

DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2017.05.26

TOPSIS – 熵权决策法在绿色施工节水措施 综合效益评价中的应用

柴乃杰, 鲍学英, 张天奇, 王起才
(兰州交通大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 针对目前施工现场环境条件的多样性, 致使选用不同节水措施所产生的综合效益存在很大差异, 现采用实地调研及 Delphi 法最终筛选出 19 项综合效益评价指标, 构建其综合效益评价指标体系, 并通过引入小样本建模的 TOPSIS – 熵权决策综合评判方法对各节水措施综合效益进行评估分析。通过借助此方法既能降低评价结果主观性的影响, 也可以解决在只有小样本数据情况下, 快速准确地为施工单位选出与其施工环境条件相适应的高效节水措施的难题; 最后, 以甘肃地区某大型建设项目施工过程中的综合效益评价为研究对象进行实证分析, 验证了所设计的评价指标及方法科学合理、评价结果客观准确, 具有推广意义。

关键词: 节水措施; 综合效益; 评价指标; TOPSIS – 熵权决策法

中图分类号: TV512 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2017)05-0156-06

Application of TOPSIS – the method of entropy proportion in comprehensive evaluation about water-saving measures of green construction

CHAI Naijie, BAO Xueying, ZHANG Tianqi, WANG Qicai
(Institute of Civil Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: At present, due to the diversity of environmental conditions on the construction site, the comprehensive benefits arising from different water-saving measures are very different. Nowadays, by combining with local investigations and Delphi method, we finally find out 19 comprehensive benefit evaluation indexes and set up the comprehensive benefit evaluation index system. Through the introduction of small sample model of TOPSIS-The Comprehensive Method of Entropy proportion, the comprehensive benefit of each water-saving measure is evaluated. Using this method can not only reduce the influence of the subjective evaluation results, but also solve the hard problem of selecting the high efficiency water saving measures which are suitable for the construction environment under the condition of small sample data. Finally, the comprehensive benefit evaluation in the construction process of a large construction project in Gansu Province is taken as the research object, which proves that the designed evaluation index and method are scientific and reasonable, the evaluation result is objective and accurate and has the significance of popularization.

Key words: water-saving measures; comprehensive benefit; evaluation index; TOPSIS – the method of Entropy proportion

1 研究背景

随着我国建筑行业的蓬勃发展, 以及人们环保意识的不断提高, 绿色施工已日益成为建设部门关

注的焦点^[1]。而节水措施作为绿色施工的重要组成部分, 对缓解当地水资源短缺、提高用水效率起着相当重要的作用, 所以也越来越引起施工单位的高度重视。由于建筑施工往往是在复杂化和多样化的

收稿日期: 2017-05-09; 修回日期: 2017-06-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(51768034); 长江学者和创新团队发展计划滚动支持(IRT15R29)

作者简介: 柴乃杰(1994-), 男, 甘肃天水人, 硕士研究生, 主要从事工程管理方面研究。

通讯作者: 鲍学英(1974-), 女, 宁夏中卫人, 博士, 教授, 主要从事绿色铁路及工程管理方面的研究。

自然社会环境中开展的,导致了在其施工现场各种节水措施选用的不确定性^[2]。通常情况下,在各种特定的施工现场中,可供选用节水措施种类比较多,但是不同节水措施不仅会给施工企业经济效益带来很大差异,而且对促进当地社会、经济、生态效益提高的影响程度也不尽相同。为此,因地制宜地为施工企业选择高效节水措施已成为涉及社会、经济和生态等诸多方面效益的一个特殊而复杂的问题。

对此,为了解决此复杂问题,减少绿色施工节水措施选用的不确定性,为施工单位选取与特定施工环境条件适应的高效节水措施。首先,应该加强对影响绿色施工节水综合效益评价因素的识别与筛选。然后,对各种节水措施综合效益进行客观评价,以辅助建设部门快速准确地为选择适应不同环境条件下的节水措施作出决策。最后,对高效节水措施加以推广,使其在实施过程所带来的经济效益、社会效益、生态效益、技术效益实现最优化组合发展,这对我国建筑绿色施工领域的良性发展具有重大的指导意义。

当前,针对如何选用较高综合效益的绿色施工节水措施,国内外学者已进行了不少研究。张裕洁^[3]从绿色建筑实践出发,凭借自身施工经验,提出了具有良好的经济效益和社会效益的节水措施,而且验证具有推广意义;李正焜等^[4]、刘祝^[5]分别运用价值工程方法和模糊综合评分法对绿色建筑几种常用的节水措施进行了研究,并构建绿色建筑节水规划的优化模型;魏慧娇等^[6]对我国已取得绿色认证的绿色建筑节水技术措施进行调研分析,总结出在绿色建筑节水技术选择和设计时,应充分考虑当地的降雨情况、技术的经济性、技术操作的难易程度等问题,避免照本宣科地按照标准选择节水措施。以上这些研究都为节水措施的优选提供丰富的理论依据。但考虑到上述研究方法具有过分依赖指标数据及主观性强的缺陷,本文在综合考虑社会、经济、生态及技术4方面因素的基础上,提出基于TOPSIS-熵权决策法的绿色施工节水措施综合评价方法,力求克服主客观因素对指标权重的影响及评价指标模糊性等问题,尤其是能解决利用少量直接数据对节水措施进行客观评价与快速决策的难题。最后,通过对5项常用节水措施在甘肃地区大型绿色建设项目中的综合效益进行评价,验证了该方法的实用性,也解决了如何利用小样本数据客观评价节水措施的问题,为施工企业在不同施工环境条件下择优选取高效节水措施提供了理论方法。

2 综合效益评价指标体系

由于建筑绿色施工中影响节水措施评价的指标因素具有复杂性和不确定性,现通过实地调研及参考有关文献^[7-11],并结合Delphi法对指标进行筛选,最终确定了包括社会、经济、生态以及技术4类因子的19个评价指标,并对此进行分类,构建出三级综合效益评价指标体系,如表1所示。

表1 节水措施综合效益评价指标体系

目标层	准则层	方案层
社会效益 B_1	社会	建筑绿色施工要求的符合程度 C_1
		国家施工节水改进的促进程度 C_2
		行业水资源管理体制的改善程度 C_3
		区域建筑发展要求的符合程度 C_4
		行业可持续发展的促进程度 C_5
		建筑业生产管理体制的促进程度 C_6
经济效益 B_2	经济	节水措施投入产出比率 C_7
		施工企业增收减支的促进程度 C_8
		经济内部收益率的提高程度 C_9
		水资源循环再利用率 C_{10}
		产业关联效益的促进程度 C_{11}
		水资源污染的治理程度 C_{12}
生态效益 B_3	生态	水资源可持续利用的促进程度 C_{13}
		水环境质量的改善程度 C_{14}
		水资源紧缺的改善程度 C_{15}
		周围环境改良的促进程度 C_{16}
技术效益 B_4	技术	措施的可靠度 C_{17}
		措施的推广度 C_{18}
		运行管理的难易程度 C_{19}

3 TOPSIS-熵权决策法模型的构建

由表1可知,在所选节水措施评价指标中大多数为定性指标,为了尽量避免各因素权重受主观评价的影响,故选用熵权决策法^[12-13]确定指标权重,使评价结果更符合客观实际。同时为解决利用小样本数据来准确评价节水措施的难题,将结合TOPSIS法^[14-15],也称逼近理想解排序法,通过计算基于特定环境下的待选对象与理想目标的接近程度,对既有节水措施选择进行相对优劣评价并排序。

3.1 熵权决策法

熵权决策法是根据被评价对象的指标值构成的判断矩阵来确定指标权重的一种客观评价方法具体

步骤如下:

(1) 设被评价对象有 m 个, 即已取得我国认绿色证标识的 5 项常用节水措施;

(2) 设每个被评价对象的评价指标有 n 个, 即符合建筑绿色施工要求程度, 促进国家施工节水改进程度, 投入产出比率、运行管理难易程度等 19 项指标, 则每个节水措施的各评价指标值构成判断矩阵 X :

$$X = (x_{ij})_{m \times n} \quad (1)$$

$$(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

首先, 按照公式(2) ~ (3) 对判断矩阵 X 进行无量纲化处理, 得到矩阵 Y , 具体则有:

对于效益型指标:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

对于成本型指标:

$$y_{ij} = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (3)$$

式中: x_{\max} 为同一评价指标下不同方案的指标值中最大值; x_{\min} 为同一评价指标下不同方案的指标值中最小值。

然后, 将矩阵 X 无量纲化处理记为矩阵 Y , 则有:

$$Y = (y_{ij})_{m \times n} \quad (4)$$

$$(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

(3) 根据无量纲化判断矩阵 Y , 按传统的熵概念可定义其指标的熵 H_j 为:

$$H_j = - \left(\sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \right) / \ln m \quad (5)$$

为使 $\ln f_{ij}$ 有意义, 所以对 f_{ij} 加以修正, 并将其定义为:

$$f_{ij} = \frac{1 + y_{ij}}{\sum_{i=1}^m (1 + y_{ij})} \quad (6)$$

进而, 计算第 j 个评价指标的熵权 K_j , 由此形成指标熵权向量:

$$K_j = \frac{1 - H_j}{n - \sum_{j=1}^n H_j} \quad (7)$$

$$W = (k_j)_{1 \times n} \quad (8)$$

(4) 考虑熵权后的指标属性矩阵 A 为:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 x_{11} & k_2 x_{12} & \cdots & k_n x_{1n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ k_1 x_{m1} & k_2 x_{m2} & \cdots & k_n x_{mn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

3.2 TOPSIS 模型构建

TOPSIS 是解决多目标决策问题的有效方法, 为解决利用小样本数据客观评价节水措施的难题, 现将结合 TOPSIS 法对其进行综合评价, 具体步骤如下:

(1) 利用上式(9)求出的熵权后的指标属性值, 计算各评判对象的贴近度。正理想解 A^+ 、负理想解 A^- 的求法依据式(10) 求出;

$$\begin{cases} A^+ = \{(\max_i(a_{ij}) | j \in J_1), (\min_i(a_{ij}) | j \in J_1)\} \\ A^- = \{(\min_i(a_{ij}) | j \in J_2), (\max_i(a_{ij}) | j \in J_2)\} \end{cases} \quad (10)$$

式中: J_1 为越大越优的效益型指标集; J_2 为越小越优的费用型指标集。

(2) 据此计算评价对象与正理想解的距离 d_i^+ 和负理想解的距离 d_i^- 为:

$$\begin{cases} d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (a_{ij} - a_j^+)^2} \\ d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (a_{ij} - a_j^-)^2} \end{cases} \quad (11)$$

则所评价方案与理想解的贴近度 E_i^+ 为:

$$E_i^+ = d_i^- / (d_i^+ + d_i^-), 0 \leq E_i^+ \leq 1 \quad (12)$$

(3) 最终计算各方案的综合评判结果向量 F 为

$$F = W \times E \quad (13)$$

式中: E 由各评价的贴近度组成; W 由确定的综合权重系数组成。最后可根据向量 F , 按最靠近最优解、最远离最劣解的原则, 确定出最优方案^[16]。

4 TOPSIS - 熵权决策法模型在节水措施综合效益评价研究中的应用

现选取当前已取得我国认证标识的绿色建筑中 5 项常用的绿色施工节水措施, 即中水处理回用系统、雨水收集利用、节水型器具、绿化灌溉及节水管理并分别记为措施 A、B、C、D、E; 并通过利用本文所提出的方法对甘肃地区某大型建设项目绿色施工过程中该 5 项节水措施的综合效益评价为实例, 来说明该方法在对解决如何因地制宜地选择最佳节水措施问题上的实用性。

现邀请甘肃地区符合参评条件的绿色建筑科研机构单位共计 5 个, 并由每家单位分别派出 5 位专家, 按照本文之前所构建的节水措施综合效益评价指标体系, 通过打分方式来进行准确定量地评估, 在以 100 分为满分的打分机制下, 对所选取的所有专家打分取平均值。然后, 按本文所提出的方法对所

得评价价值进行处理,确定出其综合优劣排序。其 5 项措施准则层、方案层评价指标的具体平均评分分别如下表 2、表 3 所示。

表 2 准则层评价指标得分

措施/指标	B_1	B_2	B_3	B_4
A	78	86	68	72
B	86	92	72	83
C	80	89	80	68
D	79	90	84	77
E	90	82	75	64

由式公(2)~(4)对表 2 计算可得无量纲化矩阵 B :

$$B = \begin{pmatrix} 0.145 & 0.138 & 0.269 & 0.194 \\ 0.241 & 0.241 & 0.168 & 0.273 \\ 0.157 & 0.276 & 0.134 & 0.230 \\ 0.289 & 0.155 & 0.193 & 0.137 \end{pmatrix}$$

表 3 方案层评价指标得分及其无量纲化矩阵 C

指标	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}	C_{19}
A	75	83	75	81	79	64	89	87	67	88	82	84	56	77	80	68	87	66	78
B	65	74	80	79	76	72	84	70	54	73	74	91	73	83	73	56	90	71	75
C	71	78	74	90	91	58	92	74	79	90	88	74	66	84	78	66	82	58	64
D	80	92	53	73	85	77	89	83	66	79	64	85	69	60	85	75	79	65	83
E	82	73	66	84	88	83	94	69	70	87	81	89	71	73	90	57	91	76	89

$$\text{指标无量纲化矩阵 } C = \begin{pmatrix} 0.203 & 0.223 & 0.225 & 0.197 & 0.158 & 0.164 & 0.192 & 0.281 & 0.199 & 0.234 & 0.222 & 0.196 & 0.121 & 0.208 & 0.190 & 0.226 & 0.213 & 0.191 & 0.201 \\ 0.128 & 0.154 & 0.248 & 0.181 & 0.132 & 0.206 & 0.128 & 0.148 & 0.131 & 0.124 & 0.180 & 0.246 & 0.243 & 0.239 & 0.135 & 0.19 & 0.245 & 0.228 & 0.186 \\ 0.173 & 0.185 & 0.220 & 0.268 & 0.263 & 0.132 & 0.231 & 0.180 & 0.262 & 0.248 & 0.254 & 0.123 & 0.193 & 0.244 & 0.175 & 0.212 & 0.160 & 0.132 & 0.129 \\ 0.241 & 0.292 & 0.124 & 0.134 & 0.211 & 0.263 & 0.192 & 0.250 & 0.194 & 0.168 & 0.127 & 0.203 & 0.214 & 0.122 & 0.230 & 0.277 & 0.128 & 0.184 & 0.227 \\ 0.256 & 0.146 & 0.183 & 0.220 & 0.237 & 0.211 & 0.256 & 0.141 & 0.215 & 0.226 & 0.217 & 0.232 & 0.229 & 0.188 & 0.270 & 0.146 & 0.255 & 0.265 & 0.258 \end{pmatrix}$$

表 5 方案层的熵值 H_j 及对应熵权 X_j

指标	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
熵值	0.983	0.979	0.984	0.985	0.981	0.982	0.985	0.976	0.986	0.982
熵权	0.163	0.200	0.147	0.144	0.179	0.167	0.176	0.275	0.163	0.208
加权熵权	0.048	0.059	0.043	0.042	0.052	0.049	0.046	0.072	0.043	0.054
指标	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}	C_{17}	C_{18}	C_{19}	
熵值	0.984	0.985	0.985	0.984	0.983	0.979	0.980	0.984	0.985	
熵权	0.178	0.180	0.182	0.192	0.198	0.248	0.388	0.311	0.301	
加权熵权	0.046	0.040	0.041	0.043	0.044	0.055	0.087	0.070	0.067	

由公式(5)~(8)可分别计算出准则层的熵值 H_j 及对应熵权 X_j ,结果见表 4。

表 4 准则层的熵值 H_j 及对应熵权 X_j

指标	B_1	B_2	B_3	B_4
熵值 H_j	0.977	0.979	0.980	0.982
熵权 X_j	0.293	0.260	0.223	0.224

同理,根据公式(2)~(8)对表 3 中方案层各评价指标值进行无量纲化处理,结果记为矩阵 C ,见表 3;然后依次计算出各指标熵值 H_j 及对应熵权 X_j ,结果见表 5;在此基础上,又得出方案层加权指标属性矩阵 C' ,见表 6。

然后,根据公式(10)~(12)分别计算各节水措施在社会效益层面上与正、负理想解所对应的欧氏距离及其贴近度,具体结果见表 7。同理可依次求得各节水措施在经济、生态、技术效益层面上的贴近度,计算结果分别见表 8、9、10。

表6 方案层加权指标属性矩阵 C'

$$C' = \begin{pmatrix} 0.010 & 0.013 & 0.010 & 0.008 & 0.008 & 0.008 & 0.009 & 0.020 & 0.008 & 0.013 & 0.010 & 0.008 & 0.005 & 0.009 & 0.008 & 0.013 & 0.019 & 0.013 & 0.014 \\ 0.006 & 0.009 & 0.011 & 0.008 & 0.007 & 0.010 & 0.006 & 0.011 & 0.006 & 0.007 & 0.008 & 0.010 & 0.010 & 0.010 & 0.006 & 0.008 & 0.021 & 0.016 & 0.013 \\ 0.008 & 0.011 & 0.009 & 0.011 & 0.014 & 0.006 & 0.011 & 0.013 & 0.011 & 0.013 & 0.012 & 0.005 & 0.008 & 0.010 & 0.008 & 0.012 & 0.014 & 0.009 & 0.009 \\ 0.011 & 0.017 & 0.005 & 0.006 & 0.011 & 0.011 & 0.009 & 0.018 & 0.008 & 0.009 & 0.006 & 0.008 & 0.009 & 0.005 & 0.010 & 0.015 & 0.011 & 0.013 & 0.015 \\ 0.012 & 0.009 & 0.008 & 0.009 & 0.012 & 0.013 & 0.012 & 0.010 & 0.009 & 0.013 & 0.010 & 0.009 & 0.009 & 0.008 & 0.012 & 0.008 & 0.022 & 0.018 & 0.017 \end{pmatrix}$$

表7 社会效益综合评价结果

社会效益	节水措施				
	A	B	C	D	E
d_i^+	0.0094	0.0130	0.0099	0.0085	0.0093
d_i^-	0.0079	0.0072	0.0101	0.0119	0.0116
E_i^+	0.4586	0.3556	0.5062	0.5823	0.5554

表8 经济效益综合评价结果

经济效益	节水措施				
	A	B	C	D	E
d_i^+	0.0045	0.0144	0.0073	0.0087	0.0313
d_i^-	0.0129	0.0025	0.0114	0.0089	0.0093
E_i^+	0.7434	0.1464	0.6096	0.5072	0.2288

表9 生态效益综合评价结果

生态效益	节水措施				
	A	B	C	D	E
d_i^+	0.0071	0.0095	0.0077	0.0056	0.0073
d_i^-	0.0070	0.0086	0.0074	0.0097	0.0090
E_i^+	0.4975	0.4763	0.4877	0.6340	0.5531

表10 技术效益综合评价结果

生态效益	节水措施				
	A	B	C	D	E
d_i^+	0.0068	0.0050	0.0146	0.0122	0.0006
d_i^-	0.0098	0.0129	0.0029	0.0074	0.0169
E_i^+	0.5916	0.7200	0.1670	0.3766	0.9638

从表7~10中可以看出,单论社会效益层面,选用节水措施D最佳,节水措施E次之;单论经济效益层面,选用节水措施A最佳,节水措施C次之;单论生态效益层面,选用节水措施D最佳,节水措施E次之;单论技术效益指标,选用节水措施E最优,节水措施B次之。

最后,运用式(12)求各节水措施综合优越度向量 F ,则有;

$$F = W \times E$$

$$= (0.293, 0.260, 0.223, 0.224) \times \begin{pmatrix} 0.4586 & 0.3556 & 0.5062 & 0.5823 & 0.5554 \\ 0.7434 & 0.1464 & 0.6096 & 0.5072 & 0.2288 \\ 0.4975 & 0.4763 & 0.4877 & 0.6340 & 0.5531 \\ 0.5916 & 0.7200 & 0.1670 & 0.3766 & 0.9638 \end{pmatrix} = (0.571, 0.410, 0.453, 0.528, 0.562)$$

此时为了更加便于对适应当地各节水措施综合效益的对比分析与优劣排序,现将以上5项节水措施综合效益评价绘制成如图1所示的树状图。

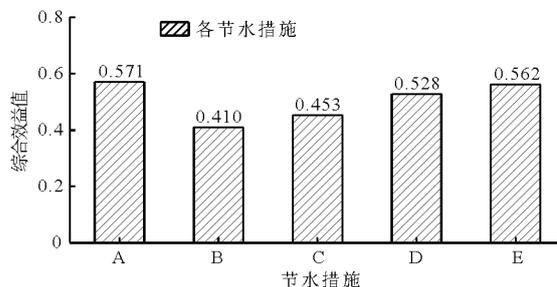


图1 节水措施综合效益值分布

从图1中可明显看出,这5项节水措施的综合效益优劣排序依次为 $A > E > D > C > B$,则其相应综合优越度从高往低依次为: 57.1%, 56.2%, 52.8%, 45.3%, 41.0%。因此,节水措施A(即中水回用技术)和节水措施E(节水管理)综合效益最佳,应作为在该大型项目实际施工过程中最优先选用的节水措施;而节水措施B(雨水回收利用)综合效益最差,故最不宜选用。通过对比实际情况发现,其评价结果正好与施工现场实际节水措施选用情况相吻合,也符合甘肃地区干旱少雨,水资源短缺的环境条件。

5 结论

针对施工现场各种节水措施选用的不确定性,本文提出了TOPSIS-熵权决策法综合评价方法对其进行评价,根据对已取得我国绿色认证标识的节水技术措施,在甘肃地区某大型项目中综合效益的评价结果,可以得到以下结论:

(1)绿色施工节水措施综合效益评价是一个涉及多因素的复杂问题。通过结合实地调研及 Delphi 法构建节水措施综合评价指标体系,将复杂的评价因素划分为三级梯阶结构层次,在一定程度上可以避免因各评价指标的相关性对评价结果的影响。

(2)通过熵权决策法将主观判断与施工现场客观情况相融合确定权重,不但可以降低各因素权重的主观性,还弥补了单纯依赖专家意见来确定指标权重的不足,使评价结果更符合客观实际,从而提高评价方法的科学性。

(3)通过结合 TOPSIS 方法对各节水措施从社会、经济、生态和技术效益四方面进行综合评价,不仅能快速准确地为施工单位确定出适应于特定施工条件下的各节水措施优劣排序,而且可以有效地解决利用小样本数据客观评价节水措施的难题。

(4)最后,通过运用该方法对甘肃地区大型项目中的节水措施进行实例分析,验证了本文所构建的节水措施综合效益评价指标体系、评价模型的合理性、可操作性,以供为施工现场因地制宜地选择高效节水措施提供思路。

参考文献:

- [1] 张希黔,林琳,王军. 绿色建筑与绿色施工现状及展望[J]. 施工技术,2011,40(8): 1-7.
- [2] 彭世瑾,王莉芸,蒋兴林. 深圳建科大楼绿色建筑节水设计[J]. 中国给水排水,2011,27(2): 45-49.
- [3] 张裕洁. 浅谈节水措施在绿色施工中的应用[J]. 建筑施工,2011,33(7): 604-606.
- [4] 李正焜,叶飞,梁巧真. 基于价值工程的绿色施工节水措施研究[J]. 福建建设科技,2017(1): 70-72.
- [5] 刘祝. 绿色建筑节水措施的评价及应用优化研究[D]. 重庆:重庆大学,2008.
- [6] 魏慧娇,李丛笑. 我国绿色建筑节水技术措施调研分析[J]. 建筑行业,2015(11):28-30.
- [7] Liu Haixing, Lu Jing, Zhao Ming, et al. Multi-objective optimisation design of water distribution systems: Comparison of two evolutionary algorithms[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2016, 23(3): 30-38.
- [8] N. Huberman, D. Pearlmuter. A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert[J]. Energy & Buildings, 2007, 40(5): 837-848.
- [9] 闫潇. 绿色建筑及绿色施工评价体系的研究与实践[D]. 邯郸:河北工程大学,2012.
- [10] 邱伟. 建筑施工水资源利用与节水措施[J]. 价值工程,2013,32(28): 141-143.
- [11] 王善龙. 绿色施工节水节电指标及控制措施研究[M]. 西安:西安建筑科技大学,2016.
- [12] 于泽,朱学义. 基于熵权法的文化产业社会效益评价实证研究[J]. 出版科学,2014,22(3):54-62.
- [13] 罗勇,朱波. 基于熵权决策法的项目选择比较模型研究[J]. 郑州大学学报(工学版),2014,35(2): 60-64.
- [14] 罗党,孙慧芳,毛文鑫. 基于三角模糊数-TOPSIS 的绿色施工评标方法[J]. 华北水利水电大学学报, 2016,37(2):73-77.
- [15] 王新民,秦健春,张钦礼,等. 基于 AHP-TOPSIS 评判模型的姑山驻留矿采矿方法优选[J]. 中南大学学报(自然科学版),2013,44(3): 1131-1137.
- [16] 雷勋平,邱广华. 基于熵权 TOPSIS 模型的区域资源环境承载力评价实证研究[J]. 环境科学学报,2016,36(1): 314-323.