

# Monitoring and Early-Warning Technology of Rainstorm Debris Flow in Loess Plateau, Northern Shaanxi Province

Jian Dang<sup>1,2</sup>, Aidi Huo<sup>1,2</sup>, Qinqin Bai<sup>3</sup>, Lan Li<sup>3</sup>, Dan Yu<sup>1,2</sup>, Hairu Mao<sup>1</sup>, Sheng Xue<sup>1</sup>, Rui Tian<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an Shaanxi

<sup>2</sup>Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecological Effects in Arid Region, Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an Shaanxi

<sup>3</sup>School of Geological Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an Shaanxi  
Email: dj30625@163.com

Received: Nov. 20<sup>th</sup>, 2016; accepted: Dec. 20<sup>th</sup>, 2016; published: Dec. 23<sup>rd</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors 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

---

## Abstract

As one of the geological disasters with high frequency in the world today, Debris flow disaster is a serious threat to national people's lives and properties. This paper reviews the current domestic and foreign researches on the rainstorm debris flow monitoring and early warning technology, summarizing and generalizing the current situation of Debris flow monitoring and early warning in the Loess Plateau of Northern Shaanxi. This paper brings to focus further development on Monitoring technology of future rainstorm type debris flow, and puts forward a comparative scientific method about Critical rainfall threshold. Rainstorm debris flow monitoring and early warning in Loess Plateau in Northern Shaanxi can not only stay on the monitoring and forecast of rainfall, but also combine with the hydrological model, geographic information system, and comprehensive topographic factors, so as to greatly improve the accuracy of monitoring and forecasting result.

## Keywords

Rainstorm Debris Flow, Monitoring and Early Warning System, Northern of Shaanxi, Loess Plateau

---

# 陕北黄土高原暴雨型泥石流监测预警技术展望

党 剑<sup>1,2</sup>, 霍艾迪<sup>1,2</sup>, 白琴琴<sup>3</sup>, 李 兰<sup>3</sup>, 于 丹<sup>1,2</sup>, 毛海如<sup>1</sup>, 薛 晟<sup>1</sup>, 田 睿<sup>1</sup>

文章引用: 党剑, 霍艾迪, 白琴琴, 李兰, 于丹, 毛海如, 薛晟, 田睿. 陕北黄土高原暴雨型泥石流监测预警技术展望[J]. 水土保持, 2016, 4(4): 77-81. <http://dx.doi.org/10.12677/ojswc.2016.44011>

<sup>1</sup>长安大学环境科学与工程学院, 陕西 西安

<sup>2</sup>长安大学旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室, 陕西 西安

<sup>3</sup>长安大学地质工程与测绘学院, 陕西 西安

Email: dj30625@163.com

收稿日期: 2016年11月20日; 录用日期: 2016年12月20日; 发布日期: 2016年12月23日

## 摘 要

泥石流灾害作为当今世界上爆发频率较高的地质灾害之一, 严重威胁到了国家及人民的生命财产安全。本文对国内外暴雨型泥石流监测预警技术研究现状进行了梳理, 对陕北黄土高原泥石流监测预警现状进行了总结, 对未来暴雨型泥石流监测技术的发展趋势进行了展望, 提出了比较科学的临界降雨量阈值的确定方法。认为陕北黄土高原暴雨型泥石流监测预警不能只停留在对降雨量的监测和预报上, 应结合流域水文模型和地理信息系统, 综合地形地貌因素, 这样才能大大提高监测和预报的精度。

## 关键词

暴雨型泥石流, 监测预警系统, 陕北, 黄土高原

## 1. 引言

我国泥石流灾难频发, 已逐渐成为泥石流受灾最为严重的国家之一, 这使得我国的经济的发展受到一定程度的制约。就泥石流的类型来说, 暴雨型泥石流, 是世界上分布最广泛、活动最频繁并与人类工程活动最为密切的自然灾害之一。在由暴雨引发的泥石流灾害中, 我国在数量和灾害损失上, 均占这类灾害总数的 90% 以上[1]。尤其在西部山区每年雨季都有泥石流发生, 不少沟道年年爆发。我国每年因此造成巨大经济损失。泥石流灾害爆发日益频繁, 形势十分严峻。特别是在 2008 年汶川 8.0 级特大地震和 2013 年芦山 7.0 级大地震以后, 强烈的地震活动造成山体松动[2], 为诱发震区大量的地质灾害提供了丰富的物质条件, 加上近几年的环境恶化, 降雨条件也发生了明显的变化, 洪涝灾害频率增加, 暴雨型泥石流发生的环境也有显著的变化, 因而在地震影响区范围内, 泥石流爆发的频率也显著提高。因此, 为了有效的预防和减少泥石流灾害的损失, 泥石流监测预警越来越受到国内外学者、减灾科技工作者和政府部门的广泛关注, 目前这方面的研究很多, 监测手段等方面也得到了不断的提高和完善。但对于陕北黄土高原暴雨型泥石流监测预警方面, 还需要进一步深入研究。

陕北地区是革命老区, 是中国黄土高原的中心部分, 包括陕西省的榆林市和延安市, 它们都在陕西的北部, 所以称做陕北。地势西北高, 东南低。总面积 92,521.4 平方公里, 是在中生代基岩所构成的古地形基础上, 覆盖新生代红土和很厚的黄土层, 再经过流水切割和土壤侵蚀而形成的。基本地貌类型是黄土塬、梁、峁地形, 是黄土高原经过现代沟壑分割后留存下来的高原面。陕北地区沟壑纵横, 谷床纵坡降较大, 山体地形破碎, 地表基本为松散的黄土, 加上结构松散的岩层, 风化严重节理裂隙发育, 为泥石流提供了物源, 在强降雨条件下, 就会诱发泥石流。陕北地区每年都要发生规模大小不同的泥石流灾害, 其中占很大比例的就是坡面沟谷型泥石流。坡面松散的黄土层, 降雨进行一段时间后, 土压力和孔隙水压力上升, 基质吸力降低, 斜坡的负荷加大, 等坡面土体饱和以后, 土体重力作用下就形成了泥石流。由于气候等各种因素的影响, 近几年来, 暴雨型泥石流地质灾害频发。

针对暴雨型泥石流的监测预警, 本文在主要分析了暴雨型泥石流的成灾原理基础上, 对泥石流监测

的内容、预警技术和方法进行了分析讨论,在总结现状同时对未来的发展提出了一些建议,为暴雨型泥石流未来的研究工作奠定基础。

## 2. 暴雨型泥石流监测和预警的研究

### 2.1. 暴雨型泥石流的监测方法研究

目前,世界各国都把降雨作为泥石流预报指标来重点观测研究,这一领域也有不少研究成果。19世纪80年代初期,日本学者 Takahashi 提出了基于经验的计算模型用来预测泥石流冲出的最大距离,该计算模型考虑速度、深度、坡度和沟坡冲积扇等其他因素[3];之后, Takahashi 进行了泥石流堆积模型模拟实验,从水力学对泥石流危险范围进行了探讨,第一次采用流体方程构建了泥石流危险区域的数学模型[4]; Adam 综合考虑了泥石流形成的规模以及发生处与堆积区的相对高差[5]; Ikeya 将泥石流体积和流通区坡度作为影响因素,提出泥石流最大堆积长度的计算方法[6]; Hungr 认为泥石流最大物源长度与泥石流体积、冲出角和堆积扇形态密切相关[7],他根据划分的危险性结论,认为对造成灾害性较大泥石流沟道应有选择性的实施监测。以上的研究对泥石流的监测和预报有很大的推进作用,但降雨仅是泥石流发生的诱发条件,泥石流的发生和发展还要考虑其地形地貌和物源等条件。

固体物质来源是泥石流爆发的基础,在泥石流流域内需要对物源进行全面的监测。水源作为泥石流爆发的动力来源和最直接的激发因素,对其的监测和预警都是必要的。在国际上,主要是通过建立泥石流的预警模型来研究这一问题,泥石流的预警模型主要是根据对激发泥石流的降雨特征(如前期雨量、降雨量、降雨强度、降雨历时等)进行统计分析,然后在符合泥石流发生的条件的区域确定泥石流的临界雨量建立。1980年 Caine 给出一个指数经验表达式,通过对泥石流及浅层滑坡的发生与降雨强度-历时经验关系进行统计分析而得出[8];1972年日本学者奥田蒔夫提出激发泥石流的关键因素为10 min 降雨强度[9]。中国对于泥石流的降雨条件的监测稍微晚一点,但仍旧提出了很多可行的判别方程、分析方法等。田冰等将蒋家沟泥石流分为前期降水型、强降水型和特殊型三种,是以泥石流爆发的前期雨量与日降雨量的权重关系为基础[10];文科军等建立泥石流判别方程,是以降雨强度与当日激发雨量和前期有效雨量为基础[11]。在以上的研究中,临界降雨量阈值的确定方法一直是一项非常重要的核心技术。这些预警模型的陆续出现,极大的促进了泥石流监测预警的精度。同时也为泥石流预警系统的开发奠定了数学模型基础。

### 2.2. 暴雨型泥石流的预警系统研究

根据暴雨型泥石流监测预警的手段,可划分为人工监测预警、自动监测预警两大类。人工监测预警,主要是通过人力的方式对泥石流进行监测预警。此预警手段花费大量的人力物力,并且对于监测员也有较高的要求。虽然该手段直观可信,但是对于现今不断发展的预警手段来讲,更加侧重于预警手段的自动化。自动监测预警,主要是通过多个子系统共同作用对泥石流活动进行监测,该方法较为可靠。

对于泥石流的预防来说,应该把其形成的原理和降雨量作为防灾减灾的重点研究对象。降水强度、降水持续时间、降水量、降水峰值等因素是当场降雨过程中我们需要关注的问题。在当日降水过程的峰值降水时段最易激发暴雨型泥石流,泥石流爆发的直接驱动力是泥石流形成的有效降水量,降水强度可用来衡量峰值雨量的大小。泥石流爆发以后的降水量和降水持续时间则决定着泥石流爆发的时间长短和规模的大小[12]。

泥石流自动监测预警系统一般以预报、反演、估算和监测地面降水为目标,根据泥石流层次的不同,预警模型提供的地面降水参数的时空尺度各异。通过卫星云图、雷达回波与研究区中的下垫面耦合,构建出满足不同精度和不同时间尺度的降水预报监测体系。一般来说,大区域的中短期预报可由数值天气

预报模式进行,反演和估算大区域的地面降水以卫星云图为优,小范围内强对流天气的连续监测以雷达回波较为精准,监测降水的最为有效的手段是雷达回波测量降水,而自动气象站则是通过无线电来传送观测到的遥测雨量的降水数据。这几种方法相互配合,可以组成较为完整的降水预报监测体系,在时空尺度和预报精度方面得以满足要求,支持了多层结构泥石流预报系统中降水预报的建立[12]。

九十年代初期,美国地质调查局和美国国家气象局建立自动监测预警泥石流的系统,并且在旧金山湾地区取得试验成功[13];香港[14]、南非[15]、日本[16]、新西兰[17]等相继建立了类似的泥石流预警系统。这些泥石流监测预警系统相对于暴雨型泥石流的预警和预报比较准确,效果良好[18][19][20],但是在山区和丘陵等地形复杂,降水不均匀的地区,由于降水难以准确测量且成本较高且管理难度大,泥石流监测预警系统有待进一步发展和完善。

### 3. 对暴雨型泥石流监测预警技术方法的展望

暴雨型泥石流的发生必须同时具备物源、降水和适宜地形和地貌这三个必要的发生条件。降雨对于暴雨型泥石流而言,不但是泥石流体的主要组成部分,也是激发泥石流的决定性因素。有效的降雨量是暴雨型泥石流爆发的主要诱发件,在流域内降雨条件的变化极大,流域内的降雨条件完全决定泥石流的爆发时间以及成灾大小,所以激发泥石流最活跃的主导因素为降雨条件。因此,未来陕北黄土高原暴雨型泥石流监测预警系统中的关键因素仍然是降雨因子。

由于泥石流形成环境和成灾机理的复杂性,许多理论、技术、方法仍处于资料积累、试验探索阶段,因此,为了满足防灾减灾的需求,可以将专家系统技术及计算机模拟技术与暴雨型泥石流的预警系统相结合,起到深入研究泥石流早期预警的作用。

在对暴雨型泥石流的早期监测和预警研究中,临界降雨量阈值的确定方法一直是一项非常重要的关键技术,阈值的准确性直接关系到监测预警结果的真实性。如果能结合流域水文模型(SWAT 模型等)建立降雨和径流之间的关系,然后利用地理信息系统软件(如 ArcGIS 等软件)嵌入淹没分析模块(如 HEC-RAS 等)模拟不同径流状态下对下游农田、工矿企业、县城和村镇的淹没和破坏范围。在此基础上,反过来根据破坏的范围和受灾的程度,推求各级损失程度下的临界降雨量。这样就可以大大提高临界降雨量阈值确定的准确性,最终提高泥石流的监测预报精度。以此为基础就可以构建出高精度高集成的大型泥石流自动监测预警系统,为泥石流防灾减灾决策提供技术支持。

### 致 谢

感谢陕西省社会发展科技攻关项目(编号 2016SF-411)及西北黄土高原区地质灾害详细调查(编号 1212010640403 和 1212011014012)资助。

### 参考文献 (References)

- [1] 谭万沛,王成华,晋玉田. 暴雨泥石流滑坡的区域预测与预报[M]. 成都: 四川科技出版社, 1994: 1, 171, 211.
- [2] 杨顺,潘华利,王钧,等. 泥石流监测预警研究现状综述[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 150-156.
- [3] Takahashi, T. (1981) Estimation of Potential Debris Flows and Their Hazardous Zones; Soft Counter Measures for a Disaster. *Natural Disaster Science*, **3**, 57-89.
- [4] Takahashi, T. (1991) Debris Flow. International Association for Hydraulic Research. Balkema, Rotterdam.
- [5] Prochaska, A.B., Santi, P.M., Higgins, J.D. and Cannon, S.H. (2008) Debris-Flow Run out Predictions Based on the Average Channel Slope (ACS). *Engineering Geology*, **98**, 29-40. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.01.011>
- [6] Ikeya, H. (1989) Debris Flow and Its Counter Measures, Japan. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, **40**, 15-33. <https://doi.org/10.1007/BF02590339>
- [7] Hungr, O., Morgan, G.C. and Kellerhals, R. (1984) Quantitative Analysis of Debris Torrent Hazard for Design of Re-

- medial Measures. *Canadian Geotechnical Journal*, **21**, 663-677. <https://doi.org/10.1139/t84-073>
- [8] Caine, N. (1980) The Rainfall Intensity-Duration Control of Shallow Landslides and Debris Flows. *Physical Geography*, **62A**, 23-27. <https://doi.org/10.2307/520449>
- [9] 谭万沛, 王成华, 姚令侃, 等. 暴雨泥石流滑坡的区域预测与预报——以攀西地区为例[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994: 1-279.
- [10] 田冰, 王裕宜, 洪勇. 泥石流预报中前期降水量与始发日降水量的权重关系[J]. 水土保持通报, 2008, 28(2): 71-75.
- [11] 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.
- [12] 孙伟, 高峰. 暴雨型泥石流预报中的降水因子[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(12): 6287-6288.
- [13] US Geological Survey. NOAA-USGS Debris-Flow Warning System-Final Report. <http://pubs.usgs.gov/circ/2005/1283/>
- [14] Brand, E.W. (1984) Relationship between Rainfall and Landslides in HongKong. *4th International Symposium on Landslides*, Toronto, 16-21 September 1984, 377-384.
- [15] Garland, G.G. and Olivier, M.J. (1993) Predicting Landslides from Rainfall in a Humid, Sub-Tropical Region. *Geomorphology*, **8**, 165-173. [https://doi.org/10.1016/0169-555x\(93\)90035-z](https://doi.org/10.1016/0169-555x(93)90035-z)
- [16] Onodera, T., Yohinaka, R. and Kazama, H. (1974) Slope Failures Caused by Heavy Rainfall in Japan. *Applied Geology*, **15**, 191-200. <https://doi.org/10.5110/jjseg.15.191>
- [17] Grozier, M.J. (1999) Prediction of Rainfall-Triggered Landslides: A Test of the Antecedent Water Status Model. *Earth Surface Processes and Landforms*, **24**, 825-833. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199908\)24:9<825::AID-ESP14>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199908)24:9<825::AID-ESP14>3.0.CO;2-M)
- [18] Huo, A.-D., Guan, W.-K., Dang, J., Wu, T.-Z., Shantai, H., Wang, W. and Liew, M.W.V. (2016) Submerged Area of Typical Torrential Flood and Debris-Flow Disasters in Mengzong Gully, China. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, **7**, 18-24. <https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1181340>
- [19] Huo, A. and Li, H. (2013) Assessment of Climate Change Impact on the Stream-Flow in a Typical Debris Flow Watershed of Jianzhuangcuan Catchment in Shaanxi Province, China. *Environmental Earth Sciences*, **69**, 1931-1938. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-2025-0>
- [20] Cheng, Y., Huo, A., Zhang, J. and Lu, Y. (2015) Early Warning of Meteorologicalgeohazard in the Loess Plateau: A Study in Huangling County of Shaanxi Province in China. *Environmental Earth Sciences*, **73**, 1057-1065. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3455-7>

#### 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: [ojswc@hanspub.org](mailto:ojswc@hanspub.org)