

Monitoring and Early Warning Technology for Mine Dump Landslide Based on GPS

Zhenhua Xie

Department of Safety Engineering, China Institute of Industrial Relations, Beijing
Email: xie0015@sina.com

Received: Mar. 11th, 2017; accepted: Mar. 24th, 2017; published: Mar. 30th, 2017

Abstract

Dump landslide is one of the major disasters for opencast mines, threatens the work safety of mine. Based on field research and literature analysis, this paper determined the reasonable comprehensive monitoring system for dump slope, that includes GPS, Stationary inclinometer, Rain gauge, Pore water manometer, Earth pressure cell etc. According to the request of dump early warning, early warning index systems of dump landslide were established that including single early warning indexes and comprehensive early warning indexes. Single early warning indexes include surface displacement, internal displacement, rainfall, while the comprehensive early warning indexes include main indexes and correction indexes of comprehensive early warning. According the practical situation of dump landslide accidents, scientific and practical early warning level and criteria of dump landslide were decided. The research results have contributed to strengthen safety management and accident prevention for mine dump.

Keywords

Mine Dump, Landslide, Dump Monitoring, Early Warning Technology, Early Warning Indexes

基于GPS的矿山排土场滑坡监测预警技术

谢振华

中国劳动关系学院安全工程系, 北京
Email: xie0015@sina.com

收稿日期: 2017年3月11日; 录用日期: 2017年3月24日; 发布日期: 2017年3月30日

摘要

排土场滑坡是矿山的重大灾害之一, 威胁矿山的安全生产。本文在现场调研和文献分析的基础上, 确定

了合理的矿山排土场边坡综合监测系统,其中包括GPS、固定式测斜仪、雨量计、孔隙水压力计等仪器。根据排土场预警的需求,建立包括单一预警指标和综合预警指标的排土场滑坡预警指标体系,单一预警指标为地表位移、内部位移、降雨量,综合预警指标包括综合预警主指标和修正指标。根据排土场滑坡事故的实际情况,确定科学、实用的排土场滑坡预警等级和预警准则。本研究成果有助于加强矿山排土场的安全管理和事故预防。

关键词

矿山排土场, 滑坡, 排土场监测, 预警技术, 预警指标

Copyright © 2017 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

随着我国矿山排土场数量增多,其规模也逐渐变大,每年因采矿而排放的岩土近6亿吨[1]。排土场排放的是松散岩土,其强度及稳定性都较低。若矿山排土场存在址选择不当、地基处理不好和乱采乱挖坡脚等人为原因,或常现强风、暴雨和降雪等自然天气,可能会引发排土场滑坡或泥石流等,造成大量人员伤亡和财产损失[2]。如2008年8月1日,山西省娄烦县某铁矿排土场发生滑坡事故造成45人遇难。2014年11月12日,辽宁某铁矿一个废弃的排土场发生缓慢滑坡事故,造成临近的部分企业厂房、设备损毁,供电中断。

矿山排土场存在设计不规范、不按规则排土和缺乏有效的安全管理等安全问题,且大部分矿山排土场都没有安装监测系统,较难对排土场灾害进行及时的预测和预警。目前,边坡监测系统主要应用在公路边坡、露天矿山采场边坡和尾矿库坝体边坡中,有效预防了边坡滑坡事故的发生。国内外关于矿山排土场滑坡监测预警技术的研究相对较少,还没有统一的排土场监测标准、滑坡预警指标体系、预警等级划分标准和预警准则。笔者在现场调研和文献分析的基础上,确定了适用的矿山排土场滑坡监测技术,建立了排土场滑坡预警指标体系。

2. 排土场滑坡监测技术

2.1. 排土场滑坡监测技术现状

矿山排土场灾害包括滑坡和泥石流,主要是滑坡。通过对国内矿山现场调研以及文献分析,目前公路、大坝、尾矿库等边坡监测系统主要有:坡面的大地测量(经纬仪、水准仪、测距仪等),GPS监测,红外遥感监测,合成孔径雷达干涉测量,全站仪监测,钻孔倾斜仪、锚索测力计和水压检测仪,声发射监测等。

目前,我国露天矿山排土场边坡监测系统应用很少,在少数几个矿山主要采用GPS进行监测,如紫金山金铜矿、鞍千矿业有限责任公司等[3][4],监测指标较少,不能全面、及时反映排土场的安全状况。露天矿山排土场滑坡监测可参照露天矿山采场和尾矿库监测系统,如表1所示[5]。

2.2. 排土场滑坡监测技术的确定

排土场灾害监测系统的发展方向是采用自动测量技术、计算机技术和通信技术,构建监测、采集、

Table 1. Domestic main monitoring system of stope slope and tailing
表 1. 国内主要采场边坡及尾矿库监测系统

典型监测系统	系统特色及功能
基于 GPS 位移自动监测技术的露天矿采场边坡或排土场边坡滑坡在线监测系统	综合运用通信、信息、电子及计算机技术,对边坡位移的监测数据进行自动、连续采集,实现实时传输、分析、管理及预警功能。
北斗露天矿边坡监测系统	全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, 缩写为 GNSS)由空间部分、地面监控部分和用户接收机三部分组成,能实时、连续地提供时间、三维位置和速度等信息,实现授时、定位和导航功能。GNSS 亚毫米级变形监测系统用于野外结构体变形自动化监测,可对水利水电大坝坝体及边坡、桥梁结构、地表沉降、滑坡等地质灾害全天候监测预警。
尾矿库在线监测系统	用传感器技术、信号传输技术、网络技术、软件技术等,实时监测尾矿库及坝体安全相关的各项技术参数,分析尾矿库的安全状况,为尾矿库的安全运行和应急处置提供科学指导和辅助决策。系统具有自动预警功能,能通过短消息及时通知矿山安全生产管理人員和负责人。监测系统的监测内容主要有尾矿库坝体位移、变形、坝体浸润线、渗流、库内水位、干滩长度、干滩高度、库区降雨量、安全视频等。

传输、网络为一体的监测预警系统,可以实现多种监测设备的集中式、一体化管理,为边坡安全状况的现地监控、异地监视预警提供方便、快捷、高效的服务。排土场滑坡的外在表现是边坡的变形,包括边坡表面变形和边坡内部变形;从力学角度考虑是岩土内部压力变化,包括岩土内部应力和孔隙水压力。另外,降雨量和土壤含水率对边坡变形和岩土应力有重要影响。因此,笔者提出以 GPS 监测为主的排土场边坡综合监测系统,主要包括固定式 GPS、固定式测斜仪、孔隙水压力计、土压力盒、翻斗式雨量计、土壤含水计等仪器,如表 2 所示。另外,排土场监测系统还可以包括应变计、裂缝计,分别对挡土墙变形及边坡裂缝进行实时监测。

3. 排土场滑坡预警指标体系

排土场滑坡预警指标体系的构建是排土场滑坡监测预警系统的核心内容,必须客观、全面、及时地反映排土场的安全状况。排土场滑坡事故的发生是一个渐变的过程,刚开始时变化比较缓慢。随着时间的推移,边坡变形逐渐加速,临近滑坡事故时发展速度较快。根据排土场滑坡预警的要求,可以将预警分为短期预警和中长期预警。当排土场边坡变形比较快时,需要进行短期预警,以便及时采取有效的事故预防措施或应急措施。在排土场正常运行期间,可以进行中长期预警,综合各个预警指标得到排土场滑坡预警等级。

根据文献分析以及排土场滑坡发生的实际情况,并考虑上述边坡监测系统的组成情况,笔者提出将排土场滑坡预警指标体系分为单一预警指标和综合预警指标两部分,分别对应于短期预警和中长期预警。

3.1. 单一预警指标

单一预警指标需要快速排土场的稳定状况,指标值的变化对边坡的稳定性产生重大运行。根据现场调研和文献分析,初步选定地表位移、内部位移、降雨量、孔隙水压力、岩土内部应力等五个指标作为单一预警指标,采用专家评分法确定三个指标作为单一预警指标。选取至少 15 位专家,要求从五个指标中选取三个指标并排序,然后计算每个指标的得分,得到排在前三位的作为最终的单一预警指标。每个指标的得分计算公式为:

$$s_j = \sum_{i=1}^3 B_i N_i, j = 1, 2, 3, 4, 5 \quad (1)$$

Table 2. Composition of monitoring system for dump slop
表 2. 排土场边坡监测系统的组成

监测仪器	GPS	固定式测斜仪	翻斗式雨量计	孔隙水压力计	土压力盒	土壤含水量计
安装位置	边坡上部台阶平台	上部台阶和边坡中部	上部平台	上部台阶和边坡中部	上部台阶和边坡中部	上部台阶和边坡中部
数量	2	20	2	4	4	2
监测参数	边坡表面位移	边坡内部位移	降雨量	边坡孔隙水压力	边坡岩土内部应力	土壤含水量

式中, s_j ——第 j 个指标的总得分;

B_i ——排在第 i 位指标的得分, 排在第一、二、三位的得分分别为 3, 2, 1;

N_i ——将第 j 个指标排在第 i 位的专家人数。

根据计算结果, 最终选取地表位移、内部位移、降雨量三个指标作为矿山排土场滑坡的单一预警指标。这三个指标中, 只要有一个指标的监测值达到了预警阈值, 就发出预警信息。

1) 地表位移

地表位移是最直观、最能反映排土场边坡变化趋势的观测指标。根据滑坡体的实际情况, 地表位移主要监测指标为水平位移、垂直位移变化。GPS 在线监测设备可实时监测边坡表面的变化情况, 根据位移值及时发出预警。

2) 内部位移

边坡内部位移监测能直接反映边坡内部变形特征和滑动的位置, 是边坡监测的重要内容。内部位移监测主要采用固定式测斜仪, 通过钻孔埋设在边坡上。监测参数主要包括深部裂缝、滑动带等点与点之间的绝对位移量和相对位移量, 包括张开、闭合、错动、抬升、下沉等。

3) 降雨量

根据我国边坡灾害的统计, 降雨诱发的边坡灾害约占灾害总数的 65% 以上, 降雨与边坡滑坡的关系在国内外大量滑坡研究中得到重视。降雨量的监测采用翻斗式雨量计, 可得到短时降雨量和平均降雨量。

3.2. 综合预警指标

矿山排土场滑坡综合预警指标需要综合考虑排土场自身岩土的特性、安全生产情况、外部影响因素等。笔者根据文献分析和现场调研, 搜集了 100 多组排土场滑坡事故实例, 提取滑坡事故的特征信息, 建立了滑坡事故数据库[6]。根据综合分析的结果, 建立排土场滑坡综合预警指标, 包括综合预警主指标和修正指标。

3.2.1. 综合预警主指标

矿山排土场滑坡综合预警主指标如图 1 所示, 包括 3 个一级指标和 10 个二级指标。

1) 排土场特性

排土场特性反映排土场稳定的内在性质, 包括物料粘聚力、物料内摩擦角、台阶高度和平台宽度。内摩擦角与粘聚力反映岩土的抗剪强度, 通过现场取样在实验室进行测定。粘聚力是岩土内部相邻各部分之间的相互吸引力, 内摩擦角大小取决于岩土粒间的摩阻力和连锁作用, 反映了岩土的摩阻性质。排土场的稳定性与每个台阶的高度和平台宽度有直接的联系, 台阶高度和平台宽度通过现场实测得到。

2) 排土场边坡变化

排土场边坡变化包括地表位移、内部位移、孔隙水压力和内部应力, 地表位移、内部位移也是边坡滑坡的单一预警指标。

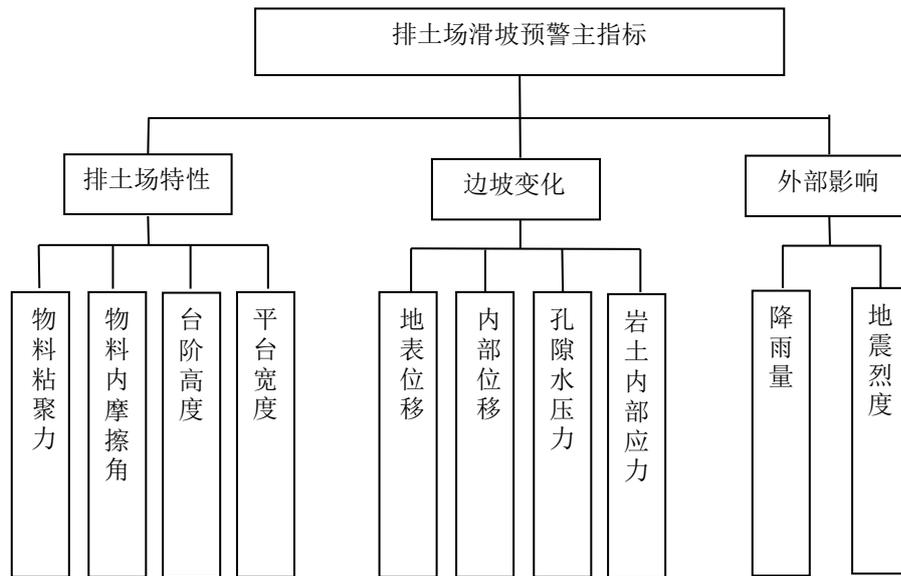


Figure 1. Main indexes of comprehensive early warning for mine dump landslide
图 1. 矿山排土场滑坡综合预警主指标

孔隙水压力是指岩土中地下水的压力，该压力作用于微粒或孔隙之间，是导致滑坡的推动力。孔隙水压力的监测设备为孔隙水压力计，通过测量结果可以推算岩土体中的有效应力。边坡岩土内部应力可以通过土压力盒测定，反映了边坡局部区域的岩土应力变化。

3) 外部影响

排土场边坡稳定的外部影响因素是降雨量和地震烈度。降雨量也是边坡滑坡的单一预警指标。地震烈度主要说明已发生地震的影响程度，对边坡稳定有重要影响。

3.2.2. 综合预警修正指标

排土场综合预警修正指标主要包括土壤含水量、下游人员及财产情况，针对不同排土场的实际情况还可以增加相应指标，如地表裂缝量、应变量等。修正指标对综合预警主指标或者综合预警值进行修正。

土壤含水量对物料粘聚力和内摩擦角会产生一定影响[7]，通过土壤含水计的测定值对物料粘聚力和物料内摩擦角进行修正，根据实验室测试结果确定。排土场的下游人员及财产情况会影响排土场滑坡预警的等级，根据下游人员及财产情况对综合预警值进行修正。

4. 排土场滑坡预警等级和预警准则

参照地质灾害预警等级的划分标准和《国家突发公共事件总体应急预案》、《国家安全生产事故灾难应急预案》中对事故预警的相关规定，根据矿山排土场滑坡的危害程度、紧急程度和发展态势以及影响范围，将排土场滑坡事故的预警等级分为4级：I级、II级、III级和IV级，预警信号分别为红色、橙色、黄色、蓝色。根据不同的预警等级采取相应的应急措施，例如橙色预警表示滑坡发生可能性大，应暂停排土场附近的户外作业，转移危险地带居民，各级领导到岗准备应急措施。视企业情况，准备抢险队伍，密切注意雨情变化。

排土场滑坡预警准则需要通过排土场稳定性分析计算和综合预警计算确定，在此不详细介绍。例如，针对某排土场的实际情况，采用极限平衡分析法可以得到不同安全系数时边坡的变形值以及不同降雨量时的边坡安全系数，根据分析结果得到排土场滑坡单一预警准则如表3所示。

Table 3. Single early warning criterion for dump landslide
表 3. 排土场滑坡单一预警准则

监测指标	红色预警阈值	橙色预警阈值	黄色预警阈值	蓝色预警阈值
表面位移(mm)	水平: 60 垂直: 80	水平: 30 垂直: 40	水平: 20 垂直: 30	水平: 15 垂直: 20
内部位移(mm)	60	40	20	15
降雨量(mm)	90	40	30	20

5. 结论

1) 在对比分析现有边坡监测系统的基础上, 提出了以 GPS 监测为主, 包括固定式测斜仪、翻斗式雨量计、孔隙水压力计、土压力盒等仪器的矿山排土场边坡综合监测系统。

2) 建立了排土场滑坡预警指标体系, 包括单一预警指标和综合预警指标两部分, 满足排土场滑坡短期预警和中长期预警的需求。

3) 排土场滑坡单一预警指标包括地表位移、内部位移和降雨量, 综合预警指标包括综合预警主指标和修正指标, 能全面反映排土场的稳定状况。

基金项目

中国劳动关系学院校级科研项目(17YY004); 贵州省科技厅项目(黔科合服企[2015]4006)。

参考文献 (References)

- [1] 赵洪颖. 高台阶排土场安全控制技术的研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北方工业大学, 2012.
- [2] 王运敏, 项宏海. 排土场稳定性及灾害防治[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2011.
- [3] 傅能武. GPS 在紫金山金铜矿排土场边坡监测中的应用[J]. 现代矿业, 2014, 卷号(9): 159-160.
- [4] 张德政, 陈方明, 宋锋. 排土场在线监测与智能预测管理系统[C]//全国数字矿山高新技术成果交流会. 第三届全国数字矿山高新技术成果交流会论文集: 2014, 8: 65-68.
- [5] 李青石, 李庶林, 陈际经. 试论尾矿库安全监测的现状和前景[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2011, 22(1): 99-106.
- [6] 幸贞雄, 谢振华. 基于案例推理的露天矿山排土场滑坡事故预警方法研究[J]. 工业安全与环保, 2016, 42(7): 45-48.
- [7] 周春梅, 赵子鹏, 鲁阳. 含水量对滑带土强度变形参数及滑坡稳定性的影响[J]. 防灾减灾工程学报, 2016, 36(2): 213-218.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：me@hanspub.org