



河南省“十二五”普通高等教育规划教材
经河南省普通高等学校教材建设指导委员会审定

高等院校信息管理与信息系统专业系列教材

运筹学及其应用 (第2版)

肖会敏 臧振春 崔春生 编著



清华大学出版社



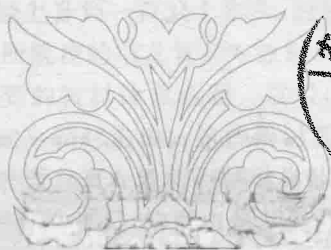


河南省“十二五”普通高等教育规划教材

高等院校信息管理与信息系统专业系列教材

运筹学及其应用 (第2版)

肖会敏 臧振春 崔春生 编著



清华大学出版社
北京



本书结合现代计算机与运筹学的发展趋势,着重介绍运筹学的基本理论及其应用。全书共 17 章,内容包括线性规划、整数规划、目标规划、动态规划、图与网络、决策分析、对策论、排队论、库存论、非线性规划等。

相比其他同类教材,本书将统筹方法单独列为一章,同时增加了用 Excel 处理运筹问题的相关内容。

本书可作为高等学校本科生教材,并适用于多学时和少学时两种教学方式,同时可作为硕士研究生及 MBA 教材。另外,对于从事经济管理的人员,作为案头书自学参考也颇有裨益。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

运筹学及其应用/肖会敏,臧振春,崔春生编著. —2 版. —北京:清华大学出版社,2017

(高等院校信息管理与信息系统专业系列教材)

ISBN 978-7-302-48439-4

I. ①运… II. ①肖… ②臧… ③崔… III. ①运筹学—高等学校—教材 IV. ①O22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 220083 号

责任编辑:汪汉友

封面设计:傅瑞学

责任校对:白蕾

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:22.5

字 数:531 千字

版 次:2013 年 9 月第 1 版

2017 年 12 月第 2 版

印 次:2017 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~1500

定 价:49.00 元

产品编号:076654-01

出版说明

20世纪三四十年代,一直摸索着前进的计算技术与刚走向成熟的电子技术结缘。这一结合,不仅孕育了新一代计算工具——电子计算机,还产生了当时谁也没有料到的巨大效应:电子计算机——这种当初为计算而开发出来的工具,很快就超出计算的范畴,成为“信息处理机”的代名词。

信息能促成管理系统的优化,促进组织创新,绩效不断上升;信息能提高计划与决策的科学性和及时性,是信息时代组织生存、发展、竞争、制胜的有力武器;信息能革新企业内部的生产力要素结构,使资源转换系统的生产率大幅度提高,并同时以不断增加的柔性适应市场需求结构和消费结构的快速变化。

随着信息技术的发展与广泛应用,人类开始能够高效率地开发并利用信息,信息资源对人类社会的作用得以有效地发挥,并逐步超过材料和能源成为人类社会的重要支柱,信息化成为一个时代的口号。与此同时,信息资源开发与管理人才越来越广受社会青睐。

信息管理与信息系统专业是一个培养信息化人才的专业,是一个培养信息资源开发与管理方面的专门人才的专业。从知识结构上看,它处在管理学、信息科学与技术及有关专业领域的交叉点上。它对技术有极高的要求,又要求对组织有深刻的理解,对行为有合理的组织,反映了科学与人本融合的特点。这种交叉与融合正是信息管理与信息系统专业最重要的特征,是别的学科或专业难以取代和涵盖的。从20世纪70年代末开始创办到90年代初,尽管国内设有该专业的院校已经上升到一百五十多所,但还没有形成很好反映自己特色的一个教材体系。1991年全国10所院校的信息管理专业的负责人在太原召开第一次研讨会,大家谈起创建一套符合专业需要的教材体系话题。以后,又经过1993年在大连、1995年在武汉,又有更多的院校参加了这一研讨之中。这些研讨活动得到了国家教委有关部门的赞许和支持。通过研讨,大家在建设具有专业特点的教材体系、改变简单照搬其他专业教材上取得了共识。1996年正式启动这个项目,协商由张基温教授担任主编,由魏晴宇教授、陈禹教授担任顾问。在清华大学出版社的大力支持下,从1997年起这套我国信息管理与信息系统专业的第一套系列教材陆续问世。迄今已经二十多年,当初规划的七八本教材已经扩展到几十本,形成了一套品种多样、影响面广的系列教材,不仅为信息管理和信息系统专业建设作出了贡献,而且也被许多计算机专业所选用。这些都是编委会全体同仁和作者、广大使用本系列教材的师生以及出版社的编辑们辛勤劳动的结果。

同时,我们也欣喜地看到,20年来,信息管理与信息系统专业也有了较大的发展,不仅其规模已经发展到五百多个点,而且随着信息化的纵深推进,随着电子商务、电子政务和企业信息化的发展,专业的教学内容也与时俱进地深化和更新,从过去的围绕信息系统分析与设计,已经延伸到信息资源的开发与管理;专业的定位也逐步明晰,即为信息化建设与管理培养人才。同时,近年来围绕提高教学质量,许多学校开展了精品课程建设和教材建设。这些都标志这个专业正在走向成熟。

成熟的专业，需要优秀教材的支持。我们重新审视并修订这套教材。在这套教材问世20周年之际，我们再一次表示一个心愿：希望与全国的同行共勉，在教材和专业建设上齐心协力，做出更大贡献。我们将在原来的基础上，重新审视，不断补充，不断修改，不断完善。对于它的任何建设性意见，都是我们非常期盼的。为此，这一套教材将具有充分的开放性：每一本教材都是一个原型，每一位有志者对它的建设性意见都将会被采纳，并享有自己的知识产权，以使它们逐步成为精品。

“高等院校信息管理专业系列教材”编委会

前 言

运筹学产生于二战时期的“布莱尔”小组,而运筹思想在中国古代早已有之,最早可以追溯到春秋战国时期。古代人们以“运筹帷幄,决胜千里”来称颂善于分析、精于判断的决策者,随着现代科学技术的不断发展和“大数据”时代的到来,人们面临的管理决策问题日趋复杂,科学的决策方法已经成为管理者、决策者必备的方法,受到社会科学和自然科学领域的共同关注。

运筹学的内容非常丰富,应用也极其广泛,因此在我国经济管理类和财经类专业中将其定位为基础课或专业基础课,并作为诸多专业的考研专业课。目前,运筹学的内容也逐渐渗透到项目管理、精算等领域,运筹学不仅是人工智能、数据挖掘等课程的先修课程,而且是管理科学与工程等专业研究生的专业核心课。

本书的编写历时多年,是作者在运筹学课程讲义基础上,吸取众家之长修改而成的。相比其他同类教材,本书将“统筹方法”单独列为一章,同时增加了用 Excel 处理运筹问题的相关内容。本书力求密切联系经济管理实际问题,着重实际应用、易教易学、通俗易懂。全部完成本书教学大约需要 128 学时,其中上机 18 学时。

本书在结构设计、内容甄选等方面得到了北京理工大学吴祈宗教授和张强教授的指导;在编写的过程中得到了河南财经政法大学苏白云、要卫丽、周晓宇、丁莉、王韧老师的支持和帮助;在出版的过程中得到了中央司法警官学院、国际关系学院、华北水电学院、河南纺织高等专科学校的大力支持。河南财经政法大学管理科学与工程专业 2011 级、2012 级研究生的部分同学参加了书稿的整理工作,在此一并表示感谢。

本书可作为高等学校本科生教材,并适用于多学时和少学时两种教学方式,同时可作为硕士研究生及 MBA 教材。另外,对于从事经济管理的人员,作为案头书自学参考也颇有裨益。

运筹学是一门新兴学科,它所涉及的理论问题和实际问题极其广泛,由于作者水平有限,经验不足,不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2017 年 10 月

目 录

| | |
|-----------------------|----|
| 第 1 章 绪论 | 1 |
| 1.1 运筹学概况 | 2 |
| 1.1.1 运筹学简史 | 2 |
| 1.1.2 运筹学的应用 | 3 |
| 1.1.3 运筹学的发展 | 4 |
| 1.2 运筹学的内容及特点 | 5 |
| 1.2.1 运筹学的分支 | 5 |
| 1.2.2 运筹学的定义及原则 | 5 |
| 1.3 运筹学的学习与应用 | 7 |
| 1.3.1 运筹学研究的工作步骤 | 7 |
| 1.3.2 运筹学建模的一般思路 | 8 |
| 1.3.3 如何学好运筹学 | 9 |
| 本章小结 | 10 |
| 习题 1 | 10 |
| 第 2 章 线性规划建模及单纯形法 | 11 |
| 2.1 线性规划问题的数学模型 | 12 |
| 2.1.1 线性规划模型的提出 | 12 |
| 2.1.2 线性规划的模型结构 | 15 |
| 2.2 两变量线性规划问题的图解法 | 15 |
| 2.3 线性规划模型标准化 | 17 |
| 2.4 标准形式解的概念 | 20 |
| 2.5 线性规划问题解的基本理论 | 22 |
| 2.5.1 基本概念 | 22 |
| 2.5.2 线性规划的基本定理 | 23 |
| 2.6 单纯形法 | 25 |
| 2.6.1 引例 | 26 |
| 2.6.2 单纯形法的基本思路 | 28 |
| 2.6.3 单纯形表 | 29 |
| 2.6.4 由一个可行基求最优解的方法步骤 | 32 |
| 2.6.5 求初始可行基的方法(两阶段法) | 40 |
| 2.7 线性规划应用 | 46 |
| 2.7.1 线性规划建模 | 46 |
| 2.7.2 线性规划建模举例 | 47 |

| | |
|-------------------------------|-----------|
| 本章小结 | 54 |
| 习题 2 | 54 |
| 第 3 章 对偶理论与灵敏度分析 | 58 |
| 3.1 线性规划的对偶问题 | 58 |
| 3.1.1 对偶问题的提出 | 59 |
| 3.1.2 对偶规划的形式 | 60 |
| 3.1.3 对偶问题的基本理论 | 63 |
| 3.1.4 影子价格 | 66 |
| 3.2 对偶单纯形法 | 68 |
| 3.2.1 对偶单纯形法的基本思想 | 68 |
| 3.2.2 对偶单纯形法主要步骤 | 69 |
| 3.2.3 对偶单纯形法的适用范围 | 70 |
| 3.3 灵敏度分析 | 71 |
| 3.3.1 目标函数系数的变化 | 72 |
| 3.3.2 右端常数的变化 | 73 |
| 3.3.3 约束条件中的系数变化 | 74 |
| 3.3.4 增加新产品引起的变化分析 | 75 |
| 3.3.5 增加一个约束条件 | 75 |
| 本章小结 | 77 |
| 习题 3 | 77 |
| 第 4 章 运输问题 | 80 |
| 4.1 运输问题模型及有关概念 | 80 |
| 4.1.1 运输问题的数学模型 | 81 |
| 4.1.2 运输问题的求解思路 | 82 |
| 4.2 运输问题求解 | 83 |
| 4.2.1 初始基本可行解的确定 | 83 |
| 4.2.2 基本可行解的最优性检验 | 85 |
| 4.2.3 方案的调整 | 87 |
| 4.2.4 产销不平衡问题的处理 | 88 |
| 4.3 运输问题的应用 | 89 |
| 本章小结 | 94 |
| 习题 4 | 94 |
| 第 5 章 整数规划 | 99 |
| 5.1 整数规划问题的提出 | 100 |
| 5.1.1 问题特征 | 100 |
| 5.1.2 整数规划建模中常用的处理方法 | 100 |
| 5.2 分支定界法 | 103 |
| 5.3 割平面法 | 107 |

| | | |
|--------------|-------------------|------------|
| 5.4 | 0—1 规划及隐枚举法 | 111 |
| 5.5 | 指派问题 | 113 |
| 5.5.1 | 指派问题的数学模型 | 113 |
| 5.5.2 | 匈牙利法 | 115 |
| 5.5.3 | 一般情况的处理 | 118 |
| | 本章小结 | 121 |
| | 习题 5 | 122 |
| 第 6 章 | 目标规划 | 125 |
| 6.1 | 目标规划的数学模型 | 125 |
| 6.1.1 | 目标规划问题的提出 | 125 |
| 6.1.2 | 目标规划模型的基本概念 | 126 |
| 6.1.3 | 目标规划模型的一般形式 | 128 |
| 6.2 | 目标规划的图解法 | 129 |
| 6.3 | 目标规划的单纯形法 | 132 |
| | 本章小结 | 136 |
| | 习题 6 | 137 |
| 第 7 章 | 动态规划 | 139 |
| 7.1 | 多阶段决策过程的最优化 | 140 |
| 7.1.1 | 多阶段决策问题 | 140 |
| 7.1.2 | 多阶段决策问题举例 | 141 |
| 7.1.3 | 动态规划求解的多阶段决策问题的特点 | 142 |
| 7.1.4 | 动态规划方法导引 | 142 |
| 7.2 | 动态规划的基本概念和求解思路 | 144 |
| 7.2.1 | 动态规划的基本概念 | 144 |
| 7.2.2 | 动态规划的最优化原理与基本方程 | 147 |
| 7.2.3 | 动态规划方法的基本步骤 | 148 |
| 7.2.4 | 动态规划求解方法的学习建议 | 150 |
| 7.3 | 离散型动态规划问题 | 150 |
| 7.3.1 | 求解最短路径问题的标号法 | 150 |
| 7.3.2 | 离散型动态规划求解方法 | 152 |
| 7.4 | 连续型动态规划问题 | 156 |
| 7.4.1 | 静态连续变量的优化问题 | 157 |
| 7.4.2 | 机器负荷分配问题 | 159 |
| 7.5 | 动态规划方法应用举例 | 163 |
| 7.5.1 | 背包问题 | 163 |
| 7.5.2 | 生产与存储问题 | 165 |
| 7.5.3 | 限期采购问题(随机型) | 168 |
| | 本章小结 | 170 |

| | |
|---------------------------|------------|
| 习题 7 | 170 |
| 第 8 章 图与网络分析 | 175 |
| 8.1 图的基本概念与基本定理 | 176 |
| 8.2 树和最小支撑树 | 178 |
| 8.2.1 树及其性质 | 178 |
| 8.2.2 最小支撑树问题 | 179 |
| 8.3 最短路问题 | 182 |
| 8.4 网络系统最大流问题 | 184 |
| 8.4.1 基本概念 | 184 |
| 8.4.2 标号法 | 186 |
| 8.5 最小费用最大流问题 | 188 |
| 8.6 中国邮递员问题 | 192 |
| 8.6.1 一笔画问题 | 193 |
| 8.6.2 邮路问题 | 193 |
| 本章小结 | 195 |
| 习题 8 | 195 |
| 第 9 章 统筹方法 | 197 |
| 9.1 统筹方法简介 | 197 |
| 9.2 工程网络图的绘制 | 198 |
| 9.2.1 基本概念 | 199 |
| 9.2.2 工程网络图的构成规则 | 199 |
| 9.2.3 工程网络图的特点 | 200 |
| 9.2.4 前导图及时标图 | 201 |
| 9.3 工程网络图的时间参数 | 202 |
| 9.3.1 工期的确定 | 202 |
| 9.3.2 开工时间和完工时间 | 203 |
| 9.3.3 机动时间 | 204 |
| 9.4 关键路线及资源的调配 | 205 |
| 9.4.1 关键路线 | 205 |
| 9.4.2 资源的调整 | 206 |
| 本章小结 | 207 |
| 习题 9 | 207 |
| 第 10 章 决策分析 | 209 |
| 10.1 决策的程序和分类 | 209 |
| 10.1.1 决策分析的程序 | 210 |
| 10.1.2 决策问题的分类 | 210 |
| 10.2 确定型决策问题 | 211 |
| 10.3 不确定型决策问题 | 211 |

| | | |
|-------------------|----------------|-----|
| 10.3.1 | 乐观准则 | 211 |
| 10.3.2 | 悲观准则 | 212 |
| 10.3.3 | 折中准则 | 213 |
| 10.3.4 | 等可能准则 | 214 |
| 10.3.5 | 悔值准则 | 214 |
| 10.4 | 风险型决策问题 | 215 |
| 10.4.1 | 最大期望值准则 | 215 |
| 10.4.2 | 最大可能准则 | 216 |
| 10.4.3 | 决策树 | 217 |
| 10.5 | 灵敏度分析 | 221 |
| 10.5.1 | 灵敏度分析的意义 | 221 |
| 10.5.2 | 转折概率 | 221 |
| 10.6 | 效用理论在决策中的应用 | 222 |
| 10.6.1 | 效用与效用曲线 | 222 |
| 10.6.2 | 效用曲线的做法 | 223 |
| 10.6.3 | 效用值决策法 | 224 |
| | 本章小结 | 225 |
| | 习题 10 | 226 |
| 第 11 章 对策论 | | 228 |
| 11.1 | 对策论的基本概念 | 228 |
| 11.2 | 矩阵对策及其最优纯策略 | 230 |
| 11.3 | 矩阵对策的混合策略 | 233 |
| 11.4 | 矩阵对策的一般解法 | 236 |
| | 本章小结 | 240 |
| | 习题 11 | 241 |
| 第 12 章 排队论 | | 242 |
| 12.1 | 引言 | 243 |
| 12.1.1 | 排队系统的组成和特征 | 244 |
| 12.1.2 | 排队论的符号表示 | 245 |
| 12.1.3 | 排队系统的主要数量指标和记号 | 245 |
| 12.1.4 | 排队论研究的基本问题 | 247 |
| 12.2 | 生灭过程和泊松过程 | 247 |
| 12.2.1 | 生灭过程简介 | 247 |
| 12.2.2 | 泊松过程和负指数分布 | 249 |
| 12.3 | M/M/1 等待制排队模型 | 250 |
| 12.3.1 | 队长的分布 | 250 |
| 12.3.2 | 几个主要数量指标 | 250 |
| 12.3.3 | 忙期和闲期 | 251 |

| | | |
|-----------------------|---------------------------|-----|
| 12.4 | 多服务台 $M/M/s/\infty$ 模型 | 254 |
| 12.5 | $M/M/s/k$ 混合制模型 | 260 |
| 12.5.1 | 单服务台混合制模型 | 260 |
| 12.5.2 | 多服务台混合制模型 | 263 |
| 12.6 | 排队系统的优化 | 267 |
| 12.6.1 | $M/M/1$ 模型中的最优服务率 μ | 267 |
| 12.6.2 | $M/M/s$ 模型中的最优的服务台数 s^* | 270 |
| | 本章小结 | 271 |
| | 习题 12 | 272 |
| 第 13 章 库存论 | | 274 |
| 13.1 | 库存论中的基本概念 | 274 |
| 13.1.1 | 库存系统的若干因素 | 274 |
| 13.1.2 | 与库存有关的基本费用项目 | 275 |
| 13.1.3 | 库存策略及库存模型 | 276 |
| 13.2 | 确定性库存模型 | 276 |
| 13.3 | 随机性库存模型 | 285 |
| | 本章小结 | 290 |
| | 习题 13 | 290 |
| 第 14 章 非线性规划 | | 292 |
| 14.1 | 非线性规划中的基本概念 | 292 |
| 14.1.1 | 非线性规划的案例 | 293 |
| 14.1.2 | 非线性规划的标准形式 | 293 |
| 14.1.3 | 非线性规划的图示 | 294 |
| 14.1.4 | 凸函数与凹函数 | 294 |
| 14.1.5 | 凸规划 | 295 |
| 14.2 | 一维搜索 | 295 |
| 14.2.1 | 斐波那契法 | 296 |
| 14.2.2 | 黄金分割法(0.618 法) | 298 |
| 14.3 | 无约束极值问题 | 299 |
| 14.3.1 | 梯度法 | 299 |
| 14.3.2 | 变尺度法 | 301 |
| 14.4 | 库恩—塔克条件 | 304 |
| | 本章小结 | 305 |
| | 习题 14 | 306 |
| 第 15 章 多目标决策规划 | | 307 |
| 15.1 | 多目标规划的解集和像集 | 307 |
| 15.1.1 | 解集 | 308 |
| 15.1.2 | 像集 | 309 |

| | |
|-------------------------------|------------|
| 15.2 分层序列法 | 311 |
| 15.3 ϵ -约束法 | 313 |
| 15.4 加权法 | 315 |
| 本章小结 | 316 |
| 习题 15 | 317 |
| 第 16 章 用 Excel 求解运筹学问题 | 318 |
| 16.1 线性规划问题的 Excel 求解 | 318 |
| 16.1.1 建立线性规划问题的电子表格模型 | 318 |
| 16.1.2 用 Excel 规划求解工具求解线性规划模型 | 320 |
| 16.1.3 用 Excel 方法分析案例 | 325 |
| 16.2 目标规划问题的 Excel 求解 | 329 |
| 16.3 网络优化的 Excel 求解 | 331 |
| 习题 16 | 342 |
| 参考文献 | 344 |

案例

某工厂生产甲、乙两种产品，生产甲产品需要 A、B 两种材料，生产乙产品需要 B、C 两种材料。工厂现有 A 材料 100 吨，B 材料 200 吨，C 材料 150 吨。甲产品每件需要 A 材料 2 吨，B 材料 1 吨；乙产品每件需要 B 材料 1 吨，C 材料 1 吨。甲产品每件利润为 300 元，乙产品每件利润为 200 元。问该厂应如何安排生产，才能使总利润最大？

表 1-1 案例数据

| 材料 | 甲产品 (吨) | 乙产品 (吨) | 现有量 (吨) |
|----|---------|---------|---------|
| A | 2 | 0 | 100 |
| B | 1 | 1 | 200 |
| C | 0 | 1 | 150 |

解：设甲产品生产 x_1 件，乙产品生产 x_2 件。根据题意，可列出线性规划模型如下：

$$\max Z = 300x_1 + 200x_2$$

$$\begin{cases} 2x_1 \leq 100 \\ x_1 + x_2 \leq 200 \\ x_2 \leq 150 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

在 Excel 中，将上述模型输入到工作簿中，如图 1-1 所示。其中，A1:A3 为材料名称，B1:C1 为甲产品材料消耗量，D1:E1 为乙产品材料消耗量，F1 为现有量。B2:C2 为甲产品利润，D2:E2 为乙产品利润。

在 Excel 中，选择“数据”菜单下的“规划求解”命令，打开“规划求解”对话框，如图 1-2 所示。在“目标单元格”中输入“\$B\$2”，在“可变单元格”中输入“\$B\$1:\$C\$1”，在“约束”列表框中添加以下约束条件：

$$B1:C1 \leq F1$$

第1章 绪 论

本章内容要点

- 运筹学简史;
- 运筹学的性质、特点、应用及其发展前景;
- 课程学习建议。

本章核心概念

- 运筹学(operations research);
- 运筹学定义(definitions of operations research);
- 运筹学的分支(components of operations research);
- 运筹学工作步骤(phases of an operations research project);
- 建模思路(construction of mathematical mode)。

■ 案例

1. 某工厂拥有 A、B、C 3 类设备,生产甲、乙两种产品。每件产品在生产中需要占用设备的台时数,每件产品可以获得的利润,以及 3 类设备可利用的工时如表 1-1 所示。

表 1-1 案例数据

| | | 产 品 | | 设备能力/小时 |
|----------------------|---|------|------|---------|
| | | 甲 | 乙 | |
| 设备 | A | 3 | 2 | 65 |
| | B | 2 | 1 | 40 |
| | C | 0 | 3 | 75 |
| 利润/元·件 ⁻¹ | | 1500 | 2500 | — |

考虑一下,工厂应如何安排生产才能获得最大的总利润?

进一步考虑,如果产品的销售情况不容乐观,那么工厂决策者会考虑不安排生产,而准备将所有设备出租,收取租赁费。这时,需要了解每种设备的台时费用情况,从而确定出租设备的每台时报价。

2. 某奶牛站希望通过投资来扩大牛群数,开始只有 5000 元资金。现已知可购入 A 或 B 两种奶牛,对 A 每投入 1000 元,当年及以后每年可获得 500 元收益和 2 头小牛;对 B 每投入 1000 元,今后可获 200 元收益和 3 头小牛。如何规划可使 4 年后牛的总数最多?

3. 某重要设施是由三道防线组成的防空系统。第一道防线上配备两件武器;第二道防线上配备三件武器;第三道防线上配备一件武器,所有的武器类型一样。武器对来犯敌人的射击时间服从 $\mu=1$ (架/分钟)的指数分布,敌机来犯服从 $\lambda=2$ (架/分钟)的泊松流。试估计

该防空系统的有效率。

4. 某食品批发部为附近 200 家食品零售店提供某品牌方便面的货源。为了满足顾客的需求,批发部几乎每月进一次货并存入仓库,当发现货物快售完时,及时调整进货。如此每年需花费在存储和订货的费用约 37 000 元。负责人考虑如何使这笔费用下降,达到最好的运营效果?

1.1 运筹学概况

运筹学是一门基础性的应用学科,主要是将社会实践中经济、军事、生产、管理、组织等事件中出现的具有普遍性的问题加以提炼,然后利用科学方法进行分析、求解等工作,一方面提供模型,一方面提供理论和方法。运筹学主要研究系统最优化的问题,通过对建立的模型求解,为决策者进行决策提供科学依据。

随着科学技术和生产的发展,运筹学已渗透到很多领域,发挥了越来越重要的作用。运筹学是软科学中“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基础理论、方法、手段和工具。

1.1.1 运筹学简史

运筹学(operations research, OR),按照原意应译为运作研究或作战研究。现代运筹学的起源可以追溯到 20 世纪初。运筹学的活动普遍认为是从第二次世界大战初期的军事任务开始的,当时迫切需把各项稀少的资源以有效的方式分配给各种不同的军事项目及在每一项目内的各项活动,所以美国及随后美国的军事管理当局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,运筹学被用来成功地解决了许多重要作战问题,显示了科学的巨大威力,为后来运筹学的发展铺平了道路。

1940 年 8 月,挪威的诺贝尔物理学奖获得者布莱尔带领 11 名人员,成立了第一个运筹学小组,其中除一名军官外,其余都是自然科学家(包括两名数学家、两名理论物理学家、一名测量员、一名天体物理学家、三名生理学家)。他们运用自然科学方法,评估战斗效能,提出战术建议。较为著名的事例有通过舰载炸弹、飞机投射炸弹试验研究,将深水炸弹的爆炸深度从 35 英尺^①加深到 70 英尺,使德军潜艇被炸沉数成倍增加。再如,雷达系统有效防空问题,研究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等;护航舰队保护商船队的编队问题,研究当船队遭受德国军队攻击时如何使船队减少损失等。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,以兰德(Land)公司为首的一些机构开始着重研究战略性问题。例如,为美国空军评价各种轰炸机系统,讨论未来的武器系统和未来战争的战略等;研究前苏联的军事能力及未来的预报等。总地来说,在这段时间里运筹学的研究与应用范围主要集中在与战争相关的战略、战术方面。随着世界性战争的结束,各国的经济建设迅速发展,世界范围内的激烈竞争也体现在经

^① 英尺(ft),长度单位,1ft=0.3048m。

济、技术方面,运筹学的研究发展也向这些方面拓展。为了适应时代的要求,运筹学无论从理论上还是应用上都得到了快速的发展。在应用方面,当今的运筹学已经涉及服务、管理、规划、决策、组织、生产、建设等诸多方面,甚至可以说,很难找出它不涉及的领域。在理论方面,由于运筹学的需要和刺激而发展起来的数学规划、应用概率与统计、应用组合数学、对策论、数理经济学、系统科学等数学分支都得到迅速发展。

为了加强运筹学的研究与应用,国内外成立了许多学术性的组织。最早建立运筹学会的国家是英国(1948年),接着是美国(1952年)、法国(1956年)、日本和印度(1957年)等,到2004年,国际上已有77个国家和地区建立了运筹学会或类似的组织,中国运筹学会成立于1980年。1959年,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1976年,亚太运筹学协会(APORS)成立于1985年。

事实上,运筹学的思想出现得很早。在我国汉朝时,汉高祖刘邦称赞张良用了“运筹于帷幄之中,决胜于千里之外”的话,人们取其义把它译为“运筹学”。在我国历史上,军事和科学技术方面对运筹思想的运用举世闻名,如公元前6世纪春秋时期著名的《孙子兵法》中处处体现了军事运筹的思想;战国时期“田忌齐王赛马”的故事是对策论的典型范例;刘邦、项羽在楚汉相争过程中,依靠张良等谋士的计谋,上演了一幕又一幕体现运筹思想的战例;三国时期的战争中更可以举出很多运用运筹思想取得胜利的例子。除军事方面,在我国古代农业、运输、工程技术等方面也有大量体现运筹思想的实例,例如北魏时期科学家贾思勰的《齐民要术》一书就是一部体现运筹思想合理策划农事的宝贵文献;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》的作者沈括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。

20世纪50年代中期,我国著名的科学家钱学森、许国志等将运筹学从西方引入我国,并结合我国的特点在国内推广应用。经过几十年的努力,运筹学在我国有了很大的发展,确立了它在经济建设中的地位。但是,运筹学在我国的发展状况与世界其他国家相比,尚有不小的差距,其中最主要的是认识与基础的问题。

随着科学技术的发展,特别是信息社会的到来,运筹学的内涵不断扩大,所涉及的数学等其他基础科学的知识越来越多,于是熟练掌握并运用这门学科有效解决实际问题的难度也逐渐加大。根据运筹学发展,数学、计算机科学及其他新兴学科的最新知识、技术都能很快融合到其中,特别是人的直接参与决策,使得运筹学发展更进入一个崭新阶段。

1.1.2 运筹学的应用

运筹学早期的应用主要在军事领域,二次大战后运筹学的应用转向民用。经过几十年的发展,运筹学的应用已经深入到社会、政治、经济、军事、科学、技术等各个领域,发挥了巨大作用。这里选择几个管理方面的应用给予简单介绍。

(1) 生产运作。生产总体计划要求从总体确定生产、存储和劳动力的配合规划以适应波动的需求计划。运筹学的应用主要在生产作业的计划、日程表的编排、合理下料、配料问

题、物料管理等方面。

(2) 物资库存管理。这类问题涉及多种物资库存的系统组织与安排管理,确定某些设备的能力或容量,例如停车场的大小、新增发电设备的容量、电子计算机的内存量、合理的水库容量等;将库存理论与计算机的物资管理信息系统相结合,确定合理的库存方式、计算最佳的库存量等。

(3) 物资运输问题。这类问题涉及空运、水运、公路运输、铁路运输、管道运输、厂内运输,常常涉及班次和人员服务时间安排等,需要确定最小成本的运输线路、物资的调拨、运输工具的调度等。

(4) 组织人事管理。这类问题涉及人员的需求和使用方面的预测,确定人员编制、人员合理分配,建立人才评价体系、人才开发的规划、激励机制的研究等。

(5) 市场营销。这类问题涉及广告预算、媒介选择、产品定价、新产品的引入和开发、销售计划制定、市场模拟研究等。

(6) 财务管理和会计。这类问题涉及各种经济项目的预测、预算、贷款、成本分析、证券管理、现金管理等,常使用的方法有统计分析、数学规划、决策分析、盈亏点分析、价值分析等。

(7) 计算机应用和信息系统开发。这类问题涉及运筹学中的数学规划方法、网络图论、排队论、存储论、模拟与仿真方法等。

(8) 城市管理。这类问题涉及各种紧急服务系统的设计和运用、城市垃圾的清扫、搬运和处理、城市供水和污水处理系统的规划、区域规划、市区交通网络的规划与管理等。

1.1.3 运筹学的发展

运筹学经过几十年的发展,内容已相当丰富,所涉及的领域也十分广泛。以《运筹学国际文摘》收集的各国运筹学论文的内容为例,按技术分类就有五十多种。现在这门新兴学科的应用已深入到国民经济的各个领域,成为促进国民经济健康、协调发展的有效方法。

我国运筹学的应用是最早始于1957年的建筑业和纺织业。1958年开始在交通运输、工业、农业、水利建设、邮电等领域有所应用,尤其是运输方面,提出了“图上作业法”并从理论上证明了其科学性。在解决邮递员合理投递路线问题时,管梅谷教授提出了国外称为“中国邮路问题”解法。从20世纪60年代起,运筹学在我国的钢铁和石油行业得到了全面、深入的应用。从1965年起,统筹法在建筑业、大型设备维修计划、项目管理等方面的应用取得了可喜进展。20世纪70年代中期,最优化方法在工程设计领域得到广泛的重视,在光学设计、船舶设计、飞机设计、变压器设计、电子线路设计、建筑结构设计和化工设计等方面都有成果。同一时期,排队论开始应用于港口、矿山、电信和计算机设计等方面的研究,图论被用于线路布置和计算机设计、化学物品的存放等。存储论在我国应用较晚,20世纪70年代末在汽车工业和物资部门取得成功。近年来运筹学的应用已趋于研究部门计划、区域经济规划等规模的复杂问题,已与系统工程难解难分。

随着运筹学应用的深入,众多有识之士对运筹学将向哪个方向发展和如何发展的问题进行了研究。美国前运筹学会主席邦特(S. Bondar)认为,运筹学应在3个领域发展:运筹学应用、运筹科学和运筹数学,并强调发展前两者,从整体上协调发展、互促相长。目前运筹