

装备运筹学

陈庆华 著

Military Operations Research on Equipment



国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

装备运筹学

Military Operations Research
on Equipment

陈庆华 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

装备运筹学/陈庆华著. —北京:国防工业出版社,
2005.1

ISBN 7-118-03564-5

I. 装... II. 陈... III. 武器装备管理 IV. E075

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 073090 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

腾飞胶印厂印刷

新华书店经销

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 7.478 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

印数 1—3000 册 定价:26.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第四届评审委员会组成人员

名誉主任委员	陈达植			
顾问	黄宁			
主任委员	刘成海			
副主任委员	王峰	张涵信	张又栋	
秘书长	张又栋			
副秘书长	彭华良	蔡镭		
委员	于景元	王小谟	甘茂治	冯允成
(按姓名笔划为序)	刘世参	杨星豪	李德毅	吴有生
	何新贵	佟玉民	宋家树	张立同
	张鸿元	陈火旺	侯正明	常显奇
	崔尔杰	韩祖南	舒长胜	

目 录

第 1 章 装备运筹学概述	1
1.1 引言	1
1.2 运筹学的由来	2
1.3 军事运筹学的发展	7
1.4 装备运筹学的研究内容	13
第 2 章 资源分配中的优化问题	16
2.1 线性规划实例与求解方法	16
2.2 有界变量的线性规划算法	35
2.3 线性规划的对偶理论	44
2.4 灵敏度分析	52
2.5 整数规划与 0—1 规划	54
2.6 割平面法	58
2.7 分枝定界法	67
2.8 多目标评价方法	75
第 3 章 运输保障中的优化问题	85
3.1 图与网络的概念	85
3.2 连接问题	95
3.3 最短路问题	99
3.4 运输问题	103
3.5 分派问题	122
3.6 选址问题与道路巡查问题	127
3.7 最大流问题	135
3.8 最小费用流问题	142

第4章 计划管理中的优化问题	150
4.1 对策问题	150
4.2 多阶段决策问题	168
4.3 随机采购问题	176
4.4 装载问题	179
4.5 计划安排问题	184
4.6 匹配问题	199
4.7 调车问题	205
参考文献	209

Contents

Chapter 1 The Overview of Military Operations

Research on Equipment	1
1.1 Introduction	1
1.2 The Origin of “Operations Research”	2
1.3 The Development of Military Operations Research	7
1.4 The Contents of Military Operations Research on Equipment	13

Chapter 2 The Optimization Problem in Resource

Distribution	16
2.1 The Example of Linear Programming and the Solving Method	16
2.2 The Algorithm of Bounded Linear Programming	35
2.3 The Dual Theory of Linear Programming	44
2.4 The Sensitivity Analysis	52
2.5 The Integer Programming and The 0 – 1 Programming	54
2.6 The Cutting Plane Approach	58
2.7 The Branch and Bound Approach	67
2.8 The Evaluation and Review Method of Multiple Goals	75

Chapter 3 The Optimization Problem in Transportation

Ensure	85
3.1 The Concept of Graph and Network	85
3.2 The Joining Problem	95
3.3 The Shortest Path Problem	99
3.4 The Transportation Problem	103

3.5	The Assignment Problem	122
3.6	The Location Problem and The Path Patrol Problem	127
3.7	The Maximum Flow Problem	135
3.8	The Minimum Cost Flow Problem	142
Chapter 4 The Optimization Problem in Planning		
	Management	150
4.1	The Game Problem	150
4.2	The Multi-Stage Decision Problem	168
4.3	The Random Acquisition Problem	176
4.4	The Loading Problem	179
4.5	The Plan & Arrange Problem	184
4.6	The Matching Problem	199
4.7	The Scheduling Problem	205
References		209

第1章 装备运筹学概述

1.1 引言

我们所称的装备,是指实施和保障军事行动的武器、武器系统和军事技术器材等的统称。装备工作是装备科研、订货、保障部队使用直至装备退役、报废的全系统、全寿命管理活动的统称^[1]。我军的装备工作是军队工作的基本组成部分,是形成和提高部队战斗力、履行军队职能的重要保障。

运筹学的研究对象是人们在军事、国民经济、政府部门和其他领域活动中的决策优化问题,在上述活动中需要优化而且能够进行定量分析的各类问题构成它的研究领域。运筹学与其他各学科不同的地方就在于它从决策优化的角度研究人们的各类活动,力求不仅从定性方面而且着重从定量方面提供可操作的决策理论和方法。

军事运筹学的研究对象是军事活动中的决策优化问题。这里,军事活动泛指在军事力量的建设和运用中,为达到一定军事目的而进行的军事资源运用活动;而决策优化则在于寻求合理有效的军事资源运用方案或使方案尽可能地得到改进。军事资源包括军事活动所使用的人员、装备、物资、设施、经费与时间等。因此,这里所说的军事活动决策优化可以是战备、作战、训练、编制、装备、后勤以及军费管理等各个方面和各个层次的问题;但从军事运筹学学科的内涵与人才培养的角度来说,它应侧重于作战行动、作战模拟、作战训练中的决策优化问题。

装备运筹学的研究对象是军事活动中装备领域的决策优化问题,也就是说运用运筹学理论与方法研究装备科研、订货、保障部

队使用直至装备退役、报废的全系统、全寿命管理活动中的决策优化问题。装备运筹学是军事运筹学的重要组成部分,是军事装备学的一个重要研究手段。

1.2 运筹学的由来

运筹学是 20 世纪新兴学科之一,它在军事、国民经济、政府部门和其他领域活动中都有不同程度的应用,现在已经成为指挥决策与管理等领域的强有力工具。

1. 我国古代的军事运筹思想

“运筹”一词最早出自《史记·高祖本纪》,“夫运筹策帷幄之中,决胜于千里之外,吾不如子房”。这里“帷幄”是指“军中帐幕”,“子房”是指“张良”。这句话的意思是说,汉高祖自谓在对作战方略进行策划方面,他不如张良。

在《水浒传》第七十八回有这样一句话:“设计施谋,众伏智多吴学究,运筹帷幄,替天行道宋公明”。这里的“运筹帷幄”也是指对军事方略进行筹划。

关于“运筹帷幄”思想,在我国可以追溯到更远。我国古代伟大的军事思想家、春秋末期的齐国人孙武在他所著的不朽军事著作《孙子兵法》中就闪烁着“运筹帷幄”的思想。他提出“兵者,国之大事”,“知彼知己,百战不殆”,“兵无常势,水无常形,能因敌变化而取胜者,谓之神”。他从战略、战术、武器、供给和哲学的角度,对春秋前战争史进行了周密考查,从中引出深刻的哲理,提出了许多合理运用人力、物力获取战争胜利的见解。孙子特别看重“运筹帷幄”的重要性,他写道:“夫未战而庙算胜者,得算多也;未战而庙算不胜者,得算少也。多算胜,少算不胜,而况于无算乎!”这里所说的“庙算”就是“运筹帷幄”的意思。

关于兵力的运用,孙子认为:“百战百胜,非善之善者也;不战而屈人之兵,善之善者也”。关于用兵之法,孙子认为:“十则围之,

五则攻之,倍则分之,敌则能战之,少则能逃之,不若则能避之。故小敌之坚,大敌之擒也”。

孙子写作《孙子兵法》的过程,事实上是在自己的头脑里按不同战斗条件推演矛盾斗争的整个过程,是采用一些半经验理论运用模拟作战的思想来研究战争。因此,可以说,孙子是我国古代最早提出军事运筹思想和作战模拟思想的伟大的军事哲学家^[2]。

2. 兰切斯特战斗方程

军事运筹学作为一门现代科学,西方国家普遍认为产生于第一次世界大战到第二次世界大战后期。首先要提到的是英国的汽车工程师兰切斯特。

在19世纪关于飞行的研究有两种方法,一种是数学家、物理学家进行严格的理论推导;另一种是热心飞行的实际工作者根据观察提出假设,这些假设就是早期为飞行实践而发展的半经验理论。19世纪末和20世纪初,在数学家、物理学家和设计师的合作下,这两种互不联系的飞行理论开始汇合,从而开始了现代飞行的发展。兰切斯特是为这一转变做出重要贡献的人之一,1907—1908年他出版的两本著作促进了飞行理论从半经验理论向严谨理论的发展。

可能是由于受到关于飞行的半经验理论的启发,兰切斯特接着就把兴趣转向当时尚无任何理论可循的作战研究领域。1914年,他发表了关于古代冷兵器战斗和近代枪炮战斗的数学模型论文,建立了战斗损耗方程,第一次应用微分方程分析数量优势与胜负的关系,定量地论证了集中兵力原则的正确性。1915年,俄国人奥西普夫也独立地提出了类似的微分方程。一些美国学者把这类方程称之为奥西普夫—兰切斯特方程,但是大多数学者将其简称为兰切斯特方程。

兰切斯特方程首次用微分方程来估算战斗损耗的变化规律,简明而优美的微分方程真是太奇妙了,以至于吸引着后来的数学家,使他们的兴趣在于如何来解这些微分方程,而不在于说明其数

学模型微妙的军事经验含义或解释。

兰切斯特提出的战斗损耗方程可能是基于半经验理论,这些半经验理论可以在克劳塞维茨的著作《战争论》中找到。比如书中写道:“如果两支数量不等的步兵和炮兵编成的部队在同样大的地区内平行配置,那么,在所有的射击都是以单个人为射击目标的情况下,命中的弹数同射击的人数成正比。如果射击目标不是单个人,而是一个整体,如一个步兵营,一个横队等,那么命中的弹数同射击的人数也成正比。因此,对战争中的、甚至散兵战斗中的射击,大多数确实是可以作这样估计的。”^[2]

兰切斯特正是基于这一假设作为他研究的出发点:交战的每一方兵力单位时间(瞬间)内的损耗与对方兵力成正比。

设红方的兵力为 x , 蓝方的兵力为 y , 则红方单位时间内的损耗为 $-\frac{dx}{dt}$, 蓝方单位时间内的损耗为 $-\frac{dy}{dt}$; 用 a, b 分别表示红、蓝双方单位时间内损耗与对方兵力的比例常数; 则有以下微分方程:

$$\begin{cases} -\frac{dx}{dt} = ay \\ -\frac{dy}{dt} = bx \end{cases}$$

整理成下式

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = -ay \\ \frac{dy}{dt} = -bx \end{cases} \quad (1-1)$$

这就是第一类型的兰切斯特战斗方程。

克劳塞维茨在《战争论》中又写道:“假设有 50 个人同一个 500 人的步兵在同样大的地区内对抗, 如果 50 发子弹中有 30 发中靶, 即打中对方步兵营所在的正方形地区, 那么对方的 500 发子弹中就有 300 发打中 50 人所占的地区。但是 500 人的密度是 50 人的密度的 10 倍, 因此 50 人一方的子弹的命中率也是对方的 10 倍, 从而 50 发子弹打中的人数恰恰同这一方被对方 500 发子弹打中

的人数一样多。”“因此,两支兵力不等的部队之间的火力战的效力,取决于射击者的人数和被射击的敌人数;换句话说,数量优势在火力战中不起决定性作用,因为一方用大量的射击所获得的利益,会由于对方的射击更容易命中而被抵销。”^[2]

红方单位时间内的损耗为 $-\frac{dx}{dt} = axy$, 而蓝方单位时间内的损耗为 $-\frac{dy}{dt} = byx$, 得到第二类型的兰切斯特战斗方程如下:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = -axy \\ \frac{dy}{dt} = -byx \end{cases} \quad (1-2)$$

其中常数 a, b 是比例系数,它与对方的武器性能、己方的掩体等有关。

求解这两组微分方程并不困难。如果交战开始时,红方兵力为 x_0 , 蓝方兵力为 y_0 , 并假设常数 $a = b$, 那么在红、蓝双方交战的任意时刻, 设红方兵力为 x , 蓝方兵力为 y , 由式(1-1), 它们总满足下列关系式:

$$x^2 - y^2 = x_0^2 - y_0^2 \quad (1-3)$$

由于双方兵力以平方形式出现, 又称式(1-3)为兰切斯特平方定律。

按照式(1-3), 可以这样来分析问题, 只要交战前有 $x_0 > y_0$, 那么交战的最后结果就是蓝方被全歼, 而红方剩余兵力为

$$x = \sqrt{x_0^2 - y_0^2}$$

当然, 这只是理论计算的结果, 实际上为了分割敌人, 包围敌人都会造成兵力的损耗, 再加上天气、地形、士气等条件, 双方交战的实际情况要复杂得多。

3. 第二次世界大战期间的“作战研究”

“作战研究”一词最早出现在英国。1935年, 英国对新研制成功的雷达系统进行作战使用方法的研究, 开始有两个研究机构, 一

个机构由军事人员罗威领导,研究应用雷达对敌机进行跟踪定位;另一个机构由物理学家铁寨领导,研究对己方战斗机进行引导。1937年这两个机构合并,研究范围由技术试验发展到有效战术,军事人员与科学家紧密合作,通过大规模空中演习,进行战术评估和改进,为英国在第二次世界大战期间的防空体制的建立起到了很大作用。1938年,英国作战研究部主任罗威把这一工作称作“作战研究”,以区别技术方面的研究^[3,4]。

受此启发,从1940年起,英、美、加拿大等国军队中先后成立了若干个这样的专门的“作战研究”小组。最著名的应当是1940年8月,由曼彻斯特大学教授、物理学家、诺贝尔奖获得者布莱凯特领导的“作战研究”小组,研究如何使防空系统有效地加以运用,负责研究高射炮阵地上的雷达装置同新研制的火炮控制设备之间的密切配合问题。小组共有11人,除了布莱凯特以外,还有2名数学家、2名理论物理学家、1名测量员、1名天体物理学家、3名生理学家、1名军官。由于这个“作战研究”小组包括各方面的专家而被戏称为“布莱凯特马戏团”。这些“作战研究”小组运用自然科学的方法评估空军和海军的战斗行动效能,提供一系列有关战斗革新和战术计划的建议,为取得第二次世界大战的胜利作出了重要贡献^[3,4]。

第二次世界大战时期“作战研究”的特点,一是研究集中在短期战术性作战急需的问题上;二是使用实战统计数据;三是结果直接提供给作战指挥人员并可立即得到实践检验。

4. 第二次世界大战后,从事“作战研究”的人员开始兵分两路

第二次世界大战后,美国等国家的军方仍保留着“作战研究”小组,但其应用重点则从“战术问题”转向“规划问题”,如设计未来战争的武器系统,论证合理兵力结构,制订国防规划等。这种研究不再限于有实际数据的作战行动,而更多地是研究如何寻求以最小费用达到给定目标的途径^[5]。

另一部分人员则根据第二次世界大战期间的军事实践和战后

一些非军事背景的实践,对“作战研究”的一些理论和方法进行总结,并且开始成功地运用于非军事领域。对于运用于非军事领域的“作战研究”,人们就称之为“作业研究”或“运用研究”。从20世纪40年代末到50年代,美国等先后出版了有关的学术著作,设置了专业,培养了大学本科与硕士人才,成立了学会,设立了众多的研究机构等;后来还成立了国际性的协会联合会^[6]。

5.“作战研究”传入我国,译名为“运筹学”

1955年秋,钱学森历尽曲折回国。途中,他向同船回国的许国志谈了回国后开展“作战研究”的设想。“作战研究”在英国称为“Operational Research”,而在美国称为“Operations Research”,按英文直译为“作战研究”或“运用研究”,都不很妥当。后来许国志在谈到当时讨论译名时说,清华大学周华章教授按中国“运筹帷幄”的内涵,提出了一个新的学科命名“运筹学”,很快得到我国及日本学术界的认可^[4,7]。从此,“运筹学”的名称一直沿用至今。“运筹学”产生于军事领域,后来又在非军事领域得到广泛的应用,人们为了区别它们,习惯上称研究军事领域的运筹学为军事运筹学。

1.3 军事运筹学的发展

从20世纪50年代末到60年代初,国际上越来越多的人参与运筹学的理论研究与应用实践,相继发展了许多运筹学的分支理论,基本上形成了运筹学的理论方法体系,使运筹学成为一门独立的学科,从而也形成了军事运筹学的理论体系。

1. 美国军事运筹学发展情况

从20世纪60年代到现在,是军事运筹学的发展阶段;军事运筹学虽然起源于英国,但美国的发展却远远超出其他国家。第二次世界大战后,世界进入了经济恢复时期,运筹学理论与方法在大规模的经济建设中得到了迅速发展。从20世纪50年代开始,导