

运筹学方法

P. M. 莫尔斯 著
G. E. 金博尔



科学出版社

51.91
10

运筹学方法

P. M. 莫尔斯 G. E. 金博尔 著

吴沧浦 译

科学出版社

1988

内 容 简 介

本书是运筹学方面的经典名著，书中精练而系统地阐明了运筹学的研究对象、基本概念、原理和方法。作者以大量富有启发性的实例对上述问题进行了解释。本书共分八章，包括引论、概率论、效力度量的使用、战略运动学、战术分析、炮击和轰炸问题、装备和战术的运筹实验、组织和程序问题。

本书可作为一般运筹学和军事运筹学的人门参考书，书中收集的许多材料具有重要历史价值。

本书可供高等学校数学系师生及有关研究人员和工程技术人员参考。

2006/04

P. M. Morse

G. E. Kimball

METHODS OF OPERATIONS RESEARCH

The Technology Press of MIT

and John Wiley & Sons, Inc., 1956

运 筹 学 方 法

P. M. 莫尔斯 G. E. 金博尔 著

吴沧浦 译

责任编辑 苏芳霞

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1988 年 5 月第 一 版 开本：850×1168 1/32

1988 年 5 月第一次印刷 印张：9 5/8

印数：0001—7,500

字数：250,000

ISBN 7-03-000329-2/O · 90

定价：3.00 元

译者序言

本书是最早论述运筹学的世界名著。作者系统地总结了美、英军方在第二次世界大战期间所作过的大量的运筹学工作，论述了运筹学的基本概念、原理和方法。经过从原书出版到现在的三十多年来的实践，作者关于运筹学在非军事领域内的应用必然将得到发展的预言已被证实。尽管本书是运筹学产生时期的著作，就方法而论，与经过三十多年来的发展而达到的目前的水平相比，已显得是极其初步的。然而，它所阐述的一些基本概念和原理，仍然继续在运筹学的发展中起作用；特别是，书中所举的不少运筹学实例，仍然是很富有启发性的，对于初学运筹学的读者说来仍是极有教益的。自然，书中也有某些现在看来是过时的或者不具有普遍意义的论述，但那毕竟无损于全书的总的价值。

本书是在六十年代前期译出的，一九七八年，中国人民解放军海军水面舰艇学院的军事运筹研究小组，将该稿整理付印在内部出版。现在，科学出版社根据我国运筹学界的需要，决定公开出版。为此，译者在原来译稿的基础上进行了一些修改和润色，希望它将为进一步推动我国运筹学的发展起到应有的作用。

中国人民解放军海军装备论证研究中心的余潜修教授为译稿进行了审阅和校订，译者谨表示衷心的感谢。

前 言

本书的各部分是由许多人在第二次世界大战期间和结束时写成的。从这种意义上说,这本书要么不应当有作者署名,要么应当有好几页名字。署名作者所做的工作是:搜集材料,依照后来的认识重写了某些部分,扩充了某些部分的内容,以便更容易为一般人所理解,增添了有关组织和一般程序问题的章节,以及进行编纂剪辑,以便全书能够如所期望那样形成完整的逻辑体系。

虽然我们曾经尽力使本书包含其他运筹研究小组工作的例子,但结果所举的例子主要仍取自美国海军运筹研究小组的工作;由于署名作者是这一小组的成员,这一点也许是不足为奇的。许多人士,包括美国和其他国家的其他运筹研究小组的成员,曾经通过讨论和提意见的方式帮助过我们。要是这里只提一提其中的少数几位,就会怠慢了其他许多人士,因此一个名字也不提。

战争时期,因为不能够自由地通消息,运筹学的领域、方法及其成就并没有为大多数科学家或军界人士所了解。要是我们不想失去这一宝贵的经验和知识,我们必须使它的某些情况不仅让军事人员知道,同时也让科学家和工程师知道。如果运筹学方法具有重要的和平应用——我们相信确实如此,则做到这点就格外重要了。

本书的初版是在第二次世界大战刚结束后以秘密形式出版的。但是根据上一段所讲的目的,在适当地更改了几个例子之后,现在这本书就公开地以普通形式出版了。为了使论述跟上最新的,特别是非军事应用方面的进展,第一章和最后一章曾经整个改写过。

美国国家研究委员会(U. S. National Research Council)已设立了一个运筹学的委员会,有一个运筹学社已在伦敦成立,好些美国

的大学都开设了运筹学方面的课程,所有这些都证明,把运筹学的技巧应用到工业和其他非军事领域中去兴趣正在增长。我们希望,就象以前的秘密版本曾使军事人员感兴趣一样,“运筹学方法”这一普通版本也会使工业、商业及政府非军事方面的管理人员感到兴趣和有用。

P. M. 莫尔斯

G. E. 金博尔

华盛顿, 1950年4月

目 录

第一章 引论.....	1
1.1 运筹学定义	1
1.2 几个简单例子	6
1.3 运筹学的方法	13
1.4 人员安排和组织	21
第二章 概率论.....	25
2.1 基本概念	25
2.2 简单分布律	45
2.3 抽样	65
第三章 效力度量的使用.....	75
3.1 搜扫率	76
3.2 交换率	87
3.3 比较效力	92
3.4 装备性能的估价	99
第四章 战略运动学.....	117
4.1 兵力需要	117
4.2 兰契斯特 (Lanchester) 方程	122
4.3 兰契斯特方程的概率分析	129
4.4 广义兰契斯特方程	136
4.5 反应率问题	147
第五章 战术分析.....	155
5.1 统计解	155
5.2 关于搜索论的分析解	165
5.3 措施和反措施	181
5.4 反措施行动的理论分析	196
第六章 炮击和轰炸问题.....	208
6.1 武器的毁坏力——摧毁面积	208

6.2	散型发射——无弹道离散	215
6.3	散型发射——有弹道离散	222
6.4	抽样方法	232
第七章	装备和战术的运筹实验	244
7.1	运筹实验的计划	245
7.2	精确度测量	250
7.3	侦察装置的估价	254
7.4	炮击中的生存问题	257
第八章	组织问题和程序问题	260
8.1	军事机关中运筹研究小组的组织	261
8.2	现场上的运筹研究	268
表		276
参考文献		288
索引		290

第一章 引 论

运筹学是为执行部门对它们控制下的业务活动采取决策提供定量根据的科学方法。它最初是应第二次世界大战的军事需要而发展成为一项公认的活动的；在军事上，它有时称为运筹分析或运筹评估（有时是武器系统评估）。虽然在这以前，运筹学（有时用不同名称）处理问题的技巧和方法，已经在工业、政府和军事的各种活动中分散地应用过，但是到目前为止，它的系统应用主要是在军事方面。不过，正如定义所暗示的，本书例子将指出的，以及自战争以来的经验所证明了的，在任何领域内，包括工业与政府，和军事方面一样，运筹学的技巧和方法对于如何作出业务活动的执行决策，是能够有所助益的。基于四年战时经验和随后四年和平时期的经验，这个领域内的大多数专家都同意了本段第一句所表述的定义以及它的全部含意和概括^[1]。

1.1 运筹学定义

我们首先指出上段第一句所表达的定义中某些比较明显的含意；然后叙述几个用过的方法的例子，在第一章的其余篇幅讨论技巧、组织和人员安排。首先，运筹学是一种科学方法。它是一种以或多或少确定的研究方法去研究新问题并寻求其确定解答的组织活动。执行人员在过去常常应用某些这里即将说明的技巧去帮助自己作出决策；军事参谋人员用过它的某些技巧，“效率专家”¹⁾也利用过它的某些方法，但是“科学方法”这一名词的含意不仅是某种研究方法的分散应用和偶然的使用；它是可以用到整个一类问

1) “效率专家”(Efficiency Expert)在美国把那些专门检查盈利少或亏损的企业并提出如何解决其业务的建议的代理人叫效率专家——译者注。

题上并且能够进行传授的,公认和有组织的活动。

1.1.1 应用科学

其次,我们看到,运筹学对下述执行部门是有用的:军队的指挥员,企业中负责业务的副经理,或者政府的某些领导人。因此,运筹学是一门利用所有已知的科学技术作为工具去解决为执行部门提供决策根据这一专门问题的应用科学。如我们将要看到的,运筹学用到数学,但并不是数学的分支。它用到“动作测时研究”(time and motion study)¹⁾的结果,但并不是效率工程。它常常促成新装备的引进,但并不是开发新产品的研究室的附属物。正如土木工程应用科学的成果去建筑桥梁一样,运筹学利用这种技术作为工具去帮助执行部门。但运筹学似乎不应归为工程的一个分支,因为现今公认的工程分支全都涉及装备的制造或生产,而运筹学则涉及其使用。工程师是建筑者和装备生产者的顾问,而运筹学工作者则是装备使用者的顾问。

在定义中第二个重要字眼是“定量的”。在某种程度上,它已包含在前一个词“科学方法”中,但有必要重复一次。差不多每一种运筹的某些方面都可加以度量,并与别的运筹的相似方面进行定量的比较。能够用科学方法研究的正是这些方面。

“决策的根据”一词的含意是,在大多数的执行决策中,这些定量的方面不是事情的全部。许多别的方面,诸如政治、道义、传统等都能涉及,这些因素往往是很重要的,但不可能用数量表达。把这些因素加到由运筹研究小组所提供的数量根据上,以得出最后的决策,这是执行人员的特权和责任。运筹学工作者的任务是把数量方面以易于明瞭的形式表示出来,假若可能的话,还把执行人员在作出决策之前可能需要考虑的某些非数量方面也指出来。但是,运筹学工作者不能作也不应该作决策。

1) “动作测时研究”(time and motion study)——在美国,在工程经济中研究工时定额和技术定额的一种方法——译者注。

1.1.2 运筹研究与执行决策的区分

运筹学工作者与执行人员的责任和活动的区分是重要的；过去十年的经验正突出了这一重要性。例如，经验证明，如果把一个受过运筹学训练的人安置在执行人员的位置上，他就会失去很大一部分作为运筹学工作者的作用（虽然他也许会成为一个优秀的执行人员）。对执行人员就运筹作出决策时所提出的要求，与对他在运筹研究中所提出必须科学地和客观地观察运筹的要求，在某种程度上是彼此相反的。执行部门对运筹研究小组的正确使用意味着某种共生现象，它要求每一方都要信赖另一方的活动和尊重另一方的特权。

由于运筹研究是为执行部门提供决策的数量根据的，容易看出：表达成果的技术是活动的非常重要的组成部分。所有的科学方法都含有对其他工作者传达科学成果的意思，但是，在这一工作中，成果通常要传达给非科学人员，而在科学家的研究成果没有以一种能够帮助执行人员作出决策的方式传达给他们以前，这一领域内的任何计划都不能认为是完成了的。

定义中“运筹”这个名词本身也需要定义。在军事术语中，它的使用是十分专门的¹⁾，但这一用法与工业及其他政府活动中通行的用法略有不同。虽然，我们应当指出这个词在通常理解意义下的某些含意，然而我们不打算这么早就在本书给出专门定义。“运筹”这一术语在某种程度上意味着某种行动或行动的某些部分的重复。当现代运筹变得不仅牵涉到人而且牵涉到机器时，这一点就日益成为正确的了。普通运筹中的重复性因素当然就是使我们能够对它进行科学研究的因素。常常，重复性以及不同运筹的各部分之间的相似性是根本不明显的。任何科学研究的典型任务是找出表面不同的事物之间的相似性并且把这些相似性隔离起来，以便进行数量上的研究。这种技巧在运筹学中是很重要的。

1) “operation” 这个词在军事术语中意为“作战”。——译者注

“它们控制下”一语再次强调了这是一门应用科学，主要考虑执行部门迫切重要的问题。运筹研究小组不应该对(比方说)军事机关或工业组织的研究部门交报告，它必须与作执行决策的人员有直接的个人接触，以便使小组能从他那里得知什么是需要决定的重要问题，同时使他能直接从小组人员那里听取研究成果以作为他的决策的根据。

也许，在军事机关中对参谋职能的概念要比在工业或其他政府机关中了解得更清楚些。显然，运筹研究是一种参谋职能。因此，小组应尽可能小，所有接触应尽可能个人接触。但是，研究活动不一定全是短期的。在任何运筹问题中都需要长期的研究。尽管如此，和任何应用科学一样，必须针对主要目标进行工作。和许多科学研究相同，能够最好地决定某种研究对于手头待解问题是否适宜的，往往就是运筹研究小组自己。

1.1.3 早期发展

没有什么站得住脚的理由可以认为，作为一项独特活动的运筹学，在非军事运筹中就应当不如在军事运筹中 useful，或者甚至认为它的主要应用应该仍旧在军事领域内，这一点现在看来应当是很清楚了。不过，它发源于第二次世界大战的原因倒是不难找到的。战争期间，事情关系到生命安危和国家存亡，而在多数的工业问题中，只不过关系到金钱利润而已。因此，推动科学家们进入这一领域的动力要大得多，首先说来，能得到的利益也许更为明显。此外，战时比起和平时期常常能动员更多的能力较高的人转到这一领域中来。开辟应用科学的一个新领域所需要的才能和科学创造性，差不多和开辟一个纯粹科学的领域一样多。在这种情况下，看来需要有高度才干的科学家来参加这一创始工作。自然，在以后这领域的发展中，这些科学家也能起同样巨大的作用，但在和平时期，他们多半去从事纯粹科学中更重要(对他们来说更重要)的研究，因而不能参加到应用科学新领域的创始工作中来。也许，要有一次大战才能造成需要和学者自愿的适当结合，无论如何，在运

筹学中,对于科学经验和研究能力的要求仍是相当高的。

1.1.4 运筹学的价值

经过战争,运筹学证明了它在军事上的应用是有价值的。今天,美国和英国的军队中都设有隶属于高级参谋部的计划和作战单位的运筹研究小组。海军上将金(E. J. King)在他于一九四五年十二月八日所提出的总结报告中对这项工作给了很有意思的评价:

“现代战争在方法和手段两方面的复杂性,要求我们对每一阶段中我方和敌方所采取的措施及反措施进行精确的分析。科学研究不仅能加速武器的发明和生产,而且还能有助于保证其正确使用。有资格的科学家们把科学方法应用到海军作战技术和设备的改进上,形成了所谓运筹研究。从事运筹研究的科学家是这样一些专家,他们专门向海军中使用武器和飞机舰艇的单位——即舰队本身提建议。为了使他们有效地发挥作用,这些专家必须在负责计划和实施作战的官员们领导下工作,并且必须和他们有着紧密的个人接触。”

“这次战争,比以往任何战争都更多地包含新技术措施和反措施之间的斗争。例如,当我们开始在我们的反潜艇飞机上使用雷达时,德国的潜艇被迫改变其战术和装备,而我们又不得不再次改变我们的战术和雷达装备以对抗他们的改变。在这场识破对方的技术的拉锯战中,哪一边能在敌方还没来得及完成新战术和武器之前就迅速地采取反措施,哪一边就能占有决定性的优势。运筹研究让科学家参加分析措施和反措施之间的变动的技术意义,使我们能在一些紧要关头加快我们的反应速度。”

从战争以来,运筹学就在许多工业和政府的活动中的应用过,而且得到了很普遍的成功。如果这门学科要以健康的方式发展,必须扩大其基础,同时必须开设一些训练这一领域的工作的课程。本书的目的就在于指出运筹学所使用的技巧,给从事科学的大学生指出,在这门学科中存在着是一项专业,并且通过例子说明这些技巧的

可能有用范围。大多数例子取自军事上的应用，因为这些应用是最早的工作对象，它们的含意已经经过较长时间的考虑。不过，这些例子在其他非军事应用上的意义对读者说来应该是很明显的。希望这一领域中另一个五年的经验将提供同样多的工业和非军事的政府活动方面的例子。

1.2 几个简单例子

在试图进行关于运筹学的技巧、人员安排和组织方面那怕是很初步的讨论之前，先讲几个关于它的工作的例子是有好处的。选择这些例子并不是由于其重要性或其结果有什么价值，而主要是说明我们在这一章里已经讲过或者就要讲到的一些观点。在这本书的后面将给出许多别的例子说明这些观点以及其他一些观点。

1.2.1 调整装备的使用

第一个简单到不值一提的例子是，士兵在战地就餐处用饭之后排队洗涮他们的餐具。有一位运筹学工作者在他到一个新战区去就任的第一天就注意到那里有四只盆，其中，两个是洗盆，两个是涮盆。士兵在饭后为了等待洗涮他们的餐具而不得不排长队。这位运筹学工作者注意到，平均起来，士兵洗餐具要比涮餐具慢三倍。他就提出，应该把原来的两个洗盆和两个涮盆改成三个洗盆和一个涮盆。在做了这样的改变之后，不仅是缩短了士兵的排队长度，而且在大多数日子里根本就不再出现排队现象。

这一例子尽管如此浅显，但却说明了许多第一节已讨论过并且以后将予以发挥的论点。首先，问题的解在发现之后是简单到可笑的地步，任何人原能发现它，但令人惊奇的是竟然需要一位有素养的科学家去指出它来。也许，科学家过去研究包含流的问题使他具有看出解的可能以及抓住问题的症结的素质。这里，问题的症结是花在每一只盆上的相对时间。

要注意的第二点是在不要求增加装备的条件下，使情况得到

改善。这里只不过对盆子的用法进行了调整而已,不需要什么“新发明”。重要的第三点是,观察到排队现象并对其结果提出改善意见,是提给某一能够对这种现象采取措施的人的,而他也采取了。毋庸置疑,许多排队的士兵也能观察到运筹学工作者所观察到的,也许已观察到了。如果是这样,那么他们观察到的结果和他们可能提过的建议就不曾提到能够采取必要的调整决定的人那里,因而情况不曾得到改善。

本书后面还要说明此例中另一有趣之点是关于调整的结果。在理论上,从两个洗盆和两个涮盆变为三个洗盆和一个涮盆应当使通过排队线的流量增加 50%。但是,结果却是排队长度几乎缩减为零;换句话说,获得的实际效果大于预期的。排队现象的一个运筹特征为,队排的越长,它越容易排得更长。许多运筹现象都具有这种自动恶化(*self aggravating*)的特征。例如,在一条高速行驶的公路干线上,要是不发生使车辆在顷刻之间慢下来的事故或其他干扰,它可以很轻易地让假日的车流通过;但是一出现使车子慢下来的情况,就会立即引起车辆阻塞。某些运筹学最有成效的应用就是由研究这种自动恶化的现象而得出的。虽然它的效应主要是非线性的,但通常它可以用众所周知的数学技巧和第二章中简述的概率论去处理。

1.2.2 装置的改变,单位大小的调整

在这第一个例子里,任何一个合格的“效率专家”都能很快地把问题解决了。事实上,任何一个有智力的人,只要他不怕麻烦地去考虑问题,都会找到问题的解答。但是,在许多情况下,在看出问题的性质和得出它的解答之前,需要比这多得多的技术背景。在 3.4.8 节中引证的例子里,为了改进击沉德国潜艇的效率,提出了一项建议,把飞机反潜艇深水炸弹的深度装置作了一个简单的改变。为了得到这个解答,需要详细的概率研究以及某些有关深水炸弹引信的物理性质的知识。但是,这里仍然是在没有对装备进行重大改变而只简单地改变了引信的深度装置的条件下,获得了提高

效率两倍的成绩。如果想通过提高爆炸力或改进火力控制来得到同等效率的提高,那就需要长年累月的设计时间和数以百万计的生产及投资费用。

在 3.2.2 节中简述的例子中,决策是扩大护航船队,结果是降低了损失船只的平均数,这是另一个通过不改变所用的装备而只改变应用它的方式来得到很大成绩的例子。这里又必须具备有关船只在港口和船队中行动的相当知识,才能知道扩大船队不会带来随之而产生的有害影响。运筹学工作者不必是运筹方面的专家(实际上,过分熟悉有关专业反倒会束缚他的手脚),但他必须具备充分的技术背景以了解有关运筹的基本特点,必须具备足够的数学修养以进行有关的分析,而最主要的,他必须具备客观地寻根究底的品质,这是对任何科学研究工作者的首要要求。

这里,研究工作也是应管理船队的主管人的请求而进行的。这位主管人能够对研究所预测的效果进行试验以证实其价值。同样的研究报告如果交给任何其他的主管人,就不会有什么效果,因为他不能采取行动。

在许多情况下,一旦决定了分析运筹所用的指标,问题多半就解决了,注意到这一事实也是很重要的。从被击沉的船只的统计资料可以清楚看到,在每次敌人攻击中,大船队和小船队差不多损失同样数目的船只。于是,有人也许就会不加思索地断定,大船队没有什么好处。只有当我们认识到正确的指标应该是通过大洋的船只总数中损失的百分比时,正确解答才是显而易见的。在许多情况下,选择恰当的运筹的效力度量,是在分析问题中所要作出的很重要的决定。有时很不容易作出这种选择(例如,在一个车辆流通系统中,正确的度量是事故的减少还是流量的增加?抑或是这两者之比?),这时运筹的负责执行人员必须帮助作出决定。

1.2.3 如何确定运筹参数间的依赖关系

从护航船队的研究中所看到的另一点是运筹学往往不仅是一门观察的科学,而且是一门实验的科学。它的目的是根据对过去

的运筹的分析，寻求改善执行未来运筹的方法。在护航船队的研究中，我们拥有与不同大小的船队有关的充分资料，这使我们能够作出遭受损失情况的初步结论。于是，我们作出了大的船队能导致小的损失百分比的预测，然后，我们就能够进行试验来检验这一预测。当检验结果证实预测的正确性时，我们才可以把这研究成果正式付诸实施。

利用运筹中的随机波动来洞察运筹结果对于不同的运筹参数的依赖关系，是运筹学的一项标准技巧。本书从头到尾都将以例子说明这一点。有时，对一些看来没用的数据进行适当的统计处理之后，可以从中获取多得人意外的答案。这里举一个商业方面的例子是有意义的。基于任何运筹工作者都应该知道的原因，首先要了解，所研究的商店在某城市的某星期或月份中零售额占该城市这段时期内的零售总额的百分比。这样，我们就可能获得一个关于如何利用广告和其他推销手段的真正客观的准则。但是由于商业上的保密（有时这种保密和军事上的保密一样严）的原因，任何商店也没法得知其竞争者在某星期或月份中的零售额。报刊上公布的只是有关某一城市每周零售额和去年同期零售额的比较。总数是不知道的，要不然问题就简单了，只有比数是公布了。同样地，某月份的零售额与上月份零售额的比数也知道了。利用联立方程，比较周比数和月比数，我们就能从这些数据算出该城市在每周或每月中的销售总额，只差一个总的，固定的乘因子。这个因子一经求出，我们从此就能够不断地获得每周或每月的销售总额的近似数字。因此，由于所研究的商店的销售额已知，要求的百分数就可以算出来。但是，这一总的常数不能从公布的资料中算出来。

然后，注意到在前五年期间，销售额的表报中有时出现错误。这些错误在后来都改正了，相应的总销售额比数也就在报刊上加以更正和重新发表。已知的错误大小与公布的更正结果的大小之间的关系，完全能够使分析工作者求出这个总因子的充分精确的数值，因而也就解决了这个问题。从那以后，这家商店就知道了它