

基于灰色聚类法评判模型的铁路绿色 施工项目评标方法研究

柴乃杰, 鲍学英, 王起才

(兰州交通大学 土木工程学院, 兰州 730070)

摘 要: 随着铁路绿色施工的不断推广, 择优选取绿色施工企业已成为招标人日益关注的焦点问题。为改进传统评标方法, 将重新确定绿色施工评标流程, 建立合理的铁路绿色施工评标指标体系, 并采用层次分析法与灰色系统理论相结合的方法, 构建 AHP-灰色聚类法评标模型。为尽可能使评价指标满足定量化分析要求, 同时考虑到人体思维最大可分辨能力, 将各指标划分为优、良、中、合格、较差、差 6 个灰类级别并分别赋值, 形成评价指标等级值化向量。然后, 通过评标专家对投标书中各指标评定的优劣等级结果与其等级值化向量进行加权平均, 计算出各投标书综合得分, 确定最终优劣排序, 为业主选取最优中标人。最后, 运用此评判模型对中川铁路项目投标书的实证分析, 验证了该方法在绿色施工项目评标中实施的可行性。

关键词: 绿色施工; 评标流程; 评标体系; AHP-灰色聚类法

中图分类号: TU528

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2017)03-0300-07

引言

随着国内建筑绿色施工的蓬勃发展, 铁路工程项目的绿色施工也越来越引起建设部门的重视。绿色施工不但可以节约大量材料与能源的损耗, 而且还可以缓解对环境造成的负面影响。在绿色施工实施阶段, 需将项目施工、管理、材料能源节约和环境保护因素作为整体统筹考虑, 引导施工向更加环保、高效的轨道上发展。考虑到绿色施工在国内尚处于推广应用阶段, 对绿色施工评标体系和方法的研究也正处于探索阶段, 在对如何构建科学合理的绿色施工综合评标指标体系及选用评标方法方面尚存在很多不足, 亟待更深入的研究来弥补绿色施工项目评标过程中的缺陷。

目前, 已有不少学者对绿色施工评标体系及方法进行了研究。比如在绿色施工评价指标体系的研究问题上, 国内学者闫潇^[1]、李惠玲^[2]选择不同角度对绿色施工评价指标进行了分析与比选, 为科学、准确地选取评价指标提供了一定的理论基础; 在绿色施工评标方法研究上, 有关学者相继提出了诸如层次分析模型^[3]、信息熵改进的评判模型^[4]、模糊综合评判模型^[5]、基于灰色关联分析的评判模型^[6]等, 这些研究在一定程度上丰富了绿色施工评标的理论基础, 也对推广绿色施工有着相当重要的意义。在此基础上, 本文将进一步研究绿色施工评标体系, 尤其是解决决策者对于评标体系中的大部分指标只能定性地粗略描述、而无法给出精确数据的问题, 如施工资质、

企业业绩、施工能力等,只能用优、良、一般、差等来定性描述符合绿色施工能力的强弱。为此,本文将构建灰色聚类法评判模型,借助灰色聚类法及传统评标方法来综合评价施工单位的绿色施工水平,为招标人选取优质的绿色施工承包商提供一种理论方法。

1 构建绿色施工项目评标流程

评标流程确定的合理性直接影响着评标结果的准确性。本文结合传统综合评分法和绿色施工的特点,并参考文献[7],构建的具体评标流程如图1所示,主要分为以下三个步骤:

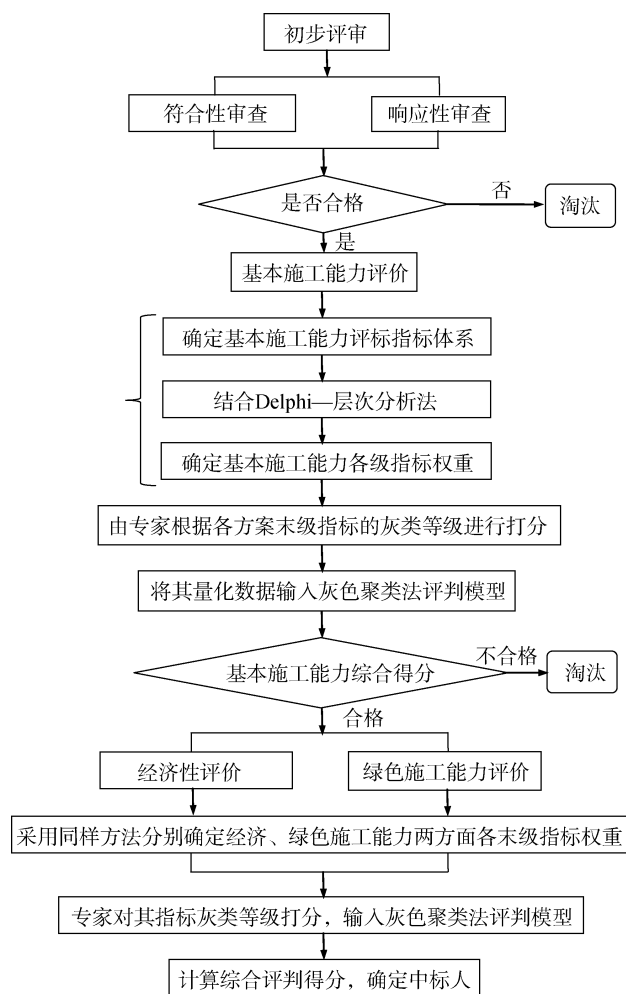


图1 绿色施工项目评标流程

(1) 对投标人进行初步评审, 主要包括符合性响应和实质性响应两方面。具体地, 符合性响

应方面主要是审查各类基本资质证件的完整性和有效性等; 实质性响应包括对招标文件中所有条款是否有明确的承诺, 商务要求和技术规格之间的偏差是否在允许的误差范围内, 商务报价价是否超出规定值等进行审查。

(2) 对通过初步评审的投标人进行基本施工能力评审, 着重审查投标人是否具有解决关键技术的能力, 选用 Delphi-AHP 法对其指标及权重进行确定, 从而确保判断的准确性、科学性。

(3) 对符合基本施工能力评审的投标文件, 将其所有评价指标定量化处理, 并输入评判模型进行最后的综合评审, 以得分最高准则确定中标人。

2 建立评标指标体系

2.1 基本施工能力、经济指标建立及其权重确定

通过查阅《招标评标法实施细则》, 并结合 Delphi 法进行专家调研, 对施工单位基本施工能力各评价指标和经济指标进行归纳, 最终将施工企业资质、施工方案、主要材料用量、企业业绩四个方面作为评价其基本施工能力的准则层指标, 而将经济指标也分总投标报价、分部分项报价及报价结构的合理性等四个方面作为准则层进行综合评价。运用层次分析法对所收集的专家问卷调查进行处理, 确定各项指标及其权重, 并对其进行一致性检验。由于本文篇幅有限, 此处省略计算过程, 现将最终各评价指标及对应权重计算结果直接统计于表1。

2.2 绿色施工能力评价指标的建立

(1) 构建绿色施工能力评价指标体系

考虑到绿色施工能力评价指标的复杂性, 在参考文献[8-10]及契合铁路施工特点的基础上, 对其评价指标进行深入研究, 主要从“四节一环保”五个方面出发, 构建出如图2所示的绿色施工能力评价指标体系。

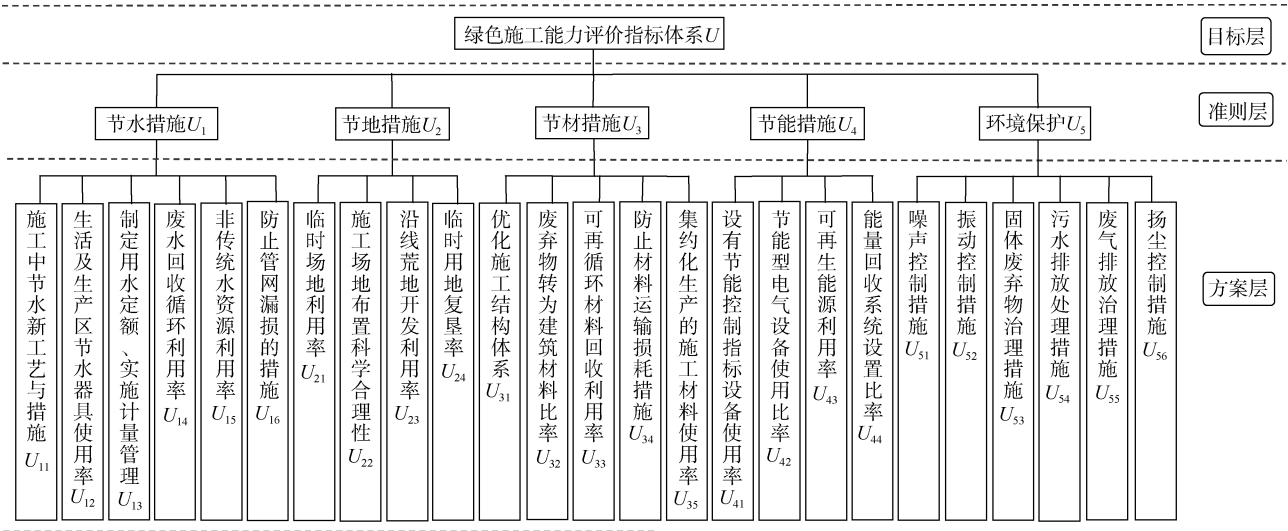


图2 绿色施工能力评价指标体系

表1 基本施工能力指标、经济指标及其权重

目标层	权重	准则层	权重	方案层	权重
基本 施工 能力 指标	0.50	施工资质	0.17	企业资质等级	0.40
				管理、技术人员 数量和资历	0.60
		施工方案的可行性		0.15	
		工程质量保证体系 和技术措施		0.20	
		施工进度计划		0.10	
		施工平面图		0.15	
		施工方案		劳动力计划安排	0.05
				施工机具计划	0.05
				拟采用“四新”技术	0.05
				文明施工措施	0.10
施工安全措施	0.10				
经济 指标	0.22	主要材料用量	0.17	施工资金计划	0.05
				企业业绩和信誉	0.33
				总投标报价	0.37
				分项工程单价	0.21
				措施项目与 其他项目报价	0.13
		报价结构合理性	0.29		

(2) 确定指标权重

由图2可知，绿色施工能力评价指标体系由三级递阶层次构成，属典型的多目标决策问题，现同样采用 Delphi 法召集有关权威专家进行打分，形成 AHP 模型的判断矩阵^[11]，并将最终计算

得到的满足一致性检验的各级指标相对权重结果统计于表2。

表2 绿色施工能力指标及其权重

目标层	权重	准则层	权重	方案层	权重
基本施工能力指标	0.50	节水措施	0.08	施工中节水新工艺与措施	0.19
				生活、生产区节水器具使用率	0.09
				制定用水定额，实施计量管理	0.36
				废水回收循环利用率	0.16
				非传统水资源利用率	0.05
				防止管网漏损措施	0.15
		节地措施	0.09	临时场地利用率	0.30
				施工场地布置科学合理	0.42
				沿线荒地开发利用率	0.15
				临时用地复垦率	0.13
绿色施工能力指标	0.28	节材措施	0.22	优化施工结构体系	0.31
				废弃物转为建筑材料比率	0.11
				可循环材料回收利用率	0.09
				防止材料运输损耗措施	0.31
				集约化生产的施工材料使用率	0.18
				设有节能控制指标设备使用率	0.49
		节能措施	0.38	节能型电气设备比率	0.27
				可再生能源利用率	0.15
				设置能量回收系统比率	0.09
				噪声控制措施	0.11
环境保护	0.23	环境保护	0.23	振动控制措施	0.07
				固体废弃物治理措施	0.15
				污水排放处理措施	0.27
				废气排放治理措施	0.05
				扬尘控制措施	0.36

3 评价模型的构建

3.1 评价模型的选择

由表 1、表 2 可知,影响铁路绿色施工项目评价的构成因素涉及面广且可测度低,这使得对各个投标企业的综合绿色施工评价变得很困难,而灰色聚类法^[12]正是研究此类问题的有效方法。本文根据灰色系统理论应用中的灰色聚类法来评价铁路绿色施工项目投标单位的优劣性。

3.2 构建评价模型的具体步骤

(1) 构建灰色评价矩阵

综合考虑绿色施工评价指标的性质和优劣程度,将每个评价指标的等级划分为优、良、中、合格、较差、差六个级别,并分别赋值 6、5、4、3、2、1 分,以形成灰类等级值化向量。评价时需首先组织 p 位专家根据绿色施工评价等级标准对评价对象进行打分。设第 q 位专家对评价指标 V_{ij} 给出的评分记作 V_{ijq} ,统计得分得到评价样本的灰色评价矩阵 V ,即:

$$V = \begin{pmatrix} v_{111} & v_{121} & \cdots & v_{1n_1} & \cdots & v_{i11} & v_{i21} & \cdots & v_{in_1} & \cdots & v_{m11} & v_{m21} & \cdots & v_{mn_1} \\ v_{112} & v_{122} & \cdots & v_{1n_2} & \cdots & v_{i12} & v_{i22} & \cdots & v_{in_2} & \cdots & v_{m12} & v_{m22} & \cdots & v_{mn_2} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ v_{11p} & v_{12p} & \cdots & v_{1n_p} & \cdots & v_{i1p} & v_{i2p} & \cdots & v_{in_p} & \cdots & v_{m1p} & v_{m2p} & \cdots & v_{mn_p} \end{pmatrix}^T$$

(2) 确定评价灰类及白化权函数

由于评价指标等级划分为优、良、中、合格、较差、差 6 个等级,因此,相应地将评价灰类也分为 6 类,依据灰色系统理论,构建对应的白化权函数^[13]如表 3 所示,并将各灰类等级值化向量记为 D ,则有:

$$D = (d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6) = (6, 5, 4, 3, 2, 1)$$

(3) 计算灰色评价系数及向量

首先计算方案层评价指标 V_{ijt} 灰色评价系数,包括经济指标下的准则层指标灰色评价系数。假设受评价单位属于灰数区间,则 p 位评标专家对其主张的第 k 类灰色评价白化权系数可记为:

$f_{ijt}^k(v_{ij1}), \cdots, f_{ijt}^k(v_{ijq}), \cdots, f_{ijt}^k(v_{ijp})$, 其中 V_{ijq} 是指在所有 p 位评标专家中选取第 q 位专家给出的评分,将所得灰色评价系数记为 x_{ijt}^k ,可得:

$$x_{ijt}^k = \sum_{q=1}^p f_{ijt}^k(v_{ijq}) \quad (1)$$

表 3 各灰类等级白化权函数

灰类等级	白化权函数示意图	对应函数表达式
1		$f_j^1 = \begin{cases} 0 & x \notin [3, +\infty) \\ (x-3)/3 & x \in [3, 6) \\ 1 & x \in [6, +\infty) \end{cases}$
2		$f_j^2 = \begin{cases} 0 & x \notin [2, 8] \\ (x-2)/3 & x \in [2, 5) \\ (8-x)/3 & x \in [5, 8] \end{cases}$
3		$f_j^3 = \begin{cases} 0 & x \notin [1, 7] \\ (x-1)/3 & x \in [1, 4) \\ (7-x)/3 & x \in [4, 7] \end{cases}$
4		$f_j^4 = \begin{cases} 0 & x \notin [0, 6] \\ x/3 & x \in [0, 3) \\ (6-x)/3 & x \in [3, 6] \end{cases}$
5		$f_j^5 = \begin{cases} 0 & x \notin [0, 5] \\ x/2 & x \in [0, 2) \\ (5-x)/3 & x \in [2, 5] \end{cases}$
6		$f_j^6 = \begin{cases} 0 & x \notin [0, 4] \\ 1 & x \in [0, 1) \\ (4-x)/3 & x \in [1, 4] \end{cases}$

计算各评价灰类总灰色评价系数 x_{ijt} , 得:

$$x_{ijt} = \sum_{k=1}^6 x_{ijt}^k = \sum_{k=1}^6 \left[\sum_{q=1}^p f_{ijt}^k(v_{ijq}) \right] \quad (2)$$

(4) 确定指标的灰色评价权

将每个方案层指标 V_{ijt} 对受评价单位主张第 k 个灰类的灰色评价权记为 r_{ijt}^k , 则:

$$r_{ijt}^k = \frac{x_{ijt}^k}{x_{ijt}} \quad (3)$$

灰色评价向量记为 r_{ijt} , 则:

$$r_{ijt} = (r_{ijt}^1, r_{ijt}^2, r_{ijt}^3, r_{ijt}^4, r_{ijt}^5, r_{ijt}^6) \tag{4}$$

由此，可以得出方案层 V_{ijt} 的灰色评价矩阵，即：

$$R_{ij} = \begin{pmatrix} r_{ij1} \\ r_{ij2} \\ \dots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{ij1}^1 & r_{ij1}^2 & r_{ij1}^3 & r_{ij1}^4 & r_{ij1}^5 & r_{ij1}^6 \\ r_{ij2}^1 & r_{ij2}^2 & r_{ij2}^3 & r_{ij2}^4 & r_{ij2}^5 & r_{ij2}^6 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \tag{5}$$

利用方案层指标灰色评价矩阵 R_{ij} 计算所对应的准则层评价矩阵，其结果记为 R_i ，可得：

$$R_i = W_{ij} R_{ij} = (R_{ij}^1, R_{ij}^2, R_{ij}^3, R_{ij}^4, R_{ij}^5, R_{ij}^6) \tag{6}$$

其中， $W_{ij} = (w_{ij1}, w_{ij2}, \dots)$ 。以此类推，可以得出目标层 V_i 灰色评价权矩阵 R ，即：

$$R = (R_1, R_2, R_3)^T \tag{7}$$

计算灰色综合评价结果记为 U ，即：

$$U = WR = (u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6) \tag{8}$$

其中， $W = (w_1, w_2, w_3)$ 是目标层权重向量。

最后，通过将各投标书的灰色综合评价结果与既定各灰类等级值化向量 D 进行加权平均，可

计算综合得分值，并将其计算结果记为 F ，则有 $F = UD^T = WRD^T$ ，按照得分最高准则，综合评价各投标单位的绿色施工能力，进而为业主择优选取绿色施工项目的施工单位提供依据。

4 工程案例分析

兰州至中川机场城际铁路线路全长 63.136km，该项目计划总投资 130.5 亿元，计划总工期为 3 年，全线共设 6 个车站。该项目施工过程中要求遵循绿色施工的评价标准，现采用邀请招标，邀请 3 家资质等级不低于施工总承包企业一级资质且具有绿色施工能力的铁路施工企业进行投标，聘请 5 家甘肃地区建筑施工及绿色建筑科研机构，并分别请每家单位派出 5 位专家组成评标委员会，根据既定的打分标准对 A、B、C 三家投标单位进行打分，对每家所选取的专家打分取平均值。其中，五家评标专家对单位 A 每项指标的打分如表 4 所示。

表 4 五家评标专家对投标单位 A 各项指标的评分

基本 施工 能力 指标	$V_1 = \begin{pmatrix} 5 & 4 & 4 & 3 & 3.5 & 5 & 3 & 2 & 3 & 6 & 3.5 & 4 & 6 & 4 \\ 5 & 3.5 & 2.5 & 3 & 4 & 4.5 & 2.5 & 2.5 & 3.5 & 5 & 4 & 4.5 & 4.5 & 4.5 \\ 4.5 & 4 & 3.5 & 3.5 & 4.5 & 4 & 3 & 2.5 & 5 & 5 & 4.5 & 3.5 & 5 & 4.5 \\ 4 & 4.5 & 4 & 5 & 4.5 & 4.5 & 3.5 & 3 & 3.5 & 5.5 & 4.5 & 3 & 4.5 & 3 \\ 5 & 4.5 & 4 & 4 & 3.5 & 3.5 & 4 & 3.5 & 4.5 & 4.5 & 3.5 & 3 & 5 & 3.5 \end{pmatrix}$	经济 指标	$V_2 = \begin{pmatrix} 5 & 3 & 2 & 5 \\ 4 & 2 & 2.5 & 3.5 \\ 5 & 2.5 & 2.5 & 4.5 \\ 5.5 & 3 & 3 & 4 \\ 4.5 & 3.5 & 3.5 & 4 \end{pmatrix}$
绿色 施工 能力 指标	$V_3 = \begin{pmatrix} 3.5 & 4 & 2.5 & 4.5 & 4.5 & 3 & 3 & 3.5 & 5.5 & 2 & 4 & 5 & 2.5 & 3 & 4 & 4.5 & 5.5 & 3.5 & 3 & 2.5 & 4 & 5 & 5 & 3 & 6 \\ 4 & 3.5 & 3 & 3 & 4 & 3.5 & 3.5 & 4 & 4.5 & 3 & 3.5 & 4 & 4 & 4.5 & 4.5 & 4.5 & 5.5 & 4.5 & 3.5 & 3 & 5.5 & 4 & 4.5 & 4.5 \\ 3 & 4 & 3.5 & 4 & 3 & 2.5 & 5 & 4 & 4.5 & 4 & 3.5 & 4.5 & 3.5 & 4.5 & 3.5 & 3 & 4.5 & 3.5 & 3.5 & 3 & 5 & 5 & 4 & 5 \\ 4.5 & 4.5 & 3 & 4.5 & 4 & 4 & 3.5 & 4.5 & 5 & 3.5 & 3 & 4 & 3 & 4 & 3 & 4 & 5 & 3 & 4.5 & 4 & 4.5 & 4.5 & 5.5 & 2.5 & 5 \\ 3 & 4.5 & 4 & 4.5 & 3.5 & 3 & 4.5 & 4.5 & 6 & 3 & 3.5 & 4 & 3.5 & 3.5 & 3 & 3 & 5 & 3.5 & 3 & 3 & 4.5 & 4 & 4.5 & 3.5 & 4.5 \end{pmatrix}$		

(1) 方案层评价矩阵

根据式 (1)~式 (4) 及表 4 中的样本矩阵，可得方案层各指标的评价矩阵如表 5 所示。

(2) 准则层及目标层指标评价矩阵

通过式 (6) 可依次求得准则层各指标 V_i 的评价矩阵及目标层指标 V 的评价矩阵，其结果见表 6。

按照式 (7)、式 (8) 计算投标单位 A 的综合评价结果：

$$U = WR = \begin{pmatrix} 0.50 & 0.22 & 0.28 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0.13 & 0.24 & 0.28 & 0.21 & 0.11 & 0.03 \\ 0.12 & 0.22 & 0.26 & 0.22 & 0.13 & 0.05 \\ 0.13 & 0.24 & 0.27 & 0.21 & 0.12 & 0.03 \end{pmatrix} = (0.13, 0.24, 0.27, 0.21, 0.12, 0.03)$$

表 5 方案层指标评价矩阵

指标	评价矩阵
V_{11}	$R_{11} = \begin{pmatrix} r_{111} \\ r_{112} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.21 & 0.32 & 0.28 & 0.15 & 0.04 & 0.00 \\ 0.12 & 0.24 & 0.31 & 0.22 & 0.10 & 0.01 \end{pmatrix}$
V_{12}	$R_{12} = \begin{pmatrix} 0.08 & 0.18 & 0.29 & 0.25 & 0.16 & 0.04 \\ 0.08 & 0.19 & 0.26 & 0.26 & 0.15 & 0.06 \\ 0.11 & 0.23 & 0.30 & 0.23 & 0.11 & 0.02 \\ 0.15 & 0.27 & 0.29 & 0.20 & 0.08 & 0.01 \\ 0.03 & 0.13 & 0.26 & 0.29 & 0.20 & 0.09 \\ 0.01 & 0.08 & 0.23 & 0.28 & 0.26 & 0.14 \\ 0.10 & 0.22 & 0.26 & 0.24 & 0.13 & 0.05 \\ 0.29 & 0.35 & 0.24 & 0.11 & 0.01 & 0.00 \\ 0.11 & 0.23 & 0.30 & 0.23 & 0.11 & 0.02 \\ 0.07 & 0.18 & 0.27 & 0.27 & 0.16 & 0.06 \end{pmatrix}$
V_{31}	$R_{31} = \begin{pmatrix} 0.07 & 0.18 & 0.26 & 0.27 & 0.16 & 0.06 \\ 0.12 & 0.24 & 0.31 & 0.22 & 0.10 & 0.01 \\ 0.03 & 0.14 & 0.25 & 0.29 & 0.20 & 0.09 \\ 0.13 & 0.24 & 0.29 & 0.22 & 0.10 & 0.02 \\ 0.09 & 0.20 & 0.29 & 0.25 & 0.14 & 0.03 \\ 0.03 & 0.13 & 0.25 & 0.29 & 0.20 & 0.09 \end{pmatrix}$
V_{32}	$R_{32} = \begin{pmatrix} 0.10 & 0.22 & 0.26 & 0.24 & 0.13 & 0.05 \\ 0.12 & 0.24 & 0.31 & 0.22 & 0.10 & 0.01 \\ 0.27 & 0.32 & 0.28 & 0.10 & 0.03 & 0.00 \\ 0.07 & 0.20 & 0.29 & 0.25 & 0.15 & 0.04 \end{pmatrix}$
V_{33}	$R_{33} = \begin{pmatrix} 0.06 & 0.17 & 0.27 & 0.28 & 0.17 & 0.05 \\ 0.15 & 0.26 & 0.31 & 0.20 & 0.08 & 0.00 \\ 0.06 & 0.15 & 0.27 & 0.27 & 0.18 & 0.07 \\ 0.10 & 0.22 & 0.28 & 0.24 & 0.13 & 0.03 \\ 0.07 & 0.18 & 0.26 & 0.27 & 0.16 & 0.06 \end{pmatrix}$
V_{34}	$R_{34} = \begin{pmatrix} 0.09 & 0.20 & 0.27 & 0.25 & 0.14 & 0.05 \\ 0.27 & 0.35 & 0.25 & 0.12 & 0.01 & 0.00 \\ 0.07 & 0.18 & 0.27 & 0.27 & 0.16 & 0.05 \\ 0.08 & 0.19 & 0.26 & 0.26 & 0.15 & 0.06 \end{pmatrix}$
V_{35}	$R_{35} = \begin{pmatrix} 0.05 & 0.15 & 0.25 & 0.28 & 0.19 & 0.08 \\ 0.09 & 0.20 & 0.27 & 0.25 & 0.14 & 0.05 \\ 0.22 & 0.32 & 0.27 & 0.15 & 0.04 & 0.00 \\ 0.22 & 0.32 & 0.27 & 0.15 & 0.04 & 0.00 \\ 0.07 & 0.17 & 0.26 & 0.26 & 0.17 & 0.07 \\ 0.26 & 0.33 & 0.26 & 0.13 & 0.03 & 0.00 \end{pmatrix}$

表 6 准则层及目标层指标评价矩阵

指标	评价矩阵
V_i	$R_i = \begin{pmatrix} R_{11} \\ R_{12} \\ R_{13} \\ R_{14} \\ R_{21} \\ R_{22} \\ R_{23} \\ R_{24} \\ R_{31} \\ R_{32} \\ R_{33} \\ R_{34} \\ R_{35} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.15 & 0.27 & 0.30 & 0.20 & 0.07 & 0.01 \\ 0.10 & 0.20 & 0.26 & 0.24 & 0.13 & 0.05 \\ 0.26 & 0.33 & 0.26 & 0.13 & 0.02 & 0.00 \\ 0.10 & 0.22 & 0.28 & 0.25 & 0.12 & 0.03 \\ 0.22 & 0.32 & 0.27 & 0.15 & 0.04 & 0.00 \\ 0.01 & 0.09 & 0.21 & 0.30 & 0.25 & 0.14 \\ 0.01 & 0.08 & 0.23 & 0.28 & 0.26 & 0.14 \\ 0.14 & 0.25 & 0.30 & 0.21 & 0.09 & 0.01 \\ 0.06 & 0.17 & 0.27 & 0.28 & 0.16 & 0.06 \\ 0.14 & 0.25 & 0.28 & 0.21 & 0.10 & 0.02 \\ 0.07 & 0.20 & 0.28 & 0.25 & 0.15 & 0.05 \\ 0.13 & 0.24 & 0.26 & 0.22 & 0.11 & 0.04 \\ 0.20 & 0.28 & 0.27 & 0.16 & 0.07 & 0.02 \end{pmatrix}$
V	$R = \begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.13 & 0.24 & 0.28 & 0.21 & 0.11 & 0.03 \\ 0.12 & 0.22 & 0.26 & 0.22 & 0.13 & 0.05 \\ 0.13 & 0.24 & 0.27 & 0.22 & 0.11 & 0.03 \end{pmatrix}$

最后, 计算投标单位 A 的综合评价得分, 记为 F , 则有: $F(A) = (0.13, 0.24, 0.27, 0.21, 0.12, 0.03) \times (6, 5, 4, 3, 2, 1)^T = 3.96$ 。

同理, 分别计算投标单位 B、C 的综合评价得分 $F(B)$ 和 $F(C)$ 为: $F(B) = 4.38$, $F(C) = 3.67$ 。

综上所述, 投标人的综合评价结果为 $F(B) > F(A) > F(C)$, 投标单位 B 的综合评价得分最高, 因此, 将该单位确定为第一中标人。通过对比该项目实际中标情况发现, 其评价结果与预期目标具有良好的吻合性。

5 结论

(1) 针对铁路绿色施工特点, 通过借鉴传统评标方法, 重新构建出合理评标流程, 在此基础上对绿色施工评价指标体系做出了进一步的补充与完善。

(2) 考虑到绿色施工评价因素涉及面广, 各因素间相对重要程度不确定性高, 运用 Delphi-AHP 方法确定出绿色施工评价指标体系中各个评

价指标的权重, 从而确保判断的准确性、科学性。

(3) 根据评价指标等级值化向量, 构建灰色聚类法评判模型。通过计算评标专家对各投标书在指标体系中各指标的优劣等级隶属评定结果与其等级值化向量进行加权平均, 得出各投标书综合得分。按照得分最高准则, 为招标人选出最优中标人。

(4) 最后, 运用此评判模型对中川铁路项目的三个投标书进行实证分析, 验证了所构建评价指标体系和评判模型的合理性及可操作性, 为铁路工程绿色施工项目投标书的评价提供了一种新的理论方法。

参考文献

- [1] 闫 潇. 绿色建筑及绿色施工评价体系的研究与实践[D]. 河北工程大学, 2012.
- [2] 李惠玲, 刘喜格, 李 莉. 建筑工程绿色施工综合评标指标体系研究[J]. 沈阳建筑大学学报: 社会科学版, 2012, 14 (1): 38-40.
- [3] Sugihara K, Maeda Y, Tanaka H. Interval evaluation by AHP with rough set concept[J]. Proc. on the Seventh International Workshop on Rough Sets, Fuzzy Sets, Data Mining, and Granular-Soft Computing. 1999: 375-381.
- [4] Jahanshahloo C. R, Hosseinzadeh F, Shoja N. et al. A method for detecting influential observations in radial DEA models[J]. Journal of Applied Mathematics, 2004: 415-421.
- [5] Bhabagrahi Sahoo, Anil K Lohani, Rohit K Sahu. Fuzzy Multi objective and Linear Programming Based Management Models for Optimal Land-Water-Crop System Planning[J]. Water Resources Management, 2006 (6): 931-948.
- [6] Yen-Tseng Hsu, Jerome Yeh, Dian Geng Wu. A zone-based grey relational model[J]. The Journal of Grey System, 2000: 225-228.
- [7] 交通运输部公路局. 公路工程标准施工招标文件[M]. 人民交通出版社, 2009.
- [8] 叶华平. 适宜我国的绿色施工评价体系研究[D]. 重庆大学, 2012.
- [9] 唐 路. 绿色施工及评价体系研究[D]. 山东建筑大学, 2014.
- [10] 李惠玲, 李 军. 绿色施工评标体系研究: 基于多层次灰色评价法[J]. 技术经济与管理研究, 2013, (1): 20-23.
- [11] 张天军, 苏 琳. 改进的层次分析法在煤与瓦斯突出危险等级预测中的应用[J]. 西安科技大学学报, 2010, (5): 536-541.
- [12] 鲍学英, 杨 姝, 等. 基于灰色聚类法的铁路绿色施工等级评价研究[J]. 铁道工程学报, 2016, (7): 107-110.
- [13] 刘思峰, 杨英杰, 等. 灰色系统理论及其应用[M]. 科学出版社, 2014.

Research on the Green Construction Bid Evaluation Model Based on Grey Clustering Methods

Chai Naijie, Bao Xueying, Wang Qicai

(Lanzhou Jiaotong university institute of civil engineering, Lanzhou 730070, China)

Abstract: With the continuous promotion of railway green construction, the green construction enterprises have become the focus of attention of tenders. In order to improve the traditional evaluation method, we redefine the green construction bidding process and establish a reasonable evaluation index system of railway green construction, and construct the AHP-Gray Clustering Bid Evaluation Method by combining the analytic hierarchy process with the gray system theory Method. In order to make the evaluation index meet the requirements of quantitative analysis as far as possible, and by taking the maximum possible resolution of human thinking ability into consideration, the indicators are divided into excellent, good, medium, qualified, slightly poor, poor 6 gray grades, and are respectively assigned scores, which forms a vector of evaluation index level value. The weighted average is calculated and the overall score of every tender is obtained by combining the assessment results of the merits and demerits of the indicators with the level value of vector, and the final order of merits and demerits is determined to choose the best winning bidder for the owners. Finally, this evaluation model is applied to the ZhongChuan Railway project for empirical analysis, which verifies the feasibility of the method in the green construction project evaluation.

Keywords: Green construction; evaluation process; evaluation index system; AHP and grey clustering method