


· 通用管理系列教材 ·

Applied Operations Research

实用运筹学

郝英奇 等 编著

 中国人民大学出版社

· 通用管理系列教材 ·

Applied Operations Research

实用运筹学

郝英奇 等 编著

中国人民大学出版社
· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

实用运筹学/郝英奇等编著. —北京: 中国人民大学出版社, 2011. 8

通用管理系列教材

ISBN 978-7-300-14209-8

I. ①实… II. ①郝… III. ①运筹学-高等学校-教材 IV. ①022

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 165765 号

通用管理系列教材

实用运筹学

郝英奇等 编著

Shiyong Yunchouxue

出版发行	中国人民大学出版社	
社 址	北京中关村大街 31 号	邮政编码 100080
电 话	010-62511242 (总编室)	010-62511398 (质管部)
	010-82501766 (邮购部)	010-62514148 (门市部)
	010-62515195 (发行公司)	010-62515275 (盗版举报)
网 址	http://www.crup.com.cn	
	http://www.ttrnet.com (人大教研网)	
经 销	新华书店	
印 刷	涿州市星河印刷有限公司	
规 格	185 mm×260 mm 16 开本	版 次 2011 年 9 月第 1 版
印 张	14.75 插页 1	印 次 2011 年 9 月第 1 次印刷
字 数	258 000	定 价 28.00 元

版权所有 侵权必究 印装差错 负责调换

前言

运筹学于第二次世界大战期间诞生于英国，战后在美国成长与成熟起来，60年代由中国科学院数学所引入中国，一直在数学家的怀抱里成长，“最优化数学”是运筹学的另一个名称。国内大量的运筹学教材以模型和算法为主要内容，管理类学生普遍感觉不适应、不实用，遂冠之以“晕头学”、“晕愁学”（上课就晕，考试就愁）的戏称。

运筹学是资源优化配置的工具，同样是运筹学教学，针对不同的学生应该有不同的思路：运筹学专业的学生需要研究各种运筹方法及其原理，进而学会发现新问题、“制造”新工具；管理类专业的学生学习运筹学，是为了弄清工具的用途和使用工具的方法，进而利用工具解决问题。两者的关系犹如剑师和剑客——剑师专门研究和铸造宝剑，剑客则专门修炼使用宝剑的门道——这是两个截然不同的行当。但是在追求完美的理念支配下，现有的教材基本上是把“铸剑”和“用剑”合而为一，强调“知其然，更知其所以然”。对管理类专业的学生而言，“铸剑”知识已经把他们搞晕了，“用剑”的兴趣和时间打了很大的折扣，在专业分工日趋细化、应用软件日臻成熟的今天，这样的教学方法是很不经济的。

我们认为，与其追求传授知识的完美性，不如追求知识的实用性。知识之于学生，只有掌握了才是自己的。“掌握”意即“握在掌中”，一是拿在“手”里，方便地使用；二是要跟“手”有很大的接触面，这样才能牢靠地使用。对本科生而言，社会知识，尤其是企业知识，还比较匮乏，往往对案例理解不深，加之很少使用数学语言，于是“用陌生的语言解释陌生的事物”，是“晕头学”的成因。如果能够使用生活化的语言，解释身边的现实问题，那么学生的兴趣必然提高；如果能够将运筹学的哲学理念贯穿到学生的思维方式中去，那么运筹学就不仅是知识，而是内化为素质了。相信每一位老师和学生都渴望得到这样一本教材，然而现在市面上根本没有这样的教科书，或许是学者们不屑于做这样的科普性工作，或许这项工作也并非易事。其实，华罗庚教授早在20世纪70年代就到厂矿企业普及运筹学，并且著有《运筹学平话》，只是内容太少，不足以作为本科教材。无论如何我们决定要尝试一下，试图把

运筹学从严谨的学术殿堂导入普及领域，变成通俗易懂、简单实用的思维工具和优化手段，为老师和学生提供尽可能多的方便。

本教材的第一个特点是实用性：

我们认为在学问与学生之间，首先要考虑学生。不要为了讲授一个完整的知识体系而不顾学生的接受能力去刚性灌输，而要针对学生的能力、兴趣和需要，教给其学得懂、用得上、记得住的知识。基于对本校外招生的能力特长和知识基础的了解，本教材突出培养学生的优化意识和建模技巧，至于解题方法，大部分作为“黑箱”交由运算软件去处理。

本教材的第二个特点是通俗性：

鉴于本科生没有企业管理的感性知识，教材在陈述每一类问题时，都从学生已有的生活常识入手，用深入浅出的例证导出相应的运筹学问题，给出数学模型，讲解应用案例，演示计算机解法。力求使拥有中学数学知识的学生就能学得懂、用得上，让每一个学生都能从学习中获益。

本教材的第三个特点是操作性：

外招生有很强的参与意识和动手能力，为了发挥学生的兴趣和特长，本教材将以案例教学为主，把课堂教学与学生的案例编写、建模、PPT演示有机结合，让学生在操作与互动中学到“活”的知识，并且将知识转化为操作能力。为方便教师使用，我们配备了相应的教学课件、案例库和习题答案；为方便学生使用，我们在课本上预留了注释空间。

本教材的第四个特点是启发性：

在讲授运筹学方法的同时，着力发掘模型背后的哲学思想，力图把运筹学知识转化为学生的思维方式，启发学生发现生活中的运筹学案例，培养学生的运筹兴趣和运筹思维，养成科学严谨、追求卓越的思维习惯。

准确地说，这些特点是我们撰写这本教材的期望，不一定能够充分地变成现实，如果您在教学过程中有什么启发和建议，请不吝赐教，我们一起来修订和完善它。

本书原本是针对数理基础薄弱的外招生写的，现在看来，凡是应用为目的的学生——MBA、ME、管理类本科生、专科生、成教生，都可以试用一下。

郝英奇



目 录

第 1 章 运筹学的 ABC

第 1 节	运筹学的历史	2
第 2 节	运筹学的含义	11
第 3 节	运筹学的模型	12
第 4 节	运筹学的方法论	13
第 5 节	运筹学的知识体系	15
第 6 节	运筹学软件	15

第 2 章 图论与网络分析

第 1 节	图论的由来	18
第 2 节	图的基本概念	19
第 3 节	图的用处	20
第 4 节	最小树	22
第 5 节	最短路	24
第 6 节	最大流	28
第 7 节	最小费用最大流	35

第 3 章 网络计划技术

第 1 节	网络计划技术原理	43
-------	----------------	----

2 实用运筹学

第 2 节	网络图的绘制	45
第 3 节	关键路线法	50
第 4 节	计划评审技术	58
第 5 节	网络优化	62

第 4 章 线性规划

第 1 节	线性规划的数学模型	70
第 2 节	线性规划的基本概念和定理	75
第 3 节	线性规划的单纯形解法	80
第 4 节	线性规划应用举例与求解	88
第 5 节	对偶问题与灵敏度分析	94
第 6 节	运输问题	105
第 7 节	整数规划	113

第 5 章 目标规划

第 1 节	目标规划的数学模型	126
第 2 节	目标规划的图解法	128
第 3 节	目标规划建模	129
第 4 节	目标规划的计算机求解	132

第 6 章 决策论

第 1 节	决策问题的基本概念	140
第 2 节	不确定型决策	141
第 3 节	风险型决策	144
第 4 节	信息价值与贝叶斯决策	149
第 5 节	效用值决策方法	158
第 6 节	层次分析法	162

第 7 章 存储论

第 1 节	存储论概述	172
-------	-------------	-----

第2节	存储论的基本概念	173
第3节	确定性存储模型	176
第4节	随机性存储模型	184

第8章 博弈论

第1节	博弈论的基本概念	191
第2节	完全信息静态博弈	195
第3节	博弈案例	211

第9章 软运筹

案例 9—1	珠海大学	218
案例 9—2	借水还油	220
案例 9—3	偷天换日	221
案例 9—4	TCL 模式	223
参考文献	226
后记	227

第 1 章

运筹学的 ABC

本章要点

- 了解运筹学的含义
- 熟悉运筹学的历史
- 掌握运筹学的方法
- 领悟运筹学的精神

运筹学的英文名称是 operations research，在华人地区曾有多种译法：港台译为“作业研究”，日本译为“运用学”。这些译法并无不妥，英文 operation 的含义是手术、行动、业务、运作、操作等，两种译法都是忠于原文的，但是总给人一种隔靴搔痒、有形无神的感觉。大陆学者从《汉书·张良传》“运筹帷幄之中，决胜于千里之外”取来“运筹”二字，活灵活现地揭示了这门学科“运心筹谋，策略取胜”的精髓，可谓神形兼备、入木三分。中国古代的运筹，讲究天时、地利、人和；现代运筹讲究有限资源的最优配置，两者异曲同工、一脉相承，最终目的都是寻求一个好的策略，在给定的条件下，把事情做到最好。只不过古代运筹主要凭借定性分析，很少有精确的数学计算；现代运筹则利用数学模型，经过科学计算求得最好的解决方案。“运筹学”的译名出现以后，得到华文世界的广泛认同。

第1节 运筹学的历史

运筹学诞生于第二次世界大战期间，当时的名称叫做 operational research，意为军事活动研究，传到美国之后更名为 operations research。任何学科的诞生都不是偶然的，有其历史的延续性，运筹学诞生之前的数千年间，零零星星有很多经典的案例，处在随缘而生的状态。1940年，在战争的胁迫与激发下，开始了有组织、大规模的运筹学研究。战争结束后，运筹学又回到民间，广泛运用于组织管理之中。我们把运筹学的历史大致分为三个阶段：早期运筹思想、军事运筹学、管理运筹学。

一、早期运筹思想

运筹学诞生以前有很多案例闪烁着运筹思想的光辉，仔细品味有助于领会运筹学的真谛。

1. 田忌赛马

战国时期（公元前4世纪），赛马是最受贵族欢迎的娱乐项目。齐国（今山东淄博）的齐威王经常与大臣们赛马取乐。国王的马自然比大臣的马好，所以齐王胜多负少。一日，齐王兴致大发，向大将军田忌发出要约：“田将军，明日赛马如何？”田忌欣然应允。齐王又说：“每赢一局，即得千金”，田忌大窘，又不敢违抗，只好应承。田忌回家后闷闷不乐，为钱发愁。门客孙臆问明原委，沉思片刻，计上心来。一阵耳语之后，主宾二人转忧为喜。

次日，阳光明媚，齐王早在赛场等候，田忌拜见齐王后，说：“大王请出马”，齐王说：“将军请”，田忌说：“吾主乃一国之君，臣下岂敢先出”，于是齐王率先出马。按照规则，赛马分为上、中、下三等，双方各自出一匹马对赛，赢一匹马即得一千金。比赛开始，齐王先出上马，田忌则出下马，齐王大胜。第二局比赛，田忌用上马应对齐王的中马，田忌获胜。第三局，田忌用中马应对齐王的下马，田忌又胜，一算总账，田忌赢了一千金。

齐王大惑不解：人还是这人，马还是这马，怎么这次会输了呢？这时田忌告诉齐王，他的胜利来自运筹。随后，把孙臆引荐给齐王。齐王大悦，封孙臆为军师。孙臆不辱使命，运筹帷幄，屡立战功。

点 评

(1) 相同的资源，不同的配置，会有不同的结果。尽管田忌的资源处于弱势，看似必输无疑，但融入了运筹的智慧之后，便能以弱胜强。这是“书中自有黄金屋”的真正内涵，运筹学这个工具就是在资源配置中“掘金”的锄头。

(2) “后发优势”很重要，如果不是齐王先出马，后果会怎么样呢？田忌处心积虑哄齐王先出马，于是得以后发制人，这也是取胜的关键。

(3) 知己知彼，百战不殆。田忌了解齐王的马匹，可以有针对性出马，所以才能够克敌制胜，赢得千金。

2. 丁渭修宫

北宋大中祥符年间（1008—1016年），皇宫失火，顷刻之间化为瓦砾。皇帝令大臣丁渭修复皇宫。按照常规的思路，首先要清运垃圾，然后征集建材，最后施工重建。丁渭摒弃常规思维，首先命人把宫前大道挖成一条沟壑，取土烧砖；然后，将沟壑与汴河沟通，成为运河，经由水系将各地建筑材料运至宫前。物资齐备后，命人将残砖碎瓦填入沟壑，覆以黄土，复原了宫前大道。此时旧址清理完毕，即刻动工重建。史书称，“一举而三役济，计省费以亿万计”^①。

点 评

丁渭把重建皇宫视为一项系统工程，合理安排施工顺序，巧妙利用道路、河系、瓦砾等资源，将工程运筹得滴水不漏。其运筹的核心是宫前大道，他将宫前大道一功三用：第一用，原料场，以此取土烧砖；第二用，大运河，由此运输建材；第三用，垃圾填埋场。三用之后恢复原貌。仅此三用，缩短了砖的运距、垃圾的运距，节省了石料、木材的运费，使得工程省时节费。可谓“从一头驴上剥下来三张皮”，真是精妙绝伦！试想：丁渭的举措是不是循环经济的典范？

3. 沈括运粮

我们知道沈括（1031—1095年）是北宋著名科学家，却很少了解其军事方面的成就。沈括曾经担任延州（延安）知州，抵御西夏进攻，他定量地研究了军粮运输问题。陕北多山，军粮运输要用挑夫，一个挑夫能够

^① 沈括：《梦溪笔谈·补笔谈卷二》载：祥符中，禁火。时丁晋公主营复宫室，患取土远，公乃令凿通衢取土，不日皆成巨壑。乃决汴水入壑中，引诸道竹木排筏及船运杂材，尽自壑中入至宫门。事毕，却以斥弃瓦砾灰壤实于壑中，复为街衢。一举而三役济，计省费以亿万计。

负担6斗米，一个士兵背负1斗米，人均每天吃粮2升。

如果一个士兵配一个挑夫，最多可以行军18天： $(6+1) \div 0.2 \div 2 = 17.5$ 天，如果计算回程，只能进军9天。

如果一个士兵配两个挑夫，最多可以行军26天：3人行军，每天吃粮0.6斗，一个挑夫的粮食可供3人吃10天，挑夫的粮食吃完了，没有必要继续跟随，即刻遣回。挑夫返回也是要吃粮的，还要带上“盘缠”。于是行军至第8天，3人吃掉了 $0.6 \text{斗} \times 8 \text{天} = 4.8 \text{斗}$ ，某个挑夫还剩1.2斗粮，令其返回。其余一个士兵、一个挑夫继续行军，2人还有7斗粮， $7 \div 0.4 = 17.5$ 天，两人还可行军17.5天，加上前面的8天，约等于26天。如果计算回程，只能进军13天。

如果一个士兵配3个挑夫，最多可以行军31天：前6.5天，4人吃粮，每天0.8斗，吃掉了 $0.8 \text{斗} \times 6.5 \text{天} = 5.2 \text{斗}$ 。某个挑夫剩余0.8斗粮，够吃4天，将其遣回。剩余3人继续行军，每天吃粮0.6斗，又过了7天，吃掉4.2斗，某个挑夫剩余1.8斗粮，将其遣回。剩余2人，7斗粮，可继续行军17.5天。共计行军31天，计算回程，只能进军16天。^①

点 评

此前的粮草供应，是凭借运粮官的经验估计。沈括以科学家的思维，在给定挑夫能力(6斗)、士兵能力(1斗)和人均消耗的假设条件后，定量分析了不同人员配比下的行军天数，将后勤供应上升为科学。这个故事启示我们，科学就在我们身边，只要有心就能揭示其中奥秘，更好地指导实践，这也解释了为什么拿破仑打仗时总把数学家加斯帕尔·蒙日带在身边。

4. 排队论

1910年丹麦哥本哈根电话公司的电气工程师爱尔朗(A. K. Erlang)用概率论方法研究电话通话问题，从而开创了排队论这门应用学科。程控交换机出现之前，电话是由人工插转的。接线员人数多了，电话公司会损失效率；接线员人数不足，顾客等待太久，则导致顾客流失。如何安排接线员的人数，使得公司和顾客两者的损失最小？这是一个最优化问题。爱

^① 沈括：《梦溪笔谈·官政一》载：凡师行，因粮于敌，最为急务。运粮不但多费。而势难行远。余尝计之，人负米六斗，卒自携五日干粮，人饷一卒，一去可十八日；米六斗，人食日二升。二人食之，十八日尽。若计复回，只可进九日。二人饷一卒，一去可二十六日；米一石二斗，三人食，日六升，八日，则一夫所负已尽，给六日粮遣回。后十八日，二人食，日四升并粮。若计复回，止可进十三日。前八日，日食六升。后五日并回程，日食四升并粮。三人饷一卒，一去可三十一日；米一石八斗，前六日半，四人食，日八升。减一夫，给四日粮。十七日，三人食，日六升。又减一夫，给九日粮。后十八日，二人食，日四升并粮。计复回，止可进十六日。前六日半，日食八升。中七日，日食六升，后十一日并回程，日食四升并粮。三人饷一卒，极矣。

尔朗研究了电话到达和结束的规律，提出了著名的 (M/M/1) 排队论模型。

5. 存储论

1915年哈里斯 (F. Harris) 对银行货币的储备问题进行了详细的研究，建立了一个确定性的存储费用模型，并求得了最佳批量公式。存储是人们生产和生活中常见的现象，为了满足不时之需，就需要存储，存储就会发生存储费（如：工资、库租、电费、损耗、资金占用费等），于是希望减少库存，但是库存量的减少，必然导致进货次数的增加，而每次进货将发生订购费用（如差旅费、邮电费等）。如何在存储费和订购费两者此消彼长的关系中，寻求总费用最低的订购策略？这又是一个最优化问题。

6. 线性规划

1938年，年仅26岁的前苏联数理经济学家列昂尼德·康托洛维奇提出了线性规划问题的解乘数法，次年提出线性规划的对偶问题，并利用影子价格研究资源的合理配置问题。他因此获得了诺贝尔经济学奖。我们知道任何生产都需要消耗多种资源，而资源是有限的，如何利用有限的资源，最大限度地实现预期目标？把预期目标和约束条件用线性函数表示出来，就是线性规划。

二、军事运筹学

1940年德国空军飞越英吉利海峡，对英伦三岛狂轰滥炸，英国人凭借自己的秘密武器——雷达，可以提前几分钟发出预警，一旦敌机进入领空，高炮射击、飞机拦截，使得德国空军没有占到丝毫的便宜。一日，敌机飞到伦敦上空狂轰滥炸，雷达居然没有察觉。随即英国人意识到雷达布局存在盲区，于是请来著名物理学家布莱克特 (Blackett) 协助军方解决雷达布局问题。布莱克特组建了一个研究小组，由两个生物学家、两个理论物理学家、一个天体物理学家、一个军官、一个测量员组成，专门研究防空系统的布局问题。由于角色杂陈，被戏称为“布莱克特马戏团”。^① 运筹小组做了卓有成效的工作，声誉不胫而走，很快盟军的部队中建立了很多运筹小组，为反法西斯战争做出了巨大的贡献。

如果说第二次世界大战之前的运筹学研究是零星的、随缘而生的，那么在战争的胁迫和激发之下，运筹学进入了有组织、成建制、大规模研究的阶段，出现了很多经典的案例。

^① 参见 [美] 罗伯特·吉·瑟罗夫：《运筹学入门》，北京，清华大学出版社，1984。

1. 洗碗的学问

这是发生在第二次世界大战盟军营地的运筹学故事，简单到可想而知，之所以拿出来陈述，是想告诉读者：运筹学并不神秘，只要有心，谁都可以运筹。

一位运筹学家到一个新战区上任，一到营地就发现战士们在排队洗碗，洗完之后再涮碗。洗碗有两个水盆，涮碗两个水盆，洗碗排了长队，涮碗则无须等待。他通过观察，估计出洗碗的时间是涮碗时间的3倍左右，于是他提示营地长官，把一个涮碗的盆拿来洗碗，从此洗碗就不再需要排队了。^①

2. 法国空战

第二次世界大战开始后不久，德国军队绕过了马其诺防线，法军节节败退。为了抗衡德国，英国派遣了十几个战斗机中队，在法国上空与德军作战。英国空军的指挥、维护均在法国进行。由于战斗损失，法国总理要求增援10个中队，英国首相温斯顿·丘吉尔打算批准这个议案。

英国运筹人员知悉此事后，进行了一项快速研究，并请求列席内阁会议。会上，运筹学人员指出，按照目前的损失率、补给率计算，仅再进行两周左右，英国的援法战机就连一架也不存在了。运筹学家以简明的图表、量化的分析说服了与会高官。丘吉尔最终决定：不仅不再派遣新的战斗机中队，而且还将在法国的英国战斗机撤回本土，以本土为基地，飞赴法国与德军作战。从此，实力对比发生了变化，战争局面有了大的改观。^②

点 评

理性与情感时常发生冲突，不理性的决策必然招致损失。从情感来说，英国与法国都是纳粹的受害者，法国有难英国理应支援，况且法国总理的请求还有个面子问题——这是丘吉尔的决策基础。但这样的决策是不理性的，因为在法国的空中力量处于绝对劣势，损失率大于补给率，随着时间推移的结果是存量为零，即使再派10个中队，等待他们的命运依然是壮烈牺牲。于是果断撤出是一个理性的选择。

运筹学家之所以能够说服丘吉尔，是因为他们采用了定量分析的方法，辅之以图表，把增援的灾难性后果彻底揭示出来，从而唤醒了丘吉尔的理性。

^① 参见 [美] P. M. 莫尔斯、G. E. 金博尔：《运筹学方法》，北京，科学出版社，1988。

^② 参见李宗元：《运筹学 ABC——成就、信念与能力》，北京，经济管理出版社，2000。

3. 深水炸弹

第二次世界大战初期，德军潜艇扼制大洋隘口，攻击英国运输船队，几乎阻断了英军的补给线。于是，英国空军海防总队受命攻击德军潜艇。最初英军使用普通的炸弹，由于这种炸弹是在水面上爆炸的，即使击中了潜艇的甲板，它们也很难击穿其耐压船壳，收效甚微。所以，英军改用深水炸弹。这种炸弹保证在水面以下爆炸，这样对潜艇舱室的破坏性就会大得多。

然而爆炸深度多少为宜？这个问题困扰了英军很久。有若干空军中队，觉得潜艇一般是潜在水下，所以把他们的炸弹确定在150英尺的深度下爆炸。但很快他们就明白了这个深度是不合理的，因为在这个深度上无法判断潜艇的位置，而能够判定位置时不是这样的深度，于是就把深度减为50英尺，但是命中率依然不尽如人意。

运筹学人员进行了如下分析：在飞机投掷炸弹的一瞬间，潜艇的状态是怎样的？无非有两种情况：A. 仍处在水上；B. 刚刚下潜。A情况下投弹，命中率最高，但50英尺的爆炸深度不合适，试想：炸弹下落的同时潜艇下沉，两者交会的深度肯定不到50米。B情况下，或许50英尺的深度是合适的，但潜艇不一定垂直下潜，很可能边沉边跑，不知其逃往何方，命中率是很低的。于是确定爆炸深度参数只能基于A，不能基于B。

运筹学人员统计了作战状况：对水面潜艇的袭击占40%，另有10%的情况，当飞机投弹时可以看到潜艇的一部分。即命中率最高的A状况占50%，另外命中率不高的B状况占50%。基于A状况，将炸弹的爆炸深度定为25米，命令飞行员只有A情况才实施攻击，如果潜艇已经下潜超过半分钟，就不必投弹了。这个策略实施几个月下来，攻击潜艇的命中率提高了两倍多。^①

点 评

(1) 何谓分析，分而析之是也。起初150米的爆炸深度是盲目的，50米的爆炸深度是笼统的，25米的爆炸深度才是科学的。这个参数考虑了临战状态的不同情境，区分为水上和水下，潜艇在水下，没有把握，放弃攻击；潜艇在水上，把握性大，选择攻击，针对这种情况测算潜艇与炸弹的交会点，提高命中率就是自然而然的事情了。

(2) 运筹学是关于既有资源有效利用的学问。普通炸弹在水面上不能有效击穿潜艇壳体，他们把普通炸弹稍加改进，令其在水下爆炸，以提高杀伤力，而不是研制穿甲弹或威力更大的炸弹，那是武器专家的事

^① 参见 [美] P. M. 莫尔斯、G. E. 金博尔：《运筹学方法》，北京，科学出版社，1988。

情。运筹学家干什么？利用现有资源，寻求最佳效果。深水炸弹实际上就是“缓释胶囊”，把炸弹的引信留长一点而已，引信长度与爆炸深度成正比。深度控制对炸弹专家而言是雕虫小技，运筹学家的任务是：制定最优化的作战方案，即确定何时攻击，以及实施攻击的最佳参数。

4. 护航编队

第二次世界大战初期，德国潜艇在大西洋上对进出英国的商船进行狼群式袭击，商船损失率与日俱增，战略物资供应告急。军方派出驱逐舰编队护航，但效果不佳，应军方的邀请，麻省理工学院的 W. P. 莫尔斯 (W. P. Morse) 教授前来指导反潜战运筹小组。莫尔斯统计了 1941—1942 年间军舰护航的相关情况，梳理出影响商船损失率的三个关键参数：船队规模 M 、舰艇数目 C 、潜艇数目 N 。这里最为关注的是交战双方的损失对比，即商船的损失数量 K 和潜艇的击沉数量 L 。研究的目的是寻求一个好的应对策略，减少商船的损失（见表 1—1）。

表 1—1

船队规模 M	20	30	39	48
交战次数	8	11	13	7
舰艇数目 C	7	7	6	7
潜艇数目 N	7	5	6	5
商船的损失数量 K	5	6	6	5
商船损失率 K/M	0.25	0.2	0.15	0.1

资料显示，商船的损失数量 K 与船队规模 M 无关，而与舰艇数目 C 和潜艇数目 N 有关， C 和 N 基本保持一个常数，商船的损失数量 K 也基本上是一个常数，而商船损失率 K/M 则表现为一个依次降低的趋势，这说明扩大船队规模是非常有利的。

研究报告递交到军方相关部门，军方决定扩大商船编队，与此同时增加护航舰艇，驱逐舰的增加使得潜艇击沉率提高，以致德军觉得袭击护航船队是得不偿失的，于是将潜艇转移到其他战场去了。由于补给通畅，逐渐扭转了大西洋战场的格局。^①

点 评

运筹学研究什么？研究策略，为解决现实问题提出有依据的解决方案。日常生活中，人们常常为了一件事情争论不休，为什么会有争

① 参见 [美] P. M. 莫尔斯、G. E. 金博尔：《运筹学方法》，北京，科学出版社，1988。

论? 往往是因为见解不一。为什么见解不一? 往往是因为缺乏调查研究, 没有实际数据的支持, 谁也不能说服谁。运筹学把感性上升为理性, 用数据背后的规律作为制定策略的依据, 这样既可以避免无谓的争论, 也便于策略的有效实施。

5. 逃生策略

第二次世界大战后期, 日军的“神风”战机上演了最后的疯狂——向盟军的舰船发动自杀式袭击, 飞行员驾驶着装满炸药的飞机直接撞击美国军舰。虽然盟军舰艇有航空兵和防空炮火护卫, 但是“神风”依然可以攻击到舰船。据统计有 477 次攻击, 其中 172 次击中目标, 27 艘战舰被撞沉。作为应对策略主要有两个: 一是边射击边机动逃离, 二是边平稳航行边用炮火还击。不同策略下被击中的统计数据见表 1—2。

表 1—2

	大型舰船	小型舰船	总计
机动: 被命中率	22%	36%	33%
不机动: 被命中率	49%	26%	34%

总体而言, 机动与不机动的被命中率 33% 和 34% 没有显著差异, 分类来看则不同: 大型舰船采取机动策略的效果要好很多, 小型舰船则是平稳航行更有利。造成差异的原因有两个层面: 机动增加的不确定性降低了被击中的概率; 机动影响了防空炮火的准确度, 进而增加了被击中的概率。孰轻孰重对各类舰船逃生至关重要。表 1—3 统计了不同策略下防空炮火对敌机的命中率。

表 1—3

	大型舰船	小型舰船	总计
机动: 反击命中率	77%	59%	63%
不机动: 反击命中率	74%	66%	69%

此表说明, 对于大型舰船来说, 满舵转向不影响其防空炮火的命中率, 但可以降低敌机命中率; 对于小型舰船来说, 满舵转向影响炮座的稳定性, 防空炮火命中率显著降低。所以有效的策略是: 遭遇“神风”袭击时, 大型舰船应紧急转弯, 小型舰船应缓慢转弯。战时运筹学家莫尔斯说, 此策略使得“被命中率”从 47% 降低到了 29%。^①

^① 参见 [美] P. M. 莫尔斯、G. E. 金博尔:《运筹学方法》, 北京, 科学出版社, 1988。