

复杂地质条件下市政给排水管道施工关键技术

赵德隆

呼和浩特春华水务开发集团有限责任公司 内蒙古 呼和浩特 010010

摘要: 市政给排水管道施工在复杂地质条件下面临诸多技术挑战。本文详细阐述施工前期地质勘察与方案编制的技术要点,包括多维度探测体系构建、技术方案协同优化机制等。深入探讨管道沟槽施工、敷设及辅助关键技术,涵盖沟槽开挖、地基处理、管道吊装定位、接口处理及地下水控制等方面。通过系统整合各环节技术措施,形成一套适应复杂地质条件的市政给排水管道施工关键技术体系,为保障施工质量与安全提供技术支持。

关键词: 复杂地质条件;市政给排水管道;施工关键技术;地质勘察;管道敷设

引言:市政给排水管道作为城市基础设施的重要组成部分,其施工质量直接影响城市的正常运行与居民生活质量。复杂地质条件下的施工环境,如岩溶、流沙、高地下水位等,给管道施工带来诸多难题,传统施工方法难以满足工程需求。在此背景下,深入研究复杂地质条件下市政给排水管道施工关键技术,对于提高施工效率、保障工程质量、降低安全风险具有重要意义。

1 复杂地质条件下施工前期技术准备

1.1 地质勘察技术要点

复杂地质条件下的勘察工作需建立多维度探测体系,确保数据精度满足施工需求。地质分层探测技术采用综合物探方法,通过电阻率层析成像与地震波折射法的联合解译,构建地层三维结构模型^[1]。针对软硬不均地层,引入微动探测技术捕捉地层微弱振动信号,有效识别薄层夹砂或透镜体等微地质构造。不良地质隐患排查技术聚焦于断层、溶洞、采空区等灾害源的精准定位,高密度电法与地质雷达的组合扫描可实现米级分辨率探测,配合钻孔电视成像技术对异常区进行三维可视化验证。地下水分布及赋存状态探测技术发展出多场耦合探测方法,核磁共振测井技术通过分析氢原子核的弛豫特性,定量获取含水层孔隙度与渗透率参数。流速仪与水位计的长期监测数据经水文地质模型反演,可精确预测地下水动态变化规律,为降水方案设计提供关键依据。

1.2 施工技术方案编制核心要点

技术方案编制需建立地质-工艺-资源协同优化机制。地质适配性技术路径设计强调“一地一策”原则,在岩溶发育区采用超前钻探与注浆加固的组合工艺,在膨胀土地层推行柔性接口管道与湿度控制施工法。施工工序衔接技术规划引入动态模拟技术,通过BIM模型构建工序时序网络,识别关键路径与资源冲突点。对于深基坑开挖与管道安装的交叉作业,采用分阶段施工策略,通过设置临

时支护结构实现工序安全转换。不良地质应对技术预案设计构建风险分级响应体系,针对不同等级地质风险控制差异化处置措施。高风险区段推行“探测-验证-处置”的闭环管理流程,配备应急注浆设备与快速封堵材料,确保突发地质灾害的即时处置能力。技术方案需通过专家论证与数值模拟双重验证,确保工艺可行性、经济性与安全性达到最优平衡。方案实施阶段建立动态调整机制,根据实时勘察数据优化施工参数,形成“勘察-设计-施工”的良性互动循环。

2 复杂地质条件下管道沟槽施工关键技术

2.1 沟槽开挖技术

分层开挖技术遵循市政给排水管道工程施工及验收规范要求,根据沟槽深度、岩土体性质合理划分开挖层数与每层开挖厚度,沟槽深度 $\leq 5\text{m}$ 时划分2-3层,每层开挖厚度控制在1.5-2.0m;沟槽深度 $> 5\text{m}$ 时划分4-5层,每层开挖厚度不超过1.2m。开挖过程中控制开挖速度,机械开挖速度不超过0.5m/h,避免一次性开挖过深引发沟槽坍塌,开挖至设计标高前预留10-20cm厚度土层,采用人工修整方式确保槽底平整,减少机械扰动对槽底岩土体的破坏^[2]。边坡支护技术结合沟槽开挖深度、岩土体稳定性及周边环境,选用钢板桩、土钉墙、排桩等适配支护形式,钢板桩长度选用6-12m,土钉墙间距为1.2-1.5m,排桩直径不小于80cm,支护结构施工与开挖作业有序推进,支护安装完成后及时检查支护强度与稳定性,支护强度需达到设计值的90%以上,根据地质变化动态调整支护参数,保障沟槽开挖过程安全。沟槽排水技术依据地下水分布及赋存状态,采用集水坑排水、轻型井点降水等适宜方式,集水坑间距设置为15-20m,轻型井点降水间距为1.0-1.2m,及时排出沟槽内积水,降低地下水位至槽底以下0.5-1.0m,防止地下水浸泡槽底导致岩土体软化、坍塌,同时避免积水影响后续施工工序开展。

2.2 沟槽地基处理技术

软土地基加固技术参考软土地区岩土工程施工技术规范,采用换填垫层、深层搅拌、高压喷射注浆等加固工艺,改善软土地基的承载力和抗沉降能力,消除软土的蠕变特性,确保地基能够满足管道敷设的承载要求。岩质地基平整及处理技术针对岩质地层硬度高、平整度差的特点,采用机械凿除与人工修整相结合的方式,清除地基表面凸起岩石及松动岩块,对地基表面进行找平处理,必要时铺设找平层,确保地基表面平整、坚实,为管道基础施工提供良好条件。不均匀地基调平技术通过地质勘察明确地基不均匀分布范围及程度,采用局部换填、分层夯实等针对性措施,调整地基各区域承载力,减小地基不均匀沉降量,避免管道敷设后因地基沉降不均导致管道破损、渗漏。

2.3 沟槽回填技术

回填材料选择与处理技术严格按照施工规范要求,筛选强度高、渗透性好、稳定性强且与沟槽岩土体性质适配的回填材料,剔除材料中杂物、硬块及腐蚀性物质,对回填材料进行含水率调整,使其达到最佳压实状态,避免回填后出现沉降、开裂等问题。分层回填压实技术按照“分层回填、分层压实”的原则,控制每层回填厚度,选用适配压实机械,根据回填材料性质调整压实功率与频次,确保每层回填土压实度达到设计标准,压实过程中重点关注管道周边回填区域,采用小型压实设备细致压实,防止压实过程损伤管道。回填质量控制技术贯穿回填全流程,通过现场取样检测、压实度试验等方式,实时把控回填材料质量与压实效果,及时发现并整改回填过程中出现的质量问题,保障沟槽回填质量,为管道长期稳定运行提供保障。

3 复杂地质条件下管道敷设关键技术

3.1 管道吊装与定位技术

复杂地形吊装技术依据市政管道工程施工规范,结合施工区域地形复杂度与管道规格,选用履带式起重机、塔式起重机等适配吊装设备,优化吊装支点与吊装角度,合理规划吊装路线,避开不良地质区域,控制吊装速度与幅度,避免吊装过程中设备倾斜或管道晃动^[3]。管道精准定位技术依托GPS定位系统与全站仪测量技术,结合前期地质勘察确定的基准点,对管道敷设位置、高程进行精准测量校准,多次复核测量数据,修正定位偏差,确保管道敷设位置符合设计要求,为后续接口处理与整体稳定性提供保障。吊装过程防撞保护技术针对管道材质特性与施工环境,在管道吊装部位包裹柔性防护垫层,调整吊装索具受力均衡性,安排专人全程监测吊装过程,及时调

整吊装姿态,防止管道与沟槽壁、支护结构及其他施工设备发生碰撞,避免管道出现破损、变形。

3.2 管道接口处理技术

刚性接口施工技术遵循管道工程施工质量验收规范,采用水泥砂浆抹带、石棉水泥接口等工艺,施工前清理接口表面杂物与浮尘,保证接口表面平整干燥,严格控制接口材料配比与施工厚度,确保接口强度与整体性,适配岩质地基等沉降量较小的地质条件。柔性接口施工技术选用橡胶圈、密封胶等柔性密封材料,结合管道接口形式精准匹配密封件规格,安装过程中控制密封件安装力度与位置,确保密封件贴合紧密,适配软土、流沙等易发生沉降的地质条件,缓解地基沉降对接口的影响。接口密封防护技术在接口施工完成后,采用防腐涂层、防水卷材等防护材料对接口进行全方位处理,封堵接口缝隙,防止地下水、土壤中的腐蚀性物质渗入接口,提升接口抗渗、防腐性能,延长管道使用寿命。

3.3 特殊地质管道敷设技术

岩溶地质管道敷设技术参考岩溶地区岩土工程施工规范,提前探明岩溶发育情况,采用注浆填充、换填夯实等措施处理岩溶空洞,优化管道敷设路线避开大型岩溶体,选用抗变形能力强的管道材质,减少岩溶塌陷对管道的破坏。流沙地质管道敷设技术采用井点降水降低地下水位,减缓流沙流动速度,采用钢板桩支护加固沟槽周边土体,缩短管道敷设作业周期,采用快速对接工艺完成管道安装,防止流沙涌入沟槽影响施工安全与质量。高地下水位地质管道敷设技术强化沟槽排水措施,保持地下水位稳定,选用防水性能优良的管道与接口材料,施工过程中做好管道防腐、防渗漏处理,避免地下水浸泡导致管道损坏。破碎岩层地质管道敷设技术采用机械破碎与人工清理相结合的方式修整沟槽底部,清除松动岩块,铺设高强度垫层增强地基稳定性,选用耐磨、抗冲击的管道材质,确保管道在破碎岩层环境中稳定敷设。

4 复杂地质条件下管道施工辅助关键技术

4.1 地下水控制技术

复杂地质环境中的地下水动态特征直接影响管道施工安全与结构稳定性,需通过多维度技术手段实现动态平衡。降水技术体系需结合地层渗透特性与地下水位埋深进行差异化设计。针对砂卵石层等强透水地层,多级深井降水系统通过逐级布设滤水管形成递进式降水漏斗,配合变频控制技术实现抽水量动态调节,有效避免突涌与管涌风险^[4]。黏性土地层中,真空-电渗联合降水技术利用电场作用加速孔隙水迁移,配合真空泵形成负压环境,突破传统降水方法在低渗透地层中的效率瓶颈。堵

水防渗技术聚焦于构建多重阻隔体系,化学注浆材料需满足快凝、高强、耐久等特性,双液注浆工艺通过水泥与水玻璃的快速反应形成致密结石体,有效封堵裂隙与孔隙。对于断层破碎带等复杂构造,采用水泥-水玻璃双液浆与丙烯酸盐类化学浆液复合注浆方案,通过物理填充与化学胶结的协同作用形成长效防渗屏障。土工合成材料的应用亦具创新性,高密度聚乙烯膜与钠基膨润土防水毯的层状铺贴工艺,利用物理阻隔与自愈特性实现渗漏路径的立体截断。

4.2 施工降水对周边环境的控制技术

降水工程引发的环境效应需通过精准调控技术消解。降水范围控制技术依托三维渗流数值模拟平台,建立地下水运动与土体变形的耦合模型,通过动态优化井群布局与抽水参数,将影响半径严格控制在设计范围内。对于历史建筑密集区,采用隔离桩与止水帷幕组合结构,在降水影响区与非影响区之间形成物理屏障,有效阻断水力联系。周边土体沉降控制技术发展出分层补偿注浆工艺,在降水影响范围内布设智能注浆管,通过实时监测沉降数据自动调节注浆压力与流量。微扰动注浆技术采用超细水泥基浆液与脉冲式注浆工艺,在保证加固效果的同时将地表隆起量控制在毫米级,避免对既有建构筑物造成二次损伤。环境影响评估体系纳入土壤湿度、植被生长等生态指标,通过生态补偿措施维持区域水文平衡,例如在降水影响区设置人工回灌井,通过定量补给维持地下水位稳定。

4.3 施工测量与监测技术

施工测量体系构建多源数据融合平台,GNSS-RTK技术实现厘米级平面定位,配合几何水准测量确保高程精度。在岩溶发育区,采用陀螺全站仪与激光扫描技术建立三维坐标系,解决传统测量方法在遮蔽环境下的精度衰减问题。地质变形监测网络布设分层式传感器阵列,土压力盒与孔隙水压力计实时反馈地层应力状态,光纤光栅传感技术实现应变场的连续监测,通过分布式布设形成

全断面监测网络。管道施工精度监测发展出非接触式测量系统,激光跟踪仪与工业相机组合方案可同步获取管节空间姿态,通过特征点匹配算法实现安装偏差的毫米级修正。惯性导航技术应用于曲线段管道安装,通过加速度计与陀螺仪的实时解算,确保管节轴线与设计轨迹的偏差控制在允许范围内^[5]。数据传输采用5G+边缘计算架构,确保监测数据的实时性与可靠性,智能分析系统通过机器学习算法对监测数据进行趋势预测,为施工参数动态调整提供决策依据。监测预警系统设定多级阈值,当变形速率超过允许值时自动触发应急预案,形成"监测-分析-处置"的闭环管理机制,保障施工全过程的安全可控。

结束语

复杂地质条件下的市政给排水管道施工是一项系统性工程,涉及地质勘察、方案设计、沟槽施工、管道敷设及辅助技术等多个环节。通过建立多维度地质探测体系、优化施工技术方案、精准实施管道吊装定位与接口处理、有效控制地下水及周边环境等措施,可形成一套完整的关键技术体系。各环节技术措施的协同应用,能够有效应对复杂地质条件带来的挑战,保障管道施工的顺利进行与工程质量的可靠稳定,为城市给排水系统的安全运行奠定坚实基础。

参考文献

- [1]唐志勇.市政给排水管道施工中非开挖技术应用与效益评估[J].新城建科技,2025,34(8):138-140.
- [2]张有成.市政给排水工程施工技术难点及质量控制探讨[J].建筑机械化,2026,47(1):187-191.
- [3]赵昂.市政工程给排水管道顶管施工与质量控制研究[J].工程建设与发展,2025,4(9):221-223.
- [4]张桌桌.市政给排水管道工程中的顶管施工工艺[J].建筑与施工,2024,3(6):126-127.
- [5]刘胜昔.市政道路地下长距离顶管给排水施工技术研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(12):61-63.