

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2023.10.050

基于变权法的装配式钢结构绿色度评价

温海燕,刘静,祁 霁,马维珍
(兰州交通大学土木工程学院,甘肃 兰州 730070)

摘 要:针对我国装配式钢结构建筑的绿色度评价法缺少的现状,通过了解装配式钢结构的施工特征,从材料生产、环境和谐度、安全、节能、社会功能匹配度、装配式技术水平、使用功能 7 个方面建立评价指标体系。将常权法及变权法所得的主、客观权重利用乘法合成和博弈论理论进行最优组合,统筹决策者主观价值和数据包含的客观信息。依照木桶理论综合评价法对评价结果进行定级划分,评价装配式钢结构绿色度水平,研究结果显示装配式钢结构建筑绿色度等级为深绿色。研究有助于全面认识装配式钢结构建筑施工对环境影响的现状,可为装配式钢结构建筑绿色度的评价提供有益参考。

关键词:装配式钢结构;向量夹角余弦;乘法合成原理;博弈论;木桶理论

中图分类号: TU391

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)10-0195-05

0 引 言

近年来,我国现代建筑产业化迅速崛起,以装配式为代表的建筑在我国迅速发展。装配式建筑是将预制的结构部件在现场装配而成的建筑体系^[1]。装配式钢结构建筑适用于低层、多层、高层、超高层建筑和部分工业建筑^[2],且装配式钢结构因自重轻、造价低、安装容易、周期短且抗震性能好及施工污染小等综合优势被誉为绿色建筑^[3]。绿色建筑是在建筑设计、施工、运行、维护、实用等全生命周期阶段,要求达到节地、节能、节水、节材、节人和环保的要求。随着建筑可持续发展理论和“绿色化”的不断深入,绿色建筑成了新思潮和新方向。因此,推进节约、环保、低碳的绿色建筑是环境友好、资源节约和推进行业社会发展的必然选择^[4]。

目前,国内外专家学者针对装配式建筑的绿色度评价做出了部分研究。国外,Yuya Kajikawa^[5]认为,绿色建筑为环境和谐的一种设计实践,从不同方向、不同学科交叉组合,更好地增进设计及实施等。Assad 等^[6]从经济、文化、生态等方面对建筑绿色化进行综合研究。国内,曹志成^[7]从经济绿色度、机制

运行度、环境平衡度、效益协调度 4 个方面构建装配式建筑绿色度评价体系,并基于 TOPSIS 评价模型计算指标的贴进度,对装配式建筑绿色度进行评估研究。龙姗等^[8]从建筑全寿命周期角度分析装配式建筑绿色度,从 5 个阶段分析构建综合评价指标体系,运用云物元模型进行装配式建筑绿色等级评价。程灏等^[9]从技术应用、环境治理、安全防护、经济效益、社会影响、能源与资源利用 6 个方面构建装配式建筑绿色施工评价指标体系,运用独立性权法与灰色系统理论评价模型有效解决了绿色施工信息获取不正确及指标相关性误差所造成的问题。装配式建筑作为当今社会一种低碳节能的建造模式,对其进行有效的绿色度评价,能进一步指导和提高其低碳效益,使其更加环保节能。目前对绿色度的评价大多集中在传统建筑上,关于装配式钢结构绿色度状况评价的研究却寥寥无几。

本文参考绿色施工相关评价标准,首先从建筑的材料选取、环境、安全和实用功能等方面进行考虑,全面构建装配式钢结构的绿色度状况评价指标体系。其次在常权法和变权法的基础上确定各指标权重,利用组合赋权法将主、客观权重进行融合,并引入木桶理论求得装配式钢结构绿色度综合指标得分,进而对装配式钢结构建筑绿色度等级进行综合评价。最后以甘肃省兰州新区某装配式钢结构项目为例,验证此评价方法的科学性,以为装配式钢结构建筑的绿色度评价贡献一定的参考价值。

收稿日期: 2022-08-15

基金项目: 甘肃省住房和城乡建设厅科研项目(JK2019-23); 2019 年甘肃省高等学校创新能力提升项目(2019B-060); 甘肃省科技计划资助(20JR10RA233); 甘肃省科技计划项目(23JRRA871)

作者简介: 温海燕(1980—),女,硕士,副教授,从事土木建造与管理、可持续性评价工作。

1 装配式钢结构绿色度评价方法

1.1 指标体系构建

装配式建筑建造原理是基于预制构件进行的系统集成,以实现建筑功能。在系统集成过程中,各系统之间的交叉和相互影响非常复杂。相比一般建筑的评价指标体系,装配式钢结构建筑绿色度是寻找传统施工方式、生态环境和项目效益三者的协调性,在国家政策的规范下,讲究环境保护、经济效益、资源节约、工期、成本、社会效益与质量等传统指标的共赢^[10],因此要从装配式钢结构建筑原材料的生产、环境和谐度、安全、节能、社会功能匹配度、装配式技术水平和使用功能 7 个方面建立综合评价指标体系。

绿色建造过程中必须考虑装配式钢结构建筑。装配式钢结构建筑在前期准备过程中需考虑生产设备的效益如何,在生产材料过程中排出的污染物对环境的伤害程度,建筑对周围自然环境破坏是否严重,能否合理利用周围已有的公共设施环境。同时施工过程中是否节约使用施工用水和生活用水,建造过程中对建筑材料节约能力如何,废旧材料是否可以重复利用,对施工人员安全管理教育,考量装配式建筑标准化程度等。在后期使用过程中,考虑其向社会公众对容积率、绿地率的开放程度,维护费用的高低,场地处于建筑阴影处的广场等活动区遮荫面积比例如何,是否良好地利用了附近的热源以降低建筑供热空调的能耗。

通过以上分析,本文以 7 个一级指标为基础进一步选出 18 个二级指标,确定了装配式钢结构绿色度评价指标体系,详见表 1。

1.2 权重确定模型

1.2.1 向量夹角余弦 - 常权权重

(1)构建评价指标最优值向量 S^* 和最次向量 s^{*111}

$$S^*=(S_1^*,S_2^*,\dots,S_m^*),s^*=(s_1^*,s_2^*,\dots,s_m^*) \quad (1)$$

$$S_i^*=\begin{cases} \max_{1 \leq j \leq n} \{V_{ij}\}, i \in I_1 \\ \min_{1 \leq j \leq n} \{V_{ij}\}, i \in I_2 \end{cases}, s_i^*=\begin{cases} \min_{1 \leq j \leq n} \{V_{ij}\}, i \in I_1 \\ \max_{1 \leq j \leq n} \{V_{ij}\}, i \in I_2 \end{cases} \quad (2)$$

式中: S_i^* 为第 i 个评价指标最优评价价值; s_i^* 为第 i 个评价指标的最差评价价值; m 是评价指标的数量; n 为所请专家的数量; I_1 为正向的指标集; I_2 为负向的指标集; V_{ij} 为第 j 个评价指标层的第 i 个指标分值。

(2)构造各个评价对象与最优向量值和最次向量值的相对偏差矩阵 R 和 Δ :

表 1 装配式钢结构绿色度评价指标体系

目标层 O	准则层 F	指标层 C
装配式钢结构绿色度评价指标体系	材料生产	废旧材料利用率
		生产设备的效益
		清洁生产能力
		污染物的排放量
	环境和谐度	自然环境破坏率
		经济文化和谐度
	安全	施工人员健康安全管理
	节能	节地率
		节材率
		节水率
	社会功能匹配度	公共设施合理利用
	装配技术水平	装配式钢结构标准化程度
		施工兼容度
		厂焊率
		材料防腐状况
		附近热源利用率
		使用功能

$$R=(r_{ij})_{m \times n}=\left(\frac{|V_{ij}-S_i^*|}{\max_{1 \leq j \leq n} (V_{ij})-\min_{1 \leq j \leq n} (V_{ij})}\right)_{m \times n} \quad (3)$$

$$\Delta=(\delta_{ij})_{m \times n}=\left(\frac{|V_{ij}-s_i^*|}{\max_{1 \leq j \leq n} (V_{ij})-\min_{1 \leq j \leq n} (V_{ij})}\right)_{m \times n}$$

(3)确定评价指标向量夹角余弦权重值:

$$c_i = \cos \langle r_i, \delta_i \rangle = \sum_{j=1}^n r_{ij} \delta_{ij} / \sqrt{\sum_{j=1}^n r_{ij}^2} \sqrt{\sum_{j=1}^n \delta_{ij}^2} \quad (4)$$

令 $w_i^c=c_i / \sum_{j=1}^m c_j$,对 c_i 进行归一化处理,得出向量

夹角余弦权重为:

$$W^C=(w_1^c, w_2^c, \dots, w_m^c)^T \quad (5)$$

1.2.2 客观变权法

客观变权权重是在传统赋权方法的基础上,考虑其他因素在实际工程施工中的动态变化来确定的权重。确定变权权重是通过构建均衡函数,对强势指标进行激励,使权重变大,对劣势指标进行抵制并缩小其权重。根据变权模型,可得出因素变量为: $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$,可得出状态变权变量为: $S(X)=(S_1(X), S_2(X), \dots, S_n(X))$,则变权向量为: $W(X)=(W_1(X), W_2(X), \dots, W_n(X))$,可用 W^0 和 $S(X)$ 的归一化表示,即:

$$W(X)=\frac{W_1^0 \cdot S_1(X), \dots, W_n^0 \cdot S_n(X)}{\sum_{k=1}^n (W_k^0 \cdot S_k(X))} = \frac{W^0 \cdot S_1(X)}{\sum_{k=1}^n (W_k^0 \cdot S_k(X))}, k=1, 2, \dots, n \quad (6)$$

1.2.3 组合赋权法

装配式钢结构绿色度评价是一个多目标评价过程。主观赋权易被决策者主观判断价值差异性影响使得权数产生差异,而客观赋权法是以数学统计方法进行,与指标的实际情况不符。为避免单一赋权方法的局限性,提高权重可靠性,采用以下两类方法将主、客观赋权所得权重进行组合。

在权重融合时需对各赋权法所得权重先进行一致性的检验,避免不同赋权法所得权重会相互矛盾。当有两种赋权方法进行融合时,利用距离函数 $d(u^{(1)}u^{(2)})$ 刻画一致性程度,当 $0 \leq d(u^{(1)}u^{(2)}) \leq 1$ 时,两种赋权法所得权重通过一致性检验^[12]。

$$d(u^{(1)}u^{(2)}) = \left[\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n (u_j^{(1)} - u_j^{(2)})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

1.2.3.1 乘法合成组合赋权

乘法合成是将常权及变权法所得的权重进行折中。由于各赋权法所求权重具有相似重要性,将各赋权方法所得某指标权数用主、客观赋权法进行相乘,再归一化求得组合权重^[13]。计算如下

$$u_j^* = \frac{\prod_{r=1}^R u_j^r}{\sum_{j=1}^n (\prod_{r=1}^R u_j^r)} \quad (8)$$

式中: u_j^* 为第 j 个指标组合权重; $r=1,2,\dots$; R 为赋权方法个数。

1.2.3.2 博弈论组合赋权

博弈论是运筹学的重要分支学科,不同于传统简单线性组合赋权,研究竞争事物之间的相互影响,分析多个决策主体间相互影响时理性的行为,均衡主、客观权重问题。博弈思想各方依据“协调冲突,利益最大化”进行决策,需各方协调统一去寻找共同利益的最大均衡组合,即需要组合权重和各权重间离差最小化^[14]。基于博弈论思想的权重融合步骤如下:

(1)通过 m 种赋权方法求取指标权重,并综合。

构造基本权重集 $Q=\{q_1, q_2, \dots, q_m\}$,将这 m 个向量任意进行线性组合构成一种可能的权重集。

$$Q = \sum_{k=1}^m a_k q_k^T (a_k > 0) \quad (9)$$

式中: a_k 为权重系数; q 为权重向量集的一种可能权重向量。

(2)为使 q 与各 q_k 之间的离差最小化,根据决策模型,寻找最优权重系数 a_k ,并基于博弈思想在向量集中寻找最满意的 q^* ,即:

$$\min \left\| \sum_{j=1}^m a_j \times q_j^T - q_i^T \right\|_2 (i=1, 2, \dots, m) \quad (10)$$

根据矩阵微分转换性质,得到式(10)最优一阶导数:

$$\sum_{j=1}^m a_j \times q_j \times q_j^T = q_i \times q_i^T (i=1, 2, \dots, m) \quad (11)$$

式(12)为转化的线性方程组:

$$\begin{bmatrix} q_1 \cdot q_1^T & q_1 \cdot q_2^T & \dots & q_1 \cdot q_m^T \\ q_2 \cdot q_1^T & q_2 \cdot q_2^T & \dots & q_2 \cdot q_m^T \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ q_m \cdot q_1^T & q_m \cdot q_2^T & \dots & q_m \cdot q_m^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1 \cdot q_1^T \\ q_2 \cdot q_2^T \\ \vdots \\ q_m \cdot q_m^T \end{bmatrix} \quad (12)$$

(3)求出 (a_1, a_2, \dots, a_m) ,并对其归一化处理:

$$a_k^* = a_k \sum_{k=1}^m a_k \quad (13)$$

最后得到组合权重为:

$$q^* = \sum_{k=1}^m a_k^* q_k^T \quad (14)$$

1.3 基于木桶理论的综合指数法

木桶理论也称短板效应,指的是一只木桶盛水量的多少取决于组成该桶最短的木板。只有所有的木板全部足够高时,才会使木桶盛满水。所以,要提高木桶的盛水量,必须补长最短的木板^[15]。将木桶理论用于装配式钢结构绿色度评价时,将组成木桶的木板量当作所建指标体系中的准则数或指标数,将各木板的宽比成准则或者指标权重数,并以木板高比为准或指标所得分,即相应的绿色度状况。装配式钢结构绿色度评价中,传统的综合指数法只是进行简单加权,未使短板效应体现到最终评价结果上。本研究基于木桶理论综合指数法,应用对数函数原理将乘法转成加法,使系统某准则或指标崩溃时表现其短板效应,让结果更加真实。该方法的计算公式如下:

$$PGI_c = \sum_{i=1}^m (\log_5 I_i \times u_i) \quad (15)$$

式中: PGI_c 为基于木桶理论的装配式钢结构绿色度评价指数; I_i 为第 i 项指标得分; u_i 为第 i 项指标相应权重。

装配式钢结构绿色度评价结果为非绿色、浅绿色、深绿色、高绿色4个等级,将5分制评价标准采用 \log_5 进行转换得到以下等价划分表(见表2)。

表2 装配式钢结构绿色度评价等级划分

标准	非绿色	浅绿色	深绿色	高绿色
木桶理论 综合指数 评价价值	[0.00, 0.43]	[0.43-0.68]	[0.68, 0.86]	[0.86, 1.00]

2 装配式钢结构绿色度评价

2.1 项目概况

目前甘肃省大力推广装配式钢结构的住宅产业化,促进建筑业可持续发展。本文以甘肃省兰州新区某出城入园项目 D 地块建设装配式钢结构住宅产业化示范小区为例,本工程主要由二类高层住宅、配套商业和地下一层机动车停车库共同组成。总建设用地面积 37 789.1 m²,建筑面积 101 734.67 m²,其中住宅建筑面积 61 700.11 m²,安全等级为二级,设计使用年限为 50 a,建筑耐火等级为 2 级,抗震设防烈度为七度。建设项目使用的部品部件均为标准化生产,预制构件现场安装减少了湿作业的量,也减少了建筑垃圾的产生,同时建设单位也建立了全面的绿色施工管理制度。其 4#、6#、8# 住宅采用 H 型钢框架-钢板剪力墙结构体系,其他住宅楼和商铺结构类型均为冷弯矩形钢管混凝土柱-H 型钢梁框架。为了更好地对装配式钢结构绿色度水平进行评价,现选取该示范小区 4#、7#、8# 的相关资料和数据对其进行评价。

2.2 权重计算

依据评价指标体系,邀请 6 位专家依据 1~9 分制打分法建立装配式钢结构绿色度评价分值表,具体分值见表 3。再依据式(1)~式(6)确定其常权权重和变权权重(见表 4)。

表 3 装配式钢结构绿色度评价分值

0	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4	专家 5	专家 6
C ₁	8.1	7.9	7.6	7.3	7.8	7.2
C ₂	7.0	6.4	8.1	6.8	8.2	7.8
C ₃	7.9	7.3	7.0	8.7	7.5	7.2
C ₄	7.2	8.2	6.5	7.6	6.5	7.7
C ₅	7.0	6.3	5.8	7.2	8.3	8.0
C ₆	8.6	8.8	7.9	7.8	7.9	8.2
C ₇	8.0	7.6	7.7	7.9	8.1	7.2
C ₈	7.8	7.4	8.5	7.9	8.8	8.3
C ₉	8.3	8.2	7.8	8.3	7.2	5.7
C ₁₀	7.9	7.9	8.8	8.0	7.6	8.4
C ₁₁	7.5	7.4	8.2	8.6	7.5	7.8
C ₁₂	7.8	6.8	8.2	7.9	7.4	6.7
C ₁₃	7.2	7.9	6.9	7.2	8.1	8.5
C ₁₄	7.7	5.9	6.9	8.0	6.2	5.5
C ₁₅	6.5	7.0	7.2	6.5	7.8	6.8
C ₁₆	7.4	7.8	6.8	7.3	8.1	7.3
C ₁₇	6.9	6.7	6.8	7.3	8.1	6.4
C ₁₈	7.6	8.0	6.9	8.3	7.1	7.0

表 4 变权权重计算结果

F	常权权重	变权权重	F	常权权重	变权权重
C ₁	0.057 8	0.044 7	C ₁₀	0.068 1	0.051 3
C ₂	0.046 3	0.049 6	C ₁₁	0.046 7	0.035 2
C ₃	0.058 8	0.044 3	C ₁₂	0.050 4	0.038 4
C ₄	0.051 8	0.052 6	C ₁₃	0.056 7	0.057 7
C ₅	0.060 1	0.045 3	C ₁₄	0.052 5	0.039 6
C ₆	0.043 6	0.032 9	C ₁₅	0.053 6	0.040 4
C ₇	0.063 3	0.073 6	C ₁₆	0.075 5	0.056 9
C ₈	0.067 7	0.052 5	C ₁₇	0.066 2	0.109 1
C ₉	0.035 3	0.073 1	C ₁₈	0.045 7	0.052 8

2.3 绿色度指数计算

根据表 3、表 4 所示的指标得分及赋权结果,利用式(15)计算不同赋权法下装配式钢结构绿色度状况指数 PGI_c,结果见表 5。表 6 给出了装配式钢结构绿色度状况指数。

表 5 各赋权方法权重计算结果及装配式钢结构绿色度评价结果

目标层 O	指标层 C	指标得分	常权权重	变权权重	组合-乘法合成	组合-博弈论
装配式钢结构绿色度评价指标体系	C ₁ 废旧材料利用率	4	0.057 8	0.044 7	0.048 1	0.053 1
	C ₂ 生产设备的效益	5	0.046 3	0.049 6	0.042 8	0.047 5
	C ₃ 清洁生产能力	3	0.058 8	0.044 3	0.048 5	0.053 6
	C ₄ 污染物的排放量	5	0.051 8	0.052 6	0.050 8	0.052 1
	C ₅ 对自然环境破坏率	4	0.060 1	0.045 3	0.050 7	0.054 8
	C ₆ 经济文化和谐度	3	0.043 6	0.032 9	0.026 7	0.039 8
	C ₇ 施工人员健康安全管理	5	0.063 3	0.073 6	0.086 8	0.067 0
	C ₈ 节地率	5	0.067 7	0.052 5	0.066 2	0.062 3
	C ₉ 节水率	4	0.035 3	0.073 1	0.048 1	0.048 7
	C ₁₀ 节材率	5	0.068 1	0.051 3	0.065 1	0.062 1
	C ₁₁ 公共设施的合理利用率	4	0.046 7	0.035 2	0.030 6	0.042 6
	C ₁₂ 装配式钢结构标准化程度	4	0.050 4	0.038 4	0.036 1	0.046 1
	C ₁₃ 施工兼容度	3	0.056 7	0.057 7	0.060 9	0.057 1
	C ₁₄ 厂焊率	5	0.052 5	0.039 6	0.038 7	0.047 9
	C ₁₅ 材料防腐状况	4	0.053 6	0.040 4	0.040 3	0.048 9
	C ₁₆ 附近热源利用率	3	0.075 5	0.056 9	0.080 0	0.068 9
	C ₁₇ 热导强度	4	0.066 2	0.109 1	0.134 5	0.081 4
	C ₁₈ 维护费用指数	4	0.045 7	0.052 8	0.045 0	0.048 2
PGI _c			0.868 0	0.828 3	0.871 3	0.853 7

通过表 6 可知,装配式钢结构绿色度评价指标 PGI_c 处于[0.828 3,0.853 7]范围内,参考装配式钢结构绿色度等级划分表,可确定产业化示范小区装配式钢结构建筑的绿色等级为深绿色,其绿色度达到国内顶尖水平。而从表 6 分析装配式钢结构各准则

表 6 装配式钢结构各准则绿色度状况

准则层 F	AHP 法	熵值法	乘法合成	博弈论
F1 材料生产	0.875 7	0.894 0	0.883 9	0.881 8
F2 环境和谐度	0.786 2	0.786 2	0.800 1	0.786 2
F3 安全	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0
F4 节能	0.971 4	0.942 7	0.962 6	0.961 0
F5 社会功能匹配度	0.861 4	0.861 4	0.861 4	0.861 4
F6 装配式技术水平	0.848 0	0.834 0	0.829 8	0.843 5
F7 使用功能	0.789 3	0.814 9	0.806 3	0.799 3

绿色度状况可得材料生产、安全、节能、社会功能匹配度、装配式技术水平、环境和谐度和使用功能绿色度状况等级与装配式钢结构绿色等级相同,为深绿色,但是环境和谐度和使用功能绿色度状况分值较低。

因此,为使装配式钢结构的绿色度状况向更好的趋势发展,应该提升环境和谐度和使用功能这两个准则的绿色度分值,同时维持其他 5 个准则绿色度状况。在建设前期阶段提前衡量此建筑与当地自然环境及经济文化程度的融合性,同时考虑在后期使用时建筑的使用功能是否良好地利用了附近热源,热导强度是否降低等,使各准则绿色度状况同产业化示范小区装配式钢结构绿色度状况保持一致,即装配式钢结构绿色度等级处于高绿色状况。

4 结 论

(1)通过对装配式钢结构建筑深入的研究,结合其施工特点,建立了装配式钢结构绿色度评价指标体系。并基于常权权重和变权权重将主、客观权重进行组合相融,减少单一赋权法的局限性,同时应用木桶理论的综合指数法优化评价区间,使得装配式钢结构绿色度评价结果更加精准、科学。

(2)由表 6 可知,装配式钢结构绿色度评价指标

PGI_c 位于[0.828 3,0.853 7],即装配式钢结构绿色度为深绿色。将装配式钢结构建筑与绿色建筑的发展相结合,保证建筑质量、使用寿命和实用性的基础上,尽可能做到节能与减排,给人们创建安全与健康、实用且美观的生活环境。

参考文献:

[1] GB/T 51129—2017,装配式建筑评价标准[S].
 [2] GB/T 51212—2016,装配式钢结构建筑技术标准[S].
 [3] 钮鹏,姜继红,梁栋.装配式钢结构设计与施工[M].北京:清华大学出版社,2017.
 [4] 陶妍艳,徐刚,陈雁,等.建筑绿色度评价与预测优化[J].土木工程与管理学报,2021,38(1):120-126.
 [5] YUYA KAJIKAWA. Analysis of building environment assessment frameworks and their implications for sustainability indicators [J]. Sustain Sci ,2011(6): 233-246.
 [6] A MINASS,H OSSAMA,E AHMED.Green Building Design in Egypt from Cost and Energy Perspectives[J].ArchitecturalEngineering& Design Management ,2015(1):21-40.
 [7] 曹志成. 装配式混凝土公共建筑绿色度评价研究[D].北京:北京交通大学,2019.
 [8] 龙娜,张云宁,欧阳红祥.基于云物元模型的装配式建筑绿色性评价[J].工程管理学报,2018,32(5):24-29.
 [9] 程灏,逯与浩,刘淑芳.基于 G1- 熵权 - 独立性权的装配式建筑绿色施工评价[J].数学的实践与认识,2021,51(4):75-87.
 [10] 霍东杰. 绿色施工评价体系研究[D].唐山:华北理工大学,2019.
 [11] 石宝峰,程砚秋,王静.变异系数加权的组合赋权模型及科技评价实证[J].科研管理,2016,37(5):122-131.
 [12] 镇常青.多目标决策中的权重调查确定方法[J].系统工程理论与实践,1987(2):16-24,30.
 [13] 李刚,李建平,孙晓蕾,等.主客观权重的组合方式及其合理性研究[J].管理评论,2017,29(12):17-26,61.
 [14] 蒋宇,单鸿涛,袁建平,等.基于改进 AHP- 熵博弈赋权的输变电工程评价[J].测控技术,2018,37(6):121-125.
 [15] 木桶理论在安全生产中的应用[J].中国安全生产科学技术,2017,13(3):193.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com