



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2016.05.031

郭磊, 王军, 安晓伟. 基于直觉模糊集的水利工程评标办法[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(5): 189-193.  
GUO Lei, WANG Jun, AN Xiaowei. Bidding evaluation model of water conservancy and hydropower project based on theory of intuitionistic fuzzy set[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(5): 189-193. (in Chinese)

# 基于直觉模糊集的水利工程评标办法

郭磊<sup>1</sup>, 王军<sup>1</sup>, 安晓伟<sup>2</sup>

(1. 华北水利水电大学 水利学院, 郑州 450045; 2. 河海大学 商学院, 南京 211100)

**摘要:** 通过工程招投标形式选择合适的承包人是水利水电工程项目建设的关键, 对工程建设计划的圆满实现起着决定性的作用。评标工作是整个招投标活动的核心, 如何快速有效的选取最优投标人事关工程建设的成败, 但是水利工程评标因素众多, 且较难直接评价。对此, 本文基于直觉模糊集理论, 选取投标报价、施工组织及企业状况等指标, 建立了指标属性矩阵和直觉模糊线性评价模型。该模型能够考虑评价对象各指标的隶属度、非隶属度和犹豫度, 同时借助得分函数和TOPSIS法进行综合评价可快速求得投标单位投标优劣顺序, 能够使评价结果更为合理。案例分析验证了该模型的有效性和实用性。

**关键词:** 直觉模糊集; 水利水电工程; 招标投标; 评标模型

**中图分类号:** TU72   **文献标志码:** A   **文章编号:** 1672-1683(2016)05-0189-05

## Bidding evaluation model of water conservancy and hydropower project based on theory of intuitionistic fuzzy set

GUO Lei<sup>1</sup>, WANG Jun<sup>1</sup>, AN Xiaowei<sup>2</sup>

(1. College of Water Conservancy, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450045, China; 2. China Business School, Hohai University, Nanjing 211100, China)

**Abstract:** Through the project bidding to choose right contractor is the key of water conservancy and hydropower project construction, and it plays a decisive role in the fulfillment of the project construction. Bid evaluation is the core of the whole bidding activity, how to quickly and efficiently select the best bidder determines the success of the project construction. Project bid evaluation refers to many factors, and it is difficult to evaluate directly. In this paper, based on the theory of intuitionistic fuzzy sets, selecting bid quotation, construction organization and enterprise conditions as evaluation factors, the index matrix and intuitionistic fuzzy linear evaluation model were established. This model could consider membership degree, non membership degree and hesitancy degree for all indicators. Subsequently, the priority order of the bid companies could be obtained by the using of scoring function and TOPSIS, which made the evaluation result more reasonable. And the validity and practicability of this model were verified by case analysis.

**Key words:** intuitionistic fuzzy set; water conservancy and hydropower project; tendering and bidding; bid evaluation model

招标投标是国内外通用的、科学合理的工程承包方式, 通过招投标形式选择合适的承包人是工程建设的关键环节, 对工程建设计划的圆满实现起着决定性的作用<sup>[1-2]</sup>。评标工作是整个招投标活动

收稿日期: 2015-11-22    修回日期: 2016-04-25    网络出版时间: 2016-08-18  
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160818.2127.009.html>  
基金项目: 国家自然科学基金项目(71302191)  
Fund: National Natural Science Foundation of China(71302191)  
作者简介: 郭磊(1980-), 男, 河南潢川人, 副教授, 博士, 主要从事水工结构与水利工程管理方面研究。E-mail: glboss@126.com

的核心,如何快速有效的选取最优投标人事关工程建设的成败<sup>[3-4]</sup>。关于评标办法的研究,不少学者都取得了相应的研究成果,盛松涛等<sup>[5]</sup>建立了基于模糊综合评价法的水利工程评标办法;鲁仕宝等<sup>[6]</sup>将熵权理论引入到评标决策中;何亚伯<sup>[7]</sup>基于复合物元和信息熵建立了水电工程评标模型。上述成果的取得虽然在一定程度上提高了评标的精度,但大都要求评标专家依据个人经验给出各评价指标确切的分数或指标隶属的评价等级,只考虑指标隶属度,忽略了非隶属度和犹豫程度等因素。直觉模糊集理论能够考虑了隶属度、非隶属度与犹豫度 3 方面的信息,在处理模糊性和不确定性等信息时较传统的方法具有更强的表现力和科学性。该理论已经广泛的被运用于可行性分析、电子测试、建筑工程、系统整体优化等很多领域,并取得了良好的效果。水利工程评标因素众多,且很多因素较难直接评价,对此直觉模糊集理论能够对其进行较好的处理,使得评价结果更为合理。因而,本文以直觉模糊集理论为基础,选取合适的评价因子,建立相应评标模型,以期水利水电工程项目建设评标工作提供科学合理的理论指导。

## 1 评价指标体系的建立

水利工程建设较为复杂,影响工程建设的因素众多。本文参考相关研究<sup>[7-10]</sup>,综合考虑各方因素,构建评标指标评价体系见表 1。

表 1 评标指标评价体系

Tab. 1 The evaluation index evaluation system

一级指标	二级指标	指标特征
投标报价 $C_1$	投标总报价 $C_{11}$	指投标人愿意完成工程的投标总报价
	投标报价合理性 $C_{12}$	指投标人投标总报价费用构成的合理性
	主要施工方法 $C_{21}$	指投标人所采用的主要施工方法的合理性
	组织机构及技术人员素质 $C_{22}$	指投标人人员组织机构合理性及投标技术人员业务素质
	施工组织设计 $C_2$	施工进度计划及进度保证措施 $C_{23}$
质量保证体系及质量保证措施 $C_{24}$		指投标人质量保证措施安排的合理性和可靠性
安全、环保及文明施工措施 $C_{25}$		指投标人安全、环保及文明施工措施安排的合理性
企业状况 $C_3$	施工业绩及经验 $C_{31}$	指投标人近年来主要完成类似工程数额
	财务状况 $C_{32}$	指投标人企业近年来财务情况
	企业资质 $C_{33}$	指投标人企业资质情况

## 2 评价模型的建立

### 2.1 直觉模糊集

设  $X$  是一个给定的集合,则属于  $X$  的直觉模糊集为  $A = \{ \langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle \mid x \in X \}$ , 其中  $\mu_A(x)$  代表  $x$  属于  $A$  的隶属函数,  $\nu_A(x)$  代表  $x$  属于  $A$  的非隶属函数:

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0, 1], x \in \mu_A(x) \rightarrow \mu_A \in [0, 1]$$

$$\nu_A(x): X \rightarrow [0, 1], x \in \nu_A(x) \rightarrow \nu_A \in [0, 1]$$

且对于所有属于  $A$  上的元素  $x \in X$ , 有  $0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$  成立。

$\pi_A(x) (x \in X)$  表示直觉指数,表示对一个问题不确定程度或是犹豫程度。

$$\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x) \quad (1)$$

此外,直觉模糊数用  $\alpha = (\mu_\alpha, \nu_\alpha)$  来表示,其中  $\mu_\alpha \in [0, 1], \nu_\alpha \in [0, 1], \mu_\alpha + \nu_\alpha \leq 1$ 。显然  $\alpha^+ = (1, 0)$ , 称为最大的直觉模糊数,  $\alpha^- = (0, 1)$  称为最小的直觉模糊数。

任何一个模糊数,其得分函数的计算公式可定义为:

$$s(\alpha) = \mu_\alpha - \nu_\alpha \quad (2)$$

其中  $s(\alpha)$  代表  $\alpha$  的得分,显然  $s(\alpha) \in [-1, 1]$ 。 $s(\alpha)$  的值越大,决策者对该方案的满意程度越高。但在实际的决策过程中,得分函数的使用有很大的局限性。基于这种情况,对得分函数进行修正:

$$s(\alpha_i) = (\mu_i - \nu_i) + (\mu_i - \nu_i) \pi_i = (\mu_i - \nu_i) (1 + \pi_i) \quad (3)$$

在此函数中,给弃权者中倾向投赞成票的比例赋值为  $\mu_i \pi_i$ , 倾向投反对票的比例赋值为  $\nu_i \pi_i$ <sup>[11-13]</sup>。

### 2.2 指标属性集

在多目标决策问题的评价体系中,首先确定评价对象集为  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_N\}$ , 在该评价对象集下共有两级评价指标。设一级指标属性集为  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ , 二级指标属性集为  $C_i = \{C_{i1}, C_{i2}, \dots, C_{im}\}$ 。设  $W = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$  和  $W_i = \{\omega_{i1}, \omega_{i2}, \dots, \omega_{in}\}$  (满足  $\sum_{i=1}^n \omega_i = 1, \sum_{j=1}^m \omega_{ij} = 1$ ) 分别表示一级和二级指标属性集的权重。在进行指标  $C_i$  多属性分析中,我们可以设  $\mu_j$  表示评价对象对评价指标属性  $C_{ij}$  的隶属度; 设  $\nu_j$  表示评价对象对评价指标属性  $C_{ij}$  的非隶属度;  $\alpha_j = (\mu_j, \nu_j), \pi_j = 1 - \mu_j - \nu_j$ 。直觉指数  $\pi_j$  越大,评估者对于满足的犹豫边际越高<sup>[14-16]</sup>。

### 2.3 多属性权重求解模型

和直觉模糊数的确定相同,评价体系中各因素

的权重可以用  $\rho_j$  和  $\tau_j$  来表示,其涵义是:表示所有的指标属性  $C_j$  重要性的确定程度,也称为  $C_j$  关于模糊概念“重要”的隶属度和非隶属度。需要满足条件  $0 \leq \rho_j, \tau_j \leq 1$  且  $0 \leq \rho_j + \tau_j \leq 1$ 。用  $\xi_j = 1 - \rho_j - \tau_j$  代表直觉指数,其值越大,说明判定指标  $C_j$  对于决策目标来说是否重要的不确定程度越大。在实际应用时,专家对该隶属程度的赋值依赖区间  $[\omega_j^l, \omega_j^u] = [\rho_j, \rho_j + \xi_j]$ , 其中  $\omega_j^l = \rho_j, \omega_j^u = \rho_j + \xi_j$ 。权重  $\omega_j$  应满足:  $\omega_j^l \leq \omega_j \leq \omega_j^u$ , 且  $\sum_{j=1}^m \omega_j = 1$ 。根据直觉指数加权平均最小化原理,可构建如下线性求解模型<sup>[17-18]</sup>:

$$\begin{aligned} \text{mind} &= \sum_{j=1}^m \sum_{a=1}^N \pi_{j^a}^a \omega_j & (3) \\ \text{s. t.} &\begin{cases} \omega_j^l \leq \omega_j \leq \omega_j^u, j = 1, 2, \dots, m \\ \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_m = 1 \end{cases} \end{aligned}$$

该模型的最优解向量可利用 Mathematica 软件求解,可求得  $W_i = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m\}$ 。

### 2.4 TOPSIS 评估法

TOPSIS 法是根据评价对象与理想化点间的接近程度进行排序的方法。该方法通过计算评价对象与最优解、最劣解的距离来进行排序,即以得分函数值为评价尺度,以靠近正理想点和远离负理想点为优,对各评价对象进行排序<sup>[19-20]</sup>。直觉模糊数  $\alpha$  和  $\beta$  的得分函数  $S(\alpha)$  和  $S(\beta)$  距离的计算公式可表示为:

$$d(S(\alpha), S(\beta)) = \frac{1}{2} |S(\alpha) - S(\beta)| = \frac{1}{2} |(\mu_\alpha - \nu_\alpha)(1 + \pi_\alpha) - (\mu_\beta - \nu_\beta)(1 + \pi_\beta)| \quad (4)$$

由直觉模糊数的定义可以知道,其最大值为(1, 0),定义  $A^+ = (\alpha^+, \alpha^+, \dots, \alpha^+)^T$  为直觉模糊正理想点,其中  $\alpha^+ = (1, 0), (i = 1, 2, \dots, n)$ , 其得分向量为:  $S(A^+) = (1, 1, \dots, 1)_{1 \times n}^T$ 。同理,  $A^- = (0, 1)$  为最小直觉模糊数,其得分向量为:  $S(A^-) = (-1, -1, \dots, -1)_{1 \times n}^T$ 。计算各目标  $A_a$  的得分向量和正负理想点  $A^+$  和  $A^-$  的距离,计算公式如下:

$$d(S(A_a), S(A^+)) = \sum_{i=1}^n \omega_i d(S(\alpha), S(\alpha^+)) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \omega_i |(\mu_i - \nu_i)(1 + \pi_i) - 1| \quad (5)$$

$$d(S(A_a), S(A^-)) = \sum_{i=1}^n \omega_i d(S(\alpha), S(\alpha^-)) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \omega_i |(\mu_i - \nu_i)(1 + \pi_i) + 1| \quad (6)$$

由此得出反映决策对象令人满意程度的评价指数  $R(A_a)$  如下:

$$R(A_a) = \frac{d(S(A_a), S(A^-))}{d(S(A_a), S(A^+)) + d(S(A_a), S(A^-))} \quad (7)$$

$R(A_a)$  的值越大,那么决策对象  $A_a$  越能令人满意。

### 3 实例分析

某水利工程项目面向社会公开招标,在所有报名的投标单位中有甲、乙、丙、丁四家通过了资格预审。采用基于直觉模糊集的多属性评价算法对四家投标单位投标情况进行评价,组建评估专家组,通过专家组审核,对评价指标进行赋分。以一级指标“企业状况”为例,平均专家评分得到表 2 所示结果。

表 2 评价对象指标统计结果

Tab. 2 Statistical results of evaluation object index

评价对象	企业状况		
	施工业绩及经验	财务状况	企业资质
甲	(0.62, 0.17)	(0.76, 0.12)	(0.51, 0.37)
乙	(0.52, 0.21)	(0.74, 0.09)	(0.63, 0.25)
丙	(0.44, 0.33)	(0.69, 0.16)	(0.62, 0.21)
丁	(0.48, 0.28)	(0.69, 0.21)	(0.59, 0.23)

对指标权重进行赋分,施工业绩及经验、财务状况、企业资质的权重评价价值如下:

$$\beta_{31} = (0.35, 0.16), \beta_{32} = (0.32, 0.24), \beta_{33} = (0.28, 0.31)。$$

根据  $\beta_j$  计算权重依赖区间,结果如下:

$$\omega_{31} = [0.35, 0.84], \omega_{32} = [0.32, 0.76], \omega_{33} = [0.28, 0.69]。$$

由公式(1),可得,

$$\text{甲企业: } \pi_{31}^1 = 0.21, \pi_{32}^1 = 0.12, \pi_{33}^1 = 0.12;$$

$$\text{乙企业: } \pi_{31}^2 = 0.27, \pi_{32}^2 = 0.17, \pi_{33}^2 = 0.12;$$

$$\text{丙企业: } \pi_{31}^3 = 0.23, \pi_{32}^3 = 0.15, \pi_{33}^3 = 0.17;$$

$$\text{丁企业: } \pi_{31}^4 = 0.24, \pi_{32}^4 = 0.10, \pi_{33}^4 = 0.18;$$

由公式(3),可以得到如下线性模型:

$$\begin{aligned} \text{mind} &= \sum_{j=1}^m \sum_{a=1}^N \pi_{j^a}^a \omega_j = 0.95\omega_{31} + 0.54\omega_{32} + 0.59\omega_{33} \\ \text{s. t. } &0.35 < \omega_{31} < 0.84, 0.32 < \omega_{32} < 0.76, 0.28 < \omega_{33} < 0.69 \end{aligned}$$

$$\omega_{31} + \omega_{32} + \omega_{33} = 1$$

利用 Mathematica 软件求得最优权重为  $\omega_3 = (0.35, 0.37, 0.28)$ 。

利用求出的二级评价指标  $\alpha_j = (\mu_j, \nu_j)$  和最优权重  $\omega_j$ , 加权平均后求一级评价指标值  $\alpha = (\mu, \nu)$ 。其中  $\mu = \sum_{j=1}^m \mu_j \omega_j, \nu = \sum_{j=1}^m \nu_j \omega_j$ 。计算结果见表 3; 重复以上步骤,得到各二级指标权重,甲企业各项指标得分及计算结果见表 4。

表 3 一级指标评价价值

Tab. 3 The first index value

评价对象	投标报价 $C_1$	施工组织设计 $C_2$	企业状况 $C_3$
甲	(0.75, 0.16)	(0.60, 0.23)	(0.64, 0.21)
乙	(0.73, 0.16)	(0.50, 0.35)	(0.63, 0.18)
丙	(0.53, 0.28)	(0.56, 0.28)	(0.58, 0.23)
丁	(0.42, 0.29)	(0.74, 0.14)	(0.59, 0.24)

求得最优权重为  $\omega = (0.38, 0.40, 0.22)$ 。

表 4 甲企业各指标值计算结果

Tab. 4 Calculation results of each index value of the first enterprise

$C_i$	$(\overline{U}_i, \overline{V}_i)$	$\omega_i$	$s_i$	$C_j$	$(\overline{U}_j, \overline{V}_j)$	$\omega_j$	$s_{ij}$
投标报价	(0.75, 0.16)	0.38	0.638	投标总报价	(0.72, 0.20)	0.62	0.562
				投标报价合理性	(0.79, 0.10)	0.38	0.766
施工组织设计	(0.60, 0.23)	0.40	0.429	主要施工方法	(0.64, 0.25)	0.32	0.433
				组织机构及技术人员素质	(0.52, 0.23)	0.18	0.363
				施工进度计划及进度保证措施	(0.67, 0.17)	0.21	0.580
				质量保证体系及质量保证措施	(0.49, 0.32)	0.19	0.202
				安全、环保及文明施工措施	(0.69, 0.15)	0.10	0.626
企业状况	(0.64, 0.21)	0.22	0.499	施工业绩及经验	(0.62, 0.17)	0.35	0.545
				财务状况	(0.76, 0.12)	0.37	0.717
				企业资质	(0.51, 0.37)	0.28	0.157

表 5 各模式评价指数计算结果

Tab. 5 Calculation results of the model evaluation index

评价对象	综合评价 $R$	投标报价 $R_1$	施工组织设计 $R_2$	企业状况 $R_3$
甲	0.762	0.820	0.713	0.750
乙	0.717	0.819	0.591	0.769
丙	0.666	0.649	0.660	0.704
丁	0.712	0.588	0.836	0.701

从上述案例可以看出,直觉模糊集理论在处理模糊和不确定信息时能够考虑到指标隶属度、非隶属度和犹豫程度等因素,可以使得评价结果更为合理,但评价过程仍建立在专家主观评价基础之上。该方法虽然极大地提升了评价精度,降低了主观因素影响程度,但评价结果仍然摆脱不了受专家主观因素的素影,评价结果主观性仍然较强,有待进一步改进。

## 4 结语

水利工程评标是一项较为复杂的系统工程,其牵扯方面众多。如何快速有效的评选出最优投标人事关工程建设的成败。本文选取投标报价、施工组织及企业状况等指标建立了二级评价指标体系,并考虑不同评价对象各评价指标隶属度、非隶属度和

相同的方法求出乙企业、丙企业、丁企业各评价指标值。由 TOPSIS 法,求得甲企业综合评价指数  $R$ ,  $R = 0.762$ 。同理,分别求出乙企业、丙企业、丁企业综合评价指数值,计算结果见表 5。

根据以上计算结果,可以看出甲企业投标报价优于其余三家企业,丁企业施工组织设计最好,乙企业的企业状况最优。但从总体来看,投标优先顺序为:甲 > 乙 > 丁 > 丙。因此本工程应优先选取甲企业中标。

犹豫度等因素,基于直觉模糊集理论建立了相关评价模型,同时借助得分函数和 TOPSIS 法进行综合评价从而可得到投标单位投标优劣顺序,极大地提高了评价的精度,能够保证评标的科学合理性。实例分析证明该方法能够快速有效分析出最优投标人,可为评标决策提供依据。

## 参考文献(References):

- [1] 张鸣明. 合理均价法在水利工程招标中的应用研究[D]. 大连理工大学, 2014. (ZHAHG Ming ming. Study on the reasonable price method in the bidding practice on water conservancy project[D]. Dalian University of Technology, 2014. (in Chinese))
- [2] 金璨, 张文涛, 孙卓. 我国现有水利工程评标办法评析[J]. 贵州水力发电, 2011, 25(6): 68-70. (JIN Can, ZHANG Wen tao, SUN Zhuo. Assessment of the existing water conservancy engineering bid our country[J]. Guizhou Water Power, 2011, 25(6): 68-70. (in Chinese))
- [3] 尤超, 李俊宏, 董明娟. 聚类中心模型在某水闸枢纽工程评标中的应用[J]. 水电能源科学, 2013, 31(12): 221-224. (YOU Chao, LI Jun hong, DONG Ming juan. Application of clustering center model in hydraulic project bidding[J]. Water Resources and Power, 2013, 31(12): 221-224. (in Chinese))
- [4] 邓磊, 周杰, 陈红梅. 浅谈多种评标办法在大型公共建筑项目中的应用与思考[J]. 公路, 2014, (8): 75-78. (DENG Lei, ZHOU Jie, CHEN Hong mei. Application and thinking of kinds of evaluation methods in large public building projects[J]. High

- way, 2014, (8): 75-78. (in Chinese)
- [5] 盛松涛, 毛建平, 苏村安. 模糊综合评价法在水利工程评标中的应用研究[J]. 人民长江, 2008, 39(3): 104-106. (SHENG Song tao, MAO Jianping, SU Curan. Application of fuzzy comprehensive evaluation method in bidding assessment of water conservancy works[J]. Yangtze River, 2008, 39(3): 104-106. (in Chinese))
- [6] 鲁仕宝, 黄强. 基于熵权理论的水利工程招标研究[J]. 水力发电学报, 2010, 29(3): 221-224. (LU Shi bao, HUANG Qiang. The applied research of entropy proportion in the tendering procedures[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2010, 29(3): 221-224. (in Chinese))
- [7] 何亚伯, 帅青燕. 基于复合物元与信息熵的水电工程项目评标模型[J]. 水电能源科学, 2013, 31(1): 144-146. (HE Ya bo, SHU AI Qing yan. Bidding evaluation model of hydropower project based on composite matter element and information entropy[J]. Water Resources and Power, 2013, 31(1): 144-146. (in Chinese))
- [8] 吴耀兴, 陈政辉. 模糊综合评价法在工程项目评标中的运用[J]. 建筑经济, 2009, (10): 27-29. (WU Bang xing, CHEN Zheng hui. The application of fuzzy comprehensive evaluation method in engineering project bid evaluation[J]. Construction Economy, 2009, (10): 27-29. (in Chinese))
- [9] 刘万琳, 屈春丽. 基于 AHP 和区间数排序可能度法的工程项目综合评标法研究[J]. 数学的实践与认识, 2014, 44(21): 100-106. (LIU Wan lin, QU Chun li. Research on comprehensive bidding evaluation method based on AHP and possibility degree method for ranking interval numbers[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2014, 44(21): 100-106. (in Chinese))
- [10] 杨海云, 李珍照, 常晓林. 水电工程项目评标中的熵权决策法及其应用[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2005, 38(2): 44-48. (YANG Hai yun, LI Zhen zhao, CHANG Xiao lin. Entropy weight decision making method and its application to hydropower engineering mark[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2005, 38(2): 44-48. (in Chinese))
- [11] 徐泽水. 直觉模糊信息集成理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008. (XU Ze shui. Intuitionistic Fuzzy Information Aggregation[M]. Beijing: Science Press, 2008. (in Chinese))
- [12] 郑良, 胡丹. 直觉模糊集理论在移民后扶效果评价中的应用[J]. 人民长江, 2013, 44(17): 105-108. (ZHENG Liang, HU Dan. Application of intuitionistic fuzzy sets in the effect evaluation of post supporting of reservoir resettlement[J]. Yangtze River, 2013, 44(17): 105-108. (in Chinese))
- [13] 赵萌, 任嵘嵘. 基于模糊熵的直觉模糊多属性群决策方法[J]. 数学的实践与认识, 2014, 44(23): 153-159. (ZHAO Meng, REN Rong rong. Method based on fuzzy entropy with intuitionistic fuzzy set for group multi-attribute decision making[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2014, 44(23): 153-159. (in Chinese))
- [14] Yager R R. Level sets and the representation theorem for intuitionistic fuzzy sets[J]. Soft Computer, 2010, 14: 1-7.
- [15] 孙晓玲, 王宁. 基于直觉模糊集的大学生综合素质评价[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2013, 36(8): 1002-1005. (SUN Xiao ling, WANG Ning. Evaluation of comprehensive quality of college students based on intuitionistic fuzzy sets[J]. Journal of Hefei University of Technology, 2013, 36(8): 1002-1005. (in Chinese))
- [16] 岳中亮. 基于直觉模糊集的城市环境质量模糊综合评判[J]. 数学的实践与认识, 2008, 38(8): 51-57. (YUE Zhong liang. The comprehensive evaluation of urban environmental quality based on intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2008, 38(8): 51-57. (in Chinese))
- [17] 王开荣, 杨红. 基于直觉模糊集的多属性决策方法[J]. 模糊系统与数学, 2010, 24(3): 114-118. (WANG Kai yang, YANG Hong. Multiple attribute decision making method based on intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2010, 24(3): 114-118. (in Chinese))
- [18] 胡丹, 郑良. 南水北调中线明渠工程运行风险评价方法研究[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(6): 98-100. (HU Dan, ZHENG Liang. Study on the risk evaluation method for the open channel operation in the Middle Route of South to North Water Diversion Project[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(6): 98-100. (in Chinese))
- [19] 陈奎, 张天云, 闫娜, 等. 理想解法的改进及其在工程材料综合评价中的应用[J]. 机械工程材料, 2012, (2): 96-99. (CHEN Kui, ZHANG Tian yun, YAN Na, et al. Improving of TOPSIS method and its application in engineering materials comprehensive evaluation[J]. Materials for Mechanical Engineering, 2012, (2): 96-99. (in Chinese))
- [20] 宁宝权, 彭望书, 郭树勤. 基于组合赋权和改进 TOPSIS 法的农业水利基础设施综合评价[J]. 节水灌溉, 2014, (12): 68-70. (NING Bao quan, PENG Wang shu, GUO Shu qin. Comprehensive evaluation of agricultural water conservancy infrastructure based on combined weight and improved TOPSIS method[J]. Water saving Irrigation, 2014, (12): 68-70. (in Chinese))

(上接第 177 页)

- [18] 郑州市城市总体规划(2010-2020) [EB/OL]. [http://www.zzupb.gov.cn/GuiHuaZhanShi/ZhanShiContent\\_0178079f-C217-4563-B6A6-CC2837FBC002.html](http://www.zzupb.gov.cn/GuiHuaZhanShi/ZhanShiContent_0178079f-C217-4563-B6A6-CC2837FBC002.html), 2009-12-01. (The Overall Urban Planning of Zhengzhou(2010-2020) [EB/OL]. [http://www.zzupb.gov.cn/GuiHuaZhanShi/ZhanShiContent\\_0178079f-C217-4563-B6A6-CC2837FBC002.html](http://www.zzupb.gov.cn/GuiHuaZhanShi/ZhanShiContent_0178079f-C217-4563-B6A6-CC2837FBC002.html), 2009-12-01. (in Chinese))
- [19] 郭亚梅. 南水北调中线一期工程总干渠穿漳河建筑物洪水影响研究[D]. 天津: 天津大学, 2009. (GUO Ya mei. Study on influences between river flood and structures crossing Zhanghe River of the Middle Route of South to North Water Diversion Project in Phase I [D]. Tianjin: Tianjin University, 2009. (in Chinese))
- [20] 毛少波. 南水北调天津干线渠首闸设计及关键技术问题的研究[D]. 天津: 天津大学, 2011. (MAO Shaobo. The design and research in major problem of head sluice in Tianjin Main Route of South to North Water Diversion Project [D]. Tianjin: Tianjin University, 2011. (in Chinese))