

南宁地铁三号线盾构下穿既有运营线路沉降技术研究

赵强

惠州市交通投资集团有限公司 广东惠州 516000; 惠州市莞惠城际北延线有限公司 广东惠州 516000

DOI:10.12238/ems.v7i6.13779

[摘 要] 南宁地区新建盾构隧道下穿既有隧道的相关研究目前较为匮乏。本文依托南宁地铁 3 号线金湖广场站~琅西区间盾构下穿既有 1 号线隧道工程, 结合数值模拟和现场监测等方法对既有地铁隧道的沉降规律进行了研究。研究结果表明: 既有隧道最大沉降值为-4.14mm, 稳定后为-3.2mm, 控制在规范与设计的要求之内; 数值模拟因简化参数与未考虑实时施工参数而与实际监测值有一定出入, 但整体上还是较好地模拟了既有线的沉降控制, 能够较好地地为施工提供参考。

[关键词] 盾构隧道; 下穿施工; 数值模拟; 沉降控制; 富水圆砾地层

引言

随着我国城市轨道交通的飞速发展, 越来越多的城市开始修建地铁, 而随着地铁线路的不断完善, 势必会遇到新建地铁隧道下穿既有地铁隧道的工况。而近年来大量的工程实例证明盾构下穿既有地铁隧道的施工过程中具有较大的风险。因此有必要针对此方面进行研究。

本文依南宁新建地铁 3 号线工程施工总承包 02 标土建 8 工区金~琅区间下穿既有 1 号线隧道段工程, 分析探讨盾构施工过程中既有 1 号线的沉降, 并总结其沉降控制为类似工程提供参考。

1 工程概况

本工程为南宁市地铁 3 号线金湖广场站至琅西站区间(以下简称 M3)盾构隧道下穿经过既有地铁 1 号线(以下简称 M1)工程。M3 金~琅区间线路出金湖广场站 18.0m 后从民族大道下穿过, 沿金湖路南到达终点琅西站。区间设计里程为 DK17+318.093~DK17+892.801。左线长度为 585.607m(长链 10.90m), 右线长度为 574.708m, 区间总长度为 1160.315m。区间线路由一段直线和两段曲线构成, 曲线半径分别为 R300m、R450m, 线路最大坡度为 28‰, 线间距 11.0m~18.0m, 隧道埋深 11.3m~22.6m(下穿段 22m)。下穿段平面图如图 1 所示。

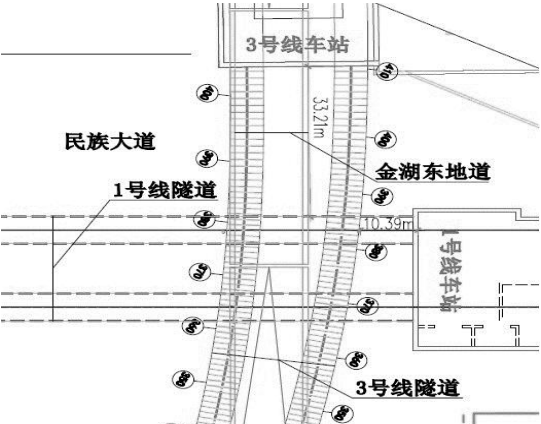


图 1 M1 下穿 M3 平面图

M3 金~琅区间盾构隧道穿越的地层为: 粉土层③₁、粉砂层④₁₋₁、圆砾层⑤₁₋₁、泥质粉砂岩⑦₂₋₂、泥质粉砂岩⑦₂₋₃, 其中下穿 M1 段穿越的土层为主要圆砾层⑤₁₋₁、泥质粉砂岩⑦₂₋₂、泥质粉砂岩⑦₂₋₃。

圆砾层⑤₁₋₁渗透性大, 渗透系数高达 $8.1 \times 10^{-4} \text{m/s}$, 且存在粒径较大的砾石和卵石。根据盾构机选型经验, 渗透系数小于 10^{-7}m/s , 可以选用土压平衡盾构, 渗透系数大于 10^{-7}m/s , 宜选用泥水盾构, 同时泥水盾构机还适用于在粒径较大的卵石、砾石地层中掘进。经专家论证决定采用海瑞克 S469 泥水平衡盾构机。

2 数值模拟分析

由于本工程为南宁地区富水圆砾地层中首次盾构下穿既有运营地铁隧道, 施工难度较大, 依靠施工经验难以准确预

测既有隧道的变形, 无法确保其安全。而随着近年来科技的发展, 数值模拟已经成为了预测施工引起一系列影响的重要手段, 本文基于本工程概况, 通过数值模拟分析了盾构下穿施工对既有隧道的影响。

2.1 模型的建立

考虑到隧道开挖的影响, 建立的模型宽度 90m, 为下穿范围长度的 4 倍; 长度 100m, 包含了 30m 的车站结构和 70m 的 M1 区间隧道; 高度 38m, 模型底部距 M3 底部 2D (D 为隧道洞径), 如图 2 所示。

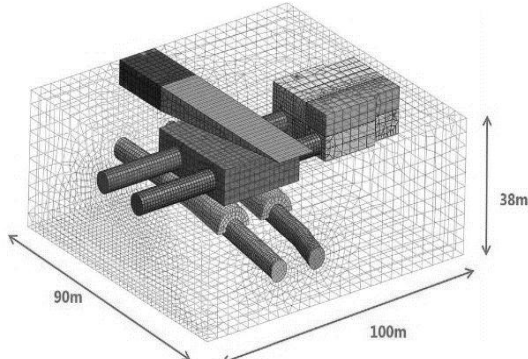


图 2 数值模拟模型图

计算时考虑如下因素:

- (1) 初始条件为 M3 区间未开挖, 且地层处于变形稳定状态。
- (2) 土体视为弹塑性体, 采用修正摩尔·库伦本构模型 (Modified Mohr-Coulomb Model), 既有隧道、地下通道和车站采用各向同性弹性本构模型 (Elastic Isotropic Model)。
- (3) 考虑到边界影响及路面车辆荷载等影响, 模型上边界取至地面, 设置为自由面, 并施加 20kPa 的面荷载模拟地面堆载, 底部及四周施加法向约束。
- (4) 土层按勘察报告简化为 6 层, 计算参数如表 1 所示。考虑到地下水影响, 地下水位 (-8m) 土体和构件取其浮重度。
- (5) 考虑到 M1 隧道建成已建设完成, 在初始平衡以及 M1 隧道和金湖东地道开挖后, 将土体位移场进行清零后再进行 M3 开挖; M3 按先左后右的顺序进行开挖, 开挖步距设置为 1m, 直至开挖结束。

表 1 土层计算参数

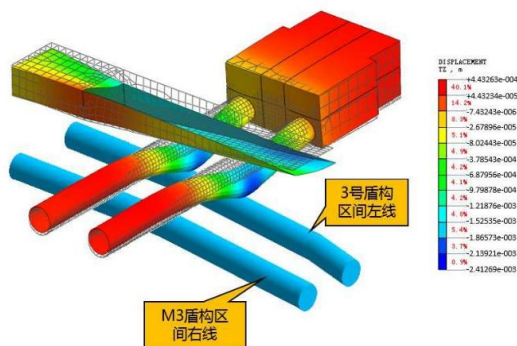
土层名称	厚度 / (m)	密度 / (kg · m ⁻³)	粘聚力 / (kPa)	内摩擦角 (°)	泊松比
①素填土	2	1940	16	11	0.32~
②粉质粘土	3	2000	25	13.5	0.31
③粉土	1	2050	6	17	0.36
④粉砂	7	2100	2	20	0.35
⑤圆砾	8	2060	0	34	0.29
⑥泥岩	17	2130	85	17.5	0.23

2.2 模拟结果

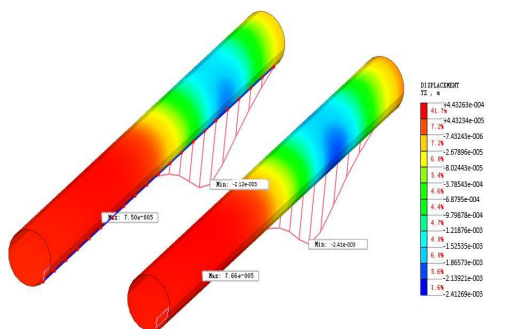
M3 左线通过后变形云图如图 3 所示, 开挖区间正上方处

M1 结构沉降明显; M1 右线最大沉降为 2.41mm, 左线为 2.12mm, 变形曲线呈正态曲线分布, 纵向影响长度两侧各约为 2D。

M3 右线通过后变形云图如图 4 所示。与 M3 左线通过后类似, M1 最大沉降亦发生于开挖区间正上方, 纵向影响长度两侧各约为 2D; M1 右线沉降值为 2.35mm, 左线为 2.73mm。此外, M3 左右线之间距离为 11.7m (约为 2D), M3 区间右线通过后对 M3 左线上方 M1 管片影响不明显, 沉降值由 2.41mm 增长至 2.73mm, 增长幅度约为 13%。

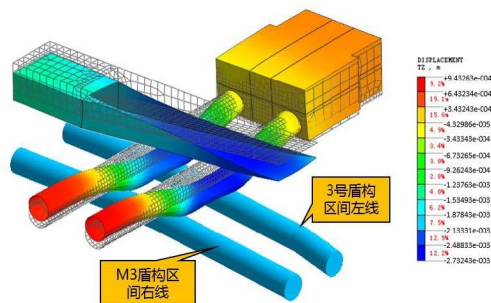


(a) 各结构变形云图

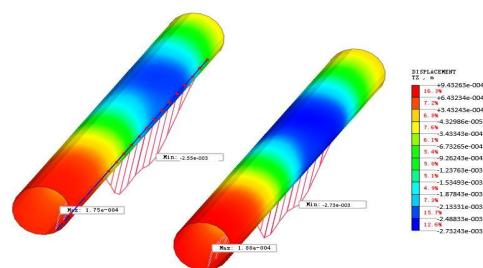


(b) 既有 M1 沉降图

图 3 M3 左线通过后变形云图



(a) 各结构变形云图



(b) 既有 M1 沉降图

图 4 M3 右线通过后变形云图

由图 3、图 4 可知, 在从正常施工条件下, 新建 M3 盾构施工会导致 M1 隧道产生一定的沉降变形, 最大沉降量为 2.73mm, 属于规范允许范围。建议施工中采取控制同步注浆压力, 二次补浆等措施, M1 隧道沉降可控。

3 既有 M1 沉降监测

依照数值模拟结果, 于沉降较大处 (M1 范围 Z/Y458~Z/Y480 环) 划为危险区、危险区两侧各 10m 为风险区, 风险区外 20m 为过渡区。为了能够监测穿越过程中既有线的沉降规律, 控制和预判潜在的风险, 于既有 M1 区间布置共 23 个监测面。危险区监测面间隔 4~5m, 风险区监测面间隔 10m, 过渡区监测面间隔 20m; 基准点在施工影响范围外区间两端各布置 3 个, 均为自动化进行监测。穿越期间各断面监测频率为 1 小时/次, 人工复核频率为 6 小时/次。

3.1 既有 M1 沉降结果

M3 左线穿越施工结束后, 收集监测数据, 绘制 M1 沉降槽曲线。如图 6 所示。

M3 左线下施工过程中, M1 右线沉降值在盾尾离开 M1 右线时达到最大值 -2.92mm, 稳定之后为 -1.91mm; M1 左线沉降规律与 M1 右线类似, 最大沉降值为盾尾离开 M1 左线时的 -1.67mm, 稳定之后为 -1.5mm。

M3 右线穿越施工结束后, 收集监测数据, 绘制 M1 沉降槽曲线。M3 右线下施工过程中, M1 右线最大沉降值为盾尾离开时的 -3.03mm, 稳定后为 -2.85mm。而 M1 左线最大沉降值并非为盾尾离开时的 -1.99mm, 而是之后发展到了 -4.14mm, 这是由于而 M3 右线穿越 M1 左线时, 由于施工方操作失误, 盾尾同步注浆量与同步注浆压力不足所造成。在经过紧急注浆等补救措施后最终也趋于稳定, 稳定值为 -3.23mm。

3.2 既有 M1 沉降分析

总结图 6、图 7, 除图 7 (b) 之外, 盾构机刀盘即将到达 M1 时已经开始对 M1 产生有一定影响, 当盾尾离开 M1 范围时 M1 沉降值达到最大值, 当同步注浆、二次注浆等施工措施实行之后沉降值有一定回升, 并最终趋于稳定。可见当施工正常的情况下, 既有隧道的沉降是由盾构开挖造成的地层损失引起的。

此外, 各时段的 M1 沉降槽曲线与高斯曲线较为符合, 纵向影响长度两侧各约为 10~15m (2~2.5D)。由于 M3 线路具有一段小转弯半径的曲线段, 沉降槽曲线呈现一定的非对称性。

对比 4 道沉降槽曲线与数值模拟结果, M3 左线通过后 M1 沉降槽曲线与数值模拟结果比较接近; M3 右线通过后 M1 沉降槽曲线最大沉降值及对称轴与数值模拟结果有所出入, 但均呈现“向下凹陷”的形态, 纵向影响范围也较为一致。可见数值模拟能够较好地预先确定沉降规律, 能对项目工程的沉降控制方面提供一定的参考。

4 结语

本文依托南宁地铁 3 号线下穿既有 1 号线工程实例, 结合数值模拟和现场监测等方法, 对既有 1 号线的沉降规律进行了分析与探讨, 成功为实际施工提供了参考, 表明施工前利用数值模拟的方法模拟下穿施工的方法是可行的, 数值模拟结果与实际实施得到了有效验证, 为类似工程施工积累了经验。

参考文献

- [1] 郭彬栋. 地铁双线盾构近距下穿既有盾构隧道施工沉降控制. 建筑设计及理论, 2018-12.
- [2] 宋伟; 尹鹏涛; 李东海. 盾构下穿施工对既有地铁盾构隧道沉降影响分析. 岩土工程, 2015-01.
- [3] 张金冰, 周, 杰, 覃青航. 盾构下穿对既有地铁隧道沉降变形的影响研究. 工程地质学, 2023-04.
- [4] 龙泽彪. 盾构近接下穿既有地铁隧道微沉降控制技术. 建筑理论, 2023-02.