员工执行力层面，因缺乏系统化的军事化训练与明确的责任追溯机制，部分人员在抢修作业中存在畏难情绪、操作不规范等情况，难以严格按照既定方案高效推进工作；人员结构上，现有队伍多以常规维护人员为主，缺乏针对大型抢险作业的专业化分工与梯队建设，当遭遇管道泄漏量大、涉及区域广等复杂场景时，往往因人员数量不足、专业技能不匹配，无法快速形成高效协同的抢修力量，严重影响抢险作业的整体进度与处置效果。

2 长输油气管道应急抢修体系建立策略

2.1 构建标准化管理体系，明确流程与责任

在体系搭建之初，就要精准锚定维抢修的核心目标，无论是应对日常的微小泄漏，还是处置可能出现的大型管道破裂事故，都需有清晰指向。各参与主体，涵盖管道运营企业、维抢修施工单位、监管部门等，依据法规与合同，明确自身在不同场景下的职责，防止推诿扯皮，保障维抢修流程顺畅。标准化管理体系机构设置包括维修队、维抢修队、企业级维抢修中心、集团公司级维抢修中心，各机构工作任务配置思路见下表 1：

位泄漏点并实施堵漏作业，规避传统堵漏工具受空间限制、人为操作不稳定等弊端，全方位提升长输油气管道大型抢修作业的智能化水平与执行效能。

2.3 智能化堵漏卡具安装，提升抢修精确度

借助 AI 视觉识别技术与 3D 建模，配置激光扫描仪与高分辨摄像头，结合深度学习算法，精确确定识别油气管道的泄漏点、焊缝位置以及防腐层特征，从而形成油气长输管道现场堵漏模型图，见下图 1。

在三维模型中，设计人员可精确设计卡具的密封腔尺寸。密封腔需要与管道泄漏点周围的表面完美贴合，以确保注胶后能够有效阻断泄漏。通过三维模型的模拟分析，可对密封腔的高度、宽度以及内部纹路进行优化，保证密封性能。同时，根据管道的壁厚和承受压力，计算确定卡具本体的材质和厚度，确保卡具在使用过程中具有足够的强度和刚度，能够承受管道内介质的压力，避免因卡具损坏导致二次泄漏。

在智能化技术背景下，还可以将每次应急抢修过程中获取

的管道数据、卡具安装参数、检测结果等信息录入三维模型数据库,建立完善的管道抢修档案。通过对这些数据的分析和挖掘,总结不同类型管道泄露的抢修经验和规律,优化堵漏卡具的设计和安装工艺,不断提升长输油气管道应急抢修体系的智能化水平和抢修精确度。



图1 油气长输管道现场堵漏模型图

2.4 组建专业管道抢修小组,提高应急抢修执行力

为提高应急抢修执行力,可以从专业队伍组建与执行流程优化双维度发力,构建高效抢修体系。在队伍建设上,实行“突出专业、多点开花”策略,围绕管道泄漏封堵、焊接修复、设备运维等核心需求,组建多种类“尖刀组”,每组聚焦单一专业领域开展系统化培训,针对高压管道堵漏的专项组可强化密封技术与风险防控训练,针对复杂地形焊接的专项组可深化自动化设备操作与环境适配能力培养,确保各组既能独立应对专项泄露,又能快速协同形成合力。

在执行流程优化上,对传统抢修作业环节进行精简升级,剔除冗余审批与重复操作步骤,明确从泄露响应、方案制定到现场实施的标准化时间节点与责任分工;同时加大技术研发投入,加快智能化堵漏机械臂研制以提升高危环境作业安全性与精准度,推进智能化下料系统纠偏改进以减少材料浪费与尺寸误差,开展自动化多枪头焊接技术攻关以提高修复效率与接口质量,通过技术升级规避传统工具精度不足、人为操作失误等问题,让抢修执行过程更精准、高效,切实提升应急抢修的响应速度与处置质量。

3 油气管道应急抢修复案例分析

3.1 案例情况

2012年11月10日,中国石油管道公司沈阳输油气分公司运营管理的庆铁二线在位于昌图输油站进站前13.4km处发生环焊缝开裂,造成约200m³原油泄漏。利用集油坑收集原油140m³,回收135m³,约60m³泄漏油品流入附近的黑咀河,绝大部分得到回收。泄漏造成停输52小时43分,油品回收费时8天,受影响河道43km。

3.2 案例问题

该案例暴露出以下几点问题:

(1) 现场管理无标准化流程。

泄露发生后停输、泄压、现场隔离等关键环节衔接混乱,未明确各参与主体,如管道运营公司、抢修队伍、环保处理单位的权责边界,物资调配存在明显滞后,适配环焊缝开裂修复的专用设备、堵漏夹具及油品回收工具到场延迟超4小时,且现场监护与作业协助职责混淆,导致原油收集与河道防护工作同步性差,额外增加油品清理耗时。

(2) 智能指挥能力缺失。

泄露点的管道压力变化、泄漏量估算、周边环境,如黑咀河水流速等关键数据依赖人工现场测量后手动上报,指挥中心无法实时掌握现场动态,仅通过口头描述判断破损程度与作业环境,导致修复方案反复调整,仅方案确定环节就耗时超6小时。

(3) 自动化抢修设备应用空白。

针对环焊缝开裂的修复仍采用手动断管、人工焊接方式,断管精度误差超5mm,后续焊接前需额外修整耗时2.5小时,且手动操作对开裂部位的密封效果差,首次堵漏失败后返工,进一步延长停输时间,同时油品回收依赖传统人工集油坑收集,效率低下,导致泄漏油品流入河道后清理难度加大,整体停输时长达到52小时43分,远未达到12小时复产目标。

3.3 案例优化

可以从以下几点优化管理:

(1) 落地标准化管理体系。

明确管道运营公司、沈阳输油气分公司、维抢修队、环保处理单位的权责,提前制定环焊缝开裂泄露的标准作业程序,规定泄露发生后30分钟内启动停输泄压流程,1小时内完成现场隔离,由企业级维抢修中心统筹调配资源,确保适配DN系列管道的自动化断管机、智能堵漏装置及高效油品回收设备在1.5小时内抵达现场,同时划分专职现场监护组与作业组,避免监护缺位导致的安全风险与效率损耗。

(2) 启用智能化指挥系统。

通过管道沿线预设的压力、流量传感器实时采集泄露数据,1分钟内触发预警并同步推送至指挥中心、抢修队伍及技术专家,利用GIS地理信息模块精准定位泄露点,昌图输油站进站前13.4km处,结合黑咀河河道走向、水流速等环境数据,自动生成修复与油品回收方案,指挥人员通过系统可视化界面直观掌握现场作业进度,减少方案调整耗时,将方案确定环节压缩至1小时内。

(3) 集成自动化抢修设备。

采用激光定位液压自动断管机对开裂部位进行断管,确保断口垂直度误差≤2mm,省去后续修整工序,将断管耗时从原2.5小时压缩至40分钟内,同时使用智能自适应堵漏装置,通过内置传感器检测环焊缝开裂尺寸,自动调节密封参数,避免堵漏返工,油品回收环节采用自动化吸油设备与河道拦截装置配合,提升回收效率,减少油品清理耗时,通过以上优化措施,可将整体抢修及复产时长控制在12小时内,最大限度降低能源浪费、经济损失及环境影响。

4 总结

综上所述,国家管网集团的应急救援体系是保障国家能源“大动脉”安全运行的重要组成部分,其核心力量包括专业化维抢修队伍、区域协作机制以及先进的技术支撑。在专业化维抢修队伍建设上,国家管网集团围绕“12小时抢修复产”目标,组建具备多场景处置能力的专职队伍,队员需通过断管操作、自动化焊接、智能设备调试等专项培训与考核,将智能化指挥系统、自动化抢修设备纳入应急救援体系核心配置,形成12小时的应急救援格局,有效缩短抢修时长,保障长输油气管道安全稳定运行,为国家能源供应安全筑牢防线。

[参考文献]

- [1]张良,李新战,惠立,等.液态可塑钢在油气管道修复领域的应用及展望[J].石油管材与仪器,2024(002):010.
- [2]徐庆辉.某高压输气管道工程安全隐患排查与治理技术研究[J].科学与信息化,2024(6):187-189.
- [3]傅政兴,韩朝旭.油气管道完整性新型检测与修复技术研究进展[J].山东化工,2024,53(20):108-110.

作者简介:韩瑜,1988年8月30日,男,河南镇平,汉族,大学本科,特种作业队班长,中级工程师,国家管网集团乌鲁木齐维抢修中心,研究方向:油气管道维抢修和施工领域。