

前 言

评价问题在社会、经济和科技活动中普遍存在，一般与选优或排序相关的问题都会涉及对所研究对象的评价，同时科学评价往往又是正确决策的依据和基础。从广义层面讲，可以认为没有评价就没有决策；而从具体方法研究层面讲，决策和评价的共通性非常强，在某种意义上甚至可以认为多属性综合评价方法就是多属性决策方法。因此，研究评价问题对科学管理具有十分重要的意义。

目前从研究内容上分析，国内外对评价问题的研究大致可分为两类：一类是对不同评价问题的评价指标体系的研究，其针对具体的评价问题，一般由特定专业领域的专家参与完成；另一类是对综合评价方法的研究，其一般不涉及对具体的评价对象进行研究，而是一种更广义的方法论层面的研究，一般由系统评价科学领域的专家完成。本书涉及的内容属于后一类，是立足于方法论层面的研究。

关于综合评价方法的研究应该说是评价研究领域更加重要的方向，因为它不是为了解决某类具体的评价问题，而是针对评价中的共性问题。综合评价问题在现实生活中广泛存在，综合评价方法的科学性是合理、客观评价的基础，因此对综合评价方法进行研究具有广泛的意义；另外，综合评价又是一个十分复杂的问题，其所面临的评价系统往往是社会、经济、科技、教育、管理等一些复杂的系统，目前在综合评价方法方面还有许多理论问题和实践问题尚未解决，因此综合评价方法的研究空间十分广阔。

由于数据包络分析（DEA）方法与许多其他的多属性综合评价方法相比，具备诸多优势，在系统评价中得到了广泛的应用，同时 DEA 方法和多属性决策方法具有广泛的联系，利用 DEA 方法进行多属性综合评价不仅具有可行性，而且采用基于 DEA 的综合评价方法进行评价，有助于获得更合理的评价结论和更丰富的评价信息。但是，DEA 方法本身也具有一些缺陷，为提高基于 DEA 的综合评价方法的科学性，还需要对其进行改进和完善，这种改进和完善可以沿三条主线进行。

一是扩展建模问题，即借鉴和引进其他评价思想和概念，对基于 DEA 的系统综合评价方法进行修正，使该方法本身更加完善合理。本书涉及的扩展问题包括以下四个方面：①对 DEA 公共权重的形成和权重约束的设置进行研究，进而增强 DEA 评价方法的合理性和提升 DEA 方法的评价质量，与此同时，对提升 DEA 评价方法的区分能力进行研究，进而给出更加合理和广泛适用的对所有被评价对象或决策单元（DMU）进行完全排序的方法；②对 DEA 决策单元内部结构进行细化研究，使 DEA 模型能够更好地适用于不同类型、不同结构的评价对象的效率测

度,也使得 DEA 投入、产出指标的确定更加灵活、更加符合评价的实际情况,进而提升评价者对 DEA 方法的认知和对 DEA 理论的理解;③对在输入、输出数据不确定的情况下利用 DEA 方法进行评价的有效性问题进行研究,结合鲁棒优化思想,对 DEA 模型进行改进,进而提升在信息不确定条件下 DEA 评价结果的可信性和稳健性;④将市场竞争和环境规制等外部容量约束纳入建模过程,对传统 DEA 模型进行改进,使之不仅可以对企业进行传统的运作效率评价,还可以开展有效性评价,即对企业完成特定市场目标时的运作效率和完成特定减排目标时的环境效率进行评价,从而丰富评价结果的管理和政策内涵。

二是集成建模问题,即基于 DEA 方法的组合评价和群组评价问题的研究。本书涉及的集成问题主要包括以下三个方面:①利用基于 DEA 的系统综合评价方法,确定个人评价信息在集结为群体综合评价信息时的重要程度,以获取更全面、合理的群组评价结论;②围绕基于 DEA 的系统综合评价方法,选取其他可取长补短的评价方法(如层次分析方法、模糊综合评价方法、灰色系统类综合评价方法等),与之组合,以构造更全面、合理和适用性强的评价方法;③将统计误差的影响考虑到建模过程中,在 DEA 模型中通过引入凸性非参数最小二乘法估计技术无效项和随机误差项,进而将 DEA 方法发展成为一个具有随机分析属性的半参数模型,即随机非参数数据包络方法。

三是创新应用问题,即如何将传统的和改进的 DEA 方法创新性地与经济管理理论、现实评价需求有机结合,除了获取典型的效率水平评价结果外,还可以进一步获得有关效率模式、规模报酬、替代性、边际成本、资源配置等更加丰富的经济分析结论和管理决策建议。本书涉及的创新应用问题主要包括以下五个方面:①基于径向和非径向 DEA 的能源环境集成效率指数的构建;②投入、产出自由处置性不同假设下评价对象规模收益和规模损失的测度;③基于 DEA 的资源优化配置模型的构建;④借助方向距离函数的投入、产出影子价格的参数与非参数估计;⑤上述方法模型和分析过程在能源经济和环境管理中的应用。

综上所述,本书将沿着三条主线对基于 DEA 的系统综合评价方法进行建模扩展、集成与应用研究。本书的主要内容分为以下 13 个方面,并对应第 2 章~第 14 章,各部分的内容结构安排如下所述。

前言和第 1 章,系统综合评价与 DEA 概论。确定系统综合评价扩展、集成与应用问题的研究范畴,概述 DEA 的理论与方法及其与系统综合评价的联系,分析利用 DEA 进行系统综合评价的特性,论述本书的研究背景和意义,提出涉及的主要研究内容。

第 2 章,基于 DEA 的系统综合评价体系。论证 DEA 和多属性综合评价的密切联系,分析 DEA 方法的评价特性和用于系统综合评价的优缺点,提出 DEA 模型扩展、集成与应用问题的研究方向,构建包括评价要素、流程和检查单在内的

基于 DEA 的系统综合评价体系架构模型。

第 3 章, DEA 系统综合评价中的公共权重和完全排序。针对公共权重配置和 DMU 完全排序问题, 从以下三个方面对 DEA 方法进行扩展研究, 即比较现有的 DEA 公共权重配置和完全排序方法的优劣和适用条件, 借鉴博弈交叉效率概念, 提出基于博弈交叉效率 DEA 的系统综合评价方法; 分析现有区间 DEA 评价方法的不足, 将效率值判别分析 (DR) 方法引入区间 DEA, 提出区间 DR/DEA 方法; 从同时合理配置权重和充分利用信息的角度出发, 提出三参数区间交叉效率 DEA 评价方法。

第 4 章, DEA 中 DMU 结构分析和效率分解。对 DEA 决策单元结构分析研究进行分类, 针对多阶段串行结构 DEA 模型进行以下三个方面的扩展研究, 即综合考虑各种类型中间投入、产出的处理和非期望产出的处理, 提出两阶段串行 DEA 扩展模型, 并用于中国银行业两阶段效率评价的研究; 考虑多阶段模型在阶段数量上的扩展, 提出一般化的三阶段串行 DEA 模型, 结合三阶段供应链效率分析问题, 给出三种不同评价顺序结构下 DMU 整体效率的计算方法和各阶段效率的分配方法; 总结具有代表性的多阶段串行 DEA 模型的一般化表示形式。

第 5 章, 基于 DEA 的系统综合评价集成问题。针对群组评价中的专家赋权问题和围绕 DEA 的组合评价问题, 对 DEA 系统综合评价方法进行集成研究, 提出基于评价有效性确定专家权重的 DEA 方法, 以及群组统一偏好锥 DEA 方法, 并将相关方法应用于供应商评价。

第 6 章, 不确定信息条件下的鲁棒 DEA 方法。分析信息不确定性对 DEA 评价结果的影响, 结合鲁棒优化的思想, 提出对投入、产出数据不确定性具有免疫作用的鲁棒 DEA 方法, 根据投入、产出数据受到不确定性影响的两种不同情况, 以及表征不确定性的两种不同假设, 具体给出四种鲁棒 DEA 模型, 最后将该方法应用于能源效率评估。

第 7 章, 径向 DEA 集成效率测度方法与应用。根据能源环境效率评价问题的特性, 提出径向调节和松弛调节的联合调节 DEA 集成效率测度模型, 基于该模型构造三类用于能源效率、排放效率和能源环境集成效率评估的指数, 进一步将上述模型和对应指数扩展到动态分析中, 最后运用提出的模型和指数对中国区域能源环境效率进行比较分析。

第 8 章, 非径向 DEA 集成效率测度方法与应用。从另一个视角对能源环境效率评价问题开展建模研究, 基于范围调节测度方法和多方向效率测度方法, 构建两类能源环境集成效率测度模型, 并类似地构造评估指数, 利用上述模型和指数, 对中国工业部门开展投入、产出的自然可自由处置性和管理可自由处置性两类视角下的评估, 并给出效率水平、效率模式、规模收益和规模损失等决策支撑信息。

第 9 章, 基于 DEA 的资源配置和目标分解方法与应用。将 DEA 方法应用于

资源优化配置问题，结合零和博弈思想，构建受控资源配置的 DEA 模型，结合中国 CO₂ 排放的历史信息和预测信息，以及相关社会经济发展情景，开展 CO₂ 排放配额分配应用研究，给出一种可供参考的 CO₂ 排放配额区域分配方案。

第 10 章，市场与环境容量约束下的 DEA 绩效评价建模与应用。针对传统的运作绩效评价和环境绩效评价模型没有充分考虑到市场竞争和环境规制的约束，因而难以充分有效地评价特定行业完成特定目标条件下的效率评价这一问题，提出了市场与环境容量约束下的 DEA 绩效评价模型，并运用该模型开展了中国电力行业运作绩效和环境绩效测算。

第 11 章，方向距离函数和影子价格估算建模与应用。介绍了距离函数和方向距离函数的主要特性，给出了借助方向距离函数开展投入、产出影子价格估算的参数方法与非参数方法，应用该方法对中国钢铁行业 CO₂ 排放的边际减排成本进行了估算和分析。

第 12 章，改进的影子价格估算非参数建模方法与应用。介绍了一个基于非参数前沿面模型的污染排放外部性内部化建模机制，以及一个规避负向影子价格测算的方向向量修正机制，构建了一个改进的能源与 CO₂ 排放效率测度模型，以及期望和非期望产出共同边际转移率寻优模型，应用该方法对中国 30 个主要城市工业部门能源效率和排放绩效进行了评估，并对其 CO₂ 边际减排成本进行了估算。

第 13 章，考虑误差项影响的半参数效率评价建模。回顾了参数和非参数效率评价的基本模型，分析了其各自的优势和存在的缺陷，然后介绍了半参数效率评估模型的特性，在此基础上进一步详细介绍了在 DEA 模型的基础上通过引入凸性非参数最小二乘法估计技术无效项和随机误差项的机理和过程，以及借助上述过程将 DEA 方法发展成为一个具有随机分析属性的半参数模型，即随机非参数数据包络方法的建模过程。

第 14 章，方向距离函数的方向向量选取方法。对基于 DEA 的效率测度方法中方向距离函数的方向向量选取技术进行了系统的梳理和分类，详细介绍了七种较为典型的方向向量选取技术，并将各类技术统一转化为考虑非期望产出的无导向模型，比较分析了各类技术的优缺点，最后指出了 DEA 框架下方向距离函数中方向向量选取的研究方向。

本书涉及的内容对于完善 DEA 的理论方法体系，提升 DEA 方法的评价质量，拓展 DEA 方法的使用范围，增强对 DEA 方法机理的理解，降低 DEA 方法的计算复杂性，丰富 DEA 方法评价结果的经济管理和政策含义，提升 DEA 方法评价结论的决策支撑作用等，具有重要的理论价值和实际意义。

目 录

前言

第 1 章 系统综合评价与 DEA 概论	1
1.1 系统综合评价扩展与集成问题概述	1
1.2 DEA 概述	3
1.3 系统综合评价与 DEA 的联系	3
第 2 章 基于 DEA 的系统综合评价体系	6
2.1 系统综合评价概述	6
2.1.1 多属性综合评价和多准则决策	6
2.1.2 多属性综合评价的要素和过程	10
2.2 DEA 基础	12
2.2.1 DEA 的主要概念	12
2.2.2 DEA 的应用简述	16
2.2.3 DEA 方法的评价特性	16
2.3 基于 DEA 的系统综合评价体系构建	18
2.3.1 DEA 方法作为系统综合评价工具的比较分析	18
2.3.2 DEA 系统综合评价体系	22
第 3 章 DEA 系统综合评价中的公共权重和完全排序	27
3.1 DEA 公共权重配置和 DMU 完全排序方法研究综述	27
3.1.1 基于交叉效率的 DEA 改进方法	28
3.1.2 基于超效率的 DEA 改进方法	30
3.1.3 考虑 DMU 标杆情况的 DEA 改进方法	31
3.1.4 综合多元统计分析的 DEA 改进方法	31
3.1.5 综合多准则决策概念的 DEA 改进方法	34
3.1.6 DEA 权重选取和输入、输出处理有关问题	34
3.2 基于博弈交叉效率 DEA 的系统综合评价方法	37
3.2.1 博弈交叉效率 DEA 模型的提出	37
3.2.2 博弈交叉效率 DEA 模型	38
3.2.3 案例分析	41
3.3 区间 DEA 中 DMU 的改进排序方法研究	43
3.3.1 区间 DEA 方法及区间 DMU 排序问题研究的背景	43
3.3.2 区间 DEA 中 DMU 的改进排序方法	46
3.3.3 算例分析	47

3.3.4	客观方法下的区间 DEA 中 DMU 的排序	49
3.4	三参数区间交叉效率 DEA 评价方法研究	53
3.4.1	三参数区间交叉效率 DEA 评价方法提出的背景	53
3.4.2	三参数区间交叉效率 DEA 方法	54
3.4.3	算例分析	57
第 4 章	DEA 中 DMU 结构分析和效率分解	59
4.1	DEA 中 DMU 结构分析和效率分解方法研究综述	59
4.1.1	多阶段串行 DEA 模型	59
4.1.2	多成分并行 DEA 模型	61
4.1.3	多层次嵌套 DEA 模型	61
4.2	两阶段串行 DEA 模型扩展研究及其在银行业效率评价中的应用	62
4.2.1	银行业效率评价问题和两阶段串行 DEA 模型提出的背景	62
4.2.2	加性两阶段串行 DEA 扩展模型	64
4.2.3	基于加性两阶段串行 DEA 扩展模型的中国的商业银行效率评价	70
4.3	三阶段串行 DEA 扩展模型的研究及其在供应链效率评价中的应用	77
4.3.1	评价供应链效率的多阶段串行 DEA 模型提出的背景	77
4.3.2	三阶段串行 DEA 扩展模型及其在不同供应链结构下的效率分解	79
4.3.3	算例分析	85
4.4	多阶段串行 DEA 模型的一般化表示	87
第 5 章	基于 DEA 的系统综合评价集成问题	91
5.1	群组评价专家赋权问题和围绕 DEA 的组合评价问题概述	92
5.1.1	专家赋权问题	92
5.1.2	围绕 DEA 方法的组合评价问题	94
5.2	基于评价有效性确定专家权重的 DEA 方法	96
5.2.1	方法提出的背景	96
5.2.2	专家评价有效性的先验信息和后验信息	97
5.2.3	专家权重确定的 DEA 方法	100
5.2.4	算例分析	102
5.3	群组统一偏好锥 DEA 方法	103
5.3.1	方法提出的背景	103
5.3.2	群组统一偏好信息的获取集结与偏好锥的构造	104
5.3.3	带有群组统一偏好锥的 DEA 改进模型	105
5.3.4	群组统一偏好锥 DEA 方法在通信设备供应商评价中的应用	106
第 6 章	不确定信息条件下的鲁棒 DEA 方法	110
6.1	线性规划求解的鲁棒性问题	110

6.1.1	线性规划鲁棒性的提出	110
6.1.2	针对线性规划的鲁棒优化方法和模型	111
6.2	数据包络分析和信息不确定性	114
6.2.1	DEA 处理不确定信息的几种方法	114
6.2.2	信息不确定性对 DEA 结果的影响	115
6.3	鲁棒数据包络分析方法	117
6.3.1	考虑产出数据不确定的鲁棒 DEA 配对模型	118
6.3.2	考虑投入数据不确定的鲁棒 DEA 配对模型	119
6.3.3	考虑产出数据不确定的区间鲁棒 DEA 配对模型	120
6.3.4	考虑投入数据不确定的区间鲁棒 DEA 配对模型	121
6.3.5	四种鲁棒 DEA 模型小结和算例分析	121
6.4	基于鲁棒 DEA 方法的能源效率评估	124
第 7 章	径向 DEA 集成效率测度方法与应用	128
7.1	径向调节和松弛调节的联合 DEA 集成效率测度模型	128
7.2	单纯能源/排放效率指数和能源环境集成效率指数	129
7.2.1	单纯能源/排放效率指数	129
7.2.2	能源环境集成效率指数	129
7.3	能源环境集成效率测度模型的扩展	132
7.4	基于径向 DEA 方法的能源效率评估	134
7.4.1	数据、变量和描述性分析	134
7.4.2	中国区域能源环境效率比较分析	136
第 8 章	非径向 DEA 集成效率测度方法与应用	145
8.1	非径向 RAM-DEA 能源环境集成效率测度模型	145
8.1.1	第一类 RAM 能源环境集成效率测度模型	145
8.1.2	第二类 RAM 能源环境集成效率测度模型	147
8.2	两类自由处置性假设下能源环境集成效率指数	148
8.2.1	自然可自由处置性下的集成效率指数和能源效率指数	148
8.2.2	管理可自由处置性下的集成效率指数和环境效率指数	149
8.3	非径向 MEA 能源环境集成效率测度模型	152
8.4	基于非径向 DEA 方法的能源效率评估	154
8.4.1	数据和变量描述	154
8.4.2	工业能源环境集成效率评估	155
8.4.3	规模收益和规模损失测度	160
第 9 章	基于 DEA 的资源配置和目标分解方法与应用	162
9.1	受控资源配置非参数 ZSG-DEA 模型	162

9.2	CO ₂ 排放配额分配 ZSG-DEA 模型	165
9.3	基于 DEA 方法的节能减排目标区域分解	166
9.3.1	相关历史数据和预测数据	166
9.3.2	CO ₂ 排放配额在中国 30 个省份间的分配情况	170
9.3.3	CO ₂ 排放配额分配结果分析和讨论	173
第 10 章	市场与环境容量约束下的 DEA 绩效评价建模与应用	180
10.1	效率分析和有效性分析建模概述	180
10.2	考虑市场与环境容量约束的改进 DEA 绩效评价模型	182
10.2.1	运作绩效评价建模	182
10.2.2	环境绩效评价建模	186
10.2.3	运作与环境整体绩效评价建模	189
10.2.4	效率分析和有效性分析建模方法总结	192
10.2.5	绩效变化评价建模	195
10.3	基于改进 DEA 的电力行业运作绩效和环境绩效评价	196
10.3.1	评价指标和数据	196
10.3.2	运作绩效评价	198
10.3.3	环境绩效评价：CO ₂ 减排绩效	203
10.3.4	环境绩效评价：SO ₂ 减排绩效	205
10.3.5	整体绩效评价	207
第 11 章	方向距离函数和影子价格估算建模与应用	209
11.1	距离函数与方向距离函数	209
11.2	基于参数与非参数模型的影子价格估算	212
11.2.1	影子价格推导	212
11.2.2	非参数化估算方法	213
11.2.3	参数化估计方法	214
11.3	钢铁行业 CO ₂ 边际减排成本估算	216
11.3.1	考虑决策行为不确定性的钢铁企业 CO ₂ 边际减排成本估算	217
11.3.2	中国钢铁企业 CO ₂ 边际减排成本的异质性	224
第 12 章	改进的影子价格估算非参数建模方法与应用	227
12.1	基于 DEA 的影子价格估算可能存在的问题	227
12.2	改进的影子价格估算非参数模型	228
12.3	工业部门能源效率测度及 CO ₂ 减排成本估算概述	231
12.4	基于改进影子价格模型的工业 CO ₂ 减排成本估算	233
12.4.1	中国城市工业部门效率评价背景和数据	233
12.4.2	中国城市工业部门能源和排放效率	235

12.4.3 中国城市工业部门节能减排潜力	245
12.4.4 中国城市工业部门 CO ₂ 减排成本	247
第 13 章 考虑误差项影响的半参数效率评价建模	252
13.1 参数、非参数和半参数效率评价模型概述	252
13.1.1 参数 SFA 模型及其缺陷	253
13.1.2 非参数 DEA 模型及其缺陷	253
13.1.3 半参数 CNLS 和 StoNED 模型的特性	254
13.2 基于 CNLS 模型的效率评价	255
13.2.1 CNLS 模型的建模过程	255
13.2.2 误差项为乘数形式的 CNLS 模型	256
13.2.3 CNLS 模型与 DEA 模型的关系	258
13.3 基于 StoNED 模型的效率评价	259
13.3.1 StoNED 模型的建模过程	259
13.3.2 误差项为乘数形式的 StoNED 模型	261
13.3.3 StoNED 模型在影子价格估算中的应用	262
第 14 章 方向距离函数的方向向量选取方法	264
14.1 方向距离函数的发展及方向向量选取技术的分类	264
14.2 方向距离函数回顾	268
14.3 外生方向向量选取方法	269
14.3.1 武断选取方向向量技术	269
14.3.2 加条件选取方向向量技术	270
14.3.3 外生方向向量选取技术的缺陷	271
14.4 内生理论最优方向向量选取方法	272
14.4.1 最短距离方向向量选取技术	272
14.4.2 最远距离方向向量选取技术	276
14.5 内生市场导向型方向向量选取方法	278
14.5.1 成本最小化方向向量选取技术	278
14.5.2 利润最大化方向向量选取技术	280
14.5.3 边际收益最大化方向向量选取技术	287
14.6 方向距离函数方法的研究方向	290
参考文献	292
后记	309

图 目 录

图 2-1	DEA 系统综合评价体系	24
图 3-1	各评价单元博弈交叉效率值不断改善过程	41
图 3-2	区间数的序关系示意	45
图 3-3	不同满意水平下各 DMU 的效率值变化和比较情况	49
图 3-4	可能度的三种情况示意图	51
图 4-1	两阶段串行 DEA 模型结构	65
图 4-2	一般化的两阶段 DEA 模型结构	78
图 4-3	供应链中三阶段串行 DEA 模型结构	79
图 4-4	多阶段串行 DEA 模型结构	88
图 5-1	通信设备供应商评价指标体系	107
图 7-1	不同模型下能源环境效率指数对比	138
图 7-2	EPI'与 UEEPI ₁ 和 UEEPI ₂ 的比较	139
图 7-3	2000~2009 年中国 30 个省份的 UEEPI ₂ 值	141
图 7-4	2000~2009 年能源与环境集成效率指数平均值变化趋势	141
图 7-5	中国 30 个省份能源环境集成效率指数值分布图	142
图 7-6	2000~2009 年中国 30 个省份的能源环境集成效率指数平均值	143
图 8-1	期望和非期望产出效率前沿面示意图	151
图 8-2	两类 RAM-DEA 集成效率测度模型计算步骤	152
图 8-3	中国 31 个主要城市工业能源效率情况	158
图 8-4	中国 31 个主要城市工业环境效率情况	158
图 8-5	中国 31 个主要城市自然可自由处置性和管理可自由处置性 假设下集成效率对比	159
图 9-1	历次迭代中各项效率度量均值的提升过程	172
图 9-2	区域 CO ₂ 排放配额分配量的调整过程	173
图 9-3	2020 年和 2005 年中国 30 个省份 CO ₂ 排放强度对比	174
图 9-4	2020 年和 2005 年对比中国 30 个省份能源强度下降率 和 CO ₂ 排放强度下降率	174

图 9-5	中国 2005 年和 2010 年 CO ₂ 排放量及低增长情景、基准情景、中高增长情景、高增长情景下 2020 年 CO ₂ 排放量	177
图 10-1	运作绩效战略地位图	185
图 10-2	环境绩效战略地位图	188
图 10-3	二维整体绩效战略地位图	191
图 10-4	运作绩效、环境绩效和整体绩效评价建模方法机理 总结示意图	193
图 10-5	运作绩效战略地位气泡图	200
图 10-6	“十一五”和“十二五”期间中国 30 个省份电力行业的 平均运作绩效变化率	203
图 10-7	中国 30 个省份“十一五”和“十二五”期间在 CO ₂ 减排 绩效方面的战略地位气泡图	204
图 10-8	中国 30 个省份“十一五”和“十二五”期间电力行业的 平均 CO ₂ 减排有效性变化率	205
图 10-9	中国 30 个省份“十一五”和“十二五”期间在 SO ₂ 减排 绩效方面的战略地位气泡图	206
图 10-10	中国 30 个省份“十一五”和“十二五”期间电力行业的 平均 SO ₂ 减排有效性变化率	207
图 10-11	中国 30 个省份“十一五”和“十二五”期间电力行业的 平均 OEM、CIE ^{OE} 、CIT ^{OE} 情况	208
图 11-1	投入距离函数	210
图 11-2	产出距离函数	210
图 11-3	产出导向的方向距离函数示意图	211
图 11-4	三种不同的钢铁企业生产及节能减排策略	217
图 11-5	不同方向向量选取下钢铁企业样本 CO ₂ 影子价格变化情况	223
图 11-6	中国钢铁企业不同组别下的 CO ₂ 影子价格分布情况	224
图 12-1	中国 30 个主要城市工业部门的 5 年平均全要素能源 和排放集成效率情况	238
图 12-2	中国 30 个主要城市工业全要素能源和排放集成效率 变化及分解后的变化情况	238
图 12-3	2006~2010 年中国 30 个主要城市工业平均 CO ₂ 排放效率 和能源利用效率值	239
图 12-4	中国 8 个经济区域主要城市工业能源利用效率箱线图	240

图 12-5	中国 8 个经济区域主要城市工业 CO ₂ 排放效率箱线图	241
图 12-6	利用面板最小二乘横截面固定效应方法得到的工业 CO ₂ 排放效率和人均 GDPPC 之间的关系	243
图 12-7	2006~2010 年中国 8 个经济区域主要城市工业部门的节能潜力及区域节能潜力占比情况	245
图 12-8	2006~2010 年中国 30 个主要城市工业部门的节能潜力及理论节能目标情况	246
图 12-9	2006~2010 年中国 30 个主要城市工业部门的 CO ₂ 减排潜力及区域 CO ₂ 减排潜力的占比情况	246
图 12-10	中国 30 个主要城市工业部门的 CO ₂ 减排潜力及理论 CO ₂ 减排目标情况	247
图 12-11	中国 30 个主要城市工业 CO ₂ 排放的平均影子价格和 CO ₂ 排放效率平均值之间的关系	249
图 12-12	150 个样本点 CO ₂ 排放的影子价格与 CO ₂ 排放效率之间的关系	250
图 12-13	分组样本点 CO ₂ 排放的影子价格与 CO ₂ 排放效率之间的关系	251
图 14-1	方向距离函数方向向量选取技术的分类	265
图 14-2	典型的外生方向向量的产出导向型指向	271
图 14-3	弱可自由处置性假设的误判情形	272
图 14-4	典型的内生方向向量的指向	290

表 目 录

表 1-1	各种综合评价方法比较分析	2
表 2-1	多属性决策和多目标决策的区别	8
表 2-2	多属性综合评价与多属性决策的区别	9
表 3-1	交叉效率矩阵	29
表 3-2	评价指标类型及指标值	40
表 3-3	各评价对象 CCR 模型下的普通效率值、交叉效率值和博弈交叉效率值	40
表 3-4	飞机总体设计方案评审样本及评价结果	42
表 3-5	区间 DEA 的输入和输出数据及效率值和排序结果	48
表 3-6	不同满意水平下 DMU 的效率值	48
表 3-7	某产品设计方案的评审数据	57
表 3-8	各 DEA 模型的 DMU 的效率值及排序结果	58
表 4-1	64 个样本点的输入、中间产出、输出数据的描述性统计	71
表 4-2	加性两阶段串行 DEA 扩展模型下银行系统总体效率和两个子阶段的效率(先计算 E_0^{2*})	72
表 4-3	黑箱模型和加性两阶段串行 DEA 扩展模型的整体效率评价结果	73
表 4-4	加性两阶段串行 DEA 扩展模型下银行系统总体效率和两个子阶段的效率(先计算 E_0^{1*})	74
表 4-5	供应链各成员的输入和输出数据	85
表 4-6	不同结构三阶段 DEA 模型下供应链整体效率值及其成员效率值情况	86
表 5-1	供应商评价数据	108
表 5-2	基于理想点的公共权重	109
表 5-3	各供应商的效率值及排序情况	109
表 6-1	各 DMU 的投入、产出数据	116
表 6-2	原名义问题和数据不确定问题的结果	117
表 6-3	不同 DEA 方法下的结果	123

表 6-4	中国 30 个省份 2009 年能源效率评估的初始数据及基本统计量	124
表 6-5	中国 30 个省份的鲁棒 DEA 模型下的能源、 环境效率值和排序情况	126
表 7-1	投入、产出指标的描述性统计	135
表 7-2	中国 30 个省份具体的分类情况及对应的指标值	136
表 7-3	中国 30 个省份在不同模型下的能源与环境效率评价结果	137
表 7-4	基于模型(7-2)的分组情况	140
表 7-5	基于模型(7-3)的分组情况	140
表 8-1	用于评价投入、产出数据的描述性统计	155
表 8-2	中国 31 个主要城市工业行业能源环境集成效率评价结果	156
表 9-1	中国 30 个省份的 GDP、人口、能源和排放数据(2005 年)	167
表 9-2	中国 30 个省份 2020 年 GDP、人口、能源消费量、 CO ₂ 排放量、非化石能源消费量初始分配数据(基准情景)	169
表 9-3	中国 2020 年 GDP、人口、能源消费量、CO ₂ 排放量、 非化石能源消费量数据(参考情景)	170
表 9-4	中国 30 个省份调整分配后的各投入指标及相应的效率值 情况(基准情景)	170
表 9-5	2020 年中国 30 个省份的能源强度、CO ₂ 排放强度、 非化石能源消费量占比及其较 2005 年的变化情况(基准情景)	175
表 9-6	中国 2020 年 GDP、能源消费总量、CO ₂ 排放量、非化石 能源消费量(参考情景)	177
表 9-7	2020 年中国 30 个省份 GDP、能源消费总量、CO ₂ 排放量、 非化石能源消费量配额分配情况(参考情景)	178
表 10-1	中国 30 个省份的电力行业在“十一五”和“十二五” 期间的运作绩效表现情况	198
表 10-2	电力调度分配前后中国 30 个省份电力行业的 运作绩效表现情况	201
表 11-1	钢铁企业样本编号和名称对应表	219
表 11-2	钢铁企业样本投入、产出数据的描述性统计	219
表 11-3	三个方向向量的方向距离函数未知参数的估算结果	220
表 11-4	不同方向向量选取下的钢铁企业样本的 CO ₂ 影子 价格估算结果	220

表 11-5	不同组别的 CO ₂ 影子价格的异质性检验	224
表 11-6	近年来关于估算中国 CO ₂ 影子价格的结果比较	226
表 12-1	中国 30 个主要城市工业部门投入和产出数据的 描述性统计(2006~2010 年)	234
表 12-2	中国主要城市工业能源和排放效率	236
表 12-3	主要城市工业能源利用效率和 CO ₂ 排放效率分组	241
表 12-4	环境(碳)EKC 曲线的系数估计	243
表 12-5	主要城市工业部门 CO ₂ 排放的影子价格	248
表 14-1	方向距离函数的七种典型方向向量选取技术	268

第1章 系统综合评价与DEA概论

本章是本书的绪论部分，主要界定系统综合评价扩展、集成与应用问题的研究范畴，概述数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)的理论与方法及其与系统综合评价的联系，分析利用DEA进行系统综合评价的特性，论述本书的研究背景和意义，提出涉及的主要研究内容。

1.1 系统综合评价扩展与集成问题概述

系统综合评价是对研究对象价值的综合评估，是对研究对象进行系统分析的重要环节。系统综合评价是系统分析和决策(decision making)活动的结合点，系统分析和综合评价提供的结论是决策者进行决策的基础和依据，系统综合评价是决策的前提。系统综合评价对评价对象，从政治、经济、社会、科学、技术、环境等方面进行综合考察，全面分析、权衡利弊得失，为系统决策提供科学的依据。

用于系统综合评价的评价方法模型类型众多，大致可以将常见的综合评价方法分为以下几类：定性类综合评价方法、效用函数类综合评价方法、多元统计(multivariate statistic)类综合评价方法、模糊数学类综合评价方法、灰色系统类综合评价方法、决策运筹类综合评价方法、智能化综合评价方法等。

以决策运筹类、多元统计类、模糊数学类和灰色系统类综合评价方法为例，比较分析它们的方法特点和应用范围，见表1-1。由表1-1可以看出，可应用于具体综合评价活动的各种方法都有其优缺点和适用条件，并不存在一个普遍适用的方法，一般情况下，针对一个特定评价问题，虽然许多方法都是可行的，但是无论在理论还是实践中，往往很难给出一个普遍接受的标准去判定何种方法是最优的。

在选择合适的评价方法解决特定评价问题时，人们往往采取两种思路：一是根据对方法的熟悉程度和偏好，以及评价问题的特点，选择某一种方法作为主体评价方法，然后针对该主体方法的劣势和不足，借鉴或引入一些其他的评价思想或概念，对该主体方法进行修正完善，进而利用修正后的方法进行评价，获得最终评价结论。二是根据评价问题的特点，以及不同评价方法的优缺点和适用条件，选择多种可以相互取长补短的评价方法进行评价，而后将多种评价方法所得结果进行组合，形成最终的评价结论，该方法也被称为组合评价方法。

表 1-1 各种综合评价方法比较分析

方法类别	方法名称	方法描述	方法特点	主要应用范围
决策运筹类综合评价方法	数据包络分析 (DEA) 方法	决策运筹类综合评价方法是将决策和运筹中方案排序和优化的思想应用于综合评价。DEA 方法通过设计投入、产出指标体系, 计算评价对象的相对有效性并据之排序; MCDM 方法包括 TOPSIS、ELECTRE 和 PROMETHEE 等, 可以对多方案进行排序; AHP 方法通过对层次结构的定性指标体系分别量化, 合成评价对象排序	DEA 方法可以找出评价对象的薄弱环节并给出改进方向; 只反映评价对象的相对水平; 指标有投入、产出之分; 计算量大	生产系统的投入产出效率评价; 各类组织的效益、有效性评价
	多准则决策 (multiple-criteria decision making method, MCDM) 方法		MCDM 方法对评价对象的描述比较精确; 可处理多决策者、多指标、动态评价对象; 刚性的评价	优化系统的评价与决策, 在其他领域也应用广泛
	层次分析 (analytic hierarchy process, AHP) 方法		AHP 方法在特定条件下的评价结论可靠度较高; 评价对象因素较多时两两比较难度大	定性指标系统的评价
多元统计类综合评价方法	数据降维方法	统计方法众多, 相应的评价模型也多样化, 主成分分析、因子分析等降维技术可用于排序评价; 聚类分析、判别分析、典型相关分析可用于分类评价	数学依据充分, 借助统计软件计算方便; 评价具有全面性、客观合理性、可比性; 有时函数的含义不明确, 结论机械; 需要大量统计数据; 没有反映客观发展水平	有足够多评价对象的多指标定量综合评价; 反映评价对象的依赖关系; 对评价对象进行分类
	分类方法		数学依据充分, 借助统计软件计算方便; 可以解决相关程度高的对象的分类评价; 需要大量统计数据	
模糊数学类综合评价方法	模糊综合评价方法	利用对评价对象价值等级的评语等级论域, 构造各指标对各等级的隶属度, 计算并利用模糊合成对评价对象分类或进一步计算排序	方法有数学依据; 数学形式复杂化; 主观性强; 符合决策者思维特点; 隶属度确定、模糊合成算子等方法众多, 相应评价方法可选择性大	定性或定量指标构成的评价指标体系均可采用该评价方法; 不要求有大量样本
灰色系统类综合评价方法	灰色自化权函数评价方法 灰色关联度评价方法	思想类似于模糊数学, 通过划分灰类, 确定自化函数, 计算标定权再合成, 据之排序和分类, 或设计参考序列, 计算关联度序列及相应关联系数, 据之排序和分类	方法有一定的科学依据; 能处理信息不明确、部分明确的对象的评价; 不需要大量数据; 可以解决相关程度高的对象的分类评价; 自化权函数过于简单, 标定权理论不足	定性或定量指标构成的评价指标体系均可采用该评价方法; 关联度评价需要多个样本

资料来源: 根据苏为华等(2007)和陈国宏等(2007)提供的信息, 作者整理。

另外, 综合评价通常是一种群体评价而非个人评价, 只有将个人评价的信息组合成群体评价的综合信息, 才能真正全面合理地反映评价对象的情况, 所以将个体意见合成为群体意见的群组评价方法也应运而生。

本书将对某种主体评价方法进行修正完善, 形成新的修正方法, 用于综合评价的研究(即上述思路一)定义为系统综合评价的扩展问题; 将围绕某一种评价方法, 选取其他可取长补短的评价方法与该方法组合(即上述思路二组合评价方法的

特例)的研究,以及利用某一种评价方法,确定个人评价信息在合成为群体综合评价信息过程中的重要程度(即上述群组评价方法的研究问题之一)的研究,共同定义为系统综合评价的集成问题。

1.2 DEA 概述

DEA 是评价具有多个输入和输出的决策单元 (decision making unit, DMU) 之间相对效率的数学规划方法,是数学、运筹学、管理科学、数理经济学和管理科学交叉研究的一个领域(魏权龄, 1988),它将单输入、单输出的工程效率概念推广到多输入、特别是多输出的同类型 DMU 的有效性评价中。

DEA 的研究对象是一组同质的 DMU,通过对各 DMU 的观察数据来判断其是否有效,本质是判断其是否位于生产可能集的前沿面上。应用 DEA 可以确定生产前沿面的结构,进而确定生产函数。DEA 可被视为一种广义的数理统计方法,但和回归分析不同,回归分析确定生产函数采取最小方差准则(Bardhan et al., 1998),而 DEA 采取前沿产出准则。因此,DEA 也被看作是一种非参数的统计估计方法(魏权龄, 2004)。当 DEA 被用于研究多输入和多输出生产函数理论时,不需要预先估计参数,因而在避免主观因素、简化算法、减少误差等方面有着巨大的优势(段永瑞, 2006)。利用 DEA 进行效率评价也可以获得许多有用的管理信息。

DEA 自 1978 年由 Charnes、Cooper 和 Rhodes 三位学者提出至今的近 40 年来(Charnes et al., 1978),已经有数以千计的关于 DEA 的研究论文发表。国外很多运筹学或经济学的重要刊物都出版了 DEA 研究的特刊;中国学者从事 DEA 研究始于 1986 年,早期的两本关于 DEA 的专著(盛昭瀚等, 1996; 魏权龄, 1988)分别出版于 1996 年和 1988 年,魏权龄、朱乔 (Joe Zhu) 等在 DEA 理论方法、应用模型等方面的许多研究成果均在国际上受到好评。

1.3 系统综合评价与 DEA 的联系

已有文献中有不少关于 DEA 与 MCDM 的相互关系,以及将 DEA 作为一种 MCDM 的研究, Bouyssou (1999) 指出 DEA 在效率评价领域的成功及 DEA 与 MCDM 在形式上的诸多相似点(例如,用可选择方案代替 DMU,用最大化属性代替输出,用最小化属性代替输入等),导致许多研究者提出将 DEA 作为 MCDM 的一种工具。较早的关于 DEA 和 MCDM 相互关系的研究可见 Doyle 和 Green (1993)、Belton 和 Vickers (1993) 及 Stewart (1994) 的论文。

Stewart (1996) 详细分析了 DEA 和 MCDM 各自的特点后指出,DEA 关注多个具有不同投入、产出的 DMU 之间的相互比较,其目标是:①识别出非有效的

DMU 并分析这些非有效 DMU 产生的根源；②估计生产函数(构造生产前沿面)；③各 DMU 以生产前沿面为标杆进行相互比较，进而得到各 DMU 的某种形式的排序。MCDM 关注在多个具有不同属性或目标的可选择方案中做出选择，其目标是：①为决策者在多方案中做出选择提供支持；②可能需要设计产生一个“最优”方案；③可能需要产生某种形式的偏好排序。虽然 DEA 与 MCDM 的目标不同，但从方法层面上考虑，如果将 DEA 的投入、产出视为对 DMU 进行评价的属性或指标，则两者就可以联系在一起。另外，该文也指出 DEA 中的效率概念和 MCDM 中的帕累托(Pareto)最优性是可比的。

Sarkis(2000)也通过将 MCDM 中的效益型指标等价于 DEA 中的输出，将 MCDM 中的成本型指标等价于 DEA 中的输入，将 DEA 与 MCDM 从方法层面上联系到一起。本书采用实际数据对五种 DEA 模型同四种常见的 MCDM 评价技术进行了比较分析，从实证的角度对 DEA 和 MCDM 之间的联系给出了一些较有价值的结论，并指出在一定条件下，将 DEA 用作 MCDM 评价的方法能够得到与现有比较成熟的 MCDM 评价技术相类似的评价结果。

Stewart(1996)、Bouyssou(1999)和 Sarkis(2000)等在对 DEA 和 MCDM 之间的联系进行研究时也指出，常用的 MCDM 方法在进行评价时不可避免地都需要决策者提供关于指标权重和价值判断的主观偏好信息，而一般的 DEA 方法在评价时不需要决策者提供关于指标权重的信息，因此，可能会产生权重偏好信息不同而造成两种方法的评价结果出现较大差异的情况。不过该问题可以通过在 DEA 中加入一定的决策者偏好，即对权重变量进行某种限制而得到较好的解决。上述文献也指出，在 DEA 中加入某种权重限制也是将 DEA 与 MCDM 更合理地联系在一起的必要手段。事实上，DEA 从最大化每个 DMU 自身效率的角度而采取的完全客观的赋权方式，也是 DEA 方法用于综合评价时备受质疑的一点，而在 DEA 中加入一定的决策者主观偏好以对权重进行一些限制，即将主观赋权和客观赋权结合起来，往往能使评价结果更具合理性。

将 DEA 方法用于多属性综合评价时显示出的特性主要表现在以下四个方面。

(1)DEA 方法和其他多属性综合评价方法一样，也可以处理多种类型的属性或指标(效益型、成本型、固定型、区间型等)，并且不受属性值测量单位改变的影响，即 DEA 方法不需要预先对各属性值进行无量纲化处理，避免了其他多属性综合评价方法在无量纲化过程中可能产生的偏差，同时也简化了评价的预处理过程。

(2)DEA 方法评价时不需要事先确定生产函数，即评价数学模型的具体形式，而其他需要根据决策者提供主观偏好以构建数学模型的评价方法往往需要预先设置数学模型的形式，然后再确定其中的参数。

(3)从生产过程投入、产出的角度看,DEA 方法不仅可以评价相对效率,指出效率有待改进的对象,还可以为决策者提供各种改进效率的途径,即使不从投入、产出的角度考虑评价问题,利用 DEA 方法进行综合评价时,也可以给出各评价对象在各属性值上的改进目标,即给各评价对象提供改善经营管理的建议,而其他多属性综合评价方法往往不能直接进行该方面的探讨。

(4)DEA 方法可以同时处理不同 DMU 的多个投入、产出属性,并用一个总体的效率指标来表达各 DMU 的评价结果,即 DEA 方法的评价过程既提供了不同属性的权重,又给出了各属性值的集结模式,实质上同其他多属性综合评价方法一样,利用汇总模式得到总评价价值来衡量评价对象,但从决策者或评价者操作的角度看,利用 DEA 方法进行评价比其他多属性综合评价方法简便。

综上所述,利用 DEA 方法进行系统综合评价具有较高的可行性,采用结合 DEA 方法优势的系统综合评价方法,不仅有助于获得更合理的评价结论、更丰富的评价信息,而且从使用者的角度看,这样的方法也更易操作。当然由于 DEA 方法本身也存在一些不足,结合 DEA 的系统综合评价方法也有许多需要改进和完善的地方,这正是基于 DEA 方法的系统综合评价扩展与集成问题进一步的研究方向。

第 2 章 基于 DEA 的系统综合评价体系

本章先论证 DEA 和多属性综合评价的密切联系,进而分析 DEA 方法的评价特性和用于系统综合评价的优缺点,提出 DEA 模型扩展、集成与应用问题的研究方向,在此基础上构建包括评价要素、流程和检查单在内的基于 DEA 的系统综合评价体系架构模型。本章同时也对 DEA 基础模型进行介绍。

2.1 系统综合评价概述

2.1.1 多属性综合评价和多准则决策

评价(evaluation)是指根据确定的目的来测定对象系统的属性,并将这种属性变为客观定量的价值或者主观效用的行为,即明确价值的过程(顾基发,1990)。系统评价是指根据明确的系统目标、结构和系统属性,用有效的标准测定出系统的性质和状态的活动(郝海和踪家峰,2007)。系统评价以社会经济系统的问题为主要研究对象,借助科学的方法和手段,综合系统的目标、结构、环境、输入和输出、功能、效益等要素,构建指标体系,建立评价模型,经过计算和分析,对系统的经济性、社会性、技术性、可持续性等方面进行综合评价,为决策提供科学依据(叶义成等,2006)。

综合评价(comprehensive evaluation, CE)是指对以多属性体系结构描述的对象系统做出全局性、整体性的评价,即对评价对象的全体,根据所给出的条件,采用一定的方法给每个评价对象赋予一个评价价值,再据此择优或排序(王宗军,1998)。影响评价对象的因素往往是众多且复杂的,如果仅从单一指标对评价对象进行评价不尽合理,因此,往往需要将反映评价对象的多项指标的信息加以汇总,形成一个综合指标,以此从整体反映评价对象的状况,这就是多指标综合评价的概念(杜栋和庞庆华,2006)。因为综合评价是对评价对象所进行的客观、公正、合理的全面评价,所以,若把评价对象视为一个系统,则综合评价可以表述为:在若干个(同类)系统中,如何评判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,这类常见的综合评判问题也被称为多属性(或多指标)综合评价(multiple attribute comprehensive evaluation)问题(郭亚军,2007;陈国宏等,2007)。

多属性综合评价是对多指标进行综合的一系列有效方法的总称,其具备以下三个特点:①评价包含若干指标,多个不同的评价指标分别说明评价对象的多个

不同的方面。②评价最终要给评价对象一个综合性的整体评判, 用一个总体指标来说明评价对象的一般水平。③在多属性综合评价中, 属性或指标间的度量单位往往是不可公度的, 各属性间的权益是相互矛盾、相互竞争的, 在问题的优化解中不可能同时获得各个属性的绝对最优解。多属性综合评价的理论和方法在管理科学与工程领域中占有重要地位, 已成为经济管理、工业工程及决策领域中不可缺少的重要内容, 具有重要的实用价值和广泛的应用前景。

虽然决策思想源远流长, 决策行为贯穿于人类文明产生和发展的始终, 但决策一词的正式出现并为学术界所普遍研究探讨则开始于 20 世纪中叶。1966 年, Howard 将系统分析方法和以效用理论为主体的统计决策理论结合起来进行研究, 在第四届国际运筹学联合会议上发表了 *Decision analysis: applied decision theory* 一文, 首次提出了决策分析 (decision analysis, DA) 一词 (Howard, 1966), 并在后来的研究中进一步阐述了决策分析的概念 (Howard, 1988)。此后, 决策分析一词被广泛接受, 决策分析方面的研究与应用也越来越广泛和深入, 不仅涉及统计学领域, 也涉及经济学、运筹学、心理学等学科领域, 成为一个不断发展充实的交叉学科领域。目前, 决策分析的研究内容已经扩展到包括多准则决策 (multiple criterion decision making, MCDM)、群决策、模糊决策、序贯决策、决策支持系统等诸多方面, 而多准则决策是决策分析中研究最广泛的核心内容 (郭亚军, 2007)。按照 Hwang 和 Masud 及 Hwang 和 Yoon 分别在其 1979 年和 1981 年两部著作里的分类方式, 多准则决策可以分为多目标决策 (multiple objective decision making, MODM) (Hwang and Masud, 1979) 和多属性决策 (multiple attribute decision making, MADM) (Hwang and Yoon, 1981) 两类。

多目标决策问题是在 20 世纪六七十年代发展起来的一门学科。最早提出多目标问题的是经济学家 Pareto, 他提出了帕累托最优概念, 将很多本质上不可比的目标转换为一个单一目标去寻优, 该思想是指导实现由单目标决策向多目标决策转变最关键的一环 (叶义成等, 2006)。1944 年, Von Neumann 和 Morgenstern 从对策论角度提出多人决策、彼此相互矛盾的多目标决策问题, 多目标决策问题的理论和方法从此开始发展起来 (郭亚军, 2007)。1951 年, Koopmans 将有效点的概念引入决策领域, 首次提出了有效向量的概念 (Koopmans, 1951)。同时, 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 Kuhn-Tucker 定理 (Kuhn and Tucker, 1950)。20 世纪 60 年代是多目标决策理论研究取得较大进展的时期, 该期间比较有代表性的研究包括 Charnes 和 Cooper 在目标规划方面的研究 (Charnes and Cooper, 1961), 以及 Roy 提出的 ELECTRE 方法 (Roy, 1968)。1972 年, 第一次专门讨论多目标规划的学术会议在南卡罗来纳大学召开, 被普遍认为多目标决策问题开始发展的标志 (Cochrane and Zeleny, 1973)。

多属性决策问题是多准则决策问题的一种类型。最常用的多准则决策问题的

分类法是按照决策问题中备选方案的数量来划分的，一类是多目标决策问题，这类问题中的决策变量是连续型的，即备选方案数有无限个，这类问题也被称为无限方案多目标决策问题(multiple objective decision making problems with infinite alternative)，求解这类问题的主要工作是向量优化，即数学规划问题。另一类是多属性决策问题，这类问题中的决策变量是离散型的，即备选方案数为有限个，这类问题也被称为有限方案多目标决策问题(multiple objective decision making problems with finite alternative)，求解这类问题的主要工作是对各备选方案进行评价后，按照评价结果的优劣对各备选方案排序并从中择优(岳超源，2003)。

多准则决策问题一般具有以下四个共同点：①决策问题具有多个准则。每个问题的目标或属性多于一个，决策者需要根据具体的问题环境提出或找到相关的目标或属性。②决策问题各准则间不可公度(non-commensurable)，即各目标没有统一的衡量标准或计量单位，因而难以进行比较。③决策问题各准则之间相互矛盾。绝大部分多准则决策问题的各备选方案在各准则之下存在某种矛盾，即如果采用一种方案去改进某一准则下的值，则可能会使另一准则下的值变坏。④解决决策问题的归宿是设计出最好的方案，或在已确定的方案中选出最好的方案。

多属性决策和多目标决策的区别见表 2-1。

表 2-1 多属性决策和多目标决策的区别

特征项	多属性决策	多目标决策
准则定义	属性	目标
目标	隐含的	清晰的
属性	清晰的	隐含的
约束条件	不变动的	变动的
方案	有限数目、离散、预定方案	无限数目、连续、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

资料来源：郭亚军(2007)。

多目标决策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下，通过达到一些量化目标可以接受的水平寻找出决策者最为满意的方案，产生或设计方案是多目标决策的归宿(Hwang and Masud, 1979; 陈珽, 1987; 胡毓达, 1994; 徐玖平和李军, 2005)。而多属性决策通常是方案已预先确定，决策者需要在各方案的不同属性之间进行价值判断并选出最好的方案或对所有方案进行排序(岳超源, 2003; 郭亚军, 2007)。

明确准则、目标和属性等的含义、特征，以及其相互之间的关系，对于研究决策问题至关重要，在众多的决策文献中，多准则、多目标和多属性等经常出现

并交替使用,对这三个概念目前尚未形成通用的定义,只是在使用过程中形成了一般的理解(岳超源,2003;叶义成等,2006):

(1)属性(attribute)。英文 attribute 一词意为 characteristic 和 essential quality,是指系统中备选方案的特征、品质或性能参数等,具有可测度性。

(2)目标(objective)和目的(goal)。英文 objective 一词意为 final aim,是系统中决策者所感觉到的比现状更优的系统客观存在,用以表示决策者的愿望或决策者所希望达到的努力方向。而目标是在系统特定时间、特定空间状态下,决策者所期望的事情。目标是给出的预期的方向,目的是给出的希望达到的水平或具体数值。实际上目标和目的两词的区别比较模糊,许多研究文章中常不加以严格区分。

(3)准则(criterion)。英文 criterion 一词意为 standard of judgment 或 principle by which something is measured for value,是系统中判断标准或度量事物价值的原则及检验事物接受性的规则,可以兼指属性及目标,在决策评价问题中表现为备选方案有效性的度量。

评价或评估大致可以分为两类:一类是对已有系统或评价对象进行的,根据一定的标准去测量和判定评价对象的性能和质量,该类评价一般称为评价或后评价;另一类是针对待建系统或评价对象进行的,通常是对某拟建项目或待开发系统的若干个不同的设计方案进行分析和评价,该类评价一般称为评估或前评价。从决策的过程看,评价是多目标决策过程中的重要步骤或关键环节,评价的结果用作决策的依据,有时评价也可以作为独立的活动的存在,不直接导致决策。

多属性综合评价与多属性决策由于有着不同的特定研究对象,在本质概念上存在一定区别,二者的区别见表 2-2。

表 2-2 多属性综合评价与多属性决策的区别

特征项	多属性综合评价	多属性决策
研究对象	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	排序为主、分类、判别、选择	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	一般不可删减	可以筛选删减

资料来源:郭亚军(2007)。

郭亚军(2007)认为多属性综合评价面向过去已经发生的环境,而多属性决策面向未来尚未发生的环境,这是二者根本的区别,郭亚军(2007)对二者进行了进一步的比较:

(1)从数据观测收集的角度,多属性综合评价面向已发生的环境,是过去的、比较确定的,客观上较少存在信息不充分或不确定的情况,而多属性决策面向未发生的环境,是未来的、不太确定的。

(2)多属性决策较多属性综合评价面对的环境不确定性更高,因此,在解决问题时需要引入更多的外部知识、经验以弥补信息的不充分和不确定。

(3)多属性综合评价的目的是对评价对象进行定位,实际尚没有一个公认的用以判断评价结论与客观实际相符合程度的标准,所以“公平性”原则成为多属性综合评价应当遵循的主要原则。多属性决策的目的是选择或设计出最优或最满意的方案以极大化决策目标,决策目标及目标重要性的设定带有预测性,所以“可预见性”原则成为多属性决策应当遵循的主要原则。

(4)多属性综合评价中的评价对象是客观存在的实体,评价时一般不能删减,需要从整体上区分出各评价对象的优劣,因此,排序成为多属性综合评价最主要的功能,能排序就能择优,但反之则不行,这说明排序较择优需要的信息更多,过程更复杂。多属性决策中为降低决策难度,可以对备选方案进行预先筛选,淘汰明显劣等的方案(劣解),再运用交互式方式或相关方法提出其余不理想的方案(不理想解),以获得最终的满意方案,对于多属性决策,如果能择优便不需要排序。

从目前比较成熟的综合评价理论和方法的研究成果来看(顾基发,1990;胡永宏和贺思辉,2000;秦寿康,2003;徐泽水,2004;徐玖平和吴巍,2006),多属性综合评价与多属性决策在思想本质上也有着天然的联系,二者互通性很强,在以理论方法创新为主体的研究中,多属性评价、多指标评价、多目标评价、多属性决策、多指标决策、多目标决策等概念几乎是混同使用的(郭亚军,2007),选择某个具体的名词展开研究往往依据研究者的偏好或根据学科背景而定。统计学上用“评价”“指标”概念的较多;信息学上用“决策”“属性”概念的较多;经济学上从风险投资角度探讨问题用“决策”“属性”概念的较多,从经济发展角度探讨问题用“评价”“指标”概念的较多;而在管理研究方面,从系统工程角度探讨问题多使用“评价”“指标”概念,从管理决策角度探讨问题多使用“决策”“属性”概念。多属性综合评价与多属性决策在方法上共通性很强,从方法研究的角度看,二者在方法本身上的差别要远小于在应用范围上的差别,在某种意义上甚至可以认为多属性综合评价方法就是多属性决策方法,随着研究的不断发展,二者方法之间的界限可能会更加模糊。

2.1.2 多属性综合评价的要素和过程

一般来说,构成多属性综合评价的要素包括评价目的、评价对象、评价指标、权重系数、综合评价模型、评价结果和评价者(杜栋和庞庆华,2006)。