

抚顺西露天煤矿滑坡与降雨的关系及预报方法^{*}

刘大勇, 王思德, 宋建潮, 张承帅

(东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘要: 抚顺西露天煤矿的滑坡 40% 以上发生于降雨集中的夏季, 说明该矿区滑坡与降雨关系密切。分析了西露天降雨型滑坡的时空分布特征, 通过对降雨量和降雨强度两个参数的探讨, 说明滑坡与之具有很好的拟和性, 最后提出了有关该类滑坡的一些预报方法。

关键词: 抚顺西露天煤矿; 滑坡; 降雨; 预报方法

中图分类号: P642.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2008)02-0050-05

0 前言

滑坡是一种常见的地质灾害现象, 是内在自然因素与外界诱发因素相结合、相互影响的产物。世界上 90% 以上的滑坡发生在强烈降雨后, 滑坡与降雨之间的关系成为许多研究者关注的对象和研究的课题, 并把主要因降雨导致的滑坡称为降雨型滑坡。Olivier^[1]认为当降雨强度超过某一阈值时, 就会产生降雨型滑坡; Jahns 早在 1978 年就曾指出, 一个地区长期形成的气候条件有利于形成大型深层滑坡, 而短期的强降雨只会形成中小型的浅层滑坡。中国对降雨型滑坡的研究始于 20 世纪 80 年代中后期, 多集中于重庆、湖北三峡沿岸地区^[2-4], 并取得了一定的研究成果。

西露天煤矿是中国开采最早的大型露天煤矿, 迄今已有 100 余年的历史, 形成了目前长约 6.6 km、宽约 2 km、平均深约 350 m 的“亚洲第一大坑”。西露天煤矿有史可考的滑坡形成于 1927 年, 据不完全统计, 到目前为止, 已经发生滑坡 92 次, 而且 50% 以上集中在降雨比较集中的 6~9 月份。但是至今没有人对降雨与滑坡的内在联系进行研究, 而且与降雨引起滑坡有关的资料也比较少, 仅有一篇“降雨与内排土场稳定关系”的文章见诸报端^[5]。

1 降雨型滑坡的形成机制

自然界中常见的滑坡可以归纳为三种主要类型: 平面滑坡、楔体滑坡和圆弧滑坡^[6]。平面滑坡多见于具有统一弱面的岩层中; 楔体滑坡则需要有相互交叉的断裂面的组合; 圆弧形滑坡主要形成于土质边坡和岩石碎屑堆积的边坡, 如废石堆等。三者都可以因强降雨而产生, 只是后两者的形成机制要较前者复杂得多。为了给大家立体直观的印象, 我们以最常见的最容易理解的平面滑坡为例来阐述降雨型滑坡的形成机制。

在进行边坡的稳定性分析时, 多用到安全系数 (F) 的概念, 它可以用总抗滑力与总致滑力的比值来定义。当 $F > 1$ 时, 边坡处于稳定平衡状态; 当 $F < 1$ 时, 边坡处于失稳状态, 将导致滑坡的产生; 而当 $F = 1$ 时, 我们说边坡处于极限平衡状态。

当地下水面高于潜在滑动面, 并有张性裂缝与地表相连接时, 其边坡滑动模式如图 1。

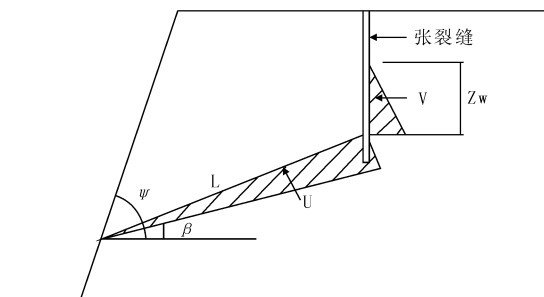


图1 水压作用边坡模式图

^{*} 收稿日期: 2007-11-15

基金项目: 教育部高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20050145032)

作者简介: 刘大勇(1963-), 男, 抚顺清源县人, 博士研究生, 主要从事抚顺煤田地质灾害研究. E-mail: tidesung617@126.com

分析受水压力边坡岩体受力情况, 计算安全系数为:

$$F = \frac{cA + (w\cos\beta - V\sin\beta - U)\tan\phi}{w\sin\beta + V\cos\beta}, \quad (1)$$

式中: c 为失稳面上的内聚力; A 为岩体受力面积; w 为失稳岩体的重量; β 为失稳面的倾角; V 为张性裂缝中的水压力; U 为滑动面上产生的水的浮托力; ϕ 为失稳面上的内摩擦角。

根据上式, 当有降雨发生时, 滑坡体重量 w 增加, 浮托力 U 增大, 张性裂缝中的水压力 V 增加, 内聚力 c 减小, 因此分母增大, 分子减小, 有利于滑坡的产生^[7]。

2 西露天滑坡的时空分布特征

西露天滑坡大部分与降雨有关。作者对有记录以来的 92 次滑坡进行了统计分析。从历史上

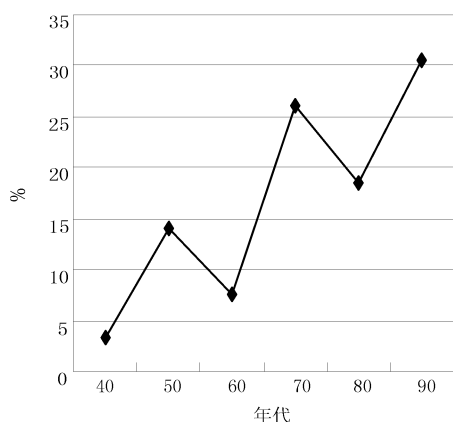


图2 滑坡年代图

从西露天煤矿历次发生滑坡的空间上来看, 在 20 世纪 80 年代以前, 主要发生于南端帮。南端帮从地质构造上来说, 属于倒转向斜的南翼, 与露天坑边坡倾斜方向一致的凝灰岩层成为潜在滑动面, 在降雨影响下, 易于发生平面滑坡。在 90 年代以后, 滑坡多集中于西南帮、西北帮和北帮中部, 这几个部位地质构造极其发育, 西南帮和西北帮发育有小型背斜, 并且发育有 NE 向的 F_2 断裂, 西北帮和北帮中部 NEE 向的 F_1 大断裂横穿其间, 残破倒转向斜的北翼以及复式褶曲都发育在这个部位, 岩性多为绿色泥岩夹紫色页岩, 具有很强的吸水性, 这些条件使得当暴雨来临时, 在较短的时间内迅速达到饱和, 发生倾倒-滑移变形或者圆弧形滑坡, 成为当前滑坡的重灾区。另外坑内堆置的大面积的废弃排土场也是降雨型滑坡发生的潜在易发区。目前矿

来看, 在 20 世纪 50 年代, 开始出现大面积的滑坡, 从此引起世人的关注; 80 年代初期, 滑坡达到高峰期, 70 ~ 80 年代 10 年间形成滑坡率 2.4 次/a; 到了 90 年代以后, 虽然滑坡的年平均数量有所减少, 但是滑坡的规模却在逐年增大, 主要为中浅层滑坡, 受降雨影响严重。从年份上来, 滑坡总体上呈递增的趋势(图 2)。我们对形成滑坡的月份也进行了统计, 40% 以上的滑坡集中于 6 ~ 8 月份, 显示滑坡发生与降雨时间及暴雨频次具有良好的一致性(图 3)。从长时间的季节性来看, 绝大多数降雨诱发的滑坡均发生在雨季。而从短时段的降雨过程来看, 降雨诱发的滑坡一般发生于暴雨中或略有滞后性, 滞后时间最多不超过 10 d, 多集中在雨后 1 ~ 3 d^[8]。一般来说, 滑坡体越松散, 裂隙越发育, 降雨量越大, 滞后时间越短。

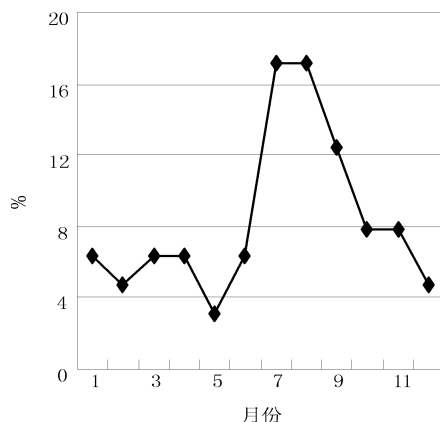


图3 滑坡月份图

坑内降雨型滑坡多集中于图 4 所示部位。

3 西露天滑坡与降雨参数的关系

2005 年 8 月 13 日 02 时至 14 日 08 时, 降雨历时 30 h, 抚顺地区平均降雨量 138.1 mm, 抚顺市区降雨量达 196.3 mm, 实测最大点雨量降水强度为 100 mm/h, 北帮兴平路段出现一处东西长 2 km、南北宽 270 m、深 5 m 的潜在滑坡体; 另一处位于南阳路地段, 出露长 400 m、宽 5 cm 的地裂缝, 局部有滑坡现象。在西帮内侧, 则形成两处中小型浅层圆弧形滑坡(图 5)。这次滑坡事件的发生, 使得北帮部分民房、工厂厂房开裂, 直接经济损失 200 余万元, 引起市政府及相关部门的极大关注。

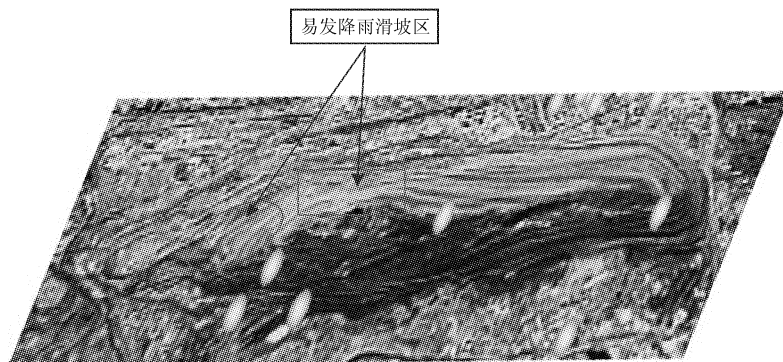


图4 易发降雨型滑坡区

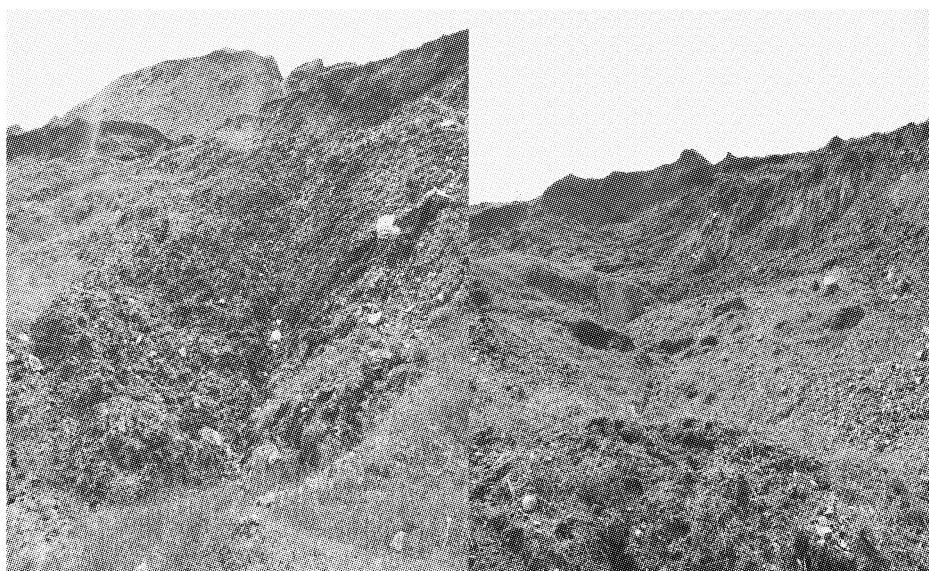


图5 西帮降雨型滑坡

滑坡的发生数量、规模与持续过程与降雨量的关系十分明显。实际上,降雨对滑坡的影响作用主要是通过补给地下水、土壤水、增大岩土体容重、改变地质体内部应力分布、减少滑动面上的摩擦力来实现的。根据前人的研究,我们引入降雨量和降雨强度的概念来讨论降雨对滑坡的影响这个问题。

降雨量指一次降雨过程中降雨数量的多少,降雨强度指单位时间内的降雨量。我们通常采用 24 h 的降雨量和降雨量/h 作为滑坡研究中降雨量和降雨强度的指标。香港是世界上最早研究降雨与滑坡关系、实施降雨滑坡气象预报的地区^[9]。Lumb 在分析了 1950~1973 年滑坡、降雨资料后指出,滑坡发生数量与 24 h 日降雨量和前期 15 d 累计降雨量有关,当 24 h 日降雨量 100 mm 和前期 15 d 降雨量 350 mm 时,形成较大规模、较高频率滑坡事件;当 24 h 日降雨量 100 mm 和前期 15 d 降雨量 200 mm 时,形成规模、频率都大为减小。Brand 等则认为滑坡与小时降雨量(降雨强度)关系更为密切,并认为小时降雨量 75 mm 为灾难性滑坡发生与否的临界降雨量,

同时也指出 24 h 日降雨量作为降雨型滑坡的警示指标。当 24 h 日降雨量 < 100 mm 时,滑坡发生的可能性很小;当 24 h 日降雨量 > 200 mm 时,严重的灾害滑坡肯定发生。可见滑坡发生的概率与降雨量、降雨强度成正比例关系。

李明华先生对川北 1981 年降雨滑坡进行研究后得出了该区域滑坡发生时累积降雨量(X_n)和日降雨量(X)之间的关系:

降雨触发滑坡大量发生时的临界线为:

$$X = 280 - X_n;$$

暴雨型滑坡大量发生时的临界线为:

$$X = 235 - 0.96X_n;$$

长时间降雨发生较多滑坡时的临界线为:

$$X = 311 - X_n。$$

对于西露天滑坡而言,作者发现历年季节(根据抚顺地区气候特点,一般将 3~5 月划分为春季,6~8 月为夏季,9~10 月为秋季,11 月至来年 2 月份为冬季)降雨的比例与滑坡发生的比例具有较好的拟合性(图 6),而且降雨型滑坡的发生多集中

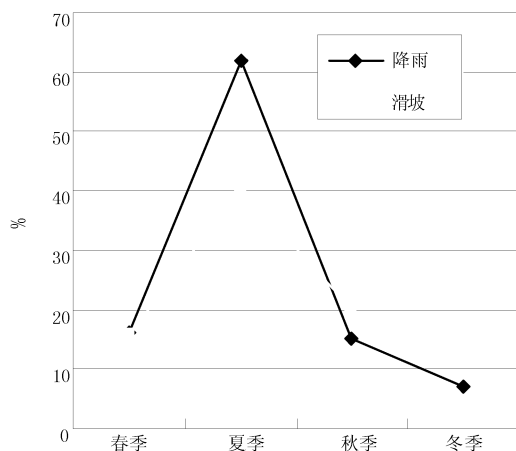


图6 降雨、滑坡季节对应关系

在降雨量异常丰富的年份,通常集中于夏季,以暴雨为主,如1995年滑坡和2005年滑坡的发生莫不如此。在2005年,抚顺市区全年降水943.4 mm,其中夏季降水636.2 mm,比常年同期多25%,这种异常降雨年份大约每8~10年就会出现一次。由于抚顺地区为温带大陆性气候,虽其全年较为干旱少雨,但短历时暴雨却在夏季时有发生。据可靠资料,国内历时10 h以内的最大雨量主要出现于北方,抚顺在历史上最大日降雨量曾经达到192.1 mm,这正是发生浅层滑坡的最有利条件。作者根据近几年滑坡与降雨的关系,推测西露天煤矿发生滑坡的临界经验值为h降雨量50~100 mm,24 h日降雨量100~150 mm。若想获得较为精确的阈值,需要有较为完整的历史资料,应用概率统计和其他数学方法建立更精确的滑坡与降雨的关系,但同时也应该结合西露天复杂的地质构造和松软的地层岩性条件进行综合考虑。

4 降雨型滑坡的预报方法

近30年来,世界各地都发生了与降雨相关联的滑坡,中国更是一个滑坡灾害发生严重的国家,这种现象越来越引起世人的关注。由于引起滑坡发生的因素主要是夏季强烈的降雨,所以降雨型滑坡预报的核心就是通过研究降雨与滑坡的各种关系、滑坡的特征来预报滑坡的状态。降雨型滑坡预报的内容可分为时间预报和空间预报,采用的方法可分为统计方法、理论模型方法和两者的耦合方法。

4.1 滑坡的时间预报方法

(1)统计方法 根据历史降雨滑坡资料和降雨数据,建立滑坡、降雨之间的经验性的统计关系,寻找临界降雨强度是目前降雨滑坡预报中最常用的研究方法。目前该方法中采用的降雨参数主要

有①降雨强度、降雨持续时间;②瞬时降雨量和前期降雨量(目前研究多取滑坡发生前10 d或15 d降雨量);③长期累积降雨量。

该方法主要优点是仅需依赖于历史数据,无需考虑后期滑坡的形成过程;其缺点是缺乏科学性和严密性。

(2)降雨过程中的渗流基质吸力 降雨是引起滑坡的重要因素,降雨入渗在边坡体内形成短暂饱和区和短暂水压力,其实质是导致边坡非饱和区基质吸力的降低,从而降低了边坡的稳定性。其方法是破坏遵循Mohr-Colomb准则,利用普通极限平衡分析法(GLE)通过力矩平衡计算力平衡安全系数(Ff)来判断边坡的稳定性。

(3)理论模型方法 在考虑多种条件下所建立的理论模型具有直观总体的印象。其研究的关键是从理论上揭示雨水入渗后斜坡应力的变化过程以及雨水渗透后的渗流特征。其最大优点是科学地表达了降雨在滑坡中的作用,严密地表征了降雨与滑坡的关系。其缺点是由于滑坡形成机理的复杂性,难以考虑到各因素的具体变化,多建立在一定的假设前提下,其理论往往是理想情况下的表述,缺乏有效的修正。目前应用范围较广的主要有降雨-斜坡稳定性分析模型、降雨入渗的水文地质模型和斜坡稳定性与降雨入渗的耦合模型。

(4)数学统计模型 数学统计模型的建立是以数理统计学基本原理为基础,以滑坡地质灾害资料和相应的气象预报资料为依据建立起来的。主要包括多元线性回归模型、kalman滤波统计模型和灰色数学模型。

4.2 滑坡的空间预报方法

降雨型滑坡空间预报的重点是区域性的降雨滑坡频发区和易发区,所以利用编图技术编制滑坡灾害图是降雨型滑坡空间预报的主要方法。过去20年间,根据不同地形、地貌、地层条件下斜坡岩土对降雨的不同敏感性,编制滑坡敏感性分区图是降雨型滑坡空间预报的主要途径。随着GIS技术的广泛使用,基于GIS采用各半定量、定量方法,编制滑坡敏感性分区图在各国已经非常普遍。近年来,随着对滑坡灾害认识的深入,利用各种概率模型编制滑坡敏感性分区图和滑坡灾害概率图,利用基于概率方法的定量风险评价模型编制滑坡灾害风险性分区图正成为滑坡空间预报研究的主要趋势。

5 结论

通过以上分析探讨,可以得出以下结论:

(1) 降雨型滑坡是多因素综合作用下形成的滑坡, 只是降雨的作用更突出、更直接, 滑坡往往发生在强降雨后。

(2) 长期的历史性降雨有助于发生深层大型滑坡, 而短期的强降雨有助于浅层中小型滑坡的发生。

(3) 异常年份的强降雨作用更有助于滑坡的发生, 降雨强度(降雨量/h)和降雨量(24 h)是分析降雨型滑坡的两个最重要的参数。

(4) 历史降雨型滑坡资料的统计分析和应用数理统计的基本理论的应用是预报降雨型滑坡发生的有效手段。

参考文献:

- [1] F. C. Beavis. Engineering Geology[M]. Blackwell Scientific Publication, 2003: 85-87.
- [2] 张玉成, 杨光华, 张玉兴. 滑坡的发生与降雨关系的研究[J]. 灾害学, 2007, 22(1): 82-85.
- [3] 林孝松, 郭跃. 滑坡与降雨的耦合关系研究[J]. 灾害学, 2001, 16(2): 87-92.
- [4] 张友谊, 胡卸文, 朱海勇. 滑坡与降雨关系研究展望[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(1): 104-108.
- [5] 杨占军, 吕俊伟, 朱建新. 抚顺西露天矿内排土场稳定与降雨的关系[J]. 露天采矿技术, 2003, (4): 46-48.
- [6] E. Hook, J. W. Bray. 岩石边坡工程[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1983: 18-20.
- [7] Charles A. Kliche. Rock Slope Stability[M]. Published by the Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. 2002: 196-198.
- [8] 张书余. 地质灾害气象预报基础[M]. 北京: 气象出版社, 2005: 132-134.
- [9] 文宝萍. 国外降雨滑坡灾害预报预报动态、研究现状、发展趋势[EB/OL]. <http://www.cigem.gov.cn/qingbao/No1/guojiaoliu/2.htm>. 2004-03-12.

The Relation between Landslide and Rainfall and Prediction Method of Western Open-pit Coal Mine of Fushun

Liu Dayong, Wang Ende, Song Jianchao and Zhang Chengshuai

(Institute of Resource and Civil Engineering, NEU, Shenyang 110004, China)

Abstract: Over 40 percent of landslides in West Open-pit Coal Mine of Fushun (WOPCM) take place in the summer with heavy rainfall. It indicates a close relationship between the landslide and rainfall. In this paper, the temporal and spatial distribution of rain-related landslides in WOPCM is analyzed. The discussion of precipitation and rainfall intensity shows that the landslide nicely fit precipitation and rainfall intensity. Finally, some methods for landslide prediction are presented.

Key words: West Open-pit Coal Mine of Fushun; landslide; rainfall; prediction methods