

基于VIKOR法建筑垃圾绿色化企业评价体系分析及应用

邵维佳 张李平 郑平芳

福建林业职业技术学院

摘要：首先本文介绍了国内的建筑垃圾绿色化必要性及迫切性，利用建筑垃圾绿色化企业生产的再生骨料、再生混凝土制品，分别从生产性指标、耗能指标、施工指标进行了分析，建立了两者的绿色化评价指标体系；其次，介绍了VIKOR评价方法原理及其评价步骤；最后，通过5家建筑垃圾绿色产业进行示例展示，利用VIKOR法评价建筑垃圾绿色化企业再生骨料方面的能力水平。

关键词：VIKOR；建筑垃圾；绿色化企业；评价体系
【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.04.077

引言

根据《建筑垃圾处理技术标准》（CJJT134—2019）规定，建筑垃圾指的是“工程渣土、工程垃圾、工程泥浆、拆除垃圾及装修垃圾等的总称^[1]，包括新建、扩建、改建及拆除各类建筑物、构筑物、管网等以及居民装饰装修房屋过程中所产生的弃土、弃料及其他废弃物，不包括经检验、鉴定为危险废物的建筑垃圾”^[2]。

目前，我国建筑垃圾逐年增加，数量约占到城市垃圾总量的30%~40%，大多数施工单位在建筑垃圾处理上是比较消极的，对于绿色施工的态度也是很被动地的，这样的态度使得施工单位处理建筑垃圾也较为随意^[3]。大部分建筑垃圾未经施工单位处理而直接露天堆放或者以填埋方式运至城市近郊或者附近农村。导致了越来的越多的建筑垃圾占用了大量土地，消耗大量建设经费，且在清理、转运、堆放、填埋这些建筑垃圾过程中造成各种环境污染^[4]。

建筑垃圾转化为绿色化再生材料，无论从改善环境上、级资源再生上都是亟待解决的问题。国家及地方也已开始推行了相关政策，我国一些城市开始试点建筑垃圾绿色化举措，确实也取得了一定的成效^[5]。但我国建筑垃圾绿色化程度刚刚起步，数据表明，建筑垃圾资源利用率不足10%，绝大多数建筑垃圾属于浪费状态，我们国家建筑垃圾绿色之路任重道远^{[6][7]}。

一、建筑垃圾绿色化企业再生材料评价指标体系

近些年来，随着循环经济的发展，建筑垃圾绿色化企业也随之发展起来，但如何评价建筑垃圾绿色化企业的指标体系仍有待研究。建筑市场上最常用到的再生材料包括：再生骨料、再生混凝土制品，本文针对三种产品分别从生产性指标、耗能指标、施工指标进行了分析，建立了两者的绿色化评价指标体系。

（一）企业再生骨料绿色化评价体系

常见的再生骨料主原材料：废混凝土，废砖^[8]。

1. 生产指标，包括建筑垃圾留废去害能力指标、产品标准性指标、设备的性能指标、生产噪音指标、原材料固废利用率指标，共计5个指标：（1）建筑垃圾留废

去害能力指标：能够将建筑垃圾中废弃的原材料加以利用，同时能够去掉有害物质的能力^[9]；（2）产品标准性指标，再生材料的产品标准必须符合被替换产品的质量标准要求^[10]；（3）设备性能指标，采用的加工设备必须要符合建筑垃圾处置设备性能与工艺标准^[11]；（4）生产噪音指标，再生材料的在筛选破碎过程中会产生生产噪音^[12]，符合《工业企业厂界环境噪声排放标准》的排放标准；（5）原材料固废利用率指标，利用生产将建筑垃圾绿色化程度，属于建筑垃圾生产性指标很重要的评价要素。

2. 耗能指标，指单位产品能耗及排废，包括：单位再生材料耗能量指标、单位再生材料废水量指标、单位再生材料废气量指标^[8]。

3. 施工指标：快速施工指标，清洁施工指标。

（二）企业再生混凝土制品绿色化评价体系

再生混凝土所需主原材料包括：废混凝土、废砖所制再生骨料、胶凝材料、掺合剂等。

1. 生产指标，包括产品的放射性指标、混凝土强度等级质量指标、设备的性能指标、再生混凝土使用替代率指标，共计4个指标：（1）产品放射性指标，根据GB 6566—2001《建筑材料放射性核素限量》要求执行^[8]；（2）混凝土强度等级质量指标，再生混凝土强度等级必须符合被替换产品的质量标准要求；（3）设备性能指标，采用的加工设备必须要符合混凝土拌制设备性能与工艺标准；（4）再生混凝土使用替代率指标，在实际的建设生产中实际能够取代普通混凝土的比率。

2. 耗能指标：单位再生材料耗能量指标、单位再生材料废水量指标、运输过程碳排放量指标。

3. 施工指标：快速施工指标，耐久性指标、可循环指标。

二、VIKOR方法介绍及应用

（一）VIKOR法概念

VIKOR法，不是求最满意解，而是从“群体效益最大”和“个别遗憾最小”两者间寻求折中的一种决策方法。属于一种妥协后的决策，也是比较容易被决策者用于现实中无法达到最优或最满意情况是采用的妥协决策

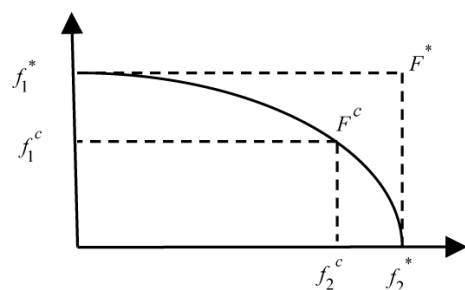


图1 VIKOR法取得妥协解示意图

方法。方法的原理主要是：第一步，找到正理想解和负理想解；第二步，对比评价对象与正理想解和负理想解之间的差距，通过差距大小进行排序^{[13][14]}。

图1中， f_1^* 为正理想解， f_2^* 为负理想解， F^c 为妥协解， F^* 为最优解， F^c 是妥协解与 F^* 最优解相距最近解，属于经过妥协之后的“最优解”，妥协量为 $f_1^*-f_1^c$ 与 $f_2^*-f_2^c$ ^{[13][14]}。

(二) VIKOR法原理

(1) 预处理 m 个对象 n 个指标之下的 x_{ij} ,

$$\text{代入公式 } f_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}。$$

(2) 计算 f_1^* 与 f_2^*

$$f_i^* = [(\max_j f_{ij} | i \in I_1), (\min_j f_{ij} | i \in I_2)] \forall i$$

$$f_i^- = [(\min_j f_{ij} | i \in I_1), (\max_j f_{ij} | i \in I_2)] \forall i$$

其中 f_i^* 表示的是第 i 个指标标准化后的最大值， f_i^- 表示的是第 i 个指标标准化后的最小值， I_1 及 I_2 分别表示的是效益指标集合、成本指标集合。

(3) 求解评价对象指标全面评估值 g_{ij} 、 S_j 值及 R_j 值

$$g_{ij} = w_i(f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \quad \forall j$$

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i(f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) = \sum_{i=1}^n g_{ij} \max \quad \forall j$$

$$R_j = \max_i [w_i(f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)] = \max_i g_{ij} \quad \forall j$$

(4) 对评价对象进行求解，能够获取到VIKOR值 Q_j

$$Q_j = v(S_j - S^*) / (S^- - S^*) + (1-v)(R_j - R^*) / (R^- - R^*) \quad \forall j$$

上式 Q_j 为第 j 个评价对象所对应的VIKOR具体值， $S^* = \min S_j$ ， $S^- = \max S_j$ ， $R^* = \min R_j$ ， $R^- = \max R_j$ ，即 S^* 为群体最大效用值， R^* 为群体当中的最小遗憾值， v 表示的是决策者偏好的决策机制系数，大小通常为0.5。

通过VIKOR法的运算步骤得到 Q_j 值，通过 Q_j 值的进行排序时，即优越阈值及决策可靠性。

(三) 建筑垃圾绿色化企业评价示例

以本文以企业的再生骨料最为评价目标为例，根据上文的评价指标的分析，整理如表所示：

表1 再生骨料评价指标体系

再生材料类别	能力单元	能力要素
再生骨料	a ₁ 生产指标	a ₁₁ 建筑垃圾留废去害能力指标
		a ₁₂ 产品标准性指标
		a ₁₃ 设备的性能指标
		a ₁₄ 生产噪音
		a ₁₅ 原材料固废利用率
	a ₂ 耗能指标	a ₂₁ 单位再生材料耗能量
		a ₂₂ 单位再生材料废水量
		a ₂₃ 单位再生材料废气量
	a ₃ 施工指标	a ₃₁ 快速施工
		a ₃₂ 清洁施工

1. 计算指标权重 本文采用主观直接进行赋权，能够获得各项指标权重。具体见下表。

表2 再生骨料评价指标指标的主权重

能力单元	权重	能力要素	权重	总权重
a ₁	0.5000	a ₁₁	0.1783	0.0892
		a ₁₂	0.3216	0.1608
		a ₁₃	0.1463	0.0731
		a ₁₄	0.1252	0.0626
		a ₁₅	0.2284	0.1142
a ₂	0.3000	a ₂₁	0.5400	0.1620
		a ₂₂	0.3100	0.0930
		a ₂₃	0.1500	0.0450
a ₃	0.2000	a ₃₁	0.6500	0.1300
		a ₃₂	0.3500	0.0700

2. 对各个指标值进行标准化，通过公式，把 $m=5$,

$$n = 10 \text{ 代入 } f_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}, i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$$

对所提取的3个备选原始数据实施标准化处理，具体见下表。

表3 经过标准化处理后的5家再生骨料企业能力指标值

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
a ₁₁	0.0185	0.0157	0.0234	0.0085	0.0057
a ₁₂	0.0154	0.0178	0.0199	0.0154	0.0078
a ₁₃	0.0292	0.0188	0.0275	0.0092	0.0088
a ₁₄	0.0186	0.018	0.0292	0.0086	0.0048
a ₁₅	0.0274	0.0217	0.0152	0.0174	0.0124
a ₂₁	0.027	0.0149	0.0266	0.035	0.0154
a ₂₂	0.0252	0.0139	0.0252	0.0252	0.0121
a ₂₃	0.0189	0.0188	0.0218	0.0189	0.0211
a ₃₁	0.0156	0.0216	0.0205	0.0156	0.0276
a ₃₂	0.0205	0.0169	0.0292	0.0105	0.0169

3. 确定理想解及负理想解

$$f_i^* = [(\max_j f_{ij} | i \in I_1), (\min_j f_{ij} | i \in I_2)] \forall i$$

$$f_i^- = [(\min_j f_{ij} | i \in I_1), (\max_j f_{ij} | i \in I_2)] \forall i$$

f_{ij} 表示的是经过标准化处理之后的第 i 个指标的评估值， f_i^* 表示的是经过标准化处理之后的最大值， f_i^- 表示的是经过标准化处理之后的最小值。根据上表数据求得：

$$f_i^* = (0.0234, 0.0199, 0.0292, 0.0292, 0.0274, 0.0350, 0.0252, 0.0218, 0.0276, 0.0292)$$

$$f_i^- = (0.0057, 0.0078, 0.0088, 0.0048, 0.0124, 0.0149, 0.0121, 0.0188, 0.0156, 0.0105)$$

4. 计算 S_j 和 R_j 的值 根据公式，可以计算出 S_j 和 R_j 的值。如表5所示。

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i(f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \quad \forall j$$

$$R_j = \max [w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)] \quad \forall j$$

在式当中： S_j 、 R_j 分别代表的是第j个能力评估值和正理想解加权之间存在的实际距离情况及和负理想解之间存在的加权距离。

5. 对 Q_j 进行计算 通过公式即可求出。具体见表5-6。

$$Q_j = v(s_j - s^*) / (s^- - s^*) + (1-v)(R_j - R^*) / (R^- - R^*) \quad \forall j$$

式中 Q_j 表示第j家备选再生骨料企业能力的VIKOR值。其中， $S^* = \min S_j$ ， $S^- = \max S_j$ ； $R^* = \min R_j$ ， $R^- = \max R_j$ ，即 S^* 及 R^* 分别为再生骨料企业能力最大效用及最小遗憾， v 表示的是最大群体效用权重，通常可定为0.5。根据数据及公式计算综合评价值，具体见下表：

表4 5位再生骨料企业能力指标综合评价值及其排序

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
a_{11}	0.0525	0.0200	0.0340	0.0225	0.0125
a_{12}	0.0419	0.0240	0.0311	0.0219	0.0120
a_{13}	0.0170	0.0302	0.0530	0.0070	0.0270
a_{14}	0.0422	0.0232	0.0137	0.0122	0.0132
a_{15}	0.0413	0.0234	0.0359	0.0213	0.0113
a_{21}	0.0430	0.0456	0.0366	0.0230	0.0330
a_{22}	0.0534	0.0432	0.0683	0.0334	0.0324
a_{23}	0.0134	0.0340	0.0534	0.0132	0.0134
a_{31}	0.0430	0.0343	0.0423	0.0230	0.0300
a_{32}	0.0433	0.0345	0.0379	0.0133	0.0121
S_j	0.2432	0.2189	0.4157	0.2002	0.1832
R_j	0.0359	0.0443	0.0983	0.0259	0.0232

根据VIKOR法的排序原理，可以得出再生骨料企业能力的次序，因为此次主要是对5位展开研究，则 $J=5$ ，门槛值 $1/(J-1)=1/4=0.25$ ，按照以上法则排序，得到它们再生骨料企业能力的排序结果，选择决策系数 $v=0.5$ ，根据公式计算得 Q_j ，并进行逐一对比排序。

表5 3位再生骨料企业能力VIKOR值及其排序

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
Q_j	0.3381 (3)	0.4003 (2)	1.0000 (1)	0.2222 (4)	0.2109 (5)

(1) 对 Q 值排序第一的 P_3 ，有 $Q_3 - Q_2 = 0.5997 > 0.25$ 且有 $S^3 > S^2$ ， $R^3 > R^2$ ，即同时符合条件1（优越阈值）及条件2（决策可靠性），所以可得 P_3 企业强于 P_2 企业。

(2) 由于 $Q_2 - Q_1 = 0.0622 < 0.25$ ，且有 $S^2 > S^1$ ， $R^2 > R^1$ ，在不符合条件1（优越阈值）然而却符合条件2（决策可靠性），那么责任 Q 值相当，企业能力水平相差无几。

(3) 依此类推，即能够获得再生骨料企业能力相对强弱情况。具体为：

$$P_3 > P_1, P_2, P_4, P_5$$

通过示例展示VIKOR法计算原理，即可评价5个再生骨料企业的能力。

三、结语

(1) 本文未对国内的建筑垃圾绿色化企业现状及存在问题进行分析，并有针对性提出具体措施及途径。

(2) 本文未对建筑垃圾绿色化市场价值的可行性进行分析，建筑垃圾绿色化的相关企业发展趋势仍需进一步调查研究。

(3) 本文未能将建筑垃圾绿色化企业能力的各个评价指标性能优化提出合理性建议，故而，针对各个指标性能仍需进一步深入研究。

(4) VIKOR作为评价方法的应用仍存它的局限性，无法实现全排序功能，对该方法的改进仍需进一步完善。

参考文献

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑垃圾处理技术标准: CJJT134—2019[S]. 中国建筑工业出版社, 2019.

[2] 尚方剑. 建筑垃圾全过程电子联单管控研究[M]. 北京交通大学, 2020.

[3] 李程. 新时期绿色施工中的建筑垃圾减量化技术管理探讨[J]. 四川建筑, 2021, 41(S1): 184-186.

[4] 时乐. 我国建筑垃圾现状分析及其资源化利用进程发展[J]. 建材与装饰, 2020, (10): 161-162.

[5] 荣玥芳, 孙晓赜, 张新月. “无废”理念下建筑垃圾资源化利用管理[J]. 城市建筑, 2021, 18(25): 16-20.

[6] 赵军, 靳玉飞. 建筑垃圾对环境的影响及对策[J]. 河南科技, 2008, (06): 36-37.

[7] 贺艳萍. 建筑垃圾减量化管理方法和博弈分析[M]. 重庆大学, 2011.

[8] 杨晓婧, 王凯, 吴元. 再生建筑材料的绿色化评价体系研究[J]. 新型建筑材料, 2019, 04: 19+42.

[9] 韦志功, 王彦成. 建筑材料放射性检测与控制分析[J]. 四川水泥, 2014, 41(03): 85-87.

[10] 熊博, 张丽艳, 尹津航, 黄向春. 国内外混凝土天然骨料质量评价标准的初步对比分析[J]. 水利水电工程, 2019, 38(04): 42-44.

[11] 秦瑞聪. 废弃沥青混凝土再生骨料表面改性加工实验研究[M]. 华侨大学, 2021.

[12] 过树清. 水泥工业设备的噪音环保治理技术研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2020(12): 46-47.

[13] 邵维佳. 基于VIKOR法的高职院校BIM实训教师信息化专业能力评价[J]. 花炮科技与市场, 2019(6): 79-97.

[14] 邵维佳. 基于VIKOR法的全排序模型的构建及在薪酬满意度评价中的应用[M]. 哈尔滨理工大学, 2011.

基金项目: 福建省教育厅中青年教师教育科研项目(科技类) - BIM技术在福建省建筑废弃物减量化优势分析(JAT201122)

作者简介: 邵维佳(1985-)女, 汉族, 黑龙江省大庆市, 实验师, 硕士。研究方向: 工程造价。

张李平(1987-)男, 汉族, 陕西省延安市, 讲师, 学士。研究方向: 工程测量 地理信息系统。

郑平芳(1984-)女, 汉族, 福建省莆田市, 副教授, 硕士。研究方向: 工程管理。