

国家安全地球物理丛书（九）

防灾减灾与国家安全

刘代志 主编



中国地球物理学会国家安全地球物理专业委员会
陕西省地球物理学会军事地球物理专业委员会

编

西安地图出版社

国家安全地球物理丛书（九）

防灾减灾与国家安全

刘代志 主编

中国地球物理学会国家安全地球物理专业委员会
陕西省地球物理学会军事地球物理专业委员会

编



西安地图出版社

图书在版编目(CIP)数据

防灾减灾与国家安全/刘代志主编. —西安:西安地图出版社, 2013. 10

ISBN 978-7-80748-963-4

I. ①防… II. ①刘… III. ①灾害防治—中国—文集
②国家安全—中国—文集 IV. ①X4-53②D631-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 267073 号

著作人及著作方式:刘代志 主编

责任编辑:吕妮娜

书 名:防灾减灾与国家安全

出版发行:西安地图出版社

地址邮编:西安市友谊东路 334 号 710054

印 刷:西安地质矿产研究所印刷厂

规格开本:787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张:32

字 数:768 千

印 数:001—200

版 次:2013 年 11 月第 1 版 2013 年 11 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-9-80748-963-4

定 价:68.00 元

《国家安全地球物理丛书（九）》编委会

主 编：刘代志

副 主 编：李夕海 张金城 黄世奇

编 委：（以姓氏笔画为序）

王仕成 龙 凡 刘代志 刘怀山

刘志刚 李夕海 张金城 黄世奇

《国家安全地球物理丛书》编审委员会

顾 问：刘光鼎（院士） 何继善（院士） 刘振兴（院士）

许绍燮（院士） 魏奉思（院士） 游光荣（总工）

徐文耀（研究员）

主 任 委 员：刘代志

副主任委员：龙 凡 靳 平 王仕成 刘怀山 张金城

秘 书 长：李夕海

委 员：（以姓氏笔画为序）

王仕成 王晓航 龙 凡 边少锋 刘 刚 刘代志 刘光斌

刘怀山 刘志刚 刘 波 刘新学 孙中任 孙凤华 孙更文

孙新利 朱培民 杜爱民 许 鹏 李夕海 李艾华 李学正

吴时国 何 彬 余志勇 张全虎 张金生 张金城 陈 洁

查石祥 周坚鑫 高增勇 郭有光 顾左文 徐白山 陶 勇

童思友 曾新吾 韩天成 韩吉民 靳 平 慕晓冬 滕云田

前 言

人类活动对环境的影响凸显,导致全球气候变化和自然环境恶化成为不争的事实。近年来各种极端天气事件和工程灾难性事故(地下工程中的塌方、突水;矿难、火灾、核泄漏等等)频现,加上各种自然灾害(特别是地震、海啸、火山,还有空间灾害性天气等等)频繁出现,使得防灾减灾成为影响国家安全的重要因素。为了维护国家安全和人民生命财产安全,非战争军事行动也上升到军队的重要任务之一。

继 2008 年的南方冰冻、汶川地震,2010 年的玉树地震,到 2013 年的芦山地震、定西地震,以及各次抗洪救灾等,军人永远冲在第一条线。因此,防灾减灾与国家安全不仅关系密切,而且涉及各种地球物理问题,需要应用地球物理理论、方法与技术去解决。2013 年 8 月下旬,在武汉市召开了主题为“防灾减灾与国家安全”的第九届国家安全地球物理学术讨论会,研讨了各种防灾减灾中的地球物理问题。本论文集收录论文 80 篇,内容主要涉及各种灾害(泥石流、工程崩塌、渗漏、滑坡、地下工程突涌水、森林火灾、灾害性空间天气、海洋灾难、地震与山洪等等)的评价、监测、防治、应急机制与管理等方面的方法理论与技术,和防灾减灾中涉及的一系列地球物理理论、方法与技术问题研究。

中国地球物理学会名誉理事长、中国科学院院士刘光鼎先生,始终关心和支持我们的工作,国家安全地球物理专业委员会和军事地球

物理专业委员会的挂靠单位——第二炮兵工程大学一直资助《国家安全地球物理丛书》的出版，王耀鹏校长、马力政委和科研部首长给予了诸多指导与关心。本辑丛书的出版继续得到专业委员会各位委员与同行专家的有力支持和指导。我们将一如既往地出版好《国家安全地球物理丛书》，促进国家安全（军事）地球物理学科的健康发展。

值此本辑丛书出版之际，谨向各位首长、专家和同志们表示真诚的谢意。

刘代志

2013年11月2日

目 录

基于遥感信息的泥石流灾害易发区综合评价

..... 于德浩, 王 康, 何俊仕, 龙 凡, 李 霞, 盖世臣 (1)

基于 ArcGIS 三维分析的崩塌灾害预测

..... 龙 凡, 于德浩, 李 霞, 王 康, 杨 彤 (11)

基于 WSN 的森林火灾预警系统研究

..... 张金城, 杨 威, 范启雄, 王淑萍 (15)

基于地面中子监测的灾害性空间天气预警技术研究

..... 石 苗, 魏志勇, 陈国云, 方美华, 张紫霞 (19)

灾害性空间天气对国家安全的影响与对策

..... 王胜国, 谢志辉, 赵增亮, 陈润强, 孙泽中, 路 芳, 张义生 (27)

崩塌灾害成因分析及防治措施..... 于德浩, 李 霞, 龙 凡, 王 康, 杨 彤 (33)

基于物联网的海洋灾害监测预警系统探讨 周玉坤, 徐白山, 孙克红, 靳 辉 (40)

浅谈海洋地震勘探 张一鸣, 童思友 (46)

DTS 系统在隧道火灾和渗漏探测中的应用 范启雄, 李天河, 唐 莉, 齐占伟 (52)

基于遥感技术的滑坡监测方法研究..... 杨 威, 张金城, 齐占伟, 范启雄 (58)

一种基于双密度双树复小波变换和 SAR 图像的自然灾害监测方法

..... 黄世奇, 刘代志, 王百合, 张翠平 (63)

绘制 SEG-Y 格式地震剖面的技术研究 李 旭, 刘怀山 (69)

低信噪比地震资料的地震子波提取方法 张 进, 张运洁, 李 倩, 应茜羽 (76)

5.12 汶川特大地震远程次声信号分析 王晓航, 赵树卿 (84)

基于 GIS 的滑坡预测方法研究 李 霞, 于德浩, 龙 凡, 韩天成, 王 康 (90)

汶川地震活动期间气象异常的初探..... 李 妍, 张 勇, 孟 亮 (97)

地下工程突涌水灾害研究最新进展及数值模拟 李天河, 范启雄, 张卫兵 (103)

对中美两国灾害应急组织机制的比较 刘 菲, 范启雄, 张金城 (114)

基于突变级数法的地下工程围岩稳定性综合评价

..... 张金城, 范启雄, 周家丹 (119)

基于嵌入式技术 ARM&VxWorks 的地震数据采集器系统设计

..... 王敏超, 王红春, 靳 平, 李盼锋, 肖卫国, 沈旭峰, 李学政, 张诚臻 (126)

AMT 在煤矿采空区探查的应用效果..... 孙中任, 赵雪娟 (133)

金属露天矿滑坡灾害监测技术的研究	孙克红, 徐白山, 王永增, 周玉坤, 靳 辉 (140)
灰色聚类分析理论及其在灾害等级归属问题中的应用	范启雄, 段成君, 韩若飞 (147)
BOTDR 温度监测技术在隧道工程中的应用研究	张卫兵, 王淑萍, 范启雄 (152)
基于 GIS 的地下工程山洪灾害风险评价研究	唐 莉, 张金城, 杨建明, 熊 璘 (157)
浸没式中空纤维超滤膜处理灾后高浊度地表水的试验研究	李永红 (164)
基于 GIS 技术洪水淹没区确定及模拟	金国栋, 芦利斌 (170)
基于遥感信息的沙漠湖泊矿化度影响因子分析及评估模型研究	郑 璞, 邓正栋, 于德浩, 关洪军, 龙 凡 (175)
基于次声的自然灾害预警概述	姜 楠, 张 勇, 孟 亮 (180)
可燃制冷剂泄漏引发燃烧爆炸问题研究	张金城, 周家丹, 熊 璘 (186)
模糊综合模型在地下工程应灾等级评价中的应用	杨建明, 唐 莉, 李 锐, 杨 威 (192)
我国的气候变化趋势及其对国家安全的影响	陶 勇, 刘四喜, 姚雪峰 (202)
一次冷锋型低空风切变的数值模拟研究	李国静, 莫 毅, 高 超 (211)
地下工程洞室交叉部位塌方的处理技术	范启雄, 熊 璘, 刘 菲 (220)
地下工程防范地质灾害威胁对策研究	韩若飞, 张金城, 范启雄 (227)
矿井瓦斯突出危险性预测问题研究	周家丹, 熊 璘, 范启雄 (234)
隧道火灾安全疏散设计研究	张卫兵, 范启雄 (240)
基于 AHP 和风险度综合指数模型的农业气象灾害风险评估	陈春梅, 王正元, 张 辉 (246)
气象雷达新技术及其在防灾减灾中的应用	范启雄, 杨 威, 张卫兵 (253)
频率域高精度 Radon 变换压制多次波	张 进, 应茜羽, 张运洁, 李 倩 (260)
基于两步法预测反褶积的变周期鸣震压制技术研究	葛晓丹, 许马光, 李林伟, 童思友 (266)
基于 GIS 和 Oracle 的多源地震数据集成管理	郑学锋, 王同东, 靳 平, 潘常周, 张慧民, 徐 雄, 孙煜薇 (272)
美国《国家安全空间战略》分析与思考	沙孝鸣, 吴耀平, 赵思楠 (279)
常用次声信号提取方法分析	许 伟, 林源根, 陈玉波, 李虹轶, 王晓航 (283)
南黄海中部隆起区广角反射正演模拟研究	龚 岳, 刘怀山, 刘 凯, 岳 龙 (289)
基于自适应函数最小平方反褶积方法	张 进, 黄庆文, 李唐律, 岳 龙 (296)
基于航磁数据的地下水快速探测技术综述	王 康, 于德浩, 何俊仕, 龙 凡, 李 霞, 盖世臣 (303)
ET 封顶层设计与孔隙水运移特性分析	杨 彤, 杨清雷, 张金利, 刘成玮 (309)

重金属在黏土中迁移的土柱试验研究	杨清雷, 杨 庆, 李 宏, 杨 彤 (316)
F 检测原理及其在 NDC 的应用研究	刘哲函, 王小明, 刘俊民, 王海军, 唐恒专 (322)
基于空间谱估计的次声定位方法研究	马 彦, 郑 毅, 范江兵, 李 鹏 (331)
基于噪声水平估计的自适应双边滤波算法	南 栋, 毕笃彦, 马时平, 姜小龙 (337)
基于有限元插值方法的电磁数据规格化及覆盖范围重建	刘 刚, 王明昊, 孙 伟, 张文波 (345)
基于自适应匹配滤波的直达波去除方法	李唐律, 童思友 (352)
基于最大交叠小波变换的功率谱估计研究	朱金强, 刘怀山 (358)
基于 ATF 模型的单幅图像去雾算法	姜小龙, 毕笃彦, 李权合, 南 栋 (364)
基于特征认知反馈机制的图像去雾方法	 李权合, 毕笃彦, 南 栋, 马江峰, 姜小龙 (370)
高光谱成像技术及其在目标检测中的应用进展	卢云龙, 刘志刚 (377)
基于光谱角分析的端元光谱聚类方法研究	王百合, 刘志刚, 李义红 (382)
从信息的角度看高光谱遥感技术	王艺婷, 黄世奇, 王红霞 (387)
高光谱混合像元分解技术研究综述	魏一苇, 黄世奇 (393)
一种基于融合信息的 SAR 图像油库检测方法	陈 炜, 苏 娟, 杨 罗 (401)
近场小地震权重定位	李学政, 何 燕, 王敏超 (405)
RDSS _ GT 地震事件波形的自动下载及处理	孙显薇, 郑学锋, 潘常周, 金 赞, 靳 平, 徐 雄, 陈虎虎 (410)
平流层飞艇在防灾减灾中的应用简析	苗育红, 李 斌, 王顺宏, 张燕红 (415)
气象要素对次声降噪系统性能的影响分析	张 勇, 李夕海, 孟 亮, 姜 楠 (420)
大气细微粒子分形结构和空气动力学性能的数值模拟研究	宋仔标, 张蜀雄, 刘丽英, 吴晓露 (428)
局域电磁波中值路径损耗建模研究	何 恒, 杨晓云 (433)
海流感应磁场干扰消除方法	吕俊伟, 于振涛, 王 哲 (437)
缓始磁暴与电离层 TEC 扰动特点分析	 李义红, 刘代志, 李夕海, 王百合, 牛 超 (443)
一种飞行器载体干扰磁场的测量方法 ...	蔡欣华, 樊宇韬, 乔玉坤, 张金生, 王仕成 (450)
地磁场静日变化 S_q 研究概述	牛 超, 齐 玮, 李夕海, 易世华 (456)
飞行器惯性/地磁组合导航仿真研究	乔玉坤, 张金生, 张琪, 蔡欣华, 王仕成, 常新龙 (463)
HPGe γ 谱仪在福岛核泄漏核素检测中的应用	周春林, 雷俊牛, 周 萌 (471)
湿度对固体核径迹探测器测氡结果的影响	霍勇刚, 许 鹏, 路志勇, 李站良 (475)

澜河流域放射性核素铀分布特征研究	周春林, 雷俊牛, 戴军杰 (479)
地球变化磁场时间序列的 Volterra 级数自适应预测模型研究	牛 超, 卢世坤, 李夕海 (483)
基于 AR 模型—互信息量的时间序列非线性度量	卢世坤, 李夕海, 牛 超 (489)
边信道攻击策略研究	曹岱伟, 刘 刚, 王 楠, 郭 军 (494)
基于物联网技术的应急救援平台设计	杨晓云, 何 恒 (500)
第八届国家安全地球物理专题研讨会会议纪要	(504)

基于遥感信息的泥石流灾害 易发区综合评价

于德浩^{1,2}, 王 康^{1,3}, 何俊仕³, 龙 凡^{1,2}, 李 霞^{1,2}, 盖世臣³

(1. 沈阳军区司令部工程科研设计院, 沈阳 110162; 2. 国土资源部航空地球物理与遥感地质重点实验室, 北京 100083; 3. 沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110866)

摘 要 为了及时掌握泥石流易发区信息, 为开展防灾减灾工作提供基础数据, 通过指标筛选, 建立了泥石流灾害易发性评价指标体系, 经量化分析, 生成各指标因子专题图, 通过 ERDAS 空间建模, 进行叠加分析, 得到了泥石流易发程度分区图, 在实际防灾减灾应用中取得了良好的效果。

关键词 泥石流 地质灾害 综合评价 易发区 空间建模

Comprehensive Evaluation of the Potential Mudflow Areas Based on Remote Sensing

Yu Dehao^{1,2}, Wang Kang^{1,3}, He Junshi³, Long Fan^{1,2},
Li Xia^{1,2}, Gai Shichen³

(1. Engineering Research Institute, Shenyang Military Area Command, Shenyang, 110162, China; 2. Key laboratory of airborne geophysics and remote sensing geology, Ministry of land and resources, Beijing, 100083, China; 3. College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: In order to get the susceptible area information of the mudflow, and provide the basic data for the disaster prevention and mitigation, an evaluation index system for susceptible areas of mudflow was built up. According to the quantitative analysis, the factors' thematic maps were drawn. Potential map of mudflow was got from overlay analysis based on spatial model under the ERDAS circumstance. Good results are acquired in the practical disaster prevention.

Key words : mudflow; geologic hazards; comprehensive evaluation; susceptible area; spatial modeling

0 引言

泥石流 (mudflow) 是介于挟沙水流和滑坡之间的山区土 (碎石)、水、气的混合流^[1]。它是泥沙在水动力作用下失稳后, 集中输移的自然演变过程之一, 具有严重的灾害性。近年

基金资助: 国土资源部航空地球物理与遥感地质重点实验室航遥青年创新基金资助 (编号: 2013YFL12); 国家“863”计划项目资助 (编号: 2012AA062601); 国家“十二五”重点攻关项目中国地质调查局项目资助 (编号: 1212011220107、12120113099800); 中国博士后科学基金资助 (编号: 20110491905)。

作者简介: 于德浩 (1981—), 男, 博士后, 主要从事工程选址、目标识别、遥感技术等领域的研究工作。
E-mail: gsrs_fish@163. com.

来,国内泥石流灾害频发,无时无刻不在威胁着人民的生命和财产安全,尤其南方洪水严重,经常伴发着泥石流,使抗灾抢险工作的开展难以进行。本文通过综合分析泥石流的成因,最终筛选出 20 个指标因子,形成综合评价指标体系,并应用空间建模,对某地区各专题叠加分析,划分出泥石流易发程度分区图,对开展该区的泥石流防灾减灾工作意义重大。

1 泥石流成因分析

泥石流的形成主要与降水、松散堆积物、地形等自然因素及人为因素有直接关系^[2]。

本次研究对形成泥石流的这些复杂的因素主要由地层年代、地层岩性、风化程度、堆积厚度、断裂构造、地震、高程、坡度、坡向、相对高差、纵坡比、流域形态、流域面积、沟谷纵比降、沟谷密度、植被类型、植被覆盖率、年平均降雨量、年平均暴雨日数、暴雨强度、冰雪水、采矿废渣、采石、森林乱伐等 24 个因子组成^[2-6]。

地层年代、地层岩性可以初步用来描述岩石的松散程度、完整性、节理发育情况等。风化程度可以进一步确定岩石的完整程度,岩石风化强烈、破碎,容易在泥石流爆发时产生滑坡、崩塌等地质灾害,这些地质灾害的发生为泥石流提供丰富的物源。堆积厚度可以从一定程度上判断泥石流物源补给量的大小。断裂构造作用使岩石的完整性、坚固性及稳定性均遭到极大的破坏。断裂主要包括断层与裂隙,断裂带内软弱结构面较为发育,岩石较为破碎,形成了大量的断层角砾岩、断层泥、糜棱岩、压碎岩及碎块岩等动力变质类型岩石,这些直接为泥石流的形成提供了大量的松散固体碎屑物质^[7,8]。地震,作为新构造运动的一种表现形式,地质作用的表现形式主要是使山体的破碎性加重,使岩石的强度降低,从而为泥石流形成提供松散固体物质来源,加剧泥石流的活动,或者使已经沉寂的泥石流沟重现^[3,9];此外在地震的动力作用下,亦有可能引发泥石流。高程值对泥石流最终的堆积起着关键作用,隆起或低洼地带对最终泥石流的分布所起到的影响作用是显而易见的。沟谷流域内山坡坡度的大小,直接影响到泥石流的活动。斜坡坡向对泥石流的形成、分布和活动强度也有一定影响。

阳坡和阴坡比较,阳坡上降水量较多,冰雪消融快,岩石风化速度快、程度高等有利条件,故一般比阴坡发育好,例如我国东西走向的秦岭和喜马拉雅山的南坡上产生的泥石流比北坡要多得多。相对高差可以间接反映泥石流运动的搬运能力,相对高差和纵坡比越大。泥石流暴发的动力条件越充分,下泄量越强,造成的危害就越大;沟谷流域形态对于泥石流活动或坡面汇流,最有利的流域形态为圆形或似圆形^[10];流域面积的大小是确定沟谷水动力条件的主要参数,流域面积越大,水动力条件越好,反之则水动力条件越差。但对于泥石流活动,则是当沟谷流域面积在某一范围内最为有利。沟谷纵比降是直观反应沟谷径流的坡度,也是影响沟谷水动力条件的重要参数之一。泥石流沟谷密度,指单位面积内泥石流沟数量,它表明了区内泥石流发育历史,同时也反映灾害严重情况。植被类型主要是指乔木林、灌木林和草三种植被类型中,灌木林中植物种类多、密度大、结构复杂,因此拦截泥石流的能力强,对泥石流的控制作用最大,其次为草,最差的植被类型是乔木林^[11]。植被覆盖率对泥石流的发育发展也有着较大的影响,植被覆盖好的地方,水土不容易流失,且植被对泥石流发育有一定的控制作用。年平均降雨量、年平均暴雨日数、暴雨强度是泥石流暴发的触发因素^[12],因降水量越大,暴雨出现的机会就越多,易发生泥石流;冰雪融化的水亦可触

发泥石流；雨强对山区暴雨型泥石流的发生非常重要。人类活动中的开矿弃渣、开采石料、砍伐森林等不良行为加速了泥石流的形成和发展。

2 指标筛选及确定

泥石流形成是由泥石流形成因子综合评判的，因此，选取适当的指标因子是泥石流易发区评价的关键所在。选出的泥石流形成因子，必须能够表征泥石流形成的过程机理，因此选取的过程既要考虑各因子的科学性，又要有代表性，同时还要考虑其可行性与简便性。

在上述指标中，地层年代和地层岩性对泥石流形成机理类似，相似度较高，固取地层岩性。堆积厚度难以统计，仅能通过实地调查。此外风化程度即可决定松散碎屑物的堆积厚度，加之崩塌、滑坡等地质灾害的爆发作用均可以造成堆积碎屑物，固暂且不考虑堆积厚度的影响，用崩塌、滑坡作用以及风化程度间接反映堆积厚度。断裂的作用主要是对岩石的破碎程度的影响^[7,8]，作用与地层岩性相似，可舍去。冰雪水融化仅涉及冰雪覆盖地区，不具有广泛性，暂不考虑，如有特殊要求再加考虑。采矿废渣、采石、森林乱伐等人类对环境的影响可以概括为人类活动因素。外在动力方面，主要为人为或自然灾害因素。

综合分析，这些因素可分为泥石流形成的内在因素和外在因素，具体分类参见图 1。

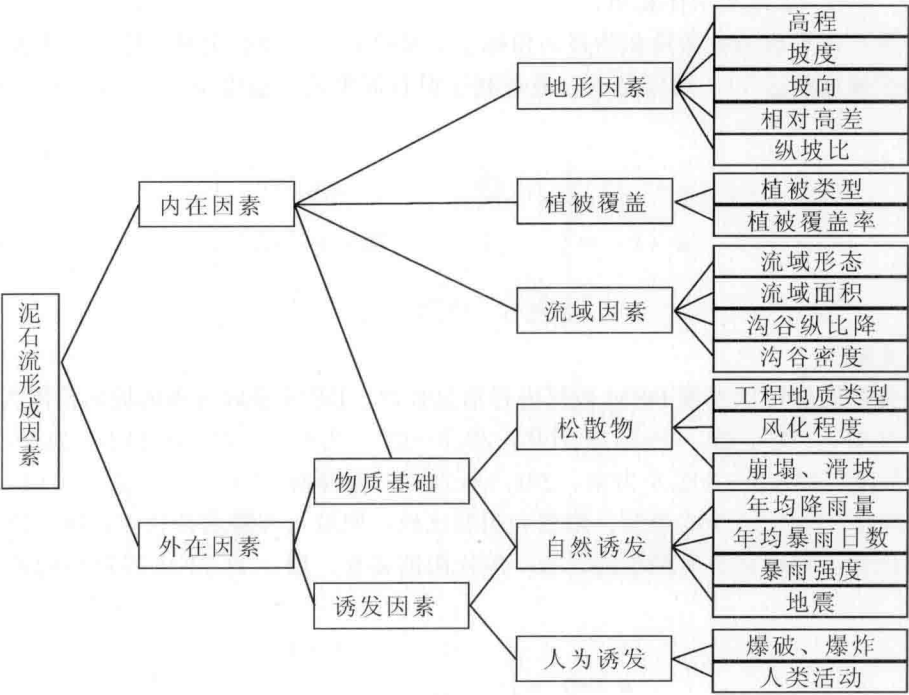


图 1 泥石流形成因素

3 指标规范化及量化分析

通常情况下，从数值特征上，泥石流危险性评价指标量化可分为两类，一类是定量指标

规范化处理,另一类是定性指标的量化处理。高程、坡度、坡向、相对高差、纵坡比、植被覆盖率、流域面积、沟床纵比降、沟谷密度、年平均降雨量、平均暴雨日数、暴雨强度等因素均为定量指标,需进行规范化处理;而植被类型、流域形态、地层岩性、风化程度、人类活动、崩塌、滑坡、地震灾害等指标均为定性指标,须进行量化处理。具体的规范化及量化处理如下。

(1) 高程

高程信息可以利用 DEM 数据进行信息提取。高程越大,泥石流形成的动力就越大,作为正指标。其中 x 为高程(米)

$$u(x) = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (1)$$

(2) 坡度

坡度信息可以利用 DEM 数据进行信息提取。对于泥石流的形成动力来说,泥石流的形成随着坡度增大而变大,但对于松散堆积物的堆积量却随着坡度的增大而减小,根据张光科等(1995年)提出的坡面上非均匀沙的侵蚀临界坡度^[13]:

$$\alpha' = 3\varphi/4 \quad (2)$$

式中: α' ——临界坡度;

φ ——土体水下休止角。

由于泥石流形成的坡面堆积物多为角砾土、块碎石土、卵石土和漂砾土,根据其天然休止角与堆积坡度相近^[14],可以得出,最有利于泥石流形成的坡度为 $30^\circ \sim 37.5^\circ$,因此量化如下:

$$u(x) = \begin{cases} \frac{x}{30} & x < 30 \\ 1 & 30 \leq x \leq 37.5 \\ \frac{90}{52.5} - \frac{x}{52.5} & x > 37.5 \end{cases} \quad (3)$$

(3) 坡向

坡向信息同样可以根据 DEM 数据进行信息提取。DEM 提取出来的坡向范围为 -1 以及 $0 \sim 360$,其中 -1 为平面, $0 \sim 22.5$ 为北, $22.5 \sim 67.5$ 为东北, $67.5 \sim 112.5$ 为东, $112.5 \sim 157.5$ 为东南, $157.5 \sim 202.5$ 为南, $202.5 \sim 245.5$ 为西南, $247.5 \sim 292.5$ 为西, $292.5 \sim 337.5$ 为西北, $337.5 \sim 360$ 为北。阳坡和阴坡比较,阳坡上有降水量较多,冰雪消融快,岩石风化速度快,程度高等有利条件,故一般比阴坡发育。取 x 为 DEM 提取出的坡向值,量化如下:

$$u(x) = \begin{cases} 0 & x = -1 \\ \sin\left(\frac{x}{4}\right) & x \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

(4) 相对高差

相对高差越大,泥石流形成的可能性就越大,作为正指标。其中 x 为高程(米)

$$u(x) = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (5)$$

(5) 纵坡比

纵坡比为越大, 泥石流形成的可能性就越大。其中 x 为高程 (米)

$$u(x) = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (6)$$

(6) 植被类型

植被类型主要是指乔木林、灌木林和草三种, 植被类型中, 灌木林中植物种类多、密度大、结构复杂, 因此拦截泥石流的能力强, 对泥石流的控制作用最大, 其次为草, 最差的植被类型是乔木林^[11]。

固可根据对泥石流的拦截能力分级赋值见表 1。

植被覆盖类型介于两项之间的可取其中间值, 植被覆盖类型对泥石流的控制作用越大, 泥石流发生的可能性就越小。其中 x 为植被覆盖类型对泥石流的控制作用的取值:

表 1 植被类型对泥石流的影响分类

系数 \ 赋值	0	0.5	1
植被类型	灌木	草地	乔木

$$u(x) = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (7)$$

(7) 植被覆盖率

植被覆盖率可以用植被覆盖密度来表示。植被覆盖密度越大对泥石流形成的阻碍作用越大, 为逆指标, 取植被覆盖密度为 x :

$$u(x) = \frac{\min(x) - x}{\max(x) - \min(x)} \quad (8)$$

(8) 流域形态

流域形态对雨水和暴雨径流过程有明显的影响, 径流与洪峰流量的大小, 直接关系着各种松散碎屑物质的启动和参与泥石流活动, 因此与泥石流发生关系密切。根据刘雷激(1998) 等学者的研究结果, 最有利于泥石流流体汇流的流域形状是圆形或似圆形^[10]。

流域形态: $k = 5.5 \left(\frac{F}{L^2} \right) + 0.7$, F 为沟谷流域面积 (km^2), L 为主沟长 (km)。当流域面积为圆形时, $K = 5.0175$, 规范化处理方法:

$$u(x) = \frac{|K - 5.0175|}{\max\{\max(K) - 5.0175, 5.0175 - \min(K)\}} \quad (9)$$

(9) 流域面积

流域面积的大小, 是确定沟谷水动力条件的主要参数, 流域面积越大, 水动力条件越好, 反之则水动力条件越差。取 x 为流域面积 (km^2):

$$u(x) = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (10)$$

(10) 沟谷纵比降

沟谷纵比降越大, 水动力条件越好, 越容易发生泥石流。取 x 为沟谷纵比降:

$$u(x) = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (11)$$

(11) 沟谷密度

沟谷密度越大, 越容易发生泥石流。取 x 为沟谷密度:

$$u(x) = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (12)$$

(12) 工程地质类型

工程地质类型分类及坚固程度赋值见表 2。

岩石硬度等级分类标准参见 DZ0219—2002 岩土体工程地质分类标准^[15]。

工程地质类型可用坚固系数来表示。坚固系数越大越不利于松散堆积物的形成，为逆指标，取坚固系数为 x ：

$$u(x) = \frac{\min(x) - x}{\max(x) - \min(x)} \quad (13)$$

(13) 风化程度

考虑风化程度因子时，根据 Pelter (1950) 对于风化的分级图作为赋值依据，分级主要是关于降雨量和气温的关系，因此，根据风化的不同分级区间对强风化 ($250 < R(\text{mm}) < 1250$; $t \leq -4^\circ\text{C}$)、中等风化 ($100 < R(\text{mm}) < 1350$; $t \leq 1.5^\circ\text{C}$)、弱风化 ($0 < R(\text{mm}) < 1700$; $t \leq 12.5^\circ\text{C}$) 及微风化 ($0 < R(\text{mm}) < 2250$; $t > 12.5^\circ\text{C}$) 分别进行分级赋值，见表 3。

表 2 工程地质类型分类及坚固程度赋值

岩土类型	岩土硬度等级	坚固系数
坚岩	I ₁	20
	I ₂	15
	I ₃	10
	I ₄	8
次坚岩	II ₁	6
	II ₂	5
软岩	III ₁	4
	III ₂	3
	III ₃	2
	III ₄	1.6
硬土	IV ₁	1.5
	IV ₂	1.0
普通土	V ₁	0.8
	V ₂	0.6
松土	VI ₁	0.5
	VI ₂	0.3

表 3 风化作用对泥石流形成的影响及参数赋值

系数 \ 赋值	1	0.75	0.50	0.25	0
风化因子	强风化	中等风化	弱风化	微风化	无风化

(14) 崩塌、滑坡

崩塌、滑坡作用越大的生成的堆积物越多，越有利于泥石流的爆发。可用崩塌量或者滑坡堆积量 x 来表示：

$$u(x) = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (14)$$

(15) 年平均降雨量

年平均降雨量可以通过水文气象测站的记录数据来获取，年平均降雨量越大，水源动力条件越好，越容易发生泥石流。取 x 为年平均降雨量 (mm)：

$$u(x) = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (15)$$

(16) 平均暴雨日数

平均暴雨量日数可以通过水文气象测站的记录数据来获取，其值越大，泥石流的突发性就越大，发生泥石流的概率就越大。取 x 为平均暴雨日数 (d)：

$$u(x) = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (16)$$

(17) 暴雨强度

暴雨强度可以通过水文气象测站的记录数据来获取，短期预报可以根据气象预报资料获得。其值越大，泥石流的诱发可能性就越大，发生泥石流的概率就越大。取 x 为暴雨强度：

$$u(x) = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (17)$$

(18) 地震

地震可以地震烈度来表示，地震烈度越大，泥石流发生的动力条件越大，采用不同地震烈度等级对于泥石流形成与暴发的影响及参数赋值见表 4：

表 4 地震对泥石流形成与暴发的影响及参数赋值表

系数 \ 赋值	1	0.75	0.5	0.25	0
地震 (烈度)	IX 度及以上	VIII 度	VII 度	VI	V 度及以下

(19) 爆破、爆炸

爆破、爆炸可以用爆炸当量来表示，爆炸当量越大对泥石流发生的动力条件越大， x 为爆炸当量：

$$u(x) = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (18)$$

(20) 人类活动

人类活动因素：人类活动环境指数主要以人类对环境改造的程度进行界定划分标准，人类活动对于泥石流形成与暴发的影响及参数赋值见表 5：

表 5 人类活动指数赋值

改造程度	很强	强	中	弱	无
人类活动指数	1	0.75	0.5	0.25	0

最后，通过对各指标量化分析，形成各指标因子的栅格专题图 (*.tif)，采用层次分析法确定各指标因子权重。

4 对某地区综合评价及结果分析

综合分析，采用 ERDAS 软件空间建模^[16]（参见图 2）进行空间叠加分析。对某地区进行了综合评价，最终划定了泥石流易发程度分区图参见图 4，通过已有遥感解译成果^[17]以及实地调查验证分析，评价结果较为理想。

其中操作函数处，计算方法如图 2（其中， $n_1 \sim n_{20}$ 为各项权重）

5 结论与建议

该研究通过全面分析泥石流形成的各种因素，经过筛选比较最终选取了 20 个指标因子