

基于离差最大化的灰色关联投影法 在厂址选择综合评价中的应用

王秋平, 杨 茜, 张 琦, 史 荣

(西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘 要:将灰色关联投影决策法引入厂址选择方案评价,通过分析灰色系统中各因素之间的关联度,较好地了解各规划方案与最优方案的相似程度,并对规划方案与最优方案之间的相对误差和绝对误差两个方面进行比较.同时,采用离差最大化方法确定权重,克服了人为主观因素的影响,使得比选方案的选择更加公正合理,准确性得到了提高.最后通过实例说明了该模型理论简洁,可操作性好,能够为厂址选择综合评价提供科学合理的决策依据.

关键词:厂址选择;离差最大化;灰色关联投影法;综合评价

中图分类号:TU981

文献标志码:A

文章编号:1006-7930(2013)03-0356-05

厂址选择是工业企业建设必不可少的环节,是工业企业总体规划的逐步具体化与最终体现,所以厂址选择的合理与否,直接影响工业布局 and 区域规划的具体实施和经济效果.由于厂址选择是一项政治、经济、技术性很强的综合性工作,涉及面广,影响因素多,既有宏观的也有微观的,有定性的也有定量的,有技术的也有经济的,因此厂址选择综合评价是多层次、多目标的复杂系统.

厂址选择方案评价涉及到技术、经济、社会、环境等不同方面的多个指标,各指标之间并不是相互独立的,它们之间的关系不明确,从实质上讲,这是一种灰色关系.国内厂址选择评价的方法常见的有AHP法^[1]、模糊综合评判法、判定优先次序法、线性规划法^[2]等,这些方法在定量分析时总是有部分指标权重是人为确定的,影响了评价结果的客观性;文献[3]将数据包络分析(DEA)法引入厂址选择,提出在不需要投入产出数理函数关系和权重假设的前提下,仅利用观察到的投入产出数据,就能给出综合的标量值用以评价不同决策单元的相对有效性,但是该方法的指标体系确定比较困难.本文则对厂址选择综合评价提出了一种新思路,将灰色关联投影决策法引入厂址选择方案评价,通过分析灰色系统中各方案之间的关联度,可以计算出各规划方案与最优方案的相似度,并对规划方案与最优方案之间的相对误差和绝对误差两个方面进行比较.同时,采用了基于离差最大化确定权重的方法,克服了人为因素的影响,使得比选方案的选择更加客观公正,准确性有了很大的提高.

1 基于离差最大化的灰色关联投影法评价方法

1.1 建立标准化决策矩阵及确定理想方案

设 A 为 n 个厂址选择方案的集合, $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$; E 为 m 个评价因子集合, $E = \{E_1, E_2, \dots, E_m\}$; 其中, $N = \{1, 2, \dots, n\}$, $M = \{1, 2, \dots, m\}$, $i \in N, j \in M$. 设 y_{ij} 为方案 A_i 对评价因子 E_j 的属性值, 则 $Y = (y_{ij})_{n \times m}$ 表示方案集 A_i 对评价因子集 E_j 的决策矩阵:

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{n1} & y_{n2} & \cdots & y_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

收稿日期:2012-11-09 修改稿日期:2013-05-05

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51278396);西安建筑科技大学学科重点培育计划人才培养专项(XK201101);西安建筑科技大学学科建设重点培育计划(XK201213);陕西省教育厅专项基金资助项目(11JK0885)

作者简介:王秋平(1962-),女,陕西城固人,教授,博士,从事交通规划与管理的教学和科研工作.

由于各评价因子属于不同的数量级,没有统一度量标准,所以先对原始数据按照下式进行标准化处理^[4].

$$\text{对于“效益型”指标: } r_{ij} = \frac{y_{ij} - \min_i y_{ij}}{\max_i y_{ij} - \min_i y_{ij}} \quad (2)$$

$$\text{对于“成本型”指标: } r_{ij} = \frac{\max_i y_{ij} - y_{ij}}{\max_i y_{ij} - \min_i y_{ij}} \quad (3)$$

$$\text{则对矩阵 } Y \text{ 标准化处理后的矩阵为: } R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

1.2 基于离差最大化确定指标权重

离差最大化方法确定权重的原理是:若所有规划方案 A_i 在评价因子 E_j 下的属性值差异越小,则说明该属性值对评价对象与排序所起的作用越小;反之,如果评价因子 E_j 能使所有评价对象的属性值有较大差异,则说明其对评价对象与排序将起到重要作用,因此,从对评价对象进行排序的角度考虑,评价对象属性值差值越大则其相应的权重值就越大^[5]. 特别地,如果所有规划方案 A_i 在评价因子 E_j 下的属性值无差异,那么评价因子 E_j 对评价对象排序没有作用,其权重为 0.

设评价因子 E_j 的权重为 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$, $\omega_j \geq 0, j \in M$, 规划方案 A_i 与其他规划方案关于评价因子 E_j 之间的离差用 $V_{ij}(\omega)$ 表示,总离差用 $V_j(\omega)$ 表示,则可定义^[6]:

$$V_{ij}(\omega) = \sum_{j=1}^m |r_{ij}\omega_j - r_{kj}\omega_j| \quad (i \in N, j \in M)$$

$$\text{令 } V_j(\omega) = \sum_{i=1}^n V_{ij}(\omega) = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |r_{ij} - r_{kj}| \omega_j \quad (j \in M)$$

根据上述分析,评价因子权重 ω 的选择应使所有属性对所有方案的总离差最大,因此,构造如下最优化模型^[7]:

$$\begin{cases} \max V(\omega) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |r_{ij} - r_{kj}| \omega_j \\ \text{s. t. } \omega_j \geq 0, j \in M, \sum_{j=1}^m \omega_j^2 = 1 \end{cases}$$

用拉格朗日最小二乘法解此最优化模型得最优解为:

$$\omega_j^* = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |r_{ij} - r_{kj}|}{\sqrt{\sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |r_{ij} - r_{kj}| \right)^2}} \quad (j \in M) \quad (5)$$

由于(5)式计算出的加权向量一般满足单位化约束条件而不满足归一化约束条件,因此计算出单位化权重向量 ω_j^* 之后,再对其进行归一化处理,可以得到:

$$\omega_j = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |r_{ij} - r_{kj}|}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |r_{ij} - r_{kj}|} \quad (j \in M) \quad (6)$$

1.3 构建关联系数矩阵

将理想方案 A^* 作为参考向量,方案 A_i 作为被参考向量,则第 i 个评价方案对第 j 种指标因子与第 j 个最佳指标因子的灰色关联系数^[8] 为 ξ'_{ij} :

$$\text{令 } \xi'_{ij} = \frac{\min_i \min_j |r_j^* - r_{ij}| + \rho \max_i \max_j |r_j^* - r_{ij}|}{|r_j^* - r_{ij}| + \rho \max_i \max_j |r_j^* - r_{ij}|} \quad (7)$$

式中:常数 ρ 为分辨系数, $\rho \in [0, 1]$, 通常取 $\rho = 0.5$. 因此得到灰色关联系数矩阵, 可表示为:

$$\xi = (\xi_{ij})_{n \times m} = \begin{bmatrix} \xi_{11} & \xi_{12} & \cdots & \xi_{1m} \\ \xi_{21} & \xi_{22} & \cdots & \xi_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \xi_{n1} & \xi_{n2} & \cdots & \xi_{nm} \end{bmatrix}$$

设 $\omega_k (k = 1, 2, \cdots, m)$ 为第 k 个指标的权重, $\sum_{k=1}^m \omega_k = 1$, $\omega = (\omega_1, \omega_2, \cdots, \omega_m)$ 表示权重向量, 则关

联度 $r_{0i} = \sum_{k=1}^m \omega_k \xi_{ik}$ 表示第 i 个评价对象与最优方案的关联度.

1.4 构建投影决策模型

记一组新的评价因子权值矢量, 称其为灰色关联投影权值矢量, 且满足下式^[9]:

$$\sigma_j = \frac{\omega_j^2}{\sqrt{\sum_{j=1}^m \omega_j^2}} \quad (8)$$

记决策方案 A_i 在理想方案 A^* 上的投影为 D_i , 则有

$$D_i = \sum_{j=1}^m \xi_{ij} \sigma_j = \sum_{j=1}^m \xi_{ij} \frac{\omega_j^2}{\sqrt{\sum_{j=1}^m \omega_j^2}} \quad (9)$$

1.5 评价步骤

STEP 1: 建立厂址选择方案评价指标体系, 根据已知的厂址选择决策方案集合 A_i 和评价因子集合 E_j , 首先根据公式(1) 构建决策矩阵, 并且得到理想方案 A^* ; 再根据公式(2)、(3)、(4) 计算得到标准化决策矩阵;

STEP 2: 采用离差最大化方法确定权重值. 根据公式(5) 计算出单位化后的评价因子权重 ω_j^* , 再由公式(6) 计算出归一化处理后的评价因子权重 ω_j ;

STEP 3: 确定灰色关联系数矩阵. 根据灰色关联理论, 理想方案 A^* 为参考向量, 其他决策方案 A_i 作为被参考向量, 根据公式(7) 计算出各决策方案 A_i 与理想方案 A^* 关于评价因子 E_j 的灰关联度, 从而构建灰色关联系数矩阵;

STEP 4: 计算灰色关联投影值. 在得到灰色关联系数矩阵和权重向量的基础上, 先由公式(8) 计算得到灰色关联投影权值矢量, 再由公式(9) 计算出各决策方案在理想方案上的灰色关联投影值 D_i ;

STEP 5: 方案优先排序. 根据计算出的 n 个决策方案投影值大小, 对投影值进行由大到小排序, 从而确定各方案的优先顺序. 若该决策方案投影值越大, 说明其与理想方案相差越小, 则该方案就越优.

2 实例分析

厂址选择评价体系主要由技术指标、经济指标、管理指标和环境指标等组成. 技术指标主要包括厂区面积外形、地质条件、土石方工程量、铁路接轨条件、公路衔接条件、经营条件等. 经济指标主要包括工程造价、养护费用、年经营费用、内部收益率等. 管理指标主要包括施工难易程度、分期修建适应性等. 环境指标主要包括大气和水环境影响、重要文物珍贵景观、机场净空等.

根据上述评价指标, 选取占地面积 E_1 (hm^2)、土石方数量 E_2 (m^3)、厂外道路总长 E_3 (km)、桥梁总长 E_4 (m)、工程造价 E_5 (万元)、养护管理费用 E_6 (万元/a)、施工难易程度 E_7 和分期修建适应性 E_8 . 这 8 个指标对下面三个厂址进行优选, 其中占地面积 E_1 和分期修建适应性 E_8 为效益型指标. 具体评价指标属性值见表 1.

STEP 1 建立初始矩阵:

$$Y = \begin{bmatrix} 12.8 & 179800 & 5.7 & 183 & 5861 & 295 & 9 & 9 \\ 8.2 & 210300 & 2.74 & 1044 & 7038 & 277 & 6 & 7 \\ 8.7 & 211800 & 2.04 & 516 & 6416 & 271 & 7 & 8 \\ 9.6 & 196500 & 3.48 & 395 & 6293 & 283 & 8 & 5 \end{bmatrix}$$

表 1 规划方案评价指标属性值

Tab.1 Attribute value of evaluation indexes about planning programs

A_i	E_1/hm^2	E_2/m^3	E_3/km	E_4/m	$E_5/\text{万元}$	$E_6/\text{万元}\cdot\text{a}^{-1}$	E_7	E_8
A_1	12.8	179 800	5.7	183	5 861	295	9	9
A_2	8.2	210 300	2.74	1 044	7 038	277	6	7
AD_3	8.7	211 800	2.04	516	6 416	271	7	8
A_4	9.6	196 500	3.48	395	6 293	283	8	5

根据表 1 所给的数据,可知理想方案的因素指标为:

$$A^*=(12.8\ 179\ 800\ 2.04\ 183\ 5\ 861\ 271\ 6\ 9)$$

根据公式(2)和(3)构建标准化矩阵:

$$R=\begin{bmatrix}1&1&0&1&1&0&0&1\\0&0.05&0.81&0&0&0.75&1&0.50\\0.11&0&1&0.61&0.53&1&0.67&0.75\\0.30&0.48&0.61&0.75&0.63&0.50&0.33&0\end{bmatrix}$$

STEP 2 用离差最大化确定指标权重,根据公式(6)计算得出各归一化后的指标权重为:

$$\omega=(0.123\ 0.132\ 0.124\ 0.121\ 0.120\ 0.125\ 0.130\ 0.125)^T$$

STEP 3 根据公式(7)计算出灰关联度,并构建灰色关联系数矩阵:

$$\xi=\begin{bmatrix}1&1&0.33&1&1&0.33&0.33&1\\0.33&0.08&0.72&0.33&0.33&0.67&1&0.5\\0.36&0.33&1&0.56&0.52&1&0.60&0.67\\0.42&0.49&0.56&0.67&0.57&0.5&0.43&0.33\end{bmatrix}$$

STEP 4 根据公式(9)计算各决策方案在理想方案上的灰色关联投影值 D_i

$$D_i=(0.263\ 0,0.175\ 9,0.221\ 9,0.174\ 6)$$

STEP 5 根据这 4 个决策方案的投影值大小来评价各个方案的可行性.可见这 4 个方案投影值由大到小的排列依次为: $D_1>D_3>D_2>D_4$,方案 1 最优.

本文采用模糊综合评判方法对该模型进行了验证,所得结果为 $A_1>A_3>A_4>A_2$,即方案 1 为最佳决策方案,故本方法用于厂址选择综合评价方案的决策是可行的.

3 结 语

本文采用了基于离差最大化的灰色关联分析投影法建立了厂址选择综合评价模型,该模型是各决策方案与理想方案相比较计算出各投影值而得到的排序,更加真实有效的反映了指标参数的重要性.尤其是在因素指标值样本量非常少而且数据分布不连续的情况下,它能够避免只将各个决策方案的单个因素指标值进行比较而引起的偏差,从而可以系统地分析各个指标相互间的内在联系,反映了整个指标因素集的情况.在确定权重方面,采用了离差最大化的方法,克服了之前专家打分法等人为确定权重带来的主观因素的影响,从而使评价结果变得更加客观真实且有效,方案优先排序的准确性有了进一步提高.最后,为了验证该模型是否合理有效,本文通过模糊综合评判的方法对该模型进行了验证,两者评价的最终结果基本相同.因此,该模型用于厂址选择综合评价的问题是可行的,从此该领域的评价方法又多了一种新的思路.

参考文献 References

[1] 柯恩龙. 层次分析法在厂址优化中的应用实例[J]. 武汉大学学报:工学版,2007,40(S1):81-83.
KE En-long. Optimizing site-selection of power plants with analytic hierarchy process[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2007,40(S1):81-83.

[2] 雷 明. 厂址选择[M]. 北京:科学技术文献出版社,1992:205-249.

- LEI Ming. Site selection[M]. Beijing: Scientific and Technical Documentation Press, 1992: 205-249.
- [3] 任 辉. 有色工业厂址选择及其方案定量评价的研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2011.
- REN Hui. Study on the Site Selection of Nonferrous Metals Industrial Enterprise and Its Quantitative Evaluation [D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2011.
- [4] 吕 锋, 崔晓辉. 多目标决策灰色关联投影法及其应用[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22(1): 103-107.
- LÜ Feng, CUI Xiao-hui. Multi-Criteria Decision Grey Relation Projection Method and Its Application[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2002, 22(1): 103-107.
- [5] 肖新平, 李福琴, 涂金忠. 基于离差最大化的灰色关联分析法在公路网综合评价中的应用[J]. 公路, 2006(8): 122-126.
- XIAO Xin-ping, LI Fu-qin, TU Jin-zhong. Application of Grey Relational Analysis Based on Maximizing Deviations to Comprehensive Evaluation for Highway Network[J]. HIGHWAY, 2006(8): 122-126.
- [6] 李晓伟, 陈 红, 王肇飞, 等. 基于离差最大化的公路网灰关联投影评价模型[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2012, 44(5): 679-684.
- LI Xiao-wei, CHEN Hong, WANG Zhao-fei, et al. Grey Relation Projection Evaluation Model of Highway Network Planning Schemes Based on Maximizing Deviation Method[J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech.: Natural Science Edition. 2012, 44(5): 679-684.
- [7] 冯太群, 李桂桂, 李晓伟. 基于离差最大化的公路建设项目排序模型[J]. 公路与汽运, 2012(2): 211-213.
- FENG Tai-qun, LI Gui-gui, LI Xiao-wei. Model Based on Maximizing Deviations Sort of Highway Construction Projects[J]. Highways & Automotive Applications, 2012(2): 211-213.
- [8] 门宝辉, 赵燮京, 梁 川. 多目标决策灰色关联投影法在水利工程开发中的应用[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2003, 36(4): 36-39.
- MEN Bao-hui, ZHAO Xie-jing, LIANG Chuan. Application of multi-criteria decision grey relation projection method to hydro-engineering development plan decision-making[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2003, 36(4): 36-39.
- [9] 王卫兵, 王 磊, 孙 毅. 多目标决策灰色关联投影法油气回收绩效评价[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2011, 16(1): 94-101.
- WANG Wei-bing, WANG Lei, SUN Yi. Assessment Model of Economic Performance of Oil Vapor Recovery Based on Grey Relation Projection Method of Multi-criteria Decision[J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2011, 16(1): 94-101.

Application of grey-relation projection method based on maximizing deviations to comprehensive evaluation for site selection

WANG Qiu-ping, YANG Xi, ZHANG Qi, SHI Rong

(School of Civil Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: The method of Grey Relation Projection is introduced for the evaluation of the site selection program. Through analysis of the degree of association between various factors in gray system, a better picture is provided about the degree of similarity between each plans and the optimal solution, and the relative error with the absolute error is compared. At the same time, weighting coefficients are determined by the method of maximizing deviations, which can overcome the subjective influence of decision-makers and make a fairer and more rational choice than the alternative. The accuracy has been improved. The example for illustrating the model theory is simple and easy to manipulate in providing a scientific and reasonable decision basis for the comprehensive evaluation of site selection.

Key words: site selection; maximizing deviations; grey relation projection method; comprehensive evaluation