

天然气工程地下管道铺设技术探究

朱亚辉（河北省天然气有限责任公司沙河分公司，河北 邢台 054000）

摘要：天然气作为清洁、高效的能源，在现代社会中扮演着越来越重要的角色。地下管道作为天然气输送的主要方式，其施工质量直接关系到天然气供应的稳定性和安全性。因此，对天然气工程地下管道铺设施工实践进行深入分析，有助于提高施工水平，确保管道系统的安全运行。本文分析了天然气工程地下管道铺设技术类型及应用方法，剖析天然气地下管道铺设期间遇到的重难点问题，并提出具体的改善策略，以期为提高天然气管道建设工程的施工质量提供理论支持和实践指导。

关键词：天然气工程；地下管道；铺设技术

相对其他类型管道，如果天然气地面管道发生任何形式的泄露事件，其后果将远不止于周边环境受到严重污染，更有可能引发资源的极度浪费以及潜在的安全危机。因此，在工程建设过程中，应健全天然气管道铺设技术体系，结合实际，采取切实可行且稳定可靠的地面管道铺设技术，对整个铺设过程执行严格的质量管控措施，为天然气的安全和可靠运输保驾护航。

1 天然气工程地下管道铺设技术类型及应用方法

1.1 顶管法

顶管法利用顶管机头持续顶进天然气管道沿线岩石、土壤，向周边地层结构施加作用力，通过切割、扰动土壤，使得土壤变形，留出管道铺设空间，再将周边土壤进行压实处理，形成稳定结构，避免土壤变形，最终将天然气管道连同顶管机一同出洞。顶管施工系统由竖井、顶管机、顶进管材、基坑导轨等部分组成。按照施工图纸，现场测量定位竖井位置，开挖形成顶进竖井与接收竖井，把施工设备安装就位，依次开展入洞、顶进和出洞作业，顶管期间注入触变泥浆，起到润滑减阻作用，后期拆除设备、封闭管缝，即可完成天然气地下管道铺设作业^[1]。顶管施工期间，重点掌握施工测量、开挖竖井、顶管设施施工、顶进出洞、管道安装五道步骤的工艺要点，具体如下。

1.1.1 施工测量

以顶进竖井与接收竖井位置、管线路线作为测量内容，现场准备全站仪、激光经纬仪在内的多款测量工具，沿着设计轴线，分多点测量标记顶管位置，组合采取连续测量与间断测量方法。

1.1.2 开挖竖井

施工内容包含锁口圈梁施工、井身施工以及封底三部分。其中，在锁口圈梁施工步骤，标记竖井开挖范围，采取明挖法开挖地层，禁止出现超挖、欠挖问题，

检查开挖质量，继续绑扎锁口圈梁钢筋与支设模板，钢筋绑扎期间同步预埋工字钢，混凝土浇筑完毕，且实际强度超过 90% 抗压强度后，即可进入基坑土方开挖环节。井身施工步骤，井身结构由钢格栅、钢筋网、混凝土面层组成，每隔 0.5~0.7m 设置 1 榆钢格栅，洞口上表面连续设置 2~3 榆钢格栅，土体开挖完毕后，按顺序依次安装外网片、外连钢筋、安装钢格栅、内连钢筋与设置内网片，最终喷射厚度不小于 35cm 的混凝土面层，并在竖井底板位置设置积水坑。封底步骤，梅花状插入多根无缝钢管，作为注浆小导管，持续开展注浆作业，以注浆压力保持在 0.5~1.0MPa、稳压时间超过 20min 为结束灌浆标准，形成直径超过 0.4m 的固结体^[2]。

1.1.3 顶管设施施工

顶管设施包括后背墙、洞口止水圈、导轨、顶管机等，必须掌握各类设施的安装要求。以后背墙为例，支设模板与现浇混凝土形成墙体结构，最深处后背墙角撑件无需拆除，拆模完毕后，墙面立放 0.3m 横铁与 0.3m 竖铁，禁止在后背墙后侧 0.3m 范围内明挖沟槽。

1.1.4 顶进出洞

洞口加固完毕后，即可开展顶进作业，凿出洞门混凝土与切断井壁格栅钢筋，机头装入洞口，刀盘全部进洞后，启动顶进设备。前期顶进速度相对较慢，不得超过 15mm/min，避免出现机头旋转问题，确定机头全部进入土层、不存在旋转问题后，逐步把顶进速度提升至 30~50mm/min，中途采取注浆减阻措施，各节管道内壁上预留多个注浆孔，用于加固周边土层结构和提高顶进速度。连续开展顶管作业，直至刀盘抵达接收竖井前方 10~15m 位置，进行贯通测量，判断顶管机里程和所处位置是否准确，降低顶管速度，

机头刀盘和洞口距离缩小至 0.2–0.5m 时，停止顶进作业，重点控制刀盘迎面土压力，开启洞门，引导顶管机出洞^[3]。

1.1.5 管道安装

以顶进完毕的混凝土套管内部，作为天然气管道铺设空间，提前在现场地面制作多节管道，各节管道匀速顶入套管内部，清理管道内壁垃圾杂物，对相邻节段天然气管道进行焊接连接，检验管道强度与严密性是否达标。考虑到天然气管道铺设距离较长，管道安装期间产生较大穿越阻力，额外在管道底部设置滑轮支架，利用滚轮来减少管道穿越阻力，并在管道、支架接触部位设置橡胶保护层。

1.2 水平定向钻

提前根据工程现场情况来规划钻孔轨迹，利用井下动力钻具，在设计轨迹上钻设形成导向孔，对导向孔进行逐级扩大处理，通过地下孔洞，把天然气管道从入土端拖拽到出土端。相比其他管道铺设技术，水平定向钻有着成本低廉、工效高、保护地面环境的优点，但在管道拖拽期间极易划伤管壁，钻孔扩孔期间也有可能出现孔壁破坏、钻孔堵塞问题。水平定向钻施工期间，重点掌握钻孔、扩孔、管道回拖三道步骤的工艺要点，具体如下。

1.2.1 钻孔

按照施工图纸，标记钻孔起位置和导向孔曲线，现场把天然气管道进行组队焊接，调试校准导向仪，钻孔期间，定期进行测量定位，避免钻孔方向偏离设计轨迹。也可选择采取人工布置磁场方式来校准钻孔方向，但人工磁场极易受到外部电磁干扰。组合采取方向测定、钻头纠偏两项措施，精准控制定向孔方向，如果钻孔方向明显偏离设计轨迹，则采取造斜孔措施来恢复方向。

1.2.2 扩孔

钻孔完毕后，即可开展扩孔作业，采取分级扩孔方式，先后更换多组扩孔器，逐级增大扩孔器孔径值，具体选用到飞旋式扩孔器或是桶式扩孔器，直至导向孔孔径扩大至设计值。基于天然气管道管径值来确定最后一级的扩孔直径，例如，天然气管道管径值不足 220mm 时，扩孔直径超过 100mm 管道外径；天然气管道管径值为 220–610mm 时，扩孔直径控制在 1.5 倍管道外径。扩孔期间，持续向孔内注入泥浆，膨润土、纯碱等原材料加水搅拌制成浆液，重点检查返浆杂屑情况，针对性调整浆液比例^[4]。

1.2.3 管道回拖

提前检查导向孔孔径、孔壁结构完好性，清理孔内垃圾杂物，现场地面开挖回拖管道发送沟，把天然气管道摆放就位，检查管壁结构完好性和表面防腐效果。完成前置作业后，即可正式回拖管道，回拖速度不宜过快，连续完成管道回拖作业，同步向管道外壁注入具备较高润滑性的泥浆，用于保护管壁结构和减小拖拽阻力，定期测量调整管道回拖方向。无论是省略注浆减阻步骤，还是中途出现施工停滞问题，都会加剧回拖阻力，有概率出现卡管现象。

1.3 微型盾构法

盾构法最初用于隧道工程和地铁工程，以盾构机作为隧道掘进设备，沿设计路线，持续向前切割地层，机尾向外排出渣土，同步在开挖面上拼装混凝土衬砌结构，用于承受土压力和发挥挡水抗渗作用。近年来，微型盾构法引入天然气工程，配备直径不超过 3m 的微型盾构机作为掘进设备，采取类似掘进隧道方式来铺设天然气管道，施工难度系数与成本费用略高于其他铺设技术，但可以为天然气管道提供更为稳定的环境条件，充分满足复杂地下条件下的管道铺设需求。

微型盾构法施工期间，提前在现场设置工作井与接收井，均采取钢混结构型式，工作井深度略大于接收井深度，二者直径保持一致，采取分节制作、分层下沉方法。井体结构成型后，把盾构机布置在工作井底部，对准管道铺设方向，启动盾构机，利用高速转动状态下的刀盘，把前方岩石、土体切削成块，输送到破碎舱进行二次破碎处理，最终把石渣通过泥水管线输送到现场地面，连续、匀速掘进隧道，刀盘转速控制在 4r/min^[5]。同步在开挖面上拼装提前制作成型的混凝土管片，管片和开挖面间隙处填满水泥砂浆。完成盾构掘进作业，且衬砌结构拼装成型后，即可在微型隧道内部铺设天然气管道，采取常规人工铺设或是机械铺设方法。如果天然气管道铺设长度较大，或是中途穿越中风化砂岩层等复杂地层，则需要沿途设置多个中继间，负责克服破岩正面阻力和管壁外破碎岩石挤压作用力。

2 天然气工程地下管道铺设问题

2.1 地层变形

对于采取暗挖施工的天然气工程，地层变形是常见的施工问题，根源在于顶进 / 掘进压力未能和土体压力保持相对平稳的状态，无论是超量出土还是出土量偏少，都会致使施工地层出现变形现象，引发地面

沉降、地面隆起问题。同时，管道外壁环形空间无法满足上层土体支承需求，或是并未同步注入润滑泥浆，也有可能出现土体向管壁塌落情况。

2.2 穿越复杂地层

现代天然气工程管线距离长、建设规模大，地下管道铺设期间，在管线沿途常遇到各类复杂地质问题，地层条件较为恶劣，如软土地基、采空区、岩溶、河流河道。根据同类工程施工案例来看，面向复杂地层，常规施工方法并不适用，极高概率出现开挖面失稳、地层变形、管道上浮、管道偏位错位等问题。

2.3 液化区管道破坏

天然气地下管道铺设期间，部分管段周边地层出现场地土液化现象，影响因素包括土体密实度、颗粒平均粒径、粘粒含量、地下水位深度、上覆非液化土层厚度等。场地土液化问题存在期间，会导致周边地面出现永久变形现象，最终对埋于地下的天然气管道造成实质性影响，引起管道接口破坏、管体破坏、连接破坏、管道上浮在内的一系列连锁问题。

3 天然气工程地下管道铺设技术的应用策略

3.1 地层变形控制

天然气地下管道铺设期间，地层变形机理复杂，必须根据所选择工艺技术，专项制定地层变形控制方案。例如，对于采取顶管法、配备泥水平衡式顶管机的天然气工程，组合采取水压控制、开挖面前方控制、通过时控制、尾部空隙控制四项措施。其中，水压控制是在地下水位偏高，或是具备突出渗透特征的工况下，提前采取防喷涌措施，或是布置轻型降水井点，人为调控地下水位。开挖面前方控制是把土压作为调控内容，尽量保持土压、水压一致状态，根据现场情况，动态调整顶进速率、刀盘扭矩等工艺参数。通过时控制是在顶管机穿越土层期间，跟踪监控与及时调整顶管机姿态位置，如果周边土壤较为松散，或是设备、土体间摩擦阻力超标，注入泥浆来降低阻力。尾部空隙控制是对顶管机移动后形成的尾部空隙进行注浆填充处理，合理调控注浆压力、注浆量两项工艺参数。

3.2 制定复杂地层专项方案

天然气工程建设阶段，必须提前做好岩土勘察工作，全面掌握工程现场水文地质条件，判断沿线是否分布不良地质问题，结合实际问题，合理选择地下管道铺设方法，制定复杂地层专项施工方案。例如，对于穿越河流铺设的天然气地下管道，推荐采取大开挖围堰法，作为一项明挖技术，强调在管道沟槽迎水层

修筑截流堤，围堰两侧码砌土袋，迎水层铺设土工布，起到隔水作用，把河水引流到施工区域外侧，临时形成干燥场地。继续在围堰内部明挖管道沟槽，采取分级开挖方法，直至开挖到设计标高，同步设置集水坑，利用潜水泵定期进行抽水处理，按照常规做法，把天然气管道铺设就位，管道上部设置混凝土压块，进行覆土回填，即可拆除截流堤。

3.3 增强土体抗液化强度

场地土液化是引起天然气管道上浮变形的核心因素，集中出现在砂土地基，受到循环荷载作用影响，超孔隙水压力升高、抗剪强度同步降低，致使土体颗粒出现液化现象。应以提高土体密实程度、限制孔压升高和颗粒胶结固化作为问题解决思路，具体采取到挖换、加密、增加压重、排水等应对方法。以挖换方法为例，适用于液化砂层埋深值、厚度较小的天然气工程，直接挖除液化砂层，原位回填夯实非液化土层。

4 结语

综上所述，为保证天然气管网安全运行，在恶劣环境条件与复杂施工形势影响下，顺利完成天然气地下管道铺设任务。施工单位必须加强对地下管道铺设技术的应用力度，主动梳理技术脉络和完善技术标准，掌握顶管法、水平定向钻进、微型盾构法等主流施工技术方法，积极落实地层变形控制、制定复杂地层施工方案、增强土体抗液化强度三项措施，切实改善现场施工条件。

参考文献：

- [1] 王柏盛, 丁城峰, 陈熙, 等. 天然气长输管道的节能降耗技术措施的探讨 [J]. 全面腐蚀控制 ,2025,39(01):69-71.
- [2] 程化化. 跨天然气管道施工防护工程设计分析与应用 [J]. 价值工程 ,2025,44(02):50-52.
- [3] 贾雷, 郭丹丹. 两种方式穿越河流铺设燃气管道的分析与应用 [J]. 城市燃气 ,2021,(11):6-9.
- [4] 张昆宇. 长输天然气管道腐蚀的形成与防腐保护措施 [J]. 中国石油和化工标准与质量 ,2025,45(01):31-33.
- [5] 高遥, 张燕青, 朱辉. 水平定向钻在燃气管道穿越管中的施工要点 [J]. 石油和化工设备 ,2024,27(02):153-155.

作者简介：

朱亚辉（1984-），男，汉族，河北高碑店人，学历：本科，职称：工程师，现就职单位：河北省天然气有限责任公司沙河分公司，研究方向：燃气工程。