

某山区公路弃渣场失稳造成的环境影响评估

蒋文鹏¹, 段文娅¹, 卢云¹, 张金蕾¹, 尹小涛²

(1. 大理大漾洱云高速公路有限公司, 云南 大理 671000;

2. 中国科学院武汉岩土力学研究所 岩土力学与工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430071)

摘要: 依托某公路失稳弃渣场案例, 利用考虑弃渣堆填过程的有限元数值仿真技术, 揭示该弃渣场的失稳机制; 利用多期次地面调查和监测相结合的方法, 评估弃渣场在失稳、应急处置、水泥土搅拌桩加固下对周边既有养殖场、铁路桥墩和民居环境的安全影响, 所得主要结论如下: 数值堆载试验的剪应变和塑性区云图揭示 K59+320 弃渣场的灾变是下卧淤泥质土层的承载失稳造成的, 滑移主要沿下卧淤泥质土层侧向挤出破坏, 弃渣堆积高度超过 20 m 以后边坡整体失稳; 针对紧邻养殖场、下游在建铁路桥墩、道路左侧民居的多期次地面调查发现上述建(构)筑物结构外观完好, 调查评估未发现弃渣场失稳、应急处置和水泥土搅拌桩加固对附近既有建(构)筑物安全产生明显影响; 根据表观和深部位移监测曲线, 表观位移最大值 76.0 mm, 深部位移最大值 5.5 mm, 变形主要出现在施工期及工后稳定阶段, 目前变化均趋于稳定, 且月变化量小于 1.0 mm, 监测数据证明水泥土搅拌桩加固后弃渣场对附近既有建(构)筑物的长期安全没有威胁。

关键词: 山区公路; 弃渣场; 失稳机制; 水泥土搅拌桩加固; 周边环境的影响评估

中图分类号: TU457

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2022)01—0189—06

Environmental Impacts Estimation Caused by Collapse of a Mountainous Highway Abandoned Dreg Site

JIANG Wenpeng¹, DUAN Wenya¹, LU Yun¹, ZHANG Jinlei¹, YIN Xiaotao²

(1. Dali Dayangeryun Highway Limited Company, Dali, Yunnan 671000, China;

2. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, Hubei 430071, China)

Abstract: Based on the failure case of a highway waste disposal area, the finite element numerical simulation technology was adopted considering the process of the abandoned slag filled presents its unstable mechanism, using multi-phases ground survey combined with deformation monitoring evaluates environmentally safe influence of existed farm, railway bridge pier and houses. Main conclusions are as following. Numerical loading test's shearing strain and plastic zone contours reveals disaster mechanism of the K59+320 abandoned dreg site being mucky soil layer's bearing instability. The main slipping deformation occurs along the underlying mucky soil stratum. The filling height large than 20 m causes the whole slope being unstable. Multi-phases ground survey on adjacent farm, downstream railway bridge piers under construction, and buildings on road left finds their appearance structures being intact, which proves the K59+320 waste disposal area's instability, emergency disposal and reinforced by cement mixing piles no obvious effect on these existed buildings and structures. According to surface and deep displacement monitoring curves, the maximum surface displacement being 76.0 mm and the maximum deep displacement being 5.5 mm, which occur at construction stage and post construction stable period. Now monitoring data tend to flat curve and monthly variation within 1.0mm, which proves the K59+320 waste disposal area after reinforcement doing no harm to these existing buildings and structures' long-term safety.

Keywords: mountainous highway; abandoned dreg site; instability mechanism; reinforcement with cement mixing pile; surrounding environmental impact assessment

山区交通工程建设,限于地形地貌的约束,经常面临有限空间设计和施工的挑战,土石方平衡工程难免会对初始地形、在建工程和紧邻工程产生不同程度的安全影响,且不同工程的安全标准不同,如何实现这些不同安全等级工程的环境协调?复杂环境下如何实现系统安全?这些均需要进行预研才能保证工程建设的顺利进行,同时这些研究也有利于交叉领域的标准覆盖和建立。

当前山区公路弃渣场自身稳定性及其对临近既有建构筑物的影响研究主要集中在以下几方面:(1)弃渣工程自身稳定性,弃渣沿渣体内部滑移、弃渣与自然斜坡接触面、渣体和斜坡综合体深部滑移的潜在风险分析和评价,堆积前后要保障工程自身稳定性^[1-5]; (2)弃渣工程对临近既有工程 and 在建、拟建工程的影响机制、环境影响评估及工程处置措施^[5-10]; (3)后建工程对既有弃渣工程的稳定性影响机制、环境影响评估及安全控制技术^[11-15]; (4)弃渣工程中长期环境安全保障技术和监测技术^[16-20]。既要保证弃渣工程安全,也要控制环境影响和保障既有建构筑物的安全,保证工程建设安全有序的进行。

本文以某山区公路失稳弃渣工程为研究对象,利用数值仿真技术,揭示弃渣边坡变形失稳机理和环境影响范围,提出针对性加固方案;利用地面调查和监测相结合的方法,检验加固效果,评估环境影响,为类似工程提供借鉴。

1 工程概况

1.1 工程场地地形及周边环境

某山区公路 K59+320 右侧 100 m 弃渣场,为沟谷型弃渣场地,占地面积 5.33 hm²,拟堆放 5.43 × 10⁵ m³,计划堆高 28.0 m,地形平面见图 1。后缘为挖方路基,左侧乡村道路边有几户居民,前缘有一个养殖场,再往下为在建大临铁路桥墩。周边环境相对复杂,环境保护要求较高。

1.2 工程地质条件

根据钻孔揭露地层,自上而下依次为:弃渣、褐黄色残坡积土、灰褐色淤泥质土、全风化花岗岩、强风化花岗岩,详见图 2。

勘察提供的弃渣场各地层岩土体的物理力学性质指标统计列于表 1。

根据《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2015),场区地震动反应谱特征周期为 0.45 s,地震动峰值加速度 0.20g,设计地震分组为第三组,场区地震基本烈度为Ⅷ(8)度,弃渣场及其影响范围内

各建(构)筑物均按此设防。

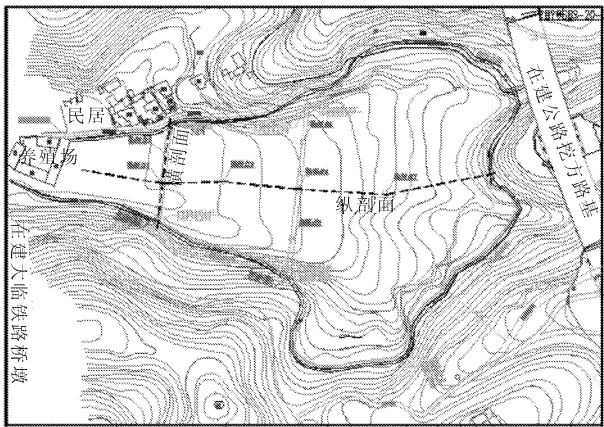


图 1 K59+320 弃渣场平面地形图

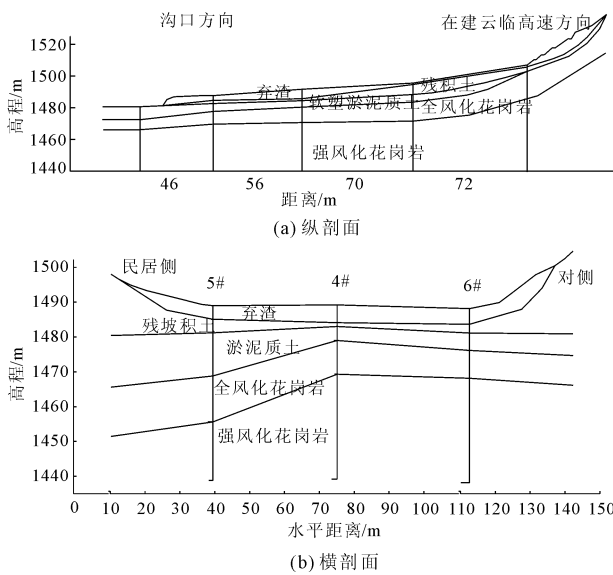


图 2 K59+320 弃渣场工程地质纵剖面及横剖面

表 1 K59+320 弃渣场各地层物理力学参数表

地层	状态	重度 /(kN·m ⁻³)	黏聚力 /kPa	摩擦角 /(°)	模量 /MPa	泊松比	承载力 /kPa
弃渣	自然	18.5	15	28	20	0.40	—
	饱水	19.7	10	26	15	0.39	—
淤泥质土	自然	17.8	10	12	5	0.42	60
	饱水	17.4	5	10	3	0.45	50
残坡积土	自然	18.6	30	35	25	0.32	110
	饱水	19.2	25	28	20	0.35	100
强风化基岩	自然	22.8	200	35	35	0.30	200
	饱水	23.5	150	32	30	0.31	180

2 考虑过程的弃渣场失稳机理探讨

2.1 数值模型和计算方案

为揭示弃渣过程造成的失稳机理,利用

PHASE2D 软件,建立自然地面堆积 4 级弃渣边坡,每级坡 7 m 高,坡率 1:1.0,台阶宽度 2 m,包括初始地形共计 5 个仿真工况,计算参数见表 1,有限元数值模型见图 3。岩土体本构采用弹塑性本构,两侧法向约束,底面全约束,三角形单元。

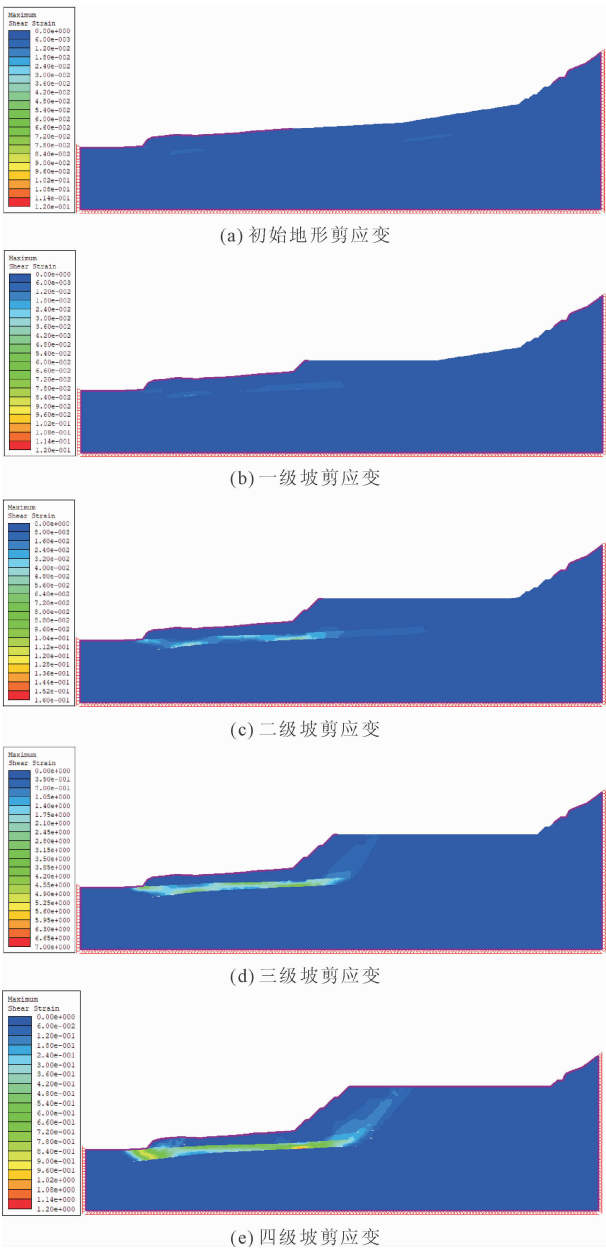
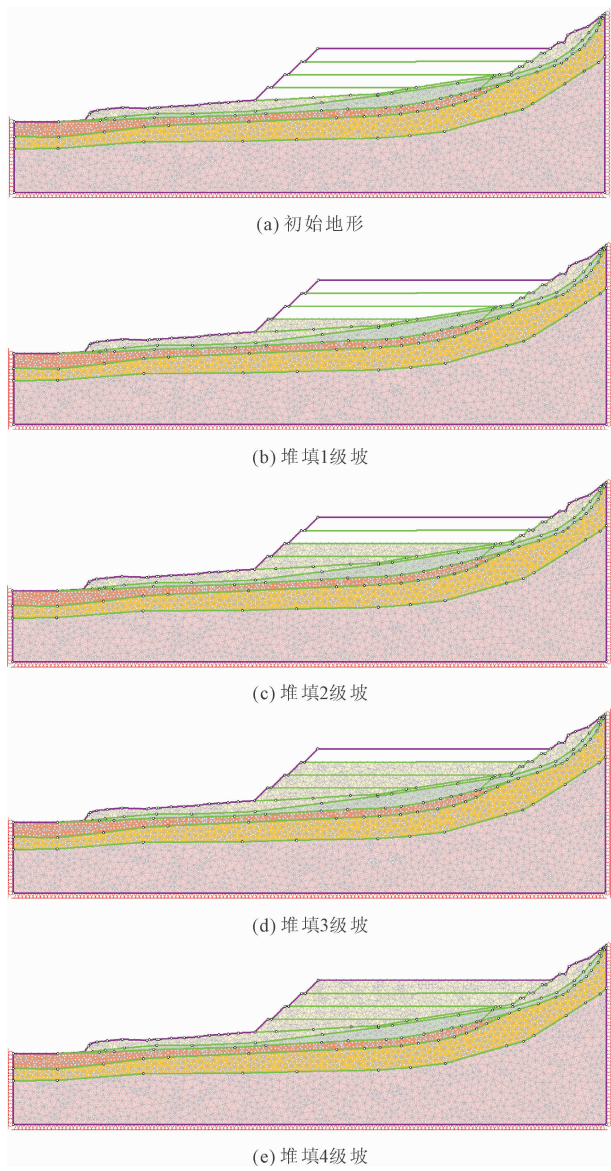


图 4 考虑施工过程的 K59 + 320 弃渣场剪应变云图

表 2 考虑施工过程的 K59 + 320 弃渣场剪应变最大值统计表

边坡类型	初始地形	一级坡	二级坡	三级坡	四级坡
剪应变最大值	0.12	0.12	0.16	0.70	1.20

2.2 堆填弃渣造成的边坡整体变形破坏机制分析

根据施工记录,拦渣墙施作时没有看到下卧淤泥质土层,其埋深最大可达 8 m ~ 10 m,实际工程弃渣在堆积了 $1.5 \times 10^5 \text{ m}^3$ 左右,堆高约 20 多米的时候产生了整体滑移,也就是三级坡左右。将 4 级坡堆载过程造成的剪应变和塑性区云图整理成图 4、图 5。

由图 4 和表 2 可知,初始地形下,剪应变最大值 0.12,图 4(a) 云图未显示变形滑移趋势,坡体状态稳定;一级坡弃渣堆填下,剪应变最大值 0.12,图 4(b) 云图显示淤泥质土层有轻微变形,基本稳定;二级坡弃渣堆填下,剪应变最大值 0.16,图 4(c) 云图显示淤泥质土层有明显变形,但尚未贯通,边坡基本稳定一欠稳定状态;三级坡弃渣堆填下,剪应变最大值 0.70,图 4(d) 云图显示变形成倍增加,前缘贯

通, 上部和后缘尚未贯通至表层, 边坡欠稳定—局部失稳状态; 四级坡弃渣堆填下, 剪应变最大值 1.20, 图 4(e) 云图显示淤泥质土层侧向挤出显著, 剪应变有贯通弃渣层的趋势, 边坡整体失稳。

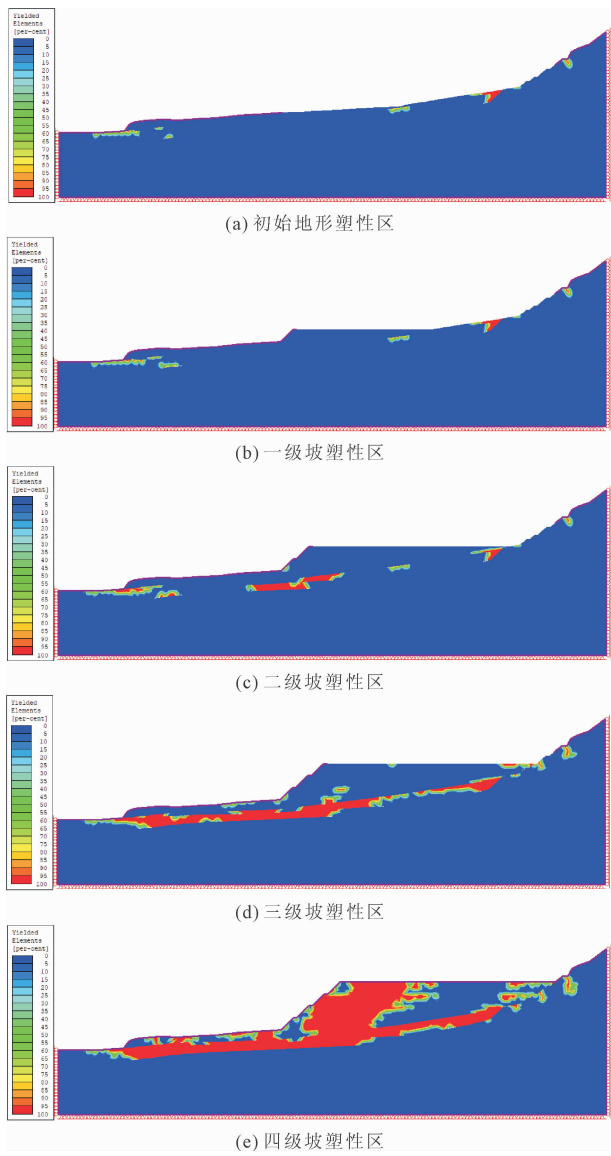


图 5 考虑施工过程的 K59+320 弃渣场塑性区变化

由图 5 可知, 初始地形下, 坡脚和后缘局部零星塑性; 一级坡弃渣堆填下, 前缘塑性区有微小发展; 二级坡弃渣堆填下, 前缘和堆积体下方淤泥质土层内塑性区有所发展, 但未贯通; 三级坡弃渣堆填下, 淤泥质土层内塑性区几乎贯通; 四级坡弃渣堆填下, 淤泥质土层内和弃渣边坡塑性区几乎贯通。堆积至 20 m 高度之后弃渣边坡局部到整体失稳, 佐证了施工记录堆积到 20 多米以后产生整体失稳滑移。

2.3 弃渣工程失稳机理探讨

通过动态模拟发现塑性主要出现在下卧淤泥质土层, 即上部弃渣堆载造成下卧层附加应力超过该

层的地基承载力, 产生侧向挤出变形, 造成边坡整体失稳; 数值仿真揭示的极限堆高超过 21 m 即可产生整体失稳。

这类 8 m~10 m 埋深较大的软弱下卧层很难通过地面调查发现, 拦渣墙和渠道施工的开槽也很难发现, 该灾变案例说明弃渣场选址后的勘察, 至少要有几个钻孔资料, 否则很难控制下卧层造成的施工风险。

同时这个钻孔要尽可能多地进行原位测试, 反映各土层的承载特性, 土层考虑标贯试验, 碎石土层考虑动力触探。

3 弃渣失稳对周边环境影响评估

3.1 采取紧急+加固措施下的环境影响评估

数值分析还原了灾害发生的过程, 揭示了灾变机理, 也提供了变形影响的深度和范围。数值计算揭示的影响范围没有威胁到下游养殖场和再往下的铁路桥桩。

灾害发生后现场已经紧急进行了 $4.0 \times 10^4 \text{ m}^3$ 土方外运, 前缘设置了木桩和反压等临时措施, 经复核天然状态下, 初步稳定了现场, 前缘边坡处于欠稳定状态, 见图 6(a); 采取 4 排 500 mm 桩径 10 m 桩长水泥土搅拌桩加固方案(横向搭接不少于 100 mm 两排搭接不少于 150 mm)下, 边坡稳定性系数大于 1.30, 对下游养殖场和铁路桥桩的威胁得到了有效控制。临时和永久加固边坡稳定性复核结果, 见图 6(b)。

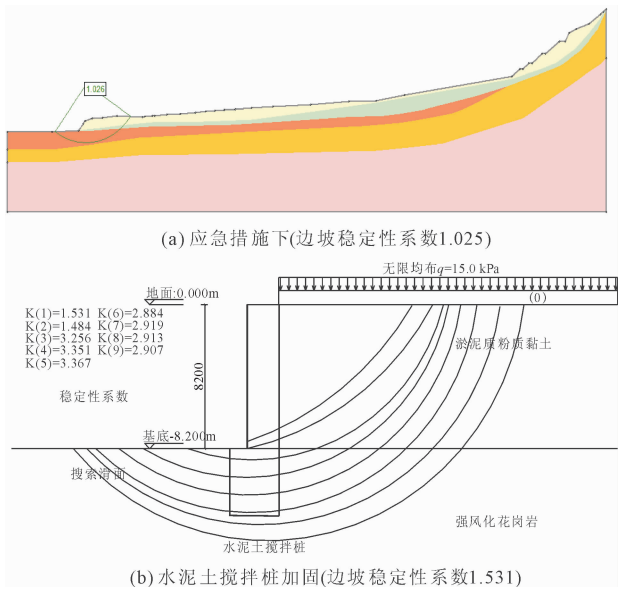


图 6 K59+320 弃渣场临时和永久加固边坡稳定性复核结果图

施工前后对弃渣场进行了平整和加固施工,前后对比见图 7。根据多期地面调查,当前场地相对稳定。



图 7 K59 + 320 弃渣场临时和永久加固场地概貌

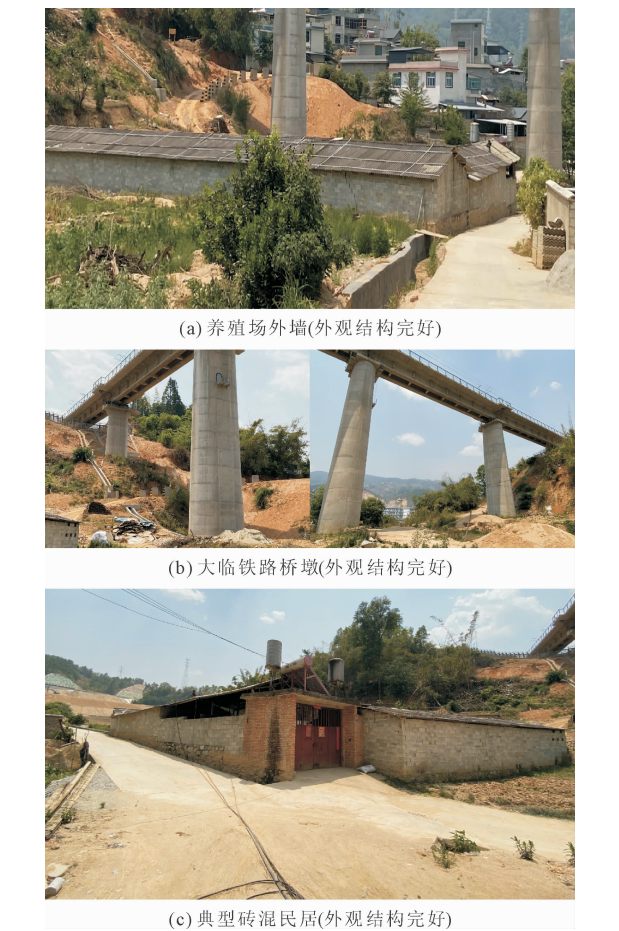


图 8 K59 + 320 弃渣场环境影响调查评估

3.2 地面调查和监测相结合的周边环境影响评估

弃渣场下游依次为养殖场、大临铁路桥墩,左侧

有几户居民,根据加固前后的多期次调查,由于上述建构筑物距离坡体前缘尚有一定距离,未发现养殖场、大临铁路桥墩和民居变形现象,见图 8。

在多期次地面调查的基础上,布置了表观和深部位移监测点孔,一方面检验加固效果,另一方面量化评估环境影响,施工前后典型位移监测点(孔)位移曲线见图 9。

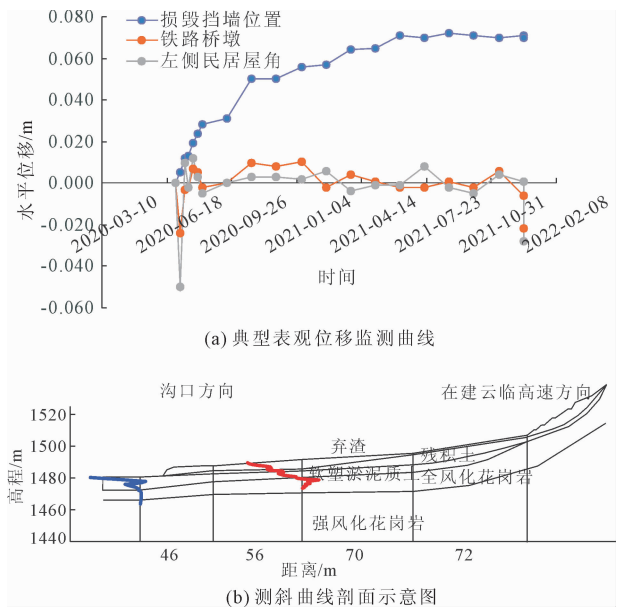


图 9 K59 + 320 弃渣场位移监测曲线

由图 9 可知,在 2020 年 11 月—2021 年 1 月水泥土搅拌桩施工完成后表观位移很快趋于稳定,深部位移有一定滞后性,2021 年 3 月的测斜曲线位于包络线外侧,随后 4 月回落,5 月趋于稳定,工后变形在 1 mm 以内,证明加固措施有效,深部影响趋于稳定。监测曲线数据证明加固后弃渣场对周边既有建构筑物不会产生安全影响。

4 结论与建议

灾害发生后,由于弃渣场周边环境复杂,养殖场、铁路桥墩、民居等既有建(构)筑物安全等级不一,需要慎重评估弃渣场失稳、应急处置和加固处理等不同条件下的环境威胁。根据数值仿真、多期次地面调查和监测,K59 + 320 弃渣场环境影响的定性和定量评估所得主要结论如下:

(1) 考虑弃渣过程的数值试验剪应变和塑性能云图揭示 K59 + 320 弃渣场的灾变是下卧淤泥质土层的承载失稳造成的,主要沿淤泥质土层侧向挤出滑移,弃渣堆积到三级坡到四级坡超过 20 m 以后边坡整体失稳。

(2) 对养殖场、铁路桥墩、民居的多期次地面调查发现既有建构筑物结构外观完好,调查评估未发现该弃渣工程对附近既有建筑物存在明显的安全影响。

(3) 根据表观和深部位移监测,表观位移最大值 71.0 mm,深部位移最大值 5.5 mm,变形主要出现在施工期及工后稳定阶段,目前变化均趋于稳定,月变化量小于 1 mm,监测表明该弃渣场失稳、应急处置和水泥土搅拌桩加固后对于附近既有建筑物没有安全威胁。

参考文献:

- [1] 刘 刊,庞 博,贾 文.大藤峡水利枢纽左岸弃渣场边坡稳定性分析[J].广西水利水电,2021(5):26-29.
- [2] 刘建伟,史东梅,马晓刚,等.弃渣场边坡稳定性特征分析[J].水土保持学报,2007(5):192-195.
- [3] 李 薇,杨 华,尹小涛,等.山区高速公路典型弃渣场稳定性综合评估[J].公路交通科技,2021,38(7):38-44.
- [4] 林文华,叶诚耿,王 浩.考虑堆填界面软化及地下水位波动的大型弃渣场边坡稳定性分析[J].铁道建筑,2020,60(5):84-88.
- [5] 潘一茜.硃碛水电站 1 号块石料场弃渣堆积体边坡变形破坏机制及稳定性研究[D].成都:西南交通大学,2018.
- [6] 刘晓雨.基于环境保护的铁路弃渣场安全评价[D].成都:西南交通大学,2019.
- [7] 梁铎强,雷靖晖.浅谈安全风险评估在高速公路改扩建工程桥梁施工中的运用[J].公路,2012(2):153-155.
- [8] 尹小涛,杨 华,但路昭,等.西南山区交通工程弃渣的工程特性评价及其分类[J].地球科学与环境学报,2021,43(2):389-397.
- [9] 赵 鸿,寇晓梅,李红星.拦沟型弃渣场水土保持措施设计[J].水利与建筑工程学报,2014,12(5):202-204,210.
- [10] 孙朝燚,陈从新,郑 允,等.基于空间效应的弃渣场边坡稳定性方法探讨[J].西南交通大学学报,2019,54(1):97-105.
- [11] 叶 咸,冯明明,税大洲,等.云南公路弃渣场分布特征及其影响因素分析[J].公路交通技术,2021,37(4):33-40.
- [12] 马 力,王志刚,程 龙.水利枢纽工程坝后弃渣综合利用方案研究——以南瓜坪水库工程为例[J].水利技术监督,2020(5):242-245.
- [13] 张 朔,但路昭,尹小涛,等.山区交通工程弃渣场常见病害及安全控制研究[J].安徽理工大学学报(自然科学版),2020,40(5):13-19.
- [14] 李 尧.公路弃渣场稳定性与环境效应评价[D].重庆:重庆交通大学,2019.
- [15] 郑珉姣,高宝林,徐 昕.西藏公路工程弃渣布置及渣场防护设计探析[J].水利水电快报,2021,42(9):32-36.
- [16] 孙厚才,孙 昆,刘晓路.基于原位监测的某水电站弃渣场安全稳定性评估研究[J].中国水土保持,2020(11):60-63.
- [17] 李斯涛,方留杨,李培锋,等.无人机在高速公路建设期弃渣场监测中的应用研究[J].公路交通科技(应用技术版),2020,16(2):287-291.
- [18] 成永刚,王 军.川藏高速公路喇叭嘴泥石流、滑坡、崩塌、弃渣、高填综合处治[J].水利与建筑工程学报,2020,18(1):199-204.
- [19] 许文盛,聂文婷,王一峰,等.生产建设项目超大型弃渣场水土保持监控方案探讨[J].中国水土保持科学,2019,17(4):153-159.
- [20] 叶 咸,高 瑜,潘俊良.边坡深部位移监测孔测斜装置埋设方法探究[J].公路,2019,64(4):6-11.