



移动扫码阅读

侯永莉,曹明杰,郝喆,等.基于 GeoStudio 灌木修复下尾矿坝稳定性分析[J].能源环境保护,2020,34(1): 48-53.

HOU Yongli, CAO Mingjie, HAO Zhe, et al. Stability analysis of tailings dam restored by shrub based on GeoStudio [J]. Energy Environmental Protection, 2020, 34(1): 48-53.

基于 GeoStudio 灌木修复下尾矿坝稳定性分析

侯永莉¹, 曹明杰², 郝喆^{2,*}, 周素航²

(1. 辽宁有色勘察研究院, 辽宁 沈阳 110013; 2. 辽宁大学 环境学院, 辽宁 沈阳 110036)

摘要:为研究植物生长年限及坡比等因素对尾矿坝安全系数的影响,进行了根土复合剪切实验,设置坡比、植物修复年限、坝高等参数条件并建立尾矿坝模型,通过 GeoStudio 软件计算不同条件下尾矿坝的安全系数。结果表明:植物修复可提高尾矿坝安全系数,但在修复植物生长年限较短的情况下效果并不明显,修复时间 ≥ 10 a 且坡比为 1:5 时效果显著;在坡比与修复年限相同的条件下,安全系数随尾矿坝的增高呈降低趋势;在坝高、修复年限相同的条件下,安全系数随坡比的减小呈增大趋势,安全系数差值集中在 0.2~0.8,安全系数计算结果间差异均显著($P>0.05$)。

关键词:GeoStudio; 根-土复合土; 生态修复; 尾矿坝安全系数

中图分类号:X171.4

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2020)01-0048-06

Stability analysis of tailings dam restored by shrub based on GeoStudio

HOU Yongli¹, CAO Mingjie², HAO Zhe^{2,*}, ZHOU Suhang²

(1. Nonferrous Geological Exploration and Research Institute, Shenyang 110013, China;

2. College of Environmental Sciences, Liaoning University, Shenyang 110036, China;)

Abstract: In order to study the influences of plant growth age, slope ratio and other factors on the safety factor of tailings dam, a root-soil composite shear experiment was carried out. Parameters including slope ratio, plant repair age and dam height were set up to establish a tailings dam model. The safety factors of tailings dam under different parameters were simulated by the GeoStudio software. The results show that phytoremediation could improve the safety factor of tailings dam. The effect was not obvious with a short growth life of restoration plant, but significant with a growth life higher than 10 years and a slope ratio of 1:5. The safety factor decreased with an increasing tailings dam height when the slope ratio and plant repair age were same, and increased with a decreasing slope ratio when the dam height and plant repair age were same. There was significant difference between safety factors ($P>0.05$) and the difference was concentrated in 0.2 to 0.8.

Key Words: GeoStudio; Root-soil composite soil mass; Ecological remediation; Safety factor of tailings dam

0 引言

随着对矿产资源需求的日益增加,矿山开采

逐渐过度,据统计我国每年尾矿产量超过 6 亿吨,堆存量已超过 200 亿吨,现存尾矿超过 2 万余座^[1-4]。随着矿山生产的进行,尾矿容量随之

收稿日期:2019-11-20

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2015ZX07202-012);辽宁省自然科学基金项目(20180550192);辽宁省百千万人才项目(辽百千万立项[2015]33号)

第一作者简介:侯永莉(1970-),女,吉林公主岭人,教授级高工,主要从事矿山环境治理领域的研究工作。E-mail:328524676@qq.com

通讯作者简介:郝喆(1972-),男,辽宁沈阳人,教授,主要从事矿山修复生态治理领域的研究工作。E-mail:626447443@qq.com

增大,进而导致尾矿库稳定性极差,尾矿库一旦失稳发生滑坡将对矿区及周围居民造成极大损害,造成难以估量的损失^[5-8]。因此尾矿库稳定性及其安全系数成为众多学者研究的课题,国内外众多学者对尾矿坝稳定性及根系固坡效果做了大量研究。李强等研究了基于流固耦合理论尾矿坝失稳特性及稳定性分析^[9];陈建宏等研究了基于 PCA-BP 神经网络的尾矿库坝体稳定性分析,并得出结论可以使用 PCA-BP 神经网络模型分析坝体稳定性^[10]。董红娟等研究基于 3DEC 的尾矿坝边坡监测^[11]。李嫣绮等基于强度折减法对尾矿坝稳定性数值进行模拟分析,发现分析结果与瑞典圆弧法计算结果一致^[12]。张年龙使用 GPS 技术对尾矿库进行在线监测^[13]。但鲜有学者研究植物生长年限对尾矿坝安全系数的影响,因此研究开展基于 GeoStudio 灌木修复下尾矿坝稳定性分析,从尾矿坝采集不同年限的修复植物及根系土,进行根土复合剪切实验,进一步建立尾矿库模型,开展 GeoStudio 模拟安全系数计算。本研究旨在为提高尾矿坝安全系数提供理论依据。

1 研究方法

1.1 采样点的确定

尾矿砂与修复灌木均采集自本溪歪头山尾矿库尾矿坝外坡,歪头山尾矿库共有 6 级台阶,修复灌木为沙棘,本次实验采样根据歪头山尾矿库生态修复的实际效果,确定对修复年限分别为 1 a、4 a、10 a 的台阶作为实验对象进行采样。

1.2 采样方式

修复植物沙棘需连根取出,并保证根部完整,沙棘取出后迅速将根部包裹以防水分蒸干^[14],所取沙棘为其所在台阶的平均大小,不能过大或过小。对应在所取沙棘处的根部取扰动土样,使用铝盒装好后编号带回实验室。沙棘与根际土每个采样点取 3 个重复,采集样品见图 1。

1.3 实验参数的测定

取样现场进行灌水试验,测定土壤天然密度,利用环刀取原状样,测定含水率和孔隙比,用来计算土的天然重度。

进行根土复合剪切实验,测量加根后尾矿砂的内聚力(c)与内摩擦角(φ),不同修复年限的尾矿砂加根量,根据对应沙棘的生物量确定,加根量分别设置为 2.0 g(1 a)、3.5 g(4 a)、7.6 g(10 a),实验结果如表 1 所示。



图 1 沙棘采集

表 1 根土复合剪切实验结果

植物年限 (a)	天然重度 γ (kN/ m ³)	内聚力 c (kPa)	内摩擦角 φ (°)
1	17.0	19.0	24.7
4	17.5	18.0	25.6
10	18.5	16.0	28.4

2 模拟计算结果及分析

2.1 分析方法

(1)尾矿库模型建立:对尾矿坝建立几何模型,主要对坝体剖面进行研究。分析尾矿砂粒级分布特征,分层特征相近归并为同一层,进而建立计算模型与地质结构分层图。针对平面应变问题进行分析,进一步将计算模型转变为二维数值模型,并统一采用三角形单元,使用网格检验的方法优化网格。

(2)修复尾矿土修复模型建立:测量不同修复年限台阶植被修复深度。通过剪切实验测量根-土复合土的相关力学指标,包括内聚力与内摩擦角等;测量植物生长状态等相关指标,包括植株高度、主根长等指标。据此建立表层生态修复区的根-土复合土模型和修复植物结构模型。复合土

定义为实体有限单元、主根为锚固单元、上部修复植物为点荷载、草本植物为分布荷载。

(3) 渗流数值模拟计算: ① 正常水位浸润线: 初期坝为堆石透水坝, 并选择适合的渗透参数, 将堆积坝面作为自由透水面, 施加水头边界后进行相关计算。对比、拟合实测浸润线与计算浸润线, 进而验证、反演渗流参数。如实测浸润线与计算浸润线拟合不好, 需重新选择参数。② 洪水位浸润线: 施加最小干滩长度所对应水位的水头边界, 其他边界条件不变的条件下进行洪水位浸润线计算。③ 计算正常水位与洪水位浸润线下的尾矿坝坝体孔隙水压力和渗流速度, 分析其对坝体稳定性的影响。

(4) 静力分析: 模型底部加固定约束, 左右两侧加水平约束, 选择合适参数, 分别对正常运行工况和洪水运行工况进行静力稳定性计算。

(5) 坝体稳定性计算: 采用毕肖普法进行计算, 采用《尾矿设施设计规范》(GB 50863—2013) 的规定的最小安全系数。

2.2 模型建立

尾矿库边坡稳定性分析属于典型的平面应变问题, 首先确定模型高度, 剖面长度, 坡面附加荷载等条件, 模拟区域以(0,0)点为起点, 在Y轴方向上确定模型高度的点, 剖面长度在X轴方向上确定, 连线建立边坡模型, 见图2, 按弹塑性模型考虑, 采用Mohr-Coulomb准则^[15]。

设置3种试验模型建立条件, 分别为坝高、坡比、修复时间。坝高选取15、30、45、60、80 m; 坡比选取1:3、1:4、1:5; 修复时间选取1 a、4 a、10 a, 部分模拟计算结果见图3a~3d(全部计算结果见图4~13)。

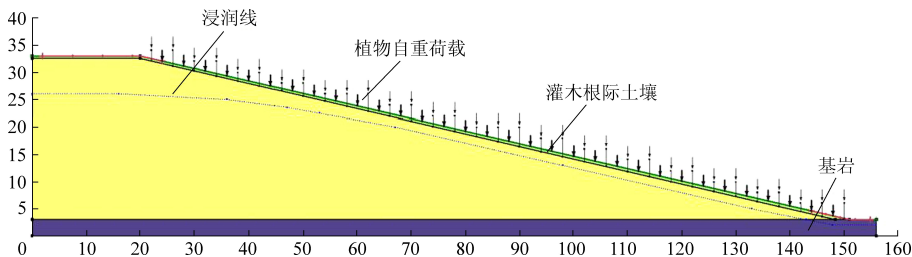


图2 尾矿坝模型示意图

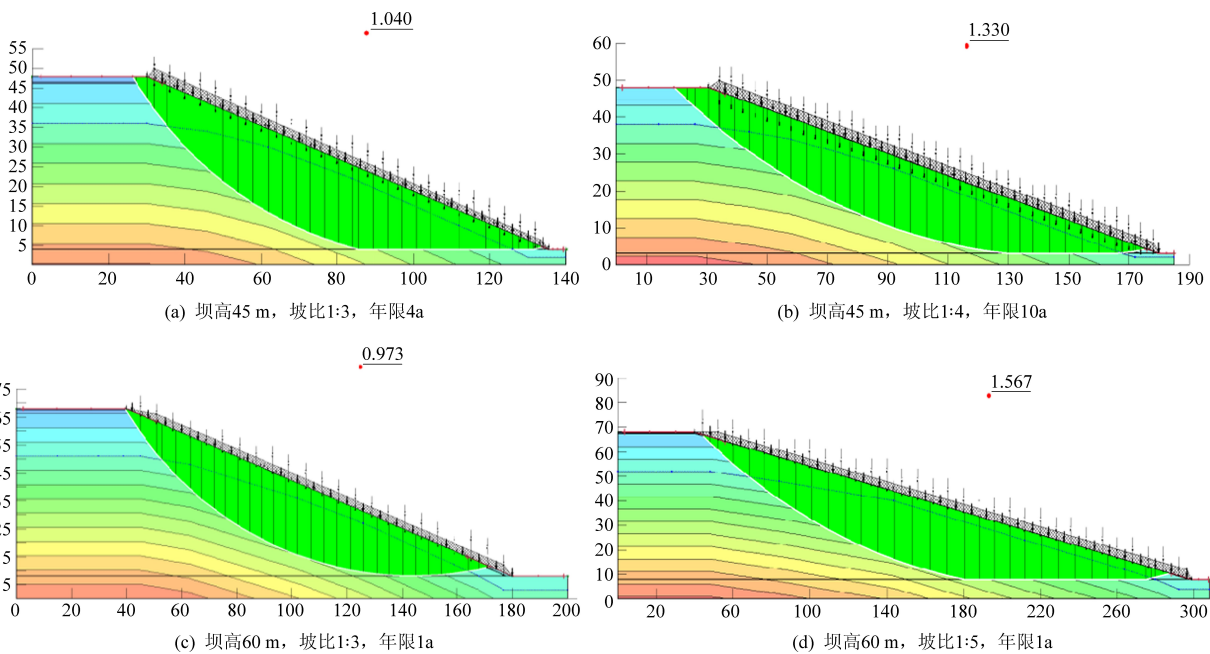


图3 模拟计算结果

2.3 模拟计算结果及分析

2.3.1 修复时间分析稳定性

上述模型分析均采用毕肖普法计算。模拟计

算结果见图4~8。由图可知, 在坝高一定的条件下, 安全系数随着坡比的降低呈现逐渐升高的趋势。坡比为1:3、1:4的处理组, 其不同修复年

限的安全系数无显著性差异 ($P>0.05$), 坡比为 1:5 的处理组则呈现一定差异性 ($P<0.05$), 这说明坡比越大, 安全系数越小, 修复植物根系的固土作用越弱。在坝高和坡比一定时, 总体规律为修复时间久的模型安全系数高: 修复 10 a>修复 4 a>修复 1 a, 且两种修复时间之间增加幅度较小, 差值大部分在 0.02~0.04 之间波动, 说明植物生态修复的年限对尾矿坝稳定性提高效果一般。在坡比与修复年限相同的条件下, 随着尾矿坝的增高, 安全系数呈降低趋势。无论坡比与坝高的参数如何设定, 4 a 与 1 a 相比差异性均不显著 ($P>0.05$), 个别还出现了 1a 的安全系数大于、等于 4a 的情况, 这可能由于尾矿基质营养成分差, 导致沙棘生长缓慢, 从而降低了安全系数。所有的模拟计算结果中, 尾矿坝安全系数, 在坝高为 15 m、坡比为 1:5、修复 10 a 的条件下, 达到最高值 2.84, 分别比相同条件下 1 a、4 a 安全系数提高了 1.45 倍、1.42 倍, 同时是最小安全系数的 4.8 倍, 此条件下稳定性达到最大。

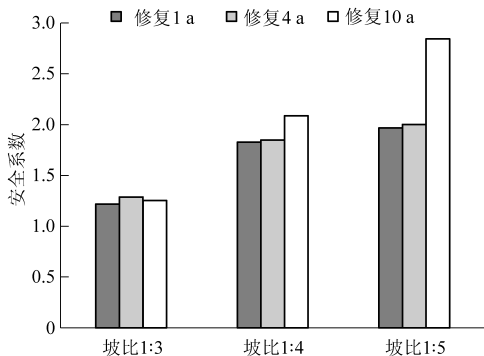


图 4 15 m 坝高安全系数

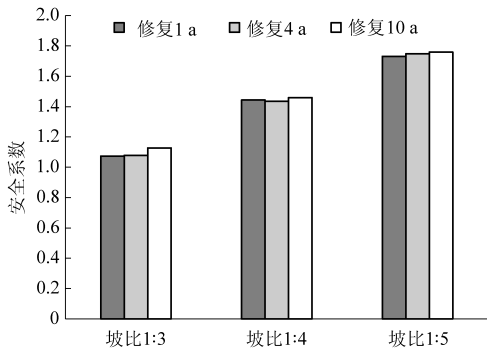


图 5 30 m 坝高安全系数

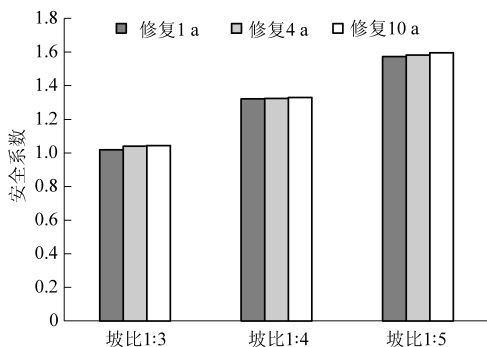


图 6 45 m 坝高安全系数

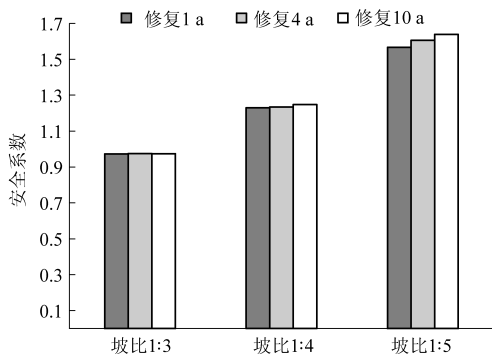


图 7 60 m 坝高安全系数

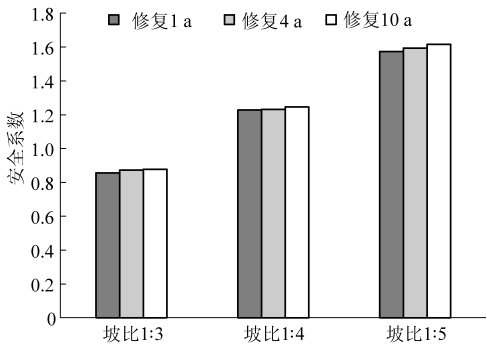


图 8 80 m 坝高安全系数

相同的条件下, 随着坡比的减小其安全系数呈增大趋势, 安全系数差值集中在 0.2~0.8 之间, 安全系数计算结果差异均显著 ($P>0.05$), 说明坡比大小是影响尾矿坝安全系数的主要因素。依据毕肖普法计算, 3 等尾矿坝最小安全按系数为 1.30, 4 等和 5 等尾矿坝最小安全系数为 1.25, 由坡比为 1:3 的模型可知, 当坝高为 45、60、80 m 时, 其安全系数均小于 1.25, 故为危库或险库; 坡比 1:4, 坝高为 15、30、45 m 为安全性能良好的尾矿坝, 其余模型为危库或险库; 坡比 1:5 的模型安全系数均大于规范要求的最小值, 为安全性较高的尾矿坝。上述分析说明坡比对尾矿库边坡稳定性影响显著。

2.3.2 坡比分析稳定性

模拟计算结果见图 9~13。在坝高、修复年限

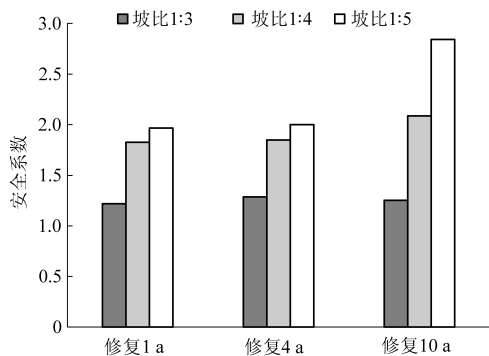


图 9 15 m 坝高安全系数值

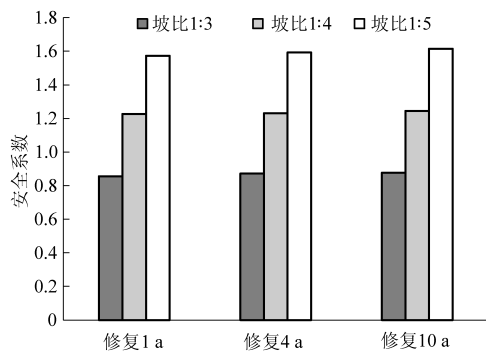


图 13 80 m 坝高安全系数值

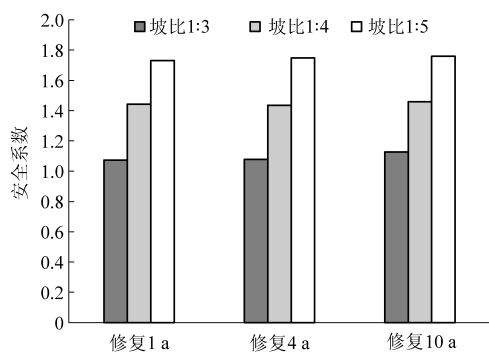


图 10 30 m 坝高安全系数值

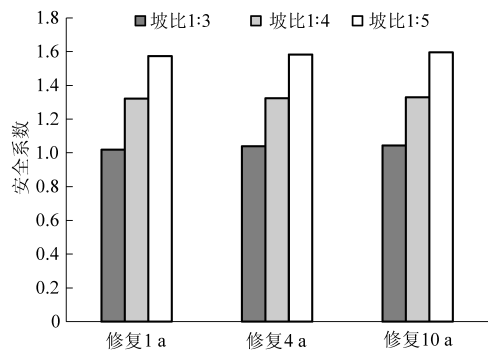


图 11 45 m 坝高安全系数值

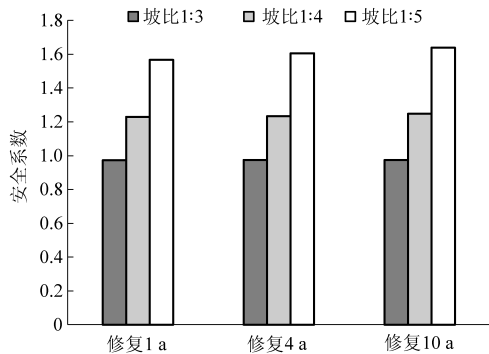


图 12 60 m 坝高安全系数值

3 结论

(1)植物修复尾矿坝模型安全系数的总体规律为:修复 10 a>修复 4 a>修复 1 a,差值大部分在 0.02~0.04 之间波动。修复 4 a 与修复 1 a 效果差异并不显著。只有当坡比为 1:5 时,修复 10 a 与修复 1 a、4 a 尾矿坝安全系数才有差异性。表明随着坡比的增大,可能会减弱植物根系固土的效果。

(2)在坡比与修复年限相同的条件下,随着尾矿坝的增高,其安全系数呈降低趋势。尾矿坝安全系数,在坝高为 15 m、坡比为 1:5、修复 10 a 的条件下,达到最高值 2.84,分别比相同条件下 1 a、4 a 安全系数提高了 1.45 倍、1.42 倍,同时是最小安全系数的 4.8 倍。

(3)在坝高、修复年限相同的条件下,随着坡比的减小其安全系数呈增大趋势,安全系数差值集中在 0.2~0.8 之间,安全系数计算结果间差异均显著($P>0.05$),说明坡比大小是影响尾矿坝安全系数的主要因素。

(4)坡比大小是影响尾矿坝安全系数的主要因素,尾矿坝修复植物可以提高安全系数,但在修复植物生长年限短的情况下效果不明显,且坡比对植物提高尾矿坝安全系数效果的影响极大。

参考文献

- [1] 曹明杰,郝喆,周素航.铁尾矿基质改良对典型乔灌草生长影响的实验研究[J].能源环境保护,2019,33(2):33-36.
- [2] 赵焕新.基于层次分析法的矿区各矿复垦优先度评价[J].能源环境保护,2016,30(1):57-60.
- [3] 韩传超,韩艳霞.边坡稳定性分析方法研究及发展趋势[J].能源环境保护,2015,29(1):4-6.
- [4] 高巍,袁利伟,赵冲,等.尾矿库稳定性研究进展[J].

- 中国水运（下半月），2018，18（8）：187-188.
- [5] 牛玺荣，孙延芳. 铁尾矿砂路基沉降及稳定性数值分析 [J]. 长安大学学报（自然科学版），2018，38（1）：9-16.
- [6] 潘东. 尾矿坝稳定性的研究现状与发展 [J]. 安全与健康，2012（7）：42-43.
- [7] 马彦东. 尾矿坝的稳定性研究及发展分析 [J]. 科技创新与应用，2016（15）：96.
- [8] 谢旭阳，田文旗，王云海，等. 我国尾矿库安全现状分析及管理对策研究 [J]. 中国安全生产科学技术，2009，5（2）：5-9.
- [9] 李强，张力霆，齐清兰，等. 基于流固耦合理论某尾矿坝失稳特性及稳定性分析 [J]. 岩土力学，2012（S2）：243-250.
- [10] 陈建宏，朱鼎耀，陈轶俊，等. 基于 PCA-BP 神经网络
- 的尾矿库坝体稳定性分析 [J]. 黄金科学技术，2015，23（5）：47-52.
- [11] 董红娟，李国明，栾春雪，等. 基于 3DEC 的某尾矿坝边坡监测及稳定性研究 [J]. 煤炭技术，2015（11）：203-205.
- [12] 李嫣绮，李广悦，汪弘. 基于强度折减法的尾矿坝稳定性数值模拟分析 [J]. 南华大学学报（自然科学版），2015，29（2）：52-56.
- [13] 张年龙. 尾矿库在线监测系统中基于 GPS 监测的位移形变监测技术应用 [J]. 现代矿业，2019，35（9）：230-232.
- [14] 郝喆，杨青潮，周素航. 生态修复尾矿坝的边坡稳定性评价 [J]. 金属矿山，2019（8）：162-166.
- [15] 周素航. 灌木修复铁尾矿坝的稳定性分析与评价 [D]. 沈阳：辽宁大学，2019：44-45.