

面向经济管理的优化决策 方法及应用

王 勇 赵 骅 张宗益 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书共分两篇。第一篇在介绍定性推理、依赖网络、知识表达和类比推理等方法的基础上,着重描述了“手段-目的分析”寻优方法,基于证据合成的寻优方法和类比修正寻优方法等新型的定性定量、直觉与逻辑相结合的优化决策方法。第二篇介绍上述优化决策方法及其他优化决策方法在电力系统负荷需求预测、电源宏观决策、电力经济调度、物流作业集成优化分配、库存管理和柔性制造系统生产调度等问题中的应用。本书还包括若干优化方法及应用问题的研究前沿介绍。

本书适合在校博士研究生、硕士研究生、高校教师与科研工作者使用,也可供经济管理、电力系统、物流管理、应用数学与计算机科学研究工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

面向经济管理的优化决策方法及应用/王勇,赵骅,张宗益著. —北京:科学出版社,2005

ISBN 7-03-015117-8

I. 面… II. ①王…②赵…③张… III. 经济决策-方法 IV. F202

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 016522 号

责任编辑:田悦红 丁 波 / 责任校对:刘彦妮

责任印制:吕春珉 / 封面设计:东方人华平面设计部

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 3 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2005 年 3 月第一次印刷 印张:10 3/4

印数:1—500 字数:230 000

定价:20.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话 010—62136131 编辑部电话 010—62138978—8004

前 言

决策是经济管理活动中的一种普遍存在而十分重要的行为，决策的正确与否则往往决定某项经济管理活动的成败。然而在求解经济管理领域的许多优化决策问题时，至今仍多是借用、套用数学中的一些方法，而数学领域的优化方法往往过分强调数学上的严格性、算法收敛性等，却忽视了经济管理优化决策问题的最基本和本质的特点——直觉与逻辑相结合、经验与理论相结合。而以经济学、管理学、心理学、数学和计算机科学的成果为基础，对人类决策过程的一般规律进行探索和总结，对决策规律进行抽象、形式化处理和过程模拟，发展带有经济管理领域自身特点的优化决策理论与方法，是一项很有意义的工作，本书主要讲述了这些方面的问题。

本书共分两篇。第一篇在介绍定性推理、依赖网络、知识表达和类比推理等方法的基础上，着重描述了“手段-目的分析”寻优方法、基于证据合成的寻优方法和类比修正寻优方法等新型的定性定量、直觉与逻辑相结合的优化决策方法。第二篇介绍第一篇给出的优化决策方法及其他优化决策方法在电力系统管理、物流管理、库存与生产管理中的应用。电力系统管理优化方法包括电力系统短期与中长期负荷预报、电源宏观决策、电力需求侧管理、电力经济调度的优化决策方法。物流与生产管理包括物流作业集成优化分配、库存管理和柔性制造系统生产调度的优化决策方法。书中包括若干优化方法及应用问题的研究前沿。

参与本书写作、指导和审阅的还有杨秀苔教授、任玉珑教授、李传昭教授、邵兵家副教授、孟卫东教授、段虞荣教授、唐浩阳同学、张秉铝教授和胡立德教授，本书的理论与方法中也包含了他们的辛勤劳动和创造性的贡献，在此向他们表示感谢。

重庆大学经济与工商管理学院
重庆大学人文社会科学重点研究基地
王勇，赵骅，张宗益

2005年1月16日

目 录

第一篇 面向经济管理的优化决策方法探讨

第一章 绪论	1
1.1 决策分析与优化方法	1
1.2 基于知识的优化决策方法在国内外的研究现状	3
1.2.1 基于知识的智能模拟方法的进展	3
1.2.2 基于知识的优化决策方法的进展	5
1.3 本书的研究意义	8
第二章 依赖网络与“手段-目的分析”寻优方法	10
2.1 知识表达方式	10
2.2 依赖网络	13
2.2.1 定性值描述	13
2.2.2 依赖网络	13
2.2.3 依赖网络上的推理	15
2.3 依赖网络的简化方法	16
2.4 “手段-目的分析”寻优方法	19
2.4.1 “手段-目的分析”网络	19
2.4.2 公共手段与复合手段	21
2.4.3 “手段-目的分析”寻优算法	24
2.5 一般的手段-目的网络与特殊的手段-目的网络	24
第三章 基于证据合成的寻优方法	26
3.1 证据描述方法	26
3.2 证据合成思维与证据合成方法	27
3.3 证据合成寻优方法的意义及构思	30
3.4 证据合成网络	32
3.5 证据合成推理规则	33
3.5.1 改进需求形成规则	33
3.5.2 权数分配原则	34
3.5.3 证据传递规则	34
3.5.4 证据合成规则	34
3.6 证据合成算法	34

3.7	基于证据合成的寻优算法	36
3.8	满意状态假设	36
第四章	类比修正寻优方法	39
4.1	类比思维与类比推理	39
4.2	类比优化的重要性	39
4.3	例子和经验的特征表达模式	40
4.3.1	两类决策行为	40
4.3.2	两类决策模式	41
4.4	相似决策模式	42
4.5	类比的修正方法	44
4.6	类比修正寻优算法	45
4.7	算法及分析	46

第二篇 优化决策方法在经济管理中的应用

第五章	电力经济管理中的优化决策方法	48
5.1	电力系统负荷需求预测方法	48
5.1.1	电力系统负荷预报的重要性	48
5.1.2	预测方法概要	49
5.1.3	中期负荷预报方法	49
5.1.4	短期负荷预报方法	50
5.1.5	基于证据合成方法的日负荷预报方法	51
5.1.6	中长期用电量预报的智能组合预测方法	55
5.2	“手段-目的分析”与证据合成优化方法在电源宏观决策问题中的应用	63
5.2.1	电源规划简介	63
5.2.2	电源规划及研究方法概述	64
5.2.3	电源规划的数学模型	66
5.2.4	“手段-目的分析”寻优方法在电源规划中的应用	67
5.2.5	证据合成寻优方法在电源规划中的应用	70
5.3	证据合成优化方法在电力需求侧管理中的应用	74
5.3.1	电力公司需求侧管理技术	74
5.3.2	电力公司需求侧管理的研究概况	77
5.3.3	电价优化调整模型	78
5.3.4	电价优化调整模型的证据合成求解方法	80
5.4	火电开机组问题的神经网络方法	83
5.4.1	问题的提法	83
5.4.2	求解开机组问题的神经网络结构	85

5.4.3	母管制机组启停问题的神经网络解法	86
5.4.4	软件模拟	88
5.5	模糊数学和运筹学方法相结合在水火电力系统经济调度中的应用	89
5.5.1	数学模型	89
5.5.2	用改进的 Lagrange 松弛法进行求解	91
5.5.3	梯级水电站经济调度最优化计算方法	92
5.5.4	系统的分解	93
5.5.5	数值计算结果	94
5.6	用专家系统技术和运筹学相结合解梯级水电站经济调度问题	94
5.6.1	梯级水电站优化运行数学模型	94
5.6.2	利用知识库确定各区段协调策略	96
5.6.3	用人工智能和数值方法相结合求解大型决策问题	98
5.6.4	用类比推进决定开机组合及有功分配	101
5.6.5	系统的实现与算例	102
第六章	物流管理中的优化决策方法	103
6.1	物流配送的前沿研究方向概述	103
6.2	物流作业集成优化分配方法	105
6.3	用禁忌算法求解带时间和风险约束的物流作业集成优化模型	115
6.4	运输任务广义集成的运输任务最优分配	122
6.5	一维运输折扣优化模型及算法	128
第七章	库存管理与调度优化方法	139
7.1	“手段-目的分析”优化方法在多阶段存储模型优化中的应用	139
7.2	多阶段存储模型的证据合成解法	145
7.3	柔性制造系统调度方法的系统分析	148
7.4	柔性制造系统调度方法自动生成系统	151
参考文献		160

第一篇 面向经济管理的优化 决策方法探讨

第一章 绪 论

1.1 决策分析与优化方法

决策是经济管理活动中的一种重要而普遍的行为，决策的正确与否往往决定某项经济管理活动的成败。在经济计划与调控、运输与城市管理、金融与财务管理、项目选择与投资决策、企业发展战略与经营、生产计划与调度、库存管理与市场营销等问题中，人们每天都面临和进行各种各样的决策。“管理就是决策”，经济管理活动的实践告诉了人们决策分析的重要性。

决策科学是自然科学与社会科学紧密结合而产生的一门综合性学科。关于什么是决策学，有很多不同观点。比较趋于一致的有两种看法：一是由科学管理学的创始人之一、著名经济学家赫·阿·西蒙（H. A. Simon）提出的“管理就是决策”；另一种是由著名经济学家于光远提出的“决策就是作决定”。决策是对未来实践行为作出选择和决定。

西蒙在《管理决策新科学》一书中将决策过程分为 4 个步骤：①情报收集，调查需要决策的环境情况，收集原始数据并加以处理，对这些数据进行检查，以寻求解决问题的线索；②方案设计，分析、设想、推导、发现可能采取的行动方案；③方案评价，评价各方案的可行性、满意性与最优性；④方案选择，从多个（乃至无穷多个）方案中选择满意方案或最优方案。如图 1.1 所示，这 4 个阶段是相互交互、反馈的。方案评价、选择时发现方案的缺点要重新设计，在设计时情况不详要返回情报阶段。整个过程是一个半结构化或非结构化的过程。

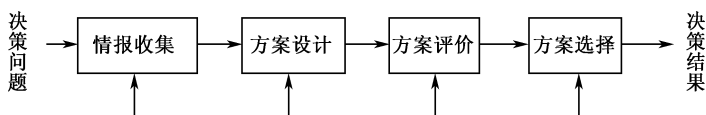


图 1.1 西蒙关于决策过程阶段划分示意图

决策过程的更详细划分是将决策过程分为问题分析、确定目标、提出方案、

评价分析、决定方案和实施等 6 个基本步骤，如图 1.2 所示。其中，从“确定目标”与“提出方案”的关系和“提出方案”与“分析评价”之间的关系是本节要重点研究的决策目标与实现手段之间的关系，“手段-目的”网络和证据合成网络部分地表达了这些知识。

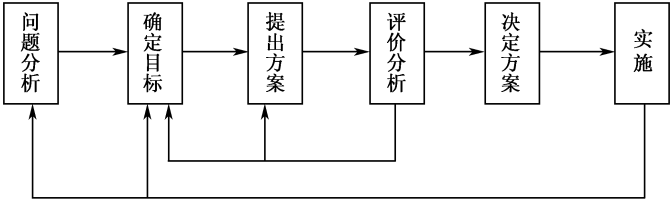


图 1.2 决策过程的详细划分

决策过程中涉及到的特征有决策目的、决策目标（指标）、决策约束、决策行为序列。如果由于完成目的只有一种行为序列，则没有选择和决策的需要，仅适于一般的问题解决理论。若完成目的存在多种行为序列，除适用问题解决理论寻找手段序列外，还需要优化决策过程，挑选最佳或满意的行为序列。一般来说，若完成目的的行为序列存在无穷多种或数量较多，人们通常用连续性变量来描述决策行为，形成数学规划模型，它们的求解通常称为优化问题。若完成目的的行为序列数量较少，通常用决策树、决策影响图等决策分析、决策评价的方法求解，一般称决策问题。事实上，优化与决策问题具有同一本质——按优化目标选择符合约束条件的行为序列。

决策过程是一个十分复杂的过程，其中涉及的目标、约束和优化系统对象属性之间的联系也十分复杂，它们多数难以用定量方法准确刻画。由于决策过程的普遍存在和重要性，人们为探讨决策方法付出了许多努力。对于简单的决策问题，人们利用以往积累的知识经验，用直观、定性分析的方法加以解决。但随着科学技术的进步与社会生产规模的扩大，人们所遇到的决策问题的规模不断增大，复杂程度不断增加，超出了人们直观的决策能力。人们建立了许多数学模型，发展了管理科学学派，数学规划和运筹学技术应运而生，线性和非线性规划技术飞速发展，一些优秀方法如单纯型法、共轭梯度法、变尺度法、可行方向法、简约梯度法、投影梯度法等竞相涌现。国内外一些著名杂志如“Management Science”、“Int. J. Production Economics”、《系统工程学报》、《管理工程学报》、《系统工程理论与实践》等每年都要刊登大量优化决策理论、方法和应用的文章。著名经济学家西蒙因研究决策过程，康托洛维奇因发明线性规划及阿罗、莎缪尔逊、多夫曼和胡尔威因研究运筹学方法卓有成效，获得诺贝尔经济学奖^[1,2]，现代决策科学逐渐发展成为经济管理理论的一个重要分支。然而，人们也开始注意到在经济管理领域单纯使用定量模型在某些情形的不适应性：

1) 有些经济管理问题中的某些目标及约束不能直接写出其定量函数关系,应用定量方法(特别是需要导数信息的优化方法)有困难。

2) 对于规模过大、过于复杂的模型和问题,目前的优化方法有效算法较少,许多情况的计算收敛于局部最优解而不是全局最优解。

3) 有时数学模型求出的解不满足某些定性要求,因而不能令决策者和实施者满意,难以满足实际应用的需要。

4) 模型的计算结果没有告诉决策者解答是怎样得到的,因而决策者和实施者对解答信任程度不够,采纳解答的信心不足。

单纯定量优化决策方法的许多缺点给管理科学提出了挑战性的课题。人们困惑,管理数学、系统工程、决策分析方法和决策科学向何处去?它们如何发展自己的特色而与单纯数学方法相区别?以经济学、管理学、心理学、数学和计算机科学的成果为基础,对决策过程的一般规律进行探索和总结,对决策规律进行抽象和形式化处理,以计算机作为信息处理手段,对人的决策过程进行模拟,发展定性和定量紧密结合的、基于知识经验的决策分析和优化新方法,对于推动决策科学深入发展,促使经济管理实际问题决策过程进一步科学化、合理化、现代化,在理论上和实践上有较大的现实意义。

1.2 基于知识的优化决策方法在国内外的研究现状

国内外学者近来发现造成优化方法在经济管理领域应用效果不佳的原因之一是定量方法没有有效利用系统中的定性联系和定性信息,没有充分利用人们的知识经验。一个改造定量模型使之能更好地与定性分析相结合,创造定性定量融为一体的优化决策分析方法的研究方向正在悄然兴起。

1.2.1 基于知识的智能模拟方法的进展

20 世纪 80 年代以来,基于“物理符号系统假设”的严格精确的推理方法不断受到批评,而面向实际应用,基于知识的启发式求解方法受到提倡和青睐,在知识表示、常识推理、认知过程的概念化、形式化和基于联结主义的人工神经网络等方面取得可喜的进展,一些相关发展方向如下。

1. 定性分析方法形式化的进展

定性方法是人们认识、分析、解决问题,设计、评价决策方案的有效手段。用定性方法易于分析事物的组成和概念间的复杂联系,方便地进行归纳和演绎、分析与综合、描述现象、揭示本质、分析原因、预测结果。定性方法灵活多样、易于理解。但定性方法至今缺乏像定量方法那样的规范、统一理论和手段,难于在计算机上模拟,不利于定性定量方法的集成与结合。研究定性分析的规范化理

论和方法十分困难,经过艰苦努力,最近取得一些进展。汪培庄、李洪兴教授提出了因素空间的有关理论^[3~7]。因素空间是一个变粒度空间,在其上可进行因素的析取、合取、投影和概念的内涵与外延的某些运算。他们研究了概念的秩、因素藤网、反馈外延、概念内涵的精细表示等理论。定性推理研究定性空间上的推理技术,分为定性方程、定性进程、定性模拟 3 类方法,对系统行为进行描述,并解释其原因。文献[8]、[9]、[10]将定性推理用于多重产品与货币市场、房地产及抵押市场等经济管理问题。

2. 思维模拟与表达

洪家荣曾研究了思维模拟^[11],用计算机对人类思维的某些过程和规律进行模拟。文献[12]探索用思维网描述人的思维过程。该文提出了思维网中“枝集”、“汇集”、“可达集”、“必达集”等概念,试图在思维网中找出演绎、归纳、综合与分析等人类逻辑思维活动映像。文献[13]研究基于突出特征的类比联想方法。该文讨论了语义诱发原则、突出相似原则、相似优先原则;把联想过程分为诱发过程和确认阶段,将靶中词汇联想到相似词汇,激活各种情况的突出词汇,建立激活情况突出特征与靶间的对应,全面比较它们的相似性,选择最相似的情况。

3. 基于事例的推理

基于事例的推理(case-based reasoning, CBR)一词最早由 Janet L. Kolodner 教授于 20 世纪 80 年代中期正式提出,它源于人的认知心理活动:人们在面临一个新问题时,往往使用以前处理过的类似问题的经验,根据经验去认识、解释现有事物,选择信息,解决问题。基于事例的推理根据新问题的主要特征,从已经构造、存储的解决过去问题的正确和失败的事例库中选择出类似事例的解决方案,用于帮助求解新问题。Aamodt 和 Plaza 将基于事例的推理技术概括为 4 个阶段:①检索,在事例库中查找与当前问题最相似的事例;②复用,使用检索到的事例,解决新问题;③调整,如果必要,调整新的方案;④保留,将成功的新方案保存。基于事例的推理易于辨识在前例中导致失败或成功的重要特征,对于规则或模型难于构造、知识不完全、非良结构的领域的问题尤为有效。文献[14]讨论了复合事例推理的原理、方式和这类系统的结构类型。文献[15]指出传统的 CBR 案例匹配算法总是企图寻求一个最好匹配的基案例,这种一对一的案例匹配是最基本、简单的方法,但也存在明显不足。如靶案例的求解需要集成多个从不同思维角度、不同知识片段知识的情况,传统的 CBR 系统无法满足。因此文献[15]研究了多个案例经验的纵向集成过程、横向集成过程、动态分解过程、援例推理过程、特征聚类过程、主动学习过程。

4. 机器学习与知识发现

机器学习研究构造和修改计算机内存储的知识或经验的表示形式的过程，机器学习方法主要有归纳学习、解释学习、类比学习、观察与发现学习等。观察与发现学习与实例学习不同的是，后者的例子经施教者分为正例和反例，而前者是一种无示教的学习。

文献[16]研究了一种基于认识论的知识发现原理，构造了集成化学习系统KD₃来模拟实现这一原理，应用于数据库知识发现得到一些有趣结果。文献[17]发展了一种数据挖掘技术，该文描述了3种数据挖掘问题，构造了求解的统一框架、基本操作、组合操作，叙述了规则发现算法和发现过程。

5. 不精确信息的表示与推理方法

主要有概率统计方法、模糊方法、证据理论、可能性理论、发生率计算等方法。文献[18]研究了证据的随机集表示方法。文献[19]系统地介绍了证据理论的基础、方法和应用。

6. 广义管理模型

数学模型描述管理问题时，难以刻画定性因素及关系。《智能管理》^[20]一书提出的广义管理模型由数学模型、知识模型、网络模型、自学习模型、自适应模型、自组织模型集成，它们建立在变粒度因素空间上。广义关系包括因素间的因果、时序、相依、表决等多种定性关系。

1.2.2 基于知识的优化决策方法的进展

将人工智能领域的原理和进展用于决策问题，并根据决策问题本身的特点构造求解复杂决策问题的优化算法，已开始崭露头角，形成研究方向。

1. 广义决策优化模型

文献[21]提出研究复合信息空间的决策。该文指出：对于大型复杂系统（如社会经济系统或计算机集成制造系统）的决策问题，除考虑各种技术、状态因素外，还必须重视人、组织和环境等行为因素的影响。其优化决策过程必须在由状态信息空间和行为信息空间构成的复合信息空间上进行。该文提出因素分析、关系分析、What-if分析、多视图支持、功能评价的集成化方法。文献[22]提出大规模复杂决策问题求解的2+3模型，该文称基于案例的决策称为零阶决策，基于运筹学方法的决策为一阶决策，基于思维模拟及启发式方法称二阶决策。该文作者认为：大规模复杂决策求解过程中有3种运算（模式、符号、数据运算）和2个基本过程（识别最有希望的可能解子空间，在可能解子空间中搜索可能解）。

文中提出的模式搜索概念比现有模糊规划的方法更接近人类的决策思维过程，后者仅构造模糊优化模型，而前者倡导寻优过程的模糊搜索。但该文中没有给出实现模式搜索的具体方法。

2. 拟人化优化决策算法

拟人化优化决策算法不是要模拟人类决策分析思维的相同过程，而是吸取人类决策过程的某些要素，模拟人在优化决策分析过程中的一些有效做法，将其和现有决策分析的一些方法相结合，期望形成比现有算法效果稍好的方法。虽然启发式优化方法在生产管理等许多问题中得到较成功的研究，但这是一种与领域有关的方法，缺乏统一的规律，不能从一个领域向另一个领域移植。文献[23]基于“节约资源，优化目标”的思想，定义了利益系数矩阵，提出了求解模糊目标/资源问题的拟人化算法。当某一点超出约束时，把浪费资源多、带来利益少的产品的量减少；当某一点目标值很小且有很多剩余资源时，把浪费资源少、带来利益大的产品量增加。文献[24]提出近似表达人类优化知识的依赖网络。依赖网络中含多个决策目标、约束、决策变量及中介结点，结点间的弧描述它们之间的因果关系或相关关系。优化时，沿依赖网络进行定性推理可以过滤掉部分非优方向，减少复杂优化的尝试代价。

3. 智能优化决策方法

智能优化决策方法希望直接应用人工智能的一些方法于优化问题。遗传算法^[25]是模拟自然界优胜劣汰现象，每次评价后淘汰掉较差的“染色体”，由优秀“染色体”进行交叉和变异形成新的“染色体”。遗传算法是全局收敛的，受到学术界的好评。通过机器学习和知识发现理论来研究预测决策问题是该方向的又一思路，因而李爱中、黄梯云发表了“模型发现和维持的递归函数方法”^[26]。文献^[27]研究了统计遗传算法，一面搜索一面统计满意解的规律。许多文章将神经网络用于优化决策，但由于它的黑箱性质，使得人们在无论是做对还是做错的情况下都难以知晓为什么，难于把握其机理，获取深层次知识。逻辑神经网络和因素神经网络^[28]的研究期望能白化其知识结点间的因果关系，但用于管理领域则不多见。

4. 决策支持系统研究

决策支持模型不同于决策模型，后者是当用户给定环境参数后由机器算出决策，前者是用机器作为工具，延伸人的认知能力，给决策者充分参考信息，辅助决策者作出决策。近年来人们将人工智能上的一些技术用于构造智能决策支持系统。文献[29]提出构造人机联合认知系统，不但让机器进行情景分析，推理判断，启发决策者，而且让人们也帮助机器不断认知。这就要求发展有效的机器学

习算法,使计算机内的数学和知识模型不断求精。文献 [30] 发展了面向实际环境的“适应性决策助手”。该文建议的一般决策框架由模糊数学规划模块、语言变量知识库、适应性校准机制、满意水平分析模块构成。而语言变量知识库由一系列“IF X_1 and $X_2 \dots X_N$ THEN do Y_1 ”形式的规则构成。该文将此方法用于列车调度问题。交互式优化方法^[31,32]是决策支持系统的一个重要手段。这种方法每次迭代后将计算结果显示在屏幕上,让用户选择某些信息,集成机器和人的共同智慧。与该方向接近的是决策专家系统和管理专家系统^[33,34],将模型库、方法库、知识库、数据库集于一体。文献[35]提出“思想库”和“案例库”的概念,并研究了它们的组织方法。决策支持系统和管理专家系统已成功地应用于生产、证券、投资、贸易等经济管理领域^[33,34]。决策支持系统与管理专家系统的问题之一是其方法的领域相关性,妨碍在一问题中成功应用的方法移植于另一问题。

5. 决策方案的评价决策影响图

决策方案的评价决策影响图^[36~41]是继决策树后的又一新型决策评价工具。在影响图中有机会结点、决策结点和价值结点,它们之间的关系用条件概率来描述。与决策树相比,影响图更能直观地表达结点之间的因果关系,能用于评价有更复杂联系的系统。天津大学管理学院刘金兰博士提出模糊影响图的概念和方法,将其用于大型工程项目的风险评估^[42]。北航管理学院顾昌耀和董志强博士发展了一种影响图的关联知识的交互式获取方法,并用于核电站事故管理策略评估^[40,41]。刘玉杰将高斯影响图用于工程风险评估。文献[43~48]研究多人多层次多目标评价标准化理论,得到国内学术界的认同。此外,多属性评价方法有所进展^[49]。

6. 群体决策研究

群体决策研究可分为群体偏好集结方法研究和群体认知交互过程研究。前者通过集结函数实现,研究较多,而后者研究较少。文献[50]研究了持不同观点的决策参与者处于“死锁”时,怎样进行“问题重构”,使问题和解。交互过程也研究怎样使多个参与者相互放弃局部利益,增大全局优性的协商过程。西安交通大学席西民研究了域分解满意点权衡法^[51],该文依靠强优先图和弱优先图进行决策专家之间的协调。文献[52]研究了区域经济合作的博弈分析。

7. 决策心理学问题解决理论

决策心理学问题解决理论^[53~55]将典型的问题解决过程分为 5 个阶段:失调、诊断、假设、推断和验证。它的理论与决策问题关系密切,前者研究人们怎样寻找某种办法完成某件事情,后者研究怎样从多种办法中找出一种较好的办法

把某件事情办得更好。文献[56]研究了专家与新手决策知识的获取与结构的异同性。文献[57]研究了企业新产品开发决策的策略模拟试验,文献[58]研究了顿悟使问题表征转变的关系。

1.3 本书的研究意义

决策科学是经济管理的重要研究领域。经济管理领域的许多优化决策问题,至今仍然是借用、套用数学中的许多方法,而数学领域的优化方法应用面很宽,需照顾多个领域的需要。因此这些方法往往过分强调数学上的严格性,如算法收敛性等,却忽视了或没有突出经济管理优化决策问题的最基本的、最本质的特点——直觉与逻辑相结合,经验与理论相结合。以经济学、管理学、心理学、数学和计算机科学的成果为基础,以计算机作为信息处理手段,对人类决策过程的一般规律进行探索和总结,对决策规律进行抽象和形式化处理,对人的决策行为和过程进行模拟,发展经济管理领域自己的、带有自身特点的优化决策理论与方法。这是一项难度颇大、十分艰巨、影响广泛、意义深远的工作,是一个涉及到管理科学、经济学、管理心理学、信息学、计算机科学、系统工程、运筹学等多学科交叉的边沿性、前沿课题,它的逐步发展、成熟、应用必将推动经济管理科学的科学化和实用化进程。本书的研究意义如下。

1) 跟踪决策科学国际先进水平的需要。利用现代科学最新成果,把管理心理学、信息学、计算机科学的理论、方法和成果用于运筹学,并与之结合,发展决策科学的新方向和新分支,是国际上决策科学发展的前沿方向和趋势之一。

2) 进一步发展定性定量相结合、相统一的优化决策算法。虽然定性定量相结合的决策分析已有很多,但在实践上不能满足实际问题的需要,在理论没有形成深刻规律性的系统理论与方法,尤其是缺乏定性定量相融合、相统一的算法。本节提出的方法在一定程度上在这些方面有一定进展。

3) 是进一步推广和发展定量运筹学于定性空间的需要。定量优化方法严格、精确,有确定的规律、规则,如果把它们推广到定性分析情形,将为解决经济管理问题提供更多、更好的有力工具,从而创立新型的规范性的定性运筹方法和运筹学、决策科学的新分支。本节的公共手段、证据合成网络是对非线性规划中下降可行方向概念的推广,在这方面作了初步的尝试和工作。

4) 构造决策论通用算法。曾有人研究非线性规划的通用算法,即用统一的算法概括、解释多个非线性规划算法。证据合成寻优方法从某种角度、在某种程度上统一了人类决策思维过程和规划论中的某些数值解法,对进一步研究和揭示优化决策科学的本质及规律起到抛砖引玉的作用。

5) 加强优化算法的可理解性。通常的优化方法在输入数据后即开始计算,计算完毕后即输出计算结果。没有告诉决策者解答是怎样得到的,在改进方案时

为什么采用这样的改进行为而不采用那样的改进行为，因而决策者对解答的信任程度不够，采纳解答的信心不足。“手段-目的分析”寻优方法和证据合成寻优方法基于因果关系和因果分析的方法，接近于人类的思维方式，加强了优化算法的可理解性。

6) 对决策过程进行初步刻画、量化和模拟。以往的决策评估方法多是对决策方案进行评估、选择，是面向决策结果的方法。而证据合成寻优方法是对决策方案的改进行为进行评估、选择，从这个角度来说，构成对决策过程进行初步刻画、量化和模拟。

7) 建立复杂问题的优化方法和仿真优化方法。规划论中的多数方法对优化模型的目标函数、约束条件有较严格的要求，如存在导数、二阶导数等。这使得许多复杂的经济管理问题难以成功应用规划论中的方法。建立能适合于复杂问题、定性要求、模糊约束的优化决策方法，对解决经济管理问题提供更多帮助。许多管理问题需要仿真评价，而仿真优化一直没有有效的方法。本节提出的方法不但能应用于复杂问题，而且能应用于作为复杂问题特例的仿真问题，形成求解复杂问题的优化方法和仿真优化方法。

8) 为启发式优化算法构建理论基础。对于许多棘手的问题，严格的优化理论和算法感到困难，而针对这些问题的启发式优化算法却往往比较有效。但由于启发式优化方法缺乏通用的理论基础，被许多人斥责为“不严格”。本节的工作可看成在构建启发式优化算法系统理论方面做的初步探讨和尝试。

第二章 依赖网络与“手段-目的分析”寻优方法

2.1 知识表达方式

人们能解决许多困难问题,是因为人们灵活地使用从书本和过去的实践所获得的知识和经验。当计算机在数值计算、数据处理、工程控制、数据通信等领域获得巨大成功后,人们很自然地想用计算机模拟人类思维。人工智能作为计算机模拟人脑的科学,一直得到科学技术界的重视,取得一些成功。要在计算机中运用知识经验进行推理,首先要解决知识表达方式问题。经长期研究,较常用的知识表达方式有下列几种。

1. 命题逻辑^[33]表示法

逻辑表示法是以逻辑演算为理论基础的知识表示方法,它是人工智能中最早使用的说明型知识表示方法之一。命题逻辑由命题符号、连接符号、公理集、推理规则集组成。

设 $A_1, A_2, \dots, A_n, B_1, B_2, \dots, B_m$ 是一阶谓词逻辑描述的命题。该方式由已知条件命题 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 成立来推演证明结论命题 $B_1, B_2, \dots, B_m$ 是否成立。

$$A_1, A_2, \dots, A_n \longrightarrow B_1, B_2, \dots, B_m, \quad m, n \geq 0 \tag{2.1}$$

如定义命题符号:

命题	陈述
MIF	汽车价格下跌
MSIS	汽车结构指数稳定
SFS	卖出 Ftong 公司股票
BSS	买进 Shine 公司股票

则推理规则

$$(MIF \wedge MSIS) \longrightarrow (SFS \wedge BSS) \tag{2.2}$$

表示如果汽车价格下跌,且结构指数稳定,则卖出 Ftong 公司股票,买进 Shine 公司股票。

在式(2.1)中,当 $m=1$ 时,推理规则

称为 Horn 子句。

2. 一阶谓词^[33]逻辑表示

命题逻辑由于用符号表示内容较多,实现时十分冗长繁琐。谓词逻辑把基本组成单位化小为谓词符号、函数符号、变量符号、常量符号及元符号等。

用 $V(x, y)$ 表示行业 x 的价格指数变动情况为 y , $S(x, y)$ 表示行业 x 的结构指数变动情况为 y , $SS(x)$ 表示卖出公司 x 的股票, $B(x, y)$ 表示公司 x 属于行业 y , 则公式

$$\forall x \forall y (C(x, \text{Falling}) \wedge S(x, \text{Stable}) \wedge B(y, x) \longrightarrow SS(y))$$

表示命题:“如果某行业价格指数下跌,且结构指数稳定,则卖出该行业所有公司的股票。”

数理逻辑提供了一套完整的理论用于命题归结推演,可惜这种方式没有考虑命题、关系的不确定性质,因而其应用受到局限。

3. 产生式^[34]表达法

产生式规则是前因后果式的表达模型,由两个部分组成,前一部分说明要应用这一规则所必须满足的条件,如情况、状态、前提、原因等;后一部分表示结果,如活动、结论、后果、操作等。产生式规则的格式为

$$\text{IF } \langle \text{条件} \rangle \text{ THEN } \langle \text{结论} \rangle$$

产生式规则与逻辑表示法虽然形式上都采用了 IF-THEN 形式,但逻辑表示法的 IF-THEN 仅表示蕴涵关系,而产生式系统中的规则不仅表达了蕴涵关系,而且可以是控制信息、语言变量或复杂的过程语句等更灵活的表达形式。

产生式系统通常由产生式规则集、综合数据库和控制策略 3 部分组成。在执行过程中,如果一条规则左部被满足,系统控制策略决定执行规则右部所规定的动作。

产生式系统的优点在于接近人的思维方式,规则间相对独立,易于理解。但它刚性太强,对层次表达能力弱。大型复杂的专家系统较少采用产生式规则,而转向框架式表示方法。

4. 框架^[35]表示法

框架表示法的发展是一个认识过程,人类具有根据以前相类似状态的经验来解释当前碰上的新状态的能力,这种能力使我们能在每一件经历过的事件中积累知识而不是碰上一件新事物即从头开始。1975 年 Minsky 的论文“A framework for representing knowledge”中,针对人们在理解情景时的心理活动,提出框架理论。框架理论的基本观点是人脑已存储有大量的典型情景,当人面临新的情景时,

就从记忆中选择(粗匹配)某个框架的基本知识结构,这个框架是以前记忆的一个知识空框,具体内容依新的情景而改变,对这空框的细节加工、修改和补充,形成对新情景的认识又记忆于人脑中。框架理论将框架视作知识的单位,将一组有关框架连接起来形成框架系统。系统中不同框架可以有共同结点,系统的行为由系统内框架的变化来表现,推理过程由框架间的协调来完成。

框架适于表示某一类情景的结构化数据结构,框架最顶层是固定的一类事物,依概念的抽象程度表现出自上而下的分层结构。框架由框架名和一些槽组成,每个槽有一些值,槽值可以是逻辑的、数字的,可以是程序、条件、默认值或是一个子框架。框架一般可表示成如下格式:

框架名

〈槽名 1〉

〈侧面 11〉

〈值 111〉...〈值 11 k_1 〉

.....

〈侧面 1 n_1 〉

〈值 1 n_{11} 〉...〈值 1 $n_1 k_{n_1}$ 〉

〈槽名 2〉

〈侧面 21〉

〈值 211〉...〈值 21 k_1 〉

.....

〈侧面 2 n_2 〉

〈值 2 n_{21} 〉...〈值 2 $n_2 k_{n_2}$ 〉

.....

5. 脚本

脚本^[34](scripts)同框架表示法较为类似,它适用于表示一个事件的过程,这也是根据人类思维的认识特征提出的。表示事件过程十分方便。一个脚本通常包括下列组成部分。

- 1) 进入条件。一个脚本能被应用(触发)的必要条件。
- 2) 脚本结果。脚本中事件发生后产生的结果、状态。
- 3) 道具。脚本事件发生过程中所涉及的客体。
- 4) 角色。脚本事件发生过程中所涉及的主体,例如人。
- 5) 场景。脚本事件涉及的事件系列。

6. 语义网络表达法

语义网络^[34]的概念最早是 Qullian 在 1968 年作为人类联想记忆的一个显式

心理学模型提出的,它描述人类对现实世界中事物的认识记忆方式。Simmons 与 Slocum 等人在 1972 年对其作了进一步发展,并用其自然语言理解研究中。尽管各专家系统使用的语义网络模式不尽相同,但大都是在网络结构上增加语义信息,有共同的机理和原则。

语义网络用有向图表示,由三元组(结点 1,弧,结点 2)连接而成。结点表示概念、事物、事件、情况等,弧表示它们之间的关系。

语义网络的主要优点是它的灵活性,能容易地增加、修改、删除结点和弧。语义网络的另一优点是继承性。

7. 面向对象的表示法

人们认识世界是以将世界划分为一些事和物为基础的,这里物指物体,事指物体间的联系。面向对象^[35]的表示法中对象指物体,消息指物体间的联系,通过发送消息使对象间相互作用来求得所需结果。

在面向对象表示中类和类继承是重要概念。类由一组变量和一组操作组成,它描述一组具有相同属性和操作的对象。每一个对象都属于某一类,每个对象都可由相关的类生成。一个类拥有另一个类的全部变量和操作,称继承。继承是面向对象表示法的主要推理形式。

2.2 依赖网络

2.2.1 定性值描述

人类对自然和社会现象的描述、解释,常是以某种直观的定性方法进行的,很少使用像微分方程等数值方法。如人们在骑自行车时,为了避免摔倒和撞车,并不需要使用书本上的运动方程的知识精确计算,而常是针对几个主要特征的变化趋势给予粗略的直观描述、判断就够了。

定性推理^[35]忽略被描述对象的次要因素,掌握主要因素来简化问题,将描述对象的连续参量离散化成定性值。例如将连续变量 $x \in (-\infty, \infty)$ 离散化成定性值 $[x]$:

$$[x] = \begin{cases} -, & x < 0 \\ 0, & x = 0 \\ +, & x > 0 \end{cases}$$

也可根据实际需要划分为区间形式,如 $[0, 100], (100, 200]$ ……或等级形式,如特优、好、较好等。

2.2.2 依赖网络

为了凭借知识经验来进行或辅助决策分析,要研究决策知识在计算机中的存

储表达方式。以上叙述了面向一般的问题解决过程的知识表达方式,而优化决策仅是一种特殊的问题解决过程,应有自己的性质、规律和特点。面向一般的问题解决过程的知识表达方式,不能很好地体现优化决策过程所涉及知识经验的特点,决策过程必须有自己独特的知识表达方式。依赖网络^[24]是一种较好的优化决策过程的知识表达方法。

在优化系统中,存在着许多对象,对象发出行为作用于系统的其他对象,改变系统中对象,或系统的状态。为完成某项任务,达到某种目的,需要系统中的一些对象执行某种行为序列。当存在多个行为序列可以完成给定任务,达到既定目的时,就需要优化选择。

某个行为方案可以用它的属性值或特征来表达。有些特征是确定的,有些特征需要优化决策过程选择的,这些特征称为决策变量。衡量决策变量选择的优劣与合理程度的要素称为优化目标。实际过程对行为方案提出的要求和限制称为约束。通常的优化模型将优化目标与约束表示为决策变量的定量函数。但决策变量与目标、约束的关系有时难于精确量化,用定性或模糊方式表达却容易一些,应在决策变量与优化目标及约束之间引入定性关联或联系。决策变量经过一些中介或中间因素与决策目标及约束关联更接近思维方式和实际情况,决策过程所涉及的要素有4类:决策变量、优化目标、约束和中间变量,与它们之间的定性定量联系一起组成一个从决策变量至中间变量再至优化目标和约束的有向图。一种较好的表达决策过程知识经验的方式是依赖网络^[2]。依赖网络是一个四元组,即

$$DN = (E, V, \Omega, \Psi) \quad (2.4)$$

其中 V 是顶点集合,它包含决策目标子集 V_p ,约束子集 V_c ,中间变量子集 V_l ,决策变量子集 V_d ,边的集合 E 是 $V \times V$ 的子集。 Ω 是定性依赖, Ψ 是定量依赖。对于 $a, b \in V, (a, b) \in E, \delta_{ab} \in \Omega$ 定义为

$$\delta_{ab} = \begin{cases} +, \text{如果} (\partial a = + \text{ 且 } \partial b = +) \text{ 或 } (\partial a = - \text{ 且 } \partial b = -) \\ -, \text{如果} (\partial a = + \text{ 且 } \partial b = -) \text{ 或 } (\partial a = - \text{ 且 } \partial b = +) \\ 0, \partial b = 0, \text{当 } \partial a \in \{+, -, 0, ?\} \\ ?, \text{其他情形} \end{cases} \quad (2.5)$$

其中,“ $\partial_{ab} = +$ ”表示变量 ab 增加,“ $\partial_{ab} = -$ ”表示变量 ab 减少,“ $\partial_{ab} = 0$ ”表示变量 ab 不变化。“ $\partial_{ab} = ?$ ”表示变量 ab 的变化不能确定。当两个变量的变化方向一致时,它们之间的定性关联为“+”,当两个变量的变化方向不同时,它们之间的定性关联为“-”,当一个变量不影响另一个变量时,它们之间的定性关联为“0”,当两个变量的变化关系不清楚时,它们之间的定性关联为“?”。式(2.5)是普通导数关系在定性空间的推广,当两变量有可导的定量关系时,式(2.5)本质上与一般的导数关系相当。

图 2.1 是某四阶段需求不确定库存模型的关联网络,其中 pr_1, pr_2, pr_3, pr_4 分别表示 4 个阶段某产品的生产量, st_1, st_2, st_3, st_4 分别表示 4 个阶段产品的库存

量, lp_1, lp_2, lp_3, lp_4 表示 4 个阶段的产品缺货率, fs_1, fs_2, fs_3, fs_4 表示 4 个阶段的生产费用, fi_1, fi_2, fi_3, fi_4 表示 4 个阶段的库存费用, tf_1, tf_2, tf_3, tf_4 表示 4 个阶段的总费用。当阶段生产量增加时, 阶段生产费用增加, 阶段库存量增加, 阶段库存费用增加, 阶段总费用增加。阶段库存量增加导致阶段缺货率下降。上一阶段库存量与该阶段库存量正相关, 从而与本阶段的缺货率负相关。

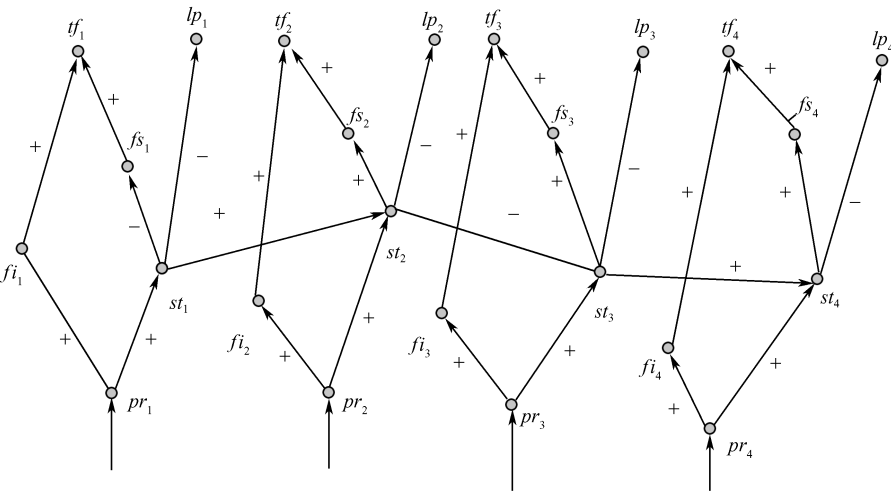


图 2.1 某四阶段需求不确定库存模型的关联网络

2.2.3 依赖网络上的推理

依赖网络上的推理有平行推理和串行推理。设因素 $a, b, c \in V, \delta_{ab}, \delta_{bc} \in \Omega$ 当 a 和 b 都有与 c 直接连接边, a 与 b 没有直接连接。

$\delta_{ac} \oplus \delta_{bc}$ 的平行推理结果如下：

$\oplus$	+	-	0	?
+	+	?	+	?
-	?	-	-	?
0	+	-	0	?
?	?	?	?	?

设因素 $a, b, c \in V, \delta_{ab}, \delta_{bc} \in \Omega$ 当 a 与 b 相关联, b 与 c 相关联, $\delta_{ab} \otimes \delta_{bc}$ 的串行推理结果如下所示。

$\otimes$	+	-	0	?
+	+	-	0	?
-	-	+	0	?
0	0	0	0	0
?	?	?	0	?

2.3 依赖网络的简化方法

依赖网络表达寻优过程中目标、约束、决策变量之间的复杂的定性定量因果联系。应用时,由于实际方法的要求,常需要对复杂的关联进行简化,文献[24]未给出简化依赖网络的规范的计算机算法,本节进行探讨。

定义 2.1 在依赖网络中,当 x 至 y 有非 0 推理值,由 x 至 y 连一条有向弧,称 x 至 y 有一步直接推理或长 1 的路径。

定义 2.2 在依赖网络中,若 x_0 通过 $x_1, \dots, x_{n-1}$ 至 x_n , 其中 x_{i-1} 至 x_i ($i = 1, \dots, n$) 存在长 1 的路径,称 x_0 至 x_n 有一条长 n 路径或 n 步推理。

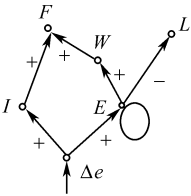
在优化系统中,存在某些相似对象或概念,这些相似对象或概念具有相似属性。在依赖网络中,某些结点作为相似对象或概念、或作为相似对象或概念的相似属性。称这些结点的集合为集结点。如图 2.1 中的 pr_1, pr_2, pr_3, pr_4 同是阶段生产量, st_1, st_2, st_3, st_4 同是阶段库存量, lp_1, lp_2, lp_3, lp_4 同是阶段缺货率等。表示成集结点形式为 $Pr = (pr_1, pr_2, pr_3, pr_4)$, $St = (st_1, st_2, st_3, st_4)$, $Lp = (lp_1, lp_2, lp_3, lp_4)$ 等。

定义 2.3 在依赖网络中,称代表相似对象或具有相似属性的若干结点的集合称为集结点。

定义 2.4 二集结点间所有一步路径的集合称一步集路径。

定义 2.5 集结点 z_0 通过集结点 $z_1, \dots, z_{n-1}, z_n$ 的 n 个一步集路径序列称 n 步集路径。

利用集结点和集路径可简化图形。图 2.2 是图 2.1 的集结点形式,但它比图 2.1 简洁得多。



集结点间的推理可用矩阵来描述。设集结点 $X =$

$\{x_1, \dots, x_m\}$, $Y = \{y_1, \dots, y_n\}$ 。令

$$b_{ij} = \delta_{x_i y_j} \quad (i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n) \quad (2.6)$$

则 $m \times n$ 矩阵

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

描述 X 至 Y 的一步推理值。定性空间矩阵的加法及乘法可仿照普通矩阵的加法及乘法定义。

定理 2.1 N 是依赖网络的结点集, A 是 N 的邻接矩阵, X 与 Y 是 N 的子集。则 X 所在的行与 Y 所在的列在 A^k 中对应的子矩阵(称 X 与 Y 的诱导阵)描

述 X 与 Y 间的 k 步推理值。

证 设 $N = \{n_1, n_2, \dots, n_s\}$, $\forall x \in X, y \in Y$, 设 $x = n_i, y = n_j \cdot A^k$ 的第 i 行第 j 列元素用 $a(k)_{ij}$ 表示。我们需要证明: $a(k)_{ij}$ 为 x 经 k 步至 y 的推理值。我们用数学归纳法证明此点。 A 的第 i 行 $(a_{i1}, \dots, a_{is})$ 描述从 $x (= n_i)$ 至 N 的各结点的一步推理值, A 的第 j 列 $(a_{1j}, \dots, a_{sj})$ 描述从 $(n_1, \dots, n_s)$ 至 $y (= n_j)$ 的一步推理值。 x 单独经 n_p 至 y 的二步推理值由 $a_{ip} \otimes a_{pj}$ 描述, x 经 $(n_1, \dots, n_s)$ 各点至 y 的二步推理的合作用为

$$a_{i1} \otimes a_{1j} \oplus \dots \oplus a_{is} \otimes a_{sj}, \quad (2.8)$$

它等于 $a(2)_{ij}$ 。故 $k=2$ 时命题成立。设 $k=t$ 时命题成立。则 $(a(t)_{i1}, \dots, a(t)_{is})$ 分别表示 x 至 $n_1, \dots, n_s$ 的 t 步推理值, x 经 n_p 至 y 的 $t+1$ 步推理值为 $a(t)_{ip} \otimes a_{pj}$, x 经 $(n_1, \dots, n_s)$ 各点至 y 的 $t+1$ 步推理值的合作用值为

$$a(t)_{i1} \otimes a_{1j} \oplus \dots \oplus a(t)_{is} \otimes a_{sj} \quad (2.9)$$

它等于 $a(t+1)_{ij}$, 命题对 $k=k+1$ 成立。证毕。

从某个因素到自身的 k 步推理, 如果存在, 则其值为“+”, 称自推理是正规的。非正规的自推理值, 如“—”表某因素 n_k 增加导致它自身减少, 是矛盾的。从 n_i 至 n_j 的推理值等于从 n_i 至 n_j 的各种步长推理值的和, 即

$$a_{ij} \oplus a(2)_{ij} \oplus a(3)_{ij} \oplus \dots \oplus a(n)_{ij} \oplus \dots \quad (2.10)$$

故从 X 至 Y 的推理值也等于从 X 至 Y 的各种步长的推理值之和, 即矩阵

$$G = A \oplus A^2 \oplus \dots \oplus A^n \oplus \dots \quad (2.11)$$

的 X 所在行与 Y 所在列诱导的子矩阵所决定。但式(2.11)中的加项应到哪项为止?

定理 2.2 若 N 中各因素的自推理皆为正规的, s 为 N 中含结点的个数。则式(2.11)等于

$$G = A \oplus A^2 \oplus \dots \oplus A^s \quad (2.12)$$

证 设 $G = (g_{ij})_{s \times s}$, 因为

$$g_{ij} = \sum_t a(t)_{ij} = \sum_t \sum_{i_1=1}^s \dots \sum_{i_{t-1}=1}^s a_{ii_1} a_{i_1 i_2} \dots a_{i_{t-1} j} \quad (2.13)$$

如果 $g_{ij} = +$, 则(2.13)式各加项必须为“0”或“+”, 且至少有一项为“+”, 设

$$a_{ii_1} a_{i_1 i_2} \dots a_{i_{t-1} j} = + \quad (2.14)$$

若 $t \leq s$, 则丢掉 $t > s$ 后的加项不改变 g_{ij} 的值。若 $t > s$, t 个数 $i_1, i_2, \dots, i_{t-1}, i_t = j$ 为 $[1, s]$ 间的正整数, 但个数多于 s , 必有重复。设 $i_k = i_p$, 则

$$a_{i_k i_{k+1}} a_{i_{k+1} i_{k+2}} \dots a_{i_{p-1} i_p} = a_{i_k i_{k+1}} \dots a_{i_{p-1} i_k} \quad (2.15)$$

为组成 $a(p-k+1)_{i_k i_k}$ 中的加项, 是 n_{i_k} 的 $p-k+1$ 步自推理, 按正规性假设, 式(2.15)应取“+”值。从式(2.14)中去掉乘项式(2.15), 仍应有

$$a_{ii_1} \dots a_{i_{k-1} i_k} a_{i_p i_{p+1}} \dots a_{i_{t-1} j} = + \quad (2.16)$$

由于 $i_k = i_p$, 故式(2.15)仍是式(2.13)的加项, 其因子数为 $t_1 = t - (p - k + 1) < t$ 。若 $t_1 > s$, 可按上法减 t_1 , 直至式(2.16)因子数 $\leq s$, 使式(2.16)成为

$$\sum_{i=1}^s \sum_{i_1=1}^s \cdots \sum_{i_{r-1}=1}^s a_{ii_1} a_{i_1 i_2} \cdots a_{i_{r-1} j} \tag{2.17}$$

中的加项。故丢掉 $t > s$ 后的项不会改变 g_{ij} 的值。若 $g_{ij} = -$, 类似可证。若 $g_{ij} = ?$, 则式(2.13)至少有一项为“?”或至少有两项分别为“+”或“-”。用上述方法把这些项的因子数减少至 $\leq s$, 亦可证。若 $g_{ij} = 0$, 显然。证毕。

为进一步减少计算量, 我们探讨集结点沿简单集路径的推理。设 $z_0, z_1, \dots, z_{m-1}, z_m$ 是一集路径, 在 z_{i-1} 至 $z_i (i=1, \dots, m)$ 存在一步集路径连接, $z_i (i=0, \dots, m)$ 可有正规自推理圈, 此外集结点间无其他集路径连接, 该集路径称简单的。非简单集路径可采用去掉某些暂时不关心的集结点、集路径或分割为多条集路径的方法化为简单集路径。图 2.3 中有 $Pr-St-Lp, Pr-St-Fi-Tf$ 等多条简单集路径。其中 $Fi=(fi_1, fi_2, fi_3, fi_4)$ 为阶段库存费用集结点, $Tf=(tf_1, tf_2, tf_3, tf_4)$ 为阶段费用集结点。

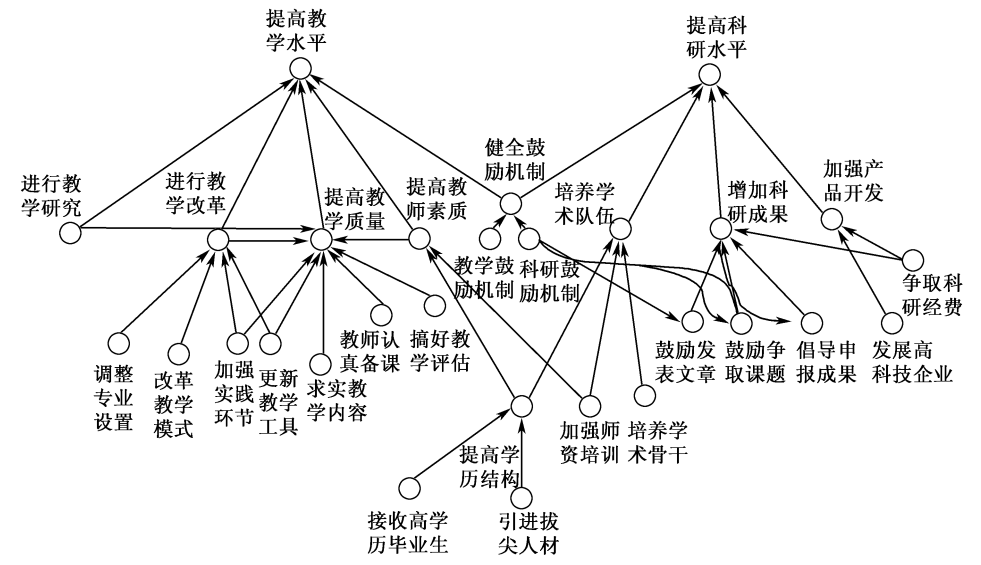


图 2.3 高校教学科研管理手段-目的网络的部分结点组成的子网络

定理 2.3 设 $X=Z_0, Z_1, \dots, Z_{m-1}, Z_m=Y$ 是一简单集路径, D_i 为从 Z_i 至 Z_{i+1} 的一步推理阵 ($i=1, \dots, m$), S_i 为 Z_i 至 Z_i 的自推理阵, n_i 为 Z_i 含结点数 ($i=0, \dots, m$), 其自推理是正规的。设 I 为对角线元素为 +, 其余元素为 0 的矩阵 (简称广义单位阵)。令

$$H_i = \begin{cases} I \oplus S_i \oplus S_i^2 \oplus \cdots \oplus S_i^n, & \text{当 } Z_i \text{ 存在自推理} \\ I, & \text{当 } Z_i \text{ 不存在自推理} \end{cases} \quad (2.18)$$

则从 X 至 Y 沿该集路径的推理值为

$$H_0 D_0 H_1 D_1 \cdots H_{m-1} D_{m-1} H_m \quad (2.19)$$

证 在定理 2.2 中将 N 看成 Z_i , 故自推理阵为 $S_i \oplus S_i^2 \oplus \cdots \oplus S_i^n$, 由于要考虑从结点本身出发的推理, 故加上 I 得式(2.18)。下面用归纳法证式(2.19)。令 $H_i = [h_{ij}^i]_{n_i \times n_i}$, $D_i = [d_{ij}^i]_{n_{i-1} \times n_i}$, 当 $m=1$ 时, $\forall x_i \in X, y_j \in Y$, 由 x_i 转移至 $x_1, \dots, x_{n_0}$ (包括 0 步转移) 的推理值为 $(h_{i_1}^0, \dots, h_{in_0}^0)$ 。再推理至 $(y_1, \dots, y_{n_1})$ 时的值为 $(h_{i_1}^0, \dots, h_{in_0}^0) D_0$, 由 $(y_1, \dots, y_{n_1})$ 自转移至 y_j 的推理值为

$$(h_{i_1}^0, \dots, h_{in_0}^0) D_0 = \begin{bmatrix} h_{ij}^1 \\ M \\ h_{nj}^1 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

由 x_i 及 y_j 的任意性, 知由 X 至 Y 的推理值为 $H_0 D_0 H_1$ 。设 $m=k$ 时式(2.19)成立。当 $m=k+1$ 时, 由 $\forall x_i \in X$ 至 Z_k 各结点的 n_k 个推理值为

$$(h_{i_1}^0, \dots, h_{in_0}^0) D_0 H_1 D_1 \cdots H_{k-1} D_{k-1} H_k \quad (2.21)$$

再经 Z_k 各结点串行推理至 Z_{k+1} 各结点的推理值为

$$(h_{i_1}^0, \dots, h_{in_0}^0) D_0 H_1 D_1 \cdots H_{k-1} D_{k-1} H_k D_k, \quad (2.22)$$

在式(2.22)中乘上 H_{k+1} 描述 Z_{k+1} 的自转移, 由 x_i 的任意性, 易知命题成立。证毕。

依赖网络的简化算法使我们能把多个目标、约束与实现它们的多个行为之间的复杂、间接联系简化成目标、约束和行为手段之间的直接联系, 便于分析处理。我们在下两节将依赖网络用于手段-目的分析, 导出公共手段、复合手段等概念, 形成网络手段-目的分析网络和手段-目的分析方法。

2.4 “手段-目的分析”寻优方法

2.4.1 “手段-目的分析”网络

人们解决问题时, 为达目的 A , 寻找手段 B 来完成它, 若 B 不能立即实现, 把它看成目的 C , 寻找实现它的手段 D , 若 D 不能立即实现, 把它看成子目标 E , 寻找实现它的手段 F 。这样 $F-E-D-C-B-A$ 形成一个手段-目的链, 手段 E 可完成目的 A 。例如, 某企业采购员要从重庆沙坪坝区到北京海淀区去选购某种原料。将“到达北京海淀区”作为目的 A , 能实现它的手段之一是“从北京西站乘出租车”(手段 B)。但是怎样能到达北京西站呢(目的 C)? 可以从重庆菜园坝火车站乘

10 次特快列车去(手段 D)。怎样去重庆菜园坝火车站呢(目的 E)? 可以从沙坪坝乘 2 路电车到达(手段 F)。这样,从“沙坪坝乘 2 路电车到达菜园坝”、“从重庆菜园坝火车站乘 10 次特快列车至北京西站”、“从北京西站乘出租车至北京海淀区”便构成一条手段-目的链。手段-目的链是人们解决问题思维过程知识的一种模拟和表达。

在“手段-目的”链中,如果实现各目的的手段都是唯一的,则是单纯的“问题解决分析”;如果实现一些目的的手段不是唯一的,则实现这些目的的手段需经过选择过程,即优化决策过程。如在上述例子中,“从沙坪坝去菜园坝”有多种办法,如乘 16 路汽车在上清寺转车,这种办法有转车之苦;乘出租汽车,花钱太多;而乘 2 路电车,既经济,又基本能达到目的。从重庆至北京也存在多种交通工具,乘飞机,价格太贵;乘轮船经武汉、上海、天津去北京,时间太长;乘火车能兼顾费用、时间、舒适等多个目标。从北京西站去北京海淀区若乘公共汽车,因路途不熟,不够方便;而乘出租车虽然价格贵一些但能直接到达。所以经过比较选择,从“沙坪坝乘 2 路电车到达菜园坝”、“从重庆菜园坝火车站乘 10 次特快列车至北京西站”、“从北京西站乘出租车至北京海淀区”便构成一条该采购员认为较佳、满意或最佳的手段-目的链。

在寻优过程中,对于当前讨论的决策方案,若它们不满足某些约束,或者使某些指标、目标的状态不优,则我们应想办法改进调整方案使约束 $h_1, \dots, h_s$ 尽量都得到满足,使决策目标 $f_1, \dots, f_m$ 的状态进一步趋于优化。将寻优过程中要满足约束 $h_1, \dots, h_s$ 及优化目标 $f_1, \dots, f_m$ 都统一看成要达到的目的 G ,则决策变量的调整是手段 M 。我们要寻找 M 使 G 的多个目的均得到较好的满足。依赖网络较好地描述了 G 与 M 间的因果关系,我们研讨怎样利用依赖网络来寻找 M 。

图 2.3 是某高校教学科研管理中提高教学、科研水平的手段-目的网络的部分内容。在图中,箭尾结点是手段,箭头结点是目的。要提高教学水平,需进行提高教学质量、提高教师素质、进行教学改革、进行教学研究等方面的工作。提高教学质量需丰富、充实、更新教学内容,抓好教学评估、教师备课、实践环节等环节,还要更新教学工具。而提高教师素质、进行教学改革、进行教学研究也与教学质量的提高息息相关。进行教学改革目前可开展调整改革教学与考试模式、调整专业设置与方向、加强实践环节、加强基础课程、拓宽知识面、采用现代教学工具等工作。要达到提高科研水平的目的,须实施培养学术队伍、鼓励科研成果、健全激励机制、加强产品开发等手段措施,而培养学术队伍当作为要达到的子目标,又可通过培养学术骨干、加强师资培训、提高职工学历结构等手段来实现。提高职工学历结构包括引进拔尖人才,招聘、接受高学历毕业生等方面。有些手段可实现多个目的,而一个目的往往可通过多个手段来实现,它们之间的复杂关系构成一个复杂的网络,我们称为手段-目的网络。手段-目的网络是依赖网络和手段-目的分析法相结合的产物。

在图 2.3 中,提高学历结构、加强师资培训、培养学术骨干可同时达到培养学术队伍、增加科研成果、提高教师素质、提高教学质量、促进教学改革等多个目的。这种能达到多个目的的手段称公共手段,在“手段-目的分析”中占有特别重要的地位,在下节中我们展开对它的分析。

2.4.2 公共手段与复合手段

定义 2.6 在依赖网络中,若手段(中介因素或决策变量) m_j 经 k 步推理至某目的(目标或约束) g_i , 且每步推理值皆为+或-, 称手段 m_j 覆盖目的 g_i 。

当手段 m_j 覆盖目的 g_i 时,可调整 m_j 以改进或改变 g_i 。当有多个目标及约束需调整,要研究它们同多个中介因素及决策变量的相关及影响关系。

定义 2.7 在依赖网络中,对于目的(目标及约束)的子集 G , 若存在手段(中介因素及决策变量)的子集 M 可覆盖 G , 称手段子集 M 是目的子集 G 的覆盖集。

当一个手段子集 M 覆盖目的子集 G 时, M 再添加任何不属于 M 的手段 m_k , M 仍然覆盖 G 。怎样刻画覆盖目的集 G 的手段集 M 包含最少数目的手段呢?

定义 2.8 当手段子集 M 覆盖目的子集 G 时,如从 M 中去掉任何 m_j 后,手段子集 M 不再是目的子集 G 的覆盖集, 称手段子集 M 覆盖目的子集 G 的覆盖集是非冗余的。

以下谈及的覆盖一般指非冗余覆盖。

设由多个目的(目标及约束)组成的子集

$$G = \{ g_1, \dots, g_m \} \tag{2.23}$$

由多个手段(中介因素及决策变量)组成的子集

$$M = \{ m_1, \dots, m_n \} \tag{2.24}$$

用上节所述的方法容易将依赖网络描述的多个目的 G 与覆盖它的手段集 M 间的关系简化为图 2.4 的直接连接形式,并且可以计算出 M 与 G 间的推理阵

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix} \tag{2.25}$$

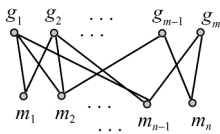


图 2.4 G 与 M 的直接连接形式

为了给目的以更详尽的描述,将目的 g_j 细化为由重要度 r_j 、改进要求 c_j 及允许变化范围 p_j 组成:

$$g_j = \{ r_j, c_j, p_j \}, \tag{2.26}$$

其中 r_j 在 $[0,1]$ 中取值, c_j 在 $\{+, -, 0\}$ 中取值, p_j 在 $\{+, sc, 0, -sc, -\}$ 中取值, sc 与 $-sc$ 分别为允许稍增大及稍减少。当实际应用中,增加(+)及减少(-)不涉及绝对值很大的量时, $sc, -sc$ 与 $\{+, -, 0\}$ 的乘法可服从图 2.5 所示的规则。

$\otimes$	+	-	0
sc	sc	- sc	0
- sc	- sc	sc	0

图 2.5 扩充乘法规则

类似地,将手段 m_i 细化为由行为 u_i 、允许变化范围 a_i ,矛盾度 q_i 组成:

$$m_i = \{ u_i, a_i, q_i \} \quad (2.27)$$

经这样细化描述后,手段与目的之间存在更详细的关系:

$$d_{ij} = c_j \otimes b_{ij} \quad (2.28)$$

为 g_j 向 m_i 传递的改进要求。式(2.28)表示:如果手段 m_i 与目的 g_j 正相关,则 m_i 的变化方向希望与 g_j 改进要求相同。即当 g_j 要求增加(取“+”值),希望 m_i 也增加(取“+”值);当 g_j 要求减少(取“-”值),希望 m_i 也减少(取“-”值)。反之,如果手段 m_i 与目的 g_j 负相关,则 m_i 的变化方向希望与 g_j 改进要求方向相反。即当 g_j 要求增加(取“+”值),希望 m_i 减少(取“-”值);当 g_j 要求减少(取“-”值),希望 m_i 增加(取“+”值)。类似地,关系式

$$l_{ij} = p_j \otimes b_{ij} \quad (2.29)$$

为 g_j 向 m_i 传递的允许变化范围。因为 l_{ij} 表示 g_j 对 m_i 的限制,而 d_{ij} 为 g_j 希望 m_i 的行为方向,所以 m_i 应在

$$a_i = \prod_{j=1}^m l_{ij} \quad (2.30)$$

范围内,沿

$$w_i = \prod_{j=1}^m d_{ij} \quad (2.31)$$

方向改进。当

$$\left[\prod_{j=1}^m d_{ij} \right] \cap \left[\prod_{j=1}^m l_{ij} \right] = \emptyset \quad (2.32)$$

时,多个目标、约束对手段 m_i 的限制和要求没有共同的方向,在这种情况下,称 m_i 为矛盾的。此时,可根据 r_j 估计 m_i 的矛盾度 q_i 。在后面的算法 2.1 中,当只能选择某矛盾手段时,要给与 u_i 矛盾的 g_j 补偿与一 u_i 方向相应的重要度。

在一般情况下,对于多个目的 $G = (g_1, \dots, g_m)$,某个行为手段的实施会对一些目的有利,对另一些目的不利。但也存在这种情形,当某个手段实施后使多个指标同时改进,多个目的同时达到。这种手段的实施一举多得,对加速方案改进特别有利,这种手段是我们最希望、最应该寻找、构造和研究的。因而我们提出公共手段的定义。

定义 2.9(公共手段) 若手段 m_i 实施后能实现多个目的 $G = (g_1, \dots, g_m)$, 称 m_i 为能实现 $G = (g_1, \dots, g_m)$ 的公共手段。

公共手段具有相对性,当某手段对于某一组目的是公共手段时,对另一组目的可能不是公共手段。公共手段和式(2.30)、式(2.31)都是非线性规划中的下降可行方向在定性情形的推广。

在寻优的计算、迭代过程中,通过观察手段与目的之间的推理阵的特点,及时发现和寻找公共手段,是一项特别有意义的事情。定理 2.4 探讨这种方法。

定理 2.4 设 $G = \{g_1, \dots, g_m\}$ 为目的集, $M = \{m_1, \dots, m_n\}$ 为手段集,而

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdots & b_{mn} \end{pmatrix} \quad (2.33)$$

为从 M 至 G 的推理阵, c_i 为目的 g_i 的改进要求。若对于某个 i 有:

1) 对于 $j=1, 2, \dots, m$, 当 $c_j \neq 0$ 时, 必有 $c_j = b_{ij}$ 。

2) 对于 $j=1, 2, \dots, m$, $c_j \neq 0$ 时, 必有 $c_j = -b_{ij}$, 则 m_i 是实现 $G = \{g_1, \dots, g_m\}$ 的公共手段。

证 若 1) 式成立, 取 $u_i = +$, 因为

$$u_i \otimes b_{ij} = u_i \otimes c_j = (+) \otimes c_j = c_j, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (2.34)$$

所以采用手段 u_i 能同时实现所要求的 m 个目的, 即 u_i 是公共手段; 若 2) 成立, 则采用 $u_i = -$, 因为

$$u_i \otimes b_{ij} = u_i \otimes (-c_j) = (-) \otimes (-c_j) = c_j, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (2.35)$$

故采用手段 u_i 也能同时实现所要求的 m 个目的, u_i 是公共手段。故当 $c_j \neq 0$ 时, 两种情形都有

$$u_i \otimes b_{ij} = c_j \quad (2.36)$$

对 $j=1, 2, \dots, m$ 成立, 即 m_i 实现所有非零改进要求。证毕。

但公共手段并不总是存在。当公共手段不存在时, 我们可以尝试把多个手段复合起来, 先后或同时实施后, 有可能起到弥补、补充、调和、折中作用。如手段 M_A 能实现 g_A , 但不能实现目的 g_B , 手段 M_B 能实现 g_B , 但不能实现目的 g_A 。若同时实施手段 M_A 和 M_B , 则有可能实现目的 g_A 和 g_B 。这样联合多个手段以实现多个目的的方法称为复合手段。

定义 2.10 (复合手段) 若手段组 $M = \{m_1, \dots, m_n\}$ 同时或先后实施后, 能实现多个目的集 $G = \{g_1, \dots, g_m\}$, 称 $M = \{m_1, \dots, m_n\}$ 为能覆盖 $G = \{g_1, \dots, g_m\}$ 的复合手段。

从某种角度讲, 手段组 M 可以看成是实现多个目的 $g_1, \dots, g_m$ 的公共手段组。所以, 复合手段是公共手段的推广, 是一种广义的公共手段。事实上, 下列算法帮助我们寻找关于 $G = \{g_1, \dots, g_m\}$ 的复合手段 $M = \{m_1, \dots, m_n\}$ 。

算法 2.1 在算法中,用 G 表示用户输入目的集, G_1 表示已覆盖目的集, G_2 表示未覆盖目的集, M_0 表示手段集, M 表示复合手段集。

步骤 1 $G_1 = \emptyset, G_2 = G, M = \emptyset$ 。

步骤 2 由式(2.28)~式(2.31),计算 m_i 的允许方向 a_i 及矛盾度 q_i 。

步骤 3 显示 G_2 ,由算法或用户从 G_2 中选择一个目的 g_{j_0} 。当由算法选择时,可优先选择重要度大的。在相同重要度时,优先选择可覆盖手段少的。

步骤 4 设 M_1 为预选手段集。对于 $i=1,2,\dots,n$,检查:若 $m_i \in M$,且 $b_{ij_0}=+$ 或 $b_{ij_0}=-$,且 $d_{ij} \otimes a_i \neq \emptyset$,则 $M_1 \leftarrow M_1 \cup \{m_i\}$ 。

步骤 5 显示 M_1 ,由算法或用户从中选择一个手段 m_{i_0} 。当由算法选择时,可优先选择矛盾度小的;在相同矛盾度时,优先选择可覆盖 G_2 中目的数较多的。

步骤 6 检查 m_{i_0} 能覆盖 G_2 的目的,设它们为 G_3 , $G_1 \leftarrow G_1 \cup G_3$, $G_2 \leftarrow G_2 \setminus G_3$, $M_0 \leftarrow M_0 \setminus \{m_{i_0}\}$, $M \leftarrow M \cup \{m_{i_0}\}$ 。

步骤 7 对于 $j=1,\dots,m$,检查 g_j 是否与 m_{i_0} 矛盾。若有,将其添入 G_2 或增加 g_j 的重要度。

步骤 8 若 $G_2 = \emptyset$,停。否则转步骤 3。

算法虽看起来稍麻烦,但由于允许用户凭直观进行选择,加之算法的辅助分析及考虑问题的实际意义,一般能较快找到复合手段。

2.4.3 “手段-目的分析”寻优算法

人们在改进方案时,常先进行初步的定性判断,确定方案的可能改进手段,然后在有希望的、可能解决当前主要矛盾、减少当前方案缺点的方向上进行尝试。模拟这种思路,以定理 2.4 和算法 2.1 为基础,我们构造以下算法。

算法 2.2

步骤 1 选定初始方案 S_0 , $S = S_0$ 。

步骤 2 用定量化方法对 S 进行评价或仿真。

步骤 3 根据上步骤评价的结果,确定某些目标及约束的改进要求、允许变化范围及重要度。其中未满足约束重要度最高,主要目标其次,次要目标最小。

步骤 4 检查是否有满足定理 2.4 条件 1)或 2)的公共手段 m_i 能覆盖 G 。若有, $M = \{m_i\}$. 转步骤 6。否则转步骤 5。

步骤 5 调用算法 2.1 求覆盖 G 的复合手段集 M 。

步骤 6 实施 M 后得到新的方案 S ,转步骤 2。

2.5 一般的手段-目的网络与特殊的手段-目的网络

人们经历和面临着许许多多、形形色色的问题。设全体问题集合为 QU ,对某