

基于 AHP 和 TOPSIS 的污染场地修复技术筛选方法研究*

张倩¹ 蒋栋^{1,2} 谷庆宝^{1†} 李发生¹ 周友亚¹ 侯红¹

(1 环境基准与风险评估国家重点实验室(中国环境科学研究院),北京 100012)

(2 中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院,北京 100083)

摘要 污染场地作为潜在的污染源,多位于城市人口密集区,具有较大环境风险,且随我国城市产业结构的调整有逐年增加的趋势,引起国家的日益重视。目前国内外应用于污染场地修复的技术类型较多,采用科学的方法选择技术适用、经济可行和环境友好的修复技术具有重要意义。在分析已有的污染场地修复技术筛选方法和解决多参数决策问题的方法及工具的基础上,提出了基于层次分析法(AHP)和逼近理想解的排序法(TOPSIS)的污染场地修复技术筛选决策流程,构建了污染场地修复技术筛选的指标体系,通过领域专家调查和 AHP 法获得修复技术筛选不同指标的权重,然后采用 TOPSIS 法对污染场地修复技术进行排序。利用该方法筛选与某案例污染场地的实际筛选结果接近一致。AHP 和 TOPSIS 结合运用于解决复杂的多因素决策问题,既能克服 AHP 在不易量化指标上的主观性,又能避免 TOPSIS 对指标权重的忽视,能够为土地所有者或环境工作者解决实际修复技术筛选问题提供有益的工具。

关键词 污染场地;修复技术筛选;层次分析法;逼近理想解的排序法

中图分类号 X323 **文献标识码** A

随着中国城市化进程的加快和产业结构调整的需要,一些位于城市中心的工业企业搬迁后遗留的土地(污染场地)需要进行再开发。然而,部分遗留的土地曾受到原企业生产活动的严重污染,目前因为对污染场地盲目开发而导致的健康事故和环境纠纷时有发生,国家对污染场地环境修复与管理也日益重视。污染场地修复技术的类型很多,包括生物降解、土壤气体抽提、固化稳定化、焚烧和填埋等^[1-2]。选择合适的修复技术对于经济、高效地修复企业搬迁后遗留土地,降低这些场地的环境风险具有重要意义。随着年代的变化,对污染场地修复技术的选择从最初重视成本考虑(20 世纪 70 年代)发展到重视技术可行(80 年代),随后开始重视基于风险的决策方式(90 年代中期),到现在将污染场地的可持续利用和绿色修复作为决策过程中的考虑重点^[3]。决策方式的变化导致了对技术筛选各指标的重视程度不同。同时,评价和筛选不同的修复技术还需考虑多方面的影响,如场地条件、环境因素、技术因素、经济因素等,各因素指标之间存在一定的矛盾,如处理效果较好的修复技术,其成

本可能也会偏高。由于修复技术的类型较多,且受多种条件的影响,因而,最佳修复技术的筛选作为一个多因素的决策过程,成为中国土地所有者和环境工作者面临的一个难题。

已有一些学者使用不同的决策模型对污染场地修复技术的筛选问题进行了研究,Lahlou 和 Canter^[4]根据 30 多个污染场地环境影响与修复决策经验,归纳得出环境修复技术评估与选择的一些关键步骤。Bonano 等^[5]运用风险评价的理念,通过比较不同修复技术人体健康和环境安全、环境影响、生命周期、社会经济、文化历史等方面的影响,对不同修复技术进行排序。Hayes 等^[6]依据美国超级基金法中规定的流程,使用 Bradley-Terry 模型计算影响修复技术选择的 7 个指标的权重,并利用多参数效用函数确定最优的修复技术。Anopama 等^[7]使用 ELECTRE III 及加权和等多参数分析方法解决石油污染场地修复技术选择问题。但是,目前还没有出现一个能全面准确评价一个修复技术较另一个修复技术优越的理想决策模型。

为更好地解决修复技术的选择问题,有很多学

* 环保公益性行业科研专项经费项目(200809095,201009032)和中央级公益性科研院所基本科研业务专项(2008GGQD01)资助

† 通讯作者,E-mail:guqb@craes.org.cn

作者简介:张倩(1984—),女,山东莱芜人,硕士研究生,主要研究方向为土壤污染与治理。E-mail:zhangqian@craes.org.cn

收稿日期:2011-08-31;收到修改稿日期:2012-04-09

者采用了模糊多参数决策 (multiple criteria decision-making, MCDM) 的方法。其中,逼近理想解的排序法 (technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS) 作为系统工程中 MCDM 的常用技术,近年来被用于多指标的综合评价中。TOPSIS 最早由 Hwang 等^[8]提出,目的是在可行方案中找到一个距离理想解最近、负理想解最远的方案,从而解决多属性决策问题^[9-10],并且在其应用过程中获得了一定的改进^[11-12]。TOPSIS 虽然具有较好的逼近性和客观性,但当指标体系较为复杂时,其结果会存在较大误差^[13]。对于多参数决策问题中指标权重的确定有多种方法^[14],在众多计算方法中,层次分析法 (analytical hierarchy process, AHP) 详细分析了各指标之间的关系,并建立了对比矩阵,从而可以较为合理地确定指标权重。众多学者对 AHP 进行研究并改进以提高多参数决策能力^[9]。罗程钟等^[15]针对 POPs 污染场地修复技术从经济指标、环境指标和技术指标三方面,采用 AHP 筛选出适合特定 POPs 污染场地的修复技术。Aguarón 等^[16]对 AHP 决策支持系统中专家评分的一致性进行了评估,并针对每个判决得到了一致性的稳定区间。Stam 和 Silva^[17]将最优化理论和 AHP 法进行结合,通过模拟实验探讨了连乘层次分析法 (multiplicative AHP, MAHP) 在理论构思和实际中的应用问题。然而,将 AHP 和 TOPSIS 联合起来在环境领域进行决策的研究不是很多, Ertuğrul 等^[18]曾经就 AHP 和 TOPSIS 方法在厂址选择过程中的应用进行了对比和讨论; Gumus^[19]和 Öñüt^[20]等利用 AHP 和 TOPSIS 结合的方法解决了场址选择的问题,并取得了较好效果。因此, AHP 及 TOPSIS 的联合应用成为多因素决策问题的首选^[21],但目前尚未出现将两者联合进行污染场地修复技术筛选的应用报道。

国内学者对污染场地修复技术筛选的研究或者侧重于指标体系的构建,或者侧重于技术本身的评价。本文尝试联合运用 AHP 与 TOPSIS 方法,将指标体系建立与修复技术评价本身相结合,并在实际场地中进行应用,以期此结果能为将来复杂污染场地修复技术的选择提供借鉴。

1 污染场地修复技术筛选流程

1.1 修复技术筛选基本流程

污染场地修复技术均具有各自的优缺点和适

用性,修复技术选择的任务就是全面衡量各修复技术的特点并结合具体场地的特定因素选出适宜的修复技术。本文框架性地提出污染场地修复技术筛选基本流程(如图 1 所示),首先应根据对特定污染场地的调查和相关资料,对现在的各种修复技术进行初筛。然后建立污染场地修复技术筛选指标体系,根据专家调查获得的指标权重数据,采用 AHP 计算各指标的权重,最后使用 TOPSIS 法对初筛后的修复技术进行最终排序^[21]。

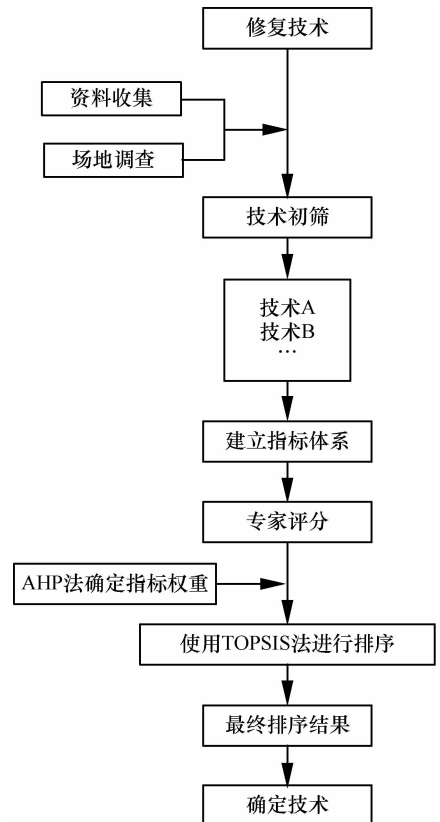


图 1 污染场地修复技术筛选流程

Fig. 1 Flowchart for screening of technologies for remediation of polluted site

1.2 修复技术筛选指标体系

对污染场地修复技术进行筛选需要考虑的因素众多,要全面、准确地评价修复技术的基本特征和要素之间的复杂关系,不可能仅通过单一指标实现,需要使用多个相互关系、相互作用的评价指标。因此在 AHP 应用之前首先要构建修复技术筛选指标体系。根据各因素影响修复技术选择的重要程度,从场地条件 (C_1)、技术指标 (C_2)、经济指标 (C_3) 和环境指标 (C_4) 四个方面选取了 17 项指标,形成修复技术初步筛选的指标体系,如图 2 所示。

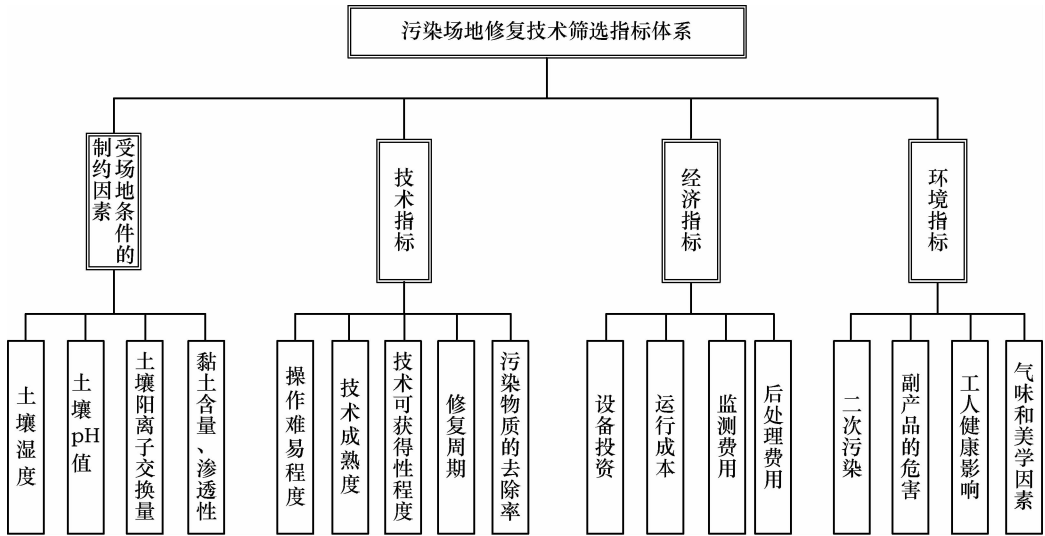


图 2 污染场地修复技术筛选指标体系

Fig. 2 Index system screening of technologies for remediation of polluted sites

1.3 筛选指标权重确定方法

针对上述设定的筛选指标体系,对国内污染场地修复领域的 20 名专家(其中修复管理专家 4 名,修复科研专家 12 名,修复产业领域专家 4 名)开展了问卷调查,根据专家经验对 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 之间的相对重要性做出标度判断,判断结果以 1~9 的标度进行量化,量化标度含义如表 1 所示。对专家提供

的量化结果进行汇总整理,使用层次分析法确定各指标的权重 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 。

AHP 是一种定性定量相结合的决策分析方法^[22-24],应用这种方法,决策者通过将复杂问题分解为若干层次和若干指标,在各指标之间进行比较和计算,可得到不同指标的权重。层次分析法的基本步骤如下:

表 1 指标相对重要性量化标度

Table 1 Relative importance values of the indices of the system

指标相对重要性 Relative importance	极重要 Extremely important	很重要 Very important	重要 Important	略重要 Slightly important	相等 Equal	略不重要 Slightly unimportant	不重要 Unimportant	很不重要 Very unimportant	极不重要 Extremely unimportant
量化标度 Values of the indices	9	7	5	3	1	1/3	1/5	1/7	1/9
	8、6、4、2、1/2、1/4、1/6、1/8 分别为上述相邻判断的中值								

(1) 对同一层次各元素关于上一层次中某一准则的重要性进行两两比较,构造判断矩阵 A,将判断矩阵的每一列元素做归一化处理,其元素一般项为:

$$\alpha_{ij} = \alpha_{ij} / \sum_{i=1}^n \alpha_{ij}$$

(2) 将每一列经归一化处理后的判断矩阵按行相加为:

$$\alpha_i = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij}$$

(3) 对向量 $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)^T$ 归一化处理,得到属性权重向量:

$$w_i = \alpha_i / \sum_{i=1}^n \alpha_i$$

(4) 计算判断矩阵最大特征根:

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{nw_i}$$

(5) 一致性检验,即判断矩阵的可靠性。

1) 计算一致性指标 (consistent index, CI): $CI =$

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

2) 查找相应的平均一致性指标 (average random consistent index, RI)。对 $n = 1, 2, \dots$, Saaty^[22] 给出了 RI 值,如表 2。

表 2 平均随机一致性指标对照表

Table 2 Matrix of average random consistent index

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>RI</i>	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

3) 计算一致性比例 CR : $CR = \frac{CI}{RI}$ 。

当 $CR < 0.1$ 时,认为该判断矩阵通过一致性检验。

经专家调查和 AHP 计算,确定污染场地修复技术筛选指标体系中场地条件 (C_1)、技术指标 (C_2)、经济指标 (C_3) 和环境指标 (C_4) 的权重分别为 $w_i = (0.184, 0.289, 0.278, 0.249)$ 。

1.4 修复技术评价及排序方法

TOPSIS 的具体计算步骤如下^[25]:

(1) 用向量规范化的方法求得规范化矩阵。设多参数决策问题的决策矩阵 $Y = \{y_{ij}\}$, 规范化决策矩阵 $Z = \{z_{ij}\}$, 则

$$z_{ij} = y_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m y_{ij}^2}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (1)$$

(2) 构成加权规范阵 $X = \{x_{ij}\}$ 。利用 AHP 法计算获得的权重 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$, 则

$$x_{ij} = w_j \cdot z_{ij}, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (2)$$

(3) 确定理想解 x^* 和负理想解 x^0 。设理想解 x^* 的第 j 个参数值为 x_j^* , 负理想解 x^0 的第 j 个参数值为 x_j^0 , 则

$$\text{理想解 } x_j^* = \{(\max_i v_{ij} \mid i \in I^+), (\min_j v_{ij} \mid i \in I^-)\}, j = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$\text{负理想解 } x_j^0 = \{(\min_i v_{ij} \mid i \in I^+), (\max_j v_{ij} \mid i \in I^-)\}, j = 1, \dots, n \quad (4)$$

式中, I^+ 为效益型参数; I^- 为成本型参数。

(4) 计算各方案到理想解与负理想解的距离。

$$d_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - x_j^*)^2}, i = 1, \dots, m \quad (5)$$

$$d_i^0 = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - x_j^0)^2}, i = 1, \dots, m \quad (6)$$

(5) 计算各方案的排队指示值(即综合评价指数)。

$$C_i^* = d_i^0 / (d_i^0 + d_i^*), i = 1, \dots, m \quad (7)$$

(6) 按 C_i^* 由大到小排列方案的优劣次序。

2 污染场地修复技术筛选案例研究

2.1 污染场地背景与场地调查

某焦化厂位于中国华北某市工业区内,占地面

积 180 m², 该焦化厂 1968 年开始筹建, 1970 年正式投产, 2006 年宣布破产。焦化厂主要产品包括焦炭、焦油和焦炉煤气等。该场地所在区域的地层主要分布特征为: 埋深 6 m 以内以回填土、粉土、砂类为主; 2~8 m 主要为黏土岩和砂岩; 8~15 m 主要为红黏土和细砂; 8 m 以下见石灰岩。现场地质勘查结果表明, 该场地在地下 50 m 范围没有地下水。

通过对该场地的土壤样品进行采样分析, 发现该场地存在挥发性有机物、半挥发性有机物和总石油烃类污染物, 主要污染物种类及超标倍数列在表 3 中。利用 RBCA 模型对该焦化厂进行人体健康风险评估, 结果表明此污染场地有多个地块土壤中污染物的浓度较高, 存在较大风险, 但因场地内无地下水分布, 因此只需对场地土壤进行修复。

表 3 某焦化厂污染物种类及浓度

Table 3 Types and concentrations of pollutants from a coking plant

序号 Number	超标污染物 Excessive pollutants	浓度 Concentrations (mg kg ⁻¹)
1	苯 Benzene	1.06
2	苯并(a)蒽 Benz(a)anthracene	188
3	苯并(b)荧蒽 Benz[b]fluoranthene	227
4	苯并(a)芘 Benzo[a]Pyrene	148
5	茚并(1,2,3-cd)芘 Indeno[1,2,3-cd]pyrene	98
6	二苯并(a,h)蒽 Dibenz[a,h]anthracene	34
7	蒽 Chrysene	191
8	咔唑 Carbazole	504
9	萘 Naphthalene	624
10	总石油烃 Total petroleum hydrocarbon	13 299

2.2 修复技术初筛

根据场地调查和资料收集的结果, 场地主要存在半挥发性有机物污染的情况, 同时受项目工期所限, 判定需采用异位修复技术进行污染场地的修复。根据以上条件初步筛选得到的修复技术为^[26]: 生物堆(T_1)、化学还原氧化(T_2)、固化稳定化(T_3)、焚烧(T_4)、热解析(T_5)。

2.3 修复技术评价排序

在进行专家调查时, 专家除了对指标权重进行评价外, 也对每个修复技术的各个指标进行了评分。针对本场地的 5 个备选修复技术, 评分数据整理后构成最初决策矩阵如表 4 所示。

表 4 最初决策矩阵

Table 4 Initial decision-making matrix

	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
C ₁	4	3	7	7	7
C ₂	6.8	3.6	6.8	7.6	8.4
C ₃	5	4	6	4	8
C ₄	5	5	3	7	8

按照式(1)的算法对最初决策矩阵数据进行归一化处理求得规范化矩阵(表5)。

表 5 规范化决策矩阵

Table 5 Normalized decision-making matrix

	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
C ₁	0.305	0.229	0.534	0.534	0.534
C ₂	0.445	0.235	0.445	0.497	0.549
C ₃	0.42	0.336	0.504	0.336	0.587
C ₄	0.434	0.434	0.26	0.607	0.434

根据层次分析法计算得到的指标权重 $w_i = (0.184, 0.289, 0.278, 0.249)$, 按照等式(2)进行计算得到加权规范阵(表6)。

表 6 加权规范阵

Table 6 Weighted normalized decision-making matrix

	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
C ₁	0.056	0.042	0.098	0.098	0.098
C ₂	0.129	0.068	0.129	0.144	0.159
C ₃	0.117	0.093	0.140	0.093	0.163
C ₄	0.108	0.108	0.065	0.151	0.108

加权规范阵依次按照式(3)~式(7)计算整理得到最终排序结果(表7)。

表 7 最终评价排序结果

Table 7 Preference order of the evaluated techniques

	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
d^*	0.082	0.135	0.094	0.072	0.043
d^0	0.079	0.043	0.095	0.128	0.135
C_i^*	0.491	0.242	0.502	0.64	0.758
排名 Rank	4	5	3	2	1

2.4 最优化技术确定

由评价结果可以看出,5个备选修复技术得分

在 0.242~0.758 之间,修复技术优劣的排序为:T₅、T₄、T₃、T₁、T₂。其中,较为理想的修复技术为热解析、焚烧和固化稳定化。在此场地实际修复过程中,土地所属单位选择了焚烧作为该场地污染土壤的修复技术,与所建立的指标体系筛选的结果较为相符。

3 结 论

我国污染场地的数量和面积增加较快,同时修复和管理也在加强,而污染场地修复技术筛选是土地拥有者和环境工作者面临的一个多参数决策难题。运用 AHP 与 TOPSIS 方法进行污染场地修复技术筛选的决策及在某焦化厂污染场地修复过程中的成功应用,为将来解决不同类型复杂污染场地的修复技术筛选决策奠定了良好的基础。本文得到主要结论如下:

1) 建立了较为完整的污染场地修复技术筛选指标体系,通过专家调查及 AHP 法确定了场地条件、技术指标、经济指标和环境指标 4 个方面 17 个影响因素的权重。

2) 将基于 AHP 与 TOPSIS 方法的污染场地修复技术筛选决策模型用于某焦化厂污染场地的修复技术筛选,对初筛的 5 种修复技术进行排序,筛选出最佳修复技术,所得结论与实际情况相符。

3) 将 AHP 与 TOPSIS 方法联合运用于污染场地修复技术的筛选,既克服了 AHP 在不易量化的指标上的主观性,又避免了 TOPSIS 法对指标权重的忽视,丰富和发展了污染场地修复技术筛选的决策模型和方法,可作为我国土地拥有者或环境工作者进行修复技术筛选的有效工具。

参 考 文 献

- [1] Khan F I, Husain T, Hejazi R. An overview and analysis of site remediation technologies. *Journal of Environmental Management*, 2004, 71(2): 95—122
- [2] 谷庆宝,郭观林,周友亚,等. 污染场地修复技术的分类、应用与筛选方法探讨. *环境科学研究*, 2008, 21(2): 197—202. Gu Q B, Guo G L, Zhou Y Y, et al. Classification, application and selection of contaminated site remediation technology: An overview (In Chinese). *Research of Environmental Sciences*, 2008, 21(2): 197—202
- [3] Pollard S J T, Brookes A, Earl N, et al. Integrating decision tools for the sustainable management of land contamination. *Science of the Total Environment*, 2004, 325 (1/3): 15—28
- [4] Lahlou M, Canter L W. Alternative evaluation and selection in

- development and environmental remediation projects. *Environ Impact Assessment Review*, 1993, 13(1): 37—61
- [5] Bonano E J, Apostolakis G E, Salter P F, et al. Application of risk assessment and decision analysis to the evaluation, ranking and selection of environmental remediation alternatives. *Journal of Hazardous Materials*, 2000, 71(1/3): 35—57
- [6] Hayes D M, Mazzuchit T A. A decision model for remedy selection under the comprehensive environmental response, compensation, and liability act. *Federal Facilities Environmental Journal*, 2005, 16(2): 79—94
- [7] Balasubramaniam A, Boyle A R, Voulvoulis N. Improving petroleum contaminated land remediation decision-making through the MCA weighting process. *Chemosphere*, 2007, 66(5): 791—798
- [8] Hwang C L, Yoon K. Multiple attribute decision making-methods and applications: A state of the art survey. New York: Springer-Verlag, 1981
- [9] Chen S J, Hwang C L, Hwang F P. Fuzzy multiple attribute decision making: Methods and applications. Berlin: Springer-Verlag, 1992
- [10] Park K S, Lee K S, Eum Y S, et al. Extended methods for identifying dominance and potential optimality in multi-criteria analysis with imprecise information. *European Journal of Operational Research*, 2001, 134(3): 557—563
- [11] 陈强, 杨晓华, 杨志峰. 基于熵权的 TOPSIS 法及其在水环境质量综合评价中的应用. *环境工程*, 2007, 25(4): 55—75. Chen Q, Yang X H, Yang Z F. Comprehensive assessment of water environment quality by TOPSIS method based on entropy weight (In Chinese). *Environmental Engineering*, 2007, 25(4): 55—75
- [12] 胡永宏. 对 TOPSIS 法用于综合评价的改进. 数学的实践与认识, 2002, 32(4): 572—575. Hu Y H. The improved method for TOPSIS in comprehensive evaluation (In Chinese). *Mathematics in Practice and Theory*, 2002, 32(4): 572—575
- [13] 甘勇, 李天生. 基于 AHP 和 H-TOPSIS 的火灾应急方案评估模型研究与应用. *郑州轻工业学院学报: 自然科学版*, 2009, 24(3): 1—5. Gan Y, Li T S. Research and application of evaluation model of fire emergency program based on AHP and H-TOPSIS (In Chinese). *Journal of Zhengzhou University of Light Industry: Natural Science*, 2009, 24(3): 1—5
- [14] Takeda E, Satoh J. A data envelopment analysis approach to multicriteria decision problems with incomplete information. *Computers & Mathematics with Applications*, 2000, 39(9/10): 81—90
- [15] 罗程钟, 易爱华, 张增强, 等. POPs 污染场地修复技术筛选研究. *环境工程学报*, 2008, 2(4): 569—573. Luo C Z, Yi A H, Zhang Z Q, et al. Remediation technology selection for POPs contaminated sites (In Chinese). *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2008, 2(4): 569—573
- [16] Aguarón J, Escobar M T, Moreno-Jiménez J M. Consistency stability intervals for a judgment in AHP decision support systems. *European Journal of Operational Research*, 2003, 145(2): 382—393
- [17] Stam A, Duarte Silva A P. On multiplicative priority rating methods for the AHP. *European Journal of Operational Research*, 2003, 145(1): 92—108
- [18] Ertuğrul I, Karakaşoğlu N. Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods for facility location selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2007, 39(7/8): 783—795
- [19] Gumus A T. Evaluation of hazardous waste transportation firms by using a two-step fuzzy-AHP and TOPSIS methodology. *Expert Systems with Applications*, 2009, 36(2): 4 067—4 074
- [20] Öñüt S, Soner S. Transshipment site selection using the AHP and TOPSIS approaches under fuzzy environment. *Waste Management*, 2008, 28(9): 1 552—1 559
- [21] Torfi F, Farahani R Z, Rezapour S. Fuzzy AHP to determine the relative weights of evaluation criteria and Fuzzy TOPSIS to rank the alternatives. *Applied Soft Computing*, 2010, 10(2): 520—528
- [22] Saaty T L. The analytic hierarchy process, planning, priority setting, resource allocation. New York: McGraw-Hill, 1980
- [23] 吴殿廷, 李东方. 层次分析法的不足及其改进的途径. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 2004, 40(2): 264—268. Wu D T, Li D F. Shortcomings of analytical hierarchy process and the path to improve the method (In Chinese). *Journal of Beijing Normal University: Natural Science*, 2004, 40(2): 264—268
- [24] 张崎, 西村昂. 提高层次分析法评价精度的几种方法. *系统工程理论与实践*, 1997, 17(11): 29—35. Zhang Q, Takashi N. Some methods of raising exactness of evaluation in AHP (In Chinese). *Systems Engineering—Theory & Practice*. 1997, 17(11): 29—35
- [25] Sun C C. A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert Systems with Applications*, 2010, 37(12): 7 745—7 754
- [26] Federal Remediation Technologies Roundtable Screening Matrix Update Committee. Remediation technologies screening matrix and reference guide. Virginia: National Technical Information Service, 1997

SELECTION OF REMEDIATION TECHNIQUES FOR CONTAMINATED SITES USING AHP AND TOPSIS

Zhang Qian¹ Jiang Dong^{1,2} Gu Qingbao^{1*} Li Fasheng¹ Zhou Youya¹ Hou Hong¹

(1 *State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China*)

(2 *School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China*)

Abstract As a potential pollution source, contaminated sites are located mostly in densely populated areas like cities, posing high environmental risks to the public and, what is more, tend to increase in number and area in recent years with the on-going industrial restructuring in cities of the country, thus arousing more and more concerns from the nation. Nowadays, in China and other countries of the world, a huge variety of technologies or techniques are available for remedying polluted sites technologies, so it's of great significance to scientifically screen out technologies, technically applicable, economically feasible and environmentally friendly. Based on analysis of currently available approaches to screening the technologies for remedying polluted sites, and methods and tools to solve the multi-parameter problem in decision-making, an AHP-and-TOPSIS based remediation decision making process was worked and put forth and an index system established for the screening. Weights of the indices for the screening were worked out through investigation by experts in this field using AHP, and then the remediation technologies were collated with TOPSIS. This remediation decision making process was verified with the actual screening for a case of polluted site in China. AHP and TOPSIS were used in combination to solve the complicated multi-factor problem in decision making, thus not only overcoming the issue of subjectiveness of AHP in handling hard-to-quantify indices, but also avoiding the shortcoming of TOPSIS neglecting index weights. It is, therefore, a good tool for landowners and environmental researchers to screen remediation techniques for polluted sites.

Key words Contaminated site; Selection of remediation techniques; AHP; TOPSIS