

基于 GIS 技术的全国地面塌陷灾害危险性评价

蒋小珍

(武汉大学测绘与遥感信息工程国家重点实验室 湖北 武汉 430000 ;
中国地质科学院岩溶地质研究所 广西 桂林 541004)

摘 要 本文运用 GIS 的缓冲区、叠加、空间分析等功能,从地貌类型、碳酸盐岩类型、水文地质条件、人类活动及土地利用因素方面,对以岩溶塌陷和采空塌陷为代表的中国地面塌陷灾害危险性进行评价。其中模型中各影响因素的权重值主要是通过层次分析法来确定,而影响因素中的分类值则是地面塌陷点的分布概率。评估结果表明,地面塌陷极高危险区主要分布在我国的广西、贵州、云南,其次是湖北、湖南、重庆、四川、陕西。

关键词 地面塌陷 危险性评价 GIS

Application of GIS to the Assessment of Surfaces Collapse Hazards in China

JIANG Xiaozhen

(*National Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing,*
Wuhan University, Wuhan, Hubei 430000; Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin, Guangxi 541004)

Abstract Assessment of collapse hazards(karst collapse and mining collapse) on the nation-wide scale is very important in government decision-making. In this paper, the author describes the analytical and assessment methods which use GIS function, such as buffer analysis, overlay analysis, and spatial analysis. The influencing factors considered include carbonate rock type, geomorphic type, hydrogeological condition, human activities and land use. Human activities consist of urbanization, mining, highway and railway. All of these factors were digitized as corresponding layers and assigned values based on the distribution probability of collapses. In order to determine the weight of each factor to the hazard, AHP(The Analytic Hierarchy Process) was used. The assessment result is divided into five levels, i. e., very high risk, high risk, medium risk, low risk, and very low risk. It is shown that the very high risk and high risk areas are mainly distributed in Guangxi, Guizhou, Yunnan, followed by Hubei, Hunan, Chongqing, Sichuan, and Shaanxi.

Key words collapse risk assessment GIS

1 概述

近十多年来,随着国民经济建设的发展,岩溶塌陷问题日益突出,已成为岩溶区主要地质灾害问题,严重妨碍岩溶区的经济建设与发展;采空塌陷的规模与损失也日益严重。据调查,全国有 23 个省(市、自治区)的 300 多个市县共发生过岩溶塌陷 1 400 例以上,塌陷坑总数超过 4×10^4 个,其中以南方的滇、黔、桂、湘、赣、川、鄂等省区最为发育,北方的河

北、山东、辽宁等省也发生过严重的岩溶塌陷灾害。采空塌陷,尤其以煤矿区最为突出,华北、华东地区的煤矿区采空塌陷,每年平均为 10.5×10^4 亩^①(图 1)。

统计结果表明,人类活动已成为诱发(触发)地面塌陷的主要因素,大约有 70% 的岩溶塌陷为人类活动所诱发。而多数地面塌陷都分布在人类活动强、人口密度大的地区。

中国岩溶塌陷图(1:600 万)依据地形地貌、岩

本文为国土资源部地质灾害预警工程项目“全国地质灾害风险区划”地面塌陷子专题的部分成果。

改回日期 2002-3-12,责任编辑:宫月萱。

作者 蒋小珍,女,1970 年生,硕士研究生,主要从事岩溶地质灾害防治研究工作,E-mail: sinkhole@mail.karst.ac.cn。

① 1 亩 = 666.67 平方米

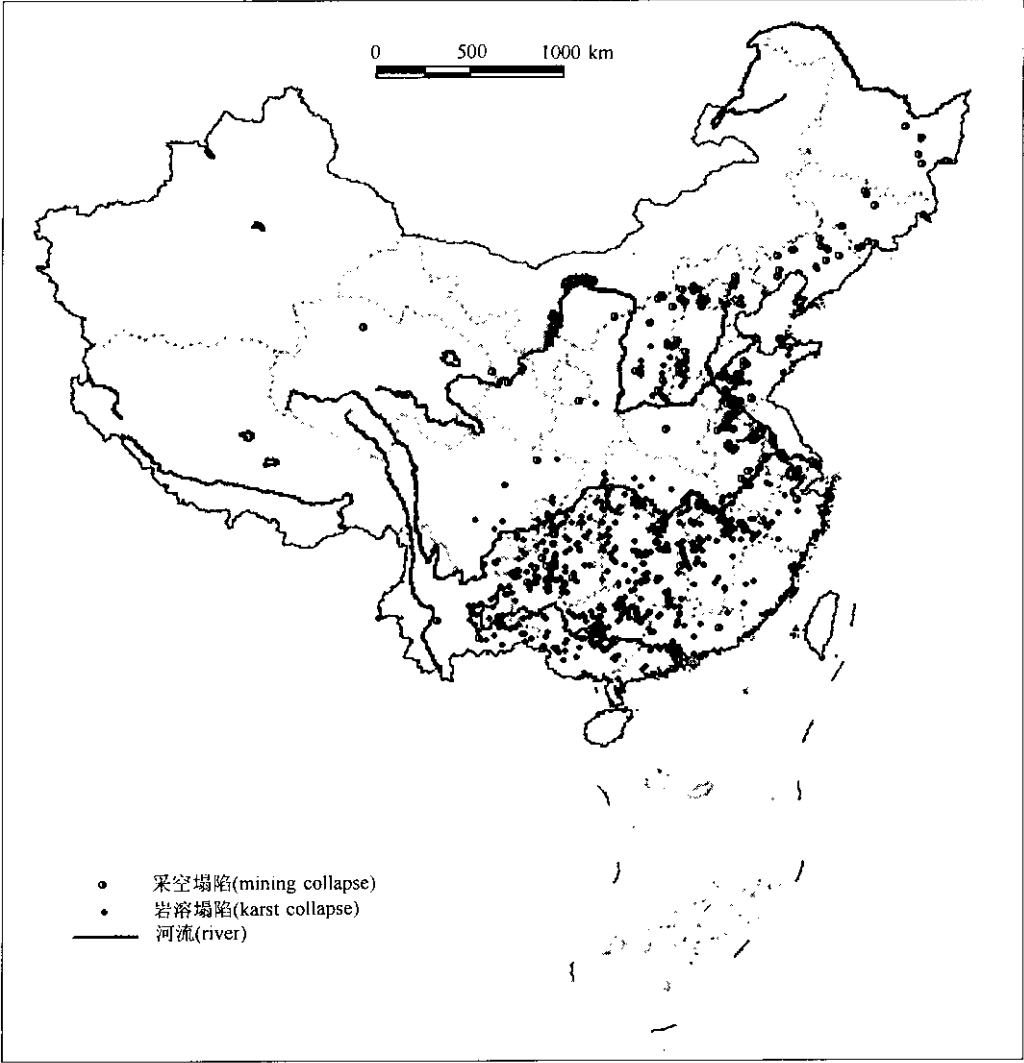


图 1 全国地面塌陷分布图^①
Fig. 1 The distribution map of collapse

溶地质和水文地质等条件对岩溶塌陷区划进行定性划分。第一级为“区”,反映区域岩溶地质环境的宏观差异,主要考虑巨型地貌和可溶岩的分布,分为①西部高原、台地、盆地岩溶区;②东北山地、平原及辽东半岛丘陵岩溶区;③华北山地、高原及黄淮海平原岩溶区;④云贵高原及华南丘陵、盆地、平原岩溶区。第二级为“亚区”,主要反映岩溶塌陷的形成条件(地形地貌、岩溶地质、水文地质)、发育特征(规模、强度)以及区域分布规律上的差异性。

20 世纪 90 年代以来,GIS 技术日益广泛运用到地质灾害评估领域。中国地质科学院岩溶地质研究所从 1997 年起陆续建立了桂林市、玉林市、六盘水市以及中国岩溶塌陷地理信息系统,并对唐山市、湘潭市、六盘水市的岩溶塌陷进行了危险性评价。本文主要从地貌条件、碳酸盐岩分布、水文地质条

件、人类活动及土地利用因素方面应用 GIS 技术定量评价地面塌陷潜在危险性。

2 数据准备与影响因素的分析处理

根据地面塌陷的形成机制及评价尺度,考虑了 9 个影响因素:

(1)中国地面塌陷分布图:以地面塌陷数据库为基础,由 GIS 根据各塌陷点的经纬度直接生成《中国地面塌陷分布图》。

(2)中国主要煤矿分布图:1994 年中国煤炭城市发展联合促进会编制的《中国塌陷区域分布图》(1:700 万)。其中,煤矿资源信息包括统配煤矿、省属煤矿、乡镇煤矿和其他矿山,依据统计资料及评价尺度的限制,影响范围分别设为 30 km、10 km、5 km 和 1 km。

① 数字地理底图由国家基础地理信息中心提供,2001

(3)城市化 :以国家 1:400 万标准数字地图为基础 ,城市化信息包括县城、地级市和省会上城市 ,影响范围分别设为 10 km、30 km 和 50 km。

(4)公路 :以国家 1:400 万标准数字地图为基础 ,两侧影响范围设为 5 km。

(5)铁路 :以国家 1:400 万标准数字地图为基础 ,两侧影响范围设为 5 km。

(6)中国碳酸盐岩分布图 :1985 年地质出版社出版的《中国可溶岩类型图》(1:400 万 ,等积圆锥投影) 。通过碳酸盐岩分布图与地面塌陷分布图的空间分析 ,计算各类碳酸盐岩中塌陷发生的概率 ,作为此类碳酸盐岩的取值(表 1)。

表 1 碳酸盐岩类型及取值

类 型	ID	取值
灰岩	1	67.38
灰岩与白云岩	2	67.38
白云岩	3	2.95
次不纯灰岩	4	29.67
不纯灰岩	5	29.67

(7)土地利用现状图 :1993 年 ,测绘出版社出版的《中国土地利用图》(1:400 万 ,等积圆锥投影) 。首先将土地利用现状图归为耕地、林地、灌丛、草地、湖泊、城市 6 类 ,同样计算塌陷在各类中发生的概率。

(8)中国地貌图 :1994 年科学出版社出版的《中国地貌图》(1:400 万 ,等积圆锥投影) 。将 118 个小类合并为①低海拔丘陵 ;②中海拔丘陵 ,低海拔山地、漫滩 ;③中、低海拔冲、洪、湖积台地与平原 ,小起伏山地 ;④中高海拔冲、洪、湖积台地与平原 ;⑤高海拔冲、洪、湖积台地与平原 ;⑥中、高、低海拔干燥洪积平原、台地等 6 类。同样计算塌陷在各类中发生的概率。

(9)中国水文地质图 :1987 年地质出版社出版的《中国水文地质图》(1:400 万 ,等积圆锥投影) ,分为①峰丛峰林、岩溶丘陵裂隙溶洞水 ;②岩溶山地裂隙溶洞水 ,堆积平原、山间盆地冲洪积层孔隙水 ;③滨河平原冲、海积层孔隙水、湖泊。同样计算塌陷在各类中发生的概率。

3 方法

3.1 采用软件

评价采用美国 CLARK 大学开发的基于栅格数据的地理信息系统 IDRISI32 进行。评价范围是 N17°5′~54°00′ E72°00′~136°00′ ;划分的网格单

元为 1.5 km ,共有 8 742 600 个单元。

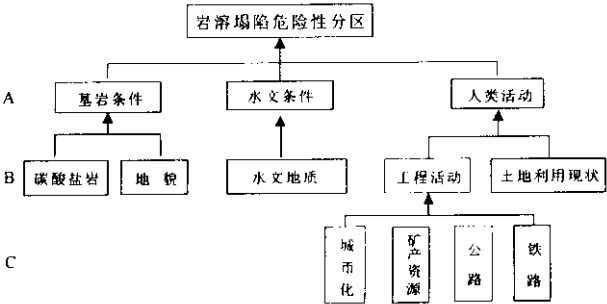
3.2 岩溶塌陷潜在危险性评价模型

评价模型的建立 ,即模型中各影响因素权重的确定 ,是岩溶塌陷危险性评价的关键 ,考虑到资料的精度及评价尺度 ,采用层次分析法(简称 AHP)来确定各影响因素的权重。

该方法是美国运筹学家 A L Saaty 于 20 世纪 70 年代提出的 ,在各领域已得到广泛的应用 ,一些 GIS 软件决策分析模块中也包含此方法。它是将问题分解为不同的组成因素 ,按照因素间的相互影响关系及隶属关系将因素按不同层次组合 ,形成一个多层次的分析结构模型 ,最终把系统分析归结为最底层相对于最高层的相对重要性权值的确定。

实施步骤为 3 步。

(1)建立层次分析模型 :



(2)构成判断矩阵 :层次分析法中 ,每一层次的因素相对于上一层次某一因素的相对重要性权值的确定可简化为一系列成对因素的判断比较 ,为了将比较判断定量化 ,引入 1~9 比率标度法。

将各层次中的因素两两对比 ,得到判断矩阵 :

A 基岩条件、水文条件、人类活动

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}$$

B1 碳酸盐岩、地貌

$$\begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{pmatrix}$$

B2 工程活动、土地利用

$$\begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{pmatrix}$$

C 公路、铁路、矿山、城市化

$$\begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 1/5 & 1 \\ 3 & 1 & 1/2 & 3 \\ 5 & 2 & 1 & 5 \\ 1 & 1/3 & 1/5 & 1 \end{pmatrix}$$

(3)一致性检验 :AHP 中 ,采用随机一次性指标 CR 来检验判断矩阵的合理性。当 CR 小于 0.10

时,结果有满意的一致性,否则,需要调整判断矩阵的元素取值。本次分析层次单排序 CR 等于 0、层次总排序 CR 等于 0.02 均小于 0.1。

(4) 建立评价模型:通过计算上述判断矩阵的最大特征根及其对应的特征向量,可得到各层次相对于上一层次元素的相对重要性权值,然后再用上一层次本身的权值加权综合。就可计算出最底层元素相对于最高层的权值。

预测模型为:

$$PJ = 0.333 \times \text{碳酸盐岩} + 0.111 \times \text{地貌} + 0.387 \times \text{水文} + 0.0126 \times \text{公路} + 0.036 \times \text{铁路} + 0.066 \times \text{矿山} + 0.0126 \times \text{城市化} + 0.042 \times \text{土地利用}$$

3.3 岩溶塌陷危险性分区

应用 IDRISI 的模型计算功能,对整个工作区进行评价,并将结果分为极高危险区($35 \times 10^4 \text{ km}^2$)、高危险区($22 \times 10^4 \text{ km}^2$)、中危险区($110 \times 10^4 \text{ km}^2$)、低危险区($299 \times 10^4 \text{ km}^2$)和安全区(481×10^4

km^2)。

为了检验分区结果的合理性,将分区结果图与岩溶塌陷点分布图进行空间分析,计算各区的岩溶塌陷点的总数。其中,极高危险区岩溶塌陷分布为 50.8%,高危险区为 11.6%、中危险区为 12.1%、低危险区为 19%、安全区为 6.4%。

3.4 采空塌陷危险性分区

采空塌陷,尤其以煤矿区最为突出,本次研究以煤田分布、国有统配煤矿、省属煤矿以及已有采空塌陷为基础,通过 GIS 的空间分析技术,按以下原则进行危险性区划:① 目前已发生过采空塌陷的煤田,均作为极高危险区;② 有国有统配煤矿分布的煤田,作为高危险区;③ 有省属煤矿分布的煤田,作为中危险区;④ 其他煤田均为低危险区。

3.5 地面塌陷危险性分区

将岩溶塌陷与采空塌陷危险性分区进行迭合处理,二者中取高值(图 2)。

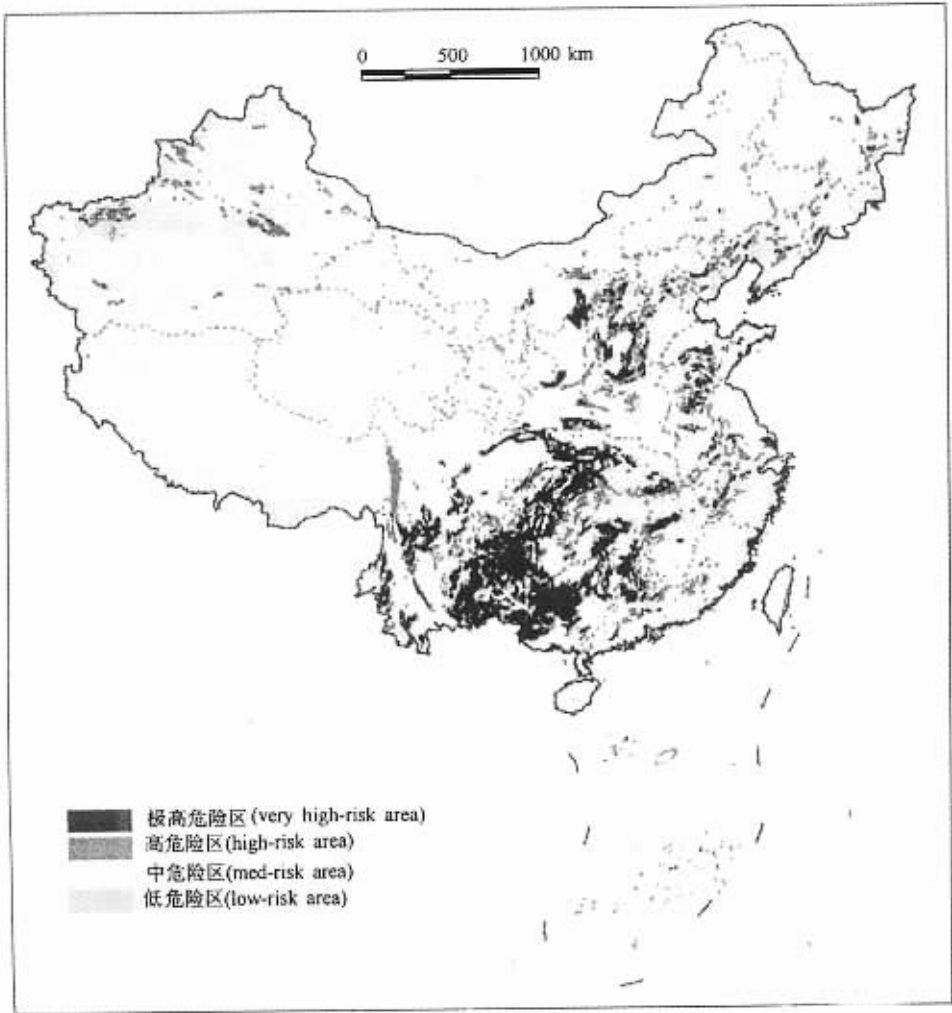


图 2 地面塌陷危险性分区图^①
Fig.2 The risk map of potential collapse

① 数字地理信息数据国家基础地理信息中心提供 2001.

4 结 论

从地面塌陷极高危险区的分布来看,主要分布在广西、贵州、云南,其次湖北、湖南、重庆、四川、陕西(表 2)。根据国土资源部环境司的要求,相关成果将制作电子地图在互联网上发布。因此,其他危险区及各市县的危险区面积这里不再赘述。

表 2 各省地面塌陷极高危险区分布表			
Table 2 The areas of very high-risk			
		km ²	
省 名	面 积	省 名	面 积
广西壮族自治区	75304.72	安徽省	2099.41
贵州省	68656.39	河南省	1948.86
云南省	59285.81	浙江省	1647.02
湖北省	31591.94	江苏省	1375.39
湖南省	26057.43	新疆维吾尔自治区	1368.46
重庆市	20855.79	辽宁省	609.22
四川省	17598.78	内蒙古自治区	571
陕西省	12485.62	北京市	436.04
广东省	6638.32	吉林省	334.75
江西省	5851.46	黑龙江省	333.19
山东省	5593.35	福建省	108.21
山西省	5147.7	宁夏回族自治区	56.61
河北省	2253.65	甘肃省	55.86

在此基础上,国家可根据经济状况,按轻重缓急,制定防治规划,分期、分批进行治理。《国土资源部 2001~2015 年全国地质灾害防治工作规划纲要》指出,地质灾害风险区划是中国地质灾害六大重要

防治任务之一,以环境地质调查等已有资料为基础,运用 GIS 技术,研究中国地质灾害活动程度与社会经济易损性程度,分析地质灾害与社会经济发展的关系,评价中国地质灾害风险程度与地区差异,为国土资源开发和地区经济布局提供科学依据。

参 考 文 献

蒋小珍. 1998. 岩溶塌陷发育条件的试验研究. 中国地质灾害与防治学报,9(增刊):187~191.
蒋小珍. 2001. 玉林市岩溶塌陷地理信息系统. 中国地质灾害与防治学报,12(1):55~59.
雷明堂,蒋小珍,周立新. 2000. 城市岩溶塌陷地质灾害风险评估. 中国地质灾害与防治学报,11(4):23~27.

References

Jiang Xiaozhen. 1998. The test of karst collapse condition. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control,9(Sup.):187~191(in Chinese with English abstract).
Jiang Xiaozhen. 2001. Geographical information system of karst collapses in Yulin city, Guangxi Province. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control,12(1):55~59(in Chinese with English abstract).
Lei Mingtang, Jiang Xiaozhen, Zhou Lixin. 2000. The risk assessment of karst collapse in Liupanshui city, Guizhou province. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control,11(4):23~27(in Chinese with English abstract).
Mario MEJIA-NAVARRO. 1996. Natural hazard and risk assessment using decision support systems, application: glenwood springs, colorado. Environmental & Engineering Geoscience,11(3):299~324.
Salvati R et al. 2001. Catastrophic subsidence risk assessment: a conceptual matrix for sinkhole genesis. Proceedings of the 8th Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst, Louisville/Kentucky (1~4):159~162.
Saaty T L. 1980. The analytic hierarchy process. McGraw Hill, Inc.