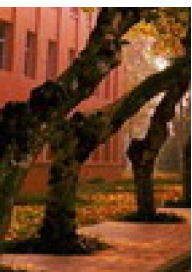


运筹学





运筹学基础(学科群必修课)

课程说明

上课时间：每周三下午6,7,8节，14:00~16:25

上课地点：三教3121教室

学时：40学时，第一周至第十四周

考试方式

闭卷笔试

最后成绩

平时作业30%

课堂点名或练习5%

卷面成绩65%





3 2015/3/18

运筹学简介

Chp.1 Introduce



1.1 “运筹学”一词的由来

4 2015/3/18

- **1938**年，英国皇家空军部门在**Bawdsey**成立了一个从事作战研究的科学家小组，其研究工作称为“**Operational research**”，这是该词最早出现在文献的时间。其后发展到每一个英军指挥部都成立运筹学小组。
- **1942**年，美国和加拿大的军事部门也相继成立了若干运筹研究小组，广泛的研究有关战果评价、战术革新、技术援助、战略选择和战术计划等问题。二战期间同盟国的运筹研究小组为战胜轴心国做出了卓越的贡献。
- 对于人类社会的科学进程而言，这些科学家的集体工作和智慧开创了一门崭新的学科——**Operations Research**。

运筹一词，本指运用算筹，后引伸为谋略之意。“运筹”最早出自于汉高祖刘邦对张良的评价：“运筹帷幄之中，决胜千里之外。”



1.2 运筹学——Operations Research

5 2015/3/18

- 由于运筹学研究的广泛性和复杂性，人们至今没有形成一个统一的定义。以下给出几种定义：

运筹学是一种科学决策的方法。

运筹学是依据给定目标和条件从众多方案中选择最优方案的最优化技术。

运筹学是一种给出问题不坏的答案的艺术，否则的话问题的结果会更坏。

运筹学是一门寻求在给定资源条件下，如何设计和运行一个系统的科学决策的方法。



1.3 运筹学与其他学科的关系

6 2015/3/18

- 运筹学是一门独立的新兴科学，它的独立在于它有本身特定的研究对象，它有自成系统的基础理论，以及相对独立的研究方法和工具。
- 运筹学的发展与社会科学、技术科学、经济科学和军事科学的发展紧密相关，已成为一项**工程与管理学科**不可缺少的基础性学科。
- 运筹学以越来越快的速度渗透到**信息科学、生命科学、材料科学和能源科学**等前沿基础性研究中去，成为这些学科所不可缺少的研究工具。
- 运筹学的方法和实践已在科学管理、工程技术、社会经济、军事决策等方面起着重要的作用并已产生巨大的经济效益和社会效益。



1.4 运筹学研究的特点

7 2015/3/18

- 科学性
 - 它是在科学方法论的指导下通过一系列规范化步骤进行的；
 - 通过建立与求解模型，使问题在量化的基础上得到合理的决策。
- 实践性
 - 运筹学以实际问题为分析对象，通过鉴别问题的性质、系统的目标以及系统内主要变量之间的关系，利用数学方法达到对系统进行最优化的目的。更为重要的是分析获得的结果要能被实践检验，并被用来指导实际系统的运行。
 - 计算机的出现和发展使许多运筹学方法得以实现和发展。如果没有计算机，运筹学只是一种理论科学，不会成为广泛应用、不断发展的重要领域。

- 系统性
 - 运筹学用系统的观点来分析一个组织（或系统），它着眼于整个系统而不是一个局部，通过协调各组成部分之间的关系和利害冲突，使整个系统达到最优状态。
- 综合性
 - 运筹学研究是一种综合性的研究，它涉及问题的方方面面，应用多学科的知识，因此，要广泛利用多种学科的科学知识进行的研究。运筹学研究不仅仅涉及数学，还要涉及经济科学、系统科学、工程物理科学等其他学科。



1.5 运筹学模型

9 2015/3/18

- 运筹学模型的定义：是研究者对客观现实经过思维抽象后用文字、图表、符号、关系式以及实体模型描述所认识到的客观对象。
- 按描述方法的特点可以分成：
 - 描述性模型
 - 这类模型仅仅描述实际发生的具体过程而不探讨过程背后的原因。许多统计模型、模拟模型和排队模型都是这类描述性模型。
 - 规范化模型
 - 这类模型使用规范化的方法，对影响系统的内在规律进行探索，并详细描述系统的变量、目标和约束。大部分最优化模型属于这类模型。
 - 启发式模型
 - 这类模型是一种经验模型，它主要由一些直观的经验 and 规则构成。

- 运筹学模型按呈现和表达的方式可以分成：
 - 实物模型
 - 规模缩小和放大的由实物制成的模型，如建筑模型、飞机模型、原子模型等。
 - 符号模型
 - 用数学符号表示的模型。
 - 计算机模型
 - 模型表现为可以在计算机上执行的由计算机语言表达的程序。
- 按模型是否考虑时间因素可分成：
 - 静态模型
 - 模型只反映某一个固定时间点的系统状态，变量、参数与时间无关。
 - 动态模型
 - 模型反映一段时间内系统变化的状态，变量、参数与时间有关。

- 运筹学研究的模型主要是抽象模型——数学模型。
 - 数学模型的基本特点是用一些数学关系（数学方程、逻辑关系等）来描述被研究对象的实际关系（技术关系、物理定律、外部环境等）。
- 运筹学模型的一个显著特点是它们大部分为最优化模型。
 - 一般来说，运筹学模型都有一个目标函数和一系列的约束条件，模型的目标是在满足约束条件的前提下使目标函数最大化或最小化。
- 从数学模型中求出的解 **不是** 问题的最终答案，而仅仅是为实际问题的系统处理提供了有用的可以作为决策基础的信息。

1.6 运筹学的工作步骤

12 2015/3/18

- 运筹学分析的主要步骤包括：
 - 发现和定义待研究的问题；
 - 构造数学模型；
 - 寻找经过模型优化的结果，并通过应用这些结果来改善系统的运行效率。

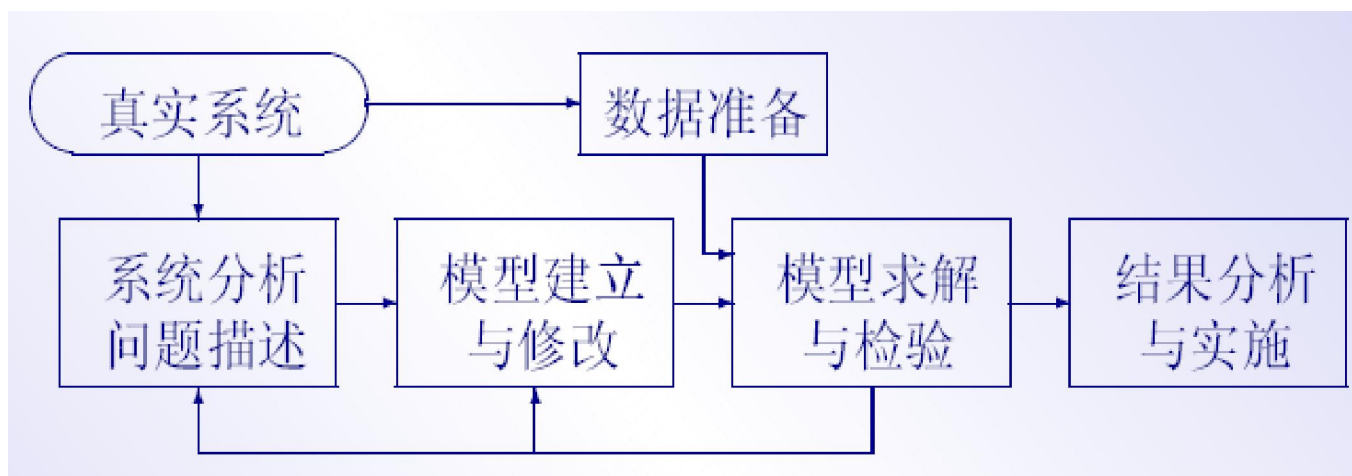


图1.1 运筹学分析的步骤



1.7 运筹学包含的分支

13 2015/3/18

- 数学规划
 - 线性规划、非线性规划、整数规划、目标规划、动态规划、参数规划、随机规划、组合最优化
- 图论
- 排队论
- 存贮论
- 对策论（博弈论）
- 决策论
- 搜索论
- 统筹论
- 最优化
- 启发式算法
- 计算机仿真
- 数据挖掘
- 预测学
- 软系统方法
- 认知映射

- 历史追溯
 - 体现运筹学思想和方法的某些早期先驱性工作可以追溯到**20**世纪初期，例如：
 - **1908**年丹麦工程师埃尔朗提出的电话话务理论是运筹学中排队论的起源；
 - **1916**年英国的兰彻斯特提出的战斗模型方程是军事运筹学早期的一项重要成果；
 - **1928**年冯·诺依曼提出了二人零和对策的一半理论；
 - **1939**年苏联数学家坎托罗维奇在***The Mathematical Method of Production Planning and Organization***一书中开创性的提出了线性规划，这一贡献使其获得了**1975**年的诺贝尔奖；
 - **1947**年**G.B.**丹齐克在研究美国空军资源配置问题时提出线性规划及其通用解法——单纯形法；
 - **50**年代初用电子计算机求解线性规划问题获得成功；
 -
 - 上述这些先驱性成就对运筹学的发展有着深远的影响。

- 典型案例1：特拉法加尔海战和纳尔森秘诀

- 特拉法加尔 (Trafalgar) 海战

- 19世纪中叶，法国拿破仑统帅大军要与英国争夺海上霸主地位，而实施这一战略的最主要的关键是消灭英国的舰队。英国海军统帅、海军中将纳尔森亲自制定了周密的战术方案。1805年10月21日，这场海上大战爆发了。英国是纳尔森亲自统帅的地中海舰队，由27艘战舰组成；另外一方是由费伦纽夫 (Villeneuve) 率领的法国——西班牙联合舰队，共有33艘战舰。
 - Trafalgar大海战的概况是：费伦纽夫 (Villeneuve) 率领的法国——西班牙联合舰队采用常规的一字横列，以利炮火充分展开，而纳尔森的战术使费伦纽夫大出意外。英国的舰队分成两个纵列：前卫上风纵列由12艘战舰组成，由纳尔森亲自指挥，拦腰将法国——西班牙联合舰队切为两段；后卫下风纵列由英国海军中将科林伍德 (Collingwood) 指挥，由15艘战舰组成。在一场海战后，法国——西班牙联合舰队以惨败告终：联合舰队司令费伦纽夫连同12艘战舰被俘，8艘沉没，仅13艘逃走，人员伤亡7000人。而英国战舰没有沉没，人员伤亡1663人，但是，作为统帅的纳尔森阵亡。

— 秘密备忘录中的纳尔森 (Nelson) 秘诀:

- 预期参加战斗的英国舰队: **40**艘。
- 法国—西班牙联合舰队: **46**艘。
- 预计联合舰队战斗队形一字横列。
- 英国舰队的战斗队形与任务: 分成两个主纵列及一个小纵列。

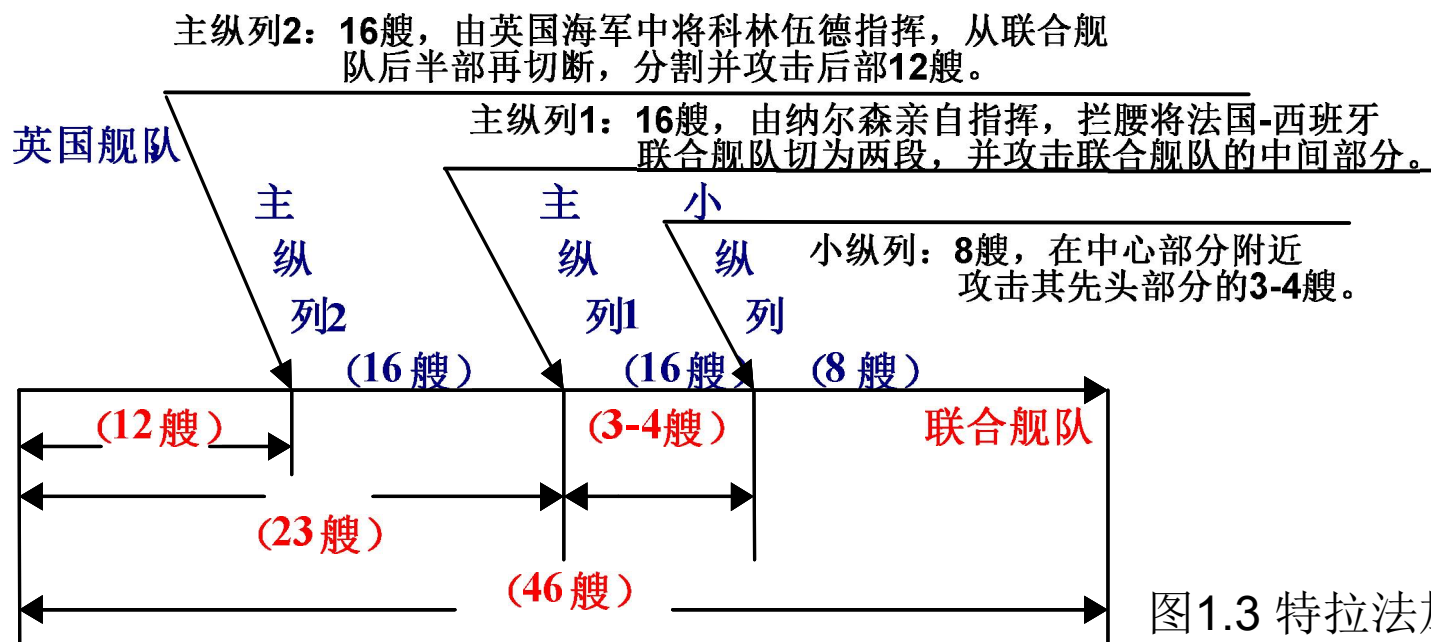


图1.3 特拉法加尔海战

— 兰彻斯特 (F.W.Lanchester) 作战分析

- 兰彻斯特方程：设两军对抗中一方有 x 个战斗单位（战舰、战车、战机、步兵单位等），另外一方有 y 个战斗单位。基本假设：每一方战斗单位的损失率与对方战斗单位的数量成正比。于是，双方战斗损失的微分方程为：

$$dy/dt = -ax$$

$$dx/dt = -by \quad \text{其中, } a>0 \text{ 与 } b>0 \text{ 表示双方的平均战斗力。}$$

- 因此可以得到： $ax^2 = by^2$ 。上式称为兰彻斯特 N^2 定律。

— 用兰彻斯特 N^2 定律可以对“纳尔森 (Nelson) 秘诀”进行分析：

- 整体战斗实力：设双方单个战斗单位的战斗力相同，则有：

$$\text{英国舰队: } 40^2 = 1600$$

$$\text{联合舰队: } 46^2 = 2116$$

- 此时联合舰队占优势，设想联合舰队全歼英国舰队后，
联合舰队还有： $516^{1/2} = 23$

- 将联合舰队拦腰切断， $23+23=46$ ，是将联合舰队实力减弱的最小分割法。
此时，联合舰队的实力为： $23^2+23^2=1058$
而英国舰队的实力为： $(16+16)^2+8^2=1088$ ，已略占有优势。
 - 在英国舰队两个主纵列共32艘，攻击联合舰队的后半23艘，
此时，英国舰队实力： $(16+16)^2=32^2=1064$
联合舰队的实力为： $23^2=529$
 - 英国舰队已占有优势。在全歼联合舰队后部后，英国舰队两个主纵列还可以保留：
 $(1064-529)^{1/2}=516^{1/2}=23$
 - 再与小纵列中舰队联合对联合舰队前部作战还占有优势。
- 即在最坏情况下，“纳尔森 (Nelson) 秘诀”也可以使英国舰队获得胜利。

- 早期军事运筹学案例
 - 鲍德西 (Bawdsey) 雷达站的研究 (1935年)
 - 大西洋反潜战 (1942年)
 - 战斗机搜索潜艇 (40年代)
 - 军用物质运输 (40年代)
 - 英国战斗机中队援法决策 (40年代)
- 现代军事运筹学案例
 - 美国的曼哈顿 (原子弹计划) (50年代初)
 - 美国的北极星导弹应急计划 (60年代)
 - 阿波罗登月计划 (1958-1969年)
 - 战略核武器杀伤力模型
 - 海湾战争中的作战模拟 (1990年8月)
 - 美国作战模拟系统介绍

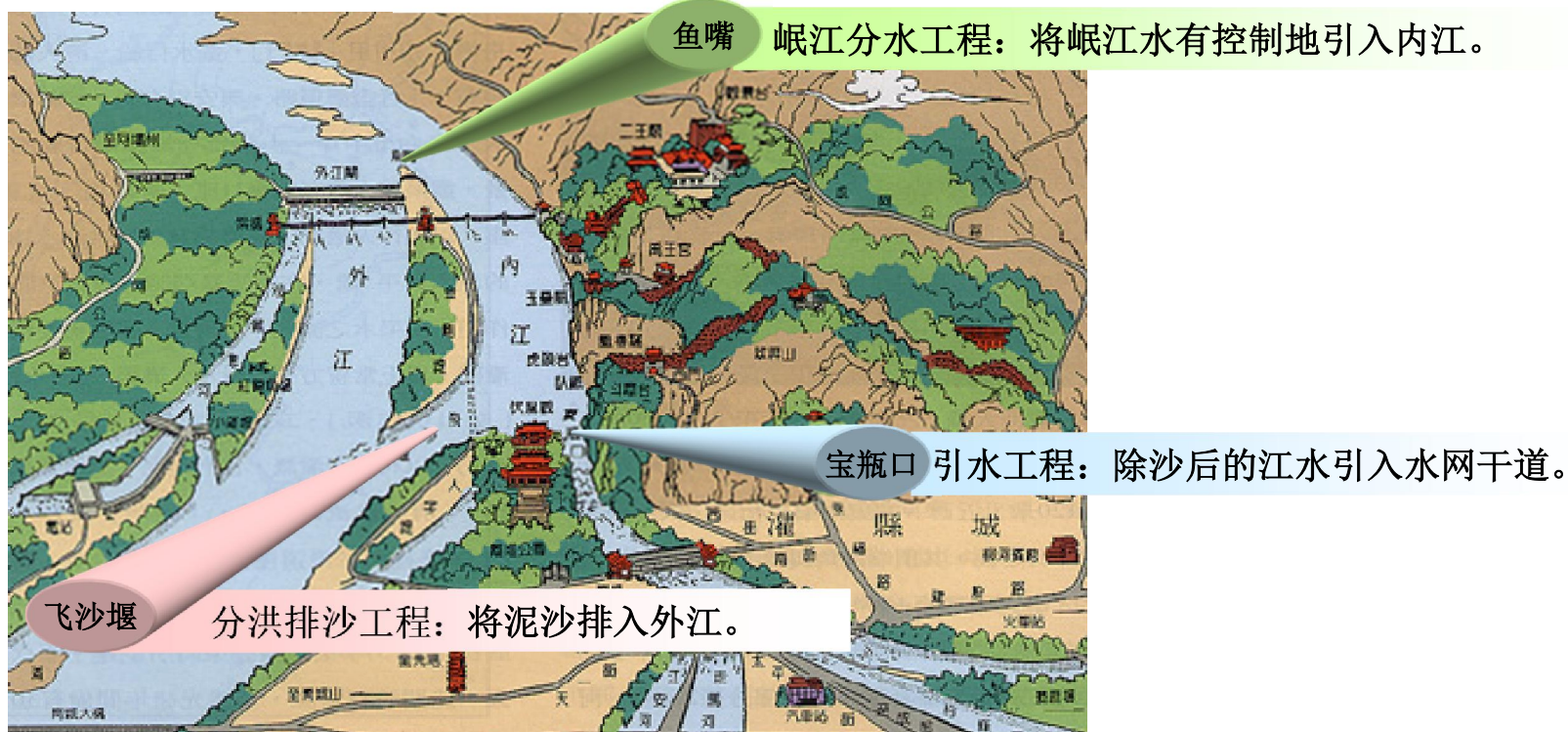
- 国际上五大智囊团：
 - 兰德 (**RAND**) 公司 (美国)
 - 国际应用系统分析研究所 (美国)
 - 野村研究中心 (日本)
 - 德国工业企业设备公司 (德国)
 - 斯坦福咨询公司 (美国)
- 案例
 - 朝鲜战争
 - 1950年6月朝鲜战争爆发。不久，麦克阿瑟指挥的以美国为首的“联合国军”在仁川登陆，拦腰切断朝鲜人民军的后路，包围并重挫了朝鲜人民军的主力。然后，美国军队长驱北上，逼近鸭绿江边。建国近一年的新中国的最高领导人对这场在国门口的战火持什么态度？在这种情况下，美国政府出资要求兰德 (**RAND**) 公司做一项紧急研究，并将成果呈报美国总统。

— 兰德（RAND）公司对朝鲜战争的研究和预测：

- 兰德（RAND）公司认为：尽管新中国当时的经济实力、军队的装备与效能远底于美国，并且相当多的高级将领对出兵持怀疑的态度，但由苏联、中国、朝鲜的政治格局，中朝两国领导人的历史渊源和中国军队的士气，中国人民的民心、中国共产党的威望及在邻国作战的有利条件等分析，中国绝不会袖手旁观，而且在当时的危急关头，除派兵入朝参战外，很难有别的选择。
- 有趣的是，在其透彻的分析中，还包含了对毛泽东主席的性格及心理学分析，毛泽东性格刚强，从不畏强敌，面对挑战绝不退缩，因此，可以断定毛泽东会最终做出参战的重大决策。
- 由战争过后解密后的报道，该项研究成果的结论极其明晰：中国将派军队入朝参战！与历史的实际完全一致。

- 运筹学在非军事环境中的应用
 - 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，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。
 - 南朝鲜应用系统工程方法制定第一个五年计划并成功实施（1967-1971年）
 - 墨西哥与世界银行合作制定改造农业计划取得显著效益（1970-1974年）
 - 菲律宾的San Miguel公司（Franciso Eizmendi Jr.,President, San Miguel Corporation）
 - ABB电力公司
 - 美国航空公司

- 中国古代的朴素运筹思想
 - 都江堰水利工程：战国时期（大约公元前**250**年）川西太守李冰父子主持修建。其目标是：利用岷江上游的水资源灌溉川西平原。追求的效益还有防洪与航运。其总体构思是系统思想的杰出运用。



— 丁谓的皇宫修复工程

- 北宋年间，丁谓负责修复火毁的开封皇宫。他的施工方案是：先将工程皇宫前的一条大街挖成一条大沟，将大沟与汴水相通。使用挖出的土就地制砖，令与汴水相连形成的河道承担繁重的运输任务；修复工程完成后，实施大沟排水，并将原废墟物回填，修复成原来的大街。丁谓将取材、生产、运输及废墟物的处理用“一沟三用”巧妙地解决了。

— 田忌赛马

- 齐王要与大臣田忌赛马，双方各出上、中、下马各一匹，对局三次，每次胜负**1000**金。田忌在好友、著名的军事谋略家孙臆的指导下，以以下安排：

齐王	上	中	下
田忌	下	上	中

表1.1 田忌赛马对战表

最终净胜一局，赢得**1000**金

— 沈括运粮

- 北宋科学家沈括在《梦溪笔谈》卷十一中有如下的设计（今译）：
- 每个民夫可以背六斗米，士兵自己可以带五天的干粮，一个民夫供应一个士兵，一次可以维持十八天（六斗米，每人每天吃二升，二人吃十八天）；如果要计回程的话，只能前进九天的路程。
- 两个民夫供应一个士兵的话，一次可以维持二十六天；如果要计回程的话，只能前进十三天的路程（计算略）。
- 三个民夫供应一个士兵，一次可以维持三十一天；如果要计回程的话，只可以前进十六天的路程（计算略）。
- 由此可知：三个民夫供应一个士兵，已经到了极限了。如果要出动十万军队，辎重占去三分之一，能够上阵打仗的士兵只有七万人，就要用三十万民夫运粮。再要扩大规模就很困难了。（遣送运粮民夫返回要派士兵护送，因为运输途中还会有死亡及患病的，而且要利用这些减员的粮食供应护送士兵。）

- 每人背六斗米的数量也是根据民夫的总数推算出来的，因为其中的队长自己不能背，负责打水、砍柴的人只能背一半，他们所减少的要摊在众人头上。另外还会有死亡和患病的人，他们所背的也要由众人分担，实际上每人背的还不止六斗。所以军队不容许有吃闲饭的，一个吃闲饭的人二三个人供应他还不够。
- 用牲畜运，与人工相比虽然能驮得多，花费也少，但如果不能及时放牧或喂食，牲口就会瘦弱而死。一头牲口死了，只能连它驮的粮食也一同抛弃。所以与人工相比，各有得失。
- 沈括的设计是以周密的安排、合理的调度而且不发生意外为条件的，在一般情况下很难达到这样高的水平。假定一支军队能以平均每天40公里的速度进退，在30万民夫的供应下，7万作战士兵（另三万负责辎重）的活动半径只有640公里。
- 沈括的结论：

凡师行，因粮于敌，最为急务。运粮不但多费，而势难行远。

今译：一般军队出行，从敌方获取军粮是最要紧的急务。运粮不仅费用多，而且难以载粮远行。

- 国内运筹学的发展
 - 1956年钱学森（系统工程专家）、许国志（数学家）从美国回来，刘源张（质量管理专家）从日本回来，周华章（经济学家、凯恩斯的学生）从英国回来。
 - 1958年分别在中国科学院力学研究所、数学研究所成立了二个运筹学研究室。1960年二个运筹学研究室合并。
 - 1978年以前（文革期间）钱学森在七机部负责我国“两弹一星”的研究工作。
 - 1978年以后钱学森认为应向社会推广，成立了中国军事运筹学会，1980年成立了中国运筹学会（**ORSC: Operations Research Society of China**）和中国系统工程学会。

- 现代国内军事运筹学案例
 - 导弹试验：评价导弹的可靠性（中国科学院系统科学研究所）
 - 我国国防科技人才队伍的发展（国防科学技术大学1987年）
 - 2000年装甲兵武器装备发展战略（装甲兵工程学院1987年）
 - 2000年中国防空系统的系统分析（空军研究所1987年）
 - 全国人防工程总体规划（工程兵工程学院1987年）
 - 混合解析和模拟海上作战模型（海军作战自动化研究所1987年）
 - 核威慑战略的一种定量的分析方法（军事科学院运筹研究所1987年）
 - 空袭与防空作战对策的宏观定量分析（空军指挥学院1990年）
 - 模糊决策与军事决策仿真（国防科技大学1990年）



- **C3I** (情报、通信、控制、指挥) 对战争进程的影响 (国防科技大学**1992**年)
- 指挥训练系统的评估 (郑州高炮学院**1992**年)
- 大型复杂工业系统对空袭灾害的响应分析 (工程兵工程学院**1994**年)
- 装备维修保障能力综合评价模型与算法 (石家庄军械研究所**1994**年)
- 军队被装采购决策支持系统研究 (军事经济学院**1996**年)
- 防空兵力剖分的一种**MADM**算法 (南京理工大学**1996**年)



1.10 运筹学的展望

30 2015/3/18

展望1：现代运筹学工作者面临的大量新问题是经济、技术、社会、心理等综合因素交叉在一起的复杂系统，因此运筹学应与系统分析相结合，除了常用的数学方法外，应引入一些非数学的方法和理论；

展望2：传统的运筹学方法称为“硬系统思考”，精巧、复杂的数学模型和高深的数学工具只适用于解决那种结构明确的系统以及战术和技术性问题，对于结构不明确的、有人参与活动的系统则不太胜任。此时应采取“软系统思考”方法，如将过分理想化的“最优解”换成“满意解”，以“易变性”的理念看待所得的“解”，以适应系统的不断变化。

- 运筹学发展趋势

- 软运筹学的崛起

- 软系统方法论、战略假设表面化与检验、战略选择、问题结构法、超对策、亚对策、战略选择发展与分析、生存系统模型、对话式计划、批判式系统启发等。

- 软计算

- 该方法与优化有关，不追求严格最优，具有启发式思路，并借用来自于生物学、物理学和其他学科的思想来寻找解。
 - 遗传算法、模拟退火、神经网络、模糊逻辑、进化计算、禁忌算法、蚁群优化等。



本章完

The end

- 鲍德西 (**Bawdsey**) 雷达站的研究 (1935年)
 - 1935年, 英国科学家**R. Watson-Wart**发明了雷达。丘吉尔命令在英国东海岸的**Bawdsey**建立了一个秘密雷达站。当时, 德国已拥有一支强大的空军, 起飞17分钟即到达英国本土。在如此短的时间内, 如何预警和拦截成为一大难题。
 - 1939年由曼彻斯特大学物理学家、英国战斗机司令部顾问、战后获得诺贝尔奖金的**P.M.S.Blackett**为首, 组织了一个小组, 代号“**Blackett**马戏团”。这个小组包括三名心理学家、两名数学家、两名应用数学家、一名天文物理学家、一名普通物理学家、一名海军军官、一名陆军军官、一名测量员。
 - 研究的问题是: 设计将雷达信息传送到指挥系统和武器系统的最佳方式; 雷达与武器的最佳配置; 对探测、信息传递、作战指挥、战斗机与武器的协调, 作了系统的研究, 并获得成功。“**Blackett**马戏团”在1938年提出的一份秘密报告中使用了“**Operational Research**”, 这是“运筹学”一词第一次出现在文献中。

- 大西洋反潜战（1942年）

- 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，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：
 - 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100米左右改为25米左右。即当潜艇刚下潜时攻击效果最佳。（提高效率4-7倍）
 - 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。

- 战斗机搜索潜艇（40年代）

- 战斗机搜索潜艇，效果的衡量指标称为扫率

- A**——侦察到的潜艇次数

- T**——侦察所用时间（小时）

- S**——飞机侦察负责的面积（平方海哩）

- N**——可能有的潜艇数

$$\text{扫率} = \frac{AS}{TN}$$

- 此公式中**N**是很难估计，但是利用此公式记录的反潜作战效果的起伏波动，可以得知双方战术和装备的变化。这在战争中起很大的作用。

 返回

- 军用物质运输（40年代）

- 美国参加二次大战较晚，但是早期的欧洲军用物质都是从美国用商船通过大西洋运往欧洲，但发现在公海里受到德军飞机的轰炸，后在商船上装备了高射炮，但发现打落飞机很少，是否没有达到目的？我们知道在商船上装备高射炮目标是“打击敌人，保护自己”，后发现商船被击沉没数显著下降（**25%**降为**10%**）达到了目标。

- 英国战斗机中队援法决策（40年代）
 - 第二次世界大战开始不久，德国军队突破了法国的马奇诺防线，法军节节败退。英国为了对抗德国，派遣了十几个战斗机中队，在法国上空与德国军队作战，并且指挥、维护均在法国进行。
 - 英国运筹人员得知此事后，进行了一项快速研究，其结果表明：在当时情况下，当损失率、补充率为现行水平时，仅仅再进行两周时间左右，英国的援法战斗机就连一架也不存在了。
 - 这些运筹学家以简明的图表、明确的分析结果说服了丘吉尔，丘吉尔最终决定：不仅不再增加新的战斗机中队，而且还将在法国的英国战斗机中队大部分撤回英国本土，以本土为基地，继续对抗德国。局面有了很大的改观。

- 美国的北极星导弹应急计划（60年代）
 - 提出计划评审法（**PERT : Program evaluation and review technique**），应用网络方法和网络形式，注重于对各项任务安排的评价和审查。

- 美国的曼哈顿（原子弹计划）（50年代初）
 - 40年代后期50年代初，美国由物理学家奥本海默主持的原子弹工程，美国动用了全国三分之一的电力，集中了一万五千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）

- 阿波罗登月计划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，它不仅涉及到火箭技术、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，共有二万家企业参与，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。
- 飞行中控制误差精度达到极高程度（时间上比原计划相差一分钟）。

- 战略核武器杀伤力模型

- 美国和苏联从六十年代起就展开了激烈的核武器竞争。六十年代初期，苏联主张武器往大型化方向发展，其理由是武器的威力越大，杀伤力越强。但美国有人认为：虽然武器的威力越大，杀伤力越强，但武器的不只全取决威力，还与准确度有关，如果武器的威力大而低，其杀伤力未必就大。反之，虽然威力小但准确度高，杀伤力也可能大。
- 杀伤力**K**不仅与威力**Y**有关，而且与精度**C**有关。经过大量的模拟试验，将有关数据经过处理和分析，利用蒙特卡洛拟合而得**K**、**Y**、**C**的函数关系：

$$K=Y^{2/3}/C^2$$

- 由这个模型，容易得当 **$Y^*=8Y$** 时， **$K^*=4K$** ，即威力提高**8**倍，杀伤力仅提高**4**倍。当 **$C^*=C/8$** 时， **$K^*=64K$** ，即精度提高**8**倍，杀伤力可以提高**64**倍。
- 这说明提高精度合理，因而美国走提高武器精度的道路。

 返回

- 海湾战争中的作战模拟（1990年8月）
 - 《**The Commanders**》一书描述了美国最高当局如何策划入侵巴拿马和如何策划海湾战争，书中透露美国国防部长切尼在海湾战争准备阶段曾因拿不准美国在这场战争付出多大代价和费用而困扰。在海湾战争爆发前，美国采用**CEM**“作战方案评价模型”和相关的支持模型制订战争计划。
 - **CEM**由美国研究分析公司（**RAC**）与陆军概念分析局在1980年合作开发，应用于北大西洋公约组织与华沙条约集团之间的战区级战役仿真。**CEM**的特征：全自主运行，确定型，装甲旅级战斗分辨率。过程由战区司令官决策控制，新一轮仿真准备时间为数月，在**CRAYII**巨型计算机上运行一次仿真时间不超过**2**小时。1990年8月，美国陆军概念分析局用**CEM**为“沙漠盾牌”行动提供分析支持，包括战略步骤，部队、人力、弹药需求，以及评估防空与战区导弹防御和联军的潜力。

- 从**1990年8**月中旬到地面战争结束，**CEM**共运行了**500**个回合。
- 美军投入“沙漠盾牌”和“沙漠风暴”行动应用另一计算机仿真模型为**C3I SIM**模型，它为美军空中行动提供头**24**小时的损耗分析。
- **1991年12月9日-11日**，在美国海军分析中心支持了美国军事运筹学会“分析海湾战争教训的研讨会”。美国军事运筹学会主席**Vernon M.Bettencourt.JR**指出：海湾战争的遗产，将继续对国防系统分析和美国军事运筹学会的活动产生影响。国防系统分析模型如何表达直接影响战斗力的电子战、战场探测器、情报汇集以及通信、指挥和控制，仍然是薄弱环节；人的因素的影响，如士气、突击、领导能力和疲劳，也有待更好的表达。

- 美国作战模拟的发展
 - 国防系统分析方法包括：
 - 实验与试验
 - 实验室实验和靶场试验
 - 计算机仿真
 - 由计算机导演推演的分析过程
 - 对抗模拟
 - 由对抗局势中的局中人一系列的决策活动表达的对抗态势推演过程，决策后果由某种形式的判定过程来评价
 - 解析模型
 - 利用解析算法，对系统的物理的和作战的性能进行解析计算
 - 判定模型
 - 规范应用专家见解、经验判断的定量分析模型

– SIMNET:

- 由真实装备和计算机仿真组成的人工合成战场环境，将用电子手段把分散在不同地点的新武器系统、新技术开发者，同试验者、用户联系在一起，他们能有效地进行交互作用。
- 美国国防部高级研究规划局和美国陆军的 **SIMulator NETwork(SIMNET)**，通过广域网，将分布在全球的美军仿真器联结在一起，每一个仿真器拥有自己的图形地形数据库。**SIMNET**的特征是：分布式交互作用的“虚拟”仿真 (**V irtual Simulation**) 它可以使成千上万的人进入到一种计算机产生的“灵境”电子战场，为武器装备研制、作战实验和训练提供十分有价值又十分廉价的实验手段。
- 美国陆军军官在海湾战争前夕使用过**SIMNET**。美国陆军对海湾战争中代号“东**73**线战斗” (**73Easting Battle**) 及其在**SIMNET**中的表达进行过一次回顾考察。**SIMNET**“灵境”电子战场，再创了“东**73**线战斗”的高保真仿真，使士兵、司令官和分析人员在不改变事件的情况下把自己加入到战斗仿真中去，通过与仿真器或工作站的交互作用，来控制战斗结果。

– WAL (Warfare Analysis Laboratory) “作战分析实验室”

- 80年代初，美国霍普金斯大学应用物理研究所设计，为美国海军分析未来10-20年航空母舰作战的发展需求提供了一种讨论式对抗模拟 (Seminar Gaming)，1988年已有比较规范的结构，开始用于美国海军学院和海军各研究发展中心。
- 技术对抗模拟 (Technogy Gaming)
 - 应用于分析武器装备科学技术发展问题的讨论式对抗模拟，通常用来识别那些对未来军事行动与能力有重要影响的新技术发展苗头，并且研究如何制订研究和发展的投资战略，以便把这些苗头变成现实。
 - 1988年3月28日～30日，美国陆军在密西西比州威克斯堡进行了一次技术对抗模拟。技术对抗模拟过程应用了战略分析仿真 (Strategic Analysis Simulation) 和战区分析模型 (Theater Analysis Model, TAM)。

- 政治军事对抗模拟 (Political Military Gaming)

- 也称为 **高层次对抗模拟 (Highlevel Wargaming)**，国家之间政治军事冲突问题。模拟方式：代表各个指定国家政府领导人的局中人小组一起讨论危机形势，确定各个国家之间的利益和目标，考虑各种政策的选择，代表其政府做出决策。
- 例如，在计算机上用 一个战斗模型对“国家领导人”做出的决策及其采取的军事行动的后果进行快速评估。然后将计算机评估的结果再反馈给“国家领导人”作为下一轮决策的基础。随着人工智能的发展，计算机在政治军事对抗模拟中的作用将会增大。各个平行的局中人小组就可以同一个由计算机创作的“敌人”斗智。美国国防大学“对抗模拟中心”进行过一种名为“稳妥迈进”的政治军事对抗模拟。**391**名军官分成几个小组，在假设的一种世界态势中被指定扮演不同角色。由国家军事学院和武装部队工业学院的学生组织**22**个讨论会，同时进行平行的推演。这些讨论会配对进行，配对讨论会相互介绍情况：他们采取了什么决策，以及决策背后的理由。相互之间进行评论，以相互了解对问题的理解能力和解决问题的思维能力。



— 美国空军大学在马克斯维尔空军基地发展的“战备指挥演习系统”
(CRES)

- 是一个统一的对抗模拟系统，既可以作为战术模拟来训练战场指挥官员，又具有适当的能力进行战略和国家政策对抗模拟。该系统在美国空军学院、海军学院、国防大学对抗模拟中心，经由计算机网络硬件和软件建立联系，以便进行联合对抗模拟，深入模拟与联合行动的后勤支持和有关的其他问题。

- 典型的军事系统工程的模型
 - 军事政治决策方面：
 - **SAFE**——战略空战条件下武器采购、生产规划、战略情报、兵力结构与作战等的决策。
 - **ZRAY**——对抗条件下国民生产总值、作战效果、武器发展的预测和武器系统长期发展策略。
 - 战略部队方面：
 - **AB-I**——常规战略与反弹道导弹系统分析。
 - **NEMO**——核子战。
 - **NVCWAL**——武器配置与最优化。
 - **NUFAM**——核火力计划与评估。
 - **OASTA**——战略实践分析。

— 地面部队方面：

- **CARMONETTE**系列——小兵力单位作战。
- **DIVWAG**——师级作战。
- **TATJS**——坦克战。
- **SATAN**系列——战术核武器评估。

— 空军部队方面：

- **FAIRPASS**——歼击机突防评估。
- **IWG**——拦截机作战。
- **WEAPON**——战术歼击机武器效率分析。
- **SURVIVOR**——潜艇弹道导弹攻击下空军集团的幸存性。

— 海军部队方面：

- **AP**系列——反潜战。
- **CAM**系列——抗击反潜导弹。
- **NEWS**——电子战。
- **SUBDEL**——潜艇战。

— 后勤方面：

- **ETNAM**——欧洲战场网络分析。
- **LDB**——后勤数据库。
- **MAWLOGS**——全球陆军后勤系统。
- **SPSM**——供应站系统。
- **WARF**——战时更新系统。

- 美国在国家级，各军、兵种级以至战术部队级都普遍装备了各种类型和不同功能的所谓**C3**系统，如国家军事指挥中心(**NMCC**)，北美防空司令部指挥控制系统(**NAADC**)和海军战术数据库等。

 返回

- 菲律宾的 **San Miguel 公司**（**Franciso Eizmendi Jr., President, San Miguel Corporation**）
 - 5年中，运筹学发挥了重要作用……1987年开始我们启动了一项10亿美元的扩建和现代化项目。根据这个项目，我们建立了22个生产工厂。没有运筹学，我们根本不敢启动这个项目。每年的战略规划会议上，无论哪个部门和哪个经营单位经理不管何时提出一个方案，我们总是要求运筹学小组已审核过这个方案。
 - 在完成公司的目标、实施使我们长足增长并让我们的各类股东获得满意回报的策略过程中，**OR**发挥了重要作用，对此我们甚感欣慰。



- **ABB**电力公司
 - **ABB**电力公司的首席执行官丹尼尔.埃尔文：管理科学（运筹学）既非一个项目，也不是一些技术；它是一个过程，一种思考和管理的方式。

- 美国航空公司

- 美国航空公司**1982**年雇佣了**8**名运筹学方面的员工，但到**1993**年却增加到**400**人。
- 美国航空公司的招聘广告(运筹学咨询专家，项目领导者与管理):
 - 基于过去的成就，美国航空公司的运筹学部门正在以每年**40**人的速度增长。作为世界上“最频繁的飞行者”，美国航空公司比其他竞争者每天提供更多班次的航班，在这个需求旺盛的行业产生了一些最具挑战性的运筹学问题。该部门现有的**37**名专家为航空公司的所有部门提供管理咨询和决策技术……我们增加人员，正在为一些最复杂的现实问题寻找对策。业务过程重组；运输时间与路线；预测与市场营销；收益管理；运作与维修计划。我们诚聘外界相关专业的有实力的专家加入我们这个极具潜力的团体。报酬视解决问题的能力或在基础方面所作的努力而定。应聘者需具备运筹学（或统计学或工业工程）的硕士或博士学位，有专业经验的、编程能力强和交际能力强的人士优先考虑。美国航空公司为你提供丰厚的底薪、优惠的福利、慷慨的旅行优先权等，最重要的是提供一个鼓励创造杰出成就的激励环境。

- 导弹试验：评价导弹的可靠性（中国科学院系统科学研究所）
 - 评价一批产品的质量，按数理统计的方法，需要抽取样本**30~100**个作试验，显然不可能，代价太大。但是，七机部要求最多**2**次，周总理要求万无一失（即可靠性达到**0.9999**）。
 - 现在样本**N=2**，属于小样本，经过系统科学工作者研究，确定了如下方法：试验分成二个阶段，冷试验在地面进行，各个零部件分别进行试验，如发动机等。热试验分别为局部点火，全部试验，即全弹上天。远程导弹为了检验效益，发射一颗不够，向太平洋发射二颗，化了三~四亿人民币。
 - 目标：在太平洋特定区域按合格与不合格划分成内框与外框。
 - 方法：当第一发在内框之内，这批导弹合格。当第一发在外框之外，这批导弹不合格。只有当第一发在内框之外，在外框之内，再发射第二发。
 - 这样，经过检验，平均只要发**1.2**发，就足够提高精度，减少了**0.8**发。



- 典型的例子有：
 - 大威力远程导弹与各种常规武器的射击效果与样式。
 - 电子战、坦克战、反坦克战；航空兵突击与作战出动；师、团级攻防作战；防空体系；
 - 潜艇战、海空军联合作战；反潜战；后勤物资管理信息系统。

- **2000年装甲兵武器装备发展战略（装甲兵工程学院1987年）**
 - 提出以主战坦克为基础并与步兵战车（输送车）、自行火炮、自行高炮、导弹发射车、通信指挥车、侦察车以及战斗保障车与后勤保障技术等车辆，以整体效能最优化与作战使用最佳化为目标合成的复杂系统。
 - **重点发展**
 - 精确制导技术使多种弹头（包括导弹与身管炮、火箭炮、迫击炮发射）具有高精度自动寻找目标的能力并且专攻坦克薄弱的顶装甲，对集群坦克实行“远、中、近”不同距离的打击。
 - 反坦克地雷向智能化发展，能自动攻击坦克薄弱的底装甲，有的还可以跳取攻击坦克顶装甲，大量反坦克地雷可以用常规兵器弹射，并以梯次机动布地雷方式对集群坦克实行打击。
 - 超底空反坦克直升机，避开防空火力，从远距离上以反坦克导弹攻击坦克。
 - 新型电子化C³I（情报、通信、控制、指挥）系统具有“战斗力倍增器”的功能。



- **2000年中国防空系统的系统分析（空军研究所1987年）**
 - **2000年中国防空系统分别以情报系统、指挥控制通讯系统、杀伤力武器系统进行分析。**

- 混合解析和模拟海上作战模型（海军作战自动化研究所1987年）
 - 飞机和导弹舰艇攻击敌飞机的最佳分配；
 - 描述飞机和导弹突防的兰彻斯特作战模型；
 - 飞机和导弹攻击敌舰艇的计算机模拟模型。