

文章编号: 1673-9469(2012)01-0066-04

## 基于 GIS 的土地节约集约利用评价研究

郝天平, 张洋, 王志龙

(河北工程大学 资源学院 河北 邯郸 056038)

**摘要:** 从土地利用强度、土地投入强度、土地的经济效益和生态效益 4 个方面筛选指标构建土地节约集约评价模型。利用主成分分析确定土地节约集约利用的评价指标,运用层次分析法确定各指标的评价权重并结合 GIS 强大的空间分析和计算能力对土地节约集约情况进行评价。案例分析结果表明,基于 GIS 的土地节约集约利用评价结果与普查结果基本吻合,运用该模型能够更好地分析土地资源利用状况,可以为土地利用规划提供数据资料支持和决策依据。

**关键词:** GIS; 土地利用; 节约集约; 主成分分析; 层次分析

中图分类号: F301.2

文献标识码: A

### Evaluation on the economical and intensive utilization of land resources based on GIS

HAO Tian-ping, ZHANG Yang, WANG Zhi-long

(College of Resources, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

**Abstract:** The indices were selected from four aspects including the utilization intensity, investment intensity, economic and ecological benefits, and the model of the economical and intensive utilization of land resources were established. The principal component analysis was used to determine the specific evaluation index, and the analytic hierarchy process was used to determine the weight of each index. By means of the spatial analysis and computing capability of the GIS, the economical and intensive utilization of land resources were evaluated. The evaluated result was similar to the census result, which showed that the evaluation model could be used to analyze the status of land utilization and provide data support and decision criterion for the plan of land utilization.

**Key words:** GIS; land utilization; conservation and intensive; PCA; AHP

土地节约集约评价是根据土地的投入和产出状况,考虑土地的经济效益、社会效益、生态效益进行的综合评价<sup>[1-2]</sup>。我国土地节约集约利用的研究开始于 20 世纪 90 年代,起步较晚,主要集中在土地节约集约利用的相关理论和内涵、土地节约集约利用定量评价、土地节约集约利用途径及区域实践研究等方面<sup>[3-5]</sup>。在定量评价方面施建刚等<sup>[6]</sup>利用因子分析和聚类分析法,赵旭等<sup>[7]</sup>利用聚类分析和文献资料法对城市土地节约集约评价进行了研究,从总体上看这些方法并没有涉及对评价指标的筛选,一些评价仅对结果进行了文

字性说明,表现不直观。本文运用主成分分析法(Principal Component Analysis, PCA)<sup>[8]</sup>对土地节约集约的各评价指标进行相关性分析,筛选出对评价影响较大的主要指标,在此基础上利用层次分析法(Analytical Hierarchy Process, AHP)获取各指标的权重值,利用 GIS 对土地节约集约评价结果进行制图表达。

### 1 模型建立

#### 1.1 评价指标筛选

收稿日期: 2011-11-09

作者简介: 郝天平(1983-)男,山东梁山人,在读硕士研究生,从事 GIS 开发及应用方面的研究。

表 1 土地节约集约评价指标  
Tab. 1 Evaluation index of land saving

评价主要方面	评价指标	指标说明
土地利用强度	土地利用率	(建设用地 - 存量用地 - 批而未供) / 建设用地总面积
	人均建设用地	人口 / 建设用地总面积
	土地闲置率	闲置土地面积 / 建设用地总面积
	单位 GDP 交通用地	交通用地总面积 / GDP
土地投入强度	地均固定资产投资额	固定资产投资额 / 建设用地总面积
	地均建设用地投资额	建设项目投资额 / 建设用地总面积
	人均道路面积	道路总面积 / 人口
土地的经济效益	地均 GDP	GDP / 建设用地总面积
	地均第二产业 GDP	第二产业 GDP / 建设用地总面积
	地均第三产业 GDP	第三产业 GDP / 建设用地总面积
生态效益	人口密度	人口数量 / 土地面积
	人口与建设用地弹性系数	人口增长率 / 建设用地增长率

表 2 层次分析模型层次结构  
Tab. 2 Hierarchy structure of the AHP model

目标层 (A)	准则层 (C)	对象层 (P)
土地节约集约评价	土地利用强度 (C <sub>1</sub> )、土地投入强度 (C <sub>2</sub> )、 土地经济效益 (C <sub>3</sub> )、土地生态效益 (C <sub>4</sub> )	通过主成分分析法得到的评价指标 (P <sub>i</sub> )

土地节约集约评价主要包括土地利用强度、土地投入强度、土地的经济效益和生态效益 4 个方面,具体指标如表 1 所示<sup>[10]</sup>,由于相同指标在不同的地区发挥的作用不相同,所以利用主成分分析对评价指标进行筛选,得到影响评价结果的主要指标。

将研究区分成若干小的评价区域,分别计算各区域的指标值,计算结果用矩阵 X 表示。

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: X<sub>ij</sub> - 第 i 小区域的第 j 指标(变量)的值 0 < i < n 0 < j < p。

对式(1)中的数据进行标准化处理,统一各评价指标的量纲和取值范围,得到矩阵 X'

$$X' = \begin{bmatrix} x'_{11} & x'_{12} & \cdots & x'_{1p} \\ x'_{21} & x'_{22} & \cdots & x'_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x'_{n1} & x'_{n2} & \cdots & x'_{np} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中 x'ij = (xij - xj) / σj 0 < i < n; xj - 矩阵 X 第 j 列的算术平均数 0 < j < p; σj - 第 j 列的标准差 0 < j

< p。

对式(2)标准化处理得到相关矩阵 R

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & r_{pp} \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中  $r_{ij} = r_{ji} \quad r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)^2 \sum_{k=1}^n (x_{kj} - \bar{x}_j)^2}}$

对矩阵 R 的特征值 λ<sub>i</sub> (0 < i ≤ p) 按大小排序 λ<sub>1</sub>\* ≥ λ<sub>2</sub>\* ≥ ... ≥ λ<sub>p</sub>\* ≥ 0, 根据特征值 λ<sub>i</sub>\* 得到 R 的特征向量 e<sub>i</sub>。

设 λ<sub>i</sub>\* 与所有特征值总和的比值称为第 i 个主成分的贡献率 f<sub>i</sub>, 则称前 i 个主成分的贡献率的和为累计贡献率 F<sub>i</sub>。即:

$$f_i = \frac{\lambda_i^*}{\sum_{k=1}^p \lambda_k^*} \quad F_i = \frac{\sum_{k=1}^i \lambda_k^*}{\sum_{k=1}^p \lambda_k^*} \quad (4)$$

取 F<sub>i</sub> 达到 0.85 ~ 0.95 的特征值时, 第 1 ~ i 个主成分所对应的指标便为筛选得到的评价指标。

## 1.2 权重确定

利用主成分分析法对评价指标进行筛选,采用层次分析法建立层次结构(表2),根据 Saaty 等提出的 1~9 尺度(表3)将评价指标量化处理。

表3 定性到定量的转化表

$C_i: C_j$ 的重要性	相同	稍强	强	明显强	绝对强
尺度 $a_{ij}$	1	3	5	7	9

步骤1 根据准则层对目标层的重要性建立判断矩阵  $A$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中:  $a_{ij}$  - 准则层  $C_i$  与  $C_j$  比较对于目标层  $A$  的重要程度(贡献大小)。

步骤2 根据评价指标对准则层的重要程度建立判断矩阵  $C^{(k)}$

$$C^{(k)} = \begin{bmatrix} c_{11}^{(k)} & c_{12}^{(k)} & \cdots & c_{1m}^{(k)} \\ c_{21}^{(k)} & c_{22}^{(k)} & \cdots & c_{2m}^{(k)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{m1}^{(k)} & c_{m2}^{(k)} & \cdots & c_{mm}^{(k)} \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中  $c_{ij}^{(k)}$  - 对象层(评价指标)  $P_i$  与  $P_j$  比较对于准则层  $C_k$  的重要程度(贡献大小),其中  $0 < i, j \leq m$ ,  $0 < k \leq 4$ ,  $m$  为指标总量。

步骤3 分别对判断矩阵  $A$ ,  $C^{(k)}$  处理,得到最大特征值  $\lambda_{\max}^a$ ,  $\lambda_{\max}^{(k)}$  及对应的特征向量  $e^a$ ,  $e^{(k)}$ 。

利用式(7)判断矩阵的一致性,当  $CR < 0.1$  时,判断矩阵具有一致性,否则调整判断矩阵。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

式中:  $n$  - 判断矩阵的维数,  $RI$  通过查平均随机一致性指标表获得。

利用式(8)判断总体一致性,同理当  $CR < 0.1$  时,说明判断矩阵具有一致性,否则调整各判断矩阵。

$$CR = \frac{\sum_{j=1}^m e_j^a CI_j}{\sum_{j=1}^m e_j^a RI_j} \quad (8)$$

指标的权重计算公式为

$$W = e^a \cdot [e^{(1)T} \quad e^{(2)T} \quad e^{(3)T} \quad e^{(4)T}]^T \quad (9)$$

土地节约集约评价结果  $f$  为

$$f = W \cdot P^T \quad (10)$$

其中  $P$  表示评价指标标准化处理后组成的向量。

## 2 GIS 分析

在主成分分析和层次分析建立的数量关系的基础上,利用 GIS 的空间处理能力进行综合分析<sup>[10-11]</sup>。GIS 分析的步骤如下:

步骤1 计算指标值。对研究区按照一定规则划分成多个区域,计算各区域不同评价指标标准化处理后的值。

步骤2 矢量数据栅格化。即将多边形矢量数据转化为栅格数据,栅格的 Value 值为标准化处理后的指标值。不同评价指标生成不同栅格图件。

步骤3 代数运算。将评价指标栅格图件 Value 值与对应的权值相乘作为栅格图件的新的 Value 值。

步骤4 叠加分析。将评价指标栅格图件在 GIS 系统下进行叠加,取全部图层 Value 值总和,所得到的图像即为土地节约集约评价专题图,其 Value 值为评价值,反映了该区域土地节约集约的平均情况。

## 3 案例分析

扎兰屯市位于内蒙古自治区东部,资源丰富,经济发展迅速,全市行政区域总面积 1.69 万  $\text{km}^2$ ,总人口 45 万,人地矛盾相对比较紧张。

### 3.1 评价指标筛选和权重确定

利用主成分分析法对表 1 中的评价指标进行分析(表 4),确定该市的最终评价因子为人口密度、地均 GDP、地均第二产业 GDP、人均建设用地面积、地均固定资产投资额、地均第三产业 GDP、人均道路面积等 7 个因子。

表 4 特征值与贡献率  
Tab. 4 Characteristic values and contribution rate

评价指标	特征值	贡献率	累计贡献率
人口密度	1.331	0.1479	0.1479
地均固定资产投资额	1.219	0.1355	0.2834
人均建设用地面积	1.207	0.1341	0.4175
地均 GDP	1.174	0.1305	0.548
地均第二产业 GDP	1.006	0.1118	0.6598
地均第三产业 GDP	0.957	0.1064	0.7662
人均道路面积	0.899	0.0999	0.8661
地均建设用地投资额	0.507	0.0563	0.9224
单位 GDP 交通用地	0.315	0.035	0.9574
土地闲置率	0.193	0.0214	0.9789
土地利用率	0.114	0.0127	0.9916
人口与建设用地弹性系数	0.045	0.005	0.9966

在确定判断矩阵的过程中,应用 Matlab 软件对 3 位专家给出的判断矩阵进行权重计算和一致性检验,结果均符合要求。通过对结果算术平均,得到该市建设用地节约集约评价指标矩阵为

$$e^a = [0.2594 \quad 0.2013 \quad 0.3795 \quad 0.1597] \quad (11)$$

$$\begin{bmatrix} e^{(1)} \\ e^{(2)} \\ e^{(3)} \\ e^{(4)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.243 & 0.249 & 0.119 & 0.251 \\ 0.155 & 0.210 & 0.036 & 0.072 \\ 0.100 & 0.169 & 0.082 & 0.037 \\ 0.212 & 0.156 & 0.087 & 0.105 \\ 0.135 & 0.099 & 0.261 & 0.296 \\ 0.055 & 0.027 & 0.204 & 0.054 \\ 0.098 & 0.093 & 0.150 & 0.178 \end{bmatrix} \quad (12)$$

各评价指标的权重为  $W = [0.198 \quad 0.134 \quad 0.091 \quad 0.096 \quad 0.137 \quad 0.062 \quad 0.060]$ 。

### 3.2 空间分析与评价结果

将该市土地划分为 18 个小区域,新增的 7 个属性字段,分别对应标准化处理后的评价指标值。在 ArcGIS 下利用 ArcToolBox 的 Polygon to Raster 工具将 18 个区域的矢量图转化为栅格图,其中 Value field 选择评价指标,共计产生 7 个栅格图件。用 ArcMap 打开 7 个栅格图件,利用 Spatial Analyst 工具条下的 Raster Calculator 工具做代数运算,使栅格图件的 Value 值为原值与该评价指标权重的乘积。利用同样的工具对 7 个评价指标栅格图求和,生成新的栅格图层。新的栅格图即为该市土地节约集约利用评价专题图(图 1),其 value 值便为该区域的评价值。

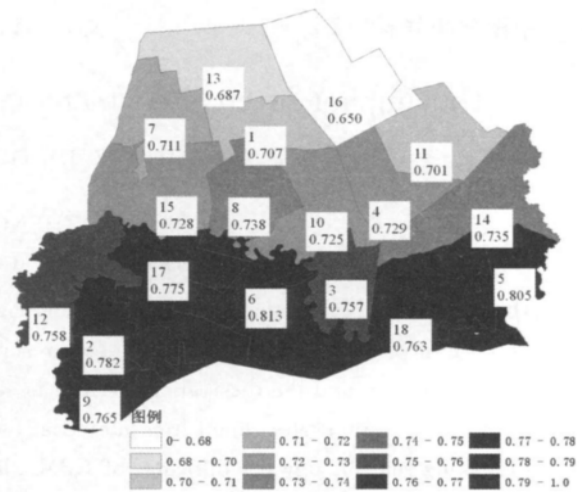


图 1 土地节约集约利用评价结果  
Fig. 1 Result of land saving and intensive evaluation

从图 1 可知,颜色较深的 2、5、6 区域评价价值较高,均达到了 0.78 以上,反应了这部分区域经济发展水平较高,土地节约集约程度较高;颜色越浅的区域评价价值越低,土地节约集约利用程度越低;该市东北部为山地,土地节约集约利用程度最低,经济发展水平也是该市的最低。将评价结果与该市土地节约集约普查的结果进行对照,发现评价结果与普查结果是基本吻合的。总之综合运用主成分分析和层次分析的评价反应了区域土地利用节约集约情况。该实例证明利用主成分分析确定评价指标,运用层次分析法获取各评价指标权重值,最后发挥 GIS 的统计分析能力进行土地节约集约评价的方法是合理可行的。

(下转第 73 页)

表现出差异性。

#### 4 结束语

在研究区东北部煤储层埋藏较浅区域,地下水径流能力强,径流方向与煤层气逸散方向相反,对煤层气起到水力封堵控气作用;矿区西南部为地下水低水位等势面区域,地下水严重滞留,有利于煤层气富集保存;含水层渗透系数小、单位涌水量小的区域是煤层气富集的有利区域。地下水化学场特征同样影响煤层气富集。地下水滞留区域与高矿化度中心一致,同样与区域富气中心分布一致。研究区的煤层气分布特征,这进一步佐证了滞留或弱水力交替地下水是煤层气富集成藏的有利水文地质条件。

参考文献:

[1] 朱建刚. 乡宁矿区煤储层地质特征研究[J]. 河北工程

大学学报:自然科学版,2010,27(4):52-54.

[2] 叶建平,武强,王子和. 水文地质条件对煤层气赋存的控制作用[J]. 煤炭学报,2001,2(5):459-462.

[3] SCOTT A R. Hydrogeologic factors affecting gas content distribution in coal beds [J]. International Journal of Coal Geology,2002(50):363-387.

[4] KAISER W R, HAMILTON D S, SCOTT A R, et al. Geological and hydrological controls on the producibility of coalbed methane [J]. Journal of the Geological Society of London,1994(151):417-420.

[5] ANNA L O. Groundwater flow associated with coalbed gas production, Ferron Sandstone, east-central Utah [J]. International Journal of Coal Geology,2003,56(1-2):69-95.

[6] 中国煤炭地质总局第一勘探局地质勘查院. 山西省临汾市白额西区煤炭详查地质报告[R]. 河北邯郸:中国煤炭地质总局第一勘探局地质勘查院,2006.

(责任编辑 刘存英)

(上接第69页)

#### 4 结论

1) 使用数学知识和专家经验模型相结合确定评价因子及其权重,不仅避免了数学方法的机械性,同时也避免了专家的主观性。

2) 在评价过程中引入了GIS技术,使评价的过程和结果数据都可以直观的表现,减少了工作时间和工作量,节约了传统评价方法需要的后期人工绘图的人力、财力和物力。

3) 通过主成分分析和层次分析,不仅体现了各评价指标的表面信息,更挖掘了评价指标间的关联关系等深层次信息,使土地节约集约评价更科学,更具说服力。

参考文献:

[1] 肖劲松. 坚持节约集约用地,促进经济可持续发展[J]. 国土资源导刊,2006,3(2):35.

[2] 魏国锐. 土地节约集约利用面临的问题集对策[J]. 山东国土资源,2006,22(2):57-59,62.

[3] 王静,邵晓梅. 土地节约集约利用技术方法研究:现

状、问题与趋势[J]. 地理科学进展,2008,27(3):68-74.

[4] 刘敏. 城市土地集约利用及其评价指标体系构建[J]. 标准科学,2009,(9):38-40.

[5] 周志刚. 开发区土地集约利用评价关键技术集成创新研究[D]. 杭州:浙江大学,2010.

[6] 施建刚,宋英潇. 城市土地节约集约利用时空评价研究—以上海市为例[J]. 土地市场,2010,8(356):43-46.

[7] 赵旭,刘小平,薛姝. 两型社会视角下湖南城市土地节约集约利用研究[J]. 城市发展研究,2010,17(5):102-107.

[8] 范杰. 主成分分析法的数值实现算法[J]. 河北工程大学学报:自然科学版,2007,24(4):103-105.

[9] 冯帆,朱刚,高会军. 晋陕蒙接壤地区土地利用/覆盖变化及其驱动力研究——以神华集团大柳塔矿区为例[J]. 中国煤炭地质,2011,23(3):24-26.

[10] 杨大兵,李俊付,王凤. 基于GIS的城镇土地潜力评价系统研究[J]. 河北工程大学学报:自然科学版,2009,26(3):89-92.

[11] 冯帆,王佟. 基于GIS煤炭勘查地测空间信息系统[J]. 中国煤炭地质,2011,23(4):64-67.

(责任编辑 马立)