

多层次分析法在建设“无废城市”定量评价中的应用

高术杰

(中国恩菲工程技术有限公司,北京 100038)

[摘要]“无废城市”是一种绿色发展、固废充分循环利用的城市管理理念,我国已经确定 11 + 5 个建设试点,涵盖了新区、开发区、国际合作、县级以及县级市等各具特色的城市发展路线。本文采用多层次分析法(AHP)分析“无废城市”建设指标的权重值,对于科学评价“无废城市”建设质量情况具有重要意义。

[关键词]“无废城市”建设;指标体系;多层次分析法

[中图分类号] X820

[文献标志码] B

[文章编号] 1003 - 8884(2021)01 - 0051 - 05

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2021.01.012

“无废城市”是以创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念为引领,通过推动形成绿色发展方式和生活方式,持续推进固体废物源头减量和资源化利用,最大限度减少填埋量,将固体废物环境影响降至最低的城市发展模式^[1],这也是落实“十九大”生态文明建设和“美丽中国”建设的重要战略要素^[2]。

本论文采用层次分析法建立某城市全域发展的评价指标体系的递阶层次关系并求出权重向量,建立该城市的“无废城市”评价指标权重大小,为“无废城市”建设提供科学的评估体系。

1 多层次分析法

1.1 多层次分析法原理及特点

层次分析法(AHP)是一种确定权重的科学方法,其基本原理就是把所要研究的复杂问题看作一个大系统,通过对系统的多个因素的分析,划出各因素间相互联系的有序层次;再请专家对每一层次各因素进行较为客观的判断后,相应给出相对重要性的定量表示;进而建立数学模型,计算出每一层次全部因素的相对重要性的权值,并加以排序;最后根据排序结果进行规划决策和选择解决问题的措施。利用 AHP 评价“无废城市”这种内容复杂、指标多、层次多的指标体系,能够反映出系统的决策特点,具有显著的优势。

1.2 多层次分析法建模步骤

层次分析法建模的步骤^[3]包括:建立递阶层次的结构模型;构造判断矩阵;层次单排序及一致性检验;层次总排序及一致性检验,具体实现如下:

1.2.1 建立递阶层次的结构模型

应用 AHP 分析决策问题时,首先要将分析对象层次化处理,构造出一个具有层次的结构模型,复杂问题被分解为按属性及关系形成若干层次的元素的组成部分,上一层次元素对下一层次有关元素起支配作用。

1.2.2 构造判断矩阵

层次结构反映了因素之间的关系,但不同指标在目标衡量中所占的比重并不一定相同。假设要比较 n 个因子 $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ 对某因素 G 的影响大小,可以采取对因子进行两两比较建立成对比较矩阵的办法。即每次取两个因子 x_i 和 x_j ,以 a_{ij} 表示 x_i 和 x_j 对 G 的影响大小之比,全部比较结果用矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 表示,称 A 为 $G - X$ 之间的判断矩阵。容易看出,若 x_i 和 x_j 对 G 的影响之比为 a_{ij} ,则 x_j 与 x_i 对 G 的影响之比应为 $a_{ji} = 1/a_{ij}$ 。关于如何确定 a_{ij} 的数值,可引用数字 1 ~ 9 及其倒数作为标度,如表 1 所示。

1.2.3 层次单排序及一致性检验

判断矩阵 A 对应于最大特征值 λ_{max} 的特征向量 W ,经归一化后即为一层次相应因素对于上一层次某因素相对重要性的排序权值,这一过程称为层次单排序。

上述构造判断矩阵的办法能减少其它因素的干扰,较客观地反映出一对因子影响力的差别。但综

[收稿日期] 2020 - 10 - 15

[作者简介] 高术杰(1986 -),男,山东龙口人,工程师,博士,主要从事市政固废处置的工程设计与研发工作。

表 1 判断矩阵中元素的赋值标准

a_{ij}	定义	a_{ij}	定义
1	A_i 和 A_j 同等重要	2	介于同等与略微重要之间
3	A_i 较 A_j 略微重要	4	介于略微与明显重要之间
5	A_i 较 A_j 明显重要	6	介于明显与十分明显重要之间
7	A_i 较 A_j 十分明显重要	8	介于十分明显与绝对重要之间
9	A_i 较 A_j 绝对重要		

合全部比较结果时,其中难免包含一定程度的非一致性。如果比较结果是前后完全一致的,则矩阵 A 的元素还应当满足:

$$a_{ij}a_{jk} = a_{ik}, \forall i, j, k = 1, 2, \dots, n$$

n 阶矩阵 A 为一致矩阵,当且仅当其最大特征

表 2 矩阵阶数 n 不同时对应的 RI 值

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.52

(3) 计算一致性比例 CR

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

当 $CR < 0.10$ 时,认为判断矩阵的一致性是可以接受的,否则应对判断矩阵作适当修正。

(4) 层次总排序及一致性检验

由以上几步我们得到的是一组元素对其上一层中某元素的权重向量。我们最终要得到各元素尤其是最低层中各方案对于目标的排序权重,从而进行方案选择。总排序权重自上而下地将单准则下的权重进行合成。

设上一层次(A层)包含 A_1, \dots, A_m 共 m 个因素,它们的层次总排序权重分别为 a_1, \dots, a_m 。又设其后的下一层次(B层)包含 n 个因素 B_1, \dots, B_n ,它们关于 A_j 的层次单排序权重分别为 b_{1j}, \dots, b_{nj} (当 B_j 与 A_j 无关联时, $b_{ij} = 0$)。现求 B 层中各因素关于总目标的权重,即求 B 层各因素的层次总排序权重

b_1, \dots, b_n , 如表 3 所示,即 $b_i = \sum_{j=1}^m b_{ij}a_j, i = 1, \dots, n$ 。

对层次总排序也需作一致性检验,检验仍像层次总排序那样由高层到低层逐层进行。这是因为虽然各层次均已经过层次单排序的一致性检验,各判断矩阵都已具有较为满意的一致性,但当综合考察

根 $\lambda_{max} = n$; 当 A 在一致性上存在误差时必有 $\lambda_{max} > n$, 并且,误差越大, $(\lambda_{max} - n)$ 的值越大。

我们可以由 λ_{max} 是否等于 n 来检验判断矩阵 A 是否为一致矩阵。由于特征根连续地依赖于 a_{ij} , 故 λ_{max} 比 n 大的越多, A 的非一致性程度也就越严重, λ_{max} 对应的标准化特征向量也就越不能真实地反映出 $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ 在对因素 G 的影响中所占的比重。因此,判断矩阵有必要作一次一致性检验。

对判断矩阵的一致性检验的步骤如下:

(1) 计算一致性指标 CI

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

(2) 查找相应的平均随机一致性指标 RI 。对 $n = 1, \dots, 9$, 给出了 RI 的值, 如表 2 所示:

表 3 权重合成方法

A 层	A_1	A_2	...	A_m	B 层次总排序权重
B 层	a_1	a_2	...	a_m	
B_1	b_{11}	b_{12}	...	b_{1m}	$\sum_{j=1}^m b_{1j}a_j$
B_2	b_{21}	b_{22}	...	b_{2m}	$\sum_{j=1}^m b_{2j}a_j$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
B_n	b_{n1}	b_{n2}	...	b_{nm}	$\sum_{j=1}^m b_{nj}a_j$

时,各层次的非一致性仍有可能积累起来,引起最终分析结果较严重的非一致性。

设 B 层中与 A_j 相关的因素的成对比较判断矩阵在单排序中经一致性检验,求得单排序一致性指标为 $CI(j), (j = 1, \dots, m)$, 相应的平均随机一致性指标为 $RI(j), CI(j), RI(j)$ 已在层次单排序时求得, 则 B 层次总排序随机一致性比例为:

$$CR = \frac{\sum_{j=1}^m CI(j) a_j}{\sum_{j=1}^m RI(j) a_j}$$

当 $CR < 0.10$ 时,认为层次总排序结果具有较满意的一致性并接受该分析结果。

2 “无废城市”建设的评价指标体系

2.1 评价构建原则

(1) 科学完备性原则^[4]

在对“无废城市”建设质量评估时,必须遵循科学的评估标准,以科学的态度制定评估方案,并采用科学的组合评估方法对其整体建设质量进行评估。在评价指标的选取、指标的内涵确定、指标值的确定方法以及原始信息的收集和处理方法等都必须有科学的依据,以体现评价指标的客观性,避免主观臆断。尤其对于目前缺少的数据信息,可通过收集分析国家行业标准和文献资料统计数据等,保证整个评价指标体系的科学性。

完备性原则要求评价指标体系必须是一个有机的整体,应当将对评价对象有影响的因素都纳入考虑范围,尽可能避免片面性,或指标缺失,以保证建立的评价指标体系的全面性和完整性。本研究尽可能地将影响建设的指标纳入考虑范围,从而保证能够对“无废城市”建设质量进行准确、全面的评价。

(2) 动态性原则

指标体系本身是动态的,可预测的。一方面,可以定期分析“无废城市”建设状况以便对自身进行更新;另一方面,可以对结果进行存档,以显示其随时间变化趋势,对日后的发展进行预测和估计。

(3) 可操作性原则

评价指标体系的可操作性原则具体体现在三点:一是指标体系结构简明清晰,避免评价指标量繁多,用合适数量的指标来反映系统总体目标;二是指标数值容易测算,计算方法容易掌握,指标数值计算所需的原始数据也不难获取;三是选取的评价指标具有代表性,能够恰当准确地反映系统评价目标,使得评价结果能够被理解和认可。本研究选取的指标都比较贴切实际,充分体现评价的目的性,原始数据获取比较容易,指标的计算方法也比较简单,因此构建的评价指标体系具有比较强的可操作性。

2.2 AHP 结构模型

生态环境部印发的《“无废城市”建设指标体系(试行)》(以下简称《指标体系》),由一级指标、二级指标和三级指标组成。本文结合该城市的固废存量和处置基础现状,从战略定位、产业布局、空间布局、体制机制等方面考虑,初步构建了“无废城市”建设的指标体系。

本文仅设定两个最重要的一级指标——政府管理部门和最终处置企业。根据层次分析法(AHP)原理^[5],通过评估指标分析,构建一个由三级指标组成的递阶层次结构,如图1所示。

2.3 AHP 确定指标权重

所谓权重,是指一个整体被分解成若干因素(指标)时,用来表示每个因素在整体中所占比重大小的数字。构造判断矩阵是AHP方法的关键一步。将影响“无废城市”建设的 n 个同层指标就其影响上一层指标因素的程度两两比较,构成判断矩阵。判断矩阵中将同一层中各因素相对于上一层而言两两进行比较,对每一层中各因素相对重要性给出一定的判断。这些赋值的根据或来源一般由熟悉市政固废处置的设计院专家独立地给出。采用1~9的比率进行两两因素之间的相对比较。

2.3.1 一级指标权重的确定

(1) 判断矩阵

构造目标“无废城市”建设 G 和政府管理部门 C_1 和最终处置企业 C_2 的判断矩阵,如表4所示。

表4 一级指标的判断矩阵

G	C_1	C_2
C_1	1	1/4
C_2	4	1

根据前文提到的1-9标度理论可知,在“无废城市”建设过程中,最终处置企业的重要程度较政府管理部门处于略微重要和明显重要之间。

(2) 算数平均法求权重向量

将一级指标的判断矩阵归一化后,求其权重向量 \bar{w}_G :

$$\bar{w}_G = [0.20, 0.80]^T$$

(3) 计算权重向量最大值 λ_{max}

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \right] = \frac{1}{2} \left(\left[\begin{array}{cc} 1.00 & 0.25 \\ 4.00 & 1.00 \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} 0.20 \\ 0.80 \end{array} \right] \right) = 2$$

(4) 采用CI作为检验判断矩阵一致性的指标,其中:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{2 - 2}{2 - 1} = 0$$

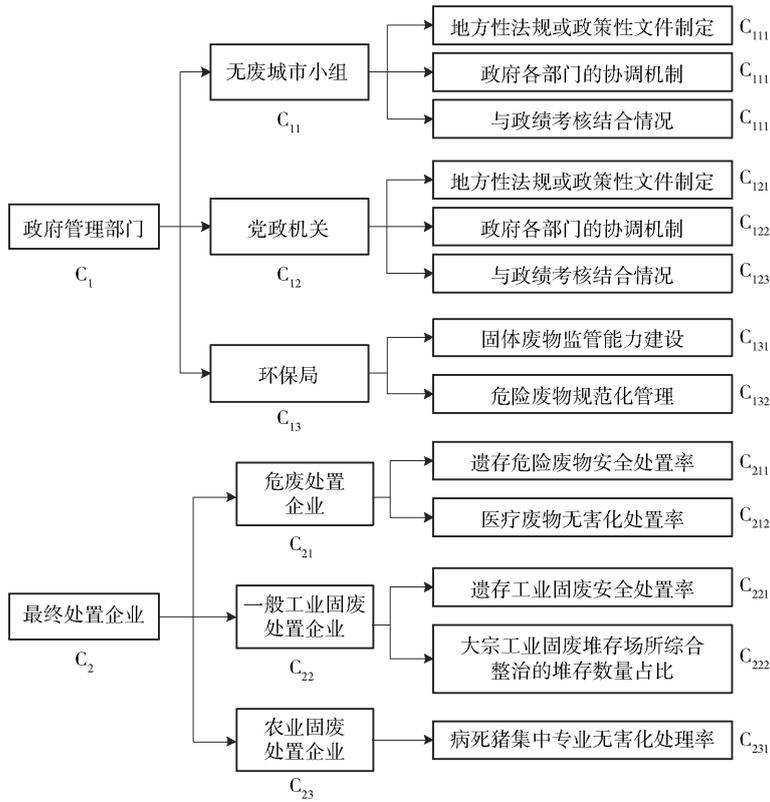


图1 某城市“无废城市”建设的三级评价指标体系

从而判断矩阵具有一致性,所得权重向量反应了指标的重要程度,权重分配是合理的。

2.3.2 二级指标权重的确定

同理,可依次算得二级指标权重 W_{ij} ,如下:

(1) $C_1 - C_{11} \sim C_{13}$ 判断矩阵

$$\begin{pmatrix} C_1 & C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{11} & 1 & 1 & 5 \\ C_{12} & 1 & 1 & 5 \\ C_{13} & 1/5 & 1/5 & 1 \end{pmatrix}$$

该判断矩阵归一化后,得权重向量: $[0.4545 \quad 0.4545 \quad 0.0910]^T$

权重向量最大值 $\lambda_{max} = 3.000$, $CI = 0.000$, $CR = 0.000 < 0.1$

(2) $C_2 - C_{21} \sim C_{23}$ 判断矩阵

$$\begin{pmatrix} C_2 & C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{21} & 1 & 3 & 6 \\ C_{22} & 1/3 & 1 & 3 \\ C_{23} & 1/6 & 1/3 & 1 \end{pmatrix}$$

该判断矩阵归一化后,得权重向量: $[0.6530 \quad 0.2510 \quad 0.0960]^T$

权重向量最大值 $\lambda_{max} = 3.0183$, $CI = 0.009$, $CR = 0.016 < 0.1$

2.3.3 三级指标权重的确定

同理,可依次算得三级指标权重 W_{ijk} ,如下:

(1) $C_{11} - C_{111} \sim C_{113}$ 判断矩阵

$$\begin{pmatrix} C_{11} & C_{111} & C_{112} & C_{113} \\ C_{111} & 1 & 5 & 3 \\ C_{112} & 1/5 & 1 & 1/3 \\ C_{113} & 1/3 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

该判断矩阵归一化后,得权重向量: $[0.6333 \quad 0.1062 \quad 0.2605]^T$

权重向量最大值 $\lambda_{max} = 3.0387$, $CI = 0.019$, $CR = 0.033 < 0.1$

(2) $C_{12} - C_{121} \sim C_{123}$ 判断矩阵

$$\begin{pmatrix} C_{12} & C_{121} & C_{122} & C_{123} \\ C_{121} & 1 & 5 & 3 \\ C_{122} & 1/5 & 1 & 1/3 \\ C_{123} & 1/3 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

该判断矩阵归一化后,得权重向量: $[0.6333 \quad 0.1062 \quad 0.2605]^T$

权重向量最大值 $\lambda_{max} = 3.0387$, $CI = 0.019$, $CR = 0.033 < 0.1$

(3) $C_{13} - C_{131} \sim C_{132}$ 判断矩阵

$$\begin{pmatrix} C_{13} & C_{131} & C_{132} \\ C_{131} & 1 & 3 \\ C_{132} & 1/3 & 1 \end{pmatrix}$$

该判断矩阵归一化后,得权重向量: $[0.75 \ 0.25]^T$

权重向量最大值 $\lambda_{max} = 2.000$, $CI = 0.000$, 权重分配是合理的。

(4) $C_{21} - C_{211} \sim C_{212}$ 判断矩阵

$$\begin{pmatrix} C_{21} & C_{211} & C_{212} \\ C_{211} & 1 & 2 \\ C_{212} & 1/2 & 1 \end{pmatrix}$$

该判断矩阵归一化后,得权重向量: $[0.6667$

$0.3333]^T$

权重向量最大值 $\lambda_{max} = 2.000$, $CI = 0.000$, 权重分配是合理的。

(5) $C_{22} - C_{221} \sim C_{222}$ 判断矩阵

$$\begin{pmatrix} C_{22} & C_{221} & C_{222} \\ C_{221} & 1 & 5 \\ C_{222} & 1/5 & 1 \end{pmatrix}$$

该判断矩阵归一化后,得权重向量: $[0.8333 \ 0.1667]^T$

权重向量最大值 $\lambda_{max} = 2.000$, $CI = 0.000$, 权重分配是合理的。

(6) 该指标仅有 1 个,显然其权重向量为 1.000。

根据三级指标的权重分析,可得该城市的“无废城市”建设的指标权重表,如表 5 所示。

表 5 某城市“无废城市”建设指标权重表

目标	一级指标	二级指标	三级指标
“无废城市”建设质量评估 G	政府管理部门 ($C_1 = 0.2000$)	无废城市小组 ($C_{11} = 0.4545$)	(0.6333) “无废城市”建设地方性法规或政策性文件制定 (0.1062) “无废城市”建设协调机制 (0.2605) “无废城市”建设成效纳入政绩考核情况
		党政机关 ($C_{12} = 0.4545$)	(0.6333) “无废城市”建设地方性法规或政策性文件制定 (0.1062) “无废城市”建设协调机制 (0.2605) “无废城市”建设成效纳入政绩考核情况
		环保局 ($C_{13} = 0.0910$)	(0.7500) 固体废物监管能力建设 (0.2500) 危险废物规范化管理抽查合格率
	最终处置企业 ($C_2 = 0.8000$)	危废处置企业 ($C_{21} = 0.6530$)	(0.6667) 遗存危险废物安全处置率 (0.3333) 医疗废物无害化处置率
		一般工业固废处置企业 ($C_{22} = 0.2510$)	(0.8333) 遗存工业固废安全处置率 (0.1667) 开展大宗工业固体废物堆存场所综合整治的堆场数量占比
		农业固废处置企业 ($C_{23} = 0.0960$)	(1.0000) 病死猪集中专业无害化处理率

3 结论

多层次分析方法是一种采用数学模型,定量分析多级指标的科学方法,在比较“无废城市”建设指标的权重值大小,具有显著的优势。

本文首先构建了某城市“无废城市”建设的层次分析结构模型,制定科学合理且具有可操作性的三级指标体系,在此体系基础上运用层次分析法确定了指标权重,为科学评价“无废城市”建设体系的

定量化提供了依据。

[参考文献]

- [1] 李干杰. 开展“无废城市”建设试点提高固体废物资源化利用水平 [EB/OL]. http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk15/201901/t20190123_690460.html. 2019-01-23.
- [2] 刘晓龙,姜玲玲,葛琴,等.“无废社会”构建研究[J]. 中国工程科学,2019,21(5):144-150.

(下转第 61 页)

[参考文献]

[1] 高梦熊. 地下装载机丛书[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2011.

[2] 章宏甲. 液压与气压传动[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.

[3] 王先会. 新编润滑油品选用手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.

[4] 赵金元. 国外地下装载机的发展近况与启示[J]. 矿山机械, 2008(5): 30 - 39.

Hydrostatic-Mechanical Drive System Used in Underground LHD

XIE Jun, LIU Wei, ZHAO Jin-yuan

Abstract: The underground LHDs play an important role in underground mining and are essential equipment for the mechanized production of underground mines. This paper briefly introduces the composition, principle, structure, characteristics, maintenance, troubleshoot of the hydrostatic- mechanical drive system used in underground LHD, it hopes to be an useful reference for related users and maintenance personnel.

Key words: Underground LHD; Hydrostatic-Mechanical drive system



(上接第 55 页)

[3] 叶珍. 基于 AHP 的模糊综合评价方法研究及应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2010: 7 - 12.

[4] 李远远. 基于粗糙集的指标体系构建及综合评价方法研

究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009: 17 - 25.

[5] 韩利, 梅强, 陆玉梅, 等. AHP-模糊综合评价方法的分析与研究[J]. 中国安全科学学报, 2004, 14(7): 86 - 89.

Application of Analytic Hierarchy Process in the Quantitative Evaluation of “Zero-waste City”

GAO Shu-jie

Abstract: “Zero-waste City” is an urban management concept that following green development and solid waste. recycling. There are “11 + 5” construction pilot that covering New Area level, Development Area level, Cooperation Area level and Country level development route. In this paper, AHP is used to analyze the weight value of indicator index, which is of great significance for the scientific evaluation of the construction quality of “zero-waste city”.

Key words: “Zero-waste city” construction; indicator index; analytic hierarchy process

