

海运计划和管理 的 数学方法及其模型

〔苏〕Э. П. 格罗莫沃伊著 蔡庆麟 陈安邦译

人 民 交 通 出 版 社

海运计划和管理 的

Haiyun Jihua He Guanli De

数学方法及其模型

Shuxue Fangfa Jiqi Moxing

〔苏〕 Э.П.格罗莫沃伊著

蔡庆麟 陈安邦译

人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

本书系统地介绍了运用规划论、决策论、网络模型、运筹学和统筹法解决海运工作中有关组织、计划和管理的一系列实际问题的方法,为运输工作中的计划、规划、航线配船、运行方案选择、装卸工艺安排、运输布局和各种生产工作的组织问题等提供了各种数学模型和解法。

本书对我国从事交通运输的工作人员和高等院校管理专业的师生都有一定的参考价值和实用价值。

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ
В ПЛАНИРОВАНИИ И УПРАВЛЕНИИ
НА МОРСКОМ ТРАНСПОРТЕ

Э.П.Громоной

МОСКВА «ТРАНСПОРТ» 1979

海运计划和管理的数学方法及其模型

〔苏〕 Э.П. 格罗莫沃伊著

莫斯科《运输出版社》1979

蔡庆麟 陈安邦译

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张: 13.125 字数: 344千

1987年6月 第1版

1987年6月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—1,100册 定价: 4.15元

目 录

译序	1
前言	3
第一版前言	4

第一篇 一般线性规划问题的模型

第一章 数学规划	7
§1.1 最优计划和线性规划	7
§1.2 线性规划问题的数学模型	10
§1.3 数学规划问题的分类	17
第二章 线性规划问题的几何解释及其图解法	20
§2.1 线性不等式的几何意义	20
§2.2 线性规划问题的几何意义	24
§2.3 问题	27
§2.4 多维情况下几何解释的推广	36
§2.5 约束多面体顶点的代数特征	37
第三章 单纯形法	41
§3.1 几何准备	41
§3.2 约当消去法	44
§3.3 基本解和基本方案	50
§3.4 基本方案的改进	53
§3.5 退化情况	62
§3.6 初始基本方案问题	66
§3.7 等式约束条件的单纯形法	71
§3.8 问题	75

第四章	对偶原理	91
§4.1	线性规划的对偶问题	91
§4.2	对偶性定理和它的经济意义	97
§4.3	对偶算法	103
§4.4	船舶配载问题	108
§4.5	模型稳定性的分析	120

第二篇 线性规划的特殊模型

第五章	运输问题	127
§5.1	问题的提出——开式模型和闭式模型	127
§5.2	运输问题的基本方案——退化问题	131
§5.3	费用和运输矩阵	136
§5.4	闭回路及在运输矩阵中沿闭回路进行计算	138
§5.5	编制运输问题初始基本方案的方法	142
§5.6	运输问题基本方案的最优性准则	146
§5.7	位势法	150
§5.8	用位势法改进基本方案	153
§5.9	位势的计算方法	158
§5.10	拟位势的修正	166
§5.11	解运输问题的分配法	169
§5.12	船舶运行图的优化（按空驶距离最短）	173
§5.13	归结为运输模型的问题	178
§5.14	按时间标准的运输问题	182
第六章	分配问题	188
§6.1	分配问题的形式	188
§6.2	把分配问题化成运输问题	191
§6.3	分配问题的特征	194
§6.4	广义位势法（最优性准则）	200
§6.5	广义拟位势的计算	203
§6.6	基本方案的改进	209

§6.7	初始基本方案的编制	220
§6.8	解分配问题的算法	237
§6.9	解分配问题的近似方法	250
§6.10	问题	264

第三篇 管理中的其它最优化模型

第七章	参数规划	269
§7.1	一般概念	269
§7.2	第一个局部问题（仅目标函数的系数与 参数有关）	270
§7.3	第二个局部问题（仅约束条件的右边与 参数有关）	278
§7.4	特殊参数问题	278
§7.5	运量不确定时的配船问题	287
第八章	整数规划方法和组合模型	293
§8.1	整数规划问题的提出	293
§8.2	关于整数规划问题解法的一般情况	296
§8.3	戈莫尔算法	298
§8.4	分枝定界法	303
§8.5	隐枚举法	307
第九章	随机最优化模型和不确定条件下制定管理决策 问题的方法	308
§9.1	不确定条件下的管理决策	308
§9.2	随机规划的二阶段模型	311
§9.3	带概率约束条件的随机规划模型	313
第十章	分式线性规划	315
§10.1	非线性规划概论	315
§10.2	几何解释	318
§10.3	分式线性规划问题中基本方案的改进	321
§10.4	分式线性规划的算法	323

§10.5	分式线性规划的特殊问题	326
第十一章	矩阵经济数学模型	332
§11.1	矩阵模型的一般概念	332
§11.2	海运企业的生产财会计划模型	336
§11.3	平衡计算	340

第四篇 管理中的网络模型

第十二章	关于最大流问题	344
§12.1	网络模型的用途	344
§12.2	运输网络	345
§12.3	关于最大流问题的提出	347
§12.4	弗洛德-弗柯松算法	349
§12.5	几个发点和几个收点的情况	355
第十三章	网络模型 (网络图)	361
§13.1	基本概念	361
§13.2	构造网络图的规则	368
§13.3	作业延续时间的估算	370
第十四章	网络图的分析	372
§14.1	网络图的基本时间参数	372
§14.2	确定完成事件的最早日期和最迟日期的 一些例子	376
§14.3	富裕时间	380
§14.4	次关键路线和次关键作业	387
§14.5	紧张系数	390
§14.6	网络图问题的矩阵方法——沃尔德算法	397
§14.7	调整事件编号和在该情况下的沃尔德算法	403
§14.8	船舶坞修网络图	407

译 序

在我国的社会主义建设事业中，为了实现四个现代化的宏伟目标，一个非常重要的问题就是实现管理的现代化。在交通运输方面，实现运输管理的现代化也是当前迫切需要解决的课题。

众所周知，运输本身并不创造新的物质财富，它的价值体现在使物质产生位移。因此，组织、计划和管理将起着极为重要的作用。

从结构上讲，交通运输是一个很大的系统，同时它又是整个国民经济系统中的一个子系统。在此系统中，影响决策的因素很多，由于组织上日趋复杂，所以出现了综合性很强的相互联系、相互制约的系统性关系。如何解决运输的最优规划、最优运行问题呢？单凭经验，利用传统的狭隘的方法，想在很多可能的方案中迅速选择出最优方案是不可能的。欲作出最优决策，必须从整体的立场出发，系统地掌握交通运输与其它外界的关系，以最优化的原则调整各个部门之间的关系，各个部门也必须从整体上来规划自己的行为。这就要求有一种从系统的角度去观察、分析和解决现代交通中最优管理问题的方法，这种科学方法就是近几年来迅速发展起来的系统论和系统科学。

现在，系统科学越来越多地应用于国民经济的各个领域，因此，必须广泛应用数学方法，不能只凭感觉和印象，必须具体地找出各因素影响经济活动过程的数量界限，准确而迅速地判明经济活动的数值效果，科学地作出自己的决策。

在交通运输的组织、计划和管理问题中，系统论、控制论、信息论、运筹学、决策论、规划论、计算机模拟等科学方法都有其广阔的应用前景。

我们所译的这本书，作者结合苏联海上运输的实际情况，系

系统地介绍了运用规划论、决策论、网络模型、运筹学和统筹法解决海运工作中有关组织、计划和管理的一系列实际问题的方法，为运输工作中的计划、规划、航线配船、运行方案选择、装卸工艺安排、运输布局和各种生产工作的组织问题等提供了各种数学模型和解法。译者认为，这些方法的应用以及作者在书中推荐的一些数学模型，对我国从事交通运输、有关科研设计的工作人员和高等院校管理专业的师生都有一定的参考价值和实用价值。

由于水平所限，译文中一定有不少错误，请读者批评指正。

译 者

前 言

近几年来，海运管理发生了很大的变化：各个企业都分别地采用了实验性的一些数学方法和计算技术以建立自动化管理系统——“海运”自动化管理系统。现在，第一批这样的系统已经在运行。

在苏共第二十四、二十五次代表大会上，对于改善国民经济的管理问题作过讨论。在这些代表大会的决议中，均指出了应用经济数学方法和新的控制技术，进一步完善国民经济计划，调节和控制的必要性。

领导人员建立在主观经验基础上的管理方法，已经让位于对周围环境经过客观论证分析以形成更有效决策的科学方法。现在，一个专家不掌握哪怕是最低限度的已经成为管理科学理论基础和已获得广泛实际应用的经济数学方法，是很难想象的。

在本书的第二版中，作者尽力注意到教学大纲的修改并竭力反映讲授本课程所积累的一些经验。特别对有关经济数学模型的内容较第一版有所增加，使之更符合本书的名称和课程的内容。

本书还增加了一些新的章节，专门论述在不确定条件下解管理问题的方法和随机优化模型，以及矩阵经济数学模型。在对偶性原理的一章中，增加了模型稳定性分析一节，对解分配问题的近似方法一节也作了补充。

作 者

第一版前言^①

如果在10~15年前，若问一位船队管理专家，你是根据什么原则编制海上运输计划的，那么，毫无疑问，不可能得到这样的回答：“研究所有可能的计划方案，选择在某一方面最优方案，例如沿海运输要使得营运费用最小，而远洋运输要获得最大的外汇收入。”在那个时候，这样的回答是不可思议的，因为在运输中类似优化问题的解法还没有为人们所掌握。现在，这样的方法已经形成了，并正在发展着和顺利地应用于实际，不需要证明，这些方法在海运工作者中间保证更快地推广是多么重要。那么这本书就是为这一目的服务的。

众所周知，运输本身不创造新的物质财富，而只是产生物质的位移。而组织、计划和管理问题在这里将起着重要的作用。由此可见，在运输中由于组织、计划的优化和管理的改善可以获得重要的效果。

现在，当巨大的经济系统在运行的时候，在选择决策时，不可能设想只靠领导者的经验和智慧所能解决的，哪怕领导者是异常有才能的。只有依靠科学的研究手段，才能有希望概括所有可能的方案，并在其中选择出最优的。这种手段就是计划和管理的数学方法。

数学分析永远是技术进步的理论基础。如果说在过去，数学分析方法主要是应用于传统的自然科学领域（天文学、力学、物理学及其技术应用部门），那么，现在这些方法已经深入到各个方面——如经济学、生物学、语言学、心理学、考古学、社会学、文学等。

① A.П.兹瓦尔茨曼、Э.П.格罗莫沃伊合著。

在组织、计划和管理问题中，所谓数学方法指的是一个综合学科：数学规划（线性和非线性规划、动态规划）、博弈论、图论、网络计划、数学上的排队论、作业研究等等。属于现代计算技术和控制技术软件方面的更广阔的科学领域，全部也应包括在这些方法中。在一本书里，要阐述所有这些学科，哪怕是主要部分也是不可能的。在选择这一本书的有关这些材料时，作者主要是依据讲授这些课程的经验并根据下面两个学科：数学规划和网络计划。这种选择是由一系列因素为制约的。首先，数学规划（特别是线性的）和网络计划是应用最广的和所形成的解释系统又属最成熟的数学科目。第二，显然这两个学科具有最广泛的应用领域，积累了一定的实际应用的有益经验。同时，这些数学分支比其它课程也容易学习掌握。

根据以上叙述的特点，这本书不是解某类问题的一种“药典”。作者也不是制药法的卫护者，因而只去说明解决某一问题需要这样做，但是不去解释为什么需要这样做而不是那样做。因为在这种情况下，提出问题的一些小变化，在研究者面前都可能会引起严重问题，且常常是难于克服的困难。为了掌握数学方法要有一点创造精神，最起码是要理解它的实质，而不是像对待法典一样。数学推导或公式的详细说明不仅对于理解公式是必要的，而且对于说清问题也是需要的（要知道非数学工作者也很乐意相信某一个数学事实，而只是回避与他无关的讨论）。推导对更深地掌握所研究问题的实质常常也是需要的。

根据这些理解，这本书是按数学书来写的（有定理、推论、公式、通常方式的计算等等），这意味着在学习它的时候，读者自然地会碰到一些专业上的困难。困难可分为两类：一类称为外部型困难，这类困难的产生是由于缺乏足够的专业知识；另一类称为内部型困难，这类困难的产生是由于不善于处理数学书：不能进行集中地阅读，不演算，在进行逻辑推论时缺乏耐心和坚持性等等。

因为作者力图使本书的叙述易于为读者所理解，因此在书中

完全消除了外部型的困难。至于内部的困难，在研究数学文献时是不可避免的，但是这个困难是可以克服的。

这样，这本书按内容和形式来说是一本数学书，按其用途来说它又是一本实用书。它的目的是使读者在解决海运组织、计划和管理问题时善于应用数学方法。为此，书中详细分析了一系列实际问题：各种优化标准的配船、配线、港口装卸工作组织、修船组织的某些问题等。当然，在大多数情况下，问题具有假设性质，但是熟悉了它，按作者的设想，对提出和解决实际（航、港、厂）的类似问题中所需具备的技能来说是足够的。

作 者

第一篇 一般线性规划问题的模型

第一章 数学规划

§1.1 最优计划和线性规划

在船舶管理方面，当希望从许多可能使用的技术工具或从许多方案中选择最好的方案时，经常出现最优船型的选择问题。这些问题一般表现为使预定的某些指标获得最大值或最小值，即在特定的意义下体现完成工作的质量情况。例如使船队的运输能力达到最大和使运输成本降到最小等等。

解最优化问题的理论基础乃是一个新的科学领域——数学规划或称最优计划。它所研究的对象是寻找称为管理参数的数量值，保证选择的质量指标达到最好，以编制出最优计划。

当然，最优化问题实质上是由于资源的限制而产生的。所以，最优计划是在不破坏现有资源对管理参数限制条件的计划中去寻找。

在船队计划工作过程中产生的最优化问题可以作为这样的例子。

众所周知，使用具有不同技术营运特点和经济特点的各种类型船舶，即使在同一条航线上，得到的经济效果也是不同的。就是同一艘船在不同航线上使用，其所获的经济效果也不一样。因此很明显，船队工作的效率，在很大程度上取决于按航线航向正确的配船。

在配船时，通常的情况往往是根据现有船舶的空载吨位，很少去论证其合理性，更不用说某一个解的优化问题。按航线编制

配船计划是一个复杂和多方面的问题，它要求考虑现有的吨位资源（通常是有限制的），利用船队、港口和综合运输方式的一定的生产可能性，采用各种组织方法，编制计划，保证完成规定的运输任务。虽然有许多约束条件，但常常仍然存在解该问题的许多可行方案，即仍有许多可能的配船计划。当然，最终目标不应该单纯限于编出与约束条件相协调的某一可行计划，而应该从最优（按某一含义）计划的各种可能方案中，选择出能保证运输能力最大或收入最大、费用最小或运输时间最短的方案。

最近的研究表明，许多国民经济的优化问题，其被称为目标函数或最优化标准的质量指标，完全与管理参数成线性关系。此外，资源潜力的约束条件，也同样与管理参数成线性关系。在这种线性条件下的最优化问题称为线性规划问题。解这一问题的方法便成为线性规划这一数学学科的研究对象。

在研究几个具体例子之前，不论是线性规划问题，或是它的数学模型，重要的是首先需要了解在提出和解数学规划问题时碰到的一些概念。

这里分五个步骤叙述。

第一步——选择管理参数。众所周知，管理和计划是一个复杂过程，许多彼此相关的因素均影响它的发展。研究工作者的任务就在于分清主要的决定性的因素和次要的因素。当然，不应该期望把全部的因素都归纳进数学模型，因为那样将变得过于繁杂，研究起来也很困难，有时既没有可能，也没有必要。主要的是选择那些对计划、管理的最终目的至关重要的参数。至于其它影响小的参数及其可能产生的影响，只要有一般的认识就足够了。

第二步——选择质量指标，即目标函数。选择目标函数应该根据所研究的具体任务的具体情况而定。在一种条件下最优的问题，在另一条件下则可能不是最优的。例如，一种情况优化是指完成的工作量：产量、运量等等。但是在另一种情况，则是希望资源的消耗最小（例如当严重亏损时），或完成紧急任务的时间

最短等等。

第一步和第二步也不可能按指定的次序进行。选择管理参数与选择质量指标是密切相关的，这两个步骤要同时进行。

第三步——准备和加工原始数据。目前为计划和管理所必需的数据的收集和积累仍处于极不完善的状态。许多资料不准确，有时也不可靠，有些资料对研究是不必要的，而必需的资料则没有。因此，面临的重要任务首先是要改善原始数据的收集、积累和保管，这一工作已经在进行。

但是，在任何情况下，研究工作者都要严肃对待原始资料，批判地掌握它并进行预先加工。如果工作没有准确可靠的原始资料，便得不到有益的研究结果。

第四步——为解数学规划问题选择数值算法。目前，解这一类问题有许多方法。其中一些算法比较准确，另一些是近似的。前一种一般需花大量的精力，后一种工作量则小些。

大量的任务和准确算法的使用，使其运算必须使用电子计算机。近似方法的解算，即使有大量的任务也不一定要使用电子计算机。为了确定何种解法适合某一具体任务，应该考虑所建立的数学模型和原始数据的质量。如果问题的数学模型很简单，原始数据也不甚可靠，那么，这一问题的解毫无疑问不需采用准确方法，即工作量很大的数值算法。这种情况，近似的快速的方法就可满足了。

最后，第五步——分析结果和编制工作方案。在问题已用某一算法解决，最优计划已经得到之后，这一步即可开始。应该指出，最优计划不一定与现实吻合。为了在实际上能使用它，常常还需要作一些修正。这样才能编出工作方案。修正的特点是什么呢？第一，应该在一定程度上考虑限制条件，这种条件往往因某种原因不能引进数学模型。然后，最优计划才能根据生产或运输过程的各个环节分配资源。

还可能发生使所得的最优计划不能满足该问题的一些特殊要求。

所有这些，都要求对最优计划作某些分析。发现问题要进行修正。只有这样，才能产生工作方案，在实践中进行推广。

§1.2 线性规划问题的数学模型

用几个例子来说明线性规划问题的数学模型及它的形成过程。

生产计划问题。设有若干企业或一批企业生产同样产品。这些产品的生产与一系列生产因素的消耗有关。如各种原材料、各种类型的设备，各工种的劳动力，电力、燃料的消耗等等。设这些因素为 m 个，记为 $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_m$ (这些不是数字，是一种符号)，其中每一项都有规定的量：因素 Φ_1 的储量为 b_1 单位， Φ_2 的储量为 b_2 单位 $\dots$ ，因素 Φ_m 的储量为 b_m 单位。

再假设，每一个企业都拥有 n 个工艺加工方法，记为 $T_1, T_2, \dots, T_n$ 。因此，在企业生产过程中，按 T_i 方法在单位时间内消耗生产因素 Φ_i 的数量为 a_{ij} ；在记号 a_{ij} 中，下标 i 表示生产因素消耗的编号，下标 j 表示工艺方法的编号。这样，按方法 T_1 在单位时间内要求消耗生产因素 Φ_1 的数量为 a_{11} ，生产因素 Φ_2 的数量为 a_{21} ， $\dots$ ，生产因素 Φ_m 的数量为 a_{m1} 。

把这些资料写成纵行的形式，这种形式称为按 T_1 的加工方法单位时间生产消耗的向量：

$$\begin{matrix} a_{11} \\ a_{21} \\ \vdots \\ a_{i1} \\ \vdots \\ a_{m1} \end{matrix}$$

如果把单位时间生产消耗的向量写成完整形式，就可以得到包含 m 行和 n 列的长方形表：

$$T_1 T_2 \dots T_j \dots T_n$$