

AHP 与 SMART 方法在环境工程方案评比中的应用

高朗 程声通

(清华大学环境工程系 北京,100084)

摘要 本文以某大型污水海洋处置工程的方案评选工作为背景,介绍了 AHP 和 SMART 多目标决策方法在环境规划与决策中的应用。具体叙述了方案选优的总技术路线、目标体系的建立、目标相对权重的确定、指标值的评判与规范化、方案排序与结果灵敏度和合理性分析等内容。结果表明,AHP 与 SMART 方法相结合,是适于环境工程方案评选的一种较科学合理的方法。

关键词 AHP, SMART, 多目标决策, 环境决策

Abstract: This paper introduces the application of AHP and SMART multi-objective decision-making methodology in environmental planning and decision-making with the background of the options evaluation and selection work of one large scale oceanic sewage disposal project. It introduces in detail the overall technical route of options selection, the establishment of objectives hierarchy, the determination of relative importance weights of the objectives, the determination and normalization of the index values, the options sorting and the sensitivity analysis and reasonability analysis of the result. Through the practice, it is clear that the combination of AHP and SMART is a relative scientific and reasonable method that meets the requirement of environmental engineering options evaluation and selection.

Key words: AHP, SMART, multi-objective decision-making, environmental decision-making

1 前言

重大环境治理工程的方案评比与选优工作涉及经济、技术、管理和社会等多个方面,是典型的多目标决策问题。由于涉及的各个目标具有不同的重要程度,其属性存在可量化与不可量化之分,可量化的属性的量纲又各不相同,为决策增加了难度。目前已提出了一些解决多目标决策问题的理论方法,如目的规划法、回归分析法、理想点法、效用函数法、投入产出分析法等。但对于环境工程方案选择这样的涉及社会活动、定性与定量指标并存的较复杂的决策问题,科学合理的决策方法学还有待探索。

T.L.Satty 于七十年代提出的基于两两比较和相对规范化的 AHP (Analytical Hierarchy Process, 层次分析法) 方法,以其简洁合理的理论内核、较好的可操作性等赢得了许多决策分析者的重视,并在研究者的努力下不断得以发展。Ward Edwards 等属于多属性效用理论提出的 SMART 技术 (Simple Multiattribute Rating Technique), 对 AHP 的某些方面进行了改进,使其更便于使用。作者在参加的一项大型污水海洋处置工程方案评选

工程中, 尝试应用改进的 AHP 和 SMART 方法, 得到较满意的结果。

该项目为某滨海城市为解决日益突出的水污染问题而推出的污水收集、传输、处理、排放总体计划。该城市由陆地部分和若干大小岛屿组成, 经济发达, 人口密集, 每天有数十万吨污水排放海港, 其中仅有 50% 的污水在经分区排污渠排海以前经过初步的滤筛及沉淀处理。这种污水排放方式已经导致附近水域受到细菌和营养物等的污染, 出现过海洋食物链遭污染、泳滩暂时关闭的情况。当地政府认识到问题的严重性, 下决心建造一系列污水收集隧道, 收集来自城区各处的污水, 经污水处理厂处理后, 通过长距离海洋排污管排入离岸较远、附近无敏感受体的水域。我们的任务是从拟订的备选方案中通过环境、工程、经济、社会影响全面评比推荐较佳方案。

2 方案选优的总技术路线

方案选优的总技术路线是, 首先对方案进行初步筛选, 从一系列可行解中去除劣解, 保留非劣解作为备选方案, 然后应用 AHP 和 SMART 理论建立多目标决策模型,

通过对备选方案的属性分析,经综合评判得到方案排序。为了辅助决策,我们使用了一套计算机辅助软件,利用它可以为多目标决策提供快速直观的支持。方案评选的具体步骤如下所述。

2.1 污水量和污水特性预测

预测期限取 2001 年、2011 和 2021 年。预测内容包括污水量和水质(针对进水和不同处理级别的出水)。水质预测和项目包括酸碱性、生化需氧量、营养物、油脂、细菌含量、悬浮物及可沉降固体、重金属、微量有机物和其他有毒物质。

2.2 拟订初始方案长名单

基于已经提出的方案,补充新的可能方案,我们提出了一份初始方案长名单,它包括不同排放口位置、不同处理级别、不同处理厂位置、不同管道走向等不同因素组合的 120 余种初始方案。

2.3 生成备选方案短名单

由初始方案长名单生成备选方案短名单的原则是剔除劣解,保留非劣解。具体工程中采用“一票否决”法,即通过与规划、环保等部门协商,制订方案必须满足的紧约束条件,如水质目标、投资费用限制、土地利用限制、排污口布设不与主航道冲突的限制等,方案一旦违反这些约束之一就被淘汰。另外一个准则是若两个方案在其它方面都一致或基本一致,而其中一方案在某方面明显优于另一个,则后者被淘汰。经过多次磋商和初步的水质模型计算,最终保留 6 个方

案列入备选方案短名单。

2.4 决策模型的建立

按照 AHP 和 SMART 理论,在计算机系统辅助下,通过专家咨询建立起多层次的树状目标体系,并确定不同目标的相对权重。

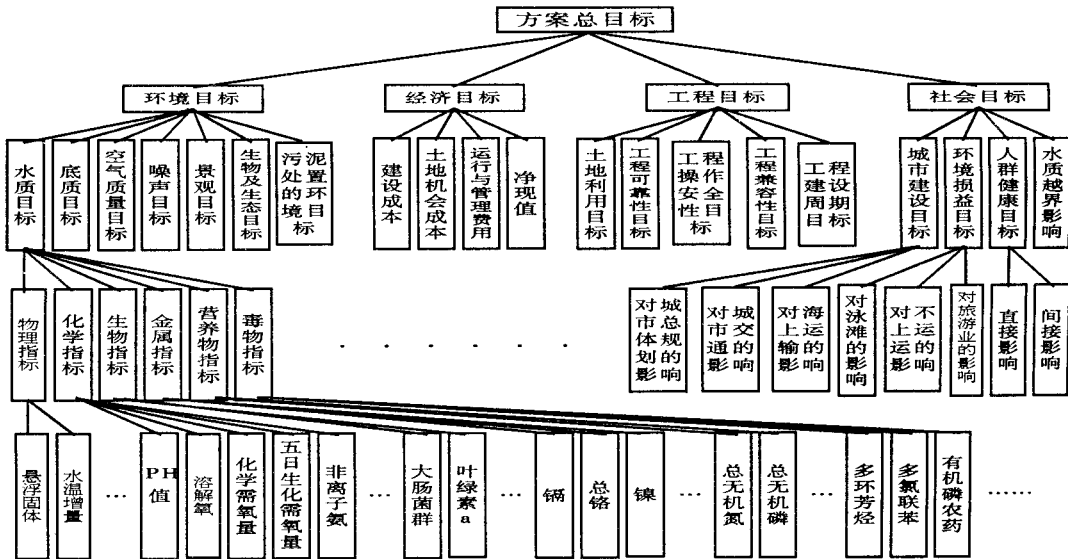
2.5 方案全面评比与排序

分析各备选方案不同目标的属性值,经规范化和综合后得到方案总得分,据此进行排序。分析结果对权重的灵敏度和结果的合理性,反馈给决策者进行调整,得到最终结果。

3 目标体系的建立

目标体系是方案评选的基础,它囊括了方案评比所考虑的一切准则,并组成有层次的整体。AHP 和 SMART 关于目标体系的结构有不同的看法,AHP 的目标体系是一种树网结构,即父目标可以有多个子目标,子目标也可以多个父目标,但总目标只有一个,而 SMART 对此作了简化,即目标体系是完全的树状结构,父目标可以多个子目标,但子目标只能有唯一的父目标。我们认为,SMART 的树状结构已足以处理该实际问题,并且概念更为清晰,因此采用了后者。首先通过头脑风暴法列出初的目标体系,利用 Delphi 法,经两轮专家咨询得到决策的目标体系。该目标体系共分 5 层,第一层为方案的总目标,第二层有 4 个分目标,第三层有 17 个分目标,第四层有 47 个分目标,第五层有 98 个分目标。下图给出了其中的部分目标。

图 1 方案评比的目标体系(仅列出部分目标)



4 目标相对权重确定

一个目标的权重,对于决策者来说是主观的产物。由于决策者的经历、文化背景、工作岗位的不同,每个人对同一目标的权重的认识不尽一。本研究选择了当地和内地有影响的若干政府官员和技术专家作为决策者,并将目标体系分为两个主要层次:决策层目标和技术层目标。对于决策层目标的权重,由决策者采用面对的讨论方式,在计算机系统辅助下加以确定。而对技术层目标的权重,首先通过比较广泛的调查确定权重的初值,再由决策者的讨论确定其终值。

在确定具体目标的权重时,我们除采用传统 AHP 的多标度两两比较法外,还根据本研究目标层次的项数较多的特点,对某些目标采用了直接赋值法或简化比较法。直接赋值是决策者直接对同一父目标的不同子目标的相对重要程度对分,简化比较是在两两比较原理的基础上,假定有不同目标的重要性具可传递性,即若 A 比 B 重要, B 比 C 重要,则 A 肯定比 C 重要的而无需再比较的一种简化方法。权重的确定经过了一致性检查和多次反馈。

5 指标值的评判与规范化

目标体系的最下层是具体描述各方案属性的子目标,称为指标。某些指标的属性值可以通过计算得到,但可能有不同的量纲;某些指标值是难以计算的。对指标值的评判我们采用了以下三种方法:

(1)直接计算法

大多数环境质量指标和经济指标的数值都是可以直接计算的。环境质量指标的属性值用环境质量预测模型计算,经济指标的属性值用工程经济方法计算。

(2)间接计算法

由环境影响和工程建设造成的某些社会经济目标的属性值通过间接算法确定。例如由于兴建污水处理厂土地不能用于其它规划用途的损失用机会成本法间接计算。

(3)相对赋值法

还有一些指标的属性值是难以直接或间接计算的。例如由于工程建设或污染物排放造成的景观损失或对水生生态的影响,目前都难以计量。对于这些情况,首先由专家对各方案的影响进行分析,再给出相对评分值。

由于指标的属性值量纲、标度各不相同,为了使得目标属性值可比,需要进行规范化处理。传统 AHP 法对指标属性值采用相对规范化(Relative Normalization)的方法,即以某个方案的指标属性值除以所有方案指

标属性值之和作为该属性的规范值,它表示该属性值在所有相同指标的属性值总和中所占的比例。用 AHP 方法算出的各方案的得分值随备选方案数的增减而变化,且其总和保持为 1。而 SMART 方法引入了取值函数(Value Function)的概念,即通过某种函数形式,将指标的规范值映射到 0 至 1 的闭区间。SMART 法的理想方案得分总为 1,便于决策者参考。我们分别用 AHP 法和 SMART 法计算了方案的得分,排序结果是一致的。

6 方案排序与结果灵敏度、合理性分析

根据每一个指标属性值的计算和规范化结果,以及每个指标的累积权重(该指标及其所有父目标的规范化权重之积),可计算每一个方案的总目标值:

$$V = \sum w \cdot G$$

式中: w ——每个指标的累积权重

G ——每个指标的属性规范值

按 V 的大小排序, V 值最大者作为推荐方案。

为了保证某一指标权重的偏差不会对决策结果产生颠覆性的影响,我们分析总目标对各指标的灵敏度,表明当任一权重的在小变化在 5% 以内时,方案排序不受影响,证明结果的鲁棒性。

此外,我们还利用计算系统分析了不同目标对决策结果的贡献(用堆积棒图表示),以及不同指标间的权衡关系(即某指标的属性改变 1 单位的效果,相当于另一指标改变多少单位的效果),经与决策者交流,认为该结果是合理的。

实践表明, AHP 与 SMART 方法相结合,是适于环境工程方案评选的较科学合理的方法,值得进一步研究。

参考文献

- 1 Lottsmma FA. A model for the relative importance of the Multiplicative AHP and SMART. European journal of operational research, Vol. 94; 1996: 467 - 470
- 2 Von Winterfelt D. and W. Edwards. Decision Analysis and Behavioral Research. Cambridge University Press, 1986
- 3 Satty, Thomas L. Multicriteria Decision Making - The Analytical Hierarchy Process. RWS Publications, pittsburg, 1992
- 4 林铨云,董加礼.多目标优化的方法与是论,吉林教育出版社,1992 年 8 月
- 5 杨满社,环境决策的理论模型及政策原理,环境科学进展,1996,4(2):68