

盾构隧道下穿铁路刚架桥安全影响分析

王思伟, 林立科

(湖南中大设计院有限公司, 湖南 长沙 410075)

摘要:该文以长沙轨道交通6号线下穿长株潭城际铁路为研究对象,采用连续介质模型对地铁盾构施工隧道近距离下穿城际铁路刚架桥进行了数值模拟计算,分析了隧道施工产生的地层损失引起刚架桥不均匀沉降对桥梁结构受力的影响,对刚架桥的结构安全性进行了复核计算和评估。结果表明:地铁隧道施工对刚架桥的结构安全性和轨道平顺性有一定的影响,但总体上安全可控。

关键词:铁路桥梁;盾构隧道;数值计算;下穿;刚架桥

近年来,随着城市公共交通的快速发展,城市轨道交通工程建设和发展非常迅速。但城市轨道交通工程沿既有城市道路以隧道形式穿越居多,建设过程中会穿越各种各样的结构物。晏成对天津地铁3号线盾构隧道下穿铁路框架桥工程进行了评估和预测;王国富对济南轨道交通R1线盾构隧道下穿京沪铁路框架桥涵进行了数值模拟和评估;李军对长沙地铁1号线盾构隧道下穿京广铁路工程的施工控制进行了深入研究,提出了旋喷桩加固、线路架空加固(横挑纵抬)等针对性的施工控制方案。目前中国地铁盾构隧道下穿运营铁路的研究主要集中在下穿铁路路基和框架桥方面的技术措施和施工控制,对地铁盾构隧道下穿运行速度较高的城际铁路刚架桥的设计与施工控制研究较少。该文结合长沙轨道交通6号线,对新建轨道交通隧道近距离下穿城际铁路刚架桥的影响和安全性进行分析,评估设计的可行性,并提出相关处理对策。

1 工程概况

1.1 盾构区间基本情况

长沙轨道交通6号线朝阳村站—东郡站区间线路沿人民东路东西向布设,区间长度1.9 km。朝阳村站—东郡站区间隧道由西向东需依次下穿京广铁路客运线框架桥、货运线框架桥以及长株潭城际铁路刚架桥。

1.2 长株潭城际铁路刚架桥基本情况

长株潭城际铁路刚架桥位于京广铁路客运线、货运线中间,采用(12.8+17.5+12.8) m刚架桥上跨人

民路。东侧长株潭城际铁路走行线刚架桥为双线桥,桥宽26 m;西侧长株潭城际铁路正线刚架桥为双线桥,桥宽13 m;两桥净距约为4.4 m。

正线及走行线刚架桥均采用钢筋混凝土薄壁桥墩,直径100 cm钻孔灌注摩擦桩基础,桩底持力层为中风化泥质粉砂岩。刚架桥采用的技术标准如下:

- (1) 铁路等级:城际铁路。
- (2) 正线数目:双线。
- (3) 正线线间距:5.0 m。
- (4) 速度目标值:200 km/h。
- (5) 设计荷载:上部结构采用ZC活载,下部结构采用ZK活载。
- (6) 轨道:有砟轨道,P60轨。
- (7) 不均匀沉降:5 mm。

长株潭城际铁路正线最高运行速度为160 km/h,每月晚间运行速度为200 km/h的综合检测车8趟。

1.3 隧道与长株潭城际铁路刚架桥相互关系

隧道距离刚架桥桩基水平距离为2.35~7.52 m,隧道底距离长株潭城际铁路刚架桥桩底垂直距离为1.97~5.14 m(图1),隧道采用盾构法施工。

1.4 工程地质

根据工程地质勘察报告,从上到下依次为人工填土、粉质黏土、圆砾土、强风化泥质粉砂岩、中风化泥质粉砂岩。盾构隧道穿越地层为中风化泥质粉砂岩,中风化泥质粉砂岩层状构造较厚、呈泥质胶结状态、节理和裂隙较发育,抗压强度标准值为3.0 MPa。

地下水主要有上层滞水、孔隙水和裂隙水。人工

3.3 盾构施工过程模拟

为分析隧道掘进施工对长株潭城际铁路刚架桥的影响,按照盾构刀盘推进的位置按先左线后右线分别划分为典型的10个工况,具体位置示意图见图2。

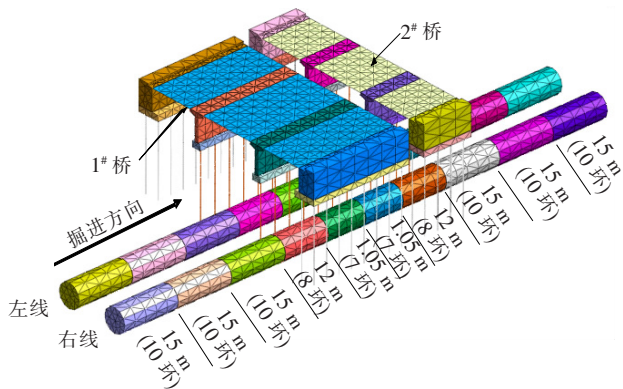


图2 开挖步距示意图

盾构掘进施工模拟过程分3步:①初始地应力作用下土体达到平衡状态;②左线隧道施工,下穿刚架桥;③右线隧道施工,下穿刚架桥。

3.4 数值分析结果

经3个步骤模拟隧道按先左线后右线的盾构掘进顺序下穿刚架桥后,地表沉降云图如图3、4所示。

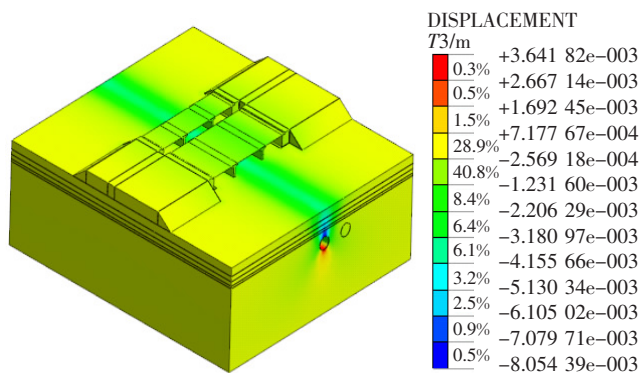


图3 左线隧道通过刚架桥后地层竖向位移云图(单位:m)

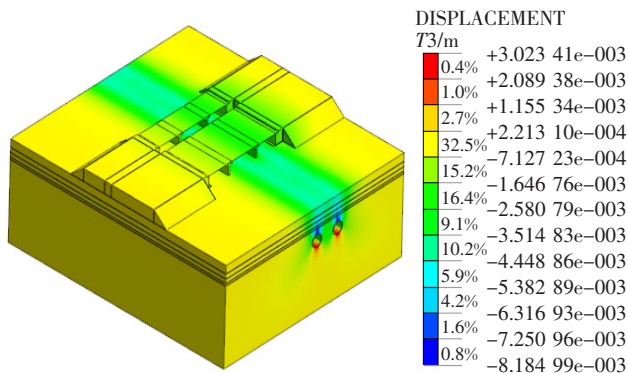


图4 右线隧道通过刚架桥后地层竖向位移云图(单位:m)

由图3、4可知:隧道施工掘进过程中,地层损失使穿越上方地层产生了竖向变形,其中隧道正上方的土体沉降最大,最大沉降约为8.2 mm,从隧道正上方拱部向两侧地表逐渐扩散,沉降值逐渐减小;隧道底部土体产生了一定程度隆起,向上隆起最大值为3.6 mm。

因地层沉降引起的刚架桥不均匀沉降云图见图5。

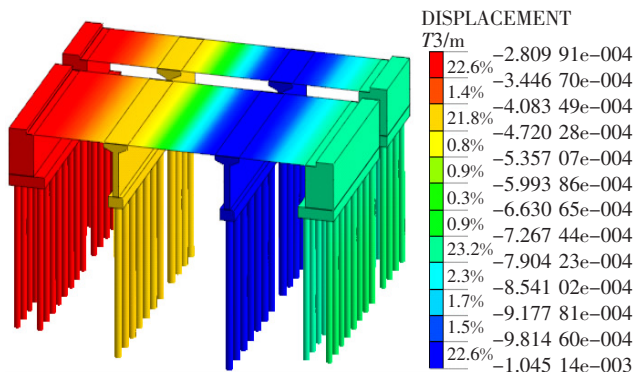


图5 盾构通过后刚架桥的位移云图(单位:m)

由图5可知:盾构穿越刚架桥后引起各墩台产生沉降,各墩台的沉降呈现明显的不均匀性,距离隧道越远的墩台沉降越小,距离越近的墩台沉降越大,桥墩最大沉降为-1.05 mm,桥台最小沉降为-0.28 mm。

隧道区间左线及右线盾构掘进通过后长株潭城际铁路刚架桥桩基水平位移云图如图6、7所示。

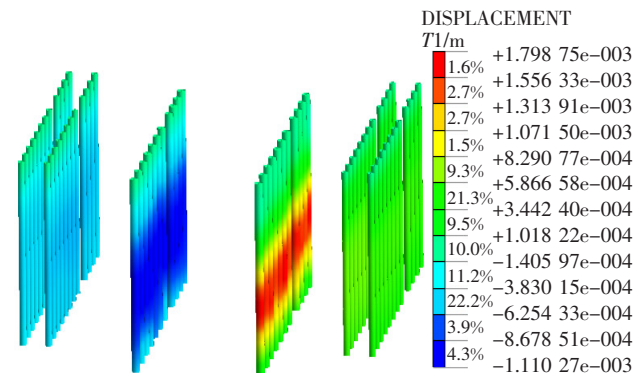


图6 左线隧道通过后桩基水平位移云图(单位:m)

由图6、7可知:左线掘进通过后刚架桥桩基最大水平位移为1.8 mm,右线掘进通过后刚架桥桩基最大水平位移为2.3 mm,桩身在盾构隧道区域附近位移最大,向上两端逐渐减小。

由于上部道床及轨道的竖向刚度较大,近似通过路基及刚架桥的变形来分析轨道沿隧道纵向沉降规律。盾构穿越刚架桥施工过程中,铁路道床受到了不利影响,当盾构完全通过后,铁路道床最大沉降量为-2.05 mm(图8)。

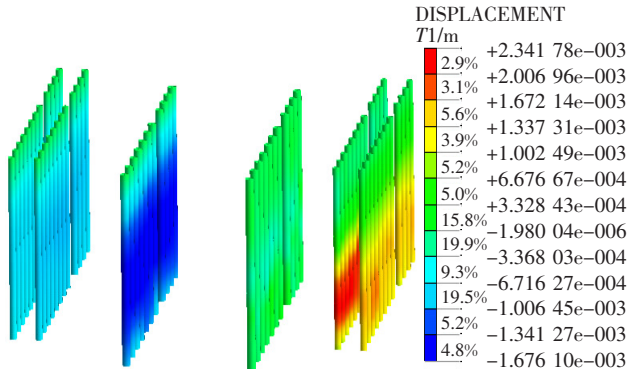


图 7 右线隧道通过后桩基水平位移云图(单位:m)

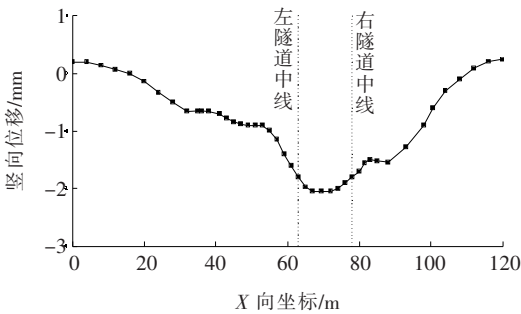


图 8 盾构通过后铁路道床竖向位移曲线

由图 8 可知变形总体呈现为盾构隧道施工上方沉降较大,到两侧递减,基本符合 Peck 公式的沉降规律。

由图 8 可知:在左右隧道及中间区域道床变形最大,向两侧逐渐减小,在隧道中心线 40 m 以外道床变形基本为 0。因此可以确定,盾构隧道施工对刚架桥的影响区为隧道中心两侧各 40 m。

表 3 梁体截面检算结果

截面位置	混凝土压应力/MPa		钢筋拉应力/MPa		混凝土剪应力/MPa		是否满足规范要求
	原设计	盾构后	原设计	盾构后	原设计	盾构后	
边跨跨中	7.6	7.8	132	137	0.22	0.23	是
中跨跨中	6.5	6.6	113	114	0	0.02	是
墩顶截面	7.0	7.1	147	152	1.35	1.36	是

由表 3 可知:刚架桥梁体上缘钢筋应力增加 1%~3%,钢筋最大应力为 152 MPa(墩顶),下缘钢筋应力增加 1%~4%,钢筋最大应力为 137 MPa(跨中)。刚架桥梁体混凝土应力增加 1%~4%,最大应力为 7.8 MPa,均满足规范要求。

根据 TB 10092—2017《铁路桥涵混凝土结构设计规范》中裂缝宽度经验计算公式计算,刚架桥梁体上缘裂缝增加 1%~3%,最大裂缝宽度为 0.15 mm,下缘裂缝增加 1%~5%,最大裂缝宽度为 0.14 mm,均满足规范要求。

4 刚架桥结构检算

采用 Midas/Civil 分析计算软件,建立“荷载—结构”模型。采用梁单元杆系结构,桩基础采用等效刚度梁单元模拟。边界条件为:梁端采用竖向约束,桩基按等代梁单元采用固结约束;桥墩与上部结构连接采用刚性连接。结构断面参数按刚架桥实际尺寸选取。计算模型如图 9 所示。

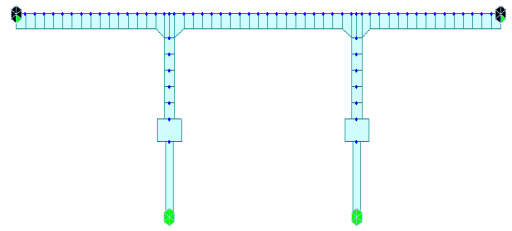


图 9 刚架桥计算模型

荷载组合按现行 TB 10002—2017《铁路桥涵设计规范》取最不利的工况组合,盾构通过后的桩基最大沉降-1.05 mm 采用强制位移施加到计算模型,原设计不均匀沉降为-5 mm,其他设计荷载均按原设计取值。桥梁结构设计按照 TB 10092—2017《铁路桥涵混凝土结构设计规范》进行复核计算。

4.1 梁体截面计算结果

经计算,在隧道掘进施工前后刚架桥梁体结构设计各项指标如表 3 所示。

4.2 刚架桥墩身截面验算结果

隧道掘进前后刚架桥桥墩结构设计各项指标如表 4 所示。

表 4 刚架桥墩身截面计算结果

项目	竖向力/kN	弯矩/(kN·m)	混凝土应力/MPa	钢筋应力/MPa
原设计	12 300	8 610	4.44	47.1
盾构施工后	12 397	8 665	4.47	47.3
增幅/%	0.80	0.60	0.70	0.40

刚架桥墩身最大内力发生在墩底部位,计算结果表明:盾构施工对刚架桥墩身的竖向力、弯矩、混凝土及钢筋应力均有一定的影响,但结构承载力满足设计规范要求。

4.3 刚架桥桩基验算结果

刚架桥桩基验算结果见表5。

表5 桩基计算结果

项目	竖向力/kN		混凝土应力/MPa		钢筋应力/MPa	
	桥台	桥墩	桥台	桥墩	桥台	桥墩
原设计	3 436	5 126	3.68	3.88	55.2	58.2
盾构后	3 445	5 155	3.75	3.95	56.4	59.5

表5表明:盾构施工对刚架桥的桩基结构有一定影响,桩基竖向轴力、桩身混凝土应力、钢筋应力均有所增加。原设计桥台桩基承载力容许值 $[P]=3\ 870$ kN、桥墩桩基承载力容许值 $[P]=5\ 704$ kN,混凝土容许应力 $[\sigma_c]=16.9$ MPa,钢筋容许应力 $[\sigma_s]=230$ MPa,计算结果均未超过容许值,各项指标均满足设计规范要求。

5 安全性分析及对策

该刚架桥于2016年12月正式建成通车,根据竣工验收各项资料显示,刚架桥的使用状况良好。盾构隧道施工对刚架桥结构内力和各项设计指标有一定的影响,但是变化量相对较小,刚架桥抗力有一定的储备,考虑隧道施工引起的不均匀沉降后,刚架桥各设计指标仍满足规范要求。

5.1 沉降控制指标

区间隧道下穿长株潭城际铁路刚架桥时,地面沉降控制要求较严格,轨道沉降按200 km/h静态临时补修管理值控制标准:轨面沉降值不超过8 mm,轨道高低值不超过8 mm,相邻两股钢轨水平高差不得超过8 mm,相邻两股钢轨三角坑不得超过6 mm,刚架桥相邻桥墩沉降差不超过5 mm。

5.2 施工控制措施

该区间盾构隧道与长株潭城际铁路刚架桥桩基水平距离为2.35~7.52 m,盾构隧道顶部为人工填土、粉质黏土、细圆砾土、强风化泥质砂岩、中风化泥质砂岩。虽然三维数值模拟分析和刚架桥结构检算结果表明影响可控,但考虑到施工工艺等未知影响因素,仍需要采取相应的保护方案及施工控制措施。

(1) 根据相关研究,减小盾构隧道对既有结构物的影响常用的有效办法是增设隔离桩,但该隧道与桥梁桩基最小净距仅2.35 m,不满足设置隔离桩的条件,建议对刚架桥桩侧进行静力压浆,改善岩层顶面土层的特性,尽可能减小沉降对刚架桥的不利影响。

(2) 利用盾构掘进铁路刚架桥下方前50 m作为试验段,通过对试验段的掘进参数及地面沉降情况进行统计分析,预测盾构机通过铁路时可能出现的沉降值,以最优的盾构掘进参数通过刚架桥段。

(3) 盾构穿越铁路前,建立系统、完善的监测网,施工过程中进行变形监测并及时反馈信息,并进行跟踪注浆或补充注浆,以减少地层损失。

(4) 在盾构机掘进通过长株潭城际铁路刚架桥前,建议参照“桥涵顶进施工慢行”限速60 km/h。

6 结论

(1) 通过三维数值模拟分析了隧道施工对刚架桥的影响,建立“荷载—结构模型”对刚架桥进行了结构验算。计算结果表明:盾构施工对刚架桥的结构安全性和轨道平顺性有一定的影响,但仍处于规范允许范围,盾构下穿刚架桥的设计方案总体可行。

(2) 考虑到盾构穿越岩层仍存在岩石软硬不均等不确定因素,盾构下穿时应加强洞内注浆并根据监测数据实时跟踪注浆,有效减少盾构掘进过程中的地层损失,抑制盾构掘进过程中长株潭城际铁路刚架桥桩基的变形。

参考文献:

- [1] 晏成. 盾构隧道下穿既有铁路框架桥工程安全性分析[J]. 铁道标准设计, 2011(7).
- [2] 王国富, 王建, 路林海. 盾构下穿铁路桥涵变形规律及控制技术[J]. 铁道科学与工程学报, 2016(12).
- [3] 李军, 雷明锋, 林大涌. 城市地铁盾构隧道下穿运营铁路施工控制技术[J]. 现代隧道技术, 2018(2).
- [4] 卢裕杰. 地铁盾构隧道下穿铁路车站施工对站台无柱雨棚桩基的风险分析[J]. 城市轨道交通研究, 2015(6).
- [5] 余才高, 韩高孝. 地铁盾构隧道在岩层中下穿高速铁路桥梁时的施工参数研究[J]. 城市轨道交通研究, 2015(6).
- [6] 孙雪兵. 盾构下穿施工对邻近铁路桥梁的影响分析[J]. 铁道建筑, 2018(4).
- [7] 王体广. 盾构区间近距离下穿铁路桥梁影响分析[J]. 城市轨道交通研究, 2016(3).
- [8] 黄龙, 周顺华, 官全美. 软土地区盾构隧道下穿新建铁路