

盾构隧道下穿既有框架结构建筑的影响分析

张亚明^{1, 2}, 陈东生^{1, 2}, 刘金龙³, 祝磊³

- (1. 安徽省建筑科学研究设计院 绿色建筑与装配式建造安徽省重点实验室, 安徽 合肥 230031;
2. 安徽省建筑工程质量第二监督检测站, 安徽 合肥 230031;
3. 合肥学院 城市建设与交通学院, 安徽 合肥 230601)

摘要: 以某框架结构建筑为研究对象, 基于三维有限元数值模拟, 探讨盾构施工对既有建筑的影响。对比分析表明, 左线贯通时地表最大竖向沉降位于左线中心轴正上方土体中, 双线贯通时地表最大竖向沉降为位于双线对称轴正上方土体中。既有建筑相邻柱基差异沉降最大值小于规范限值, 其位于左线、右线中心轴线之外的范围内, 而不在两中心轴线之间。计算结论为工程的顺利实施提供了重要依据。

关键词: 盾构; 框架结构; 差异沉降

中图分类号: TU528

文献标识码: A

文章编号: 2095-8382(2022)04-048-05

Analysis of the Influence of Shield Tunnel Under Existing Frame Structure Buildings

ZHANG Yaming^{1, 2}, CHEN Dongsheng^{1, 2}, LIU Jinlong³, ZHU Lei³

- (1. Anhui Province Key Laboratory of Green Building and Assembly Construction, Anhui Institute of Building Research & Design, Hefei 230031, China;
2. The Second Supervision and Inspection Station for Anhui Province Building Engineering Quality, Hefei 230031, China;
3. School of Urban Construction and Transportation, Hefei University, Hefei 230601, China)

Abstract: Taking a frame structure building as the research object and three-dimensional finite element numerical simulation as the method, the influences of shield construction on existing buildings are discussed. The analysis show that the maximum vertical settlement of the ground surface is located in the soil directly above the center axis of the left line when the left line is completed, and in the soil directly above the symmetry axis of the double line when the double line is completed. The maximum differential settlement of the adjacent column of existing buildings did not exceed the Code for Design of Building Foundation (GB50007-2011), and the settlement occurs outside rather than in the area between the left and right axis lines. The calculation results contributes to the implementation of the project.

Keywords: shield tunnel; frame structure; differential settlement

随着城市人口增长与经济发展,越来越多的城市开展地铁建设,在部分拥挤地段,地铁不可避免地下穿、侧穿既有建构筑物。既有老旧建筑建设年

代久远,结构性相对较差,如何将地铁盾构施工对邻近建筑影响控制在规范允许范围内,是地铁建设中需要重点解决的问题之一。

收稿日期: 2021-09-24

基金项目: 安徽省住房城乡建设科学技术计划项目(2020-YK06); 安徽省重点研究与开发计划项目(202004a05020012, 202004h07020002); 安徽省自然科学基金项目(2008085ME168)

作者简介: 张亚明(1976-),男,高级工程师,硕士,研究方向: 建筑工程检测鉴定。

陈大川等^[1]依托长株潭城际铁路施工,总结各因素对邻近独立基础框架结构的影响,根据各因素的具体影响,提出了在盾构施工中需注意的合理建议。王谦等^[2]结合郑州地铁 3 号线近距离侧穿全国重点文物保护单位“二七纪念塔”工程,研究表明适宜的加固措施和施工技术可以有效控制地表沉降,保证盾构近距离侧穿建筑遗产的安全性和完整性。任杰^[3]以太原地铁 2 号线某盾构区间为例,采用建筑物外侧打设复合锚杆桩主动加固建筑物的方式,有效控制了建筑的沉降。戴轩等^[4]依托天津地铁 6 号线平行侧穿四座结构形式相近的砖混建筑的实测数据,得到建筑物基本变形模式,结果表明盾构隧道平行侧穿将诱发平面长宽比较大的建筑出现“下凹式”挠曲变形。还有其他学者也对盾构施工进行了广泛深入研究^[5-9]。

一般而言,盾构施工对邻近建筑的影响应在规范^[10-11]允许范围内。以框架结构为例,根据《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2011)^[10],其相邻柱基沉降差应小于 0.002 L(L 为相邻柱基的中心距离),该控制值为建筑工后沉降与盾构施工诱发沉降的总和。本文以合肥市某地铁隧道工程为例,基于三维数值计算,探讨盾构施工对框架结构相邻柱基沉降差的影响。

1 有限元数值建模

合肥市某地铁区间隧道下穿一既有建筑,该建筑为 6 层框架结构,层高 3.8 m,建筑总高度 23.25 m,采用独立基础,基础埋深 2 m,于 2011 年建成并投入使用。既有建筑柱网长 57.2 m、宽 11.2 m,与隧道的平面关系如图 1 所示,剖面关系如图 2 所示。区间隧道线路呈“V”字形坡,线间距 14.7~16 m,埋深 9.6~22.8 m,隧道管片外径 6 m,每环管片宽 1.5 m。盾构推进速度 6~8 m/d。

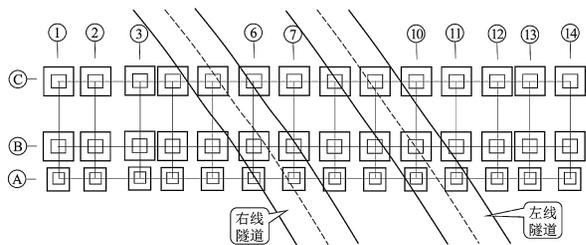


图 1 既有建筑柱网与隧道平面位置关系图

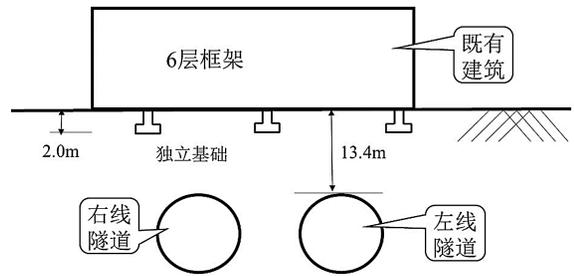


图 2 既有建筑与隧道剖面位置关系图

根据地勘报告,场地岩土层主要为人工填土、第四系全新统黏土、粉土、粉砂和第四系上更新统黏土、粉土、粉砂层,下伏基岩为白垩系张桥组全风化-中等风化泥质砂岩、侏罗系周公山组全风化-中等风化砂岩,遇水浸泡后强度会出现较大幅度降低,岩体较破碎。采用小应变土体硬化(HS-Small)本构模型模拟各土层,土体计算参数见表 1。

表 1 土体计算参数

名称	重度 g (kN/m^3)	凝聚力 c' (KPa)	内摩擦角 ϕ' ($^\circ$)	E_{50}^{ref} (MPa)	E_{oed}^{ref} (MPa)	E_{ur}^{ref} (MPa)
(0)人工填土	18.6	5.0	7.0	4.0	4.0	20.0
(2)2黏土	19.5	45.0	14.1	8.0	8.0	40.0
(6)1全风化砂岩	20.9	30.0	21.0	10.0	10.0	50.0
(6)2强风化砂岩	21.0	90.0	22.0	15.0	15.0	75.0
(6)3中风化砂岩	23.6	140.0	28.0	20.0	20.0	100.0

表 1 中 E_{50}^{ref} 为标准三轴排水试验所得割线模量, E_{oed}^{ref} 为侧限加载试验的切线模量, E_{ur}^{ref} 为工程应变卸载/重加载模量。根据相关计算经验^[12], E_{oed}^{ref} 可取土层压缩模量值,对于黏性土可取 $E_{oed}^{ref}: E_{50}^{ref} = 1:1:5$ 。盾构管片采用板单元进行模拟,采用弹性本构模型,弹性模量 $E=2.6E7$ KPa,泊松比 $\nu=0.15$ 。

隧道主要穿越地层为(6)3中风化泥质砂岩层及(2)2黏土层,局部穿越(6)1全风化、(6)2强风化泥质砂岩层。

既有框架结构建筑与区间隧道之间的结构模型如图 3、图 4 所示。模型长宽高为 110 m × 60 m × 40 m,为使结构到模型边缘的距离大于 20 m,采用 15 节点三角形单元进行划分。

数值计算步骤为:①初始地应力平衡;②激活既有建筑与荷载;③初始位移清零,隧道逐步开挖,

先开挖左线,后开挖右线。盾构推进速度 6~8 m/d。

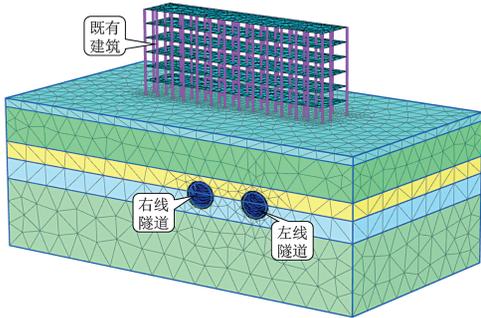


图 3 有限元数值建模

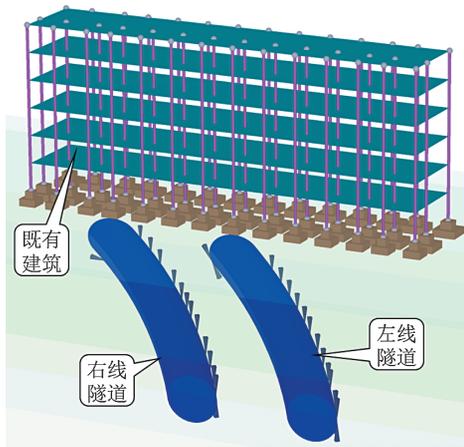


图 4 既有建筑与隧道方位图

2 既有建筑变形分析

计算得到了盾构施工不同阶段既有建筑的竖向沉降分布情况,如图 5 所示;建筑的变形趋势如图 6 所示;地表竖向沉降如图 7 所示;不同施工阶段各柱基的竖向沉降与侧向位移见表 2。

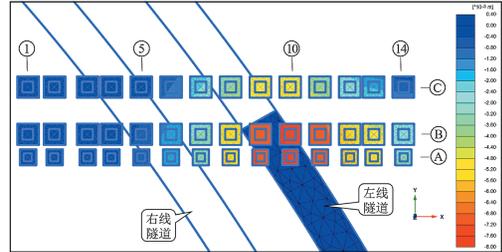
可见,隧道正上方及两隧道之间独立基础的竖向沉降较大,远离隧道位置的基础沉降相对较小:

(1) 左线贯通时地表最大竖向沉降为 -7.91 mm,位于左线中心轴正上方土体中;双线贯通时地表最大竖向沉降为 -13.08 mm,位于双线对称轴正上方土体中。

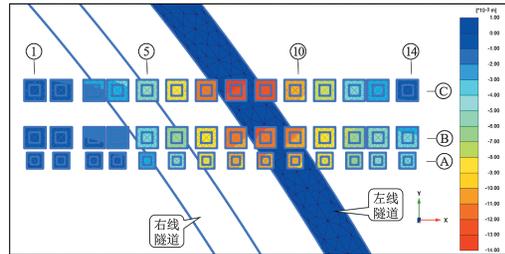
(2) 左线贯通时,既有建筑基础最大沉降为 -12.95 mm,位于⑧轴与©轴交点处;双线贯通时,既有建筑基础最大沉降为 -20.67 mm,位于⑦轴与©轴交点处。

(3) 左线贯通时,既有建筑基础最大侧向位移为 2.64 mm,位于⑥轴与©轴交点处;双线贯通时,既有建筑基础最大侧向位移为 4.16 mm,位于⑪轴

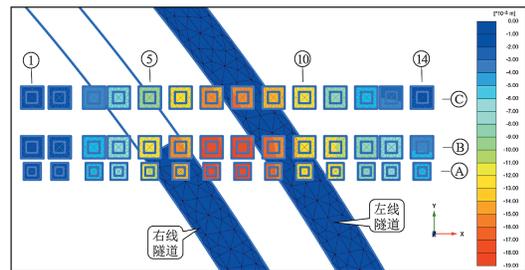
与©轴交点处。



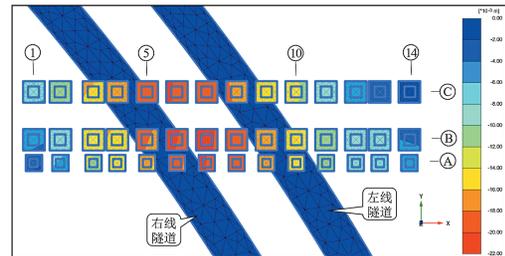
(a) 左线推进至建筑正下方时



(b) 左线贯通时



(c) 右线推进至建筑正下方时



(d) 右线贯通时

图 5 盾构施工不同阶段既有建筑基础竖向沉降云图

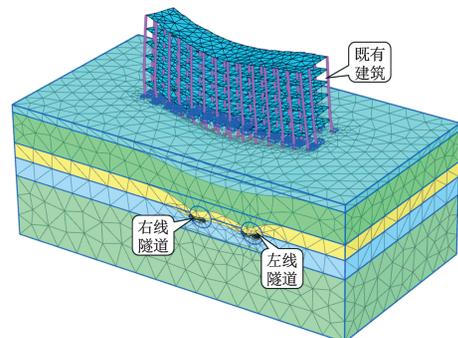


图 6 双线贯通时既有建筑变形趋势图(放大 300 倍)

表 2 柱基沉降汇总表(单位:mm)

柱基位置	左线贯通时		右线贯通时	
	竖向沉降	侧向位移	竖向沉降	侧向位移
①与A交点	-0.06	0.54	-2.61	0.12
②与A交点	-0.17	0.72	-5.68	0.24
③与A交点	-0.47	1.02	-11.59	0.47
④与A交点	-0.86	1.27	-13.67	0.44
⑤与A交点	-2.39	1.74	-16.67	0.25
⑥与A交点	-5.04	2.13	-18.73	0.97
⑦与A交点	-8.23	2.07	-19.95	1.81
⑧与A交点	-10.26	1.60	-19.03	2.74
⑨与A交点	-10.86	0.85	-16.76	3.43
⑩与A交点	-10.22	0.14	-14.01	3.92
⑪与A交点	-8.74	0.76	-11.17	4.09
⑫与A交点	-6.80	1.37	-8.41	3.99
⑬与A交点	-5.47	1.55	-6.72	3.54
⑭与A交点	-3.50	1.63	-4.51	2.87
①与B交点	-0.26	0.59	-4.69	0.54
②与B交点	-0.48	0.81	-7.97	1.12
③与B交点	-1.06	1.24	-13.68	1.10
④与B交点	-1.65	1.52	-15.28	1.16
⑤与B交点	-3.48	2.17	-18.15	0.37
⑥与B交点	-6.19	2.58	-20.06	0.53
⑦与B交点	-9.21	2.46	-20.67	1.56
⑧与B交点	-11.18	1.91	-19.30	2.64
⑨与B交点	-11.74	1.03	-16.88	3.43
⑩与B交点	-10.95	0.21	-14.12	3.99
⑪与B交点	-9.20	0.58	-11.12	4.16
⑫与B交点	-6.91	1.24	-8.26	3.81
⑬与B交点	-5.53	1.45	-6.57	3.13
⑭与B交点	-3.13	1.50	-3.83	2.36
①与C交点	-0.35	0.66	-6.89	1.30
②与C交点	-0.82	1.03	-10.86	1.63
③与C交点	-1.89	1.67	-15.66	1.46
④与C交点	-2.79	2.05	-16.93	1.26
⑤与C交点	-5.33	2.55	-18.99	0.70
⑥与C交点	-8.43	2.64	-19.62	0.93
⑦与C交点	-11.43	2.41	-19.10	1.73
⑧与C交点	-12.95	1.73	-17.60	2.51
⑨与C交点	-12.51	1.01	-15.32	3.39
⑩与C交点	-10.32	0.03	-12.12	3.86
⑪与C交点	-7.27	0.85	-8.57	3.57
⑫与C交点	-3.86	1.28	-4.78	2.74
⑬与C交点	-2.39	1.15	-3.00	1.97
⑭与C交点	-0.75	0.87	-0.93	1.07

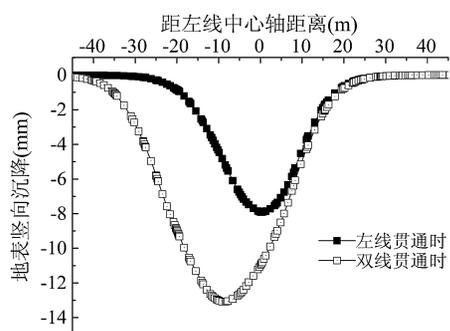


图 7 地表竖向沉降分布图

进一步得到各相邻柱基间的差异沉降值,见表 3。可见,双线贯通后相邻柱基沉降差最大值发生在②轴与③轴交点、③轴与④轴交点之间,等效差异沉降为 0.001 14 L。

表 3 相邻柱基沉降差汇总表

柱基位置	竖向沉降 (mm)	沉降差 (mm)	间距 L (m)	等效差异沉降
③与A交点	-11.59	2.08	3.60	0.000 58L
④与A交点	-13.67	3.00	4.50	0.000 67L
⑤与A交点	-16.67	2.06	4.50	0.000 46L
⑥与A交点	-18.73	1.22	4.50	0.000 27L
⑦与A交点	-19.95	0.92	4.50	0.000 20L
⑧与A交点	-19.03	2.27	4.50	0.000 51L
⑨与A交点	-16.76	2.75	4.50	0.000 61L
⑩与A交点	-14.01	2.84	4.50	0.000 63L
⑪与A交点	-11.17	2.76	4.50	0.000 61L
⑫与A交点	-8.41	2.76	4.50	0.000 61L
①与B交点	-4.69	3.28	4.00	0.000 082L
②与B交点	-7.97	5.71	5.00	0.001 14L
③与B交点	-13.68	1.60	3.60	0.000 44L
④与B交点	-15.28	2.87	4.50	0.000 64L
⑤与B交点	-18.15	1.91	4.50	0.000 42L
⑥与B交点	-20.06	0.61	4.50	0.000 14L
⑦与B交点	-20.67	1.37	4.50	0.000 31L
⑧与B交点	-19.30	2.42	4.50	0.000 54L
⑨与B交点	-16.88	2.76	4.50	0.000 61L
⑩与B交点	-14.12	3.00	4.50	0.000 67L
⑪与B交点	-11.12	2.86	4.50	0.000 64L
⑫与B交点	-8.26	2.86	4.50	0.000 64L
①与C交点	-6.89	3.97	4.00	0.000 99L
②与C交点	-10.86	4.80	5.00	0.000 96L
③与C交点	-15.66	1.27	3.60	0.000 35L
④与C交点	-16.93	2.06	4.50	0.000 46L
⑤与C交点	-18.99	0.63	4.50	0.000 14L
⑥与C交点	-19.62	0.52	4.50	0.000 12L
⑦与C交点	-19.10	1.50	4.50	0.000 33L
⑧与C交点	-17.60	2.28	4.50	0.000 51L
⑨与C交点	-15.32	3.20	4.50	0.000 71L
⑩与C交点	-12.12	3.55	4.50	0.000 79L
⑪与C交点	-8.57	3.55	4.50	0.000 79L

进一步分析表2、表3数据可知:

(1) 双线贯通后,既有建筑的最大沉降大多发生在双线对称轴正上方附近,如⑥轴与③轴交点处、⑦轴与⑤轴交点处、⑧轴与①轴交点处的柱基竖向沉降较大。

(2) 相邻柱基差异沉降最大值往往发生在左线、右线中心轴线之外的范围内,而不在两中心轴线之间。即竖向沉降最大值与差异沉降最大值往往不在同一个位置。

计算得到相邻柱基差异沉降最大值为0.001 14 L,小于《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2011)的限值0.002 L。当然,还需考察既有建筑投入使用期间已产生的相邻柱基差异沉降值,再加上盾构施工诱发既有建筑产生的相邻柱基差异沉降,两者之和小于规范限值,方可满足要求。经论证,所提既有建筑的总体相邻柱基差异沉降值满足规范要求。

一般地,为了加强对既有建筑的保护,对穿越段应采用增设注浆孔管片,增加管片结构注浆孔数量,满足盾构施工及多点位注浆的需要。盾构施工过程中应严格控制掘进姿态,严禁超挖,紧密结合监测,不断优化盾构推进参数,如土仓压力、掘进速度、出土量、注浆压力、注浆量及浆液稠度、二次注浆压力及注浆量等,最大限度控制地表变形。

3 结论

基于三维有限元数值模拟,分析某盾构下穿框架结构的影响,计算结果表明:

(1) 双线贯通后,既有建筑的最大沉降大多发生在双线对称轴正上方附近。

(2) 相邻柱基差异沉降最大值往往发生在左线、右线中心轴线之外,而不在两中心轴线之间。

(3) 所分析建筑的相邻柱基差异沉降最大值小

于规范限值,表明盾构施工对建筑的影响在允许范围内,盾构施工采用常规措施即可。

参考文献:

- [1] 陈大川,王鼎伟,郭杰标.盾构施工对邻近独立基础框架结构影响的三维模拟分析[J].公路工程,2018,43(6):26-32.
- [2] 王谦,杨昌鸣,陆继广,等.盾构近距离侧穿建筑遗产的施工技术分析及其保护措施加固效果[J].科学技术与工程,2020,20(27):11339-11346.
- [3] 任杰.地铁盾构隧道始发端近距离侧穿老旧建筑沉降控制措施[J].铁道勘察,2021,47(2):134-139.
- [4] 戴轩,郭旺,程雪松,等.盾构隧道平行侧穿诱发的建筑纵向沉降实测与模拟分析[J].岩土力学,2021,42(1):233-244.
- [5] 姜忻良,贾勇,赵保建,等.地铁隧道施工对邻近建筑物影响的研究[J].岩土力学,2008,29(11):3047-3052.
- [6] 刘重庆,曾亚武,朱泽奇,等.厦门地铁上软下硬地层盾构施工引起的地表沉降研究[J].铁道科学与工程学报,2018,15(2):444-449.
- [7] 谢雄耀,张永来,周彪,等.盾构隧道下穿老旧建筑物群微沉降控制技术研究[J].岩土工程学报,2019,41(10):1781-1789.
- [8] 路平,耿艳,张稳军,等.平行隧道穿越形式对砌体建筑变形的影响研究[J].隧道建设(中英文),2019,39(1):60-67.
- [9] 鲁茜茜,蹇蕴奇,王先明,等.软弱地层盾构隧道侧穿房屋基础沉降特性分析[J].铁道标准设计,2019,63(12):118-124.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑地基基础设计规范:GB 50007—2011[S].北京:中国计划出版社,2012.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB 50652—2011城市轨道交通地下工程建设风险管理规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [12] 刘志祥,张海清.PLAXIS高级应用教程[M].北京:机械工业出版社,2015.