

# 城市建设用地与地质环境 协调性评价的 GIS 方法及其应用

戴福初<sup>1</sup> 李 军<sup>1</sup> 张晓晖<sup>2</sup>

(1. 中国科学院地理研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院地质研究所, 北京 100029)

**摘要:** 城市地质环境评价是城市规划和场地选址的基础. 以兰州市为例, 以地理信息系统软件 ARC/INFO 为开发平台, 建立了城市地质环境基础数据库, 将城市用地类型分为高层建筑用地、多层建筑用地、低层建筑用地、垃圾填埋用地及自然保护用地, 系统分析了各类用地与地质环境协调性评价的指标体系, 采用层次分析法建立了评价模型, 对不同的用地类型进行了评价. 结果表明 GIS 与评价模型的结合可以快速、准确地进行城市建设用地与地质环境的协调性评价.

**关键词:** 地理信息系统; 城市用地; 层次分析法; 地质环境评价.

中图分类号: X141 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2000)02-0209-06

**作者简介:** 戴福初, 男, 副研究员, 1967年生, 1997年在中国科学院地质研究所获博士学位, 主要从事工程地质、岩土工程及地理信息系统应用研究.

地理信息系统(GIS)是搜集、存取、集成、处理、分析和显示定位地球空间数据的系统. 其强大的数据库和空间分析功能使其在水资源评价与管理、环境影响评价与污染防治<sup>[1]</sup>、土地利用规划、自然灾害的评价与风险管理<sup>[2,3]</sup>等领域获得了越来越广泛的应用. 目前在工程地质方面的应用多限于单一的专题性研究, 如地质灾害的空间预测等, 缺乏高层次的综合性评价.

城市建设用地与地质环境的协调性评价是城市用地规划的基础, 属于多因素综合评判的范畴. 城市建设用地与地质环境的协调性主要通过地质环境对城市用地的适宜性和地质环境对城市用地的敏感性两个方面来体现, 前者反映了地质环境对工程建设的影响和制约, 后者则体现了工程建设造成的地质环境次生演化与恶化、引起地质灾害或病害, 产生对工程建设地区的反馈影响和后果<sup>[4]</sup>. 本文以兰州市为例, 以 GIS 为支撑工具软件, 建立了该城市地质环境基础数据库, 探讨了城市建设用地评价的 GIS 分析方法和数学模型, 对城市建设用地与地质环境的协调性进行了综合评价, 为城市土地利用规划、场

地选址提供了科学依据.

## 1 地质环境背景

兰州是我国西北地区重要的工业城市和交通枢纽, 地处黄土高原与青藏高原的接合地带, 为典型的高原河谷盆地型城市(图 1), 为典型的干旱—半干旱气候, 年降水量为 198.2~547 mm, 且 60% 集中于 7~9 月份. 地形变化大, 高差达 400~500 m. 黄河河谷共发育了 8 级阶地, 其中 5~8 级阶地由于构造抬升和地表侵蚀作用而被改造为黄土梁峁地貌; 城市建成区主要集中于黄河漫滩及 1~3 级阶地. 研究区地质条件复杂, 主要发育 NE, NW, NNW 向 3 组断裂. 出露基岩主要为前寒武纪片岩和片麻岩、下白垩统砾岩、砂岩和粘土岩互层以及第三系砾岩、砂岩和粉砂质粘土岩, 此外还有花岗岩侵入体零星出露. 第四系主要为风成黄土、冲洪积黄土状土和砂砾石. 滑坡、泥石流、黄土湿陷灾害严重. 由于城市排水管网、沟渠、水塘渗漏及灌溉的影响, 西固区、城关东岗自 20 世纪 50 年代以来地下水位大面积上升, 加之地下水位上升区上覆厚层黄土状土易于浸水湿陷, 对城市地下工程和地面建筑物造成了危害. 研究



图 1 研究区地形及建成区概况

Fig. 1 Sketch map showing topography and built-up area in the study area

区新构造活动显著,基本烈度为Ⅷ度.随着城市规模的不断扩大,城市建设用地与地质环境之间的矛盾日益尖锐,因此开展该城市建设用地与地质环境协调性评价对合理利用土地资源具有重要的现实意义.

## 2 数据规范化与空间数据库的建立

### 2.1 数据规范化

在城市建设用地与地质环境的协调性评价中,数据层面多,数据来源不同,数据不但类型不同(遥感影像、地图、钻孔等),即使都是地图数据,其投影方式、坐标体系、地图单位等参数也不一定完全一致.建立规范化的标准数据库对系统功能开发和使用的都是必要的,数据规范化处理的主要内容包括:(1)原始数据处理.内容有:①数据坐标体系一致化处理,将各层数据的空间坐标体系都转成大地坐标系,数据单位为 m;②投影归一化,用 GIS 的投影转换功能把各数据层转换成参数一致的高斯-克立格投影,中央经线为 105°E;③确定统一边界,对研究区域确定统一的标准边界,用叠加和切边操作使各数据层的边界完全一致.

(2)矢量数据的栅格化处理.影响地质环境特性的要素组合特征存在明显的空间差异,因而协调性评价应落实到每一细小区域内.往往需要根据研究区域的大小和基础数据的精度选用标准格网,把所有数据转换成栅格数据.不同类型的数据在栅格化

过程中考虑的问题和处理方法也有较大的差异.对于面状数据,可以直接栅格化;对于等值线数据,如地下水埋深、基岩埋深、地形等高线等,应首先转化成 TIN(不规则三角网)数据进行内插,得到面状数据,然后再栅格化;而对于点状数据,如不同位置钻孔中某一特定地层的埋深等,则可进行趋势面分析后直接栅格化,或采用其他插值方法转化为等值线数据,再按等值线数据处理方法栅格化.

(3)栅格数据的归一化或标准化.由于表达各因素的数据值和量纲往往存在差异,如地面高程数据单位是 m,地表坡度数据单位为(°),以这些量纲为单位的数据值之间没有可比性,因而要把所有数据归一化或标准化成统一的无量纲的可比数据.算法是对原栅格数据进行重分类,如根据其自身值域进行分级,这样即可把原始量纲的数值转换为无量纲的级别值,然后对归一化或标准化后的各数据层进行空间运算.

### 2.2 空间数据库的建立

规范化、内容详实的空间数据库的建立是城市建设用地与地质环境协调性评价系统建立和运行的基础和保证,本文空间数据库系统是在 ARC/INFO 软件平台上开发完成的,数据内容包括地形地貌、地质与构造、地下水埋深与侵蚀性、场地岩土分布及其特性以及地质灾害历史数据等地质环境基础数据层以及对上述基础数据层进行空间叠加、提取、赋值、缓冲区操作等所产生的新的空间特征和新的属性关系,如坡度、高程、滑坡泥石流危险程度分级等为评

表 1 城市建设用地与地质环境协调性评价指标体系

Table 1 Selection of criteria for evaluating geo-environmental potential

地质环境指标	城市建设用地类型					
	高层建筑	多层建筑	低层建筑	垃圾填埋	自然保护	
地形地貌	地形坡度	△(0.26)	△(0.21)	△(0.31)	△(0.21)	△(0.54)
	地面高程	△(0.12)	△(0.08)	△(0.10)		△(0.32)
岩土条件	表层地质			△(0.05)	△(0.22)	
	地层组合				△(0.10)	
	持力层岩性	△(0.08)	△(0.04)			
	断裂构造	△(0.02)			△(0.02)	
地下水条件	埋深	△(0.03)	△(0.03)		△(0.21)	
	侵蚀性	△(0.07)	△(0.04)			
	地下水位上升	△(0.07)	△(0.08)	△(0.03)	△(0.11)	
地质灾害	滑坡	△(0.16)	△(0.21)	△(0.17)	△(0.03)	△(0.05)
	泥石流	△(0.16)	△(0.21)	△(0.17)	△(0.05)	△(0.09)
	砂土液化	△(0.03)	△(0.10)	△(0.17)	△(0.05)	

△为所选指标;括号内数值为该指标的相对权重。

价直接服务的派生数据。首先应根据研究区的地质环境特点,确定评价所需要产生的新数据层,然后确定空间操作内容和顺序。基础数据层的比例尺为 1:5 万,为了使细小的地貌形态和地质环境差异在评价结果中得以反映,采用 10 m×10 m 的栅格格网。

### 3 评价目标与城市建设用地类型

城市建设用地与地质环境的协调性评价是城市规划、城市土地利用评价的基础,其目的在于为因地制宜地进行建设项目的选址和城市功能区划提供可靠的地质学依据,达到以最少的社会经济投入获得最佳的社会、环境与经济效益。它需要综合考虑场地条件和建筑物两个方面。对建筑物而言,不仅应满足设计功能需求,还应考虑其在建设和运营过程中的安全需求;对场地而言,应综合考虑其地形地貌、持力层及地下水条件以及地质环境灾害等影响因素,以确定适宜的、不利的以及宜避开的建设用地地段,按照场地与建筑结构的相互作用原理,结合场地特点进行场地评价。

由于目前城市建设用地没有形成系统的分类体系,而且城市建筑类型繁多,从其性质和功能来看,包括地表工业用地、居住用地、交通用地、仓储用地,以及地下供水、供电、排水等生命线工程网络和地下商城、地下仓库、地下交通等。显然,对其作出系统而详尽的分类是十分困难的,也是没有必要的,关键是抓住对地质环境十分敏感而且对地质环境具有明显扰动的城市建设用地类型,并将扰动方式和强度相

似的类型作适当归并。本文在综合已有文献所提出分类方案的基础上<sup>[5,6]</sup>,将城市建设用地大致分为高层建筑用地、多层建筑用地、低层建筑用地、垃圾填埋用地及自然保护用地五大类。

### 4 城市建设用地与地质环境的协调性评价

城市建设用地与地质环境协调性评价模型的建立是系统的核心,模型结合各评价指标的空间分布特征和 GIS 的空间分析功能,采用栅格数据结构,以栅格格网为单位,首先生成单要素协调性分布层;确定各指标对各种方案的权重;计算出各格网的协调度,设定分级阈值,得出空间分布形式的协调性评价结果。

#### 4.1 评价指标体系的确定

适宜性和敏感性原则是城市建设用地与地质环境协调性评价的一般原则。由于地质环境对工程建设的敏感性目前难以作出定量预测,因而一般通过对评价指标体系的合理选取和权重确定来综合体现地质环境与工程建设的协调性。指标体系不仅应反映对用地有利的主要因素,而且要深入分析对该类用地敏感性强的限制性因素,对工程建成后可能产生的环境后效作出估计,使其具有系统性。对于本文研究区而言,指标体系可通过地形地貌条件、场地岩土条件、地下水条件、地质灾害 4 个方面来综合反映(表 1)。值得指出的是,对地质灾害,应在查明其分布特点、环境条件、诱发机制及可能危害程度的基础



图 2 高层建筑用地与地质环境的协调性评价

Fig. 2 Geo-environmental potential for different high-rise building categories

1. 水体; 2. 主要道路; 3. 等高线(间距为 100 m)

上建立合适的数学模型进行地质灾害的风险评价。在研究区, 滑坡灾害主要表现为老滑坡在暴雨或工程活动影响下的复活, 泥石流灾害类型为沟谷型, 因而本文对上述灾害的风险评价主要通过 GIS 的缓冲区操作来实现; 对于高层建筑用地, 持力层岩性和地层组合考虑 15 m 以浅的土层条件, 而对于多层建筑, 则仅考虑 5 m 以浅的土层条件。由于缺乏持力层埋深的详细数据, 因此对该指标在评价时没有考虑。

#### 4.2 单指标协调度分布层的生成

针对不同评价方案或目标, 根据其对各评价指标的要求, 对指标数据层采用空间叠加、提取、赋值、缓冲区操作进行单指标协调度重分类, 得到不同建设用地类型的地质环境单指标协调度空间分布数据层。由此可以得出各指标的协调度分值集:  $C_{ki}$ , 其中  $i$  为要素数;  $k$  为城市建设用地类型数。本项研究中, 各指标数据层协调度值为 0~4 的整数, 分别代表极低、低、中等、高、极高。协调度值越高, 该类用地越适宜。

#### 4.3 指标权重值的确定

在确定评价指标体系的基础上, 针对指标体系的结构特点, 即可建立协调性评价数学模型。由于所确定的指标体系在结构上为一多层次的递阶结构, 因而层次分析法是确定评价指标权重的合适方法。其具体分析过程包括: (1) 建立层次递阶结构; (2) 采用 1~9 标度法构造两两比较判断矩阵; (3) 应用主特征向量方法对比较判断矩阵进行分析即可得到单

一准则下各要素的相对权重; (4) 进行一致性检验。若满足一致性要求, 即可对底层可操作性要素归一化得到要素的组合权重; 否则对两两比较判断矩阵重新组建。不同的用地类型对地质环境的要求是不同的, 表现为其评价指标体系及各指标的权重都不一定相同, 因此必须针对不同用地类型, 采用层次分析法分别建立评价指标的权重, 得到权重集  $W_{ki}$ , 其中  $k$  为用地类型数;  $i$  为评价指标数(表 1)。有关层次分析方法原理可参阅文献[7]。

#### 4.4 栅格综合协调度及其分级

用栅格数据结构及 GIS 的空间分析功能, 以栅格为最小单位, 对整个研究区每个栅格上各指标协调度层面进行加权空间叠加, 得到每个栅格上第  $k$  种用地类型的综合协调度值:

$$C_k = \sum C_{ki} W_{ki}$$

对评价得到的综合协调度值, 选取适当阈值进行分级, 即可得到每一类用地的空间协调度分级图。本文评价中综合协调度值的变化范围为 0~4, 分别按 0~1, 1~2, 2~3, 3~4 分级为极低、低、中等、高 4 类。

鉴于篇幅所限, 仅给出高层建筑用地的评价结果如图 2 所示。对不同用地类型, 其与地质环境不同协调性等级所占比例见图 3。可以看出, 与地质环境具有高协调性的高层建筑用地、多层建筑用地和垃圾填埋用地所占比例分别为 41%, 53%, 16%, 因此研究区总体地质环境质量较好。



图3 不同建设用地与地质环境协调性评价结果统计

Fig.3 Histogram showing the distribution of geo-environmental potential for different land use categories

## 5 结语

城市建设用地与地质环境的协调性评价属于综合评判的范畴,它涉及到许多影响因素,如地势高低、地面坡度、地质结构、地下水条件及地质环境灾害等。由于它们复杂的空间变异特性,人为综合必然有较大的随意性和主观性,且工作量庞大,周期长。而GIS技术的应用不仅能够快速完成该项工作,而且能够避免人为综合可能出现的误差,提高评价结果的质量和精度。

同时,本项研究中尚有一些不足之处有待于解决,一方面是由于资料收集难度大,难以收集大部分场地钻孔资料,因而在持力层岩性数据层的编绘过程中仅考虑了能收集到的钻孔资料;在GIS环境下如何对钻孔资料进行有效的组织、编辑和管理,并在此基础上结合地形地貌特点,对所需数据层进行自动提取是一个有待解决的问题。另一方面是本文协

调性评价中权重的确定仅代表作者个人的喜好,因而所得评价结果难免有失偏颇。如何结合群体专家的知识将定性指标与定量数据有机结合起来,使评价结果更加客观是我们面临的一个难题。作者认为对前一个问题,必须采用基于专家知识的自动制图方法加以解决;对后一个问题,应采用知识推理+数学模型的方法,即将基于专家知识的智能化推理与数学模型处理方法有机结合起来,用知识推理引导和操纵数学模型处理,或用知识推理确定数学模型的参数,方能达到理想的效果,也是作者正在致力解决上述问题的基本思路。

## 参考文献:

- [1] Hiscock K M, Lovett A A, Brainard D G, et al. Groundwater vulnerability assessment: two case studies using GIS methodology [J]. Quarterly Journal of Engineering Geology, 1995, 28: 179~194.
- [2] Carrara A, Cardinali M, Detti R, et al. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1991, 16: 427~445.
- [3] Mejia-Navarro M, Garcia L A. Natural hazard and risk assessment using decision support systems, application: Glenwood Springs, Colorado [J]. Environmental & Engineering Geoscience, 1996, 2(3): 299~324.
- [4] 王思敬,戴福初.环境工程地质评价、预测与对策分析[J].地质灾害与环境保护,1997,8(1):27~34.
- [5] 石有维.城市建设用地适宜性评价——以鞍山市为例[J].中国土地科学,1993,7(5):28~32.
- [6] Dai F C, Liu Y H, Wang S J. Urban geology: a case study of Tongchuan city, Shaanxi Province, China [J]. Engineering Geology, 1994, 38: 165~175.
- [7] 王莲芬,许树柏.层次分析法引论[M].北京:中国人民大学出版社,1989.

# GIS METHODOLOGY AND ITS APPLICATION TO EVALUATION OF COORDINATION BETWEEN URBAN LAND USE AND GEO-ENVIRONMENTAL POTENTIAL

Dai Fuchu<sup>1</sup> Li Jun<sup>1</sup> Zhang Xiaohui<sup>2</sup>

(1. Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract:** The urban geo-environmental assessment is a basic prerequisite for the urban planning and site

selection. In this paper, the urban geo-environmental basic database including topography, surface and bedrock geology, depth to groundwater table and corrosion potential, lithology of bearing layer, and historic geo-hazards is established, with the Lanzhou city in northwestern China as an example, on the GIS-based ARC/INFO development platform. The urban land use is categorized as high-rise building, multi-story building, low-rise building, solid waste disposal, and natural conservation. The index system is systematically analyzed for the assessment of the coordination between various land uses and geo-environmental potential. Then the analytic hierarchy process method is employed to establish the evaluation model for different land uses and geo-environment potential for each urban land use category is evaluated. The analytical results indicate that the combination of the GIS technology with the quantitative evaluation model can be applied to the fast and accurate assessment of the coordination between land uses for urban construction and geo-environment potential.

**Key words:** geographical information system; urban land use; analytic hierarchy process; geo-environmental assessment.

\* \* \* \* \*

## 湖北省废物地质处置与环境保护重点实验室 ——2000 年开放研究课题申请指南

本实验室隶属中国地质大学(武汉),于 1999 年 3 月经湖北省科委批准成立,其拥有先进的实验条件和雄厚的科研力量,主要从事与固、液废物(含核废物)管理有关的理论和技术研究,尤其是废物地质处置、水-土污染控制、生态环境恢复等方面的基础和应用研究.

本实验室对国内外开放,开放研究基金资助面向全省和全国,重点支持学科生长点研究,资助领域包括:(1)固体废物处置与利用的新理论、新方法.(2)水(包括地面水与地下水)污染控制的室内外研究.(3)水中痕量有机污染物检测新技术、新方法.(4)不同环境介质中固-液相表面过程与污染物迁移转化机理.(5)土壤污染与净化.(6)区域生态环境恢复的新理论、新技术和新方法.(7)地质灾害时空预测、预报理论:①地质灾害空间预测与风险评价理论;②突发性地质灾害时间预报理论.(8)环境过程模拟与预测.

课题申请要求思路清晰,方法和手段切实可靠,研究周期 1~2 年,单项课题经费不超过 1 万元.课题必须有其创新点,以获得具有国内外先进水平的研究成果或实用技术.

附件:“湖北省废物地质处置与环境保护重点实验室”开放研究基金项目申请书格式和内容

要求:申请书用 A4 纸打印,正文内容字体一律用 4 号字.(1)封面:列出课题名称、申请人姓名、工作单位、邮编、通讯地址、联系电话、Email 地址、申请日期;(2)立项科学依据、研究意义与国内外同类研究现状;(3)研究内容、创新点、预期成果及提交形式;(4)技术路线和研究方法;(5)课题组成员简况(姓名、性别、年龄、职称、学历、专业、项目中分工)和申请人简历;(6)课题进度安排及经费预算(不超过 1 万元);(7)课题承担单位意见(负责人签字、加盖单位公章).

联系人:蔡鹤生

地址:湖北省武汉市喻家山中国地质大学工程学院  
邮编:430074

电话:(027)87436240 (O) (027)87482603 (H)

Email: hshcai@cug.edu.cn

或 aiguo Zhou@cug.edu.cn

湖北省废物地质处置与环境保护重点实验室  
2000 年 3 月