

地铁侧穿出入场线沉降变形监测研究

刘鹏飞 曲兆雷 孙国安

中建八局轨道交通建设有限公司 江苏 南京 210000

摘要: 中国轨道交通建设逐步完善, 地铁隧道盾构法施工成为主流趋势。地铁盾构掘进中有时会遇到侧穿或下穿建筑结构, 由于盾构机和建筑结构净距过小会相互影响, 结构及管片成型都有变形沉降, 其中侧穿明挖出入场线交叉施工较为少见, 施工安全风险极高。在地铁盾构侧穿出入场线的掘进过程中, 需要进行高频率的沉降变形监测, 来保证地铁盾构安全稳定的掘进施工。

关键词: 侧穿; 出入场线; 沉降变形监测

1 前言

如今成熟的盾构法越来越受城市轨道交通建设的欢迎, 以方便迅速、环保稳定、成本低等特点成为首选施工方法。地铁盾构侧穿出入场线时, 施工难度大, 环境复杂, 会导致盾构机上方边坡漏浆甚至塌坡产生沉降变形。

穿过建筑结构这类问题有诸多学者进行了深刻的研究, 刘波^[1]以广州地铁赤岗-鹭江区间工程下穿某7层钢筋混凝土框架, 对地铁盾构隧道下穿建筑基础诱发地层变形进行研究。吴昌将^[2]在结合上海地铁11号线侧穿古建筑的工程, 对隧道侧穿引起的邻近古建筑的沉降进行了深入研究。但针对盾构侧穿正在明挖的出入场线交叉施工的研究较少。对监测数据变化及沉降原因进行研究分析, 加强侧穿出入场线的沉降控制, 对盾构机姿态以及掘进参数进行参照分析, 预控成型管片姿态, 使盾构机依照设计线路安全的侧穿出入场线。

2 盾构侧穿出入场线的工程实例

2.1 工程概况

合肥地铁3号线南延线工程馆驿路站~下派河路站区间, 盾构区间右线长940.112m, 左线长896.189m。盾构区间线间距14.0~39.0m, 覆土厚度约6.0~16.0m。区间侧穿段出入场线为单层双跨矩形结构, 采用明挖法施工, 基坑支护形式为复合土钉墙, 明挖结构跨度12m, 结构底板埋深10.31m, 明挖维护结构与右线隧道的最小净距约3.6m, 盾构区间右线440环~450环对应出入场线放坡开挖20~20.5段的位置为最不利区域, 水平距离为0。

出入场线19-20.5段放坡开挖施工段, 长度约44m, 对应下~馆区间右线410~450环, 盾构通过后, 对周围3m范围内的地层采用钢花管深孔注浆加固, 对隧道管片采用槽钢拉紧加固。

出入场线20.5-22段放坡开挖施工段, 长度约60m, 对应下~馆区间右线450~500环, 盾构掘进过程中土方开挖

已基本完成, 正在进行垫层浇筑并准备底板结构施工。

2.2 地表监测结果

对地表监测点DBC39-01~12在右线掘进过程中的沉降变形进行分析。在盾构机拼装440环、452环、464环及管片拼装完毕隧道贯通后地表沉降数据进行对比。

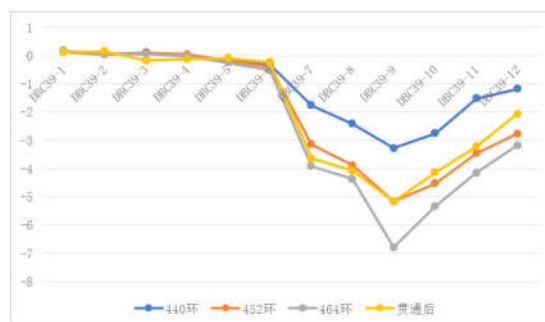


图1.1 右线在不同掘进位置地表沉降曲线

监测结果显示盾构拼装管片440环时, 刀盘处于446环位置, 距地表监测点水平距离12m, 地表略有沉降。当拼装管片452环时, 刀盘距地表监测点水平距离约2m, 此时地表发生沉降, 沉降量在2mm左右。右线掘进过程中, 由于注浆和土层推力地表发生沉降, 最大沉降量约为6~7mm, 在贯通过后, 出入场线开挖及主体结构施工导致管片上浮, 地面隆起, 最终稳定过后沉降量为5mm左右。

2.3 出入场线施工过程管片沉降变形模拟

2.3.1 地层信息及参数取值

(1) 出入场线19-20.5段, 采用分4层、4段进行开挖施工, 针对分段分层开挖方式进行模拟;

(2) 右线隧道410-450环, 待盾构通过燃气管线全部改迁完成后, 对周围地层3m范围内进行全断面钢花管深孔注浆, 且钢花管预留在土层内做为加固体。注浆后周围3m范围地层变形模量取值根据类似地层注浆经验值进行取值计算, 实际操作过程中将对注浆效果进行试验检测。

(3) 各土体物理力学计算参数:

1杂填土; 重度 18.7kN/m^3 ; 变形模量 12MPa ; 泊松比 0.3 ; 粘聚力 20kPa ; 内摩擦角 12° 。

2-1粉质粘土; 重度 19.5kN/m^3 ; 变形模量 19MPa ; 泊松比 0.32 ; 粘聚力 30kPa ; 内摩擦角 15.2° 。

2-2黏土; 重度 19.8kN/m^3 ; 变形模量 22MPa ; 泊松比 0.32 ; 粘聚力 40kPa ; 内摩擦角 17.2° 。

水泥土加固区; 重度 22.0kN/m^3 ; 变形模量 55MPa ; 泊松比 0.32 ; 粘聚力 120kPa ; 内摩擦角 30° 。

纯浆液硬化后的变形模量 350MPa , 土体为 22MPa , 综合变形模量: $350 \times 0.1 + 22 \times 0.9 = 55\text{MPa}$

2.3.2 数值模型及网格划分

(1) 450环~440环开挖到底, 模拟结果汇总(410~450环)

管片最大竖向位移: 4.20mm , 发生在445和446环;

管片最大侧向位移: 1.28mm , 发生在446和447环;

管片最大拉应力: 2.03MPa , 发生在419环;

管片最大压应力: 3.75MPa , 发生在418环。

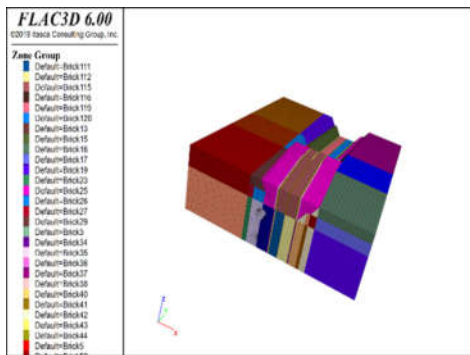


图1.2 整体模型的构建块

(2) 440环~430环开挖到底, 模拟结果汇总(410~450环)

管片最大竖向位移: 6.28mm , 发生在440和441环;

管片最大侧向位移: 2.10mm , 发生在445环;

管片最大拉应力: 2.48MPa , 发生在419环;

管片最大压应力: 3.70MPa , 发生在418环。

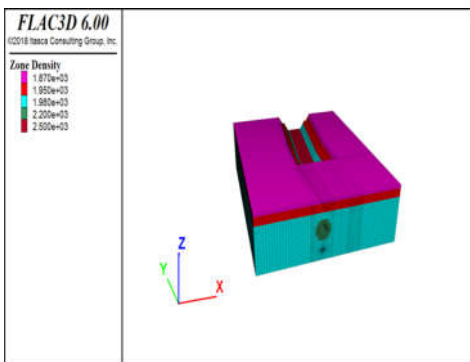


图1.3 注浆及地层分布

(3) 430环~420环开挖到底, 模拟结果汇总(410~450环)

管片最大竖向位移: 7.12mm , 发生在436和437环;

管片最大侧向位移: 2.30mm , 发生在435、436和437环;

管片最大拉应力: 2.99MPa , 发生在410环;

管片最大压应力: 3.59MPa , 发生在418环。

2.3.3 结论

模拟出入场线开挖及管片变形受力的数据得知, 隧道内管片的最大变形值 7.35mm , 符合控制标准, 后续管片变形监测数据符合模拟。

3 沉降变形原因分析及掘进控制

3.1 沉降变形发生的原因

盾构机刀盘转动破坏地层应力平衡致使地层移动, 产生沉降变形。盾构沉降和隆起影响主要比重分布情况为: 推进前方 $15\%-35\%$, 盾构通过时 $20\%-60\%$, 盾构通过后 $9\%-55\%$, 范围主要位于盾构刀盘前方 $2H$, 盾构通过后方 $2H$ 的范围。

出入场线开挖过程中, 管片受地层的应力逐渐变小, 使得管片上浮并向右偏移。出入场线主体结构施工完成后, 受力趋于平衡, 管片趋于稳定。

3.2 掘进控制

3.2.1 掘进参数控制

(1) 加强注浆回填控制。同步注浆保持饱满, 推进过程中, 注浆量根据不同的地质情况和地表隆陷监测情况进行调整和动态管理, 控制地表稍微向上隆起 $1 \sim 2\text{mm}$ 。根据地表监控量测结果调整压浆位置、压入量、压力值, 必要时通过管片预留注浆孔进行二次注浆。

(2) 监测数据实时反映到推力、土压力上, 推力调整与监测数据联动。土压的控制要和地面监测密切配合, 如果地面监测发现刀盘前的地面总是隆起超过预警值, 就要适当降低土压力; 相反就提高土压力。

(3) 盾构隧道每环理论出渣量根据开挖土体的松散系数确定出渣范围; 根据实际情况动态调整掘进参数, 严格控制出土量, 尽量保持欠挖的状态, 同时密切注意地表沉降、隆起情况。

(4) 盾构姿态控制每环纠偏量不大于 10mm (高程、平面), 控制盾构变坡不大于 1‰ , 以减少盾构施工对地层的扰动影响, 从而尽可能的减小地表沉降。

3.2.2 管片拉紧装置

在盾构机侧穿通过后, 土体开挖施工前, 对出入场线开挖区域进行管片拉紧装置的安装, 拉紧装置采用 14b 槽钢, 长度为单根 12m , 分两段进行分别在侧穿区域之间

进行两次拉紧，拉紧部位按如图所示位置进行布设，已保证在出入场线放坡开挖时管片结构受力的稳定性，减少区段管片的上浮量，控制管片上浮。

4 盾构机姿态变化原因及预控措施

4.1 盾构机姿态变化原因

盾构掘进环境复杂，隧道曲线和坡度变化以及操作等因素的影响，盾构推进不可能完全按照设计的隧道轴线前进，而会产生一定的偏差。当这种偏差超过一定限时就会使隧道衬砌侵限、盾尾间隙变小使管片局部受力恶化，并造成地层损失增大而使地表沉降加大。

4.2 预控措施

(1) 在上坡段掘进时，增大盾构机下部油缸的推力和速度；在右转弯曲线段掘进时，增大盾构机左部油缸的推力和速度，监测地表沉降数据及时反馈调控掘进参数。

(2) 在均匀的地质条件时，保持所有油缸推力和速度一致，在软硬不均的地层掘进时，根据不同地层在断面的具体分布情况，遵循硬地层一侧推进油缸的推力和速度适当加大，软地层一侧推进油缸的推力和速度适当减小的原则，盾构机稳定穿过地层。

5 结论

通过分析盾构机侧穿出入场线的监测数据，并依据合肥地铁3号线南延线工程馆驿路站~下派河路站区间实际施工经验，提出控制措施，辅助实际现场施工，降低施工风险。依据监测数据控制推力、土压力、盾构姿态、出渣量、注浆量等掘进参数，采用管片拉紧装置固定管片，使盾构机依照设计线路安全的侧穿或下穿结构。随地铁行业的发展，盾构机侧穿或下穿建筑结构肯定越来越常见，施工过程中应根据平竖曲线要素、地质条件、现场环境、管片半径采用合适的盾构机，加强监测并及时反馈调控掘进参数，采用新型技术预控调控，确保盾构及建筑结构安全施工。

参考文献

- [1] 刘波, 陶龙光, 李希平等. 地铁盾构隧道下穿建筑基础诱发地层变形研究[J]. 地下空间与工程学报, 2006, 2(4):6.
- [2] 吴昌将, 张子新, 丁文其, 等. 盾构侧穿邻近古建筑的施工影响分析及保护措施加固效果的研究[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(1):158-165.