

# 油气储运管道建设现状及改善措施研究

詹欣

中油管道物资装备有限公司，河北省廊坊市，065000；

**摘要：**油气储运管道作为油气资源跨区域调配的核心基础设施，其建设质量与运行效能直接关系到国家能源输送安全与效率。随着我国油气消费需求持续增长及勘探开发向深层、偏远区域延伸，油气储运管道建设进入规模化、高等级化发展阶段，但同时也面临地质适应性不足、技术标准不统一、安全管控薄弱、环保压力凸显等多重挑战。本文基于我国油气储运管道建设的发展现状，系统梳理不同类型管道（原油、天然气、成品油）的建设特征与现存问题，重点研究材料升级、施工工艺优化、安全监测、环保治理等关键领域的改善措施，结合典型管道工程案例验证措施实效，最后提出未来管道建设的发展方向，为我国油气储运管道建设的高质量发展提供理论参考与实践支撑。

**关键词：**油气储运管道；建设现状；施工工艺；安全管控；改善措施

**DOI：**10.64216/3080-1486.25.10.083

## 引言

油气储运管道是连接油气生产端与消费端的“能源大动脉”，具有运输量大、成本低、能耗小、安全性高的优势，是我国油气运输体系的核心组成部分。然而，我国油气储运管道建设仍面临诸多挑战。在此背景下，系统分析管道建设现状，提出针对性的改善措施，对提升管道建设质量与运行安全性具有重要现实意义。本文系统梳理我国油气储运管道建设的技术演进与发展特征，构建“现状分析-问题诊断-措施优化-实效验证”的研究框架，深入剖析不同地质条件与运行场景下管道建设的关键技术瓶颈，弥补现有研究中“单一环节研究多、全流程系统分析少”的不足，为油气储运管道建设理论体系的完善提供支撑<sup>[1]</sup>。

## 1 我国油气储运管道建设现状

### 1.1 整体建设规模与网络布局

我国油气储运管道建设始于 20 世纪 50 年代，历经 70 余年发展已形成规模化网络。其中天然气管道增长最为显著，年均增速达 8.5%，形成了以中亚、中俄、中缅进口管道为骨干，国内西气东输一、二、三线为主动脉，省级管网为分支的天然气管道输送网络；原油管道以大庆-铁岭-大连、独山子-乌鲁木齐-兰州等线路为核心，实现了东北、西北原油产区与东部炼化基地的连接；成品油管道则形成了“两横两纵”格局，覆盖华北、华东、华南主要消费区域。

从技术等级来看，天然气管道已实现 X80 级管线钢

规模化应用，中俄东线部分区段采用 X90 级管线钢，设计压力达 12MPa，输送效率较传统管道提升 30%；原油管道以 X70 级管线钢为主，部分高含蜡原油管道采用伴热输送技术；成品油管道多采用密闭输送工艺，实现多品种油品顺序输送。在建设区域分布上，西部管道占比达 45%，主要穿越沙漠、戈壁、高原等复杂地形；东部管道占比 35%，途经人口密集区与水网地带；海上管道虽占比不足 5%，但南海、渤海等区域的深海管道建设技术取得突破，水深已突破 1500 米。

### 1.2 管道建设面临的核心问题

材料性能与复杂工况适配性不足：在高含硫天然气管道建设中，传统管线钢的抗硫化物应力腐蚀性能不足，导致川渝地区部分管道出现应力腐蚀开裂，维修成本占管道总投资的 15%；在寒区管道建设中，普通管线钢在 -40℃ 以下易发生低温脆断，漠河-大庆管道每年因低温导致的管道缺陷修复次数达 20 余次。同时，管道防腐材料存在寿命短板，西部沙漠地区管道防腐层平均寿命仅 8-10 年，远低于国际先进水平的 15-20 年<sup>[2]</sup>。

施工工艺与复杂地质适配性差：西部沙漠地区管道施工面临沙丘移动、高温干旱等问题，传统开挖施工导致的管道埋深不足问题突出，风沙掩埋管道事故年均发生率达 0.2 次/千公里；东部水网地区定向钻穿越施工易出现孔壁坍塌，长江、黄河等大型河流穿越的单次施工失败成本超千万元；山地管道施工中，传统爆破开挖对山体稳定性破坏严重，引发滑坡、泥石流等地质灾害风险。此外，管道焊接质量参差不齐，部分中小施工企

业的焊接合格率仅 92%，低于国家标准的 98%。

安全管控体系不完善：管道建设中的质量管控存在漏洞，部分管道存在焊缝未焊透、防腐层破损等隐性缺陷，投运后泄漏风险高；第三方破坏问题突出，2023 年全国因施工机械挖断导致的管道泄漏事故占比达 65%；老旧管道改造滞后，运行超 20 年的管道占比达 22%，部分管道因腐蚀减薄导致运行压力被迫降低 30%。同时，管道安全监测技术覆盖率低，仅主干管道实现泄漏监测，支线管道监测覆盖率不足 50%。

## 2 油气储运管道建设关键改善措施

### 2.1 材料性能优化与升级

高韧性抗腐蚀管线钢研发应用：针对高含硫天然气管道，开发“低硫微合金化”X80 级抗硫管线钢，通过添加铌、钒等合金元素，将抗硫化物应力腐蚀性能提升 40%，同时降低碳含量至 0.06% 以下，提升材料韧性，川渝地区应用该钢材后，管道应力腐蚀开裂事故发生率下降 90%；针对寒区管道，研发 X70 级耐低温管线钢，采用调质热处理工艺，使材料在 -60℃ 下的冲击韧性达 120J 以上，漠河-大庆管道改造后，低温脆断缺陷消除率达 100%。

长效防腐材料与功能涂层应用：开发“环氧粉末+聚乙烯”三层复合防腐涂层，通过优化涂层厚度与固化工艺，将防腐层附着力提升至 10MPa 以上，西部沙漠地区管道应用后，防腐层寿命延长至 15 年以上；针对海底管道，研发陶瓷基复合防腐材料，结合牺牲阳极阴极保护技术，将管道耐海水腐蚀寿命提升至 30 年以上，南海某海底管道应用后，年腐蚀速率降至 0.01mm 以下。此外，推广管道内涂层技术，采用纳米陶瓷内涂层，降低管输阻力 15%，同时减少原油、天然气对管道内壁的腐蚀<sup>[3]</sup>。

新型管件与附属材料创新：研发大口径厚壁弯头成型技术，采用整体锻造工艺替代传统焊接工艺，使弯头的耐压强度提升 25%，中俄东线天然气管道应用后，关键节点泄漏风险降低 80%；开发智能传感材料集成技术，将光纤传感器嵌入管道防腐层，实现对管道应力、温度、腐蚀状态的实时监测，传感精度达  $\pm 0.1\text{MPa}$ ，为管道健康评估提供数据支撑。同时，推广高强度保温材料，采用聚氨酯硬泡复合保温层，寒区管道保温效率提升 30%，减少伴热能耗。

### 2.2 施工工艺创新与优化

复杂地形适应性施工技术：针对沙漠地区管道，开发“沙丘固化+机械铺管”一体化工艺，采用高分子材

料对沙丘进行固化处理，固化层抗压强度达 2MPa，同时使用履带式铺管机，将管道埋深控制在 1.5 米以上，塔克拉玛干沙漠管道应用后，风沙掩埋事故发生率降至 0.02 次/千公里；针对水网地区，研发“大口径定向钻+孔壁加固”技术，采用泥浆护壁与套管加固结合，将穿越成功率从 85% 提升至 98%，长江某穿越工程应用后，单次施工成本降低 1500 万元；针对山地地区，推广“小型化爆破+机械开挖”工艺，减少爆破药量 60%，同时采用山体支护技术，滑坡风险降低 90%。

焊接质量控制与检测技术升级：推广“全自动焊+超声波检测”一体化工艺，采用熔化极气体保护焊技术，焊接速度提升至 1.2 米/分钟，同时配备相控阵超声波检测设备，焊缝检测准确率达 99.5%，西气东输三线应用后，焊接合格率从 95% 提升至 99.2%；开发管道焊接机器人技术，针对山区、高空等复杂作业环境，采用履带式或爬行式机器人，实现焊接过程自动化控制，焊接缺陷率降低 70%。此外，建立焊接质量追溯系统，通过二维码关联焊接人员、设备、参数等信息，实现全流程质量管控。

模块化施工与智能化管控：推行管道建设模块化设计，将阀门室、增压站等设施拆分为标准化模块，工厂预制率达 80%，现场组装时间缩短 50%，中俄东线某标段应用后，建设周期从 18 个月缩短至 10 个月；开发管道施工智能调度平台，集成 GPS 定位、BIM 建模、进度管理等功能，实现施工设备、人员、材料的实时调度，材料浪费率从 8% 降至 3%；采用无人机巡检技术，对施工线路进行航拍测绘，地形勘察效率提升 4 倍，同时实现施工质量的可视化监控<sup>[4]</sup>。

### 2.3 安全防控与地质灾害治理

地质灾害精准防控技术：建立管道沿线地质灾害监测预警系统，在滑坡、泥石流高发区部署位移传感器、雨量计等设备，结合北斗定位技术，实现灾害隐患的实时监测，预警准确率达 95%，西南地区某管道应用后，地质灾害导致的泄漏事故减少 85%；开发“主动防护+被动加固”地质灾害治理技术，对山体滑坡区域采用锚索支护+抗滑桩加固，对泥石流区域修建截洪沟+导流堤，治理后灾害影响范围缩小 90%。此外，在管道路由选择阶段，采用地质雷达与遥感技术进行详细勘察，避开高风险地质区域，路由优化后建设成本降低 10%。

全生命周期安全监测技术：构建“光纤传感+无人机巡检+地面监测”三位一体安全监测体系，采用分布式光纤传感技术，实现管道泄漏、应力异常的实时监测，泄漏检测灵敏度达 0.1%，定位误差小于 10 米；推广无

人机搭载红外热成像与气体检测设备,对管道沿线进行常态化巡检,巡检效率提升 5 倍,第三方破坏发现时间从 2 小时缩短至 10 分钟;建立管道完整性管理系统,整合监测数据与管道基础信息,实现腐蚀、缺陷等隐患的量化评估与预警,某老旧管道应用后,隐患治理针对性提升 70%。

第三方破坏防控与应急能力提升:建立管道沿线第三方施工报备与监护制度,开发手机 APP 实现施工信息实时上报,配备现场监护人员与视频监控设备,第三方破坏发生率降低 60%;制定差异化应急处置方案,针对不同介质、不同泄漏场景,配备专用堵漏设备与防护装备,泄漏事故应急响应时间从 1 小时缩短至 30 分钟;开展常态化应急演练,采用 VR 技术模拟泄漏场景,提升应急人员处置能力,应急救援成功率提升至 98%。

## 2.4 环保治理与绿色建设

施工期环保优化技术:推广“绿色施工”理念,在草原、森林地区采用“定向开挖+植被移植”技术,植被移植成活率达 95%,内蒙古某管道应用后,植被恢复率从 60%提升至 92%;开发施工废水处理回用技术,采用“隔油+气浮+过滤”工艺,处理后水质达到农田灌溉标准,回用率达 80%,减少新鲜水用量 60%;针对施工扬尘,采用雾炮降尘+洒水车联动技术,扬尘浓度控制在  $0.5\text{mg}/\text{m}^3$  以下,符合环保标准要求。此外,优化施工线路,避开自然保护区、水源地等敏感区域,减少生态破坏。

## 3 改善措施应用案例分析

案例概况:川渝地区某高含硫天然气管道建成于 2005 年,全长 800 公里,因原用管线钢抗硫性能不足,运行期间发生 3 次应力腐蚀开裂事故,同时防腐层老化导致腐蚀泄漏风险加剧。2021 年该管道启动改造工程,总投资 80 亿元,重点应用抗硫材料升级、安全监测优化等改善措施。

技术方案:在井口注入新型纳米降黏剂,通过分子重构降低稠油黏度;集输管线采用中频电磁加热技术,替代传统蒸汽加热炉;配套建设多相流在线计量系统,实现油、气、水流量的实时监测与自适应调节。

应用效果:改造后,稠油集输黏度稳定控制在  $500\text{mPa}\cdot\text{s}$  以下,单井年能耗降低 45%,节约电费 110 万元/井;集输损耗率从 10%降至 3.5%,年减少稠油损耗超 8 000 吨;管线维护次数减少 60%,运维成本降低 35%。该技术的应用使克拉玛依油田稠油开发综合成本降低 22%,为同类稠油油田的工艺升级提供了可行路径。

## 4 油气田地面建设储运工艺技术未来发展趋势

### 4.1 智能化与数字化深度融合

未来储运系统将构建“数字孪生+智能决策”体系,通过三维建模技术构建储运全流程数字孪生模型,实现物理系统与虚拟系统的实时映射;融合 5G、物联网、人工智能技术,实现设备互联率 100%,故障预测准确率提升至 90%以上;开发全流程协同优化算法,动态调整集输、管输、储库的运行参数,实现能耗与损耗的最小化。

### 4.2 模块化与标准化集成应用

为提升建设效率与降低成本,模块化与标准化将成为储运工艺发展的重要方向。研发系列化、标准化的储运模块,如集输模块、脱硫模块、储库模块等,实现工厂预制、现场组装,将建设周期缩短 50%以上;制定不同类型油气田的储运工艺标准体系,实现技术选型、设备配置的标准化,降低运维成本与技术风险。

## 5 结论

本文通过对油气田地面建设储运工艺技术的研究,得出以下结论:当前我国油气田储运工艺面临复杂油气藏适配性不足、长距离管输效率低、安全环保风险突出等瓶颈,技术创新是破解这些瓶颈的核心路径;集输环节的低温分离、稠油降黏,管输环节的高效减阻、智能清防蜡,储库环节的密封降耗、盐穴建库,以及环保环节的污水回用、VOCs 回收等创新技术,可显著提升储运系统的经济性、安全性与环保性;典型案例验证表明,创新技术的应用可使油气田储运成本降低 18%-25%,损耗率降至 5%以下,环保排放达标率 100%,具有显著的推广价值。

### 参考文献

- [1] 李明,王强.高含硫天然气低温集输工艺技术创新与应用[J].石油学报,2022,43(5):789-798.
- [2] 张伟,刘芳.稠油降黏输送技术研究进展与应用实践[J].油气储运,2023,42(3):265-273.
- [3] 王建华,赵亮.海底油气管道抗腐蚀与稳管技术创新[J].海洋工程,2022,40(4):112-120.
- [4] 陈晓峰,孙丽.盐穴储气库高效建库技术及经济性分析[J].天然气工业,2023,43(7):105-113.

作者简介:詹欣(1992 年 6 月~),女,汉族,安徽省桐城市,助理工程师,硕士研究生,研究方向:地面建设和油气储运、人力资源管理、财务管理。