

泥石流起动原型试验及预报方法探索

陈晓清^{1,2}, 崔鹏¹, 韦方强¹

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2. 西南交通大学土木学院, 四川 成都 610031)

摘要: 在分析国内外泥石流预报的基础上, 结合泥石流形成机理研究取得的进展, 提出了新型的暴雨泥石流预报方法。通过蒋家沟泥石流源地人工降雨试验, 坡面泥石流形成与源地土体特征参数变化存在密切的关系。暴雨泥石流形成的过程可以描述为: 降雨→土体含水量、土体结构和土体组成的变化→土体强度变化→斜坡稳定性变化→坡面泥石流形成→沟谷泥石流。建立起前后两者的关系, 用降雨并结合中间关系方程分析泥石流发生的概率、时间及形成规模等参数, 逐步提高泥石流预测预报精度。比传统的预报方法在精度上有很大的提高, 使对误差进行估算成为可能。

关键词: 泥石流; 预报; 方法; 人工降雨; 泥石流起动试验

文章编号: 1003-8035(2006)04-0073-06

中图分类号: P642 23

文献标识码: A

我国是世界上泥石流最为发育、数量最多、危害最严重的国家之一。5万余条具有一定规模的泥石流沟广泛分布于我国国土总面积48%的区域^[1], 泥石流严重地制约着山区的开发建设与国民经济的持续健康发展, 并导致土地沙石化程度加快, 水土流失加剧和生态环境退化等诸多严重问题。

由暴雨引发的泥石流灾害, 其数量及造成的损失分别占这类灾害总数的90%及95%以上^[2]。对暴雨引发的泥石流研究显得特别重要, 探索暴雨引发泥石流的预报, 对于泥石流减灾和保障山区社会经济的持续、健康发展具有重要意义。

本文通过分析目前暴雨泥石流预测预报研究进展, 在蒋家沟泥石流野外原型起动实验的基础上, 提出基于泥石流起动机理的预测预报新技术的暴雨泥石流预测预报方法。

1 暴雨型泥石流预报研究现状

1.1 泥石流预报分类

影响泥石流形成的因素很多, 概括起来主要为大量的松散固体物质(多由地质条件控制)、相应的水及促使两者起动、汇流、运动和停积的地貌条件。对于暴雨型泥石流, 相应的水是指降雨。

泥石流预报是在泥石流形成条件(包括基本条件及激发条件)的基础上, 对一定条件下, 一段时期内其发生的可能性(包括发生时间、规模、范围等)进行判断, 并提前发出信息, 为作好泥石流减灾准备提供指导, 使泥石流危害减到最小的超前指导性工作。由于

泥石流在发育区域分布上有显著的区域性及地段差异性, 在活动时间上有明显的准周期性和阶段活跃性, 在演化成灾过程中又表现普遍的群发性和局地灾情严重性等规律, 这些为泥石流的预报奠定了基础。

根据不同的分类依据及标准, 泥石流预报有不同的分类^[3,4]。暴雨泥石流的预报模式主要有: ①基于降水统计的泥石流预报模式; ②基于泥石流形成机理的预报模式。前者预报方式是当前泥石流预报的主要方式, 主要根据激发泥石流的降雨条件统计分析, 分析、确定不同下垫面条件下泥石流的临界降雨量, 建立泥石流预报模型。作者以泥石流形成机理为基础, 根据降雨过程下泥石流源区土体的物理力学特性变化进行泥石流预报。

1.2 预报主要进展

目前泥石流预报方法和模型很多。按照需要资料及预报时间长短, 大致可以分为以下3大类:

1.2.1 泥石流危险度区划 即结合长周期环境背景(如太阳活动规律、气候年报、地震活动中长期趋势等)对泥石流长远期活动进行预报)

泥石流危险度区划研究发展较早, 在国外也有大

收稿日期: 2005-04-29; 修回日期: 2005-11-22

基金项目: 中科院野外台站研究基金“基于源地土体特征的泥石流预报研究”及国家杰出青年科学基金(40025103)资助项目

作者简介: 陈晓清(1974—), 男, 助理研究员, 博士研究生, 主要从事滑坡泥石流防治理论、工程设计及地理信息系统的研究。

量研究。国内主要研究有唐邦兴等的中国泥石流危险度区划^[4],钟敦伦等的长江上游泥石流危险度区划研究^[5],韦方强等的四川省泥石流危险度区划^[6]以及陈晓清等的金沙江下游向家坝—溪洛渡水电工程库区泥石流危险性分区^[7]等。钟敦伦等以成昆铁路为基础建立了线路泥石流预报方法,确定了泥石流预测预报参数,并建立了相应的数据库应用系统。

为了提高泥石流区域预报的工作效率、规范操作,钟敦伦等以 ArcInfo/ArcView 为平台,建立了中国泥石流信息系统,在该系统的基础上进行泥石流危险度区划、单沟泥石流危险度区划研究^[8]。

唐川等^[9]在泥石流危险度区划中引入风险评价的方法,为泥石流预报与减灾决策提供了重要依据。

1.2.2 泥石流降雨预报模型 即通过分析泥石流活动与长系列降雨资料的关系建立泥石流预报模型,对泥石流活动做中短期预报。

从1961年起,泥石流研究人员先后在云南东川蒋家沟、西藏波密古乡沟和加马其美沟、甘肃武都火烧沟、四川西昌黑沙河和攀枝花三滩沟等进行了泥石流及降雨观测,基于长系列数据,建立了一系列泥石流预报模型。比较典型的有:蒋家沟模型^[10]、成昆线模型^[11]和北京北部山区泥石流预报模型^[12]。

1.2.3 泥石流警报 即通过实时监测暴雨过程、泥石流活动(如泥位报警监测泥石流流量、次生探测上游泥石流发生等),发出泥石流临灾警报。

为了满足泥石流临灾警报要求,铁道部、中国科学院及国土资源部门分别研制了一系列泥石流报警仪器及其传感器。主要有:接触型泥石流警报传感器^[13]、超声波泥位报警^[14]、遥测地声警报^[15]、次生警报^[15]等。

此外,近年来许多新技术新方法已在泥石流预报中应用,如遥感技术^[16]、灰色系统理论^[17]、专家系统判别技术^[18]、人工神经网络技术^[19]、可拓空间数据挖掘技术^[20]等。

目前国内的泥石流预报主要集中在前两个方面,而国外泥石流预报主要集中在后两个方面。

基于泥石流形成机理的泥石流预报模式研究目前尚处于起步阶段,并日益成为研究的热点,目前正在对泥石流形成机理的深入研究^[21~32]。国内外在这方面研究主要集中于探索土体物理特征在降雨过程下的变化^[24,32]。根据现有文献,尚未建立完整的基于泥石流形成机理的泥石流预报模型及预报系统。

1.3 目前泥石流预报存在的问题

1.3.1 泥石流危险度区划虽然可以为中长期泥石流减灾提供指导,但是不能作出短期预报;

1.3.2 目前建立的许多泥石流降雨预报模型尚依赖长周期系列的观测数据。由于沟道地貌、水文条件及土体特征的差异,这种基于“黑箱”原理建立的模型难以推广应用;

1.3.3 泥石流警报的仪器成本较高,在经济欠发达的山区普及困难;有的仪器关键参数本身较难确定而影响精度,难于推广使用。

总体来说,目前泥石流预报系统存在精度低、误报率和漏报率高等问题。故今后泥石流预报研究必须满足精度高、误差可以估计、经济实惠、便于推广使用的泥石流预报技术。

从理论上讲,基于泥石流形成的预报方法必将成为以后泥石流预测预报研究的主线。这种预报方法综合考虑了形成泥石流的基本条件和激发条件,这样建立起来的“白箱模型”(早期可能由于某些特征不明确,应为“灰箱模型”),不论从物理机制,还是实际从应用的精度、经济性、推广性来看,都会成为今后的发展趋势。

2 泥石流起动野外原型试验

为了探索新的暴雨泥石流预报方法,我们选择在泥石流典型流域——云南东川蒋家沟进行了泥石流起动、汇流、运动观测,在泥石流源地及堆积地进行了人工降雨下泥石流起动原型试验^[33],为探索泥石流预报新方法提供新的思路。

2.1 试验地背景

蒋家沟位于云南省的北部,系长江上游金沙江一级水系小江右岸的一条支流。蒋家沟泥石流发育典型、类型齐全、过程完整、流态多变,这就为开展泥石流观测实验提供了丰富的科学资料及得天独厚的天然条件。被世界同行誉为“泥石流博物馆”。

蒋家沟流域面积 48.6km²,主沟长 13.9km。每年暴发泥石流的次数一般为 10~20 次,最多达 28 次。每一次泥石流由几十至上百阵泥石流阵流组成,一般历时长达 3~4h,甚至十几小时。泥石流的性质从稀性、过渡性到粘性均有,重度最高达 2.37t/m³。暴发泥石流的流量一般为 200~400m³/s,最大实测流量达 2820 m³/s^[14]。

蒋家沟年降水量一般为 400~1000mm。雨季多

暴雨, 暴雨的降水量约占年降水量 1/2 以上, 暴雨中心多半出现于流域海拔 2000~3000m 泥石流形成区。目前蒋家沟的自然森林已破坏殆尽, 现保存的均为人工松林, 林地面积占全流域面积的 15%。

试验点选择在蒋家沟上游左支沟——多照沟内的弯房子, 见图 1。

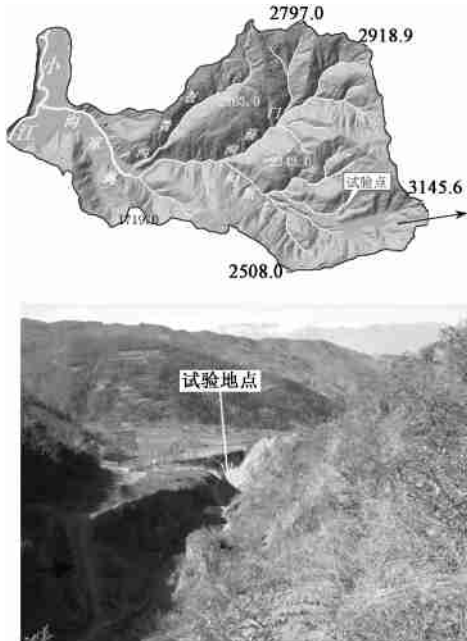


图 1 试验点位置图

Fig. 1 Location of experiment spot

2.2 人工降雨试验装置

人工降雨装置包含发电机、潜水泵、分水箱、侧喷头、喷水管、支架及管线等。试验设备布置如图 2。降雨装置由中国科学院水土保持研究所设计。侧喷头由该所生产。经测定不同降雨强度下的雨滴大小分布、冲击能量与实际近似, 满足野外试验的误差要求。

为了满足实时测量要求及与国外其他近似实验结果对比, 测试仪器基本采用目前国际上较为先进的设备。含水量测量设备采用 TRASE TDR 时域水分仪; 水势测量采用 253-1s 探头, 土体温度测量采用 108-1s 探头, 这两种传感器的数据采集由美国产的 CR10X 完成。孔隙水压力测量采用武汉岩土所生产的传感器, 数据采集器为上海华禹仪器设备公司生产的应变式数据采集器。

每次使用前需按照仪器使用手册对各种设备进行标定。对于人工降雨装置的标定, 经过现场测定, 当使用一对喷头时, 7mm 喷头对应的降雨强度为

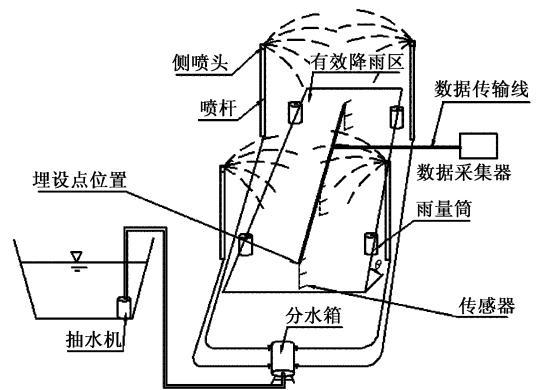


图 2 人工降雨下滑坡转化泥石流原型试验布置图

Fig. 2 Layout of artificial rainfall experiment for debris flow

33.8mm/h, 9mm 喷头对应降雨强度为 59.35mm/h, 11mm 喷头对应降雨强度为 74.6mm/h。

2.3 人工降雨试验及过程

蒋家沟流域, 由于地形高差大、地形复杂, 沟口为干热河谷而沟头为亚热带高山气候, 降雨量随高程变化很大。分析蒋家沟近 5a 来雨量观测站的雨强观测值, 整个流域中部的降雨量最大, 而且降雨局地性很强, 呈现面小、降雨雨强大、降雨量不大、移动快的特点; 流域沟口和上游沟头的降雨反而少。试验地正好位于流域中海拔区域内, 海拔位置(2320m), 对应的泥石流起动雨强一般为 35~100mm/h, 实测雨量观测站的最大雨强为 3mm/min。考虑供水量及抽水机的实际情况, 试验中采用了 2 组喷头 7mm 孔径。

试验于 2002 年 11 月 19 日完成, 实时测试了在人工降雨条件土体的特征参数变化, 包括土体含水量、孔隙水压力、土体张力、土体温度等, 并进行了实时录象, 记录坡体的变化。由于山区对降雨的影响, 不能单一采用降雨率确定试验测定的降雨强度, 而在测试土体区域周围设置 4 个雨量筒, 测量试验区域降雨强度。传感器埋设布置见图 3。

实验过程: 设置 TRASE、CR10X 的采样频率为 1 次/5min。10:18 开始降雨, 11:17 停, 该段过程中, 未出现明显的表层土体滑动, 降雨基本入渗土体内, 未形成产流。11:05 开始 CR10X 的采样频率改变为 1 次/min。11:21 开始降雨, 11:47 停, 其中 11:30 时坡体中部 2 号孔下方附近土体开始滑动, 11:35 时 2 孔上方开始滑动, 11:36 时 3 孔上方也出现滑动, 11:42 时 3 孔表层探头全部出露地表, 11:44 时 2 孔表层探头也出露地表, 在 11:37:21 开始 CR10X 的采样频率

改变为 1 次/s。11:52 开始降雨, 12:31 雨停, 12:03 3 孔再次出现滑动。出露的探头连同土体一起移动。

整个过程出现了类似蒋家沟泥石流观测站所观测到的泥石流阵流现象(图 4)。明显的阵流出现了 4 阵。滑坡-泥石流过程大体表现为两类:一类是小块体土体在降雨的作用下, 直接流态化, 出现滑动表现出泥石流的形态, 滑坡和泥石流形成没有明显的界线;另一类是稍大块的土体, 在降雨的作用下, 首先出现蠕滑, 土体表现呈块体。在滑动过程中与水不断作用, 逐渐流态化, 最后形成泥石流进入主沟道。

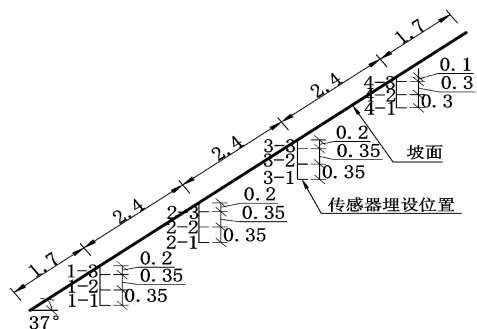


图 3 传感器埋设孔位图

Fig. 3 Location of buried sensors

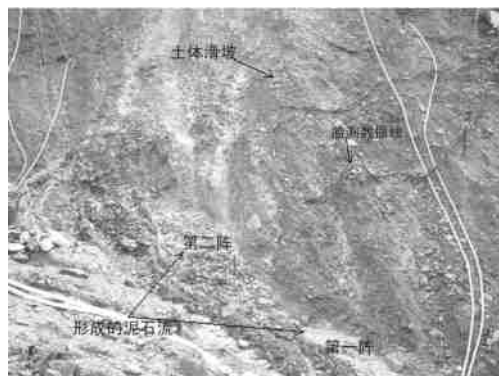


图 4 试验中观测到的滑坡和泥石流现象

Fig. 4 Landslide and debris flow observed in experiment

2.4 试验主要监测数据

试验过程中共实时监测了 4 个孔位 12 个点的土体特征参数的变化。下面主要给出具有典型代表性的 4 组数据(以 2 号孔为例)(图 5~8)。图 5~8 中的图例对应传感器的编号, 其埋设位置见图 3。

2.5 试验分析

根据试验记录, 土体破坏发生于 11:30。以上试验监测数据曲线显示 11:30 之前监测的几种土体特

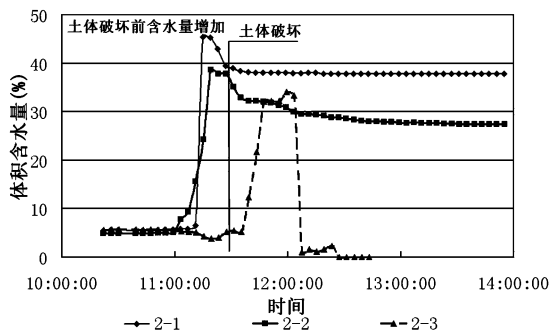


图 5 土体体积含水量曲线图

Fig. 5 Curve of volume water content in soil-body

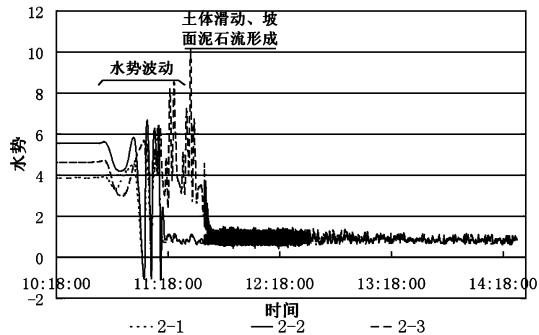


图 6 土体水势曲线图

Fig. 6 Curve of water potential in soil-body

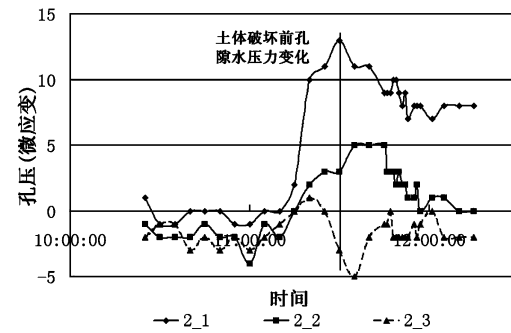


图 7 土体孔隙水压力曲线图

Fig. 7 Curve of soil pore pressure

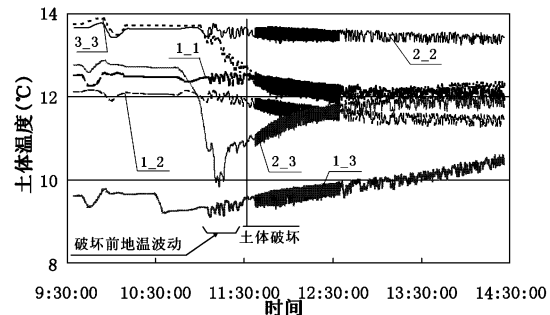


图 8 土体温度曲线图

Fig. 8 Curve of soil temperature

征参数均发生明显或较明显的变化:

2.5.1 土体破坏前, 体积含水量曲线出现急剧上升;

2.5.2 土体破坏前, 水势曲线出现剧烈波动; 土体破坏过程中水势呈波动起伏下降;

2.5.3 孔隙水压力在破坏前的短时间里急剧增加;

2.5.4 土体温度出现剧烈波动。

土体特征参数(土体含水量、土体水势、孔隙水压力和土体温度)的变化与土体破坏(滑坡启动及源地泥石流形成)有密切的关系, 可通过建立基于土体特征参数的变化模型判断土体破坏, 以及源地的泥石流形成。

在本试验中, 若利用土体含水量预报坡面泥石流的产生, 则可以通过监测土体含水量的增加速率或达到最大值作为预报依据。利用增加速率来预报, 在 2—1 探头于 11:07 测到含水量急剧增加时可作出预报, 较坡面泥石流发生时提前了约 23min; 利用最大值预报, 在 2—1 探头于 11:14 测到最大值并于 11:18 测到减小趋势时可以作出预报, 较坡面泥石流发生时提前了约 12min。当然利用这些指标预报, 并非如此简单, 还需要更深入的工作, 特别是需对泥石流源地土体特征进行大量的研究。

3 泥石流预测预报新技术

通过蒋家沟观测以及试验观测到的现象, 即使泥石流在流域源区形成, 并不意味着上游的泥石流能够到达下游形成有威胁的泥石流。暴雨泥石流形成的过程可以描述为: 降雨→土体含水量变化、土体结构变化、土体组成变化→土体强度变化→斜坡稳定性变化→土体破坏(滑坡形成)→坡面泥石流→沟谷泥石流。其中泥石流起动和泥石流汇流是两大核心过程。

结合泥石流形成的 3 大基本条件及激发条件, 暴雨型泥石流的形成与预测预报可以用图 9 描述。这与崔鹏提出的泥石流预报系统的核心部分一致^[34], 而且更细化。

目前的许多泥石流预测模型未考虑图 9 的虚线部分内容, 将其作为一个“黑箱”, 直接建立沟谷泥石流与降雨的关系, 其预报精度当然不会高。鉴于目前泥石流起动机理及泥石流汇流机理研究现状, 我们可以通过逐步研究图 9 中虚线包含的内容, 将“黑箱”向“灰箱”到“白箱”转化。其中的每一个进步, 都将产生一种新型的泥石流预测技术, 提高泥石流的预报精度。只要一步步地建立起前后两者间的关系, 就可以用降雨结合中间的关系方程分析泥石流发生的概率、时间及形成规模等参数, 做到逐步提高泥石流预测预

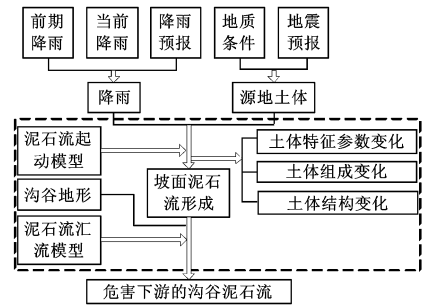


图9 暴雨泥石流形成与预测预报技术发展趋势图

Fig. 9 Trend of forecast and formation of rainstorm debris flow

报精度。最终获得一种精度高、误差可以估算、便于广泛推广使用的泥石流预报技术。

目前在国家杰出青年基金的支持下, 深入研究泥石流源地宽级配砾石土的土体特征, 通过研究泥石流源地土体在降雨下特征参数的变化, 建立泥石流发生与源地土体特征的相关预报模型, 探索利用该模型建立泥石流预报系统。

4 结论

为了建立一种精度高、便于广泛推广的泥石流预报系统, 研究基于泥石流形成机理的泥石流预报方法是今后泥石流预报的发展趋势。通过蒋家沟泥石流源地人工降雨试验, 得出了坡面泥石流形成与源地土体特征参数变化存在密切的关系。暴雨泥石流形成的过程可以描述为: 降雨→土体含水量、土体结构和土体组成的变化→土体强度变化→斜坡稳定性变化→土体破坏(滑坡形成)→坡面泥石流→沟谷泥石流。只要一步一步地建立起了前后两者之间的关系, 就可以用降雨过程, 结合中间的关系方程来分析泥石流发生的概率、发生时间、形成规模等参数, 做到逐步提高泥石流预测预报精度。

本文对暴雨泥石流预测预报新技术做了初步探索。要实现精准预报还需要大量同仁的共同努力, 深入研究。希望有更多的研究人员关注并参与泥石流预测预报研究。

参考文献:

- [1] 唐邦兴, 周必凡, 吴积善. 中国泥石流[M]. 北京: 商务印书馆, 2000
- [2] 谭万沛, 王成华, 等. 暴雨泥石流滑坡的区域预测与预报[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994

- [3] 钟敦伦, 谢洪, 王士革, 等. 北京山区泥石流[M]. 北京: 商务印书馆, 215—218
- [4] 唐邦兴, 柳素清, 刘世建, 等. 中国泥石流分布与危险度区划图(1/600 万)[M]. 成都: 成都地图出版社, 1991
- [5] 钟敦伦, 谢洪, 韦方强. 长江上游泥石流危险度区划研究[J]. 山地学报, 1994, 12(2): 65—70
- [6] 韦方强, 谢洪, 钟敦伦. 四川省泥石流危险度区划[J]. 水土保持学报, 2000, 14(1): 59—63
- [7] 陈晓清, 谢洪. 基于 GIS 的泥石流危险度区划研究[J]. 水土保持学报, 1999, 5(6): 46—50
- [8] 韦方强, 汤家法, 谢洪, 等. 区域和沟谷相结合的泥石流预报及其应用[J]. 山地学报, 2004, 22(3): 321—325
- [9] 唐川, 朱大奎. 基于 GIS 技术的泥石流风险评价研究[J]. 地理科学, 2002, 22(3): 300—304
- [10] 陈景武. 云南东川蒋家沟泥石流暴发与暴雨关系的初步分析[A]. 中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊(第 4 号)[C]. 北京: 科学出版社, 1984. 88—96
- [11] 白永峰, 魏鸿. 成昆铁路泥石流灾害预测模型的研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1998, 9(4): 74—80
- [12] 文科军, 王礼先, 谢宝元, 等. 暴雨泥石流实时预报的研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(6): 59—64
- [13] 叶华祥. 接触型泥石流警报传感器的试验研究[A]. 沈寿长, 等. 泥石流防治理论与实践[C]. 成都: 西南交通大学出版社, 1991. 95—105
- [14] 吴积善, 康志成, 田连权, 等. 云南蒋家沟泥石流观测研究[M]. 北京: 科学出版社, 1990
- [15] Zhang S, Chen J. Measurement of debris flow surface characteristics through close-range photogrammetry [A]. Rickermann, D and Chen, C L. In: Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment [C]. Millpress, Rotterdam, 2003. land 2: 775—784.
- [16] 张沅. 遥感技术在泥石流预报中的应用[J]. 铁路航测, 1982, (3): 17—20
- [17] 崔鹏. 区域泥石流活动性的灰色预测——以金川县为例[J]. 水土保持学报, 1992, 6(3): 59—65
- [18] 赵玲. 四川境内成昆铁路泥石流预测预报专家系统[J]. 山地学报, 1990, 11(2), 32—36
- [19] 鲁晓兵, 李德基. 基于神经网络的泥石流预测[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(3): 47—50
- [20] 汤家法, 姚令侃, 杨明. 可托空间数据挖掘技术及其应用[J]. 系统工程理论与实践, 2003, (10): 69—75
- [21] Anderson, S A, Sitar, N. Analysis of rain-induced debris flows [J]. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 1995, 121(7): 544—553.
- [22] Cui P. Study on condition and mechanisms of debris flow initiation by means of experiment [J]. Chinese Science Bulletin, 1992, 37(9): 759—763
- [23] Fuchu Dai, C F Lee, Wang Sijing. Analysis of rainstorm-induced slide-debris flows on natural terrain of Lantau Island, HongKong [J]. Engineering Geology, 1991, 51(1991): 279—290
- [24] Mark E Reid, Richard G LaHusen, Richard M Iverson, Debris-flow initiation experiments using diverse hydrologic triggers [A]. In: Cheng-Lung Chen. Debris-flow hazards mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment [C]. ASCE, 1999. 1—11.
- [25] Raymond C Wilson. Normalizing Rainfall/Debris-flow Thresholds along the U. S. Pacific Coast for Long-term Variations in Precipitation Climate [A]. In: Cheng-Lung Chen. Debris-flow hazards mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment [C]. ASCE, 1999. 33—53.
- [26] Richard M Iverson, Mark E Reid, Richard G LaHusen. Debris-flow Mobilization from landslides [J], Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 1997, 25: 85—138
- [27] Sassa K, Watanabe H. Possible Mechanism of the debris flow [J]. Landslide News, 1997, (10): 9—10
- [28] Wang Yuyi, Baiyu Yan. Shearing Stress, Strain and Debris Flow [J]. Inter. Sym. Interpret, 1992, 309—317.
- [29] Franzl, L, Bianco, G. A statistical method to predict debris flow deposited volume on a debris flow fan [J]. Phys. Chem. Earth. 2001, 26(9): 683—688
- [30] Aleotto, P. A warning system for rainfall-induced shallow failures [J]. Engineering Geology, 2004, 73: 247—265.
- [31] 崔鹏. 泥石流起动机理的研究[D]. 北京林业大学, 1990
- [32] 胡明鉴, 张平仓, 汪稔. 降雨对缓坡的激发作用实验研究——以蒋家沟流域滑坡堆积地为例[J]. 水土保持学报, 2001, 15(5): 116—118
- [33] 陈晓清, 崔鹏, 李泳, 等. 滑坡转化泥石流起动的人工降雨试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, (1).
- [34] 崔鹏, 刘世建, 谭万沛. 中国泥石流监测预报研究现状与展望[J]. 自然灾害学报, 2000, 9(2): 10—15

(下转第 96 页)

Earthquake-induced tsunami in Indian Ocean and its warning to China

KE Chang-qing

(School of Geography and Ocean Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: On 26 December, 2004, a strong earthquake of magnitude $M=9.0$ struck the close northwest sea of Sumatra island in Indonesia, and its magnitude scale is very infrequent in nearly 100 years in the world. It was accompanied by tremendous tsunami whose wave runup was nearly 10m, and the wave reached shallower water near the coast, and it shortened, slowed and gathered into surges that killed approximately 300,000 people across a dozen countries in the southeast Asia, the south Asia and the east Africa. Because of the earthquake tsunami, landform deformation of some islands in Indonesia and Thailand changed, and most salina-alkali land left in the affected countries. A long distance rupture in the edge of Sumatra plate accumulated enormous energy, and it released on 26, which resulted in the earthquake tsunami. Large magnitude scale, sudden happening of the earthquake tsunami, dense population in the affected areas, and the scarcity of knowledge and experience of tsunami, no Indian ocean tsunami warning system as well, are the reasons of tremendous casualties in this tsunami catastrophe. There exists probability of the earthquake tsunami in the sea from Taiwan to Hainan in China, therefore the tsunami warning system should be improved, the prevention disaster standard of construction engineering in the coastal region should be enhanced, the construction of prevention wave dikes should be strengthened, and the bio-engineering measures, for example, restoration of mangrove and other bio-engineering etc, to prevent the potential tsunami disasters should be taken.

Key words: earthquake-induced tsunami in Indian Ocean; tremendous catastrophe losses; islands deformation; tectonic plates press; tsunami warning system; warning to China

(上接第 78 页)

Experimental simulation of rainfall induced debris flow by in situ test and forecast method

CHEN Xiao-qing^{1,2}, CUI Peng¹, WEI Fang-qiang¹

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu, 610041;

2. Civil Engineering College, Southwest Jiaotong University, Chengdu, 610031)

Abstract: On the base of civil and foreign achievements about debris flow forecast, a new-type debris flow forecast method is presented after new research achievements about the debris flow formation mechanism were analyzed. After the man-made rainfall experiments were done at the source region of debris flow in Jiangjia Ravine, we find that there are close relationships between the formation of debris flow located at slope and soil characteristic parameters. These parameters include water potential, water content, pore pressure, soil strain and soil temperature. To rainfall-type debris flow, the process of debris flow formation can be expressed: rainfall process \rightarrow change of soil water content, change of soil structure and composition \rightarrow change of soil strength \rightarrow change of slope stability \rightarrow soil broken (start of landslide) \rightarrow formation of debris flow on slope \rightarrow formation of debris flow in gully. If we set up the relationship between former step and latter step, we can forecast the occurrence probability, occurrence time and form scale of debris flow using rainfall data, so we can improve the precision of debris flow forecast step by step. To compare new achievement with traditional methods, we find that we not only improve the precision of debris flow forecast but also can estimate the error of debris flow forecast.

Key words: debris flow; experimental; method; artificial rainfall