

文章编号: 1006-6616 (2011) 04-0388-14

基于 GIS 的甘肃省甘谷县地质灾害危险性评价

王 磊¹, 张春山¹, 杨为民¹, 孙炜锋¹, 邱占林², 王 涛¹

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南 232001)

摘要: 在甘肃省甘谷县地质灾害详细调查的基础上, 通过对研究区地质环境条件及地质灾害基本特征分析研究, 选取了历史地质灾害发育程度、地形地貌、工程地质岩组、地质构造、水文条件、植被条件、降雨量、人类工程活动等影响因素, 建立了相应的地质灾害危险性评价指标体系。采用专家评判方法, 基于 GIS 技术平台, 对甘谷县地质灾害进行了危险性综合评价, 并与定性评价相结合, 最终将研究区划分为高危险区、中危险区、低危险区、极低危险区 4 个等级, 其中, 高危险区面积为 393.19 km², 占总面积的 25.01%, 中危险区面积为 544.04 km², 占总面积的 34.61%, 低危险区面积为 324.69 km², 占总面积的 20.65%, 极低危险区面积为 310.08 km², 占总面积的 19.73%。

关键词: 甘谷县; 地质灾害; 地理信息系统; 危险性评价

中图分类号: P694

文献标识码: A

0 引言

区域地质灾害危险性评价一般通过对区域地质环境条件和地质灾害的分布与发育特征的分析, 利用模型方法实现地质灾害空间发生的可能性大小的区划, 是地质灾害风险评估工作的核心内容之一, 可以为国土规划、地质灾害防治和监测预警提供基础依据。目前阶段, 由于开展评价的需求、精度要求、区域差异等, 地质灾害危险性的评价思路、评价方法差异较大, 常用的方法主要包括专家评判法、统计分析法、数据挖掘分析法、确定性方法等^[1-8]。根据研究区的地质背景, 通过对比各种模型的适用条件、可操作性, 以及对数据的可获取性、成果可靠性的分析, 本文采用专家评判法, 先利用 GIS 系统的空间分析和数据管理功能对甘谷县地质灾害进行定量的危险性评价, 再与定性评价相结合, 进而对研究区进行危险性区划。这种方法各因子的权值由专家打分获得, 是根据专家对研究区灾害的分析, 运用专家的知识和结合已往的工作经验, 对各个危险性影响因子进行合理的分析和推断。

甘谷县位于甘肃省天水市西北部, 处于陇西黄土高原和秦岭山地过渡地带。由于区域内地质结构复杂, 地形多样, 地质环境与自然生态环境脆弱, 在地震、降雨、人类工程活动等综合因素作用下, 容易引发滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害, 历史上为中国地质灾害多发地区之一。据文字记载, 1718 年 5 月, 甘谷发生地震, 造成北山南移, 压没永宁镇, 死伤超

收稿日期: 2011-05-04

基金项目: 中国地质调查局天水市甘谷县地质灾害详细调查项目 (编号: 1212011014014)

作者简介: 王磊 (1988-), 男, 中国地质科学院地质工程专业硕士研究生。E-mail: wangallen88@126.com

过 3×10^4 人；1920 年宁夏海原 8.5 级地震波及本区，造成境内渭河及沟谷边坡地带山崩地裂，压死城乡人民 1365 人；2008 年“5.12”汶川 M_s 8.0 级地震，也给甘谷县造成了巨大危害，形成了多处崩塌、滑坡^[9-11]，其中 15 处威胁人民生命财产安全。

因此，如何充分利用现有丰富的地质灾害调查资料，对甘谷县地质灾害危险性现状做出客观评价和预测，并进行合理的危险性评价与区划，对于指导地方经济建设和减灾防灾具有重要的理论和现实意义。

1 研究区自然地理与地质背景

甘谷县位于甘肃省东南部，天水市西北部，地处渭河上游，距兰州市约 300 km，距西安市约 380 km。地理坐标介于东经 $104^{\circ}58'49''$ — $105^{\circ}31'14''$ 、北纬 $34^{\circ}26'07''$ — $35^{\circ}03'08''$ 之间（见图 1）。全县南北长 60 km，东西宽 49 km，总面积 1572 km^2 。截至 2009 年底，全县总人口为 62.06×10^4 人。

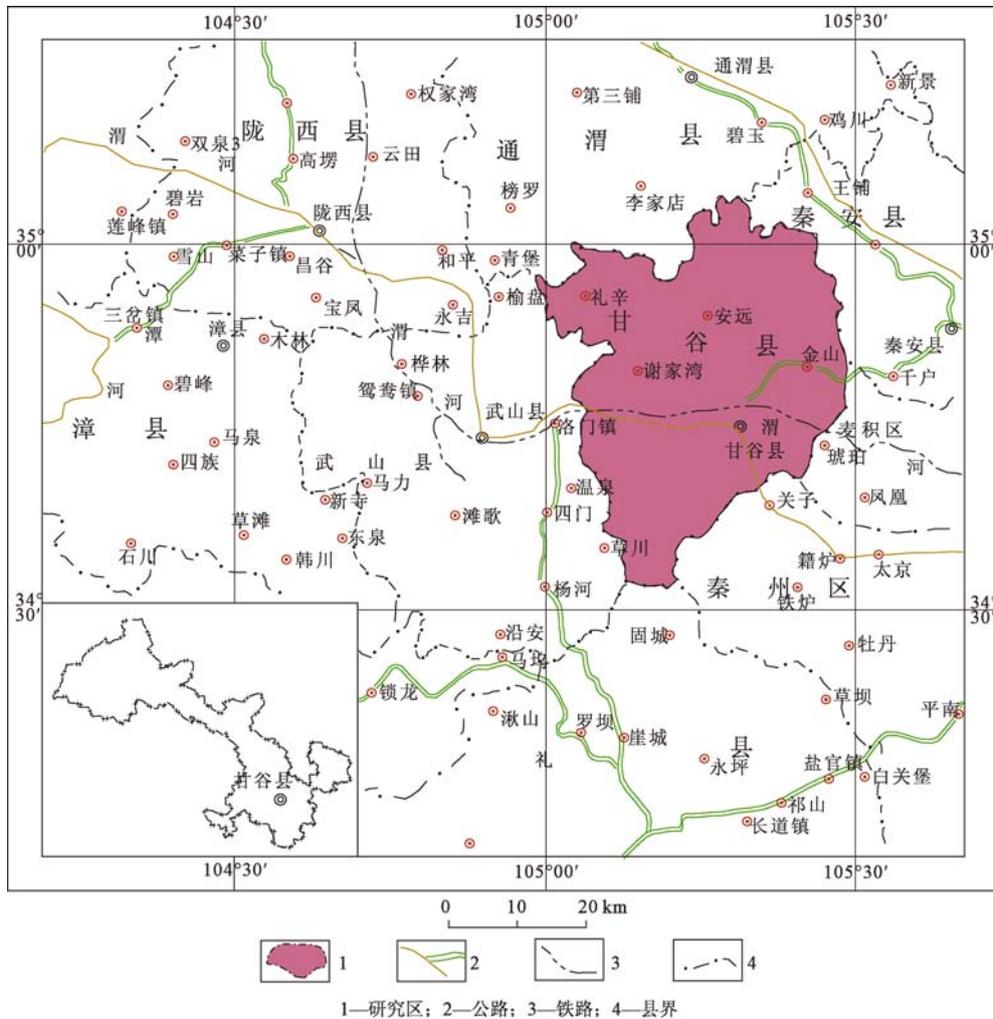


图 1 甘谷县交通位置图

Fig. 1 A map showing the position of Gangu County

本区总体地势南高北低,南部为秦岭基岩山区,北部为黄土丘陵沟壑区,是研究区内主要地貌类型。南、北两山向中部的渭河河谷呈现倾伏之势,渭河自西至东从中部贯穿全县。区内河流普遍切割较深,特别是渭河及其一级、二级支流散渡河、清溪河、海涵沟、大沙沟、小沙沟等,剥蚀、侵蚀作用强烈,冲沟发育。

甘谷县属温带大陆性半干旱气候区,多年平均气温 10.2℃,多年平均降水量为 480.8 mm。年际最大降雨量为 635 mm (2003 年),最小降雨量为 297.1 mm (1969 年);年内降水量主要集中在 7-9 月,具有降水集中、雨量大的特点。降水在空间分布上极不均匀,自北向南随海拔增高而增大。大暴雨与连阴雨是区内滑坡、崩塌和泥石流形成的主要诱发因素,区内绝大多数滑坡、崩塌、泥石流均发生在夏秋两季。

研究区出露的地层主要有下元古界牛头河群,上元古界震旦系;古生界泥盆系、二叠系;中生界三叠系、白垩系及新生界古近系、新近系粘土岩、砂砾岩、第四系冲洪积物及黄土。岩浆岩主要为燕山期岩浆岩,主要多分布于南部的秦岭山区。第四系黄土覆盖于新近系红层、红粘土之上,是本区的易滑地层。

地质构造位于祁连褶皱构造带上,处于多组构造的复合部位。区内褶皱、断裂较为发育,地质构造复杂。第四纪以来,甘谷县的新构造运动十分活跃,垂直差异性升降运动明显。在渭河北岸由于断裂的控制形成明显的多级台坎地貌,台坎的后缘形成裂隙,前缘形成临空面,为滑坡的形成奠定了基础。甘谷县位于南北地震带中段的银川—天水—武都带和天水—兰州地震带的交汇复合部位,地震背景复杂,区内和邻区常常发生强烈地震。甘谷县地震烈度为Ⅷ度,地震动峰值加速度值为 0.2g~0.3g (g —重力加速度)。历史上区内的几次大震都诱发了大面积的滑坡,同时频繁的地震活动也极大地破坏了地层结构的整体性,导致斜坡失稳,为地质灾害的发生埋下隐患^[12]。

2 地质灾害类型与分布特征

甘谷县地质灾害类型主要为滑坡、崩塌、泥石流、不稳定斜坡 4 种,以滑坡灾害为主。根据 2010 年地质灾害详细调查结果,截至 2010 年 12 月,共发育地质灾害隐患点 328 个,其中滑坡 228 处,崩塌 17 处,泥石流 59 条,不稳定斜坡 24 处(见表 1)。

表 1 甘谷县地质灾害详细调查点统计

Table 1 Statistics of points of detailed survey of geo-hazards in Gangu County

灾害类型	灾害点数	重大地质灾害 害隐患点	中等地质灾害 害隐患点	一般地质灾害 害隐患点	威胁人数/ 人	威胁房屋/ 间	危及耕(林) 地/亩	其他
滑坡	228	9	32	187	41808	16613	3144	危及公路约 8.5 km; 危及铁路约 1.5 km; 危及水库 1 座; 危及引水渠约 800 m
崩塌	17		3	14				
泥石流	59	10	16	31				
不稳定斜坡	24	1	16	5				
合计	328	20	67	247	41808	16613	3144	

滑坡的规模一般为大中型,包括黄土滑坡、黄土与基岩复合滑坡、残坡积层滑坡和基岩滑坡等,以黄土滑坡和黄土与基岩复合滑坡为主,多数为牵引式滑坡。崩塌以中小型为主,包括土质崩塌和岩质崩塌两类,主要为土质崩塌。泥石流主要为中小型,分布于河谷两岸冲沟及山区沟谷中。不稳定斜坡是指可能发展形成崩塌、滑坡等灾害的斜坡,是一种潜在灾

害。本区不稳定斜坡包括土质斜坡和岩质斜坡两种，多数为土质斜坡，规模主要为小型。甘谷县地质灾害主要发生于渭河两侧岸坡、北部黄土丘陵区 and 秦岭基岩山区，且多分布于渭河的二级和三级冲沟中，宏观上呈现沿着甘谷县断裂带东西向分布的特点。甘谷县地质灾害主要发育在第四系黄土和新近系红色砂砾岩及粘土岩出露地区（见图2）。

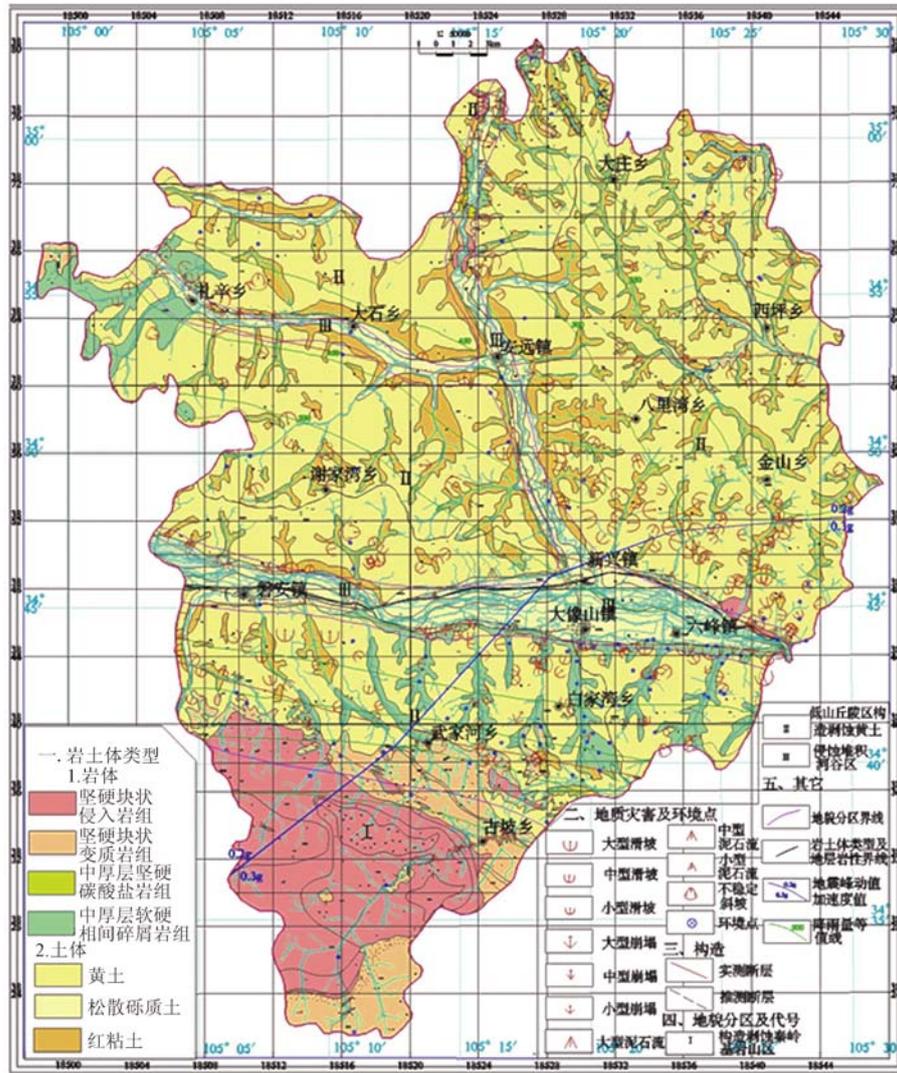


图2 甘谷县不同工程岩组地质灾害分布略图

Fig. 2 Distribution of geo-hazards and engineering rock groups in Gangu County

3 地质灾害危险性评价

3.1 危险性评价指标体系

影响地质灾害发生的因素有很多，总体可归纳为两类：一类为地形地貌、地层岩性、断裂构造、水文地质、植被条件等基础地质因素，另一类为降雨、地震、人类工程活动等灾害诱发因素。近年来，张春山等^[13-17]、魏平新等^[18]、张梁等^[19]通过对地质灾害影响因子的

研究及其在陇县、汶川地震重灾区等地区危险性评价中的应用,结合地质灾害的历史活动特征,建立了如下的地质灾害危险性评价指标体系(见图3)。

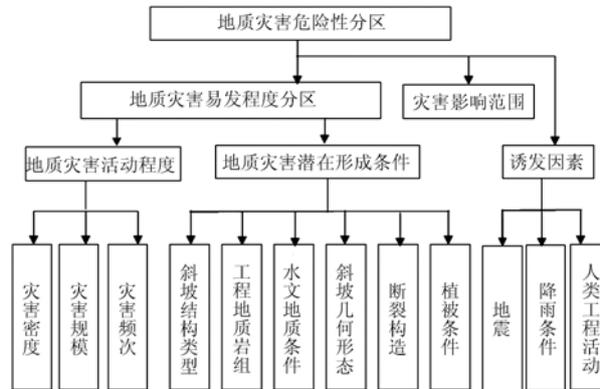


图3 地质灾害危险性程度评价指标体系图

Fig. 3 Assessment indicator system of geo-hazards fatalness

通过对甘谷县地质灾害形成机理和形成条件的研究,同时考虑资料的可获取性,本文重点选取了历史活动程度、地形地貌、工程地质岩组、断裂构造、水系、人类工程活动、降雨条件、植被条件等8类对地质灾害具有控制作用和影响较大的因素作为危险评价的主要因子,并据此建立了地质灾害危险性评价指标体系。

3.2 地质灾害主要影响要素

3.2.1 地形地貌

地形地貌条件包括坡度、坡向、地形起伏度等方面,是崩塌、滑坡、泥石流的基础,在很大程度上决定了崩塌、滑坡、泥石流能否形成以及崩塌、滑坡、泥石流的类型、数量和规模等。根据详细调查资料,对甘谷县滑坡在不同坡度和不同地形起伏度范围内的分布进行了统计。

根据调查区内坡度变化与滑坡发生相关性统计分析,可以将坡度分为5类:① $35^{\circ} \sim 50^{\circ}$, ② $20^{\circ} \sim 35^{\circ}$, ③ $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$, ④ $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 、 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$, ⑤ $\leq 10^{\circ}$ 、 $\geq 80^{\circ}$ 。区域内地形起伏度与滑坡发生的相关性分析显示,区域内地形起伏度也可分为5类:① $60 \sim 120$ m, ② $40 \sim 60$ m、 $120 \sim 200$ m, ③ $20 \sim 40$ m、 $200 \sim 300$ m, ④ $10 \sim 20$ m, ⑤ ≤ 10 m、 ≥ 300 m。当斜坡坡度在 $20^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 、地形起伏度范围为 $40 \sim 120$ m时,本区滑坡最容易发生(见图4、图5)。

3.2.2 工程地质岩组

甘谷县地质灾害除明显受地形地貌控制外,还与岩土体的控制作用密切相关。区域内岩土体类型多样,性质和结果复杂。根据成因类型、结构强度和工程地质特性,将甘谷县内主要地层划分为5种工程地质岩组:

① 坚硬块状岩浆岩、变质岩:岩性以花岗岩、二长花岗岩、黑云母花岗岩以及片麻岩、混合岩、变质砂岩、大理岩、英安岩为主,表层发育厚度不等的风化残坡积层,主要分布在南部山区和北部局部山区,局部产生中小型滑坡。

② 中厚层状碳酸盐岩:以泥盆系和二叠系为主,岩性为白云质灰岩、砾状灰岩、泥灰岩、灰岩、页岩、砂岩等,零星分布于甘谷县境内南部秦岭山区和北部山区散渡河一带。这几类岩土中的滑坡数量约占全区滑坡总数的80%。

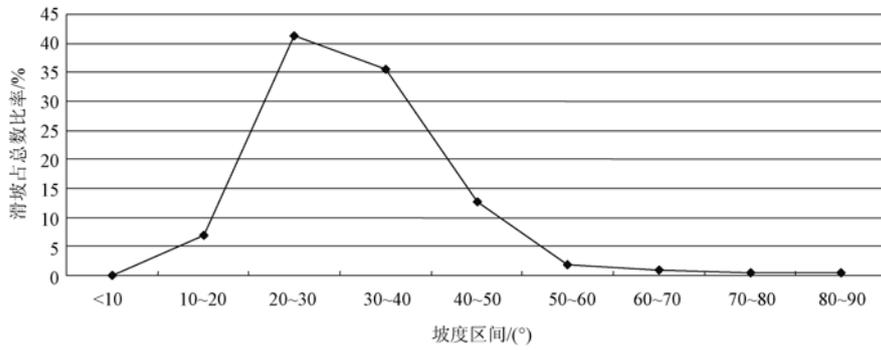


图4 滑坡占总数比率与坡度统计图

Fig. 4 Map showing the relations between landslide proportion of the total number with slope

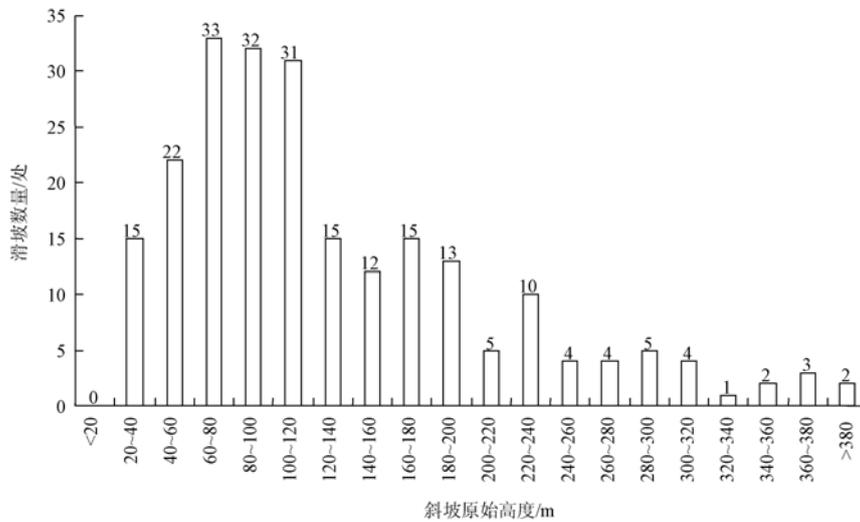


图5 滑坡数量与地形起伏度统计图

Fig. 5 Map showing relations between numbers of landslides with terrain range

③ 中厚层软硬相间碎屑岩组：以二叠系、三叠系、古近系为主，岩性主要为砂砾岩、泥岩、砂泥岩互层、砂岩夹页岩等，主要分布在研究区中南部和北部的部分地区。

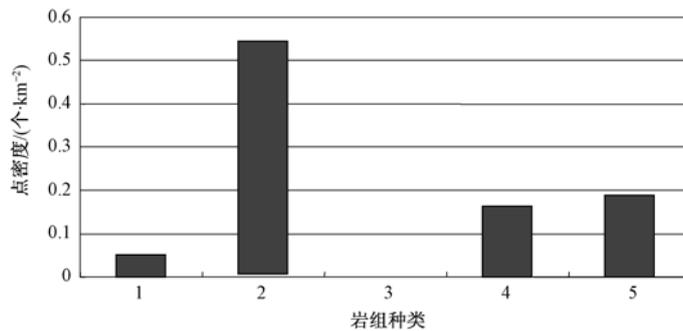
④ 软弱红色岩系：属新近系红色粘土岩、砂砾岩，其上一般都覆盖厚度不等的黄土，主要分布在研究区北部的部分地区；粘土岩为隔水层，遇水后泥质岩易发生软化，形成软弱结构面，发生滑坡。

⑤ 黄土：属第四系更新统，主要分布在研究区中部和北部，滑坡数量多，以大中型滑坡为主，小型滑坡次之，发育少量特大型滑坡。

根据县内划分的工程地质岩组与地质灾害的相关性统计分析，地质灾害在中厚层状碳酸盐岩中发育的比率最高，在黄土中次之。图6为各种岩组中滑坡、崩塌发生的点密度柱状图。

3.2.3 活动断裂

本区的活动断裂主要为北西向控制渭河盆地形成的两条断断裂，分别是秦岭北缘断裂、渭河南北两侧断裂。在断裂带附近，地质灾害相对密集，呈带状分布，明显受控于地质构造。据本次灾害调查点分布规律看，在断裂带与斜坡交汇部位，地质灾害点较多，约占本次



岩组种类: 1—坚硬块状岩浆岩、变质岩; 2—中厚层状碳酸盐岩; 3—中厚层软硬相间碎屑岩组;
4—软弱红色岩系; 5—黄土

图6 地质灾害点密度与工程岩组统计图

Fig. 6 Map showing the relations between the density of geo-hazards points with rock groups

调查的地质灾害点的40%。在断裂带影响范围内地质灾害点也比较多,其影响范围可达3 km左右。在断裂影响带以外,地质灾害点相对较少,而在断裂带穿过的黄土塬区则基本没有灾害发生。图7为地质灾害点密度与断裂带范围统计图。

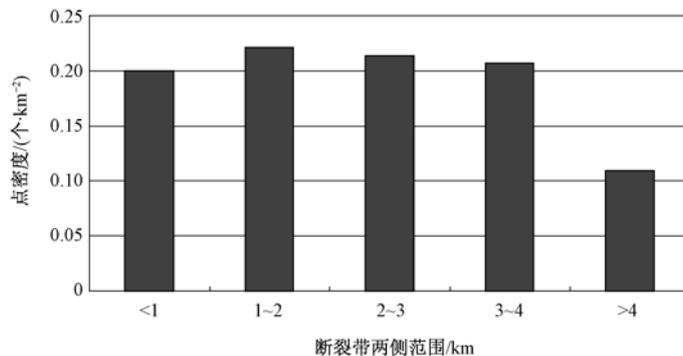


图7 地质灾害点密度与断裂带两侧范围统计图

Fig. 7 Map showing the relations between the density of geo-hazards points and faults

3.2.4 水系

调查区地质灾害主要分布于渭河两岸、二级冲沟(渭河为一级)的上游和三级冲沟中,且主要分布在临空面发育的双沟交汇部位。渭河(断陷盆地)两侧主要发育古老滑坡,现代灾害主要发育在二级支流上游和三级沟谷中,滑坡形成与河流冲蚀关系密切,且主要形成于双沟交汇部位。

甘谷县境内渭河河谷呈“U”型,河谷宽阔,垂向和侧向侵蚀均趋于缓和,沟谷冲刷和淤积基本保持平衡。渭河主要支流,包括散渡河、清溪河等,大都形成3-4级阶地,垂向和侧向侵蚀均较强烈,沟谷冲刷和淤积较强烈。渭河二级支沟大多处于壮年期,扩展方式主要为重力侵蚀,垂直下切缓慢,而侧向侵蚀突出。尤其在河谷交汇处,人类工程活动较为强烈,诱发的滑坡、崩塌较多。河流侧蚀引起的自然灾害和人类活动引发的工程灾害兼有,且造成较大危害。渭河三级支流及更次级支流主要处于幼年期,多发育在低中山区和黄土梁峁地带。

沟谷横断面多呈“V”字形,深度不一,垂直下切强烈,侧向侵蚀不十分突出,且冲沟的沟底较窄,因而灾害多以崩塌形式出现,滑坡不发育。

3.2.5 人类工程活动

人类工程活动对自然斜坡的不合理开垦和利用,破坏了地质历史时期形成的原始斜坡的应力平衡状态,造成斜坡变形失稳,已成为诱发地质灾害的主要因素之一。本区对地质灾害产生有影响的人类活动主要有边坡开挖,公路、铁路修建,水利工程建设,矿山开采,切坡建房,开垦农田等。本文主要考虑公路、铁路两种主要因素,分析人类工程活动对甘谷县地质灾害的影响作用。根据经验,选取道路两侧 1.5 km 范围内地质灾害数据进行统计分析,可见在 0.5 km 范围内,距道路距离与地质灾害的相关性较为明显(见图 8)。

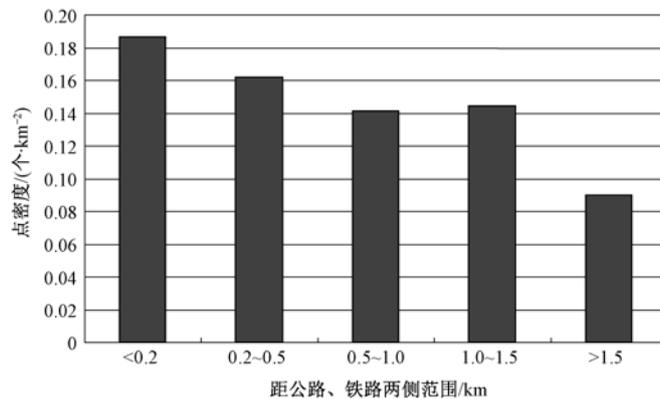


图 8 地质灾害点密度与道路两侧范围统计图

Fig. 8 Map showing the relations between the density of geo-hazards points and roads

3.3 基础数据来源及处理

本文对选取的 8 类共 10 种危险性评价因子进行危险性评价。首先对数据进行处理,使指标能够引入 GIS 操作系统中,以便进行定量计算。具体的基础资料来源和统计方法见表 2。根据以往的经验 and 野外详细调查中取得的认识,由专家评判法确定各影响要素的权值。

表 2 地质灾害危险性评价主要影响要素权值表

Table 2 Weight value of mainly influencing factors of geo-hazards

序号	危险性评价因子	资料来源及处理方法	代号	权值
1	灾点(面)密度/ (个·km ⁻²)	根据县市地质灾害详查和 1:50000 遥感解译资料,利用 ArcGIS 在 1:50000 图中统计分析获得,按单位面积的灾点数量多少计算	$X(i, 1)$	0.20
2	地形起伏度/m	来源于 1:50000 地形图,利用 ArcGIS 统计分析功能获取,并根据地形起伏度与地质灾害相关性进行分级	$X(i, 2)$	0.12
3	地形坡度/(°)	来源于 1:50000 地形图,利用在 ArcGIS 统计分析功能获取,并根据坡度与地质灾害相关性进行分级	$X(i, 3)$	0.15
4	工程岩组	来源于 1:200000 地质图,根据岩组成因类型、结构与强度特征进行分级划分	$X(i, 4)$	0.14
5	断裂带	来源于 1:200000 天水市地质图,利用 ArcGIS 进行距离缓冲分析与分级划分	$X(i, 5)$	0.08
6	降雨量/mm	来源于县乡降雨统计资料、1:200000 天水市降雨量等值线图,根据年降雨量值进行分级划分	$X(i, 6)$	0.07
7	植被指数	根据 Spot5 的遥感影像提取有关植被的 NDVI 数据,与植被实际地物情况对比分析,进行分级划分	$X(i, 7)$	0.06
8	水系	来源于县乡统计资料,1:50000 地形图,根据水系主流、支流冲蚀作用大小,利用 ArcGIS 进行距离缓冲分析及分级划分	$X(i, 8)$	0.05
9	公路	来源于县乡统计资料、1:50000 地形图、1:50000 遥感影像资料、甘谷县交通图,利用 ArcGIS 进行距离缓冲分析与分级划分	$X(i, 9)$	0.09
10	铁路	来源于 1:50000 地形图、1:50000 遥感影像资料、甘谷县交通图,利用 ArcGIS 进行距离缓冲分析与分级划分	$X(i, 10)$	0.04

在广泛收集资料和野外调查的基础上,根据地质灾害发育特征、分布规律,对选定的危险性评价要素进行定性分析分级,确定数据概化标准,将各种因素均划分为5级,并按1,3,5,7,10赋值,具体的分级标准及分类见表3。

表3 地质灾害危险因子定性分类标准及赋值表

Table 3 Standards of geo-hazards assessment indicators and valuation grading

因素	极高危险条件	高危险条件	中等危险条件	低危险条件	极低危险条件
地形 地形起伏度/m	60 ~ 120	40 ~ 60、120 ~ 200	20 ~ 40、200 ~ 300	10 ~ 20	≤10、≥300
地貌 坡度/(°)	35 ~ 50	20 ~ 35	50 ~ 60	10 ~ 20、60 ~ 80	≤10、≥80
断裂带	断裂带内,且断裂 与河谷斜坡交汇部位	断裂带两侧 0.5 km 范围内	断裂带两侧 1 ~ 2 km 范围内	断裂带两侧 2 km 范围内	断裂带 2 km 范围以外
工程岩组	黄土类	软弱红色岩系	中厚层状碳酸盐岩	中厚层软硬相间 碎屑岩组	坚硬块状岩浆岩、 变质岩
植被种类和覆盖度	岩石裸露区	植被稀疏区	植被较稀疏区	植被一般茂密区	植被茂密区
多年平均降雨量/mm	>650	550 ~ 650	500 ~ 550	450 ~ 500	<450
水系	渭河一、二级支 沟两侧 0.5 km	渭河一、二级支沟 两侧 0.5 ~ 1.0 km	渭河三级支沟, 向两侧 1 km	渭河三级支沟向 两侧 1 ~ 2 km	其他地区
公路两侧范围/km	0.2	0.2 ~ 0.5	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 1.5	>1.5
铁路两侧范围/km	0.2	0.2 ~ 0.5	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 1.5	>1.5
赋值	10	7	5	3	1

3.4 危险性指数数学模型

本文用国内常用的危险性指数^[15-17,20-23]来表示危险性程度,危险性指数越高,未来发生地质灾害的危险性就越大。危险性指数概念模型可用下式表示:

$$WX_i = \sum_{j=1}^m R(j) \cdot X(i,j) \quad (1)$$

式中: WX_i ——评价单元的危险性指数; m ——危险性要素关联因子总数; $R(j)$ ——各关联因子的权重值; $X(i,j)$ ——各关联因子概化归一后的数据。

利用上述模型,将各因素的权重值代入模型,建立起研究区危险性评价的数学模型为:

$$WX_i = 0.2X(i,1) + 0.12X(i,2) + 0.15X(i,3) + 0.14X(i,4) + 0.08X(i,5) + 0.07X(i,6) + 0.06X(i,7) + 0.05X(i,8) + 0.09X(i,9) + 0.04X(i,10) \quad (2)$$

将表3中危险性评价要素进行数据概化、赋值预处理后,还需要进行归一化处理,目的是使所有要素的评价结果均处于 $[0, 1]$ 之间,其计算公式为:

$$X_1(i,j) = \frac{X(i,j) - \min(X(i,j))}{\max(X(i,j)) - \min(X(i,j))} \quad (3)$$

式中: $X_1(i,j)$ ——评价要素 j 的第 i 评价单元归一后的数值; $X(i,j)$ ——评价要素 j 的第 i 评价单元的数值; $\min(X(i,j))$ ——评价要素 j 的最小值; $\max(X(i,j))$ ——评价要素 j 的最大值。

4 危险性评价分区

按危险性评价的数学模型,利用 ArcGIS 系统的空间分析功能,将归一化后的数据在计

计算机上进行栅格叠加运算，单元大小为 200 m * 200 m，分别得到各评价单元的危险性指数，最后得到最高值为 0.946，最低值为 0.176。数值越大，反映各因素对地质灾害发生的贡献越大，发生地质灾害的可能性就越大。利用统计学中常用的自然断点法 (natural break) 对危险性区划图重新分类，将甘谷县的地质灾害危险性划分为 4 级：高危险区、中等危险区、低危险区和极低危险区。

在因子权重叠加区划图的基础上，结合前述的地质灾害危险性主要影响要素的层次性分析，综合绘制出甘谷县地质灾害危险程度区划图 (见图 9)。

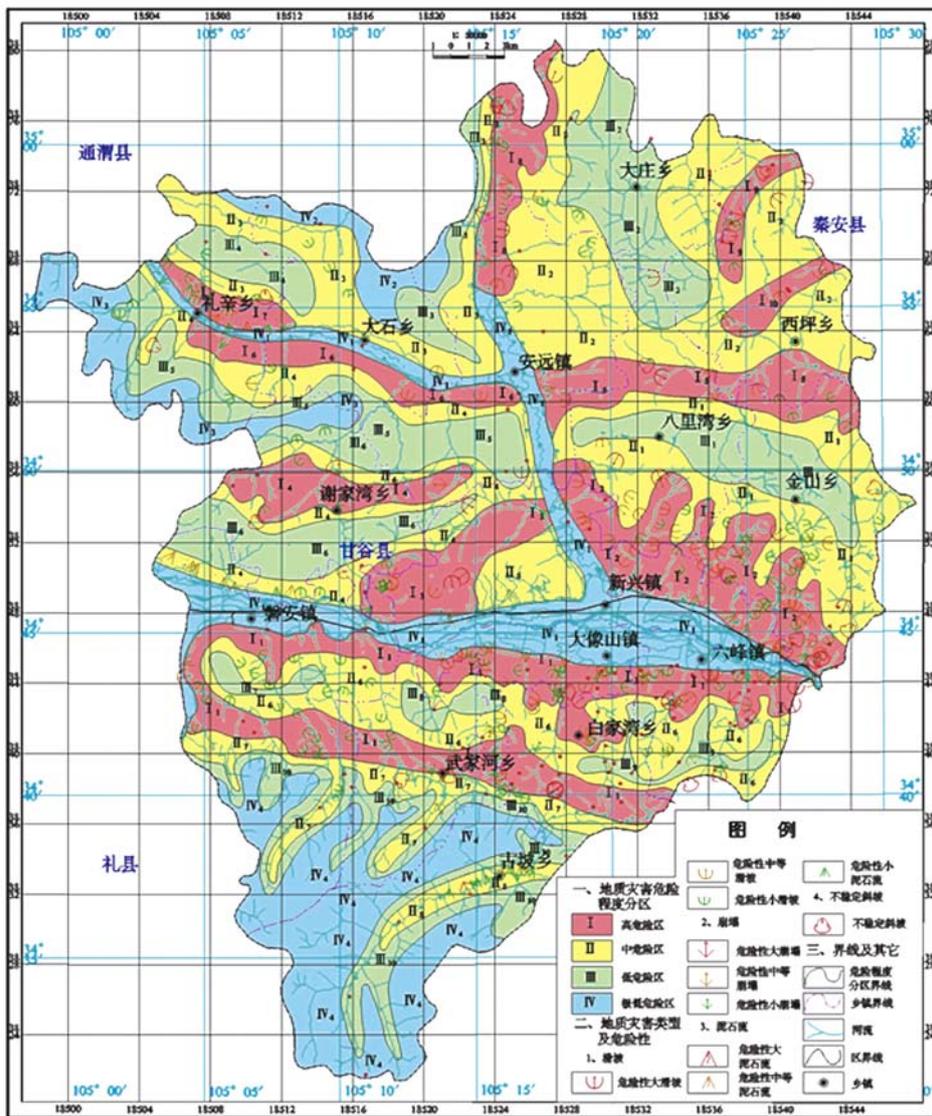


图 9 地质灾害危险性综合区划图

Fig. 9 Zoning of comprehensive geo-hazards risk evaluation

5 危险性评价区划

根据地质灾害危险性区划结果，综合甘谷县地貌、岩土特征、地质构造以及年降雨分布

规律和人类活动程度等特点予以评述（见表4）。

表4 地质灾害危险性程度分区说明表

Table 4 Instructions of zoning of geo-hazards risk evaluation

危险性分区	灾点数/个	面积/km ²	占总面积百分比/%	点密度/(个·100 km ⁻²)
高危险区	223	393.19	25.01	56.72
中危险区	88	544.04	34.61	16.18
低危险区	14	324.69	20.65	4.31
极低危险区	3	310.08	19.73	0.97
合计	328	1572.00	100.00	

5.1 地质灾害高危险区（I）

地质灾害高危险区面积约393.19 km²，占总面积的25.01%，可分为10个亚区。该区主要分布于渭河、散渡河、清溪河两岸以及秦岭与黄土丘陵沟壑区过渡地区，地层大多呈二元结构，黄土覆盖层厚度差异大，冲沟切割深，斜坡坡度陡，在降雨及人类工程活动的影响下容易发生滑坡，危险性较大。

5.2 地质灾害中危险区（II）

地质灾害中危险区面积约544.04 km²，占总面积的34.61%，可划分为8个亚区。该地区的特点是：南部是基岩山地，地表一般覆盖有黄土和风化层；北部属于黄土梁峁地貌的黄土层，黄土覆盖层一般厚度大，冲沟切割较深，局部切割出露红层，斜坡坡度陡。该地区在降雨及人类工程活动的影响下较易发生地质灾害。

5.3 地质灾害低危险区（III）

地质灾害低危险区面积约324.69 km²，占总面积的20.65%，可划分为10个亚区。该区的特点是：南部是基岩山地，岩体一般较为坚硬、风化层极薄；中部和北部属于黄土梁峁地貌的黄土层，由于分布较多的黄土塬及黄土梁顶部，地势较平坦，冲沟切割深度不大，斜坡坡度也变缓，因而该地区在降雨及人类工程活动中发生地质灾害不多。

5.4 地质灾害极低危险区（IV）

地质灾害极低危险区面积约310.08 km²，占总面积的19.73%，可划分为4个亚区。该区主要分布于南部秦岭山区和地势平坦的河谷地区。这些地区的特点是：南部为基岩山地，山高坡陡且地处深山老林，多为坚硬岩体，植被发育，人类活动较少，地质环境相对较好；河谷则地形平坦，虽然人类活动强烈，但一般都建有防护工程，地质环境亦相对较好。该区地质灾害不发育。

6 结论与建议

(1) 甘谷县地质灾害类型主要有滑坡、崩塌、泥石流、不稳定斜坡4种，影响地质灾害发生的主要因素为地形地貌、工程岩组、断裂构造、水文地质、人类工程活动、植被覆盖率、地震活动、降雨条件等。

(2) 本文确定了地质灾害主要影响因子，并给出了定性判别的分级标准，结合专家经验给出的权重，建立了甘谷县地质灾害危险性定量评价数学模型。通过定量评价结果与定性分级评价结合，最终形成了合理的危险性分区图，能够较好地反映研究区地质灾害密度的分布特征。

(3) 本文评价分区结果可作为甘谷县土地利用规划的基础依据。甘谷县地质灾害高危险区面积约 393.19 km², 占总面积的 25.01%; 地质灾害中危险区面积约 544.04 km², 占总面积的 34.61%; 地质灾害低危险区面积约 324.69 km², 占总面积的 20.65%; 地质灾害极低危险区面积约 310.08 km², 占总面积的 19.73%。

(4) 甘谷县处于南北地震带中段的银川—天水—武都带和天水—兰州地震带的交汇复合部位, 地震活动频率高, 强度大, 诱发的地震滑坡数量多。地震对研究区滑坡的分布有明显的控制作用, 建议进行地震活动对滑坡诱发作用方面的深入研究。

参 考 文 献

- [1] 殷坤龙, 朱良峰. 滑坡灾害空间区划及 GIS 应用研究 [J]. 地学前缘, 2001, 8 (2): 279~284.
YIN Kun-long, ZHU Liang-feng. Landslide hazard zonations and application of GIS [J]. Earth Science Frontiers, 2001, 8 (2): 279~284.
- [2] 朱良峰, 殷坤龙. 基于 GIS 技术的区域地质灾害信息分析系统研究 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2001, 12 (3): 79~83.
ZHU Liang-feng, YIN Kun-long. Information analysis system of geo-hazards supported by GIS [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2001, 12 (3): 79~83.
- [3] 郭芳芳, 杨农, 张岳桥, 等. 基于 GIS 的滑坡地质灾害地貌因素分析 [J]. 地质力学学报, 2008, 14 (1): 87~96.
GUO Fang-fang, YANG Nong, ZHANG Yue-qiao, et al. GIS-based analysis of geomorphological factors for landslide hazards [J]. Journal of Geomechanics, 2008, 14 (1): 87~96.
- [4] 吴树仁, 石菊松, 张春山, 等. 地质灾害风险技术指南初论 [J]. 地质通报, 2009, 28 (8): 995~1005.
WU Shu-ren, SHI Ju-song, ZHANG Chun-shan, et al. Preliminary discussion on technical guideline for geo-hazards risk assessment [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28 (8): 995~1005.
- [5] 王涛, 吴树仁, 石菊松. 国际滑坡分析评估与管理指南研究综述 [J]. 地质通报, 2008, 28 (8): 1006~1019.
WANG Tao, WU Shu-ren, SHI Ju-song. A review of international landslide risk assessment and management guidelines [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 28 (8): 1006~1019.
- [6] 陈奇, 李智毅, 石怀伦. 区域地质灾害危险性评价的思路与基本方法 [J]. 地质力学学报, 2004, 10 (1): 71~80.
CHEN Qi, LI Zhi-yi, SHI Huai-lun. Thoughts and basic methods of regional geological hazard risk assessment [J]. Journal of Geomechanics, 2004, 10 (1): 71~80.
- [7] 马寅生, 张业成, 张春山, 等. 地质灾害风险评价的理论与方法 [J]. 地质力学学报, 2004, 10 (1): 7~18.
MA Yin-sheng, ZHANG Ye-cheng, ZHANG Chun-shan, et al. Theory and approaches to the risk evaluation of geological hazards [J]. Journal of Geomechanics, 2004, 10 (1): 7~18.
- [8] 周平根. 滑坡监测的指标体系与技术方法 [J]. 地质力学学报, 2004, 10 (1): 19~26.
ZHOU Ping-gen. Indicator system and techniques of landslide monitoring [J]. Journal of Geomechanics, 2004, 10 (1): 19~26.
- [9] 张永双, 石菊松, 孙萍, 等. 汶川地震内外动力耦合及灾害实例 [J]. 地质力学学报, 2009, 15 (2): 131~141.
ZHANG Yong-shuang, SHI Ju-song, SUN Ping, et al. Coupling between endogenic and exogenic geological processes in the Wenchuan earthquake and example analysis of geo-hazards [J]. Journal of Geomechanics, 2009, 15 (2): 131~141.
- [10] 甘建军, 黄润秋, 李前银, 等. 都江堰—汶川公路汶川地震次生地质灾害主要特征和形成机理 [J]. 地质力学学报, 2010, 16 (2): 146~158.
GAN Jian-jun, HUANG Run-qiu, LI Qian-yin, et al. Formation mechanism of geo-hazards triggered by Wenchuan Ms 8.0 earthquake along Dujiangyan-Wenchuan highway [J]. Journal of Geomechanics, 2010, 16 (2): 146~158.
- [11] 张永双, 雷伟志, 石菊松, 等. 四川 5.12 地震次生地质灾害的基本特征初析 [J]. 地质力学学报, 2008, 14

- (2): 109 ~ 116.
- ZHANG Yong-shuang, LEI Wei-zhi, SHI Ju-song, et al. General characteristics of 5.12 earthquake-induced geo-hazards in Sichuan [J]. *Journal of Geomechanics*, 2008, 14 (2): 109 ~ 116.
- [12] 吴玮江, 王念秦. 甘肃滑坡灾害 [M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2006.
- WU Wei-jiang, WANG Nian-qin. *Landslide hazards in Gansu Province* [M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 2006.
- [13] 张春山, 孙伟烽, 谭成轩, 等. 四川汶川 Ms 8.0 级地震重灾区地质灾害危险性评价和预测 [J]. *地质通报*, 2009, 28 (8): 1138 ~ 1145.
- ZHANG Chun-shan, SUN Wei-feng, TAN Cheng-xuan, et al. Assessment of geo-hazards in severely damaged region by Wenchuan Ms 8.0 earthquake, Sichuan Province, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28 (8): 1138 ~ 1145.
- [14] 张春山, 韩金良, 孙伟烽, 等. 陕西陇县地质灾害危险性分区评价 [J]. *地质通报*, 2008, 27 (11): 1795 ~ 1801.
- ZHANG Chun-shan, HAN Jin-liang, SUN Wei-feng, et al. Assessments of geo-hazards danger zoning in Longxian County, Shanxi, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27 (11): 1795 ~ 1801.
- [15] 张春山, 张业成, 马寅生, 等. 区域地质灾害风险评价要素权值计算方法及应用——以黄河上游地区地质灾害风险为例 [J]. *水文地质工程地质*, 2006, 33 (6): 84 ~ 88.
- ZHANG Chun-shan, ZHANG Ye-cheng, MA Yin-sheng, et al. Calculation method and application of the right-weighty value on geological hazards in region [J]. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2006, 33 (6): 84 ~ 88.
- [16] 张春山, 吴满路, 张业成. 地质灾害风险评价方法及展望 [J]. *自然灾害学报*, 2003, 12 (1): 96 ~ 102.
- ZHANG Chun-shan, WU Man-lu, ZHANG Ye-cheng, Method and prospect of geological disaster risk assessments [J]. *Journal of Nature Disaster*, 2003, 12 (1): 96 ~ 102.
- [17] 张春山, 张业成, 张立海. 中国崩塌、滑坡、泥石流灾害危险性评价 [J]. *地质力学学报*, 2004, 10 (1): 27 ~ 32.
- ZHANG Chun-Shan, ZHANG Ye-cheng, ZHANG Li-hai. Danger assessment of collapses, landslides and debris flows of geological hazards in China [J]. *Journal of Geomechanics*, 2004, 10 (1): 27 ~ 32.
- [18] 魏平新, 汤连生, 张建国, 等. 基于 GIS 的广东省滑坡灾害区划研究 [J]. *水文地质工程地质*, 2005, 32 (4): 6 ~ 9.
- WEI Ping-xin, TANG Lian-sheng, ZHANG Jian-guo, et al. Study on regionalization of landslides based on GIS in Guangdong Province [J]. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2005, 32 (4): 6 ~ 9.
- [19] 张梁, 张业成, 罗元华, 等. 地质灾害灾情评估理论与实践 [M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- ZHANG Liang, ZHANG Ye-cheng, LUO Yuan-hua, et al. *The geology disaster evaluation theories and fulfillment* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998.
- [20] WU Shu-ren, JIN Yi-min, ZHANG Yong-shuang, et al. Investigation and assessment of landslide hazards of Fengdu County in the reservoir region of Three Gorges Project on the Yangtze River [J]. *Environmental Geology*, 2004, 45: 560 ~ 566.
- [21] 张永波, 张礼中, 周小元, 等. 地质灾害信息系统的设计与开发 [M]. 北京: 地质出版社, 2001.
- ZHANG Yong-bo, ZHANF Li-zhong, ZHOU Xiao-yuan, et al. *Design and exploitation of information system of geological hazards* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001.
- [22] 殷跃平, 康宏达, 陈波. 三峡工程移民区滑坡防治与利用技术研究 [J]. *地质灾害与环境保护*, 2000, 11 (2): 135 ~ 140.
- YIN Yue-ping, KANG Hong-da, CHEN Bo. Landslides control and utilization of measurement in immigrant settlement region of Three Gorges Project [J]. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation*, 2000, 11 (2): 135 ~ 140.
- [23] 张梁, 张业成, 高兴和, 等. 地质灾害经济学 [M]. 石家庄: 河北人民出版社, 2002.
- ZHANG Liang, ZHANG Ye-cheng, GAO Xing-he, et al. *Geological hazards economics* [M]. Shijiazhuang: Hebei People's Publishing House, 2002.

RISK ASSESSMENT OF GEOHAZARDS BY USING GIS IN GANGU COUNTY, GANSU PROVINCE

WANG Lei¹, ZHANG Chun-shan¹, YANG Wei-min¹, SUN Wei-feng¹,
QIU Zhan-lin², WANG Tao¹

(1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;*

2. *School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China*)

Abstract: Based on detailed investigation of geo-hazards in Gangu County, the authors made evaluation zoning of geo-hazards risk assessment in Gangu County by using the combined qualitative analysis and quantitative evaluation on the GIS platform. On the basis of comprehensive analysis of the present landslides and geological environment in Gangu County, the authors analyzed the main factors controlling the formation of landslides. These factors involve such aspects as ① geo-hazards historical intensity, ② topography and geomorphic, ③ engineering geological layer combination, ④ tectonic setting and faults effects, ⑤ the degree of vegetation coverage, ⑥ the effects of water, ⑦ human activities, and ⑧ rainfall conditions. With the selected indices quantified according to experts' experience, the index system of geo-hazards risk assessment was formulated. The study area was finally divided into 4 levels of the high-grade area, the medium-grade area, low-grade area, and the very low-grade area. According to the results of landslide hazard zonation, the high-grade area covers 393.19 km², accounting for 25.01% of the total study area; the medium-grade area is 544.04 km², accounting for 34.61%; the low-grade area is 324.69 km², accounting for 20.65%; and the very low-grade covers 310.08 km², accounting for 19.73% of the whole county.

Key words: Gangu County; geo-hazards; Geographical Information System; risk assessment