

文章编号: 1674-9669(2015)03-0116-05
DOI: 10.13264/j.cnki.ysjskx.2015.03.022

稀土矿边坡监测方案构建与滑坡灰色预测

王丹¹, 袁博云¹, 饶运章¹, 饶睿², 张永胜¹

(1.江西理工大学资源与环境工程学院,江西 赣州 341000;2.赣州有色冶金研究所,江西 赣州 341000)

摘要: 原地浸矿法开采稀土矿山有很多优点,也有一个明显的缺点:注入的溶浸液容易导致山体滑坡.利用 FLAC^{3D} 和强度折减理论对边坡稳定性进行数值模拟,确定了采场边坡失稳区域,作为重点监测区域.通过现场观测,现场失稳的山体部分与模拟结果相吻合;结合现场连续 7 d 监测数据,利用灰色理论建立灰色预测模型,预测结果精度等级为好,可以应用于工程实际,同时也为后续的滑坡预警提供支持.

关键词: 稀土矿边坡;原地浸矿;数值模拟;在线监测系统;灰色预测

中图分类号: TD325.4 **文献标志码:** A

Establishing slope monitoring program for rare earth ore and grey prediction of landslide

WANG Dan¹, YUAN Boyun¹, RAO Yunzhang¹, RAO Rui², ZHANG Yongsheng¹

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China;

2. Ganzhou Research Institute of Nonferrous Metallurgy, Ganzhou 341000, China)

Abstract: Despite of its advantages, in-situ leaching mining method has an obvious disadvantage, that is, landslide caused by injected leaching solution. Numerical simulation is performed on the slope stability by using FLAC^{3D} and strength subtraction. The slope instability region is regarded as key monitoring area. The field observation shows the instability of the mountain part is in conformity with the simulation results. Combining with field monitoring data in the 7 consecutive days, the grey prediction model is established based on grey theory, predicting precision grade being favorable. It can be applied to the engineering practice, which provides reference for the subsequent landslides warning.

Key words: slope of rare earth mine; in-situ leaching; numerical simulation; on-line monitoring system; grey prediction

0 引言

稀土是国防和航天不可或缺的战略资源.全球范围内,美国稀土储量占全球稀土储藏量的 40 %,俄罗斯占 30 %,中国占 18 %,印度占 7 %.我国稀土

资源总量的 98 %分布在内蒙古的白云鄂博、江西赣南、广东粤北、四川凉山等地区.江西赣南地区的稀土元素以离子形态吸附在花岗岩风化壳的全风化层的黏土当中,由于过去采用的堆浸法的“搬山运动”对环境破坏严重,现在多采用原地浸矿法开采^[1].

收稿日期:2014-11-01

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2012AA061901);2011 年度江西省安全生产重大课题

作者简介:王丹(1989-),男,硕士研究生,主要从事金属矿地下开采和岩土边坡工程研究,E-mail:381749627@qq.com.

通信作者:饶运章(1963-),男,教授,博导,主要从事金属矿和稀土矿开采及岩土边坡工程研究,E-mail:raoyunzhang@sohu.com.

原地浸矿法的主要特征是,矿石处于天然状态下未经任何位移,通过注液工程往矿层注入溶浸液,使之与矿石中的有用成分接触,进行化学反应^[2].赣南稀土矿区的地层构造依次为表土层、含稀土元素的透水全风化层、不透水的基岩,赣南地区的稀土资源非常适合此种开采方法.注液工程主要有打穿表土层的注液孔,开采过程就是通过管道向注液孔里注入溶浸液,然后收集浸出液.但随着注液的进行,注入的液体不仅带走了稀土,还带走了半风化层的细小颗粒,改变了土体的级配,使土体的孔隙和裂缝加大,改变了土体的内摩擦角和黏聚力.注入的液体会造成 2 个方面的结果,一是溶浸液进入这些孔隙和裂缝,降低土坡的抗剪强度;二是注入的液体补给地下水,使地下水位抬高,减小滑动面的有效法向应力,渗透压力增大,这些都可能致使边坡更容易滑动^[3].滑坡造成严重的经济损失和人员伤亡,归因于对滑坡的发生的地点、时间和强度的无法事先预测,所以对赣南稀土矿边坡的监测尤为重要^[4-6]!

1 监测方案的构建

1.1 实验场地的概况

江西省龙南县关西 2A 车间防滑坡实验矿块位于江西省龙南县城东南 10 km,行政属于龙南县关西镇管辖.矿体由中部往四周倾斜,沿山脊矿体倾斜较

缓,一般为 5°~10°.沿山坡矿体倾斜较陡,多数为 20°~30°,坡角矿体局部达 40°.矿体平均厚度为 8.1 m,矿区为似层状面型表露矿体,形态较为简单,其产状和厚度变化明显受地貌形态的制约.

1.2 监测方案构建

采用三维数值模拟,建立水平投影面积为 200 m×180 m 三维立体模型,找出三维边坡最容易失稳的区域,把该区域作为重点监测区域.对三维模型进行以下处理:①将三维边坡简化为均质三维模型.由于影响边坡稳定性的最敏感地质层为土层,选择该均质边坡为全风化层均质土坡.②简化边界条件和相关参数.③忽略地下水的影响.给模型添加底部和四周位移约束;为了使边坡模型失稳更易显现,相关参数按照表 1 的全风化层参数.

图 1 为利用 FLAC3D 按照均质边坡参数得到的塑性区^[7].shear-p 区域已经连成片,一般认为形成了贯通的塑性区是边坡区域失稳的标志,将该区域视为边坡重点监测区域,测线及测孔布置如图 2.

第 1 条测线布置在 K₈、K₅ 2 个勘探孔连线的方向上,C₂ 孔埋设 2# 土压计和 C₃ 孔埋设 3# 土压计,第 2 条测线布置在 K₁₂、K₁₄ 2 个勘探孔的连线上,C₆ 孔埋设 6# 上土压计和 6# 下土压计,在 6# 监测孔里埋设上测斜仪和下测斜仪.监测系统包含数据从采集、传输、存储,再到处理的流程,配套的子系统包括监测控制中心、综合预警预报等^[8].图 3 为稀土矿区采场在线监测系统示意图^[9].

表 1 土层计算参数
Table 1 Soil calculation parameters

弹性模量 /GPa	剪切模量 /GPa	重度 /(kN·m ⁻³)	内摩擦角 /(°)	黏聚力 /kPa
0.5	0.2	18	15	18

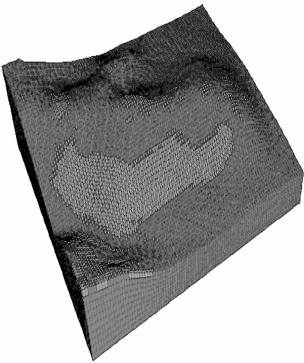
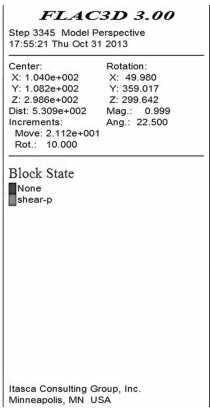


图 1 模型塑性区分布图
Fig.1 Plastic zone of model

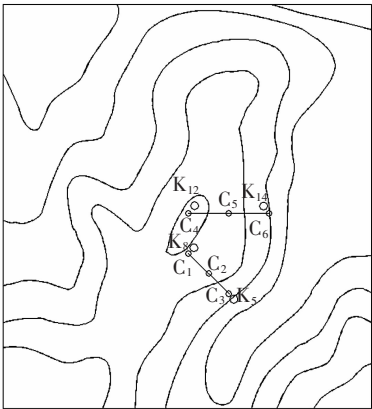


图 2 测线布置图
Fig.2 Layout of seismic line

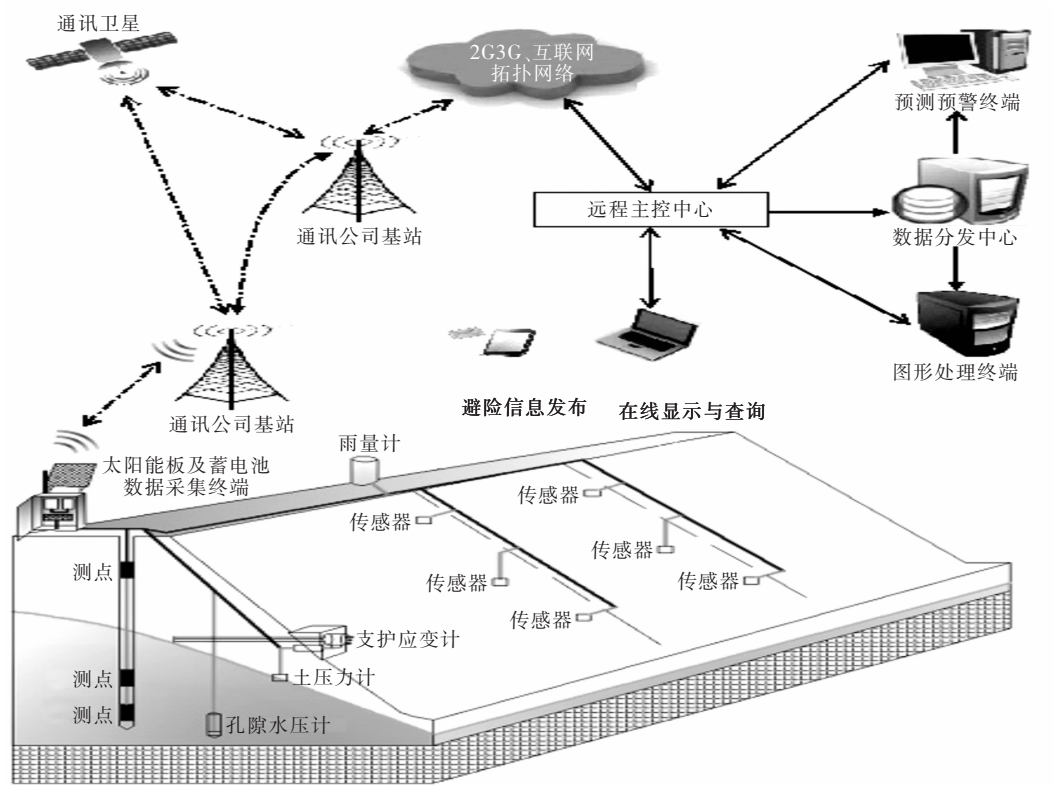


图 3 采场在线监测系统示意图

Fig.3 Schematic diagram of on-line monitoring system for Slope

2 现场试验成果及分析

2.1 土压力监测结果分析

图 4 为土压力监测相对值^[10].数据显示:2#土压力出现较大异常波动,这可能与埋设时土体未捣实有关;3#监测孔附近坡体平缓,在整个注液过程中基本保持稳定;6#监测孔上部土压力处于稳定缓慢增加的正常状态;6#监测孔下部土压力出现了异常.

2.2 失稳实例分析

6#监测孔位于山坡山脚上部位置,沿山体往下约10 m 即是矿区道路.图 5 为 2014 年 1 月 17 日清晨坡脚风化岩出现裂缝,阻塞了积液沟,导致积液沟稀土母液沿道路流失,且给矿区道路带来了安全隐患.

1 月 7 日至 1 月 14 日期间,6#监测孔下部土压力急剧增大,14 日以后增大幅度减小,17 日出现坡脚失稳破坏,破坏后应力释放并达到新的平衡,即 19 日

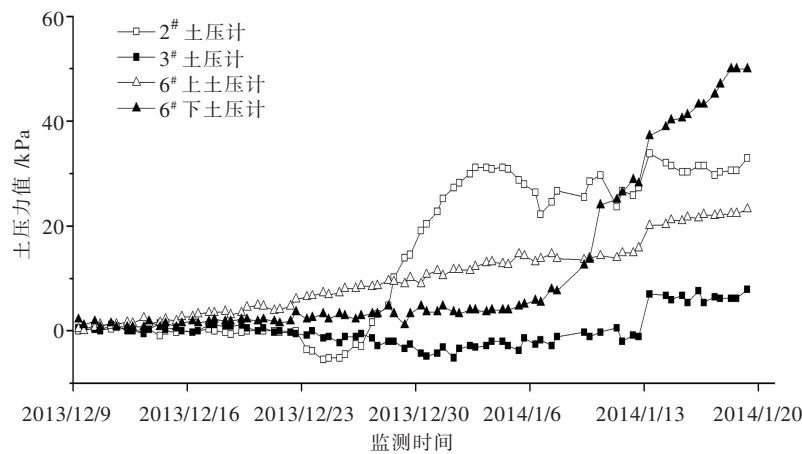


图 4 4 个土压力计随监测时间的变化趋势

Fig. 4 Changing trends of 4 soil pressure with monitoring time



图 5 边坡失稳现场
Fig. 5 Slope instability of the scen

后土压力又趋于稳定. 然而,6[#]监测孔上部土压力基本无变化,说明坡体位移主要发生在下部,但土压力缓慢增大说明山体总体上仍然向下移动,且土压力的监测表明失稳位置出现在全风化层.

图 6 为 6[#]监测孔测斜仪时间挠度曲线,图 6 中 1/0.6 m 表示第 1 个应变计距离地表 0.6 m 位置^[11]. 假定测斜管底部不变的挠度数据表明,测斜管底部与第 2、3 个应变片的相对变化最为明显,1 月 15 日与 1 月 18 日之间,第 2 个应变计的相对内部位移短时间变化极大,而坡脚失稳正好发生于 17 日.坡脚破坏导致坡体内应力重新分布并于 19 日达到新平衡,

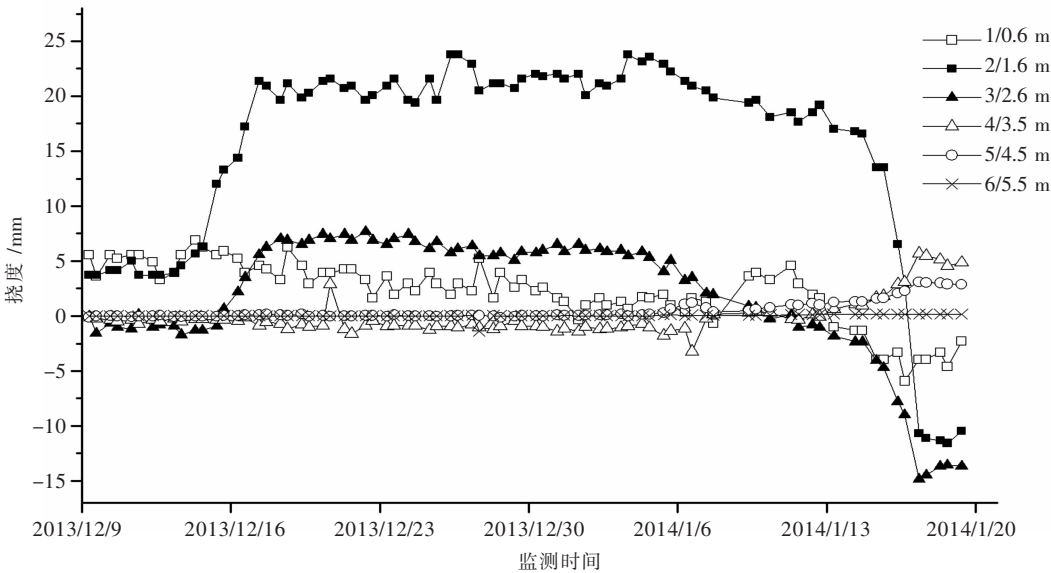


图 6 6[#] 监测孔测斜仪随监测时间的挠度曲线
Fig.6 Deflection curve of 6 inclinometer with monitoring time

19 日后测斜管监测数据又趋于稳定.

3 灰色预测

3.1 灰色理论简介

灰色预测是通过少量的、不确定的信息,建立数学模型并做出预测的一种预测方法. 灰色预测的过程是对原始数据进行累加或累减处理,生成新数据

序列,把新序列用到微分方程模型中,由此抵消部分由不确定因素引起的随机误差,增加预测精度,更好地分析和判别变性趋势.灰色预测常用 GM(1,1)和 GM(n,h)模型.灰色系统模型的精度检验按表 2 确定^[12-14].

3.2 预测实例与分析

以 6[#]下土压计 7 d 数据为例,建立 GM(1,1)模型^[15],模型时间响应函数为: $x(k+1)=-13\ 410.277\ 9\ \exp$

表 2 精度检验
Table 2 Accuracy test

检验指标	精度等级			
	好	合格	勉强	不合格
<i>P</i>	>0.95	>0.80	>0.70	≤0.70
<i>C</i>	<0.35	<0.50	<0.65	≥0.65

(-0.002 5)+134 44.164 1,预测结果如表 3:

由表 3 可得残差均值及原始数据平均值,它们分

表 3 土压实测值与预测值对比
Table 3 Comparison of soil pressure between measured and predicted

监测周期	监测时间	6 [#] 下土压监测值 /kPa	6 [#] 下土压预测值 /kPa	残差
1	2014-07-01	33.886 2	33.886 2	0
2	2014-07-02	33.442 9	33.310 4	0.132 5
3	2014-07-03	33.100 0	33.227 6	-0.127 6
4	2014-07-04	33.034 7	33.145 1	-0.110 4
5	2014-07-05	33.092 2	33.062 8	0.029 4
6	2014-07-06	33.100 0	32.980 7	0.119 3
7	2014-07-07	32.855 6	32.898 7	-0.043 1

别为 $\bar{\varepsilon} = 0.000\ 014$, $x^{-(0)} = 33.215\ 9$, 由此又可得 $S_e^2 = 0.008\ 997$, $S_x^2 = 0.100\ 807$. 因此, 后验差比值为 $C = 0.30 < 0.35$, 小概率误差 $p = p\{\lvert \varepsilon^0(k) - \bar{\varepsilon} \rvert < 0.674\ 5S_x = 1\} > 0.95$, 故预测精度等级为好.

4 结 论

1) 利用 FLAC^{3D} 和保守的强度参数进行数值模拟, 确定了采场边坡失稳区域, 作为重点监测区域, 并以此制定了在线监测系统实施方案. 通过分析土压计及测斜仪的数据, 数据发生急剧变化的时刻与现场大雨导致山体部分失稳的时刻相吻合, 现场失稳的山体部分与模拟结果相吻合, 表明构建的监测系统应用于稀土矿边坡可靠.

2) 结合 6[#] 下土压计连续 7 d 监测值, 利用灰色理论建立灰色预测模型, 预测结果精度等级为好, 可以应用到工程实际, 同时也为后续的滑坡预警提供支持.

参考文献:

[1] 程建忠, 车丽萍. 中国稀土资源开采现状及发展趋势[J]. 稀土, 2010 (2): 65-69.

[2] 李春. 原地浸矿新工艺在离子型稀土矿的推广应用[J]. 有色金属科学与工程, 2011(1): 63-67.

[3] 刘勇. 离子型稀土矿原地浸矿开采对地下水环境影响数值模拟[J]. 南京工程学院学报(自然科学版), 2014(2): 64-68.

[4] 黄紫彬, 蔡昶, 袁宪强. 浅析原地浸矿开采的离子型稀土矿山安全问题[J]. 稀土, 2013(4): 99-102.

[5] 饶运章. 岩土边坡稳定性分析[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2012.

[6] 梁全辉. 边坡监测技术浅谈[J]. 科学之友, 2010, 18: 27-28.

[7] 彭文斌. FLAC3D 实用教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.

[8] Du J C, Teng H C. 3D laser scanning and GPS technology for landslide earthwork volume estimation[J]. Automation in Construction, 2007, 16(5): 657-663.

[9] 齐丹, 邓中华, 王川婴. 无线传感器网络在边坡监测中的应用[J]. 自动化与仪表, 2010(2): 28-31.

[10] 张东明. 边坡监测技术与数据处理方法的研究[J]. 科学技术与工程, 2010, 22: 5539-5543.

[11] 袁宝远, 吕建红, 刘大安. 边坡监测信息可视化查询分析系统及其应用[J]. 工程地质学报, 1999(4): 355-360.

[12] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010.

[13] 杨华龙, 刘金霞, 郑斌. 灰色预测 GM(1, 1) 模型的改进及应用[J]. 数学的实践与认识, 2011, 23: 39-46.

[14] 刘晓叙. 灰色预测与一元线性回归预测的比较[J]. 四川理工学院学报(自然科学版), 2009(1): 107-109.

[15] 王东, 尚文涛, 冯晓. 基于测斜仪数据的边坡灰色预报[J]. 交通科技与经济, 2009(4): 67-69.