

# 铁路工程建设对沙坡头自然保护区 生态环境的影响评价

宋子炜, 李 嘉

(中铁第五勘察设计院集团有限公司, 北京 102600)

**摘 要:** 基于压力—状态—响应(PSR)模型,从铁路工程建设产生的生态压力、自然保护区状态、对策措施响应的有效性 3 方面筛选指标,运用层次分析法赋权、三角模糊数赋值构建了综合评价体系。研究结果表明,拟建铁路对沙坡头国家级自然保护区的生态影响综合评价等级为 I 级,铁路选线与设计方案合理,保护恢复措施合理有效;AHP 赋权和三角模糊数赋值相结合,可以避免单因素评价的不足,也克服了定性指标难以量化,可比较性差的缺点;评价结果与实地考察情况和专题评审结论基本相符,说明该研究方法具有较强的可行性和适用性。

**关键词:** 评价体系; 铁路工程; 自然保护区

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2012)06-0201-05

中图分类号: X171.1

## Assessment on Impact of Railway Construction on Eco-environment of Shapotou Nature Reserve

SONG Zi-wei, LI Jia

(China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Beijing 102600, China)

**Abstract:** Basing on pressure—state—response (PSR) model, we screened indices including ecological pressure of railway construction, nature reserves status and countermeasures response effectiveness, determined weights of each index by AHP, and then constructed an evaluation system based on triangular fuzzy numbers. The results showed the impact rank of the proposed railway on the environment of Shapotou Nature Reserves could reach as low as grade I, suggesting reasonable route selection and scheme design, effective protection recovery measures and acceptable influences on the environment. More importantly, the method of combining AHP and triangular fuzzy number could overcome the shortcomings of single factor evaluation, the difficulty quantification of assessing indices, and poor comparability. The evaluation results were found consistent with field survey and expert review conclusions, which implies that the proposed evaluation system is of good feasibility and applicability.

**Keywords:** assessment system; railway engineering; nature reserves

自然保护区指对有代表性的自然生态系统、珍稀濒危野生动植物种的天然集中分布区及有特殊意义的自然遗迹等保护对象所在的陆地、陆地水体或海域,依法划出予以特殊保护和管理的一定面积的区域<sup>[1]</sup>,是生物多样性保护的最有效途径<sup>[2]</sup>。截至 2009 年底,我国已建立自然保护区 2 541 个,总面积 147 746 809 hm<sup>2</sup>,其中陆域面积 146 924 675 hm<sup>2</sup><sup>[3]</sup>,约占我国陆域国土面积的 15.30%。铁路作为中国运输系统的骨干基础设施,将不断扩大基础设施规模<sup>[4]</sup>。由于转弯半径、地质条件等因素限制,以百公

里计的铁路在选线过程中遇到自然保护区的问题越来越普遍<sup>[5]</sup>。铁路建设项目是大型的非污染生态型工程,突出的环境问题是生态环境的影响<sup>[6]</sup>。虽然铁路环境影响评价规范对生态环境评价方法和指标作了规定<sup>[7]</sup>,但是针对铁路穿越自然保护区生态影响进行综合评价的研究尚少。

本研究以沙坡头国家级自然保护区为研究对象,筛选评价指标,构建评价体系,尝试研究铁路工程对其生态影响的评价方法、评价标准,以期从生态保护角度为铁路工程决策、选线设计、保护恢复等提供

理论依据,并对自然保护区管理与保护提供借鉴意义。

## 1 研究区域

### 1.1 沙坡头国家级自然保护区概况

该保护区属干旱半干旱荒漠生态类型,成立于 1994 年,总面积 14 043.09 hm<sup>2</sup>,地势西北高、东南低。

研究区主要保护对象为典型的温带沙漠自然生态系统及其生态演替,特有稀有野生沙地动、植物及其生境和以防护林工程为主体的人工生态系统及其治沙科研成果和区内名胜古迹、历史遗迹。保护区属温带季风大陆性气候,年均气温 8.5℃,降水量 186.6 mm,蒸发量 1 974.5 mm,7—9 月降水量占全年的 59.8%。植物 79 科、228 属、440 种,国家重点保护植物 3 种;脊椎动物 5 纲、27 目、65 科、215 种,国家重点保护野生动物 23 种<sup>[8]</sup>。旅游资源融自然景观、人文景观、治沙成果于一体,包括沙坡鸣钟、黄河、荒漠、古长城和铁龙越沙等。

### 1.2 工程概况

既有的包兰铁路是我国自行设计、施工的第一条沙漠铁路。1953 年开始设计、施工,1958 年建成通车。根据设计方案,拟建铁路 CK698+780—CK702+830 段,迎水桥货车联络线 YLCK0+650—YLCK3+120 段和 LCK1+230—LCK2+140 段将以路基、桥梁形式穿越保护区实验区,长度总计 7.43 km;工程距离缓冲区 105 m,距离核心区 450 m。保护区内占地 10.66 hm<sup>2</sup>,其中永久用地 9.33 hm<sup>2</sup>、临时用地 1.33 hm<sup>2</sup>;挖方 13.09×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,填方 1.23×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,不设置取、弃土场等大临工程。

## 2 研究方法

### 2.1 评价体系构建

2.1.1 压力—状态—响应模型 压力—状态—响应(PSR)模型从社会经济与环境有机统一的观点出发,反映生态系统的自然、经济、社会等因素之间的关系,

为生态安全指标构建提供了一种逻辑基础<sup>[9]</sup>。据此,铁路工程建设对自然保护区影响综合评价以 PSR 模型为基础,分别由 3 种不同类型但又相互联系指标表达:(1)压力指标反映铁路工程对自然保护区产生的生态负荷;(2)状态指标表征自然保护区的环境质量与生态系统状态;(3)响应指标体现铁路工程在设计、施工、运营阶段所采取的对策措施及其有效性。

2.1.2 评价指标筛选 根据自然保护区结构、功能和铁路工程特点,遵循客观性、代表性、全面性、可比性、独立性、可操作性原则,筛选出 24 个指标,按照层次分析法原理,构建“压力—状态—响应”模式下的综合评价体系。

### 2.2 评价方法

2.2.1 指标赋权 自然保护区的生态影响综合评价属于复杂决策系统,所选指标虽能够从不同角度反映铁路工程产生的影响,但重要程度各不相同,需要通过赋权予以区别。

层次分析法(AHP)通过专家的经验判断结合数学模型运算确定权重,是一种较为合理可行的系统分析方法<sup>[10]</sup>,运用 AHP 赋权<sup>[11]</sup>,计算步骤为:

(1)构造判断矩阵。对指标层中各个因素的相对重要程度进行逐对比较(表 1)和量化打分,构造两两比较的判断矩阵。

(2)计算权重系数。根据判断矩阵,按行将各元素连乘并开  $m$  次方,即求得各行元素的几何平均值:

$$y_i = \left( \prod_{j=1}^m a_{ij} \right)^{1/m} \quad (i=1, 2, \dots, m)$$

然后将  $y_i$  归一化处理,即得权重系数  $w_i$ :

$$w_i = y_i / \sum_{k=1}^m y_k \quad (i=1, 2, \dots, m)$$

(3)一致性检验。对于计算所得权重的可信度和准确性,需进行一致性检验,衡量指标为  $C_i$ :

$$C_i = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1}$$

式中: $\lambda_{\max}$ ——判断矩阵最大特征根; $m$ ——判断矩阵阶数; $R_i$ ——平均随机一致性指标。

表 1 判断矩阵重要性标度及其含义

序号	重要性标度	含义
1	1	表示因素 $y_i$ 与 $y_j$ 比较,具有同等重要或优先
2	3	表示因素 $y_i$ 与 $y_j$ 比较, $y_i$ 比 $y_j$ 稍微重要或优先
3	5	表示因素 $y_i$ 与 $y_j$ 比较, $y_i$ 比 $y_j$ 明显重要或优先
4	7	表示因素 $y_i$ 与 $y_j$ 比较, $y_i$ 比 $y_j$ 强烈重要或优先
5	9	表示因素 $y_i$ 与 $y_j$ 比较, $y_i$ 比 $y_j$ 极端重要或优先
6	2,4,6,8	2,4,6,8 分别表示相邻判断 1~3,3~5,5~7,7~9 的中值

$C_i$  与  $R_i$  之比称为随机一致性比率,记作 CR,当  $CR < 0.10$  时认为判断矩阵具有可接受的 inconsistency。经过计算分析,准则层中压力、状态、响应的权重分别为 0.257 5, 0.240 9 和 0.501 6, 目标层各指标权重详见表 2。经过一致性检验,可以看出赋权结果具有较满意的一致性,分析结果可以接受。

2.2.2 指标赋值 指标层均属于语言描述类型指标,易于理解但量化困难,且由于存在判断的不确定

性,可能会导致判断信息的模糊性。对于模糊性现象的描述、处理和分析,模糊理论提供了有效方法<sup>[12]</sup>。三角模糊数及其排序方法是分析带有模糊信息的指标因素权重的有效方法之一。在数据资料较少或精确性不高时,模糊理论的三角模糊数具有很好的适用性<sup>[13-14]</sup>,是一种实用的定性与定量分析相结合的系统评价方法<sup>[15-16]</sup>,用三角模糊数表达专家的主观评价价值,可以克服单个实数表达的不完整性<sup>[17]</sup>。

表 2 评价体系指标赋权汇总

目标层		准则层			指标层	
指标	判断矩阵一致性	指标	权重	判断矩阵一致性	指标	权重
自然保护区生态影响综合评价指数	0.017 1	压力	0.257 5	0.026 2	功能区划影响	0.047 0
					土地利用影响	0.039 2
					工程切割作用	0.025 8
					景观协调性影响	0.028 8
					水土流失	0.017 3
					植物资源影响	0.015 5
		状态	0.240 9	0.034 4	动物资源影响	0.019 7
					水环境影响	0.019 3
					声环境影响	0.017 3
					振动影响	0.014 2
					固体废弃物影响	0.013 4
					典型性	0.028 5
	响应	0.501 6	0.030 9	脆弱性	0.021 6	
				多样性	0.025 1	
				稀有性	0.044 6	
				自然性	0.040 4	
				面积适宜性	0.030 7	
				科学价值	0.028 5	
					经济和社会价值	0.021 6
					与法律法规符合性	0.200 0
					与保护区总体规划符合性	0.128 8
					施工保护措施有效性	0.053 4
					运营保护措施有效性	0.051 3
					生态补偿合理性	0.067 9

根据专家评价结果,压力、状态、响应 3 个模块的权重分别为 0.257 5, 0.240 9 和 0.501 6, 因此,响应模块在准则层中权重最大,表明其在铁路工程建设在决策过程发挥着关键作用。

根据文献[18],设  $\tilde{A}$  为论域  $X$  上的模糊数  $x \in X$ , 若其隶属度函数  $u_{\tilde{A}}(x)$  为

$$u_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & (x \leq b_1) \\ \frac{x-b_1}{b_q-b_1} & (b_1 < x \leq b_q) \\ \frac{b_r-x}{b_r-b_q} & (b_q \leq x < b_r) \\ 0 & (x \geq b_r) \end{cases}$$

则  $\tilde{A} = (b_1, b_q, b_r)$  为三角模糊数,其中  $b_1 \leq b_q \leq b_r$ 。在决策矩阵  $\tilde{O}$  中若存在元素为模糊数,则  $\tilde{O}$  为模糊决策矩阵,可用  $\tilde{O} = (y_{ij})_{m \times n}$  表示,即

$$\tilde{O} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mn} \end{bmatrix}$$

三角模糊数与实数  $k (k \geq 0)$  运算规则遵循:

$$k\tilde{a} = k(a_1, a_q, a_r) = (ka_1, ka_q, ka_r)$$

2.2.3 评价步骤

(1) 将定性评价语言变量转化为三角模糊数。通过表 3 将评价语言转化为三角模糊数,设有  $s$  位专

家参与评价,专家群评价决策构成的模糊集矩阵  $\tilde{D}^e$ ,由式(1)计算得出三角模糊决策矩阵。

表 3 评价语言:三角模糊数转化

评价语言	三角模糊数
极高(VH)	(9,10,10)
非常高(H)	(7,9,10)
高(MH)	(5,7,9)
中等(F)	(3,5,7)
低(ML)	(1,3,5)
非常低(L)	(0,1,3)
极低(VL)	(0,0,1)

$$\tilde{D}^e = \begin{bmatrix} \tilde{y}_{11} & \tilde{y}_{12} & \cdots & \tilde{y}_{1s} \\ \tilde{y}_{21} & \tilde{y}_{22} & \cdots & \tilde{y}_{2s} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{y}_{m1} & \tilde{y}_{m2} & \cdots & \tilde{y}_{ms} \end{bmatrix}$$

$$\tilde{D} = [\tilde{y}_i]_{m \times n}$$

$$\tilde{y}_i = \frac{1}{s} \times (\tilde{y}_{i1} + \tilde{y}_{i2} + \cdots + \tilde{y}_{is}) \quad (1)$$

(2) 标准化与去模糊化处理。直接利用模糊权重向量进行综合评价非常繁琐<sup>[19]</sup>,对于多层综合评价,得出各非底层指标模糊权重向量之后,采用适当的方法将其去模糊化是一种解决计算复杂性的合理方法<sup>[20]</sup>。另一方面,评价体系包含效益型、成本型两

类性质不同的指标,如果直接进行加权处理难以正确反映评价结果,因此,需要经过标准化处理,数据之间才能够具备可比性。根据文献<sup>[18]</sup>可知,两个三角模糊数  $\tilde{a} = (a_1, a_q, a_r)$  与  $\tilde{b} = (b_1, b_q, b_r)$  之间的模糊距离为:

$$\tilde{v}(\tilde{a}, \tilde{b}) = \left\{ \frac{1}{3} [(a_l - b_l)^2 + (a_q - b_q)^2 + (a_r - b_r)^2] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

为了将极差规格化方法从实数领域拓展到模糊领域,采用公式(2)进行标准化处理,得到去模糊化的规范矩阵  $\tilde{D}^s$ 。

$$\tilde{D}^s = [\tilde{y}_i^s]_{m \times l}$$

$$\tilde{y}_i^s = \begin{cases} \frac{\tilde{v}(\tilde{y}_i, \tilde{y}^0)}{\tilde{v}(\tilde{y}^*, \tilde{y}^0)} & \tilde{y}_i \in B \\ \frac{\tilde{v}(\tilde{y}^*, \tilde{y}_i)}{\tilde{v}(\tilde{y}^*, \tilde{y}^0)} & \tilde{y}_i \in C \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $B$  为效益型指标(越大越好),  $C$  为成本型指标(越小越好);

$$\tilde{y}^0 = (0, 0, 0); \quad \tilde{y}^* = (10, 10, 10)。$$

(3) 综合评价指数  $Q$  计算。

$$Q = \sum_{i=1}^m \omega_i \times \tilde{y}_i^s \quad (3)$$

(4) 评价等级划分。参考相关研究,按照不同评价标准将综合指数划分为 5 个等级,并给出相应描述(详见表 4)。

表 4 评价等级与标准划分

分值	评价等级	工程级别	等级描述
(8,10)	I	非常合理	保护区状态良好,铁路工程建设不会对其产生影响,保护及恢复措施合理有效。
(6,8)	II	合理	保护区状态良好,铁路工程建设不会对其产生明显影响,防护措施基本合理有效。
(4,6)	III	基本合理	保护区敏感性较高,铁路工程建设将对其产生轻微影响,防护措施合理有效。
(2,4)	IV	不合理	保护区敏感性很高,铁路工程建设将对其产生显著影响,工程不宜实施。
(0,2]	V	极不合理	虽采取一定的防护措施,但仍将对自然保护区产生重大影响,工程不应实施。

综合评价指数( $Q$ )是衡量铁路工程建设对自然保护区生态影响程度的指标。 $Q \in (0, 1)$ ,其值越大表示自然保护区现状越好,铁路工程选线与设计方案越优,工程建设对保护区的影响程度越低,防护措施越是合理有效;反之则表明保护区敏感性越高,工程建设对其影响程度越大,工程不宜实施。

## 3 结果分析

### 3.1 研究结果

本次研究聘请生态环境保护方面的 3 位专家参与评价,依据专业知识、工程特征、研究对象综合考虑进行分析,评价结果的三角模糊数集、决策矩阵、赋权计算结果详见表 5。

根据公式(3),计算得出拟建铁路工程对沙坡头国家级自然保护区生态影响压力、状态、响应 3 方面的评价指数分别为 0.21, 0.19 和 0.43,综合评价指数为 0.83。

### 3.2 结果分析

拟建铁路工程对沙坡头国家级自然保护区的生态影响综合评价等级为 I 级,表明目前该保护区状态良好,铁路选线与设计方案合理,工程建设不会对其产生影响,保护及恢复措施合理有效,且应在下阶段设计与施工过程中严格予以落实,从而保证将工程建设产生的生态影响控制在最低水平。评价结果与实地考察情况和专题评审结论基本相符,这也说明该研究方法具有较强的可行性和适用性。

表 5 三角模糊数集、决策矩阵与评价结果

指标	指标	专家 1	专家 2	专家 3	决策矩阵	标准化处理	赋权计算
压力	功能区划影响	L	ML	L	(0.33,1.67,3.67)	0.82	0.04
	土地利用影响	L	L	L	(0.00,1.00,3.00)	0.88	0.03
	工程切割作用	ML	F	ML	(1.67,3.67,5.67)	0.65	0.02
	景观协调性影响	F	ML	F	(2.33,4.33,6.33)	0.59	0.02
	水土流失	L	L	L	(0.00,1.00,3.00)	0.88	0.02
	植物资源影响	L	ML	L	(0.33,1.67,3.67)	0.82	0.01
	动物资源影响	ML	L	ML	(0.67,2.33,4.33)	0.77	0.02
	水环境影响	VL	VL	VL	(0.00,0.00,1.00)	0.97	0.02
	声环境影响	L	VL	L	(0.00,0.67,2.33)	0.91	0.02
	振动影响	L	L	L	(0.00,1.00,3.00)	0.88	0.01
	固体废弃物影响	VL	VL	VL	(0.00,0.00,1.00)	0.97	0.01
评价指数							0.21
状态	典型性	VH	H	H	(7.67,9.33,10.00)	0.91	0.03
	脆弱性	H	H	VH	(7.67,9.33,10.00)	0.14	0.00
	多样性	MH	H	H	(6.33,8.33,9.67)	0.82	0.02
	稀有性	H	VH	VH	(8.33,9.67,10.00)	0.94	0.04
	自然性	MH	MH	F	(4.33,6.33,8.33)	0.65	0.03
	面积适宜性	H	H	MH	(6.33,8.33,9.67)	0.82	0.03
	科学价值	H	H	VH	(7.67,9.33,10.00)	0.91	0.03
	经济和社会价值	H	VH	VH	(8.33,9.67,10.00)	0.94	0.02
评价指数							0.19
响应	与法律法规符合性	VH	VH	VH	(9.00,10.00,10.00)	0.97	0.19
	与保护区总体规划符合性	H	MH	H	(6.33,8.33,9.67)	0.82	0.11
	施工保护措施有效性	MH	MH	H	(5.67,7.67,9.33)	0.77	0.04
	运营保护措施有效性	MH	MH	MH	(5.00,7.00,9.00)	0.72	0.04
	生态补偿合理性	H	H	MH	(6.33,8.33,9.67)	0.82	0.06
评价指数							0.43
综合评价指数							0.83

注:专家栏字母意义详见表 3。

## 4 结论

(1) 铁路工程建设对自然保护区的影响评价与保护区现状、工程性质与保护措施等密切相关,属于多因素、多层次的复杂决策系统。基于“压力—状态—响应”模型,探讨构建综合评价体系,研究结果表明该方法具有较好的可行性和适用性。

(2) 评价指标体系中包含 3 个准则 24 个指标,准则层中“响应”模块的权重较大,在决策过程发挥关键作用。评价结果标明拟建铁路对沙坡头国家级自然保护区生态影响综合评价等级为 I 级,铁路选线与设计方案合理,工程建设不会对其产生影响,保护恢复措施合理有效。

(3) 采用层次分析法构建评价体系及赋权、运用三角模糊数将定性指标量化,两种方法相结合既可以避免单因素评价的不足,克服了定性指标难以量化、

可比较性差的缺点,从而可以进行较为全面、客观的量化评价,得出较为可信的评价结论。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 徐宪立,张科利,孔亚平,等. 重庆市骨架公路网规划生态环境影响评价[J]. 长江流域资源与环境,2006,1(1): 107-111.
- [2] 李冬林,王宝松,阮宏华,等. 河南小秦岭自然保护区生态评价[J]. 安徽农业大学学报,2007,34(1):97-102.
- [3] 国家环境保护部. 全国自然保护区名[OL]//(20101212) [20101223]. [http:// sts. mep. gov. cn/zrbhq/zrbhq/ 201012/t20101223\\_199053. htm](http://sts.mep.gov.cn/zrbhq/zrbhq/201012/t20101223_199053.htm).
- [4] 张国强,张宁. 我国铁路发展绩效与其他六国的比较[J]. 中国铁道科学,2009,5(3):130-133.
- [5] 刘立斌. 自然保护区铁路选线[J]. 铁道工程学报,2007, 24(12):11-18.

(下转第 210 页)

系统碳循环的重要方面,相关的研究有待于进一步开展。

[ 参 考 文 献 ]

- [1] 张洁瑕,郝晋珉,段瑞娟,等. 黄淮海平原农业生态系统演替及其可持续性的能值评估[J]. 农业工程学报, 2008,24(6):102-108.
- [2] Bouwman A F. Soils and the Greenhouse Effect[M]. Chichester, England: John Wiley & Sons, 1990:78.
- [3] Paustian K, Andren O, Janzen H, et al. Agricultural soils as a sink to mitigate CO<sub>2</sub> emissions[J]. Soil Use and Management, 1997,13(4):230-244.
- [4] Cole C V. Agricultural Options for Mitigation of Greenhouse Gas Emmision[M]// Watson R T, Zinyoweram C, Moss R H. Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 1996:1-27.
- [5] Lal R, Bruce J P. The potential of world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect[J]. Environmental Science & Policy, 1999,2(2):177-185.
- [6] 刘允芬. 中国农业系统碳汇功能[J]. 农业环境保护, 1998,17(5):197-202.
- [7] 赵荣钦,秦明周. 中国沿海地区农田生态系统部分碳源/汇时空差异[J]. 生态与农村环境学报, 2007,23(2):1-6, 11.
- [8] 赵荣钦,刘英,丁明磊,等. 河南省农田生态系统碳源/汇研究[J]. 河南农业科学, 2010(7):40-44.
- [9] 王静,冯永忠,杨改河,等. 山西农田生态系统碳源/汇时空差异分析[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2010,38(1):195-200.
- [10] 钱晓雍. 上海农田生态系统碳源汇时空格局及其影响因素分析[J]. 农业环境科学学报, 2011,30(7):1460-1467.
- [11] 王慧军,吕丽华,李英杰,等. 河北省粮食综合生产能力提升要素与对策[J]. 农业现代化研究, 2010,31(2):204-207.
- [12] 李克让. 土地利用变化和温室气体净排放与陆地生态系统碳循环[M]. 北京:气象出版社,2000.
- [13] West T O, Marland G A. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: Comparing tillage practices in the United States[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2002,91(1/3):217-232.
- [6] 匡星,白明洲,王连俊,等. 铁路建设项目对生态环境影响评价体系探析[J]. 铁道工程学报,2009,31(2):125-131.
- [7] 张慧,沈渭寿,江腊沙,等. 青藏铁路沿线景观保护评价方法研究[J]. 生态学报,2004,24(3):574-582.
- [8] 刘迺发,郝耀明,吴洪斌. 宁夏沙坡头国家级自然保护区综合科学考察[M]. 甘肃兰州:兰州大学出版社,2005.
- [9] 麦少芝,徐颂军,潘颖君. PSR 模型在湿地生态系统健康评价中的应用[J]. 热带地理,2005,25(4):317-322.
- [10] Saaty T L. The Analytic Hierarchy Process-Hill[M]. New York: McGraw-Hill, 1980:52-59.
- [11] 李少华,张强,张庆喆,等. 电厂设备安装序列模糊综合评价方法研究[J]. 东北电力大学学报,2010,30(1):10-14.
- [12] Cheng C H, Yang K L, Hwang C L. Evaluation attack helicopters by AHP based on linguistic variable weight[J]. European Journal of Operational Research, 1999,116(2):423-435.
- [13] Herclues M, Petro A, Jacques G. Modelling of water pollution in the thermalos gulf with fuzzy praameters [J]. Ecological Modelling, 2001, 142(1/2):91-104.
- [14] Kentel E, Aral M M. 2D monte carlo versus 2D fuzzy monte cralo helath risk assessment[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2005, 19(1):86-96.
- [15] 向晋举. 厦门机场路莲前互通立交的方案比选[J]. 交通科技,2004(6):88-90.
- [16] 李俊芳,吴小萍. 基于 AHP—FUZZY 多层次评判的城市轨道交通线网规划方案综合评价[J]. 武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2007,31(2):205-208.
- [17] 廖勇. 基于三角模糊数的铁路客运站选址方案评价方法[J]. 中国铁道科学,2009,30(6):119-125.
- [18] Chen Chentung. A fuzzy approach to select the location of the distribution center[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2001,118(1):65-73.
- [19] 彭祖赠,孙韞玉. 模糊(Fuzzy)数学及其应用[M]. 湖北武汉:武汉大学出版社,2002:131-142.
- [20] 郑承志. 基于三角模糊数的企业信息文化综合评价[J]. 广西财经学院学报,2009,22(6):107-119.

(上接第 205 页)