

盾构隧道下穿复杂建筑物变形分析及控制措施

何 况

(郑州地铁集团有限公司, 450018, 郑州//正高级工程师)

摘 要 目的:由地铁施工带来的地层扰动会引起地基及其基础的应力重分布和地面变形,若控制不当,则会引发房屋倾斜和损坏等后果。老旧房屋存在结构老化、拆改严重等问题,当地铁盾构穿越时,其施工难度更高,控制措施更为复杂,具有较大的施工挑战性,因此需对盾构隧道下穿复杂建筑物的关键技术进行研究。方法:以郑州地铁 5 号线为例,建立了建筑物简化计算模型,对盾构下穿建筑物变形进行数值分析,提出盾构下穿过程中建筑物的差异沉降控制值和变形控制措施。结果及结论:在盾构下穿过程中,实测 23# 楼的最大差异沉降值为 5.8 mm,11# 楼的最大差异沉降值为 5.3 mm,综合楼的最大差异沉降值为 5.5 mm;实测结果与差异沉降控制值相比,部分测点达到数据预警状态,但总体建筑物的差异沉降值基本位于控制值范围内;与计算模拟结果相比,实测结果明显低于数值计算结果,验证了施工中所采取的加固措施的有效性。

关键词 地铁;盾构隧道;下穿;复杂建筑物

中图分类号 TU433

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.09.011

Deformation Analysis and Control Measures for Shield Tunnel Under-passing Complex Buildings

HE Kuang

Abstract Objective: Ground disturbances caused by metro construction can result in stress redistribution and land deformation of foundations. Improper control of these factors can lead to consequences such as tilting and damage to buildings. Older buildings with structural aging and extensive renovations face significant challenges when a metro shield tunnel passes beneath them, requiring more complex control measures. Therefore, it is necessary to study the key technologies for shield tunnel under-passing complex buildings. Method: Taking Zhengzhou Metro Line 5 as example, a simplified calculation model of the buildings is established for numerical analysis of the deformations caused by shield tunneling. Differentiation settlement control values and deformation control measures for buildings during shield tunneling are proposed. Result & Conclusion: During the shield tunnel under-passing process, the

maximum measured differentiation settlement values for Building 23, Building 11, and the comprehensive building are 5.8 mm, 5.3 mm, and 5.5 mm respectively. Some field-measured values approached the data alert state compared to the differentiation settlement control values, but the differentiation settlement values of the overall buildings are within the acceptable range. When compared to the calculation simulation results, the field-measured results are significantly lower, demonstrating the effectiveness of the reinforcement measures implemented during construction.

Key words metro; shield tunnel; under-passing; complex building

Author's address Zhengzhou Rail Transit Co., Ltd., 450018, Zhengzhou, China

0 引 言

目前,越来越多的地铁施工项目面临穿越多层房屋等建筑物问题,由地铁施工带来的地层扰动会引起地基及其基础的应力重分布和变形,若控制不当,则会引发房屋倾斜和损坏等后果。近年来,已有相关研究人员对此开展了分析研究。文献[1]以南京市纬三路过江通道工程 S 线大直径泥水盾构下穿民房建筑群为例,采用三维数值计算对盾构施工主要影响区的影响范围和沉降量进行了理论预测,并根据预测结果结合现场实测数据提出了相应的沉降控制措施。文献[2]以南通轨道交通 1 号线某盾构区间下穿老旧居民区为例,基于现场沉降监测数据,分析盾构施工对既有邻近建筑基础沉降的影响。文献[3-4]以呼和浩特地铁 2 号线盾构隧道施工为例,采用三维有限元软件 MIDAS GTS 对盾构隧道下穿砌体结构住宅群进行数值模拟,分析盾构隧道施工对砌体结构的影响。以上文献对老旧房屋的施工分析较少,而老旧房屋往往存在结构老化、拆改严重等问题,当地铁盾构穿越时,其施工难度更高,控制措施更为复杂,具有较大的施工挑

战性。

鉴于此,本文以郑州地铁 5 号线为例,针对线路某盾构区间下穿老旧多层房屋建筑过程中存在的施工风险及问题,通过对房屋结构受力及其变形情况进行理论分析和仿真模拟,提出了盾构下穿影响范围内房屋的加固措施和变形控制标准。此外,本文结合建筑结构差异沉降的实测数据与计算数据,对比验证了所提施工控制措施的有效性。本文研究可以为后续盾构下穿老旧房屋工程项目提供工

程经验。

1 工程概况

1.1 工程地质

郑州地铁 5 号线某区间项目纵向穿越 2 栋住宅楼和 1 栋综合楼,房屋基础底至隧道顶部的地层从上至下依次为杂填土、砂质粉土、黏质粉土和粉质黏土。地层主要参数如表 1 所示。盾构隧道直径约为 6.2 m,双线隧道间距约为 9.5 ~ 11.0 m。

表 1 地层主要参数
Tab. 1 Main soil layer parameters

土层名称	重度/ (kN/m³)	层厚/ m	静止侧压力 系数	地基土承载力/ (kN/m²)	弹性模量/ MPa	泊松比	内摩擦角/ (°)	凝聚力/ kPa
①杂填土	18.0	1.17	0.40	80	6.4	0.30	11.3	5.2
②-31 砂质粉土	17.8	4.85	0.42	140	25.5	0.31	24.9	19.6
②-32 黏质粉土	19.2	4.12	0.43	120	22.5	0.30	23.4	19.0
②-33 黏质粉土	19.5	3.53	0.48	130	24.9	0.30	24.8	29.4
②-22 粉质黏土	18.1	4.59	0.60	110	16.8	0.28	15.5	30.9

1.2 周边房屋现状

地铁隧道纵向穿越的 3 栋房屋均为底层砌体剪力墙结构,上部为砌体结构,为 20 世纪 80 年代初建造,结构老旧,其一楼临街房存在拆改现象。2 栋住宅楼均为 5 层建筑,其基础形式为条形刚性扩展基础,基础埋深为 1.9 m;1 栋综合楼为 4 层建筑,其基础形式为条形钢筋混凝土扩展基础,基础埋深为 1.6 m。结构自身抗扰动性能较差。此外,由于底部商铺对墙体进行了改造,部分房屋外观存在明显的裂缝和歪斜现象,大大增加了地铁盾构穿越的安全性风险。地铁盾构隧道与房屋的位置关系示意图如图 1 所示。

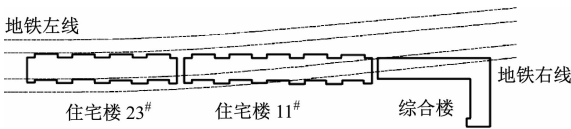


图 1 地铁盾构隧道与房屋的位置关系示意图

Fig. 1 Position relation diagram of metro shield tunnel and building

1.3 项目难点分析

1) 建筑为浅基础砌体结构房屋,对差异沉降的敏感性较大,地铁盾构下穿施工具有较大的安全性风险,对房屋结构差异沉降的合理控制具有较高的要求。

2) 房屋经过改造,拆除了部分结构横墙。尤其

对于综合楼而言,其承重横梁为简支梁,梁支座为砖砌体壁柱,部分壁柱和全部壁柱间窗下纵墙全部拆除改作临街商铺,进一步削弱了房屋结构抵抗变形的能力,建筑横向刚度和纵向刚度均极差。此外,拆改后的建筑存在外观歪斜、外墙出现裂缝等情况,受力情况非常复杂。

3) 房屋距离盾构始发井距离较近,且盾构直接下穿或侧穿既有建筑时,盾构隧道进出洞施工风险与掘进风险叠加,施工控制难度较大。

4) 地铁隧道主要位于杂填土和砂质粉土地层,该地层具有摇振反应迅速、干强度低、韧性低等特点,地基承载力差,抗干扰能力较弱。

2 数值计算

2.1 建筑物变形机理分析

地铁盾构下穿建筑物时,对建筑物产生变形影响的原因主要是由于盾构施工引起地层损失,对建筑物基础底部地层造成扰动,同时引起地层产生弹塑性变形,使得建筑物基础产生不均匀沉降,进而导致建筑物发生变形^[5]。本文对地基-条形基础-砌体结构进行简化,建筑物与地面沉降坐标系示意图如图 2 所示,建筑物简化模型计算示意图如图 3 所示。原点 O' 建在盾构开挖面的正上方地面处,地面沉降坐标系为 $s'(i)O'i$,盾构机掘进方向与 i 轴指

向一致, $s'(i)$ 为 i 点的地面变形量; 原点 O 建在建筑物左端地面处, 建筑物位移坐标系为 $s(x)Ox$, 建筑物的左端 O 点与 O' 点之间的水平距离为 l (开挖面未到达建筑物时 l 为正), 令建筑物长度为 1 , 建筑物某位置处的沉降为 $s(x)$, 其对应的地面变形为 $s'(i+x)$ 。

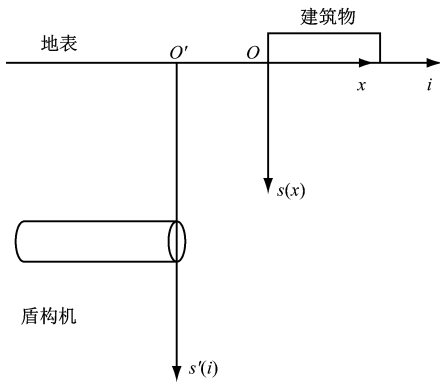


图2 建筑物与地面沉降坐标系示意图

Fig. 2 Diagram of building and land subsidence coordinate systems

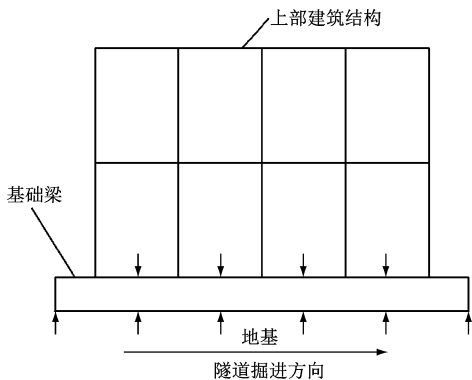


图3 建筑物简化模型计算示意图

Fig. 3 Calculation diagram of building simplified model

根据基础与上部结构的协调作用, 当盾构机离轴线横向的距离为 0 时 (盾构正下穿建筑物), 根据弹性地基上剪弯梁的挠度曲线方程, 可求得建筑物的沉降为:

$$EI \frac{d^4 s(x)}{dx^4} + ks(x) = q + \frac{kV_{\text{loss}}}{2\pi h} \left[1 - \frac{i+x+L}{\sqrt{(x+L)^2 + h^2}} \right] \quad (1)$$

$$V_{\text{loss}} = \pi R^2 \eta \quad (2)$$

式中:

E ——基础梁弹性模量, 单位 GPa;

I ——基础梁惯性矩, 单位 m^4 ;

k ——地基基床系数, 单位 kN/m^3 ;

q ——上部建筑物作用于地基的竖向荷载, 单位 kN/m^2 ;

V_{loss} ——地层损失体积, 单位 m^3/m ;

h ——隧道轴线埋深, 单位 m;

R ——盾构机开挖直径, 单位 m;

η ——土体损失率, 单位 %;

L ——盾构机长度, 单位 m。

根据下穿建筑物结构形式及现状, 取 $E = 30 \text{ GPa}$, $I = (0.853/12) \text{ m}^4$, $L = 6 \text{ m}$, $q = 400 \text{ kN}/\text{m}^2$, $R = 2.8 \text{ m}$, 代入式(1)一式(2)可得, 在盾构开挖面距离建筑物由 40 m 减小至 0 的过程中, 3 栋楼的最大沉降值为 12.3 mm, 最大差异沉降值为 10.0 mm。

2.2 地面沉降引起建筑变形影响因素分析

盾构掘进是一个动态开挖过程, 会引起一定范围内的土体损失, 盾构造成的地面沉降变形槽为三维沉降槽^[6]。这说明在盾构开挖面未到达建筑物地基时, 地面变形已对建筑物产生影响。根据 Peck 沉降曲线可知, 地面沉降量与开挖面的距离相关, 因此建筑物整体会产生不均匀沉降, 从而改变建筑物原有的支撑状态及外力条件, 最终导致建筑物变形破坏。一般外力条件主要分为以下几种: ① 盾尾间隙会导致地层应力释放, 引起地层发生弹塑性变形而产生沉降, 进而改变建筑物受力状态, 引起建筑物沉降变形; ② 盾构掘进会扰动原有土体的物理力学参数, 进而改变其受力特性, 导致土体再次发生沉降变形, 造成建筑物因不均匀沉降产生变形; ③ 盾构机开挖面出土率是控制地面变形的关键, 其决定了地层损失的大小及开挖面的平衡状态, 控制地面产生的竖向变形值, 进而影响建筑物变形。

2.3 建筑物的变形计算及控制标准

建筑物节点 (如地基梁) 变形会引起自身结构产生内力 (即节点变形会导致超静定结构产生内力, 如弯矩、剪力等), 在保证结构不破坏的前提下, 结构变形极值对应结构临界破坏内力值。为求得该临界值, 将砌体结构建筑物进行简化, 为便于计算, 取建筑物的一个开间进行力学模型等效, 最后简化为 3 次超静定框架结构, 并采用结构力学中的力法对结构内力进行计算。

由于简化后的建筑物结构力学模型结构对称、位移反对称, 取结构的一半进行计算。结构简化后的力学计算模型如图 4 所示。结构横杆长 L_1 取开间宽度, 为 3.30 m; 结构弹性模量取为 27.4 GPa; 竖杆长 L_2 取开间高度, 为 3.14 m; 横杆截面尺寸为

0.24 m(宽)×0.30 m(高),竖杆截面尺寸为0.24 m(宽)×0.24 m(长)。经计算可得,当结构A节点发生竖向位移时,各节点弯矩值均约为670 kNm,竖杆轴力约为406 kN。

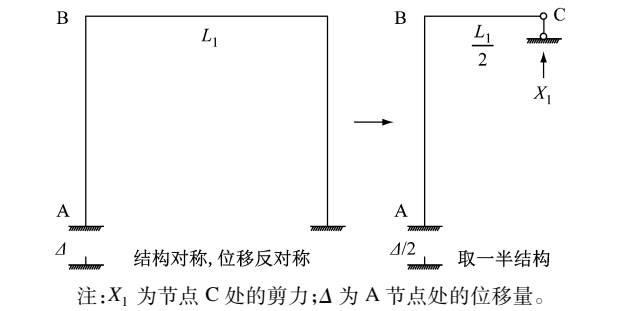


图4 结构简化后的力学计算模型

Fig. 4 Mechanical calculation model after structural simplification

为保证建筑物结构内力不超过其自身承载能力,在结构不发生破坏的前提下,根据结构极限承载力计算其不均匀沉降值。根据GB 50003—2011《砌体结构设计规范》可知,结构极限抗压强度取1.5 MPa。按照结构抗压强度反算建筑物节点(即地基梁)的沉降控制值,最终计算得出建筑物节点(即地基梁)结构的不均匀沉降值需要控制在5 mm范围内才能保证建筑物不发生破坏。

3 盾构下穿建筑物变形数值分析

3.1 下穿施工数值模型

3.1.1 计算模型参数

根据实际项目的地质详勘报告和工程条件建立数值模型。考虑模型边界效应的影响,模型 x 方向宽270 m, y 方向长100 m, z 方向高30 m。隧道及房屋主要结构参数如表2所示。盾构隧道管片采用板单元模拟,房屋基础采用实体单元模拟,房屋墙体采用板单元模拟,楼板采用板单元模拟,圈梁

表2 隧道及房屋主要结构参数

Tab.2 Main structural parameters of tunnel and building

名称	材料	重度/ (kN/m ³)	弹性模量/ GPa	结构尺寸/m
管片	C50 混凝土	25.0	34.5	0.35(厚度)
砌体墙	MU10 烧结砖	21.5	27.4	0.24(墙厚)
房屋基础	C30 混凝土	25.0	30.0	0.30(高度)
楼板	C30 混凝土	25.0	30.0	0.10(板厚)
圈梁	C30 混凝土	25.0	30.0	0.30×0.24(宽×高)

采用梁单元模拟。盾构下穿建筑物网格模型如图5所示。



图5 盾构下穿建筑物网格模型

Fig. 5 Mesh model of shield tunnel under-passing buildings

3.1.2 模型分析工况

本工程采用盾构施工,按环推进,按环拼装。若按照实际工序模拟计算,需建立360个分析步序,计算工作量大且难以实现。根据以往工程模拟经验,在充分考虑施工工序的情况下,将分析步进行简化。以盾构隧道每向前掘进20 m为1个施工工况,共设置28个施工工况,其中工况1—工况14为右线隧道掘进,工况15—工况20为左线隧道掘进,选取其中的关键工序进行分析。

3.2 计算结果统计

模拟盾构隧道施工下穿既有建筑物的施工工况,分别选择掘进面穿越相应建筑物时,建筑物的变形结果进行分析。

3.2.1 23[#]楼变形结果

根据隧道掘进过程,当掘进面穿越23[#]楼,右线隧道穿越时主要选取工况1~6进行研究,左线隧道穿越时主要选取工况15~20进行研究。当右线隧道穿越23[#]楼时,建筑物最大沉降值为12.57 mm,出现在工况5,最大差异沉降值为10.55 mm,出现在工况4;当左线隧道穿越23[#]楼时,建筑物最大沉降值为14.55 mm,最大差异沉降值为12.58 mm,均出现在工况15。3种工况下,盾构穿越23[#]楼的建筑物变形云图如图6所示。

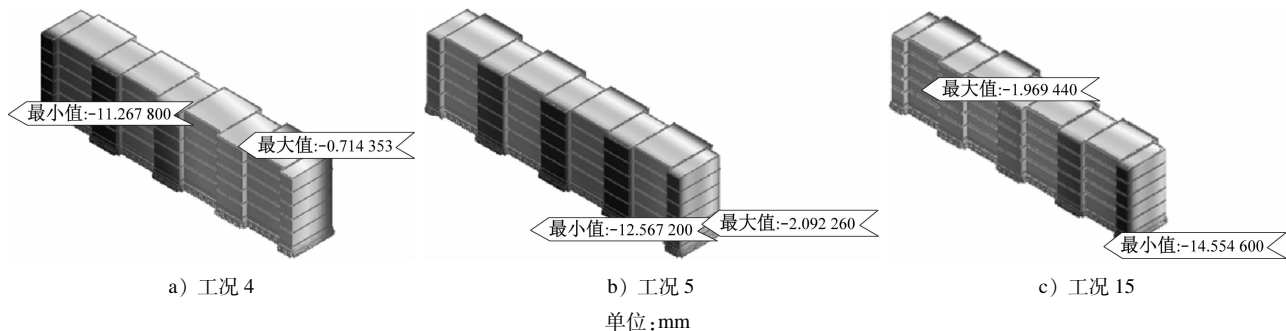


图 6 3 种工况下盾构穿越 23#楼建筑物变形云图

Fig. 6 Deformation nephogram of shield under-passing Building 23 under 3 working conditions

不同工况下,盾构穿越 23#楼的差异沉降值如图 7 所示。由图 7 可知:在右线掘进过程中,掘进面穿越 23#楼时,建筑物的差异沉降值急剧增大,在掘进面离开建筑物基础影响范围后保持稳定,最大差异沉降值为 12.57 mm;在左线掘进过程中,掘进面穿越 23#楼时,建筑物的差异沉降值逐渐减小,在掘进面离开建筑物基础影响范围后保持稳定,差异沉降稳定值约为 6.00 mm。

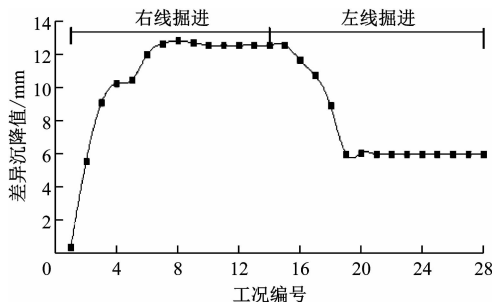


图 7 不同工况下盾构穿越 23#楼的差异沉降值

Fig. 7 Differentiation settlement values of shield under-passing Building 23 in different working conditions

异沉降值为 12.57 mm;在左线掘进过程中,掘进面穿越 23#楼时,建筑物的差异沉降值逐渐减小,在掘进面离开建筑物基础影响范围后保持稳定,差异沉降稳定值约为 6.00 mm。

3.2.2 11#楼变形结果

根据隧道掘进过程,当掘进面穿越 11#楼,右线隧道穿越时主要选取工况 6~11 进行研究,左线隧道穿越时主要选取工况 20~25 进行研究。当右线隧道穿越 11#楼时,建筑物最大沉降值为 13.65 mm,出现在工况 10,最大差异沉降值为 13.02 mm,出现在工况 8;当左线隧道穿越 11#楼时,建筑物最大沉降值为 13.35 mm,最大差异沉降值为 7.65 mm,出现在工况 20。3 种工况下,盾构穿越 11#楼的建筑物变形云图如图 8 所示。

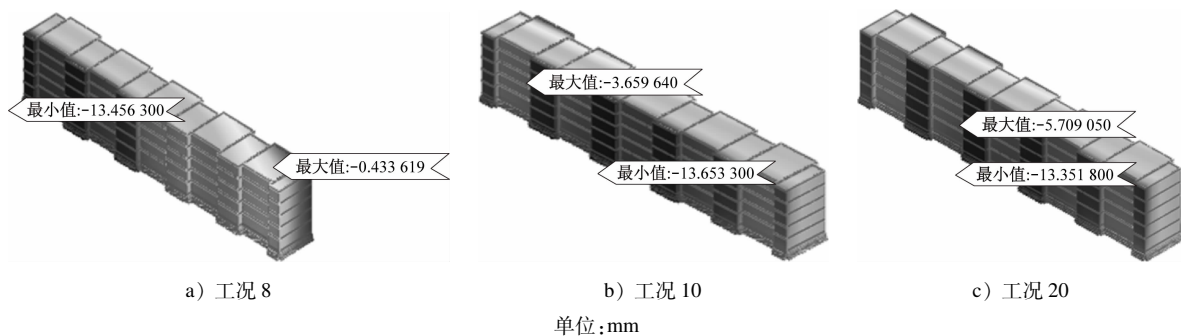


图 8 3 种工况下盾构穿越 11#楼建筑物变形云图

Fig. 8 Deformation nephogram of shield under-passing Building 11 under 3 working conditions

不同工况下,盾构穿越 11#楼的差异沉降值如图 9 所示。由图 9 可知:在右线掘进过程中,掘进面穿越 11#楼时,建筑物的差异沉降值急剧增大,在掘进面离开建筑物基础影响范围后保持稳定,最大差异沉降值为 13.65 mm;在左线掘进过程中,掘进面穿越 11#楼时,建筑物的差异沉降值逐渐减小,在掘进面离开建筑物基础影响范围后保持稳定,差异沉降稳定值约为 7.64 mm。此外,曲线在工况 8 时出

现突变,差异沉降值减小,这是由于盾构掘进方向在此处转弯,盾构隧道轴线与建筑物走向中线水平距离减小,导致建筑物轴线两侧的基础差异沉降也同步减小。

3.2.3 综合楼变形结果

根据隧道掘进过程,当掘进面穿越综合楼,右线隧道穿越时主要选取工况 9~14 进行研究,左线隧道穿越时主要选取工况 23~28 进行研究。当右

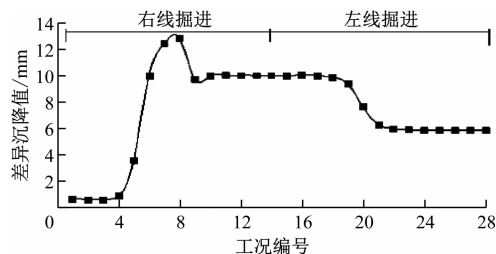


图9 不同工况下盾构穿越11#楼的差异沉降值

Fig. 9 Differentiation settlement values of shield under-passing Building 11 under different working conditions

线隧道穿越综合楼时,建筑物最大沉降值为 10.73 mm,最大差异沉降值为 10.80 mm,均出现在工况 12;当左线隧道穿越综合楼时,建筑物最大沉降值为 10.60 mm,最大差异沉降值为 10.76 mm,均出现在工况 23。2 种工况下,盾构穿越综合楼建筑物变形云图如图 10 所示。

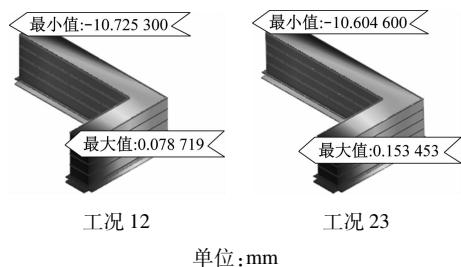


图 10 2 种工况下盾构穿越综合楼建筑物变形云图

Fig. 10 Deformation nephogram of shield under-passing complex building under 2 working conditions

不同工况下,盾构穿越综合楼的差异沉降值如图 11 所示。由图 11 可知:在右线掘进过程中,掘进面穿越综合楼时,建筑物的差异沉降值急剧增大,在掘进面离开建筑物基础影响范围后保持稳定,最大差异沉降值为 10.80 mm;在左线掘进过程中,建筑物的差异沉降值基本不变,维持在 10.20 mm 左右,这是由于综合楼南端与左线隧道间距为 50 m,

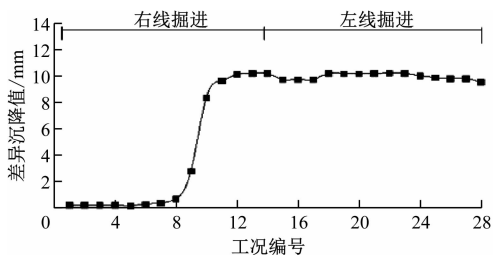


图 11 不同工况下盾构穿越综合楼的差异沉降值

Fig. 11 Differentiation settlement values of shield under-passing complex building under different working conditions

盾构隧道在基础影响范围之外,基本不受盾构掘进过程的扰动。

3.3 结果分析

通过对各工况的数值模拟可以看出:隧道掘进面距建筑物基础距离大于 10 m 时,隧道掘进对建筑物基础基本无影响;随着隧道掘进面的推进,建筑物的沉降逐渐增大,然后随着隧道掘进面的远离,建筑物沉降逐渐趋于稳定。

根据 GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》规定,基底下的应力扩散角一般取 22° ,当土层为密实性的粗砂、中砂及硬塑状态的黏土时,应力扩散角取 30° 。根据本区间的地质资料,区间下穿房屋段,建筑物基底所在土层为②-31 砂质粉土层,盾构所在土层为②-32 黏质粉土层。两层土体的压缩模量比小于 3,基底距离隧道底部的覆土厚度与建筑物基础宽度的比值大于 0.5,扩散角度为 23° ,则经过计算可得,建筑物基础的扩散影响半径为 5.6 m。当盾构隧道区间距离建筑物 5.6 m 时,开始进入建筑物的基础易扰动影响范围区域。建筑物两侧约 1 倍洞径范围内均为基础扰动敏感区域。

根据 GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》,砌体承重结构的基础局部倾斜率为 0.002,即砌体承重结构建筑物横墙沉降差与横墙间距的比值。对于本工程,横墙间距的最小值为 3 300 mm,即允许的差异沉降限值应为 6.60 mm,小于数值计算得到的最大差异沉降值,不能满足规范规定的沉降差要求,同时也不满足建筑房屋沉降控制标准 5.00 mm 的要求。由于建筑物年代久远且建筑结构老化,在使用期间拆改现象较严重,其整体抗变形能力较差,盾构下穿具有较大的风险,因此在下穿过程中需采取相应的施工措施、地层加固措施和建筑物加固措施,以保证既有建筑物的安全。

4 盾构下穿复杂建筑物地面变形控制措施

4.1 监控量测

在盾构下穿期间,通过自动化、数字化的监测手段,对建筑物进行 24 h 不间断监测,数据通过平台实时计算,保证盾构在穿越建筑物期间监测数据反馈的及时性和准确性。该工程自动化监测周期为 6 个月,人工监测周期为 8 个月。为提高监测数据的准确性,应定期对自动化监测数据与人工监测数据进行对比分析,当数据出现异常时,应采取措施及时进行复测和校核,以确保监测数据的准确性。

4.2 施工及加固措施

砌体房屋基础的不均匀沉降是砌体房屋产生裂缝的最主要原因,施工过程中需尽可能减小地面沉降。为了控制沉降,主要的施工控制措施有:

1) 调整施工顺序。右线区间掘进 100 m 后,左线再进行始发,避免盾构掘进对建筑物产生连续扰动,以减小建筑物基础的差异沉降。

2) 盾构参数控制。通过试掘进调整和优化推进压力、出土量和掘进速度等施工参数,配合监测信息,严格控制地层扰动。

3) 注浆加固。盾构掘进过程中,利用盾体预留的径向注浆孔在盾构壳体外同步进行克泥效注浆,达到填充和止水的目的。若监测数据表明地面沉降仍较大,则进行二次注浆,填充隧道壁后的建筑空隙。

4) 防止漏浆。盾构推进过程中的盾构姿态不良易造成盾尾处漏浆,引起地面沉降。因此在盾构下穿建筑物期间,确保盾构推进轴线与设计轴线相吻合,盾尾四周间隙均匀,避免蛇形及俯仰;通过加大盾尾油脂压注量来防止浆液通过盾尾流失;采用性能较好的盾尾油脂。

5) 房屋加固。一层壁柱采用混凝土围套加固;二层梁格构式钢梁加固。在永久加固施工完成前,为保障加固过程中及后续盾构掘进时楼体的稳定性,需在各圈梁下部增加临时支撑。

4.3 沉降检测数据与计算结果对比

历时约 75 d,该区间实现了双线贯通,在此期间共开展了 45 次监测工作。沿隧道掘进方向布置 30 个监测点,监测点间距为 5 m。建筑物差异沉降变化曲线如图 12 所示。由图 12 可知:① 在盾构下穿 23[#]楼期间,对 23[#]楼的沉降影响较大,最大差异沉降值为 5.80 mm(控制值为 5.00 mm)。在盾构侧穿 23[#]楼期间,23[#]楼的差异沉降逐渐减小,在侧穿隧道掘进面离开 23[#]楼基础影响范围后,差异沉降稳定值约为 1.80 mm。② 在盾构下穿 11[#]楼期间,对 11[#]楼的沉降影响较大,11[#]楼最大差异沉降值为 5.30 mm(控制值为 5.00 mm)。在盾构隧道侧穿 11[#]楼期间,11[#]楼的差异沉降逐渐减小,在侧穿隧道掘进面脱离 11[#]楼基础影响范围后,其差异沉降稳定值约为 2.30 mm。③ 在盾构下穿综合楼期间,最大差异沉降值为 5.50 mm(控制值为 5.00 mm)。在盾构侧穿综合楼期间,盾构施工对综合楼影响较小,最大差异沉降值为 5.30 mm。结合工况和监测数据

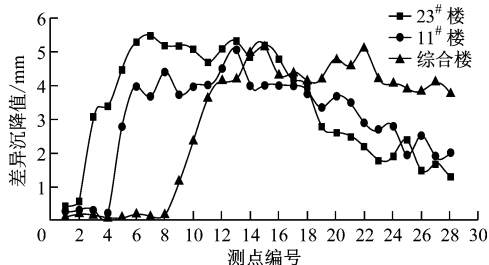


图 12 建筑物差异沉降变化曲线

Fig. 12 Change curve of building differentiation settlement

分析可得,在盾构下穿及侧穿建筑物期间,由于下穿影响,建筑物的差异沉降值急剧增大;由于侧穿隧道距综合楼较远,侧穿对综合楼的影响较小,差异沉降稳定值约为 4.00 mm。

由监测结果可以看出,建筑物差异沉降逐渐趋于稳定,部分测点达到数据预警状态。但总体来看,建筑物差异沉降值基本位于控制值范围内。与计算模拟结果对比可以发现,采取加固措施后的监测结果明显低于采取措施前的计算结果,保证了盾构下穿施工期间建筑物的安全,验证了施工中所采取的加固措施的有效性。

5 结语

本文以郑州地铁 5 号线盾构下穿复杂建筑物为例进行分析研究。该工程项目的盾构下穿施工存在地层敏感度高、建筑物拆改严重、结构稳定性差及存在安全隐患等问题。本文在对建筑物结构受力分析和计算的基础上,进一步计算了盾构施工可能引起的建筑物沉降值,提出差异沉降控制限制。对比理论计算结果与数值分析结果发现,有必要对房屋采取加固措施。通过施工过程中建筑物受力的仿真分析,研究了建筑物在施工过程中的受力状态,并设计了针对性的加固措施。加固后,建筑物的差异沉降基本满足控制限值要求,验证了施工中所采取的加固措施的有效性。

参考文献

- [1] 张亚洲,王善高,闵凡路.大直径泥水盾构下穿民房建筑群沉降分析及控制[J].防灾减灾工程学报,2016,36(6):959. ZHANG Yazhou, WANG Shan' gao, MIN Fanlu. Analysis and control of ground settlement caused by slurry shield tunneling crossing buildings in the Weisanlu Yangtze River tunnel[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2016, 36(6): 959.

(下转第 73 页)

差、防水橡胶老化等现象,这是防水中的重点和难点。本工程采用了预埋导管,可对后期发生渗漏的部位(施工缝、逆作接头等)进行注浆。混凝土强度达到设计要求后,如需进行注浆封堵即可利用引出的注浆导管进行注浆。如需进行二次注浆或多次注浆,应在每次注浆结束后采用专用抽浆机将注浆管内剩余的浆液抽出,防止浆液堵塞注浆管。

4 防水实施效果

结合朝阳村站盖挖逆作法施工的实际情况,针对地铁车站叠合墙结构防水难的问题,建立了5道防水屏障,层层设防,形成了叠合墙多道综合防水体系。每道防线都能在适当的时机发挥作用,极大地增加了防水安全系数,保障了防水效果。朝阳村站主体结构刚施作完成时,没有发生任何渗漏水现象,施工效果良好。截至2022年年底,朝阳村站主体结构已施工完成3年有余,没有发生渗漏水现象,多道综合防水体系展现出了优异的防水效果。

5 结语

结合地铁车站叠合墙施工过程及其渗漏水原因,建立了“围护结构-防水涂料-结构渗漏点预处理-侧墙-预埋导管”多道防水体系,提出了“质量把关,层层设防”的设计理念,并针对每一道防线提出关键技术措施,保证其防水质量。朝阳村站工程施工中采用了多道综合防水体系,使用3年来未发生渗漏水现象,达到了预期防水效果。

(上接第68页)

- [2] 张斌,王瑞,汪优. 南通地铁盾构下穿既有建筑诱发基础沉降分析[J]. 土木与环境工程学报(中英文), 2023, 45(3): 24.
ZHANG Bin, WANG Rui, WANG You. Analysis of foundation settlement induced by shield construction of Nantong Metro underpassing existing buildings[J]. Journal of Civil and Environmental Engineering, 2023, 45(3): 24.
- [3] 范培. 盾构隧道近距离侧穿砌体结构建筑物施工技术[J]. 施工技术, 2019, 48(11): 111.
FAN Pei. Construction technology of shield tunnel side-crossing masonry structural buildings at close distance[J]. Construction Technology, 2019, 48(11): 111.
- [4] 李梓亮,汤劲松,赵书银,等. 盾构隧道下穿砌体结构住宅群的施工技术[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(6): 115.
LI Ziliang, TANG Jinsong, ZHAO Shuyin, et al. Construction

参考文献

- [1] 谢申举,王栋旭,郑立志. 地铁车站叠合墙裂缝生成机理与控制要点[J]. 建筑技术, 2018, 49(11): 1174.
XIE Shenju, WANG Dongxu, ZHENG Lizhi. Crack generation mechanism and key control points for subway station superimposed wall[J]. Architecture Technology, 2018, 49(11): 1174.
- [2] 何文超,文钦佩. 基于车站渗漏的叠合墙的防水施工分析[J]. 世界轨道交通, 2016(10): 65.
HE Wenchao, WEN Qinpei. Analysis of waterproof construction based on leaky superimposed wall in station[J]. World Railway, 2016(10): 65.
- [3] 郑园园. 地下室逆作法柱身后浇捣预压施工工艺[J]. 施工技术, 2019, 48(3): 91.
ZHENG Yuanyuan. Construction technology concrete second pouring and prepressing of column of basement reverse method[J]. Construction Technology, 2019, 48(3): 91.
- [4] 胡国良,许晓峰,钱政华. 地下室渗漏调查原因分析及防治[J]. 工程质量, 2017, 35(8): 46.
HU Guoliang, XU Xiaofeng, QIAN Zhenghua. Investigation and analysis of basement leakage[J]. Construction Quality, 2017, 35(8): 46.
- [5] 丰宗明. 盖挖逆作法车站单侧模板支架施工侧墙量缺陷原因分析及防治[J]. 国防交通工程与技术, 2016, 14(2): 46.
FENG Zongming. An analysis of the causes for quality defects of the side wall built with single-sided form-scaffolding by the sequence-inverted covering-digging approach and the treatment of them[J]. Traffic Engineering and Technology for National Defense, 2016, 14(2): 46.

(收稿日期:2022-04-25)

technology of shield tunnel undercrossing masonry structure residential group[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(6): 115.

- [5] 丁智,张霄,顾晓卫,等. 双线平行盾构掘进对邻近浅基础建筑物影响理论分析[J]. 隧道建设, 2017, 37(4): 442.
DING Zhi, ZHANG Xiao, GU Xiaowei, et al. Theoretical study of influence of double-line parallel shield tunneling on adjacent frame building with shallow foundation[J]. Tunnel Construction, 2017, 37(4): 442.
- [6] 魏纲,庞思远. 双线平行盾构隧道施工引起的三维土体变形研究[J]. 岩土力学, 2014, 35(9): 2562.
WEI Gang, PANG Siyuan. Study of three-dimensional soil deformation caused by double-line parallel shield tunnel construction[J]. Rock and Soil Mechanics, 2014, 35(9): 2562.

(收稿日期:2022-06-14)