

# 潜在泥石流的界定与判识<sup>\*</sup>

## ——以金沙江流域溪洛渡库区为例

庄建琦, 裴来政, 丁明涛, 陈兴长

(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. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 四川 成都 610041; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘 要:** 选择在建的溪洛渡库区作为研究区域, 通过详细的野外考察, 确定金沙江流域溪洛渡库区干流共有现代活动泥石流沟 57 条。利用 Matlab 构建 SOM 神经网络模型, 依据这 57 条泥石流样本, 选择流域面积、主沟长度、相对高差、沟床比降、平均坡度、相对切割程度、圆状率和侵蚀程度等 8 个指标, 对干流 46 条沟谷进行预测。预测结果分为: ①非泥石流沟有 19 条, 分布在雷波-永善三角台地上; ②低危险潜在泥石流沟有 14 条, 分布在库区尾端; ③高危险潜在泥石流沟有 13 条, 分布于库区中间位置。预测结果可以为库区生态修复和工程治理提供依据。

**关键词:** 潜在泥石流沟; 判识; SOM; 溪洛渡库区; 金沙江流域

**中图分类号:** P642.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2009)04-0001-05

## 0 引言

泥石流是我国山区的主要自然灾害之一, 多沿主要河流分布, 泥石流成灾率高, 影响面广, 对流域经济开发、重大水电、交通等工程建设带来严重威胁。如何判定泥石流沟, 是相关工程建设必须考虑的问题, 同时泥石流判识是泥石流灾害调查、预测预报和防灾减灾管理的基础性工作之一。为了适应山区建设与发展 and 泥石流灾害防治工作的需要, 国内外在泥石流判识方面开展了大量的工作和研究。

泥石流沟的判识, 是要科学区分泥石流沟和一般的洪水沟。谭炳炎<sup>[1]</sup>依据沟谷的地形、地貌和地质水文等条件采用统计打分的方法对泥石流沟进行判别; 钟敦伦等<sup>[2]</sup>从泥石流形成的地质、地貌分析和沉积物、泥痕分析等, 提出泥石流沟判别方法; 王礼先等<sup>[3]</sup>从地质、地貌、沟谷形态等 10 个要素的特征进行泥石流荒溪和非泥石流荒溪的判别。Margaropoulos<sup>[3]</sup>领导联合国荒溪分类工作组对欧洲荒溪提出了分类方法和分类因子, 能估算任意一条荒溪的潜在危险性, 从而实现了潜

在泥石流的判识; 泥石流沟判识方法从简单的分类方法发展到复杂的综合评判方法、从定性判识发展到定性与定量相结合的判识、从野外调查发展到野外考察与室内解译相结合的判识。尤其是随着 GIS 技术的发展, 为潜在泥石流的判识提供了很好的工具, 空间分析方法可以从地形图中获取各种参数: 坡度、流域面积、沟床比降, 再利用现有的侵蚀模型求算侵蚀强度等, 这些参数是沟谷演化的结果, 也是泥石流发生所需的必要条件, 可以很好的用来进行潜在泥石流沟分析。其次, 在判别方法上, 人工智能能够提供很好的参考工具, 它能根据输入参数, 自我调试, 实现判别要求<sup>[4]</sup>。在这项研究中, 主要的参数都将在 GIS 中实现, 最主要的目的是利用 GIS 来获取与泥石流发生有关的各种参数, 建立潜在泥石流沟判别模型, 然后进行潜在泥石流判识。

## 1 金沙江流域概况

该区域为云贵高原与四川盆地两大地貌单元所接壤的大凉山向川中盆地过渡地段, 这样的格局使得区内地势落差大, 属强烈侵蚀高、中山地

\* 收稿日期: 2009-05-22

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-302); “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAC10B04)

作者简介: 庄建琦(1982-), 男, 河南商丘人, 博士研究生, 主要从事山地灾害评价方面的研究。

E-mail: zhuangjianqi06@mails.gucas.ac.cn

貌类型。地势总体西高东低,山脉走向以近南北及北东向为主,与构造线展布方向一致,山岭海拔高程多在 2 000 ~ 3 500 m 之间,最高山脉为药王山 4 040 m。金沙江河谷呈北东向深切其间,山高谷深,河谷狭窄,河谷高差一般在 1 000 ~ 3 000 m (图 1),山坡坡度多在 30° ~ 50° 以上,坡面稳定性差,多数地方为陡坡耕种区,加上区内活动断裂和地震带的影响,极易发生滑坡,从而转化为泥石流。在近代受人类活动影响,下游地区原始森林已遭破坏。耕地多为坡耕地,采用轮耕制,撂荒地较多。汛期降雨集中,雨强大,致使水土流失严重。据水利部有关数据,金沙江水土流失面积达 13.54 万 km<sup>2</sup>,占流域面积的 28.6%;金沙江多年平均输沙量为 2.58 亿 t,是长江上游地区产沙量最多的河流,占长江宜昌站来沙量的 48.8%<sup>[5]</sup>。地质构造上,该区内构造以 NE 向和 NS 向褶皱、断裂为主,并发育有伴生的 NW 向小断层。雷波至马边一带为强烈地震带,属 IX 度地震烈度区。

## 2 潜在泥石流的界定和危害

泥石流沟分为确定泥石流沟、非泥石流沟和潜在泥石流沟，确定泥石流沟是指具有明显泥石流活动痕迹，并有暴发泥石流记录的沟谷；非泥石流沟是指没有泥石流活动痕迹，不具备泥石流暴发的可能，也没有泥石流活动记录的沟谷；所谓潜在泥石流，就是处于两者之间的沟谷，泥石流活动痕迹不明显，在可预见的时间范围内具有发生泥石流的可能性的沟谷，可能性有多大，在什么时候发生就要根据具体沟谷而定。根据这个定义我们可以看出潜在泥石流具有以下几个特点：①以前没有泥石流发生记录；②具有发生泥石流的可能条件；③在流域演化背景条件下，可以发展为泥石流沟；④在遇到人为环境破坏和强降雨天气时，能够形成泥石流。

有时由于误判,把尚未暴发泥石流的沟谷作为清水沟道或一般山洪沟谷来处理,而酿成巨大灾害

的事件屡见不鲜。同时将一般的清水沟道或山洪沟谷作为泥石流沟进行处理防治,会增加工程开发成本。据统计,绝大部分特大灾害都是由于事前没有准确地判别灾害,或采取预防措施不力而造成。西南地区是泥石流、滑坡最为发育、成灾最为严重的地区,其中的大规模工程建设区又是人类活动和经济建设最为集中的地区,一旦发生灾害,损失不可估量。如四川德昌县凉峰沟支沟古架山沟,是一条没有流水的干沟,这条支沟仅有非常小的流水,可以维持几户人家的生活用水;2003年8月24日,突发泥石流,将居住在沟口一位老太太冲走,并且数间房屋被毁<sup>[6]</sup>。潜在泥石流的危害具有:①很强的不可预见性;②潜在危害性很大;③在遇到特大暴雨时,沟床物质便会启动,形成大规模泥石流。可见潜在泥石流的判别对于有效防治泥石流,减小灾害损失具有必要性。

### 3 资料获取

进行泥石流流沟的判识和评价,首先要获得可靠的泥石流流沟数据,由于在泥石流判识存在差异,不同组织和专家对该流域泥石流流沟的数量一直没有确切的定论。刘洪江根据泥石流滑坡活动规律和特点,从色调、形状、位置、大小、纹理等特征入手建立了解译标志,利用人-机交互解译方式,判定研究区内共有泥石流 140 条。国家电力咨询公司成都勘测设计研究院依据 1978 年航片和 1997 年雷达影像,采用人-机交互解译方式,判定研究区域内共有泥石流 68 条。两者在数量上差距很大,在建立指标和解译方式上也存在不同,因此解译结果有很大的出入,同时也反映出泥石流的判识目前还存在很大的不足,在判识指标、判识方法还有待提高。作者根据 2002 年 ETM 遥感影像资料、溪洛渡库区泥石流分布资料和详细的野外调查,共查出该区域共有现代活动泥石流流沟 57 条(表 1),将这些泥石流流沟作为泥石流流沟样本资料,沿岸其他沟谷作为待判定样本资料(图 2)。

表 1 泥石流沟统计表

[illegible]

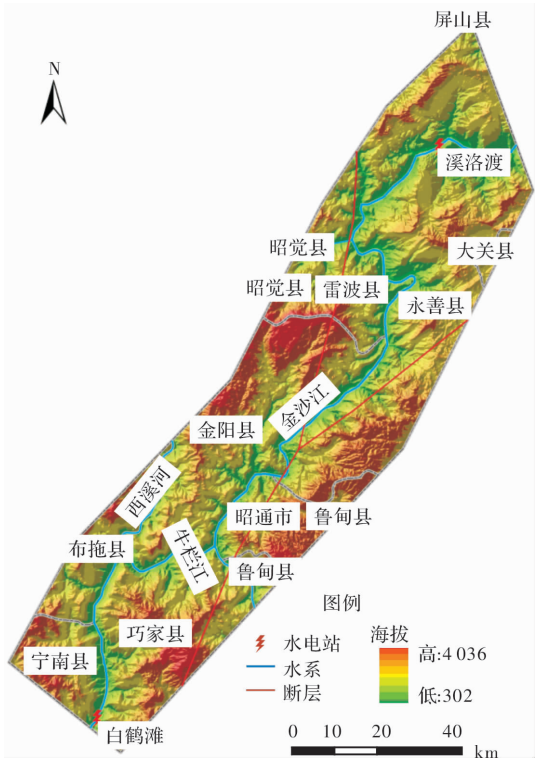


图1 研究区域概况

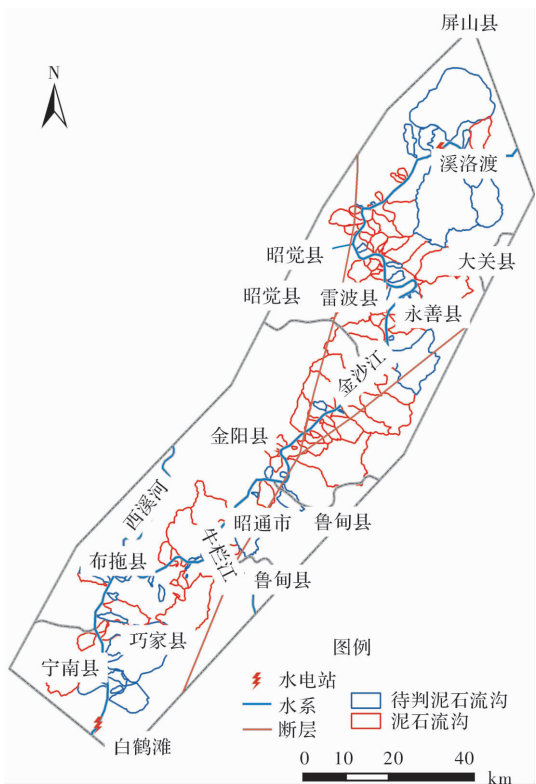


图2 泥石流沟分布图

地形图资料是利用 1:5 万国家测绘地形资料和美国 NASA 提供的 SRTM DEM 资料, 用来提取沟谷资料, 主要包括相对高差、切割程度、坡度、平均坡度和沟床比降等。土壤侵蚀数据利用已有

土壤侵蚀分级资料, 其次是利用土壤敏感性指标, 土壤、土地利用、坡度等, 结合 GIS 技术, 分为 4 个等级, 轻度侵蚀、中度侵蚀、重度侵蚀和剧烈侵蚀, 然后根据沟谷范围, 确定重度侵蚀和剧烈侵蚀占沟谷面积的百分比。

4 潜在泥石流的判识

4.1 判识指标选取

一条沟谷是否是潜在泥石流沟, 主要是看其发展成为泥石流的可能性有多大, 它受到许多因素影响(包括控制因素和影响因素等), 各因素的影响作用也不尽相同, 其影响因子的选择的主要依据其演化的结果和人为活动进行选择。参照前人研究成果和区域泥石流分布概况, 选取 8 个相对稳定的评价因子, 即地貌演化指标: 流域面积、主沟长度、相对高差、沟床比降、平均坡度、相对切割程度和圆状率; 影响因素: 重度侵蚀所占面积百分比; 降水虽然是泥石流形成的最重要的激发因素, 但由于降水只是对潜在泥石流沟形成泥石流有重要作用, 但对于泥石流沟是否是潜在泥石流沟影响甚微, 同时研究区域较为集中, 降雨条件在该区域没有较大差异。因此, 暂不考虑降水对潜在泥石流判识的影响。有关这些影响因子对泥石流形成的作用, 许多学者已进行较多描述, 本文只作简要说明(表 2), 以上指标可以通过 ARCGIS 工具, 结合相关公式, 逐一计算出来。

表 2 指标选择即表征意义

指标	表征意义
流域面积	清水流量大小
主沟长度	汇流路径长短
相对高差	势能大小
沟床比降	泥石流启动所能提供的势能
平均坡度	松散物质汇集快慢
相对切割程度	流域破碎度
圆状率	清水汇流快慢
侵蚀程度	人为因素和土地利用情况

4.2 方法选取

潜在泥石流沟的判识, 就是分析沟谷在影响因素的作用下, 演化成(形成)泥石流的可能性。以沟谷为评价单元, 从数据属性中提取定量指标, 依据相关判识方法, 建立评价模型, 进行泥石流易发程度评价分析。潜在泥石流的判识是典型的模式识别问题, SOM 神经网络具有自我无监督学习能力, 与其它分类方法相比, SOM 是一种自组织和自学习的网络, 其优点在于可以实现实时学

习,网络具有自稳定性,无需外界给出评价函数,能够识别向量空间中最有意义的特征等<sup>[4]</sup>。因此,在判别方法上选择 SOM 神经网络模型进行判别。

SOM 网络由单层神经元网络组成,其输入节点与输出节点之间为双向权连接。因为网络在学习中的竞争特性也表现在输出层上,所以输出层又可称为竞争层,而与输入节点相连的权值及其输入合称为输入层。竞争层可以由一维或二维网络矩阵方式组成,本文选择二维网络的结构,输入节点位于下方,有 8 个矢量,网络上层是输出节点,按二维形式排成一个节点矩阵;所有输入节点到所有输出节点之间都有权值连接,而且在二维平面上的输出节点相互间也可能是局部连接的。有关 SOM 模型的描述很多,这里不再累赘,只简要说明研究步骤:①样本参数标准化;②连接权值初始化;③输入训练样本;④计算输入与全部输出结点所连的权向量的欧氏距离,具有最小欧氏距离的输出结点获胜;⑤循环计算,调整步数,得出满意的 SOM 分类方案;⑥输入预测样本,进行预测。

所用工具为 MATLAB 6.5 中的神经网络工具箱,将野外调查的 57 条泥石流样本作为输入样本,使之具有一定的训练方向,构建 SOM 预测模型。

## 5 数据模拟预测

由于所选因子之间处于不同的数值范围,单位不同,差异很大,不能用于直接输入模型,在进行运算之前必须对数据进行处理,常用的处理方法是将数据归一化,即归一化后变量的均值为 0,方差为 1,其几何意义相当于将坐标原点移到重心<sup>[7]</sup>,归一化后的数据作为训练和预测样本。然后利用 Matlab 构建 SOM 网络模型,输入层是 8 个参数,选取 57 个样本为训练样本,对这 57 个样本按以上 SOM 网络学习算法进行学习训练。训练方法选择 trainlm 算法和函数 sim 函数进行训练与仿真。设置迭代最大次数为 5 000,初始学习率为 0.5。训练完成后,随机抽出 5 条泥石流沟样本进行检验,误差达到要求后,对待检验样本数据进行模拟预测。经过 2 000 次训练后,不同维数的网络权值分布不再明显改变,也就是说 46 个样本中多数样本的归属类别不再发生变化(图 3)。

由于 SOM 采用了邻域学习方式,最终可使位置相邻的神经元也是相似的,同样地,相似数据

对应的获胜神经元也是相近的。因此,距离训练样本距离愈近,数值就愈小,说明其发生泥石流的可能性就愈大,属于泥石流沟范畴。得到的每个样本的值,范围很大,为了更好的显示归属和下一步处理,将其进行归一化处理,使其处于 0~1 之间,并倒置数据,使其值越接近 1,发行泥石流的可能性就越大。然后根据分位数分割原理,将预测结果分为 3 个等级,没有发生泥石流可能的沟谷,即非泥石流沟,发生泥石流可能性低的沟谷,即低危险潜在泥石流沟,和发生泥石流可能性高的沟谷,即高危险潜在泥石流沟;其中属于非泥石流沟的有 19 个,属于低危险潜在泥石流沟的有 14 个,属于高危险泥石流沟的有 13 个。其分布见图 4。

根据图 4,可以看出:大型非泥石流沟主要分布在雷波-永善三角台地上,该区域地质条件稳定,不易形成大型泥石流沟;低危险潜在泥石流沟主要分布在库区尾端,远离主断层;高危险泥石流流域面积相对较小,主要分布于库区中间位置。

## 6 结论

潜在泥石流沟判别是进行评价和防治前提条件,野外无法人为进行判定的沟谷,利用 SOM 网络模型进行潜在泥石流沟判定,可以为工程开发和泥石流防治提供参考,通过对溪洛渡库区金沙江干流两岸的 46 条沟谷进行判定,根据分位数分割原理,将预测结果分为 3 种情况:①没有发生泥石流可能的沟谷,即非泥石流沟有 19 条,分布在雷波-永善三角台地上;②发生泥石流可能性低的沟谷,即低危险潜在泥石流沟有 14 条,分布在库区尾端;③发生泥石流可能性高的沟谷,即高危险潜在泥石流沟有 13 条,分布于库区中间位置。

SOM 神经网络模型是一种基于统计学规律模型,它能够进行大区域的泥石流判别,这需要大量的空间数据,GIS 工具为此提供了可能。该文只是利用已有的神经网络模型,对区域性泥石流进行判别,要从根本上解决潜在泥石流的判别,需要从泥石流形成机理上进行研究,这需要大量的实验数据和详细的野外考察工作,对于大型水电工程建设是难以实现的,尤其是在深切峡谷地段。此后的研究工作需要寻求更好的方法,根据泥石流形成的关键因子,对地面-土体-降水耦合作用和概率分布的潜在泥石流判别进行研究,从根本上解决潜在泥石流的判别工作。

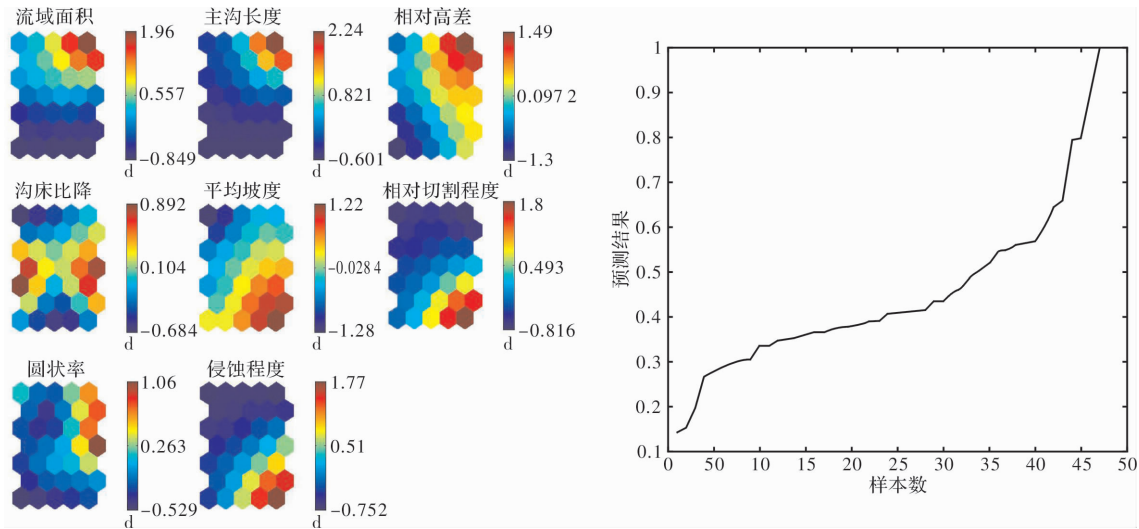


图3 SOM 训练结果示意图

**致谢：**感谢崔鹏研究员和钟敦伦研究员在野外考察中给予的帮助和建设性意见！

**参考文献：**

[1] 谭炳炎. 泥石流沟的严重程度的数量化综合评判[J]. 水土保持通报, 1986, 6(1): 51-57.

[2] 中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所. 中国泥石流[M]. 北京: 商务印书馆, 2000.

[3] 王礼先, 于志民. 山洪及泥石流灾害预报[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.

[4] 韩力群. 神经网络理论、设计及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.

[5] 张建平, 王道杰. 元谋干热河谷区森林消长与生态环境变化研究[J]. 中国沙漠, 2001, 21(1): 79-83.

[6] 刘希林, 倪化勇, 苏鹏程. 四川德昌县凉峰沟泥石流灾害特征及防治对策[J]. 灾害学, 2005, 20(3): 68-72.

[7] 韦玉春, 陈锁忠. 地埋建模原理与方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005: 156-223.

(下转至第 10 页)



图4 预测结果图