

文章编号: 1674-9669(2015)02-0094-05
DOI: 10.13264/j.cnki.ysjskx.2015.02.018

降雨对良山太平尾矿坝稳定性影响分析

陈承, 程三建, 张亮, 王柳, 黄超

(江西理工大学资源与环境工程学院, 江西 赣州 341000)

摘要:为研究降雨对良山太平尾矿坝稳定性的影响,借助 Geostudio 的 SEEP/W 模块建立了坝坡渗流场模型,在设置岩土体力学参数、渗流参数后,分别以 10 年、25 年、50 年和 100 年一遇的降雨强度作为工况点,进行不同强度降雨条件下坝坡稳定性分析,并获取了降雨强度、降雨持续时间与坝坡稳定性的关系曲线。结果表明:随着降雨持续延长,坝坡安全系数降低,在坝脚处渗流集聚,易造成局部失稳;针对不同的降雨强度,均可参照关系曲线,对尾矿库的运行状态进行安全预测和警戒,工程意义深远。

关键词:降雨强度;渗流场;安全系数;太平尾矿坝

中图分类号:TD325.4 **文献标志码:**A

Stability analysis of Taiping dam in view of rainfall

CHEN Cheng, CHENG Sanjian, ZHANG Liang, WANG Liu, HUANG Chao

(School of Resources and Environment Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China)

Abstract: In order to study the influence of rainfall on stability of Taiping dam in Liangshan, the SEEP/W in Geostudio is used to establish a seepage field. After setting the parameters in rock or seepage with 10 years, 25 years, 50 and 100 years as a point of rainfall respectively, slope stability analysis under different rainfall durations is carried out to obtain relation curve of rainfall intensity, rainfall duration and dam stability. The results show that when rainfall durations are longer, dam safety factor becomes lower and the gathering at the foot of dam can easily lead to negative stability; security forecasting can be made for tailing dam in different rainfall intensity by means of the curve, which is of far-reaching significance.

Key words: rainfall intensity; seepage field; safety factor; Taiping dam

0 引言

大量事实表明降雨将对坝坡稳定性产生重要影响^[1],实际降雨入渗降低坝坡安全系数情况可分为 2 类:前者为坝体本身材料性质的改变如黏聚力、内摩擦角及基质吸力等;后者为坝体综合环境因素的变化,如降雨导致浸润线抬高,孔隙水压力升高使潜在滑移面的抗滑能力降低等^[2]。目前,国内外大都致力于降雨对边坡渗流稳定性影响研究,如陈浩、黄静等^[3]

利用 Geostudio 软件对降雨条件下的土质边坡内部渗流场进行模拟,分析了地下水位线、坡体饱和度、压力水头随降雨时间的变化规律;谢瑾荣等^[4]运用二维渗流数值计算方法,对降雨条件下的边坡孔隙水压力大小及暂态饱和区面积在空间及时间上的分布进行了模拟;李兆平等^[5]以土壤体积含水率作为控制变量,改变边界条件模拟了降雨过程中土壤入渗能力的变化,然而,针对尾矿坝在降雨条件下渗流稳定性研究较少,此外,类似上述研究未能建立不同降雨强度与尾矿坝可能失稳时间一一对应的关系,为解决工程

收稿日期:2014-09-28

基金项目:江西省研究生创新专项资金资助项目(YC2014-S350);江西理工大学研究生创新专项资金项目(YC2013-X02)

作者简介:陈承(1991-),男,硕士研究生,主要从事矿山岩石力学与工程方面的研究,E-mail:13763908627@163.com.

实际问题仍有较大差距,要想深入了解降雨入渗条件下坝坡稳定性问题,首先要对其进行正确的模拟,本文以新余良山太平尾矿坝为工程对象,应用 Geostudio 软件中的 SEEP/W 模块模拟不同降雨强度入渗工况下坝坡渗流场发展趋势,并结合 SLOPE/W 模块在相应工况下对其稳定性进行数值计算分析,研究成果对太平尾矿坝在实际降雨条件下安全稳定运行具有重大参考和借鉴意义^[6-8]。

1 太平尾矿坝区域概况

太平尾矿坝坝址位于新余良山铁矿,初期坝为透水石坝,是在水库大坝基础上改建而成的。原水库大坝坝基标高 130.60 m,坝顶标高 151.30 m,坝顶宽 10.00 m,内外坡比均为 1:1.1,为混凝土心墙堆石坝,改建后初期坝为透水堆石坝,坝顶高程 160.00 m,坝顶宽度 4.00 m,上游边坡坡率 1:1.5,下游边坡坡率 1:1.65,

坝高 29.40 m。尾矿库采用上游式尾矿堆坝法筑坝,目前尾矿堆积坝坝顶标高约 206.5 m,总坝高约 75.90 m,属Ⅲ级尾矿库和三等堆积坝。调查未见明显裂缝、变形位移等迹象。

据当地气象资料,良山镇雨量充沛,但时空分布不均,年实际变化较大,多年平均降雨量 1 403 mm,降雨量主要集中在 4~6 月,占全年降雨量的 47 %。常有阴雨天气,年降雨量变化最大值达 510 mm,降雨成为可能诱发坝坡失稳的突出因素。

2 建模及计划方案的确定

2.1 模型网格划分

根据良山太平尾矿坝相关工程地质条件,针对选取的典型剖面,利用 SEEP/W 模块建立坝坡渗流场模型。具体有限元网格剖分见图 1,网格中共有 3 058 个节点和 3 020 个单元。

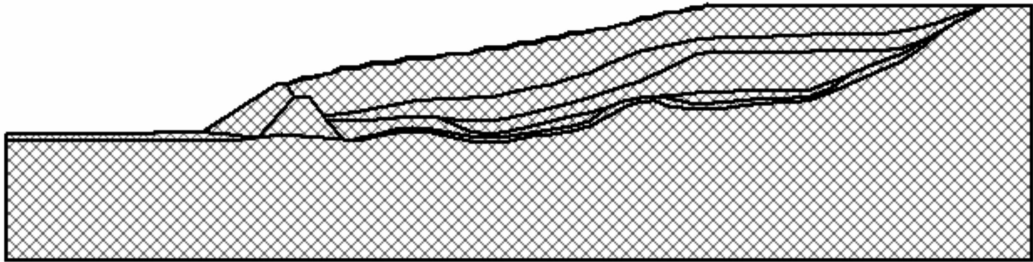


图 1 有限元计算模型图

2.2 模型参数

模型参数选取主要包括岩土体的力学参数以

及渗流相关参数的选取。相关物理力学参数取值见表 1。

表 1 岩土体参数取值表

岩土体类型 及代号	重度 γ /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	黏聚力 C /kPa	内摩擦角 θ /($^{\circ}$)	弹性模量 E /MPa	泊松比 μ	饱和含水量 w /%	压缩系数 M_v /(10^{-4}MPa^{-1})	饱和渗透系数 K /($10^{-3}\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$)
人工填土 1-1	18	10	17	30	0.35	31.5	2	360
人工填土 1-3	18	2	40	35	0.2	8.2	1	10 000
尾粉砂 2	20	11.9	29.2	17	0.3	30.6	1.5	68
尾粉土 3	20	15.4	27.5	12	0.25	31.3	1.9	150
尾粉质黏土 4	19.3	22	24	10	0.35	41.2	3.3	18
粉质黏土 6	19.6	52.6	20.9	11	0.35	36.8	3.7	11.5
含碎石粉质黏土 7	19.7	53.3	21.4	40	0.2	36.1	2.4	30
强风化石英片岩 8	20	2 200	45	4 500	0.25	0.3	100	3

渗流参数的正确选取直接关系到最终模拟效果的准确性。根据各层岩土体岩性不同确定体积含水量样本函数,结合土体饱和含水率计算出岩土体土水特征曲线见图 2,即基质吸力与体积含水量关系图,而渗透系数 K 与基质吸力、体积含水量都有直接关系^[9-11],因此,可采用 Van Genuchten 法结合资料中每层土体

的饱和渗透性系数,推导出的渗透性函数特征曲线见图 3。

2.3 边界条件

根据实际降雨情况,整个坝坡表面都应有同一强度降雨,具体设为 510 mm/d、154 mm/d、120 mm/d、70 mm/d 4 个等级流量边界;模型底面定义为不透水

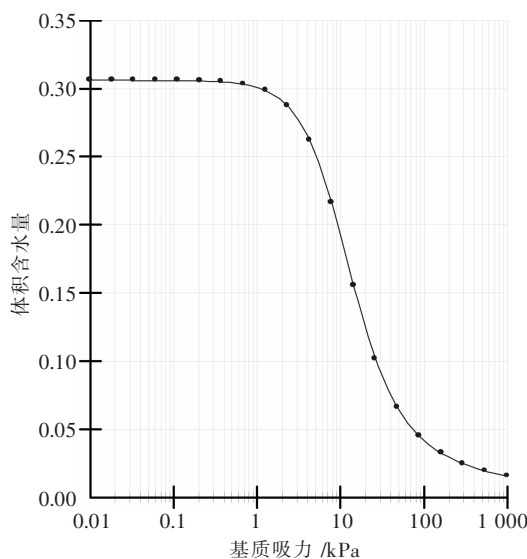


图 2 尾粉砂的土水特征曲线

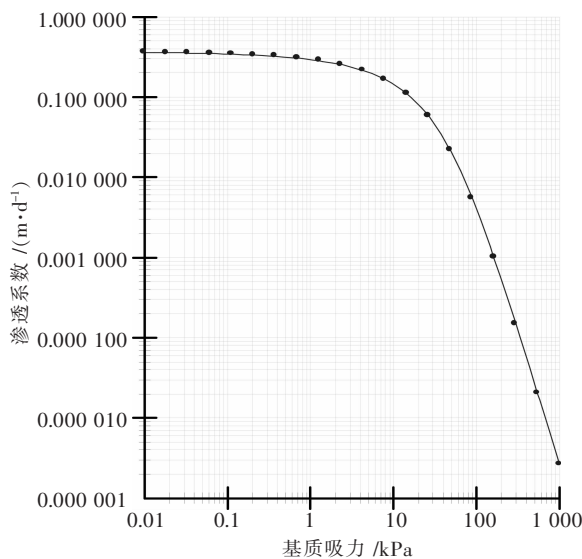


图 3 尾粉砂的渗透性函数特征曲线

边界^[12-14].

2.4 计算工况

为了综合分析降雨强度、降雨持续时间对滑坡稳定性的影响,通过查算江西省暴雨洪水查算手册,结合当地实际降雨情况可得出相应重现期的不同降雨强度值,以暴雨重现期为依据得到的降雨强度值分别为 510 mm/d、154 mm/d、120 mm/d、70 mm/d 4 个等级见表 2.

表 2 当地实际降雨强度查算表

等级	重现期	频率	24 h 平均降雨强度值 /mm
①	100	0.01	510
②	50	0.02	154
③	25	0.04	120
④	10	0.10	70

重现期代表当地出现同等强度降雨的时间周期,降雨强度频率表示单位时间内某种事件出现的次数或比例,水文统计上,用频率反映水文时间出现的频繁情况.

为了更好地突出降雨历时对坝坡稳定影响程度,得出不同降雨对应的预计失稳时间关系图,降雨持续时间设置为 60 d.每种降雨强度历经 20 个时间步长,计算初始状态对应初始地下水位情形.

3 渗流场分析及稳定性计算

3.1 渗流场结果分析

通过对太平尾矿坝进行瞬态非饱和渗流模拟分析,可得到不同时刻不同降雨等级工况下孔隙水压力等值线图,限于篇幅,仅列出初始状态孔隙水压力等值线图及第②级降雨强度(50 年一遇)工况下分别持续 3 d、9 d、30 d、60 d 时刻坝体内孔隙水压力等值线图见图 4~图 8.

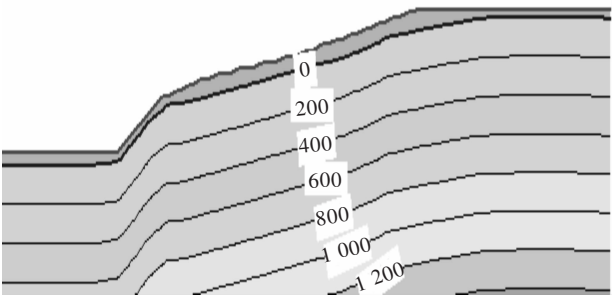


图 4 坝体初始孔隙水压力分布等值线图

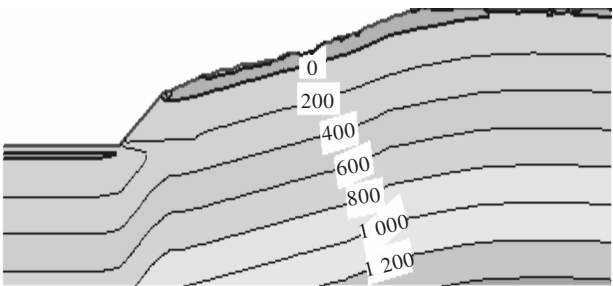


图 5 坝体孔隙水压力分布等值线图(50 年一遇降雨 3 d 时刻)

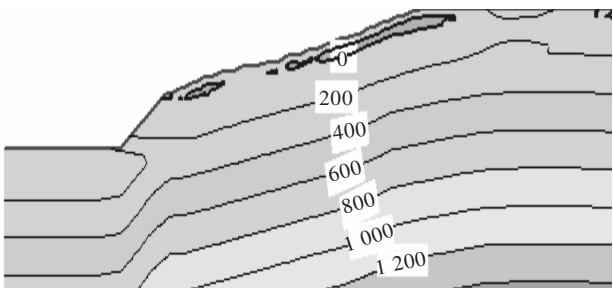


图 6 坝体孔隙水压力分布等值线图(50 年一遇降雨 9 d 时刻)

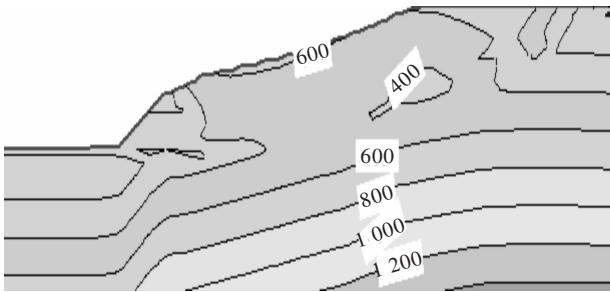


图7 坝体孔隙水压力分布等值线图(50年一遇降雨30d时刻)

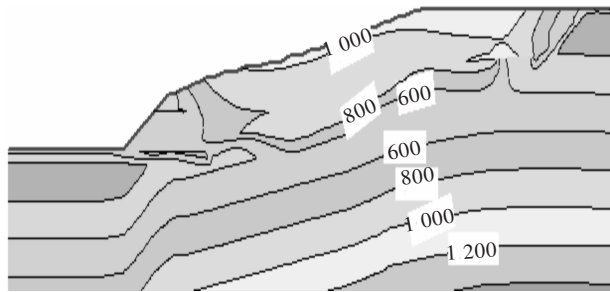


图8 坝体孔隙水压力分布等值线图(50年一遇降雨60d时刻)

由图4~图8可知,降雨开始后,坝坡顶部和坝坡坡面以下一定区域范围内孔隙水压力升高,基质吸力相应降低;随着降雨持续进行,负孔隙水压力分布区进一步缩小,基质吸力逐渐降低,当上部局部饱和带与坡体内的饱和带汇合贯通后,浸润线开始整体向坡体内侧后移,15 d以后,坝体基本处于饱和状态。同样,当降雨强度分别处于第①、③、④级工况时,渗流场分布情形与上述情况类似,只是在时间上分别相应提前9 d、推后3 d、推后18 d。

3.2 稳定性分析

采用非饱和土抗剪强度理论,将SEEP/W的分析结果代入SLOPE/W中进行耦合计算,用Morgenstern-Price法分析降雨时坝体的瞬态稳定性见图9~图12,并进一步统计降雨强度、降雨持续时间与滑坡稳定性的关系见图13。



图9 潜在滑移面云图(10年一遇降雨6d时刻)

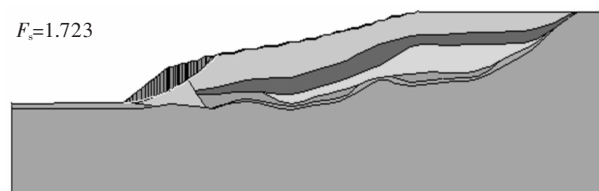


图10 潜在滑移面云图(25年一遇降雨6d时刻)

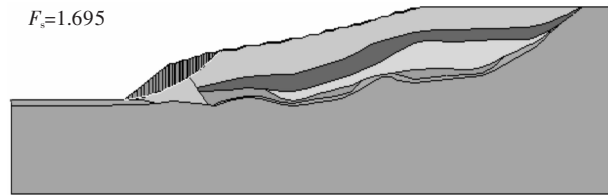


图11 潜在滑移面云图(50年一遇降雨6d时刻)

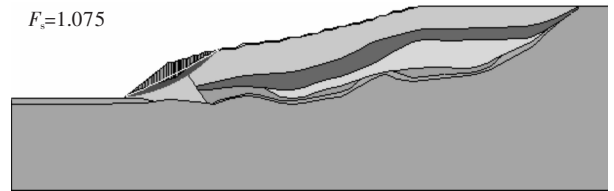


图12 潜在滑移面云图(100年一遇降雨6d时刻)

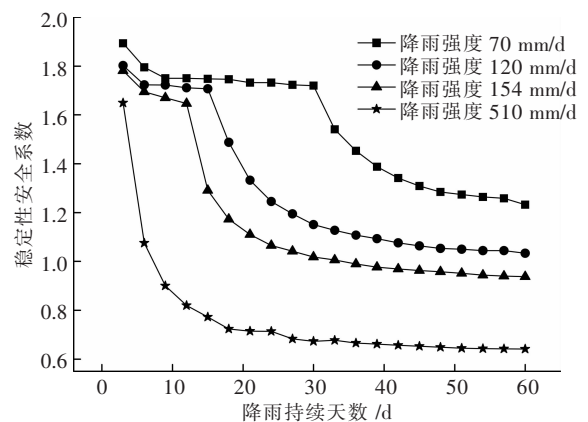


图13 降雨强度、降雨持续天数与坝坡安全系数关系图

结果表明:随着降雨持续天数的增加,坡内土体抗剪强度降低,坡体的稳定性逐渐下降;降雨强度越大,坝体安全系数下降越明显。深入分析各级降雨强度工况下降雨持时与安全系数之间关系,进一步通过拟合得到上述因素之间关系公式及对应相关系数如下:

①级:

$$Y = 2.52435 - 0.3894X + 0.03418X^2 - 0.00152X^3 + 3.60087 \times 10^{-5}X^4 - 4.29234 \times 10^{-7}X^5 + 2.02928 \times 10^{-9}X^6 \quad (1)$$

相关系数 $R=0.992$

②级:

$$Y = 3.09007 - 0.89897X + 0.21937X^2 - 0.02642X^3 + 0.00175X^4 - 6.88289 \times 10^{-5}X^5 + 1.65216 \times 10^{-6}X^6 - 2.37787 \times 10^{-8}X^7 + 1.88612 \times 10^{-10}X^8 - 6.34084 \times 10^{-13}X^9 \quad (2)$$

相关系数 $R=0.99$

③级:

$$Y = 2.18678 - 0.22543X + 0.04103X^2 - 0.00346X^3 + 1.43709 \times 10^{-4}X^4 - 3.13447 \times 10^{-6}X^5 + 3.45011 \times 10^{-8}X^6 - 1.51372 \times 10^{-10}X^7 \quad (3)$$

相关系数 $R=0.992$

④级:

$$Y=2.157\ 03-0.111\ 58X+0.010\ 39X^2-4.081\ 79\times 10^{-4}X^3+6.733\ 89\times 10^{-6}X^4-8X^5 \quad (4)$$

相关系数 $R=0.988$

式(1)~式(4)中: Y 为安全系数; X 为降雨持续天数。

太平尾矿坝为三级尾矿坝,其对应的最小安全系数为 1.10 见表 3,若太平尾矿坝处于第④级(10 年一遇)工况时,60 d 内持续降雨坝坡安全系数均大于 1.10,满足尾矿库安全规程要求,若处于第③级(25 年一遇)工况时降雨工况时,第 27 天前,尾矿坝尚处于基本稳定状态,接近第 36 天时,坝体处于欠失稳状态,36 d 后,坝体整体失稳;若尾矿坝处于第①、②级降雨工况时,基本情况与前述情况类似,只是坝体达到失稳状态较之前分别提前 31 d、16 d 左右。

表 3 坝坡抗滑稳定最小安全系数

运用情况	库矿坝级别			
	1	2	3	4、5
正常运行	1.30	1.25	1.20	1.15
洪水运行	1.20	1.15	1.10	1.05
特殊运行	1.10	1.05	1.05	1.00

进一步分析可知,当降雨强度值大于 100 mm/d 降雨持时 60 d 范围内时,从理论分析,坝体将失稳,且通过计算可得出降雨强度值与可能发生失稳时对应降雨持时之间关系拟合曲线图见图 14,降雨强度

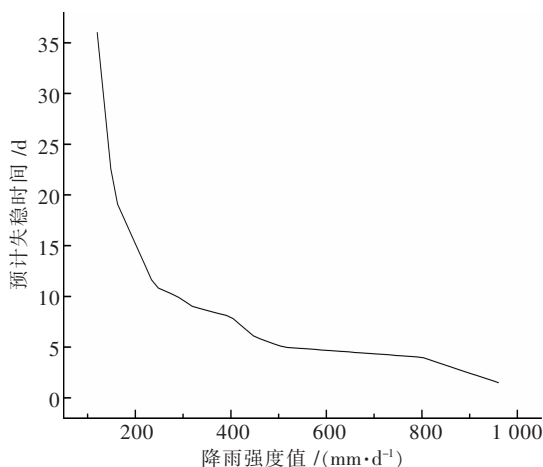


图 14 预计失稳时间与降雨强度关系图

范围在 100 mm 到 1 000 mm 之间。通过拟合得出二者关系如下所示:

$$Y=100.060\ 33-0.881\ 42X+0.003\ 31X^2-6.069\ 83\times 10^{-6}X^3+5.360\ 22\times 10^{-9}X^4-1.823\ 88\times 10^{-12}X^5 \quad (5)$$

相关系数 $R=0.979$

式(5)中: Y 为尾矿库预计失稳时间; X 为降雨强度值。

4 结 论

以良山太平尾矿坝为研究对象,借助 Geostudio 软件对不同降雨量和降雨持续时间下矿坝的稳定性进行研究,得出了以下结论:

1) Geostudio 的 SLOPE/W 模块与 SEEP/W 模块进行耦合计算,为降雨条件下良山太平尾矿坝的稳定性分析提供了基础;

2) 同一强度降雨工况下,随着降雨持续时间延长,尾矿库坝的稳定性逐渐降低,在坝脚处渗流集聚,易造成局部失稳;同一时刻不同降雨强度工况下,随着降雨强度的增强,尾矿坝安全系数逐渐降低;

3) 经模拟和统计,获取了降雨量、降雨持续时间与坝坡稳定性的关系曲线,针对不同的降雨强度,均可参照关系曲线,对尾矿库的运行状态进行安全预测和警戒,工程意义深远;

4) 影响尾矿库稳定性的因素众多,文章只对降雨进行了讨论,只能为尾矿库的安全性提供参考,而不能作为决断性依据。

参考文献:

- [1] 冯卫,王佳运,张成航,等.降雨入渗对邱家梁滑坡稳定性的影响研究[J].西北地质,2013(2):195-200.
- [2] 周家文,徐卫亚,邓俊峰,等.降雨入渗条件下边坡的稳定性分析[J].水利学报,2008(9):1066-1073.
- [3] 陈浩,黄静,林峰. GeoStudio 软件在土坡饱和-非饱和渗流分析中的应用[J].四川建筑,2008(6):66-67.
- [4] 谢瑾荣,周翠英,程晔.降雨条件下软岩边坡渗流-软化分析方法及其灾变机制[J].岩土力学,2014(1):2360-2365.
- [5] 李兆平,张弥.考虑降雨入渗影响的非饱和土边坡瞬态安全系数研究[J].土木工程学报,2001(5):57-60.
- [6] 张国超,范付松,赵鑫.间歇性降雨对滑坡稳定性的影响[J].安全与环境工程,2011(4):9-16.
- [7] Carman M, Auflic M J, Komac M. Landslides at a uranium mill tailing deposit site Boršt (Slovenia) detected by radar interferometry[J]. Landslides, 2014, 11(3):527-536.
- [8] 张兴凯,孙恩吉,李仲学.尾矿库洪水漫顶溃坝演化规律试验研究[J].中国安全科学学报,2011(7):118-124.
- [9] 缪海波,殷坤龙,郭付三,等.金属矿山尾矿坝渗流场模拟及稳定性数值分析[J].金属矿山,2010(3):134-138.
- [10] Yang H, Jian W, Wang F. Progress of geo-disaster mitigation technology in asia [M]. Springer Berlin Heidelberg, 2013:503-523.
- [11] 付新平,丁勇.考虑基质吸力下的黄土边坡稳定性研究[J].铁道标准设计,2011(5):21-25.
- [12] Ozcan N T, Ulusay R, Isik N S. A study on geotechnical characterization and stability of downstream slope of a tailings dam to improve its storage capacity (Turkey)[J]. Environmental Earth Sciences, 2013, 69(6):1871-1890.
- [13] 张森,王志军,潘祥勇,等.基于故障树的尾矿库溃坝原因分析[J].山西建筑,2013(4):242-244.
- [14] 李亮,褚雪松.浸润线深度对尾矿坝稳定性分析的影响研究[J].中国安全生产科学技术,2011(11):20-23.