

基于 ELECTRE III 的建筑废弃物资源化处理 企业选址优化研究

——以广州番禺、南沙区为例★

刘景矿, 马燕玲, 庞永师, 周伟珊, 聂宇萍

(广州大学工商管理学院, 广州 510006)

摘要: 建筑废弃物资源化处理企业选址的优化, 由社会、环境、经济三个方面的条件决定, 必须通过基于跨学科理解的方法来整合一系列因素实施, 而多标准分析的应用可以将各个方面整合成统一的评估程序。本文通过实施多标准分析方法——ELECTRE III, 科学地为建筑废弃物资源化处理系统作出合理规划, 为广州市番禺区、南沙区及类似城市范围的建筑废弃物处置提供选址参考。

关键词: 建筑废弃物; 资源化处理; 多标准分析方法; ELECTRE III; 净可信用度

The Optimization of the Site Selection of the Companies Majored in Resourceful Disposal of Construction Waste Based on ELECTRE III——A Case Study of Guangzhou Panyu and Nansha Districts

LIU Jing-kuang, MA Yan-ling, PANG Yong-shi, ZHOU Wei-shan, NIE Yu-ping

(School of Business Administration, Guangzhou University, Guangzhou 510006)

Abstract: The optimization of the site selection of the companies majored in resourceful disposal of construction waste is decided by comprehensive analysis of social, environmental and economic factors, which should be integrated through an interdisciplinary approach and multi-standard analysis can be adopted to integrate the various aspects into a unified assessment process. The multi-standard analysis method -Electre III is employed to scientifically establish a feasible planning for the construction waste resourceful disposal system, so as to offer a reference for the site selection of the corresponding companies in Panyu and Nansha Districts of Guangzhou and their similiar cities.

Key words: construction waste; resourceful disposal; multi-standard analysis; ELECTRE III; credibility

0 引言

目前, 我国正处于全面城市化建设阶段, 工业化、城镇化进程日益加快, 建筑业得到了快速发展, 旧城改造、房屋建筑、基础设施兴建的同时, 也产生了大量的建筑废弃物。但是, 将“建筑废弃物”笼统地称为“建筑垃圾”是不正确的, 建筑废弃物是错放的资源, 本身是社会可以利用的一笔巨额财富, 是一座“城市矿山”。根据相关

文献显示^[1-2], 我国每年将新增 15 亿吨以上建筑废弃物, 预计至 2020 年我国建筑废弃物产量将达到峰值。我国处于全面城市化建设阶段, 且与发达国家相比城市化率处于较低水平, 城市化建设还会持续较长时间, 对于建筑材料的需求与建筑废弃物的产量都呈现上升趋势, 如果能够抓住机遇, 把“建筑废弃物”这座矿山变废为宝, 无论是从资源利用还是环境保护的角度出发对地区乃至国家的经济、环境、社会等发展都有着积极的意义^[3-4]。

★基金项目: 国家自然科学基金项目 (71501052); 第十四届“挑战杯”广东大学生课外学术科技项目

建筑废弃物是固体废弃物，此类选址问题一直被认为是多准则决策问题^[5-6]，通过运用 ELECTRE III 方法对备选方案进行净可信度得分排序，建立起一个科学可行的建筑废弃物资源化处理企业选址的方法，为广州番禺、南沙及其他类似地区的建筑废弃物资源化处理企业选址提供参考。

1 ELECTRE III 方法基本原理

对于可能解的方案 $a_i, i=1,2,\dots,n$ ，评估标准的数量 $g_j, j=1,2,\dots,r$ 。评估标准下的方案属性值为 $a_{ij}, i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,r$ ，为了不失去指标的一般性，设 a_{ij} 均为效益型。对于正数的成本型准则，则在其前面加符号成为效益型。

(1) 阈值

ELECTRE III (Roy, 1978) 使用三个不同的阈值，其中包含大多数影响评估所固有的不确定性。对于任何给定的环境标准，三个阈值如下：

①无差异阈值 q ，当方案属性值 a_{ij} 和 a_{kj} 的值之差低于 q_j 时，决策者对两个方案在准则 j 下的估值无差异。

②偏好阈值 p ，当方案属性值 a_{ij} 和 a_{kj} 的值之差高于 p_j 时，决策者表示在准则 j 下对该方案相比于另一个方案有明显的偏好。

③否决权阈值 v ，其中当方案属性值 a_{ij} 和 a_{kj} 的值于大于 v_j 时，要求决策者否定由其他标准指示的任何可能的排名关系。

一般情况，在准则 j 下有： $0 \leq q_j \leq p_j \leq v_j$ 。

(2) 指标权重系数

标准 j 的重要性系数 k_j 表示在准则 j 下的相对重要性，该值取决于决策者的偏好。

(3) 定义和谐性指数和不和谐性指数

定义 1：和谐性指数 $C(l, k)$ 是指在属性 j 上 a_i 优于 a_j 的程度。

$$C(l, k) = \sum_{j=1}^r w_j C_j(l, k) / \sum_{j=1}^r w_j \quad (1)$$

(1) 式中：

$$C_j(l, k) = \begin{cases} 1 & \text{if } a_{ij} + q_j \geq a_{kj} \\ 0 & \text{if } a_{ij} + p_j \geq a_{kj} \\ \frac{p_j + a_{ij} - a_{kj}}{p_j - q_j} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

定义 2：不和谐性指数 $d_j(l, k)$ 是指在属性 j

拒绝“ a_j 级别高于 a_k ”，即指方案 a_j 劣于方案 a_k 的程度。

$$d_j(l, k) = \begin{cases} 0 & \text{if } a_{kj} \leq a_{ij} + p_j \\ 1 & \text{if } a_{kj} \geq a_{ij} + v_j \\ \frac{a_{kj} - a_{ij} - p_j}{v_j - p_j} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

(4) 定义赋值的级别高于关系

定义 3：赋值的级别高于关系，用可信度 $S(l, k)$ ，它表示的是“ a_i 优于 a_j ”的可信度。

$$S(l, k) = \begin{cases} C(l, k) & \text{if } J(l, k) = \Phi \\ C(l, k) \prod_{j \in J(l, k)} \frac{1 - d_j(l, k)}{1 - c(l, k)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

(4) 式中 $J(l, k)$ 是所有 $d_j(l, k) > C(l, k)$ 的属性的集合。

(5) 排序

在 ELECTRE III 中，方案的排序要建立一个门槛值，而该值具有难以确定、计算繁琐和不能完全排序等局限性，所以本文引入一致可信度，非一致可信度和净可信度，将方法简化了计算，提高了可信度，实现了完全排序^[7-9]。内容如下：

①定义一致可信度、非一致可信度、净可信度

定义 4：一致可信度 $\Phi^+(a_j)$ 是指方案 a_j 优于其他所有方案的可靠程度。

$$\Phi^+(a_j) = \sum_{a_k \in K} S(a_j, a_k), \quad \forall a_j \in K \quad (5)$$

定义 5：非一致可信度 $\Phi^-(a_j)$ 是指方案 a_j 劣于其他所有方案的可靠程度。

$$\Phi^-(a_j) = \sum_{a_k \in K} S(a_k, a_j), \quad \forall a_j \in K \quad (6)$$

定义 6：净可信度 $\Phi(a_j)$ 是指方案 a_j 优于其他方案的程度，是一致可信度与非一致可信度的差值。

②实现完全排序

根据方案的净可信度 $\Phi(a_j)$ 大小，对所有的备选方案进行排序。

2 广州市番禺区、南沙区建筑废弃物资源化利用处理企业的初步选址

广州市南部区域为番禺区、南沙区，经调研发现，大多数在建工程集中在此区域，因此选择

此片区域进行选址研究更具代表性。根据《广州市建筑废弃物消纳场布局规划(2012年~2020年)》以及广州市城管委就建筑废弃物消纳场布局规划环境影响报告书编制项目发行的公开招标文件,确定了广州市内的项目候选用地位置,结合本文研究情况,广州南部(番禺区、南沙区)的候选用地位置有以下五个(图1):

- (1) 大石会江 (N 22°59′ 55.0″, E 113°17′ 25.8″)。
- (2) 沙湾西坑尾 (N 22°53′ 47.4″, E 113°19′ 6.7″)。
- (3) 东涌三沙 (N 22°53′ 39.50″, E 113°29′ 19.30″)。
- (4) 榄核八沙 (N 22°50′ 31″, E 113°18′ 20″)。
- (5) 大岗装备基地 (N 22°45′ 31.5″, E 113°27′ 55.0″)。



图1 五个备选地址在番禺区、南沙区的位置

以上五个备选地址均满足以下规定:

- (1) 资源化处理企业到邻近城镇的距离。企业的选址必需尽可能地远离任何一个城镇,减少5 km 辐射范围内影响的居民数量。
- (2) 资源化处理企业到保护区的距离。企业的选址必需远离当地政府保护的天然区域和政府规划的保护区。
- (3) 资源化处理企业到主要公路的距离。主要公路包括市区干道和高速公路。靠近主要公路的选址节省了运输费用和减少对经过城镇的滋扰。
- (4) 资源化处理企业应邻近工业园区。当地

政府会更加倾向考虑这些公共设施完善程度高的地方。

- (5) 资源化处理企业应符合土地规划。

3 广州市番禺区、南沙区建筑废弃物资源化处理企业设施优化选址

考虑经济可持续性、社会发展、社会接纳度、对周围环境等方面的影响,本文建立了经济效益、社会效益、环境效益三方面的目标来综合评判选址问题。经济目标考虑建筑废弃物的收集运输费用、再生产产品外运费用最小,即处理中心到废弃物产生地、再生品需求市场的运输距离最短^[9]。社会目标则考虑在建筑废弃物运输处理过程中带来的噪音污染、粉尘污染以及邻避效应问题^[10],充分接受民众意见,将其作为决策选址的重要考虑内容,使得选址更具社会接纳度。环境目标需考虑建筑废弃物处理中心对周边环境带来的影响,如堆放占用农田、有害物质(如石棉、塑料、二噁英)可能对自然环境造成的伤害及对城市市容市貌的影响^[11-12]。建筑废弃物资源化处理企业选址经济、环境和社会效益评价指标一览表见表1。

表1 建筑废弃物资源化处理企业选址经济、环境和社会效益评价指标一览表

指标类型	评价指标
经济类 <i>b</i>	距建筑废弃物生产源的距离 <i>b</i> 1
	距再生产品市场的距离 <i>b</i> 2
	运输道路的路况 <i>b</i> 3
	市政基础设施的完备程度 <i>b</i> 4
环境类 <i>c</i>	对当地生态系统的扰动 <i>c</i> 1
	土地退化 <i>c</i> 2
	景观退化 <i>c</i> 3
社会类 <i>d</i>	建筑废弃物运输对当地交通造成的负担 <i>d</i> 1
	噪音污染 <i>d</i> 2 务农人口数 <i>d</i> 3

建筑废弃物处置设施选址既要实现其经济目标,还要考虑到其对周边环境和社 会的影响。各种指标存在性质上的差异,不同指标可能无法进行对等补偿,并且多属性差异叠加会使结果发生变化。并且在实际生活问题中一般数据十分差的方案也不被考虑或要加以改善。为了使相互联系和相互制约的因素都能得到最佳的协调、配合和

满足，本文采用了多标准分析方法——ELECTRE III，希望获得科学的建筑废弃物资源化处理的优化地点^[13]。本文中均用 w_1 、 w_2 、 w_3 、 w_4 、 w_5 分别表示大石会江、沙湾西坑尾、东涌三沙、榄核八沙、大岗装备基地五个备选址。

(1) 确定阈值和权重

此选址问题中各评价指标的无差异阈值 q_i 、偏好阈值 p_i 、否定阈值 v_i 通过下式计算来确定^[14-17]：

$$p_i = \frac{1}{n} [g_j(a)_{max} - g_j(b)_{max}] \quad (7)$$

$$q_i = 0.3p_i \quad (8)$$

$$v_i = np_i \quad (9)$$

而各指标的权重系数是通过引用建筑废弃物资源化处理企业选址优化研究调查报告并结合调研计算所得^[18]。各指标的权重系数、无差异阈值、偏好阈值和否定阈值见表 2 所示。根据选择的标准来比较各个方案的效用值见表 3。

表 2 各评价指标权重系数及阈值一览表

评价指标	权重系数	偏好 阈值 p_i	无差异 阈值 q_i	否定 阈值 v_i
b1	0.047 7	2.96	0.888	14.8
b2	0.055 3	2.42	0.726	12.1
b3	0.049 7	0.4	0.12	2
b4	0.061 0	0.8	0.24	4
c1	0.148 3	1.4	0.42	7
c2	0.127 6	0.8	0.24	4
c3	0.051 4	0.8	0.24	4
d1	0.037 0	0.6	0.18	3
d2	0.039 6	1.4	0.42	7
d3	0.073 3	0.114 08	0.034 224	0.570 4

表 3 经济、环境、社会效益评价指标的效用值

评价指标	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	准则 类型
b1	21.9	10.9	7.1	11.1	11.3	成本型
b2	15.4	3.7	3.6	3.3	5.6	成本型
b3	8	7	7	6	6	效益型
b4	5	4	8	6	8	效益型
c1	8	9	2	6	3	成本型
c2	2	4	5	5	6	成本型
c3	5	9	7	7	6	成本型
d1	6	8	5	6	5	成本型
d2	8	9	2	6	3	成本型
d3	94.74%	41.98%	96.10%	99.02%	76.34%	效益型

(2) 计算和谐性指数

以 (1) 式计算和谐性指数，得出和谐矩阵见表 4。

表 4 和谐矩阵

$S(w_i, w_j)$	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5
w1	1.000 00	0.850 92	0.437 11	0.479 27	0.437 11
w2	0.260 09	1.000 00	0.336 66	0.405 70	0.405 70
w3	0.668 98	0.815 31	1.000 00	1.000 00	0.925 60
w4	0.668 98	0.743 38	0.445 22	1.000 00	0.511 80
w5	0.562 89	0.687 91	0.347 09	0.634 85	1.000 00

(3) 计算不和谐性指数

以 (3) 式计算不和谐性指数，在此选用准则 b_1 、 b_2 、 b_3 、 d_3 下的不和谐矩阵如表 5~表 8。

表 5 准则 b_1 下不和谐矩阵

b_1	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5
w1	0.000 0	0.679 1	1.000 0	0.662 2	0.645 3
w2	0.000 0	0.000 0	0.070 9	0.000 0	0.000 0
w3	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
w4	0.000 0	0.000 0	0.087 8	0.000 0	0.000 0
w5	0.000 0	0.000 0	0.104 7	0.000 0	0.000 0

表 6 准则 b_2 下不和谐矩阵

b_2	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5
w1	0.000 0	0.958 7	0.969 0	1.000 0	0.762 4
w2	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
w3	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
w4	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
w5	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0

表 7 准则 b_3 下不和谐矩阵

b_3	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5
w1	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
w2	0.375 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
w3	0.375 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
w4	1.000 0	0.375 0	0.375 0	0.000 0	0.000 0
w5	1.000 0	0.375 0	0.375 0	0.000 0	0.000 0

表 8 准则 d_3 下不和谐矩阵

d_3	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5
w1	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
w2	0.906 2	0.000 0	0.936 0	1.000 0	0.503 0
w3	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
w4	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
w5	0.153 2	0.000 0	0.183 0	0.247 0	0.000 0

(4) 计算赋值的级别高于关系

按 (4) 式计算得赋值级别高于关系矩阵即可信度得分矩阵如表 9。

表 9 各选址方案的可信度得分矩阵

$S(w_i, w_j)$	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5
w_1	1.000 00	0.241 25	0.000 00	0.000 00	0.026 41
w_2	0.000 00	1.000 00	0.000 00	0.000 00	0.000 00
w_3	0.628 42	0.814 70	1.000 00	1.000 00	0.925 36
w_4	0.000 00	0.742 52	0.410 66	1.000 00	0.510 17
w_5	0.000 00	0.689 18	0.332 74	0.636 73	1.000 00

(5) 计算一致可信度、非一致可信度、净可信度

将表 9 的计算结果代入式 (5) ~式 (6)，得到 5 个被评项目的一致可信度、非一致可信度、净可信度，结果见表 10。

表 10 5 个项目的一致可信度 Φ^+ 、非一致可信度 Φ^- 、净可信度 Φ

项目	Φ^+	Φ^-	Φ
w_1	1.261 8	1.631 6	-0.369 7
w_2	1.000 0	3.482 5	-2.482 5
w_3	4.372 5	1.747 4	2.625 1
w_4	2.670 3	2.634 8	0.035 5
w_5	2.655 0	2.463 4	0.191 6

(6) 方案的净可信度排序

根据 ELECTRE III 的评价方式，各个选址方案的净可信度得分矩阵如表 11 所示。根据各方案的净可信度得分，分数由高到低的选址方案为东涌三沙、大岗装备基地、榄核八沙、大石会江、沙湾西坑尾，因此选址东涌三沙作为广州南部区域（番禺、南沙）的建筑废弃物资源化处理企业选址。

表 11 各选址方案的净可信度得分及排序

方案	净可信度得分	方案排序
w_1	-0.360 8	4
w_2	-2.487 6	5
w_3	2.625 1	1
w_4	0.026 6	3
w_5	0.196 7	2

4 结论

本文引入 ELECTRE III 方法进行建筑废弃物资源化企业选址方案决策，根据净可信度得分排序

确定东涌三沙（得分：2.625 1）为广州建筑废弃物资源化处理企业最终选址。然而，阈值和权重通过专家打分获取，取值过于主观，应用该方法难免存在一定的误差，为避免专家主观性误差，可结合多目标群决策、熵值理论等进一步深入研究。

参考文献

- [1] 宗兰, 朱秀, 曹魏, 等. 碎砖类骨料再生混凝土砌块砖的研究综述 [J]. 江苏建材, 2015 (4): 25-27.
- [2] 王宇静, 罗越, 李建刚, 等. 我国建筑垃圾管理现状与先进管理经验借鉴研究 [J]. 绿色科技, 2014 (6): 244-249.
- [3] W.Zhao,R.B.Leeftink,V.S.Rotter.Evaluation of the economic feasibility for recycling of construction and demolition waste in China - The case of Chongqing [J]. Resource ,Conservation and Recycling , 2010 (54) :377-389.
- [4] 周达. 我国循环经济政策现状、环境、及导向研究 [J]. 兰州商学院学报, 2010 (2) :44-48.
- [5] GeorgiosBaniias,CharisiosAchillas, ChristosVlachokostas, NicolasMoussiopoulos, Sokratis Tarsenis.Assessing multiple criteria for the optimal location of a construction and demolition waste management facility [J]. Building and Environment , 2010 (45) :2317-2326.
- [6] M.R. Khadivi, S.M.T. FatemiGhomi, Solid waste facilities location using of analytical network process and data envelopment analysis approaches [J]. Waste Management, 2010 (32) :1258-1265.
- [7] 季泰. 城市生活固体废弃物处置规划和场地选址方向探讨 [J]. 理论探讨, 2007 (3) :1-5.
- [8] 王瑛, 王娜, 肖薇. 基于随机森林赋权和改进 ELECTRE-III 方法的科技奖励评价研究. [J]. 湖南大学学报 (自然科学版), 2015 (3) :140-144.
- [9] 张铁峰, 苑津莎, 李中, 王江涛. 基于 ELECTRE III 的配电网规划辅助决策 [C]. 电工理论与新技术学术年会, 2005: 486-489.
- [10] 吕新福, 蔡临宁, 曲志伟. 废弃物回收物流中的选址-路径问题 [J]. 系统工程理论与实践, 2005 (5) :89-94.
- [11] 张相和. 基于邻避效应的垃圾处理场选址博弈研究 [J]. 统计与决策, 2010 (20): 45-49.
- [12] 邵国霞, 刘丹. 模糊多属性决策在垃圾卫生选埋场选址

超疏水表面抗霜性能的研究进展

何松

(广东工业大学土木与交通工程学院, 广州 510006)

摘要: 霜层的积累在空调、航天和输电领域导致了经济问题, 有的甚至影响设备的正常运行。本文概括了超疏水材料抗结冰、结霜的原理, 介绍了几种常用的超疏水表面的制备方法, 分析了影响超疏水表面疏水性能的主要因素并探索克服不利因素的方法, 指出提高冷表面温度和降低环境湿度是提升超疏水表面抗霜性能的有效途径, 以期为工程实践提供基本理论依据。

关键词: 超疏水表面; 抗结霜; 接触角; 滚动角

The Research Progress of Anti-frosting Properties of Super Hydrophobic Surface

HE Song

(School of Civil and Transportation Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006)

Abstract: The accumulation of frost in the fields of air conditioning, aerospace and electricity transmission leads to some economic problems, and even affects the normal operation of the corresponding equipments. In this paper, the principles and commonly used preparation methods of super hydrophobic materials/surfaces against freezing and frosting are generalized. The factors influencing the surface hydrophobicity and corresponding measures to overcome the unfavorable factors are analyzed. It is suggested that the increasing of the temperature for the the cold surface and reducing the humidity are effective approaches to enhance the anti-frost performance of super-hydrophobic surface, which provides fundamental reference for engineering practice.

Key words: super hydrophobic surface; anti-frosting; contact angle; sliding angle

0 引言

随着社会的发展, 空调已经成为必不可少的

环境控制设备。目前空气源热泵已经成为国内居民建筑应用最广泛的空调设备, 其具有运行成本

中的应

中的应用 [J]. 环境工程, 2005, 23 (3): 88-96.

[13] 马静玉, 薛志钢, 杨卫华, 等. 水泥行业 NO_x 的污染与减排 [J]. 环境工程, 2009 (S1): 331-333.

[14] Haralambopoulos D, Polatidis H. Renewable energy projects: structuring a multi-criteria group decision-making framework [J]. Renewable Energy, 2003 (28): 961-973.

[15] 杨一帆, 杜静. 海口市建筑废弃物处置系统优化研究 [J]. 工程管理学报, 2014 (5): 6-11.

[16] Roy B. Problems and methods with multiple objective functions multiple. Mathematical Programming [J]. Mathematical Programming, 1971, 1 (1): 239-266.

[17] Rogers M, Bruen M. Choosing realistic values of indifference, preference and veto thresholds or use with environmental criteria with in ELECTRE [J]. European Journal of Operational Research, 1998 (107): 542-551.

[18] 刘景矿, 庞永师, 聂宇萍, 等. 建筑废弃物资源化处理企业选址优化研究——以广州番禺、南沙区为例 [R]. 第十五届“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品, 2017.