

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2019.02.013

超期服役深基坑的变形特性分析及稳定性评估

张兆龙

(南方电网调峰调频发电有限公司, 广东 广州 510630)

摘要:以某超期服役深基坑为例,通过对长期现场监测数据的分析,探讨了基坑搁置前后的支护桩变形规律;结合抽样检测确定的基坑现状,建立了深基坑的分析模型,对不同服役阶段下的基坑稳定性进行了评估分析。结果表明,随着基坑搁置时间的推移,支护桩的桩体位移缓慢增加并趋于稳定,且相对于基坑长边方向,基坑长期搁置对其短边方向的桩体变形影响更大;现阶段基坑基本处于稳定状态,可继续超期服役,但后续主体施工阶段近半数锚索安全系数已不能满足设计规范要求,基坑存在一定的安全隐患。

关键词:深基坑;超期服役;水平位移;安全系数;稳定性评估

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2019)02—0074—05

Deformation Characteristics Analysis and Stability Assessment of Extended Service Deep Foundation Pit

ZHANG Zhaolong

(CSG Power Generation Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510630, China)

Abstract: Based on an extended service deep foundation pit, the deformation regularity of retaining pile before and after foundation pit idle was discussed through analysis of long-term site monitoring data. Combining with the extended service situation of foundation pit determined by sampling inspection, the analysis model of deep foundation pits was established, then the stability of foundation pit at different service times was assessed and analyzed. The results indicate that the pile displacement increases slowly and tends to stabilize with the passage of foundation pit idle time. The long idle of foundation pit has more impacts on pile deformation in short edge than in long edge. The foundation pit is basically in a stable state at present, which shows that it can continue to operate for extended periods. But the safety factors of nearly half anchor cables at subsequent construction stage can no longer meet design code requirement, which shows that there are some potential safety hazards in foundation pit.

Keywords: deep foundation pit; extended service; horizontal displacement; safety factors; stability assessment

随着城市规模的不断发展,基坑的开挖深度愈来愈深,复杂性也显得尤为突出^[1-2]。由于深基坑周边环境复杂性,导致深基坑开挖与支护的难度愈来愈大,其危险性也大幅提高^[3]。深基坑支护体系是为保证地下室施工及基坑周边环境的安全,对基坑侧壁及周边环境采用的支挡、加固与保护措施^[4]。深基坑支护结构作为临时性结构,当地下室结构施工完毕并回填后,其使命即完成。因此在工程实践中,基坑支护结构的设计使用年限往往只有一年^[5]。

而在工程建设过程中,经常会出现由于设计调整、建设方资金不足、合同纠纷等原因导致深基坑长时间搁置,其支护结构长期处于超期限使用状态,这成为城市建设的一颗定时炸弹^[6]。因此,了解支护结构在基坑超期服役期间的变形规律,全面有序地评估超期服役深基坑的安全稳定性能,合理延长其设计使用期限,降低基坑超期使用的风险隐患,成为工程建设者们必须要面对和思考的实际问题。

本文以某超期服役的深基坑为例,结合现场长

期大量的监测数据,探讨了支护桩在基坑搁置前后的变形规律;同时,基于抽样检测确定的基坑现状,借助于深基坑支护结构设计分析软件,通过对比分析支护桩的桩体位移、锚索安全系数等重要指标,对两阶段下的基坑稳定性进行安全稳定性评估,为今后类似工程建设积累一定的实践经验。

1 工程概况

1.1 工程简介

某项目为高层建筑群,3层地下室,基坑底开挖面积约 15 000 m²,支护总周长约 567 m,基坑开挖深度 14.0 m~15.2 m。基坑周边环境较复杂,东、南两侧均为基坑开挖后的新建建筑,西侧紧邻城市道路,其下埋设有市政电缆、电信及排水管道等设施,北侧是项目建设空地,基坑平面见图 1。

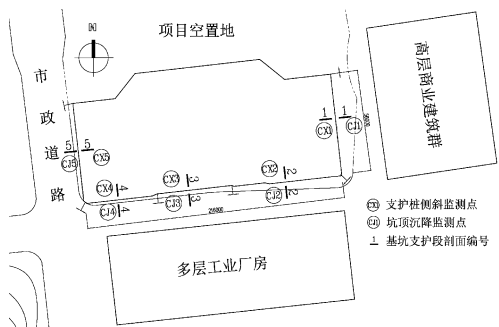


图1 基坑平面布置图

该深基坑安全等级为一级,东、南、西三侧采用排桩+预应力锚索并结合放坡、北侧全部放坡的支护形式,支护结构设计使用年限为一年。典型的基坑支护结构剖面见图 2。其中,排桩为钢筋混凝土灌注桩,桩径 800 mm,桩水平间距 1 300 m,桩长 16 m,入土深度 5 m,桩身混凝土强度 C30。放坡面、桩间面层均采用挂钢筋网并喷射 100 mm 厚 C20 混凝土护壁。沿桩长共布置三道预应力锚索,间距均为 4 m,与水平方向夹角均为 30°。预应力锚索成孔直径 150 mm,水平间距 1 300 m,材料为 1 860 MPa ϕ ^{15.2} 钢绞线。第一、三道锚索为 3 束钢绞线,第二道锚索为 4 束钢绞线,各道锚索锚固长度、自由长度、拉力设计值及锁定值等参数见图 2。

1.2 基坑现状

2013 年 8 月开始土方开挖,2014 年 1 月开挖至坑底设计标高后,因建设方原因,工程暂停建设。2015 年 1 月,基坑支护结构达到设计使用年限后,工程仍未复工建设。直到 2017 年底,项目具备复工

建设条件。为全面排查深基坑存在的安全隐患,建设方委托评估单位对基坑进行稳定性评估。

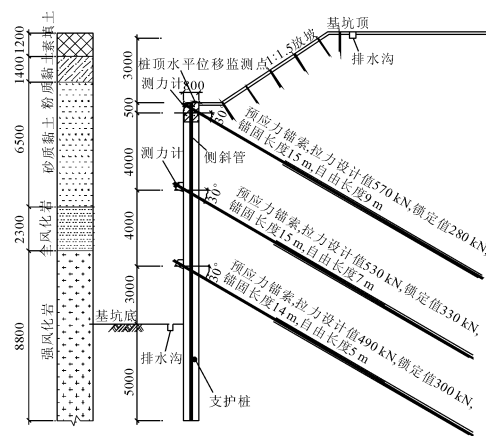


图2 基坑支护结构剖面(单位:mm)

2 基坑监测结果分析

2.1 监测方案

基坑维护需要以数据为依托,由于该基坑已经超期,对其监测尤为重要^[7]。通过获取实时检测数据,并对结果进行处理、分析,确保基坑及周边环境的安全^[8]。考虑工程重要性、周边环境复杂程度等因素,确定基坑监测项目包括为桩顶水平位移及桩体侧斜、坑顶沉降、周边建筑物沉降、地下水位和锚索轴力等。其中,位移监测报警值均为 30 mm,速率报警值为 5 mm/d;锚索轴力报警值为其设计值。监测频率为 5 天一次。主要监测点布置见图 1。

2.2 桩体侧斜监测

支护桩的水平位移(侧斜)监测是深基坑监测的重要内容,通过侧斜监测可了解基坑不同阶段下的支护桩沿深度方向的水平位移情况,确保基坑支护结构和周边环境的安全^[9]。选取 CX1-CX4 侧斜孔的监测数据,绘制不同时段下的桩体侧斜曲线见图 3。

从图 3 可以看出,基坑在不同时间点下的桩体侧斜曲线均大致呈线性变化,侧斜位移随桩体深度的增加而逐渐减小,近似于“悬臂梁”变形模式,即桩体侧斜位移峰值始终发生在桩顶,而桩根位移接近于 0,说明桩顶以下的预应力锚杆对支护桩的变形约束作用明显。整体上说,随着基坑搁置时间的增长,不同深度处的桩体侧斜位移均不断增大,支护桩不断向坑内倾斜。截止复工前(2018 年 1 月),各侧斜孔的桩体侧斜位移最大值为 24.4 mm,未超报警值 30 mm,即支护桩变形安全、稳定。

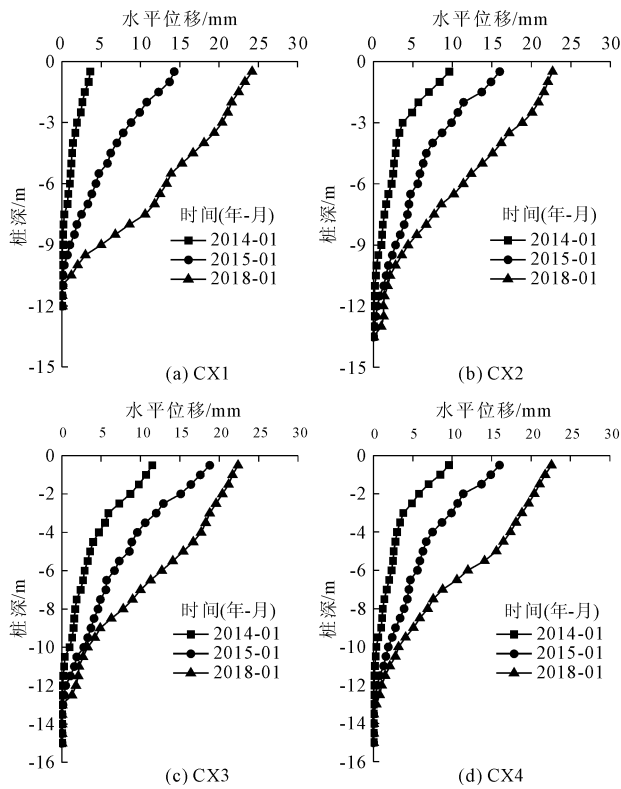


图 3 桩体侧斜曲线

2.3 桩顶水平位移监测

为进一步研究基坑在不同时间点下的支护桩位移变形趋势及规律,选取 CX1—CX5 侧斜孔处的桩顶水平位移监测数据绘制位移时程曲线,见图 4。

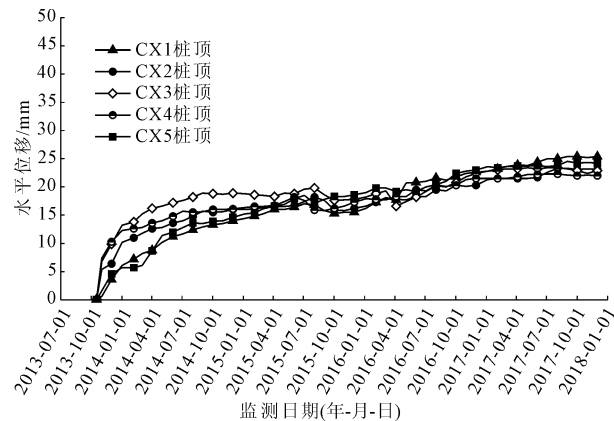


图 4 桩顶水平位移时程曲线

由图 4 可以看出,在土方开挖期(2013 年 7 月至 2014 年 1 月),位移时程曲线的曲率较大,而在正常设计使用期(2014 年 1 月至 2015 年 1 月)和超期服役期(2015 年 1 月之后),位移时程曲线的曲率均较小,进一步说明土方开挖是快速释放荷载过程,土体和支护桩的相互作用导致支护桩水平位移短期快速增加;而土方开挖完毕后,随着土体内应力释放完

毕,支护桩变形也趋于稳定。从整个位移时程曲线发展来看,随着基坑搁置时间的增长,桩顶水平位移缓慢增长,并在后期趋于稳定。

基坑搁置前(2013 年 7 月至 2014 年 1 月)、搁置后(2014 年 1 月至 2018 年 1 月)的桩顶水平位移增量统计见表 1。

表 1 桩顶水平位移增量

监测点	桩顶水平位移/mm		累计变形/mm
	搁置前	搁置后	
CX1	3.6	20.8	24.4
CX2	11.9	10.4	22.3
CX3	11.5	10.9	22.4
CX4	9.6	13.1	22.7
CX5	5.4	19.8	25.2

由表 1 可知,在基坑短边方向,即 CX1、CX5 监测点,基坑搁置后的桩顶水平位移增量远大于搁置前,搁置前位移增量分别为 3.6 mm、5.4 mm,而搁置后为 20.8 mm、19.8 mm,分别约为搁置前位移增量的 5.8 倍、3.7 倍;而在基坑长边方向,即 CX2—CX4 监测点,基坑搁置前后的桩顶水平位移增量大致相当,说明基坑长期搁置对短边方向的桩体变形影响更大。

同时,综合图 4、表 1 可知,虽然基坑搁置后的桩顶水平位移增长相对较缓慢,但累计位移增量却不容忽视,故应重视基坑长期搁置而产生的时空效应,加强此期间的桩体变形监测。

3 基坑稳定性评估

基坑稳定性评估按两阶段进行。阶段一是基坑现阶段(即超期服役期)的稳定性评估,其目的是判断基坑在现阶段的稳定性,评估基坑继续超期限服役的期限,明确应急措施的制定原则;阶段二为后续主体施工阶段的稳定性评估,其目的是判断基坑在此阶段的稳定性,确定是否应采取加固措施。

3.1 评估模型的建立

研究发现,当基坑长宽比 $L/B > 2.0$ 时,随着 L/B 增大,基坑空间效应不再明显,若再按考虑空间效应的方法进行基坑的设计与施工,则不能取得较好的经济效益,此时按二维平面问题进行计算分析则更为简单、安全^[10-11]。因本基坑的平面尺寸 $L/B = 3.9$ (基坑长 $L = 216$ m,宽 $B = 56$ m),为简化计算、提高效率,在基坑分析建模时,按二维平面问题考虑。根据抽样检测确定的基坑现状,利用深基

坑支护结构设计分析软件,建立 1~5 基坑支护结构剖面的二维模型,分别进行两阶段下的基坑稳定性评估分析,各剖面位置见图 1。模型主要参数的选取原则如下:

(1) 支护结构参数。支护桩桩身完整性及混凝土强度、喷锚混凝土厚度等参数根据检测报告确定。锚索抗拔试验表明,部分锚索极限承载力已降低,综合考虑试验数据、现场条件等因素,基坑稳定性评估时,锚索抗拔极限承载力取 0.8 倍原极限承载力。

(2) 工程地质条件。基于工程地质详细勘察报告,根据本次基坑周边地质补充勘察结果,确定基坑现阶段下周边土层的平均厚度 h 、重度 r 、压缩模量 E_s 、黏聚力 c 、内摩擦角 φ 等物理力学参数,见表 2。

表 2 土层物理力学参数

序号	土层名称	h/m	$r/(kN \cdot m^{-3})$	E_s/MPa	c/kPa	$\varphi/(^\circ)$
1	素填土	1.8	16.5	22.0	10	8
2	粉质黏土	2.5	17.9	3.5	20	18
3	淤泥质土	2.5	15.3	3.0	5	4
4	中粗砂	2.8	18.0	30.0	0	30
5	砂质黏土	4.2	18.5	45.0	22	19
6	全风化岩	6.6	18.7	80.0	22	26
7	强风化岩	32.1	19.0	160.0	25	30

(3) 荷载工况。阶段一:计算工况为基坑已开挖完毕,且根据现场实际,基坑顶部荷载取 5 kPa;阶段二:计算工况为基坑顶部荷载 20 kPa,用于模拟后续主体施工初期基坑顶部材料堆载、重载设备经过等施工荷载对支护结构的变形、受力等的影响^[12]。

3.2 评估结果分析

限于篇幅,本文仅对支护结构剖面处的桩体水平位移、预应力锚索轴力等重要参数的数值模拟结果进行评估分析。

3.2.1 桩体位移评估分析

提取 1~4 支护结构剖面处的桩体水平位移数值模拟结果绘制其侧斜曲线,并与其阶段一的监测结果(CX1—CX4 监测点)进行对比分析,见图 5。

由图 5 可以看出,阶段一的模拟结果与监测结果在数值上有些出入,且桩体水平位移最大值的位置下移约 $0.2H \sim 0.3H$ (H 为桩长),这是由于在数值模拟时没有考虑地下水、天气及周边环境变化等的影响,使得模拟结果与监测结果存在一定的偏差^[13]。同时,影响支护结构位移与内力因素的复杂

性,假定的计算条件与实际条件存在的差异性、岩土参数的变异性等原因,使得模拟值与监测值存在一定的差别^[14]。但总体上说,两者的变化趋势大体一致,模拟值基本可包络监测值,表明建立的计算模型较合理,参数选取恰当,可用于基坑的稳定性评估分析。

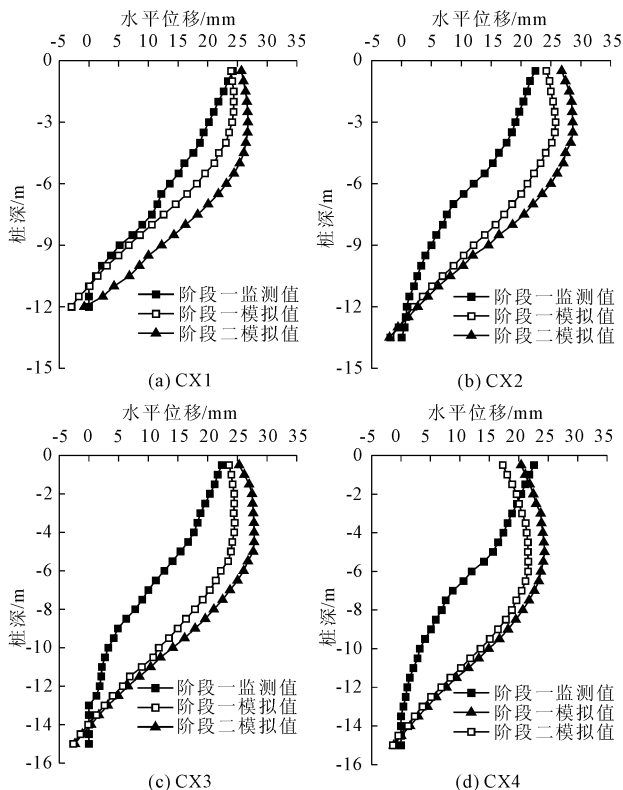


图 5 桩体位移模拟结果

通过评估分析发现,各阶段下的桩体水平位移均小于预警值 30 mm,说明基坑在各阶段下的支护桩变形在可控范围内。以 3-3 剖面为例,桩体水平位移在阶段一的最大值为 25.8 mm,而在阶段二增大至 28.7 mm,较前者增加约 11.2%,且已接近位移预警值。整体上来看,阶段二的桩体水平位移较前阶段有所增加,说明后续主体施工会影响到支护桩变形。

3.2.2 锚索轴力评估分析

预应力锚索主要起到限制支护桩变形的作用,并与支护桩组合形成桩锚支护体系。其失效后,将无法保证被加固体的稳定性和安全性^[15-16]。阶段一锚索轴力模拟结果见图 6、图 7。

由图 6、图 7 可以看出,阶段一锚索轴力模拟值和监测值吻合较好,进一步验证了分析模型建立的合理性。同时,各剖面锚索的轴力模拟值均未超报警值,说明锚索轴力值变化在可控范围内。

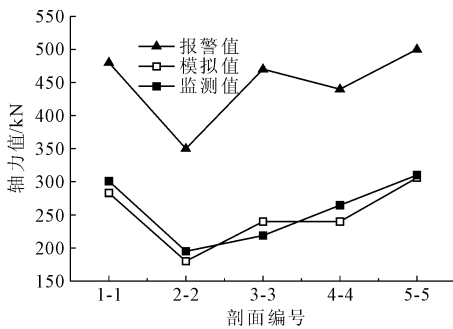


图 6 第一道锚索轴力模拟结果

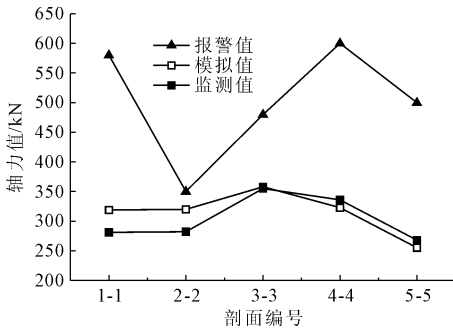


图 7 第二道锚索轴力模拟结果

《建筑基坑支护技术规程》^[4](JGJ 120—2012)规定,对于基坑安全等级为一级的桩锚支护结构,锚杆抗拔安全系数 K_t (锚索轴力值 N_k 与抗拔承载力 R_k 之比)不应小于 1.8。根据数值模拟结果提取各锚索的轴力值,计算其在不同阶段下的抗拔安全系数见表 3。表中, R_k 、 N_k 值的单位为 kN。

表 3 不同阶段下的锚索安全系数

剖面编号	锚索道数	R_k	N_k		K_t	
			阶段一	阶段二	阶段一	阶段二
1-1	第一道	503	283	291	1.8	1.7
	第二道	607	281	289	2.2	2.1
2-2	第一道	367	180	180	2.0	2.0
	第二道	503	282	305	1.8	1.7
3-3	第三道	628	356	370	1.8	1.7
	第一道	492	240	252	2.1	2.0
4-4	第二道	555	355	368	1.6	1.5
	第三道	513	300	309	1.7	1.7
5-5	第一道	461	240	255	1.9	1.8
	第二道	628	336	352	1.9	1.8
5-5	第三道	524	271	285	1.9	1.8
	第一道	524	306	308	1.7	1.7
	第二道	545	268	270	2.0	2.0

由表 3 可以看出,在阶段一,除 3-3 和 5-5 剖面外,其他剖面的锚索安全系数均大于或等于 1.8,

可基本满足规范对一级基坑安全系数的要求,且尚具有一定的安全裕度,说明基坑在此阶段基本处在较稳定状态;而在阶段二,各剖面锚索的安全系数均在 1.5~2.1 之间,只有个别锚索的安全系数大于 1.8。以 2-2 剖面处的第二、三道锚索为例,阶段一的锚索安全系数均为 1.8,而在阶段二的安全系数均已下降至为 1.7,较前阶段下降了约 5.6%,且安全系数小于 1.8,此时已不能满足规范对一级基坑安全系数的要求。

整体上说,阶段二的锚索安全系数较阶段一均有所降低,且近半数锚索的安全系数已不能满足设计规范要求,说明基坑整体稳定性能已有所下降,基坑在此阶段的安全隐患增加,应严格控制此阶段的基坑周边施工荷载,加强基坑监测,并做好应急预案,必要时应采取加固措施。

4 结论

通过对某超期服役深基坑的监测数据分析以及安全稳定性评估,可得以下结论:

(1) 基坑在不同时段下的桩体侧斜近似于“悬臂梁”变形模式,即桩体位移随着桩体深度的增加而逐渐减小。同时,在基坑土方开挖期,桩体位移增长较快,但随着基坑搁置时间的推移,桩体位移增长较缓慢,并在基坑超期服役后期趋于稳定。

(2) 在基坑长边方向,基坑搁置前后的桩顶水平位移增量大致相当;而在基坑短边方向,基坑搁置后的桩顶水平位移增量远大于搁置前的位移增量,说明基坑长期搁置对短边方向的桩体变形影响更大。

(3) 通过对基坑的稳定性评估发现,在安全维护阶段,基坑基本处于稳定状态。但在后续主体施工阶段,不仅桩顶水平位移已接近报警值,而且近半数锚索的安全系数已不能满足设计规范要求,基坑在此阶段的整体稳定性能下降明显,基坑存在一定的安全隐患,应引起重视。

参考文献:

- [1] 王安明,张淋柄.基坑桩锚支护变形监测与数值模拟研究[J].水利与建筑工程学报,2015,13(6):25-29.
- [2] 江杰,肖萌,刘智勇,等.复杂环境下多种支护结构并存的深基坑监测分析[J].广西大学学报(自然科学版),2018,43(1):269-278.
- [3] 薛丽影,杨文生,李荣年.深基坑工程事故原因的分析探讨[J].岩土工程学报,2013,35(S1):468-473.
- [4] 中国建筑科学研究院.建筑基坑支护技术规程:JGJ 120—2012[S].北京:中国建筑工程出版社,2012:27-28.

稳定性的目的。

(2) 现阶段关于边坡稳定性分析时 a 值得研究并不常见, 相关结论并不完善, 所以仍有很大空间去深入的讨论和研究 a 值的取值范围和作用机制。

参考文献:

- [1] 唐 芬, 郑颖人. 强度储备安全系数不同定义对稳定系数的影响[J]. 土木建筑与环境工程, 2009, 31(3): 61-65.
- [2] 唐 芬, 郑颖人. 边坡渐进破坏双折减系数法的机理分析[J]. 地下空间与工程学报, 2008, 4(3): 436-441.
- [3] 袁 维. 强度折减法的若干研究[D]. 武汉: 中国科学院武汉岩土力学研究所, 2014.
- [4] Yuan Wei, Bai Bing, Li Xiao Chun, et al. Astrength reduction method based on double reductionparamaters and its application[J]. Journal of Central South University, 2013, 20(9): 2555-2562.
- [5] 白 冰, 袁 维, 石 露, 等. 一种双折减法与经典强度折减法的关系[J]. 岩土力学, 2015, 36(5): 1275-1280.
- [6] Bai Bing, Yuan Wei, Li Xiao Chun. A new doublereduction method for slope stability analysis[J]. Journalof Central South University, 2014, 21(3): 1158-1164.
- [7] Conte E, Silvestri F, Troncone A. Stability analysis of slopes in soils with strain-softening behavior[J]. Computers and Geotechnics, 2010, 37(5): 710-722.
- [8] 王强志, 高永涛, 吴顺川, 等. 基于综合安全系数的强度折减法的改进[J]. 金属矿山, 2015(7): 43-47.
- [9] 薛海斌, 党发宁, 尹小涛, 等. 边坡强度参数非等比例相关折减法研究[J]. 岩土力学, 2015, 34(2): 4005-4012.
- [10] 刘志伟. 土体强度参数对边坡隧道影响数值模拟分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2014, 12(4): 176.
- [11] 孙 键, 洪宝宁, 刘 鑫, 等. 基于粘聚力与摩擦角的路堤边坡稳定性敏感分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2013, 11(6): 99-104.
- [12] 李 峰, 陈 伟, 袁俊平, 等. 引江济淮试验工程中不同尺寸试样抗剪强度的试验对比研究[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2017, 38(6): 60-65.
- [13] 黄志全, 张 茜, 吴 超, 等. 膨胀土动力学特性变化规律试验研究[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2016, 37(2): 78-82.
- [14] Isakov A, Korneyev D A, Moryachkov Y. Two-parameter criterion of road bed stability[C]//Proceeding of Engineering Geology, Soil Mechanics and Foundations. Novosibirsk, Russia: [s. n.], 2010.
- [15] Isakov A, Moryachkov Y. Estimation of slope stability with using two - parameter criterion of stability[J]. International Journal of Geomechanics, 2013, 14(3): 06014004 - 1 - 1.
- [16] 赵炼恒, 曹景源, 唐高朋, 等. 基于双强度折减策略的边坡稳定性分析方法探讨[J]. 岩土力学, 2014, 35(10): 2977-2984.
- [17] Dawson E M, Roth W H, Drescher A. Slope staility analysis by strength reduction[J]. Geotechnique, 1999, 49(6): 835-840.
- [18] 刘 纯. 基于双参数折减的岸坡稳定性分析方法优化研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2014.

(上接第 78 页)

- [5] 李庆伟, 党昱敬. 北京地区既有深基坑超期使用检测鉴定分析[J]. 建筑结构, 2016, 46(S1): 914-918.
- [6] 张钦喜, 吴 浩, 晁 哲. 超期服役基坑的监测及数值分析[J]. 岩土工程技术, 2017, 31(4): 186-191.
- [7] 梁贵才, 何有林, 潘春龙. 严寒地区超期超深基坑检测及治理技术[J]. 施工技术, 2017, 46(5): 6-11.
- [8] 刘 浩, 杨 锐, 张大军, 等. 广州某工程基坑变形监测及分析研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2015, 13(1): 167-170.
- [9] 王 超, 朱 勇, 张强勇, 等. 深基坑桩锚支护体系的监测分析与稳定性评价[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(S1): 2918-2923.
- [10] 吴 兵, 陈乐意, 周 立. 考虑空间效应的基坑变形数值分析[J]. 南昌航空大学学报(自然科学版), 2015, 29(1): 89-93.
- [11] 付红梅. 基于空间效应长大深基坑变形控制研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2017: 1-6.
- [12] 刘 军. 基坑周边施工荷载作用效应分析与辅助措施[J]. 岩土工程技术, 2017, 31(6): 317-320.
- [13] 李思慧, 刘海卿. 深基坑开挖监测与数值模拟[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2016, 35(9): 931-936.
- [14] 姜忻良, 宗金辉, 孙良涛. 天津某深基坑工程施工监测及数值模拟分析[J]. 土木工程学报, 2007, 40(2): 79-84.
- [15] 韩健勇, 赵 文, 贾鹏蛟, 等. 局部锚索失效下桩锚支护体系深基坑力学响应分析[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2018, 39(2): 426-430.
- [16] 过 令. 坑边堆载与坑内超挖对基坑围护结构及周边环境安全性评价研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2016: 57-58.