

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2015.02.14

江苏省地质灾害区划评价

张丽,黄敬军,武健强,闵望,缪世贤

(江苏省地质调查研究院(国土资源部地裂缝地质灾害重点实验室),江苏南京 210018)

摘要: 本文在全面了解全省地质灾害分布状况的基础上,从社会属性和自然属性两方面建立了地质灾害区划评价指标体系,利用层次分析法计算出了各评价指标权重值,采用综合指数模型计算地质灾害区划指数,根据指数大小结合全省地质灾害发育类型将全省划分为地面沉降危害严重区、滑坡崩塌危害严重区、地面塌陷危害严重区和地质灾害危害一般区。评价结果可为今后江苏省地质灾害防治工作提供科学参考。

关键词: 地质灾害;区划;评价指标体系;层次分析法;江苏省

中图分类号: P642

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2015)02-0081-06

Zonation of geological hazards in Jiangsu province

ZHANG Li, HUANG Jingjun, WU Jianqiang, MIN Wang, MIAO Shixian

(*Geological survey of Jiangsu province(Key Laboratory for Earth Fissures Geological Disaster of MLR),
Nanjing, Jiangsu 210018, China*)

Abstract: Based on a systematic analysis of the distribution of geological hazards, this paper established the system of assessment index for regionalization of geological hazards from two aspects of social attribute and natural attribute, and determined the weights of indexes by using the analytic hierarchy process. The study area is divided into the serious harm areas and general harm areas of geological hazards by the regionalization index of geological hazards which is calculated by the Comprehensive index mode. The serious harm areas of geological hazards are further divided into three types by the kinds of geological hazards: land subsidence, landslide collapse and ground subsidence. It will provide scientific reference for geological hazard prevention in Jiangsu.

Keywords: geological hazards; regionalization; evaluation index system; analytic hierarchy process; Jiangsu province

0 引言

地质灾害作为人类社会的重大灾害之一,也是全社会防灾减灾工作的重要组成部分,目前关于地质灾害区划的研究工作多集中在易发性分区和危险性评价两方面。地质灾害易发区顾名思义即是容易发生地质灾害的区域,主要是依据地质灾害点(滑坡)的类型、体积(面积)和空间分布进行定性或定量评价,其评价多是针对地质灾害本身的自然特征。

地质灾害危险性评价则是在地质灾害易发性评价的基础上,更多考虑各种诱发地质灾害的因素,评估地质灾害发生的可能性,并未考虑灾害威胁对象,其本质上依然是对地质灾害自然属性的考察^[1]。然而地质灾害危害的大小与该区的人口密度、经济发展水平、灾害的防御能力等社会经济要素息息相关。因此,本文尝试从社会属性和自然属性两方面建立评价指标体系进行地质灾害区划,考虑了社会经济因素对于地质灾害危害性的影响。

收稿日期: 2014-05-09; 修订日期: 2014-07-22

基金项目: 中国地质调查局国土资源大调查项目“江苏省地质环境调查与区划”(1212011014002)

第一作者: 张丽(1986-),女,硕士,助理工程师,主要从事水文地质和环境地质研究工作。E-mail: cugzhangli@126.com

由于影响地质灾害发生及危害程度的各因素之间的关系极为复杂,且因素的量化也较为困难,选择合理的评价指标及恰当确定权重对地质灾害区划分区至关重要,层次分析法(AHP)是一种定性与定量相结合的多目标决策分析方法,将复杂问题中的各种因素以某种相互联系的有序层次使之条理化^[2]。因此本文引进层次分析法建立评价指标层次结构模型和计算权重,使区划结果更为科学准确。

地处长江三角洲的江苏省,经济发展水平位居全国前列,人类工程活动强烈,但人多地少,资源不足,地质环境脆弱,地质灾害发育、危害严重,同时地质灾害专项调查工作完成程度较高,也是较早完成县市地质灾害调查与区划的省份之一,因此以江苏省为例,采用层次分析法开展地质灾害综合区划研究,既对江苏省地质环境保护和地质灾害防治工作提供科学支撑,同时也为开展省域尺度地质灾害综合区划研究进行了有益探索。

1 江苏省地质灾害概况

江苏省地处长江、淮河下游,地形以冲积堆积平原为主,低山丘岗和岗地为辅,平原广布是江苏地貌特色,地形总体西高东低,北东、西南部高,中部低。江苏省地跨华北板块、苏鲁造山变质带、扬子板块三大地质构造单元,地质背景复杂,地质内容丰富。全省分布的主要地质灾害有滑坡、崩塌、地面塌陷和地面沉降等。

滑坡、崩塌和地面塌陷等突发性地质灾害主要集中

分布于宁镇、宜溧、环太湖、连徐等矿产活动强烈的低山丘陵区。据调查,全省突发性地质灾害点 687 处,因灾害造成人员伤亡和财产损失的突发性地质灾害 463 处,死亡 50 人,毁坏房屋 59998 间,直接经济损失约 176041 万元。目前,全省尚存各类地质灾害隐患点 2255 处,威胁人口 7.2735 万,威胁财产约 52.3×10^8 元。

区内地面沉降灾害由来已久,主要分布于全省的平原区,如苏锡常地区、盐通沿海地区和丰沛等地区,具有灾害严重、分布不均的特点。苏锡常平原区累计沉降量大于 200 mm 的地区面积已达到 6200 km²,400 mm 地面沉降量等值线已连片圈合了三个中心城市,面积超过 2000 km²,沉降中心最大沉降量近 2.8 m。沿海地区的地面沉降已形成以大丰及盐城城区、南通、海门及如东城区为中心的区域沉降漏斗,累计沉降量大于 600 mm 区域分布在大丰城区周边及盐城城区,面积约 360 km²。丰沛地区累计沉降量大于 200 mm 的区域有 200 km^{2[3]}。

2 地质灾害区划评价指标体系

2.1 评价指标选取

地质灾害区划评价指标体系的构建遵循科学性与实用性相结合、定性与定量相结合、重要性与差异性、普遍性与可操作性的原则,分为四个层次建立:第一层次为属性层,分为社会属性和自然属性,第二层次为目标层,依据区划目的确定;第三层次为约束层,为评价指标的 7 个类别,第四层次为指标层,选取 20 个可量化评价的具体指标(图 1)。

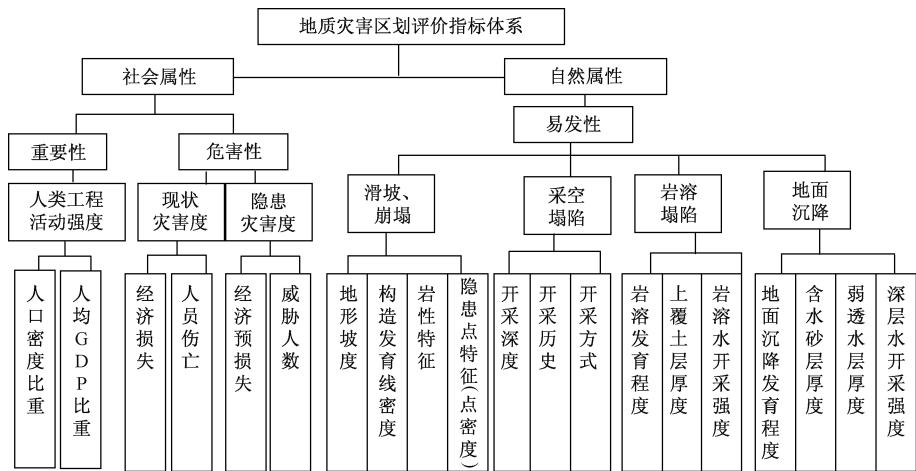


Fig.1 The analytical hierarchy model for evaluation index system of geological hazards regionalization in Jiangsu

2.1.1 社会属性指标

社会属性指标主要考虑区划对象的重要性和危害

性。重要性从各类地质灾害点所处位置的人类工程活动强度来反映,选取人口密度和人均 GDP 来表征;危

害性应反映现有地质灾害及隐患地质灾害的危害程度,因此选取已发生地质灾害的经济损失和人员伤亡、地质灾害隐患的经济预损失和威胁人数为评价指标^[4]。

2.1.2 自然属性指标

自然属性指标则主要考虑地质灾害的易发性,就江苏而言,主要考虑滑坡崩塌、地面塌陷及地面沉降等地质灾害的易发性。

(1) 滑坡崩塌易发性评价指标

a、地形坡度:地形地貌是影响滑坡、崩塌等突发性地质灾害的主控因素,为地质灾害提供能量和活动场所。影响滑坡、崩塌的主要微地貌为坡度、坡形。据此,将坡度作为滑坡崩塌灾害易发性评价指标。

b、构造发育线密度:组成斜坡的岩、土体只有被各种构造面切割分离成不连续状态时,才有可能向下滑动的条件。同时,构造面又为降雨等水流进入斜坡提供了通道。因此,节理、裂隙、层面、断层发育的发育情况可作为滑坡崩塌易发性评价指标。由于具体到每座山体的节理裂隙缺乏实测数据支撑,因此取构造发育线密度作为评价指标,构造发育越密集,越容易发生滑坡崩塌。

c、岩性特征:岩土体是发生滑坡崩塌的物质基础,各类岩、土都有可能构成滑坡体,其中结构松散,抗剪强度和抗风化能力较低,在水的作用下其性质能发生变化的岩、土所构成的斜坡易发生滑坡,因此将岩性特征也作为滑崩易发性评价指标。

d、隐患点密度:根据县(市)地质灾害调查与区划成果,目前滑坡崩塌隐患点分布越密的区域其滑坡崩塌的易发性越高,因此取滑坡崩塌隐患点密度作为滑崩易发性评价指标。

(2) 地面塌陷易发性评价指标

江苏省现有的塌陷类型主要分为采空区塌陷和岩溶塌陷两类,根据灾害成灾地质背景和动力条件不同,表征其易发性的评价指标应分别考虑。对于采空区塌陷灾害的易发性评价,主要考虑矿山开采深度、历史及开采方式3项。岩溶塌陷产生与否的自然影响因素主要有覆盖层特征、岩溶发育程度、地质构造和地下水活动,地表水和人类工程活动的影响主要起加速和诱发作用^[5],考虑指标的易获取情况及江苏省实际情况,选取岩溶发育程度、上覆土层厚度、岩溶水开采强度作为评价指标。

(3) 地面沉降易发性指标

地面沉降发生的基本地质条件是具有一定厚度的

松散层和地下含水层。基岩出露区周边第四系厚度薄,具有天然的抗地面沉降性,随着向外围厚度的增加,地面沉降潜力也逐渐增加。依据地面沉降机理,松散地层在天然状态下,土层中各点的静水压力均已达到平衡,土体的固结压缩作用很小,人为开采地下水,砂层中的孔隙水压力降低,砂层的有效应力也随之增加,砂层产生压缩变形。与此同时,含水砂层与顶部的粘性土隔水层之间的孔隙水压力平衡也被打破,导致粘性土中静水压力降低,粘性土层也随之被失水压密^[6]。因此,将地面沉降发育程度(累计沉降量或沉降速率)、含水砂层厚度、弱透水层厚度、深层水开采强度(潜力评价指数或水位埋深)等作为地面沉降地质灾害易发性评价指标。

2.2 评价指标量化分级

江苏省地质灾害区划评价指标按性质可分定量指标及定性指标。定量指标可根据基础统计数据查出或计算出指标值,定性指标由于种种原因难以量化,但可依据指标定性分析划分等级,对不同等级规定评分值。如岩性特征、隐患点特征、开采方式等3项指标。各项评价指标的判别标准见表1。选取评价指标中的滑坡崩塌易发性指标对评价指标的量化分级过程进行简述。

(1) 地形坡度:以 ArcGIS9.2 为平台,利用 ArcGIS 对低山丘陵区进行单元格剖分,剖分为 1500 m × 1500 m 的评价单元,共剖分单元 5278 个。收集全省的等高线及高程点资料,利用 ArcGIS 的 3D Analyst 功能将获取的高程信息插值到剖分区上,生成坡度分布图,依据地形坡度图将全省分为四个等级,分别为 > 30°、20° ~ 30°、10° ~ 20°、≤ 10°。

(2) 构造发育线密度:构造发育线密度是反映区域构造分布的疏密程度。以全省构造分布图作为评价对象,利用 ArcGIS 的空间分析功能,将经过剖分网格的构造线打断,然后统计落在每个剖分单元格中构造线的长度总和,通过对单位面积中构造线总长度范围的分析,对全区构造密度进行分级赋值(图2)。显然,徐州市、宁镇山脉和宜溧山脉的构造发育密度较大。全省构造发育线密度分为四个等级:> 3.70 km/km²(很密)、2.85 ~ 3.70 km/km²(较密)、1.95 ~ 2.85 km/km²(较稀)、≤ 1.95 km/km²(很稀)。

(3) 岩性特征:岩土体是产生地质灾害的物质载体,由于地层的岩性不同,其抗剪强度各不相同,发生滑坡的难易程度也就不同。据调查分析,岩浆岩、变质岩、沉积岩、土体的结构松散程度依次递增,造成其抗

表 1 江苏省地质灾害区划评价指标体系及权重表

Table 1 The evaluation index and weight for geological disasters regionalization in Jiangsu

权重	目标层	约束层	权重	指标层	判别分值			
					4	3	2	1
0.18	重要性	工程活 动强度	0.60	人口密度比重	>1.5	1.0~1.5	0.5~1.0	≤0.5
			0.40	人均 GDP 比重	>1.5	1.0~1.5	0.5~1.0	≤0.5
0.22	危害性	现状	0.15	经济损失/万元	>1000	500~1000	100~500	≤100
		灾害度	0.20	伤亡人数/人	>30	10~30	3~10	≤3
		隐患	0.25	经济预损失/万元	>10000	5000~10000	500~5000	≤500
		灾害度	0.40	威胁人数/人	>1000	100~1000	10~100	≤10
0.6	易发性	滑崩 灾害	0.25	地形坡度/(°)	>30	20~30	10~20	≤10
			0.15	构造发育线密度/(km/km ²)	>3.70	2.85~3.70	1.95~2.85	≤1.95
			0.10	岩性特征	土体	沉积岩	变质岩	火成岩
			0.50	隐患点特征(点密度) /(个/km ²)	>1.2	1.0~1.2	0.4~1.0	≤0.4
		采空 塌陷	0.40	开采深度/m	>600	300~600	100~300	≤100
			0.10	开采历史/a	>15	10~15	5~10	≤5
			0.50	开采方式	崩落法	空场法	房柱法	充填法
		岩溶 塌陷	0.25	岩溶发育程度 (碳酸盐岩的比例)/%	>80	65~80	50~65	≤50
			0.45	上覆土层厚度/m	>30	20~30	10~20	≤10
			0.30	岩溶水开采强度 (开采潜力评价)(P)	≤0.6	0.6~0.8	0.8~1.0	>1.0
	地面 沉降		0.20	地面沉降 累计沉降量/mm	>300	200~300	100~200	≤100
				发育程度 沉降速率/(mm/a)	>15	10~15	5~10	≤5
			0.25	含水砂层厚度/m	>80	60~80	30~60	≤30
			0.20	弱透水层厚度/m	>100	80~100	60~80	≤60
			0.35	深层水 潜力评价指数	≤0.6	0.6~0.8	0.8~1.0	>1.0
				开采强度 水位埋深/m	>40	30~40	20~30	≤20

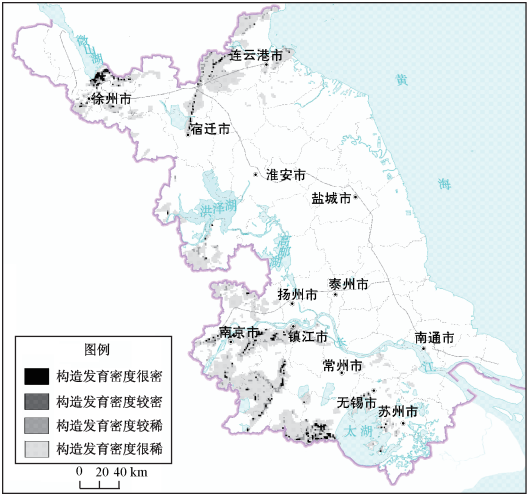


图 2 江苏省构造发育线密度分级图

Fig.2 Linear density classification map of tectonic development in Jiangsu

剪强度和抗风化能力依次递减,发生滑坡、崩塌的可能性也依次递增。因此,以岩土体分类作为岩性特征划分等级标准:一级土体、二级沉积岩、三级变质岩、四级火成岩(图 3)。

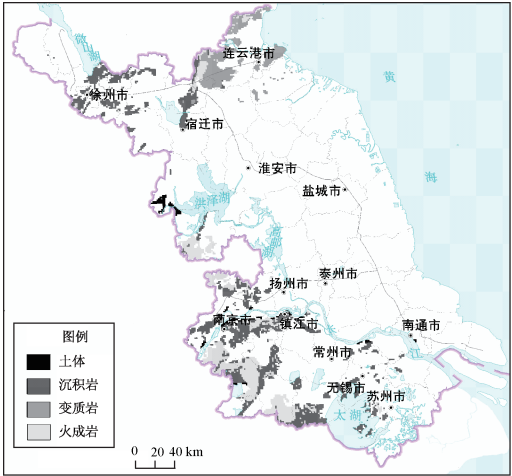


图 3 江苏省岩性特征分级图

Fig.3 Classification map of lithologic features in Jiangsu

(4) 隐患点特征(隐患点密度):依据全省 24 个县(市)地质灾害调查与区划调查及后期实地补充调查资料,获得全省崩塌滑坡地质灾害隐患点的分布情况,利用 arcgis 的空间分析功能,统计落在每个剖分单元格中滑坡崩塌隐患点的数目,将其与剖分单元格的面积

积相除得到每个剖分单元格中的滑坡崩塌隐患点密度(个/ km^2),通过统计分析,将其分为4级: >1.2 个/ km^2 (很大)、 $1.0 \sim 1.2$ 个/ km^2 (较大)、 $0.4 \sim 1.0$ 个/ km^2 (较小)、 ≤ 0.4 个/ km^2 (很小)(图4)。

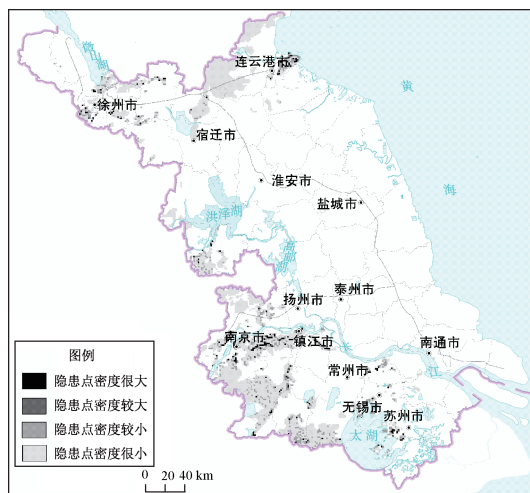


图4 江苏省滑坡、崩塌隐患点密度分区图

Fig. 4 Density classification map of landslide and collapse hidden points in Jiangsu

2.3 指标权重确定

层次分析法能够将数据、专家意见和分析者的主观判断直接有效地结合起来,因此采用层次分析法计算各评价指标权重^[7-8],具体步骤如下:

(1)根据建立的评价指标体系,采用1~9标度法对同一层次各因子对上一层次各准则的相对重要性进行两两比较,反复通过专家咨询反馈,确定标度值,构建判断矩阵^[9]。

(2)求出判断矩阵最大特征根所对应的特征向量。所求特征向量即为各评价因素重要性排序,即权重分配,此处采用方根法。

(3)为检验所求权重的合理性,需要对判断矩阵作一致性检验,检验公式为: $CR = CI/RI$, $CI = \frac{1}{n-1}(\lambda_{\max} - n)$;式中 CR 为一致性指标, $\lambda_{\max}$ 为最大特征根, n 矩阵阶数, RI 为平均随机一致性指标,如果 $CR < 0.10$,则判断矩阵通过一致性检验,所求权重具有合理性。

经计算的目标层和指标层权重见表1。

3 地质灾害区划

3.1 区划评价流程

依据全省地质灾害调查资料,确定地质灾害区划评价针对江苏省主要地质灾害类型,包括地面沉降、滑

坡崩塌、地面塌陷等地质灾害进行。

首先,根据建立的地质灾害区划评价指标体系,分灾种进行地质灾害易发性评价,其中,滑坡崩塌和岩溶塌陷地质灾害易发区评价是在网格化剖分的基础上进行,将评价区剖分为 $1500 \text{ m} \times 1500 \text{ m}$ 的评价单元,分别得5278个、2700个评价单元,采空塌陷和地面沉降地质灾害以其易发区域为评价单元。

其次,选取综合指数模型计算地质灾害区划指数:

$$PI = \sum_{i=1}^n u_i \cdot w_i$$

式中: PI ——区划指数值;

u_i ——各指标的值;

w_i ——各指标的权重;

n ——指标的总个数。

依据 PI 值大小将全省划为分地质灾害危害严重区($PI > 1.8$)和地质灾害危害一般区($PI \leq 1.8$)。其中地质灾害危害严重区按照灾害类型分为地面沉降危害严重区、滑崩危害严重区和地面塌陷危害严重区三种类型。

3.2 区划结果

根据上述区划评价方法进行地质灾害区划评价,通过MapGIS软件绘制出江苏省地质灾害区划图(图5)。全省划分出11个危害严重区,面积为 21120 km^2 ,占全省总面积的20.6%,其中:地面沉降危害严重区4个,面积为 13910 km^2 ;滑坡崩塌危害严重区5个,面积 4700 km^2 ,2个地面塌陷危害严重区,面积为 2510 km^2 。其它地区为地质灾害危害一般区。

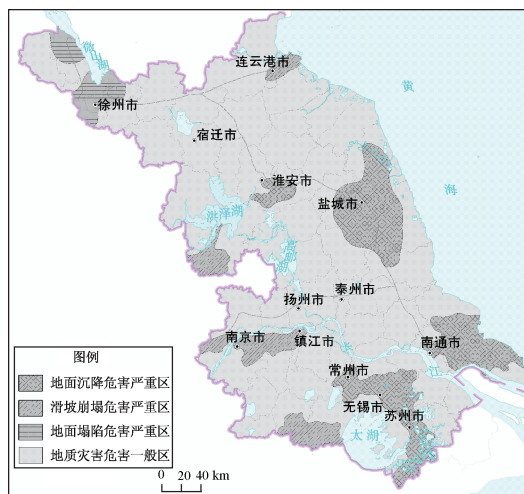


图5 江苏省地质灾害区划图

Fig. 5 Map of geological hazards regionalization in Jiangsu

地面沉降危害严重区主要分布在苏锡常、南通、盐城及淮安等地,是江苏地面沉降最严重的地区,累计沉

降量均超过 100 mm,最大沉降量达 2.8 m,部分地区沉降速率大于 10 mm/a;其中苏锡常地区由于长期超量开采地下水引发严重的地面沉降灾害,自从深层地下水禁采以来,地面沉降的发展态势趋缓,但监测表明仍以 10~30 mm/a 的速度在下沉;南通、盐城地区由于地面高程较低,地面沉降将加剧洪涝灾害、降低抵御风暴潮能力、造成海水回灌。区内应严格控制开采地下水,完善地面沉降监测网络,提高地面沉降监测自动化程度^[10]。

滑坡崩塌危害严重区分布在宁镇、浦口、宜溧、盱眙、连云港等低山丘陵区。其中宁镇、浦口、宜溧滑坡崩塌灾害危害严重区面积共 3160 km²,区内地质环境条件复杂,地形地貌差异悬殊,因城市建设及早期开山采石削坡现象严重,导致山体不稳定,存在众多的滑坡崩塌隐患。连云港滑坡崩塌危害严重区围绕云台山风景区及周边分布,以高密度、高易发性的岩质滑坡为主。

地面塌陷危害严重区分布在丰沛和徐州煤田和隐伏岩溶区。丰沛地区是江苏省煤炭资源的远景规划开采区,开采以来已造成 5284 m² 的采空塌陷地;徐州市区贾汪、九里以及铜山西部等地是江苏省煤炭资源开发利用最早的地区,地下采煤形成大面积采空区,采空塌陷地质灾害严重,同时,岩溶水又是该地区城市供水水源之一,过量开采曾诱发十多起岩溶地面塌陷^[11]。

4 结论

(1)基于地质灾害调查结果,从自然属性和社会属性两个方面考虑,建立了由 3 个目标层、7 个约束层、20 个指标层组成的江苏省地质灾害区划评价指标体系,并对不同性质评价指标的量化分级进行了探讨。

(2)江苏省共划定 11 个地质灾害危害严重区,面积为 21120 km²,占全省总面积的 20.6%。其中:地面沉降危害严重区 4 个,面积为 13910 km²;滑坡崩塌危害严重区 5 个,面积 4700 km²,2 个地面塌陷危害严重区,面积为 2510 km²。针对地质灾害危害严重区,应进行地质灾害专项调查和监测,开展地质灾害隐患点治理,建立和完善地质灾害监测网络。

(3)将层次分析法应用在地质灾害区划评价工作中,建立了相应的结构模型和数学模型,将定性分析与定量计算相结合,使区划工作更为科学系统,区划结果更准确,对未来地质灾害评价与区划工作具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 王雁林,郝俊卿,赵法锁,等. 陕西省地质灾害风险区划初步研究[J]. 西安科技大学学报, 2011, 31(1): 46-52.
WANG Yanlin, HAO Junqing, ZHAO Fasuo, et al. Regional risk zonation of geological hazard in Shanxi province[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2011, 31(1): 46-52.
- [2] 郑师谊,张绪教,杨 艳,等. 层次分析法在滇西怒江河谷潞江盆地段崩塌与滑坡地质灾害危险性评价中的应用[J]. 地质通报, 2012, 31(2/3): 356-365.
ZHENG Shiyi, ZHANG Xujiao, YANG Yan, et al. The application of analytic hierarchy process to the danger evaluation of collapse and slide in Lujiang basin segment of Nujiang valley. western Yunnan province[J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(2/3): 356-365.
- [3] 江苏省国土资源厅. 地质灾害防治规划(2011-2020 年)[R]. 2011.
The Department of Land Resource of Jiangsu Province. A program of geological hazards prevention and harness for Jiangsu Province (2011-2020) [R]. 2011.
- [4] 黄敬军,甘义群,缪世贤,等. 江苏省地质环境区划评价指标体系初步研究[J]. 中国地质, 2011, 38(6): 1599-1606.
HUANG Jingjun, GAN Yiqun, MIAO Shixian, et al. Preliminary study for evaluation index system of the geo-environment division in jiangsu[J]. Geology in China, 2011, 38(6): 1599-1606.
- [5] 陈福春,刘洪. 基于 GIS 的江苏宜兴市地质灾害易发区评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2012, 23(2): 96-100.
CHEN Fuchun, LIU Hong. Geological hazards easy-happening zoning evaluation of Yixing city by applying GIS[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2012, 23(2): 96-100.
- [6] 赵文涛,李亮. 苏锡常地区地面沉降机理及防治措施[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2009, 20(1): 88-93.
ZHAO Wentao, LI Liang. The mechanism of land subsidence and its prevention measures in Suzhou-Wuxi-Changzhou area [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2009, 20(1): 88-93.

(下转第 102 页)