

地铁隧道浅埋暗挖施工和深孔注浆加固技术研究

李京阳

(中铁十九局集团有限公司, 北京 100176)

摘要: 简述浅埋暗挖施工技术和浅埋暗挖施工步骤, 详细阐述深孔注浆前的各项准备工作和深孔注浆施工方法, 通过深孔注浆加固技术的应用实例, 深入开展了地铁隧道浅埋暗挖施工深孔注浆加固的技术研究, 以有效控制地铁隧道大断面开挖施工的安全和质量, 对促进地铁隧道工程建设具有一定的应用价值。

关键词: 地铁隧道; 浅埋暗挖; 深孔注浆; 技术研究

0 引言

地铁隧道施工过程中, 受到隧道管线结构与地质条件等影响, 施工难度较大^[1]。地铁隧道内的地层扰动较强, 土体状态容易出现失衡、沉降与收敛情况, 由此造成隧道开挖施工时存在塌方、地表沉降、涌水等安全风险隐患^[2]。为了解决上述问题, 本文在传统浅埋暗挖施工技术的基础上, 进行优化设计, 以北京地铁8号线三期隧道工程为例, 开展地铁隧道浅埋暗挖施工和深孔注浆加固技术的研究。

1 浅埋暗挖施工技术

1.1 具有的优点

浅埋暗挖施工技术在隧道工程施工中占据了重要地位, 适用于距离地表较近的地下。通过浅埋暗挖施工技术, 可开挖各种不同类型、结构、软弱地层的地下洞室。浅埋暗挖施工技术遵循新奥法原理、依据十八字法则开展施工。施工过程中将喷锚作为支护手段, 可保证浅埋暗挖施工的质量与安全。

1.2 存在的问题

传统的地铁隧道浅埋暗挖施工技术多数采用文献^[3]提出的技术。隧道浅埋暗挖施工技术虽然具有诸多优点, 但是在实际隧道施工过程中也表现出不足之处, 主要体现在施工流程复杂、破坏原有地面环境、占用资源较多、施工周期较长, 以及无法显著提升隧道内土层的自稳能力与承载能力, 加固效果不佳^[4]。

2 浅埋暗挖施工步骤

在地铁隧道深孔注浆加固前, 采用浅埋暗挖施工方

法对地铁隧道进行开挖施工, 并根据开挖施工的实际需要进行注浆加固。浅埋暗挖施工步骤如下:

首先, 选用挖掘机配合人工开挖的方式, 根据设计图纸要求和地层开挖的实际情况, 判断是否需要进行超前支护。

其次, 在地铁隧道内开挖出环形拱部, 并预留核心土。地层开挖面的台阶长度一般控制在1~1.5倍洞径范围之内。

再次, 核心土距离拱顶约1.6m, 其两侧距边墙约0.8m, 长度为1~1.5m, 核心土边缘应设安全坡度。

接着, 架设拱部格栅钢架, 挂钢筋网片, 均匀喷射混凝土^[5], 打设锁脚锚杆^[6], 开挖核心土, 施作临时仰拱。

最后, 开挖隧道下部台阶土体, 安装钢格栅, 挂钢筋网片, 施作边墙, 仰拱初期支护, 管片封闭成环。

3 深孔注浆加固技术

3.1 深孔注浆前的准备工作

3.1.1 选择施工方法

隧道全断面深孔注浆选用后退式(WSS)注浆施工方法, 分节钻孔, 每节长度为2m, 两节之间采用双孔专用接头, 使用专用钻头钻孔。单根注浆管长度为2m, 钻孔角度为15°。每个注浆循环段之间搭接2m, 下一段注浆前应施作止浆墙。

3.1.2 计算注浆比

深孔注浆应选择流动性、渗透性和充填性较高的注浆材料。计算深孔注浆加固的注浆比, 其计算公式如下:

$$N_1 = \frac{D_{15}}{d_{85}} \geq 15\% \quad (1)$$

式中: N_1 表示深孔注浆加固的注浆比; D_{15} 表示大于注浆材料粒径的砂粒质量占总质量的 15%; d_{85} 表示小于注浆材料粒径的砂粒质量占总质量的 85%。

根据注浆比计算结果, 选择符合粒径要求的高性能注浆材料, 保证注浆材料充填到浅埋暗挖深孔后, 能够达到较高的固结强度, 且能够在地铁隧道环境内长期处于稳定^[7]。

3.1.3 计算注浆量

在进行深孔注浆之前, 应计算注浆量, 其计算公式如下:

$$Q = \pi R^2 H \varphi \delta (1 + \eta) \quad (2)$$

式中: Q 表示深孔注浆加固的注浆量, R 表示深孔注浆浆液扩散半径, H 表示深孔分段注浆长度, φ 表示地铁隧道地层空隙率, δ 表示地铁隧道空隙充填率, η 表示注浆浆液损失率。通过计算, 获取地铁隧道浅埋暗挖施工深孔注浆量。

3.1.4 确定注浆方法

根据该工程的实际情况, 采用扇形方式布置预留注浆深孔, 控制深孔注浆的间距不超过 0.4m, 末端间距不超过 1m^[8]。

采用后退式分段注浆方法, 配套选用止浆阀、接头管和孔口管, 将其放入注浆管中, 随后布设在隧道浅埋暗挖深孔内。沿着地铁隧道的前进方向, 进行超前注浆加固土体。地铁隧道浅埋暗挖深孔后退式分段注浆原理如图 1 所示。

3.1.5 设置止浆墙

进行深孔注浆前, 需要在上台阶段核心土范围外的掌子面设置厚度为 0.3m 的止浆墙。止浆墙设置双层 $\text{Ø}6@150 \times 150$ 钢筋焊接网和 $\text{Ø}22@500 \times 500$ 钢筋加强。采用 C20 喷射混凝土进行喷射加固。核心土范围采用厚度为 50mm 的 C20 喷射混凝土喷射加固。封闭地铁隧道浅埋暗挖掌子面, 形成封堵墙, 在墙内预埋符合加固施工要求的钢管, 便于钻机开孔施工^[9]。

3.1.6 钻进成孔

注浆孔采用地质钻机成孔, 钻杆采用 $\text{Ø}50$ 双重管钻

杆, 钻机按照指定的位置就位, 调整钻杆角度, 对准孔位后, 钻机不得移位。注浆孔分 3 层布置, 层间距为 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$, 孔间距为 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ 呈梅花型布孔。

钻进成孔过程中, 按注浆长度及注浆范围要求, 严格控制钻杆深度, 保持慢速运转, 掌握地层对钻机的影响情况, 以确定该地层条件下的钻进参数。密切观察溢水、出水情况。若出现大量溢水, 应立即停钻, 查清原因后方可继续施工。

退出钻杆过程中严格控制钻杆的退出速度, 每次退出不大于 200mm, 均速后退。退出后的钻杆应及时清洗干净。

3.2 深孔注浆施工方法

注浆压力为 0.2~0.8MPa; 采用速凝浆液, 其凝固时间为 1~2min; 钻杆回抽幅度约 15~20cm。注浆速度与地层的孔隙、连通情况和密实度有关, 因此将注浆速度暂定为 10~20L/min。

注浆采用注浆量和注浆压力双控注浆, 每根导管注入规定浆液, 压力达到注浆终压时, 即可结束注浆。如注浆压力长时间不上升, 流量不减少, 可能出现跑浆现象, 此时采用间歇注浆。由深孔孔底向外分段注浆加固。按照分段注浆顺序, 循环加固施工, 直至整个地铁隧道加固区段完成深孔注浆, 即结束深孔注浆加固施工。

4 深孔注浆加固技术应用实例

在将深孔注浆加固技术投入地铁隧道工程施工之前, 需模拟浅埋暗挖施工流程, 对该技术的有效性及其施工加固效果进行测试, 确认该项技术的施工加固效果能够达到预期要求后, 方可投入工程应用。

4.1 工程概况

选取北京地铁 8 号线三期隧道工程作为实例进行应用分析研究。该隧道工程庞大、结构复杂, 本次试验从中选取一个区间, 即木樨园桥南站至大红门站区间。选取的隧道区间始于京煤二厂中街与南苑路相交路口, 由北往南敷设, 直至南苑路与石榴庄路相交路口。8 号线地铁隧道区间段的工程参数如表 1 所示。

选取的区间段为正线下穿凉水河隧道工程, 其包括 D2000 污水管、D3000 污水管、 $3400\text{mm} \times 1600\text{mm}$ 雨水方沟等管线。在掌握地铁隧道工程相关情况后, 参照浅埋暗挖施工方法和深孔注浆加固技术, 开展分析研究。

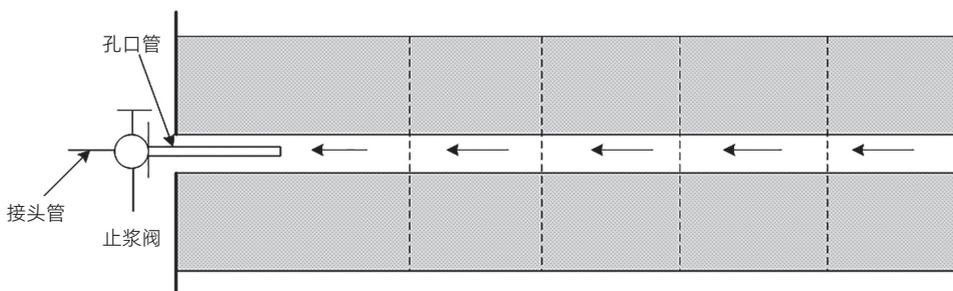


图1 地铁隧道浅埋暗挖深孔后退式分段注浆原理

表1 北京地铁8号线三期隧道区间段工程参数

编号	项目	参数
1	右线长度/m	564.470
2	左线长度/m	564.481
3	轨面标高/m	12.591~21.975
4	最大坡度/‰	25
5	覆土厚度/m	12.95~20.29

4.2 分析实验结果

为了增强应用分析测试结果的说服力,引入对比实验。将8号线地铁隧道区间段设置为实验组,将文献^[2]、文献^[3]提出的施工技术,分别设置为对照组1与对照组2。模拟上述3组的浅埋暗挖施工加固全过程,获取加固结果,并作出客观评价。

选取地铁隧道地表沉降值作为此次应用分析的评价指标,隧道地表允许的最大沉降值为30mm。根据该地表沉降监测基准,判断本文提出的浅埋暗挖施工深孔注浆加固技术是否可行。

随机在北京地铁8号线三期隧道工程中布设沉降监测点,保证每15m布设1个隧道地表断面沉降监测点,将沉降监测点标记为D-01、D-02、D-03、D-04、D-05、D-06。使用精密水准仪,监测北京地铁8号线地铁隧道区间段地铁隧道的地表沉降值,得出的地铁隧道3组地表沉降值,如图2所示。

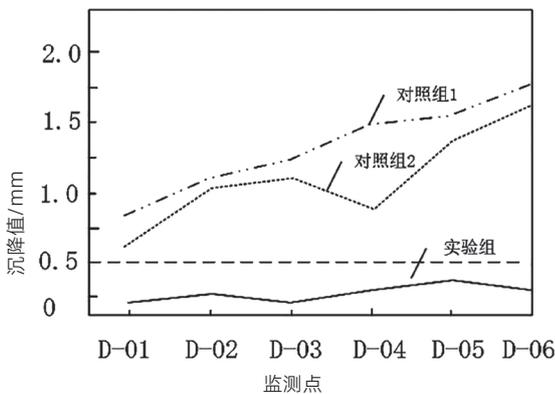


图2 地铁隧道3组地表沉降值

通过图2可知,这3组浅埋暗挖施工加固技术应用后,隧道地表沉降值存在较大差异。北京地铁8号线应用地铁隧道浅埋暗挖施工及深孔注浆加固技术后,6组监测点所在隧道地表位置对应的沉降值,始终小于对照组1与对照组2的沉降值。北京地铁8号线地铁隧道地表沉降变形较小,最大沉降变形小于0.5mm。

从对比结果可知,本文提出的浅埋暗挖施工深孔注

浆加固技术具有较高的可行性,隧道地表的自稳能力与承载能力较强,确保了地铁隧道开挖施工标准段结构的安全性及稳定性,加固施工效果优势显著。

5 结束语

综上所述,为了优化地铁隧道浅埋暗挖施工深孔注浆加固效果,提高隧道地表土层的自稳能力与承载能力,控制地表沉降变形。

本文以北京地铁8号线三期隧道工程中的一个区间段为例,开展了地铁隧道浅埋暗挖施工深孔注浆加固技术研究,有效控制了隧道大断面开挖施工的安全和质量,对促进地铁工程建设具有积极意义。

参考文献

- [1] 胡高鹏,艾鹏,侯振华,等.富水复杂环境下地铁暗挖施工变形控制及地下水治理技术[J].建筑技术,2023,54(15):1834-1837.
- [2] 杨磊,朱富丽,张浩.地铁隧道侧穿桥梁桩基工程注浆加固控制及监测管理研究[J].城市轨道交通研究,2022,25(10):165-170.
- [3] 杨洁,侯蕾,张君兰,等.浅埋暗挖地铁隧道施工技术与风险的相关研究[J].居业,2022(9):34-36.
- [4] 程险峰.换乘通道暗挖施工穿越既有地铁车站的安全影响分析及处理措施研究[J].工程与建设,2022,36(4):1097-1100.
- [5] 周伟,牛斌,曾德光,等.浅埋暗挖法隧道下穿管线施工控制标准及控制措施研究[J].城市轨道交通研究,2021,24(9):20-24.
- [6] 张小伟,张丽,韩亚飞,等.大断面平顶地铁暗挖车站下穿既有建筑方案研究及变形控制:以北京地铁8号线三期前门站工程为例[J].隧道建设(中英文),2021,41(6):979-987.
- [7] 胡平.城市地下综合管廊浅埋暗挖下穿富水河道施工风险与控制技术研究[J].施工技术,2021,50(7):94-98+103.
- [8] 阎岩,刘仰鹏,沈立伟,等.复杂地质条件下热力暗挖隧道穿越道路的关键技术研究[J].区域供热,2020(6):111-121.
- [9] 付培英,张海东,刘亚斌,等.繁重交通、复杂管线、富水软岩高风险差异洞室地铁通道暗挖施工技术[J].施工技术,2020,49(S1):668-671.