DOI:10.13203/j.whugis1992.02.011

第17卷 第2期 武汉测绘科技大学学报 Vol.17 No.2
1992年 6月 Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping Jun. 1992

葛洲坝船闸计算机决策系统的数学模型设计*

程学光 胡元明

【摘　要】 本文利用0—1整数规划，建立了葛洲船闸的调度管理的数学模型，并说明其合理性。

【关键词】 0—1整数规划；权系数；覆盖；优化

1 引　言

1991年是长江第一坝——葛洲坝建坝十周年之际。十年来，每天都有上百艘客船、货船和特种船通过葛洲坝船闸，将成千旅客、上万吨各类货物沿长江运往全国各地。然而十年来葛洲坝船闸的运输调度管理，从每天各闸次的开放时间到每闸次进船的选、排均由人工指挥，缺乏科学性、劳动强度大、耗时长，不利于长江全线的计算机联网调度。为了实现管理自动化，长江航运管理局提出了《葛洲坝船闸计算机决策系统》的课题。该系统有下述主要分系统：（1）船舶分闸、合闸态决定系统；（2）选船、排船系统；（3）输入、输出系统。

本文仅就该系统核心部分的选、排船系统加以分析，从问题的提示，进行较全面的深入讨论。

2 数学模型的建立与分析

数学模型是该系统的重要部分。该模型应具有如下主要功能：当系统决定 t 时刻开闸进船时，模型应在待选船中选择适当的船进闸，并决定进闸船的进闸次序和排定它们在闸室中的位置。由该模型所得的选、排船结果应与现行的调度基本一致，同时还应满足用户的下列基本要求：（1）船舶的平均等待时间较短；（2）闸室的平均利用率较高（一般要求在55%以上）；（3）高级别船优先进闸（如客船级别高于货船级别）。

2.1 问题及目标分析

数学模型是由其功能和其应完成的任务决定的，同时还应具有可求解性和可计算性。从上述三个建模基本要求来分析，我们有如下问题要说明：

收稿日期 1991—10—11

*本课题为交通部资助项目，与长江航运管理局计算中心合作完成。

（1）矛盾性　根据建模要求，我们希望所建模型的解可同时满足三个基本要求，但三个基本要求相互之间存在矛盾。如船舶平均等待时间短和闸室平均利用率高相互矛盾；高级别船优先进闸也与船舶平均等待时间短和闸室平均利用率高相互矛盾。为此，我们需要提出一种三者兼顾的权衡方法，以求得在一定程度上满足三个基本要求的决策方案。

（2）不可求性　是指绝对满足基本要求方案的不可求。以基本要求的第二条为例，它要求找一个使闸室利用率尽可能高的方案。抽象地看，它实际上就是这样一个数学问题：从一些长、宽不等的小长方形中，选择一部分覆盖一个大长方法形，使没能覆盖到的面积之和最小。这种问题目前还是无法解决的数学难题。

根据以上分析，由于目标的矛盾性和不可求性，因此我们的选、排船模型只能是分阶段、局部地求解。

2.2　数学模型的原理及其具体实施

在本系统中，我们主要采取分阶段、局部地循环利用0—1整数规划模型的方法。为了说明其合理性，先介绍0—1整数规划的原理。

0—1整数规划的一般形式为：

$$
\begin{aligned}
&\max Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_kx_k \\
&\text{s.t.}\quad a_{11}x_1 + a_{12}x_{12} + \cdots + a_{1k}x_k \leqslant b_1 \\
&\qquad\quad \cdots\cdots \\
&\qquad\quad a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mk}x_k \leqslant b_m \\
&\qquad\quad x_i = 0,\ 1 \qquad i = 1,\ 2,\ \cdots,\ k
\end{aligned}
$$

其中每个变量x_i只能取0或1两个数值，这种变量称为0—1变量。0—1变量常用作决策变量，以反映决策的相对状态。在我们的选、排船问题中，待选船只有两种状态，即进或不进闸。若令$x_i = \begin{cases} 1 & \text{第i条船进闸；} \\ 0 & \text{第i条船不进闸；} \end{cases}$，则0—1变量足以刻画船舶的状态。但还难以决定船舶在闸室中的位置。被选船在闸室中位置的排定是个二维非线性问题。在实际调度中，为船舶的安全起见，我们总是一排一排地安排被选船的位置，因此可把它简化为线性问题来考虑。如此一来，我们就可利用0—1整数规划模型进行求解。根据用户的要求，经反复试验，我们选择了分阶段实施方案，当然，所谓优化也只能是局部优化了。其具体步骤如下：

①根据用户要求，先在待选船中选择一艘适当的船进闸，并安放在闸的左上角，随着这艘船的排定，闸室被分为如图（1）所示的三个区域。

其中w为闸室的宽，l为其长；

A区域是第一艘船所覆盖的区域；

B区域是模型所要优化覆盖的区域；

C区域是重复上述过程的区域。

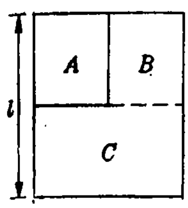

图1

②B区域的优化覆盖

设第一船的长为l_1，宽为w_1'，则第一艘船排定后，在其右方有一块长为l_1，宽为

$w - w_1' \overset{\triangle}{=} w_1$的长方形$B$区域。

另设数组

$$(u_{11},l_{11}),\ (u_{12},l_{12}),\ \cdots,\ (u_{1m},l_{1m});$$

$$(u_{21},l_{21}),\ (u_{22},l_{22})\cdots,\ ,\ (u_{2n},l_{2n})。$$

其中 u_{1i}、l_{1i} 分别表示第i艘待选客船的宽和长；u_{2j}、l_{2j} 分别表示第 j艘 待选货船的宽和长。

根据三个基本要求，首先利用模型

$$\max Z=\rho_1\sum_{i=1}^{n}u_{1i}l_{1i}x_i-\rho_2\sum_{i=1}^{n}(t-t_i)x_i$$

$$\text{s.t.}\quad \sum_{i=1}^{m}u_{1i}x_i\leqslant w_1$$

$$l_{1i}x_i\leqslant l_1$$

$$x_i=0,\ 1\qquad i=1,\ 2,\ \cdots,\ m$$

在待选客船中选择若干艘放在B区域的第一排。其中 ρ_1、ρ_2 为权系数，t 为开闸时间，t_i 为第i艘客船的申请过闸时间。若选择出的客船宽度之和为 w_2'，则记 $w_1-w_2'\overset{\triangle}{=}w_2$，再利用模型

$$\max Z=\rho_1\sum_{j=1}^{n}u_{2j}l_{2j}y_j-\rho_2\sum_{j=1}^{n}(t-t_j)y_j$$

$$\text{s.t.}\quad \sum_{j=1}^{n}u_{2j}y_j\leqslant w_2$$

$$l_{2j}y_j^{\beta}\leqslant l_1$$

$$y_j=0,\ 1\qquad j=1,\ 2,\ \cdots,\ n$$

在待选货船中选择若干条放在B区域第一排客船的右边，如图（2）所示。经过上述步骤，我们可在待选船中选择若干艘船放在B 区域的第一排。设这些船的最大长度为 l_2，则B区域中还剩一个长为 l_1-l_2，宽为 w_1的长方形B_1区域没有覆盖。我们可在B_1区域中重复利用以上两个模型，直到余下的长方形区域不能放入任何一艘船为止。

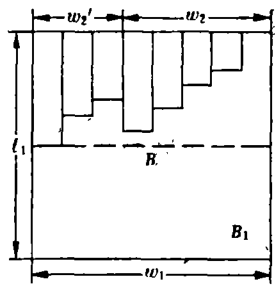

图 2

③C区域的覆盖

将C 区域视为新的闸室，重复前面的步骤①、②，直到余下的长方形区域不能放入任何一艘船，则表示闸室已满。

3 关于模型的说明

（1）关于A区域的覆盖问题

A 区域的覆盖是根据调度规则进行的。随着第一艘船的选定，也许就已破坏了最优原则。但为了满足调度规则，又必须如此。因为调度规则中有避免大船碰小船、货船碰客船的规定。选择一艘大船先进闸，再在其右边的夹缝中先排客船后排货船则可避免上述情况发生。

（2）关于权系数的说明

在模型中有两个权系数ρ_1、ρ_2，$\rho_1+\rho_2=1$。这两个权系数由建模要求的矛盾性而产生。

因为由$\min\sum_{i=1}^{m}(t-t_i)x_i$（等待时间最短）所选之船不能保证闸室利用率最高；反之，由$\max\sum_{i=1}^{m}u_{1i}l_{1i}x_i$（闸室利用率最高）所选之船不能保证船舶等待时间最短。为了解决这一矛盾，我们通过加权平均的方法，把这两个目标函数综合成一个，即$\max(\rho_1\sum_{i=1}^{m}u_{1i}l_{1i}x_i-\rho_2\sum_{i=1}^{m}(t-t_i)x_i)$。而权系数的数值主要根据用户的要求和经验决定，同时也可作为本决策系统的参数，对应不同的参数，可得不同的选、排船方案，以便于比较和选择，使本系统在实际应用中更加灵活、方便。

本系统对提高葛洲坝船闸管理自动化起到了良好的作用。系统的设计方法也可推广到港口等其它调度决策模型中去。在该系统的数学模型论证阶段，得到了武汉测绘科技大学数学教研室的全体教师、武汉钢铁学院的秦裕瑗教授的大力支持，在此深表感谢。

参 考 文 献

〔1〕〔美〕吉勒特．运筹学导论．北京：北京机械工业出版社，1982．
〔2〕何建坤等．实用线性规划及计算机程序．北京：清华大学出版社，1985．
〔3〕钱颂迪．运筹学．北京：清华大学出版社，1990．
〔4〕滕传琳．管理运筹学．北京：中国铁道出版社，1986．

The Mathematical Model of the Control of Ge Zhouba Ship Lock

Cheng Xüeguang Hu Yuanming

[Abstract] In this paper, we form a mathematical model of the control of Ge Zhou Ba ship lock by 0—1 integer programming, and explain the reason for doing so.

[Key words] 0—1 integer programming; weighting coefficients; covering; optimization