

Construction Risk Control of Red Red Section of Metro Line 9 Overlapping with Shield Tunnel

Liang Gong Xiangru Lu Qin Yang

Nanjing Tongli Construction Group Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210046, China

Abstract

Considering the structural status of the under-construction double-line overlapping tunnel, the geological conditions of the soft-over-hard composite stratum, and the small-spacing inclined underpassing conditions, the existing shield tunnel is pre-reinforced externally to form a “protective shell.” Additionally, channel steel tie-in measures are implemented internally to further enhance the overall stability of the original tunnel. During inclined underpassing, high-precision monitoring technology using an intelligent total station is employed to dynamically adjust excavation parameters in real time. Simultaneous grouting and secondary grouting are performed to ensure timely, uniform, and sufficient injection, thereby stabilizing the tunnel as quickly as possible. Continuous monitoring and data analysis of both tunnels are conducted to fully guarantee the excavation accuracy, stratum stability, and ground road stability of the inclined underpassing overlapping tunnel.

Keywords

Overpass tunnel; small spacing; inclined underpass; tie-in; grouting

地铁九号线红红区间叠交在建盾构隧道斜穿施工风险控制

贡亮 卢相如 杨钦

南京同力建设集团股份有限公司, 中国·江苏 南京 210046

摘 要

结合两线在建叠交隧道结构现状、上软下硬复合地层地质条件、以及小间距斜下穿工况。对已成型在建盾构隧道管外预加固, 形成“保护壳”; 其次对管内采用槽钢拉结措施, 进一步增强原隧道整体稳定性。斜穿时, 基于智能型全站仪的高精度监测技术手段, 实时动态调整掘进参数, 同步注浆和二次注浆做到及时、均匀、足量, 尽快稳定成型隧道。对两者隧道持续跟踪监测并分析数据, 充分保证斜穿叠交隧道掘进精度、地层稳定、地面道路稳定。

关键词

叠交隧道; 小间距; 斜下穿; 拉结; 注浆

1 引言

中国进入城市轨道交通大发展、大建设时期, 轨道交通在城区主要以地铁形式运行, 多条地铁线在地下空间近距离交错或并行, 实现城市区域轨道交通全覆盖运送能力, 保障公共出行快速可达。针对近距离交错的地铁隧道, 在建隧道下穿已建隧道施工时需采取系列保护及控制措施, 保证已建隧道安全及在建隧道顺利施工^[1]。

2 工程概况

地铁 9 号线红山路站-红山路站区间上下行线分别与 6 号线红山新城站~花园路站区间左线叠交, 其中上行线 472~503 环斜穿红花左线, 最小间距 2.807m, 地层为 $\delta-2$ 强风化闪长玢岩; 下行线 458~500 环下穿红花左线, 最小间距 2.916m, 地层为 $\delta-0$ 残积土、 $\delta-1$ 全风化闪长玢岩、

$\delta-2$ 强风化闪长玢岩。两线叠交隧道平面投影呈近 22° 相交, 交叉角度越小, 对在建叠交隧道的扰动影响范围越大。

红红区间和红花区间隧道都采用盾构法施工, 隧道为圆形管片衬砌结构, 管片内径为 5.5m, 厚度为 350mm, 外径为 6.2m, 宽度为 1.2m。(见图 1、图 2)

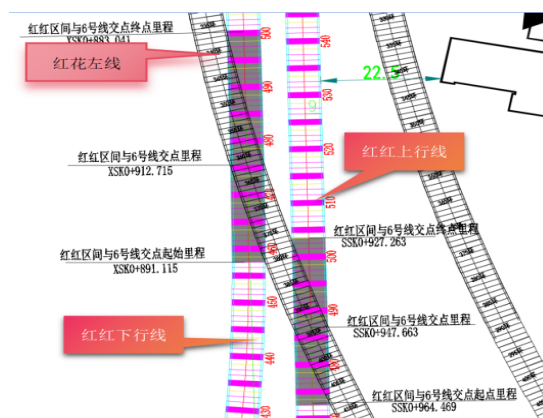


图 1 相交平面图

【作者简介】贡亮（1988-），男，中国安徽蚌埠人，工程师，从事地下空间隧道安全管理技术研究。

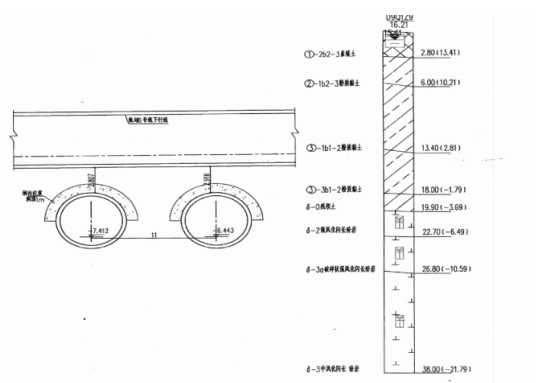


图2 相交横断面图

3 斜穿叠交在建隧道风险分析

在建的9号线盾构隧道与在建的6号线隧道叠交空间位置关系极为复杂，两者呈近22°相交，结构相交最近处净距仅为2.807m。交叉角度越小，新建隧道施工对既有地铁线隧道影响范围越大。斜下穿掘进，势必掘进期间会对上方6号线隧道引起隆沉的趋势，进而可能引起周围土体应力重新分布，使得6号线隧道产生附加位移和附加内力，导致6号线隧道结构变形，引起结构管片渗漏、甚至是管片开裂的风险。而隧道结构变形若超过限值将影响后续地铁运营安全。

两线隧道在叠交区域掘进时，可能引起上述风险原因有：①穿越区域地层以强风化闪长玢岩为主，此岩层风化严重，但仍有一定自稳性。当9号线盾构机盾尾脱出管片后，管片背后土体呈现临时无支护悬空状态，引发土体向空隙移动，引发松动面扩大，进而扰动了6号线下方土体；②9号线隧道在该处上方为粉质黏土层、底部为闪长玢岩，属于上软下硬地层，叠交区掘进时地层沉降难以控制；③因两线间距较小，6号线优先于9号线掘进，6号线已经优先破坏了该处的土体平衡，而9号线施工再次进行了扰动；④掘进过程中参数控制不当，加大对周边土体的扰动，加速引发6号线隧洞结构的不均匀沉降；

4 斜穿在建隧道保护技术管控

4.1 斜穿作业技术流程（见图3）

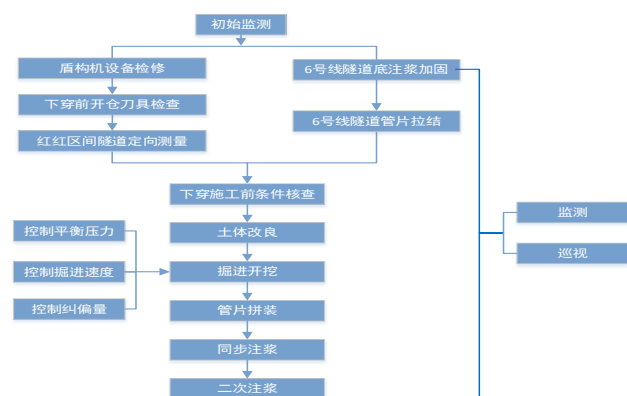


图3 斜穿掘进施工流程图

4.2 斜穿段初始监测取值

斜穿掘进前40环布设监测点并测取初始值，考虑到上方隧道施工时对地层及周边环境的影响，本区间隧道施工时变形控制量应将上方隧道注浆后的变形量叠加作为监测控制值。

4.3 上穿隧道注浆保护

在重叠区掘进时在成型隧道底部下方180°范围的管片外2m范围进行深孔注浆加固，加固里程为6号线下DK50+571.924~下DK50+686.450。注浆材料为水灰比1:1的单液浆，及在注浆完成一周后，对加固效果情况能够进行检查，如发现注浆效果不满足加固条件，应再次补充注浆。

4.4 叠交隧道拉结处置

斜穿前，重叠区域及前后10环范围内进行14#槽钢拉结紧固，以此加强隧道的整体刚性。并且加强管片螺栓的复紧工作，坚持做到螺栓复紧三次。下穿过程中，要加强叠交段的监测，观察上方隧道管片情况，出现问题及时汇报。

5 斜穿叠交隧道盾构掘进技术控制

5.1 下穿盾构掘进参数控制

在斜穿在建盾构隧道时采取土压平衡、微扰动掘进模式。掘进参数是以土仓压力为基准点来考虑，掘进控制程序也应以保持土仓压力为目的。

5.2 上行线斜穿参数控制

下方隧道上行线在下穿区域地层为全断面强风化闪长玢岩，自稳性较好，但是距离上方隧道底仅有2.8m，此2.8m范围内有1.5m全风化闪长玢岩，遇水易松散，因此在盾构穿越前，距离既上方隧道20环范围内，采用土压平衡、微扰动掘进模式。施工参数如下：

①刀盘转速：强风化闪长玢岩标贯击数 ≥ 120 击，对滚刀受力大。应控刀盘转速1.0~1.1r/min，减小单位时间切削次数，降低土体扰动，同时提升掘进速度。

②土仓压力：在掘进时，土仓压力以静止土压力为控制值，根据地勘土层厚度和物理性质，以公式 $P_{\text{静}} = \sum K_0 \gamma h_0$ （其中 K_0 为静止侧压力系数， γ 为土层天然密度， h 为土层厚度）计算得出土仓压力为0.18MPa，但上方隧道内有5.5m空心，综合管片重量，最后图0.16MPa为土仓压力控制值。具体施工时，将根据监测反馈的数据及时进行调整，使土压在可控范围。

③总推力：油缸推力：12000~14000kN。

④刀盘扭矩：刀盘扭矩：1300~2000kN·m。

⑤掘进速度：掘进速度保持在25mm/min。

⑥出土量：理论出土量在39m³，根据现场土层的松散系数和含水量，每环出土量在控住在1.3倍系数范围之内，即51m³以内。若发现出土量超标，及时调整，保证盾构机下穿施工过程中，控制出渣量不超标。

5.3 下行线斜穿参数控制

下方隧道下行线在下穿区域地层从上到下依次为残积

土、全风化闪长玢岩、强风化闪长玢岩、中风化闪长玢岩，属于典型的上软下硬复合地层，该地层掘进姿态控制困难，易发生盾构机向上偏移事故，造成上方隧道隆起和地表变形。因此，在下穿前需开仓换刀，配置全断面滚刀，同时放慢掘进速度。施工参数如下：

①刀盘转速：上软下硬的复核地层，适当增大刀盘转速，同时放缓掘进速度，将底部岩层对盾构机向上的力减小到最小。刀盘转速控制在 1.2~1.5r/min。

②土舱压力：根据上行线下穿经验，土仓压力控制在 0.16MPa。

③总推力：油缸推力应控制在 10000~13000KN。

④刀盘扭矩：刀盘扭矩控制在 1000~1500kN·m。

⑤掘进速度：控 10~15mm/min，防抬头，微扰动慢速掘进。

⑥出土量：理论出土量在 39m³，根据现场土层的松散系数和含水量，每环出土量在控住在 1.3 倍系数范围之内，即 51m³ 以内。

5.4 排土量控制技术

$$\text{根据排土量计算公式} \quad V_D = \frac{\pi D^2}{4} \times l_G$$

$$V_{CT} = \xi \times V_D$$

红红区间盾构刀盘直径 6.490m/6.480m，管片环长 1.2m，开挖断面 32.96 m²，每环理论出土量 39.55m³；渣土松散系数 ≤ 1.3，对应出土量约 51m³。需对比实际与理论出土量，维持土压平衡，避免超欠挖、减小土体扰动。

5.5 斜穿后二次注浆

盾构推进中的同步注浆是充填土体与管片圆环间的建筑间隙和减少后期变形。盾构推进施工中采用四点注浆，同步注浆系统配备压力表和流量计，严格控制同步注浆量及注浆压力。

待盾构穿越上方隧道管片脱出盾尾 5 环后，根据上方隧道及地面监测数据及时通过管片预留注浆孔进行壁后二次注浆，控制好后期沉降，注浆材料采用双液浆，即：水玻璃 + 水泥砂浆。浆液配比：水泥浆水灰比为 1:1；水泥浆：水玻璃 = 1:1。二次注浆遵循多次少量的原则，时间间隔 2-3 天。

5.6 监控量测

本次下穿期间，每 4 小时对上方隧道拱底拱顶沉降及净空收敛进行监测，每 12 小时对地面地面及周边建构筑物进行监测。上方隧道及道路路面安排人员 24 小时值守，每半小时进行拍照记录并上传信息工作群。

在盾构穿越之前对区域内所有监测点原始数据进行测定，穿越施工期间根据监测数据及时优化调整掘进施工参数，如控制掘进速度（匀速 1.5cm/min）、出土量（54m³/环）、

扭矩（1300kN·m）、推力（13000kN），严格控制盾构机姿态：在盾构穿越地铁隧道前，将盾构机姿态调整至最佳，不出现上抬。在隧道下方纠偏坡度应控制在 ±1% 之内，平面偏差 15mm 内，单次纠偏量不超过 2mm。做到信息化动态施工管理^[2]。

5.7 管理管控措施

施工时需进行穿越前的试推进，严格控制盾构机平衡压力、推进速度、纠偏量、同步注浆量和浆液质量、加强监测。动态信息传递、突发事件控制。

①对盾构穿越地铁隧道段开展障碍物调查，确保盾构连续穿越。

②施工前，施工单位应对地铁隧道展开全面调查，收集既有地铁隧道形态及变形剩余量，进行风险评估，并根据地铁隧道现状制定专项施工方案和专项监测方案。

③穿越地铁隧道时，严控切口平衡土压力，使地层微隆起以抵消背土沉降；同步管控出土量、推进速度、总推力、土压力波动值等关联参数。防止过量超挖、欠挖，尽量减少平衡压力的波动^[3]。

④下穿完成后，拟对重叠段管外壁厚注浆情况进行地质雷达扫描检测。

⑤下穿前两项目部监理互相监测数据共享、互相验证机制。并协商两线盾构机保持不少于 80m（67 环）的安全距离。

⑥根据沉降观测结果，采用单液浆及时进行二次补压浆。压浆量的控制根据变形信息确定。

6 结语

通过阐述 9 号线和 6 号线叠交在建隧道区段与周边建筑之间的空间关系、存在安全风险的原因分析，对叠交隧道采取的地层加固措施和拉结措施，在掘进重叠区期间参数控制，建立多方管控协调机制措施等。以及对叠交隧道的隆沉、洞内收敛监测，各方监测数据均非常小；隧道内未有发现管片拼缝增大、渗漏的现象发生。为此，认为在做好各项技术控制措施前提下，叠交隧道互穿的扰动影响是可以控制的，其风险也是可控的。也说明了采取管外土体固结 + 洞内拉结措施的有效的。本区间左右线两次进行小间距叠交在建隧道成功斜穿，对我司在类似复合地层中盾构穿越建筑物取得了丰富经验。

参考文献

- [1] 梁建波. 盾构下穿地铁隧道施工中对既有隧道沉降影响的分析[J]. 广州大学, 2016.6
- [2] 展宏跃,王起才. 新建双线隧道下穿既有单线铁路隧道施工控制技术[J]. 施工技术, 2011
- [3] 邹朝阳. 徐州市轨道交通2号线下穿既有京沪铁路技术措施探讨[J]. 现代城市轨道交通, 2017(04): 29-33.