

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2021.05.008

某山区公路弃渣场稳定性评价及邻近工程影响

陈争玉¹, 肖 羚², 蒋文鹏², 尹小涛³

(1. 云南省交通规划设计研究院有限公司, 云南 昆明 650041;

2. 大理大漾洱云高速公路有限公司, 云南 大理 671000;

3. 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, 系统分析弃渣工程各阶段的坡体稳定性, 揭示其灾变机制。基于此, 比选并提出了最优加固方案; 利用调查和监测相结合的方法, 综合评估了弃渣整治效果及其对临近工程的影响程度, 所得主要结论如下: K59+320 弃渣场在初期未发现 8 m~10 m 深度的下卧淤泥质土层, 是其整体失稳的根本原因; 规划弃渣高度 28 m 大于实际极限承载高度 25 m, 是灾变的力学机制; 对于浅部发现的不良地层建议做清除或者换填处理, 对于深部软弱地层采取控制堆高和地基处理相结合的综合处置措施。基于安全和经济原则, K59+320 弃渣场加固方案优选次序为: 水泥土搅拌桩方案 > 抗滑桩方案 > 拦渣墙 + 地基处理方案 > 微型桩方案, 最终采取水泥土搅拌桩加固方案。

关键词: 山区公路弃渣场; 稳定性; 不良地层; 加固

中图分类号: TU457

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2021)05-0040-06

Stability and Nearby Engineering Influence Estimation of a Mountainous Highway Abandoned Dreg Site

CHEN Zhengyu¹, XIAO Ling², JIANG Wenpeng², YIN Xiaotao³

(1. Broadvision Engineering Consultants, Kunming, Yunnan 650041, China;

2. Dalidayangeryun Highway Limited Company, Dali, Yunnan 671000, China;

3. 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 unstable case of a highway slag dumping site, the slope stability of slag dumping project at different stages is systematically evaluated and analyzed to determine its disaster mechanism. Different reinforcement design schemes were compared to choose an optimal one. Using methods of investigation and monitoring, the treatment effect and surrounding engineering influence of the abandoned dreg sit are comprehensively evaluated. The main conclusions are as follows. K59+320 slag disposal site's failure is mainly caused by the underlying silty soil layer with 8 m~10 m depth which isn't discovered in initial. The planned slag abandonment height of 28 m is larger than the ultimate bearing height of 25 m, which is the mechanical mechanism of disaster. The shallow bad strata found is suggested to remove or replaced treatment, the deep weak strata discovered is disposed by the comprehensive measure such as the accumulated height limited combined with foundation treatment. Based on safety and economy principles, the optimal order of reinforcement schemes of K59+320 slag dump site is cement soil mixing pile scheme better than anti-slide pile scheme than slag barrier wall and foundation treatment scheme than micro-pile scheme.

Keywords: mountainous highway abandoned dreg site; stability; bad stratum; reinforcement measures

不同类型工程建设过程中均不可避免的改变原有自然地形及场地的初始稳定状态, 弃渣是在自然

地基上堆积形成的人工地形, 规模越大、高度越大对于自然地形稳定性影响越大。弃渣的固废特点, 经

收稿日期: 2021-06-21

修稿日期: 2021-07-16

基金项目: 云南省交通科技项目(云交科教便[2020]98号)

作者简介: 陈争玉(1980—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事岩土工程勘察、设计等工作。E-mail: 50067422@qq.com

通讯作者: 尹小涛(1975—), 男, 博士, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事工程防灾减灾工作。E-mail: xtyin@whrsm.ac.cn

常造成该类工程得不到应有重视,一旦发生灾变,会严重威胁周边既有建构筑物的安全。因此,急需开展公路弃渣及其对邻近工程安全影响研究。

当前山区公路弃渣边坡稳定性评价研究主要集中在以下方面:(1) 弃渣边坡稳定性,计算边坡沿弃渣内部潜在滑动面、渣体与自然坡接触面、自然坡体内潜在滑动面在正常运行工况、非正常 I 工况(降雨)、非正常 II 工况(地震)下的稳定性系数,判断其是否满足不同等级弃渣工程的安全标准^[1-6]; (2) 弃渣边坡和邻近工程的相互影响机制,评估弃渣堆填过程带来的工程安全影响,依据不同既有建构筑物安全控制标准,评判由此带来的安全风险^[7-10]; (3) 弃渣边坡稳定性演化机制和安全控制技术,弃渣过程动态稳定性下阶段安全控制目标和最终安全控制目标的融合统一、临时和永久安全控制技术的统一、最优化和效果检验,实现局部与整体的协调统一。当前研究尚做不到静态到动态及考虑过程要素的全面系统评估,安全管控作用和效果相对较低^[11-15]。

以某山区公路失稳弃渣工程为研究对象,对失稳、临时抢险加固、永久加固下弃渣边坡的稳定性进行评价,探讨边坡的失稳机制、设计优化和加固效果,为稳定性评价和弃渣对邻近工程安全影响评估提供支撑,为类似工程提供借鉴。

1 工程概况

某山区公路 K59 + 320 弃渣场,征地面积 5.33

hm²,设计容量 54.27 × 10⁴ m³,规划堆高 28 m。该弃渣场为典型沟谷型弃渣场地,背靠挖方路基,下临养殖场,再往下为大临铁路桥墩,左侧道路旁有几户民居,周边环境详见图 1。

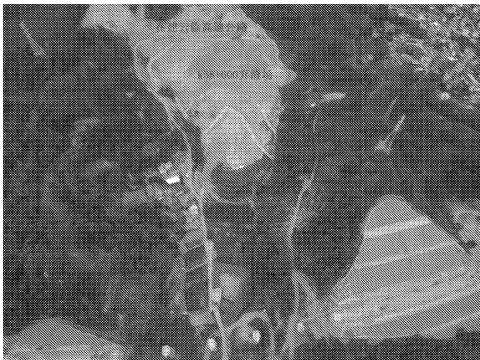


图 1 K59 + 320 弃渣场周边环境概况

该区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,详见工程地质剖面图图 2。

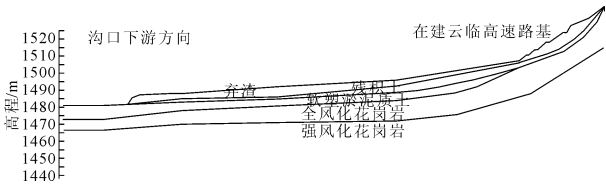


图 2 K59 + 320 弃渣场工程地质剖面

弃渣场各地层岩土体物理力学性质指标建议值统计列于表 1。

表 1 K59 + 320 弃渣场各地层计算参数统计表

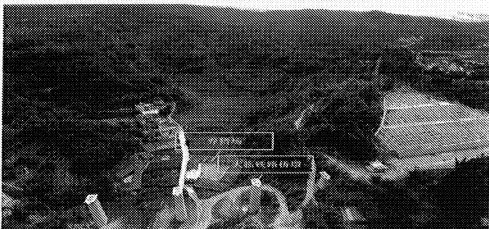
地层	状态	重度 /(kN · m ⁻³)	黏聚力 /kPa	摩擦角 /(°)	弹性模量 /MPa	泊松比	承载力 /kPa
弃渣	自然	18.5	15	28	20	0.40	—
	饱水	19.7	10	26	15	0.39	—
淤泥质土	自然	17.8	10	12	5	0.42	60
	饱水	17.4	5	10	3	0.45	50
残坡积土	自然	18.6	30	35	25	0.32	110
	饱水	19.2	25	28	20	0.35	100
强风化基岩	自然	22.8	200	35	35	0.30	200
	饱水	23.5	150	32	30	0.31	180

根据《中国地震动参数区划图》^[16](GB 18306—2019),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度,弃渣场区内各建(构)筑物应按相关地震动参数抗震设防。

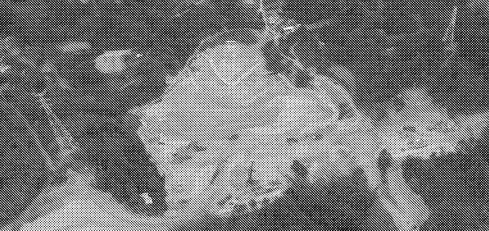
2 弃渣场稳定性评价和工程处治

2.1 K59 + 320 弃渣场失稳过程

根据搜集的 K59 + 320 弃渣场历史资料,该弃渣场大致包括选址、弃渣、失稳、应急抢险、加固处置和工后等几个阶段,具体见图 3。



(a) 弃渣场地初始地形



(b) 弃渣堆填过程(失稳前)



(c) 失稳



(d) 应急抢险



(e) 加固



(f) 工后

图 3 K59 + 320 弃渣场的地形演化过程

2017 年完成 K59 + 320 弃渣场选址, 同年开始工程建设; 2020 年 6 月, 弃渣 $15 \times 10^4 \text{ m}^3$, 堆填至 3

到 4 级坡, 高度约 25 m; 2020 年 7 月 1 日凌晨 3 时, 整体失稳, 中部已施作拦渣墙被推移折断, 下移运动约 70 m; 2020 年 7 月事件发生后, 24 h 内完成约 $4 \times 10^4 \text{ m}^3$ 弃渣紧急转运, 坡面铺塑, 下部前缘距离养殖场约 30 m 位置设置木桩和编织袋反压, 坡面位移不间断监测; 2020 年 8 月, 完成优化设计, 确定水泥土搅拌桩加固方案; 2020 年 11 月—2021 年 1 月完成加固施工; 2021 年 2 月—迄今, 工后安全监测。

2.2 考虑堆载过程的弃渣边坡失稳机制

为揭示弃渣过程造成的边坡稳定状态演化机制, 利用 PHASE2D 有限元软件, 建立考虑弃渣分级填筑的有限元数值仿真模型, 材料参数见表 1, 采用弹塑性本构, 表面自由, 两侧法向约束, 底部全约束, 数值模型和各阶段塑性区见图 4。

由图 4 可知, 初始地形边坡处于自然平衡状态, 未出现塑性区, 边坡状态稳定; 随着一级坡弃渣堆填, 塑性区基本没有变化, 边坡整体稳定; 二级坡弃渣堆填后, 沿着淤泥质土层局部出现塑性, 边坡整体处于基本稳定—欠稳定状态; 三级坡弃渣堆填后, 塑性区进一步沿淤泥质土层发展, 有贯通趋势, 边坡处于欠稳定状态, 尚未整体失稳; 四级坡堆载后, 塑性沿淤泥质土层和弃渣边坡分别贯通, 边坡整体失稳。上述塑性区扩展揭示的坡体稳定状态演化与施工单位记录的堆积到 25 m 高度后弃渣边坡整体失稳基本吻合, 证明下卧淤泥质土层的超临界承载是失稳的主要原因。

2.3 失稳后弃渣边坡稳定性评价和优化设计

采取紧急抢险措施后弃渣场基本处于局部失稳和整体欠稳定状态, 为安全经济地进行加固设计, 将不同工况稳定性计算结果统计列于表 2, 不同工况稳定性计算结果图见图 5。

表 2 紧急处置后 K59 + 320 弃渣场边坡稳定性结果统计表

工况	稳定性系数	安全标准系数	余推力 / ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)
正常工况	1.025	1.30	554.9
非正常工况 I	0.879	1.15	595.0
非正常工况 II	0.522	1.15	516.3

由表 2 和图 5 可知, 正常工况边坡稳定性系数 1.025, 小于 1.300, 不满足工程稳定性要求, 紧急处置后弃渣边坡处于欠稳定状态; 非正常工况 I 边坡稳定性系数 0.879, 小于 1.150, 不满足工程稳定性要求, 说明降雨饱水条件下弃渣边坡存在沿淤泥质土层侧向挤出滑动风险; 非正常工况 II 边坡稳定性

系数 0.522,小于 1.150,不满足工程稳定性要求,地震条件下弃渣边坡存在沿软塑淤泥质下卧层整体滑移风险。紧急处置后弃渣边坡仍存在整体破坏风险,严重危及临近建构筑物安全,最大水平加固力 596 kN/m。

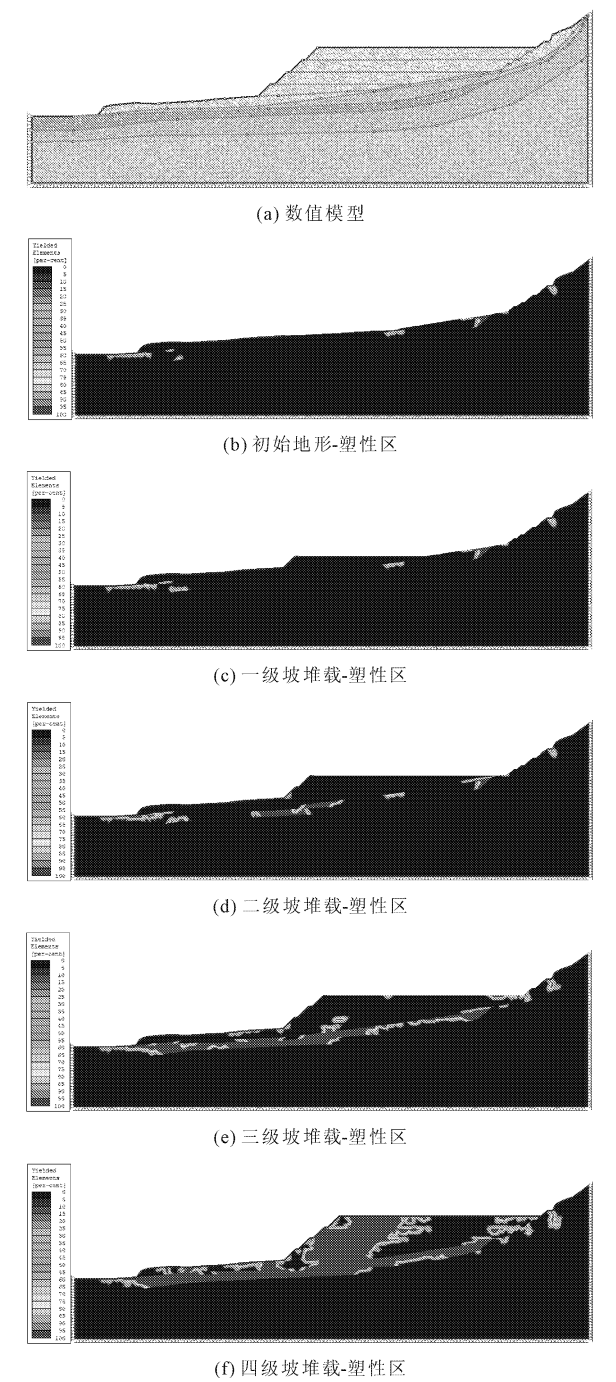


图 4 弃渣过程造成的 K59+320 弃渣场塑性区变化

由于淤泥质土层和全强风化花岗岩弃渣均为易扰动土体,不建议大规模重整和采取扰动较大的工程处置措施;建议对既有坡面进行简单整形后,在原有拦沙坝位置可采用微型桩、水泥土搅拌桩、抗滑

桩、拦渣墙等处治方案,利用天汉软件计算的满足正常运行工况 1.30 安全标准的各加固方案见图 6。

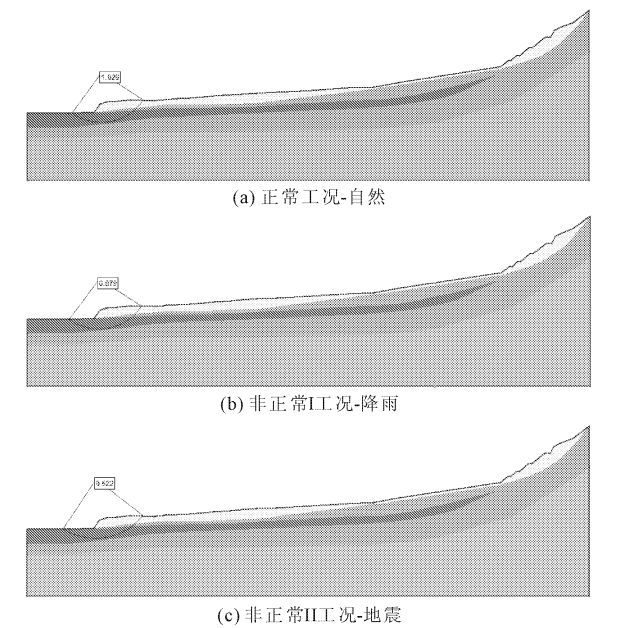


图 5 紧急处置后 K59+320 弃渣场边坡稳定性计算结果图

横向加固范围按 150 m 考虑,纵向加固宽度根据图 6 计算结果确定,不同方案的综合单价以地区市场价为参考,则不同方案加固工程量和造价统计列于表 3。

表 3 K59+320 弃渣场边坡加固工程量和造价估算表

类型	加固方案	工程量 /m	综合单价 /(元·m ⁻¹)	造价 /万元
微型桩	L=15 m,桩径 0.30 m 桩间距 0.60 m,3 排	11250	100	112.50
水泥土 搅拌桩	L=10 m,桩径 0.50 m 搭接不少于 0.10 m,4 排	15000	40	60.00
抗滑桩	L=15 m,桩径 1.00 m 桩间距 1.50 m	1500	500	75.00
拦渣墙 地基处理	拦渣墙 8.90 m ² /m L=8.0 m,桩径 0.50 m 桩间距 0.75 m,6 排	1335 9600	300 40	78.45

由表 3 可知,水泥土搅拌桩挡土结构的加固效果好且造价相对较低;抗滑桩措施下桩间土存在流塑挤出的可能,加固效果较差。因此,基于安全、经济、可行原则的加固方案排序为水泥土搅拌桩>抗滑桩>拦渣墙+地基处理>微型桩。

最终加固方案为:水泥土搅拌桩直径 500 mm,横向搭接不少于 100 mm,纵向搭接不少于 150 mm,共需要 4 排,墙体厚度不小于 1 900 mm,桩长进入淤泥质土层以下不少于 2.0 m,验算桩长 10.0 m(淤泥质土层埋深 8.2 m),施工平面和剖面图见图 7。

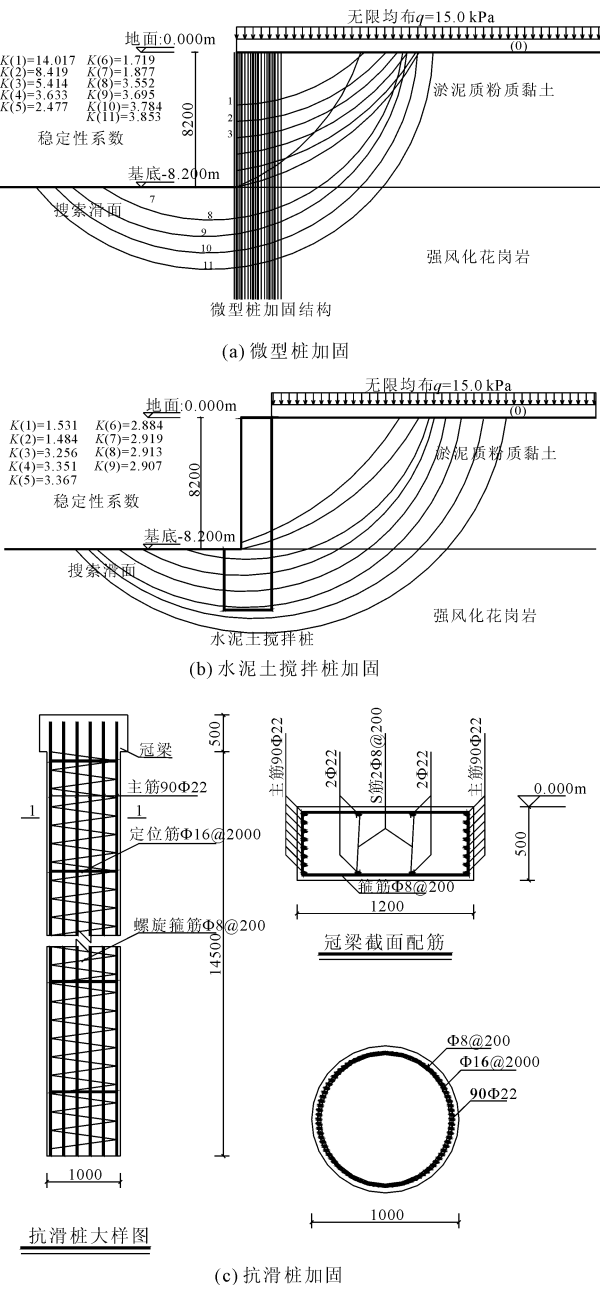


图 6 K59+320 弃渣场边坡不同加固措施结果图

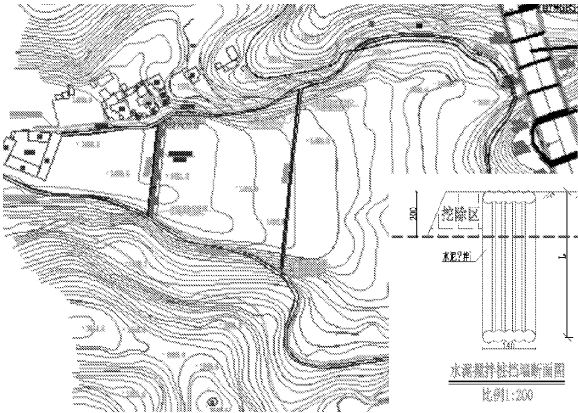


图 7 K59+320 弃渣场水泥土搅拌桩施工方案

3 弃渣场对邻近工程安全影响评价

3.1 基于多期次地面调查的安全影响评价

在灾害发生后,开始对临近民居、养殖场、大临铁路桥墩等进行多期次地面调查,调查阶段主要包括:应急措施处置后、水泥土搅拌桩施工期、加固后,主要采取结构外观调查方式,详见图 8。

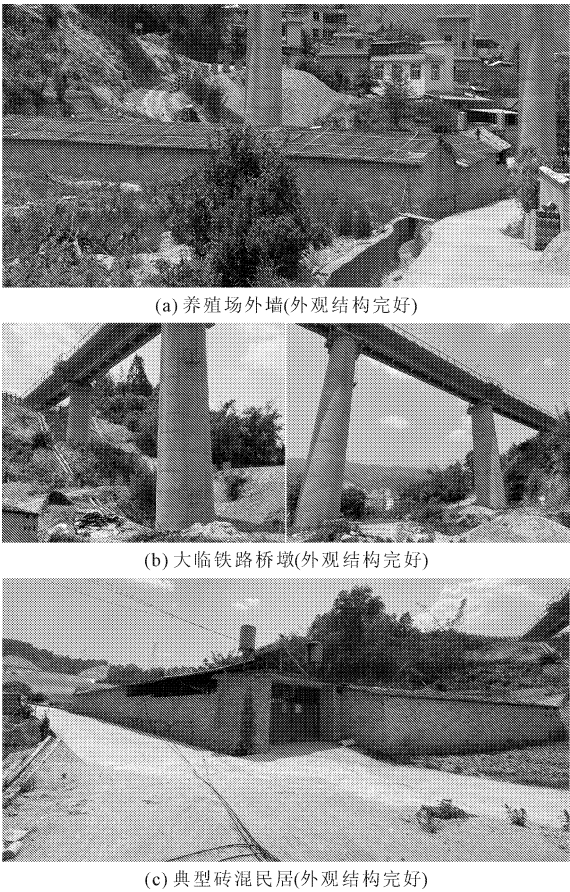


图 8 K59+320 弃渣场对邻近工程安全影响调查评估

由图 8 可知,经过多期次地面调查,养殖场、民居、大临铁路桥墩的外观均没有产生裂缝,调查揭示该弃渣场对邻近工程没有明显安全威胁。

3.2 基于位移监测的安全影响评价

在水泥土搅拌桩顶部和附近地面布设了表观位移监测点,在加固措施前后布置了两个深部位移监测孔,用于检验加固效果和量化评价邻近工程的安全影响,施工前后位移监测曲线见图 9。

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很快表观位移很快趋于稳定;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下部建构筑物不会产生安全影响。

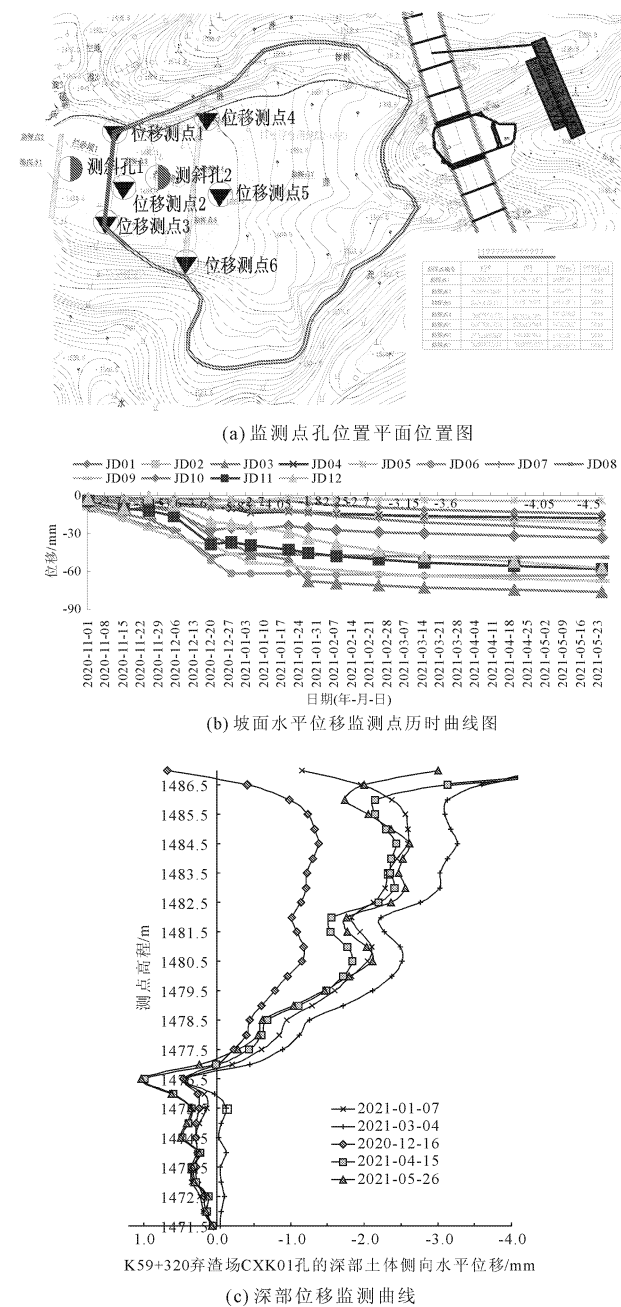


图9 K59+320 弃渣场位移监测曲线

4 结论与建议

通过灾变弃渣场的多阶段多环节调查和计算分析,系统评价了弃渣边坡稳定性及其对周边邻近工程的安全影响,所得主要结论如下:

(1) K59+320 弃渣场的失稳主要是由于初期没有发现表层残积土层下存在8 m~10 m厚度的淤泥质土层,软弱下卧层是灾变主要原因;规划弃渣高度28 m大于下卧层极限承载高度25 m,地基承载

失稳是灾变的力学机制;现行山区公路弃渣场勘察设计方法和整形后稳定性专题评估没有办法解决类似问题;该类问题的解决在于需要对弃渣场进行专题勘察、设计和施工组织。

(2) 对于发现的不良地层,浅部的做清除或者换填处理,一般至少需要对坡脚20 m~30 m范围严格清表;对于深部的软弱地层,可采取控制堆高和地基处理相结合的方式处治。K59+320 弃渣场加固方案优选次序为:水泥土搅拌桩>抗滑桩>拦渣墙+地基处理>微型桩,最终采取水泥土搅拌桩加固方案,桩径500 mm,横向搭接不小于100 mm,纵向搭接不少于150 mm,4排12 m深。

(3) 根据K59+320 弃渣场的多期次地面调查和位移监测,发现经过水泥土搅拌桩加固后该弃渣场当前变形均在mm级,下游30 m的养殖场、道路左侧民居、下游近百米外的大临铁路桥墩外观完好,可以认为该弃渣场对周边邻近工程没有安全威胁。

参考文献:

- [1] 王光辉.降雨入渗条件下弃渣场边坡稳定性分析[J].铁道建筑,2017(6):147-151.
- [2] 郑开欢,罗周全,罗成彦,等.持续暴雨作用下排土场层状碎石土边坡稳定性[J].工程科学学报,2016,38(9):1204-1211.
- [3] 潘思渝.降雨条件下土质边坡渗流场及稳定性分析[J].中外公路,2014,34(3):17-21.
- [4] 袁普金,姚 赫,张 勇,等.生产建设项目弃渣场安全选址方案研究[J].水土保持通报,2018,38(6):132-137,143.
- [5] 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.
- [6] 抗兴培,孟凡成,曾 超,等.强降雨条件下弃土场边坡稳定性历程分析[J].中外公路,2019,39(3):34-39.
- [7] 唐红波,段现花,吴 斌,等.大箴居不稳定斜坡和沟谷弃土场联合整治实录[J].水利与建筑工程学报,2019,17(5):220-225.
- [8] 杨建强.考虑不同堆载过程的弃渣场稳定性分析[J].水利科技与经济,2019,25(3):72-78.
- [9] 龙赛琼,陈焕美,蒋文鹏,等.考虑边坡不同演化阶段的岩土体抗剪强度参数反分析[J].水利与建筑工程学报,2020,18(1):16-21.
- [10] 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.

(下转第144页)