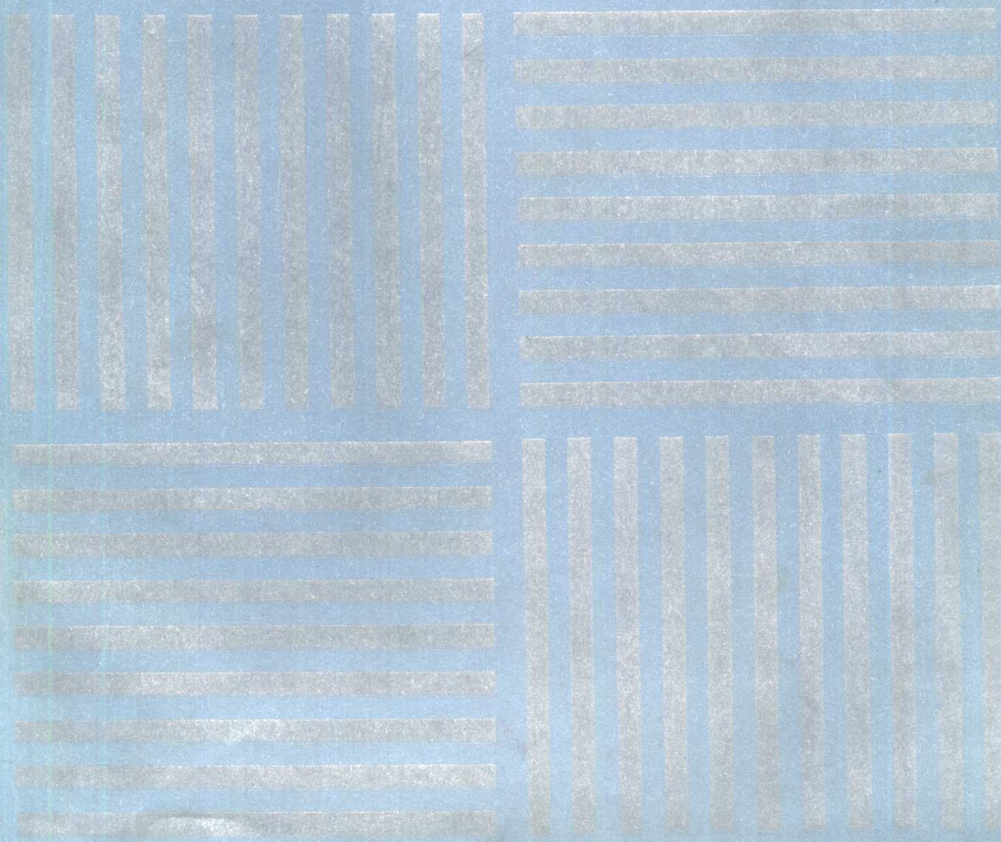


运筹学手册

(基础和基本原理)

〔美〕 J.J. 摩特 S.E. 爱尔玛拉巴 主 编

上海科学技术出版社



运 筹 学 手 册

——基础和基本原理

[美] J. J. 摩特 S. E. 爱尔玛拉巴 主编

上海科学技术出版社

Hand book of
Operations Research
—Foundations and Fundamentals—
Edited by J. J. Moder and S. E. Elmaghraby.

van Nostrand Reinhold Co., 1978

运 筹 学 手 册

【美】 J. J. 摩特 S. E. 阿尔玛拉巴 主编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

数学书店上海发行所发行

江苏扬中印刷厂印刷

开本 850×1156 1/32 印张 21.75 字数 552,000

1987 年 11 月第 1 版 1987 年 11 月第 1 次印刷

印数 1—10,000

统一书号: 13119·1356 定价: 6.15 元

译者前言

运筹学这门学科从它的出现到现在只有三十多年。由于它适应时代的要求,所以无论从理论上还是应用上,它都得到了快速的发展。在应用方面,运筹学所涉及的面包括诸如:服务,存储,订货,搜索,人口的消涨,对抗,时间表,资源分配,需求,交通量,网络流,决策,规划,管理,行政,组织,设计,议价,协商,投资,购买,市场,厂房定位,生产,可靠性,维修,更新,检修,检验,信息处理,等等。在理论方面,由于运筹学的需要和刺激而发展起来的一些数学分支:例如数学规划,应用概率,应用组合学,对策论,数理经济学,系统科学等等,各皆独树一帜,蔚为大观。我们可以说,运筹学既是促进生产的一个有力工具,又是发展数学的一个重要源泉。

自从1956年引入以来,运筹学在我国已经有了二十多年的历史。在这二十多年中,运筹学也同其它学科一样,经历了曲折的道路。但由于它本身与生产的发展有着密切的联系,因此,在当前,全国各地许多单位,包括高等院校、科研单位和生产部门,对运筹学提出了各种要求,对运筹学出版物的需要日益迫切。但是,我国的运筹学出版物是极其贫乏的。已有的出版物与目前的要求极不相称。如何组织编写、出版一些有水平的运筹学书籍以适应当前的需要,自然是学会的任务之一。但是要完成这一任务却需要一定的时间。因此我们不得不翻译一些国外较好的读物以应急需。

《运筹学手册》是第一本全面介绍运筹学的著作。通过将近五十位工作在运筹学各个领域的专家的努力,使得本书能够对运筹学的理论和应用都作出简明的、齐全的介绍。无论是初学者、实际工作者,还是专家,都可从本书获得必要的知识和指引;初学者可以将本书作为一本入门的引导;实际工作者可以从本书了解到运筹学在哪些场合能用得着,各种方法适用于哪些地方;而对于专家

来说,本书可作为他们了解他们所不熟悉的那些领域的一本参考书.我们认为,本书的翻译出版,将为我国广大的运筹学工作者提供方便和教益.

当然,手册毕竟是手册,它不能代替正规的专题论著.学会在今后设法陆续出版有关运筹学各分支的系统性的著作,以使运筹学在我国得到快速的发展.

中国数学会运筹学会

编辑出版委员会

1981年3月18日

序

运筹学(OR)作为一种有组织的活动,是1952年成立美国运筹学会时正式在美国“诞生”的,不过在这以前,这种活动已经进行了许多年,它是第二次世界大战爆发前夕在英国开始的。有趣的是,关于运筹学,那时仅有一本小册子和一本专著(1948年P. M. S. Blackett出版了小册子《Operational Research》,1952年Philip M. Morse和George E. Kimball出版了专著《Methods of Operations Research》),而以登载运筹学文章为主的科学期刊则一份也没有。此后,在几年内出现了许多运筹学的出版物,有的是运筹学会议录(1954和1957),有的是各个研究所和协会编印的小册子。例如,中西部研究所(1954)、铁路系统和程序协会(1954)、美国管理协会(1956)和全国工业会议(1957)都曾编印了小书。在同一时期中,还出现了McCloskey和Trefethen编的《Operations Research for Management(管理运筹学)》(1956)一书和另外两本书目:一本是Case技术学院运筹组编的(1956,附1957补编),一本是Riley编的(1953)。接着,在1957年出版了著名的《Operations Research》一书,这是由三位卓越的研究者(C. West Churman, Russell L. Ackoff, E. Leonard Arnoff)所编的,作者在十四人以上。它事实上代表了运筹学专家和始创者们在这一领域的最新观点。其后五年,即从1957至1962年,在运筹学方面的新贡献很少,出版的书籍亦屈指可数。

在这以后,出版物就大量地出现了。从1962年起,运筹学书籍已经达到数百种,其中有入门书,运筹学各个侧面的专门书,进展评述和文献目录,读本,等等。活动的急剧展开并不限于书籍,专业期刊成倍地增加,专业学会越来越多,最重要的是论文数量的增加速度也快了。稿件的性质从纯理论的到纯应用的都有,有

些理论文章登在高度专门的数学期刊上,一些应用文章则登在企业期刊上。目前,至少有三个运筹学文摘服务机构。

在这浩如烟海的包括务实和务虚、理论和应用、初级和高級的出版物中,看来对运筹学这个领域作出权威的、简明的、内容既全又新的综合叙述的一套手册有它一定的地位。它对于需要向本专业范围以外“眺望”一下的专家们和希望知道特定情况下的有用知识而不想深入于具体结果的理论推导的实际工作者们,都是有用的。

要介绍这一套手册,最好的办法恐怕是对比一下它是什么和不是什么。它不是教科书,因为它舍去了教科书的最特出的方面,它不把结果的推导用透彻易懂的方式来解释。它满足于讲一下前提条件和以这些前提为基础而得到的结果。另一方面,尽管这套手册确实企图涉及所有方面,但是它并不是一部“大全”,因为全面的综述必须是谨严的,并要给出详尽的进展图案和未来的研究道路。最后,这套手册也并不是目录,虽然它尽可能提供运筹学方面重要成果的详细一览表,但是它不仅列表而已,而同时把理论和实践联系起来了。

这套手册的宗旨是对于专家、实际工作者和初学者都能成为一部参考书。它分成两卷:第一卷的标题是“基础和原理”,第二卷的标题是“模型和应用”。分卷的目的是,使运筹学的理论及其他哲学上和历史上的考虑与运筹学把普通过程作成模型和应用于人类活动的某些领域中去的实践分开。

第一卷《基础和原理》是有关运筹学的基本概念和方法论方面的一本简明而确切的参考书。它分成三部分,由二十一位各方面的第一流权威撰写,展示了运筹学的最新全貌。

第一部分(共四章)是对运筹学的一般介绍。内容包括运筹学的起源和随后的发展,以及成长到目前的国际地位的过程。这恐怕是关于运筹学这一方面的最详尽的阐述了。这部分也包括了实际工作者的专业教育,和进行运筹学研究的一般途径。这两个论题在别的运筹学书籍中是常常被忽略或轻视了的。

第二部分(共八章)和第三部分(共九章)将运筹学的理论和方法加以分类和概括。这两部分综述了各种方法论方面的最突出的贡献,以清晰简明的方式提供最重要的理论成果。方法论的第一次分类表现在每一部分中对题材的选择,其中第二部分讲确定性理论,第三部分讲随机性或概率性理论。这两部分合在一起,包括了数学规划的不同侧面(线性规划,整数规划,非线性规划,大型规划,几何规划,以及动态规划),随机过程和排队论,图和网络,最优控制,价值论和决策分析,对策论和对策模拟,搜索论,以及计算机模拟。对于不是理论方面的专家,这两部分为获得在特殊的方法论方面的专业知识提供了门径。对于专家来说,则提供了方便的概要,并在许多场合指出一些尚未解决的问题的未来研究领域。每一章末了的参考书目,对于这两类读者都是有价值的。

第二卷《模型和应用》回答了运筹学理论已经应用在哪些方面的问题。这些回答由二十七位曾在各种应用领域工作过的有经验的作者撰写。这一卷分成两部分,除了记录下这些应用外,还提供了运筹学应用的前景和对未来动向的看法。

第一部分(共十二章)记录了运筹学在大多数操作系统所共有的各种业务过程中的应用,以及这些应用获得成功的程度。包括的范围从标准论题(例如预测和方案选择、计划和控制)到运筹学文献中比较特殊的论题(例如会计、财政和人类资源管理)。

第二部分(共八章)专门讲运筹学应用于人类事业的例子。它对于在军事、保健、教育、运输、城市系统、消遣工业、电力工业和加工工业这八个大范围内所用的工具,所遇到的问题,和运筹学对解决这些问题的用处,作了简明而富有启发性的讨论。

虽然看来样子很全面,但这两卷书还是略去了许多理论和应用论题。例如,第一卷没有提到“模糊系统”理论,虽然可以说它是过去十年内产生的最新、最刺激人的思想之一*。此外,第二卷没

* 有兴趣的读者可参阅 Zadeh 等编的 *Fuzzy Sets and Their Applications to Cognitive Decision Processes*, Academic Press (1975), 或关于这主题的详尽书目: B. R. Gaines, L. J. Kohout, *A Bibliography of Fuzzy Systems Theory and Closely Related Topics*, University of Essex, Colchester, Essex, U. K.

有讨论运筹学在管理情报系统、农业和铁路等许多领域中的模型和应用。

我们要表示抱歉，同时要作一个解释。抱歉的是这套手册的读者中可能有些人想查阅上述任何一个或全部论题，而解释只能是这样：由于工作时间和篇幅的限制，我们不得不对论题加以选择，所以这些（还有其他许多）论题在最后成书时没有编入。我们相信我们是选择得对的，至少获得了圆满的解决。

现在应该来明确一下这套手册的读者对象了。这套手册主要是为运筹学家、管理科学家、系统分析学家、工业工程师、经理和其他运用定量方法来解决操作系统中系统型问题的人们写的。这两卷书对于专家、初学者和实际工作者来说都可以用作参考书，虽然每个人的用法和目的可能不同。第一卷从两个方面来看对专家有用：首先，专家可以把它作为本专业范围内一本方便的摘要；其次，可以向本专业范围以外“眺望”并且去发现那些领域的主要特点和最重要、最新参考资料。对实际工作者的用处，在于实际工作者可以从中找到在特定情况下有用的东西。对初学者有用的原因是每一章都包含关于主题内容的容易阅读的导言部分，使读者可以迅速和容易地熟悉进一步的研究方向。典型的初学者是学习过下列课程或同类课程的人：微积分和矩阵代数的标准大学课程，概率论和统计学的一年课程，计算机及其程序的基础课程，运筹学方法论和技术的一年课程。

另一方面，《模型和应用》作为运筹学方法论在许多研究课题和操作系统中的应用的权威说明，应该受到在运筹学理论或应用方面工作的所有人的普遍欢迎。由于着重点从理论转移到了实用，所以大家都能读懂。

我们相信这套手册也会受到上述那些人以外的其他人的欢迎。特别是，第一卷应该受到应用数学家、统计学家、计算机科学家和把兴趣转向复杂系统的分析和综合的工程师们的欢迎。由于目前强调“可应用的”数学，越来越多的数学家发现运筹学是一块应用他们的数学专门知识和聪明才智的肥沃土地。另一方面，工

程设计的最优化正在机械工程和土木工程等传统学科中获得坚强的立足点。少数杰出的人会发现这套手册几乎是不可缺少的。至于第二卷,各种业务领域的专家们(会计、财政、人员管理、生产和库存、情报系统和计划管理方面的专业人员)和各种操作系统(城市系统、保健、运输、军事、电力、加工工业和消遣工业)中的专家们都会对它感兴趣,因为里面讲了运筹学在他们的专业领域中的应用。

这套手册对于大学的课堂教学有两个用处。这两卷书都可以用作大学生和研究生修读运筹学方法论和技术的典型一年专业课程时的补充教材或参考书。这些课程是在工业和系统工程系或运筹学系教的,有时也在管理科学系(职业管理学校)、应用数学系和计算机科学系教。这套手册如此选材的主要原因,是为了使它提供运筹学基础和方法论方面的简明而详尽的内容;在第二卷中,它向学生指出他们的教科书中可能没有充分讲到的有关运筹学理论的丰富的应用项目。第二卷也可以用作大多数 MBA 计划中提供的定量方法课程或操作管理课程的补充。这些课程的主要目的是指出运筹学如何被(或可以被)用来解决“业务”问题。这是同手册第二卷的目标相一致的。

撰写这套手册的四十八位作者,都被认为是他们各自研究领域中的权威。这套手册是他们的专长、深厚知识和对七十年代中期运筹学理论和实践的洞察力的结晶。它也是他们的个人侧重和主观偏爱的反映。我们认为它应该如此,使读者得到的不是一辑平淡而没有色彩的综述文章,而是对所讨论的各种论题的有力量的、往往能激动人的全面观点。读者可以不同意某一种解释或分类(事实上,我们猜想读者不会完全同意手册中表示的所有观点),但是如果他们受到了激励,得到了知识,我们就觉得这套手册的任务是已经完成了。

作者之间的个人差异表现在几个方面。例如,有几章的参考资料中包括了对论题讨论得较详细的一般教科书,另一些章的参考资料则提供了几乎是完全的文献目录,有些作者把他们的结论

的基本原理作了启发式的概述,另一些作者则采用更正规的写法。有些作者避免对特定方法在特定应用中的“价值”作出判断,另一些则径直地自由表达他们的观点,如此等等。我们作为编者,不想使风格或观点“规一化”,而且我们坚信,这种“放手”做法增加了这套手册的份量和色彩。

如果不想作出运筹学的正式定义(读者将会在第一卷第一部分中发现不止一个定义),我们可以有把握地说运筹学是主要研究操作系统的,而操作系统的定义则是服从人的决策的系统(不同于譬如说星系,那是在人的决策范围之外的,尽管它们遵循着自然的逻辑规律)。于是有人可能要问,运筹学与系统理论是否同义。在我们看来,回答是否定的,这两个学科之间是有区别的。有时候区别只是在程度上,有时候则是基本看法不同。每个学科的内容照例受到它的历史发展的极大影响。

按照传统,系统理论一直与“硬件”系统密切相关(最早的“系统工程”本身是在电话学的领域中产生的),运筹学则与“软件”相当。运筹学倾向于处理这样一些问题,它们能用数学模型来表示,而这些模型又可被解析地研究并加以最优化。相反地,系统理论虽然具有正规的性质,但是它处理的问题比较复杂,并且它所用的方法比较全面而抽象。它的组成部分中可能含有数学模型,但是也可能结合着一些还没有成功地用数量表示的社会因素和生物因素。运筹学倾向于大部分处理现存系统的小型问题,而系统理论则通常意味着规模更大、范围更广的关于新系统的远景。

系统是动态地联系着的一些项目的一种紧密结合。每一个系统总有所作为,它所作的可以认为就是它的目的。系统理论主要关心的是发现一些机制,使这种目的得以实现,并使平衡或自调整得以维持。运筹学是这种理论的最重要来源之一,它提供一些能接受上述处理的机制的定量模型。因此,我们有理由把运筹学看作对一般的系统理论有贡献的几个学科之一。

这样规模的手册当然是许多人共同努力的成果。在结束我们的序言时,我们乐于对他们表示感谢。由 R. E. Fetter 和 David

B. Hertz 两位博士组成的编辑顾问委员会帮助我们制定了手册结构的大纲、所包括的内容范围、总的重点和方向。在形成手册编写思想时,他们的意见起了关键性的作用。我们对四十八位作者表示个人和集体的感谢,感谢他们有价值的工作,以及他们在有时不耐烦、有时看来过分挑剔的编者面前所表现的耐心和谅解。我们特别要感谢我们的一些同事,他们无私地花费了时间和精力来审阅手册中的几章。其中我们要特别提到的是留文天主教大学的 Jacques Vander Eecken 和 Willy Gochet 两位博士,以及在罗利的北卡罗来纳州立大学的 Marianne Gardner 和 Henry L. W. Nuttle 两位教授。

Joseph J. Moder	Salah E. Elmaghraby
迈阿密,佛罗里达	罗利,北卡罗来纳

目 录

译者前言 序

卷 I 运筹学的基础和哲学原理

I-1 运筹学的历史、性质和用途

1. 起源	3	4.2 专业学会	15
2. 运筹科学	6	4.3 期刊	18
2.1 科学和科学方法	7	4.4 书籍	19
2.2 作为一门科学的运 筹学	9	4.5 教育	22
3. 运筹学的实践	11	5. 运筹学的扩展	23
4. 运筹学的成长, 1945~1975	12	6. 运筹学的将来	24
4.1 趋势	13	参考文献	24

I-2 关于系统设计的哲学思考

1. 引言	29	8. 回到“科学方法”	38
2. 系统设计	30	9. 作为进步来看的“改进”	39
3. “科学方法”	30	10. 再谈“社会现实”和“实 行”	40
4. 社会现实	31	11. “社会现实”: 个人	41
5. 改进	34	12. 叙述的中止	45
6. SD 数据的悖论	35	13. 参考资料: 个人的感谢	45
7. 实行	37		

I-3 运筹学研究的进行

1. 引言	47	5.3 规范关系	65
2. 目标的规定	48	6. 计算手段的拟定	66
3. 方案计划的研制	51	7. 程序明细表的编制, 程序 设计和调试	68
4. 问题的表述	55	8. 数据收集	71
4.1 问题尺度的确定	58	9. 证实	72
4.2 可控制决策变量的 确定	60	9.1 一致性	72
4.3 不可控制变量的确定	61	9.2 灵敏性	73
4.4 工艺的确定	62	9.3 似然性	73
4.5 有效性度量的确定	62	9.4 工作能力	74
5. 模型的研制	63	10. 实行	75
5.1 定义关系	64	参考文献	76
5.2 经验关系	65		

I-4 运筹学专业教育

1. 引言	78	3.3 非运筹学专业	86
2. 运筹学教育的结构	79	4. 主题	87
2.1 正规教育	80	4.1 运筹学专业工作者 所需要的数学	88
2.2 半正规教育	82	4.2 其他基础课程	89
2.3 非正规教育	83	4.3 运筹学成分	89
2.4 在职教育	84	5. 充实队伍	91
3. 运筹学教育的水平	84	参考文献	91
3.1 博士水平	85		
3.2 硕士水平	85		

卷 II 运筹学的方法论: 确定性模型

II-1 线性规划

1. 引言	95	5. 对偶性理论	115
2. 线性规划应用的范围	96	5.1 互补主元理论	119
3. 线性规划解的性质	102	5.2 对偶性的经济学解 释	121
4. 单纯形法	105	6. 灵敏度分析	123
4.1 单纯形法的几何解 释	109	7. 可分解线性规划	125
4.2 退化与循环	112	8. 结束语	126
4.3 有界变量	113	参考文献	126

II-2 整数规划和组合学

1. 引言	132	2.7 0-1 多项式问题	141
1.1 一个实例	133	2.8 有界变量的整数规	
1.2 整数限制的重要性	133	划与 0-1 整数规	
1.3 应用范围	134	划的等价性	142
1.4 线性整数规划的数		2.9 可分离的非线性函	
学提法	134	数的分段线性逼近	143
1.5 纯整数规划和混合		3. 整数规划问题的解法	145
整数规划	135	3.1 衍生问题	145
2. 整数规划问题举例	135	3.2 松弛问题	146
2.1 背袋(或装载)问题	135	3.3 对偶性开拓法: 一	
2.2 固定费用问题	137	般框架	148
2.3 和睦探险队问题和		3.4 将原有与原有-对	
组合学的对集问题	138	偶方法纳入对偶性	
2.4 有效探险队问题和		开拓方法框架中	150
组合学的覆盖问题	139	3.5 几个具体方法	151
2.5 送货问题	140	4. 具有特殊结构的整数规划	154
2.6 多抉择问题	141	参考文献	156

II-3 图论: 几种方法及应用

1. 引言	161	5.1 平面图及其对偶	182
2. 基本定义	163	5.2 四色问题	185
3. 连通性	168	5.3 稳定性(关于染色	
3.1 Euler路	168	的)	189
3.2 Hamilton 路	170	6. 几个基本定理	189
3.3 有向图的 Ha-		7. 矩阵	190
milton 回路	171	7.1 矩阵表示	190
3.4 正则图	171	7.2 邻接矩阵的一个应	
3.5 树与支撑树	172	用	193
3.6 最短路和最长路	175	7.3 拟阵	195
3.7 匹配	175	8. 两个应用	195
4. 极端图	176	8.1 图的矩阵在商业上	
4.1 有向完全图中有多		的一个应用	195
少个圈?	176	8.2 利用图构造的模型	196
4.2 平面性与交叉	177	9. 附录	197
5. 嵌入	181	参考文献	197

II-4 网络中的流

1. 引言	201	4.4 互补松弛性	211
2. 最短路	202	4.5 不良状态	212
2.1 定义	202	5. 修正的最短路	212
2.2 求从某一发点到某 一收点的最短链的 算法	202	6. 线性规划	214
3. 最大流	204	6.1 基本解与树	214
3.1 可扩充链	204	6.2 相邻顶点	217
3.2 最大流-最小截集	206	6.3 原始单纯形法 (SM)	217
3.3 Edmonds-Karp'的 最大流算法	206	6.4 对偶单纯形法 (DSM)	219
4. 原始-对偶算法	207	6.5 基本解	221
4.1 最小价格流	207	7. 应用	222
4.2 最短路步骤	209	8. 具有增益的流	224
4.3 最大流步骤	210	9. 多终端流和多商品流	225
		参考文献	227

II-5 几何规划

1. 引言	230	3.1 无约束情形	242
2. 问题的阐述和某些例子	231	3.2 有约束与无约束情 形间的关系	260
2.1 无约束情形	231	3.3 有约束情形	261
2.2 有约束情形	236	参考文献	272
2.3 小结	241		
3. 基本理论	241		

II-6 非线性规划

1. 引言	275	性条件	281
2. 最优性条件	277	3. 对偶性	281
2.1 一阶 Kuhn-Tuc- ker 条件	277	3.1 弱对偶定理	282
2.2 二阶 Kuhn-Tuc- ker 条件	278	3.2 对偶定理	282
2.3 一阶增广 Lagran- ge 最优性条件	279	3.3 严格逆对偶定理	282
2.4 精确罚最优性条件	280	4. 一维极小化算法	283
2.5 一阶梯度投影最优 性条件	281	4.1 黄金分割法和 Fi- bonacci 搜索法	283
		4.2 黄金分割法和 Fi- bonacci 搜索法的	

收敛性	284	6.2 外罚函数法	289
4.3 割线法	284	6.3 精确极小化罚函数 法	291
4.4 割线法的收敛性	285	6.4 精确平稳点罚函数 法(增广 Lagrange 乘法)	291
5. 无约束极小化算法	285	6.5 可行方向法	291
5.1 变尺度法	286	6.6 梯度投影法	292
5.2 变尺度法的收敛性 和收敛阶	286	6.7 非线性约束问题的 Newton 法	293
5.3 共轭方向法	287	参考文献	294
5.4 共轭梯度法的收敛 性与收敛阶	287		
6. 有约束极小化算法	288		
6.1 渐近内罚算法	289		

II-7 大型规划

1. 引言	299	5. Dantzig-Wolfe 分解原理	316
2. 用修正单纯形法(RSM) 求解大型线性规划问题	300	5.1 分解算法	316
2.1 有效的求逆算法	302	5.2 经济解释	318
2.2 LU 分解	303	5.3 计算	319
2.3 “超稀疏性”	303	5.4 主规划的实际解释	320
2.4 倍数价格	304	5.5 应用于非线性子系 统	320
3. 广义上界	305	5.6 Dantzig-Wolfe 分 解法的现状	321
3.1 有约束资源分配的 能力	306	5.7 用箱形步加速	322
3.2 多项目时间表问题	308	6. 大型非线性规划(NLP)	322
3.3 生产及分配问题	309	6.1 可分规划	323
3.4 GUB的推广	310	6.2 近似规划	324
4. 列生成	311	7. 大型数学规划的未来发展	325
4.1 材料切割问题	311	参考文献	327
4.2 多项目时间表	314		

II-8 最佳控制

1. 问题的提法	331	2.2 Mayer 方程和 Weierstrass 条件	336
2. 必要条件	334	2.3 具有可变端点的最佳 控制问题	340
2.1 Pontrygin 最大 原理	334		