

市政工程施工中的地下管线施工技术分析

汤 兵

(安徽拓鑫建设集团有限公司, 安徽 合肥 230031)

摘 要 地下管线作为城市运行的“生命线”, 承担着供水、供电、燃气、通信等多重功能。然而, 当前地下管线施工面临着城市地下空间资源有限、既有管线资料缺失或更新滞后、施工技术标准化不足等多重问题。复杂的地质条件和施工管理环节的薄弱也进一步加剧了施工风险, 亟需系统性分析地下管线施工技术, 以应对城市化需求与技术短板之间的矛盾。本文从市政工程施工中地下管线施工技术的现状和问题出发, 对其关键性技术进行重点分析, 探讨地下管线施工的具体优化策略, 以期为市政工程施工质量的提升与优化提供有益参考。

关键词 基础设施; 市政工程; 地下管线; 特殊工况处理

中图分类号: TU990.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.20.033

0 引言

地下管线施工关系到城市基础设施建设的质量, 科学的施工技术能够有效地控制施工风险, 提升地下管线施工质量, 进而提高城市的韧性, 具有社会与经济上的双重价值。同时, 在现代科学技术不断发展创新的背景下, 深化对市政施工中地下管线施工技术研究, 将人工智能、3D 建模、绿色材料等领域的发展成果应用到其中, 引入 BIM 技术优化管线布局、应用物联网实时监测管线状态, 为智慧城市建设提供支撑, 能够进一步加快我国建筑行业的现代化转型。施工技术标准化、规范化、绿色化和智能化的发展趋势, 将有效减少地下管线施工中重复施工和资源浪费情况的发生, 将地下管线建设纳入我国“双碳”目标下的绿色可持续发展事业中。

1 地下管线施工现状与问题

1.1 地下管线施工技术应用现状

市政工程地下管线施工包括沟槽开挖、管道基础处理、铺设安装、闭水试验等多个环节, 而对应的施工技术也覆盖整个流程。

在沟槽开挖环节, 当前还是采用人工挖掘配合机械挖掘的方式, 通过分层回填控制密实度, 针对不同地质条件调整开挖深度与支护措施。管道基础处理环节则主要是进行砂石垫层铺设与夯实, 确保地基承载力能够满足工程建设要求, 管道基础处理在软土或地下水位较高地区的地下管线施工作业时尤其重要, 需要采用换填或注浆加固技术改善软土、湿土的性质。管道铺设安装环节强调中心线校准和胶圈密封, 并做好编号管理, 减少错位风险, 当前这一环节的施工自

动化水平还比较低, 大多数内容的施工还是依赖传统人工操作。闭水试验是地下管线施工质量检测的关键步骤, 通过分段压力测试验证管线的密封性, 但在部分工程中存在因赶工期而简化流程或数据记录不全的现象^[1]。虽然信息化监控技术已经逐步地推广开, 部分地下管线施工开始将电磁感应、探地雷达用于管线探测, CCTV 机器人用于内部巡检, 但更多的工程实际上还是以人工巡检为主, 智能化监测系统的整体覆盖率较低。

从技术分类来看, 当前比较主流的地下管线施工技术有浅埋管线加盖法和深埋注浆加固法两种。浅埋管线是通过混凝土墩加固或槽盖保护提升管线的抗压能力, 这一施工技术多适用于管径较小或埋深较浅的管线。而深埋注浆加固法则通过分层注浆来达到稳定土体的效果, 这一技术能够很好地适应复杂交叉或深埋管线的保护需求, 但其浆液配比与注浆工艺具有一定的技术难度, 还存在一定的标准化不足问题。

1.2 地下管线施工问题

在施工管理层面, 管线资料缺失和人员专业素质不高是两项较为突出的问题。尤其是在老旧城区, 由于管线系统的设计时间比较早, 管线资料不完整或与实际分布不符的情况比较常见, 如果施工前勘察不彻底, 就容易导致误挖事故。而人员专业素质不足的问题则主要体现在部分施工人员缺乏规范操作意识, 在闭水试验、回填土密实度检测等环节上的操作不规范、执行不严格, 加剧了地下管线施工的质量风险。除此之外, 在遇到施工高峰期时, 还存在监管缺位的问题, 安全交底流于形式, 管线暴露后未及时设置警示标志, 引发二次破坏。

在施工技术操作层面上,主要的难点集中于排水管道错位、接口漏水及土壤沉降控制等方面。排水管道因基础标高计算误差或地基处理不当,经常出现接口错位,由于密封性不足而产生的长期积水会加速管材的腐蚀。胶圈密封工艺不达标或焊接缺陷也会引起接口漏水,尤其在温差较大地区,材料热胀冷缩更为剧烈,会加剧接口处的渗漏。土壤沉降控制也是地下管线施工的一项关键技术,深埋管线周边注浆加固不均匀或回填土分层夯实不足,容易引发管线倾斜甚至断裂的问题,这一问题对燃气等敏感管线安全威胁尤为严重。

在施工环境因素层面,主要考虑外部因素对管线耐久性的影响和特殊环境控制策略的选择。如地下水域地区施工需要应对流砂、管涌等风险,常规降水措施可能会扰动周边土体稳定性;腐蚀性土壤环境下,传统管材易受化学侵蚀等,需要根据具体的情况选择合适的环境控制策略和工程材料。

从整体上看,虽然地下管线施工技术在不断地完善和发展,但是其管理规范化、技术标准化、材料创新化三方面仍然有一定的进步空间,需要在这三个层面上进一步深化研究,更好地满足现代化城市市政系统建设的复杂需求。

2 地下管线施工关键技术分析

2.1 地下管线施工前准备

在地下管线施工开始之前,需要做好两个方面的准备工作。一是工程勘察与规划,施工前的精准勘察是保障地下管线施工安全的核心环节,借助电磁感应技术和探地雷达技术对既有管线分布进行探测,定位原有管线的走向、埋深和材质^[2]。具体而言,电磁感应技术能够接收金属管线产生的二次电磁场信号,可以根据接收到的信号绘制管线的平面图。而探地雷达则能够探测非金属管线,通过高频电磁波反射识别地下障碍物。在复杂地质区域下进行地下管线施工,还需要结合钻探取样验证土层稳定性,为后续开挖方案的制定提供支撑。除此之外,管线资料的整合与现状复核也尤为重要,将获取到的管线图纸与实地探测结果进行比对,修正管线数据库,规避资料缺失导致的误挖风险。二是管线交底与保护方案调整,施工之前要办妥与管线产权单位的监护手续,明确管线保护责任。针对交叉或邻近管线,根据实际情况制定迁移或加固方案。对无法迁移的浅埋燃气管,采用混凝土墩加固或槽盖保护,对深埋高压电缆,则通过分层次注浆加固周边土体。在施工交底环节,需要明确沟槽断

面尺寸、安全支护措施及应急预案,并通过施工方与产权单位的共同监督,落实防护细节。

2.2 地下管线施工阶段技术要点

地下管线施工主要包括沟槽开挖和管道铺设安装两部分。目前,沟槽开挖采用人工与机械结合的分层开挖模式,先由机械开挖至槽底标高以上30 cm,然后由人工进行清底,避免扰动原状土。在分层回填时,重点在于控制好回填土密实度,管道顶部50 cm内可以使用轻型夯实设备。对于深度超过5 m的沟槽,需要使用钢板桩支护或脚手架管支撑,并实时监测槽壁的变形,防止出现坍塌。

在管道安装前,需要对管道进行编号,并检查防腐层的完整性。非金属管道可以使用胶圈密封接口,在安装时先使用经纬仪对中心线进行校准,将错位偏差控制在最小范围内。钢管的焊接需要遵循“先外后内”的原则,根据管径设计合适的纵向焊缝错开的距离,避免出现十字焊缝^[3]。

2.3 特殊工况处理

市政工程地下管线施工中存在一些施工难度较大,对工程质量影响较强的特殊工况。这些特殊工况可以分为浅埋管线保护和深埋管线加固两大类。埋深小于1.5 m的为浅埋管线,这类管线容易受到机械碾压和地表荷载压力的影响。对于小管径管线,可以采用槽盖保护法,覆盖钢架板或预制混凝土盖板分散压力。大管径管线则可以使用混凝土墩加固,在管线两侧浇筑C20混凝土支撑墙,提升管线的抗压能力,避免施工造成的破坏。而对于埋深大于4 m的深埋管线,需要重点关注土体沉降与地下水渗透风险。可以采用分层注浆技术,以水泥-水玻璃混合浆液加固土体,外侧注浆孔距管线20 cm,分四层灌注,注浆压力控制在0.3~0.5 MPa。注浆顺序按照“由外向内、自上而下”的顺序,确保浆液均匀填充孔隙。对于穿越建筑基础的深埋燃气管,还需设置沉降观测点,实时监测倾斜值,并通过跟踪注浆调整地基稳定性。

2.4 质量检测技术

管道安装后需分段进行闭水试验,试验压力为设计压力的1.5倍,持续时间在半个小时以上。使用砖墙封堵井室两端,注水后观测渗漏量,排水管道允许渗水量按管径计算,如果渗漏量超出了设计标准,就需要检查渗漏点对其进行逐步或者直接更换管段。对于无法直接观察的接口,可以使用CCTV机器人检测内部焊缝或胶圈密封性,精准定位管道的缺陷。在地下管线施工过程中,还需要进行全过程沉降与位移监测。

采用全站仪或电子水准仪布设监测点,每日采集数据并生成变形曲线,通过实时监测发现局部沉降超限,及时采用袖阀管补浆加固,避免管线断裂。监测数据同步录入 BIM 平台,实现三维可视化分析与风险预警^[4]。

地下管线施工要充分融合精细化勘察、标准化工艺与智能化监测技术。通过浅埋与深埋工况的差异化处理、注浆配比优化及物联网实时监控,提升管线耐久性与城市基础设施韧性。

3 地下管线施工问题解决与优化策略

3.1 地下管线施工管理优化

针对地下管线施工中普遍存在的资料缺失与人员素质不足问题,需要构建市政管线数据库并强化数据共享机制,通过大范围、多层次的地下管线普查建立覆盖整座城市的统一数据库,并推动数据脱敏后共享,实现施工前管线交底与动态更新。搭建三维管线信息管理平台,整合城市内的管线数据,支持施工规划与风险预警,并建立多部门协同机制,明确产权单位责任,避免施工冲突。

在人员管理方面,要积极推动高素质施工队伍建设,在建筑行业加快推行持证上岗制度,并完善地下管线施工技术培训体系,针对特种作业人员,搭建技术培训与考核平台,要求作业人员通过平台考核并申领电子证书,建立包含培训记录与动态监管数据的个人培训档案。同时,建立施工安全信息共享平台与应急演练,将持证上岗制度与严格的隐患排查相结合,将地下管线施工的事故发生率降到最低。除此之外,还可以在地下管线施工的技术培训中,引入第三方机构定期评估培训效果,持续提升施工队伍的专业性与规范性。

3.2 地下管线施工技术创新

现代技术的发展为地下管线施工技术创新提供了重要支撑。BIM 技术的应用能够显著提升施工方的管线规划能力与施工精度,通过 BIM 模型模拟管线布局,结合 GIS 系统优化管线与周边建筑的空间关系,能够减少施工碰撞风险。三维建模还能自动生成管线纵断面图与工程量清单,帮助施工单位控制施工成本。在复杂地质区域,将 BIM 技术与物联网传感器配合使用,能够实时监测管道沉降与渗漏,并通过数字孪生技术动态调整施工方案。智能巡检技术的普及则解决了传统人工检测效率低的问题,在老旧城区的地下管网改造项目中,CCTV 机器人能够精准识别管道内壁裂纹与沉积物,再结合 AI 算法分析缺陷类型与风险等级,检测效率能够大幅度提升。无人机搭载激光泄漏检测仪,

能在非接触条件下快速排查燃气泄漏,在老旧社区的管线改造施工中具有重要价值。除此之外,车载 AI 视觉系统可以通过识别施工机械与围蔽区域,提前预警管线破坏风险,保证施工过程的安全与稳定^[5]。

3.3 地下管线施工材料与工艺改进

在地下管线施工的材料选择中,可以使用耐腐蚀涂层来延长管线寿命。例如:ZS-711 无机防腐涂料通过硅氧基螯合技术形成三重防护层,相较于传统管线施工中所使用的沥青材料,这种新型材料具有更强的耐化学腐蚀性,管线的理论使用寿命能够达到 20 年;环氧煤焦沥青涂料则通过阴极保护与涂层联合作用,在杂散电流干扰区域表现出优异的抗电化学腐蚀性能;针对酸性土壤环境,HDPE 管材凭借熔接工艺与抗微生物特性,逐渐替代铸铁管成为主流选择。

注浆工艺的优化重点在于配比科学化与施工精细化,当水泥浆与水玻璃按 1:0.3 混合时,浆液初凝时间可缩短至 10 分钟,结石率也达到最高水平,尤其适用于砂层与卵石层的加固。深埋管线注浆需采用“由外向内、自上而下”的分层注浆法,压力控制在 0.3~0.5 MPa,降低施工对土体的扰动。

整体而言,地下管线施工中管理、技术与材料的协同优化,能够推动地下管线施工突破传统瓶颈,向智能化、绿色化转型。

4 结束语

地下管线施工技术需进一步向绿色化、智能化延伸。要加快对耐腐蚀材料和再生混凝土回填工艺的推广,减少地下管线施工的资源消耗和环境负荷。同时,需推动数字孪生与元宇宙技术的融合,实现管线状态实时仿真与灾害预警。更重要的是,要将标准化施工的“底线思维”与创新驱动的“发展思维”有机结合,推动城市基础设施从“粗放建设”向“精细运维”转型,为智慧城市与可持续发展提供坚实的支撑。

参考文献:

- [1] 梁志刚. 市政工程道路施工中的地下管线施工技术分析[J]. 建材发展导向, 2024, 22(20): 76-78.
- [2] 陈顺龙. 市政工程施工中的地下管线施工技术分析[J]. 低碳世界, 2024, 14(09): 73-75.
- [3] 张明. 市政工程道路施工中地下管线施工技术分析[J]. 散装水泥, 2024(03): 124-126.
- [4] 刘超. 市政工程道路施工中的地下管线施工技术分析[J]. 工程技术研究, 2024, 09(11): 66-68.
- [5] 苏惠新, 林芝旭. 市政工程施工中地下管线施工技术的应用分析[J]. 陶瓷, 2024(05): 225-227.