

DOI:10.16799/j.cnki.csdqfh.2022.03.042

上海某商办楼基坑开挖施工监控量测分析

周 炜

(上海市建筑科学研究院有限公司, 上海市 200032)

摘 要: 以上海市某商办楼基坑项目为背景, 针对基坑开挖过程中对周围地表沉降、地连墙、水位、围护结构的影响, 进行开挖过程中全程监控量测并分析其规律。研究表明: 周围地表沉降随基坑开挖深度不同沉降增加的速率不同, 开挖基坑上半部分沉降较慢, 开挖到中下层沉降速率加快; 基坑开挖造成地连墙呈两头小, 中间大的变形形态, 且最大变形处位于基坑最底处; 基坑开挖引起周围地下水位迅速下降, 底板浇筑结束后, 随着地下结构回筑, 内衬墙封闭施工完成, 坑外水位出现回升直到最后稳定; 支撑轴力随着基坑开挖深度增加而增大, 在基坑底板浇筑完成后支撑轴力逐渐稳定。

关键词: 基坑监测; 地表沉降; 地连墙; 地下水位; 支撑

中图分类号: TU753

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)03-0160-04

0 引言

随着上海城市建设的快速发展, 城市地面利用空间压力越来越大, 地下空间的利用越来越广泛。城市的施工空间相对较小; 随着基坑的开挖深度越来越深, 修建地下建筑物对周边建(构)筑物的影响也是越来越大。因此, 保证基坑工程的安全施工具有很大的经济意义和社会意义。

基坑开挖初期提高监测频率并加快支撑的布设, 是保证基坑安全施工的重要手段。基坑监测主要包括: 支护结构本体、相关自然环境、施工工况、地下水状况、基坑底部及周围土体、周围建筑物、周围地下管线及地下设施、周围重要的道路等其它项^[1-2]。王卫东等人对上海软土地区 35 个深基坑工程案例通过对实测数据进行分析, 从统计学的角度研究了深基坑的墙后地表变形性状。得出了最大地表沉降随着开挖深度的增大而增大, 其值介于 $0.1\% H \sim 0.8\% H$ 之间, 平均值为 $0.38\% H$, 其中 H 为基坑开挖深度^[3]。丁智等人对浙江地区深基坑工程实测数据进行了统一归纳研究, 分析了在浙江软弱土大背景下的深基坑侧移曲线与周边沉降曲线的特点, 得出了基坑最大侧移量与开挖深度等之间的关系^[4-5]。在针对软土地区面积较大的基坑, 根据基坑侧壁不同控制要求, 可以有针对性地制定位移控制为主的排桩结合竖向斜支撑方案, 稳定性控制为主的放坡结

合悬臂桩方案^[6]。针对深基坑开挖及降水过程引起的地表沉降问题, 何桥敏引入了随机介质理论中的地层损失概念, 并推导了基坑开挖引起的地表沉降计算公式, 改进了容重变化和渗透力变化引起的地表沉降公式^[7]。另外国内学者通过数值模拟手段也得出很多成果, 其中采用摩尔库伦模型模拟基坑施工过程得到的地连墙水平位移结果准确, 墙体最大水平位移的平均计算误差为实测值的 15% ^[8-9]。

现以上海市某商办楼基坑工程为研究背景, 对基坑开挖过程中周边地表沉降、地连墙的水平位移、周边土体水位、支撑轴力的变化进行了现场监测研究。通过监测数据的分析总结得出基坑围护结构、地表变形、地连墙测斜, 以及周边水位变化规律, 并提出相应的控制措施和建议, 研究结果可以为类似工程提供经验参考。

1 工程概况

1.1 项目基本情况

某项目占地 $8\,935\text{ m}^2$, 总建筑面积约 $56\,303.79\text{ m}^2$, 其中地上建筑面积约 $35\,742\text{ m}^2$, 地下建筑面积约 $20\,561.79\text{ m}^2$ 。地下共三层, 地上两幢塔楼, A 楼共 18 层, B 楼共 10 层。1~3 层主要功能为商业后勤, 塔楼标准层功能均为办公。该工程采用钻孔灌注桩基础, 围护形式为三轴槽壁加固 + 地下连续墙 + 坑内高压旋喷桩; 坑内布设 3 层支撑, 且均为钢筋混凝土支撑; 地连墙厚度 800 mm , 插入深度 $26\sim 38\text{ m}$, 周围地下土层情况见表 1 所列。

收稿日期: 2021-10-15

作者简介: 周炜(1968—), 男, 本科, 高级工程师, 从事岩土工程试验研究工作。

表 1 土层物理力学性质指标一览表						
层号	土层名称	层厚 /m	层底 标高 /m	重度 / (kN·m ⁻³)	渗透系数 /(cm·s ⁻¹)	
					K _v	K _h
① ₁₋₁	杂填土	1.7~3.3	—	—	—	—
② ₃₋₁	砂质粉土	0~5.4	1.52~0.06	18.2	3.65E-05	6.44E-05
② ₃₋₂	砂质粉土	0~10.9	-1.38~-5.09	18.4	2.15E-04	3.10E-04
④ ₁	淤泥质黏土	1.3~9.9	-8.46~-9.38	16.9	1.85E-07	2.82E-07
⑤ ₁₋₁	黏土	6.3~9.6	-10.64~-11.66	17.5	1.53E-07	1.98E-07
⑤ ₁₋₂	粉质黏土	3.66~8.5	-17.96~-20.28	17.9	1.08E-06	1.73E-06

1.2 周边建筑物

拟建场地位于上海市虹口区，距离新建工程基坑 2 倍开挖深度及 50 m 距离范围内共有 8 栋房屋（包括 2 栋历史建筑）。

1.3 基坑监测等级

新建项目基坑周围环境复杂,周边均为已建成房屋,离基坑距离为 3.3~39.9 m;基坑面积约 7 155 m², 周长 408 m,基坑挖深度约为 14.5 m。该工程基坑安全等级一级，基坑环境保护等级除北侧为三级外其余侧均为二级。根据上海市标准《基坑工程施工监测规程》DG/TJ 08-2001-2016 规定，综合判断基坑监测等级为一级。

1.4 工程地质及水文地质条件

工程地质及水文地质条件见表 1 所列。

1.5 基坑监测点布置及施工工况

1.5.1 监测点布置

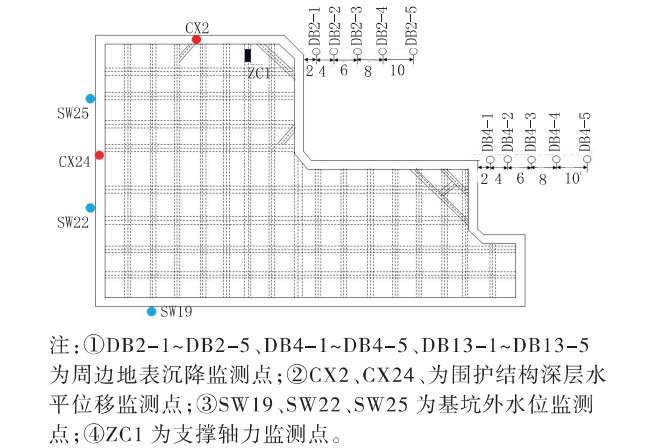
该项目监测项有围护体墙顶水平和竖向位移监测、地连墙水平深层位移监测、梁板应力监测、支撑轴力监测、立柱竖向位移监测、立柱应力监测、坑外水位监测、坑外地表竖向位移监测、围护体系裂缝、梁板裂缝、围护体系巡视。由于本文篇幅有限,现只能主要针对基坑开挖过程中对周围地表沉降、地连墙、坑外水位,以及支撑的影响分析,具体监测点位置见图 1 所示。

1.5.2 施工工况

施工工况见表 2 所列。

1.6 监测仪器及方法介绍

(1)各类垂直位移监测点的观测使用 Leica NA2 精密水准仪,仪器精度 0.3 mm/km,观测方法为环线闭合法，闭合差及各项测站限差满足建筑变形测量二等的技术要求。



注:①DB2-1~DB2-5、DB4-1~DB4-5、DB13-1~DB13-5 为周边地表沉降监测点;②CX2、CX24、为围护结构深层水平位移监测点;③SW19、SW22、SW25 为基坑外水位监测点;④ZC1 为支撑轴力监测点。

图 1 平面测点布置图(部分测点)

表 2 施工工况表			
施工工况	历时 /d	完成日期	施工内容
工况一	8	2019/4/22—	地下连续墙施工完成至
		2019/5/20	B0 板浇筑施工完成
工况二	11	2019/8/18—	B1 层开挖施工完成至
		2019/9/29	B1 层板浇筑完成
工况三	15	2019/11/5—	B2 层开挖施工完成至
		2019/11/20	B2 层板浇筑完成
工况四	14	2019/12/22—	B3 层开挖施工完成至
		2020/1/6	底板浇筑完成
工况五	68	2020/1/6—	底板浇筑完成至
		2020/3/15	B2 层支撑拆除完成
工况六	34	2020/3/15—	B2 层支撑拆除完成至
		2020/4/18	B1 层支撑拆除完成
工况七	18	2020/4.18—	B1 层支撑拆除完成至
		2020/5/6	B0 层支撑拆除完成
工况八	25	2020/5/6—	B0 层支撑拆除完成至
		2020/5/31	最后监测

(2)围护墙体深层水平位移观测采用伺服式数字自动记录测斜仪,测试精度 1 mm。

(3)水位观测采用电感应水位测试仪,测试精度 1 cm。

(4)支撑轴力量测采用 VW-1 振弦读数仪测量,测量精度为满量程的 1%。

1.7 监测频率及报警值(见表 3、表 4)

表 3 不同施工段的监测频率一览表				
施工 工况	围护桩基 施工期间	基坑开挖 到底板浇 筑完成后 7 d	底板浇筑完成后 7 d 到 ±0 以下结构完成	
			临时支撑拆除到拆 除完成后 3 d	一般情况
监测频率	1 次 /2 d	1 次 / d	1 次 / d	1 次 /2 d

2 监测结果数据分析

2.1 基坑周围地表沉降分析

地表监测点选取了两组监测点 DB2-1~5、DB4-1~5 分别在基坑的两个拐角处见图 1 所示。每组五个测点,距基坑边缘的距离依次是 2 m、4 m、6 m、8 m、

表4 报警值数据表

监测项目		速率/(mm·d ⁻¹)	累计值/mm
地连墙 墙身测斜	普通段	3	45
	西侧、东侧中段	3	35
	东侧北段、南段	3	25
坑外地表沉降		4	50
支撑轴力 /kN	顶部临时钢管支撑	1 500	
	首层混凝土支撑轴力	3 500	
	地下一层混凝土支撑轴力	6 500	
	地下二层混凝土支撑轴力	8 000	
	底部临时钢管支撑	1 500	
坑外地下水位		200	800

10 m, 基坑周围地表最大沉降也基本在这个范围内^[9]。图2、图3是DB2-1~5、DB4-1~5施工过程中沉降随时间变化曲线图, 图4、图5是DB2-1~5、DB4-1~5距基坑距离不同的地表沉降曲线。从图2、图3可以看出两组测点的变化规律很相似, 从工况一到工况二结束地表沉降变化较平缓, 从工况三开始地表沉降速度加快, 此过程延续到工况四结束后沉降速度逐渐变缓。导致这一现象的原因是此时段基坑开挖到中下部, 土体受到较大扰动, 同时开挖较深地下水位下降、流动, 带走大量土体颗粒。工况五之后地表沉降趋于稳定, 是因为此时段底板已经浇筑完成, 对地表沉降有明显的抑制作用。两组测点中最大沉降点分别发生在DB-2-2、DB-4-2, 且这两测点距基坑距离都是4 m(见图4、图5), 相当于约为基坑开挖深度的0.3倍(H 为基坑最大开挖深度, $H=14.5$ m, 下同)。沉降值分别为53.8 mm、72.8 mm(约为0.037% H 和0.050% H)可以看出整体沉降速率较稳定但都超过了报警值。另外从图4、图5中可以看出距基坑边缘距离超出4 m后地表沉降值呈迅速减小趋势。

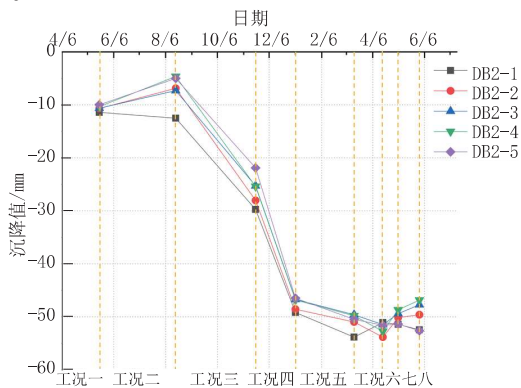


图2 DB2-1~5 测点基坑周围地表施工过程中沉降随时间变化曲线图

2.2 围护结构深层水平位移分析

现选取基坑北边和西边两个地连墙测点 CX2、

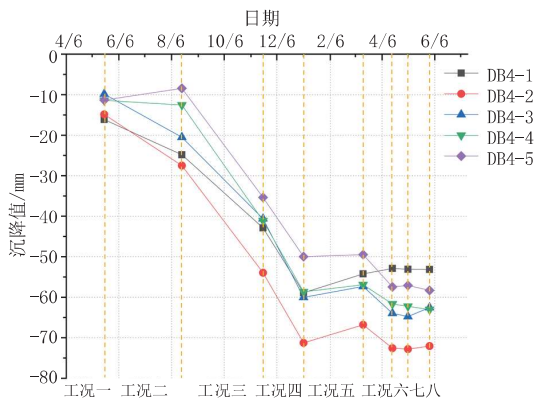


图3 DB4-1~5 测点基坑周围地表施工过程中沉降随时间变化曲线图

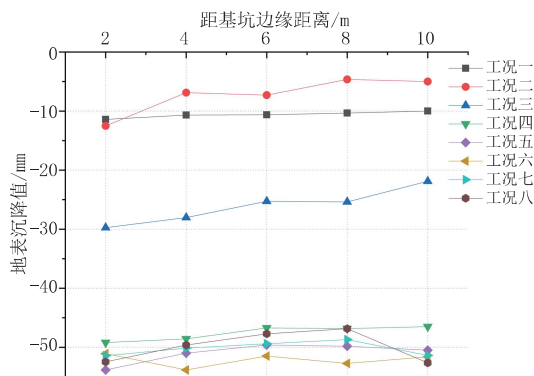


图4 DB2-1~5 测点距基坑距离不同的地表沉降曲线图

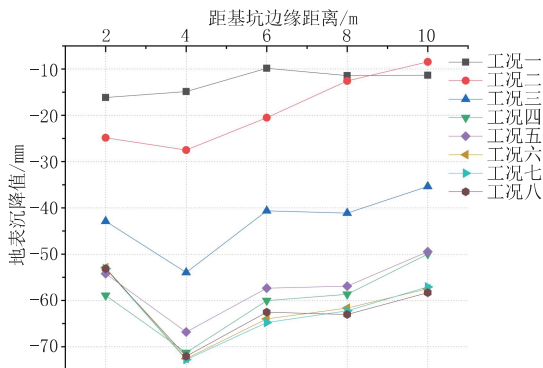


图5 DB4-1~5 测点距基坑距离不同的地表沉降曲线图

CX24, 监测点位置见图1所示。两个测点在不同工况下不同深度水平位移曲线如图6、图7所示。从图中可以看出地连墙测移随着基坑开挖的深度越深而逐渐增大。在基坑开挖期间地连墙的侧移量变化较快, 而在浇筑底板后侧移量逐渐变缓, 甚至是出现回弹现象。最大侧移通常发生在地连墙的墙深中下部, 从整体来看地连墙位移呈“两头尖, 中间鼓”的变形特征这也与之前学者们得到的结论一致。从图中可以看出两个测点的最终最大侧移值均发生在开挖面以下2~7 m, 且都超过了报警值, 侧移值分别为60.24 mm、88.63 mm(分别约为基坑最大开挖深度的0.041%和0.061%)。在之后的类似工程中应及时浇筑基础底板, 使地连墙墙深中部及时得到支护。

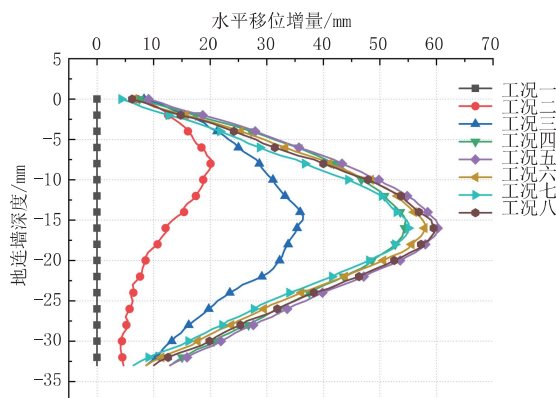


图6 CX2测点施工全过程中不同深度水平位移曲线图

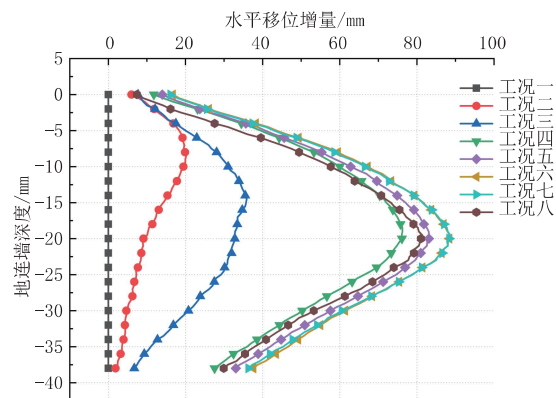


图7 CX24测点施工全过程中不同深度水平位移曲线图

2.3 水位变化分析

水位监测点共选取了三个点,SW19、SW22、SW25 监测点位置见图 1 所示。三个测点在基坑开挖阶段坑外水位变化规律较为相似,都是从基坑开挖开始,周围地下水位先呈迅速下降状态,坑内围护墙接缝表面有渗水现象,施工单位及时进行了处理,到底板浇筑结束后,随着地下结构回筑,内衬墙封闭施工完成,坑外水位出现回升,截至最后一次测量已保持稳定(见图 8)。在开挖过程中最大累计变化量为-1 725.1 mm(SW19),超出报警值(800 mm),对于此类问题在施工过程中应该要提高地连墙接缝处的施工质量,避免类似地连墙渗水的情况。

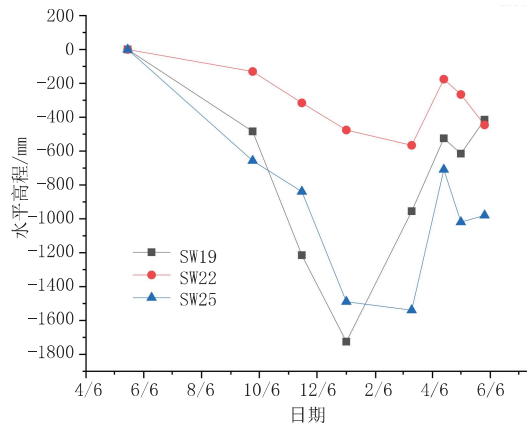


图8 SW19、SW22、SW25 测点施工过程中水位随时间变化曲线图

2.4 支撑轴力分析

因施工原因轴力监测部分只选取了 ZCL-1 一个截面轴力,测点各道支撑的轴力时程曲线如图 9 所示。轴力测点 ZCL-1 共布置 6 道支撑,2、3、4 道为混凝土支撑,1、5、6 道为钢支撑。支撑轴力变化趋势为支撑轴力随着基坑开挖深度增加而增大,当基坑底板浇筑完成后支撑轴力开始逐渐稳定。其中,第 2、第 3 道混凝土支撑轴力明显大于其它钢支撑,轴力值为 2 204 kN、2 045 kN,分别约为钢支撑轴力设计值的 63%和 31%,均未超过报警值,支撑设计部分完全符合实际项目要求。

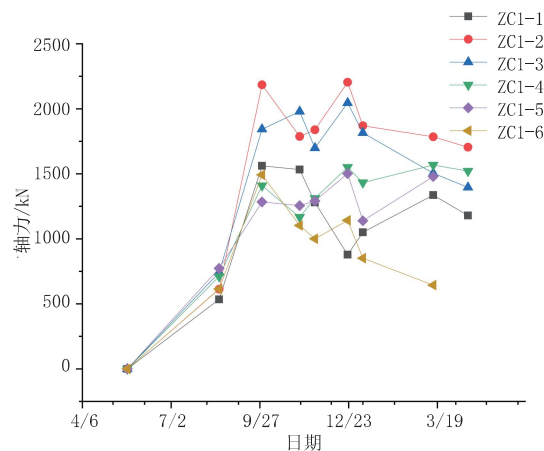


图9 ZCL-1 测点施工全过程中支撑轴力随时间变化曲线图

3 结 论

- (1)地表沉降随基坑开挖深度的增加而增加,开挖到中下部地表沉降最快,水位下降会导致周围土体沉降加速,底板修筑后地表沉降逐渐稳定,最大沉降值在距基坑外边线 4 m 处(约为基坑最大开挖深度的 0.3 倍),最大沉降值约为基坑最大开挖深度的 0.037%~0.050%。
- (2)当基坑开挖到中下部侧移量变化加快,选取的两侧点最大侧移处通常发生在地连墙的中下部、大致在基坑最大开挖面以下 2~7 m,最大侧移量分别约为基坑最大开挖深度的 0.041%和 0.061%,地连墙整体变形呈两头小,中间鼓的形状。随着底板修筑侧移量趋于稳定,有时会有少量侧移量回弹的现象。
- (3)在基坑开挖过程中,周围地下水位先迅速下降,坑内围护墙接缝处表面出现渗水现象,底板浇筑结束后,随着地下结构回筑,内衬墙封闭施工完成,坑外水位出现回升直到最后稳定。
- (4)支撑轴力随着基坑开挖深度增加而增大,在基坑底板浇筑完成后支撑轴力逐渐稳定,其中第 2、

(下转第 171 页)

根据管片计算内力值,管片内侧受力筋采用 10 Φ 28,管片外侧受力筋采用 12 Φ 25。

3.4 螺栓选用

经核算管片纵、环向连接螺栓采用 8.8 级普通螺栓不能满足受拉要求,采用机械性能等级 10.9 级高强螺栓替代 8.8 级普通螺栓。

4 结 论

(1)在软弱土层中采用扩大基础对人行天桥桩基进行被动托换,通过对基底土层进行预加固(松木桩加固)后,能满足天桥的承载力及变形的要求。

(2)采用适当增大配筋的管片及 10.9 级高强度螺栓,可提高管片的承载力,替代钢管片。

(3)盾构穿越桩基时,应将桩基与扩大基础提前断开;盾构慢速推进时(推进时速不大于 5 mm/min),可切削人行天桥桩基中 Φ 25 钢筋。

(4)目前隧道已经贯通,人行天桥及管片监测均满足正常,后期在运营期间仍需加强监测。

(5)人行天桥多采用桩柱式基础,对地下空间应用的影响较大,建议人行天桥多采用扩大基础,减少对地下空间的占用。

地铁盾构隧道下穿软弱土层既有人行天桥钢筋混凝土桩基,可通过扩大基础进行被动托换,但需做好扩大基础沉降、盾构管片受力、盾构施工控制、地面临时支架等措施。目前盾构管片较少采用 10.9 级高强螺栓,仍需在今后的工程设计中不断地总结。

参考文献:

[1] 傅德明.盾构切削混凝土模拟实验和切削桩基施工技术[J].隧道建设,2014,5(34):472.
[2] JGJ 94—2008,建筑桩基技术规范[S].
[3] 桩基工程设计手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1995.
[4] GB 50157—2013,地铁设计规范[S].

(上接第 163 页)

第 3 层混凝土支撑轴力明显大于其它层钢支撑,分别约为支撑轴力设计值的 63%和 31%。

参考文献:

[1] 胡化刚,上海市某地块基坑监测数据成果分析[J].测绘通报,2020(S1):32-37.
[2] 巍刚,华鑫欣,虞兴福,杭州某地铁车站深基坑开挖施工监测分析[J].武汉大学学报,2016,49(6):917-925.
[3] 王卫东,上海地区深基坑周边地表变形性状实测统计分析[J].岩土工程学报,2011,11(3):1659-1666.
[4] 丁智,王达,王金艳,等.浙江地区软弱土深基坑变形特点及预测分

析[J].岩土力学,2015,36(s1):507-512.
[5] 丁智,王达,虞兴福,等.杭州地铁新塘路、景芳路交叉口工程深基坑监测分析[J].岩土工程学报,2013,35(S2):445-451.
[6] 孟长江,福州站北广场深基坑工程实例分析[J].铁道工程学报,2015(10):38-43.
[7] 何桥敏,胡卫国,基于随机介质理论的基坑地表沉降计算方法研究[J].现代隧道技术,2019(1):65-71.
[8] 贾航,刘航,安建永,等.复杂环境下某深基坑开挖施工监测与数值模拟分析[J].建筑结构,49(S1):746-750.
[9] 徐江,龚维明,等.软土区某地铁深基坑施工过程数值模拟及现场监测[J].东南大学学报,2017,47(3):590-598.