

油气集输管道隐患治理及其成本分析

卢 宁（东明县发展和改革局油田服务中心，山东 菏泽 274500）

摘要：油气集输管道是现代能源供应链中的重要组成部分。但随着时间的推移和技术的发展，管道系统面临着越来越多的安全挑战。因此，为确保油气集输管道的安全性和可靠性，必须采取科学有效的隐患治理措施，同时还需深入研究其治理成本，以保证管道修复工作的经济性。本文对油气集输管道的主要隐患进行分析，并对其相关治理技术和应用成本进行探讨。

关键词：油气集输管道；管道腐蚀；开挖置换；管道隐患治理

Abstract: Oil and gas gathering and transportation pipelines are important components of modern energy supply chains. But with the passage of time and the development of technology, pipeline systems are facing increasing security challenges. Therefore, in order to ensure the safety and reliability of oil and gas gathering and transportation pipelines, scientific and effective hidden danger control measures must be taken, and at the same time, in-depth research on their control costs is needed to ensure the economic viability of pipeline repair work. This article analyzes the main hidden dangers of oil and gas gathering and transportation pipelines, and explores their related governance technologies and application costs.

Keywords: Oil and gas gathering and transportation pipelines; Pipeline corrosion; Excavation and replacement; Pipeline hazard management

在长期的运营过程中，油气集输管道面临着诸多安全隐患，如腐蚀老化、第三方施工损伤等，不但威胁着管道的安全运行，还可能引发严重的环境污染和安全事故，对人民生命财产安全造成巨大威胁。因此，加强油气集输管道的隐患治理，确保其安全稳定运行，已成为当前能源行业亟待解决的重要课题。

1 油气集输管道的主要隐患

油气集输管道是现代能源输送的重要基础设施，其安全运行对于保障国家能源供应以及能源企业发展具有重要意义。不过集输管道在长期运行过程中也会面临各种安全隐患，如管道腐蚀、第三方破坏、操作不当等。

管道腐蚀主要涉及外腐蚀与内腐蚀两种类型。外腐蚀主要由土壤腐蚀、杂散电流腐蚀等管道外部环境因素引起。其中土壤腐蚀是因管道埋设于地下，与土壤接触，土壤中的水、盐分、微生物等成分会与管道表面发生化学或电化学反应，导致金属材料的逐渐损耗。杂散电流腐蚀则是在管道附近有强电流通过时，由于电流的泄露，管道成为电流的导体，从而发生电化学腐蚀。外腐蚀的表现形式多为管壁厚度减薄、点蚀、坑蚀等，严重时会导致管道壁穿孔，引发泄漏事故。内腐蚀则是由管道内传输介质的腐蚀性杂质所引起的。如油气中含有硫化氢、二氧化碳等酸性气体与水混合后会形成弱酸，从而对管道内壁造成腐蚀。此

外，输送介质中的固体颗粒也可能加剧管道内壁的磨损。内腐蚀常常发生在管道的弯头、低洼积水处以及气液交界面等部位，其表现形式包括坑蚀、鼓泡等，严重时可能导致管道强度下降，甚至发生破裂。

除腐蚀问题之外，油气集输管道还会面临因非法盗油行为、施工误伤等非正常人为活动而带来的损害问题，即第三方造成的破坏。这些行为不但直接破坏管道结构，还会引发火灾、爆炸等严重事故。而操作不当是指在管道建设和运行过程中，由于人员失误或缺乏专业技能而导致的风险，如焊接质量不合格、阀门开关错误等。

可以说，在长期的油气集输管道建设与使用中，各类潜在隐患不容忽视，必须采取相应措施予以治理，如此方能保证其安全稳定运行。

2 油气集输管道隐患治理及其成本分析

油气集输管道具有运量大、成本低、可连续输送的特性，这使其在能源供应链中占据了不可替代的位置。而随着全球及国内能源需求的持续增长，油气集输管道的建设规模不断扩大，网络日益复杂，油气集输管道的隐患治理也开始显得十分迫切。然而实践中除需要采用科学的治理技术外，还需要对隐患治理的成本进行合理分析，如此才能更好地优化资源配置，提高治理效率，确保治理工作的经济性和可行性。目前，油气集输管道隐患治理主要涉及检测与治理两个

环节，以下就从这两个环节入手分别对其相关技术手段和成本进行分析。

2.1 集输管道检测技术及其成本分析

2.1.1 外检测技术及其成本分析

油气集输管道的外检测技术主要有外腐蚀直接检测（ECDA, External Corrosion Direct Assessment）和无接触磁应力检测技术（PMDT, Pipe Magnetic Distortion Testing）两种。外腐蚀直接检测的应用较为广泛应用，其能够直接评估管道外部的腐蚀情况。实际应用中，该技术通过地面调查、间接检测、直接检测和后评估四个步骤，就可以有效定位和量化管道外壁的腐蚀程度，从而指导维修和修复工作。该技术的特点在于能够提供准确的腐蚀评估，帮助管道运营商及时发现潜在的安全隐患，并采取相应的措施。无接触磁应力检测技术主要是利用磁场变化来检测管道的几何形状和结构完整性，而无需直接接触管道，即可检测出管道的外部缺陷，如凹陷、裂纹和局部腐蚀等。该技术的特点在于检测速度快、效率高，而且对管道运行的影响较小，适合于在线检测。从应用效果来看，上述两种技术都已被证明能够有效地检测和评估管道的外腐蚀情况。前者能够准确定位腐蚀区域，并通过直接检测提供腐蚀深度的信息，从而有助于制定合理的修复计划，而后者则能够快速筛查大面积管道，发现潜在的结构问题，为后续的详细检查提供依据。

目前，外检测技术主要用于对集输管道缺陷的早期诊断方面，可以满足油区一般管道检测需求，且市场价格大约在 12000 元/km。但由于现阶段该技术的应用越来越普遍，所以市场竞争逐渐加大，其价格也在不断下降。

2.1.2 内检测技术及其成本分析

智能几何检测器和漏磁检测器是两种广泛应用于管道内部检测的工具。智能几何检测器主要用于测量管道的几何变形，如弯曲、椭圆度变化等，可以提供管道内部结构的精确图像，帮助识别管道的几何偏差和潜在的机械损伤。而漏磁检测器则主要用于检测管道内部的腐蚀和裂纹等缺陷，通过分析管道内外壁的磁场变化来确定缺陷的位置和严重程度。

在进行内检测之前，一般需要进行一系列准备工作来确保检测的准确性和有效性。首先是对管道进行彻底的清洁，即“清管”，目的是清除管道内部的沉积物、铁锈和其他杂质，确保检测器能够顺畅地通过管道，并获得准确的检测数据。清管可以借助机械清

管器、化学清洗剂或水力冲洗等方式完成。此外，还需要对管道进行压力测试，以确保管道在检测过程中不会发生泄漏或其他安全事故。在检测过程中，智能几何检测器和漏磁检测器能够生成大量高分辨率的数据，这些数据涉及管道的几何尺寸、壁厚变化、腐蚀程度以及任何结构缺陷的详细信息，并被记录下来，再依托专业的数据分析软件进行处理和解读。为确保数据的详细度和记录的准确性，检测器通常配备有高精度的传感器和数据采集系统，能够捕捉到微小的变化，并将其转化为可读的数据报告。

当前，管道内部检测的成本显著受到市场供需动态的调节。国际市场上长度不超过 50km 的管道，其单次内检测费用普遍约为 130 万元人民币。相比之下，国内市场的同类服务费用则相对较低，大约在 80 万元人民币左右。但随着国内内检测技术的持续进步与创新，以及更多企业投身此领域，加剧了市场竞争，原先可能存在的价格垄断现象正逐步瓦解。

2.2 治理技术及其成本分析

2.2.1 开挖置换技术及其成本分析

开挖置换是一种针对油气管道外腐蚀破坏或穿孔损坏的有效治理方式，主要依靠移除受损段并替换为新的防腐蚀管道来解决安全隐患。此方法的核心在于选择合适的新管道材质，以确保新管道具备足够的耐腐蚀性，避免未来出现类似问题。目前市场上有多种抗腐蚀管道可供选择，如内涂层无缝保温钢管、聚乙烯管柔性保温管及不锈钢保温管。不同管道在特性、适用范围及成本上各有差异，因此在实际应用中需要综合考量。

内涂层无缝保温钢管虽然具备一定的防腐蚀能力，但由于钢材本身的性能限制，每段管道的长度通常不超过 10m，如此就使得施工过程中往往需要更多的接头进行连接，从而增加了不锈钢管件的使用量和成本。相比之下，聚乙烯管柔性保温管因其较长的连续铺设长度，减少了连接点的数量，降低了对昂贵不锈钢管件的需求，因此具有更好的经济性。不过，如果聚乙烯管用于站场内的短距离输送，则可能因为连接点增多而增加成本。至于不锈钢保温管，虽然拥有最佳的抗腐蚀性能，但高昂的材料成本（约 25000–30000 元/吨）使得其整体造价显著高于其他两种管道（如流体用无缝钢管的价格大约为 4300–5000 元/吨），约为无缝钢管的 5–7 倍。因此，尽管不锈钢保温管在性能方面表现优异，但从经济效益的角度来看并不适合大

表 1 不同材质防腐管道价格估算对比

类型	内涂层无缝保温管			聚乙烯柔性保温管			不锈钢保温管		
	D89×4.5	D114×4.5	D159×6	D98×11.5	D110×15	D122X10	D89×4.5	D114×4.5	D159×6
管径	D89×4.5	D114×4.5	D159×6	D98×11.5	D110×15	D122X10	D89×4.5	D114×4.5	D159×6
施工费 / 米	150	170	260	30	35	40	150	170	260
主材费 / 米	250	290	370	200	230	275	450	580	950
合计	400	460	630	230	265	315	600	750	1210

表 2 旋转气流法修复技术价格估算

管径 /mm	价格 /(元 /m)	施工内容
φ114	160	操作坑开挖回填、耐压检测、清垢除锈，水洗风干作业、涂膜、干燥、补口接头、防腐层检测等。
φ219	210	

表 3 等径压缩法内衬 HDPE 管修复技术价格估算

管径 /mm	价格 /(元 /m)	施工内容
φ159	320	参考表 2 施工内容
φ219	440	
φ273	500	
φ325	610	
φ426	660	
φ519	1250	

表 4 旧管道应用 HCC 纤维增强复合防腐内衬集成技术的价格估算

规格 /mm	壁厚 /mm	价格 /(元 /m)	施工内容	技术要求
48	3.5	35	参考表 2 施工内容	喷砂除锈 sa2.5 级、涂层厚度 1 mm 以上
60	3.5	45		
76	4.0	58		
89	4.5	70		
114	4.5	90		
159	6	125		
219	7	168		
273	7	215		

规模推广。上述三类管道估算价格如表 1 所示。

2.2.2 非开挖技术及其成本分析

在油气生产中,对于必须快速恢复生产的隐患管线,或位于环境敏感、工农关系复杂、难以进行大规模开挖的区域,如河道、湖泊及铁路沿线,采用非开挖管道治理技术既经济又高效。具体而言,非开挖治理技术主要有旋转气流法修复技术、等径压缩法内衬 HDPE 管修复技术、HCC 纤维增强复合防腐内衬集成技术等。

旋转气流法修复技术主要是采用旋转气流法修复老旧金属管道,并同步清除锈垢并涂覆防腐层,将其改造为复合管,如此可以有效恢复流量与使用功能,且兼具高效除垢与安全环保优势。该治理技术的成本价格审核需要综合现场施工数据、工料机组价及相似项目合同价。如表 2 为该技术在实际应用中的估算价

格,但该价格仅为参考,实际施工价格的合理性还需要在实践中持续优化验证。

等径压缩法内衬 HDPE 管修复技术是利用一种改性 HDPE 管(其原始外径精准匹配待修复管道的内径),经多级等径压缩技术来灵活调整其尺寸以适应安装需求。随后,要借助高效牵引装置将 HDPE 管无缝嵌入已彻底清洗除垢的原管道内部,以强化了管道的防腐性能,进一步提升承压能力,最终实现对旧管道的全方位修复与升级。该治理技术应用中的价格控制需要严格参照非开挖技术委员会发布的权威施工定额标准,同时紧密结合具体工程特点,对人、材、机等各项费用进行细致调整,以确保报价的合理性。此外,管道清洗除垢的质量及 HDPE 内衬管材的选择(国产与进口价差显著)也是成本控制的关键环节,需审慎考量材料性价比,以达成最优的成本效益比。如表

3 详为等径压缩法内衬 HDPE 管修复技术的估算价格。

HCC 纤维增强复合防腐内衬集成技术是以改性环氧树脂为基质，辅以纤维增强，构成双组份高性能材料。该技术基于压缩空气驱动挤涂系统，能够在 DN400 及以下中小口径管道内实现精准内壁涂覆。该治理技术的成本价格审核需要综合市场报价、历史合同价及工料机精确测算，并重点关注热洗除垢、喷砂除锈等关键环节的成本控制，同时严格审核施工技术与组织方案。如表 4 为旧管道应用 HCC 技术的价格估算情况。

值得一提的是，HCC 因其成本优势，在新管道建设中也崭露头角，其成本约为旧管道修复的 75%，且在连接处防腐方面，能以较低成本替代不锈钢管件，与内涂层无缝钢管相比，虽价格相当但稳定性更高。而内涂层无缝钢管则因技术成熟、市场竞争激烈，实践中通过招标可进一步压缩成本。

3 结语

综上所述，油气集输管道的安全隐患治理是一项系统工程，需要结合先进的检测技术和适宜的治理措

施。其中，外检测与内检测技术可以有效识别管道存在的各种隐患，开挖置换技术适用于部分特定场景，而非开挖技术则因其对环境影响小、施工便捷等特点，在复杂条件下展现出更高的经济价值。实践中需要基于对不同技术手段的成本分析和实际情况选择最合适的解决方案，以确保油气集输管道系统的安全稳定运行，同时达到成本控制的目标。

参考文献：

- [1] 杨亚少,胡博瑞,张玉萍,等.油气集输管道完整性检测与评价研究[J].中国管理信息化,2023,26(06):124-126.
- [2] 张善泽.油气集输管道腐蚀与防腐措施研究[J].石化技术,2021,28(12):160-161.
- [3] 张大伟.输油管道安全生产研究[J].中国住宅设施,2019(10):32-33+35.
- [4] 田野.解析油气集输管道的防腐处理措施[J].石化技术,2019,26(03):246.
- [5] 肖起才.关于石化行业管道防腐层修复技术的探讨[J].中国石油石化,2017(05):99-100.

