

# 深大基坑近临既有酒店高层建筑施工扰动分析

罗贤民<sup>1</sup> 蒙 强<sup>1</sup> 徐前卫<sup>2</sup> 崔越榜<sup>2</sup>

(1. 广西南宁机场综合交通枢纽建设有限公司, 530048, 南宁;

2. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 201804, 上海//第一作者, 高级工程师)

**摘 要** 为研究深大基坑施工近临既有建筑结构的扰动效应, 以某综合枢纽深大基坑工程为例, 采用数值仿真和实测分析相结合的方法, 研究了桩锚支护体系基坑开挖引起的周边环境扰动问题, 分析了基坑桩锚结构、近临机场酒店结构及场区地层的受力特性和变形特征。研究结果表明: ①地层最大剪应力区与塑性区分布一致, 较大剪应力区较易引发土体的剪切破坏, 在变形中存在不可逆的塑性变形。②机场酒店靠近基坑一侧的沉降程度大于其远离基坑一侧的沉降程度, 且随着基坑开挖的进程, 这种差距进一步加大; 酒店结构倾斜率符合规范的安全要求。③在基坑开挖过程中, 靠近机场酒店的基坑围护结构发生上浮并发生向坑内的变形。

**关键词** 深大基坑; 酒店高层建筑; 施工扰动

**中图分类号** TU433

**DOI:** 10.16037/j.1007-869x.2023.05.025

## Construction Disturbance Analysis of Deep and Large Foundation Pit Adjacent to Existing Hotel High-rise Building

LUO Xianmin, MENG Qiang, XU Qianwei, CUI Yuebang

**Abstract** To study the disturbance influence on adjacent existing building structure caused by deep and large foundation pit construction, taking the deep and large foundation pit engineering of a comprehensive hub as example, the disturbance on surrounding environment caused by foundation pit excavation with pile-anchor support system is studied by combined means of numerical simulation and field measurement analysis. The force and deformation characteristics of the foundation pit pile-anchor structure, the nearby airport hotel structure and site stratum are analyzed. Research results show that: (1) the distribution of stratum maximum shear stress zone is consistent with the plastic zone, larger shear stress is prone to cause shear failure of soil with irreversible plastic deformation in this change; (2) settlement of the airport hotel on the side near the foundation pit is greater than on the far away side, and this gap widens as the foundation pit continues to excavate; and the inclination of the hotel structure meets the safety requirements in spec-

ification; (3) during foundation pit excavation, the foundation pit retaining structure near the airport hotel heaves and distorts inwardly.

**Key words** deep and large foundation pit; hotel high-rise building; construction disturbance

**First-author's address** Guangxi Nanning Airport Comprehensive Transportation Hub Construction Co., Ltd., Nanning, 530048, Nanning, China

基坑施工区域地层和近临既有结构之间存在较大的扰动和影响, 应采取适当的施工工法和实时现场监测以保证基坑和建筑结构的施工安全。针对基坑施工引起的周边建筑结构扰动响应问题已有相关研究。文献[1]利用有限元软件和监测手段分析了基坑施工对砌体房屋结构的扰动效应。文献[2]通过三维数值模拟和现场实测相结合的方法, 研究了地下基坑开挖对自身支护结构与地上邻近建筑的影响。文献[3]采用不同加固方案分析基坑对周边建筑的扰动影响。

上述文献大多研究关于基坑邻近既有结构施工的问题, 然而关于大型桩锚支护结构基坑大面积开挖对近临既有结构的施工扰动问题研究较少。基于此, 本文以某综合交通枢纽深大基坑工程为例, 针对深大基坑大面积开挖对近临既有结构的施工扰动效应问题, 通过三维数值仿真和现场监测相结合的方法, 研究桩锚支护结构基坑大面积开挖对周边环境和既有结构的施工力学响应, 并结合现场实测数据加以比较分析。本研究可为深大基坑施工对近临既有建筑扰动分析提供研究思路。

## 1 工程概况

### 1.1 工程简介

枢纽基坑场区占地面积大、范围广, 基坑深度深, 北部基坑为地下一层结构, 南部基坑为地下二层结构, 换乘站厅位于地下一层, 地铁站和国铁站



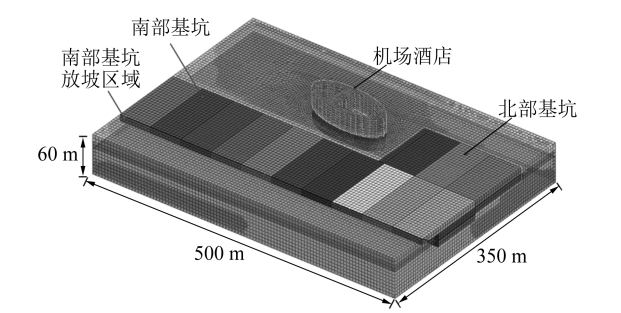


图3 三维有限元计算模型示意图

Fig. 3 Diagram of 3D finite element calculation model

表2 模型结构和构件单元的计算参数

Tab. 2 Calculation parameters of model structure and component unit

名称	单元	材料	重度/(kN/m <sup>3</sup> )	弹性模量/GPa	泊松比
钻孔灌注桩墙	二维板	C30 钢筋混凝土	24.0	30.0	0.20
钢绞线	一维植入式桁架	钢绞线	78.5	195.0	0.25
机场酒店梁板	二维板	C35 钢筋无重力混凝土	0	31.5	0.20
机场酒店柱	一维梁	C35 钢筋无重力混凝土	0	31.5	0.20
机场酒店桩	三维实体	CFG	24.0	22.0	0.20

3 基坑开挖施工力学响应

3.1 基坑开挖施工

场区大面积开挖顺序为:首先由东向西开挖南部基坑和北部基坑的地下一层土体,其次由东向西开挖南部基坑的地下二层土体。

3.2 开挖引起的基坑与地层扰动分析

3.2.1 地层扰动分析

基坑土体开挖完成后的土体竖向变形云图如图4所示。由图4a)可知:在基坑地下一层土体开

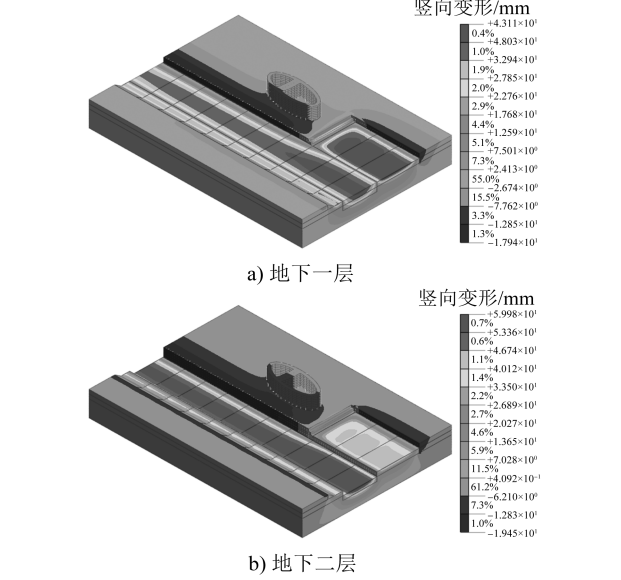


图4 基坑土体开挖完成后的土体竖向变形云图

Fig. 4 Nephogram of soil vertical deformation after foundation pit soil excavation

子本构屈服面。该屈服条件考虑了土体的硬化特性,适用于基坑工程。南侧土钉墙支护作用在数值模拟中可等效为对其所在地层的加固作用,其中加固参数可按土体物理和力学参数的1.1倍选取。在分析初始应力场和施作围护桩两个施工步之间进行位移清零。模型边界条件为在模型侧面和底面设置法向位移约束边界,模型顶部边界为自由表面。模型计算中施加自重荷载,并按照GB 50009—2012《建筑结构荷载规范》施加相应的等效荷载作用。

挖完成后,由于开挖应力有所释放,坑底最大隆起值为43.1 mm,主要集中在北部基坑和南部基坑底部的中间区域;南部基坑内靠近围护桩墙区域的地面沉降量约为7.8 mm。由图4b)可知:在基坑所有土体开挖完成后,坑底最大隆起值为60.0 mm,周边最大地面沉降量为19.5 mm;酒店周边地面沉降量为3.0~14.0 mm。

3.2.2 土体最大剪应力

基坑土体开挖完成后的地层最大剪应力云图如图5所示。由图5a)可知,南部基坑坑底踢脚处

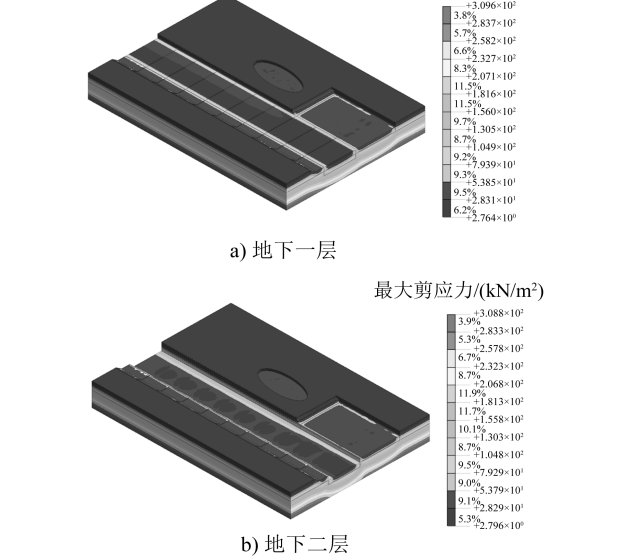


图5 基坑土体开挖完成后的地层最大剪应力云图

Fig. 5 Nephogram of stratum maximum shear stress after foundation pit soil excavation

出现较小区域应力集中情况,南部基坑南侧放坡区域、北部基坑西侧放坡区域有小范围的应力集中情况。由图 5 b)可知,南部基坑坑底踢脚处土体剪应力分布明显,最大剪应力值为  $0.181\text{ N/mm}^2$ 。

3.2.3 坑外塑性区分布

地下二层土体开挖完成后的坑内土体塑性区分布图如图 6 所示。塑性变形分布区域主要在南部基坑靠近机场酒店的围护结构附近,这主要是由于应力集中和土体剪应力加剧导致围护结构变形有所加剧。塑性变形规律与基坑内外地层最大剪应力的分布规律一致,说明较大剪应力集中区域易于引发土体的剪切破坏,在变形中存在较大不可逆的塑性变形形态。

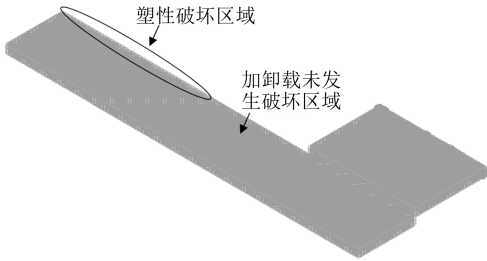


图 6 地下二层土体开挖完成后的坑内土体塑性区分布图  
Fig. 6 Distribution diagram of soil plastic zone in the pit after excavation of the second soil layer underground

3.3 基坑结构影响分析

3.3.1 围护结构竖向变形

地下二层土体开挖完成后的围护结构竖向变形云图如图 7 所示。由图 7 可知,基坑土体开挖完成后,南部基坑围护结构的北侧竖向沉降最大值为  $14.4\text{ mm}$ ,南侧竖向隆起最大值为  $22.5\text{ mm}$ 。这主要是由于南部基坑(尤其在南侧放坡区地层)大面积卸土引起的地层应力释放导致的。

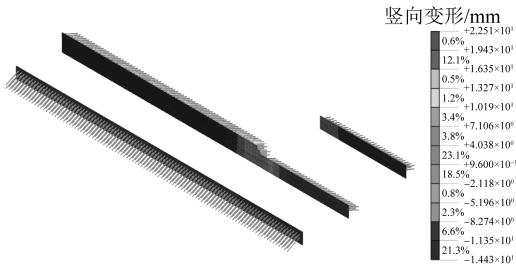


图 7 地下二层土体开挖完成后的围护结构竖向变形云图  
Fig. 7 Nephogram of retaining structure vertical deformation after excavation of the second soil layer underground

3.3.2 锚索力学特性

地下二层土体开挖完成后的锚索轴力分布云

图如图 8 所示。在计算模型中,基坑桩锚支护结构建模时对锚杆进行等效处理,水平向锚杆间距为  $5.0\text{ m}$ ,竖向等间距布置 5 根锚索。实际工程中,水平向锚杆间距为  $1.5\text{ m}$ ,竖向布置 7 根锚索。经过换算得到计算模型等效布置的锚杆约为实际工程的 4.7 根锚索。基坑土体开挖完成后,锚索最大轴向拉力约为  $444.5\text{ kN}$ ,主要分布在南部基坑靠近酒店北侧中间区域,轴力满足预应力锚索设计要求。

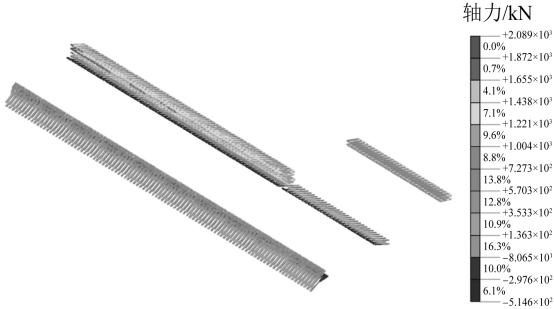


图 8 地下二层土体开挖完成后的锚索轴力分布云图  
Fig. 8 Nephogram of anchor cable axial force distribution after excavation of the second soil layer underground

3.4 机场酒店影响分析

3.4.1 酒店结构竖向变形情况

地下二层土体开挖完成后的机场酒店竖向变形云图如图 9 所示。由图 9 可知,在基坑整体开挖完成后,由于地层卸载较大,机场酒店结构南部近端最大沉降值为  $10.7\text{ mm}$ ,北部远端最大沉降值为  $3.8\text{ mm}$ ,机场酒店总体发生竖向沉降,但靠近基坑一侧的局部沉降变形程度大于远离基坑一侧的沉降变形程度。

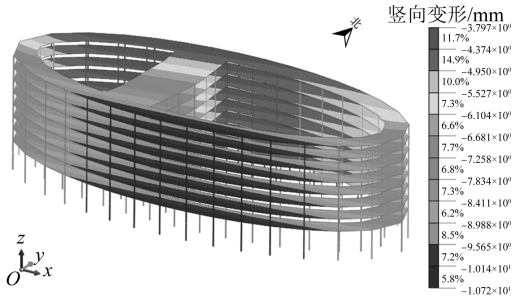


图 9 地下二层土体开挖完成后的机场酒店竖向变形云图  
Fig. 9 Nephogram of airport hotel vertical deformation after excavation of the second soil layer underground

3.4.2 酒店结构倾斜情况

地下二层土体开挖完成后的机场酒店整体竖向变形云图如图 10 所示。由图 10 可知,根据位移矢量可以发现,在基坑开挖完成后,整个酒店结构

表现出沿着 y 轴负方向斜向下倾斜,即向基坑内倾斜,上部结构顶层最大竖向变形为 18.8 mm,下部远离基坑的酒店局部结构最小竖向变形为 10.6 mm,计算获得的结构物倾斜率为 0.000 6,符合 GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》规范要求。

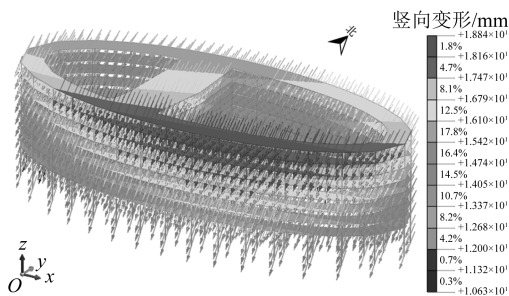


图 10 地下二层土体开挖完成后的机场酒店整体竖向变形云图

Fig. 10 Nephogram of airport hotel overall vertical deformation after excavation of the second soil layer underground

### 3.4.3 酒店结构沉降变形情况

基坑开挖引起的机场酒店周边地面沉降变化示意图如图 11 所示。由图 11 可知:随着基坑开挖进程,酒店周边地面沉降逐渐加大;酒店结构南部、东部局部沉降量大于酒店结构北部、西部的局部沉降量,说明南部基坑开挖对靠近基坑一侧的酒店附近沉降扰动影响较大,沉降量主要为 8.0~10.0 mm。

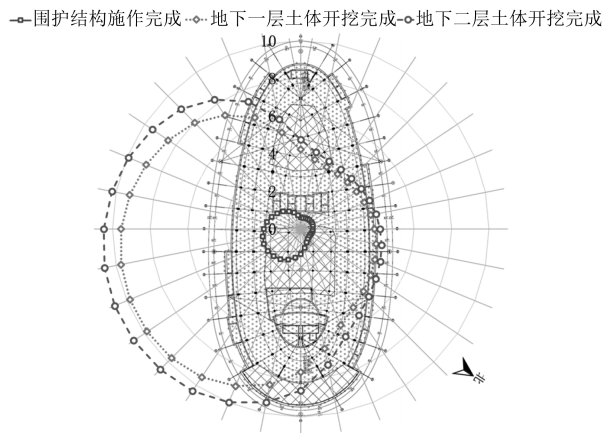


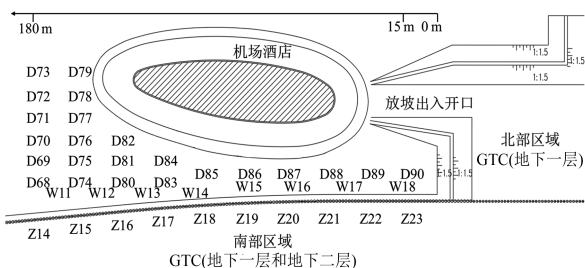
图 11 基坑开挖引起的机场酒店周边地面沉降变化示意图  
Fig. 11 Evolution diagram of airport hotel surrounding land subsidence caused by foundation pit excavation

## 4 监测数据分析

#### 4.1 监测布置方案

根据基坑施工过程中对周边环境的影响和有

效监测数据,选取 2021 年 3 月 28 日围护结构及土石方工程的监测数据,当日的施工进度为:A1、A2 区地下二层及底板施工;A3 区底板施工;A4 区出土、锚索施工;A5 区底板施工。根据施工进度可知,基本上所研究的场区内南部、北部基坑开挖已完成。监测点布置示意图如图 12 所示。



注: D 为地面测点; W 为水位测点; Z 为桩体测点。

图 12 监测点布置示意图

Fig. 12 Layout diagram of monitoring points

## 4.2 横截面数据法

酒店西侧区域实测地面竖向变形曲线如图 13 所示。由图 13 可知:在酒店西侧 30 m 范围内,由北向南、逐渐靠近基坑围护桩方向,其地面竖向变形实测值逐渐增大,变形量在 10 mm 范围内;在酒店西侧 50 m 范围内,由北向南、逐渐靠近基坑围护桩方向,其地面竖向变形先逐渐增大后逐渐恢复,总体呈现沉降趋势。综上所述,酒店西侧的地面竖向变形总体呈现出沉降趋势,沉降量约为 4.0 mm,这与数值模拟获得的沉降值相吻合。

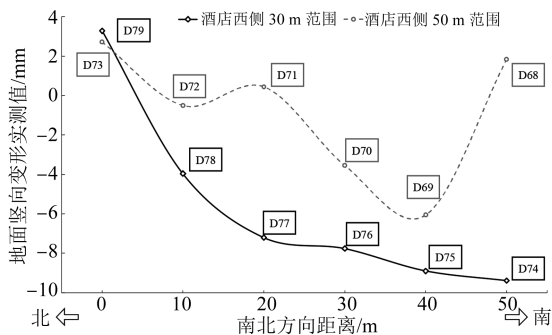


图 13 酒店西侧区域实测地面竖向变形曲线

Fig. 13 Curve of field measured ground vertical deformation in hotel west side area

南部基坑围护桩墙顶水平和竖向变形曲线如图 14 所示。由图 14 可知:围护桩墙顶水平变形为 14.0~17.0 mm,具有向坑内变形的趋势;Z19 和 Z20 测点附近的围护桩墙顶水平变形较大,约为 16.5 mm,竖向变形较小,约为 4.0 mm。经过分析可

知,这两点恰巧在酒店距离南部基坑最近的两处位置,因此既有酒店结构会加剧基坑围护桩墙向上和向坑内的变形。

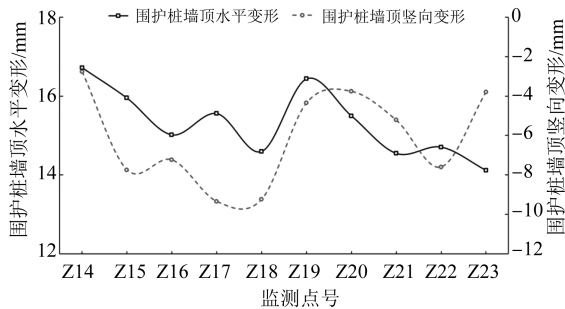


图 14 南部基坑围护桩墙顶水平和竖向变形曲线  
Fig. 14 Horizontal and vertical deformation curves of retaining pile wall top in the southern foundation pit

4.3 时间序列数据法

统计 2020 年 6 月 28 日—2020 年 9 月 28 日(共 3 个月)的南部基坑北侧的地面沉降情况,如图 15 所示。由图 15 可知,D80 测点是受沉降突变最为显著且最先开始的测点,D80 测点附近的降水测点为 W13。根据施工日志,该测点恰为沿线大范围降水点,可见降水将会引发沿线地面沉降。据 D80 测点的监测数据显示,在 2020 年 8 月 8 日,地面开始沉降,沉降量为 6.5 mm,此后在 2020 年 8 月 18 日,地面沉降加剧,沉降量为 11.0 mm,后续稳定在 18.0 mm 左右。由此推断,短期大范围降水引发地层发生了约 11.5 mm 的较大沉降,并因此形成早期施工沉降,在后续施工过程中,地面沉降缓慢增加,直至 2021 年 3 月 28 日,地面累计沉降量约为 23.0 mm,这与数值模拟得到的结果相匹配,数值模

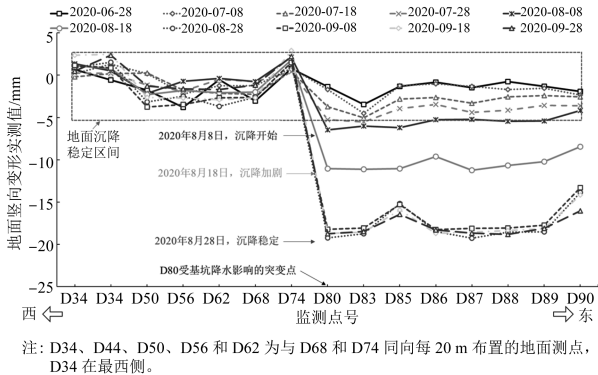


图 15 监测期内南部基坑北侧地面沉降曲线  
Fig. 15 Land subsidence curve on the north side of the southern foundation pit in different monitoring periods

拟在不考虑降水情况下的地面沉降区间为 8.0~16.0 mm。

2020 年 6 月 28 日—2020 年 9 月 28 日(共 3 个月)的南部基坑北侧降水变化曲线如图 16 所示。由图 16 可知,W10—W11 是局部降水水位最高的区域,西侧 W9 降水点局部水位较低,对整体地面沉降影响不显著,而 W13 降水点及其东侧出现了大范围整体降水,由此产生的影响为地面沉降加剧。

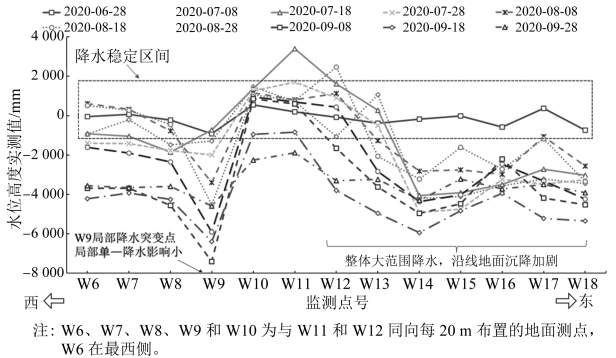


图 16 监测期内南部基坑北侧降水变化曲线  
Fig. 16 Precipitation variation curve on the north side of the southern foundation pit in different monitoring periods

5 结语

以某综合交通枢纽大型基坑开挖工程为例,采用有限元分析和监测数据分析相结合的方法研究了深大基坑开挖对近临机场酒店的施工力学扰动影响,分析了基坑周边地层、基坑桩锚支护体系及机场酒店的受力特性与变形特征。主要获得以下结论:

- 1) 地层最大剪应力区与塑性区分布一致,较大剪应力区易引发土体的剪切破坏,在变形中存在不可逆的塑性变形。
- 2) 机场酒店南部、东部局部沉降变形大于酒店结构北部、西部局部沉降变形,在靠近基坑一侧局部沉降变形程度大于远离基坑一侧,且随着基坑的开挖,这种差距会进一步加剧。酒店结构的倾斜率影响较小,在规范要求的安全范围内。
- 3) 南部基坑桩锚支护结构北侧的最大沉降值小于南侧的最大沉降值;锚索最大轴拉应力主要分布在南部基坑靠近酒店附近北侧中间区域的锚索上,轴力受力满足设计要求。
- 4) 酒店周边地面总体呈现沉降趋势。东西方向上,越靠近东南侧基坑放坡开挖部位,地面变形

表 4 两种工况下的可靠性指标

Tab. 4 Reliability index under two working conditions

统计特征	可靠度指标	失效概率
无隔离桩	0.776 9	0.218 4
有隔离桩	3.719 0	0.000 1

4 结语

本文结合 FLAC3D 有限差分软件进行数值模拟分析,从确定性和可靠度分析的角度评估了隔离桩对盾构隧道侧穿邻近建筑物基础沉降控制的有效性。主要获得以下结论:

1) 隔离桩作为一种常用的保护措施,能够有效限制施工造成的土体变形发展,且离隔离桩越近的建筑物基础,其加固效果越好。基于确定性分析结果,设置隔离桩可以使建筑物基础的最大竖向位移减小 72%。

2) 考虑黏聚力和内摩擦角参数的不确定性,对隔离桩的加固效果进行了模拟评估。在无隔离桩工况下,建筑物基础的最大竖向位移为 8~12 mm,且大部分超过了允许值(10 mm);设置隔离桩后,该数值范围为 2~4 mm。设置隔离桩的加固效果体现在两方面,即降低基础沉降值和减小计算结果的不确定性。

3) 隔离桩控制措施能有效提高建筑物基础结构的可靠度,降低基础结构的失效概率,其降幅可高达 99.95%。

4) 确定性方法与可靠度方法的分析结果均表明,隔离桩在盾构隧道开挖工程中对于降低邻近建

(上接第 133 页)

越大,这主要是由于酒店东侧放坡开挖卸土导致了坑外地面出现较大的沉降。南北方向上,围护桩墙与酒店之间的区域地面变形较大。在基坑开挖完成后,与酒店距离较近的南部基坑围护桩墙发生上浮并向坑内变形。

5) 酒店东南侧的大变形与短期大范围降水有关,地下水位降低会导致相应的地层发生沉降,由此产生的沉降是施工早期沉降,在后续施工过程中,地面沉降缓慢增加。

参考文献

[1] 蒋宏鸣,张海波,徐壮涛,等. 临近既有建筑深基坑开挖简化分析方法选取研究[J]. 建筑结构,2020,50(增刊1): 995.

筑物基础的沉降效果良好。在确定性方法的基础上,可靠度分析方法考虑了土体参数的不确定性,能够更合理地描述结构的安全性,是评估盾构隧道开挖工程控制措施有效性的重要方法之一。

参考文献

[1] 傅志峰,尹燕良,周伟生,等. 基坑外设隔离桩参数对近邻既有地铁隧道变形的影响[J]. 安全与环境工程, 2021, 28(4): 57.  
FU Zhifeng, YIN Yanliang, ZHOU Weisheng, et al. Influence of parameters of isolation piles outside the foundation pits on deformation of the adjacent existing subway tunnels[J]. Safety and Environmental Engineering, 2021, 28(4): 57.  
[2] YANG W, ZHENG J, ZHANG R, et al. Face stability analysis of shield tunnel considering variability of soil parameters and support pressure in clay[J]. Journal of Civil and Environmental Engineering, 2021, 43(6): 27.  
[3] 邓志平,牛景太,潘敏,等. 考虑地层变异性和土体参数空间变异性的边坡可靠度全概率设计方法[J]. 岩土工程学报, 2019,41(6): 1083.  
DENG Zhiping, NIU Jingtai, PAN Min, et al. Full probabilistic design method for slopes considering geological uncertainty and spatial variability of soil parameters[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2019,41(6): 1083.  
[4] JUANG C H, WANG L, LIU Z, et al. Robust geotechnical design of drilled shafts in sand: new design perspective[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2013, 139(12): 2007.  
[5] PHOON K K, KULHAWY F H. Characterization of geotechnical variability[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1999, 36(4): 612.

(收稿日期:2022-05-27)

JIANG Hongming, ZHANG Haibo, XU Zhuangtao, et al. Study on the selection of simplified analysis methods for deep foundation pits adjacent to existing buildings [J]. Building Structure, 2020, 50(S1): 995.  
[2] 于素慧,耿永常. 明挖法地下工程近接既有建筑施工影响分析[J]. 地下空间与工程学报,2019,15(增刊1): 266.  
YU Suhui, GENG Yongchang. Influence analysis on underground approaching adjacent buildings construction with cut and cover method[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2019, 15(S1): 266.  
[3] 温淑荔. 深基坑开挖对紧邻建筑物影响分析及加固措施优化研究[J]. 现代隧道技术,2020,57(4): 98.  
WEN Shuli. Influence of deep foundation pit excavation on adjacent buildings and optimization of reinforcement measures[J]. Modern Tunnelling Technology, 2020, 57(4): 98.

(收稿日期:2022-08-12)