

工程方案选择的权重-属性决策分析方法

程声通, 高朗(清华大学环境科学与工程系环境模拟与污染控制联合国家重点实验室, 北京 100084)

摘要: 工程方案的选择是工程项目的战略决策问题. 从认知学原理出发, 提出方案选择决策的3个要素: 目标、权重和属性. 对决策目标体系的建立、权重的调查和赋值、属性的分析和规范化进行了讨论, 提出了解决问题的思路和方法. 文中引用了一项工程方案决策实例, 进一步说明权重-属性分析方法的应用.

关键词: 决策分析, 权重, 属性, 工程方案选择.

中图分类号: X321.021 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2000)03-0031-05

Weighting-Attribute Analysis for Engineering Option Selection

Cheng Shengtong, Gao Lang(National Key Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract Option selection for engineering projects is a strategic decision making problem. Three key elements, objectives, weightings and attributes were proposed in the paper according to the cognition principle. The objective system establishment, the weighting survey and the attributes analysis were discussed in the paper. The methodology for option ranking was proposed. A case study were introduced to expound application of the weighting-attributes analysis method.

Keywords: decision making analysis, weighting, attribute, engineering option selection.

1 工程方案决策的特征

1.1 工程方案决策的复杂性

一个工程项目, 从建议立项到投产, 要经历方案论证、可行性研究、设计、施工和试运行等阶段. 每一个阶段都存在很多决策问题. 工程方案决策是方案论证阶段的重要内容, 是项目成败的关键. 从众多的候选方案中找出满意的方案, 是工程方案决策分析的基本任务.

一个工程方案的实现, 要涉及多方面的因素, 工程规模越大, 涉及的问题就越多. 一般来说, 大中型工程项目的方案选择都属于涉及面很广的多层次、多因素问题, 即多目标问题. 多目标问题结构复杂, 求解困难.

一个较大的工程项目, 与多个管理部门有关, 它的决策往往成为群体决策问题. 由于参与决策的人员来自各个部门, 对决策目标有不同的认识, 在决策过程中不免会形成意见冲突或矛盾, 增加了决策的难度. 当然, 由于决策冲突或矛盾的存在, 也使得产生决策偏差的可能性大大下降.

由于决策目标多, 许多目标具有不同的量纲, 不同量纲的目标之间, 用一般的数学方法是不可公度的. 对

不可公度的目标, 不可能直观评判它们的优劣. 还有一些目标是不能计量的, 它们的评比就更为困难.

1.2 工程方案决策的要素

一个复杂的工程方案决策问题, 可以简化为若干个比较简单的问题. 用比较简单的方法求解, 然后再对这些解进行综合, 以求得复杂问题的解. 分解-综合是工程方案决策分析的基本方法.

决策的目的是寻求价值最高的方案. 方案的价值体现在目标的价值上. 目标是有层次的, 一个较上层的目标可以分解为若干个较下层的子目标. 如果目标体系的分解满足一定的相对独立条件, 则所有子目标的价值之和就是方案的总价值. 目标的价值通常包含两方面内容: 绝对价值和相对价值.

绝对价值是对一个目标大小的绝对值的度量. 例如, “工程的投资额是多少亿元”, “占地面积多少公顷”等等; 相对价值是对一个目标在工程项目决策中所起的作用的大小的度量, 是相对于其它目标的作用大小

* 作者简介: 程声通(1939~), 男, 教授, 主要研究方向为环境系统工程.

收稿日期: 1999-07-04

而言的,比如说,“工程投资在方案决策中能够起多大作用”,“工程占地问题在决策中重要吗”等等。人们在对一个目标的价值作出判断的时候,总是同时在考虑绝对价值和相对价值,并力图将其综合考虑。目标的相对价值被称为权重(值),绝对价值被称为属性(值)。

目标、权重和属性是工程项目决策分析的三要素。绝对价值(属性)和相对价值(权重)都大的目标,在方案的决策中所起的作用也大,两者皆小的目标则作用也小。

2 目标与目标体系

2.1 目标的识别

决策目标是决策过程所追求的目的。一个多层次、多变量的工程方案决策问题,包含了大量的决策目标。可以根据有关的标准、规范和经验识别它们。对决策目标的基本要求是:

(1)充分性 充分性是对目标体系整体而言的,所建议的决策目标要能够涵盖决策问题的主要方面,反映决策问题的基本特征。

(2)必要性 必要性是对每一个具体的目标而言的。每一个目标在目标体系中都应占有自己的位置,在决策过程中起着不可替代的作用,并能够反映决策者和公众所关注的主要问题。

在决策分析的初期,由于对问题的认识不够深入,所提出的决策目标可能很多,而且无序。随着研究工作的进展,去粗取精,可以逐步形成有代表性的目标系列。

2.2 目标体系的建立

如果将方案决策的目的定义为寻求一个“满意”的方案,这个“满意”可能是由一系列的“满意”、“较满意”和“不满意”的目标组成的。根据目标的层次性特征,所有的目标按照一定的层次“对号入座”,形成一个树状结构的目标体系。树状结构的层次关系通常可以用经验方法形成,例如环境目标可以分解成水环境目标和空气环境目标等,水环境目标又可以进一步分解为各种水质目标等。对于一些比较复杂的问题,系统工程学的系统识别方法(如结构化模型方法,ISM)可以提供支持。

目标在决策过程中的作用,是通过目标的权重值和目标的属性值体现的,它们是目标的两个量化特征。

3 权重

3.1 权重的主观性

权重反映一个目标在整个目标体系中的相对重要

程度,这种重要性在很大程度上取决于人们对事物的认识水平和人们所追求的目的。在群体决策中,决策者所追求的目标和对问题的认识往往不一致,反映在他们对权重的认识有一定的差别。

权重的主观特征给决策带来了许多矛盾,但也提供了深入探讨、认识问题的契机。通过各种方法和途径,使决策者在权重的识别上达到共识,是决策分析的重要目的。

权重是各个目标在决策中的相对重要性的体现,反映了决策者对目标重要性的认识,也反映了决策者的主观意愿。决策人员在管理岗位上,更多的是处理着一类“关系”问题,常常要根据轻重缓急对事物的优先顺序作出安排,决策者比较善于处理这种横向关系;此外,确定权重本身也是一个通过权衡作出选择的决策过程。因此,由项目决策者确定目标权重是一种较理想的选择。

3.2 权重调查方法

权重值可采用“背靠背”的书面调查和“面对面”的会议调查相结合的方法确定。

书面调查采用回答问卷的形式。被调查者可以独立思考,畅所欲言。第一次书面调查的结果可能非常分散,结论不集中。分析人员可以将调查结果进行统计分析,返回被调查者,并接着进行第二次或更多次的书面调查。一般情况下,第二次书面调查的结果,比第一次会有很大的改进。

会议调查是在书面调查结果的基础上进行的。被调查者面对面发表意见,通过互相启发和争论,逐步缩小分歧,扩大共识。如果在书面调查的基础上,建立决策支持系统,在会议调查中可以快速反馈不同意见和观点对方案排序的影响,作出灵敏度分析,则会议调查的效果将更为理想。

3.3 权重调查表格的设计

权重调查表格的设计,要便于被调查者回答问题,也要便于分析者处理调查数据。表格的设计一般有“两两比较”和“全量比较”两种形式。

“两两比较”法是请被调查者对需要比较的目标进行每两个的“捉对厮杀”,给出其重要性。由于每一次只须在两个目标之间进行比较,被调查者易于赋值。

“全量比较”法是针对同一父目标下的所有子目标,请被调查者一次性给出其相对重要程度。从本质上说,由于目标权重存在传递性,“两两比较”和“全量比较”的效果是一样的。

权重是各个子目标相对于其父目标的重要性的度量,因此权重调查表要按照目标体系的层次结构设计。

可以用‘1、3、5、7、9’这样一些数字表示目标的权重。例如用‘1’代表不重要,‘9’代表极重要等。被调查者只须根据自己对目标重要性的理解作出标注即可。

3.4 权重调查数据的处理

(1) 书面调查数据的处理 对书面调查获得的数据,首先要进行有效性检验,保证参加统计的答卷符合既定条件。然后进行统计处理,统计权重调查数据的最大值、最小值、平均值和均方差等内容,为进一步的分析提供信息。

(2) 会议调查数据的处理 决策者在面对面的讨论过程中,对目标的权重逐渐达成共识。在此基础上,用下述方法进行数据处理:①归一化处理:由于每一个子目标的权重评分是针对其父目标确定的,并且是以1~9的数值表示的,所以要对每一组子目标的评分进行归一化处理。②连乘处理:自上而下将每一个目标的归一化权重乘以其父目标的权重,得到每一个目标的最终权重。

4 属性值

属性是决策目标的固有特性,反映了目标绝对价值的大小。例如,污水排放对水体水质的影响,水体中的污染物质的浓度增量等。属性分析是一项“纵向”的研究工作,一般说来,由各个领域的专家担任属性分析的任务是比较适当的。属性分析通常按下述步骤进行。

4.1 活动的识别与分解

活动是指某一方案的工程实施过程中所要进行的工作,如在工程施工期,施工条件的创造(施工场地的平整、道路的修筑、供水管道的铺设等)、打桩、混凝土的浇注、设备安装等;在运行期,污染物的收集、传输、处理、排放等。活动识别与分解是进行属性分析的前提。活动分解从上至下进行。活动的分解应包括施工期和运行期。可以用任务分解表表达活动的识别与分解。

4.2 活动影响的识别

针对每一项活动对每一个受体识别其影响。应当以决策目标体系为纲对这些影响进行分析,包括各个方案的活动对环境、经济和社会的影响。为了能够清晰表达这种影响,可以采用影响矩阵的方法。

4.3 目标属性的量化

在识别活动的各项影响之后,需要对影响的大小进行分析。影响大小的分析就是目标的属性分析。这种分析需要按照各专业的要求进行。

对活动影响分析的结果进行量化处理。目标属性的量化主要有直接计算、间接计算和相对赋值3种方法:

(1) 直接计算法 大多数的环境指标和经济目标都可以直接计算。环境质量预测模型是计算环境目标的主要工具;经济目标可以采用工程经济方法计算。

(2) 间接计算法 某些目标虽然难以直接计算,但可以通过间接方法计算。例如,某些环境损益目标的价值可以用机会成本法、替代市场法、旅行费用法等进行估算。

(3) 相对赋值法 对于某些既不能直接计算,又不能间接计算的目标,如大多数社会影响目标和工程目标,可以采用相对赋值的方法。在分析的基础上,根据同一个父目标下的各个子目标的相对轻重大小,给以‘很小、小、中等、大、很大’的描述。

4.4 目标属性值的规范化

在目标属性量化以后,有的属性值具有量纲,有的则没有量纲;有量纲的其量纲也未必一致。为了使方案总价值的计算能够进行,有必要对所有的属性值进行规范化处理,使其转化到统一的度量标准上。

可采用标量法进行属性值的规范化。对理想方案给予既定的最高分(如100分),对刚好满足准则的可行方案给予既定的最低分(如0分),其它方案的同一目标的规范化属性值通过线性插值计算。

在方案的全面评比中,很多目标没有准则值可循,例如大多数工程目标和社会目标,可以根据属性分析的结果,分等级赋予评分。

5 方案价值的计算与排序

5.1 方案的价值计算方法

方案的总价值可以用下述方法计算:

$$V_i = \sum_{j=1}^m W_j S_{ij} \quad (1)$$

式中, V 为方案的总价值; i 为方案编号; j 为目标体系中底层目标的顺序编号; m 为目标体系中底层目标的数目; W 为目标的权重; S 为目标的属性值。

5.2 方案排序

方案的价值是方案排序的依据。根据总价值的大小,排列各候选方案。

6 灵敏度分析

6.1 灵敏度分析的内容

决策者不仅关心方案的优劣,还十分关心方案的灵敏度,即排序结果对各种不确定因素的抗干扰能力。如果方案对这种不确定性很敏感,稍有偏差就会改变排序结果,则这种排序的可靠性就较低。

系统输出相对于系统输入的相对变化的响应称之

为灵敏度. 对工程方案的权重-属性决策分析来说, 主要的系统输入及不确定性来源是权重和属性值, 主要的系统输出是方案排序和满意方案的价值, 相应的灵敏度分析包括下述主要内容:

(1) 方案总价值和方案排序对权重的灵敏度 通过此类灵敏度分析, 可以识别系统目标权重的变化对方案排序的影响, 并由此验证备选方案排序的可靠程度.

(2) 方案总价值和方案排序对属性值的灵敏度 通过此类灵敏度分析, 可以分析由于属性值计算的误差对满意方案的影响, 从而发现可能的决策误差或风险.

6.2 灵敏度分析的方法

根据灵敏度的定义, 前述 2 种灵敏度的计算表达式如下:

(1) 方案总价值和方案排序对权重的灵敏度

$$S_W^V = \left| \frac{\Delta V}{V} / \frac{\Delta W}{W} \right| \tag{2}$$

$$\Delta V = S_W^V \cdot V \cdot \left| \frac{\Delta W}{W} \right| \tag{3}$$

$$V^1 = V + \Delta V \tag{4}$$

式中, S_W^V 为某一方案的总价值 V 对某一目标的权重 W 的灵敏度; $\frac{\Delta V}{V}$ 为方案总价值的变化幅度; $\frac{\Delta W}{W}$ 为某目标权重的变化幅度; V^1 为扰动后的方案总价值.

为了考察某目标的权重对方案排序的影响, 则需要依次计算各方案的总价值对该目标权重的灵敏度(式 2)、该权重的相对变化引起各方案总价值的增量(式 3)和权重的相对变化引起的各方案总价值的绝对量(式 4). 按照扰动后各方案的总价值对备选方案重新排序.

(2) 方案总价值和方案排序对属性值的灵敏度与权重的灵敏度分析方法基本一致:

$$S_S^V = \frac{\Delta V}{V} / \frac{\Delta S}{S} \tag{5}$$

式中, S_S^V 为某一方案的总价值 V 对某一方案的属性值 S 的灵敏度; ΔS 和 S 分别代表某个目标的属性值增量和属性值.

7 实例分析

7.1 背景条件

某地计划建设大型污水海洋处置工程, 将城市中心区 200 万 m^3/d 的污水经处理后进行海洋处置. 给定的约束条件如下:

污水处理厂候选位置: A 和 B;

污水处理方法: 化学混凝沉淀(CEPT)加紫外线(UV)消毒, 生物部分脱氮(BN)处理加紫外线消毒, 或生物脱氮(BNR)处理加紫外线消毒;

污水处置候选地点: 甲、乙、丙和丁.

对上述约束条件进行组合, 形成 198 个初始方案, 经初步的技术经济分析和逻辑分析, 筛选出 40 个方案短名单; 在经过水质模拟以后, 提出 7 个候选方案, 这些方案都是可行方案和非劣方案.

7.2 决策目标

该项研究的总目标是从给定的候选方案中寻求满意的方案. 首要的任务是建立决策目标体系. 根据项目任务书的指引和项目的主客观条件, 上层目标包括环境、经济、工程技术和社会 4 个方面. 从这 4 个上层目标逐步分解, 得到一个树状的目标体系. 这个目标体系由分布在 5 个层次上的 79 个分目标和子目标组成, 其中以环境目标的分支最多, 含有 4 个层次, 37 个分目标和子目标.

7.3 权重分析过程

权重调查采用书面形式. 调查表的设计基于“全量比较”方法. 即将同一个父目标下的子目标列在同一栏内, 由被调查者给出他们各自相对于父目标的重要性. 用“1、3、5、7、9”作为相对重要性的标度.

被调查对象是该项研究的管理小组成员, 共 11 人. 他们被认为是参与群体决策的人员. 调查者和被调查者的工作都很认真. 第一次调查的结果, 最大权重认同率(MIR)(对某一个目标给定同一权重值的人数占被调查的总人数的比例, 称为目标权重的认同率. 其中获得认同人数最多的权重所对应的认同率, 称为最大认同率, Maximum Identical Rate, MIR)超过 50% 的目标就达到 60%. 特别是对于环境目标, 所有被调查者的认识完全一致, 都给出了“9”的最高分, 就是说, 他们都认为, 环境目标在决策中“非常重要”. 表 1 表示各级目标的最大认同率.

表 1 最大认同率 MIR ≥ 50% 的目标¹⁾

级 别	目标总数	MIR ≥ 50% 的目标数	所占比/%
第二级	4	3	75
第三级	12	7	58
第四级	18	9	50
第五级	17	11	65
总和	51	30	59

1) 第一级为总目标

7.4 属性分析过程

属性分析的任务有二: 分析并确定目标的绝对价

值;对目标的绝对价值进行规范化处理.

(1)属性值的计算 目标体系中的大多数环境指标和经济指标都可以直接计算.水质模型,空气质量模型,噪声预测模型和工程经济方法是计算的工具.

水质变化对海洋生物和生态的影响,水质的改善与变化的经济损益这些内容是不可能直接计算的,通过间接的算法或替代算法实现.

有一些属性既不可能直接计算,也不可能间接计

算.他们的属性值通过相对赋值法获得.几乎所有的工程目标和社会目标都属于这一类.

(2)属性值的规范化 属性值的规范化采用百分比、分级线性插值的形式.

7.5 方案总价值与排序

根据 5.1 节的计算式,计算各方案的总价值(表 2).根据表 2 的数值对方案排序,得到表 3.

7.6 灵敏度分析

表 2 方案总价值与主要目标得分

方案价值	权重	方案编号							理想方案价值	差别/%
		I	II	III	IV	V	VI	VII		
方案总价值		76.8	80.7	79.5	71.4	78.6	72.6	78.1	100.0	9.3
环境	0.3361	66.4	70.7	78.8	81.0	74.9	81.2	65.7	100.0	15.5
海洋环境	0.1794	41.4	49.4	64.6	75.6	57.3	78.1	40.2	100.0	37.98
近岸环境	0.1567	95.0	95.0	95.0	87.1	95.0	84.8	95.0	100.0	10.2
经济	0.2297	79.4	79.5	77.7	52.2	75.0	49.9	80.4	100.0	30.4
工程	0.2341	94.6	96.0	88.7	76.2	91.3	75.5	95.2	100.0	20.5
社会	0.2002	70.6	80.9	72.1	71.8	74.2	80.6	76.2	100.0	10.4

表 3 方案总价值排序与主要目标得分排序

排序依据	方案排序						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
按方案总价值	5	1	2	7	3	6	4
按环境价值	6	5	3	2	4	1	7
按海洋环境价值	6	5	3	2	4	1	7
按近岸环境价值	1	1	1	6	1	7	1
按经济价值	3	2	4	6	5	7	1
按工程价值	3	1	5	6	4	7	2
按社会价值	7	1	5	6	4	2	3

以方案排序对权重的灵敏度为例.当对主要目标的权重做±20%扰动时,得到的方案排序如表 4 所示.

由灵敏度分析可以看出,当权重发生扰动时方案排序会相应变化,但方案II 表现出较大的优势,始终占据首位.根据上述分析,决定将方案II 列为推荐方案,供决策者参考.

表 4 主要目标权重扰动±20%时的方案排序

项 目	主要目标				方案编号						
	环境	经济	工程	社会	I	II	III	IV	V	VI	VII
原始权重	0.3361	0.2297	0.2341	0.2002	5	1	2	7	3	6	4
环境 + 20%	0.4033	0.2064	0.2104	0.1799	5	1	2	7	3	6	4
环境 - 20%	0.2689	0.2529	0.2578	0.2204	5	1	2	7	4	6	3
经济 + 20%	0.3160	0.2756	0.2202	0.1882	5	1	2	7	3	6	4
经济 - 20%	0.3561	0.1837	0.2481	0.2121	5	1	2	7	3	6	4
工程 + 20%	0.3155	0.2156	0.2810	0.1879	5	1	2	7	3	6	4
工程 - 20%	0.3566	0.2437	0.1873	0.2124	5	1	2	7	3	6	4
社会 + 20%	0.3193	0.2182	0.2224	0.2402	5	1	2	7	3	6	4
社会 - 20%	0.3529	0.2411	0.2458	0.1601	5	1	2	7	3	6	4

参考文献

- 夏绍玮, 杨家本, 杨振斌. 系统工程概论. 北京: 清华大学出版社, 1995. 1~ 20.
- Thomas L Saaty. Multicriteria Decision Making-The Analytical Hierarchy Process. Pittsburg: RWS Publications, 1992, 43~ 48.
- 陈挺. 决策分析. 北京: 科学出版社, 1987. 1~ 15.
- Paul Yoon K, Ching Lai Hwang. Multiple Attribute Decision Making-An Introduction. Sage University Press, 1995. 121~ 174.
- Joao Climaco eds. Multicriteria Analysis. Berlin: Springer, 1997. 1~ 3.