

复杂地质条件下城市燃气管道定向钻穿越施工风险评估与应对策略

张丙航

210404*****0638

摘要:随着城市地下管网空间开发日益密集,燃气管道在复杂地质条件下的定向钻穿越施工面临诸多风险挑战。本文针对复杂地质环境特点,系统分析了定向钻穿越施工过程中可能面临的地质风险、技术风险和管理风险,构建了多层次的风险评估指标体系。基于风险识别与评估结果,提出了针对性的风险应对策略,包括地质勘察优化、施工工艺改进、设备选型适配以及应急预案完善等方面。研究结果表明,通过科学的风险评估和系统的应对措施,可显著降低复杂地质条件下燃气管道定向钻穿越施工风险,保障工程安全与质量。希望本文的相关研究成果能够为类似工程项目的风险管理提供一定的参考价值。

关键词:复杂地质条件;燃气管道;定向钻穿越;风险评估;应对策略

DOI: 10.64216/3080-1508.25.12.076

引言

城市燃气管道作为重要的能源基础设施,其安全施工与运行直接关系到城市能源供应和社会公共安全。在城市化进程快速推进的背景下,燃气管道不可避免地需要穿越河流、铁路、公路等障碍物,定向钻技术因其非开挖优势成为首选施工方法。然而,复杂多变的地质条件给定向钻穿越施工带来了巨大挑战,施工过程中面临诸多不确定因素和潜在风险。

复杂地质条件通常包括软弱地层、富水砂层、卵石层、岩溶发育区、断裂带等多种不良地质情况。这些地质条件容易导致钻孔轨迹偏离、孔壁坍塌、钻具卡钻、泥浆漏失等施工问题,严重时可能引发地面塌陷、管道损坏等安全事故。同时,城市环境下施工还需考虑对周边建筑物和地下管线的影响,进一步增加了施工难度和风险等级。

目前,针对复杂地质条件下燃气管道定向钻穿越施工的风险研究尚不充分,系统性的风险评估方法和应对策略不完善。部分施工单位对地质风险认识不足,预防措施不到位,导致施工事故时有发生。因此,开展复杂地质条件下定向钻穿越施工风险评估与应对策略研究,具有重要的理论意义和实践价值。

1 复杂地质条件下定向钻穿越施工特点分析

1.1 定向钻技术原理与施工流程

定向钻穿越技术是一种非开挖管道敷设方法,通过

导向钻头按设计轨迹钻进形成先导孔,然后扩孔至所需直径,最后回拖管道完成安装。该技术主要优势在于不影响地面交通和生态环境,特别适合城市区域和敏感地段的管道施工。完整的定向钻穿越施工流程包括现场勘察、轨迹设计、钻机就位、导向孔钻进、分级扩孔、管道回拖等关键环节。

在复杂地质条件下,定向钻穿越施工的各环节都面临特殊挑战。勘察阶段需要更精确地掌握地层分布和岩土特性;轨迹设计需考虑避开不良地质区段;钻进过程中需应对各种地质突变情况;扩孔和回拖阶段需防止孔壁失稳和管道卡阻。这些挑战要求施工单位具备更高的技术水平和更完善的风险应对管理能力。

1.2 复杂地质条件的类型与特征

复杂地质条件可根据其成因和表现分为多种类型。松散不稳定地层包括粉细砂层、淤泥质土层等,其特点是结构松散、粘结性差,容易发生孔壁坍塌和泥浆漏失。富水地层如砂砾石层、强透水层等,存在地下水活动强烈的问题,可能导致钻孔涌水、泥浆稀释和地层扰动。硬岩与软硬互层地区施工时,钻头磨损严重,轨迹控制困难,钻进效率低下。

特殊地质构造如断裂带、岩溶发育区等风险更高。断裂带通常岩体破碎,可能存在地下水通道,极易引发钻孔偏斜和泥浆大量漏失。岩溶区地下溶洞和裂隙发育,钻孔可能突然遇空洞导致钻具坠落或地面塌陷。此外,人工填土区、地下障碍物密集区等人工改造地质环境也

属于复杂地质条件范畴，增加了施工过程的不确定性

1.3 复杂地质条件对施工的影响机理

复杂地质条件主要通过三种途径影响定向钻穿越施工。

物理力学方面，地层强度差异导致钻头受力不均，引起钻孔轨迹偏离；地层稳定性差造成孔壁坍塌，影响成孔质量；岩土磨蚀性强加速钻具磨损，降低施工效率。

水文地质方面，地下水活动带走泥浆颗粒，破坏泥浆护壁效果；高压含水层可能引发井喷事故；地下水化学性质可能腐蚀钻具和管道。

地质不均匀性也是重要影响因素。水平方向地层变化导致钻头突然遇软或遇硬，难以保持稳定钻进；垂向层理和节理发育造成钻头跳动和轨迹波动；局部异常体如孤石、透镜体等导致钻孔突然偏斜。这些影响机理相互作用，使得复杂地质条件下的定向钻穿越施工风险倍增，必须通过科学评估和有效控制来保障施工安全。

2 定向钻穿越施工风险评估体系构建

2.1 风险识别与分类

复杂地质条件下定向钻穿越施工风险可分为三大类。地质环境风险包括地层不确定性、地下水影响、不良地质构造等方面，这类风险源于工程地质条件的复杂性和勘察资料的局限性。施工技术风险涵盖导向控制偏差、钻孔轨迹偏离、泥浆性能失效、扩孔质量缺陷等，主要与施工工艺和技术水平相关。管理组织风险涉及施工方案缺陷、应急预案不足、监测措施不到位、人员操作失误等管理层面的问题^[1]。

风险识别应当采用系统化方法，通过文献调研、专家咨询、现场考察等多种途径，全面梳理可能存在的风险因素。对于地质环境风险，需要分析区域地质资料和勘察报告，识别潜在的不良地质条件；对于施工技术风险，应当评估设备性能、工艺参数和控制方法的适用性；对于管理组织风险，需检查管理体系、人员配备和应急资源的完备程度。全面的风险识别是后续评估和控制的基础。

2.2 风险评估指标体系

基于风险识别结果，可构建多层次的风险评估指标体系。一级指标包括地质复杂程度、施工技术难度、环境影响敏感度和管理控制水平四个方面。地质复杂程度下设地层均匀性、地下水条件、不良地质发育等二级指

标；施工技术难度包括导向精度要求、钻孔轨迹曲率、穿越长度和深度等；环境影响敏感度考虑地面建筑物密度、地下管线分布、环境保护要求等；管理控制水平涵盖勘察详细程度、施工方案质量、监测系统完善度等^[2]。

各指标权重的确定可采用层次分析法或专家打分法。地质复杂程度通常权重最高，特别是在未知因素较多的区域；施工技术难度次之，与工程规模和设计要求相关；环境影响敏感度在城区施工中权重较大；管理控制水平反映人为因素影响。指标量化可采用分级评分法，将各风险因素按影响程度划分为低、中、高、极高四个等级，对应赋予1至4分，通过加权计算得到总体风险值。

2.3 风险评估方法与模型

常用的风险评估方法包括定性评估、半定量评估和定量评估三种。定性评估主要依靠专家经验进行风险等级划分，适用于资料缺乏的初期阶段。半定量评估结合了定性分析和简单量化，如风险矩阵法，将风险发生概率和后果严重程度分别分级，通过矩阵组合确定风险等级。定量评估采用数学模型计算具体风险值，如模糊综合评价法、蒙特卡洛模拟等，结果更为精确但数据要求高^[3]。

3 复杂地质条件下定向钻穿越施工风险应对策略

3.1 地质风险应对策略

地质风险的应对应当坚持“预防为主、防控结合”的原则。前期勘察阶段应采用综合勘察手段，包括地质测绘、钻探取样、物探测试等，必要时进行孔内摄像和原位测试，提高地质模型的准确性。重点查明软弱夹层、富水层、空洞等不良地质体的位置和规模，为轨迹设计提供可靠依据。勘察范围应适当扩大，特别是对于岩溶区和断裂带，需掌握区域地质背景^[4]。

施工过程中的地质风险防控更为关键。针对松散地层，应优化泥浆配比，提高携砂能力和护壁效果，必要时采用聚合物泥浆或添加堵漏材料。对于富水地层，可考虑采用高密度泥浆平衡地下水压力，或预先进行降水处理。遇到硬岩或孤石时，应调整钻压和转速，避免钻头过度磨损和钻孔偏斜。发现异常情况如泥浆突然漏失、扭矩异常增大等，应立即停钻分析原因，采取针对性措施后方可继续施工。

3.2 技术风险应对策略

技术风险应对的核心在于优化施工工艺和提高控制精度。导向控制方面，应采用先进的导向系统如电磁随钻测量仪，提高轨迹测量精度；复杂地段加密测量频率，及时发现和纠正偏差；重要穿越可考虑采用陀螺仪导向技术，减少电磁干扰影响。扩孔工艺应根据地层条件选择，松散地层采用分级渐进扩孔，硬岩地层可考虑冲击扩孔或铣削扩孔，降低孔壁扰动风险^[5]。

泥浆技术是定向钻施工的关键保障。应建立专业的泥浆实验室，根据地层特点设计泥浆配方，定期检测和调整泥浆性能。对于不同地层段可采用变参数泥浆，如上部松散层使用高粘度泥浆增强携砂能力，下部稳定地层采用低粘度泥浆提高钻进效率。泥浆回收净化系统也需配套完善，减少废弃泥浆对环境的影响。此外，钻具组合应科学配置，包括钻头类型、扩孔器尺寸、扶正器位置等，确保施工顺利进行。

3.3 管理风险应对策略

管理风险的应对需要建立健全的质量安全保证体系。施工前应编制详细的专项施工方案和应急预案，组织专家论证和技术交底，确保方案的可行性和可操作性。人员培训至关重要，特别是操作人员、技术人员和管理人员应熟悉复杂地质条件下的施工特点和应急措施，持证上岗并定期考核。设备管理也不容忽视，关键设备如钻机、泥浆泵、导向系统等应定期维护保养，确保性能可靠^[6]。

施工过程监控是风险防控的重要环节。应建立全方位的监测系统，包括钻孔参数监测（扭矩、推力、泥浆压力等）、地面变形监测、周边建筑物监测等，实时掌握施工状态和环境影响。监测数据应及时分析，发现异常立即预警并采取应对措施。在这个过程中，还要注意进一步完善信息沟通机制，从而能够在最大程度上确保各个施工环节、监理、设计等单位之间信息畅通，协同解决技术问题。除此之外，在施工结束后还要做好进行总结与评估等相关工作，才能够积累更多的复杂地质条件下的施工经验，持续改进风险管理水平。

4 结论

综上所述，复杂地质条件下城市燃气管道定向钻穿越施工是一项高风险工程，必须建立科学的风险评估体系和有效的应对策略。研究表明，地质复杂性是影响施工安全的首要因素，需要通过综合勘察和实时监测准确把握地质条件。技术工艺的适用性和可靠性同样关键，应当根据地质特点优化导向控制、泥浆系统和扩孔方法。完善管理体系，包括方案设计、人员培训、设备管理和应急准备等方面。

风险评估应当采用系统化、量化的方法，构建全面的指标体系，准确识别和评价各类风险。风险应对需坚持预防为主的原则，针对不同风险类型采取差异化策略，形成全过程、多层次的防控体系。通过科学的风险管理，可以显著降低复杂地质条件下定向钻穿越施工的事故概率，保障工程质量和安全。

下一步，可深入研究特定地质条件下的定向钻穿越施工风险机理，开发具有系统性和多种地质条件的风险评估模型，探索智能化风险监控技术，构建风险评估信息管理系统。同时，应加强行业经验总结和案例积累，形成针对不同类型复杂地质条件的标准化施工工法和风险控制指南，推动定向钻穿越技术的安全应用和持续发展。

参考文献

- [1] 宋少杰, 张长沙. 水平定向钻穿越施工及其风险控制措施探讨[J]. 大众标准化, 2022(2): 67-69.
- [2] 杨楠, 申琪玉. 大口径长距离水平定向钻穿越项目施工安全风险评价研究[J]. 项目管理技术, 2021, 19(7): 64-70.
- [3] 王绥昊, 龙小贺, 王诗雅. 地质复杂地段油气管道水平定向钻穿越施工方法[J]. 化工管理, 2021(31): 189-191.
- [4] 张晓敏. 水平定向钻河流穿越施工难题及应对措施[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(20): 94-95.
- [5] 李峻. 大口径长距离 S 形铺管轨迹定向穿越工程施工难点及对策[J]. 福建建筑, 2021(12): 85-90.
- [6] 王永峰. 复杂地层大直径变截面超长桩基施工技术应用研究[J]. 北方交通, 2024(7): 1-4, 9.