

地貌灾害预测预报的基本问题 ——以泥石流预测预报为例

刘希林¹, 莫多闻²

(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. 北京大学城市与环境学系, 北京 100871)

摘 要: 从地貌灾害的定义入手, 阐述了地貌灾害预测预报需要解决的四个基本问题、解决这四个问题的二种途径, 以及进行预测预报的四种方法。以泥石流为例, 论述了泥石流预测预报的现状及其热点、难点和可能的突破点, 以及目前和今后一段时期的切入点和研究重点。综述了国内外对泥石流小尺度空间预测, 规模预测, 时间预测, 包括重现期预测、降雨预测和危险度预测的一系列有实用价值的经验公式及其在应用中存在的问题。阐明了灾害评价和预测预报在灾害学研究中的重要地位。

关键词: 地貌灾害; 泥石流; 预测预报; 灾害评价

中图分类号: P954 X4 **文献标识码:** A

1 地貌灾害

地貌灾害的英文表达有 geomorphic hazards 和 geomorphological hazards 两种。国外地貌灾害的定义有美国 Schumm 教授 1982 年提出的“逆向影响到一个地区地貌稳定性的任何自然或人为的地貌改变”^[1] 和意大利 Panizza 教授 1996 年提出“在一定时间、地点和规模条件下某种地貌不稳定现象的概率”^[2]。以上两种定义, 代表了当今欧美对地貌灾害认识的主流。

地貌灾害即灾害地貌, 目前国内还没有统一的定义。唐晓春将灾害地貌定义为: 是指对人类生活及生存环境造成直接和间接灾害性影响的地貌现象的总称^[3]。延军平和黄昌发定义为: 地貌灾害是由外营力作用导致的地表固体物质运动所产生的有害过程和现象^[4,5]。吴正教授的定义为: 地貌灾害是由地貌营力作用产生的成灾过程短暂的突变性灾害^[6]。

2 预测预报需要解决的四个问题

2.1 地点

地点预测即地貌灾害可能分布空间的识别。这一问题目前已基本解决, 我们已基本完成各主要类

型地貌灾害的分布图和分区图, 只不过比例尺大小不同而已。

2.2 敏感性

敏感性即地貌状态趋于改变的倾向性^[7]。敏感的地貌才可能产生地貌灾害。因此预测预报地貌灾害, 就必须识别出地貌的敏感因子。

2.3 可变性

包括地貌的可变性和变化速率的可变性。只有地貌的改变及其速率的变化才可能导致地貌灾害, 并进一步划分出缓发性和突发性地貌灾害。因此预测预报地貌灾害, 就必须评估出地貌的可变性及其变化速率。

2.4 复杂性

即不同地点地貌过程可变性和地貌变化系列事件的复杂性。预测预报地貌灾害, 就必须预测地貌条件改变后, 地貌对这一改变的各种响应。

3 解决四个问题的两种途径

LCS 法 (Location for Condition Substitution) ——解决地貌敏感性问题^[8]。通过对稳定和不稳定地貌特征的量测, 用比较的方法, 找出敏感地貌稳定与不稳定特征的临界值。主要用于河谷、沟谷、洪积扇和山坡等的稳定性预测。

收稿日期: 2001-01-05。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (4983101Q, 49771004)。

作者简介: 刘希林 (1963-), 男 (汉族), 湖南新邵县人, 研究员。主要从事灾害地貌和泥石流预测预报研究。

LTS 法 (Location for Time Substitution)——解决地貌复杂性问题的^[8]。即对一个通过时间而显示其变化的序列中的地貌样本的选择。主要用于山坡、水系和沟道侵蚀等随时间的变化预测。

大量的实地调查和遥感影像判读, 目前已基本解决了地貌灾害的地点预测问题。

可变性——一个难以处理的问题。地貌的改变及其改变速率是时间的函数, 而地貌灾害的发生即地貌失稳的时间又取决于诸多因素。如地貌形态的细节、土壤或岩石的特性、降雨或水文事件的频率等。当然, 如果地貌的历史资料足够丰富, 给出一个失稳时间的粗略估计还是可能的。

4 预测预报的四种方法

严格地讲, 地貌灾害不是随机现象^[9]。地貌灾害不同于真正的随机事件, 主要表现在两个方面: 其一, 地貌灾害很难在同一条件下重复发生, 因此, 地貌灾害很难构建一个无限长的序列, 从而在理论上正确地给出它们的概率; 其二, 大多数科学家认为, 如果我们对地貌灾害有足够的了解并有足够的资料来计算它们之间的确定性关系, 许多地貌灾害可以处理为确定性现象。但是, 因为地貌灾害的复杂性和我们缺乏对它们内在关系的真正理解, 目前不得不将许多地貌灾害当作随机现象来处理。

对于地貌灾害, 目前我们还不可能预测预报出单个事件的准确发生, 而只能以概率的形式预测预报事件的整体结果。因此, 问题已不是概率能否被确定或估计, 而是用什么方法才能准确地预测预报地貌灾害在特定地点的概率。

4.1 公理方法(Axiomatic approaches)

公理方法在本质上是理论的, 它是用系统的性质去推理可能的结果和每个结果的概率。如某系统具有性质 A, 它就必然具有性质 B, 有了性质 B, 就会导致 C、D、E、F 四种可能的结果, 并且它们的概率均为 25%。公理方法的前提是必须对系统性质有充分了解。但在地貌系统中, 只有为数极少的某些系统简单到足以让我们充分了解并可在实践中以公理方法进行预测。

4.2 频率方法(Frequency approaches)

频率方法在本质上是经验的, 它通过对现有数据的统计分析, 检验已记录的结果, 不要求对系统有实质性的理解。如果数据足够多, 可以代表所有可能的结果, 据此方法还是可以作出地貌灾害的概率

预测的。

4.3 模拟方法(Modelling approaches)

在收集了大量资料数据和有关参数均已获知的情况下, 通过数据和参数的输入和计算机的大量运算, 模拟出系统可能产生的结果及其概率。

4.4 专家评判方法(Expert judgement approaches)

在缺乏足够的资料采用公理、频率和模拟方法预测地貌灾害事件概率的情况下, 采用专家评判的方法对地貌灾害将来可能发生的概率作出主观的估计也是可行的, 但专家的判断主要依赖于专家本人对地貌事件和过程的了解、以及他本人的经验和能力。

5 泥石流预测预报的基本问题

泥石流作为地貌灾害的一种主要类型, 其预测预报的基本问题不超出前面提到的四个方面, 主要有:

1) 泥石流发生空间预测——宏观上已基本解决, 微观上有重要进展;

2) 泥石流发生规模预测(强度预测)——世界性难题;

3) 泥石流发生时间预测(频度预测)——世界性难题;

4) 泥石流发生强度和频度的综合预测: 泥石流危险度预测——已取得突破性进展^[10]。

5.1 泥石流发生空间预测(小尺度预测)

宏观上国内外对泥石流分布和分区规律已基本掌握, 已经编制了不同比例尺的灾害分布、分区图。目前国际上主要侧重于泥石流发生空间的小尺度预测, 即泥石流冲出沟口后可能堆积的几何尺寸, 又称危险范围^[11]。

Ikeya 1982 年提出了日本泥石流堆积长度和宽度的计算公式^[12]

$$L = 10I^{2/3} \cdot V^{2/3} \quad (1)$$

$$B = \sqrt{3V/L} \quad (2)$$

式中 L 为堆积长度(m); B 为堆积宽度(m); I 为流通区平均比降; V 为泥石流冲出量(m³)。

泥石流冲出量即泥石流规模, 这是一个目前只能凭经验估计或用统计公式估算的量, 因此, 用上述公式进行预测, 可能导致“估计加统计”的不精确预测。

Silva 等 1992 年介绍了通过流域面积来计算西班牙泥石流堆积扇面积和坡度的经验公式^[13]

$$S=0.78A^{0.66} \quad (3)$$

$$G=0.05A^{-0.23} \quad (4)$$

式中 S 为堆积扇面积 (km^2); A 为流域面积 (km^2); G 为堆积扇比降。

刘希林和唐川 1995 年提出了一次泥石流堆积范围的预测模型^[10]

$$\begin{cases} a=0.51l^2 \\ l=0.87(V \cdot G \cdot r_c / \ln r_c)^{1/3} \\ d=0.02[V \cdot r_c / (G^2 \cdot \ln r_c)]^{1/3} \end{cases} \quad (5)$$

式中 a 为堆积扇面积 (m^2); l 为堆积长度 (m); d 为堆积厚度 (m); r_c 为泥石流容重 (g/cm^3); V 同式(1); G 同式(4)。

多次泥石流堆积范围的预测模型^[14]

$$\begin{cases} S=0.67L \cdot B-0.08B^2 \cdot \sin R / (1-\cos R) \\ L=0.81+0.002A+0.3W \\ B=0.55+0.003D+0.3W \\ R=47.83-1.31D+8.89H \end{cases} \quad (6)$$

式中 S 为堆积扇面积 (km^2); L 为堆积长度 (km); B 为堆积宽度 (km); R 为堆积幅角 ($^\circ$); W 为松散固体物质储量 (m^3); D 为流域切割密度 (km^{-1}); H 为流域相对高差 (km); A 同式(3)。

式(5)和(6)中三个关键参数 V 、 r_c 和 W 都是难以精确确定的量。因此上述模型的应用和精度受到了一定程度的限制。有文献介绍了 r_c 和 W 的一些经验计算方法^[14-15],但在实际操作中仍有相当大的人为任意性。

5.2 泥石流发生规模预测

泥石流发生规模不仅本身就是一个非常重要的参数,它可直接用于防治工程设计,而且关系到泥石流发生空间小尺度预测的最终解决,同时还与泥石流发生频率和危险度评价密切相关。泥石流发生规模的预测是泥石流预测研究中的重点,也是各国泥石流学者致力于攻克的世界性难题^[16]。

Hampel 1977 年提出了奥地利泥石流规模的计算公式

$$V=0.15A(100G-3)^{2.3} \quad (7)$$

式中 V 同式(1); A 同式(3); G 同式(4)。

Ikeya 1979 年提出了日本泥石流规模的经验公式

$$V=18000A_{10}^{1/2} \cdot Q^{1/2} \quad (8)$$

式中 V 同式(1); A_{10} 为坡度超过 10° 的流域面积 (km^2); Q 为最大清水流量 (m^3)。

Rickenmann 和 Zimmermann 1993 年提出了瑞士

泥石流规模的预测公式

$$V=(110-250G)L \quad (9)$$

式中 V 同式(1); G 同式(4); L 为不稳定沟床长度 (km)。

刘希林和唐川 1995 年提出了云南泥石流规模的计算公式

$$V=2.6A+4.1D+21W-20 \quad (10)$$

式中 V 同式(1); A 同式(3); D 、 W 同式(6)。

Matthias 和 Michael 1996 年提出了加拿大泥石流规模的回归公式^[17]

$$V=283.44Q_d \quad (11)$$

式中 V 同式(1); Q_d 为泥石流洪峰流量 (m^3/s)。

泥石流洪峰流量的计算自 1940 年前苏联学者提出“泥石流流量为清水流量和固体流量之和,考虑堵塞因素,另加附加流量”的思路以来,不少学者根据各国实际情况,一直沿用这一表达方式并提出了许多改进公式^[14]。但在泥石流运动方程和流变模型尚未彻底解决以前,泥石流洪峰流量的计算就只能停留在区域性和经验性的水平。

5.3 泥石流发生时间预测

泥石流发生时间的预测大致分为经验统计法和力学分析法^[18]。经验统计法主要根据以往的降雨特性,用经验或统计方法来说明泥石流发生与降雨的关系,从而决定泥石流发生与不发生的包络临界线。此方法缺乏较为明确的理论依据来说明泥石流的发生机理。力学分析法依据静力学平衡观点,以松散固体物质沿坡面的重力分量大于等于阻力作为泥石流发生的标准,从而推求泥石流发生与不发生的临界坡度。此方法力学机制较为明确,但所采用的地质和水文参数具有较大的不确定性,从而导致预测结果往往与实际情况有较大的差距。

泥石流发生时间的预测预报一般分为长期、中期、短期和临阵四种。长期预测即重现期预测,也即发生频率预测;中期预测包括月和旬预测;短期和临阵预报一般指 24 小时内的预报和警报。

5.3.1 泥石流发生的频率预测(长期预测)

泥石流发生频率和发生规模是密切相关的,它们的关系符合地貌灾害中具有普适性的幂律规则^[19],即频率高则规模小,频率低则规模大(图 1)。

Ohmori 和 Hirano 1988 年提出了日本泥石流频率与规模的关系式^[20]

$$F(V)=a10^{-bV} \quad (12)$$

式中 $F(V)$ 为泥石流规模为 V 时的频率; V 同式(1); a 、 b 为回归系数。

Richard 等 1990 年提出了美国洛杉矶地区泥石流规模与频率的关系式^[21]

$$V=2750P^{0.75}A^{1.25}(1+80e^{-0.624-0.537t})^{0.5} \quad (13)$$

式中 V 同式(1), P 为最大 72 小时降雨量(英寸); A 同式(3); t 为重现期(年, 即频率的倒数)。

5.3.2 泥石流发生的中期预测

泥石流发生的中期预测主要在区域预测方面有所应用。谭万沛等 1994 年通过对四川攀枝花—西昌地区的研究, 提出了以月和旬雨量为指标的泥石流、滑坡发生概率(表 1)^[22]。

表 1 四川攀西地区泥石流滑坡发生的中期预测

Table 1 Medium-term prediction of occurrence of debris flows and landslides in Pan-Xi region of Sichuan

月降雨量距平值(mm)	0~50	50~150	150~200 或 > 200
泥石流滑坡发生概率(%)	<5	≈45	>50
旬降雨量距平值(mm)	0~40	40~100	100~150 或 > 150
泥石流滑坡发生概率(%)	<5	≈40	>55

5.3.3 泥石流发生的短期和临阵预报

目前国内外用降雨来预报泥石流的发生归纳起来有三个指标: 雨量、雨强和雨时。它们共有三种组合模式: 累积雨量与降雨强度(图 2), 降雨时间与累积雨量(图 3), 降雨时间与降雨强度(图 4)。

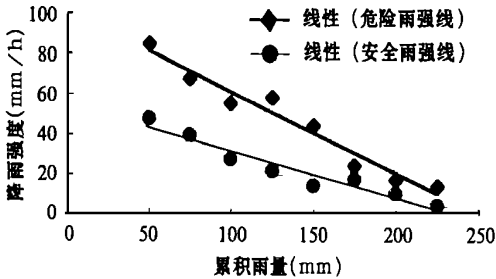


图 2 用累积雨量和降雨强度来预报泥石流
Fig. 2 Forecast of debris flow occurrence by accumulative rainfall and rainfall intensity

随着研究的深入, 发现用折线来代替直线能更好地模拟各降雨指标之间的关系(图 5)。后来为进一步提高精度, 又发现用曲线来拟合更为有效(图 6)。但无论用哪种包络线条来预测泥石流的发生, 其本质都是经验性的, 都没有从机理上阐明降雨指标与泥石流发生与不发生的必然性。因此预报泥石流的降雨临界值各地可有很大不同, 目前还没有统

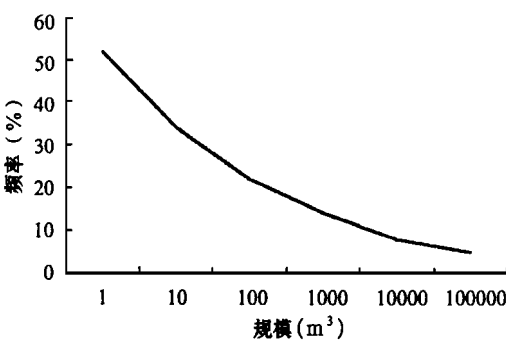


图 1 泥石流频率和规模的关系
Fig. 1 Relationship between frequency and magnitude of debris flow

一的雨量标准^[23]。
5.4 泥石流危险度预测
5.4.1 危险度的物理含义

危险度(H)=规模(V)×频率(F)
泥石流规模和频率的通用关系式为

$$F(V)=ae^{-bV} \quad (14)$$

根据物理含义, 危险度的量值即 $F(V)=ae^{-bV}$ 函数曲线下的面积(图 1)。因此可得危险度的数学模型为

$$H=\int_0^{\infty} F(V) dV \quad (15)$$

即

$$H=\int_0^{\infty} ae^{-bV} dV \quad (16)$$

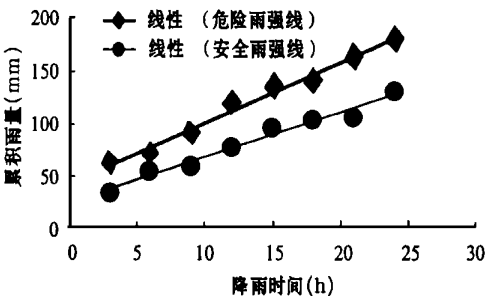


图 3 用降雨时间和累积雨量来预报泥石流
Fig. 3 Forecast of debris flow occurrence by rainfall duration and accumulative rainfall

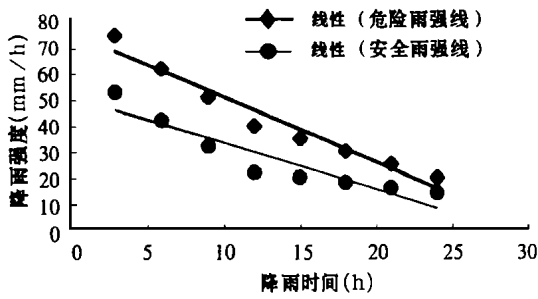


图 4 用降雨时间和降雨强度来预报泥石流

Fig. 4 Forecast of debris flow occurrence by rainfall duration and rainfall intensity

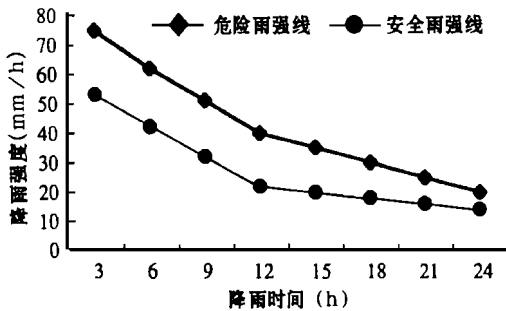


图 5 降雨时间与降雨强度的折线关系

Fig. 5 Broken lines between rainfall duration and rainfall intensity

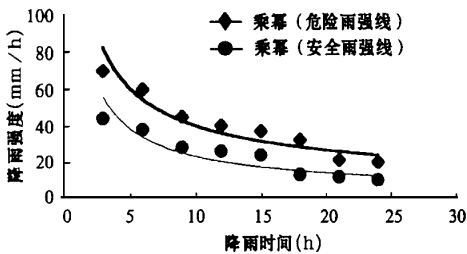


图 6 降雨时间与降雨强度的曲线关系

Fig. 6 Curves between rainfall duration and rainfall intensity

危险度有明确的物理含义,在数学上可用积分函数精确表达。但由于式(15)和式(16)中 $F(V)$ 和 V 目前还不能精确获取,所以在实际操作中,危险度的预测往往用替代公式和替代指标来计算。

5.4.2 泥石流危险度计算

单沟泥石流危险度预测的改进公式为^[24]

$$H = 0.29V + 0.29F + 0.14S_1 + 0.09S_2 + 0.06S_3 + 0.11S_6 + 0.03S_9 \quad (17)$$

式中 H 为单沟泥石流危险度(0~1 或 0%~100%); S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_6 、 S_9 分别为流域面积、主沟长度、流域相对高差、流域切割密度、不稳定沟床比例的转换数值。

区域泥石流危险度预测的计算公式为^[19]

$$\bar{H} = 0.33Y + 0.14X_1 + 0.1X_3 + 0.02X_6 + 0.16X_8 + 0.12X_9 + 0.07X_{11} + 0.05X_{16} \quad (18)$$

式中 \bar{H} 为区域泥石流危险度(0%~1%或 0%~100%); Y 、 X_1 、 X_3 、 X_6 、 X_8 、 X_9 、 X_{11} 、 X_{16} 分别为泥石流分布密度、岩石风化程度系数、断裂带密度、 $\geq 25^\circ$ 坡地面积百分比、年平均降雨量、年平均月降雨量变差系数、年平均 ≥ 25 mm大雨日数和 $\geq 25^\circ$ 坡耕地面积百分比的转换数值。

6 泥石流预测预报前景展望

6.1 预测预报与机理研究

泥石流形成、运动和堆积过程的机理是预测预报的基础。机理研究有新的突破,预测预报才会有大的进展。泥石流机理完全弄清楚以后,就可以用公理方法简单而又精确地对泥石流进行预测预报。

正因为如此,国内外许多学者一直致力于泥石流物理力学机理的研究,借用了诸如水力学、水文学、流体力学、泥沙运动力学、河流动力学和流变学等相邻学科的理论和方法,提出了描述泥石流过程的众多物理数学模型,目前主要有:宾汉塑流模型,拜格诺膨胀体模型,一维模型、二维模型及其质能守恒方程^[25],结构两相流模型^[26],颗粒散体流模型^[27],流团模型^[28],欧拉-拉格朗日模型^[29],流变模型^[30]等。这些模型比较复杂,有严格的边界条件和参数要求,并且只能适用于某一类型的泥石流和泥石流的某一过程。理论推导上比较成熟,推广应用上还比较困难。总之,目前还没有公认的能够包含粘性和稀性泥石流类型以及泥石流的形成、运动和堆积过程的通用泥石流模型。因此,泥石流预测预报问题的最终解决,有赖于对泥石流机理的透彻认识,这正是需要我们去努力攻克的世界性难题。

6.2 预测预报与灾害评价

加拿大著名地貌学家 Beaty 教授(1974)大声疾呼^[31],灾变性泥石流(cataclysmic debris flow)不再只是远古时期的事,也不仅仅只是更新世的遗迹,它是自古以来,在特定环境条件下的侵蚀、搬运和堆积过程的一种重要的地貌外营力。泥石流作为一种特殊的地貌过程,用灾害学原理(principle of catas-

trophism)来研究它,已不只是假设,而是现实的需要。地貌学家要把泥石流当作一种新生灾害,大力开展泥石流灾害地貌的研究。

地貌学中涉及到环境影响评价的两个相关专题:一是自然灾害评价;二是人类的地表利用对景观质量的影响评价^[32]。因此,灾害评价属于环境影响评价的范畴,是地貌学家可以做的一项工作。灾害评价包括灾前评价和灾后评价,灾前评价包括危险性评价、易损性评价、风险评价和防灾优先性评价,它们都属于灾害预测学的范围。因此,灾害评价是灾害学家必须做的一项工作。

鉴于目前泥石流机理的研究还没有实质性的突破,在我们一方面加紧进行预测预报模型研究的同时,另一方面积极开展灾害评价的研究,将成为现阶段甚至今后相当长一段时期内灾害预测学中的一项重要工作。灾害评价首先是识别灾害,引起人们对灾害的警觉和危险意识,然后给出灾害发生规模和频率的综合预测—危险度判定,进而转到灾害可能造成损失的预评估,然后提出防灾优先行动预案,从而达到最大限度地减轻和避免灾害的目的。

最后,让我们引用美国加州科学院坎贝尔(Campbell)博士的一句名言^[33]：“地质灾害本身并不是灾害,它们之所以是灾害,仅仅是因为忽视了的人们,把自己在错误的时间放在了错误的地方。”这句话高度概括了灾害评价和灾害预测预报的重要性。

参考文献:

- [1] Schumm S. A., Costa J. E., Toy T., Knox J. and Warner R. Geomorphic hazards and Uranium tailings disposal [A]. Proceedings of Management of Water from Uranium Mining and Milling [C], Vienna: International Atomic Energy Agency, 1982. 111 ~ 124.
- [2] Panizza, M. Environmental Geomorphology [M]. Amsterdam: Elsevier, 1996. 1 ~ 268.
- [3] 唐晓春, 唐邦兴. 我国灾害地貌及其防治研究中的几个问题 [J]. 自然灾害学报, 1994, 3(1): 70 ~ 74.
- [4] 延军平. 灾害地理学 [M]. 西安: 陕西师范大学出版社, 1990. 1 ~ 416.
- [5] 黄昌发. 应用地貌学 [M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1994. 1 ~ 367.
- [6] 吴正. 地貌学导论 [M]. 广州: 广东高等教育出版社, 1999. 1 ~ 239.
- [7] Schumm, S. A. and Collins, F. Geomorphic hazards—problems of prediction [J]. *Z. Geomorph. N. F.*, 1988, 67(Sup.): 17 ~ 24.
- [8] Paine, A. D. M. Ergodic reasoning in geomorphology: time for a review of the term? [J]. *Progress in Physical Geography*, 1985, 9: 1 ~ 15.
- [9] Mann, C. I. and Hunter, R. L. Probabilities of geologic events and pro-

cesses in natural hazards [J]. *Z. Geomorph. N. F.*, 1988, 67(Suppl.): 39 ~ 52.

- [10] 刘希林, 唐川. 泥石流危险性评价 [M]. 北京: 科学出版社, 1995. 1 ~ 93.
- [11] 刘希林. 泥石流堆积扇危险范围议 [J]. 灾害学, 1990, 5(3): 86 ~ 89.
- [12] Ikeya, Debris flow and its countermeasures in Japan [J]. *Bulletin of the international Association of Engineering Geology*, 1989 (40): 15 ~ 33.
- [13] Silva, P. G., Harvey, A. M., Madrid C. Z. and Goy, J. L. Geomorphology, depositional style and morphometric relationships of Quaternary alluvial fans in the Guadalentin Depression (Murcia, Southeast Spain) [J]. *Z. Geomorph. N. F.*, 1992, 36(3): 325 ~ 341.
- [14] 陈光曦, 王继康, 王林海. 泥石流防治 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1983. 1 ~ 223.
- [15] 王继康. 泥石流防治工程技术 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1996. 1 ~ 301.
- [16] Liu, X. Size of a debris flow deposition: model experiment approach [J]. *Environmental Geology*, 1996, 28(2): 70 ~ 76.
- [17] Matthias, J. and Michael, J. B. Morphometric and geotechnical controls of debris flow activity, southern Coast Mountains, British Columbia, Canada [J]. *Z. Geomorph. N. F.*, 1996, 104(Suppl.): 13 ~ 26.
- [18] 詹钱登, 陈晋琪. 土石流发生机率分析—以花莲县铜门村及东兴部落为应用对象 [J]. 中华水土保持学报, 1999, 30(1): 65 ~ 75.
- [19] 许强, 黄润秋, 向善琼. 地质灾害发生时间和空间的预测预报 [J]. 山地学报, 2000, 18(增刊): 112 ~ 117.
- [20] Ohmori, H. and Hirano, M. Magnitude, frequency and geomorphological significance of rocky mud flows, landcreep and the collapse of steep slopes [J]. *Z. Geomorph. N. F.*, 1988, 67(Suppl.): 55 ~ 65.
- [21] Richard, H. M., Bilal, M. A. and Theodore, V. H. Risk of debris—basin failure [J]. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 1990, 116(4): 473 ~ 483.
- [22] 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.
- [23] Wilson, R. Broad—scale climatic influences on rainfall thresholds for debris flows: adapting thresholds for northern California to southern California [J]. *Geological Society of America Reviews in Engineering Geology*, 1997, 7: 71 ~ 80.
- [24] Liu, X. Assessment on the severity of debris flows in mountainous creeks of southwest China [A]. Internationales Symposium—Interpraevent 1996 [C], Garmisch—Partenkirchen: Yagungspublication, 1996. 4: 145 ~ 154.
- [25] Takahashi, T. Debris flow [M]. Rotterdam: Balkema Publishers, 1991. 1 ~ 165.
- [26] 王光谦, 刘大有, 费祥俊. 泥石流的两相流模型和基本方程 [A]. 中国博士后论文集(第四集) [C]. 北京: 北京大学出版社, 1991. 230 ~ 239.
- [27] 周必凡. 粘性泥石流流力学模型与运动方程及验证 [J]. 中国科学, 1995, 25(2): 196 ~ 203.

- [28] 王光谦, 邵颂东, 费祥俊. 泥石流模拟: I—模型[J]. 泥沙研究, 1998, (3): 7~13.
- [29] 倪晋仁, 廖谦, 曲轶众, 等. 阵性泥石流运动与堆积的欧拉—拉格朗日模型[J]. 自然灾害学报, 2000, 9(3): 8~14.
- [30] 王裕宜, 费祥俊. 自然界泥石流流变模型的探讨[J]. 科学通报, 1999, 44(11): 1211~1215.
- [31] Beaty, C. B. Debris flow, alluvial fans and a revitalized catastrophism [J]. *Z. Geomorph. N. F.*, 1974, 21(Suppl.): 39~51.
- [32] Wolfert, H. P. Use of the catena principle in geomorphological impact assessment: a functional approach[J]. *Z. Geomorph. N. F.*, 1995, 39(4): 417~431.
- [33] Campbell, I. The influence of geologic hazards on legislation in California[J]. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 1976, (14): 201~204.

The Basic Topics of Prediction and Forecast for Geomorphic Hazards ——Taking Debris Flow as an Example

LIU Xi-lin¹ and MO Duo-wen²

(1. *Institute of mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041 PRC;*
2. *Department of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871 PRC*)

Abstract: From the definition of geomorphic hazards, this paper expounds four basic topics should be solved for the prediction and forecast of geomorphic hazards. Two ways and four methods are introduced for the prediction and forecast. Taking debris flow as an example, the paper discusses the research developments and hot spots, difficult points, and possible breakthrough points, as well as the research emphases and possible points of tangency at present and later period of time. Also the paper summarizes a series of practical empirical formulae and their applied problems for the small-scale space prediction, magnitude prediction, occurrence prediction including reoccurrence year, rainfall and hazard degree for debris flows in national and international scopes. Finally the paper clarifies the importance of hazard assessment, prediction and forecast in the domain of catastrophology.

Key words: geomorphic hazards; debris flow; prediction and forecast; hazard assessment