

盾构隧道下穿铁路桥梁及跨河桥梁风险分析与变形控制研究

刘坚

广州地铁设计研究院股份有限公司

摘要: 根据长沙地铁某线路区间施工盾构侧穿铁路及下穿河流问题,对影响范围内的铁路桥梁和跨河桥梁所产生的变形和位移进行数值建模研究,绘出施工期间隧道及相邻桥梁基础的位移场,从而对盾构掘进参数提供合理的改进,尽可能减小对邻近构筑物的不利影响,降低施工风险。

关键词: 盾构隧道;有限元分析;铁路桥梁;跨河桥梁;变形控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2021.21.085

一、引言

工业技术的发展使得盾构技术被广泛地应用于各类复杂地层的隧道开挖,为施工安全提供了有力的保障。

同时,由于城市之间铁路网日益完善,城区内地铁线与既有铁路线之间的交叉时常发生,这类问题已被诸多学者广泛研究^[1-6],并提出了相应的措施和建议。然而,对于盾构隧道同时侧穿跨河桥梁和铁路桥梁情况的研究现存较少,因此,本文以长沙地铁某区间隧道为研究对象,对其在掘进过程中同时侧穿铁路桩基和跨河桥梁沉井基础的安全问题进行数值模拟研究。

根据数值分析,求出扰动范围内土体的位移场,记录铁路桩基和沉井基础的最大水平和竖直位移,依据铁路变形控制标准,对施工过程中潜在的风险进行分析,为铁路的正常运营和跨河桥梁的安全工作提供保证,同时为盾构机掘进反馈合理的参数。



图1 区间纵断面图

二、工程概况

(一) 区间隧道线路分布

(1) 盾构隧道侧穿铁路桥梁,基础为沉井基础,基础底-墩台顶16-16.99m,最近距离23m,隧道洞身主要穿越微风化板岩地层,环境初始风险等级为IV级。

(2) 隧道侧穿跨河桥,桥梁桩基为直径2.2m钻孔灌注桩,长14m,与隧道最小净距为13.65m,隧道洞身主要穿越微风化板岩地层,环境初始风险等级为IV级。

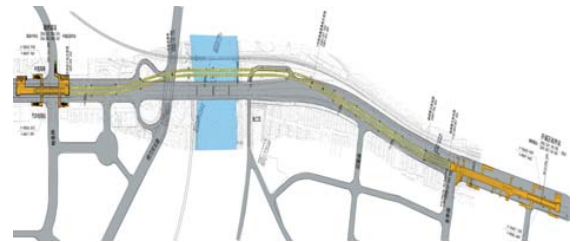


图2 区间隧道越河位置示意图

(二) 变形控制指标

隧道安全等级为一级,须满足相应的地面最大沉降量变形要求、桥梁结构变形要求。① 地面最大沉降量 $\leq 30\text{mm}$; ② 管片竖向位移 $\leq 20\text{mm}$; ③ 地表隆起 $\leq 10\text{mm}$; ④ 桥墩竖向沉降 $\leq 15\text{mm}$; ⑤ 墩柱新增倾斜度 $\leq 1/1500$ 。

三、有限元分析

(一) 模型建立

根据勘察报告,模型取三层土体,各层物理力学参数见表1:盾构区间隧道地层物理力学参数

土层	天然密度	黏聚力	内摩擦角	泊松比	弹性模量
圆砾	2.2	2	30	0.28	35
中风化板岩	2.6	150	30	0.25	15000
微风化板岩	2.7	300	40	0.22	22000

天然密度:单位 10^3kg/m^3 ;黏聚力:单位kN,内摩擦角:单位度;模量:单位MPa。

根据区间隧道与铁路桥梁、跨河桥梁的相对位置,取模型大小为 $100 \times 35\text{m}$,左边界距左轴线39m,右边界距右轴线48m,上边界取至沉井基础顶,下边界距隧道拱底18m,计算长度15m。盾构隧道为双洞隧道,外径6m,内径5.4m,管片厚度0.3m。

基于摩尔-库伦材料本构模型对盾构法隧道进行计算,采用土压平衡盾构法施工,一次循环推进1环管片,管片长度1.5m。

本次模拟计算使用MIDAS GTS进行二维有限元模拟,模型如图3所示。

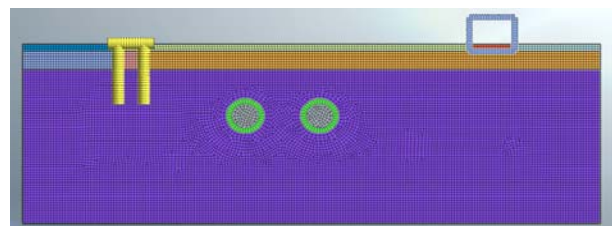


图3 盾构隧道数值模型

(二) 模型参数

铁路桥梁桩基础采用C35混凝土结构单元模拟, 沉井基础采用C30混凝土结构单元, 盾构隧道管片采用C50混凝土单元模拟。

边界条件: 模型底部固定约束, 两边为法向约束, 顶部设置为自由边界。

施工模拟: (1) 全断面开挖土体; (2) 开挖完毕后, 根据应力释放的情况适时施作管片。

(三) 计算结果

盾构隧道施工影响范围内的位移云图如图4和图5所示:

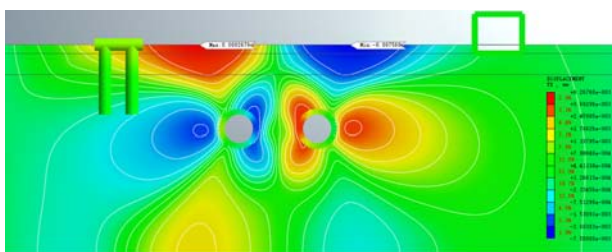


图4 区间侧穿土体水平位移图

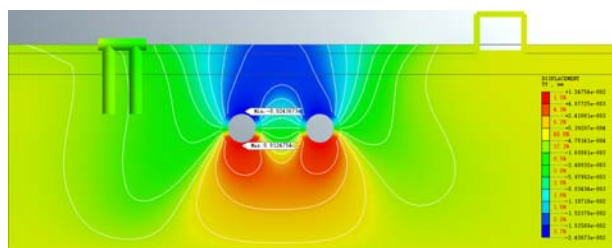


图5 区间侧穿土体竖向位移图

主要变形结果如表2所示:

表2 盾构掘进过程的变形数据

土体最大水平位移	土体最大竖向位移	桩基最大水平位移	桩基最大竖向位移	沉井基础最大水平位移	沉井基础最大竖向位移
0.007mm	0.012mm	0.002mm	0.0005mm	0.0001mm	0.0001mm

通过以上数值分析可以看出盾构经过时桩基沉降和位移均可控。由此可知盾构施工对桩基造成的影响较小, 能满足盾构施工安全。

四、风险处理措施

根据计算分析可知, 盾构穿越该段时地层主要为微风化板岩, 地下水贫乏, 地质条件好, 盾构施工时引起的地面沉降相对较小, 但为增大安全储备, 保证施工期间铁路和跨河桥梁的安全, 建议措施:

(1) 搜集类似工程数据及长沙地区相似地层的盾构施工参数、实际沉降数据等, 综合考虑桥梁范围内工程地质条件、覆土厚度的变化及列车运行所造成的动荷载效应, 制定科学合理的盾构掘进参数, 编制切实可行的施工、监测等方案, 提前组织专家对施工方案进行论证, 确保各项方案合理可行。

(2) 施工穿越铁路时, 盾尾密封采用同步注浆和二次注浆结合的方式进行, 填充隧道与围岩之间的空隙, 减少地面沉降变形。同时在侧穿桩基之间, 根据前

100环的施工情况, 观察盾尾漏浆是否超过2次, 需盾构侧穿铁路前30m范围左右, 将油缸推进至最大行程。

(3) 盾构施工控制

1) 根据积累的盾构穿越类似地层, 确定侧穿该处时的掘进速度、土仓压力等参数。

2) 盾构通过时, 严格控制掘进速度, 并根据地面监测结果调整土仓压力, 尽可能减少对周围土体的扰动, 确保开挖面的稳定。

3) 通过泡沫注入系统向刀盘前方压注泡沫等措施进行土体改良, 可以防止在土压平衡模式下刀盘泥饼的生成, 有效降低刀具磨损。对于长远距离掘进, 在穿越该段前检查刀具, 并视情况更换刀具, 24小时不间断施工, 快速安全通过该段。

(4) 日常施工中应对桩基进行实时监测, 及时调整施工参数, 信息化施工。

五、结语

盾构隧道侧穿既有线路过程中, 无论如何调整掘进参数和加固措施, 铁路沉降, 桩基变形在所难免, 因此, 只有尽可能将扰动对临近建筑物和构筑物的不利影响降到可控范围。

(1) 总体而言, 由于盾构隧道主体位于微风化板岩中, 围岩较为稳定, 对临近结构基础的变形和位移影响较小, 均在可控范围内。

(2) 根据数值模拟结果, 盾构穿行对铁路基础的影响更大, 因此, 为保证铁路列车的运行安全, 可在施工时选袖阀管注浆对铁路地基进行预加固。

(3) 为确保施工安全, 防止沉降过大, 施工过程中24小时监测, 监测结果及时上报监理, 对监测数据进行评估, 能否继续进行。如沉降达到预警值, 则启动相应应急预案。

(4) 应协调铁路主管部门在盾构穿越过程中对列车通过该段时配合进行减速慢行。

(5) 实际施工过程中还应做好过程控制, 尽量保证土仓压力处在合理范围, 减小地层损失、加强注浆, 降低盾构隧道对既有铁路运行的影响。

参考文献

- [1] 余才高. 地铁盾构隧道下穿铁路的安全措施[J]. 城市轨道交通研究, 2009: 33-36.
- [2] 肖立、张庆贺. 铁路轨道下盾构施工所致地面沉降的数值模拟[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2011, 第39卷第9期.
- [3] 曹成. 地铁盾构下穿铁路变形数值分析和加固措施研究[J]. 工程技术与管理(英文), 2(5): 3.
- [4] 程雄志. 地铁盾构下穿高速铁路情况下的路基加固与轨面控制[J]. 城市轨道交通研究, 2013(02): 89-94.
- [5] 程巧建. 厦门地铁盾构区间下穿厦深高速铁路路基变形分析与控制技术[J]. 中外公路, 2020(3): 34-38.

作者简介: 刘坚(1989—), 男, 本科, 硕士学位, 工程师, 主要从事地铁结构设计工作。

基金项目, 请在脚注中注明基金及其批准号(对应得英文名称)