

离散型多准则最优化决策模型在 NEQDSS 中的应用

王 金 南

(中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要 离散型多准则最优化决策模型(简称 DMODM)是解决由有限决策变量离散取值生成的、评价准则为多个的一类决策优化问题的模型。与目前常见的决策模型或方法相比,该模型具有适应性强、交互式过程、吸收决策者的参与以及离散性和求解速度快等特点。本文简要地介绍了该模型的原理及其两种求解方法,并具体描述了国家环境质量决策支持系统(简称 NEQDSS)选择该模型的依据、决策过程、具体数学模型的选择与匹配、决策控制变量确定与取值,以及决策目标确定和交互式过程等应用情况。最后对该模型在 NEQDSS 中的应用效果作了总结评价。

关键词 离散型多准则决策模型,环境质量决策,最优化决策。

离散型多准则决策是指方案由决策变量离散取值生成的、方案数目有限并涉及多准则或多目标的一类最优化决策问题。在八十年代初期,国际应用系统分析研究所(IIASA)针对这类决策问题进行了各种决策软件开发研究,并取得了一些成果,如 DISCRETE(离散型)软件包和 DIDAS(连续型)软件包。本研究将根据 DMODM 的原理,通过对 DISCRETE 软件包的完善开发,最后应用于国家环境质量决策支持系统(NEQDSS)方案的决策评价比较。

一、国家环境质量决策支持系统概况

国家环境质量决策支持系统是国家“七五”期间开发的国家环境信息数据库中的一个重要子系统,其主要用户为国家环保局和地方环保局。该系统以 52 个重点环境保护城市为控制依托,具有环境质量决策模拟、预测、规划和方案比较评价等辅助决策功能,同时能为中高层环境管理决策部门制定环境保护计划和有关政策提供科学的决策手段和有力的信息支持。

NEQDSS 包括三个部分:①国家环境质量决策数据库(NEQDDB)管理系统;②国家环境质量决策模拟系统;③国家环境质量决策

评价比较系统。其中决策评价比较系统是 NEQDSS 的核心,具有良好的用户界面。使用该功能,决策者可以在给定的约束模型下,根据所选择的评价准则、自己的偏好、兴趣、经验以及期望水平等信息来评价比较有限个离散方案,并从中筛选出最满意的方案。

二、离散多准则最优化决策模型(DMODM)

假设已知存在 n 个可行离散方案,每个方案的控制变量为 S 个,其集合为 X^0 ;而每个方案都采用 m 个评价准则进行评价,其准则评价价值(例如,采用投资费用最小的评价准则,该评价价值就是相应方案的投资费用)则构成可行方案的另一个集合 Q 。用数学模型表达,即为:

$$\min_{x \in X^0} f(x)$$

$$X^0 = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \subset X = R^S$$

$$f(x) = (f^1(x), f^2(x), \dots, f^m(x))$$

$$f: X^0 \rightarrow Q$$

$$Q = \{f_1, f_2, f_3, \dots, f_n\} \subset F = R^m$$

$$f_j = f(X_j), j = 1, 2, \dots, n$$

此外,假设在目标空间 F 中定义一个优势锥 A 。在大多数实际问题中,该优势锥通常被认为是一个正交锥,即 $A = R_+^m$ 。这样,我们就可以把

部分优先关系“ $<$ ”引入到目标空间,即:

$$\forall f_1, f_2 \in F$$

$$f_1 < f_2 \Leftrightarrow f_1 \in f_2 - \Lambda$$

该式说明,从部分优先的意义上说, f_1 要比 f_2 占优势,其程度为优势锥 Λ 。

如果某可行方案的 $\bar{f}(\bar{f} \in Q)$ 比其它任何可行方案占优势,则该方案的可行准则值 $\bar{f}$ 在 Q 集合中是非劣或优势的。如果设

$$N = N(Q) \subset Q$$

代表目标空间中所有非劣解的准则值的集合,而 $N_x = N(X^0) \subset X^0$ 代表决策空间中相应的所有非劣解的决策方案的集合,那么求解离散多准则最优化问题(DMOP)就意味着如何寻找非劣解准则的集合 N 以及相应的非劣解决策方案集合 N_x 。

从以上的描述和分析中可以发现:

1. 根据前面所定义的离散可行方案集合 X^0 和相应的准则评价值集合 Q (包括相应的 m, n, S),就完全可以构造一个DMOP模型。因此,由决策者提供的输入文件则应该包括这两个集合。

2. 准则或目标函数 f_i 的特性没作任何规定。实际上,对 f_i 的唯一要求就是对各个方案赋予数值,以表示准则评价特性。具体地说,函数 f_i 可以采用定量表达式,但其准则值必须用数值表示。

三、DMODM 的求解方法

通常,该问题的求解分成两个步骤:①从所有备选方案的方案集 X^0 中选择出非劣解方案集;②“最佳”求解,即采用决策者对所考虑问题的最终求解方法一致的方法,以决策者的经验、偏好等作为决策依据,对非劣解方案进行选择。

在以上两个求解步骤中,NEQDSS所采用的方法分别是劣解近似法和参考点法。以下简要介绍这两种方法。

(一) 劣解近似法(DAM)

该方法具有直接枚举的特性,并以以下两个概念定义为基础:

定义1: 设 Q 为所有可行方案的准则评价值的集合, N 为相应非劣解方案的集合, Λ 为优势锥,则当且仅当 $N \subset A - \Lambda$ 时,集合 A 可称为 N 的一个劣解近似。

定义2: 当且仅当 $A_1 \subset A_2 + \Lambda$ 时,近似 A_2 要比非劣解集合 N 的近似 A_1 占优势。因此, N 的最差近似是集合 Q ,而 N 的最好近似则为 N 集合本身。

于是,根据劣解近似法就产生出一个近似序列 $A_K, K = 1, 2, \dots, L$,使得

$$Q = A_0 \supset A_1 \supset A_2 \supset \dots \supset A_K \supset \dots \supset A_L = N$$

根据上述定义,DAM可概括成如下问题。

已知: Q 和 Λ ,同时假设所有准则都是最小化;

要求: 选择所有方案中非劣解准则值的集合 $N = N(Q)$;

步骤1: 设 $A_0 = Q, N = \phi, K = 0$

步骤2: 如果 $A_K \setminus N = \phi$,则终止;否则选择任何一个 $i \in I = \{1, 2, \dots, m\}$,并寻找 $\bar{f} \in Q$,使得 $\bar{f}^i = \min_{A_K \setminus N} f^i$,置 $N = N \cup \{\bar{f}\}$,转入步骤3;

步骤3: 用 $\bar{f}$ 构造新的近似 A_{K+1} ,即

$$A_{K+1} = \{A_K \setminus N\} \setminus \{(\bar{f} + \Lambda) \cap (A_K \setminus N)\} \cup N,$$

置 $K = K + 1$,转入步骤2;

最后,当满足终止条件 $A_K \setminus N = \phi$ 时,所寻找到的方案集就是非劣解方案集 N 。

对于一个有 m 个评价准则、 n 个可行方案和 p 个非劣解方案的DMOP问题,使用DAM的效率可用它所要求的标量比较次数来衡量,其预期的最大标量比较次数 S 为:

$$S_{\max}(m, n, p) = \frac{mp}{2} (2n - p - 1)$$

劣解近似法的最大优点是选择后得到一个非劣解方案的代表集,而不是整个非劣解集合。

(二) 参考点法(RPA)

对于一个DMOP问题,当采用DAM排除了所有劣解方案之后,其剩余的非劣解方案集通常还是很大的,而且其代表集就自然部分优先的意义而言也是不可比较的。针对这一特

点, IIASA 开发了一种行之有效的从非劣解方案中选取满意解的方法, 即参考点法。

RPA 是基于这样一种假设: 每个人的日常决策都是根据目标和期望值而不是权重系数或最大效用来考虑问题。使用 RPA 法时, 决策者可与计算机进行交互式工作。该法可以分以下两个阶段进行。

1. 试验阶段

决策者可了解一些有关方案的频数分布和范围等信息, 以便使他对所解决的问题作一全面的考察; 决策者为了把自己的兴趣集中在某个方面, 也可以为方案集的准则值设置某些限度。

2. 搜寻阶段

首先, 要求决策者根据准则空间的参考点确定他的偏好。用准则空间参考点确定表示的准则者就是决策者想要达到的值(目标), 而且反映了他的经验和偏好; 然后, 系统确定一个最靠近参考点的方案作为有效点, 即考虑模型约束条件以及决策者所确定的参考点时得到的问题“最佳”解。

如果决策者对该解感到满意, 那么他就可以以该解作为他最终决策的依据; 反之, 为得到一个新的有效点, 他就可以修改他的目标, 如改变参考点、约束条件、先前设置的边界或建立一些补充方案等等。

为了使参考点法具有可计算性, 则必须定义出一个把多目标最优化问题转换为单目标最优化问题的标量函数。当决策者根据参考点(该参考点不一定是可达到的)确定完他的偏好后, 那么从标量函数的意义上来说, 他就得到一个有效点, 即最靠近参考点的一个非劣点。

在 NEQDSS 的参考点法中, 采用的函数是欧几里德范数标量化函数。假设 q 是决策者确定的参考点, 所考虑的最优化问题又是一个对所有准则都是最小化的问题(如果某准则是最大化, 则可用改变符号的方式使它转换为最小化问题), 那么求解有效点就意味着使下列标量化函数最小化:

$$S(f - q) = \|(f - q)\|^2 + \rho \|(f - q)_+\|^2$$

式中, $(f - q)_+$ 为一矢量, 其各分量元素由零矢量和 $(f - q)$ 矢量相应各分量的最大者组成, $\|\cdot\|$ 为欧几里德范数, $\rho (> 1)$ 为惩罚性标量系数。

四、应用描述和分析

下面对 DISCRETE 应用选择依据、决策过程模型、决策目标或准则确定以及交互式决策过程等内容作一简要描述和分析。

(一) DISCRETE 应用选择依据

根据 NEQDSS 系统的目标要求, 国家环境质量决策支持系统所要解决的核心问题是如何帮助决策者(用户)在一定的决策信息支持下, 首先形成一定数量的离散方案, 然后系统根据决策者所确定的决策目标(或准则)向用户提供非劣解决策方案, 决策者再根据自己对决策目标值的经验偏好与系统交互对话, 最后得到一个最接近决策目标要求的方案。而建立在离散型多准则决策模型基础上的 DISCRETE 软件恰好体现了国家环境质量决策的离散型、多目标和交互式三大特征, 并且与其它决策方法相比, 还具有下列优点:

(1) 不受具体决策问题限制, 适应性很广;

(2) 具有交互式特点, 而一般优化决策方法只能一次性方案优化选择;

(3) 能提供一个友好界面来吸引决策者参与, 并能吸收决策者的经验和偏好;

(4) 决策目标和方案数目限制性很小, 而且搜寻非劣解方案的速度较快, 充分满足决策的时效性要求;

(5) 决策过程模型不受是否离散性要求限制。换言之, 连续性过程模型也能应用;

(6) 在决策支持系统(尤其是环境决策支持系统)领域中已有较多的成功应用。

为此, 根据 DISCRETE 软件的功能和 NEQDSS 的系统目标要求, 我们在 NEQDSS 中引入了先进的 DISCRETE 软件, 作为 NEQDSS 的一个最重要的决策软件工具。

(二) 决策过程约束模型选择

考虑到计算机解题时间和用户对系统的响应时间要求,决策方案数目以 200 至 2000 之间为宜。而方案数目直接取决于控制变量的数目及其可能的取值个数(例如,某模拟模型的控制变量为 8,而每个变量可取 3 个值,则其排列组合的总方案数目为 $3^8 = 6561$)。因此,目前 NEQDSS 的比较评价中,其约束模型将选择控制变量数目较少的模型。具体而言,大气质量决策评价中,将选择第(AII)套模型;而水质质量决策方案评价中,则选择第(WIII)套模型。两套模型都由 7 个一级子模型构成,它们分别为:

- (1) 经济、人口增长模型;
- (2) 能源和水资源消耗或使用模型;
- (3) 污染物(BOD、COD、酚、SO₂、TSP、NO_x、粉尘)产生模型;
- (4) 污染物削减或控制模型;
- (5) 污染物(削减后)实际排放模型;
- (6) 污染物治理或削减投资及其分析模型;
- (7) 污染物排放总量与质量浓度转换模型。

上述每个一级子模型间存在着正向递推和逆向递推关系,即既可以从经济人口发展推测环境质量变化趋势,又可以从环境质量控制目标反推对社会经济发展的影响。每个一级子模型由多个模型单元构成,如大气污染物产生模型就由:① SO₂ 产生模型;② 烟尘(SD)产生模型;③ NO_x 产生模型;④ 工业粉尘产生模型等四个单元组成。

考虑到决策过程模型的结构化要求和系统响应速度的影响因素,NEQDSS 所采用的决策过程模型大多采用了指数增长模型和线性模型(DISCRETE 软件对过程模型没有线性要求)。由于篇幅所限,两套模型(达 1000 多个单元)的具体表达式在此不再叙述,具体可参见 NEQDSS 的开发研制报告。

(三) 控制变量及其取值

在选用 AII 决策模拟模型生成离散决策方案时,其控制变量及其变量取值数目如下:

工业产值增长率: 3—4

人口计划增长率: 1—2

城市计划用煤人口比例增(减)量: 2—3

城市计划使用煤气人口比例增(减)量:
2—3

每年供热面积增加量: 2—3

交通运输业年递增率: 1

工业洗煤生产能力: 1—2

工业型煤生产能力: 1—2

烟道气脱硫能力: 1

民用型煤供给能力: 1—2

行业烟尘削减率: 3—4

汽车尾气净化装置率: 1

工业粉尘回收率: 1—2

由此,生成的离散方案最少为 72 个,最多为 13824 个。

当选用 WIII 模型来生成离散决策方案时,其控制变量及其取值数目如下:

工业产值增长率: 3—4

人口计划增长率: 1—2

工业废水处理率: 3—4

生活污水一级处理率: 1—2

生活污水二级处理率: 1—2

技术进步率: 1—2

按此,生成的离散方案最少为 9 个,最多为 256 个。

(四) 决策目标或准则的确定

在 NEQDSS 中,选择下列指标作为决策目标或方案的比较评价准则:

(1) 工业产值增长率速度最大或工业总产值水平最高;

(2) 各种污染物排放量最小或污染物年平均浓度最小;

(3) 环境保护总投资费用最小。

每个决策目标(如污染物年平均浓度最小)又可分为若干个子目标(如 SO₂ 浓度、NO_x 浓度和 TSP 浓度最小)。在实际决策过程中,决策者可以根据需要对上述目标进行取舍(如只取前两个目标)。此外,如果希望选用较少的决策目标或准则时,也可以把某些目标作为约束条

件,或者把几个可以相互比较的目标综合成一个目标。

(五) 交互式决策过程

由于 NEQDSS 系统开发期间图形软件环境的限制,目前所开发的 NEQDSS 与决策者交互式决策过程主要采用系统提供信息支持和操作显示,即以对话和菜单选择为主要方式进行。用户与系统的交互式决策过程主要有以下几个阶段或过程。

1. 决策范围(城市)选择

用户可以根据城市类别(如旅游城市、沿海开放城市、特大城市)或某个(某几个)来选择所要决策的范围。

2. 基年和决策年份选择

决策者可以根据系统提供的信息任意确定决策基年和水平年。确定之后,系统将显示有关城市基年的决策基本信息,使决策者得到一个背景知识。

3. 决策变量控制值输入

用户根据系统所提供的对话式表格以及控制变量的参考信息,利用数字键和光标键采用不同的方法对每个决策变量赋值。

4. 决策目标确定

系统等变量赋值后就迅速完成方案模拟。此时,用户就可以根据需要对前述规定的决策目标取舍或设置优化类型(如工业总产值既可最大化也可最小化)。

5. 给定决策目标参考点

当确定完决策目标后,系统将给出四种改

变决策目标值域空间的方法供用户选择,以便缩小非劣解方案集,使用户集中分析有限数目的准优方案。然后,决策者在分析完系统给出的准优方案集后,继续根据系统提供的四种参考点输入法(即让用户输入自己认为理想的决策目标值)输入决策目标的参考点。

最后,系统将根据决策者提供的信息和 DISCRETE 软件提供给用户一个最接近参考点的决策方案,并用图形显示,表格输出。

显然,决策者与计算机系统在上述每一阶段或过程中,可以进行无数往复的选择确定,而且在任一阶段都可以返回到前面的阶段重新确定分析,直至决策者得到一个最接近自己决策目标要求的方案。

五、结 论

DMOD 模型应用于 NEQDSS 是首次尝试。根据系统时间特性性能以及结果有效性的测试,表明该模型在 NEQDSS 中的应用是极为成功的。例如,当评价准则为 3 个,决策方案为 432 个(包括劣解方案)时,实际搜寻非劣解标量比较次数不到预期理论次数的二分之一,而给定参考点以后的满意解搜寻速度小到 0.09 秒/次,充分满足了决策的快速响应要求。

参 考 文 献

- 1 Fedra K. *Advanced Decision-Oriented Software for the Management of Hazardous Substances*. Austria: IIASA, CP-85(86)-18

EPA 将重估二噁唑的潜在健康危险

为了保证对所有科学论据加以考虑,EPA 将重新估计二噁唑所构成的潜在健康危险。位于北卡罗来纳州三角研究公园的、EPA 健康影响研究实验室的一名二噁唑专家 Linda Birnbaum 说,EPA 想研制一种对这一有争议物质的危险进行评价的新方法,不仅在致癌危险方面,而且还涉及若干根据最近一些动物研究与二噁唑有联系的有害健康影响,其中包括繁殖毒

性和免疫毒性。很多科学家已认为二噁唑是一种潜在致癌物,但一些新的研究已使某些人得出这样的结论:在公众通常遇到的二噁唑浓度情况下,它可能不会构成高度致癌危险。EPA 还试图研制一种更好的、以生物学为基础的该化学品的影响的剂量-反应模型。

小康 译自 *Ecology USA*, 1991,

20(24): 231

A Study on the Mechanism of Biological Removal of Phosphorus-Microbial Composition of the Activated Sludge in a Sequencing Batch Reactor.

Zhou Yuexi Qian Yi et al. (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua University, Beijing 100084): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(4), 1992, pp. 2—4

In this paper, the microbial composition of the activated sludge in a sequencing batch reactor, which can effectively remove phosphates from waste water, was investigated. Experimental results demonstrate: (1) The population of bacteria in the mixed liquor of activated sludge during steady operation stage was much larger than that during the start-up stage (about 26 times larger). (2) The predominant genus during the start-up stage was aeromonas and pseudomonas came second (with no acinetobacter found), while the predominant genera during the steady operation stage were pseudomonas and aeromonas (with a limited number of acinetobacter present).

Key words: phosphorus, activated sludge, phosphate removal.

Investigation on the Kinetic Characteristics of Copper Adsorption on Red Earth in Flow Method by Utilizing First-Order Kinetic Differential Equation. Lan Yeqing et al. (Nanjing Agricultural University, Nanjing 210014): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(4), 1992, pp.5—8

The kinetic characteristics of adsorption of copper on red earth in flow method was investigated by utilizing a first-order kinetic differential equation. Results show that the rate of copper adsorption is affected by diffusion. Specifically, the rate of the process is dominated by external diffusion when the adsorption is at lower levels and by the internal diffusion when the adsorption is at higher levels. At a given temperature and pH value, the theoretical saturated adsorption amount of copper is basically a constant and independent of flow rate and concentration of the solution under study. However, the experimentally determined saturated adsorption amount of copper was found to be significantly affected by the flow rate and concentration of the solution and smaller than the theoretical saturated adsorption amount.

Key words: red earth, adsorption of copper, diffusion.

Influence of Acidic Mining Waste Water on Water Quality of Lean River. Lin Yuhuan, Li Qi (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Academia Sinica): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(4), 1992, pp. 9—14

The lean river, especially in the region of waste water discharging point, was seriously polluted by mining waste water. The pH values of the river water were sometimes observed to be lower than 6.5 during flood season, the concentrations of heavy metals (Cu, Zn, Pb, Cd etc.) in the river water were close to or even obviously higher than the national standards of water quality. Furthermore, simulation calculation indicates that, at pH values lower than 6.5, most of the heavy metals existed in the water in the form of ions,

resulting in even higher toxicity to fishes. The heavy metals were also found to be accumulated in the sediment of the river. Besides, the elements like Al, Fe, Mn etc. also exerted negative influence on the treatment of drinking water and fishery.

Key words: mining waste water, heavy metals, water pollution.

Application of Discrete Multicriteria Optimization Decision Model (DMODM) in EQDSS. Wang Jinnan (Chinese Research Academy of Environmental Sciences 100012): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(4), 1992, pp.15—19

DMODM is a model that can solve a sort of decisive optimization problems which are formed by discrete values of a number of decisive variables and have multicriteria for assessment of alternatives. This essay briefly describes the principle, solving methods-dominated approximation method and reference point approach of the model, as well as its application and effect in the National Environmental Quality Decision Support System (NEQDSS).

Key words: discrete Multicriteria decision model, optimization decision problem, discrete package.

Study on Warning System of Environmental Impact Assessment. Chen Zhijian, Chen Guojie (Institute of Mountain, Disasters and Environment, Academia Sinica, Chengdu 610015). *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(4), 1992, pp.20—23

This paper discusses the concept and integrative principle, hierarchical principle and practicable principle of the environmental impact warning assessment, defines the warning standard according to the environmental quality index, proposes mathematical models for the poor or worse state warning, deterioration trend warning and deterioration speed warning, and gives a case of the environmental impact warning assessment of the Three Gorges Hydraulic Engineering on the Yangtze River in China.

Key words: environmental impact assessment, environmental impact warning, environmental deterioration.

Study on the Accumulation of Deposits in Waste Water Stabilization Pond. Fan Xiaojun, Qian Yi (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua University, Beijing 100084): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(4), 1992, pp.24—26

Results of the researches on the accumulation of deposits in waste water stabilization pond was summarized. Based on the analysis of the origin and composition of the deposits the authors suggested that the deposits are composed of two fractions: biodegradable and non-biodegradable. A theoretical model describing the accumulation of benthic deposits was hence established. According to the model, the following conclusions could be drawn: (1) the amount of the accumulation of non-biodegradable is directly proportional to the operation time of the pond; (2) the accumulation of biodegradable part of the deposits will not surpass a maximum value; and (3) the accumulation of pond benthic deposits is closely related to the quantity and quality of influents as