

油气管网智能化风险防控体系的关键技术与挑战

蒲玮祯

国家石油天然气管网集团有限公司甘肃分公司兰州输油气分公司, 甘肃 兰州 730060

DOI: 10.61369/ETQM.12215

摘要：近年来，随着中国油气消费迅速增长，管网建设蓬勃发展，以2004年西气东输管道的建成为标志，我国油气管网进入快速发展期，并陆续建成西气东输、川气东送、甬沪宁、兰郑长等一批长距离主干管道。2020年，中国新建成油气管网里程约5081千米，总里程累计达到14.4万千米。油气管网作为连接油气生产、运输和消费的纽带，其安全性和可靠性受到了关注。然而，由于油气管网具有点多、线长、面广的特点，且受到多种因素的影响，传统的风险管理方法已难以满足需求。因此，油气管网智能化风险防控体系通过融合物联网、大数据、人工智能等技术，实现对油气管网运行风险的实时监测、精准评估和高效控制，及时发现并处理潜在风险，有效避免事故发生，降低损失。

关键词：油气管网；智能化风险防控；技术；挑战

Key Technologies and Challenges of the Intelligent Risk Prevention and Control System for Oil and Gas Pipelines Network

Pu Weizhen

Lanzhou Oil and Gas Transmission Branch, Gansu Branch of China National Petroleum and Natural Gas Pipeline Group Co., Ltd. Lanzhou, Gansu 730060

Abstract: In recent years, with the rapid growth of China's oil and gas consumption, the construction of pipeline networks has been booming. Marked by the completion of the West-East Gas Pipeline in 2004, China's oil and gas pipeline network has entered a period of rapid development, and a number of long-distance trunk pipelines such as the West-East Gas Pipeline, Sichuan-East Gas Transmission Pipeline, Ningbo-Shanghai-Nanjing Pipeline, Lanzhou-Zhengzhou-Changsha Pipeline have been successively built. In 2020, China newly built approximately 5,081 kilometers of oil and gas pipeline networks, and the cumulative total mileage reached 144,000 kilometers. As a link connecting oil and gas production, transportation and consumption, the safety and reliability of the oil and gas pipeline network have attracted attention. However, due to the characteristics of numerous points, long lines and wide coverage of the oil and gas pipeline network, and being affected by various factors, traditional risk management methods can hardly meet the requirements. Therefore, the intelligent risk prevention and control system for oil and gas pipeline networks, by integrating technologies such as the Internet of Things, big data, and artificial intelligence, realizes real-time monitoring, accurate assessment and efficient control of the operational risks of the oil and gas pipeline network, timely discovers and deals with potential risks, effectively avoids accidents and reduces losses.

Keywords: oil and gas pipeline network; intelligent risk prevention and control; technology; challenges

随着信息技术的发展，油气管网的智能化风险防控成为行业发展的重要趋势。传统的风险防控方法主要依靠人工巡检和经验判断，难以满足复杂的油气管网运行需求。智能化风险防控体系能够实时监测管道运行参数，及时发现潜在风险，提高风险防控的效率和准确性，保障油气能源的安全供应。

一、油气管网风险类型与危害

(一) 泄漏风险

油气管网一旦发生泄漏，从安全角度而言，泄漏到环境中会

形成易燃易爆的混合气体，遇到明火、静电等火源，极易引发火灾，对周边居民的生命财产构成巨大威胁。从环境角度看，油气泄漏会对土壤、水源和空气造成严重污染。土壤被油污污染后，其结构会受到破坏，影响植物根系的呼吸和生长；流入水源的油

气会使水质恶化，导致水中生物死亡；挥发到空气中的油气还会造成空气质量下降，危害人体健康，引发呼吸道疾病等。

（二）爆炸风险

油气本身具有易燃易爆的特性，在管道内正常输送过程中，如果遇到合适的浓度比例和火源，就会瞬间引发爆炸。例如，天然气的主要成分是甲烷，当其在空气中的体积分数处于5%–15%时，一旦遇到火源如烟火、电火花等，就会发生剧烈的爆炸反应。爆炸产生的冲击波具有强大的破坏力，能够在瞬间摧毁周

围的建筑物和基础设施，造成大面积的人员伤亡和财产损失。例如，在人口密集的城市区域，一旦油气管网发生爆炸，周围的居民楼、商店、学校等建筑会被夷为平地，无数生命会在爆炸中丧生或受伤。同时，爆炸还会引发次生灾害，如火灾。油气泄漏后遇到火源发生爆炸，往往会引燃周围的物体，使火灾迅速蔓延，进一步扩大灾害范围^[1]。近10年发生重大油气管网安全事故如表1所示。

表1 近10年发生重大油气管网安全事故

序号	油气管网安全事故	时间	事故原因
1	大连输油管道爆炸事故	2010	油轮卸油操作不当，引发输油管线爆炸
2	青岛输油管道爆炸事件	2013	管道老化破裂，原油泄漏，现场处置人员处置不当
3	中石油新大一线输油管线泄漏	2014	建筑公司施工不当，造成钻漏输油管线，引发泄漏
4	晴隆县中石油输气管线事故	2017	持续降雨引发公路边坡侧滑，挤压埋地输气管道，引发泄漏爆炸
5	晴隆县中缅天然气管道爆炸事故	2018	管道环焊缝脆性断裂引发天然气泄漏，遇静电摩擦起火爆炸
6	遵义中石化西南成品油管道泄漏	2020	山体滑坡引发管道损伤，处置过程中企业处理不当造成污染事态扩大
7	北海液化天然气接收站事故	2020	施工人员对罐体进行维修时，操作不当引发起火
8	十堰燃气爆炸事故	2021	燃气管道破裂，造成气体泄漏，遇火源引爆

二、油气管网风险防控的挑战

（一）管道自身安全风险

管道在长期的运行过程中，会受到多种因素的共同作用，从而导致出现各种安全隐患。一方面，随着时间的推移，管道内部的金属材料会逐渐腐蚀、磨损，管道的强度和韧性会降低。尤其是在一些恶劣的运行环境下，如高温、高压、高湿度等，管道材质的老化速度会进一步加快。这种老化现象会导致管道出现裂纹、穿孔等缺陷，从而引发油气泄漏事故^[2]。另一方面，管道的施工质量会影响其自身的安全性能。在管道建设过程中，如果施工工艺不规范、质量控制不严格，会导致管道焊缝存在缺陷、管道埋深不足等问题。这些问题在管道运行过程中会逐渐暴露出来，增加管道发生泄漏、破裂等事故的风险。

（二）外部干扰因素多

外部干扰因素包括自然环境因素、人类活动、社会环境的变化等等。其中，自然环境因素是对油气管网安全运行影响较大的外部干扰因素之一。地震、洪水、台风等自然灾害会对油气管网造成严重的破坏。例如，地震导致管道变形、断裂，洪水冲毁管道的支撑结构，使管道暴露甚至悬空，增加管道发生泄漏的风险^[3]。此外，土壤中的化学物质会对管道产生腐蚀作用，削弱管道的强度。人类活动方面，在油气管网周边，施工建设活动会对管道造成意外损坏。例如，在管道上方进行挖掘作业时，如果未对管道的位置和走向进行准确探测，会挖伤管道，导致油气泄漏。

三、油气管网智能化风险防控体系的关键技术

（一）党建引领下的全员安全文化构建与数智化支撑

以党建引领为核心驱动力，将安全生产理念深度融入组织文

化血脉。通过构建“党委统筹、支部落实、党员带头”的责任传导机制，将安全管理从单一的岗位职责升华为全员共同的价值追求。实践中，依托基层党组织设立“安全先锋岗”，以党员技术骨干为主体组建隐患排查突击队，通过“党员带群众”“师傅带徒弟”的传帮带模式，将安全操作规范转化为日常行为习惯。同时，以安全理念内涵解析为基础，提炼“生命至上、预防为主、全员共治”的核心价值观，通过制度设计将抽象理念转化为可落地的防控体系——例如建立“风险辨识-评估-管控-反馈”闭环机制，将管网巡检、设备维护等基础工作与智能化监测数据联动，形成“人防+技防”的双重保障。其中，数智化支撑并非替代人的作用，而是通过技术赋能提升全员风险防控能效。例如，通过物联网设备实时采集管网压力、温度等运行数据，结合历史事故案例库构建风险预警模型，使员工在手机终端即可接收风险提示；利用虚拟现实技术模拟泄漏、火灾等场景的应急处置，强化基层人员的实战能力；搭建全员安全行为数据库，通过大数据分析员工操作习惯中的潜在风险点，定向推送培训内容。这种“党建引领定方向、文化浸润塑意识、数智工具提效能”的三维融合模式，推动油气管网风险防控从被动响应向主动预防、从碎片化管理向系统化治理的深刻转变^[4-6]。

（二）行为安全管理视角下的全员参与与技术创新融合路径

构建以行为管理为抓手的动态防控机制，通过安全监督检查模式创新与行为激励机制重塑，破解传统管理中“重结果、轻过程”的痛点^[7]。安全监督检查需从定期抽查向实时动态监测转型，利用移动巡检终端与智能视频分析技术，对高危作业场景（如管道焊接、阀门操作）进行全过程行为捕捉，通过动作识别算法自动比对标准操作流程，即时反馈违规动作并生成整改清单。例如，在密闭空间作业中，智能穿戴设备可实时监测作业人员体态、氧气浓度及工具使用合规性，结合电子围栏技术限定作

业范围，从源头上规避误操作风险。在此基础上，构建“隐患积分-绩效奖励”联动机制，将个人安全行为数据转化为可量化的积分，与岗位晋升、评优评先挂钩，激发员工从“要我安全”向“我要安全”转变。

（三）基础强化与智能化融合驱动的系统性风险治理

以治本攻坚三年行动为纲领，聚焦系统性风险治理与长效化机制建设，通过“人、物、环、管”多维协同夯实本质安全根基。在基础能力提升层面，针对“低老坏”（低标准、老毛病、坏习惯）问题开展专项整治，利用物联网技术对管网腐蚀、焊缝缺陷等历史遗留隐患进行动态监测与数据建模，结合移动巡检应用建立“发现问题-整改跟踪-效果验证”闭环机制。例如，在老旧管道改造中，通过智能涂层检测仪快速识别防腐层破损点，同步关联维修工单系统自动派发任务，提升隐患治理效率。本质安全建设则强调工艺与设备的源头防控，推广本质安全型阀门、冗余压力控制系统等基础技术，降低人为误操作引发的连锁风险^[8]。

在承包商安全管理方面，突破传统“以包代管”模式，构建“准入-过程-评价”全链条管控机制。通过开发承包商动态评价系统，整合其资质审查、作业行为记录、事故违规数据，形成信用评分模型，对高风险承包商实施“熔断”限制。在项目安全设施“三同时”（同步设计、施工、投产）监督中，利用BIM（建筑信息模型）技术对施工方案进行三维模拟，提前识别安全间距不

足、应急通道缺失等设计缺陷，从源头规避建设风险。安全示范单位的经验输出则为体系推广提供模板，例如某输气站通过标准化巡检流程、应急处置卡、可视化风险分布图的实践，形成可复制的安全管理模块，借助智能化平台实现跨区域经验共享。

在环保协同方面，在智能化监测系统中集成甲烷检测、土壤振动传感等功能，实现安全风险与环境影响的同步预警。例如，在管道穿越生态敏感区段，部署声纹识别设备实时监测第三方施工震动，结合GIS地图自动触发环保应急处置流程。通过数据贯通将分散的治理实践（如承包商管理、三同时监督、低老坏整治）整合为有机整体，形成“基础强化-行为规范-智能支撑”的递进式防控生态，推动油气安全管理从被动应对向主动防御的范式转型^[9-10]。

四、结语

综上所述，油气管网智能化风险防控体系是保障油气管网安全运行的手段。在未来的发展中，应进一步加强技术研发投入，促进多学科交叉融合，提高风险防控体系的智能化水平。同时，建立健全相关法律法规和标准规范，加强人才培养，为油气管网智能化风险防控体系的广泛应用提供有力支持，从而推动油气行业的可持续发展。

参考文献

[1] 张亚彬, 张鑫, 王麟琨, 等. 油气管网场站工控系统融合安全防护策略 [J]. 自动化博览, 2025, 42(01): 20-23.
[2] 郑登锋, 付明福, 蒋金生, 等. 油气管网企业本质安全模型构建及应用研究 [J]. 中国安全生产科学技术, 2024, 20(S1): 12-17.
[3] 刘亮. 油气管道网络安全问题与对策 [J]. 软件, 2021, 42(05): 166-168.
[4] 孔令武, 刘雄源, 刘琰祥, 等. 长输油气管网工控安全防护: 策略、实践与展望 [J]. 自动化博览, 2025, 42(01): 60-63.
[5] 李鹏, 刘阳. 输油气场站智能化建设技术探索与研究 [J]. 中国化工贸易, 2024(25): 154-156.
[6] 梁永图, 邱睿, 涂仁福, 等. 中国油气管网运行关键技术及展望 [J]. 石油科学通报, 2024, 9(2): 213-223.
[7] 孔令武, 刘雄源, 刘琰祥, 等. 长输油气管网工控安全防护: 策略、实践与展望 [J]. 自动化博览, 2025, 42(01): 60-63.
[8] 陈妍君, 唐梓喻. 油气管道与市政管网交叉事故应急处置技术分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(17): 184-186.
[9] 冯庆善. 智能油气管网系统建设与运行方法论研究 [J]. 油气储运, 2024, 43(08): 841-854.
[10] 马银歌, 李艳婷, 曹秋娥. 输油气管网系统的优化设计与实施 [J]. 化学工程与装备, 2023, (12): 70-72