

城市拓展空间信息图谱的建构与诊断

黄勇, 汪洋, 赵万民

(重庆大学建筑城规学院, 重庆 400045)

摘要:以四川省武胜县城为例,通过对影响城市空间拓展的多要素进行综合空间叠加,得到城市空间拓展的适宜性地图。用2个缓冲同心圆和8个空间象限对城市的发展空间进行分割,分区统计16个目标区用地适宜性的数量特征,以雷达图的方式建立信息图谱并进行对比分析。信息图谱显示,武胜县城近期适宜的拓展轴向是东北-西南向、不适宜的拓展轴向是西北-东南向;远景拓展在东、南、北方向上无明显限制,西南、西北向则存在限制制约。信息图谱是城市发展基础条件分析的新模式,较一般的分析手法具有更强的简洁性和解释力。其核心价值在于能够把影响城市发展的各种复杂因素以集成化、可视化、数量化的方式展示出来,从而为城市发展方向决策提供依据。

关键词:遥感(RS);城市总体规划;空间信息图谱;用地适宜性;地理信息系统(GIS)

中图分类号:TU984.11 文献标志码:A 文章编号:1674-4764(2009)03-0098-06

Establishment and Diagnosis of Spatial Information Tupu for Urban Development

HUANG Yong, WANG Yang, ZHAO Wan-min

(College of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: Decision-making for urban development strategy is a fundamental step for urban master planning. A comprehensive assessment model for urban development decision-making has been tested with spatial information Tupu methodology. Taking Wusheng County as an example, an adaptive scheme for urban spatial expanding was proposed with spatially overlaying multiple influential factors. The urban development space has been split into sixteen parts by two buffer circles and eight spatial quadrants. Quantitative characteristics of land use suitability in every part were addressed and analysed with information Tupu by radar map. It is found that the appropriate development axial for short-term is northeast-southwest while inappropriate for northwest-southeast. And for long-term development, the appropriate ones are east, south and north while unfavorable for southwest and northwest. Spatial information Tupu is a new mode for analyzing urban development, which is more explainable and simpler. Spatial information Tupu has the ability to integrate different kinds of information and expresses them in a visually and quantitatively way so as to better decision-making.

Key words: remote sensing (RS); urban master planning; spatial information Tupu; landuse suitability; geographical information system(GIS)

界定城市性质、规模的基础上确定城市空间拓展方向是城市总体规划的重要任务之一,城市拓展方向的确定过程是在多约束条件下求解城市系统发展最优方向的渐进决策过程。约束城市空间扩展的

因素是多样的、复杂的,这源自于城市本身是一个开放的复杂巨系统^[1]。一般情况下,城市总规的编制过程不可能花大量时间进行专门的城市空间拓展可行性专项研究,进而可能导致规划方案缺乏科学性。

收稿日期:2009-01-20

基金项目:国家自然科学基金重点项目(50738007);“十一五”科技攻关项目(2008BAJ08B19)

作者简介:黄勇(1976-),男,博士研究生,主要从事城市规划与设计研究,(E-mail)cqhy2001@126.com。

赵万民(联系人),男,教授,博士生导师,(E-mail)zwm65126371@sina.com。

产生这种现象的原因主要在于:1)到目前为止尚没有非常成熟的、科学性与操作性均很强的分析模型与手段;2)所需空间信息的采集与分析过程太过繁琐;3)缺少专业的数据处理与分析平台来进行综合评价。空间信息图谱是在继承中国传统研究成果的基础上,综合应用地理信息系统(GIS)、遥感(RS)等当代先进技术发展起来的一种时空分析方法论^[2]。这种理论以空间信息为媒介,通过对空间数据的综合运算与挖掘以实现地理要素的时空维再现,并用以表达分析对象的空间格局(空间图谱)和时间过程(时间图谱)^[3],其总体特点是过程复杂,但表达的结论却简洁明了。应用该方法体系进行城市拓展方向的适宜性分析不失为一种有益的尝试。对城市空间扩展现象和适宜性的探讨其实不乏先例^[4-6],也有学者提出建立规划支持系统^[7-9],但以信息图谱方式分析城市拓展适宜性的研究却十分罕见^[10]。以四川武胜县城市总体规划为例,以空间信息图谱的方式分析城市空间拓展的适宜性,旨在提出一种城市空间拓展方向判断的分析和表达模型。

1 研究区概况

武胜县隶属广安市,位于四川省东部,嘉陵江中游,地处川、渝两省市的结合部,南充、遂宁、合川3地交界处,东邻广安35 km,西接遂宁70 km,北上南充86 km,南下重庆110 km。嘉陵江纵贯全境117 km。武胜县行政辖区总面积为966 km²。县城沿口镇是嘉陵江水运的重要港口和物资集散地。国道212线、省道304线在境内穿过,现辖16镇15乡。2005年全县实现国内生产总值(GDP)45.2亿元,总人口82.5万人,人口密度854人/km²,其中城镇人口11.1万人。2005年武胜县城建成区面积约7.5 km²,居住总人口9.5万人,其中城市建设用地为4.13 km²,城市人口约为6.8万人,人均用地为60.7 m²/人。村镇建设用地3.37 km²,对应人口约2.7万人。在城市建设用地中,面积比例达10%以上的有四种,分别是:居住用地、公共设施用地、工业用地和绿地,分别占建成区面积的21.0%、12.50%、11.66%和17.72%。

2 城市建设用地拓展的适宜性分析

2.1 城市拓展适宜性语义模型

以系统论的观点看,制约城市空间拓展的空间变量有2大类:首先是城市所在地的自然基底条件,即城市自然环境基底系统;其二是城市产生和发展的社会经济发展状态,即社会经济系统^[11]。为了对这2个一级系统关系进行识别,可用若干二级指标来对一级系统进行综合分析,以揭示各制约因素的时空分异特征(图1)。要素的空间表达是基于具体的空间数据模型的,在GIS中通常用要素模型、栅格

模型或TIN模型来表达空间信息,前者一般用来模拟空间离散对象,后两者用来模拟空间连续场^[12]。每一种影响城市空间拓展的因素都可以用一个场模型来表达,通过各个场模型的空间耦合关系分析(空间叠加)以最终实现适宜性的综合表达。

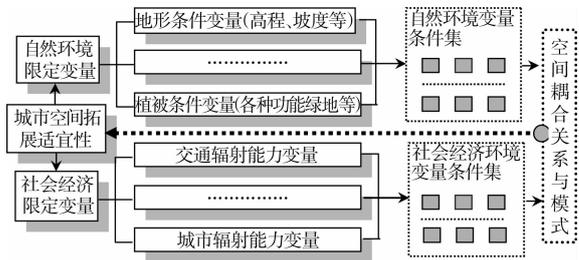


图1 城市空间拓展适宜性语义模型

2.2 指标选取与空间数据库建设

根据适宜性语义模型和基础数据的可获得性,选取坡度、高程、地基承载力、洪水频率、地质灾害、植被覆盖、城市中心辐射能力和交通干道辐射能力等8个评价指标来进行拓展适宜性综合分析(表1)。前4个指标是自然系统变量,最后2个指标是社会经济系统变量,中间2个指标(地质灾害与植被覆盖)是自然与社会交互作用变量(生态安全变量)。基础空间数据主要来源于1:10 000地形图、土地利用现状图、地质灾害评价图、2004年ETM卫星遥感图像。属性数据主要来源于当地的统计年鉴。使用的GIS和RS软件平台是ARC/INFO 9.0以及ERDAS 8.7。前者用于空间数据库建设和空间分析,后者主要用于遥感解译。具体过程如下:

1) 高程空间数据集:利用Arc/Info的Georeferencing和ArcScan模块完成地形图的几何校正、扫描矢量化工作;利用3D Analyst模块生成TIN模型,转换TIN模型为GRID模型,统一栅格数据空间精度为20 m。

2) 坡度空间数据集:根据DEM(数字高程模型)模型派生坡度栅格图和坡向栅格图。

3) 地基承载力空间数据集:根据当地地质条件评估报告和区域地基应力评估图件扫描矢量化,以定级的方式确定地基承载力,最后统一转化为栅格数据模型。

4) 洪水频率空间数据集:在DEM基础上,根据规划区水文统计资料派生各洪水频率的水位线,据此生成直线缓冲栅格模型。

5) 地灾空间数据集:根据地质灾害评估报告书和图件作矢量化,得到地址灾害点分布图,调用Spatial Analyst模块用直线距离模型生成地质灾害缓冲区栅格。

6) 植被覆盖空间数据集:在ETM遥感图像四、三波段基础上,利用ERDAS软件计算目标区域归一化植被指数^[13],其计算模型为(TM4-TM3)/

(TM4+TM3),得到归一化植被指数数据栅格。

7)城市辐射能力空间数据集:取现状城市中心(商业中心)为极点,调用 Spatial Analyst 模块以直线距离模型生成缓冲区栅格。

8)交通辐射能力空间数据集:取现状城市主干道(包括高速公路、国道、省道)为辐射轴线,调用 Spatial Analyst 模块以直线距离方式生成道路缓冲区栅格。

由于各专题栅格模型数据量纲不统一,还需要进行数据标准化处理,利用 Spatial Analyst 模块的 Reclass 函数对以上各专题模块进行重分类处理^[14](根据不同值域范围划分数据断点),将数据转换为无量纲可比数据。

2.3 指标集成与数据综合

采用加权求和^[15-16]的方式计算综合适宜性,计算方法见公式(1):

$$S = \sum_{i=1}^n V_i \cdot W_i \quad (1)$$

公式(1)中,S 代表城市拓展适宜性指数; V_i 代表第 i 种评价因素的得分(无量纲); W_i 代表第 i 种评价因素的权重; n 代表因素的个数。将每一个独立因素的适宜性程度(V_i 值)分为 5 等,即很适宜、适宜、中度适宜、不适宜、非常不适宜,分别用 1~5 来表示(表 1)。各指标的分级阈值在专家咨询和参考相关研究成果^[10,15]的基础上通过反复论证得到。各要素的权重通过层次分析法(AHP 法)得到^[17],具体过程包含了:建立层次结构模型、构造比较判断矩阵、层次单排序、层次总排序、一致性检验等步骤,由于这种方法的应用已经比较成熟,且不是该文的重点故不予详述。通过计算,经一次迭代后权重满足一致性检验要求,所得各因素指标权重序列为: $W_i = (\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6, \omega_7, \omega_8) = (0.194, 0.08, 0.113, 0.092, 0.151, 0.095, 0.162, 0.128)$,一致性比率 0.01。

表 1 评价因子量化分级表

因子	因子分级指数 V				
	1	2	3	4	5
坡度 $\omega_1 / (^\circ)$	0~5	5~10	10~15	15~25	>25
高程 ω_2 / m	270~300	300~320	>320	250~270	215~250
地基承载力 $\omega_3 / (\text{t} \cdot \text{m}^{-2})$	>20	15~20	10~15	5~10	<5
洪水频率 ω_4	>100	50~100	20~50	10~20	<10
距地灾点距离 ω_5 / m	>500	300~500	200~300	100~200	0~100
植被指数 ω_6 (NDVI)	<0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	>0.4
距现状城市中心距离 ω_7 / km	<2	2~3	3	4~5	>5
距交通干道距离 ω_8 / km	<0.5	0.5~1	1~2	2~4	>4

注:洪水频率线指 50 一遇洪水线。

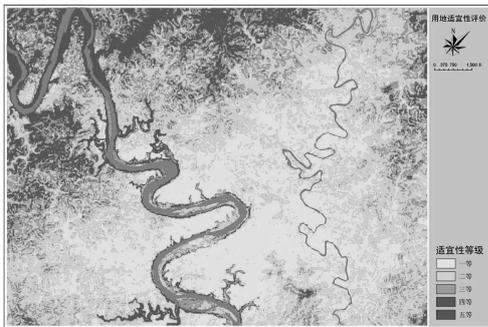


图 2 武胜县城市建设用地适宜性评价结果

在 GIS 系统内,按照上述计算参数进行计算。首先调用 Spatial Analyst 模块的 Raster Calculator 函数进行空间运算,得到每个空间算子 S 的值,该值即为该算子的城市空间扩展适宜性指数,其取值范围介于 1~5 之间,其大小代表了城市空间扩展时的

阻力大小,值越大则阻力越大,该地块发展为城市的代价就越大(图 2)。

3 城市拓展空间信息图谱建构与诊断

3.1 图谱空间域定义

以武胜县城现状商业中心为圆心,以正北偏西 22.5 度为起点,顺时针取空间域 45 度间隔划分出 8 个空间域分别代表北、东北、东、东南、南、西南、西、西北 8 个方向(编号 1 至 8);同时取城市中心为圆点,以 3 km 和 6 km 为半径($r_1=3, r_2=6$)产生 2 个连续缓冲区(圈层代号为 1 和 2),第一个缓冲区定义为城市近期扩展区(首位编号 1),第二个缓冲区定义为城市远景扩展区(首位编号 2),区域叠加得到 16 个空间分析目标区,取圈层号与方向码的组合对各区域进行空间编码(图 3),如 21 就代表远景的

正北向,16 则代表近期的西南向。

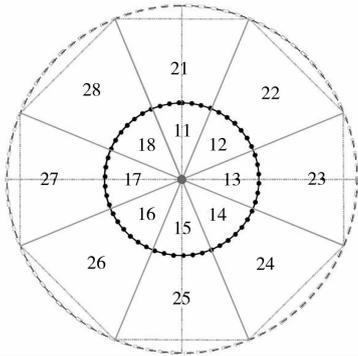


图 3 空间域定义及编码

3.2 空间统计与图谱构建

从适宜性地图中剥离出每个适宜等级的独立图层(5 个),调用 Zonal statistics 函数进行区域统计,得到各空间域每种适宜性等级的绝对面积。因每个空间域的面积固定(分别约为 3.53 和 10.60),所以有公式(2)成立:

$$S_{(i+1)jk} / S_{ijk} = (r_2^2 / r_1^2 - 1) \cdot (R_{(i+1)jk} / R_{ijk})$$

$$\{i = 1; j = 1, 2 \dots 8; k = 1, 2 \dots 5\} \quad (2)$$

式中 $S_{(i+1)jk}$ 为第 $i+1$ 圈层 j 方位第 k 级适应性的面积(km^2); S_{ijk} 为第 i 圈层 j 方位第 k 级适应性的面积; r_1 为第一个圈层的半径; r_2 为第二个圈层的半径; $R_{(i+1)jk}$ 为第 $i+1$ 圈层 j 方位第 k 级适应性的面积比例; R_{ijk} 为第 i 圈层 j 方位第 k 级适应性的面积比例。当 $r_1 = 3, r_2 = 6$ 时, $(r_1^2 / r_2^2 - 1) \approx 3$, 即 $S_{2jk} / S_{1jk} \approx 3 \cdot (R_{2jk} / R_{1jk})$ 。

因为近期单元和远期单元的面积不一致,所以需要数据做标准化处理,以得到所有单元的可比特征值。标准化方法为:

$$N_{ijk} = S_{ijk} / 10.6 \quad \{i = 1, 2; j = 1, 2 \dots 8; k = 1, 2 \dots 5\}$$

$$(3)$$

N_{ijk} 为第 i 圈 j 方向单元第 k 级适应性的标准化参数; S_{ijk} 为第 i 圈 j 方向单元第 k 级适应性的绝对面积; 设有 $M_{1jk} = S_{1jk} / 3.53, M_{2jk} = S_{2jk} / 10.6$, 根据公式(2)显然有: $N_{2jk} = M_{2jk}, N_{1jk} = M_{1jk} / 3$ 或 $M_{1jk} = 3 \cdot N_{1jk}$ 。如果把 M_{1jk} 和 N_{1jk} 分别看作二个矢量 \vec{M} 和 \vec{N} , 则有 $\vec{M} = 3\vec{N}$ 。例如 $M_{112} = 0.204$, 经标准化后 $N_{112} = 0.068, M_{112} = 3 N_{112}$; 再如 $M_{212} = N_{212} = 0.262$ 。采用式(3)进行标准化的优点是: 1) 克服了统计单元面积不一致的缺陷, 让所有数据都具有了可比性, 每个具体参数扩大约十倍(10.6)即为某适宜等级的绝对面积; 2) 远期单元的标准化参数即为某适宜性等级面积的比例, 近期单元标准化参数的 3 倍即为某适宜性等级面积比例。以适宜性评价的分级统计数据为基础, 根据公式(3)计算各空间域的标准化参数得到表 2。

表 2 各空间域适宜性参数统计表(标准化后)

空间域 (i, j)	空间含义	一等参数 $k=1$	二等参数 $k=2$	三等参数 $k=3$	四等参数 $k=4$	五等参数 $k=5$
11	近期—正北	0.242	0.068	0.019	0.003	0.000
12	近期—东北	0.278	0.042	0.011	0.002	0.000
13	近期—正东	0.278	0.042	0.010	0.003	0.000
14	近期—东南	0.138	0.069	0.064	0.043	0.019
15	近期—正南	0.203	0.058	0.042	0.025	0.005
16	近期—西南	0.191	0.061	0.044	0.028	0.009
17	近期—正西	0.181	0.067	0.055	0.018	0.011
18	近期—西北	0.104	0.083	0.077	0.052	0.018
21	远期—正北	0.271	0.262	0.226	0.176	0.066
22	远期—东北	0.147	0.247	0.216	0.238	0.153
23	远期—正东	0.151	0.239	0.261	0.264	0.085
24	远期—东南	0.183	0.367	0.280	0.144	0.026
25	远期—正南	0.244	0.268	0.293	0.171	0.024
26	远期—西南	0.027	0.107	0.194	0.328	0.345
27	远期—正西	0.185	0.284	0.237	0.188	0.107
28	远期—西北	0.053	0.080	0.113	0.245	0.510

定义空间域并进行统计的目的并不完全是为了计算相关参数,其最终目的是把一系列的离散数据以一种集成化、可视化的方式表达出来,让规划师能够直观的看到规划区域的空间适宜性特征,这个工作是由空间信息图谱来完成的。信息图谱尚没有固定的表达模式^[3],其形式也是自定义的。根据空间信息图谱的研究目的^[2],诊断性质的图谱应当具备 2 种必要的特征: 1) 图形化的信息综合; 2) 数量的可视化表达。也即与一般的图像比较,它有数量化的信息;与一般的统计数据比较,它又具有较强的空间指向性。显然,空间信息图谱的主要特点是数字化与空间化的综合,这也是空间信息图谱与一般 GIS 分析成果的本质区别。

根据空间信息图谱空间化、数字化特征的基本要求,在表格 2 的基础上采用雷达图的方式构建空间信息图谱。具体过程为: 定义 5 个 8 轴的雷达图,每个轴代表一个实际的地理方向(如 1 代表正北、5 代表正南)。在每个雷达图上绘制近期和远期某等级适宜性的标准化参数(表 2)。由公式(2)可知,比率的比与绝对量的比是一个常数,每个等级各向适宜性的数量信息能够得以完全反映,同时又可以表达其空间分布特征。就某个具体的适宜性等级雷达图而言,由于近期和远期的特征曲线都绘制在一个雷达图上,所以两者的比例特征也可以得到体现(N_{ijk}),进而可以推算其在各自单元里的相对比例(M_{ijk}),由此判断城市空间拓展的适宜性特征。一

系列雷达图构成图形序列,该序列即为适宜性诊断 空间信息图谱(图 4)。

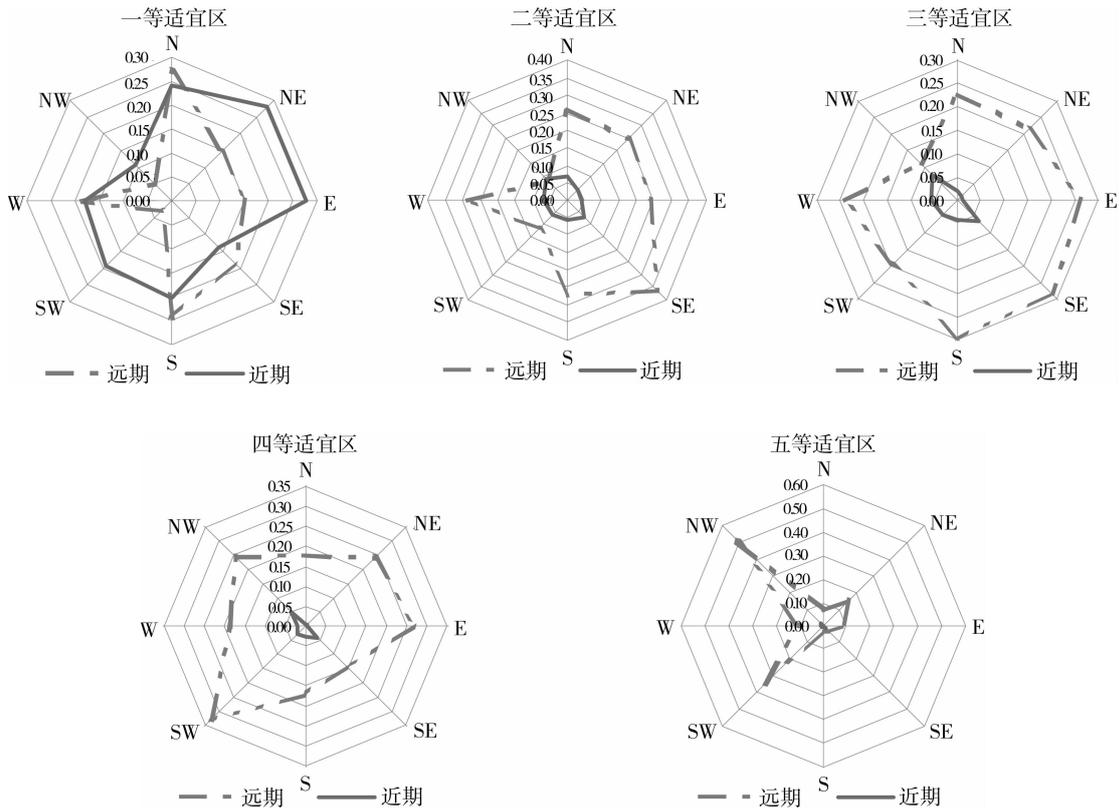


图 4 武胜县城空间拓展诊断信息图谱

3.3 城市拓展的图谱诊断

城市发展方向的确 定是多种因素共同作用的结果,空间信息图谱是这些因素 的集成化表达。图谱首先需要直观的给出 2 个问题的答案:1)城市近期和远 期最优的主导发展方向是什么;2)城市在近期和远 期不适宜往那些方向发展。显然,在空间信息图谱上很容易得到一个直观的判断(图 4),最优方向的选择主要参考一等和二等适宜性图谱;不适宜发展方向的判断则主要参考四等和五等适宜性图谱。对近期发展来讲,信息图谱显示最优的(一等)发展轴向是东北-西南向,最不适宜的发展方向则为西北-东南向,二级适宜性图谱的指向不明确。对远 期发展来讲,城市的拓展在北、西、南等方向上没有明显的限制,主要的制约方向是西北向和西南向(五等适宜图谱)。基于雷达图表示的信息图谱与风玫瑰图具有惊人的相似性,两者的读图方式也几乎一样,共同特点是既有方向信息又有数量信息。

除了能直观的获取城市发展方向适宜性的对比信息外,还可以从信息图谱读出所需的大量数据信息,主要包括:1)近期和远 期某方向上某适宜等级建设用地的数量对比特征。有 3 种情况:第 1 种是近期多边形包含远 期多边形,表示在近期范围内,各个方向上某适宜等级的土地面积均比远 期多;第 2 种

情况是近期多边形与远 期多边形相交,如图 4 中的一等适宜图谱,表示近期量和远 期量在各个方向上有多有少;第 3 种情况是远 期多边形包含近期多边形,如图 4 中的二、三、四等,表示远 期某等级的土地资源比近期多。数量的对比特征取决于两种多边形面积的对比,差距越大则表示绝对面积相差越多,反之则越少。从图 4 可知,武胜县城各等级的适宜用地面积,除了第一等外,其远 期各等级土地均远远多于近期。2)某方向上某适宜等级建设用地的绝对数量;例如从图 4 可知,一等适宜性近期和远 期在正北向上的标准化值分别约为 0.24 和 0.27,根据 3.2 节点推导可知,其对应的一等适宜性面积在近期和远 期就分别约为 2.4 km^2 和 2.7 km^2 。(3)某方向上某等级适宜建设用地的相对数量(相较于空间单元的面积百分比)。例如已知一等适宜性近期和远 期在正北向上的标准化值分别约为 $N_{111} \approx 0.24$ 和 $N_{211} \approx 0.27$,则比率 $M_{111} \approx 3 \cdot N_{111} \approx 72\%$, $M_{211} \approx 27\%$ 。除了可以在图谱上直接获取上述重要参数外,还可以从信息图谱里分析其他相关信息。例如可以把 5 个单独的图谱看作一个序列,从头至尾的基本特征是近期多边形的面积逐渐减小,远 期多边形的面积近似保持平稳但到最后减小,其表达的含义是近期适宜建设用地具有强烈的空间聚集性,即

空间自相关性;而远期适宜建设用地的空间分布则具有相当的空间散布性,而最不适宜的建设用地(五等的远期多边形)又有一定的回归,表现出一定程度的空间聚集性。

4 总结与讨论

城市拓展空间信息图谱同时具有城市空间扩展适宜性的方向指示信息、定量描述信息、和序列对比信息,同时其结构又非常简单、形象,具有较强的适宜性解释力。信息图谱研究的科学意义在于3个方面:1)数据的可视化;2)复杂性的封装;3)空间与数字的集成。数据的可视化是把一系列的离散描述数据以图形化的方式展示出来,以为科学决策服务。信息图谱的构建过程实际上是一个多源数据的分析和处理过程,采用信息图谱来表达分析的结果实际上是把过程的复杂性隐藏了,仅从图谱就可以得到所需的判断和参数,从这个意义上说,信息图谱其实就是过程与结果的接口,它封装了大部分过程的复杂性。

在空间信息图谱的建构过程中,GIS 是进行数据输入输出、数据综合处理、空间数据可视化的基本工具和平台;RS 则作为基本空间数据的来源之一,两者的综合运用是构建信息图谱的基本手段。应当指出,信息图谱的相关研究目前还处于起步阶段,其基本理论、方法和技术手段尚处于发展之中,其本质是一种方法论而不是一种技术。就该文来讲,还有两大方面的内容值得进一步深化:1)城市用地适宜性的评价模型还需要做进一步修正,核心问题有评价模式选择(如 what if 模式)、评价指标的确定、数据综合模型的设计等;2)城市拓展空间信息图谱的过程自动化。可开发专门的 GIS 系统对该过程的复杂性进行封装,提供多情景的选择模式,以使信息图谱的构建和表达具有更高的效率和适应性。

参考文献:

- [1] 周干峙. 城市及其区域——一个典型的开放的复杂巨系统[J]. 城市规划, 2002, 26(2): 7-18.
ZHOU GAN-ZHI. City and its region: An typical open complex huge system[J]. City Planning Review, 2002, 26(2): 7-18.
- [2] 陈述彭. 地学信息图谱研究及其应用[J]. 地理研究, 2000, 19(4): 337-343.
CHEN SHU-PEN, et al. Studies on geo-informatic map and its application [J]. Geographical Research. 2000, 19(4): 337-343.
- [3] 陈述彭. 地学信息图谱探索研究[M]. 北京: 商务印书馆, 2001: 27-39.
- [4] LIU J Y, ZHAN J Y, DENG X Z. Spatio-temporal patterns and driving forces of urban land expansion in China during the economic reform era [J]. Royal Swedish Academy of Science, 2005, 34(6): 450-455.
- [5] F FREDERIC DENG, YOU QIN-HUANG. Uneven land reform and urban sprawl in China: the case of Beijing[J]. Progress in Planning, 2004, 61: 211-236.
- [6] ZHENG Y, HU Y C, LIU Y S, et al. Spatial analysis and optimal allocation of land resource based on land suitability evaluation in Shandong Province [J]. Transaction of the CSAE, 2005, 21(2): 60-65.
- [7] KLOSTERMAN R, PETTIT C. An update on planning support systems [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2005, 32(4): 477-484.
- [8] 叶嘉安, 宋小冬, 钮心毅, 等. 地理信息与规划支持系统[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 59-63.
- [9] GEERTMAN S. Potentials for planning support: a planning conceptual approach [J]. Environment and Planning B, 2006, 33(6): 863-880.
- [10] 汪洋, 赵万民. 城市总体规划生态敏感空间信息图谱的 GIS 建构[J]. 中国园林, 2007, 23(10): 54-57.
WANG YANG, ZHAO WAN-MIN. The GIS structuring of eco-vulnerability geo-informatic atlas in urban master planning [J]. Chinese Landscape Architecture. 2007, 23(10): 54-56.
- [11] 刘耀林, 刘艳芳, 梁勤鸥. 城市环境分析[M]. 武汉: 武汉测绘科技大出版社, 1999.
- [12] GOODCHILD M F, HAINNING R P. GIS and spatial data analysis: converging perspectives [J]. Papers in Regional Science, 2004, 83(12): 363-385.
- [13] 彭望碌. 遥感概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 75-86.
- [14] HAINING R. Spatial data analysis: Theory and practice [M]. London: Cambridge University Press, 2003: 45-49.
- [15] 王海鹰, 张新长, 康庭军. 基于 GIS 的城市建设用地适宜性评价理论与应用[J]. 地理与地理信息科学, 2009, 25(1): 14-17.
WANG HAI-YING, ZHANG XIN-CHANG, KANG TING-JUN. Theory and application of evaluation on ecological applicability for urban construction land based on GIS [J]. Geography and Geo-information Science, 2009, 25(1): 14-17.
- [16] BASSGAOGLU H, CELENK E, MARINO MA, et al. Selection of waste disposal site using GIS [J]. Journal of The American Water Resource Association, 1997, 33(2): 455-464.
- [17] 王莲芬, 许柏. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1989: 146-163.

(编辑 王秀玲)