

邻近基坑对某边坡稳定性影响 机制及对策研究

谷秋成¹, 郑争锋²

(1. 中国华电香港有限公司, 北京 100035; 2. 中南电力设计院有限公司, 湖北 武汉 430071)

摘 要: 依托印尼某火电厂 A2—A4 区边坡问题, 利用地层空间结构、施工动态影响数值仿真、监测数据的综合分析, 探讨不同区域边坡的失稳机理、加固措施的有效性和加固条件下坡体的稳定状态, 形成如下结论: 该区边坡的稳定性主要受土岩界面、全风化泥岩和煤层等软弱层的切穿暴露或扰动软化控制, 主要为牵引滑移模式。边坡开挖和基坑开挖过程中需要注意溢出点水的及时疏排, 尽量避免坡脚浸水软化。严禁未施工边坡, 先开挖基坑; 开挖施工前应及时加固边坡, 加固体进入煤层软弱夹层一定深度, 形成有效阻滑; 基坑支护必须重视, 尽量避免基坑侧壁失稳造成的边坡次生灾变。边坡应该通过勘察、设计、施工、监测和管理的阶段安全目标实现过程安全控制。

关键词: 边坡; 地层; 变形破坏; 稳定状态; 结构内力; 安全控制

中图分类号: TU457

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2021)01—0096—06

Stability Change Mechanism and Countermeasures of Slopes Affected by Nearby Foundation Pit

GU Qiucheng¹, ZHENG Zhengfeng²

(1. China Huadian Hongkong Company Limited, Beijing 100035, China;

2. Central Southern China Electric Power Design Institute Co., Ltd. of China Power Engineering Consulting Group, Wuhan, Hubei 430071, China)

Abstract: Taking the slope in A2 – A4 area of a thermal power plant in Indonesia as an example, the numerical simulation of the spatial structure of the stratum, the dynamic impact of construction, and monitoring data was adopted to analyze the mechanism of slope instability in different regions, the effectiveness of reinforcement measures and the stable state of slope body under the reinforcement conditions and summarized the gains and losses of experience. The following conclusions and suggestions are proposed. The stability of the slope in this area is mainly controlled by the cut through exposure or disturbance softening of the weak layers such as soil rock interface, completely weathered mudstone and coal seam, which is mainly the traction slip mode. In the process of slope excavation and foundation pit excavation, it is necessary to pay attention to the timely drainage of the overflow point water, and try to avoid the slope foot from soaking and softening. It is strictly prohibited to excavate the foundation pit without construction of the slope; before excavation, the slope shall be reinforced in time, and the solid shall enter into the weak interlayer of the coal seam to a certain depth, forming an effective anti sliding; the foundation pit support must be paid close attention, and the secondary disaster of the slope caused by the instability of the side wall slope of the foundation pit shall be avoided as far as possible. The process safety control of slope should be achieved through the stage safety objectives of survey, design, construction, monitoring and management.

Keywords: slope; stratum; deformation and failure; stable state; structure internal forces; safety control

随着国家经济的增长和国际分工的精细化,国家经济活动逐渐迈出国门,援外项目逐渐增多,面临陌生区域、没有地区经验或有限认知条件下进行工程建设并要保证施工质量和安全的挑战。因此,一定工程地质条件下的行业标准执行和国内经验就显得更加重要,预研预判工作的重要性也更加突出。

工程建设只要有开挖、填筑工作必然会形成人工边坡,边坡安全问题必然对附近场地和工程建设造成影响^[1-4]。当前对于边坡和基坑的相互影响,多数为先上部边坡整形并加固,再下部基坑施工,一般认为基坑施工至正负零则其影响相对忽略^[5-11];也有特殊条件下,先进行明挖或者暗挖基坑施工,但一般是在强支护下的先期行动,后进行边坡整形,这种情况一般是不允许的,造成的加固费用和风险等级不成比例^[12-13]。不论边坡还是基坑都是人类工程活动造成的临时或者永久边坡问题,需要保障不同时间段下边坡的稳定性,则选择的加固措施要求也不一样^[14-20]。

本文以印尼某火电厂问题边坡为研究对象,探讨边坡变形失稳机理,总结问题产生的原因,提出综合安全控制经验和技术,为厂区其他地段边坡安全控制提供有效经验,也为类似工程提供借鉴。

1 工程概况及问题的产生

1.1 工程概况

该火电厂位于印度尼西亚南苏门答腊省穆印县Tanjung Agung 镇境内(见图 1)。地貌类型为剥蚀丘陵、沟谷、斜坡地,林地,地面高程 85.26 m ~ 116.26 m。

场地整平过程中在厂区北侧、西侧、东北侧、南侧、东南侧和东侧形成总长 1 602 m 的挖方边坡,最大坡高 23 m;西北侧、东北侧和西南侧形成总长 1 717 m 的填方边坡,最大坡高约 22 m。本次研究区域主要为正北方凹形区域,主要地层见图 2。

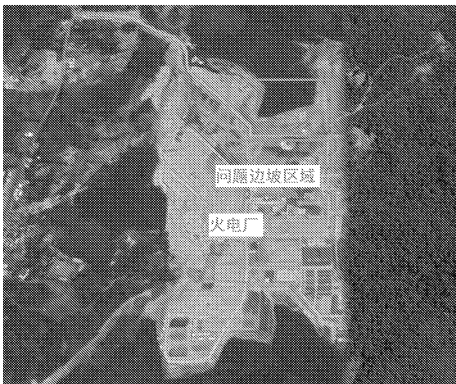


图 1 火电厂及问题区段概貌



图 2 工程边坡开挖揭露地层

开挖揭露的地层自上而下依次为黄褐色全新统残坡积黏土、灰色更新统残坡积黏土、深灰色全风化泥岩、黑色煤层、深灰色强风化泥岩。上部土层和全风化泥岩具有弱—中等膨胀性,全风化泥岩和煤层为易扰动软弱层。

勘察报告提供的各地层岩土体物理力学性质指标建议值,统计列于表 1。

建筑场地类别为 II 类,抗震设防烈度为 8 度,峰值加速度 0.286g,反应谱特征周期 0.40 s。

地下水主要为上层滞水及基岩裂隙水,大气降水补给,蒸发和渗流排泄。地下水对混凝土结构具有弱腐蚀性,对钢筋具有微腐蚀性。

表 1 A2 - A4 区边坡各地层计算参数统计表

层位	自然状态 重度 /(kN·m ⁻³)	自然状态 弹性模量 /MPa	自然状态 黏聚力 /kPa	自然状态 内摩擦角 /(°)	饱水状态 重度 /(kN·m ⁻³)	饱水状态 弹性模量 /MPa	饱水状态 黏聚力 /kPa	饱水状态 内摩擦角 /(°)
黏土	16.7	18.0	12.0	8.0	17.4	15.0	10.0	6.0
黏全风化土	17.1	20.0	12.0	8.0	18.0	17.0	11.0	7.0
泥岩	17.5	24.0	18.0	10.0	18.2	19.0	13.0	8.0
煤层	17.5	17.0	9.0	6.0	18.5	14.0	5.0	5.0
强风化泥岩	17.7	50.0	40.0	15.0	18.8	45.0	30.0	12.0
煤层	18.0	35.0	45.0	16.0	19.0	30.0	35.0	14.0

1.2 问题的产生

该区挖方边坡采用锚杆框格梁 + 盲沟 + 坡面绿化 + 仰斜式排水孔综合处治方案,在尚未进行处治工程施作时,A3 区域碎煤机室基坑开挖至 9.5 m 时,发生基坑滑塌,变形进一步扩大至后部坡体形成滑坡,滑坡主轴长约 100 m,后缘裂缝位于征地红线附近,前缘宽约 200 m,滑坡体约 12 万 m^3 ,属于中型滑坡,现场图见图 3。



(a) 碎煤机室基坑和A3区边坡



(b) A3区边坡坡顶变形破坏现状



(c) A2与A3折冲部变形破坏现状



(d) 颜色彩条布覆盖从左往右为A4、A3、A2区边坡

图3 A2 - A4 边坡变形破坏现状图

初步分析,存在未严格执行先边坡后基坑的原则,边坡是挖一级加固一级,再开挖下一级,严禁全断面开挖再加固;破坏主要是坡脚基坑开挖切穿软弱层造成的基坑边坡失稳,继续沿软弱层滑动的上部边坡土层牵引破坏。

2 破坏模式和稳定性影响机制探讨

2.1 破坏模式综合分析

2.1.1 地层空间结构控制的破坏及影响

从图 2 和图 3 的地层结构可知,上部土层和下部全风化泥岩颜色分界明显,全风化泥岩属于易扰

动软弱地层。

土岩界面容易造成集水条件,关键层的扰动和软化多数由于现场坡脚水没有及时疏排造成,溢出点的盲沟集排很重要。全风化泥岩和下部煤层切穿造成的基坑边坡破坏原因有两个,即基坑没有采取合理的加固措施,没有认识到该类地层空间结构的重要性和工程危害,见图 4。



(a) 土岩分界面的破坏现象



(b) 煤层切穿造成的基坑边坡破坏现象

图4 A2 - A4 边坡变形破坏的地层解释

2.1.2 不合理施工造成的破坏和影响

了解施工组织的基础上,利用 Phase2D 软件,建立考虑现状地形、桩基激活、一级坡开挖、一级坡加固、二级坡开挖、二级坡加固、三级坡开挖、三级坡加固、预应力锚索激活、基坑开挖等 10 个动态工况的数值模拟,模型两侧法向约束、底部全约束,计算采用弹塑性本构,计算参数见表 1,限于篇幅仅展示剪应变增量揭示的破坏模式,见图 5。

由图可知,A2 区,坡面采取锚杆格构加固 + 坡脚桩锚加固下,煤层和全风化泥岩及上部土层内的组合变形没有发展贯通趋势,边坡整体安全。A3 - 2 区,坡面采取锚杆格构加固 + 坡脚桩锚加固下,存在沿二级坡脚 + 煤层 + 全风化泥岩 + 上部土层内越顶组合滑移风险;基坑开挖造成基坑侧壁存在坍塌风险。A3 - 3 区,坡面采取锚杆格构加固 + 坡脚桩锚加固下,煤层和全风化泥岩及上部土层内的组合变形没有发展贯通趋势,边坡整体安全。A4 区,坡面采取锚杆格构加固 + 坡脚桩锚加固下,煤层和全风化泥岩及上部土层内的组合变形没有发展贯通趋势,边坡整体安全。

综上,该区边坡的破坏主要是土岩分界面的局

部溢出水造成的坍塌和软弱层切穿造成的牵引破坏。

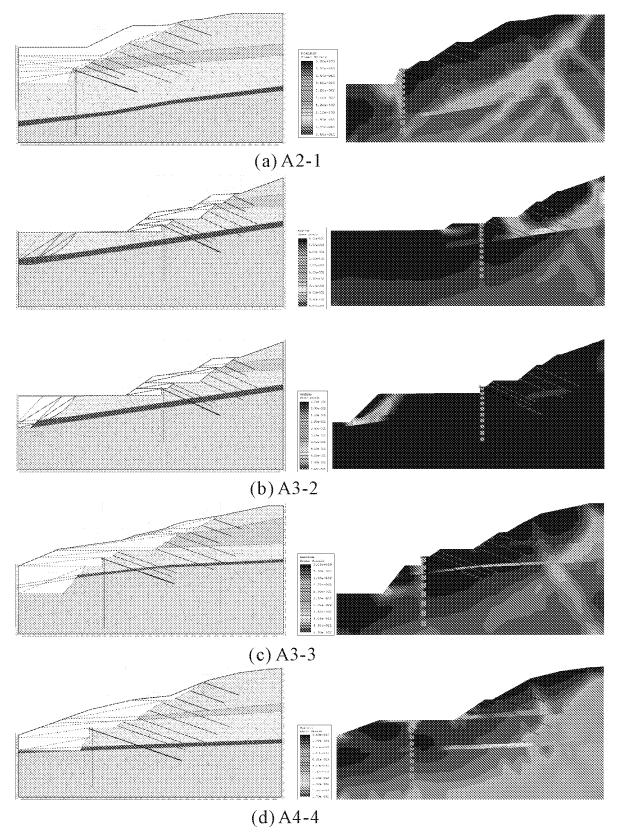


图5 A2-A4 边坡变形破坏的施工解释

2.2 当前措施下坡体稳定状态评价

2.2.1 基于坡面位移的坡体稳定状态评价

根据不同工况坡面监测点水平位移数据,整理成位移-动态工况曲线,见图6。

由图6可知,边坡整形造成的位移增量几乎都在cm级,基坑开挖造成位移急剧增加,所以临近基坑施工造成的影响最大,影响程度为A3-2的m级影响(已经破坏)>A4-4的dm级影响>A3-3的cm级影响>A2-1的cm级影响。影响程度敏感性排序基本和现场变形破坏程度吻合,即A3区>A4区>A2区。

2.2.2 基于抗滑桩内力的坡体稳定状态评价

根据不同工况抗滑桩桩身位移、轴力、剪力、弯矩数据,整理成结构内力-动态工况曲线,见图7。为了方便探讨桩身结构的安全性,计算采用m法,下滑力375 kN/m,圆桩1.2 m直径2.2 m桩间距,滑面最大深度8 m,得到的桩锚弹性设计计算结果见图7(e)、图7(f)。

由计算结果可知,桩身位移均在mm级,剪力最大值小于弹性设计计算结果421 kN,仅A4-4区弯

矩最大值1 219 kN·m大于桩锚弹性设计计算结果1 117 kN·m,小于悬臂桩弹性设计计算结果5 213 kN·m,说明该桩能承受这么大弯矩,小变形下结构安全,抗滑桩内力揭示的影响程度排序为A4区>A3-2区>A3-3区>A2区,所以A4区应该注意抗滑桩结构安全,其余区的抗滑桩结构安全。

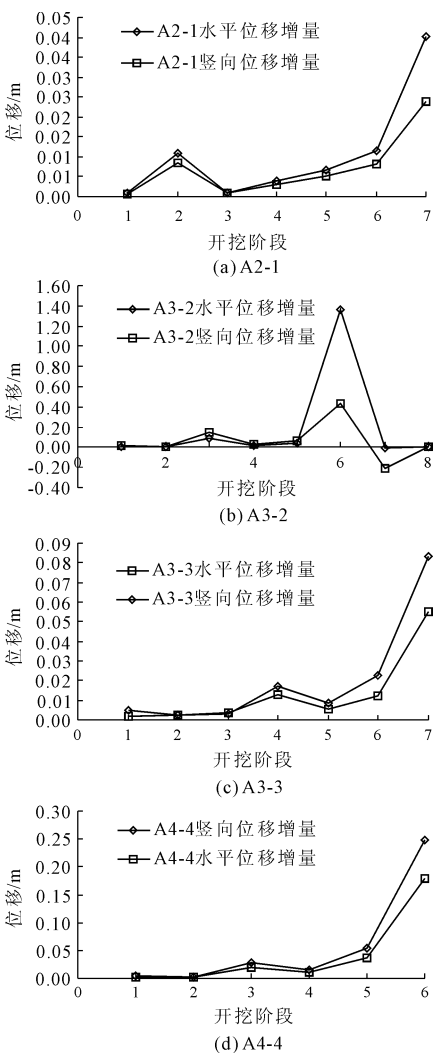


图6 位移揭示的A2-A4 边坡稳定状态

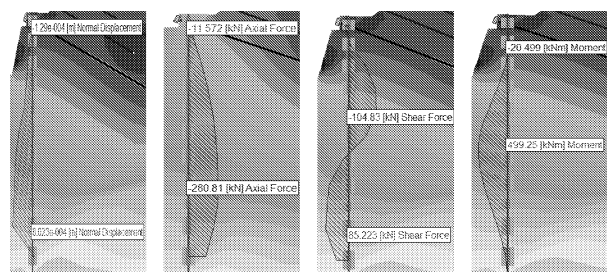
2.3 综合安全控制技术探讨

根据现状坡面调查、位移揭示的坡体稳定状态和抗滑桩结构安全揭示的坡体稳定状态,上述分区的综合稳定状态为A3-2区>A4区>A3-3区>A2区。

边坡安全不是静态的,也不可能通过一个阶段的工作就能全面控制边坡的安全性。通过该区边坡问题产生发展的过程可以看到,要想实现边坡的综合安全控制目标,则需要将安全工作分解到勘察、设计、施工、监测和管理的各环节,通过阶段安全目标实现综合安全控制,即勘察主要通过工程地质条件

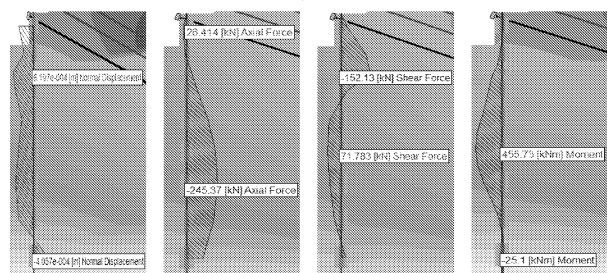
的掌握和了解,进行场地稳定性评价,揭示不良地质现象和评估关键层的影响,给出地质工程的评判;设计阶段,揭示机理,提出针对性的加固措施,给出设计工程师的评判;施工阶段,需要复核勘察设计的条

件,发现问题及时反馈做到真正的动态设计和调整;监测阶段,揭示变形发展趋势,反馈各方,以便调整施工组织。只有在各方的共同努力下,才能实现综合安全控制目标。



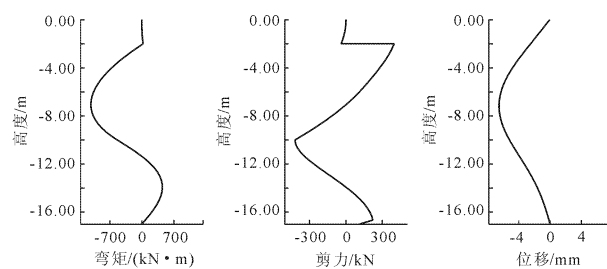
位移0.8 mm 轴力280 kN 剪力104 kN 弯矩499 kN·m

(a) A2-1

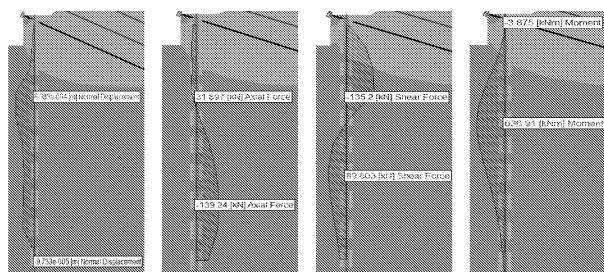


位移0.6 mm 轴力245 kN 剪力152 kN 弯矩456 kN·m

(c) A3-3

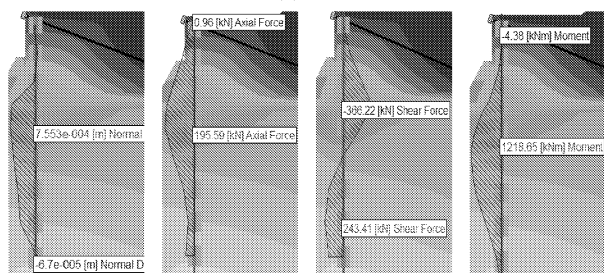


(e) 桩锚弹性设计计算结果(锚索最大受力427kN)



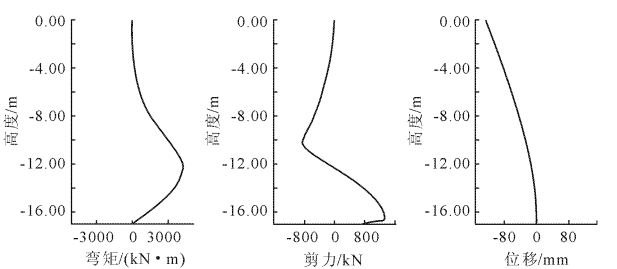
位移0.8 mm 轴力139 kN 剪力135 kN 弯矩637 kN·m

(b) A3-2



位移0.8 mm 轴力196 kN 剪力366 kN 弯矩1219 kN·m

(d) A4-4



(f) 悬臂桩弹性设计计算结果

图 7 抗滑桩内力揭示的 A2 - A4 边坡稳定状态

3 结论和建议

根据工程地质条件、数值仿真和监测资料,对印尼某火电厂问题边坡的破坏失稳机制和稳定性影响要素进行了综合分析,所得主要结论如下:

(1) 该区边坡的稳定性主要受土岩界面、全风化泥岩和煤层等软弱层的切穿暴露或扰动软化控制,为牵引滑移模式。

(2) 边坡开挖和基坑开挖过程中需要注意溢出点水的及时疏排,尽量避免坡脚浸水软化。

(3) 严禁未施工边坡,先开挖基坑;开挖施工前应及时加固边坡,加固体进入煤层软弱夹层一定深度,形成有效阻滑;基坑支护必须重视,尽量避免基坑侧壁失稳造成的边坡次生灾变。

(4) 根据现状坡面调查、位移揭示的坡体稳定状态和抗滑桩结构安全揭示的坡体稳定状态,上述分区的综合稳定状态为 A3 - 2 区 > A4 区 > A3 - 3 区 > A2 区。

(5) 边坡应该通过勘察、设计、施工、监测和管理的阶段安全目标实现过程安全控制。

参考文献:

- [1] 谭捍华,李宗鸿,彭 澍,等. 中等倾角顺层边坡地下开挖失稳模式研究[J]. 工程勘察,2020,48(5):6-10.
- [2] 姚裕春. 边坡开挖工程活动对环境影响研究[D]. 成都:西南交通大学,2005.
- [3] 肖安斌,陈 伟,吴廷尧,等. 锚碇深基坑开挖过程边坡动态变形及稳定性演化规律研究[J]. 公路,2020,65(4):216-220.

[4] 朱泽奇. 坚硬裂隙岩体开挖扰动区形成机理研究[D]. 武汉:中国科学院研究生院(武汉岩土力学研究所), 2008.

[5] 李兆平,张 弥,王连俊. 考虑开挖扰动和基质吸力影响的基坑边坡安全性研究[J]. 中国安全科学学报, 2000(5):16-20,82.

[6] 张亚奎. 深基坑开挖对邻近建筑物变形影响的研究[D]. 北京:北京工业大学,2003.

[7] 武亚军. 基坑工程中土与支护结构相互作用及边坡稳定性的数值分析[D]. 大连:大连理工大学,2003.

[8] 黄春娥,龚晓南. 条分法与有限元法相结合分析渗流作用下的基坑边坡稳定性[J]. 水利学报,2001(3):6-10.

[9] 黄春娥,龚晓南,顾晓鲁. 考虑渗流的基坑边坡稳定分析[J]. 土木工程学报,2001(4):98-101.

[10] 赵 杰,邵龙潭. 基坑土钉支护边坡有限元稳定性分析方法探讨[J]. 岩土力学,2008(6):1654-1658.

[11] 杨龙才,王炳龙,周顺华,等. 基坑边坡变形和稳定性的离心试验研究[J]. 上海铁道大学学报,2000(10):100-105.

[12] 王鑫平. 砂卵石堆积层浅埋暗挖法隧道近距离下穿深基坑技术研究与应用[J]. 中国新技术新产品, 2017(4):92-93.

[13] 张茜珍,刘 昕. 半盖挖法在地铁车站基坑中的应用及效果分析[J]. 水利与建筑工程学报,2015,13(2):207-211,217.

[14] 李欢秋,吴祥云,明治清,等. 基坑附近楼房基础综合托换及边坡加固技术[J]. 岩石力学与工程学报, 2003(1):153-156.

[15] 王朝东,夏 祥. 喷锚支护在深基坑工程中的应用[J]. 岩石力学与工程学报,2003(S1):2490-2492.

[16] 王定军,段 罗,王举伟,等. 淤泥质软土基坑边坡稳定性分析及其加固方案研究[J]. 城市轨道交通研究,2018,21(3):102-106.

[17] 张向阳,李欢秋,吴祥云,等. 不良地质环境中基坑边坡加固技术分析及其应用[J]. 岩土力学,2007,28(S1):663-668.

[18] 田 军,秦福宋. 武昌两湖泵站深基坑边坡加固的设计与施工[J]. 华中科技大学学报(城市科学版), 2005(S1):52-54.

[19] 刘 峻,王京红. 中国驻新加坡新建使馆工程基坑边坡加固技术[J]. 建筑施工,2002(6):447-449.

[20] 肖武权,冷伍明,律文田. 某深基坑支护结构内力与变形研究[J]. 岩土力学,2004(8):1271-1274.

(上接第 38 页)

[5] 张玉成,杨光华,姜 燕,等. 软土地区双排钢板桩围堰支护结构的应用及探讨[J]. 岩土工程学报,2012,34(S1):659-665.

[6] 邓鲲鹏. 基于有限元的钢板桩围堰设计方案分析[J]. 水利与建筑工程学报,2011,9(6):112-115.

[7] 高加云,顾倩燕,李小军. 软土地基大跨度双排钢板桩围堰结构稳定性研究[J]. 水运工程,2009(S1):50-55.

[8] 江 杰,顾倩燕,陈 骏,等. 双排钢板桩围堰设计参数冗余度分析[J]. 水运工程,2017(9):174-180.

[9] 张玉成,杨光华,钟志辉,等. 软土基坑设计若干关键问题探讨及基坑设计实例应用分析[J]. 岩石力学与工程学报,2012,31(11):2334-2343.

[10] 吴留伟,郑国兵,吴 蕾,等. 双排钢板桩围堰在超深厚软土地基中的应用[J]. 水运工程,2018(3):143-148.

[11] 司鹏飞,田利勇,张雨剑,等. 双排钢板桩围堰变形特性研究[J]. 水运工程,2020(6):172-176,187.

[12] 王卫东,王浩然,徐中华. 基坑开挖数值分析中土体硬化模型参数的试验研究[J]. 岩土力学,2012,33(8):2283-2290.

[13] 田利勇,于文华,卢育芳. Plaxis 在板桩结构分析中的应用[J]. 水运工程,2015(4):194-200.

[14] Benz T. Small-strain stiffness of soils and its numerical consequence [D]. Stuttgart: Universitat of Stuttgart, 2007.

[15] 张江涛,豆红强,王 浩. 滨海软土地区综合管廊基坑开挖钢板桩支护性状分析[J]. 水利与建筑工程学报,2016,14(6):120-125.

[16] 李 飞,徐 劲,张 飞,等. 渗流作用下深基坑开挖抗隆起破坏数值模拟[J]. 地下空间与工程学报, 2017,13(4):1088-1097.

[17] 蔡密峰,陈 伟,刘建伟,等. 钢-混凝土联合内支撑支护体系现场监测与分析[J]. 水利与建筑工程学报,2019,17(5):209-214.