

文章编号: 1001-0920(2002)02-0163-04

# 三峡船闸运行调度中的多属性决策问题

赖 炜, 齐 欢

(华中科技大学 系统工程研究所, 湖北 武汉 430074)

**摘 要:** 提出三峡船闸运行中的多属性决策问题, 并具体分析了决策矩阵规范化、各属性权重确定和决策方案筛选, 最后采用该方法对三峡过闸船只进行多次试排, 结果表明, 若将该方法应用于实际系统, 将达到令人满意的效果。

**关键词:** 多属性决策; 决策矩阵; 权系数; 方案择优

**中图分类号:** C 934 **文献标识码:** A

## The MADM of three gorges ship gates running

LA I W ei, Q I H uan

(Institute of Systems Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** The MADM of three gorges ship gates running is proposed and then analyzed in three aspects: Standardization of the decision matrix, choice of weight and filtration of schemes. The planning results using the presented method is obtained. It is shown that the method can be applied into the practical systems and the results are satisfied.

**Key words:** MADM; decision matrix; weight; filtration of schemes

## 1 引 言

多目标决策(MODM)或多准则决策(MCDM)按决策方案个数是否有限而分为两类: 方案有限的多目标决策称为多属性(指标)决策(MADM); 方案无限的多目标决策称为多目标规划(MOP)。

多属性决策主要解决具有多个属性(指标)的有限决策方案的排序问题, 该问题广泛存在于社会、经济、管理等多个领域, 如投资决策、项目评估、质量评估、方案择优、人才考核、经济效益综合评价等。因此, 多属性决策理论和方法有着广阔的应用前景。

在多属性决策问题中, 由于属性有定性和定量之分, 故决策方案在各属性下的取值有以下 3 种情况: 1) 全部为定量值; 2) 全部为定性描述; 3) 既有定

性描述又有定量值。与这 3 种情况对应的多属性决策问题分别称为定量型、定性型和混合型多属性决策问题。对于后两种类型的多属性决策问题, 有的研究者采用层次分析<sup>[1]</sup>、模糊数学、灰色系统理论、集对分析等方法, 直接对决策方案进行排序; 而大部分研究者则采用层次分析、模糊数学等方法, 先将它们转化为定型型, 然后进行求解<sup>[2,3]</sup>。

设多属性决策问题的方案  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ , 属性集  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\}$ , 则定量型多属性决策问题可用决策矩阵  $X = (x_{ij})_{m \times n}$  表示, 其中  $x_{ij}$  为第  $i$  个方案在第  $j$  个属性下的取值(属性值)。

多属性决策问题的求解过程, 一般都涉及以下 3 方面内容: 1) 决策矩阵的规范化; 2) 各属性权系数的确定; 3) 方案的综合排序。下面结合具体事例对上

收稿日期: 2001-04-05; 修回日期: 2001-07-16

作者简介: 赖炜(1978—), 男, 湖北武汉人, 硕士生, 从事决策分析、系统建模研究; 齐欢(1948—), 男, 湖北武汉人, 教授, 博士生导师, 从事大系统建模以及集成、决策理论和方法等研究。

述 3 个过程展开讨论。

## 2 船闸运行中的多属性决策问题

在船闸运行中,有两个重要性能指标: 闸室平均利用率和船只过闸时间。在实际运行中,这两个指标常常是互相矛盾的: 如果希望闸室的平均利用率高,则在编排时应尽可能优先考虑大型船队,而不注意它们的到闸时间; 如果希望先到的船只先过闸,则在编排时应将先到锚地的船只进行编队,而对它们的船型没有要求。在船只编排时,调度员不可能只考虑一个指标而忽略另一个指标,必须考虑使闸室利用率和船只等待时间两个指标的综合性能达到最佳。而实际中可能的编排方案是有限的,这便成为一个多属性决策问题。

由于船只过闸时间难以确定,采用其它性能指标来代替处理较为方便。本文采用船只的不耐烦因子,它是单调非负函数,与船只的等待时间、船型、紧急级别有关。船只的不耐烦因子越高,说明船只的优先级越高。

### 2.1 各船只不耐烦因子的确定

船只的类型不同,使其过闸顺序有所不同。当客班船和中型船队同时到达锚地时,由于客班船必须准点到达目的地,因此编排时允许客班船优先过闸而让中型船队等待。但不能让中型船队无限制地等待,必须在适当时刻允许过闸。要确定船只的不耐烦因子,必须考虑船只的类型、等待时间和紧急级别。

#### 2.1.1 船只归类

船只归类主要基于两个目的: 一是便于船只管理,二是便于船只调度。按载人还是载货分类,可将过闸船只分为客船和货船两大类。对于货船,可进一步细分为大型船队、中型船队、小型船队和普通货船 4 种; 客船可细分为客班船和公务类船 2 种(这种划分不唯一,可参考有关航运部门以及船只管理部门的分类方法)。

#### 2.1.2 确定每类船只的基础权重

一般说,这项工作需要有管理专家以及管理人员参与,在综合他们意见的基础上,将各类船只按其重要性(优先级别)大小排序。根据航运及船闸管理部门的意见,我们认为船只优先级别的顺序(从高到低)为: 客班船、公务类船、大型船队、中型船队、小型船队、普通货船。

#### 2.1.3 确定基础权重值

有了优先级排序后,还需要对各类船只的相对

重要性作进一步量化,即给出确定的权重数值。实际上,量化工作就是组织有关专家,利用层次分析法对上述 6 种船型成对进行比较,请有关专家按第  $i$  种船对第  $j$  种船而言的重要性打分(重要性越大,分值越高),得到判断矩阵(亦称成对比较阵)。对判断矩阵进行处理,即可确定出每类船只的基础权重。根据对航运管理人员的调查,可作如下假定:

- 1) 客班船的优先级最高,权值为 1.0;
- 2) 公务类船的优先级略次于客班船;
- 3) 万吨级船队的优先级与客班船的优先级相同;
- 4) 各种货船(包括船队)的优先权按其最大设计吨位确定。

组织有关专家,利用层次分析法得到的基础权重(大约值)如表 1 所示。

表 1 各类船型基础权重

船型	基础权重
客班船	1.0
公务船	0.8
大型船队	0.5
中型船队	0.2
小型船队	0.1
普通货船	0.08

基础权重只代表各类船只的相对重要性,是一个与时间无关的静态量。对某一具体来船而言,有必要根据其所属类型以及等待时间给出确切的权重值,称为绝对权重值(简称绝对权重)。

#### 2.1.4 确定来船的绝对权重 $w$

船只的任务不同,使其紧急级别  $j$  有所不同。例如运送血浆的公务船可能比客班船更急于过闸,因此在考虑船只的绝对权重  $w$  时,也应考虑船只的紧急级别  $j$ 。如果船只没有紧急任务,则  $j = 1$ ; 如果船只在执行紧急任务,则  $j > 1$ ,其具体取值由调度员决定。

对实际中的某一来船,即使其基础权重很小,如果等待时间很长,那么它的绝对权重也应该很大。换言之,来船的绝对权重是一个与等待时间相关的量。因而需要确定一个以船只类型和等待时间为参数的权值选择函数,该函数至少具有两个特征: 一是非负性,二是递增性(与等待时间有关)。排队论认为系统(按优先权排队)中成员的重要性具有“指数效应”,也就是,如果某个成员被延误(没有被服务)而等待,那么该成员接受服务的重要程度是呈指数递

增的。因此, 可选用一个指数函数(权值选择函数)来确定每一过闸船只的绝对权重。根据心理学中对不满意问题的数学描述和排队论, 可取以下类型函数作为权值选择函数, 即

$$w(x, \tau) = jc(x, k_x)e^{\alpha\tau} \quad (1)$$

其中,  $x$  表示当前来船,  $k_x$  为来船  $x$  的所属类型,  $w(x, \tau)$  为绝对权重,  $j$  为该船紧急级别,  $c(x, k_x)$  为相对权重,  $\tau$  为等待时间,  $\alpha > 0$  为调节参数。将编入当前批次的所有船只的绝对权重相加, 即得这次编排所有船只的总权重。设共有  $k$  艘船只被编入当前批次, 它们的绝对权重分别为  $w_1, w_2, \dots, w_k$ , 则该编排方案的总权重为

$$W = w_1 + w_2 + \dots + w_k \quad (2)$$

### 2.2 船闸运行多属性决策问题

假设单线(上行或下行)船只共有  $p$  艘, 其绝对权重分别为  $w_1, w_2, \dots, w_i, \dots, w_p, 1 \leq i \leq p$ 。从所有来船中抽出一些能排入一个闸室的船只编排成一个批次, 共有  $m$  种编排方法(实际编排中采用 3 种编排方法), 每种编排方案对应的总权重为  $W_i$ , 闸室利用率为  $R_i, 1 \leq i \leq m$ , 则决策矩阵为

$$\begin{bmatrix} R_1 & W_1 \\ R_2 & W_2 \\ R_3 & W_3 \end{bmatrix}$$

## 3 船闸运行的多属性决策问题分析

上面已得到船闸运行多属性决策问题的决策矩阵, 要使船闸运行效率最高, 必须从有限个方案中优选出一个方案, 使闸室利用率和不耐烦因子两个指标的综合性能达到最佳。

### 3.1 决策矩阵的规范化处理

在决策矩阵的规范化处理中, 闸室利用率  $R$  是效益型目标, 而不耐烦因子  $W$  则是成本型目标。采用极变差规范化方法, 令  $D_{3 \times 2}$  为规范化处理后的决策矩阵, 则

$$\begin{cases} d_{i1} = \frac{R_i - \min_i R_i}{\max_i R_i - \min_i R_i} \\ d_{i2} = \frac{\max_i W_i - W_i}{\max_i W_i - \min_i W_i} \end{cases} \quad 1 \leq i \leq 3 \quad (3)$$

这种变换将属性的最大值统一为 0 和 1。

### 3.2 各属性权系数的确定

在船闸运行的多属性决策问题中, 只有两个属性, 第 1 个是闸室利用率, 第 2 个是不耐烦因子, 这

使得问题的处理相对简单。我们采用主观赋权法<sup>[3]</sup>求这两个属性的权系数, 对主观赋权法相对重要度矩阵各元素的取值如表 2 所示。

表 2 相对重要性矩阵中各元素的取值

相对重要程度	定义	解 释
1	同等重要	决策者认为两个属性同样重要
3	略微重要	决策者由经验或判断认为一个属性比另一个略微重要
5	相当重要	决策者由经验或判断认为一个属性比另一个重要
7	明显重要	决策者深感一个属性比另一个重要, 且已被实践证实
9	绝对重要	决策者强烈地感到一个属性比另一个重要
2, 4, 6, 8	两相邻判断的中间取值	当需要取折中数值时

1) 在枯水期, 调度员出于节水的考虑, 往往希望一次多过几艘船, 以减少船闸运行的次数。在这种情况下, 调度员认为闸室利用率比不耐烦因子更为重要, 则其相对重要性矩阵为

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式(4)中, 由于  $a_{ij} = 1/a_{ji}$  和  $a_{ij} = a_{ik}a_{kj} (i, j = 1, 2)$  成立, 因此调度员对  $A$  的估计是一致的。

2) 在汛期, 因为节水不是主要问题, 不必考虑节水的要求, 这时调度员认为闸室利用率和不耐烦因子同样重要, 故有

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

同样, 式(5)中调度员对  $A$  的估计也是一致的。

实际上, 调度员可以调整矩阵  $A$  中各元素的值, 以表达其对闸室利用率和不耐烦因子的相对重要度的看法, 即矩阵  $A$  具有如下形式

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a \\ 1/a & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

然而, 不管调度员如何改变  $a (a > 0)$  的数值, 由于  $a_{ij} = 1/a_{ji}$  和  $a_{ij} = a_{ik}a_{kj} (i, j = 1, 2)$  成立, 因此调度员对  $A$  的估计总是一致的。决策属性只有两个, 所以必然会出现上述情况。如果增加决策属性(例如闸门的机械磨损等), 则  $A$  不一定满足  $a_{ij} = 1/a_{ji}$  和  $a_{ij} = a_{ik}a_{kj}$  这两个条件, 此时必须采用一定方法将目标成对比较的结果聚合起来组成一组权系数, 如最小平方方法等。

为便于处理, 我们将权系数规范化, 即令  $z_1 + z_2 = 1$ 。设  $A$  具有式(6)的形式, 用本征向量法求解,

令

$$\begin{cases} (A - nI)z = 0 \\ z_1 + z_2 = 1 \end{cases} \quad (7)$$

解得  $z_1 = \frac{a}{a+1}$ ,  $z_2 = \frac{1}{a+1}$ 。特别地, 如果  $A$  取式(4) 的值, 则  $z_1 = 3/4$ ,  $z_2 = 1/4$ ; 如果  $A$  取式(5) 的值, 则  $z_1 = z_2 = 1/2$ 。

### 3.3 筛选备选方案

由于各价值(效用) 函数都是线性相互独立的, 因此可用简单加性加权法来筛选方案。我们在用简单加性加权法进行排序时, 折中方法在设定了各个目标的权系数后, 对每个方案求各属性的加权和。例如对第  $i$  个方案, 有

$$u_i = z_1 d_{i1} + \dots + z_n d_{in}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

式中,  $z_k$  ( $k = 1, 2, \dots, n$ ) 是第  $i$  个属性的权,  $d_{ij}$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) 是第  $i$  个方案的第  $j$  个属性规范化后的值。如果决策问题有  $m$  个方案, 则求得  $u_1, u_2, \dots, u_m$  后再作比较, 选择  $u_i$  值最大的方案作为最优方案。

## 4 结果分析

利用上述方法, 对三峡大坝施工通航期的过闸船型船队进行了多次试排。结果表明, 在过闸船只为大船型的情况下, 闸室的利用率可以达到 96%, 比目前国内大型船闸的实际闸室利用率高 40% ~ 50%, 而且最大过闸平均吨位(每次编排的最大吨位取平均) 达到 7 300 t 以上, 平均闸室利用率可达 89%, 平均等待时间为 35~ 45 min。如果将该方法应用于实际系统, 将达到令人满意的效果。

### 参考文献(References):

- [1] 熊锐, 曹轶生. 多目标决策的层次分析法[J]. 系统工程理论与实践(Systems Engineering-Theory & Practice), 1992, 12(6): 58-62
- [2] 刘树林, 邱菀华. 多目标决策基础理论研究[J]. 系统工程学报(J of Systems Engineering), 1998, 18(1): 38-43
- [3] 陈甬. 决策分析[M]. 北京: 科学出版社, 1997. 58-62

(上接第 162 页)

## 4 结 论

本文在假设  $J_2^N = \{1, 2, \dots, N\}$  下, 应用算子的广义逆给出了一类耦合广义系统的极点配置问题的解及解的构造性表达式, 这对分析某些广义系统是十分重要和方便的。若用  $J_2 = \{1, 2, \dots\}$  来代替  $J_2^N$ , 则本文关于耦合广义系统的极点配置问题的解及解的构造性表达式尚需进一步研究。

### 参考文献(References):

- [1] Joder L, Legua Fernandez M. An implicit difference method for the numeral solution of couple system of partial differential equations[J]. Appl Math Comput, 1991, 46(1): 127-134
- [2] Lrw s FL. A review of 2-D implicit system[J]. Automatica, 1992, 28(2): 345-354
- [3] Traska Z, Marszalek W. Singular distributed parameter

system s[J]. IEE Contr Theory and Appl, 1993, 40(5): 305-308

- [4] Ge Z Q. The stabilizability for a class of generalized system[J]. Appl Funct Anal, 1993, 1(1): 56-61
- [5] 岳东, 刘永清. 广义分布参数系统的变结构控制[J]. 控制与决策(Control and Decision), 1996, 11(2): 127-134
- [6] 杨建辉, 刘永清. 广义分布参数扰动系统滑动模态控制[J]. 控制与决策(Control and Decision), 2000, 15(2): 145-148
- [7] Ge Z Q. On the pole assignment for the generalized system[J]. Proc A SCC, 1994, 3(1): 33-36
- [8] 葛照强. 算子逆问题及其应用[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1993
- [9] P R Halmos. A Hilbert space problem book[M]. America Book Company, 1967.
- [10] 王康宁, 吕涛, 邹振宇. 分布参数系统的极点配置问题[J]. 中国科学(Sciences in China), 1982, 12(2): 172-184