

继续教育本科教材

卫生管理运筹学

Operations Research for Health Management



第四军医大学

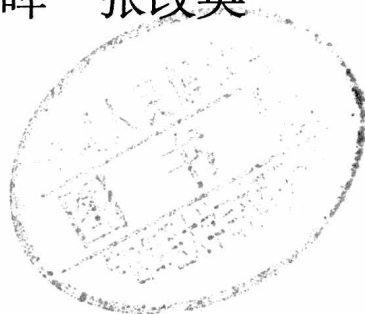


吉军医学院610 2 00713192

卫生管理运筹学

主 编 鱼 敏

副主编 黄朝晖 张改英



第 四 军 医 大 学

二〇〇三年五月

前 言

为适应函授教学的要求,面向新形势下函授教育发展的需要,根据学校训练部《关于下达函授教材编写任务的通知》要求,编写此教材。

本教材是在近年来采用复旦大学出版社出版的《实用运筹学》(魏国华、傅家良、周仲良编)作为教材教学的基础上,参考了杨民助编写的《运筹学》(西安交通大学出版社 2000 年)等教材,结合目前卫生管理尤其是军队卫勤管理实践,按照军队卫生管理人才培养的需要和函授教育的特点编写的。主要供具有一定卫勤管理经验的在职军队卫生事业管理专业人员专升本使用,同时也适用于卫生管理本科生和临床医学等专业本科生的选修课参考教材以及军队卫勤管理干部的自学与短期培训。

本书共分七章,共计 30 学时,其中面授 20 学时,自学 10 学时。绪论,介绍运筹学的概念,运筹学产生和发展过程,简要介绍了在我国的发展,以及军事运筹和军队卫勤管理中的应用情况。

本教材的第一章和附录由张改英讲师编写,第二章至第四章由黄朝晖讲师编写,绪论、第五章至第七章由鱼敏教授编写。

同时,为了更好的掌握卫生经济学理论知识与专业技能,本教材在编写中,我们根据函授教育自学为主的特点,在每章正文前注明了自学要点,每章正文后布置了思考作业题,书末附有 1 套综合测试题,供复习参考。

由于编者水平和经验有限,望对教材中存在的错误和不足提出宝贵意见。

编 者
2003 年 5 月

目 录

绪 论	1
§ 1 运筹学的起源	1
§ 2 运筹学的组成和特点	3
§ 3 运筹学在我国的发展	4
§ 4 军事运筹学	6
§ 5 运筹学在卫勤管理中的作用	9
第一章 线性规划	15
§ 1.1 线性规划的数学模型	15
§ 1.2 线性规划问题的图解法	20
§ 1.3 单纯形法	24
§ 1.4 灵敏度分析	31
§ 1.5 运输问题	37
第二章 网络计划技术	54
§ 2.1 工程网络图	54
第三章 动态规划	60
§ 3.1 动态规划模型	60
第四章 决策与对策	67
§ 4.1 随机性决策	67
§ 4.2 非肯定性决策	71
第五章 存贮论	76
§ 5.1 存贮模型的结构	76
§ 5.2 确定性模型	78
§ 5.3 随机性模型	89
第六章 排队论	100
§ 6.1 概述	100
§ 6.2 泊松输入-负指数服务的排队模型	105
§ 6.3 M/M/1 无限源系统	111
§ 6.4 M/M/C 无限源系统	114
§ 6.5 客源有限的排队系统	122
第七章 模拟技术	128
§ 7.1 模拟的一般过程	128
§ 7.2 模拟数据和模拟语言	133
§ 7.3 模拟实例	138
附录 数学基础知识	146

绪 论

管理运筹学是用定量方法为管理决策提供科学依据的一门学科,研究在内外环境的约束条件下合理调配人力、物力、财力等资源,使系统运行优化的技术科学。是运筹学的主要组成部分,也是管理科学的分支。它把有关的管理系统首先归结成数学模型,然后用数学方法进行定量分析和比较,从而求得系统最优方案,供管理人员和决策人员参考。它可以用来预测系统发展趋势、制订行动规划或优选可行方案。

管理运筹学是管理软科学中“硬度”较大的一门学科,兼有逻辑的数学和数学的逻辑的性质,是系统工程学和现代管理科学中的一种基础理论和不可缺少的方法、手段和工具。管理运筹学已被应用到各种管理工程中,在现代化建设中发挥着重要作用。卫生管理运筹学则是应用运筹学理论和方法,解决卫生管理中的实际问题,是管理运筹学的分支之一。

§ 1 运筹学的起源

“运筹”在中文意义上即运算筹划、以策略取胜的意义。Operations Research 或 Operational Research (简称为 OR) 原意是操作研究、作业研究、运用研究、作战研究,译作运筹学,运筹一词出自中国古代史书《史记·高祖本纪》:“运筹策于帷幄之中,决胜于千里之外”一语中“运筹”二字,既显示其军事的起源,也表明它在我国已早有萌芽。追溯运筹学的发展历史,大致可以分为四个时期:萌芽时期、早期研究、形成与发展时期及现代运筹学时期。

朴素的 OR 思想自古有之。从阿基米德为迦太基人设计的用于粉碎罗马海军攻占西耶库斯城的设防方案到我国战国时期《孙臬斗马术》的故事,李冰父子主持修建的由“鱼嘴”岷江分洪工程、“飞沙堰”分洪排沙工程和“宝瓶口”引水工程巧妙结合而成的都江堰水利工程,宋真宗皇宫失火,大臣丁渭所提出的一举三得重建皇宫的方案,《梦溪笔谈》所记录的军粮供应与用兵进退的关系等事例无不闪耀着运筹帷幄、整体优化的朴素思想。

第一次世界大战期间的 1914—1915 年,兰彻斯特为了研究战争的胜负与兵力多寡、火力强弱之间的关系,发表了若干军事论文;爱迪生在研究反潜战的研究项目中,汇编了各项典型统计数据,用于选择回避或击毁潜艇的最佳方法,使用“战术对策演示盘”解决了免受潜艇攻击的问题。

作为一门现代科学,运筹学的研究活动是从二次世界大战初期的军事任务开始的。当时迫切需要把各项稀少的资源以有效的方式分配给各种不同的军事经营及在每一经营内的各项活动,所以美国及随后美国的军事管理当局都号召大批科学家运用科学手段来处理战略与战术问题,实际上这便是要求他们对种种(军事)经营进行研究,这些科学家小组正是最早的运筹小组。

第二次世界大战期间,鲍德西(Bawdsey)雷达站的研究展示了“布莱克特杂技班”就改进空防系统的出色工作。其成员组成是:心理学家 3 人,数学家 2 人,数学物理学家 2 人,

天文物理学家 1 人，普通物理学家 1 人，陆军军官 1 人，测量员 1 人。所研究的具体问题包括：设计将雷达信息传送给指挥系统及武器系统的最佳方式；雷达与防空武器的最佳配置。由于对探测、信息传递、作战指挥、战斗机与防空火力协调等获得成功，大大提高了英国本土的防空能力，不久以后在对抗德国对英伦三岛的狂轰滥炸中发挥了极大的作用。雷达站研究工作的重要作用称得上是运筹学的发轫与典范，它所展示的运筹学本色与特色表现为：项目的巨大实际价值，明确的目标，整体化的思想，数量化的分析，多学科的协同，最优化的结果和简明朴素的表述。

大西洋反潜战是第二次世界大战期间 Morse 小组的重要工作。1942 年麻省理工学院的 Mose 教授应美国大西洋舰队反潜战官员 Baker 舰长的请求，担任反潜战运筹组的计划与监督工作。其最出色的工作之一是协助英国打破了德国对英吉利海峡的海上封锁。研究所提出的两条重要建议是：①将反潜攻击由反潜舰艇投掷水雷改为飞机投掷深水炸弹，起爆深度由 100 米改为 25 米左右，即当德方潜艇刚下潜时攻击效果最佳；②运送物资的船队及护航舰艇的编队由小规模、多批次改为大规模、少批次，从而减少了损失率。丘吉尔采纳了 Morse 的建议，从而打破了德国对英国的封锁，重创了德国潜艇部队，Morse 同时获得英国及美国战时最高勋章。

英国战斗机中队援法决策是第二次世界大战期间又一个著名战例。当时，战争开始不久，德军突破马奇诺防线，法军节节败退，英国参与抗德，派遣十几个战斗机中队在法国国土上空与德国空军作战，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，时任英国首相的丘吉尔准备同意该请求。英国运筹学者的快速研究结果表明：在当时的环境下，当损失率、补充率为现行水平时，只要两周时间，英国的援法战斗机就一架都不存在了。运筹学家以简明的图表、明确的分析结果说服了丘吉尔。丘吉尔决定：不再增换新的战斗机中队，还将在法国的英国战机大部撤回本土，并以本土为基地，继续抗德，使局面出现了很大改观。

第二次世界大战时期军事运筹的特点表现在：定量化、系统化方法迅速发展；采集实际的真实数据；多学科密切协作；解决方法渗透着物理学思想。

第二次世界大战期间，“OR”成功地解决了许多重要作战问题，显示了科学的巨大物质威力，为“OR”后来的发展铺平了道路。

当战后的工业恢复繁荣时，由于组织内与日俱增的复杂性和专门化所产生的问题，使人们认识到这些问题基本上与战争中所曾面临的问题类似，只是具有不同的现实环境而已，运筹学就这样潜入工商企业和其它部门，在 50 年代以后得到了广泛的应用。

战后管理科学的发展也为运筹学的形成起到非常重要的作用。管理学的各个学派：古典学派、行为学派、系统学派、数理学派等都不同程度对运筹学的发展产生过很大影响。其主要思想是寻求一些方法，使人们自愿地联合与协作，保持个人的首创精神和创造能力，达到增加效率的目的。比如，动作研究与泰勒工作制；切削效率与车速、进刀量等因素的数学关系——“优选问题”提出管理的基本原则，研究了机构设置、权限、工厂布局、计划等问题；举世闻名的刺激性工资制；用于生产活动分析和计划安排的甘特黑道图，并由此进一步发展成为统筹方法等。值得一提的是前苏联数学家康特洛维奇的工作。1939 年，前苏联康特洛维奇对生产中提出的大量组织与计划问题进行了研究，发表了《生产组织与计划中的数学方法》著名论著。这是运筹学最早在理论、方法上较为完整的著作。它研究的具体问题包括：生产

配置问题、原材料的合理利用问题、运输计划、播种面积的分配等等。研究结果不仅给出了数学模型,而且可以确定最优方案。康托洛维奇的贡献在于使运筹学的理论方法形成体系。其确定极值的方法超出了经典数学分析方法的范畴。遗憾的是,他的研究成果直到第二次世界大战以后才受到重视。

对于系统配置、聚散、竞争的运用机理深入的研究和应用,形成了比较完备的一套理论,如规划论、排队论、存贮论、决策论等等,由于其理论上的成熟,电子计算机的问世,又大大促进了运筹学的发展,世界上不少国家已成立了致力于该领域及相关活动的专门学会,美国于 1952 年成立了运筹学会,并出版期刊《运筹学》,世界其它国家也先后创办了运筹学会与期刊,1957 年成立了国际运筹学协会。

§ 2 运筹学的组成和特点

2.1 运筹学的组成

运筹学的研究方法有: 1. 从现实生活场合抽出本质的要素来构造数学模型,因而可寻求一个跟决策者的目标有关的解; 2. 探索求解的结构并导出系统的求解过程; 3. 从可行方案中寻求系统的最优解法。

运筹学大致可分为确定性模型和随机性模型,具体列表如下:

确定性模型: 数学规划(线性规划、整数规划、非线性规划、动态规划、几何规划、参数规划、多目标规划)、组合优化、图论与网络分析、优选与统筹方法;

随机性模型: 对策论、排队论(随机服务系统)、可靠性理论、搜索论、计算机模拟(仿真)、决策论、库存论等。

数学规划即上面所说的规划论,是运筹学的一个重要分支,早在 1939 年苏联的康托洛维和美国的希奇柯克(F.L.Hitchcock)等人就在生产组织管理和制定交通运输方案方面首先研究和应用——线性规划方法。1947 年旦茨格等人提出了求解线性规划问题的单纯形方法,为线性规划的理论及计算奠定了基础,特别是电子计算机的出现和日益完善,更使规划论得到迅速的发展,可用电子计算机来处理成千上万个约束条件和变量的大规模线性规划问题,从解决技术问题的最优化,到工业、农业、商业、交通运输业以及决策分析部门都可以发挥作用。从范围来看,小到一个班组的计划安排,大至整个部门,以至国民经济计划的最优化方案分析,它都有用武之地,具有适应性强,应用面广,计算技术比较简便的特点。非线性规划的基础性工作则是在 1951 年由库恩(H.W.Kuhn)和达克(A.W.Tucker)等人完成的,到了 70 年代,数学规划无论是在理论上和方法上,还是在应用的深度和广度上都得到了进一步的发展。

图论是一个古老的但又十分活跃的分支,它是网络技术的基础。图论的创始人是数学家欧拉。1736 年他发表了图论方面的第一篇论文,解决了著名的哥尼斯堡七桥难题,相隔一百年后,在 1847 年基尔霍夫第一次应用图论的原理分析电网,从而把图论引进到工程技术领域。20 世纪 50 年代以来,图论的理论得到了进一步发展,将复杂庞大的工程系统和管理问题用图描述,可以解决很多工程设计和决策的最优化问题,例如,完成工程任务的时间最少,距离最短,费用最省等等。图论受到数学、工程技术及经营管理等各方面越来越广泛的重视。

排队论又叫随机服务系统理论。1909 年丹麦的电话工程师爱尔朗(A.K.Erlang)排队问

题, 1930 年以后, 开始了更为一般情况的研究, 取得了一些重要成果。1949 年前后, 开始了对机器管理、陆空交通等方面的研究, 1951 年以后, 理论工作有了新的进展, 逐渐奠定了现代随机服务系统的理论基础。排队论主要研究各种系统的排队队长, 排队的等待时间及所提供的服务等参数, 以便求得更好的服务。它是研究系统随机聚散现象的理论。

可靠性理论是研究系统故障、以提高系统可靠性问题的理论。可靠性理论研究的系统一般分为两类: (1) 不可修系统: 如导弹等, 这种系统的参数是寿命、可靠度等, (2) 可修复系统: 如一般的机电设备等, 这种系统的重要参数是有效度, 其值为系统的正常工作时间与正常工作时间加上事故修理时间之比。

决策论研究决策问题。所谓决策就是根据客观可能性, 借助一定的理论、方法和工具, 科学地选择最优方案的过程。决策问题是由决策者和决策域构成的, 而决策域又由决策空间、状态空间和结果函数构成。研究决策理论与方法的科学就是决策科学。决策所要解决的问题是多种多样的, 从不同角度有不同的分类方法, 按决策者所面临的自然状态的确定与否可分为: 确定型决策、风险型决策和不确定型决策; 按决策所依据的目标个数可分为: 单目标决策与多目标决策; 按决策问题的性质可分为: 战略决策与策略决策, 以及按不同准则划分成的种种决策问题类型。不同类型的决策问题应采用不同的决策方法。决策的基本步骤为: (1) 确定问题, 提出决策的目标; (2) 发现、探索和拟定各种可行方案; (3) 从多种可行方案中, 选出最满意的方案; (4) 决策的执行与反馈, 以寻求决策的动态最优。

如果决策者的对方也是人 (一个人或一群人) 双方都希望取胜, 这类具有竞争性的决策称为对策或博弈型决策。构成对策问题的三个根本要素是: 局中人、策略与一局对策的得失。目前对策问题一般可分为有限零和两人对策、阵地对策、连续对策、多人对策与微分对策等。

2.2 运筹学的特点

运筹学的特点是: 1. 运筹学已被广泛应用于工商企业、军事部门、民政事业等研究组织内的统筹协调问题, 故其应用不受行业、部门之限制; 2. 运筹学既对各种经营进行创造性的科学研究, 又涉及到组织的实际管理问题, 它具有很强的实践性, 最终应能向决策者提供建设性意见, 并应收到实效; 3. 它以整体最优为目标, 从系统的观点出发, 力图以整个系统最佳的方式来解决该系统各部门之间的利害冲突。对所研究的问题求出最优解, 寻求最佳的行动方案, 所以它也可看成是一门优化技术, 提供的是解决各类问题的优化方法。

§ 3 运筹学在我国的发展

现代运筹学被引入中国是在五十年代后期。中国第一个运筹学小组在钱学森、许国志先生的推动下在 1956 年于中国科学院力学研究所成立。可见, 运筹学一开始就被理解为同工程有密切联系的学科。

钱学森先生在 MIT 取得硕士学位, 在加州理工大学 (California Institute of Technology) 取得博士学位后成为该校的第一位 Goddard 讲座教授。许国志先生在堪萨斯大学取得博士学位后, 在马里兰大学流体力学和应用数学研究所当研究员。他们两人于 1955 年回到祖国致力于新中国的科技事业。

1959 年, 第二个运筹学部门在中国科学院数学研究所成立, 这是大跃进中数学家们投身于国家建设的一个产物。力学所小组与数学所的小组于 1960 年合并成为数学研究所的一个研

究室，当时的主要研究方向为排队论、非线性规划和图论，还有人专门研究运输理论、动态规划和经济分析（例如投入产出方法）。

1963 年是中国运筹学教育史上值得一提的一年，数学研究所的运筹学研究室为中国科技大学应用数学系的第一届毕业生（58 届）开设了较为系统的运筹学专业课，这是第一次在中国的大学里开设运筹学专业和授课。今天，运筹学的课程已变成所有大学的商学院、工学院乃至数学系和计算机系的基本课程了。

五十年代后期，运筹学在中国的应用集中在运输问题上，其中一个广为流传容易明白的例子就是“打麦场的选址问题”，目的在于解决当时手工收割为主的情况下如何节省人力和实践。国际上大家都知道的“中国邮路问题”模型也是在那个时期由管梅谷教授提出的。所以，现在非常热门的“物流学”，在当时就有一些雏形的研究，但可惜中国的大工业落后，又不是市场环境，使我们在相当长的时期中远离了当代“物流学”的发展主流。

中国运筹学早期应用的亮点是由华罗庚教授点燃的。在文化大革命期间，身为中国数学会理事长和中科院院士的他，亲自率领一个小组，大家称为“华罗庚小分队”，到农村、工厂讲解基本的优化技术和统筹方法，使用于日常的生产和生活中。自 1965 年起的十年中，他到了约二十个省和无数个城市，受到各界人士的欢迎，他的工作得到了毛泽东主席的肯定和表扬。华罗庚先生这一时期的推广工作播下了运筹学哲学思想的种子，大大推动了运筹学在中国的普及和发展。直到今天，许多中国公民还记得“优选法”这个词汇，但不一定知道“运筹学”。

中国运筹学会于文化大革命后的 1980 年成立，当时作为中国数学学会的一个分会。第一届全国大会在山东省济南召开，华罗庚教授当然地被选为第一届理事长，副理事长有许国志先生、越民义先生。中国运筹学会在 1982 年成为国际运筹学联合会（IFORS）的成员。第二届全国代表大会和学术会议于 1984 年在上海召开，第三次全国会议于 1988 年在安徽省九华山召开，1992 年第四次全国代表大会在四川省成都市召开，中国运筹学会成为全国一级学会，第五次全国代表大会和第六次全国代表大会分别于 1996 年和 2000 年在西安市和湖南长沙举行。

1992 年中国运筹学会从中国数学会独立出来成为国家一级学会是学会发展史上的一个重要事件。它的寓意是很深刻的，说明了运筹学以数学为基础，但同数学学科有本质的不同。运筹学家除了推动运筹学基本理论的发展，还要对社会负起同数学家不同的责任。事实上，国际上几十年来对运筹学发展的讨论一直没有停止过，中国运筹学家亦一直关注着这一讨论。1994 年美国运筹学会和管理科学学会的合并是国际运筹学界的一件大事，成立了 INFORMS。目前，运筹学和管理科学的结合也引起中国运筹学界的极大关注。

中国运筹学会十分注意同国际的交流，以促进学习发达国家运筹学的理论和方法。中国运筹学会积极参与和发起成立了亚太地区运筹学会联合会（APORS），作为 APORS 1991-1994 年的主席，徐光焯先生组织了 1991 年与北京召开的 APORS 第二届学术大会。作为 APORS 的代表，他于 1992-1994 年担任了国际运筹学联合会（IFORS）的副主席，从 1994 年开始中国运筹学会就争取承办 1999 年的第十四届 IFORS 学术大会。共有三个国家的三个城市争办，除了北京还有英国伦敦和匈牙利的布达佩斯。第一轮投票留下了北京和伦敦，再次投票决定了北京作为举办城市。中国运筹学工作者骄傲的是：1999 年的大会到会一千一百余人，成为 IFORS 历史上办得最成功的会议之一。

运筹学的理论固然重要,但应用是它的灵魂。运筹学在国际上除了设理论奖,还设有应用奖。由 INFOERMS 所设,被称为运筹学奥林匹克的 Franz Edelman 奖就是最好的说明。而 IFORS 则只设面向发展中国家的运筹学应用奖。中国的运筹学,在理论和应用上同国际水平均有很大差距,在应用方面的差距则更大,这是由社会、经济制度等多方面的原因。我们只可以说,我们的运筹学工作在发展中国家这一层面上还是先进的。作为例证,我们在这里提一下 IFORS 为发展中国家设的运筹学奖:IFORS Prize for Operational Research in Development (译为“运筹学进展奖”),该奖三年一次在 IFORS 学术大会上颁发。

1996 年,章祥荪、崔晋川研究员在加拿大温哥华举行的第十四届 IFORS 学术大会上获得该奖的一等奖。1999 年陈锡康研究员等在北京召开的第十五届 IFORS 大会上获得一等奖。另外还有中国运筹工作者获得二等奖,我们期盼着中国运筹学的发展能获得 Franz Edelman 奖。

中国运筹学会现有注册会员 1200 多名,遍布于全国各省市大专院校、科研院所、机关企业。中国运筹学会下属有多个专业分会:如决策科学分会;数学规划分会;排序分会;图论组合分会;排队论分会;青年分会;可靠性分会;金融工程及金融风险管理分会;智能计算分会;企业管理运筹分会;经济数学分会等,各分会定期或不定期进行学术交流。北京、陕西、山东、大庆等一些省市还有地区性运筹学会,部队系统有军事运筹学学会,他们在许多领域应用运筹学理论与方法,取得了很好的经济效益与社会效益。

中国运筹学会还负责组织及管理亚太地区运筹学研究中心的日常学术活动,已组织四次国际学术会议并出版了四本论文集,得到了国内外学术界的赞扬与支持。

近年来,中国运筹学工作者继续坚持运筹学研究与经济建设等重大问题紧密结合。例如,山东省与大连市经济发展计划的制定,兰州铁路局铁路运输的优化安排,中外合资经营项目经济评价,若干国家重大工程中的综合风险分析等方面,我国运筹学者都发挥了积极作用。

近二十年来,信息科学、生命科学等现代高科技对人类社会产生了巨大影响,中国运筹学工作者还关注到其中一些运筹学起作用的新的工作方向。例如,我们的运筹学工作者,将全局最优化、图论、神经网络等运筹学理论及方法应用于分子生物信息学中的 DNA 与蛋白质序列比较、芯片测试、生物进化分析、蛋白质结构预测等问题的研究;在金融管理方面,将优化及决策分析方法,应用于金融风险控制与管理、资产评估与定价分析模型等;在网络管理上,利用随机过程方法,研究排队网络的数量指标分析;在供应链管理问题中,利用随机动态规划模型,研究多重决策最优策略的计算方法。在这些重要的新方向上,我国运筹学工作者都取得了可喜的进展及成绩,有一些已进入国际先进水平的行列,被有关同行所认可。

§ 4 军事运筹学

运筹学的发展起源与解决军事中的实际问题,随着运筹学的发展,为解决现代条件下国防建设和军事活动中一系列复杂的指挥控制问题,不但要有高度的指挥艺术,还必须有一整套进行高速计算分析的现代科学方法,运筹学又在军事中起着越来越重要的作用,军事运筹学也就应运而生。

虽然军事运筹学作为一门学科,是在第二次世界大战后逐渐形成的,不过军事运筹思想

在古代就已经产生了。中国春秋末期军事家孙武的《孙子兵法·形篇》中，就有许多关于军事运筹的论述，他把度、量、数、称等数学概念引入军事领域，通过双方对比计算，进行战争胜负的预测分析。他在《孙子兵法·计篇》中还说“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！”这里的“算”就是计算筹划之意。此外，《孙膑兵法》、《尉繚子》、《百战奇法》等历代军事名著及有关史籍，都有不少关于运筹思想的记载。

《史记·孙子吴起列传》载：战国齐将田忌与齐威王赛马，二人各拥有上、中、下三个等级的马，但齐王各等级的马均略优于田忌同等级的马，如依次按同等级的马对赛，田忌必连负三局。田忌根据孙膑的运筹，以自己的下、上、中马分别与齐王的上、中、下马对赛，结果是二胜一负。这反映了在总的劣势条件下，以己之长击敌之短，以最小的代价换取最大胜利的古典运筹思想，也是对策论的最早渊源。

成功地应用运筹思想而取胜的战例很多，如齐鲁长勺之战中曹刿对反攻时机的运筹，齐魏马陵之战中孙膑对出兵时间、决战时机、决战地点的运筹等。此外，在中国历史上还有不少善于运用运筹思想的人物，如张良、曹操、诸葛亮、李靖、刘基等。

早期的运筹学起源与发展大部分都与军事应用有关，也注定了现代军事离不开运筹方法。军事运筹学的基本理论是依据战略、战役、战术的基本原则，运用运筹学理论和方法来研究军事问题中的数量关系，以求对目标的衡量准则达到极值的择优理论。它通过描述问题——提出——评估假设——使假设最优化，反映出假设条件下军事问题本质过程的规律。

模型方法是指运用模型对实际系统进行描述和试验研究的方法。反映实际系统的模型方法很多，有逻辑模型、数学模型、物理模型、混合模型等，军事模拟活动中应用最多的是数学模型。数学模型是用来描述研究对象活动规律并反映其数量特性的一套公式或算法，其复杂程度随实际问题的复杂程度而定，一般简单的问题可用单一的数学方法解决。如兰彻斯特方程，就是确定性数学模型，可宏观地描述双方战斗的毁伤过程。

对复杂的军事问题，必须根据问题的需要，选择各数学分支方法，构成一个整体的混合模型或组合模型，此项工作称之为构模。运用模型方法研究军事问题，以协助指挥员分析判断，是军事运筹学发展的重要途径。

作战模拟是研究作战对抗过程的仿真实验，即对一个在特定态势下的作战过程，根据预定的规则、步骤和数据加以模仿复现，取得统计结果，为决策者提供数量依据。过去运用沙盘对阵、图上作业和实兵演习等进行模仿战争全部或部分活动的过程，都是作战模拟。

由于现代战争的规模增大，复杂程度日益增加，上述传统的作战模拟方法已难于进行较精确的定量描述。在新的数学方法及电子计算机出现后，开始有可能对较大规模的复杂战斗过程作近似描述，现代作战模拟开始得到广泛应用。

现代作战模拟可以看成是一种“作战实验”技术。它可部分地解决军事科学研究中难以通过直接实验的手段进行反复检验的难题，还可节省时间和人力、物力，因而是军事科学研究方法上的一个重大进步。通过现代作战模拟，能对有关兵力、装备使用的复杂关系，从数量上获得深刻了解。

作战模拟可用于作战训练、武器装备论证、后勤保障以及军事学术研究等各个方面。其分类因角度不同而异。按军种、兵种分：有合成军作战模拟，陆军、空军海军作战模拟；按规模分：有战役模拟、战术模拟；按现代化程度分：有手工作战模拟、计算机辅助作战模拟

和计算机化作战模拟。

决策论是研究如何选择最佳有效决策方案的理论和方法。无论是平时还是战时，指挥员的重要职责就是分析判断情况，选择可行的或满意的决策方案，定下决心进而组织实施，以完成上级赋予的各项任务。决策论可以引导指挥人员根据所获得的各种信息，按照一定的衡量标准进行综合研究，从而使指挥员的思维条理化，决策科学化。

搜索论是研究如何合理地使用人力、物力、资金及时间，以取得最佳效果的一种理论和方法。搜索论用在军事方面，主要是研究提高对某一区域内的目标进行侦察搜索的效果。在第二次世界大战中，英国为研究提高飞机对德国潜艇的搜索效率，首先运用并发展了这种理论。由于现代战争中搜索问题比较复杂，涉及的因素比较多，所以搜索理论尚在发展中，还难于建立统一的通用模式。

规划论是研究在军事行动中，如何适当地组织由人员武器装备、物资、资金和时间等要素构成的系统，以便有效地实现预定的军事目的。规划论分线性规划、非线性规划、整数规划和动态规划。

线性规划是当约束条件及目标函数均为线性函数时的规划，可用于解决对目标或作战地域分配同类兵力、兵器问题等。非线性规划是当约束条件或目标函数为非线性方程的规划，可用来解决向目标或作战地域分配不同类型的兵力、兵器等问题。人们在实际应用中为计算方便，常把非线性问题近似地处理成多级线性规划问题。

整数规划是规划论的特殊问题，要求变量和目标函数采用整数进行运算。因为有时人员、武器装备等只有整数才有意义。动态规划是解决多级决策过程优化的一种数学方法，可把多级决策过程作为总体决策，构成决策空间，并对每个决策找出其定量评估优劣的准则函数，选出准则函数为最优值的决策方案。这即是决策过程的最优化。动态规划多用于多级指挥控制、计算使目标遭受最大损失的火力分配问题等。

排队论亦称“等待理论”、“公用服务系统理论”或“随机服务系统理论”。是研究系统的排队现象而使顾客获得最佳流通的一种科学方法。在军事系统中出现的排队现象很多，如指挥系统收发军事情报信息，反坦克武器对敌坦克的射击，防空系统对空中目标的射击，以及飞机的批次侦察轰炸，武器装备的修理等。

这些军事活动在排队论中被称为“服务”，而服务系统则为指挥控制系统、反坦克系统、防空系统、侦察轰炸系统、修理系统等。其中“顾客”是被指挥的部队，被射击的坦克和飞机，被侦察轰炸的目标，以及需要修理的武器装备等。当顾客要求服务的数量超过服务系统的能力时，就会出现排队现象。排队论即由此得名。

排队论可以用来解决指挥系统的信息处理能力及反坦克武器射击效率的估计分析；对空中侦察及防空武器提出相应的要求，估计不同设施的防空系统效率；武器装备维修及后勤保障的合理安排；人员、物资、装备等按时间序列流动的组织安排等。

对策论是研究冲突局势下局中人如何选择最优策略的一种数学方法。由于这门学问最初是从赌博和弈棋中提出的，因此亦称“博弈论”。

对策论的基本思想是立足于最坏的情况，争取最好的结果。在军事斗争中，通常并不掌握对方如何打算和行动的充足情报，在这种不确定情况下应用对策论最为合宜。如在对方采用一系列不同战术条件下，选择己方的有效战术问题；受对方攻击情况下设置假情报和实施伪装的问题；以及选择与对方对抗的各种武器装备的合理配置问题等。

随着科学技术和军事斗争的发展,航天技术中出现了机动追击的对策问题,原来的对策论就难以适应,于是美国兰德公司等 在 20 世纪 60 年代开创了新的“微分对策”理论,从而使对策论的军事应用进入了一个新的发展阶段。

存储论亦称“库存论”,是研究在何时何地、从什么来源保证必需的军用物资储备,并使库存物资及补充采购所需的总费用最少的理论和方法,它主要用于军队的后勤保障和物资管理方面。采用这种方法,可以确定维持军事系统的组织活动或经营管理正常运转所需的武器装备、备品备件、材料,及其他物资的最佳经济储备量。最佳经济储备量是由最佳经济采购量决定的,而采购量又与消耗量有关。

除上述各论外,军事运筹学常用的理论和方法还有网络法、火力运用理论、指挥控制理论、最优化理论、概率论和数理统计、信息论、控制论等。

应用军事运筹学需要特别注意其局限性。主要是运筹分析系统的简化和本质抽象中人的主观性,以及对军事问题中一些非定量因素,诸如人的水平、能力、爱好个性、士气、心理因子等,只能在假定条件下作近似的分析。

军事运筹学作为军事科学的一个组成部分,是定量研究其他军事学科的有关问题的手段和工具,其他军事学科是军事运筹学的应用领域。随着现代战争日趋复杂多变,且有大量随机现象出现,以及数学方法的研究上取得了新的成果,并且计算机技术的高速发展和大量使用,使得在军事上广泛应用运筹学方法日益有效,并且费用也越来越低。不过,现代战争仍然需要指挥人员的经验和创造性思维,需要科学方法和指挥艺术的有机结合。

随着现代科学技术的迅速发展,军事运筹学的基本理论和方法也将进一步发展。其发展方向主要是,如何提高描述精度,如何通过直接和间接的数学方法以及其他科学方法,对目前难于用数量表示的那部分军事问题予以量化。以及如何通过人机联系的最新途径——人工智能等进行作战模拟。军事运筹学的应用范围将更加广泛,对研究解决作战、训练、武器装备、后勤管理等军事问题的作用将越来越大。

§ 5 运筹学在卫勤管理中的作用

卫生勤务学做为医学科学、军事科学和管理科学的交叉科学,不论是平时卫生勤务,还是战时,都有着广泛的应用前景。近年来在我军卫勤工作者的不懈努力下取得了可喜的成果。

近年来随着卫勤科研的不断发展和高层次卫勤人才的培养,现代科研方法的越来越在卫勤科研中得到应用与普及。我军非常重视现代科研方法的研究与应用,在改革开放 15 年来,为适应现代战争的要求而大力发展有关方法的理论。在军委总部的批示下以及钱学森等老一辈科学家的积极倡导下,以军事运筹学为龙头的现代科研方法已成功地应用于我军规划制定、作战研究、军事训练、指挥自动化、后勤管理和装备论证等领域,取得了显著的军事效益和经济效益。我军已成立了专门的研究机构,从事现代科研方法在军事、后勤等领域的应用研究,并培养了有关专业的硕士、博士等专门人才。在 1993 年军事科学出版社出版了我军较为权威的《军事运筹学》专著,使现代科研方法在我军军事学上的研究形成更加系统的理论体系,在其中的“后勤保障的运筹”一章中专门撰写“卫生勤务保障的运筹研究”一节,论述了卫生减员预计、伤员流动规律、伤病员救治及后送的排队分析的运筹分析方法。

外军也十分重视这一领域的研究与应用,据有关统计,早在 1974 年美军的现役军官中就

已有大量的获得运筹学硕士学位的人员，在陆军有 600 人，海军中有 400 人，海军陆战队有 200 人，空军有 180 人，并在陆、海、空三军以及国防部都建立了相关的研究、应用机构。现代科研方法的研究在海门类战争中起到了重要的作用。采用排队论、计算机模拟等方法美军对医疗后送车辆的编配就是卫勤研究中成功地应用现代科研方法的一个例子。

5.1 规划论

目标规划是通过建模、求解和分析由多个现实目标组成的系统模型，以寻求系统问题的满意解的方法论。此法近年在卫勤研究生课题研究中也有所应用。李鲁滨的《战时陆军师救护所手术能力的研究》，就主要使目标规划方法对师救护所手术能力的变化规律进行了描述和定量分析，得出比较全面、准确地评估手术能力的方法。采用规划论的方法建立了伤员运送的线性规划模型、后送车辆的整数规划模型、后送路线选择的 0-1 规划模型，为医疗后送的科学优化提出新的定量分析模型。

5.2 排队论与计算机模拟

排队论是用来研究随机服务系统的规律，以使系统的总体效益最优的理论和方法。该方法已较广泛的作业研究救治机构的组织和功能。1986 年，孙海等《救护所手术伤员通过情况的计算机模拟》一文，应用“排队论”的理论，把手术伤员通过师救护和救护所的救治工作看成一个随机服务系统，编制了救护的民作的模拟框图，通过对伤员到达在不同时间的数量分析、手术台数、手术时间、绷带交换时间和附加可变因素等主要参数的设定，观察了不同的情况下手术伤员排队的现象，发现了在救护所全面展开中组织手术工作的主要问题，并探讨了解决问题的对策。杨学军的《机动野战医疗机构组织与功能研究》和肖德仪的《论适度规模编配集团军医院》，也是用排队论方法研究解决机动野战医疗机构和集团军的系统优化问题。姜成华的《战术区伤员流模型的研究》，从系统工程学的观点出发，把战术区医疗后送系统分成动态实体（伤员）、静态实体（医疗后送机构）、队列实体（操作实体）等几个实体考察，建成战术区伤员流动及转归情况的运态模型，并在电子计算机上进行了模拟分析，为实现卫勤指挥系统自动化提供了理论依据。

尹宗江等应用 SPSS 模拟软件在计算机上建立了战术到战役级救护所的医疗后送模拟模型，模型经过我军实战医疗后送数据库的检验，提出了优化现行伤员后送体制的建议。

5.3 预测

预测就是根据已掌握的信息，对客观事物未来发展的预料、估计、分析和推测。近年预测方法在卫勤研究中多有应用，相关文章共 20 余篇。

5.3.1 特尔菲法

特尔菲法因参加预测的专家互不见面，可避免心理因素的消极影响，充分发挥专家的智慧和经验，已越来越多地应用于卫勤科研。从有关的 14 篇文章看，这种方法多用于卫勤科研。从有关的 14 篇文章看，这种方法多用于课题研究的基础阶段。如《机动野战医疗机构组织与功能研究》、《从灾害救援看局部战争和突发事件卫勤指挥体制的确定》、《部队卫勤人才现状分析与预测研究》、《航医工作质量评定方案的研究》等，都采用特尔菲法进行有关指标的预测。

5.3.2 状态转移议程

状态转移议程已被用来对卫生人才进行预测。《我军卫生人才拥有量的预测的模型方法与应用》就运用改进的状态转移议程模型，对我军卫生人才队伍数量、质量结构的发展趋势

进行了预测,分析了现行和预定的人才补充、晋升和流动政策给今后人才队伍造成的影响,提示了人才政策与人才队伍状态之间的联系与规律。《部队卫生人才现状分析与预测研究》也用状态转移方程数学模型进行了部队卫生人才数量、年龄、学历结构预测,并对预测结果进行了分析与讨论。

5.4 决策

5.4.1 多目标决策方法

多目标决策是同时考虑多个目标(彼此间又有矛盾),从经过设计和调整的各种案中的比较、鉴别中选优。全军卫生工作体制与资源调查论证首次运用综合评价与多目标决策方法进行体制编制精简方案论证,建立了医院调整方案的多目标决策体系。陈文亮等曾撰文《综合评价与多目标决策方法在体制论证中的应用》,对多目标决策方法在体制论证中的应用作了系统论述。

5.4.2 层次分析法

作为一门新兴的处理多目标、多层次问题的有效决策分析方法,层次分析法近几年在我军卫勤研究领域已广泛应用。《救护所选址的层次分析模型》应用此方法建立了战时医院选址的层次分析模型,使传统的选址的定性方法上升为定量分析。在卫勤研究中,层次分析法常与特尔非法相结合来确定指标的权重或进行综合评估。《从灾害救援看局部战争和突发事件卫勤指挥体制的确定》、《航医工作质量评定方案的研究》、张明的《驱护舰平时卫生工作结果评价方法的研究》、《军队医院单病种的成本、效果评价及其影响因素的分析》等,均采用层次分析与专家咨询相结合的方法,确定了评价指标及权重系数。《军民协调灾害卫生救援体制的情报与模式研究》一文,则应用层次分析法与特尔非法对四种体制框架模式进行了综合评估。

5.5 评价

评价是指根据确定的目标,通过定量或主观效用来测定对象的系统属性。已有多种评价方法在卫勤研究中的应用。

5.5.1 综合评价方法

综合评价方法通过选定评价项目建立评价指标体系,用定量估值和两两比较来测定研究对象多种属性功能发挥的优劣程度,可更客观、全面地对事物进行评价,近年在卫勤研究中应用比较多。全军卫生工作体制与资源调查论证首次运用综合评价与多目标决策方法进行体制精简方案论证,建立了全军医院、药材仓库的综合评价指标体系。此外,杜国福的《陆军师卫生工作综合评价研究》等也应用了综合评价方法。

然而由于许多客观原因,对现代科研方法的应用尚存在一些问题。孙海等(1997)曾对21篇研究生论文定量分析方法运用情况的分析,应用运筹学等定量方法的论文达95%,但方法的应用欠深入,局限在部分方法应用上,如特尔非法,更缺乏创新。

5.6 “九五”以来的应用情况

“九五”期间,全军卫勤课题中专门设立了“现代科研方法在卫勤研究中的应用”课题,研究卫勤研究中定量方法和现代软科学方法的应用问题,并专门举办了“全军卫勤科研方法研修班”,开设了全军继续教育一类项目“现代卫勤管理与科研方法学习班”,推广现代科研方法。同时,卫勤课题管理和研究生培养的逐步规范,也促进了现代科研方法的大量应用。除传统的文献调研、逻辑分析等研究方法外,规划、评价、预测等一些现代科研方法和计算机模拟技术在全军卫勤研究中得到普遍应用,提高了研究层次和水平,使卫勤研究成果更为

广泛,科学性更强,更具有说服力。在作者查阅的30个课题中,明确应用了运筹学等相关定量方法有26个课题,占87%。应用的具体方法主要有以下几种:

5.6.1 规划论

在“卫勤后备力量建设与地方卫生资源动员管理研究”中,应用动态规划方法中的背包理论,构建宏观分析、重点分析、加权分析3种战时卫生动员潜力分析数学模型和均衡负担、动态比例、动态数量、模糊分配、综合因素5种动员决策数学模型,并在计算机上成功运行,实现了卫生动员潜力动态分析和预备役卫勤力量抽组自动化决策。

5.6.2 系统分析方法

陈盛新等在“战略、战役、战术药材储备研究”中,应用非线性回归和系统动力学原理,构建了战备药材储备模型,用系统动力学方法模拟药材储备的变化状况,系统分析并计算了战备药材的需求量,为确定合理的战备药材储备量提供了科学依据。

层次分析方法常与专家咨询相结合,用来拟制多层次的指标体系和确定指标的权重。徐勤耕等“军队卫生法规制度质量评价模型的建立及应用研究”、田学军等“军队卫生立法规划拟列项目评估指标体系的建立及应用研究”、惠永才等“应急机动作战部队卫勤保障能力评估与对策研究”、扈长茂、李雪芳等“战区联合作战伤病员医疗后送研究”中,均通过层次分析和专家咨询相结合的方法,确定了评估指标的权重系数。

5.6.3 评价方法

应用比较广泛,常与专家咨询方法相结合,首先建立评价指标体系,然后通过对指标赋值进行评价。贾万年、徐勤耕、田学军等在“军队卫生法规制度体系框架及立法规划论证研究”中,创立了军队卫生法规制度质量综合评估指标体系,对我军颁发的105项卫生法规制度进行了综合评价;研究确立了军队卫生立法规划拟列项目评估指标体系,对拟列入军队卫生立法规划的86个立法项目逐项评估打分,在综合评价基础上提出立法规划建议项目。苏大为、吴国南等在“应急机动卫勤力量建设研究”中,建立了应急机动卫勤力量保障能力评估指标体系,第一次全面系统论证了全军应急机动卫勤力量建设的规模、类型及功能组成。尹宗江等“应急机动卫勤力量教育培训改革研究”、高及仁等“应急机动作战部队卫勤分队训练改革研究”、扈长茂、李雪芳等“战区联合作战伤病员医疗后送研究”、周世伟等“高技术战争减少受伤者阵亡的卫勤研究”,也通过构建评价指标体系,对研究对象进行综合评价。

5.6.4 计算机模拟技术

安瑞卿、郭国明等在“战区联合作战空军战役卫勤保障研究”中,应用计算机模拟方法,采用单个目标毁伤概率模拟程序、面状目标毁伤概率模拟程序和防空战役卫生减员预测程序对防空战役卫生减员进行了预测。

沈俊良、陈国良等在“战区联合作战海上卫勤保障研究”中,应用计算机模拟方法,采用系统分解与合成法、事件进程法等,引入影响海上伤病员医疗后送的多种因素,建立海战减员预计模型,进行了海战伤员医疗后送计算机模拟。

扈长茂、李雪芳等在“战区联合作战伤病员医疗后送研究”中,应用计算机模拟方法,构建了医疗后送概念模型,并采用事件步长法完成了在计算机上的实现。

张庆宪、马衡阳等在“战区联合作战常规导弹部队卫勤保障研究”中,建立了基于模拟方法的伤员发生模型和卫生减员预计模型,研制了常规导弹旅卫勤保障模拟系统软件,进行了伤员发生和医疗后送过程的模拟。

陈文亮等在“军队医疗保障制度改革研究”中，首次将微观分析模拟模型（一种政策分析模型）应用于医疗费用政策和制度的研究，进行持卡就医管理的计算机模拟，通过调整模型参数寻求总量控制与定额消费相结合的合理模式，为制定医改政策提供科学依据。

5.6.5 预测方法

徐雷等在“高技术局部战争减员研究”中，首次应用神经网络 BP 算法 (Back Propagation 误差反向传播训练算法)模型研究减员预测问题，把对一般样本的输入输出问题变为一个非线性优化问题，建立了战术战斗减员和战役战斗减员的预测模型，编制了减员预计计算机软件，并应用此软件对未来我军登陆战役的减员进行了估算。预测结果较为可靠，操作简便，实现了减员预测研究由定性估计向定量分析的转变。

杜氏减员理论预测模型。安瑞卿、郭国明等在“战区联合作战空军战役卫勤保障研究”中，用预测方法中的杜氏减员理论预测模型（杜普伊 Dupuy TN），综合考虑多种影响因素，计算了空降作战日伤亡率。

此外，黄前进、陈振庄等在“战役卫勤指挥自动化系统研究”中，综合运用模糊数学、灰色、物元分析、多维加权等方法，在考虑卫生减员和卫生运力的种类及效能参数的情况下，进行多维分级加权，逐个构建影响卫勤指挥的床位、手术力量、运力和药材等各要素指标的数学模型，较好解决了影响卫勤保障力量需求预计的准确性问题。

以运筹学为龙头的现代科研方法在卫勤研究中的大量应用，是随着卫勤研究的发展的逐步深入，尤其是研究生的培养逐步展开的。能否正确应用现代科研方法，与科研人员的素质有很大关系。科研人员的素质包括科研方法意识培养和具体科研方法的掌握两方面。相比之下，应用现代科研方法意识培养可能比掌握具体的科研方法更重要。因为方法本身是多种多样的，有些应用起来也很复杂，不可能各种方法都精通。最重要的是要有应用方法意识，知道在做课题研究前应仔细学习、比较各种方法，从中选出最适合本课题研究的方法。至于一些方法的具体应用细节还可以临时学习或去请教这方面的专家。因此，要提高卫勤研究水平，必须加大科研方法意识和具体内容的培训力度，使每个卫勤科研、教学人员和卫勤管理干部都树立应用现代科研方法意识，掌握一些基本的科研方法。在培训方式上，除了提倡大家自学和继续举办“卫勤科研方法研修班”之类的培训班外，还应在卫勤干部的培训班、卫勤研究生的学位课程中设置《运筹学》等现代科研方法课程，使卫勤干部和研究生在做研究时前就能树立方法应用的意识和掌握一些基本的科研方法，为提高卫勤管理和研究打下基础。

但是，正确应用现代科研方法显得尤为重要。必须认真掌握运筹的基本理论和方法，了解应用进展，才能在工作中发挥其作用。在工作和研究中，应具体问题具体分析，首先明确研究对象是适合定性研究还是适合定量研究，而不能一味的应用定量分析方法，走到另一个极端。目前比较常见的是通过专家咨询法构建指标体系，再利用该指标体系进行评价或预测。能想到利用综合评价固然有其积极的一面，但如果该课题单纯依靠专家咨询难以达到预期目的，需要做现场调查或实践验证才能得到正确结论，就应该用其他更适合的方法。在课题设计阶段，就要对拟使用的方法进行全面的认识，懂得其来龙去脉，理解其适用范围，判断与本课题研究是否合适。在方法的实际应用中，还要在实践中更深入地理解该方法，判断应用是否正确，必要时要对方法的使用及时进行修正，确保课题研究的质量。