

21 世纪高等院校教材

综合评价理论、方法及应用

郭亚军 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书对作者已取得的有关综合评价方面的大部分研究成果重新进行了系统地整理与归类。全书由六大部分组成:绪论部分——分别从理论、应用的角度综述了综合评价领域的研究状况;综合评价的经典过程——分别介绍了评价指标构建及预处理方法、线性无量纲化方法的性质及稳定性分析、权重系数的确定方法、评价信息集结方式等;多视角下的综合评价方法——分别给出了时序动态视角的综合评价方法、立体三维视角的综合评价方法、柔性协商视角的综合评价方法、知识积累视角的综合评价方法、自主决策视角的综合评价方法、随机模拟视角的综合评价方法、递阶结构的综合评价方法;基于多评价结论再融合的组合评价方法——分别讨论了综合评价结论的敏感性问题、硬组合评价方法、软组合评价方法、多阶段组合评价方法等;综合评价决策支持系统——提出了 IIEDSS 的设计与开发等内容;总结部分——系统地总结了作者近年来的研究成果及尚待进一步研究的问题,并对综合评价理论方法的前沿做了展望。

本书是继《综合评价理论与方法》(科学出版社,2002)后的一本学术著作,理论联系实际,内容新颖、丰富,既可作为经济、管理和工业工程等专业的低年级本科生、研究生的教学参考教材,也可供从事规划、评价等决策部门的理论工作者和实际工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

综合评价理论、方法及应用/郭亚军著.—北京:科学出版社,2007
(21 世纪高等院校教材)
ISBN 978-7-03-018796-3

I. 综… II. 郭… III. 综合评价—研究 IV. F224.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 042561 号

责任编辑:林 建 贾瑞娜/责任校对:刘亚琦
责任印制:张克忠/封面设计:陈 敬

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 5 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2007 年 5 月第一次印刷 印张:17 1/2

印数:1—3 000 字数:331 000

定价:26.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈 〉)

作者简介

郭亚军 男,1952年4月生于辽宁省开原市,满族。1976年于东北大学应用数学系毕业后留校任教,1984年和1990年在东北大学分别获控制科学与控制工程专业工学硕士、博士学位,1991年晋升副教授,1996年晋升教授,1999年遴选为管理科学与工程专业博士生导师。现任东北大学工商管理学院技术经济与管理研究所所长,兼任中国区域科学学会常务理事、辽宁省系统工程学会理事、辽宁省数量经济学会常务理事、辽宁省第六届财政学会常务理事、辽宁省人民政府学位委员会第四届学科评议组成员、第一届沈阳市哲学社会科学奖励评审委员会委员、东北大学学报(社会科学版)编委等。主要从事系统评价理论与技术、数量经济、企业资源配置与管理等方面的教学与科研工作,曾先后为本科生讲授“系统工程”、“经济控制论”、“计量经济模型”等课程,为研究生讲授“决策分析”、“应用数理统计”、“管理经济学”、“综合评价理论与方法”(均为学位课)等课程,已指导博士研究生12名(均获得博士学位)、硕士研究生58名(均获得硕士学位)。1990年以来,作为课题负责人,先后主持省部级科研项目17项,曾连续三次获得辽宁省自然科学基金资助,2004年获得国家自然科学基金资助(项目批准号:70472032),发表论文140余篇,出版学术专著两部:《多属性综合评价》(东北大学出版社,1996)、《综合评价理论与方法》(科学出版社,2002),编写教材一本。1995年被评为辽宁省百名优秀(青年)科技工作者,1996年、1997年、1998年连续三年获东北大学优秀教学成果奖及优秀研究生指导教师称号。科研课题“沈阳市人口、资源、环境与经济协调发展关系研究”获2000年沈阳市政府科技进步二等奖,2000年享受国务院政府特殊津贴(第(2000)3600326号)。1998年应邀分别到香港中文大学系统工程与工程管理学系、日本关西大学社会学部做学术交流。

目前感兴趣的研究方向:①系统评价理论与技术;②企业资源配置与管理;③技术经济分析等。

前 言

作者之所以对多属性(或多指标)综合评价问题产生兴趣,其原因有四:一是作者在1982年攻读硕士学位期间,在导师指导下研究与探讨城市发展状况的综合评价问题,从此开始涉足这一领域;二是经济、管理及工程等领域中存在着大量的各种各样的综合评价问题,需要探索、总结多属性(或多指标)综合评价问题的理论;三是该领域的探讨空间相当大,有“天高任鸟飞,海阔凭鱼跃”之兆;四是作者在为东北大学工商管理学院研究生讲授“综合评价理论与应用”这门选修课时,饱尝了无现成教材的苦恼,于是就萌发了编写这方面的讲义的念头,继而就开始着手收集资料。然而,在收集、理解、整理资料的过程中,越来越发现所收集的资料不仅远不能成为一个体系,而且还存在着许多不够完善甚至是相互矛盾的地方。这些需要探讨的问题又激发了作者的研究兴趣。经过努力钻研,取得了一些初步的研究成果,先后提出了递阶综合评价、协商评价、动态评价等新概念和确定权重系数的 G_1 -法、 G_2 -法、拉开档次法等新方法,给出了兼顾“功能性”与“均衡性”的综合评价模型以及先分类后排序的综合评价模式,发表了一系列的学术论文。在此基础上,出版了第一本学术著作——《多属性综合评价》(东北大学出版社,1996)。

《多属性综合评价》出版后,得到了同行专家、学者的关注和肯定。使用该书作为东北大学管理科学与工程专业硕士研究生的教学用书过程中,发现还存在着一些不足或不妥之处。正是这些不足或不妥之处,激励作者为完善综合评价的理论体系而不断地继续探讨着。

作者从日常生活中的一个综合评价事例入手,围绕着如何得出一个正确、合理的综合评价结果的问题,引出了看似不大却直接影响评价结果合理性的15个问题。这15个问题中的任何一个,如不正确对待,都将会出现“表面上的科学性掩盖着实际上的不科学甚至伪科学”的现象。这就需要从理论上、方法上给出“综合评价结果合理性”的整体上的解决方案。

为试图解决综合评价结果的合理性问题,作者历经近5年时间的探讨,首次分别归纳了基于功能驱动原理、差异驱动原理确定权重系数的方法;分别提出了基于“纵向”、“横向”、“纵横向”拉开档次法的动态综合评价方法;提出了兼顾“历史”、“现状”、“预期”的“立体”综合评价思路与方法;提出了基于模式识别的多属性综合评价方法。稍加考虑就会发现:当采用不同的指标无量纲化方法、采用不同的指标类型一致化方法时,即使是对相同的被评价对象,相同的权重系数,相同的评价模型,那么综合评价的结果是否相同呢?作者对这一问题也做了探讨,即综合评价

结果的敏感性问题。这些问题的讨论结果就构成了《综合评价理论与方法》的新生部分。于是,2002年在科学出版社出版了第二本学术著作——《综合评价理论与方法》。

《综合评价理论与方法》出版后,很快就脱销了。一些学者和青年科技工作者及研究生等打电话、发 E-mail 给作者,索求该书并咨询有关学术问题。

本想与科学出版社商量再版的事,但由于近3年又相继做了些探讨,内容又有了扩展,理论又有了延伸,如果再版的话,意义就不大了。

新书稿的初衷是想围绕着综合评价结果的合理性问题展开相应的探讨,试图给出一个整体性的解决方案,但在探讨过程中“节外生枝”,又相继给出了:线性无量纲化方法的性质及稳定性分析、基于方案偏好的赋权方法、密度中间算子、贫偏好信息条件下的综合评价方法、软硬组合评价方法及综合评价决策支持系统(IIEDSS)的设计与开发等多项创新内容,这些内容又支撑了这一本著作的新骨架。于是,作者对已取得的有关综合评价方面的大部分研究成果重新进行了系统地整理与归类,决定在科学出版社出版第三本学术著作——《综合评价理论、方法及应用》。

而对于“综合评价结果的合理性问题的一个整体性解决方案”的问题,可能要期待另一本书来回答了。

在与研究生(作者指导的在读博士、硕士)的学术沟通或授课过程中,时常提及“综合评价结果的合理性问题”。博士研究生易平涛对这个学术问题有所领悟,且有所思考,有所发展,提出了“综合评价的流程优化设计”的新思路。我当时就立刻意识到这可能是一个创新,就鼓励他继续思考下去。我相信在这方面会有诸多的后续研究成果产生。

在此书稿的框架、内容安排及有关算法软件的开发过程中,博士研究生易平涛等做了很多的工作,在此表示感谢!并预祝他在攻读博士学位研究生期间取得更多的研究成果。

本书的出版分别得到了国家自然科学基金(项目批准号:70472032)及东北大学研究生院的资助,在此表示感谢!

郭亚军

2006年10月于沈阳南湖

目 录

前言

第 1 章	多属性综合评价理论与方法概述	1
1.1	多属性综合评价的概念	1
1.2	决策与多属性综合评价	1
1.3	多属性综合评价的经典过程	6
1.4	综合评价过程的合理性	8
第 2 章	评价指标构建及预处理方法	14
2.1	评价指标的构建及筛选	14
2.2	指标若干预处理方法及性质分析	15
2.3	小结	29
第 3 章	指标权重的确定方法	31
3.1	引言	31
3.2	基于“功能驱动”原理的指标偏好型赋权法	33
3.3	基于“功能驱动”原理的方案偏好型赋权法	55
3.4	基于“差异驱动”原理的赋权方法	67
3.5	具有综合集成特征的赋权法	74
第 4 章	评价信息集结方式	79
4.1	引言	79
4.2	基于指标性能的集结方式	80
4.3	基于指标值位置的集结方式	83
4.4	基于指标值分布的集结方式	85
4.5	兼顾“功能性”与“均衡性”的组合集结模式	95
4.6	小结	100
第 5 章	时序动态视角的综合评价方法	101
5.1	引言	101
5.2	二次加权法	102
5.3	具有激励(或惩罚)特征的动态综合评价方法	105
5.4	“纵向”拉开档次分析法	107
5.5	“纵横向”拉开档次评价法	111
5.6	基于双激励控制线的多阶段信息集结方法	130

5.7	一种基于时序算子的动态综合评价方法	138
第6章	立体三维视角的综合评价方法	144
6.1	引言	144
6.2	综合评价的一般步骤	144
6.3	“三维”综合评价方法	146
6.4	应用例	147
6.5	小结	149
第7章	柔性协商视角的综合评价方法	150
7.1	引言	150
7.2	协商评价的基本概念与方法	150
7.3	群体协商评价	153
7.4	需进一步研讨的几个问题	155
第8章	知识积累视角的综合评价方法	157
8.1	引言	157
8.2	基于 WN(小波网络)的多属性综合评价	157
8.3	评价对象的模式识别分类算法	161
8.4	小结	164
第9章	自主决策视角的综合评价方法	165
9.1	引言	165
9.2	基本概念与方法原理	165
9.3	应用算例	172
9.4	小结	174
第10章	随机模拟视角的综合评价方法	175
10.1	引言	175
10.2	基本概念与方法原理	175
10.3	指标序优势决策方法	180
10.4	应用算例	181
10.5	小结	184
第11章	递阶结构的综合评价方法	185
11.1	引言	185
11.2	逐层“拉开档次法”	186
11.3	逐层序关系分析法	192
第12章	综合评价结论的敏感性与思考	198
12.1	综合评价结论敏感性的实证分析	198
12.2	综合评价结论的多样性及解决思路	209

第 13 章 硬组合评价方法	211
13.1 一种基于整体差异的客观组合评价法	211
13.2 基于奇异值分解的多评价结论集结方法	218
第 14 章 软组合评价方法	225
14.1 意见分歧特征下多评价结论协商组合方法	225
14.2 双方冲突特征下多评价结论协商组合方法	232
14.3 协商组合评价模型向多方情形扩展	241
第 15 章 IIEDSS 的设计与开发	244
15.1 引言	244
15.2 评价模式的提出	245
15.3 评价系统框架设计	247
15.4 系统设计与实现中的若干关键问题	250
15.5 开发环境与系统应用	254
15.6 基于 Web 技术的 IIEDSS 拓展	259
15.7 小结	261
第 16 章 结论与研究展望	262
16.1 本书成果总结与进一步研究展望	262
16.2 综合评价理论方法及应用展望	264
参考文献	268

第 1 章 多属性综合评价理论与方法概述

1.1 多属性综合评价的概念

在我们的日常生活中经常遇到这样的判断问题:同类食品中哪个品牌的好?同类饮料中哪个品牌的好?哪个高等院校的声望高?在经济管理中也经常遇到这样的判断问题:哪个员工的工作业绩好?哪个企业的绩效好?(在有限个可行方案中)哪个方案最佳?在宏观经济管理中也经常遇到这样的判断问题:哪个地区发展(或建设)得好?等等。

判断同类食品(或饮料)中哪个品牌的食品(或饮料)好,不是光凭口感来判断,而是要综合比较同类食品(或饮料)中若干个品牌食品(或饮料)的口感、营养成分、价格等方面的差别;要判断哪个高校的声望高,就得从若干个高校的在校学生规模、教学质量、科研成果、校址的地理位置等方面进行综合比较;要判断哪个企业的绩效好,就得从企业的财务管理、营销管理、人力资源管理与开发等多方面进行综合比较。要判断哪个国家或地区发展的好坏,就得从经济、文化、社会、环境、生态、通信、国防等多方面入手,建立一套评价指标体系,采用一定的数学方法,才能得到正确的、综合的判断。

给出上述答案的过程就是一个综合评价的过程,也是一个有限方案的决策过程。可见,综合评价的问题具有普遍性。

综合评价(comprehensive evaluation, CE)是指对被评价对象所进行的客观、公正、合理的全面评价。如果把被评价对象视为系统的话,上述问题可抽象地表述为:在若干个(同类)系统中,如何确认哪个系统的运行(或发展)状况好,哪个系统的运行(或发展)状况差,这是一类常见的所谓综合判断问题,即多属性(或多指标)综合评价问题(the comprehensive evaluation problem)。多属性综合评价的理论、方法在管理科学与工程领域中占有重要的地位,已成为经济管理、工业工程及决策等领域中不可缺少的重要内容,且有着重大的实用价值和广泛的应用前景。

1.2 决策与多属性综合评价

决策思想源远流长,即便没有具体史料的考证,我们仍然可以肯定:决策是贯穿人类文明孕育发展过程始终的。但决策一词获得崇高的地位并为学术界普遍研究探讨则始于 20 世纪 50 年代,科学家 L. J. Savage, Abraham Wald, P. C. Fish-

burn, R. A. Fisher, H. Raiffa, R. O. Schlaifer 等人的开创性工作奠定了统计决策理论的坚实基础,并最终成为决策理论体系发展的重要基石。1966 年,Howard 在第 4 届国际运筹学会议上发表了《决策分析:应用决策理论》一文,首次提出了“决策分析(decision analysis)”这一名词,此后决策方面的研究与应用越发广泛深入,并超出了起初的统计领域,成为运筹学、心理学、经济学等学科共同发展充实的交叉学术领域。目前,决策分析已成为容括多准则决策、群决策、模糊决策、序贯决策及决策支持系统等诸多方向的重要学术领域,而多准则决策(multiple criteria decision making, MCDM)是决策分析中研究最为广泛的核心内容。

多属性综合评价的产生与发展与多准则决策理论是分不开的。1896 年,法国经济学家 Pareto 从政治经济学角度提出了 Pareto 最优的概念,把本质上不可比较的目标转化成一个单一的最优目标进行求解,该思想是指导实现由单目标决策向多目标决策转变最为关键的一环。1944 年, Von Neumann 和 O. Morgenstern 从对策论角度提出了彼此相互矛盾的多个决策人的多目标决策问题, MCDM 的理论和方法自此开始逐步发展起来。1951 年, Koopmans 将有效点的概念引入决策领域,并首次使用了“有效向量”这个概念^[1]。同年, Kuhn 和 Tucker 又引入向量优化的概念,并推导出“有效解”存在的最优条件,即著名的 Kuhn-Tucker 定理^[2]。20 世纪 60 年代是 MCDM 理论研究取得较大进展的时期,期间有代表性的研究如 Charnes 和 Cooper 在目标规划上的研究^[3]和 Roy 提出的 ELECTRE 方法^[4]等, 1972 年 Cochrane 和 Zeleny 主持召开的多准则决策国际会议被普遍认为是多准则决策开始发展的标志^[5]。但是直到 1981 年, Hwang 和 Yoon 才在其两部著作里明确地将多准则决策问题分为多目标决策(multiple objective decision making, MODM)与多属性决策(multiple attribute decision making, MADM)两类^[6,7]。

MCDM 问题复杂多样,但是有着一些共同的特征:

(1) 多目标或属性。每个问题都具有多个目标或属性,决策者需要依据具体的问题环境提出相关的目标或属性。

(2) 准则之间的矛盾性。多准则之间通常是互相冲突的。例如,在设计一辆轿车时,为了达到降低单位行程耗油量的目标可能需要缩小乘坐空间,但这样却会降低乘坐的舒适率目标。

(3) 不可公度性。每个目标或属性有着不同的测量单位。

(4) 设计或选择。解决问题的办法或者是设计出最好的方案,或者是在先前确定的有限方案内选出最好的方案。

通常,将决策对象是离散的有限数量的备选方案时的多准则决策称之为多属性决策,将决策对象是连续的无限数量的备选方案的多准则决策称之为多目标决策。MADM 与 MODM 的具体区别见表 1.1。

表 1.1 MADM 与 MODM 的区别

特征项	MADM	MODM
准则定义	属性	目标
目 标	隐含的(病态定义的)	清晰的
属 性	清晰的	隐含的
约束条件	不变动的(合并到属性中)	变动的
方 案	有限数目,离散,预定方案	无限数目,连续的,方法运行中产生
与决策者的交互	不多	很多
使用范围	选择/评价	设计

MODM 通常与事先预定方案无关,其模型的目的是在设计好的约束条件下,通过达到一些量化目标可以接受的水平来寻找出决策者最为满意的方案,产生(或设计)方案是 MODM 的目标^[6,8~10]。而 MADM 的不同之处是方案预先给定了,决策者需要在各方案的不同属性之间进行价值判断并最终选出优胜方案或对所有方案进行排序。

多属性决策思想由来已久,在正式被引入决策领域之前很长一段时间就有众多学科分支(管理科学、经济学、心理学、市场研究、应用统计、决策学等)的学者进行了大量相关的研究,产生了许多带有学科背景的多属性决策方法,如决策学中的最大最小法、先验概率、效用理论等,经济学中的 Pareto 优化、Von Neumann-Morgenstern 效用、社会福利函数、成本效益分析等,统计学中的多元回归、方差分析、因子分析等,心理学中的多维标度法、联合测量法等,虽然这些研究的初衷并非指向多属性决策的本身,但却构筑了多属性决策发展的基础。

如今,多属性决策领域已取得了丰硕的研究成果^[7,8,11~19],在对方法的归类上一般有 4 种基本的思路,一是从方法发展的理论主线上分成多属性效用理论、级别优先序理论;二是从决策信息的运用形式上分成确定型多属性决策理论、不确定型多属性决策理论(包括随机型多属性决策、模糊型多属性决策及描述型多属性决策);三是按照经典的多属性决策过程分为属性规范化方法、属性权重确定方法及多属性信息集结方法;四是按照决策者提供信息的环节和充分程度不同分成无偏好信息的决策方法、有属性偏好信息的决策方法、给定方案之间偏好信息的决策方法。

以下将按照第四种方式对多属性决策中经典的方法^[7]做一简单的回顾。

(1) 无偏好信息的多属性决策方法。包括优选法(dominance)、悲观准则(maximin)、乐观准则(maximax)、等概率(laplace)准则、后悔值极小化极大(savage)准则、折中系数(hurwicz)准则。优选法用于方案的筛选,其余的方法用于方案的选优。

(2) 有属性偏好信息的多属性决策方法。进一步可细分为 4 类。第 1 类是给

定属性标准水平的方法,如连接法(conjunctive)或称之为满意值法(satisficing method)、分离法(disjunctive),连接法及分离法通常用于方案的筛选;第2类是给定属性序数偏好信息的方法,如字典序法(lexicographic method)、消去法(elimination by aspects)、置换法(permutation method);第3类是给定属性边际替代率的方法,如分级权衡法(hierarchical tradeoffs);第4类是给定属性基数偏好信息的方法,经典的方法有线性分配法(linear assignment method)、简单加权法(simple additive weighting method)、分层加权法(hierarchical additive weighting method)、理想点法(TOPSIS)、消去和选择转换算法(ELECTRE)及 PROMETHEE 法。此外,如特征向量法(eigenvector method)、加权最小平方方法(weighted least square method)、熵值法(entropy method)等赋权方法与简单加权法结合而成的多属性决策方法也可归为第4类中,第4类方法也是研究成果最多的一类方法。

(3) 给定方案之间偏好信息的决策方法。如多维偏好分析的线性规划法(LINMAP)、交互的简单加权法(interactive simple additive weighting method)、理想点多维尺度法(multidimensional scaling with ideal point)。

上面列出的方法远没有穷尽所有的多属性决策方法,但是在多属性决策理论发展中起到过重要的作用,既是后续新型方法的基础与思想来源,也是综合评价理论与方法的重要参考。

目前为止,综合评价理论方面的研究也已取得了大量的工作成果^[20~25]。多属性综合评价与多属性决策在思想本质上有着天然的联系。早在1888年,艾奇沃斯(Edgeworth)在英国皇家统计学杂志上发表的论文《考试中的统计学》中,就提出对考试中不同部分应如何加权的问题;1913年,斯皮尔曼(Spearman)发表了《和与差的相关性》一文,讨论了不同加权的作用;此外,19世纪中后期提出的许多经典的综合指数的计算公式都反映了对多种因素进行区分并合成的思想,如拉氏指数、派氏指数等。这些思想可能是综合评价理论方法较早的雏形,可以看出,与多属性决策理论中属性信息加权集结的思想是比较一致的。综合评价与多属性决策方法之间的互通性很强,在理论开拓中经常处于“你中有我,我中有你”的交织发展状态,所以在以理论方法创新为主体的研究成果中,多属性综合评价、多指标综合评价、多目标评价、多指标决策、多属性决策等概念之间几乎是混同使用的,选择哪个名词展开理论或方法论论述常常依据学者个人的偏好或学科背景而定。

从查阅的文献资料的情况来看,统计学界用“评价”、“指标”概念的较多;信息学界用“决策”、“属性”概念的较多;管理学界从系统工程背景探讨问题的用“评价”、“指标”概念的较多,从管理决策角度探讨问题的用“决策”、“属性”概念的较多;经济学界从风险投资角度用“决策”、“属性”概念的较多,从经济发展角度用“评价”、“指标”概念的较多;其他学科各有不同。因为方法之间的共通性很强,随着研究的进一步推进,“综合评价”与“多属性决策”理论方法之间的界限将会更加模糊。

但是“综合评价”有其不同于“多属性决策”的特定的研究对象,所以在概念或本质上还是有一定区别的,表 1.2 是对综合评价与多属性决策特征的具体区分。

表 1.2 综合评价与多属性决策的区别

特征项	综合评价	多属性决策
研究对象	被评价对象	备选方案
目标实现	指标	属性
环境的性质	过去,已发生,较确定	将来,未发生,不确定
功能	以排序为主,分类,判别,选择	以择优为主,排序,分类,判别
主要原则	公平性	可预见性
对象的处理	不可删减	可以筛选删减

注:“分类”、“判别”可看成是两种特殊的排序方法。

综合评价面向过去已发生的环境,多属性决策面向未来尚未发生的环境,这是两者最根本的区别。需要进一步说明的几点是:

(1) 从数据观测收集角度看,只存在“已发生”或“未发生”两种环境状态,“正在发生”状态是没有意义的。已发生的环境是面向过去的,比较确定,客观上很少存在信息不充分或不确定的情况;而未发生的环境是面向将来的,因分析问题的不同或多或少表现出一定的不确定性,对于复杂问题来说,这种不确定性将更为突出。

(2) 相对综合评价而言,多属性决策问题面对的环境不确定程度高,因而需要大量引入专家知识、经验以弥补信息不充分、不确定给决策造成的不利影响。

(3) 综合评价的目的是对被评价对象进行“准确定位”,而实际上,评价结论与客观实际的相合程度仍然没有一个合理公认的判断标准,因而,“公平性”原则成为综合评价方法及过程中应当遵循的主要原则。多属性决策的目的是挑选出最优(或最满意)的方案以极大化决策目标,但是未来情况是未知的,决策目标及目标重要性的设定本身便带有“预测”性,因而“可预见性”原则成为多属性决策方法与应用中应当遵循的主要原则。

(4) 对于被评价对象来说,是客观存在的实体,不能删除,并且通常需要从整体上区分出对象的优良高低,因而排序是综合评价方法最主要的功能;能排序就能择优,反之不成立,说明排序比择优需要运用更多的信息资料,因而过程更为复杂,从降低决策难度来说,多属性决策中可以对备选方案进行预选,淘汰明显劣等的方案(劣解),再通过交互方式或直接运用相关方法剔除其余不理想的方案,以获得最终的满意方案,而这样做的风险是比较小的。对于多属性决策问题而言,如果能择优便不需要排序。

综上所述,可有如下几点基本的判断:

(1) 能否给出评价对象(或方案)的全序成为判断是否可作为综合评价方法的基本标志。因而级别优先序理论中的许多方法(只能给出偏序)及 DEA 方法(不

能给出决策单元的排序)不适合处理以排序为目的的综合评价问题。

(2) 有随机性(或称风险性)决策问题,但不存在随机性综合评价问题。

(3) 多属性决策问题中模糊、信息不完全等不确定性情形要比综合评价问题中突出得多。

(4) 许多基于规划模型构建的反映“方案自由竞争”思想的多属性决策方法更适合作为客观的综合评价方法。

以上对综合评价及多属性决策进行了较为明确的区分,目的是希望对综合评价或多属性决策研究问题的角度、方法创新及应用范围有个比较清晰的定位。但是也不能将这种区分绝对化了,如本书第 6 章“立体三维视角的综合评价方法”建立的背景就是一个典型的代表,因为运用该方法的思想从“历史”、“现状”及“将来”多个角度对人员的考核选拔问题进行分析,得出的结论将更加科学。

综合评价与多属性决策在研究对象及应用范围上的差别要远远高于方法本身之间的差别,甚至可以说,综合评价的方法就是多属性决策的方法。本书是一本以介绍综合评价方法为主的专著,因而我们遵循的原则是以解决“综合评价环境”下的问题为出发点建立新方法,但在方法的引用或论述上放松对两者区分的严格性,依表达问题的适宜程度而定。

在后续的论述中,若不做特殊说明,本书对于一些关键术语的含义约定如下:多属性决策、多指标决策及多属性综合评价含义等同,(备选)方案与(被)评价对象含义等同,属性与指标含义等同,决策者、专家及评价者含义等同;“评价”一词仅指多指标综合评价,以区别于单指标评价问题。

1.3 多属性综合评价的经典过程^①

一般地,一个综合评价问题由 5 个要素组成,即评价对象、评价指标、权重系数、集结模型及评价者。

1. 被评价对象

同一类被评价对象的个数要大于 1。如果世界上就只有一个男子,那么美男子、丑男子都是他自己,因此就没有判断或评价的必要了。假定(均为同一类的)被评价对象或系统分别记为 $s_1, s_2, \dots, s_n (n > 1)$ 。

2. 评价指标

各系统的运行(或发展)状况可用一个向量 x 表示,其中每一个分量都从某一

^① “经典过程”是指建立综合评价方法时最常选用的思路与应用步骤,以区别于特殊评价方法中非经典的信息处理过程。

个侧面反映系统的现状,故称 $\mathbf{x}$ 为系统的状态向量,它构成了评价系统的指标体系。

每个评价指标都是从不同的侧面刻画系统所具有某种特征大小的度量。评价指标体系的建立,要视具体评价问题而定,这是毫无疑问的。但一般来说,在建立评价指标体系时,应遵守的原则是:①系统性;②科学性;③可比性;④可测取(或可观测)性;⑤(尽可能地)相互独立性。不失一般性,设有 m 项评价指标并依次记为 $x_1, x_2, \dots, x_m (m > 1)$ 。

3. 权重系数

相对于某种评价目的来说,评价指标之间的相对重要性是不同的。评价指标之间的这种相对重要性的大小,可用权重系数来刻画。若 w_j 是评价指标 x_j 的权重系数,一般应有 $w_j \geq 0 (j = 1, 2, \dots, m)$, $\sum_{j=1}^m w_j = 1$ 。

很显然,当被评价对象及评价指标(值)都给定时,综合评价(或对各被评价对象进行排序)的结果就依赖于权重系数了。即权重系数确定的合理与否,关系到综合评价结果的可信程度,因此,对权重系数的确定应特别谨慎(其确定方法详见本书第3章)。

4. 集结模型

所谓多指标(或多属性)综合评价,就是指通过一定的数学模型(或算法)将多个评价指标值“合成”为一个整体性的综合评价值。可用于“合成”的数学方法较多,问题在于我们如何根据评价目的(或准则)及被评价系统的特点来选择较为合适的合成方法。也就是说,在获得 n 个系统的评价指标值 $\{x_{ij}\} (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$ 的基础上,如何选用或构造集结模型(综合评价函数)

$$y = f(\mathbf{w}, \mathbf{x}) \quad (1.1)$$

式中, $\mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$ 为指标权重向量; $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ 为系统的状态向量。

由式(1.1)可求出各系统的综合评价值 $y_i = f(\mathbf{w}, \mathbf{x}_i)$, $\mathbf{x}_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})^T$ 为第 i 个系统的状态向量 ($i=1, 2, \dots, n$),并根据 y_i 值的大小(由小到大或由大到小)将这 n 个系统进行排序和分类。

5. 评价者

评价者可以是某个人或某团体。评价目的的给定、评价指标的建立、评价模型的选择,权重系数的确定都与评价者有关。因此,评价者在评价过程的作用是不可轻视的。

综合评价的过程是各组成要素之间信息流动、组合的过程,是一个主客观信息集成的复杂过程。

综合评价问题的经典处理过程是:明确评价目的;确定被评价对象;建立评价指标体系(包括收集评价指标的原始值、评价指标的若干预处理等);确立与各项评价指标相对应的权重系数;选择或构造综合评价模型;计算各系统的综合评价价值并进行排序或分类。该过程的直观表示见图 1.1。

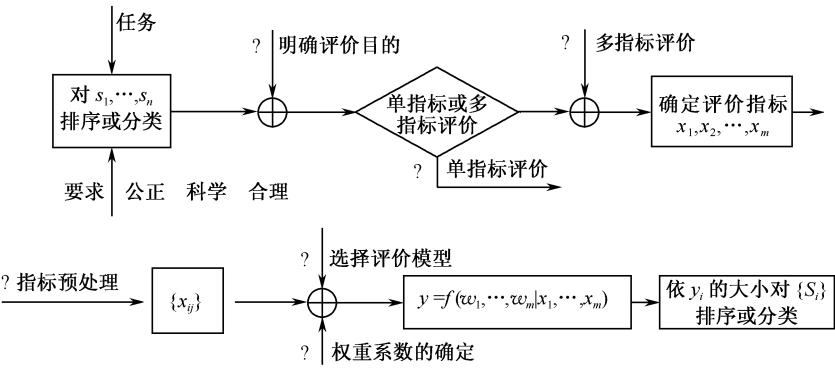


图 1.1 综合评价的逻辑框图

1.4 综合评价过程的合理性

当评价者(或决策者)面对有争议的若干位候选人,如何从中选出一位“后备”者,而既使被选中者不能“趾高气扬”,又使未被选中者也能“心平气和”? 只要稍加认真分析、仔细思考,就都能认识到这是一个相当复杂的问题。因为它不但要求所使用的综合评价方法符合科学性、客观性和合理性,而且还要求综合评价的过程具有“透明性”或“再现性”。然而,由于种种原因,在很多情况下,评价者(或决策者)在评价过程中自觉不自觉地使用了那些“表面上看似科学,而实际上是不科学甚至是伪科学”的方法,出现了决策失误而又“不识庐山真面目”,实为可笑。为此,作者结合实际课题的研究与有关理论问题的探讨,归纳了在综合评价过程中可能遇到的涉及综合评价的合理性(或者说决策的合理性)的一些问题,并有针对性地给出相应的解决措施及建议。

1.4.1 综合评价过程中常见的问题

下面给出一个日常生活方面比较直观的综合评价例子,借此可引出综合评价理论研究与实际应用中应当考虑的诸多“共性”问题。

目标 如何在 4 位候选人中选出一位“标准”人。

前提 取定 4 项评价指标分别为年龄、身高、体重和对称性并依次记为 x_1 , x_2 , x_3 , x_4 , 且已取得了这 4 位候选人的原始指标值 $\{x_{ij}\}$ (表 1.3):

表 1.3 原始指标值

	$x_1/\text{岁}$	x_2/m	x_3/kg	$x_4(\text{对称性})$
甲	29	1.81	65	0.90
乙	31	1.72	75	0.95
丙	40	1.66	90	0.85
丁	21	1.90	85	0.85

思考 如果这个任务交给你,你认为怎样做才能得出正确(即不被别人所问倒)的结果呢?

这是一个比较典型的综合评价问题。如果仔细、认真、系统地思考,可能会出现如下看似不起眼的 18 个问题:

问题 1 评价的用意是什么? 即明确综合评价的目的性问题。

问题 2 被评价对象的确定,即被评价对象的采样问题。

问题 3 这几个评价指标合适吗? 即评价指标体系的建立。

问题 4 评价指标中可能含有定性指标和定量指标,如何兼顾这两种评价指标的作用? 即定性指标的定量化问题。

问题 5 如果某个指标值靠不住,将会怎样? 即评价指标值的如实获取问题。

问题 6 若按指标值的大小进行加权综合评价,当指标体系中同时具有极大、极小型、区间型、居中型的指标时,则将无法判断综合评价指标值是越大越好、越小越好还是越居中越好? 即指标类型的一致化问题。

问题 7 若将身高的量纲换成厘米或将体重这一指标的量纲换成吨时,将会怎样(表 1.4)?

表 1.4 原始指标值

	$x_1/\text{岁}$	x_2/cm	x_3/t	$x_4(\text{对称性})$
甲	29	181	0.065	0.90
乙	31	172	0.075	0.95
丙	40	166	0.090	0.85
丁	21	190	0.085	0.85

显然,候选人没有发生实质性的变化,但指标值却发生了很大的变化。这时,不管用什么方法,其综合评价的结果肯定是不同的。即不能忽视指标量纲的作用

以及指标间悬殊的量级差别对综合评价结果的影响。

问题 8 若预先确定各项指标的打分(或评分)标准,然后由评价者按此打分标准对被评价对象的各项指标进行“模糊”打分,再将这些打分值进行加权综合,那么,感情因素的影响将不止一次地出现。即主观色彩的多次出现问题。

问题 9 评价指标间的相对重要性是不同的,那么,将如何体现?即权重系数的合理确定问题。

问题 10 如何将这 4 个指标“合成”一个综合指标呢?即综合评价(信息集结)模型的选择问题。

问题 11 看法或观点比较一致的多个评价者,如何同时对各被评价对象进行综合评价呢?即群组评价(或群体评价)问题。

问题 12 当获得被评价对象在不同时刻的指标值时,如何将各被评价对象在不同时刻的表现(或运行状况)进行排序?即动态综合评价问题。

问题 13 在确定最佳候选人这类敏感性极强的综合评价问题中,如何同时体现各候选人的“历史业绩”、“现状表现”和“将来发展的预期”呢?即带有预期特征的综合评价问题。

问题 14 当多个评价者之间存在观点、看法或利益冲突(但非对抗性的)时,如何对诸被评价对象进行评价呢?即协商评价问题。

问题 15 当问题具有以往积累的(经过验证的比较准确的)历史评价信息(样本信息)时,如何利用“老”信息对“新”问题进行评价?即学习(知识积累)型综合评价问题。

问题 16 若评价者出于多种原因的考虑,不愿意(或不能)给出指标的权重信息,此时怎么对候选人进行评价排序呢?即贫偏好信息条件下的综合评价问题。

问题 17 当取定评价模型及给定评价指标的权重系数时,对原始评价指标数据采取不同的类型一致化和无量纲化方法,将产生不同的综合评价结果,即综合评价结果的敏感性问题。

问题 18 一般来说,对同样的评价对象集选用不同的评价方法(包括无量纲化方法、赋权方法及合成模型等),会得出不同的评价结论,即多评价结论非一致性问题(是对问题 17 的进一步拓展),为解决该问题,可选择对多种结论进行再组合的思路,即组合评价的问题。

对于一个具体的综合评价问题,可能会同时出现上述若干个问题,实际中的问题也并非上述 18 项可以穷尽,但是以上概括出了综合评价过程中遇到的带有普遍性的一些问题,本书将给出处理和解决上述问题的措施与建议。

1.4.2 解决措施与建议

措施 1 一般来说,对被评价对象进行评价的目的有两个:一是用于总结性评

价,如评选先进、劳模等;二是用于发展性评价,如选择最优方案或对候选人进行排队等。在这个目的上,综合评价与多属性决策的含义是比较接近的。评价目的取决于评价者或决策者。

措施 2 被评价对象的采样要有普遍性、可比性、可测性。

措施 3 建立评价指标体系要视具体评价问题而定,但评价指标体系的建立应遵循系统性、科学性、可比性、可测性、相互独立性等原则。关于评价指标的筛选方法可参见本书第 2 章。

措施 4 通过数学、物理、逻辑等变换形式,或将定量指标转化为定性指标,或将定性指标转化为定量指标,使指标的性态一致。当然,如果采用先单项指标打分,再进行加总的评价模式时,可不必作此变换。

措施 5 如果通过机理分析、经验审核等途径,发现某个指标值靠不住时,或将此值作为异常值而剔除,或对其进行重复观测并取其平均值作为该指标的观测值。

措施 6 关于指标类型的一致化处理方法,详见本书第 2 章。

措施 7 指标无量纲化的处理方法有许多,详见本书第 2 章。

建议 采用“标准化”处理法、极值处理法或功效系数法。

措施 8 制定客观、合理且可操作的打分规则 and 标准,尽量减少主观色彩的出现次数。

措施 9 权重系数的确定,是综合评价结果是否可信的一个核心问题。确定权重系数的途径有三类:一是主观赋权法,二是客观赋权法,三是主客观结合赋权法。具体的赋权方法很多,详细讨论见本书第 3 章。

建议 对于发展性的综合评价问题,建议采用主客观结合赋权法;对于总结性的综合评价问题,可直接采用“拉开档次”赋权法。

措施 10 常用的综合评价(信息集结)模型有许多种,其特点可见本书第 4 章中的分析。

关于问题 11(即群体评价)的讨论,可参见本书第 3 章。

关于问题 12(即动态评价)的讨论,可参见本书第 5 章。

关于问题 13(即带有预期特征的综合评价问题)的讨论,可参见本书第 6 章。

关于问题 14(即协商评价)的讨论,可参见本书第 7 章。

关于问题 15(即学习型综合评价问题)的讨论,可参见本书第 8 章。

关于问题 16(即贫偏好信息条件下的综合评价问题)的讨论,可参见本书第 9 及第 10 章。

关于问题 17(即综合评价结果的敏感性问题)的讨论,可参见本书第 12 章。

关于问题 18(即组合评价的问题)的讨论,可参见本书第 12、13 及第 14 章。

1.4.3 本书的结构安排

本书各章之间的逻辑关系如图 1.2 所示。



图 1.2 本书逻辑结构图

本书共 16 章,分别从绪论部分、综合评价的经典过程、多种视角下的综合评价方法、基于多评价结论再融合的组合评价方法、综合评价决策支持系统及总结部分等 6 个方面进行论述。“绪论部分”是对综合评价理论方法体系的概述及本书所探

讨问题的介绍与内容安排;“综合评价的经典过程”是综合评价的理论基础部分,从“指标构建”、“权重确定”及“信息合成”3个方面分别进行讨论;“多种视角下的综合评价方法”是结合具体应用背景提出的具有多种创新思路的评价方法,评价者可结合应用时的实际情况选择适宜的方法;“基于多评价结论再融合的组合评价方法”用于解决“评价结论多样性”这个综合评价方法所面临的共性问题;“综合评价决策支持系统”讨论如何将评价方法软件化,实现评价过程信息化,推动理论方法向实际应用转化的问题;“总结部分”是对本书已取得成果的归纳及进一步需要研究问题的展望。

第 2 章 评价指标构建及预处理方法

2.1 评价指标的构建及筛选

在实际的综合评价活动中,并非是评价指标越多越好,但也不是越少越好,关键在于评价指标在评价中所起作用的大小。一般原则应是以尽量少的“主要”评价指标用于实际评价。但在初步建立的评价指标集合当中也可能存在着一些“次要”的评价指标,这就需要按某种原则进行筛选,分清主次,合理组成评价指标集。

对于具体的实际评价问题,如何确定评价目标及选择评价指标是一个很重要的问题,应该慎重考虑。在实际应用中,通常用以下几种方法来进行评价指标的筛选。

2.1.1 专家调研法(Delphi)

这是一种向专家发函、征求意见的调研方法。评价者可根据评价目标及评价对象的特征,在所设计的调查表中列出一系列的评价指标,分别征询专家对所设计的评价指标的意见,然后进行统计处理,并反馈咨询结果,经几轮咨询后,如果专家意见趋于集中,则由最后一次咨询确定出具体的评价指标体系。

2.1.2 最小均方差法

对于 n 个取定的被评价对象(或系统) $s_1, s_2, \dots, s_n$, 每个被评价对象都可用 m 个指标的观测值 x_{ij} ($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$) 来表示。容易看出,如果 n 个被评价对象关于某项评价指标的取值都差不多,那么尽管这个评价指标是非常重要的,但对于这 n 个被评价对象的评价结果来说,它并不起什么作用。因此,为了减少计算量就可以删除掉这个评价指标。这就启发我们建立最小均方差的筛选原则如下:

记

$$s_j = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

为评价指标 x_j 的按 n 个被评价对象取值构成的样本均方差。其中

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

为评价指标 x_j 的按 n 个被评价对象取值构成的样本均值。

若存在 k_0 ($1 \leq k_0 \leq m$), 使得

$$s_{k_0} = \min_{1 \leq j \leq m} \{s_j\}$$

且

$$s_{k_0} \approx 0$$

则可删除掉与 s_{k_0} 相应的评价指标 x_{k_0} 。

2.1.3 极小极大离差法

先求出各评价指标 x_j 的最大离差 r_j , 即

$$r_j = \max_{1 \leq i, k \leq n} \{ |x_{ij} - x_{kj}| \}$$

再求出 r_j 的最小值, 即令

$$r_0 = \min_{1 \leq j \leq m} \{r_j\}$$

当 r_0 接近于零时, 则可删除掉与 r_0 相应的评价指标。

常用的方法还有“相关系数法”等, 这部分内容可参考有关教材, 这里不予以介绍。

2.2 指标若干预处理方法及性质分析

2.2.1 评价指标类型的一致化

一般来说, 指标 $x_1, x_2, \dots, x_m$ 中, 可能含有“极大型”指标、“极小型”指标、“居中型”指标和“区间型”指标。对于某些定量指标, 如产值、利润等, 我们自然期望它们的取值越大越好, 这类指标我们称之为极大型指标; 而对于诸如成本、能耗等一类指标, 我们自然期望它们的取值越小越好, 这类指标称之为极小型指标; 诸如人的身高、体重等指标, 我们既不期望它们的取值越大越好, 也不期望它们的取值越小越好, 而是期望它们的取值越居中越好, 我们称这类指标为居中型指标; 而区间型指标是期望其取值以落在某个区间内为最佳的指标。根据指标的不同类型, 对指标集 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ 可作如下划分, 即令

$$X = \bigcup_{i=1}^4 X_i, \text{ 且 } X_i \cap X_j = \emptyset, \quad i \neq j \quad (i, j = 1, 2, 3, 4)$$

式中, $X_i (i=1, 2, 3, 4)$ 分别为极大型指标集、极小型指标集、居中型指标集和区间型指标集; $\emptyset$ 为空集。

若指标 $x_1, x_2, \dots, x_m$ 中既有极大型指标、极小型指标, 又有居中型指标或区间型指标, 则必须在对各备选方案进行综合评价之前, 将评价指标的类型作一致化处理。否则, 就无法定性地判定综合评价函数(见第4章的讨论)中的 y_i 值是否是取值越大越好, 或是取值越小越好, 或是取值越居中越好。因此, 也就无法根据 y 值的大小来综合评价各备选方案的优劣。因此, 需将指标作类型一致化的处理。

对于极小型指标 x , 令

$$x^* = M - x \quad (2.1)$$

或

$$x^* = \frac{1}{x} \quad (x > 0) \quad (2.1')$$

式中, M 为指标 x 的一个允许上界。

对于居中型指标 x , 令

$$x^* = \begin{cases} 2(x - m), & \text{若 } m \leq x \leq \frac{M+m}{2} \\ 2(M - x), & \text{若 } \frac{M+m}{2} \leq x \leq M \end{cases} \quad (2.2)$$

式中, m 为指标 x 的一个允许下界, M 为指标 x 的一个允许上界。

对于区间型指标 x , 令

$$x^* = \begin{cases} 1.0 - \frac{q_1 - x}{\max\{q_1 - m, M - q_2\}}, & \text{若 } x < q_1 \\ 1.0, & \text{若 } x \in [q_1, q_2] \\ 1.0 - \frac{x - q_2}{\max\{q_1 - m, M - q_2\}}, & \text{若 } x > q_2 \end{cases} \quad (2.3)$$

式中, $[q_1, q_2]$ 为指标 x 的最佳稳定区间, M, m 分别为 x 的允许上、下界。

这样, 非极大型评价指标 x 或通过式 (2.1) (或式 (2.1')), 或通过式 (2.2), 或通过式 (2.3) 都可转换为极大型指标了。

2.2.2 评价指标的无量纲化

一般来说, 指标 $x_1, x_2, \dots, x_m$ 之间由于各自量纲及量级 (即计量指标 x_j 的数量级) 的不同而存在着不可公度性, 这就为比较综合评价指标 y 的大小带来了不便。例如, 对人的身高、体重进行测量时, 我们用厘米 (cm) 作为特征“身高”的量纲, 而用千克 (kg) 作为特征“体重”的量纲。这样, 每个人的第一项特征取值一般是三位数而第二项是两位数。但是, 若把体重的量纲改为吨, 那么每人的体重值就要减少到原来数值的千分之一。即使一个体重 100 千克的壮汉, 他的体重折合成吨后其数值也只有 0.1 了。这时, 再对其进行综合评价时, 实际上起主要作用的只有身高这一项指标。因此, 为了尽可能地反映实际情况, 排除由于各项指标的量纲不同以及其数值数量级间的悬殊差别所带来的影响, 避免不合理现象的发生, 需要对评价指标作无量纲化处理。指标的无量纲化, 也叫做指标数据的标准化、规范化, 它是通过数学变换来消除原始指标量纲影响的方法。常用的方法有以下 6 种。

若无特殊说明, 以下所考虑的指标 $x_j (j=1, 2, \dots, m)$ 为极大型指标, 其观测值为 $\{x_{ij} | i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m\}$ 。

1) 标准化处理法

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j} \quad (2.4)$$

式中, $\bar{x}_j$ 、 s_j ($j=1,2,\dots,m$) 分别为第 j 项指标观测值的(样本)平均值和(样本)均方差, x_{ij}^* 称为标准观测值。

特点: 样本平均值为 0, 方差为 1; 区间不确定, 处理后各指标的最大值、最小值不相同; 对于指标值恒定 ($s_j=0$) 的情况不适用; 对于要求指标值 $x_{ij}^* > 0$ 的评价方法(如熵值法、几何加权平均法等)不适用。

2) 极值处理法

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - m_j}{M_j - m_j} \quad (2.5)$$

式中, $M_j = \max_i \{x_{ij}\}$, $m_j = \min_i \{x_{ij}\}$ (下述各式同)。

对于指标 x_j 为极小型的情况, 式(2.5)变为

$$x_{ij}^* = \frac{M_j - x_{ij}}{M_j - m_j} \quad (2.5')$$

特点: $x_{ij}^* \in [0, 1]$, 最大值为 1, 最小值为 0; 对于指标值恒定的情况不适用(分母为 0)。

3) 线性比例法

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{x'_j} \quad (2.6)$$

x'_j 为一特殊点, 一般可取为 m_j 、 M_j 或 $\bar{x}_j$ 。

特点: 要求 $x'_j > 0$ 。当 $x'_j = m_j > 0$ 时, $x_{ij}^* \in [1, \infty)$, 有最小值 1, 无固定的最大值; 当 $x'_j = M_j > 0$ 时, $x_{ij}^* \in (0, 1]$, 有最大值 1, 无固定的最小值; 当 $x'_j = \bar{x}_j > 0$ 时, $x_{ij}^* \in (-\infty, +\infty)$, 取值范围不固定, $\sum_i x_{ij}^* = n$ 。

4) 归一化处理法

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (2.7)$$

特点: 可看成是线性比例法的一种特例, 要求 $\sum_{i=1}^n x_{ij} > 0$ 。当 $x_{ij} \geq 0$ 时, $x_{ij}^* \in (0, 1)$, 无固定的最大值、最小值, $\sum_i x_{ij}^* = 1$ 。

5) 向量规范法

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (2.8)$$

特点:当 $x_{ij} \geq 0$ 时, $x_{ij}^* \in (0, 1)$, 无固定的最大值、最小值, $\sum_i (x_{ij}^*)^2 = 1$ 。

6) 功效系数法

$$x_{ij}^* = c + \frac{x_{ij} - m_j'}{M_j' - m_j'} \times d \quad (2.9)$$

式中, M_j' 、 m_j' 分别为指标 x_j 的满意值和不容许值; c 、 d 均为已知正常数, c 的作用是对变换后的值进行“平移”, d 的作用是对变换后的值进行“放大”或“缩小”。通常取为 $c=60$, $d=40$, 即

$$x_{ij}^* = 60 + \frac{x_{ij} - m_j'}{M_j' - m_j'} \times 40, \quad x_{ij}^* \in [60, 100]$$

特点:可看成是更普遍意义下的一种极值处理法,取值范围确定,最大值为 $c+d$ 、最小值为 c 。

上述 6 种无量纲化方法均采用线性变换形式,线性变换在保留原有数据的信息上具有许多优良的性质,此外,还有多种非线性的无量纲方法,如指数功效系数法、幂函数功效系数法、对数功效系数法等,这些方法都是在决策者对于指标内在价值(或效用)随取值变动的规律具有较深了解的情况下使用的,在没有合理依据的情况下,不建议选用非线性的无量纲化方法。需要指出的是,本书讨论的无量纲化方法均指线性的无量纲化方法。

2.2.3 无量纲化方法的性质分析

无量纲方法有很多种,那么,决策者在实际工作时应该选择哪一种无量纲化方法呢?除已有的方法之外,还有没有更好的(理想的)无量纲化方法呢?这些涉及无量纲化方法优劣的判断标准问题,而对判断标准的要求依具体的决策环境会有所不同,其本质又是一个针对方法优选的多准则评价问题。

设想一个理想的线性无量纲化方法一般会满足如下 6 个假设条件(称为无量纲化性质)。

性质 1 单调性。要求无量纲化后的数据保留原有数据之间的序关系。

假设极大型指标 x 中的任意 2 个观测数据,记为 x_1, x_2 , 其无量纲化后的标准数据为 x_1^*, x_2^* , $x_i^* = f(x_i)$ ($i=1, 2$), f 为无量纲化函数。

(1) 当 $x_1 = x_2$ 时, $x_1^* = x_2^*$; 当 $x_1 > x_2$ 时, $x_1^* \geq x_2^*$, 此时称 f 为弱单调性的。

(2) 当 $x_1 = x_2$ 时, $x_1^* = x_2^*$; 当 $x_1 > x_2$ 时, $x_1^* > x_2^*$, 此时称 f 为强单调性的。

对于极大型指标来说,“单调性”是指单调递增性,而对极小型指标是指单调递减性。

性质 2 差异比不变性。要求无量纲化后的数据保留原有数据之间对于某个标准量的比较关系。即有

$$\frac{x_1 - x'}{x_2 - x'} = \frac{f(x_1) - f(x')}{f(x_2) - f(x')}$$

(x_1, x_2 为极大型指标 x 的任意两个观测值, x' 为一特定的标准值) 成立。

性质 3 平移无关性。对原始数据进行“平移”变换不会影响无量纲化后的结果。即有 $f(x+c)=f(x)$ (c 为任意一常数) 成立。

性质 4 缩放无关性。对原始数据进行“缩小”或“放大”变换不会影响无量纲化后的结果。即有 $f(c_1x)=f(x)$ (c_1 为任意一非零常数) 成立。

性质 5 区间稳定性。对任意一指标原始数据的无量纲化处理结果都处在一个确定的取值范围内。即有 $f(x_i) \in [\frac{c_1^{(1)}}{c_5^{(1)}}, \frac{c_2^{(2)}}{c_5^{(2)}}], \min\{f(x_i)\} = \frac{c_1^{(1)}}{c_5^{(1)}}, \max\{f(x_i)\} = \frac{c_2^{(2)}}{c_5^{(2)}}$ 成立。

性质 6 总量恒定性。对任意一指标的无量纲化处理后的标准值之和为一恒定的常数。即要求 $\sum_{i=1}^n x_{ij}^* = \sum_{i=1}^n f(x_{ij}) = c, j=1, 2, \dots, m$ (c 为一确定的常数) 成立。

“总量恒定性”是人们在应用时极易忽视的一个重要性质。大家知道, 评价系统中指标的重要性由权重系数来体现, 可是, 指标值之和也在一定程度上反映了该指标在评价系统中的重要性, 和值越大, 则该指标对于最终结论的影响力也越大, 这个效应对正确估计指标的重要性有一定的影响, 因而需尽量确保指标值的总量恒定, 尤其在采用不同无量纲化方法处理不同指标时, 总量不恒定的现象更加明显, 需要进行“再变换”等相关的技术进行处理。

可以证明, 同时满足上述 6 个性质的理想无量纲化方法是不存在的 (见定理 2.1 及推论 2.1), 任意一种无量纲化方法仅能满足其中的某几个性质 (表 2.1)。虽然在实际应用中无量纲化方法的选取也并非十分苛刻, 但是考虑尽量满足 6 个性质的组合集成形式的无量纲化方法是将来值得深入研究的一个问题。

表 2.1 常用线性无量纲化方法及性质对应表

无量纲方法	单调性	差异比不变性	平移无关性	缩放无关性	区间稳定性	总量恒定性
标准化处理法	√	√($x' = \bar{x}$)	√	√	×	√
极值处理法	√	√($x' = m_j$)	√	√	√	×
线性比例法(m_j)	√	√($x' = 0$)	×	√	×	×
线性比例法(M_j)	√	√($x' = 0$)	×	√	×	×
线性比例法($\bar{x}_j$)	√	√($x' = 0$)	×	√	×	√
归一化处理法	√	√($x' = 0$)	×	√	×	√
向量规范法	√	√($x' = 0$)	×	√	×	×
功效系数法	√	√($x' = m_j'$)	√	√	√	×

注: ①符号“√”表示成立, 符号“×”表示不成立;

②仅考虑用同一种无量纲化方法对所有指标进行处理的情形;

③仅考虑式(2.5)形式的极值处理法。

由表 2.1 可见,标准化处理法、极值处理法及功效系数法满足的性质最多,因而相对于其他方法来说更为优良,这与应用中大量使用这 3 种方法的实际情况是吻合的。

下面给出有关无量纲方法的一些定理与推论(仅给出定理 2.1 的证明,其余的定理与推论易于理解,证明过程省略)。

定理 2.1 不存在线性无量纲化方法使得“区间稳定性”及“总量恒定性”2 个性质同时成立。

证明 记某一指标 x 的 n 个观测值为 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 不妨设 $x_1 = \max_i(x_i)$, $x_n = \min_i(x_i)$ 。

任意一线性无量纲化函数可表示为 $x_i^* = f(x_i) = kx_i + b (i=1, 2, \dots, n)$ 的形式,其中 k, b 为待定常数。

按照“总量恒定性”的要求, $\sum_{i=1}^n x_i^* = c_5$, 即

$$\sum_{i=1}^n kx_i + nb = c_5 \quad (\text{I})$$

按照“区间稳定性”的要求, $x_i^* \in [c_5^{(1)}, c_5^{(2)}]$, 即

$$kx_1 + b = \max_i(x_i^*) = c_5^{(1)} \quad (\text{II})$$

$$kx_n + b = \min_i(x_i^*) = c_5^{(2)} \quad (\text{III})$$

由式(II)、式(III)可求得 $k = (c_5^{(1)} - c_5^{(2)}) / (x_1 - x_n)$, $b = (c_5^{(2)} x_1 - c_5^{(1)} x_n) / (x_1 - x_n)$, 将 k, b 代入式(I)求得

$$\sum_{i=2}^{n-1} x_i = [(c_5 + c_5^{(1)} + c_5^{(2)})(x_1 - x_n) - (n-2)(c_5^{(2)} x_1 - c_5^{(1)} x_n)] / (c_5^{(1)} - c_5^{(2)}) \quad (\text{IV})$$

可知, $x_1, x_2, \dots, x_n$ 之间的关系受到式(IV)的约束,限制了 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 选取的任意性。也就是说,不存在 k, b 确定的线性无量纲化方法使得对于任意的指标观测值 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 恒满足“区间稳定性”、“总量恒定性”两个性质。定理得证。

由定理 2.1 自然可得到推论 2.1。

推论 2.1 同时满足性质 1~6 的理想无量纲化方法不存在。

以下分别用 $f(x), L(y)$ 表示无量纲化函数及单调递增的线性变换函数, $S(f(x))$ 表示 $f(x)$ 所满足的无量纲化性质(指前面给出的 6 个性质)的集合。

定理 2.2 对 $f(x)$, 有 $S(L(f(x))) = S(f(x))$ 。

定理 2.2 表明对无量纲化方法作正线性变换,性质不变。

定理 2.3 对 2 种无量纲化方法 $f_1(x), f_2(x)$, 有 $S(af_1(x) + af_2(x) + b) = S(f_1(x)) \cap S(f_2(x))$ (a, a 为任意正的常数, b 为任意常数)。

定理 2.3 表明对 2 种无量纲化方法进行线性合成,合成的无量纲化方法的性质为 2 种无量纲化方法性质的“交集”。该定理可推广到 $n(n>2)$ 个无量纲化函数进行线性合成的情形,见定理 2.4。

定理 2.4 对 n 种无量纲化方法 $f_1(x), \dots, f_n(x)$, 有 $S\left[\sum_{i=1}^n a_i f_i(x) + b\right] =$

$$\bigcap_{i=1}^n S(f_i(x)) \quad (a_i, i=1, 2, \dots, n, \text{为任意正常数}, b \text{为一任意常数}).$$

定理 2.5 若 $g(u)$ 为定义在 U 上的一个连续单调递增的函数,对一无量纲化函数 $f(x), f: X \rightarrow U, X, U$ 分别为 $x, f(x)$ 的取值区间,则 $g(f(x))$ 也是一个无量纲化函数。

定理 2.2~定理 2.5 可用于指导构造复合的无量纲化函数或判断复杂的无量纲化函数的性质。

2.2.4 无量纲化过程的稳定性分析

无量纲化过程的稳定性是指规范化结果对于个别(或若干)指标观测数据增减的敏感性(鲁棒性)。敏感性越低,说明无量纲化过程的稳定性越好,反之越差。引发敏感性问题的原因有两个方面:①无量纲化方法的结构;②指标数据分布。

无量纲化方法的结构对敏感性的影响主要体现在对每个指标观测值进行无量纲化处理时所运用信息量的程度上。因为“标准化处理法”、“线性比例法(取比例系数为 $\bar{x}_j$ 时)”、“归一化处理法”及“向量规范法”的公式中包含指标所有样本信息的统计量(如平均值、总和及平方和等),所以稳定性较好;相反,“极值处理法”、“线性比例法(取比例系数为 m_j)”、“线性比例法(取比例系数为 M_j)”及“功效系数法”受个别极端数据(如最大值、最小值、满意值、不容许值)的影响较大,所以稳定性较差。

无量纲方法结构对稳定性的影响极大地依赖于指标的数据分布,若数据分布比较平稳(极端值的影响不明显),则无量纲化结果的稳定性不会受方法结构太大的制约。下面讨论影响无量纲化结果稳定性的“指标数据分布”因素。

1. 实例分析

选取 2006 年 5 月份公布的中国 A 股市场 79 家房地产类上市公司 2005 年年报数据中“主营业务增长率”(设为 x_1)及“净资产收益率”(设为 x_2)2 项指标进行分析, x_1, x_2 均为极大型指标,见表 2.2。

将 79 家房地产上市公司的“主营业务增长率”的原始指标数据绘制成散点图,见图 2.1。选用式(2.5)(极值处理法)对该指标进行处理,处理后的数据见图 2.2。

表 2.2 2005 年 79 家房地产上市公司主营业务增长率及净资产收益率

上市公司 股票名	主营业务增长率 (%)	净资产收益率 (%)	上市公司 股票名	主营业务增长率 (%)	净资产收益率 (%)
G 万科 A	56.79	16.25	长春经开	-41.21	1.46
ST 星源	-17.68	-27.26	G 华业	-34.89	1.88
深达声 A	68	9.44	先锋股份	21.55	9.93
深宝安 A	32.83	6.04	G 物华	11.72	6.97
深物业 A	-31.89	12.75	G 广汇	-29.68	10.8
G 沙河	18.13	10.04	G 城建	26.67	7.56
G 招商局	-1.08	11.17	武昌鱼	138.74	0.57
G 深深房	204.2	1.14	G 天房	19.94	1.29
G 中粮地	-2.21	9.34	G 华发	30.63	11.73
深长城 A	-31.34	8.93	G 天鸿宝	-52.85	3.47
G 泛海	-45.45	6.42	金地集团	17.04	11.66
G 德赛	188	11.66	G 东华	34.14	8.27
G 华侨城	21.65	18.23	XDG 空港	1.2	7.44
G 金融街	15.12	18.1	G 栖霞	51.67	21.36
绿景地产	-32.93	1.98	ST 兴业	-93.38	0
* ST 珠江	-73.47	-111.14	金丰投资	10.26	7
银基发展	-28.57	3.91	G 天宸	-55.99	1.19
G 渝开发	22.95	0.39	海鸟发展	-79.29	3.39
G 旭飞	-16.58	3.25	G 新黄浦	-17.22	3.13
* ST 中天	0.48	-110.96	G 金桥	97.09	7.78
G 光华	634.98	4.57	中远发展	-58.36	1.39
G 莱茵	6.07	1.62	G 外高桥	-13.78	-18.1
G 金盘	239.31	24.8	G 陆家嘴	25.55	8.98
粤宏远 A	4.47	1.16	G 天地源	46.35	4.89
G 阳光	43.2	15.45	G 中企	-2.02	18.19
亿城股份	-48.71	4.67	G 穗珠江	64.33	2.83
倍特高新	-18.26	2.75	利嘉股份	-43.47	0.99
* ST 三木	-25.24	-48.59	G 苏高新	-7.86	8.56
* ST 东源	0	-3.42	G 实发展	119.33	10.26
G 名流	17.99	16.22	ST 运盛	98.87	2.77
阳光发展	-17.51	4.49	G 天创	-9.44	6.84
中国武夷	65.52	2.54	保税科技	50.71	-1.39
G 津滨	61.25	2.04	世茂股份	-39.98	9.71
浙江广厦	8.58	-12.97	新潮创业	74.23	17.86
G 冠城	37.96	18.7	G 东日	33.03	3.74
G 海泰	-8.9	10.38	东湖高新	-30.71	0.51
成都建投	-82.42	0.52	绵阳高新	-74.49	-98.87
沈阳新开	-83.34	-3	* ST 中房	-58.64	-71
G 美都	96.33	2.69	G 张江	35.76	6.61
G 创兴	-48.76	3.12			