

多属性决策理论方法 及其在 C^3I 系统中的应用

钱世才 周祝中 著

国防工业出版社

多属性决策理论方法 及其在 C^3I 系统中的应用

魏世孝 著
周献中

國防工業出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

多属性决策理论方法及其在 C³I 系统中的应用/魏世孝、
周献中著. —北京:国防工业出版社, 1998. 1

ISBN 7-118-01750-7

I. 多… II. ①魏… ②周… III. 决策论-应用-指挥控
制系统 IV. TP399

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 09567 号

60430/01

国防·军工出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

河北三河市腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 13 339 千字

1998 年 1 月第 1 版 1998 年 1 月第 1 次印刷

印数:1—1000 册 定价:21.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科技现代化和国防现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。

4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开

放的新形势下,国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第二届评审委员会组成人员

名誉主任委员	怀国模		
主任委员	黄 宁		
副主任委员	殷鹤龄	高景德	陈芳允
	曾 铎		
秘 书 长	刘琯德		
委 员	尤子平	朱森元	朵英贤
(按姓氏笔划为序)	刘 仁	何庆芝	何国伟
	何新贵	宋家树	张汝果
	范学虹	胡万忱	柯有安
	侯 迁	侯正明	莫梧生
	崔尔杰		

前 言

决策是人类的一项基本活动,是人(们)行动的先导。决策学是为决策提供科学的理论和方法,以支持和方便人们作决策的科学,是自然科学与社会科学并涉及人类思维的新兴交叉学科。在科学技术不断进步,社会经济迅速发展,资源和生态环境日渐恶化的情况下,人类正面临着越来越多的重大、复杂而困难的问题有待决策。

优化是科学技术永恒的主题。需求是主体评价客体优劣的准则,是决策的始点和终点。人们办事造物总求多快好省,所以现实中的决策大多是多准则决策,包括经常应用于自然科学技术中的多目标决策和经常应用于社会、经济、科技、军事等领域的多属性决策。

当评价客体的属性多于一个时,客体之间的优劣关系是不完全有序的,对客体进行比较、排序、聚类 and 选择,都离不开主体的偏好。偏好是主体对客体进行价值比较的一种直觉,价值是主体对客体偏好的度量,价值的数量表述是客体对主体的效用。由于客观事物的多样性、复杂性和主体认识的局限性、特殊性,不仅使多属性决策变得相当困难,而且求得的结果必然具有多值性和模糊性,不可能像纯自然科学问题那样存在解的唯一正确性。有一个合理的准则体系,有足够可靠的信息(数据),选用适当的决策方法,并有一套经过认同的组织实施细则,是科学决策的基本要素。合理有效的决策是主观和客观世界辩证统一的结果。

多属性决策以其考虑问题的全面性,决策方法的科学性,及其应用的广泛性,正吸引着越来越多的人去学习、研究它和应用它。

本书共计三篇九章:

第一篇为基础理论,包括决策引论(第一章),现代效用理论(第二章)和交互选好理论(第三章)等预备知识;

第二篇为多属性决策方法,包括确定性决策方法(第四章),定性定量相结合的决策方法(第五章),模糊性决策方法(第六章),为促进理论、方法的普及应用,在第七章科学决策的集结技术中,介绍了实践性较强的决策科学化的概念。途径和选择适当方法的导引;

第三篇为多属性决策在军队指挥自动化(C³I)系统中的应用案例,包括兵力剖分、阵地布防两个辅助决策(第八章),和 C³I 系统的自身效能、作战效能两个综合评估(第九章)的应用案例。

本书是作者在教授硕士研究生学位课《决策论》的基础上,结合近 10 年来从事决策咨询、军事运筹等科研工作的经验写成的,除了我们的工作外,还介绍了国内外在这一领域的一些成熟的或最新的成果,在此对有关的专家、学者表示深切的谢意。南京理工大学副研究员冯俊文博士审阅了全部书稿,并提出了宝贵意见,蔡骅、张志华、辛永平等参加了部分科研工作,借此机会一并致谢。同时,还要感谢张玉全、邬梅笑女士在作者编著本书过程中给予的理解和支持。由于作者水平所限,书中定有缺点错误,望读者批评指正。

作 者

1995 年 11 月于南京

目 录

常用符号说明	1
--------------	---

第一篇 基础理论

第一章 引论	5
§ 1.1 概述	5
§ 1.2 决策理论常用术语	9
§ 1.3 决策过程与决策要素	12
第二章 现代效用理论	19
§ 2.1 在简单偏好集上的效用函数	19
§ 2.2 在简单概率偏好集上的效用函数	25
§ 2.3 在多属性偏好集上的效用函数	31
§ 2.4 常用效用函数表	39
第三章 多属性决策理论基础	46
§ 3.1 多属性决策模型和解集	46
§ 3.2 交互选好优化理论	56
§ 3.3 量化标度与评估量化方法	68

第二篇 决策方法

第四章 确定性多属性决策方法	86
§ 4.1 多属性决策方法分类	86
§ 4.2 筛选方案的方法	89
§ 4.3 基于属性序偏好信息的决策方法	92
§ 4.4 基于属性基数偏好信息的决策方法	98

§ 4.5	基于属性间局部偏好信息的决策方法	128
§ 4.6	基于方案偏好信息的决策方法	142
第五章	定性定量相结合的决策方法	155
§ 5.1	层次分析法(AHP)	155
§ 5.2	优序法	176
§ 5.3	O—C(O—O)型决策的蒙特卡罗法	186
§ 5.4	纯 O—O 型与混合型决策的数据包络分析(DEA)法	194
第六章	模糊性多属性决策方法	211
§ 6.1	模糊决策概述	211
§ 6.2	模糊集合基础	216
§ 6.3	模糊排序法	232
§ 6.4	模糊多属性决策方法	241
§ 6.5	模糊综合评判法	269
§ 6.6	综合评价的主分量法	275
第七章	科学决策技术	281
§ 7.1	决策科学化概述	281
§ 7.2	多属性决策灵敏度分析	286
§ 7.3	选择决策方法的导引	295
§ 7.4	科学决策的集结技术	309
§ 7.5	多属性决策集结技术应用汇集	315

第三篇 应用案例

第八章	军队指挥辅助决策	329
§ 8.1	指挥决策的内容与特征	329
§ 8.2	集团军防空兵力剖分(应用案例之一)	330
§ 8.3	旅(团)防空兵力布防(应用案例之二)	343
第九章	军队指挥自动化(C ³ I)系统综合评估	360
§ 9.1	某防空 C ³ I 系统自身效能评估(应用案例之三)	363
§ 9.2	某防空 C ³ I 系统作战效能评估(应用案例之四)	380
参考文献		394

常用符号说明

Ψ	空集
R^n	n 维实数空间
E^m	m 维欧几里德空间
$\mathcal{W}$	权空间
R	全体备选方案集合, 即 $R = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$; 可行解集
R^*	最优解集
R_{ps}^*	非劣解集
R_{wp}^*	弱有效解集
R_{ab}^*	绝对最优解集
U	论域
$\mathcal{F}(U)$	幂集, 即 U 上的所有子集组成的集合
A $\sim$	模糊(子)集
A_λ	A 的 λ -截集
M	下标集, 即 $M = \{1, 2, \dots, m\}$
$[a, b]$	闭区间 $a \leq \xi \leq b$
(a, b)	开区间 $a < \xi < b$
$A \triangleq B$	A 相当于 B
$A \Rightarrow B$	如果 A 则 B
$A \Leftrightarrow B$	A 与 B 等价
$x \in A$	x 属于 A

$x \notin A$	x 不属于 A
$A \supseteq B$	A 包含或等于 B
$A \cup B$	A 与 B 的并(和)集合
$A \cap B$	A 与 B 的交(积)集合
$A \setminus B$	A 与 B 的余(差)集合
$A \times B$	A, B 的直积即笛卡儿积
$f: X \rightarrow Y$	由 X 到 Y 的映射(f)
$\text{Ker}(A)$	A 的核集
$\text{Supp}(A)$	A 的支集
$ A $	集合 A 所含元素的个数
$\min(a_1, a_2, \dots, a_n)$	数 $a_1, a_2, \dots, a_n$ 中最小者
$\max(a_1, a_2, \dots, a_n)$	数 $a_1, a_2, \dots, a_n$ 中最大者
$\sup A$	A 的上确界, 最小上界
$\inf A$	A 的下确界, 最大下界
$\vee$	Zadeh 取大算符
$\wedge$	Zadeh 取小算符
0	(行或列)零向量
$x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$	n 维列向量(或点)
x_i	x 的第 i 个分量或第 i 个备选方案
$w = [w_1, w_2, \dots, w_m]^T$	权重向量
$\forall x$	对所有 x
$x > y$	x 的每个分量都大于 y 的相应分量
$x \geq y$	x 的每个分量都大于或等于 y 的相应分量且至少有一个分量大于 y 的相应分量
$x \leq y$	x 的每个分量都大于或等于 y 的相应分量

$$\mathbf{x}^T \mathbf{y} = \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

$$\|\mathbf{x}\| = \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right)^{1/2}$$

$$i \in M_i$$

$$\exists j$$

$$F(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)]^T$$

$$f_j$$

$$F(R)$$

$$f_j(x)$$

$$F_j$$

$$\mathcal{F}$$

$$f_j^0$$

$$f_j^*$$

$$\geq$$

$$\geq'$$

$$\geq''$$

$$> (>', >'')$$

$$\sim (\sim', \sim'')$$

$$< (<', <'')$$

$$(a, b)$$

$$(a_1, a_2, \dots, a_n)$$

$$D = [d_{ij}]_{n \times m}$$

$$D^T$$

两个 n 维向量的内积

$\mathbf{x}$ 的欧几里德范数(距离)

$$i = 1, 2, \dots, k-1, k+1, \dots, m$$

存在 j

m 维准则(目标或属性)函数

第 j 个准则(属性或目标)

准则空间的值域

第 j 个准则函数

第 j 个准则的可能值的集

准则 $F_1, F_2, \dots, F_n$ 的笛卡儿集

第 j 个准则的最劣值

第 j 个准则的最优值

在简单偏好集 F_j 上的“优于或无差别于”二元关系

在简单概率偏好集 $P(f)$ 上的“至少不劣于”二元关系

在多属性偏好集 $\mathcal{F}$ 上的“至少不劣于”二元关系

在相应偏好集上的“优于”关系
在相应偏好集上的“无差别于”关系

在相应偏好集上的“劣于”关系
有序对

n 元有序组

n 行 m 列矩阵

矩阵 D 的转置

D^{-1} 满秩方阵 D 的逆矩阵 $|D| = \det D$ 方阵 D 的行列式 $t_r(D)$ 方阵 D 的迹 $\text{rank}(D)$ 方阵 D 的秩 $\rho(D)$ 方阵 D 的谱半径

第一篇 基础理论

第一章 引 论

§ 1.1 概 述

1.1.1 决策的普遍性

决策是人类的一项最基本的活动,它存在于个人、组织与外界事物发生联系的一切行动中。有行动,就有决策,决策是对行为的选择。大至人类生存与发展战略、国家大政方针的制定,小到个人、家庭生活的安排,无一不在采取行动之前要作出合理的选择。选择就是一种决策行为。爱情是文学艺术永恒的主题已成为社会共识,科学技术有没有永恒的主题呢?科学技术永恒的主题很可能就是“最优化”。人们办事造物,总求多快好省,所以,现实中的优化大多是多准则优化(决策)。著名管理科学家,诺贝尔奖金获得者西蒙(H. A. Simon)说过:“管理就是决策。”可见决策活动的普遍性。可以说自从有人类以来,就有人类的决策活动,而人类的历史,就是在决策过程中求生存、求发展的历史,是预测、抉择、行动、经验再预测、决策等永不停顿的循环发展的历史。

1.1.2 决策的重要性

西方管理界流行着这样的说法:“管理的重心在经营,经营的关键是决策。”决策的正确与否,不仅关系个人的得失,企业或事业的成败,甚至影响到国家的兴衰和历史的轨迹。长征途中若没有遵

义会议的正确决策,中国革命就可能经历更曲折的道路。国家科委主任宋健在全国软科学研究工作座谈会上的报告^[77]中指出:“我们和所有发展中国家一样,当前经济建设面临的主要困难有:人口,人才,科学技术和资金。理论和历史事实都证明,这些都是适应性和稳定性相当脆弱的社会发展过程。这些过程的发展受初始条件和政策的影响非常之大,用‘差之毫厘,谬以千里’这句话来形容政策对过程的影响有一定道理。”

例如,人口问题的决策失误,十几年时间就使我国人口由 7 亿猛增到 10 亿,而要从 10 亿退回到 7 亿,即使 1 对夫妇只生 1 个子女,也需要 90 年。如果放松到生 3 个子女,100 年后中国人口肯定超过 40 亿。自 70 年代推行计划生育后,使我国“12 亿人口日”推迟了整 9 年,可见政策影响之大。

美国在第二次世界大战前还是一个大量引进科学技术的国家,由于采取借助外脑的政策,据不完全统计,已有 20 多万外国的科技人才源源不断流入美国,为建设富强的头号帝国效力。据前苏联出版的《美国科技潜力》认为,1952 年至 1957 年,因引进外国专家,使美国节省教育投资和有关费用至少在 150 至 200 亿美元。美国众议院在科技与外交报告中承认:“成千上万移居美国的科学家、工程师,他们所作出的贡献不可估量,所带来的经济利益使美国变得更加强大和富裕。”

1.1.3 决策学的综合性

决策科学简称为决策学,是研究、探索和寻求作出科学决策的科学,也可以说是为决策提供科学的理论和方法的科学。决策学是一门涉及数学、运筹学、管理科学、思维科学(认知心理学)和行为科学等综合性的,横跨自然科学与社会科学并涉及人类思维领域的新兴交叉学科。历史和现实表明,把握决策的科学规律,是作出科学决策的前提,不遵循决策科学,一定作不出有效的决策。由于决策科学是关于所研究问题的全局性的科学,所以,决策失误所造成的损失,要比其他科技研究失误所造成的损失大得多,因此,学

习、应用和研究决策学的意义重大。

1.1.4 科学决策的困难性

决策作为人类的基本活动,归根结底,是人们在行动之前对行动准则与手段的探索、判断与抉择的过程。它首先是人的主观活动,而其效果如何,则取决于它是否符合事物的客观规律。由于决策对象的广域性、多样性和复杂性,使主体认知客体的状态及其发展规律十分困难。在现代科学技术不断进步,社会经济迅速发展,资源和生态环境日渐恶化的情况下,人类面临着越来越复杂的大系统的组织管理、协调、规划、计划、预测和控制等重大而困难的决策问题。决策是面向尚未发生的事件的选择,所以都带有预测性。由于客观世界的不确定性和人对客体认识的模糊性,使决策者始终面临不确定的环境来进行预测和决策。现代决策,要追求统筹兼顾,协调平衡,总体优化,通常不是单准则决策,而是多准则决策。在多准则决策里,对客体进行比较、排序、选择,离不开主体的往往难于表述的偏好信息,更增添了有效决策的困难性。而且,决策大多属于一次性的,它对“一次成功率”的要求甚高,有的决策时间紧迫,往往“机不可失,时不再来”,稍有不慎,就会造成难以挽回的损失。

1.1.5 决策发展过程的简单回顾

尽管人类的决策活动有着悠久的历史,历史上也出现过不少决策技艺高超的人物,但决策作为一门科学,真正形成一门独立的科学体系,还是最近 50 年的事。向量优化的概念,早在 1896 年,由法国经济学家帕雷托(V. Pareto)首先提出,他从政治经济学的角度,把本质上不可比较的多个目标化成单个目标优化,从而涉及多目标概念。但人们普遍认为,现代决策学起始于 1947 年,以诺依曼-摩根斯坦(J. V. Neumann-O. Morgenstern)提出期望效用值理论为标志,他们从对策论的角度提出了在彼此矛盾情况下的多准则决策问题。后来,在理论上有突出贡献的代表人物有:1951 年库普