

文章编号:1000-582X(2007)02-0075-06

中国小城镇污泥资源化方案决策方法的探讨*

方俊华,周健,唐德昕,王韧超

(重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室,重庆 400030)

摘要:为了找到可以指导中国小城镇污泥资源化方案的决策方法,通过调查研究,论文确定了中国小城镇污泥处置与资源化方向的评判指标体系,综合运用层次分析法、专家评判法、熵值法确定各评判指标的权值,并采用模糊综合评判方法对中国小城镇污泥资源化方案进行决策。研究表明:堆肥及农用是小城镇污泥资源化的最佳方案,填埋及土地利用次之,焚烧最差。

关键词:小城镇污泥;资源化;模糊综合评判方法

中图分类号:X703

文献标识码:A

随着中国社会经济的发展,中国小城镇建设已进入了高潮,伴随而来的是环境保护问题,而污泥处置与资源化方式是其中不可忽视的问题之一。笔者通过研究,意在建立起适用于中国小城镇污泥处置与资源化的科学合理的评判指标体系;找到科学可行的分析和评价方法;从而找到可以指导中国小城镇污泥处理与资源化方向决策方法。

1 权重确定

1.1 评判指标和比选方案的确定

根据中国小城镇实际条件定出评判指标,指标分为2级。第1级:资源化利用价值,对环境的影响,技术可行性和经济。2级指标体系见图1。

由于小城镇一般对环保事业重视程度低、技术水平落后,环保意识低下,小城镇相对于大城市污泥量少,处理分散,污泥处置方法应考虑投资少,方法成熟且间歇运行的方式。污泥制造建材和污泥热解制造燃料油的方法投资高,运行成本高,在中国尚处于试运行阶段,难以在小城镇中推广采用和规模化投产。不列入比选方案。所以决定比选方案有:卫生填埋及土地利用、焚烧、堆肥。

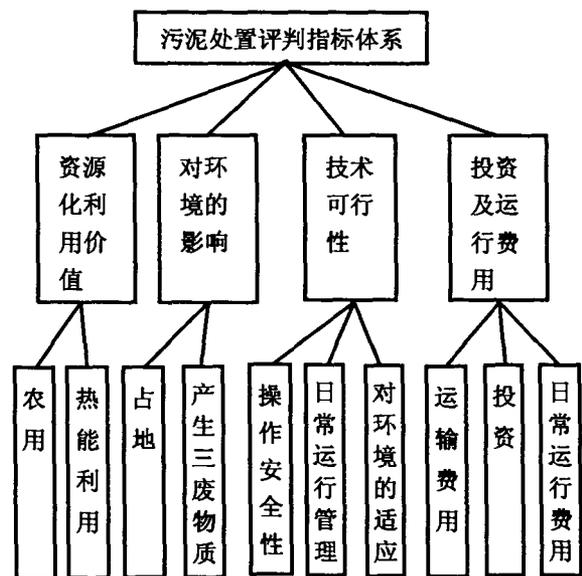


图1 评判指标体系图

1.2 权值的确定

1.2.1 熵值评判法对各指标权值的确定

运用熵值评判法对小城镇污泥资源化方式指标权值的确定步骤如下:

- 1) 拟定小城镇污泥资源化备选方案;
- 2) 拟定评判指标体系,包括定性和定量指标;
- 3) 指标赋值;

* 收稿日期:2006-08-20

基金项目:“十五”国家科技攻关资助项目(2003BA80815-2-3)

作者简介:方俊华(1965-),男,重庆大学讲师,博士研究生。主要从事水污染控制规划、环境影响评价及水污染治理技术研究,电话(Tel.):023-65120979;E-mail:fangjunhua007@sohu.com.

4) 指标数值无量纲化处理;

5) 计算各指标的熵值,进而求出各指标的权值.

某些指标是定量指标,根据有关调研资料^[1],确定比选方案的投资见表1.

表1 比选方案投资表 元/t

比选方案	投资	运行费用
焚烧	700	200
卫生填埋	350	25
堆肥	400	40
农用	400	40

其余指标为定性指标,根据经验给予赋值.操作安全性:安全=1.0;较安全=0.75;较不安全=0.5.

日常管理:操作简单=1.0;一般=0.75;较复杂=0.5.

对环境的适宜性:较强=1.0;一般=0.75;较弱=0.5.

运输费用:较低=1.0;一般=0.75;较高=0.5.

占地:较大=0.1;一般=0.75;较小=0.5.

对大气、水和土壤的污染:较轻=1.0;一般=0.75;较严重=0.5.

农用和热能利用价值:较高=1.0;一般=0.75;较小=0.5.

用熵值法计算得到各指标权重见表2.

表2 应用熵值评判法指标权重

评分项目	权重
操作安全性	0.207
日常管理	0.557
对环境的适应	0.235
投资	0.273
日常处理费用	0.311
运输费	0.416
占地	0.194
对大气的污染	0.173
对地下水和地表水	0.173
对土壤的污染	0.463
农用价值	0.500
热能利用价值	0.500

1.2.2 应用专家评判法对各指标权值的确定

组织专家进行指标评分^[2].专家组组成10人,从事部门包括政府机构、高等院校、设计单位.专业涉及给水排水、环境保护相关专业、城市规划等.基本达到专家评判法所要求专家组成的要求.经过4轮的评分,专家意见趋向统一.整理后见表3.

表3 专家评判法评分

二级指标	技术 (技术可行性)	经济	环境 (对环境的影响)	资源利用价值 (资源化利用价值)
	0.225	0.503	0.085	0.206
操作安全性	0.323			
日常管理	0.577			
对环境的适应	0.100			
投资		0.555		
日常运行费用		0.244		
运输费用		0.201		
占地			0.092	
大气			0.284	
水			0.315	
土壤			0.399	
农用价值				0.743
热能利用价值				0.257

1.2.3 应用层次分析法对各指标权值的确定

应用层次分析法结构图见图2.经过计算,结果整理后见表4.

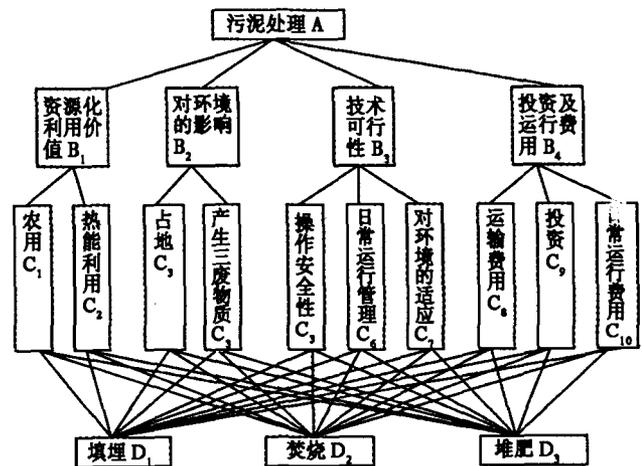


图2 层次分析法结构图

表4 运用层次分析法得到的权值

项目	农用价值	热能利用价值	占地	产生三废物质 对环境的影响	操作安 全性	日常运 行管理	对环境 的适应	运输 费用	投资	日常运 行费用
权重	0.044	0.008	0.018	0.126	0.100	0.174	0.021	0.037	0.299	0.172

1.2.4 3种方法权值比较及权值的最终确定

对于一级指标,用层次分析法和专家评判法得出的结果比较如表5,取2种方法的平均值作为各一级指标的最终权值.

各二级指标对应其一级指标,用层次分析法、专家评判法和熵值评判法的结果对比见表6,取3种方法的平均值作为二级指标对应各自一级指标的最终权值.结果整理后见表7.

表5 一级指标权值对比

一级指标	专家评判法	层次分析法	平均值
技术可行性	0.215	0.296	0.256
经济	0.492	0.507	0.500
对环境的影响	0.085	0.143	0.114
资源化利用价值	0.208	0.053	0.130

表6 二级指标权值对比

二级指标		熵值评判法	专家评判法	层次分析法	平均值
技术可行性	操作安全性	0.207	0.323	0.339	0.286
	日常运行管理	0.557	0.577	0.589	0.585
	对环境的适应	0.235	0.100	0.072	0.134
经济指标	投资	0.273	0.555	0.509	0.472
	日常处理费用	0.311	0.244	0.339	0.295
	运输费	0.416	0.201	0.072	0.233
环境影响	占地	0.194	0.092	0.125	0.137
	对大气的污染	0.173	0.284	0.291	0.249
	对地下水和地表水	0.173	0.315	0.291	0.260
	对土壤的污染	0.463	0.309	0.292	0.354
资源化利用价值	农用价值	0.500	0.743	0.833	0.692
	热能利用价值	0.500	0.257	0.167	0.308

表7 各指标权值

项目	操作安 全性	日常运 行管理	对环境 的适应	投资	日常运 行费用	运输 费用	占地	对大气 的污染	对地下水 和地表水	对土壤 的污染	农用 价值	热能利 用价值
权重	0.073	0.148	0.034	0.236	0.148	0.117	0.016	0.028	0.030	0.040	0.090	0.040

1.2.5 结果分析

该研究分别采用 Delphi 法、层次分析法和熵值分析法 3 种方法确定各指标的权值。从一级指标对比表和二级指标对比表中可以看出,单用其中一种方法可能会忽视某种因素的影响或过分强调某种因素的影响,从而导致权重分配不均,偏离实际。从计算结果看采用 3 种方法权值的加权平均值作为最终权值是可行的而且是必要的,这样能消除以上情况,使结果更合理,更符合实际。

从一级指标权值分配可以看出,当今小城镇污泥资源化发展的方向更看重的是经济,其次是技术可行性和资源化利用价值,最后是对环境的影响。反映出当今小城镇基础设施建设资金短缺,对环境保护意识薄弱的问题。而对技术可行性和资源化利用价值的重视程度相当。

在技术可行性指标中,二级指标日常运行管理占有权值最大,操作安全性次之,最后是对环境的适应。这是由于小城镇多数离开大城市有一定距离,居民受教育程度偏低,技术水平落后,更倾向于易运行管理的工艺。而对于工艺对环境和操作条件的要求认识并不深刻。

在经济指标中,投资权值接近一半,日常运行费用

所占比重稍微比运输费用高,排在第二,运输费用所占权重最小。投资对小城镇建设来说是最大的问题,小城镇应想方设法解决资金问题。

在对环境影响指标中,占地所占比重最小,对水的污染和对大气的污染比重相当,而对土壤的污染所占比重最大。可以看出,小城镇地处农村和城市之间,可利用土地较充裕,且小城镇污泥量小,处理规模小,直接导致设施占地小。所以占地对小城镇污泥资源化并不成问题。而 3 种处理措施都不可避免的对土壤产生污染,污泥中重金属对土壤的污染必然引起人们的重视。

在资源化利用价值中,农用价值远远高于热能利用价值。这是因为在小城镇周围,农业是主导的经济,污泥农用有着广阔的市场和空间,而热能利用需要建设相应的配套工艺,且由于污泥量小,导致产生热能量并不大,资源化利用价值相对要低。

2 应用模糊综合评判法进行综合评判

2.1 综合评判

运用模糊综合评判法对小城镇污泥资源化作出综合评判步骤如下^[3-6]:

2.1.1 评判指标计算值的确定

对于操作安全性、日常运行管理、对环境的适应、

运输费用、占地、对大气、水和土壤的污染、农用价值和热能利用价值,属于技术可行性评估指标,采用计分制,聘请专家综合衡量后采用十分制给各方案在每个

分项内所获得的分值.投资和日常运行费用是直接经济指标.各指标值见表8.

表8 指标计算值

指标		焚烧	卫生填埋及土地利用	堆肥及污泥农用
技术可行性	操作安全性	6	8	8
	日常运行管理	5	7	7
	对环境的适应	8	6	5
经济指标	投资	700	350	400
	日常处理费用	200	25	40
	运输费	7	5	5
环境影响	占地	8	4	6
	对大气的污染	5	6	6
	对地下水和地表水	8	5	6
	对土壤的污染	6	5	5
资源化利用价值	农用价值	2	2	8
	热能利用价值	7	2	2

2.1.2 隶属函数的确定

1) 操作安全性(X_1)由于采用计分制,将 $X \leq 4$ 视为操作安全性差, $4 < X \leq 6$ 视为操作安全性一般, $6 < X \leq 8$ 视为操作安全性较好, $X > 8$ 视为操作安全性好. 隶属函数用升半型分布来描述.

$$\mu(X) = \begin{cases} 0, & X \leq 4; \\ (x-4)/8, & 4 < X \leq 6; \\ 1 - (x-8)/8, & 6 < X \leq 8; \\ 1, & X > 8. \end{cases}$$

2) 日常运行管理(X_2)由于采用计分制,将 $X \leq 4$ 视为日常运行管理不方便, $4 < X \leq 6$ 视为日常运行管理一般, $6 < X \leq 8$ 视为日常运行管理较方便, $X > 8$ 视为日常运行管理方便. 隶属函数用升半型分布来描述.

$$\mu(X) = \begin{cases} 0, & X \leq 4; \\ (x-4)^2/8, & 4 < X \leq 6; \\ 1 - (x-8)^2/8, & 6 < X \leq 8; \\ 1, & X > 8. \end{cases}$$

3) 对环境的适应(X_3)由于采用计分制,将 $X \leq 4$ 视为对环境的适应性差, $4 < X \leq 6$ 视为对环境的适应性一般, $6 < X \leq 8$ 视为对环境的适应性较强, $X > 8$ 视为对环境的适应性强. 隶属函数用升半型分布来描述.

$$\mu(X) = \begin{cases} 0, & X \leq 4; \\ (x-4)^2/8, & 4 < X \leq 6; \\ 1 - (x-8)^2/8, & 6 < X \leq 8; \\ 1, & X > 8. \end{cases}$$

4) 投资(X_4),是一项直接的经济指标,其值越小越好,但没有最小值,因此,隶属函数可用下式描述.

$$\mu(X) = (x_{\max} - x)/(x_{\max} - x_{\min}).$$

5) 日常运行费用(X_5),是一项直接的经济指标,其值越小越好,但没有最小值,因此,隶属函数可用下式描述.

$$\mu(X) = (x_{\max} - x)/(x_{\max} - x_{\min}).$$

6) 运输费用(X_6)由于采用计分制,将 $X \leq 4$ 视为运输费用较高, $4 < X \leq 6$ 视为运输费用一般, $6 < X \leq 8$ 视为运输费用较低, $X > 8$ 视为运输费用低. 隶属函数用升半型分布来描述.

$$\mu(X) = \begin{cases} 0, & X \leq 4; \\ (x-4)^2/8, & 4 < X \leq 6; \\ 1 - (x-8)^2/8, & 6 < X \leq 8; \\ 1, & X > 8. \end{cases}$$

7) 占地(X_7)由于采用计分制,将 $X \leq 4$ 视为占地大, $4 < X \leq 6$ 视为占地较大, $6 < X \leq 8$ 视为占地较小, $X > 8$ 视为占地小. 隶属函数用升半型分布来描述.

$$\mu(X) = \begin{cases} 0, & X \leq 4; \\ (x-4)^2/8, & 4 < X \leq 6; \\ 1 - (x-8)^2/8, & 6 < X \leq 8; \\ 1, & X > 8. \end{cases}$$

8) 对大气的污染(X_8)由于采用计分制,将 $X \leq 4$ 视为对大气污染严重, $4 < X \leq 6$ 视为对大气污染较严重, $6 < X \leq 8$ 视为对大气污染较小, $X > 8$ 视为对大气污染小. 隶属函数用升半型分布来描述.

$$\mu(X) = \begin{cases} 0, & X \leq 4; \\ (x-4)^2/8, & 4 < X \leq 6; \\ 1 - (x-8)^2/8, & 6 < X \leq 8; \\ 1, & X > 8. \end{cases}$$

9) 对地表水和地下水的污染(X_9)由于采用计分制,将 $X \leq 4$ 视为对地表水和地下水污染严重, $4 < X \leq$

6 视为对地表水和地下水污染较严重, $6 < X \leq 8$ 视为对地表水和地下水污染较小, $X > 8$ 视为对地表水和地下水污染小. 隶属函数用升半型分布来描述.

$$\mu(X) = \begin{cases} 0, & X \leq 4; \\ (x-4)^2/8, & 4 < X \leq 6; \\ 1 - (x-8)^2/8, & 6 < X \leq 8; \\ 1, & X > 8. \end{cases}$$

10) 对土壤的污染(X_{10})由于采用计分制,将 $X \leq 4$ 视为对土壤污染严重, $4 < X \leq 6$ 视为对土壤污染较严重, $6 < X \leq 8$ 视为对土壤污染较小, $X > 8$ 视为对土壤污染小.

隶属函数用升半型分布来描述.

$$\mu(X) = \begin{cases} 0, & X \leq 4; \\ (x-4)^2/8, & 4 < X \leq 6; \\ 1 - (x-8)^2/8, & 6 < X \leq 8; \\ 1, & X > 8. \end{cases}$$

11) 农用价值(X_{11})由于采用计分制,将 $X \leq 4$ 视为农用价值小, $4 < X \leq 6$ 农用价值较小, $6 < X \leq 8$ 视为

农用价值较大, $X > 8$ 视为农用价值大. 隶属函数用升半型分布来描述.

$$\mu(X) = \begin{cases} 0, & X \leq 4; \\ (x-4)^2/8, & 4 < X \leq 6; \\ 1 - (x-8)^2/8, & 6 < X \leq 8; \\ 1, & X > 8. \end{cases}$$

12) 热能利用价值(X_{12})由于采用计分制,将 $X \leq 4$ 视为热能利用价值小, $4 < X \leq 6$ 热能利用价值较小, $6 < X \leq 8$ 视为热能利用价值较大, $X > 8$ 视为热能利用价值大. 隶属函数用升半型分布来描述.

$$\mu(X) = \begin{cases} 0, & X \leq 4; \\ (x-4)^2/8, & 4 < X \leq 6; \\ 1 - (x-8)^2/8, & 6 < X \leq 8; \\ 1, & X > 8. \end{cases}$$

2.1.3 计算各指标隶属度

根据各隶属函数式计算出各对应指标的不同隶属度,得到各指标隶属度如表9.

表9 指标隶属度

指标	焚烧	卫生填埋及土地利用	堆肥及污泥农用
技术可行性	操作安全性	0.5	1
	日常管理	0.125	0.875
	对环境的适应	1	0.5
经济指标	投资	0	1
	日常处理费用	0	1
	运输费	0.875	0.125
环境影响	占地	1	0
	对大气的污染	0.125	0.5
	对地下水和地表水	1	0.125
	对土壤的污染	0.5	0.125
资源化利用价值	农用价值	0	1
	热能利用价值	0.875	0

2.2 结果分析

由指标隶属度表可以看出3种方案在每项指标中“得分”、在技术可行性指标中,卫生填埋及土地利用和堆肥及农用两方案操作安全性和日常管理较稳定,明显好于焚烧技术,但是它们易受到天气和地形等因素影响,对环境的适应性比焚烧差.

在经济指标中,焚烧技术投资很高,日常运行费用非常高,所以该2项隶属度都最低,都为0.而填埋及土地利用技术投资和运行费用都最低,隶属度最高.由于用于焚烧的污泥一般都经过脱水,焚烧后含水率大大减少,所以运输费用最低,隶属度最大.

在对环境影响指标中,焚烧对环境的影响是最小的,在占地、对水和对大气的污染这3项中隶属度都最大,但是焚烧会对大气造成污染,必须对尾气进行处

理.卫生填埋及土地处理在占地指标中隶属度为0,说明它的占地远远比其他2种技术大.从隶属度表中反应,卫生填埋及土地处理和堆肥及农用都会对土壤产生严重重金属污染,这是这2种技术所共有的缺点.

在资源化利用价值指标中,明显看出污泥堆肥及农用的农用价值巨大.焚烧的热能利用价值较大,而填埋及土地利用技术该2项资源化利用价值低.

从计算及计算过程来看,由于影响因素较多,单独使用模糊矩阵的算法会忽略很多因素的影响,导致结果并不精确.而结合加权平均的矩阵算法能考虑到每个因素的影响,结果更准确.从计算结果得到,堆肥及农用是小城镇污泥资源化的最佳方案,填埋及土地利用次之,焚烧最差.

$$B = A \cdot R = \begin{bmatrix} 0.073 \\ 0.148 \\ 0.034 \\ 0.236 \\ 0.148 \\ 0.117 \\ 0.016 \\ 0.028 \\ 0.030 \\ 0.040 \\ 0.090 \\ 0.040 \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} 0.5 & 1 & 1 \\ 0.125 & 0.875 & 0.875 \\ 1 & 0.5 & 0.125 \\ 0 & 1 & 0.875 \\ 0 & 1 & 0.914 \\ 0.875 & 0.125 & 0.125 \\ 1 & 0 & 0.5 \\ 0.125 & 0.5 & 0.5 \\ 1 & 0.125 & 0.5 \\ 0.5 & 0.125 & 0.125 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0.875 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3 结 论

对于中国小城镇污泥处置与资源化方式的决策指标,影响因素较多,其一级指标排序为,经济、技术可行性、资源化利用价值、对环境的影响;采用加权平均的矩阵算法,结果更准确,而各评判指标权值可运用层次分析法、专家评判法、熵值法比较分析、确定;最后采用

模糊综合评判方法进行决策,从而可得出中国小城镇污泥处置与资源化的最佳方案.堆肥及农用是小城镇污泥资源化的最佳方案,填埋及土地利用次之,焚烧最后.

参考文献:

- [1] 张华,赵由才,龙燕. 生活垃圾卫生填埋技术[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
- [2] 邹开其. 模糊系统与专家系统[M]. 成都:西南交通大学出版社,1989.
- [3] 贺仲雄. 模糊数学及其应用[M]. 天津:天津科学技术出版社,1983.
- [4] 李洪兴,汪培庄. 模糊数学[M]. 北京:国防工业出版社,1994.
- [5] 杨伦标. 模糊数学原理及其应用[M]. 广州:华南理工大学出版社,1993.
- [6] 胡天觉,曾光明. 模糊综合评判法在城市生活垃圾综合处理方案评估和优选中的应用[J]. 污染防治技术, 2003(1):7-11.

Decision on the Program for Chinese Little Towns' Sludge Utilization

FANG Jun-hua, ZHOU Jian, TANG De-xin, WANG Ren-chao

(Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment
Chongqing University, Under the state, Chongqing 400030, China)

Abstract: In order to get a method of decision-making in the program for Chinese little towns' sludge utilization, an index system is set up for evaluation the direction of disposal and utilization of the sludge from Chinese small town according to the result of investigation and research. In this system, Analytical Hierarchy Process (AHP), Delphi method and entropy method are comprehensively used to confirm the weight of every evaluative index, and the Fussy Comprehensive Evaluation is applied to make the decision of. The result indicates that composting and agricultural use are the best optimum for the Chinese little towns' sludge utilization, landfills and land application are the seconds, incineration is the last one.

Key words: little towns sludge; utilization; fussy comprehensive evaluation

(编辑 姚 飞)