

砂卵地层下穿河道及城市主干道浅埋暗挖隧道洞内超前管棚支护施工技术

尹 强

(合肥市轨道交通集团有限公司, 安徽 合肥 230001)

摘 要 成都地区广泛分布的砂卵石地层具有结构松散、自稳能力差等特点, 在该类地层中进行浅埋暗挖隧道施工, 尤其是在下穿河道、城市主干道及重要管线等复杂环境时, 面临着围岩易扰动、沉降控制难、施工风险高等严峻挑战。本文针对成都地区砂卵地层中下穿河道及城市主干道、同时下穿重要管线的浅埋暗挖隧道的洞内超前支护, 对原设计支护方案及隧道常用小导管、超前锚杆等支护形式进行对比研究, 通过不断的试验, 验证超前管棚在该种复杂环境下围岩支护的可行性。

关键词 浅埋暗挖; 河道; 管线; 道路

中图分类号: U455.48

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.16.021

0 引言

目前, 地铁暗挖隧道的施工方法主要有浅埋暗挖法、矿山法、盾构法等, 矿山法隧道适用于各类地质条件, 对沉降控制效果好, 对地面交通影响较小, 在区间隧道施工中应用广泛^[1]。

隧道超前支护主要方式有管棚、小导管、超前锚杆等, 已形成完善施工工艺。管棚注浆法可抑制软弱破碎围岩变形, 改善支护结构受力, 避免塌方; 超前小导管注浆支护能提高围岩稳定性, 减少洞室变形和塑性区, 环向分布范围、管径等是主要加固参数; 超前锚杆管径小于小导管, 在砂卵地层应用广, 但支护效果不如小导管。目前, 超前支护是隧道穿越软弱破碎围岩的关键措施, 其设计十分重要。现有超前支护设计研究多集中于方案优化分析或单一参数优化设计, 对合适支护方式及合理参数范围选择的研究较少。隧道超前支护设计在某些条件下过于保守, 不适用于现场施工, 造成浪费, 然而在有些条件下又由于隧道结构设计过于薄弱而存在较大的安全隐患, 给隧道工程的建设和后期的运营带来较大的安全风险^[2]。因此, 有必要对如何选择合适的隧道超前支护方式及合理参数范围进行深入研究。

1 工程概况

成都轨道交通 9 号线一期工程 5 标武青车辆段出段线位于机投镇站~武青北路站正线区间西侧, 同时位于在建成蒲铁路桥附近。

矿山法施工里程为 CDK0+340.291~CDK0+753.000, 长 412.709 m, 隧道大里程 CDK0+753.000~CDK0+880.000 采用明挖法施工, 与市域铁路代建段相接。矿山法区间 3 次上跨盾构, 2 次下穿二道河。主体位于通行的武青北路下方, 武青北路为双向 6 车道主干道, 两侧人行道及非机动车道下方有重要管线。

隧道埋深 8~12 m, 洞身主要处于中密~密实卵石土中, 局部松散, 卵石含量 55~75%, 粒径 2~15 cm 为主, 最大粒径大于 20 cm, 偶见漂石, 含量约 5%~6%, 卵石间有细、中砂充填, 成分以岩浆岩、变质岩为主, 级配差, 呈次磨圆状, 局部夹透镜状砂层, 均匀性差、连续性好, 表层中等压缩性, 下层低压缩性, 整体强度高, 为强透水层和主要含水地层。

因卵石透水性强、富水性好、自稳定性差, 矿山法施工抽排地下水易使细颗粒流失, 导致卵石土结构松散、发生固结, 造成掌子面垮塌甚至地面塌陷, 危及基坑及周边安全。

二道河两次横穿线路, 穿越里程分别为出段线 CDK0+609~CDK0+615、CDK0+698~CDK0+721, 原沿武青北路铺设, 宽约 5 m、深 3 m, 为水泥驳岸且做防渗处理, 后因成蒲铁路修建改移为临时沟渠, 未做防渗。河道水量小、水位稳定, 河底有淤泥质粉质黏土、粉质黏土, 属微~不透水层, 但沟帮条石砌筑已变形, 有局部渗漏, 对隧道有一定影响。

作者简介: 尹强 (1987-), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向: 建筑工程。

2 砂卵石暗挖隧道的预加固方案比选

砂卵石地层隧道的超前支护方案关键在于是否能够有效封挡漏砂，减少坍塌，从而有效地控制地层的结构变形，保证上方围岩稳定，保证上部结构物（道路及管线、河道）的安全。结合同类型隧道施工经验，同时在武青暗挖隧道（未穿越段）进行各种超前支护类型的试验施工。对 R32N 自进式中空超前锚杆（原设计）、 $\Phi 25$ 超前锚杆、 $\Phi 89$ 中管棚、 $\Phi 108$ 大管棚、 $\Phi 42$ 超前小导管进行试验（见表 1），确定最优支护方案。

3 管棚的施工工艺及施工步骤

3.1 管棚施工工艺

根据砂卵石地层隧道的特点及施工条件进行管棚的断面布置，砂卵石地层在不适用注浆劈裂的情况下，自身密实度较高，注浆固化效果较差，水泥浆易从空隙呈单线流走，未形成整体加固。基于此种情况，管棚的支护作用更多的是由于自进式管自身钻进后排渣过程对周边围岩的扰动较小，同时注浆后管棚与管棚四周砂卵紧密结合，其自身抗弯强度较高，开挖时管棚

表 1 常用超前支护施工验证对比表

序号	超前支护措施	施工方法	设置规格	施工情况	支护后开挖情况	优先情况
1	R32N 自进式中空超前锚杆	十字钻头自进式成孔		成孔深度仅 0.8 ~ 0.2 m	超前风钻应对围岩扰动较明显，开挖过程坍塌严重	不适用，围岩扰动较大；垮塌严重
2	$\Phi 25$ 超前锚杆	风管预吹孔法	每循环 25 孔 3.5 m，可开挖 4 幅	砂卵自稳差、无法成孔、随钻进塌孔	在纯砂层中可成孔 2 m 左右，但开挖后支撑力小，出现锚杆一下即坍塌情况	仅适用于拱顶纯砂层，支护效果不稳定
3	$\Phi 42$ 超前小导管	$\Phi 50$ 风钻成孔			无法成孔，不具备可行性	不适用
4	$\Phi 89$ 中管棚	导向跟管钻	每循环 30 孔 9 m，可开挖 14 幅	受市场现有材质影响仅能钻进 9 m	支护效果较好，开挖过程管棚脱落。管棚上方基本无坍塌。	一般，每循环施工时间较长，工期不优
5	$\Phi 108$ 大管棚	导向跟管钻	每循环 30 孔 15 m，可开挖 26 幅	R780 材质，每环钻进 15 m		优先选用

前段深度掌子面、管棚后端支撑在已完成的拱架上方，能够有效地承载住开挖面上方围岩^[3]。

管棚间距设置为 250 mm，净距离为 142 mm，相邻管棚的扩散浆液能够有效地固化中间砂层，形成整体帷幕效果。

管棚的平面布置根据隧道穿越河道、武青北路、重要管线的平面位置，灵活设置，每循环在 9 ~ 15 m，合理布置避免在管线及河道下方停滞施工管棚。管棚工作室利用管棚外倾角与开挖拱架之间逐步形成的高差，进行逐步扩挖，工作室长度 5 m，采用双层拱架，快速形成支护，本循环管棚施工完成后再补充架设正常拱架。

3.2 管棚的施工步骤

洞内隧道开挖施工时在上循环施工的初支下进行扩挖，第 1 循环外倾角控制在 15 度，长度不超过 5 m，形成外扩面，扩挖后在采用同样角度的短管棚进行逐步扩挖，直到达到工作室长度，后续施工即不再单独设大角度工作室支护，沿用上循环管棚外扩量进行施工^[4]。管棚施工不设套拱，支架在封闭的掌子面上，

采用履带钻机径向打入，施工过程中前 2 m 由测量人员严格控制管尾，管棚定向方可撤离测量人员。管棚的材质需选用 R780 材质地质钻管，才能在施工过程中不至于接头处断裂。管材 1.5 m 每节，以确保施工过程中所需的工作室不必过长，管之间的连接均为内丝连接，避免外凸接头增加阻力。管棚施工时，钻机定位应准确，确保管棚的打入角度和方向符合设计要求。在钻进过程中，要密切关注钻机的运行状态和管棚的打入情况，及时调整钻进参数，保证施工质量和安全。当管棚打入至一定深度后，需进行管棚的稳定性检查，确保管棚在后续施工中能够保持稳定，为隧道的开挖提供有效的支护。同时，施工过程中应做好记录，包括管棚的打入深度、角度、钻进参数等信息，以便后续施工参考和分析。施工步骤如下。

3.2.1 管棚的钻进

（1）测量人员在封闭的掌子面上放样出管棚前端点；（2）钻机就位，同时测量人员定位管尾部平面及高程；（3）管棚施工首节时，由 1.5 m 及 2 m 节奇偶编号分开，以保证相邻管棚接头错开 0.5 m；（4）管

棚开孔前 1 m, 是定位过程, 钻速不宜过高, 避免卵石碰撞而偏位; 定位完成可逐步加快钻速; (5) 管棚钻过程根据管棚进度及钻杆进度, 合理搭配, 随钻进进行相应的接长; (6) 钻孔至设计深度后, 将钻杆反钻, 冲击机合拢后, 慢速退出, 并相应的逐节拆除钻杆, 至此钻进完成。(7) 钻进过程应有挖掘机配合, 以平整设备场地, 保证钻机的摆放位置、钻进的角度合理; (8) 钻进过程应持续记录钻进的速度、渣样情况、有无卡钻、有无渗水及异常结构物等; (9) 随算进过程应持续地送风吹渣, 避免管内堵塞卡钻。

3.2.2 管棚的注浆

(1) 武青出段线隧道属于中密砂卵石层地质, 采用 P.042.5 普通硅酸盐水泥, 单浆液配合比 1:1, 注浆压力采用 0.4 ~ 0.7 MPa; (2) 注浆自两端向中央间隔孔位注浆, 确保砂石颗粒浸润, 以提高颗粒间的黏聚力^[5]; (3) 注浆过程中由专人详细记录施工过程; (4) 地面设专人进行巡查, 对周边河道、雨污水井、管沟进行巡查, 避免浆液通过裂隙流入, 造成污染; (5) 注浆阀门为一次性使用, 焊接在管棚尾部, 阀门接 30 cm 管制管棚内, 周边用防水堵漏剂进行封堵。

4 管棚施工的技术要点

1. 根据武青暗挖隧道转弯半径小, 围岩密度高且鹅卵石粒径大的特点, 采用密排大管棚, 单循环长度设置在 15 m, 环向间距 25 cm 较为合理, 相关的同类论文中理论计算表明, 采用短管棚密排施做, 以防漏砂坍塌是较为合理的支护方法^[6]。

2. 管棚外倾角度控制要考虑隧道纵坡及工作室长度设置的经济型、管棚单节长度的合理性, 环环相扣, 合理利用上一榀拱架外扩范围, 施做下一循环工作室, 形成流水作业^[7-8]。

3. 正常断面下进行扩挖的第一循环管棚, 其管尾部在开挖过程中会造成侵限, 拱架无法正常安装, 该情况下切忌不得割除管棚以外扩, 应先支设小拱架过临时拱架对管棚尾部进行支撑, 掌子面正常掘进支设拱架后, 再将尾部侵限部分的管棚割除处理^[9]。

4. 随开挖逐步加高的拱架上方空洞, 在拱架安装后无法喷射回填密实, 应预留足够的注浆管, 在成环后进行注浆回填, 空洞较大时应记录坐标, 在成环后进行地面打孔回填砂浆。管棚施工期间, 对于因地质或施工操作产生的拱架与围岩间空隙, 需精细化处理。若空洞尺寸小, 通过预留注浆管注入水泥砂浆, 注浆压力依现场试验确定, 确保填充且无损结构; 若空洞体积大或在关键部位, 先以全站仪等测三维坐标、建

空间模型, 再用地面垂直钻孔技术, 通过高压注浆设备注入低流动性砂浆, 注浆时实时监测地面沉降与拱架变形, 必要时调整参数。

5 管棚支护效果

通过持续几循环的开挖观察, 开挖暴露出的管棚形成了较为规则的环状支护, 管棚之间砂卵形成固结, 管棚排列整齐, 帷幕支护效果较好。同时辅助的回填及注浆工艺确保了后期拱顶密实, 实测拱顶沉降均为稳定。

6 结束语

针对武青暗挖隧道的特殊地质, 采用密排 $\phi 108$ 管棚支护工艺, 有效保证了隧道开挖过程的拱顶支护, 避免拱顶坍塌脱空, 拱顶及时回填密实, 有效地减小了地面沉降; 同时结合现场穿河穿路、重要管线等危险段落, 合理设置管棚长度, 调整工作室位置, 加快危险段落的快速成环, 洞内施工安全; 由根管作业大管棚取代原有的自进式超前锚杆施工, 很好地解决了砂卵石层难以成孔, 遇卵石难以掘进的施工难题; 能够有效地控制洞内坍塌, 确保地面稳定, 确保了隧道下穿管线的安全通过。这对于隧道所处复杂周边环境的安全掘进, 整个项目的工期控制、安全保证都有着重要的意义。

参考文献:

- [1] 王悦欣, 唐丹. 浅埋暗挖法技术及其在城市地下空间建设中的应用[J]. 建筑技术开发, 2022(05):64-66.
- [2] 于兴达. 浅埋暗挖法隧道施工技术的控制要点[J]. 四川水泥, 2022(01):281-282.
- [3] 牟星宇, 李昌龙, 张剑锋. 浅埋岩溶段隧道开挖变形特征[J]. 交通科技, 2024(06):121-125.
- [4] 宋伟. 公路隧道岩溶管道水处治技术研究[J]. 西部交通科技, 2024(02):91-93.
- [5] 同[3].
- [6] 孙朋雷, 覃桢杰, 陈人豪. 山岭隧道洞口浅埋偏压段施工平台反压作用效果探讨[J]. 西部交通科技, 2024(05):95-97.
- [7] 许晓静, 宋战平, 李辉, 等. 考虑拱效应的隧道管棚力学模型与参数分析[J]. 地下空间与工程学报, 2023,19(01):95-106,132.
- [8] 陈培, 马旭强, 龙杰, 等. 断层破碎带隧洞管棚支护参数设计方法[J]. 长江科学院院报, 2022,39(12):62-67.
- [9] 张小波, 张雕, 姚池, 等. 考虑微拱效应的隧道洞口段管棚合理间距确定方法及参数分析[J]. 岩土力学, 2023,44(06):1625-1635.