

基于 GIS 城镇土地利用防灾适宜性评价方法分析

程 雨, 朱庆杰, 党旭光, 刘 峰

(河北理工大学 建筑工程学院, 唐山 063009)

摘 要: 城镇土地利用规划及城市建设应重视土地的防灾适宜性评价, 由于地质灾害对人类的生命和财产造成了严重的危害, 所以要从防灾的角度进行城镇土地利用适宜性评价。开发基于 GIS 城镇建设用地防灾适宜性评价方法, 借助 IDRISI 软件, 通过对比分析 GIS-OWA 与布尔决策和权重线性叠加 (WLC) 等多准则评价方法在决策策略上的区别, 计算了唐山市地质灾害影响下的土地利用适宜度。

关 键 词: GIS; 城镇建设用地; 适宜性评价; 防灾; OWA; 唐山

中图分类号: TU 443

文献标识码: A

Analysis of method of urban land-use suitability evaluation for disaster prevention based on GIS

CHENG Yu, ZHU Qing-jie, DANG Xu-guang, LIU Feng

(College of Civil Engineering and Architecture, Hebei Polytechnic University, Tangshan 063009, China)

Abstract : For the urban land-use planning and urban development, we should pay attention to the disaster prevention of land suitability evaluation. As a result of geological disasters in the existence of human life and property caused serious harm, so from the perspective of disaster prevention the urban land-use suitability evaluation should be made. Development of urban land-use suitability evaluation methods based on GIS for disaster prevention, using IDRISI software, through comparative analysis with the GIS-OWA and Boolean of decision-making and weight linear combination (WLC) and so on multi-criteria evaluation method in the distinction between strategic decision-making, the land-use suitability under the influence of geological disasters in Tangshan City has been calculated.

Key words: GIS; urban land-use; suitability evaluation; disaster prevention; OWA; Tangshan

1 前 言

自然灾害对人类生活和社会发展的危害, 古往今来, 断续不绝。地质灾害是自然灾害的主要灾种。如地震、滑坡、泥石流、地裂缝、地面沉陷等。由于这部分地质环境的存在对人类的生命和财产造成了严重的危害, 在过去制定各级规划时, 很少考虑规划区域所处的地质环境情况。一些建设项目实施时才发现地质环境问题, 不得不修改规划和更改规划的选址。所以要从防灾的角度进行城镇土地利用适宜性评价更好地为城市工程建设及城市规划决策服务。

GIS 支持下的土地防灾适宜性是用户通过 GIS 系统对相关地理对象 (图层) 交互地输入、显示、

分析以及结果输出的过程, 空间分析和推理是问题的核心, 辅助决策是最终目的。基于 GIS 的土地适宜性评价技术在诸多方面的应用, 以及其他相关技术 (如网络和人工智能技术) 的发展, 导致新的土地防灾适宜性评价方法不断涌现。

2 城镇土地利用防灾适宜性评价

影响城镇土地利用的灾害主要有滑坡、地震场地破坏、洪水灾害等, 对城镇规划建设关键是如何利用已有的各灾种评价结果进行综合评定, 指导城镇的建设用地选择。

2.1 城镇土地利用防灾适宜性评价目的

土地利用防灾适宜评价是对土地各构成系统认识的基础上, 以土地安全合理利用为目标。根据

特定的目的或针对一定的土地用途来对土地的属性进行质量或潜力鉴别,并阐明所评定的土地适宜性及适宜程度的过程。土地利用防灾适宜性评价是城镇土地利用中对各类用地的灾害影响、防灾措施和适宜性建设要求进行评价的统称,其主要技术路线是依据影响城镇建设的主要灾害对场地危害性的影响程度,针对城镇各类用地对建设条件的要求,进行适宜性分类评价。

2.2 城镇土地利用防灾适宜性影响因素

城镇所在自然地理区域的不同,灾害环境也存在差异。在不同的地理区域进行城镇土地利用适宜评价时,应因地制宜,选取对当地工程建设用地影响较大的灾害影响因素作为主要评价项目,在下面的分析中,把灾害影响的类型称为因素,把因素的影响程度分级称为因子。要考虑的主要灾害影响有:①地震引起的场地破坏影响主要有:地震液化、震陷、地面断裂以及滑坡、崩塌等由地震引起的地震地质灾害,一般通称为地震破坏效应。②影响城镇规划建设的地质灾害主要有:滑坡、崩塌、地面塌陷、地裂缝、地面沉降等。③洪水灾害的影响主要包括洪水淹没危险性、溢洪区和泄洪区影响等。④对城镇土地利用有影响的还有场地类别的划分。

3 GIS支持下土地利用防灾适宜性评价方法分析

基于GIS的多准则评价可分为两大类,一类是基于逻辑交集(AND)和并集(OR)运算的布尔(BOOLEAN)决策,另一类是基于连续变量标准化的权重组合决策,包括传统的权重线性组合(WLC)决策和最近发展起来的次序权重平均(OWA)决策^[1-2]。经典的权重线性组合决策方法可视为布尔AND和OR决策的平均,即介于最大风险和最小风险中间的平均决策。OWA方法则是一种可以根据决策策略选择决策风险大小的决策,因此可以把布尔决策和WLC决策视为OWA决策的特殊情况。

3.1 布尔运算的决策支持分析

对影响因子进行布尔标准化布尔聚合的逻辑性要求所有准则(包括影响因子和限制条件)必须进行标准化以具有相同的数值范围0或1。采用布尔方法,各个准则之间不能进行补偿。该方法只有交集(AND)和并集(OR)运算,前者的实质是评价对象须满足所有的准则,这样得到的结果为最小值,在风险方面是最保守的。后者的实质是评价对象只要满足其中一个准则就可以了,此运算得到的

结果为最大值,但具有相当大的风险。

3.2 权重线性组合法WLC决策支持分析

权重线性组合法WLC法不仅可以保留影响因子的可变性,而且可以使影响因子之间彼此权衡。与布尔方法相比,WLC法是一个取平均的方法,它将分析置于AND操作(最小值)和OR操作(最大值)之间。对于连续类型的准则(factors),最常用的是WLC法,每一个影响因子都被赋以权重,然后与相应的标准分相乘,最后将所得结果求和即生成适宜性地图^[3],公式为:

$$S = \sum w_i x_i \prod c_j \quad (1)$$

式中: S 为适宜性; w_i 为影响因子 i 的权重; x_i 为影响因子 i 的标准分值; c_j 为限制条件 j 的标准分值;

3.3 有序权重平均法(OWA)法决策支持分析

有序权重平均法(OWA)法根据决策策略选择决策风险大小的决策^[4],因此可以把布尔决策和WLC决策视为OWA决策的特殊情况对于任一地理空间位置(或屏幕像元) i ,按评价指标的大小排序得到各指标的属性值 z_{ij} ,第 j 种指标的次序权重为 v_j ,则OWA决策表达式^[5]可写为

$$OWA_i = \sum_{j=1}^n \left(\frac{u_j v_j}{\sum_{j=1}^n u_j v_j} \right) z_{ij} \quad (2)$$

式中: u_j 为准则权重, $u_j \in [0, 1]$, $j = 1, 2 \dots n$,

并且 $\sum_j u_j = 1$; v_j 为有序权重, $v_j \in [0, 1]$, $j = 1,$

$2 \dots n$,并且 $\sum_j v_j = 1$; Z_{ij} 为属性值;

3.4 OWA决策策略与次序权重计算

式(2)中次序权重 v_j 的确定方法中,比较典型的方法是按指标的重要等级 w_k 来确定^[8],此时次序权重可定义为

$$v_j = \left(\sum_{k=1}^j w_k \right)^\alpha - \left(\sum_{k=1}^{j-1} w_k \right)^\alpha \quad (3)$$

式中: α 为算子系数,取决于决策风险的大小,从0到 ∞ 之间变化。 w_k 可依据指标数值大小来确定指标重要等级,则 w_k 进一步表示为

$$w_k = \frac{n - r_k + 1}{\sum_{i=1}^k (n - r_i + 1)}, \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

式中: r_k 为依据指标数值大小对重要性(等级)进行取值,最大取1,次大取2,最小取 n ; α 为算子系数,取决于决策风险的大小,从0到 ∞ 之间变化。

在OWA决策表达式中,令式(2)的 $v_i = 1$,

$v_j = 0$ ，则为布尔的 OR 决策情况（表 1 中的第 1 种情况），代表了决策风险最大的情况；令式（2）的 $v_n = 1, v_j = 0$ ，则为布尔决策的 AND 决策情况（表 1 中的第 5 种情况），代表了决策风险最小的情况；而令 $v_j = 1/n$ ，则为 WLC 决策（表 1 中第 3 种情况），即平均风险的决策情况。从表中可以可出，布尔决策和 WLC 决策均可以视为 OWA 决策的一种特殊情况，代表特定风险的决策，因此应用 OWA 决策来进行地理空间的多准则评价，是选择合适决策风险并得到准确评价结果的关键。可以通过一个简单例子来说明，比如空间一点有 3 种评价指标， A 、 B 和 C 表示不同影响因子。其属性值为： $A=90$ ， $B=86$ ， $C=120$ ，则排列次序为 $C > A > B$ 。不同情况的计算结果见表 2。

表1 决策方法比较

Table 1 Comparison between different decision-making methods

序号	量化分析	OWA 权重	决策方法	α
1	至少一种指标符合	$v_1=1, v_j=0$	OWA (OR,MAX)	$\alpha \rightarrow 0$
2	一些指标符合	OWA 算子计算	OWA	$\alpha = 0.5$
3	平均情况	$v_j=1/n$	OWA (WLC)	$\alpha = 1$
4	多数指标符合	OWA 算子计算	OWA	$\alpha = 2$
5	所有指标符合	$v_n=1, v_j=0$	OWA (AND,MIN)	$\alpha \rightarrow \infty$

表2 不同方法的计算结果

Table 2 Calculating results of different decision-making methods

次序权重			计算公式	计算结果	对应方法
v_1	v_2	v_3			
1.0	0.0	0.0	$1.0 \times 120 + 0.0 \times 90 + 0.0 \times 86$	120	OWA (OR,MAX)
0.7	0.2	0.1	$0.7 \times 120 + 0.2 \times 90 + 0.1 \times 86$	110.6	OWA
0.34	0.42	0.24	$0.34 \times 120 + 0.42 \times 90 + 0.24 \times 86$	99.24	OWA (WLC)
0.1	0.2	0.7	$0.1 \times 120 + 0.2 \times 90 + 0.7 \times 86$	90.2	OWA
0.0	0.0	1.0	$0.0 \times 120 + 0.0 \times 90 + 1.0 \times 86$	86.0	OWA (AND,MIN)

4 实 例

河北省唐山市地形总的特点是北高南低，地势从北向南倾斜下降直达渤海之滨。在市区范围内，北部为低山丘陵地区，南部为海滨平原区。唐山市在其发展过程中遭受了多次自然灾害，其中最严重的是1976年7月28日发生的7.8级唐山大地震，其次是岩溶塌陷、采空塌陷、矿井塌陷及由此引起的地面沉降^[6-7]。

4.1 评价分析

借助 IDRISI 软件分别采用布尔叠加法（BI法）、权重线性组合法（WLC法）和有序权重平均法（OWA法），对唐山市建设用地防灾适宜性，选定4种影响因子：采空区稳定性、岩溶塌陷稳定性、

地震烈度和场地抗震性能。

4.1.1 布尔叠加法（BI法）

将各影响因子的栅格图像进行重新分类，转化为只有1和0值的布尔类型栅格图像，将所得图像运用 MCE 模块中的 BI 法或直接利用图像计算器（Image Calculator）进行运算，得到的碎片状布尔图像即为唐山市的适宜开发场地，使用该方法所得的适宜性图像是离散的，只有绝对适宜和不适宜两种类型的值，如图1（a）所示。

4.1.2 权重线性组合法（WLC法）

（1）各因子图像标准化

由于不同灾害因子的量纲不同，需要对每个灾害因子进行标准化。灾害因子对场地安全的影响是非常复杂的，数据标准化采用模糊量化的方法。

（2）建立影响因子重要性判断矩阵（或比较矩阵）

从防灾的角度考虑，建立4种影响因子的比较矩阵。一般采用1~9及其倒数的标度方法，比较因素间的重要性，可得到相对权值矩阵及其一致性比率。如果一致性比率小于0.10，说明比较矩阵具有满意的一致性，否则，需对比较矩阵作适当修正。

（3）生成适宜性图像

确定了影响因子权值矩阵之后，就可以运用 MCE 模块进行图像聚合，得到多准则评价适宜性图像。该方法的原理就是将每一个标准化的图像与其权值相乘，即图像的每个栅格单元与权值相乘，再把所得结果求和，然后还要与各约束因子相乘，以去除不适宜的区域。这样就可得到所需的适宜性评价图像，从而进行相应的决策分析。

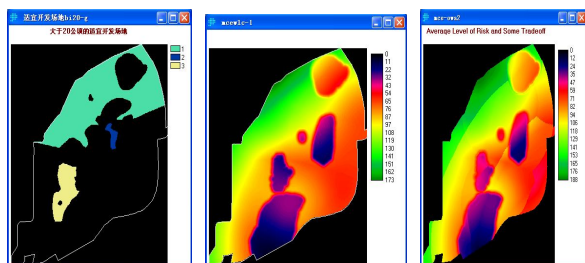
4.1.3 有序权重平均法（OWA法）

OWA法与WLC法在使用和运行方面有许多相似之处。OWA法的对话框只是多了一项权重设置称为有序权重（order weights），控制权重因子的聚合方式。事实上，WLC法只是OWA法的一种特殊情况。有序权重不同于因子权重，并不适用于任何具体的因子，而是要在因子分值的基础上，对所有的像元进行等级排序，然后再应用有序权重。

4.2 对比评价结果

以上针对唐山市的具体情况，从防灾角度考虑，确定影响土地利用的主要因素为采空区稳定性、岩溶塌陷稳定性、地震烈度和场地抗震性能的等4个因子，分别采用 BI 法、WLC 法和 OWA 法进行决策评价，得到3种评价结果，如图1所示。从决策策略上考虑，布尔决策是一种极型决策，不考虑各指标间的补偿或者替代，图像是离散的。权

重线性组合决策是平均风险的决策,各指标间依据准则权重完全补偿,适宜度是连续变化的,而OWA方法则是一种动态选择决策风险的方法,可得到最大和最小风险间任意补偿程度的结果。



(a) BI法

(b) BI法

(c) OWA法

图1 3种评价结果

Fig.1 Three types of evaluation results

5 结 语

本文主要介绍基于GIS城镇土地利用防灾适宜评价方法的计算分析,以及该方法在唐山市市场地适宜性评价中的实际应用,表明了该方法在适宜性评价领域的有效性和实用性。城镇土地利用防灾适宜性评价是城市建设的一项基础工作,城市规划工程师必须从在城市可持续发展的高度。从防灾角度参与城市规划,进行城镇土地利用防灾适宜性评价工作,使城市土地资源开发能使经济、社会、环境得到协调方展。在城镇土地利用决策过程中,科学的

决策方法和手段显得尤为重要。

参 考 文 献

- [1] 刘贵利. 城乡结合部建设用地适宜性评价初探[J]. 地理研究, 2000, 19(1): 80—85.
- [2] 陈松林. 基于 GIS 的荒地资源适宜性评价[J]. 福建地理, 2001, 16(1): 34—37.
- [3] 朱庆杰, 苏幼坡, 陈艳华. 城市防灾技术-ADINA-M 建模与 IDRISI 防灾决策[M]. 北京: Chinese Science and Technology Press, 2007.
- [4] 邱炳文, 池天河, 王钦敏, 等. GIS 在土地适宜性评价中的应用与展望[J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(5): 20—23, 44.
- [5] JACEK. Malczewski. Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2006, 8(4): 270—277.
- [6] 朱庆杰, 陈艳华, 等. 唐山市土地利用防灾适宜度评价方法分析[J]. 地理与地理信息科学, 2008, 24(5): 20—23, 44.
- [7] 朱庆杰, 苏幼坡. 唐山市综合防灾研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2005, 26(3): 309—314.
- [8] YAGER R R. Quantifier guided aggregation using OWA operation[J]. *International Journal of Intelligent Systems*, 1996, 11(1): 49—73.