

印尼某火电厂高填方边坡防治综合分析

郑争锋, 钟信林

(中国电力工程顾问集团中南电力设计院有限公司勘测工程公司, 武汉 430071)

摘要: 电厂建设过程中场平形成的高填方边坡是威胁电厂安全的危险源之一。对高填方边坡进行综合分析有助于了解边坡失稳普适性规律,为同类边坡治理提供理论依据。通过对印尼某电厂高填方边坡进行地质勘测、稳定性评价、数值模拟、长期监测,综合探讨高边坡变形机理和防治措施的可靠性。研究结果显示:填方高边坡破坏模式主要是围绕软弱结构面,如表层填土和煤层等滑移或出现不均匀沉降;坡面防护体系、坡体内加筋格栅等防治措施可有效提高高填方边坡的稳定性;长期监测是评价边坡加固可靠性的重要依据,也是提前评价边坡潜在隐患的重要手段。

关键词: 电厂高边坡; 边坡稳定性; 综合治理; 长期监测

中图分类号: X45 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)11-0289-06

随着国民经济的快速发展,社会对电力的需求与日俱增。同时“十四五”规划对火力发电的全新定位,寻求更合理的经济环保性迫在眉睫^[1-3]。各类开挖填埋与日俱增,在火电扩增、改造逐步增加的双向背景下,拟建厂址周边边坡问题愈加频繁和突出。包含人为和自然两大因素在内的诸多因素都会造成边坡稳定性的破坏,从而造成的泥石流、滑坡、崩塌等地质灾害对人身安全、社会经济造成了极大的威胁。因而电厂周边高边坡的安全稳定性不容忽视。

诸多学者对边坡的形成、稳定性、防治措施进行了探究^[4-8]。边坡失稳通常有两种形式:一类岩土体在外力的作用下,应力平衡状态遭到破坏;另一类是受外界环境的影响,边坡岩土体的抗剪强度逐渐降低,达到破坏临界值时失稳破坏^[9-11]。吴启红等^[12]采用多级模糊评判分析了某采空区边坡稳定性;刘殿军等^[13]使用FLAC等软件模拟边坡稳定性和破坏模式。韩重等^[14]通过勘测、数值模拟分析了印尼某电厂A2-A4区挖方边坡稳定性,通过后期治理、监测等探讨了加固措施的正确性和合理性。李海涛等^[15]通过对川北某变电站填方边坡展开研究,发现降雨对填方边坡影响较大,使用预应力锚杆加固土体后,安全系数稳固提升。此外,诸多研究探索了不同环境条件下(弱降雨和强降雨、顺层

地层、软岩地层等),边坡的稳定机制和力学性质^[16-19]。而这些研究成果有助于人们更加了解高陡边坡分析与治理方法,并为工程的顺利实施提供了一定的保障;但对于火力发电厂填方边坡的稳定性研究、治理措施及治后效果机制研究目前较为缺乏。

综上所述,以印尼某电厂B区填方边坡为研究对象,探讨填方边坡稳定性制约因素,分析边坡变形机理,提出针对性的加固措施;通过长期监测,检验加固措施有效性,为相关类型项目的边坡治理提供理论依据和技术指导。这一研究可以补充火电厂周边填方边坡稳定性及治理措施领域研究的空白。

1 工程概况

工程区火电厂位于印度尼西亚南苏门答腊省穆印县Tanjung Agung镇境内。现场交通条件较差,现阶段工程建设2台660 MW超临界燃煤热电联产机组。B坡原始状态及填方后状态如图1所示。

电厂及周边区域原地貌为丘陵区,原属橡胶林、棕榈林和灌木林区。由于工程实施,场地平整需要形成填方边坡,边坡长约300 m,边坡最高23 m。厂区地层主要为黄褐色第四系全新统残坡积黏土和红褐色第四系上更新统残坡积黏

收稿日期: 2023-12-22

基金项目: 华电(印尼)玻雅2×660MW坑口电站工程边坡治理工程项目(FK00901W)

作者简介: 郑争锋(1983—),男,湖北咸宁人,硕士,高级工程师,研究方向为火力发电项目、新能源发电项目;钟信林(1993—),男,湖北咸宁人,博士,工程师,研究方向为地球化学、新能源发电。

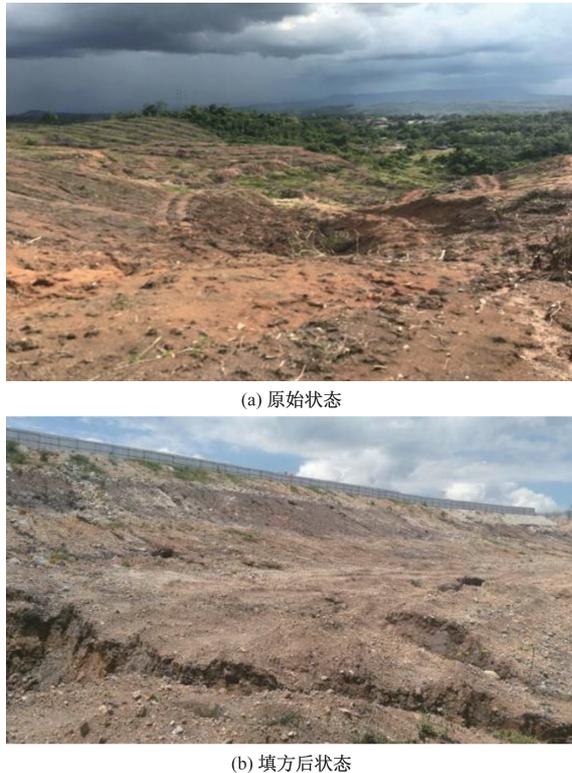


图1 B坡原始状态及填方后状态

土,同时钻探揭露有色全、强风化泥岩、煤层夹层。

2 稳定性分析和应对措施

2.1 填方边坡稳定性分析

边坡稳定性的强弱是判断其是否产生灾害风险的重要条件。因而从地质条件、岩土力学计算、数值模拟等方面探讨边坡稳定特性。

2.1.1 地质条件分析

(1)地形地貌。据现场调查,边坡场地区的原始地形较缓,坡度基本为 $1:3\sim 1:4$,表明该区域土质的天然休止坡度不大于 $1:3$;电厂在厂区整平过程中对周边区域挖高填低,人工挖方边坡的坡率约为 $1:1.5$,填方区边坡坡率约为 $1:1.5\sim 1:2.0$,坡度较陡,存在边坡失稳破坏的安全隐患。

(2)地层岩性。印尼某火电厂工程场地地层主要为填土(填料为场地的黏土、风化泥岩)、黏土及其风化的泥岩,且黏土具有弱~中膨胀潜势,因此场

地边坡属膨胀土边坡,根据膨胀土边坡特性及相关文献,膨胀土自然稳定的坡脚小,一般为 $3^\circ\sim 20^\circ$,绝大部分小于 14° ;该土层天然状态下物理力学参数指标较好,但遇水软化,抗剪强度急剧降低,极易在膨胀土层内发生滑坡。

(3)水文气象。降雨对边坡失稳的诱发作用主要体现在降雨过程中增加坡体的自重,增大孔隙水压力,使处于极限平衡的坡体产生滑动;其次是降水入渗后,土质软化,降低了抗剪强度,减弱了抗滑作用,极易导致坡体变形进而发生失稳滑移。现场勘测期间,厂区北侧挖方边坡受降雨的影响,已发生多次滑动破坏。另外,西侧、西南侧、西北侧以及东北侧的填方边坡区域标高相对较低,为场地及其附近区域的主要汇水区。因此在经历降雨后,填方边坡区域的雨水入渗将会更严重,在相同的坡型地质条件下,发生滑坡的概率会更高。

2.1.2 稳定性计算分析

印尼某火电厂工程边坡体按土质边坡考虑,边坡破坏模式为圆弧滑动。圆弧滑动法有多种分析方法,本文采用《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013)中推荐的简化毕肖普法(Bishop法)。

强度参数的选取对边坡稳定性评价起着关键性作用,综合电厂区域土工实验结果,填方区稳定性计算参数见表1。

边坡稳定性可划分为以下4个状态:稳定系数 $F_s < 1.00$ 为不稳定; $1.00 \leq F_s < 1.05$ 为欠稳定状态; $1.05 \leq F_s < F_{st}$ 为基本稳定状态; $F_s \geq F_{st}$ 为稳定状态,其中 F_{st} 为边坡稳定安全系数。边坡稳定性安全计算模型如图2所示。

根据计算结果,填方边坡B坡在天然工况下为欠稳定状态,在暴雨及地震工况下均为不稳定状态。

2.1.3 数值模拟分析

利用Phase2D软件,建立图2所示的两类边坡的数值模型,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,水平位移、竖向位移和剪应变云图如图3所示。

表1 稳定性计算参数选取

参数	素填土		黏土1		黏土2		煤层		强风化岩	
	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和
黏聚力 c/MPa	15	14	12	10	15	11	27	23	50	40
内摩擦角 $\varphi/(\text{^\circ})$	10	9	8	6	9	7	16	13	18	15
重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	15	16	16	17	17	18	17	18	17	18

表 2 稳定性计算结果

工况	稳定系数	稳定状态
天然工况	1.0	欠稳定
地震工况	0.8	不稳定
暴雨工况	0.8	不稳定

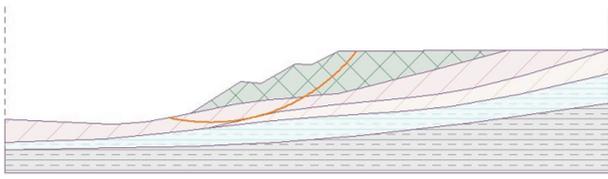


图 2 边坡稳定性安全计算模型

填方边坡的变形破坏主要是沿着填筑体和自然地形结合部位,会带动部分自然地层一起变形运动破坏,见剪应变云图,变形主要发生在没有经过自然固结变形的填筑土体,水平位移云图可见。

2.2 边坡加固方法设计

如图 4 所示,边坡顶为现有场平设计标高 100.3 m;边坡底为现有自然地面,标高 77~79 m,在填方施工之前,需完成基面处理及地基处理,此外,填筑材料及填筑方式需满足设计要求。

第 1 级边坡:坡高 6~7 m,坡顶标高 84.3 m,坡面坡率 1:1.5~1.8,坡体采用加筋土护坡,坡面反包土工格栅防护坡面,加筋土筋带长 30 m(含反包),筋带层间距 0.5 m,坡顶马道宽 2 m,坡脚采用 M7.5 浆砌块石挡土墙防护,挡土墙埋深统一为 2.0 m,其中外露高度 1~2 m;坡脚修建排水沟。

第 2 级边坡:坡高 8 m,坡顶标高 92.3 m,坡面坡率 1:2,坡体采用加筋土护坡,坡面反包土工格栅防护坡面,加筋土筋带长 17.5 m(含反包),层间距 0.5 m,坡顶马道宽 2 m。

第 3 级边坡:坡高 8 m,坡顶标高 100.3 m,坡面坡率 1:2,坡体采用加筋土护坡,坡面反包土工格栅防护坡面,加筋土筋带长 12.5 m,层间距 0.5 m,坡顶与围墙之间硬化;回填至 99.3 m,铺设一层宽约 50 m 复合土工膜隔水。

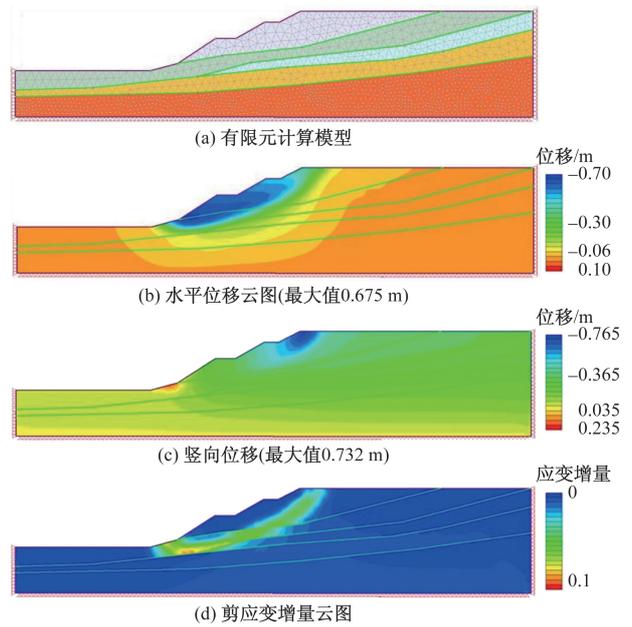


图 3 填方边坡变形破坏数值分析云图

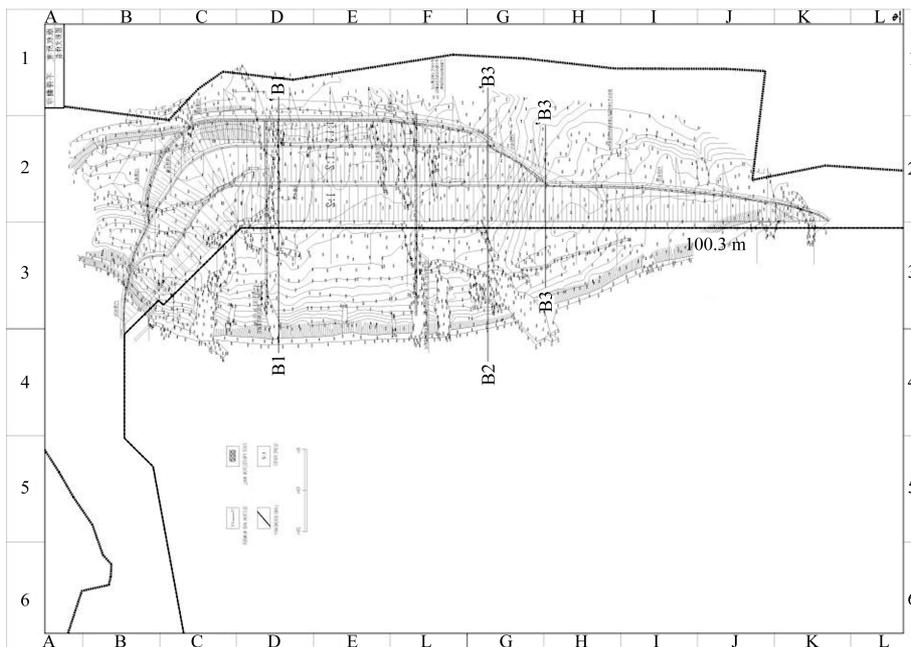


图 4 边坡加固施工设计图

3 监测点的布置和加固效果分析

3.1 坡面变形监测点的布置

为检测加固措施的可靠性, B 坡坡面治理针对性地布置多条坡面变形监测剖面及深部位移监测点, 如图 5 所示。对边坡变形情况进行观测, 观测时间为 2019 年 12 月至 2020 年 5 月。

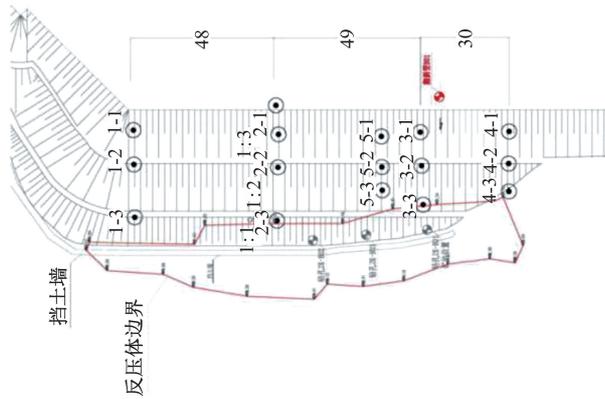


图 5 观测点平面布置图

3.2 边坡加固效果分析

支护初期, 从图 6~图 9 统计的观测数据分析,

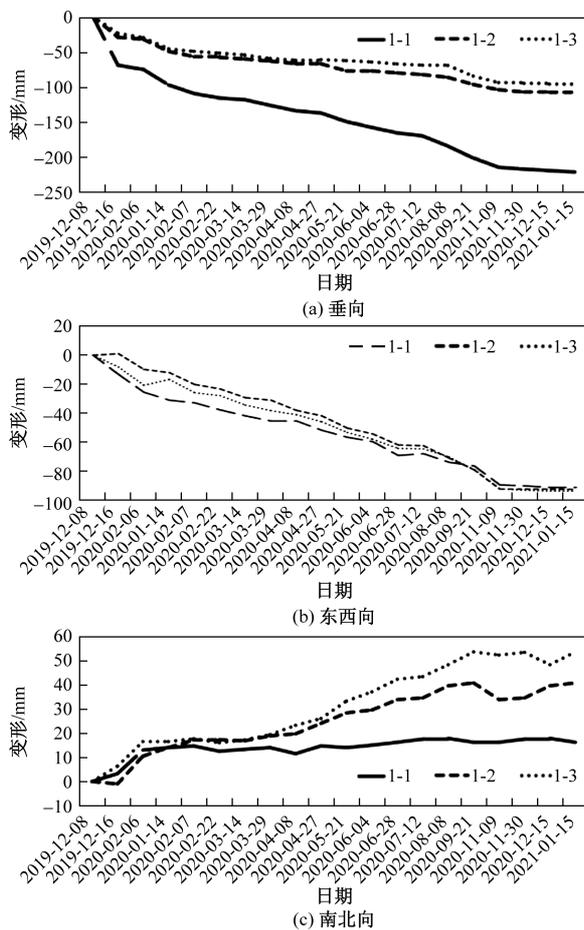


图 6 1 号剖面垂向、东西向、南北向变形曲线

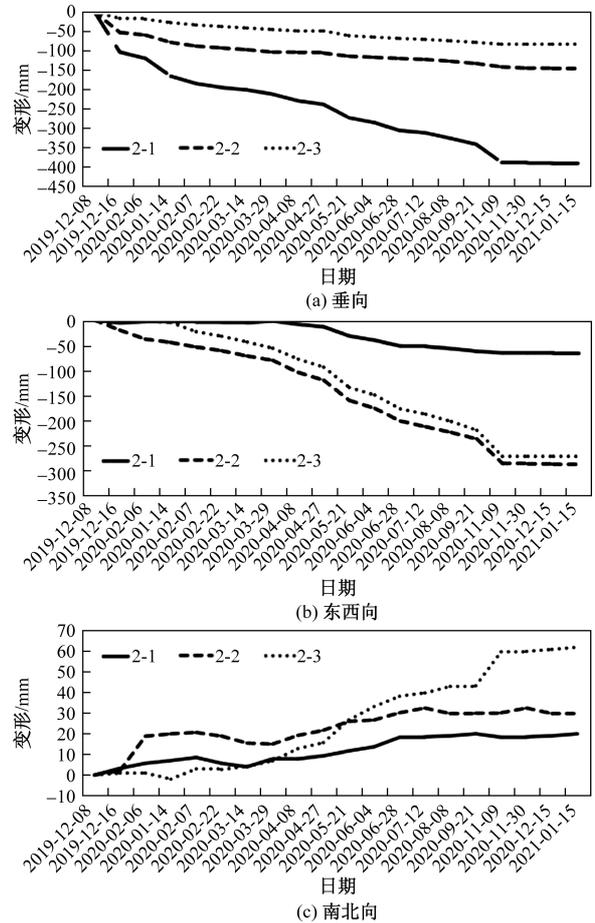


图 7 2 号剖面垂向、东西向、南北向变形曲线

所有观测点沿南北向水平位移数值较小, 且存在一定波动, 位移变化不显著; 所有观测点沿东西向存在持续性位移变化, 边坡坡顶位置观测点位移变化相对较小, 坡面以及坡底观测点位移变化相对较大; 高程方向, 除极个别点短期出现抬升现象, 大部分点在观测期间趋势均以下沉为主, 坡面、坡底观测点下沉量相对较小, 坡顶观测点下沉量相对较大。

根据监测点位移曲线显示: 边坡的主要变形以向西(顺坡向)的水平位移和垂直方向沉降为主。至 1 月 16 日, 监测点 3-2 向西(顺坡向) 57 mm(所有监测点最大值), 垂直方向沉降 65 mm; 监测点 3-1 向西(顺坡向) 7 mm, 垂直方向沉降 133 mm(所有监测点最大值)。监测点中最大平均水平位移速率为 1.26 mm/d(监测点 3-2), 最大平均沉降速率为 2.95 mm/d(监测点 3-1)。

针对坡面高精度变形监测数据, 结合地质岩性背景, 推测 1、2、4 号剖面下沉原因有以下两个: ①填土种类较多, 质量差异较大, 导致坡面不均匀下沉; ②加固措施施工时间正值印尼雨季, 且暴雨迅猛、雨量大, 致使岩土体含水率较高, 致使后期地面沉

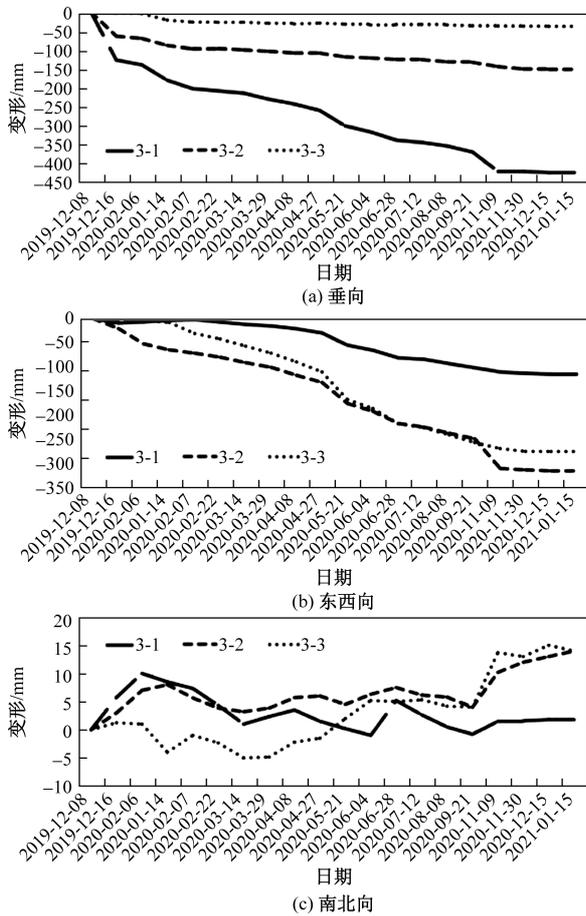


图8 3号剖面垂向、东西向、南北向变形趋势曲线

降。针对3号剖面,此外煤层开采回填未碾压压实有关。

总体而言,从东西向的变形曲线来看,各个监测点的水平向西(顺坡向)的位移有收敛趋势,渐趋稳定。从垂直向沉降曲线来看,各个监测点沉降速率存在减缓趋势,但仍然会发生沉降,符合填方边坡工后沉降的特点。结合治理后边坡稳定性来看(表3),边坡已趋于稳定。因此,在支护后期坡脚采取反压措施后,就目前的情况来看,边坡暂时稳定。

表3 边坡加固后稳定性系数

工况	天然工况	地震工况	暴雨工况
加固前	1.0	0.8	0.8
加固后	1.2	1.15	1.15
状态	欠稳定→稳定	不稳定→稳定	不稳定→稳定

4 结论和建议

以印尼某电厂填方高边坡为研究对象,基于区域地质背景,结合监测手段和数值模拟分析填方高边坡支护的变形机理和稳定性,并探讨了边坡加固方法的可靠性,得到以下结论。

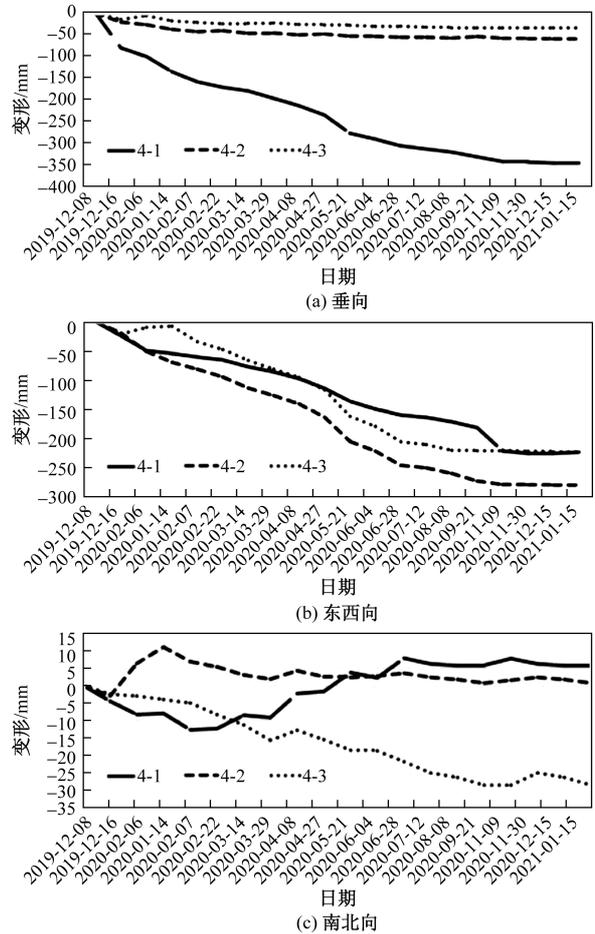


图9 4号剖面垂向、东西向、南北向变形曲线

(1)B区填方边坡破坏模式主要是围绕软弱结构面,如表层填土和煤层等滑坡,或出现不均匀沉降。

(2)加固措施之前,填方边坡稳定性较差;通过增设加筋、坡面格栅等防治措施后,边坡稳定性得到了极大的提升,天然工况下稳定状态从欠稳定转至稳定(稳定性系数 1.0→1.2),暴雨工况下,稳定状态从不稳定转至稳定(稳定性系数 0.8→1.15)。

(3)长期监测是评价边坡加固措施安全性的重要手段。通过监测数据分析,边坡在治理后出现不同程度变形,1、2、4号剖面下沉与土体治理和降雨施工有关,最终趋于平缓;3号剖面下沉较大,通过反压最终趋于平缓。

参考文献

[1] 林少忠. 广东怀阳高速公路泥盆系地层顺层边坡工程地质特征研究[J]. 建筑技术开发, 2019, 46(11): 161-162.
 [2] 陈晗. 覆盖土-风化岩层二元结构库岸边坡稳定性分析[J]. 人民珠江, 2018, 39(6): 81-84.
 [3] 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.

- [4] 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.
- [5] 吴朝峰. 浙江某电厂边坡稳定性分析与评价[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
- [6] 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, 22(S1): 52-54.
- [7] 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.
- [8] 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, 25(8): 1271-1274.
- [9] 赵建军, 解明礼, 余建乐, 等. 工程荷载诱发填方边坡变形破坏机制试验研究[J]. 工程地质学报, 2019, 27(2): 426-436.
- [10] 徐聪, 胡新丽, 沙玉, 等. 填方边坡变形机制研究[J]. 安全与环境工程, 2015, 22(1): 39-44.
- [11] 李海鸥. 铜湾水电站船闸区人工边坡稳定性分析[J]. 工程技术研究, 2018(11): 19-21.
- [12] 吴启红, 万世明, 彭文祥. 一种多层采空区群稳定性的综合评价法[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2012, 43(6): 2324-2330.
- [13] 刘殿军, 韩连生, 卢晓辉. 弓长岭露天矿含空区边坡稳定性研究[J]. 金属矿山, 2015(11): 1-6.
- [14] 韩重, 张仁成, 李立瑞, 等. 印尼某火电厂 A2-A4 区人工边坡失稳机制研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2021, 19(1): 200-206.
- [15] 李海涛, 任光明, 范荣全, 等. 川北某变电站堆积体边坡稳定性及加固措施分析[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2023, 50(4): 454-464.
- [16] 夏艺峰, 贾泽庆, 周春梅. 强降雨作用下风化混合花岗岩边坡稳定性分析[J]. 科技和产业, 2024, 24(1): 267-272.
- [17] 赵海松, 魏安辉, 张乐, 等. 隧道口劣化软岩顺层边坡失稳机制及防治设计[J]. 科技和产业, 2023, 23(19): 151-158.
- [18] 黄待望, 董薇. 滑坡范围内场地边坡稳定性分析与治理措施[J]. 科技和产业, 2023, 23(9): 162-166.
- [19] 刘明扬, 武哲, 付晓东, 等. 不同降雨条件下堆积体边坡响应规律与失稳力学机制分析[J]. 科技和产业, 2021, 21(7): 266-274.

Comprehensive Analysis on High Refiling Slope of a Power Plant in Indonesia

ZHENG Zhengfeng, ZHONG Xinlin

(Central Southen China Electric Power Design Institute Co., Ltd. of China Power Engineering Consulting Group, Wuhan 430071, China)

Abstract: The high fill slope formed during the construction process of power plants is one of the dangerous sources that threaten the safety of power plants. Comprehensive analysis of high fill slopes is helpful to understand the universal laws of slope instability, and provide theoretical basis for similar slope treatment. The deformation mechanism and reliability of prevention and control measures of high fill slopes in a power plant in Indonesia are comprehensively explored through geological survey, stability evaluation, numerical simulation, and long-term monitoring. The research results show that the failure mode of high fill slopes mainly revolves around weak structural planes, such as sliding or uneven settlement of surface fill and coal seams. Prevention and control measures such as slope protection system and reinforcement grid inside the slope can effectively improve the stability of high fill slopes. Long term monitoring is an important basis for evaluating the reliability of slope reinforcement, and also an important means for early evaluation of potential hazards in slopes.

Keywords: power plant slope; slope stability; comprehensive control; long-term monitoring