

暴雨型滑坡灾害预报预警方法 研究评述^①

魏 丽^{1,2} 郑有飞¹ 单九生²

(1. 南京信息工程大学环境科学系, 210044; 2. 江西省气象台)

提 要

滑坡灾害对人类和社会经济的影响已成为仅次于地震的第二大自然灾害。暴雨诱发的滑坡占滑坡总数的 90% 左右。从滑坡预报方法、暴雨型滑坡灾害时空预报预警、降雨和滑坡机制及稳定性、GIS 在滑坡预报中的应用等几方面, 分析了国内外动态及发展趋势。分析结果认为, 现代数理科学新理论在滑坡预报中的综合应用得到了较快发展; “3S” 技术作为滑坡监测预报手段, 仍存在没有开发出来的较大潜力; 从理论上, 机理研究与区域统计研究结合程度有待进一步发展和突破; 已建立的滑坡灾害预测预报模型具有很大的地域性、分散性以及由于监测资料不足带来的不稳定性, 有必要进行更加系统深入的探讨, 尤其要着力建立基于滑坡灾害发生机理的宏观区域预警模型; 降雨-滑坡关系需有更准确的模型; 受降水影响的土体含水量和孔隙水压力的测量方法应更精确、有效; 基于 Web-GIS 平台建立区域滑坡灾害实时预警预报系统十分必要。

关键词: 暴雨 滑坡 预报预警 动态 趋势

引 言

滑坡灾害对人类和社会的影响已成为一个不可忽视的环境难题, 其危害已成为仅次于地震的第二大自然灾害^[1]。滑坡是地质灾害中的主要类型, 全国 290 个县市地质灾害调查结果显示, 滑坡在地质灾害中所占比例最大达 51%, 其主要诱发原因是暴雨, 暴雨诱发的滑坡占滑坡总数的 90%^[2]。以江西为例, 该省是滑坡灾害的较高发区, 暴雨型滑坡占总数的 79.67% 以上, 其中发生于 5~7 月的占总数的 80.14%。根据国际红十字会统计^[3](1996), 1963~1996 年每年平均因滑坡灾害死亡人数达 1550 人。我国每年由于

滑坡灾害造成的损失达 200 亿元, 而滑坡治理的费用更高, 因此, 暴雨型滑坡灾害预报预警已成为地学和大气科学交叉研究的重要领域。

1 国内外研究进展

1.1 滑坡预报国内外研究动态及发展趋势

文海家、张永兴、柳源^[4]指出, 国内外滑坡预报研究的发展大体归纳为 3 个阶段。20 世纪 40~70 年代, 经验-统计学方法预报阶段。日本学者斋藤迪孝时期是先驱代表之一。自 20 世纪 80 年代开始, 进入预测滑坡学形成阶段, 预测滑坡学成为滑坡学和预测学科交叉的分支学科。许强等^[5]指出, 建立

^① 项目来源: 国家科技部 2002 年社会公益项目(暴雨型地质灾害风险预报研究)资助

滑坡预报模型和预报判据是滑坡时间预报的核心。20世纪90年代以后,滑坡预报研究的特点可归纳为3个方面:①多种预报方法的综合应用;②现代数理科学理论广泛应用于滑坡预报方法研究;③以“3S”技术应用为代表,滑坡监测预报技术手段得到前所未有的发展。

1.2 暴雨型滑坡灾害时空预报预警研究动态

国内外在滑坡灾害预报预警方面的研究大体分为两种类型:一类是以滑坡灾害位移监测数据为基础,结合室内模型实验而开展的模型预报研究,最早的研究由日本学者 Saito^[6]在上个世纪60年代提出,后由 Fukuzono、Voight 等研究得到进一步深化。另一类是基于大气降雨的观测,研究降雨量、降雨强度和降雨过程与滑坡灾害的空间分布、时间上的对应关系,建立滑坡灾害时空分布与降雨过程的统计关系,以到达预报预警之目的。这两种研究途径各有侧重,前者强调滑坡灾害位移机理研究,后者则强调滑坡灾害受外界触发因素影响的统计学研究。1985年,美国地质调查局(USGS)和美国国家气象服务中心(USNWS)联合建立一套滑坡实时预报系统(Wieczorek, 1990),该系统是基于1982年2月3~5日在该地区发生的一次特大暴雨所引起的滑坡灾害数据,建立了滑坡与降雨强度和持续时间的临界关系曲线。

刘传正等^[7]根据致灾地质环境条件和气候因素,将中国划分为7个大区,28个预警区。根据对历史上滑坡灾害点和灾害发生前15日内实际降水量及降水过程的统计分析,创建了滑坡灾害气象预警等级判据模式图,初步制作了预报预警判据图。在每天收到国家气象中心全国降雨预报数据和图像半小时内,对所预报的次日降雨过程是否诱发滑坡灾害和诱发灾害的空间范围、危害强度进行预报预警。

基于降雨强度和持续时间的监测,确定区域诱发滑坡的经验阈值,在世界的许多地区得到应用,如香港、日本、波罗黎哥、夏威夷

和加利福尼亚北部等^[8]。殷坤龙^[9]认为暴雨量的阈值问题随地区差别、滑坡类型差别等十分明显。李媛等^[10]分析了国内外滑坡与降雨关系研究动态,认为诱发滑坡在世界范围内是一个普遍现象,以往重点一般是放在滑坡岩土性质的调查和机理分析上,而对诱发因素没有进行比较深入的研究和探索。早期对滑坡降雨过程研究主要是建立滑坡发生和降雨临界值间的经验公式。在日本,累积雨量超过150~200mm,或每小时降雨强度超过20~30mm时,大量滑坡将发生滑动(Onordera et al, 1974)。美国 SanBenito 和 Alameda 在过程降雨量累积雨量超过180~250mm为滑坡发生的临界值。加拿大滑坡发生的临界累积雨量值超过250mm,中国香港则超过350mm,且日雨量大于100mm,1小时雨量大于40mm。巴西滑坡的暴雨强度临界值为250~300mm。

我国气象工作者对湖北西部山区、重庆、三峡地区、湖南、浙江、四川、江西、甘肃等地降雨量与滑坡关系进行了研究^[11~21],认为暴雨或持续性降雨是诱发山体滑坡的最主要因素,并与连续降水的累计值有关。

1.3 暴雨型滑坡机制及稳定性研究概述

降雨对滑坡作用的研究一直是学术界关注的难点之一,综合起来可分为两个方面:一是基于大气降雨分析的滑坡预报研究,二是研究滑坡水压力场与滑坡稳定性的关系。李先华^[22]等提出了滑坡启动的两种不同机制。通过降水、滑体含水率、滑体容重、滑带土内摩擦角、内聚力以及它们与滑坡稳定系数的定量关系及时间效应,建立滑坡启动的速度、推力、方向和启动时间的预测预报模型。王兰生^[23]提出,具有不同水动力学特征的斜坡,对降雨的敏感度存在有差别。戚国庆等^[24]对土水特征曲线数学模型进行了研究,将其分为对数函数的幂函数、幂函数、分形和对数函数等4种类型,推导出具有统一表达式的土水特征曲线。

1.4 基于GIS的暴雨型滑坡预报系统研究现状

在滑坡灾害研究领域, GIS技术的应用主要在以下几个方面: ①建立基于GIS的滑坡灾害信息管理系统。如 Keane-James-M (1992)、Bahar-Irwan (1998)、Bliss-Norman-B (1998)等将GIS应用到滑坡灾害历史数据管理及预测成果成图表达中。②GIS技术与各种评价模型相结合运用于滑坡危险性预测。目前, 国外在滑坡灾害预测领域已基本实现了RS与GIS的结合, 个别项目达到了3S技术整体结合。

国内应用GIS技术开展滑坡灾害评价起步较晚, 研究程度与发达国家相比尚有较大差距, 目前尚未见到成熟实用的滑坡灾害预测评价GIS系统。姜云、王兰生(1994)在山区城市地面岩体稳定性管理与控制中应用了GIS技术。殷坤龙等^[14]对单个示范区开展了基于Web-GIS的地质灾害实时预警预报研究。

2 问题与讨论

(1)滑坡预报方法问题及发展趋势主要有三方面: ①现代数理科学新理论在滑坡预报方法研究方面的综合应用将进一步发展; ②滑坡预报的智能化方法研究的发展空间及潜力很大; ③“3S”技术作为滑坡监测预报手段, 仍存在较大的开发潜力。

(2)国内外滑坡灾害预警研究尽管有了较大进展, 但从理论上, 机理研究与区域统计研究结合程度不高, 有进一步发展与突破的可能和必要。已建立的滑坡灾害预测预报模型具有很大的地域性、分散性以及由于监测资料不足带来的不稳定性, 有必要进行更加系统深入的探讨, 尤其要着力建立基于滑坡灾害发生机理的宏观区域预警模型, 这是实现地质灾害预警任务的重要突破点。

(3)降雨与滑坡关系研究中, 降雨与滑坡关系需精练, 要考虑长期中等强度降雨的影响; 土体含水量和孔隙水压力的测量方法要更精确、有效; 预警系统需要模式化和自动化, 以便在暴雨期间能更快、更有效地得到数据。

(4)降雨对滑坡稳定性影响研究方面, 对

省级区域选择多个代表点进行系统监测, 并进行降雨量入渗系数分析, 降雨与滑坡体水位关系研究, 滑坡滑动临界降雨量研究, 滑坡体水位变化延迟时间分析和滑坡稳定性评价等综合研究报道不多。

(5)开展基于GIS技术的滑坡灾害空间预警预报研究, 从国内外发展现状来看, 都是一个热点和重要研究课题。GIS技术在滑坡灾害研究领域中的应用的的发展趋势是: ①GIS、GPS、RS集成技术的进一步发展与应用; ②实现真正的三维甚至四维信息的存贮、管理与再现; ③基于Web-GIS平台建立区域地质灾害实时预警预报系统。

3 小结

综合文献, 暴雨型滑坡灾害预警预报研究总体发展趋势主要体现在以下三个方面:

(1)降雨对滑坡稳定性的影响具有较大的时空变化特征, 建立不同滑坡体监测网, 揭示不同地区滑坡体降雨的入渗特性, 降雨和滑坡体地下水位、孔隙水压力、应力等因子的关系, 客观描述滑坡体滑动的降水临界值。

(2)在计算滑坡体水分动力过程的情况下, 建立由实时过程雨量、降雨预报、蒸发力、滑坡稳定性参数、滑坡风险区划等因子构建的时空耦合预报预警模型。

(3)建立基于Web-GIS的暴雨型滑坡灾害预警预报方法和产品实时发布系统。

参考文献

- 1 郑孝玉. 滑坡预报研究方法综述. 世界地质, 2000, 19(4):370.
- 2 李媛, 孟晖, 董颖等. 中国地质灾害类型及其特征——基于全国县市地质灾害调查成果分析. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(2):29~31.
- 3 International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (1996) World Disasters Report 1995, pp150.
- 4 文海家, 张永兴, 柳源. 滑坡预报国内外研究动态及发展趋势. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(1):2~15.
- 5 许强, 黄润秋, 李秀珍. 滑坡时间预测预报研究进展. 地球科学进展, 2004, 19(3):478~483.
- 6 Saito, M. Forecasting the time of occurrence of slope failure. In: Proceedings of 6th International Congress of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Montreal, 1965,

- 2: 537—541.
- 7 刘传正,温铭行,唐灿.中国地质灾害气象预警初步研究.地质通报,2004,23(4):303~307.
- 8 周平根,李媛.滑坡灾害预警准则及预测预报模型方法研究.国土资源大调查项目专题报告,中国地质环境监测院,2002.
- 9 殷坤龙.滑坡预测预报分类.中国地质灾害防治学报,2003,14(4):13~15.
- 10 李媛,朱晓冬,杨冰.滑坡泥石流与降雨关系研究动态.典型地区突发性地质灾害时空预警示范区建设进展材料之一,中国地质环境监测院,2002:16~28.
- 11 李晓.重庆地区的强降雨过程与地质灾害的关系.中国地质灾害与防治学报,1995,6(3):24~32.
- 12 杜榕恒等.长江三峡库区滑坡与泥石流研究.四川科学技术出版社,1991.
- 13 杨顺泉.灾发性地质灾害防灾预警系统方案研究.中国地质灾害与防治学报,2002,13(2):110.
- 14 殷坤龙,张桂荣,龚日祥等.基于Web-GIS的浙江省地质灾害实时预警预报系统设计.水文地质工程地质,2003,(3):19~22.
- 15 谢剑明,刘礼领,殷坤龙等.浙江省滑坡灾害预警预报的降雨阈值研究.地质科技情报,2003,22(4):100~101.
- 16 林孝松.滑坡与降雨研究.地质灾害与环境保护,2001,12(3):2~7.
- 17 Brand, E. W. Premchitt, J. Phillipson, H. B. Relationship between rainfall and landslide in Hongkong. Proceeding 4th International Symposium Landslides, Toronto, 17 September 1984, 1:377—384.
- 18 Mark E. Reid, and Richard G. Lahusen. Real-time Monitoring of Active Landslides Along Highway 50, El Dorado County. adapted from: California Geology, 1998, 51(3): 17—20.
- 19 周国兵,马力,廖代强.重庆市山体滑坡气象条件等级预报业务系统.应用气象学报,2003,14(1):122~124.
- 20 单九生,魏丽,刘修奋等.诱发江西滑坡的降水特征分析.气象,2004,30(1):13~15.
- 21 王锡稳,陶建红,冯军等.陇南“5.31”特大泥石流灾害成因分析.气象,2003,30(10):43~46.
- 22 李先华,林琿,陈晓清等. GIS支持下降雨滑坡的启动机制研究与数字仿真.工程地质学报,2001,9(2):133~140.
- 23 王兰生.斜坡稳定性问题的工程地质分析.三峡库区移民工程地质灾害防治与研究,146~147.
- 24 戚国庆,黄润秋.土水特征曲线的通用数学模型研究.工程地质学报,2004,12(2):183~185.

Review on Prediction and Warning Method of Landslide Hazard Triggered by Heavy Rainfall

Wei Li^{1,2} Zheng Youfei¹ Shan Jiusheng²

(1. Nanjing University of Information Science & Technology, 210044; 2. Jiangxi Meteorological Observatory)

Abstract

The impact and damages of landslide hazards on human and social economy have become more and more seriously. Landslide hazards triggered by heavy rainfall take 90% of the total amount. A review on the landslide researches is made, such as, its forecast method, its forecasting and warning, its temporal and spatial distribution, its mechanics induced by heavy rainfall, stability theory, application of GIS. Modern mathematics and physics theories have been comprehensively applied in landslide forecast, which gained quickly development for recent two decades. 3S techniques have been used to monitor and prediction of landslide, but further potential dominance should be developed. Combining degree between mechanism research and regional statistics is dissatisfied, which is necessary to have a breakthrough. Because of its local, dispersed feature and instability due to lacking sufficient data, which should be deeply discussed, the development of regional warning model is therefore emphasized. Survey of water content and pore water pressure in soil body should be more precision and available. Real-time Forecasting and Warning System of landslides based on Web-GIS need to be built for quickly getting data during extremely heavy rainfall.

Key Words: landslide heavy rainfall forecasting warning