

# 降雨条件下某矿山排土场边坡稳定性分析

刘 泉<sup>1</sup>, 王 晨<sup>2\*</sup>

(1. 四川省冶金设计研究院; 2. 四川铸创安全科技有限公司)

**摘要:**降雨入渗会引起排土场边坡岩土体强度降低,增加上部岩土体容重,导致边坡稳定性降低。以某露天矿山排土场边坡为例,采用 GeoStudio 软件模拟分析了不同降雨时长下边坡孔隙水压力特征与安全系数。结果表明:随着降雨时长的增加,孔隙水压力极值不断增大,且孔隙水压力朝向边坡顶部不断增大,安全系数则不断降低。研究结果为该矿山排土场边坡稳定提供参考。

**关键词:**降雨入渗;排土场;数值模拟;孔隙水压力;安全系数

中图分类号:TD804

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2024)04-0096-03

doi:10.11792/hj20240419

## 引 言

排土场滑坡是影响露天矿山安全生产的重要灾害,给矿山及矿区周边居民的安全带来了严重威胁<sup>[1-2]</sup>。降雨是自然界一种常见自然现象,对排土场边坡而言,降雨入渗会增加上部岩土体容重,导致排土场边坡稳定性降低,进而影响露天矿山安全生产作业与开采进度<sup>[3]</sup>。因此,研究降雨条件下排土场边坡稳定性对于矿山的安全生产与经济效益有重要工程现实意义。

近年来,国内学者对边坡渗流与稳定性关系做了大量研究。周忠良等<sup>[4]</sup>采用数值模拟与极限平衡法分析了不同降雨工况下排土场应力应变特征,得出了降雨条件下排土场整体稳定性大于局部稳定性规律。缪海宾等<sup>[5]</sup>利用 GeoStudio 软件研究了降雨条件下排土场边坡位移特征,明确了排土场边坡变形破坏规律。郭雁斌等<sup>[6]</sup>利用 GEO 软件中 SEEP/W 模块研究了某矿山排土场在降雨条件下渗流及孔隙水压力特征。陈光木<sup>[7]</sup>采用数值模拟方法研究了李屋排土场边坡稳定性,结果表明,降雨对排土场边坡影响显著,安全系数随着降雨量的增加而不断降低。刘向峰等<sup>[8]</sup>研究了降雨条件下抚顺西露天矿边坡稳定性,发现降雨对排土场边坡稳定性影响显著,应采用加固手段提前治理。

研究表明,降雨入渗作用对排土场边坡稳定性有较为显著的影响,降雨使得排土场岩土体自重增加,改变其原有渗流场,并削弱自身抗滑能力,造成稳定性不断降低。基于此,本文以某露天矿山排土场为研究对象,采用 GeoStudio 软件进行降雨条件下的饱

和-非饱和渗流模拟分析,最终得到降雨入渗条件下排土场边坡的安全系数。

## 1 排土场概况

该排土场原始地形为空旷斜坡,南高北低,坡度 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。现堆积体四周界线较明显,排土场规模较小,属于小型排土场,其潜在倾滑方向约为 $340^{\circ}$ 。排土场现处于生产状态,已经形成了 4 335 m 平台和 4 341 m 平台。堆积物包括覆盖土和夹石,位于露天采场东北侧,排土区域占地面积约 0.12 km<sup>2</sup>,地形呈斜坡状,包含 2 个台阶,前缘坡脚高程为 4 315 m,后缘平台高程约为 4 341 m,相对高差 26 m 左右。排土场设计容量 978.5 万 m<sup>3</sup>,目前已排放 159.15 万 m<sup>3</sup>,其中,4 315~4 335 m 平台已排剥岩量为 112.9 万 m<sup>3</sup>,4 335~4 341 m 平台已排剥岩量为 46.25 万 m<sup>3</sup>。排土场平面图与剖面图分别见图 1 与图 2。

## 2 岩体力学参数

岩体物理力学参数是计算结果可靠性的主要影响因素。根据矿山提供的资料,确定最终岩体物理力学参数,结果见表 1。

## 3 模型构建与边界条件

排土场边坡降雨入渗有限元单元网格计算模型见图 3。模型两侧和底部设置为不透水边界,模型上部边界施加正单元流量  $q$  模拟降雨。根据资料,矿区年平均降雨量为 996 mm,蒸发量 1 421 mm,其中 5—9 月为雨季,月降雨量 133~256 mm,最大暴雨强度 41 mm/d。本次模拟降雨强度为 50 mm/d,降雨时长

收稿日期:2023-11-29;修回日期:2024-01-15

基金项目:四川省自然科学基金项目(2022NSFSC1147)

作者简介:刘 泉(1983—),男,高级工程师,从事金属非金属矿高效开采设计与地质灾害防治工作;E-mail:21624583@qq.com

\*通信作者:王 晨(1985—),男,工程师,从事矿山安全技术研究等工作;E-mail:34133871@qq.com

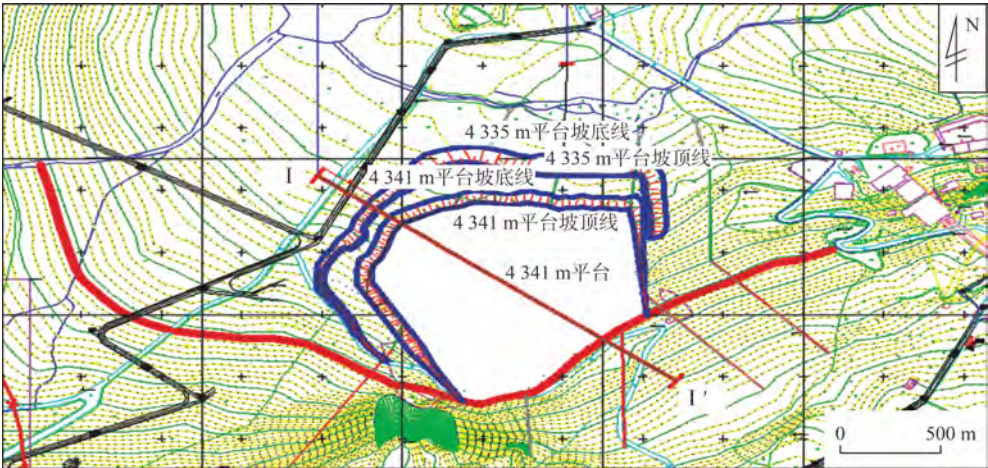


图 1 排土场平面图

Fig. 1 Plan view of the dump

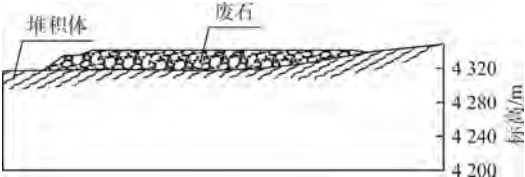


图 2 排土场剖面图

Fig. 2 Section view of the dump

表 1 折减后的岩体物理力学参数

Table 1 Reduced physical mechanical parameters of rock mass

| 岩性  | 抗拉强度/<br>MPa | 内聚力/<br>kPa | 弹性模量/<br>GPa | 泊松比  | 内摩擦角/<br>(°) |
|-----|--------------|-------------|--------------|------|--------------|
| 堆积体 |              | 20          | 0.7          | 0.32 | 26.0         |
| 废石  | 0.021        | 292         | 1.2          | 0.30 | 38.4         |

分别为 6 h、12 h、18 h 和 24 h。

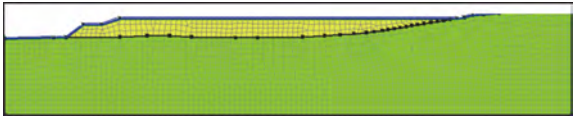


图 3 排土场边坡降雨入渗有限元单元网格计算模型

Fig. 3 Finite element mesh calculation model of rainfall infiltration in the dump slope

4 数值模拟结果分析

4.1 孔隙水压力特征

通过 GeoStudio 软件的 SEEP/W 模块分析计算出各降雨时段下边坡孔隙水压力,结果见图 4。由图 4 可知:随着降雨时长增加,孔隙水压力极值不断增大,且孔隙水压力朝向边坡顶部不断增大。由此表明,降雨入渗改变了排土场渗流特征,导致非饱和和带土体基质吸力降低,进而对边坡稳定性造成不利影响。

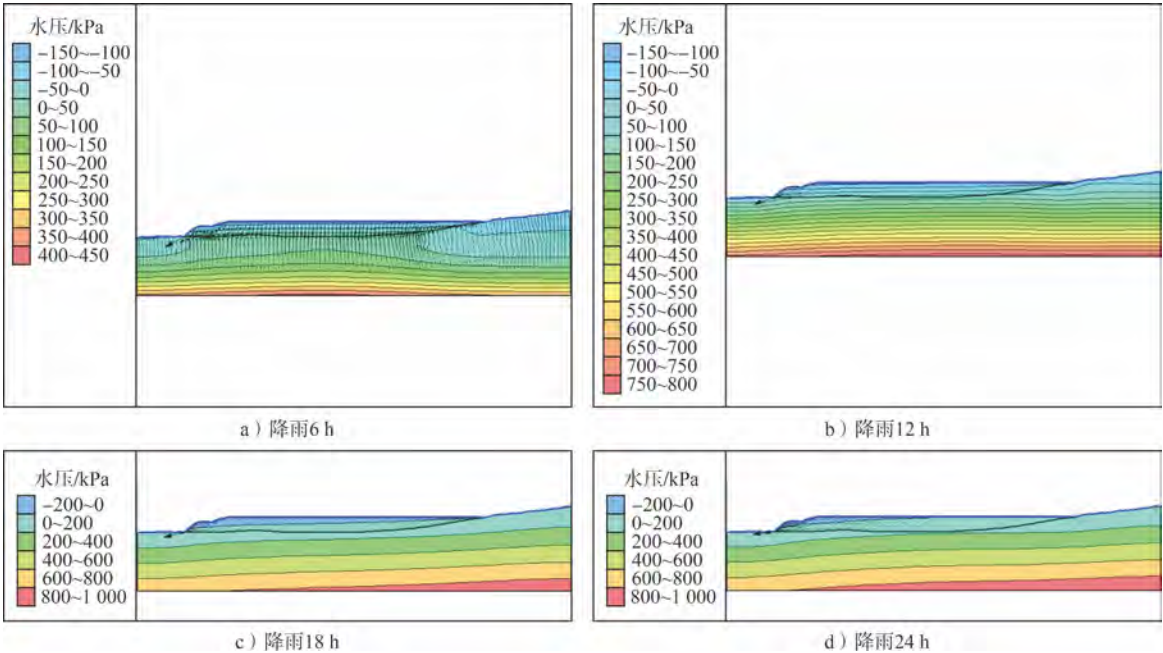


图 4 孔隙水压力特征

Fig. 4 Characteristics of pore water pressure

4.2 安全系数变化特征

通过 GeoStudio 软件的 SEEP/W 模块分析计算出各降雨时段下边坡安全系数,结果见图 5。由图 5 可知:随着降雨时长增加,安全系数不断降低,表明排土

场边坡稳定性变差。由此表明,一方面,降雨入渗增加了排土场岩土体自重,增大了其下滑力;另一方面,降雨入渗使排土场非饱和带土体基质吸力降低,抗剪强度下降,进而导致边坡稳定性降低。

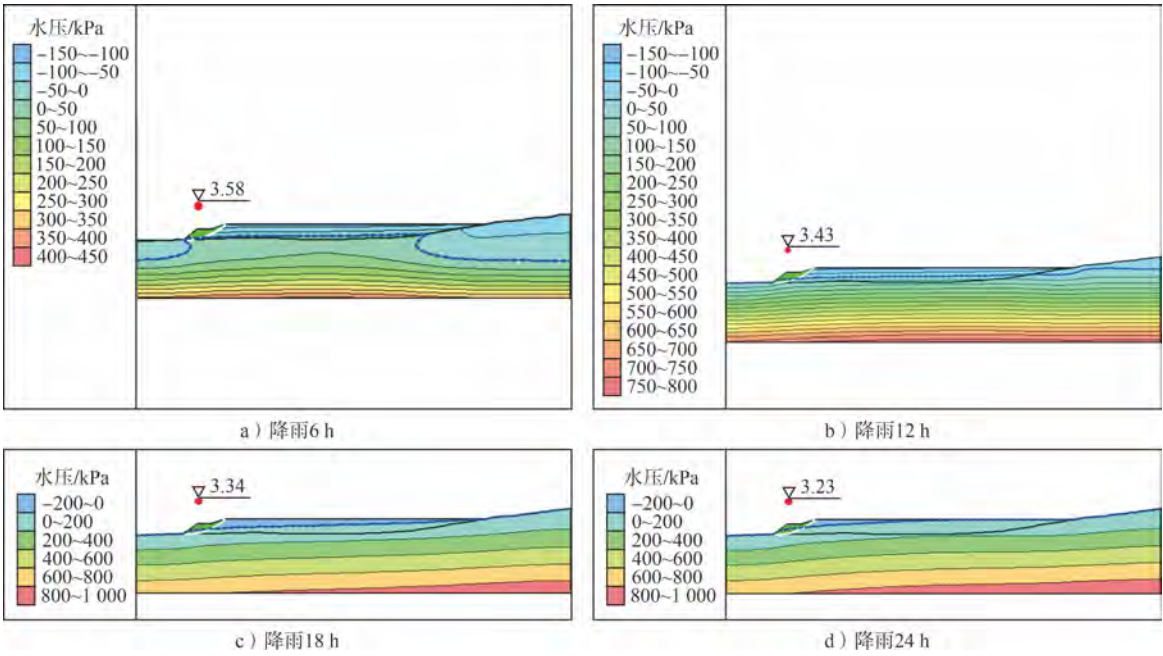


图 5 安全系数变化特征  
Fig. 5 Characteristics of safety factor variation

5 结 论

为研究降雨入渗作用对排土场稳定性的影响,以某露天矿山排土场为研究对象,采用 GeoStudio 软件进行降雨条件下的饱和 - 非饱和渗流模拟分析,得到了不同降雨时长下排土场边坡孔隙水压力特征及安全系数变化情况。

1)降雨入渗改变了排土场内部渗流特征,随着降雨时长的增加,孔隙水压力极值不断增大,且孔隙水压力朝向边坡顶部不断增大。

2)降雨入渗一方面增加了排土场自重,增大了其下滑力;另一方面使排土场非饱和带土体基质吸力降低,抗剪强度下降,进而导致排土场边坡稳定性降低。

[参 考 文 献]

[1] 李文超,张波,李伟. 伊敏露天矿生态修复技术[J]. 露天采矿技术,2022,37(5):82-85.  
[2] 王振伟,李斌,王智涛,等. 伊敏露天矿弱层与正断层复合作用下顺倾边坡变形规律[J]. 露天采矿技术,2022,37(5):24-27.  
[3] 陈芳芳. 雨水渗透对土质边坡稳定性的影响分析[J]. 河南科技,2022,41(6):57-60.  
[4] 周忠良,连民杰,孙世国. 不同降雨工况对排土场安全性影响规律研究[J]. 金属矿山,2023(8):278-282.  
[5] 缪海宾,马明康. 渗流条件下内排土场边坡变形破坏机理及力学特性[J]. 露天采矿技术,2023,38(2):5-7,2.  
[6] 郭雁斌,张传伟,田光,等. 内排土场边坡近自然重塑渗流及孔隙水压力特征研究[J]. 煤矿安全,2023,54(2):161-165.  
[7] 陈光木. 降雨对露天矿软弱基底排土场边坡稳定性的弱化效应[J]. 矿业研究与开发,2022,42(12):56-62.  
[8] 刘向峰,郭子钰,王来贵,等. 降雨矿震叠加作用下抚顺西露天矿边坡稳定性分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2021,32(4):40-46.

Analysis of slope stability of a mine dump under rainfall conditions

Liu Quan<sup>1</sup>, Wang Chen<sup>2</sup>

(1. Sichuan Metallurgical Design & Research Institute; 2. Sichuan Zhuchuang Safety Technology Co., Ltd.)

**Abstract:** Rainfall infiltration can cause a decrease in the strength of the rock and soil mass on the dump slope, increase the bulk density of the upper rock and soil mass, and reduce the stability of the slope. This paper takes a mine dump slope as the background, and uses GeoStudio software to simulate and analyze the pore water pressure characteristics and safety factors under different rainfall durations. The simulation results indicate that as the duration of rainfall increases, the limit value of pore water pressure continuously increases, and the pore water pressure increases towards the top of the slope, while the corresponding safety factor decreases. The study provides references for the stability of the dump slope in the mine.

**Keywords:** rainfall infiltration; dump; numerical simulation; pore water pressure; safety factor