

高等院校物流专业系列教材

# 物流运筹学

主编 王 晶 张霖霖

清华大学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书基于北京工商大学国家级特色专业、国家级一流本科建设专业——物流管理多年的教学成果,将运筹学优化知识与物流和供应链管理问题相融合,通过场景化案例呈现来展开对优化知识的学习。全书分为基础篇、应用篇、实践篇,基础篇重在运筹学知识体系与优化理论的介绍,应用篇重在典型物流与供应链场景问题的解决,实践篇重在物流与供应链企业综合案例方案设计。书中案例及习题精选北京市及全国物流设计大赛的部分案例,同时将 LINGO 软件的使用贯穿于各章节,兼具理论性和实践性。本书适合作为高等学校物流管理与工程类、交通运输类等专业的教材,也可以作为物流理论研究者、物流咨询公司、物流企业和其他企业物流部门管理人员及物流从业人员科研和实践的参考用书。

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。举报:010-62782989,beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

### 图书在版编目(CIP)数据

物流运筹学/王晶,张霖霖主编. —北京:清华大学出版社,2023.2

高等院校物流专业系列教材

ISBN 978-7-302-61305-3

I. ①物… II. ①王… ②张… III. ①物流—运筹学—高等学校—教材 IV. ①F252

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 122410 号

责任编辑:左卫霞

封面设计:常雪影

责任校对:袁芳

责任印制:宋林

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:010-83470000 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-83470410

印 装 者:三河市龙大印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:18

字 数:437千字

版 次:2023年2月第1版

印 次:2023年2月第1次印刷

定 价:66.00元

---

产品编号:091583-01

从1978年“物流”概念正式引入我国,伴随着改革开放,40多年来我国物流产业经历了从概念引进到推广应用、成长壮大、创新发展的历史过程,数字与智能化发展水平不断提升,对我国国民经济和社会发展起到了重要支撑与战略性作用。《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》(以下简称《规划建议》)正式发布,开启了我国现代化建设的新征程。《规划建议》对物流发展提出了明确的方向和任务,主要是完善综合运输大通道、综合交通枢纽和物流网络,提高农村和边境地区交通通达深度,锻造我国产业链供应链长板,打造新兴产业链,发展服务型制造业,以及加快发展现代服务业,构建现代物流体系,完善乡村物流等基础设施。

如何借助新一代信息技术整合利用各种资源、优化物流运作流程,进而赋能物流系统效率的提升是构建现代物流体系的关键。物流运筹学作为理论基础和方法论将为现代物流学科发展提供重要的理论和技术支持。

运筹学及优化理论知识与方法是物流管理与工程类专业学生必须掌握的基础方法,也是物流管理与工程类在相关专业的专业核心课程,将为物流管理与工程类的学生解决物流系统中的实际问题提供有力的定量分析工具。然而传统的运筹学教材大多更注重理论讲解,缺少运筹学知识在解决物流与供应链管理实际问题应用方面的介绍,缺少对物流与供应链管理领域的针对性分析,难以激发学生的学习兴趣。如何将运筹学优化知识与物流和供应链管理问题相融合,通过场景化案例问题呈现来展开对优化知识的学习非常有必要。

本书基于北京工商大学国家级特色专业、国家级一流本科专业——物流管理多年的教学成果,按照“两性一度”(即高阶性、创新性、挑战度)的“金课”标准重构教材知识与内容体系,围绕物流与供应链管理领域的问题展开对运筹学知识的学习,增加了运用运筹学方法解决物流与供应链管理实际问题等相关内容的介绍,注重场景化教学与计算机软件工具的应用,使物流管理专业运筹学知识的学习更有针对性,全面提升学生的实际问题解决能力与科研创新能力。书中案例以及习题精选了全国及北京市物流设计大赛的部分案例,同时将LINGO软件的使用贯穿于书中各章节。本书是一本兼具理论性和实践性的物流管理与工程类高等教育教材。

本书适合作为高等学校物流管理与工程类、交通运输类等专业的教材,也可以作为物流理论研究者、物流咨询公司、物流企业和其他企业物流部门管理人员及物流从业人员科研和实践的参考用书。

本书分为三大篇,由八章构成。第1~4章为基础篇,包括绪论、线性规划、对偶理论、整

数规划;第5~7章为应用篇,包括运输问题、配送优化问题、供应链网络优化设计;第8章为实践篇,通过往届全国大学生物流设计大赛获奖案例来阐述如何应用运筹学优化理论知识解决企业的场景化物流与供应链问题。基础篇重在运筹学知识体系与优化理论的介绍;应用篇通过典型物流与供应链场景问题导入以及LINGO软件的训练,提高学生用定量方法求解物流与供应链问题的能力,为将来从事物流与供应链领域的实际工作与科学研究提供支持;实践篇通过场景化的物流与供应链企业综合案例方案设计,全面加强学生综合案例分析与应用创新能力的培养。

本书由王晶、张霖霖担任主编,负责教材内容的选择和审定。北京理工大学博士研究生张梦玲,北京工商大学硕士研究生乔珊、张文越参加了全书的编写与校对工作。

在本书的写作过程中,编者参考了大量的国内外学者的研究成果,在此谨向这些文献的作者表示衷心的感谢。由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请广大读者批评、指正。

编 者

2022年8月

## 基 础 篇

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 物流的基本含义 .....	1
1.2 运筹学概述与发展 .....	7
1.3 运筹学在物流领域的应用 .....	11
1.4 LINGO 软件简介 .....	13
思考与练习 .....	14
<b>第 2 章 线性规划</b> .....	15
2.1 线性规划问题及数学模型 .....	15
2.2 线性规划图解法 .....	19
2.3 线性规划问题标准化 .....	22
2.4 线性规划问题解的性质 .....	25
2.5 单纯形法的原理以及方法 .....	28
2.6 LINGO 在线性规划中的应用 .....	38
思考与练习 .....	41
<b>第 3 章 对偶理论</b> .....	44
3.1 线性规划的对偶问题 .....	44
3.2 对偶问题的基本性质 .....	49
3.3 影子价格的经济解释 .....	54
3.4 对偶单纯形法 .....	56
3.5 灵敏度与参数分析 .....	59
3.6 LINGO 在对偶理论中的应用 .....	69
思考与练习 .....	73
<b>第 4 章 整数规划</b> .....	75
4.1 整数规划实例 .....	75
4.2 整数规划的解法 .....	77

4.3 0-1 整数规划 .....	89
4.4 LINGO 在整数规划中的应用 .....	93
思考与练习 .....	96

## 应用篇

<b>第 5 章 运输问题</b> .....	98
5.1 最短路程运输问题 .....	98
5.2 多个起止点的运输问题 .....	103
5.3 中转运输问题 .....	123
思考与练习 .....	128
<b>第 6 章 配送优化问题</b> .....	130
6.1 货郎担问题 .....	131
6.2 带容量约束的车辆路径问题 .....	136
思考与练习 .....	144
<b>第 7 章 供应链网络优化设计</b> .....	147
7.1 供应链网络基本结构 .....	147
7.2 供应链设施布局决策 .....	150
7.3 供应链网络优化方法 .....	154
7.4 基于 LINGO 的供应链网络优化应用举例 .....	165
思考与练习 .....	171

## 实践篇

<b>第 8 章 综合案例分析——安吉物流规划</b> .....	173
8.1 “安吉杯”第四届全国大学生物流设计大赛方案 .....	173
8.2 安吉物流零部件入场模式优化 .....	179
8.3 安吉整车物流网络再构建与干线调拨方案优化 .....	195
<b>参考文献</b> .....	218
<b>附录 LINGO11 从入门到精通</b> .....	219
附录 1 LINGO 快速入门 .....	219
附录 2 LINGO 中的集 .....	221
附录 3 模型的数据部分和初始部分 .....	225
附录 4 LINGO 函数 .....	229
附录 5 LINGO WINDOWS 命令 .....	243
附录 6 LINGO 的命令行命令 .....	260
附录 7 综合举例 .....	264

# 基础篇

• CHAPTER

第 1 章

## 绪论

长期以来,人们对物流现象习以为常。物流的概念最早起源于美国,后引入日本,中国的“物流”一词就是从日文资料引进来的外来词,源于日文资料中对“logistics”一词的翻译。虽然中国物流行业起步较晚,但是随着国民经济的飞速发展,中国物流行业一直保持较快的增长速度,物流体系不断完善,行业运行日益成熟和规范,已经成为世界物流大国。《规划建议》的正式发布,描绘出了我国现代物流发展蓝图,现代物流进入一个新的高质量发展阶段。这个阶段要求由以降成本、降费用和价格竞争向补短板、重质量、提质增效方向转变;由仅满足最基本送达的物流服务功能向提升物流服务体验的高质量服务模式转变。推动现代物流体系建设,立足国内面向世界建设完善的物流体系,支撑中国现代化建设,让中国由物流大国进入物流强国。这也是物流从大到强的历史发展阶段大变革时代。

### 1.1 物流的基本含义

#### 1.1.1 物流概念的产生和发展

人类社会有经济活动开始,就有了原始物流,但直至目前,尚无统一的物流定义。中华人民共和国国家标准《物流术语》(GB/T 18354—2021)对物流的定义是:根据实际需要,将运输、储存、装卸、搬运、包装、流通加工、配送、信息处理等基本功能实施有机结合,使物品从供应地向接收地进行实体流动的过程。美国物流管理学会把物流定义为是对货物、服务及相关信息从起源地到消费地的有效率、有效益的流动和储存进行规划、执行和控制,以满足顾客要求的过程。过程包括进向、去向、内部和外部的移动以及以环境保护为目的的物流回

收。总的来说,物流是包括运输、搬运、储存、保管、包装、装卸、流通加工和物流信息处理等基本功能的活动,它是由供应地流向接收地以满足社会需求的活动,是一种经济活动。

物流概念的发展经历了哪几个阶段呢?物流的概念最早起源于20世纪初的美国。从20世纪初到现在近一个世纪的时间内,物流概念的产生和发展经历了三个阶段。第一阶段,物流概念的孕育阶段(20世纪初至20世纪50年代)。主要有两种意见(两个提法):一是美国市场营销学者阿奇·萧(Arch W. Shaw)于1915年提出的叫作physical distribution的物流概念,是从市场分销的角度提出的。按中国人的语言习惯应该译成“分销物流”。它实际上就是指把企业的产品怎么样分送到客户手中的活动。二是美国少校琼西·贝克(Chauncey B. Baker)于1905年提出的叫作logistics的物流概念,是从军事后勤的角度提出的,主要是指物资的供应保障、运输储存等。因此可以说是市场营销学和军事后勤孕育了物流学。第二阶段,分销物流学阶段(20世纪50年代中期至80年代中期)。这一阶段的基本特征是分销物流学的概念发展占据了统治地位,并且从美国走向了全世界,得到世界各国一致公认,形成了一个比较统一的物流概念,形成和发展了物流管理学,因而也出现了物流学派、物流产业和物流领域。到20世纪80年代中期,随着物流活动进一步集成化、一体化、信息化,仅使用分销物流的概念已经不太合适,于是就进入了物流概念发展的第三个阶段。第三阶段,现代物流学阶段(20世纪80年代中期到现在)。这一时期的物流概念是指在各个专业物流全面高度发展的基础上,企业供、产、销等全范围、全方位的物流问题,无论是广度、深度以及涵盖的领域、档次,都与前两个阶段有着不可比拟的差别。它是一个适应新时期所有企业(包括军队、学校、事业单位)的集成化、信息化、一体化的物流学概念。

中国物流的发展大致经历了四个阶段。第一阶段(1949—1978年),中国物流发展的1.0时期。新中国成立之后,中国实行计划经济,所有的物资流动靠的是政府的计划分配,物流活动也只能根据各地计划,按时按量依规运作。这是中国物流最初的形态。这个时期主要的运输工具是货车、火车和货船,物流设施极度匮乏。货物的物流过程主要通过汽车、火车或者是船运输至货运站场进行简单的分拣,之后运输至仓库进行仓储,根据各地的计划需求进行运输配送。主要的仓库类型是单层仓库和敞篷,仓库内的装卸、搬运活动是通过人力和机械共同完成的,早期主要的工具是叉车、地牛等。在物流信息记录方面主要是五联单据,通过3级手工记账对物流中的商流进行记录,主要的计算工具是算盘,以及早期的计算机,之后电算化慢慢开始普及。存货场所,国有仓库居多,从事物流活动的企业,国有企业居多,全国物流的发展处于萌芽阶段。第二阶段(1978—2001年),中国物流发展的2.0时期。2.0时期的物流发展是从0到1的过程,很多关于物流的名词都是从这个时期引进或创造出来的,多层仓库和立体仓库在这个时期开始在国内运用,极大地提高了仓储能力。大量使用机械动力,大大加快了分拣效率和装卸效率,例如,电力叉车、堆垛机、传送带。互联网技术的飞速发展,带动了物流信息技术的蓬勃发展,仓储管理系统(WMS)、运输管理系统(TMS)、条码技术、GPS(全球定位系统)以及RFID(射频识别)技术等物流信息技术相继运用,促进了国内物流的快速发展。物流领域不断出现新模式,促进物流多领域发展。末端配送中心的出现,专业化的第三方物流企业的诞生,国际物流的保税仓库,供应链金融领域的仓库质押,促使物流向一个多领域综合产业转变。物流思想不断优化,精益物流(JIT)深入人心。一大批民营物流企业涌入物流市场,快递物流业态开始萌芽。1978—2001年,物流业得到了政府、社会和企业的高度重视,积极探索适合国情的发展模式。第三阶段(2001—

2012年),中国物流发展的3.0时期。信息技术的不断变革,驱动着各个行业的快速发展,特别是电子商务的发展,不断壮大民营物流企业的规模。在这种背景下,电子商务物流园区、跨境电商物流园区等新型物流园区在各地政府的扶持下遍地开花。传统的物流作业和物流设施在新形势下慢慢被淘汰,直拨作业(cross cocking)、自动化作业、电子面单、自动化立体仓库、保税园区等新的物流作业形式和设施不断衍生,进一步促进了中国物流的发展。同时,大批学校开始开设物流管理专业,物流教育处于一个井喷的状态。物流工作者也开始慢慢不再一味强调成本意识,整合和集约的思想开始从国外引进国内,供应链管理、供应链金融受到了一大批学者和企业家的热捧,开始从整个产品供给方面寻求资源的整合。从此,物流业开始受到越来越多人的关注。第四阶段(2012年至今),中国物流发展的4.0时期。中国物流发展的4.0是技术驱动时期,旧动能不足以支撑物流产业的发展,新动能逐渐替代旧动能。理念创新引领物流发展,智慧物流的提出、多式联运的熟练运用、无车承运人的合法化等创新理念逐步渗透到物流的各个环节。物流枢纽的构建,最后一公里配送的优化,无人港口(洋山、青岛、厦门)的大胆假设等设计方案不断创新。无人仓、无人车、无人机(UAV)、物流机器人、云仓等各项国际领先技术的应用,都是大数据和人工智能科技驱动的结果。强调多领域协调发展,物联网、区块链等新型技术布局整个物流链的可视化。4.0时期的物流发展是由量向质的发展,处于技术转型阶段。

如果说“降低物流成本是企业的第三利润源”,在过去还只是停留在理论上和口头上,那么,到了今天,当生产要素成本不断升高、靠规模扩充获取的利润空间逐步缩小的时候,降低物流成本才真正成为大多数企业追求利润的重要源泉。降低物流成本的同时,也要考虑社会效益。如何在调整产业结构、转变经济发展方式、实施供给侧结构性改革、降本增效等一系列新常态下的战略举措下,考虑社会使命和社会责任,国家对物流业的转型升级和内涵式发展提出了新的要求,营造了新的空间。

《规划建议》指出:“强化流通体系支撑作用,需要建设现代物流体系,加快发展冷链物流,统筹物流枢纽设施、骨干线路、区域分拨中心和末端配送节点建设,完善国家物流枢纽、骨干冷链物流基地设施条件,健全县乡村三级物流配送体系,发展高铁快运等铁路快捷货运产品,加强国际航空货运能力建设,提升国际海运竞争力。优化国际物流通道,加快形成内外联通、安全高效的物流网络。完善现代商贸流通体系,培育一批具有全球竞争力的现代流通企业,支持便利店、农贸市场等商贸流通设施改造升级,发展无接触交易服务,加强商贸流通标准化建设和绿色发展。加快建立储备充足、反应迅速、抗冲击能力强的应急物流体系。”《规划建议》涉及现代物流的部分,为现代物流的发展搭建了基本框架,并结合国民经济发展提出了现代物流发展方向,为现代物流发展确立了战略定位,强化了核心功能。

### 1.1.2 现代物流发展

现代物流(modern logistics)是指将信息、运输、仓储、库存、装卸、搬运以及包装等物流活动综合起来的一种新型的集成式管理,其任务是尽可能降低物流的总成本,为顾客提供最好的服务。

随着全球经济一体化进程的加快,企业面临着更为激烈的竞争环境,资源在全球范围内的流动和配置大大加强,世界各国更加重视物流发展对于本国经济发展、民生素质和军事实力的影响,更加重视物流的现代化,从而使现代物流呈现出一系列新的发展趋势。根据国内外物流

发展的新情况,现代物流的发展趋势可以归纳为反映快速化、功能集成化、服务系列化、作业规范化、目标系统化、手段现代化、组织网络化、经营市场化、信息电子化、管理智能化。

#### 1. 反应快速化

物流服务提供者对上游、下游的物流、配送需求的反应速度越来越快,前置时间越来越短,配送间隔越来越短,物流配送速度越来越快,商品周转次数越来越多。

#### 2. 功能集成化

现代物流着重于将物流与供应链的其他环节进行集成,包括物流渠道与商流渠道的集成、物流渠道之间的集成、物流功能的集成、物流环节与制造环节的集成等。

#### 3. 服务系列化

现代物流强调物流服务功能的恰当定位与完善化、系列化。除传统的储存、运输、包装、流通加工等服务外,现代物流服务在外延上向上扩展至市场调查与预测、采购及订单处理,向下延伸至配送、物流咨询、物流方案的选择与规划、库存控制策略建议、货款回收与结算、教育培训等增值服务;在内涵上则提高了以上服务对决策的支持作用。

#### 4. 作业规范化

现代物流强调功能、作业流程、作业动作的标准化与程式化,使复杂的作业变成简单的易于推广与考核的动作。物流自动化方便了物流信息的实时采集与追踪,提高了整个物流系统的管理和监控水平。

#### 5. 目标系统化

现代物流从系统的角度统筹规划一个公司整体的各种物流活动,处理好物流活动与商流活动及公司目标之间、物流活动与物流活动之间的关系,不求单个活动的最优化,但求整体活动的最优化。

#### 6. 手段现代化

现代物流使用先进的技术、设备与管理为销售提供服务,生产、流通、销售规模越大、范围越广,物流技术、设备及管理越现代化。计算机技术、通信技术、机电一体化技术、语音识别技术等得到普遍应用。世界上最先进的物流系统运用了GPS(全球卫星定位系统)、卫星通信、射频识别装置(RFID)、机器人,实现了自动化、机械化、无纸化和智能化。

#### 7. 组织网络化

随着生产和流通空间范围的扩大,为了保证对产品促销提供快速、全方位的物流支持,现代物流需要有完善、健全的物流网络体系,网络上点与点之间的物流活动保持系统性、一致性,这样可以保证整个物流网络有最优的库存总水平及库存分布,运输与配送快速、机动,既能铺开,又能收拢,形成快速灵活的供应渠道。分散的物流单体只有形成网络,才能满足现代生产与流通的需要。

#### 8. 经营市场化

现代物流的具体经营采用市场机制,无论是企业自己组织物流,还是委托社会化物流企业承担物流任务,都以“服务—成本”的最佳配合为总目标,谁能提供最佳的“服务—成本”组合,就找谁服务。国际上既有大量自办物流相当出色的“大而全”“小而全”的例子,也有大量利用第三方物流企业提供物流服务的例子,比较而言,物流的社会化、专业化已经占到主流,即使是非社会化、非专业化的物流组织,也都实行严格的经济核算。

### 9. 信息电子化

由于计算机信息技术的应用,现代物流过程的可见性明显增加,物流过程中库存积压、延期交货、送货不及时、库存与运输不可控等风险大大降低,从而可以加强供应商、物流商、批发商、零售商在组织物流过程中的协调和配合以及对物流过程的控制。

### 10. 管理智能化

随着科学技术的发展和应用,物流管理由手工作业到半自动化、自动化,直至智能化,这是一个渐进的发展过程。从这个意义上来说,智能化是自动化的继续和提升,因此可以说,自动化过程中包含更多的机械化成分,而智能化中包含更多的电子化成分,如集成电路、计算机硬件和软件等。

综上所述,现代物流包含了产品从“生”到“死”的整个物理性的流通全过程,与传统物流的区别主要表现在以下几个方面。

- (1) 传统物流只提供简单的位移,现代物流则提供增值服务。
- (2) 传统物流是被动服务,现代物流是主动服务。
- (3) 传统物流实行人工控制,现代物流实施信息管理。
- (4) 传统物流无统一服务标准,现代物流实施标准化服务。
- (5) 传统物流侧重点到点或线到线服务,现代物流构建全球服务网络。
- (6) 传统物流是单一环节的管理,现代物流是整体系统优化。

## 1.1.3 信息技术赋能物流产业变革

物流活动的各要素中包含着丰富的功能应用需求,各种信息技术的广泛应用,行业功能的不断完善使传统物流逐步走向全新的现代物流。信息化、数字化、智能化是现代物流产业发展的大趋势。以大数据、互联网、云计算、区块链、5G、物联网、人工智能为代表的新一代信息技术的兴起和壮大,充分赋能物流系统效率的提升,驱动物流业的变革与发展。

### 1. 信息技术创新推动物流信息化建设

目前,物流信息化建设包括两大内容:基础环境建设和物流公共信息平台建设。前者包括制定物流信息化规划和相应的法律、法规、制度、标准、规范,开展物流关键技术的研发和应用模式的探索,以及通信、网络等基础设施建设;后者是指基于计算机通信网络技术,提供物流信息、技术、设备等资源共享服务的信息平台。这两大内容的实现,离不开信息技术有力的支持。另外,物流信息可溯源性和可信性也成为近些年的关注点。区块链技术能很好地解决这个问题。区块链的迷人之处在于点对点的可靠信任,通过构建多个“中心”体系来保证信息的不可篡改与公开透明,帮助现代物流提高端到端的数据透明度,降低成本和风险,同时有效解决信息孤岛现象,打通采购、生产、物流、销售、监管环节。利用区块链技术,实现时效查询,优化作业流程,提高运作效率。

### 2. 信息技术创新提高物流业数字化水平

运用大数据和云平台等技术,建设物流信息平台,有效连接产地供给、物流配送、加工集散、销地需求等环节,通过数据链赋能物流体系各方主体,实现以需定产,逐步提高对生产端的控制力。提高信息化水平,建立覆盖物流全程的数字化交易体系、产品溯源体系和质量测控体系。优化物流业务流程,促进线上线下融合发展,提高仓储、配送等环节运行效率及安全水平;推广应用二维码、无线射频识别、集成传感等物联网感知与大数据技术,实现仓储设

施与货物的实时跟踪、网络化管理;提高各类复杂订单的出货处理能力,提升仓储运营管理水平 and 效率;利用 5G、云计算、大数据、人工智能、区块链等技术,加强货物流量、流向的预测预警,推进货物智能分仓与库存前置,提高上下游企业间的协同运作水平,优化货物运输路径,实现对配送场站、运输车辆和人员的精准调度。

### 3. 信息技术创新加强物流智慧化和共享化

“智慧+共享”物流是指将智慧化和共享化两种理念共同融入现代化物流运作系统,在降本增效等耦合机制作用下实现智慧化的物流智能技术体系和共享化的物流共享互动机制之间关联要素的相互耦合衔接,推动物流系统主要功能环节相互适应、耦合协调、相辅相成并最终达成物流运作流程高效智能化、物流资源高度共享化、物流系统功能全面转型升级的新型物流运作模式。5G 技术的显著特点就是传输速率高、端口延时短和网络容量大。其在物流领域的应用场景非常丰富,包括仓储装备、物流追踪、无人配送设备、与智能连接的融合等。5G 技术给物流的智慧化和共享化带来质的飞越,车、货、仓真正实现互联互通互动,物流的智能化和共享化将加速实现。

综上所述,信息技术创新对现代物流发展和迅速转型具有重大意义,能解决目前物流行业的痛点问题,推动现代物流体系的构建。

## 1.1.4 物流在国民经济中的地位和作用

物流业是支撑国民经济发展的基础性、战略性、先导性产业,被称为经济的血脉。物流高质量发展是经济高质量发展的重要组成部分,也是推动经济高质量发展不可或缺的重要力量。近些年,为促进物流产业发展,国家层面出台了很多项扶持政策,内容涉及物流运输方式、商贸物流、绿色物流、物流网络、服务乡村振兴、物流设施和成本控制等各个方面,推动物流行业发展进入量质齐升阶段。具体来说,物流在国民经济中的地位和作用主要包括以下几个方面。

(1) 物流是国民经济的动脉,是连接国民经济各个部分的纽带。

任何一个国家的经济,都是由众多的产业、部门和企业组成的整体,企业间既相互依赖又相互竞争,形成了极其错综复杂的关系,物流则是维系这种复杂关系的纽带。科学技术的发展和新技术革命的兴起,带来了我国国民经济发展中经济结构、产业结构、消费结构的一系列变化,物流把国民经济中众多的企业、复杂多变的产业以及成千上万种产品连接起来形成一个整体。

(2) 物流是国民经济发展中的关键环节。

当生产力发展,生产规模扩大,商品过剩时,会产生库存积压。大量的商品生产出来而不能马上进入消费领域,占用大量的流动资金,造成极大的社会资本浪费。这时如果仍然只重视生产,不重视解决流通问题,等于生产出来的产品数量越多,积压越多,浪费就越多。这时的国民经济链的转动就会慢下来,甚至会出现卡链的现象。此时如果解决流通问题,生产规模将得到极大的提高。

(3) 物流是保证商流顺畅进行、实现商品价值和使用价值的物质基础。

在商品流通中,物流是伴随着商流而产生的,但它又是商流的物质内容和物质基础。商流的目的在于变换商品的所有权(包括支配权和使用权),而物流才是商品交换过程所要解决的社会物质变换过程的具体体现。

(4) 物流技术的发展是决定商品生产规模和产业结构变化的重要因素。

商品生产的发展要求生产社会化、专业化和规范化,但是,没有物流的一定发展,这些要求是难以实现的。物流技术的发展,从根本上改变了产品的生产和消费条件,为经济的发展创造了重要的前提。而且,随着现代科学技术的发展,物流对生产发展的这种制约作用就变得越来越明显。

## 1.2 运筹学概述与发展

### 1.2.1 运筹学简介

运筹学是一门具有多学科交叉特点的边缘科学,发展初期,它主要研究经济活动和军事活动中能用数量来表达的有关规划、管理方面的问题。目前,运筹学主要研究如何将生产、运营等过程中出现的管理问题加以提炼,然后利用数学方法解决,其主要目的是为管理人员在决策时提供科学依据,是实现有效管理和正确决策的重要方法之一。

运筹学的实质在于建立和使用模型。尽管模型的具体结构和形式总是与其要解决的问题相联系,但这里我们抛弃模型在外表上的差别,从最广泛的角度抽象出它们的共性。模型在某种意义上说是客观事物的简化与抽象,是研究者经过思维抽象后用文字、图表、符号、关系式以及实体模型对客观事物的描述。不加任何假设和抽象的系统称为现实系统,作为研究对象的系统来说,总是要求我们求解一定的未知量并给出相应的结论,求解过程如图 1-1 所示。图中左侧的虚线表示了人们想要达到的最直接的目标,右侧的实线表示了这一目标的具体实现路径。

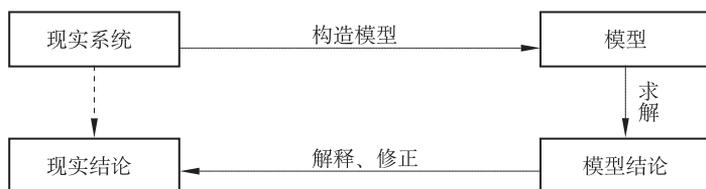


图 1-1 运筹学的工作过程

### 1.2.2 运筹学的起源

运筹学作为一门现代科学,被普遍认为是在第二次世界大战(以下简称二战)期间从英美两国发展起来的。在当时的军事任务中,各国迫切需把各种稀缺的资源以有效的方式分配给各种不同的军事行动以及每项行动中的具体活动。英美两国的军事管理部门都号召大批科学家运用科学手段来处理战略与战术问题,这些科学家小组正是最早的运筹小组。运筹小组成功地解决了很多重要的作战问题,例如,英国海军的“操作研究”(operations research, OR)小组在搜寻德军潜艇方面制定了有效的战术策略,对投掷深水炸弹的计划做了精心安排。美军在新兵分配方面采用了充分利用人力的最优方案。新几内亚海域上搜寻并炸沉日本舰只的一次实战运用了战略决策的数学理论,在有限的人力、物力的情况下,提高设备利用率的方案不断产生,它已成为战后运筹学重大进展的先声。运筹学在二战中的成功应用吸引人们开始将其应用于其他领域。

也有学者认为运筹学起源于科学管理运动。像科学管理的奠基人泰勒(Frederick

W. Taylor)和吉尔布雷斯夫妇(F. B. Gilbreths & L. M. G. Gilbreths)等人首创的时间和动作研究,以及亨利·甘特(Henry L. Gantt)发明的“甘特图”、丹麦数学家厄兰(A. K. Erlang)1917年对丹麦首都哥本哈根市电话系统排队问题的研究等,都应当被看作最早的“运筹学”。在中国古代,也产生了很多运筹学思想,可以通过以下3个例子加以说明。

### 1. 田忌赛马

田忌经常与齐国众公子赛马,设重金赌注。孙臧发现他们的马脚力差不多,马分为上、中、下三等,于是对田忌说:“您只管下大赌注,我能让您取胜。”田忌相信并答应了他,与齐王和各位公子用千金来赌注。比赛即将开始,孙臧说:“现在用您的下等马对付他们的上等马,用您的上等马对付他们的中等马,用您的中等马对付他们的下等马。”三场比赛结束后,田忌一场败而两场胜,最终赢得齐王的千金赌注。孙臧的“斗马术”是我国古代运筹思想中争取总体最优的脍炙人口的著名范例(记载于《史记·孙子吴起列传》),成为军事上一条重要的用兵规律,即要善于用局部的牺牲去换取全局的胜利,从而达到以弱制强的目的。“斗马术”的基本思想是不强求一局的得失,而争取全盘的胜利。这是一个典型的博弈问题。

### 2. 围魏救赵

公元前354年,魏将庞涓发兵8万,以突袭的办法将赵国的都城邯郸包围。赵国抵挡不住,求救于齐。齐王拜田忌为大将,孙臧为军师,发兵8万,前往救赵。大军既出,田忌欲直奔邯郸,速解赵国之围。孙臧提出应趁魏国国内兵力空虚之机,发兵直取魏都大梁(今河南开封),迫使魏军弃赵回救。这一战略思想将避免齐军长途奔袭的疲劳,而致魏军于奔波被动之中,立即被田忌采纳,率领齐军杀往魏国都城大梁。庞涓得知大梁告急的消息,忙率大军驰援大梁。齐军事先在魏军必经之路的桂陵(今河南长垣南)占据有利地形,以逸待劳,打败了魏军。这就是历史上有名的“围魏救赵”之战。“围魏救赵”之妙,妙在善于调动敌人,扼制敌人的要穴,则在“攻其所必救”。

### 3. 丁渭修皇宫

宋真宗大中祥符年间,皇宫发生过一起严重火灾,需要重建,如图1-2所示。右谏议大夫、权三司使丁渭受命负责限期重新营造皇宫。建造皇宫需要很多土,丁渭考虑到从营建工地到城外取土的地方距离太远,费工费力,于是下令将城中街道挖开取土,节省了不少工时。挖了不久,街道便成了大沟。丁渭又命人挖开官堤,引汴河水进入大沟之中,然后调来各地的竹筏、木船经这条大沟运送建造皇宫所用的各种物材,十分便利。等到皇宫营建完毕,丁渭命人将大沟中的水排尽,再将拆掉废旧皇宫以及营建新皇宫所丢弃的砖头瓦砾填入大沟中,大沟又变成了平地,重新成为街道,这样,丁渭一举三得,挖土、运送物材、处理废弃瓦砾三项工程一蹴而就,节省的工费数以亿万计。这是我国古代大规模工程施工组织方面运筹思想的典型例子。

不管是军事问题,还是工程计划和物流调度问题,应用运筹学思想去解决往往会取得意想不到的效果。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他部门,在20世纪50年代以后得到了广泛的应用。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,

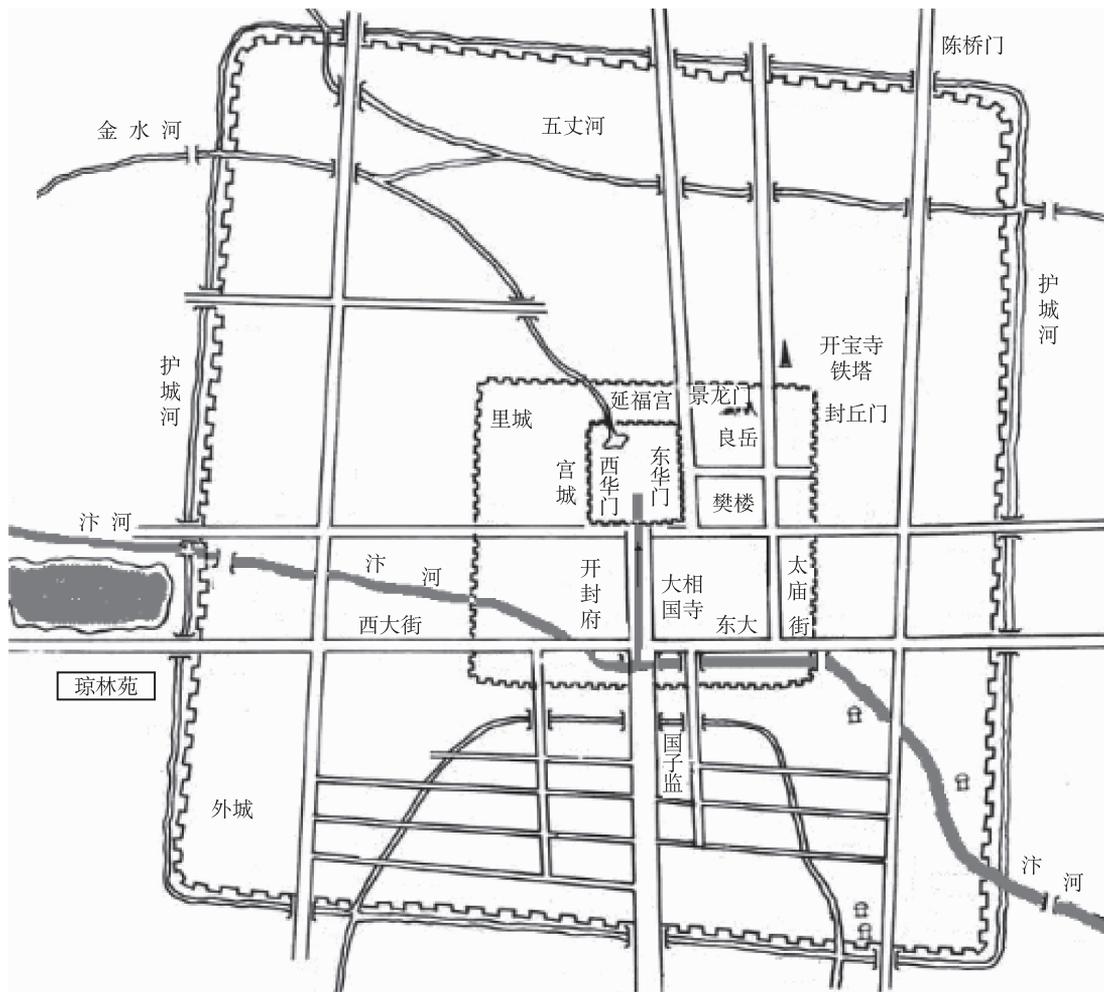


图 1-2 丁渭修皇宫图

如规划论、排队论、存贮论、决策论等,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》,世界其他国家也先后创办了运筹学会与期刊,1959年,国际运筹学会联合会(IFORS)成立。1955年,我国从“运筹帷幄之中,决胜千里之外”(《史记》)这句话摘取“运筹”二字,正式译作运筹学。我国于1980年4月成立中国运筹学会,1982年加入国际运筹学会联合会(IFORS),1992年中国运筹学会脱离数学学会成为独立的一级学会,于1999年8月组织了第15届IFORS大会。20世纪60年代以来,华罗庚、许国志等老一辈数学家致力于在中国推广运筹学,为运筹学的普及和深入开展做出了不可磨灭的贡献。

### 1.2.3 运筹学的发展

运筹学的快速发展还要归功于两个关键因素:第一个因素是二战之后,运筹学的技术得到实质性的进展,最主要的贡献之一为:1947年G. B. 丹齐克给出了线性规划的单纯形解法。其后,一系列的运筹学的标准工具,如线性规划、动态规划、排队论、库存理论都得到了完善。

第二个因素是计算机革命。由于计算机的出现,原来依靠手工计算而限制了运筹学发展的运算规模得到革命性的突破。计算机的超强计算能力大大激发了运筹学在建模和算法方面的研究;同时,大量标准的运筹学工具被制作成通用软件(如 LINGO 等),或编入企业管理软件,如 MRP II、ERP 等。计算机为非破坏性试验和系统仿真带来了强有力的手段,也促进了运筹学难解问题的算法研究,元启发式算法和人工智能算法应运而生。但运筹学在其发展的历史上并不总是一帆风顺,也曾经出现过波折。特别是在 20 世纪 70 年代,运筹学曾深深陷入数学泥沼,出现大量让人费解的算法,严格限制条件下的收敛性证明,使建模和算法远远脱离实际问题,应用,压抑了很多以实际为背景的研究,运筹学界内部也分为两派。我国运筹学界在 20 世纪 90 年代开始纠正这一现象,打出了“应用——运筹学的生命”的旗帜。运筹学和企业实践相结合取得了丰硕的成果。

#### 1.2.4 运筹学的研究对象、分支和研究方法

运筹学有着非常广阔的应用领域,它已渗透到诸如服务、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。不难看出,运筹学具有下面几个明显的特点。

(1) 运筹学已被广泛应用于工商企业、军事部门、民政事业等组织的统筹协调问题,故其应用不受行业、部门的限制。

(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,所以它也可以被看成一门优化技术,提供的是解决各类问题的优化方法。

运筹学的主要研究内容如下。

(1) 规划论。它是运筹学的一个重要分支,包括线性规划、非线性规划、整数规划、动态规划、多目标规划等。它是在满足给定的约束条件下,按一个或多个目标来寻找最优方案的数学方法。它的适用领域非常广泛,在工业、农业、商业、交通运输业、军事、经济规划和管理决策中都可以发挥作用。

(2) 网络优化。这是一类特殊的组合最优化问题。应用图论理论,通过网络的拓扑结构及其性质,对网络进行研究,并且以计算机算法寻求网络中的最短路、最大流等。网络最优化问题类型主要包括最小费用流问题、最大流问题、最短路问题、最小支撑树问题、货郎担问题和中国邮路问题等。

(3) 决策分析。它是研究为了达到预期目的,从多个可供选择的方案中如何选取最好或满意方案的学科。一般决策分为确定型决策、风险型决策和不确定型决策三类。

(4) 排队论。排队论或称随机服务系统理论,是通过服务对象到来及服务时间的统计研究,得出这些数量指标(等待时间、排队长度、忙期长短等)的统计规律,然后根据这些规律来改进服务系统的结构或重新组织被服务对象,使得服务系统既能满足服务对象的需要,又能使机构的费用最经济或某些指标最优。

(5) 对策论。对策论又称博弈论,是一种研究在竞争环境下决策者行为的数学方法。在政治、经济、军事活动中,以及日常生活中都有很多竞争或斗争性质的场合与现象。在这

种形势下,竞争双方为了取得和达到自己的利益和目的,都必须考虑对方可能采取的各种行动方案,然后选择一种对自己最有利的行动方案。对策论就是研究双方是否都有最合乎理性的行动方案,以及如何确定合理的行动方案的理论和方法。

(6) 库存论。库存论又称存储论,是研究如何确定合理的存贮量及相应的订货周期、生产批量和生产周期,保证供应且使总的费用支出保持最小值的一种数学方法。

在解决实际问题的过程中,围绕着模型的建立、修正和实施,运筹学形成了自己的基本研究方法,主要分为以下几个步骤。

(1) 收集数据并提出问题。一是要弄清问题的目标;二是要明确哪些是决策的关键因素,影响这些关键因素的资源或环境条件有哪些限制,列出问题的可控变量和有关参数。收集大量的数据用于获得对问题更充分的理解和为后续模型提供所需输入。

(2) 模型建立。模型是对实际问题的抽象概括和严格的逻辑表达,可以使问题的描述高度规范化。建立模型的过程即把问题中的可控变量、参数、目标与约束条件之间的关系用规范化的语言表示出来,是运筹学研究中的关键一步。

(3) 模型求解。主要用数学方法(也可用其他方法,如计算机程序)对模型求解。根据精度要求,解可以分为精确解和近似解;根据问题要求,解可以分为最优解、次优解和满意解。

(4) 模型修正。首先检查求解步骤和程序是否有误,然后检查模型是否正确,一般采用回溯方法,输入历史数据,检查得到的解和历史实际是否相符,并根据检查结果对模型进行修正。

(5) 解的控制。依据灵敏度分析,确定模型的解保持稳定时的参数范围,一旦超过这个范围,要对模型和解进行修正。

(6) 方案实施。方案实施要明确实施的对象、实施的时间、实施的要求,并要注意实施过程中遇到的问题和阻力,以便及时对模型和解进行修正。

以上步骤应该反复进行。

### 1.3 运筹学在物流领域的应用

运筹学与物流学作为正式的学科都始于第二次世界大战时期,从一开始,两者就密切地联系在一起,相互渗透和交叉发展,运筹学应用的案例大都是物流作业和管理。运筹学作为物流学科体系的理论基础之一,其作用是提供实现物流系统优化的技术与工具,是系统理论在物流应用方面的具体方法。运筹学在物流领域的应用就是利用简单方法对复杂物流进行优化,寻找最优的解决方案并加以实施和应用。运筹学是现代物流管理应用的核心与灵魂。它在物流领域中的应用主要有数学规划论、存储论、网络规划论、动态规划论、对策论与决策论以及排队论等。

#### 1. 数学规划论

数学规划论主要包括线性规划、非线性规划、整数规划、目标规划,研究内容与生产活动中有限资源的分配有关。在组织生产的经营管理活动中,具有极为重要的地位和作用。它们解决的问题都有一个共同特点,即在给定的条件下,按照某一衡量指标来寻找最优方案,求解约束条件下目标函数的极值(极大值或极小值)问题。具体来讲,线性规划可解决物资调运、配送和人员分派等问题;整数规划可以求解完成工作所需的人数、机器设备台数和物

流中心、仓库的选址等。

## 2. 存储论

存储论又称库存论,主要是研究物资库存策略的理论,即确定物资库存量、补货频率和一次补货量。合理的库存是生产和生活顺利进行的必要保障,可以减少资金的占用,减少费用支出和不必要的周转环节,缩短物资流通周期,加速再生产的过程等。在物流领域中的各节点(如工厂、港口、配送中心、物流中心、仓库、零售店等)都或多或少地保有库存。为了实现物流活动总成本最小或利益最大化,大多数人都运用了存储理论的相关知识,以辅助决策,并且在各种情况下都能灵活套用相应的模型求解。如常见的库存控制模型分为确定型存储模型和随机型存储模型。其中确定型存储模型又可分为几种情况:不允许缺货,一次性补货;不允许缺货,连续补货;允许缺货,一次性补货;允许缺货,连续补货。随机型存储模型也可分为一次性订货的离散型随机存储模型和一次性订货的连续型随机存储模型。常见的库存补货策略也可分为以下四种基本情况:连续检查,固定订货量,固定订货点的(Q,R)策略;连续检查,固定订货点,最大库存的(R,S)策略;周期性检查的(T,S)策略;综合库存的(T,R,S)策略。针对库存物资的特性,选用相应的库存控制模型和补货策略,制定一个包含合理存储量、合理存储时间、合理存储结构和合理存储网络的存储系统。

## 3. 网络规划论

物流网络规划是指对企业(工厂、配送中心、营销中心、第三方物流提供商)自身及物流网络内部的传统的业务功能及策略进行系统性、战略性的调整和协调,从而提高物流网络整体的长远业绩,由此保证网络相关企业能够长期稳固地互利合作。物流网络规划就是为了更加有效地进行物流活动,充分、合理地实现物流系统的各项功能,使物流网络在一定外部和内部条件下达到最优化,而对影响物流系统内部、外部要素及其之间关系进行分析、权衡,进而确定物流网络的设施数量、容量和用地等。网络优化的总目标是网络总成本的最小化,包括库存持有成本、仓储成本和运输成本,同时满足客户对反应时间的要求。物流网络的最优化通常是在满足客户反应时间要求的前提下,使分销设施数目尽可能地减少,在库存持有成本与运输成本之间达到平衡。

## 4. 动态规划论

动态规划是解决一类多阶段决策问题的优化方法,提供了分析问题的一种途径和模式。所谓多阶段决策问题,是指一类活动过程,它可按时间或空间把问题分为若干个相互联系的阶段。在每一阶段都要做出决策,这个决策不仅决定了这一阶段的效益,而且决定了下一阶段的初始状态,从而决定整个过程的走向。当每一阶段的决策确定后,就得到一个决策序列,称为策略。这类问题的目的是求一个策略,使各个阶段的效益总和达到最优。如果一个问题可将其过程分为若干个相互联系的阶段问题,且它的每一阶段都要进行决策,一般都可利用动态规划方法进行求解。动态规划可用来解决诸如最优路径、资源分配、生产调度、库存控制、设备更新等问题。

## 5. 对策论与决策论

对策论也称博弈论,对策即是在竞争环境中做出的决策;决策论即研究决策的问题,对策论可归属为决策论。它们最终都是要做出决策,决策普遍存在于人类的各种活动之中。物流中的决策就是在占有充分资料的基础上,根据物流系统的客观环境,借助于科学的数学分析、实验仿真或经验判定,在已提出的若干物流系统方案中,选择一个合理、满足方案的决

断行为。如制订投资计划、生产计划、物资调运计划,选择自建仓库或租赁公共仓库、自购车辆或租赁车辆等。

#### 6. 排队论

排队论也称随机服务理论,主要研究各种系统的排队队长、等待时间和服务等参数,解决系统服务设施和服务水平之间的平衡问题,以较低的投入求得更好的服务。排队现象在现实生活中普遍存在,物流领域中也多见,如工厂生产线上的产品等待加工,在制品、产成品排队等待出入库作业,运输场站车辆进出站的排队,客服中心顾客电话排队的服务设施数量、系统容量、顾客到达时间间隔的分布、服务时间的分布特征,可分为  $M/M/1/\infty$ 、 $M/M/1/k$ 、 $M/M/1/m$ 、 $M/M/s/k$ 、 $M/M/s/m$  几种不同情况,不同情形套用相应的模型可以求解。

$M/M/1/\infty$  表示顾客到达的时间间隔是负指数分布,服务时间是负指数分布,一个服务台,排队系统和顾客源的容量都是无限的,服务系统实行先到先服务。

$M/M/1/k$  表示顾客到达的时间间隔是负指数分布,服务时间是负指数分布,一个服务台,排队系统的容量为  $k$ ,顾客源的容量无限,服务系统实行先到先服务。

$M/M/1/m$  表示顾客到达的时间间隔是负指数分布,服务时间是负指数分布,一个服务台,排队系统的容量无限,顾客源的容量为  $m$ ,服务系统实行先到先服务。

$M/M/s/k$  表示顾客到达的时间间隔是负指数分布,服务时间是负指数分布, $s$  个服务台,排队系统的容量为  $k$ ,顾客源的容量无限,服务系统实行先到先服务。

$M/M/s/m$  表示顾客到达的时间间隔是负指数分布,服务时间是负指数分布, $s$  个服务台,排队系统的容量无限,顾客源的容量为  $m$ ,服务系统实行先到先服务。

现代物流的决策问题变得更加复杂和庞大,这种复杂性也不是简单的算术能解决的,以计算机技术为手段的运筹学理论是支撑现代物流管理的有效手段。物流业的发展离不开运筹学的理论技术支持,运筹学的应用将会使物流管理更加有效。

## 1.4 LINGO 软件简介

目前,国内教学中比较常用的运筹优化软件有 Microsoft Excel、LINGO、CPLEX 优化器、MATLAB、WinQSB 等。

LINGO 是 Linear Interactive and General Optimizer 的缩写,即“交互式的线性和通用优化求解器”,由美国 LINDO 系统公司(Lindo System Inc.)推出。它是一套用来帮助我们快速、方便和有效地构建和求解线性、非线性、整数最优化等模型的功能全面的工具。包括功能强大的建模语言,建立和编辑问题的全功能环境,读取和写入 Excel 及数据库的功能,以及一系列完全内置的求解程序。

LINGO 提供强大的语言和快速的求解引擎来阐述和求解最佳化模型。

#### 1. 简单的模型表示

LINGO 可以将线性、非线性和整数问题用公式表示,并且容易阅读、了解和修改。它的建模语言允许使用汇总和下标变量,以一种直观的方式来表达模型。模型更容易构建和理解,因此也更容易维护。

#### 2. 方便的数据输入和输出选择

LINGO 建立的模型可以直接从数据库或工作表获取资料。同样地,LINGO 可以将求

解结果直接输出到数据库或工作表。

### 3. 强大的求解器

LINGO 拥有一整套用来求解线性的、非线性的和整数优化等问题的快速的、内置的求解器。甚至不需要指定或启动特定的求解器,因为 LINGO 会读取方程式并自动选择合适的求解器。

### 4. 交互式模型或创建 Turn-key 应用程序

能够在 LINGO 内创建和求解模型,或从自己编写的应用程序中直接调用 LINGO。对于开发交互式模型,LINGO 提供了一整套建模环境来构建、求解和分析。对于构建 Turn-key 解决方案,LINGO 提供的可调用的 DLL 和 OLE 界面能够从用户自己写的程序中被调用。LINGO 也能够从 Excel 宏或数据库应用程序中被直接调用。

本书附录对 LINGO 软件进行了详细介绍。



## 思考与练习

1. 物流管理中涉及哪些数学问题?
2. 现代物流的特点有哪些?
3. 如何理解信息技术赋能物流产业变革?
4. 运筹学的研究内容包括什么?
5. 运筹学在物流管理中有哪些应用?