

城市地质环境风险性分区评价体系

倪师军¹, 魏伦武², 张成江¹, 丁 俊², 王永利¹, 王德伟¹, 赖绍民²

NI Shi-jun¹, WEI Lun-wu², ZHANG Cheng-jiang¹, DING Jun²,

WANG Yong-li¹, WANG De-wei¹, LAI Shao-min²

1. 成都理工大学地球化学系, 四川 成都 610059;

2. 中国地质调查局成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082

1. Department of Geochemistry, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;

2. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China

摘要 城市地质环境风险性分区评价体系由三级指标体系和三层次用户体系构成。一级指标体系反映城市地质环境风险性分区评价指标; 二级指标体系反映城市地质环境条件基础性、城市地质灾害危险性和城市地球化学脆弱性分区评价指标; 三级指标体系反映城市地质环境基本组成元素的评价指标。3个不同级别的评价结果主要应用于政府决策机构、城市规划部门、城市管理和建设设计部门3个不同层次的用户。

关键词 城市地质环境; 风险性分区评价; 地质环境条件基础性; 地质灾害危险性; 地球化学脆弱性

中图分类号 X141 **文献标识码** A **文章编号** 1671-2552(2006)11-1279-08

Ni S J, Wei L W, Zhang C J, Ding J, Wang Y L, Wang D W, Lai S M. Risk evaluation system for urban geoenvironment. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(11): 1279-1286

Abstract: The risk evaluation system for urban geoenvironment is composed of three-level risk indicator systems and three user-level systems. The first-level risk indicator system concerns the divisional risk evaluation indicators for urban geoenvironmental risk, which mainly serves the city government decision-making agency. The second-level indicator system involves the divisional risk evaluation indicators reflecting urban geoenvironmental background, geological hazard risk and geochemical fragility, which mainly serves the city planning agency. The third-level indicator system contains the evaluation indicators reflecting the essential evaluation factors for urban geoenvironmental, which mainly serves the city management and construction and design departments.

Key words: urban environmental geology; divisional risk factor evaluation; geological background, geological hazards risk, geochemical fragility

随着城市化进程步伐的加快,人们越来越重视城市地质工作^[1,2]。自然环境是人类赖以生存与发展的空间,也是直接或间接影响人类生存与发展的各种自然因素与条件的总和。城市地质环境与自然环境一样具有2个非常明显的特点,即自然属性和社会属性。为了更好地为城市经济可持续发展服务,城市环境地质调查与评价的工作重心,已经由过去的“查条件、找问题”,转向研究城市经济活动与地质环境之间的和

谐发展,体现“环境友好”的发展观。

过去开展的城市地质环境调查是对城市的总体地质环境质量进行宏观评价^[3,4],评价指标是单一的综合性指标,还没有对城市地质环境划分地质单元进行分区评价,也没有对城市地质环境开展分层次的评价工作。城市地质环境风险性分区评价体系,是在解决城市发展与地质环境“和谐”问题上的一个探索。

收稿日期 2006-04-07; 修订日期 2006-08-18

地调项目 中国地质调查局项目《西南地区主要城市环境地质调查及脆弱性评价》(编号: 1212010540102)成果之一。

作者简介 倪师军(1957-),男,博士,教授,从事环境地质和地球化学研究。E-mail: nsj@cdu.edu.cn

1 城市地质环境风险性分区评价体系框架

城市地质环境的风险性分区分层次评价体系,主要体现在风险性、分区分单元评价和分层次多目标用户3个方面。

1.1 城市地质环境风险性

城市地质环境风险性是指城市地质环境对城市可能造成危害或损失的不确定因素,是研究城市地质环境的社会属性与自然属性相匹配的程度,匹配程度越高,适宜度越好、风险性则越小,反之,匹配程度越低,适宜度越差、风险性则越大。

国内有研究者提出了环境地质风险性分区评价的概念,例如,模糊综合评判在绵阳市环境地质风险性分区评价中的应用等^[5]。

从目前已发表的文献来看,“地质灾害风险性”是一个使用频率很高的词汇,该方面的研究成果也有很多。但是,从中国西南城市的特点和实际出发,地质环境对城市建设和管理的影响,“灾害或可能的损失”均存在,也就是说有广义的风险性存在。这种风险性当然以“地质灾害风险性”为主,但是也存在地质条件基础性、地球化学脆弱性等方面的风险性。以西南地区的城市为例,可将城市地质环境风险性分解为3方面的内容,即地质环境条件的基础性、地质灾害的危险性和地球化学的脆弱性(图1)。其中地质环境条件的基础性是地质环境风险性的最为本质的反映,是风险性的源头,地质环境条件的好坏直接决定了风险性的大小,地质环境条件越好,则风险性越小,反之,地质环境条件越差,则风险性越大。因此,地质环境条件的评价是风险性评价的基础。地质灾害危险性主要是以物理形式表现出来的地质环境不利因素。地球化学脆弱性则主要是以化学形式表现出来的地质环境不利因素。地质灾害危险性和地球化学脆弱性是地质环境条件基础性的外在表现形式,是由地质环境条件的本质所决定和制约的。

1.2 分区分单元评价

对城市地质环境的评价,以往都是注重城市地域的整体评价。笔者注意到,西南的城市,尤其是山区城市,往往建立在地质条件非常复杂的地区。一个山区城市,覆盖的地层、岩性往往变化较大,这就需要在考虑地质环境风险性整体评价的基础上,充分考虑不同地质单元的个性特征。因此,借鉴于单元地质填图的理念,对城市地质环境开展风险性分区分单元评价。

1.3 分层次多目标用户

设计了一个多级别评价指标体系及与之对应的多层次用户体系(图2)。城市地质环境质量综合评价指标、分类评价指标和单因素评价指标构成3个级别的指标评价体系,而政府决策机构、城市规划部门、城市管理和建设设计部门则构成3个层次的用户体系。

第三级别指标体系为单因素指标体系,是城市地质环境质量的基础性指标,是由若干个地质环境条件单因素构

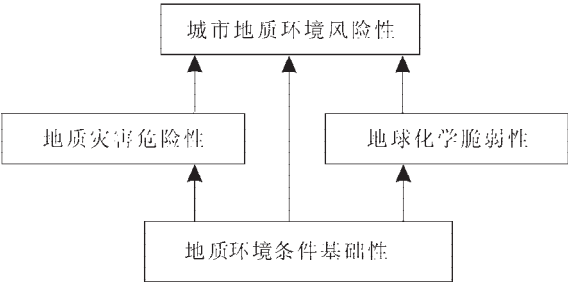


图1 城市地质环境风险性要素

Fig.1 Urban geoenvironmental risk factors

成的指标体系。其成果由各种单因素图件和分析报告体现,主要服务于第三层次的用户,即城市管理和建设的具体设计部门。

第二级别指标体系为分类指标体系,包括城市功能区地质环境风险性评价指标和一些中间性指标,具体由地质环境条件的基础性、地质灾害的危险性和地球化学的脆弱性三大类分类指标图件和分析报告体现,主要服务于第二层次的用户,即城市规划部门和城市防灾减灾有关部门。

第一级别指标体系为综合指标体系,是城市地质环境质量的容量性指标,其成果由城市地质环境风险性分区评价指标图件和分析报告体现,主要服务于第一层次的用户,即政府决策机构,政府关于城市发展方向进行决策时可作为参考依据之一。这一综合指标是由第二级别指标体系组合后经指数叠加运算得出的结果。

城市地质环境风险性分区分层次评价是运用层次分析法和指数叠加法而形成的方法体系。这一方法体系的运用原则是高级别指标来自次一级别指标适当组合后经指数叠加运算求得的结果。第一级别综合评价指标是城市地质环境风险性分区评价指标,它由第二级别分类评价指标(地质环境条件基础性评价指标、地质灾害危险性评价指标和地球化学脆弱性评价指标)组合后经指数叠加运算求得。第二级别分类评价指标则由第三级别单因素评价指标适当组合后经指数叠加运算求得。第二级别分类评价指标既是功能性指标,也是对第一级别和第三级别指标起承上启下的桥梁作用的重要指标。

所有的层次分析法和指数叠加运算可用风险性分区评价信息系统来完成。该工具系统以地理信息系统(GIS)为基础平台,能够完成地质环境风险性评价的数据管理、存储和风险性评价的计算、制图,体现了城市环境地质分区评价的新思路和新方法,具有操作简便、易于掌握、适用性强、便于推广等优点。

2 地质环境分区单元划分的原则和方法

城市地质环境分区应以地质图为基础,依据地质环境条

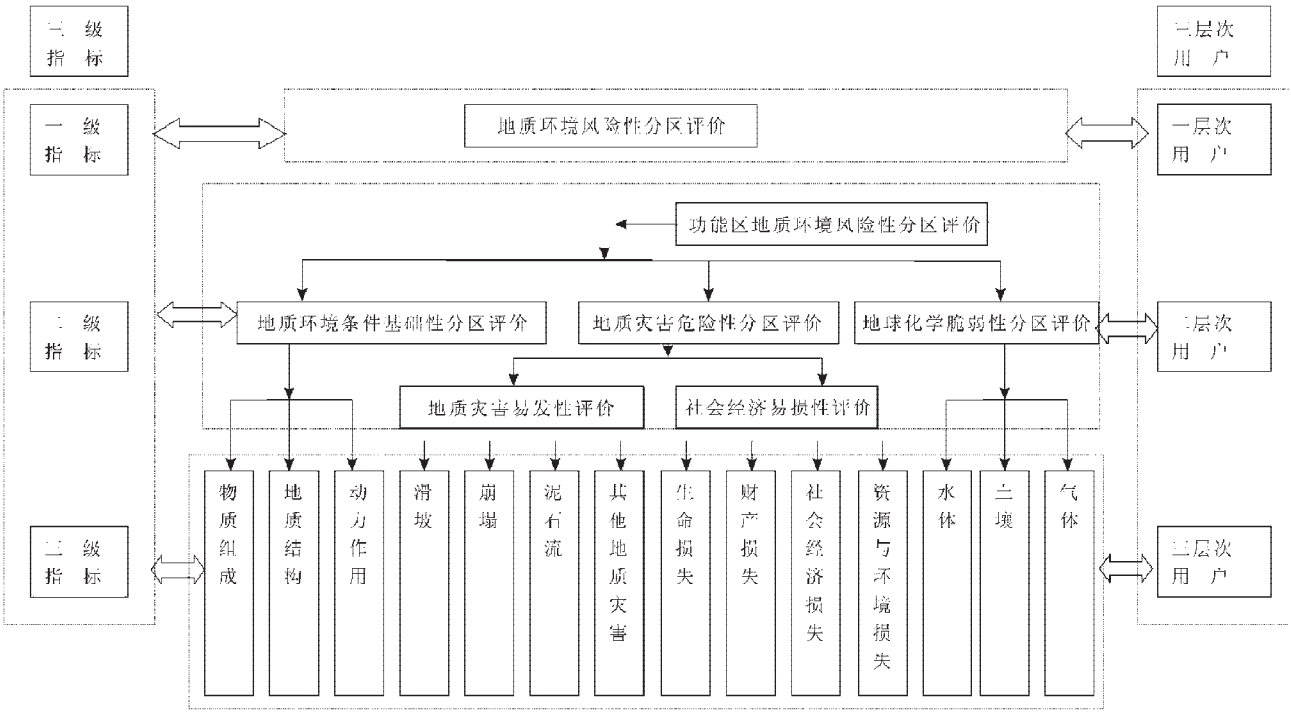


图2 多级别指标与多层次用户体系的关系

Fig.2 Relationships between multi-level risk indicator systems and multi-user level systems

件和环境地质问题的差异性,按“区内相似,区际相异”的原则进行单元划分。城市地质环境分区单元的划分方法有3种,即规则单元法、不规则单元法和综合法。

2.1 规则单元法

对于地质结构比较简单的城市(如平原型城市),可采用规则单元法划分单元格,以地理坐标来控制,采用正方形网格划分。每个单元格大小根据评价比例尺灵活确定,但在图上一般以1 cm²为宜。对于地质条件变化不大的地区,单元大小可适当放大,地质条件复杂或需详细研究的地区,单元大小可适当缩小,或采用四分树(quad-tree)方法将单元进一步细分。

2.2 不规则单元法

不规则单元的划分以地质环境条件和环境地质问题为依据,根据地质环境条件的基础性、地质灾害的危险性和地球化学的脆弱性三大因素进行划分。

(1)地质环境条件的基础性

主要考虑地貌、岩土体类型和构造差异性。一般沟谷和岩土体类型条件相似的区域可单独划分单元格,地质构造复杂的区域,可根据情况具体划分。

地貌 根据城市地貌,将城市工作区分为下列几种单元类型。①平坝单元 坡度小于5°的区域可划分为单独的评价单元格。②坡地单元 根据城市用地对坡度的要求,将坡度大于5°、小于25°的坡地单独划分为评价单元格。③山地斜坡单

元 坡度大于25°,两侧以沟谷临空面为界,纵向从山脊(或分水岭)至坡脚,构成一个完整的斜坡单元。④沟(河)谷单元:与城区安全有关的沟(河)谷可单独划分为单元格。

岩土体类型 在地貌划分的基础上,根据组成单元的岩土体类型的差异性,可对单元进一步细分。①根据工程地质岩组,考虑岩体的物理力学性质及地基承载力的差异性,可把岩浆岩类、碳酸盐岩类、坚硬碎屑岩类、软硬相间碎屑岩类、软弱岩类和特殊岩类等不同的岩体类型单独划分为评价单元。②根据土体类型,考虑土体物理力学性质及地基承载力的差异性,可把碎石土、砂砾土、粘性土和特殊类土等不同土体单独划分为评价单元。

构造 对城区有影响的断裂破碎带(含影响带)可单独划分为评价单元格。

(2)地质灾害的危险性

地质灾害对城市安全带来威胁,可将不同灾种划分为评价单元格。①滑坡单元格,将滑坡体及其可能的危害范围单独划分为单元格。②崩塌单元,将崩塌及其堆积体单独划分为单元格。③泥石流单元格,将泥石流的形成区、流通区和堆积区整体划分为一个单元格。④岩溶塌陷单元格,将岩溶塌陷及可能的危害范围划分为单元格。⑤不稳定斜坡单元格,将危(岩)石和土层蠕变体等不稳定斜坡范围分别划分为单元格。

(3)地球化学的脆弱性

重点考虑污染源,如有强污染源存在,可视其性质、强度和污染范围等因素划分单元格。

2.3 综合法

在实际工作中,往往采取以上2种单元划分法相结合的方法,即采用规则网格法结合不规则网格法进行评价单元的划分,并结合已有的各种图形资料对同一个单元内评价因子状态有突变的单元进行人工调控,以确保单个评价单元内的各评价因子状态具有相对均一性。

3 城市地质环境风险性分区评价方法

在城市地质环境分区单元划分的基础上,逐一在各单元提取相应的评价因子,分别进行地质环境条件基础性分区评价、地质灾害危险性分区评价、地球化学脆弱性分区评价。最后叠加三大板块的评价结果,构成城市地质环境风险性分区评价成果。

3.1 城市地质环境条件基础性分区评价

地质环境条件是一个城市的基础,基础的好坏直接影响到地质环境风险性的大小,因此,地质环境条件基础性评价是风险性评价的重要内容。地质环境条件包括的内容很多,在城市地质环境条件基础性分区评价中,要抓主要矛盾,避免面面俱到。所以,城市地质环境条件基础性主要包括物质组成、地质结构和动力作用3个方面的内容(图3)。实际上是从系统角度考虑“组成、结构、变化”三大要素。至于三大要素的次一级内容,可以在不同背景条件下做不同的展开。

根据西南主要城市环境地质条件的研究结果,在物质组成、地质结构和动力作用3个方面选择了14个评价因子,即地基岩土类别与结构、岩土体承载力(kg/cm²)、特殊类岩土体引起的地面变形、地表水位置、地下水水位及侵蚀性、土壤厚度(m)、水土流失程度(平均侵蚀模数t/km²·a)、其他地质资源、地质构造、地面坡度、地震(烈度)、洪水和河流侵蚀、新构造活动和风化作用。在j单元内城市地质环境条件基础性指数W_{基j}可用下列公式计算:

$$W_{基j} = \frac{\sum_{i=1}^{14} a_i \cdot X_{ij}}{50}$$

(1)

式中W_{基j}—第j个评价单元的地质环境条件基础性指数;a_i—第i个评价因子的权重;X_{ij}—第j个评价单元第i个评价因子值。

据公式(1),可计算出每个地质环境分区单元的基础性指数W_{基j},然后用等值线图或色块图作出整个城市工作区域的地质环境条件基础性评价图。也可以采用好中差三分法来简单描述:以康定城为例,W_{基j}≥0.7为地质环境条件差的单

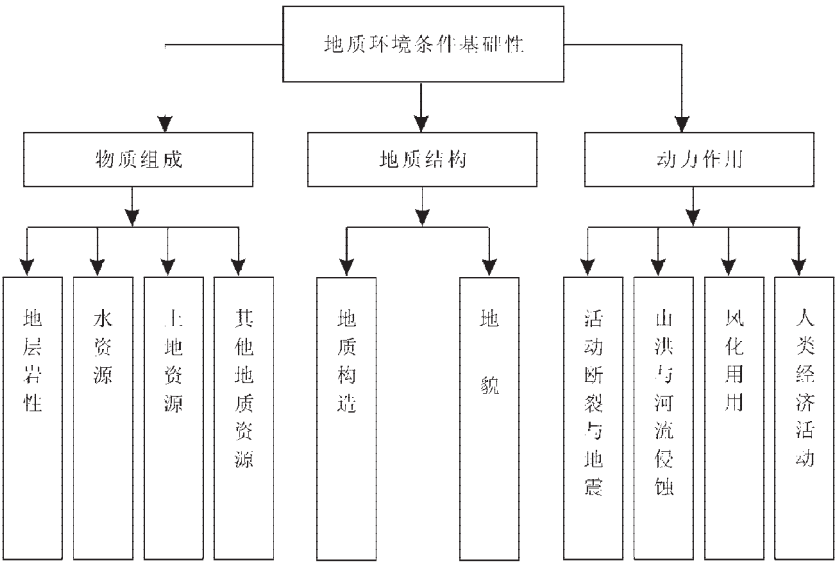


图3 城市地质环境条件基础性分区评价思路

Fig.3 Concept for the divisional evaluation of the urban geoenvironmental background

元;0.4≤W_{基j}<0.7为地质环境条件中等的单元;W_{基j}<0.4为地质环境条件好的单元。

3.2 城市地质灾害危险性分区评价^[6-8]

城市地质灾害危险性评价建立在地质灾害易发性与地质灾害社会经济易损性的基础之上,易发性偏重于地质环境的自然属性,而易损性偏重于社会属性。对一个地质灾害点而言,首先是易于发生地质灾害,并且给社会造成一定损失(易损),可认定地质灾害具有很大的危险性。因此,危险性评价是由易发性与易损性叠加而成的,反映地质灾害的危害程度。

城市地质灾害危险性评价分为易发性评价和易损性评价2部分(图4)。

易损性评价由生命损失、财产损失、社会经济损失和资源环境损失4个方面的评价构成。

3.2.1 城市地质灾害易发性评价

城市地质灾害易发性评价由崩塌、滑坡、泥石流、塌陷和其他地质灾害易发程度的评价构成。

(1)崩塌易发程度评价

根据崩塌形成的坡度、地层岩性与岩土体结构、地质构造、新构造活动与地震、人类工程活动、坡高、降雨、崩塌发生规模与发生频率8个影响因子X_{ij}进行崩塌易发程度的综合评判。用公式(2)计算出j单元的崩塌易发程度E_{崩j}值。

$$E_{崩j} = \frac{\sum_{i=1}^8 a_i \cdot X_{ij}}{40}$$

(2)

式中E_{崩j}—第j个评价单元的崩塌易发程度指数;a_i—第i个评

价因子的权重 X_{ij} —第 j 个评价单元第 i 个评价因子值。

用等值线图或色块图作出整个城市工作区域的崩塌易发程度评价图。也可以采用四分法来简单描述:以康定城为例, $E_{崩j} \geq 0.7$ 为崩塌高易发区, $0.5 \leq E_{崩j} < 0.7$ 为崩塌中易发区, $0.3 \leq E_{崩j} < 0.5$ 为崩塌低易发区, $E_{崩j} < 0.3$ 为崩塌不易发区。

(2) 滑坡易发程度评价

根据滑坡形成的环境条件和主要诱发因素,选择地层岩性、斜坡结构类型、坡度、降雨(3日最大降雨量)、新构造活动与地震、坡高、人类工程活动和斜坡变形破坏特征8个影响因素 X_{ij} 进行滑坡易发程度的综合评判。用公式(3)计算出 j 单元的滑坡易发程度 $E_{滑j}$ 值。

$$E_{滑j} = \frac{\sum_{i=1}^8 a_i \cdot X_{ij}}{40} \quad (3)$$

式中 $E_{滑j}$ —第 j 个评价单元的滑坡易发程度指数; a_i —第 i 个评价因子的权重; X_{ij} —第 j 个评价单元第 i 个评价因子值。

用等值线图或色块图作出整个城市工作区域的滑坡易发程度评价图。也可以采用四分法来简单描述:以康定城为例, $E_{滑j} \geq 0.7$ 为滑坡高易发区, $0.5 \leq E_{滑j} < 0.7$ 为滑坡中易发区, $0.3 \leq E_{滑j} < 0.5$ 为滑坡低易发区, $E_{滑j} < 0.3$ 为滑坡不易发区。

(3) 泥石流易发程度评价

根据沟谷泥石流形成条件,选择崩塌—滑坡—水土流失(自然因素和人为活动)的严重程度、泥沙沿程补给长度比(%)、沟口泥石流堆积活动程度、河沟纵坡度(°)、区域构造影响程度、流域植被覆盖率(%)、河沟近期一次变幅(m)、岩性影响、沿沟松散物储量($10^4 \text{m}^3/\text{km}^2$)、沟岸山坡坡度(°)、产沙区沟槽横断面、产沙区松散物平均厚度(m)、流域面积(km^2)、流域相对高差(m)和河沟堵塞程度15个影响因子 X_{ij} 对沟谷泥石流易发程度进行综合评判。用公式(4)计算出 j 单元的泥石流易发程度 $E_{泥j}$ 值。

$$E_{泥j} = \frac{\sum_{i=1}^{15} X_{ij}}{130} \quad (4)$$

式中 $E_{泥j}$ —第 j 个评价单元的泥石流易发程度指数; X_{ij} —第 j 个评价单元第 i 个评价因子值。

用等值线图或色块图作出整个城市工作区域的泥石流易发程度评价图。也可以采用四分法来简单描述:以康定城为例, $E_{泥j} \geq 0.85$ 为泥石流高易发区, $0.6 \leq E_{泥j} < 0.85$ 为泥石流中易发区, $0.3 \leq E_{泥j} < 0.6$ 为泥石流低易发区, $E_{泥j} < 0.3$ 为泥石流不易发区。

(4) 塌陷易发程度评价

根据岩溶塌陷形成的岩溶发育程度(K)、覆盖层岩性结构(S)、覆盖层厚度(H)、岩溶地下水位(W)、岩溶地下水径流条件(F)和地貌(G)6个影响因子对岩溶塌陷易发程度进行综合评判。岩溶塌陷易发性影响因素 K 、 S 、 H 、 W 、 F 、 G 赋值可参

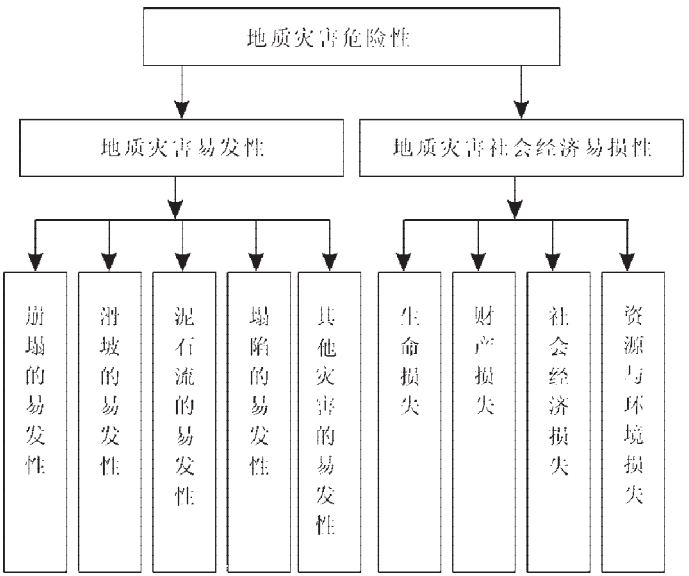


图4 地质灾害危险性分区评价思路

Fig.4 Concept for the divisional evaluation of geohazard risk

考有关文献^[4]。用公式(5)计算岩溶塌陷易发程度 $E_{陷j}$ 值。

$$E_{陷j} = \frac{K_j + S_j + H_j + W_j + F_j + G_j}{20} \quad (5)$$

用等值线图或色块图作出整个城市工作区域的岩溶塌陷易发程度评价图。也可以采用四分法来简单描述:例如, $E_{陷j} \geq 0.7$ 为岩溶塌陷高易发区, $0.5 \leq E_{陷j} < 0.7$ 为岩溶塌陷中易发区, $0.4 \leq E_{陷j} < 0.5$ 为岩溶塌陷低易发区, $E_{陷j} < 0.4$ 为岩溶塌陷不易发区。

(5) 地质灾害易发程度分区评价

也可以将滑坡、崩塌、泥石流、塌陷灾害数字化结果进行叠加分析。单元信息叠加结果($Y_{发j}$)满足如下公式:

$$Y_{发j} = E_{滑j} \cup E_{崩j} \cup E_{泥j} \cup E_{陷j} \quad (6)$$

式中, $Y_{发j}$ 为各单元地质灾害易发程度指数叠加的结果,可用等值线或色块图反映城市地质灾害易发程度的分布状况。也可以采用四分法表示结果,例如:易发程度 $Y_{发j} \geq 3.5$ 为地质灾害高易发区; $Y_{发j} = 2.5 \sim 3.5$ 为地质灾害中易发区; $Y_{发j} = 1.5 \sim 2.5$ 为地质灾害低易发区; $Y_{发j} \leq 1.5$ 的地区为地质灾害不易发区。

3.2.2 城市地质灾害的社会经济易损性评价

地质灾害的社会经济易损程度用易损性指数来度量,指数值越大,则社会经济易损性越高。评价指标如上节所述,包括生命损失、财产损失、社会经济损失和资源环境损失4个指标。用公式(7)计算 j 单元的易损性指数,根据各单元的易损性指数进行社会经济易损性分区,作出整个城市的易损性指数等值线图或易损分布图。

$$Y_{损j} = \sum_{i=1}^4 a_i \cdot X_{ij} \quad (7)$$

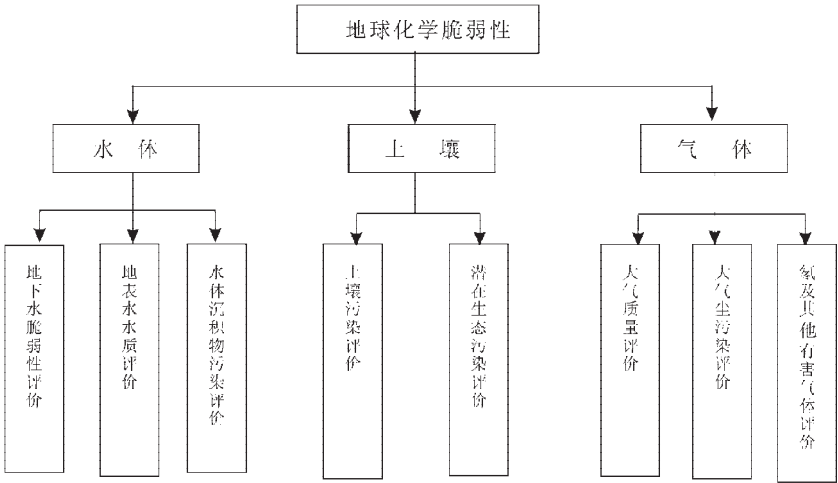


图5 地球化学脆弱性分区评价思路

Fig.5 Concept for the divisional evaluation of geochemical fragility

表1 地质灾害险情与灾情程度分级标准

Table 1 Rating standards for geohazard risk and hazard severity

险情程度分级			灾情程度分级		
等级	受威胁人数/人	潜在经济损失/万元	等级	死亡人数/人	直接经济损失/万元
特大型	≥1000	≥10000	I 级	≥30	≥1000
大型	1000~500	10000~5000	II 级	30~10	1000~500
中型	500~100	5000~500	III 级	10~3	500~100
小型	<100	<500	IV 级	<3	<100

式中, $Y_{\text{损}j}$ — j 单元的易损性指数值; $X_{\text{人}j}$ — j 单元的人口密度(人/ km^2); $X_{\text{财}j}$ — j 单元的财产密度(万元/ km^2); $X_{\text{社}j}$ — j 单元的社会经济损失指标; $X_{\text{资}j}$ — j 单元的资源与环境损失指标; $x_{\text{损}j}$ — j 单元的损失率。

也可以将 $Y_{\text{损}j}$ 指数归一化后采用四分法作图,将各单元易损程度分为4级: $Y_{\text{损}j} \geq 0.7$ 为高易损区, $0.5 < Y_{\text{损}j} < 0.7$ 为中易损区, $0.3 < Y_{\text{损}j} \leq 0.5$ 为低易损区, $Y_{\text{损}j} \leq 0.3$ 为不易损区。

3.2.3 城市地质灾害危险性分区评价

j 单元地质灾害危险性指数 $W_{\text{危}j}$ 采用公式(8)计算。

$$W_{\text{危}j} = a_1 \cdot Y_{\text{发}j} + a_2 \cdot Y_{\text{损}j} \tag{8}$$

式中 a_1 和 a_2 为地质灾害易发性指数的权重,一般取值0.6和0.4。

计算出每个单元的 $W_{\text{危}j}$ 值后,可作出城市地质灾害危险性指数分布图。也可以根据 $W_{\text{危}j}$ 值采用大、中、小三分法来描述城市地质灾害危险性程度。

三分法可以通过确定典型单元已发地质灾害危险性(灾情)和潜在地质灾害危险性程度(险情)与 $W_{\text{危}j}$ 值的对应关系来实现。选择若干典型单元,按照国土资源部《建设用地

地质灾害危险性评估技术要求(DZ0245-2004)》和国务院办公厅《关于印发国家突发地质灾害应急预案的函(国办函[2005]31号)》的分级标准来确定典型单元的地质灾害险情与灾情的程度(表1)。该典型单元的判别结果与该已知典型单元按照公式(8)的计算结果 $W_{\text{危}j}$ 值相对应,就可以确定所研究城市的地质灾害危险性评价三分法的域值(表2、表3)。

3.3 城市地球化学脆弱性分区评价

城市地球化学脆弱性是指城市地质环境受自然和人为化学扰动的能力及其环境效应,是城市地质环境风险性评价的重要内容,具有潜在性和敏感性。

城市属于典型的人工生态系统,强烈的人为扰动对城市的水体、土壤、空气造成了严重的污染。现有的评价方法多将水、土、气割裂开来,不适应城市生态系统^[9,10]。已有的研究表明,大气污染是造成现代城市土壤和水污染的重要原因。因此,城市地球化学脆弱性评价是将水、土、气作为一个不可分割的有机整体(图5),研究有毒有害元素在水-土-气-生系统中的迁移转化和循环规律,在此基础上,开展地下水、土

壤^[11]、水体沉积物^[12]、大气和近地表大气尘^[13]等方面的地球化学脆弱性及其生态效应评估。

在水体、土壤和气体评价的基础上,根据不同城市的地球化学脆弱性环境选取权重,然后叠加三者评价结果,即为 j 单元地球化学脆弱性评价指数值 $W_{\text{脆}j}$ 。

$$W_{\text{脆}j}=a_{1j}\cdot E_{\text{水}j}\cup a_{2j}\cdot E_{\text{土}j}\cup a_{3j}\cdot E_{\text{气}j}\quad (9)$$

式中, $E_{\text{水}j}$ 为 j 单元的水体污染程度评价值, $E_{\text{土}j}$ 为 j 单元的土壤污染程度评价值, $E_{\text{气}j}$ 为 j 单元的气体污染程度评价值, a_{1j} 、 a_{2j} 、 a_{3j} 分别为第 j 单元的 $E_{\text{水}j}$ 、 $E_{\text{土}j}$ 和 $E_{\text{气}j}$ 的权重。 $E_{\text{水}j}$ 、 $E_{\text{土}j}$ 、 $E_{\text{气}j}$ 、 a_{1j} 、 a_{2j} 、 a_{3j} 的取值和计算将另文介绍。

根据 $W_{\text{脆}j}$ 用等值线图或色块图作出整个城市工作区域的地球化学脆弱性评价图。也可以采用好中差三分法来简单描述:例如, $W_{\text{脆}j}\geq 0.7$ 为地球化学脆弱性强的单元; $0.4\leq W_{\text{脆}j}<0.7$ 为地球化学脆弱性中等的单元; $W_{\text{脆}j}<0.4$ 为地球化学脆弱性弱的单元。

3.4 城市地质环境风险性分区评价模型

城市地质环境风险性评价可用下式来计算:

$$R_j=a_{1j}\cdot W_{\text{基}j}\cup a_{2j}\cdot W_{\text{危}j}\cup a_{3j}\cdot W_{\text{脆}j}\quad (10)$$

式中 R_j —第 j 单元的地质环境风险性指数值; $W_{\text{基}j}$ —第 j 单元的地质环境条件基础性指数值; $W_{\text{危}j}$ —第 j 单元的地质灾害危险性指数值; $W_{\text{脆}j}$ —第 j 单元的地球化学脆弱性指数值; a_{1j} 、 a_{2j} 、 a_{3j} 分别为 $W_{\text{基}j}$ 、 $W_{\text{危}j}$ 和 $W_{\text{脆}j}$ 的权重。

用公式(10)计算出单元的地质环境风险性指数值,然后用等值线图或色块图作出整个城市工作区域各单元的地质环境风险性指数评价图。也可以采用三分法来简单描述:例如, $R_j\geq 0.7$ 为地质环境高风险区, $0.4\leq R_j<0.7$ 为地质环境中风险区, $R_j<0.4$ 为地质环境低风险区。然后用色块图作出整个城市工作区域各单元的地质环境风险性程度评价图。

4 城市地质环境风险性分区评价体系及其应用

城市地质环境风险性分区评价是具有多级别评价指标和多层次用户的体系(图2)。根据评价结果编制出城市地质环境风险性分区评价图、城市地质环境分类评价图(例如城市功能区地质环境风险性评价图、地质灾害危险性评价图等)和单要素的风险性评价图。

城市地质环境风险性分区评价图能为城市的管理者和决策者提供最基础的科学依据;城市地质环境分类评价图能为城市的规划者和城市防灾减灾规划的制定者提供规划依据;单要素风险性评价图能为城市的设计者、实施者和具体管理者提供最直接的依据,最终达到“寸土寸金,土尽其用”。

利用地理信息系统为平台建立的城市地质环境风险性分区评价信息系统,具有数据的管理、查询和评价的功能,而且结果直观、易于操作、便于推广。

4.1 城市地质环境风险性分区评价图(R类)

根据各评价单元的城市地质环境风险性指数 R_j 值,可以作出城市地质环境风险性分区评价图(等值线图或色块图),

表2 已发地质灾害危险性分级

Table 2 Risk rating of geohazards that have occurred

危险性分级	稳定状态	危害对象	灾情(险情)等级
危险性大	差	城镇及主体建筑物	大型以上(≥Ⅱ级)
危险性中等	中等	有居民及主体建筑物	中型(Ⅲ级)
危险小	好	无居民及主体建筑物	小型(Ⅳ级)

表3 潜在地质灾害危险性分级

Table 3 Risk rating of potential geohazards

危险性分级	稳定状态	危害对象	险情等级
危险性大	地质灾害高易发	城镇及主体建筑物	大型以上
危险性中等	地质灾害中易发	有居民及主体建筑物	中型
危险小	地质灾害低—不易发	无居民及主体建筑物	小型

直接为第一层次用户服务。

城市地质环境风险性分区评价研究的最终目标,是合理地利用与保护城市地质环境,达到城市建设与地质环境的和谐统一。所谓合理是指一切工程活动都必须依照地质环境形成、发育和演变的规律进行;所谓保护并不是原封不动的保护,城市建设不可能不触及到地质环境,而应该是根据自然界的客观发展规律,使城市建设与地质环境之间形成新的平衡和统一。

城市地质环境质量是一个城市发展的基础,是城市可持续发展的巨大动力,好的地质环境质量对城市的发展起到促进作用,差的地质环境质量会严重制约城市的发展。城市地质环境风险性分区评价图可客观地反映城市地质环境质量的优劣,通过分析城市的高风险、中风险、低风险的范围、分布面积和城市地质环境容量等,从而对整个城市地质环境的承载力与容量作出科学的评价预测,可为政府有关部门关于城市整体发展方向的决策提供依据。

4.2 城市地质环境分类评价图(W类和Y类)

这类图件可为第二层次用户,即城市规划部门和城市防灾减灾有关部门服务,对于科学地规划城市、有效规避和防治城市地质灾害可以发挥巨大作用。

(1)城市地质环境条件基础性分区评价图($W_{\text{基}}$ 图)

根据各评价单元城市地质环境条件基础性指数 $W_{\text{基}j}$ 值,可以作出城市地质环境风险性分区评价图(等值线图或色块图)。通过该图,可以深层次地了解该城市的基础地质条件,是分析该城市地质环境最重要的基础性资料。城市地质灾害危险性和城市地球化学脆弱性或多或少地可以结合这些基础性资料得到合理的解释。

(2)城市地质灾害危险性分区评价图($W_{危}$ 图、 $Y_{发}$ 图和 $Y_{损}$ 图)

根据各评价单元城市地质环境条件基础性指数 $W_{危}$ 、 $Y_{发}$ 和 $Y_{损}$ 值,可以作出城市地质灾害危险性分区评价图、城市地质灾害易发程度分区评价图、城市地质灾害的社会经济易损程度分区评价图(等值线图或色块图)。

(3)城市地球化学脆弱性分区评价图($W_{脆}$ 图)

根据各评价单元城市地球化学脆弱性指数 $W_{脆}$ 值,可以作出城市地球化学脆弱性分区评价图(等值线图或色块图)。根据城市地球化学脆弱性分区评价图规划城市,可最大限度地规避城市居住的健康风险。

4.3 城市地质环境单信息系统(E 类和 X 类)

对第三层次用户,即城市管理与建设设计部门,城市地质环境单要素评价图非常有用。

根据各评价单元崩塌、滑坡、泥石流、塌陷等地质灾害易发程度指数 $E_{崩}$ 值、 $E_{滑}$ 值、 $E_{泥}$ 值、 $E_{陷}$ 值和各评价单元水体、土壤、气体脆弱性程度指数 $E_{水}$ 值、 $E_{土}$ 值、 $E_{气}$ 值等,可以作出城市地质灾害易发程度评价图和城市地球化学单要素脆弱性易发程度评价图(E 类图)。

还可以针对更次一级的评价因子 X_{ij} 值作出城市地质环境某评价因子的单要素图(E 类图)。例如,地貌分布图、岩土体类型图、地质灾害分布图、地质构造与地震分布图等。单要素图种类繁多,例如,崩塌和滑坡易发程度各有8个影响因子,泥石流易发程度有15个影响因子,岩溶塌陷易发程度有6个影响因子。仅就地质灾害易发程度37个评价因子来说,就可以作出37张不同因子的单要素评价图。所以,这样的图非常多,可以根据需要选作图。这就要求利用信息系统进行信息管理。

西南地区城市地质环境风险性评价信息系统可对每个评价要素进行存储、管理和评价。城市建设设计者可根据需要的不同,选取一个或多个评价要素,进行合理的数据处理与评价,以图形的形式输出,获取单要素风险性评价图。为城市的设计者、实施者和具体管理者提供最直接的依据。

5 结束语

城市地质环境风险性分区评价体系的构建,主要是希望达到将城市地质环境评价由宏观的全区整体评价进入到微

观的分区单元评价的目标。课题组将这一体系细化,用于西南山区城市评价中,并选择康定市作了示范性研究,示范成果将陆续发表。

致谢 本文参考了中国地质调查局编写的《水工环地质调查勘查标准汇编》(2004年)、《城市环境地质调查评价规范》(2005年)、《崩塌滑坡泥石流1:5万详细调查规范》(2005年)、《地下水脆弱性编图指南》(2003年)和成都地质矿产研究所编写的《西南地区城市环境地质调查工作规划》(2003年)等,在此一并表示感谢。

参考文献:

[1]庄育勋,杜子国,李有枝,等.支撑城市可持续发展的地质调查工作[J].地质通报,2003,22(8):563-570.
[2]刘广润.论城市环境地质研究[J].火山地质与矿产,2001,22(2):79-83.
[3]丁俊,倪师军,魏伦武,等.西南地区城市环境地质调查工作的思考[J].沉积与特提斯地质,2005,25(4):108-110.
[4]徐争后,倪师军,张成江,等.我国城市环境地质研究现状及应注意的几个问题[J].国土资源科技管理,2006,23(1):100-103.
[5]蔡斌,胡卸文.模糊综合评判在绵阳市环境地质风险性分区评价中的应用[J].水文地质工程地质,2006,(2):67-74.
[6]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,1998.52-98.
[7]殷跃平.中国地质灾害减灾战略初步研究[J].中国地质灾害与防治学报,2004,15(2):1-8.
[8]刘传正.地质灾害勘查指南[M].北京:地质出版社,2000.139-174.
[9]倪师军,葛良全,滕彦国,等.城市生态地球化学评价的盖子模型[J].地质通报,2005,24(10-11):975-977.
[10]滕彦国,倪师军,林学钰,等.城市环境地球化学研究综述[J].地质论评,2005,51(1):64-76.
[11]施泽明,倪师军,张成江,等.成都市城市土壤中重金属的现状评价[J].成都理工大学学报(自然科学版),2005,32(4):391-395.
[12]尚英男,倪师军,张成江,等.成都市河流表层沉积物重金属污染及潜在生态风险评价[J].生态环境,2005,14(6):827-829.
[13]施泽明,倪师军,张成江.成都市近地表大气尘的地球化学特征[J].地球与环境,2004,32(3-4):53-58.