

第 1 篇

引 论

第 1 章

绪 论

1.1 运筹学的产生与发展

运筹学的思想在古代就已经产生了。敌我双方交战,要克敌制胜就要在了解双方情况的基础上,找出最优的对付敌人的方法,这就是所谓的“运筹帷幄之中,决胜千里之外”。在我国古代有很多非常优秀的运作、筹划的思想,诸如田忌赛马、丁谓修皇宫、都江堰水利工程的故事广为流传。

运筹学是一门仍在蓬勃发展的新兴学科,人们对它的认识需要不断深化。迄今为止,还没有一个公认的运筹学定义,下面列举一些较有影响的解释作为参考。《大英百科全书》对其的解释是“运筹学是一门应用于管理有组织系统的科学”,“运筹学为掌管这类系统的人提供决策目标和数量分析的工具”。《中国大百科全书》的解释是,运筹学“用数学方法研究经济、民政和国防等部门在内外环境的约束条件下合理分配人力、物力、财力等资源,使实际系统有效运行的技术科学,它可以用来预测发展趋势,制定行动规划或优选可行方案”。《辞海》的解释是,运筹学“主要研究经济活动与军事活动中能用数量来表达有关运用、筹划与管理方面的问题,它根据问题的要求,通过数学的分析与运算,作出综合性的合理安排,以达到较经济较有效地使用人力物力”。《中国企业管理百科全书》的解释是,运筹学“应用分析、试验、量化的方法,对经济管理系统中人、财、物等有限资源进行统筹安排,为决策者提供有依据的最优方案,以实现最有效的管理”。

由于运筹学涉及的主要领域是管理问题,研究的基本手段是建立数学模型,并比较多地运用各种数学工具,从这点出发,有人将运筹学称作“管理数学”。1957年我国从“夫运筹帷幄之中,决胜千里之外”(见《史记·高祖本纪》)这句古语中摘取“运筹”二字,将Operational research正式译作运筹学,包含运用筹划,以策略取胜等意义,比较恰当地反映了这门学科的性质和内涵。

“运筹学”一词最早是英国人在20世纪30年代末提出,由于战争的需要而发展起来的。在英国称为operational research,很快美国也跟上,在美国称为operations research(缩写为O.R.),可直译为“运用研究”或“作业研究”。为了进行运筹学研究,在英、美的军队中成立了一些专门小组,开展了护航舰队保护商船队的编队问题和当船队遭受德国潜艇攻击时,如何使船队损失最少的问题的研究。研究了反潜深水炸弹的合理爆炸深度后,使德国潜艇被摧毁数增加到400%;研究了船只在受敌机攻击时,提出了大船应急速转向和小船应缓慢转向的逃避方法。研究结果使船只在受敌机攻击时,中弹率由47%降到29%。

当时研究和解决的问题都是短期的和战术性的。第二次世界大战后,在英、美军队中相继成立了更为正式的运筹研究组织。

1937年,英国部分科学家被邀请去帮助皇家空军研究雷达的部署和运作问题,目的在于最大限度地发挥有限雷达的效用,以应对德军的空袭。1939年,从事此方面问题研究的科学家被召集到英国皇家空军指挥总部,成立了一个由布莱克特(P. M. S. Blackett)领导的军事科技攻关小组;由于该小组是第一次有组织的系统的运筹学活动,所以后人将该小组的成立作为运筹学产生的标志。1942年,美国大西洋舰队反潜战官员 W. D. Baker 舰长请求成立反潜战运筹组,麻省理工学院的物理学家 P. W. Morse 被请来担任计划与监督。Morse 出色的工作之一,就是协助英国打破了德国对英吉利海峡的封锁。1941—1942年,德国潜艇严密封锁了英吉利海峡,企图切断英国的“生命线”。海军几次反封锁,均不成功。应英国要求,美国派 Morse 率领一个小组去协助。Morse 经过多方实地考察,最后提出了两条重要建议:一是将反潜攻击由反潜潜艇投掷水雷,改为飞机投掷深水炸弹,起爆深度由 100m 左右改为 25m 左右,即当潜艇刚下潜时攻击效果最佳(效率提高 4~7 倍);二是运送物资的船队及护航舰队编队,由小规模多批次,改为加大规模、减少批次,这样,损失率将减少(25% 下降到 10%)。丘吉尔采纳了 Morse 的建议,最终成功地打破封锁,并重创了德国潜艇。Morse 同时获得英国和美国的最高勋章。20 世纪 40 年代后期至 50 年代初,美国由物理学家奥本海默主持的原子弹工程,动用了全国 1/3 的电力,集中了 15 000 名各种专业的科学家和工程技术人员进行合作,奥本海默在执行计划的过程中从总体出发,把研究项目层层分解,组织相应的小组来负责各项课题的研究工作,他很重视各课题间的联系,随时进行协调,使全部课题组合起来达到整个计划的最优结构。阿波罗登月计划(1958—1969 年)的全部任务分别由地面、空间和登月三部分组成,是一项复杂庞大的工程项目,它不仅涉及火箭技术、电力技术、冶金和化工等多种技术,为把人安全地送上月球,还需要了解宇宙空间的物理环境以及月球本身的构造和形状,它耗资 300 亿美元,研制零件有几百万种,共有两万家企业参与,涉及 42 万人,历时 11 年之久。为完成这项工作,除了考虑每个部门之间的配合和协调工作外,还要估计各种未知因素可能带来的种种影响,面对这些千头万绪的工作、千变万化的情况,就要求有一个总体规划部门运用一种科学的组织管理方法,综合考虑,统筹安排来解决。1947 年,美国数学家丹捷格(G. B. Dantzig)发表了关于线性规划的研究成果,所解决的问题是美国空军军事规划时提出的,并给出了求解线性规划问题的单纯形算法。事实上,早在 1939 年苏联学者康托洛维奇(Л. В. Канторович)在解决工业生产组织和计划问题时,就已提出了类似线性规划的模型,并给出了求解方法。但当时未被领导重视,直到 1960 年康托洛维奇再次发表了《最佳资源利用的经济计算》一书后,才受到国内外的一致重视。为此,康托洛维奇获得了诺贝尔经济学奖。值得一提的是丹捷格认为线性规划模型的提出是受到了列昂节夫的投入产出模型(1932)的影响;后来列昂节夫的投入产出模型也得了诺贝尔奖。关于线性规划的理论是受到了冯·诺依曼(Von Neumann)的帮助。冯·诺依曼和摩根斯特恩(O. Morgenstern)合著的《博弈论与经济行为》(1944)是对策论的奠基作,同时该书已隐约地指出了对策论与线性规划对偶理论的紧密联系。线性规划提出后很快受到经济学家的重视,如在第二次世界大战中从事运输模型研究的美国经济学家

库普曼斯(T. C. Koopmans),他很快看到了线性规划在经济中应用的意义,并呼吁年轻的经济学家要关注线性规划。库普曼斯在1975年获诺贝尔经济学奖。其中阿罗、萨缪尔逊、西蒙、多夫曼和胡尔威茨等都获得了诺贝尔奖,并在运筹学某些领域中发挥过重要作用。我们初步统计到2007年为止共有19个诺贝尔奖获得者的研究与运筹学有关。回顾一下最早投入运筹学领域工作的诺贝尔奖获得者、美国物理学家布莱克特领导的第一个以运筹学命名的小组是有意义的。由于该小组的成员复杂,人们戏称它为布莱克特马戏团,其实是一个由各方面专家组成的交叉学科小组。从以上简史可见,为运筹学的建立和发展作出贡献的有物理学家、经济学家、数学家、其他专业的学者、军官和各个行业的实际工作者。最早建立运筹学会的国家是英国(1948),接着是美国(1952)、法国(1956)、日本和印度(1957)等。到2005年为止,国际上已有48个国家和地区建立了运筹学会或类似的组织。我国的运筹学会成立于1980年。1959年由英、美、法三国的运筹学会发起成立了国际运筹学联合会(IFORS),以后各国的运筹学会纷纷加入,我国于1982年加入该会。此外还有一些地区性组织,如欧洲运筹学协会(EURO)成立于1975年,亚太运筹学协会(APORS)成立于1985年。20世纪50年代中期,钱学森、许国志等教授将运筹学由西方引入我国,并结合我国的特点在国内推广应用。他们最早在中国科学院力学所建立了运筹室,在运筹学多个领域开展研究和应用工作,其中在经济数学方面,特别是投入产出表的研究和应用开展较早。质量控制(后改为质量管理)的应用也有特色。在此期间以华罗庚教授为首的一大批数学家加入运筹学的研究队伍,在中国科学院数学所也建立了运筹室,使运筹学的很多分支很快跟上当时的国际水平。

1.2 运筹学的特点及相关学科

1. 运筹学的特点

(1) 跨学科性。由有关专家组成的进行集体研究的运筹小组综合应用多种学科的知识来解决实际问题,这是早期军事运筹研究的一个重要特点。

(2) 研究与实践紧密联系。作为一门科学,运筹学不仅包括研究活动,即用科学的方法来创建它的知识,还包括以这些知识的应用为目的的工程活动和其他实践活动。在运筹学的进程中,研究与实践始终紧密联系、互相促进,共同推动运筹学的发展。

(3) 科学与艺术的结合。运筹学不仅是一门科学,也是一门艺术。在运筹学的研究与实践中,往往不只是单纯运用科学方法和科学知识,还要用到发明和设计的艺术及各种各样的联络、解释和实行的艺术。

(4) 利用模型。无论是运筹学的理论研究还是应用研究,其核心问题都是如何建立适当的模型(通常是数学模型)以解释运行系统的现象和预测系统未来的情况。运筹学模型大致可分为确定型、随机型和模糊型三类。

(5) 数量方法。运筹学是从定量分析的角度研究系统的变化规律,从而对系统未来的情况作出定量预测。它不仅需要利用已有的数学工具(解析数学、统计数学、计算数学、模糊数学等),还需要创造出一些独特的数量方法。

(6) 试验方法。运筹学研究并应用试验方法。例如,直接试验中有“优选法”“调优运算法”“正交试验法”等,模拟试验中有各种实物模拟法以及计算机模拟法等。

(7) 有赖于计算机。在运筹学模型的实际应用中,往往需要进行十分浩繁的数值计算,即便那些本身不很复杂的模型也多如此,以至手工计算根本无法胜任,必须借助于计算机才能完成。还有一些模型的算法尽管理论上是正确的和可行的,但囿于目前计算机的功能而无法实现。因此,运筹学的发展有赖于计算机和计算机科学的发展,而研究、改善各种算法的计算机程序也是运筹学的任务之一。

(8) 全局优化。根据系统科学,一个系统的各个局部独自优化,其全局未必为优,甚至不能有效运行;反之,全局优化,局部未必都优。运筹学总是从系统的观点出发,以全局优化为目标,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,寻求全局最优的方案。

(9) 科学决策的依据。运筹学作为一种科学方法,能为现代管理中许多复杂问题提供科学的决策程序、决策模型,以及定量分析的丰富资料和优化方案,从而为科学决策提供重要依据。

(10) 适用面广。运筹学研究的问题存在于不同领域,来自不同部门,虽千变万化却有共同规律可循。运筹学就是不断探索这些规律,并且据以提出一些一般理论和通用方法。因此,运筹学的适用面很广。

2. 运筹学的相关学科

如前所述,运筹学是一门综合性学科,它与许多学科交叉或密切相关,其中主要相关学科有:数学科学、管理科学、经济科学、系统科学、计算机科学。在前面介绍运筹学的特点时已经概要叙述过它同数学科学、计算机科学的关系,这里再概述一下它同管理科学、经济科学和系统科学的关系。

现代科学的飞速发展使科学知识发生了“爆炸”,因而各种学科越分越多,越分越细,越来越专门化。但是,人们在实践中所遇到的许多问题也都十分复杂,往往要用到许多学科的知识,而非单独某一学科所能解决。例如,美国的“阿波罗登月计划”、我国的“嫦娥奔月计划”,其全部任务由地面、空间、登月三部分组成,不仅直接用到火箭、电子、冶金、机械、化工等多种技术,还用到天文、物理、生物、化学、数学等基础科学的知识,因此,非少数学科和技术领域的少数人所能胜任。像这样一些庞大、复杂的系统工程,其计划、组织与实施是靠系统科学的有效指导而得以圆满完成的,而运筹学就是系统科学的最重要来源之一。在解决这样一些涉及多领域、多学科、多部门的实际问题时,作为系统科学的主要基础和基本手段的运筹学往往可以大显身手。

在美国,管理科学(management science)有其特定含义,它是一门同运筹学稍有区别的学科。在我国,管理科学的含义更加广泛,以至无法确切定义。在很大程度上可以说,管理就是决策,因此管理科学是一门决策科学,即帮助人们正确地决定应付各种复杂情况及解决各种复杂问题的方针和行动,以便有效地管理各种复杂系统使之有序运行的一门科学。而运筹学的首要特点就是能提供科学决策的依据,因此运筹学是管理科学的重要基础,是实行科学管理的强有力工具。

本书名为《运筹学》，侧重于管理中常见的运筹学问题及其适用的运筹学模型与方法，尤其关注经济系统管理中的一些常见问题。一个经济系统的运行过程可以归结为投入产出的过程，即投入资源（人力、物力、财力、信息、时间）、产出效益（实物和劳务的数量、质量、价值、效率）的过程。人们自然希望以较少的投入实现较大的产出，这就产生了经济系统如何运营的问题。对此，运筹学主要从以下两个方面进行研究：

(1) 投入既定，如何实现最大产出？

(2) 产出既定，如何实现最小投入？

这是运筹学在经济管理中研究的两类基本问题，即所谓经济系统最优化问题。运筹学能够根据人们的不同需要，提供一些特定的方法用以给出相应的最优方案，从而帮助人们作出科学的决策。“田忌赛马”“丁谓修皇宫”的典故恰好分别是运筹学思想在这两类问题中成功运用的范例。

由此可见，人们的管理实践是运筹学和管理科学的思想源泉，而运筹学的根本宗旨就是为管理者提供科学决策的依据。

1.3 运筹学的工作步骤

运筹学在解决大量实际问题过程中形成了自己的工作步骤，如图 1-1 所示。

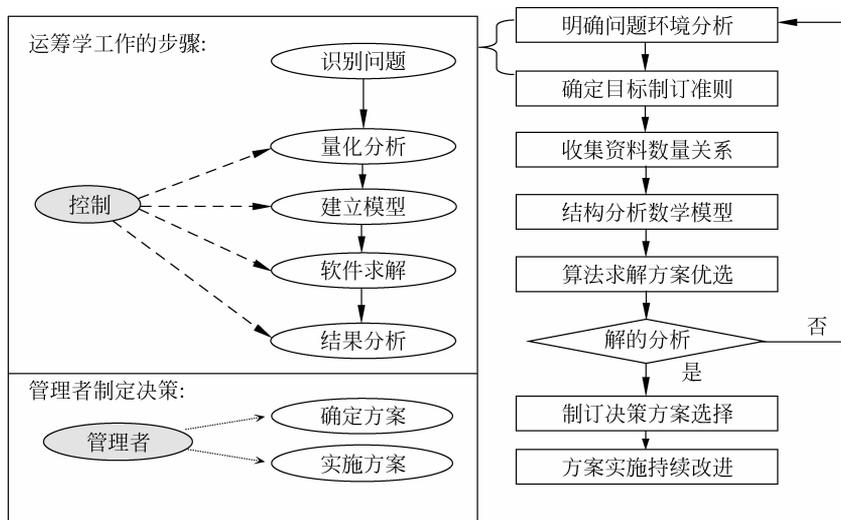


图 1-1

(1) 提出和形成问题。即要弄清问题的目标、可能的约束、问题的可控变量以及有关参数，收集有关资料。

(2) 建立模型。选用合适的数学模型来描述问题，确定决策变量，建立目标函数、约束条件等，并据此建立相应的运筹学模型。

(3) 求解模型。用各种手段（主要是数学方法，也可用其他方法）将模型求解。解可以是最优解、次优解、满意解。复杂模型的求解需用计算机，解的精度要求可由决策者

提出。

(4) 解的检验。首先检查求解步骤和程序有无错误,然后检查解是否反映现实问题。

(5) 解的控制。通过控制解的变化过程(灵敏度分析等方法)决定对解是否要作一定的改变。

(6) 解的实施。提供决策所需的依据、信息和方案,帮助决策者决定处理问题的方针和行动。

以上过程应反复进行。

1.4 运筹学的主要应用

随着科学技术和生产的发展,运筹学已渗透到诸如服务、库存、搜索、人口、对抗、控制、时间表、资源分配、厂址定位、能源、设计、生产、可靠性等各个方面,发挥着越来越重要的作用。

1. 规划技术

规划理论是研究如何将有限的人力、物力、财力和时间等资源进行最适当、最有效的分配和利用的理论,即研究某些可控因素在某些约束条件下寻求其决策目标为最大(或最小)值的理论。根据问题的性质与处理方法的不同,它又可分为线性规划、运输问题、目标规划、整数规划、非线性规划、动态规划等不同的理论。

2. 图与网络技术

生产管理中经常会遇到工序间的合理衔接搭配问题,设计中经常遇到研究各种管道、线路的通过能力,以及仓库、附属设施布局等问题。这种模型把研究对象用节点表示,对象之间的关系用边(或弧)来表示,点、边(或弧)的集合构成了图。图论是研究由节点和边(或弧)所组成的图形的数学理论和方法。图论中的重要问题是网络,将庞大复杂的工程和管理问题用网络描述,可以使解决方法达到最优化。它又可分为图与网络分析、网络计划技术等不同的理论。

3. 决策技术

决策技术在决策分析、库存决策等在内的许多领域中都有着重要应用。在实际生活与生产中,对同一个问题所面临的几种自然情况或状态,又有几种可选方案,就构成了一个决策。作为研究决策者如何有效地进行决策的理论和方法,决策技术能够指导决策人员根据所获得系统的各种状态信息,按照一定的目标和衡量标准进行综合分析,使决策者的决策既符合科学原则,又能满足决策者的需求,从而促进决策的科学化。

4. 对策分析技术

对策分析技术是描述和研究斗争态势的抽象模型并给斗争双方提供对策方法的一门数学理论,也称为博弈论。分析存在利害关系的两个主体的行动及其结果时采用的模型

叫作博弈。在博弈中,人们总希望自己取胜,但由于博弈有对手,所以每一方为取胜所做的努力往往会受到对手的干扰。因此,人们要想获得尽可能好的结局,就必须考虑对手可能怎样决策,从而选出自己的对策。对策选择不同,其最后的结局会差别很大,如“孙膑斗马术”。博弈论可用于商品、消费者、生产者之间的供求平衡分析,利益集团间的协商和谈判,以及军事上各种作战模型的研究,等等。最初用数学方法研究博弈论是在国际象棋中用来研究如何确定取胜的算法。研究双方冲突、制胜对策的问题,在军事方面有着十分重要的应用。近年来,数学家还对水雷和舰艇、歼击机和轰炸机之间的作战、追踪以及经济活动中如何实现对策各方共赢等问题进行了研究,提出了追逃双方都能自主决策的数学理论及纳什均衡理论。

5. 随机运筹技术

随机运筹技术包括排队系统分析、马尔可夫分析和随机模拟技术等。排队系统分析又称排队论,是研究随机服务系统的性能、状态及优化问题的管理科学分支,主要方法是建立各种类型的排队模型,求得在各种条件下反映系统性态的描述性的解。马尔可夫分析是研究由随机变量现时的运动状况来分析预测该变量未来运动状况的管理科学分支,主要方法是基于概率和随机过程的理论,通过系统状态和转移规律求得未来的状态。随机模拟技术又称系统仿真,是研究对静态离散的随机系统进行模拟分析的管理科学分支,主要方法是通过随机数和系统的有关概率分布对系统进行状态模拟,由于篇幅所限,此点本书从略。

1.5 运筹学的发展趋势

运筹学作为一门学科,在理论和应用方面,无论就广度和深度来说都有无限广阔的前景。它不是一门衰老过时的学科,而是一门处于年轻发展时期的学科,这从运筹学目前的发展趋势便可看出。

(1) 运筹学的理论研究将会得到进一步系统的、深入的发展。数学规划是20世纪40年代末期才开始出现的。经过10多年的时间,到了20世纪60年代,它已成为应用数学中一个重要的分支,各种方法和各种理论纷纷出现,蔚为壮观。但是,数学规划也和别的学科一样,在各种方法和理论出现以后,自然要走上统一的途径。也就是说,用一种或几种方法和理论把现存的东西统一在某些系统之下来进行研究。目前,这种由分散到统一、由具体到抽象的过程正在形成,而且将得到进一步的发展。

(2) 运筹学向一些新的研究领域发展。运筹学的一个重要特点是应用十分广泛,近年来它正迅速地向一些新的研究领域或原来研究较少的领域发展,如研究世界性的问题、研究国家决策或研究系统工程等。

(3) 运筹学分散融化于其他学科,并结合其他学科一起发展。例如,数学规划方法用于工程设计,常常叫作“最优化方法”,已成为工程技术中的一个有力研究工具;数学规划用于投入产出模型,也成为西方计量经济学派常用的数学工具;等等。

(4) 运筹学沿原有的各学科分支向前发展,这仍是目前发展的一个重要方面。例如,

规划论,从研究单目标规划进而研究多目标规划,这当然可以看成是对事物进行深入研究的自然延伸。事实上,在实际问题中想达到的目标往往有多个,而且有些还是互相矛盾的。再如,从研究短期规划到研究长期规划,这种深入研究也是很自然的,因为对于不少实际问题,人们主要关心的是未来的结果。

(5) 运筹学中建立模型的问题将日益受到重视。从事实际问题研究的运筹学工作者,常常感到他们所遇到的困难是如何把一个实际问题变成一个可以用数学方法或别的方法来处理的问题。就目前来说,关于运筹学理论和方法的研究远远超过对上述困难的研究,要保持运筹学的生命力,这种研究非常必要。

(6) 运筹学的发展将进一步依赖于计算机的应用和发展。电子计算机的问世与广泛应用是运筹学得以迅速发展的重要原因。实际问题中的运筹学问题,计算量一般都是很大的。只有在出现存储量大、计算速度快的计算机后,才使运筹学的应用成为可能,并反过来推动了运筹学的进一步发展。

总之,目前运筹学发展如此之快,运筹学工作者如此之多,都是前所未有的。运筹学的发展对加速我国的四个现代化建设必将起到十分重要的作用。