

Impact Analysis and Control Measures of Shield Passing through Bridge

Liwei Zhang Guiqing Gong Sixiang Wen

China Railway Design Corporation Guangdong Branch Company, Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

Taking China's Shenzhen Railway Line 5 as the background, this paper studies the influence of shield tunnel passing through bridge. It adopting 3D numerical simulation method to compare deformation of the bridge and bridge pile under two cases of reinforcement and non-reinforcement, the conclusion is that deformation of two cases both meet the requirements and reinforcement of the bridge pile can reduce the deformation of bridge and bridge pile. Finally refer to similar projects and numerical simulation results to formulate control measures.

Keywords

shield tunnel; numerical simulation; bridge settling; control measures

盾构下穿桥梁影响分析及控制措施

张理维 龚贵清 文斯翔

中国铁路设计集团广东分公司, 中国·广东 深圳 518000

摘要

以中国深圳市轨道交通5号线工程为背景, 论文研究盾构隧道下穿对桥梁的影响。采用三维数值模拟方法对比加固桥桩及不加固桥桩两种工况下桥面及桥桩的变形, 得出两种工况下的变形均满足要求, 且对桥桩进行加固能减小桥桩及桥面的沉降变形。最后参考相似工程及数值计算结果制定合理可行的施工控制措施。

关键词

盾构隧道; 数值模拟; 桥梁沉降; 控制措施

1 引言

明挖、矿山及盾构法是地铁常用施工方法, 盾构法因其开挖安全、掘进及拼装速度快、自动化程度高而被应用于各大城市^[1,2]。随着地铁的迅速建设, 各大城市已经不断出现地铁车站、区间近距离侧穿或下穿桥梁^[3,4]。盾构开挖引起周边土体应力释放, 导致应力重分布, 进而导致桥梁基础及桥面产生位移。为减小盾构施工对桥梁的影响, 需要采取一系列措施, 如控制盾构姿态、地层注浆等^[5,6]。论文以深圳市轨道交通5号线下穿布吉河桥为背景, 建立三维数值模型分析地层注浆对控制桥梁沉降的作用, 并结合相似工程给出了下穿桥梁的施工控制措施。

2 工程概况

深圳地铁5号线(黄贝岭站后至大剧院站段)工程全线位于深圳线网中南部, 全部敷设在罗湖中心区内, 起自5

号线一期工程黄贝岭站, 终至大剧院站。5号线(黄大段)区间线路于本区间在里程DK41+850~DK41+885段下穿布吉河, 线路下穿位置布吉河水面宽约25m, 勘察期间水深约0.5m, 河底高程约0.2m。下穿段盾构隧道下部为既有地铁2号线。盾构施工过程中穿越布吉河桥桩。

布吉河桥位于滨河大道, 属于市政桥梁, 道路等级为城市主干路, 车流量大, 桥梁养护类别为Ⅲ类。桥面高程约为3.20m, 桥桩为 $\phi 1000$ 、 $\phi 1200$ 和 $\phi 1500$ 混凝土摩擦桩。地层从上往下依次为素填土、黏性土、砂砾、中分化花岗岩以及微分化花岗岩。布吉河桥与5号线建大区间平面关系图如图1所示。

3 三维数值计算模型

3.1 数值模型

采用MIDAS GTS通用有限元计算软件进行三维数值模拟计算。模型尺寸: 120m(长)×120m(宽)×40m(高)。模型的边界条件如下: 模型顶部为自由面, 无约束; 模型底面每个方向均约束; 模型四个侧面均只约束法向, 其余方向自由无约束。模型中网格均为六面体网格, 如图2所示。

【作者简介】张理维(1994-), 男, 中国湖南衡阳人, 硕士, 从事地下工程设计研究。

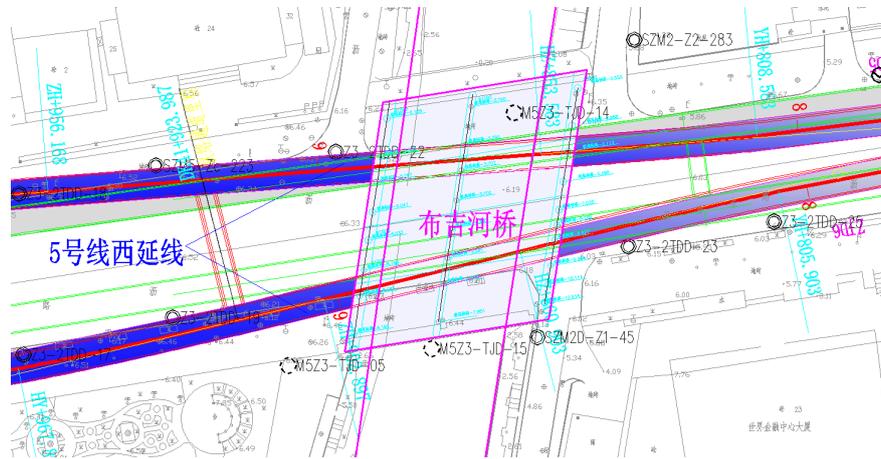


图 1 布吉河桥与 5 号线建大区间平面关系图

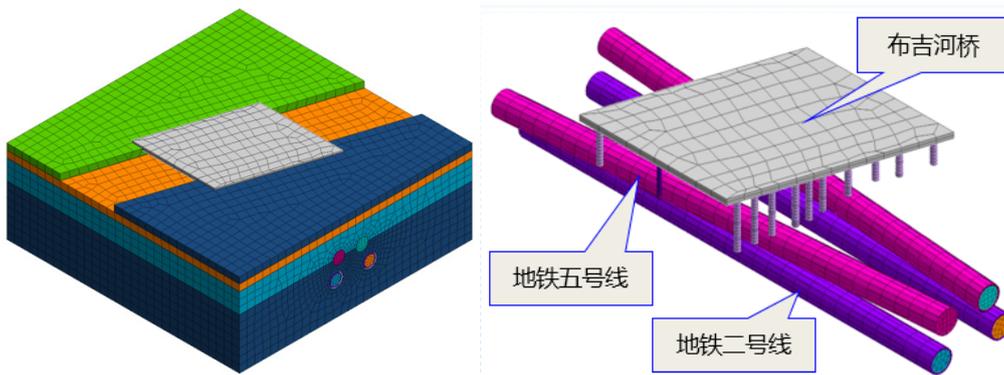


图 2 三维数值模型

模型按照实际尺寸，分别建立布吉河桥桥面、桥桩，地铁五号线西延线以及地铁 2 号线。采用弹性材料模拟桥板、桥桩；采用弹性材料模拟桥桩，采用桩界面及桩端单元模拟桩土接触；各岩土层均采用弹塑性模型，屈服准则为修正摩尔库伦准则；盾构隧道管片采用弹性模型。

先开挖左线隧道，然后开挖右线隧道。在实际数值模拟过程中需要对隧道开挖过程进行分步分阶段处理，模拟循环开挖进尺与现场盾构管片施工相符合，通过激活盾构管片单元模拟管片施工。在完成每次开挖步后，进行收敛计算来模拟这步开挖过程的应力释放过程，然后才进入下一个开挖步计算。进行开挖前，通过改变地层参数对周围土体进行

加固模拟。

3.2 模型地质参数

盾构下穿布吉河桥附近地层主要为素填土、黏性土、砂砾、中分化花岗岩以及微风化花岗岩。计算中所用到的岩土体与结构物理力学参数见表 1。

3.3 变形控制标准

根据《城市轨道交通工程监测技术规范》《公路桥涵地基与基础设计规范》等相关的规定，对穿越段落的地质条件，布吉河桥的结构型式等进行分析后，结合全国各地类似工程的施工经验，初步确定该段落下穿布吉河桥结构的变形控制标准如表 2 所示。

表 1 岩土体物理力学参数

类别	天然密度 (g/cm ³)	压缩模量 (kN/m ²)	泊松比 μ	粘聚力 C (kPa)	摩擦角 Ψ (°)
素填土	17.7	3500	0.25	5	30
黏性土	18.2	7000	0.3	20	18
砂砾	19.2	15000	0.3	3	32.5
中风化花岗岩	19.5	120000	0.25	2500	25
微风化花岗岩	23	210000	0.25	4000	35

表 2 布吉河桥变形控制标准

结构类型	桥墩绝对沉降 (mm)	顺桥向差异沉降 (mm)	横桥向差异沉降 (mm)	桥墩水平位移 (mm)	桥墩倾斜
连续梁	10	5	3	10	1/1000
简支梁	20	10	3	10	2/1000

4 计算结果及分析

4.1 盾构掘进过程中桥面变化情况

盾构掘进过程中布吉河桥面顺桥向差异沉降为 2.11mm, 横桥向差异沉降为 1.39mm; 若预先进行注浆加固, 则顺桥向差异沉降为 1.64mm, 横桥向差异沉降为 1.23mm。由此可知, 盾构掘进过程中, 两种工况下顺桥向差异沉降均小于 10mm, 横桥向差异沉降均小于 3mm, 满足要求, 且

采取注浆加固措施可减小桥面差异沉降 (见图 3、图 4)。

4.2 盾构掘进过程中桥面变化情况

由云图知 (见图 5、图 6), 一般掘进工况下, 施工完成后, 布吉河桥东部、中部、西部桥桩的最大变形为 2.14mm < 20mm, 满足桥桩变形要求。注浆加固工况下, 施工完成后, 布吉河桥东部、中部、西部桥桩的最大变形为 0.99mm < 20mm, 满足桥桩变形要求。由此知, 采取注浆措施可减少桥桩沉降。

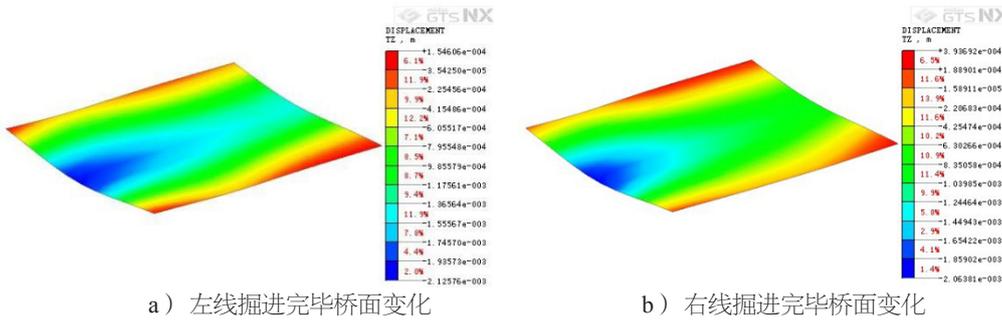


图 3 一般掘进工况桥面变化情况

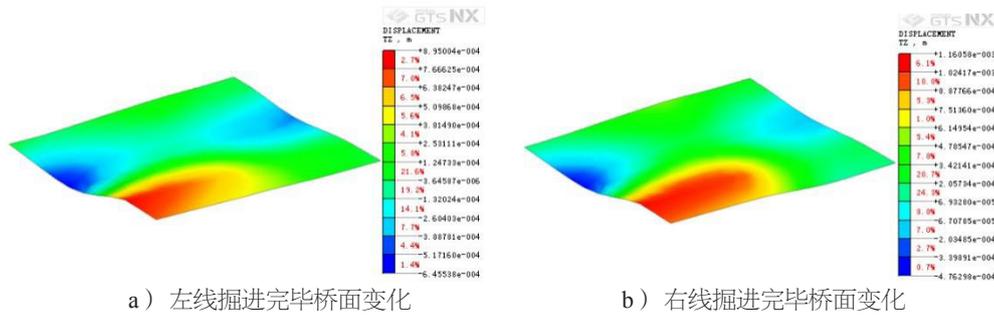


图 4 注浆加固工况桥面变化情况

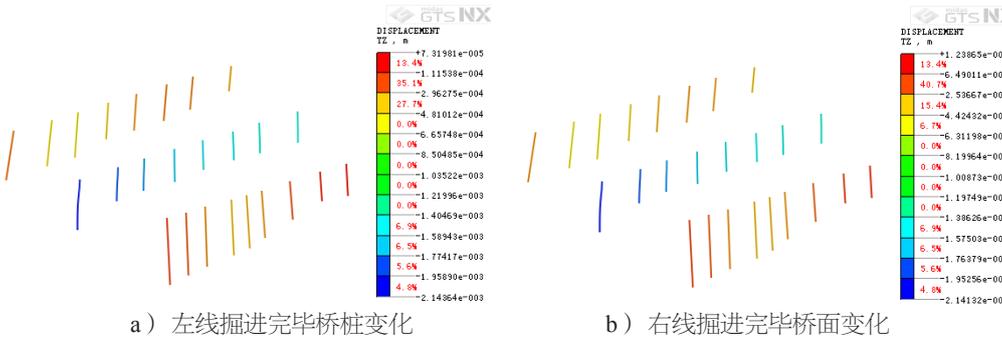


图 5 一般掘进工况桥桩变化情况

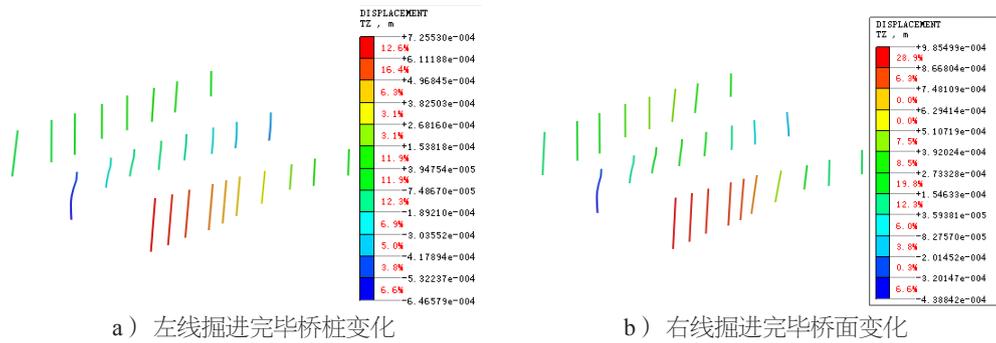


图6 注浆加固工况桥桩变化情况

5 施工措施

结合数值模拟，并参考相似工程的经验，制定施工控制措施。

- ①施工前对布吉河桥桥桩基和桥面进行检测和评估。
- ②调整并确保盾构机性能良好，严格控制掘进参数，确保匀速、均衡、连续通过，严格控制地层损失率，防止超挖。
- ③选择合理的同步注浆和二次注浆浆液及注浆参数，及时进行同步注浆及二次注浆，填充管片与土体间的空隙。
- ④及时布设测点，穿越过程中加强对布吉河桥桩基的监控量测，并根据监测结果及时调整盾构机掘进参数。
- ⑤制定针对性的应急预案。现场进行施工调查，确保资料准确。
- ⑥在盾构掘进过程中，要严格控制出土量，及时进行管片背后注浆，确保注浆饱满，同步注浆采用水泥砂浆，注浆压力应按地层阻力+ 0.1~0.2MPa，并结合地层情况调整，建议控制在 0.2~0.4MPa，注浆量 5.4~6.0m³/m；二次压浆在管片出盾尾 5 环后进行，注浆压力控制在 0.3~0.5MPa，注浆量约 1.62~1.8m³/m，采用水泥水玻璃。
- ⑦盾构通过后，桥墩两侧各约 5m 范围内的钢筋混凝土管片配筋进行加强，同时盾构下穿桥桩前后 5m 范围的管片在管片相邻块各增加 6 个注浆孔，注浆孔构造按吊装孔设在管片上预留的注浆孔内向地层中打深孔，并插入注浆管进行注浆，以补偿地层损失，减少隧道及结构沉降。二次注浆采用劈裂注浆或渗透浆液，浆液可采用超细水泥浆液或者水

泥—水玻璃浆液，注浆压力为 0.4~1.2MPa，管片距离既有桥桩净距至少 0.5m 控制，如有条件按 2m 考虑。

6 结论

为确保 5 号线下穿布吉河桥的安全，参考国内的成功经验对保护方案进行了研究分析，得到主要结论如下：

- ①通过建立数值模型对下穿工况进行了分析，区间下穿布吉河桥风险均在可控范围移，沉降值满足规定要求。
- ②对布吉河桥采用桩周注浆加固、加强盾构姿态及洞内注浆等施工措施具备操作性，方案合理可行。

参考文献

- [1] 洪开荣.我国隧道及地下工程发展现状与展望[J].隧道建设,2015,35(2):95-107.
- [2] 何川,封坤,方勇.盾构法修建地铁隧道的技术现状与展望[J].西南交通大学学报,2015,50(1):97-109.
- [3] 张秀山,吴镇,王磊,等.富水卵石层桩底小净距盾构下穿京台高速公路桥梁变形控制措施[J].科学技术与工程,2021,21(29):12710-12717.
- [4] 彭坤,陶连金,高玉春,等.盾构隧道下穿桥梁引起桩基变位的数值分析[J].地下空间与工程学报,2012,8(3):485-489.
- [5] 郭玉海,李兴高.大直径盾构下穿北京机场快轨高架桥梁的安全控制技术[J].北京交通大学学报,2014,38(1):13-19.
- [6] 黄新民.盾构隧道下穿既有桥桩工程的保护方案研究[J].地下空间与工程学报,2012,8(3):557-561+636.