



装备保障智能优化 决策方法与应用

■ 凌海风 郑宇军 萧毅鸿 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

装备保障智能优化 决策方法与应用

凌海风 郑宇军 萧毅鸿 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

装备保障智能优化决策方法与应用/凌海风, 郑宇军, 萧毅
鸿著. —北京: 国防工业出版社, 2015.5

ISBN 978-7-118-10068-6

I. ①装… II. ①凌… ②郑… ③萧… III. ①武器装备—
后勤保障—决策学 IV. ①E144

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 087222 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

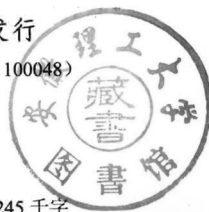
北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 12½ 字数 245 千字

2015 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 69.90 元



(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

前 言

许多装备保障决策问题都具有大规模、多目标、多约束等特点，传统的依赖决策者阅历、知识和偏好的经验型决策已经不能满足装备保障“适时、适地、适量”的需求，必须研究如何对规模庞大、结构复杂、目标多元的装备保障决策问题科学定量决策的问题，运用智能优化算法对复杂装备保障决策问题求解是科学定量决策的重要手段，也是装备保障决策的发展趋势。

本书以解决装备保障决策中的复杂决策问题为牵引，以现代决策理论为基础，以运筹学、最优化理论、智能进化算法和多属性决策方法为工具，系统介绍装备保障智能优化决策相关的理论、方法及其在各类装备保障决策问题中的实际应用。

全书共 8 章，第 1 章～第 3 章介绍装备保障优化决策的理论基础；第 4 章～第 7 章主要介绍装备保障各业务领域涉及的复杂决策问题，以及优化和决策方法在这些问题决策中的实际应用，这 4 个章节反映了作者近年来利用各种优化和决策方法求解装备保障决策问题的研究工作和成果；第 8 章介绍装备保障优化决策支持系统，该系统是作者综合运用各种优化决策方法和计算机技术实现装备保障决策智能化和自动化的一种探索。

各章的具体内容安排如下：

第 1 章绪论，主要介绍决策、最优化问题与最优化方法、多准则决策的基本概念，提出装备保障优化决策的基本概念，阐述装备保障优化决策的决策过程，简要分析装备保障优化决策的典型应用。该章节说明了写作本书的目的、意义，包含了作者对实现复杂装备保障决策问题进行科学、优化、智能决策的理解和认识。

第 2 章智能优化方法，首先简要介绍智能优化算法及其发展，重点介绍禁忌搜索算法、模拟退火法、遗传算法、蚁群优化、粒子群优化、差分进化算法、生物地理学优化等优化算法。针对不同的优化问题，需选用合适的一种或多种优化算法对问题求解。

第 3 章多属性决策，首先简要介绍多属性决策问题及其研究现状，而后简单介绍了几种经典的多属性决策方法，最后提出了一种基于 Vague 集的多阶段模糊多属性决策方法，可实现面向决策者的交互式决策，最后从不分优劣的多个决策方案集中优选决策者的最满意决策方案。

第 4 章装备管理优化决策，以装备运用、装备补充、装备更新及装备调运等问题为例，介绍优化决策方法在装备管理决策中的实际应用。

第 5 章维修保障优化决策，以装备维修保障中常见的战略维修规划、维修任务

分配优化决策、维修作业调度优化等为例，介绍优化决策方法在装备维修保障决策中的实际应用。

第6章器材保障优化决策，以器材筹措规划、器材存储分配优化、器材分仓优化、器材供应优化等为例，介绍优化决策方法在器材保障决策中的实际应用。

第7章战时装备保障优化决策，以装备战时抢修任务指派优化、基地维修作业分工优化、维修器材配送优化等为例，介绍优化决策方法在战时装备保障优化决策中的实际应用。

第8章装备保障优化决策支持系统，为便于管理决策人员和业务人员运用优化决策辅助决策工具进行复杂装备保障决策问题求解，研制了装备保障优化决策支持系统，具体阐述了该系统的设计方法，并结合装备保障决策问题求解实例给出了系统的典型应用。

本书由解放军理工大学凌海风副教授和浙江工业大学副教授郑宇军任主编，南京理工大学讲师萧毅鸿统稿，解放军理工大学张军硕士撰写了第7章，江勋林博士撰写了第8章。

本书内容取材新颖，覆盖面广，系统深入，注重理论联系实际，强化实际问题的分析和应用。本书适用于高等院校军事运筹、装备保障、工程优化等相关专业硕博研究生学习、研究参考，也可供装备管理、优化计算、智能辅助决策、管理工程等领域的管理决策人员及科研工作者学习了解智能优化决策方法技术或设计智能决策支持系统时参考之用。

本书的编写得到了国家自然科学基金“面向组合优化问题的启发式算法推导（编号：61105073）”、“若干软件新技术及其在 PAR 平台中的试验研究（编号：61020106009）”和“多粒度超启发计算方法研究（编号：61473263）”的资助，也得到了总装备部通用装备保障部科研项目“工程装备保障优化决策理论与应用研究（编号：20110302）”的经费资助，总装备部通用装备保障部机关及有关部队提供了部分实际应用案例，在此深表谢意！

由于作者水平有限，不足之处在所难免，敬请专家、读者批评指正。

作者

2015年4月于南京

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 决策与决策方法	1
1.1.1 决策的基本要素	1
1.1.2 决策分类	2
1.1.3 决策步骤	3
1.2 最优化问题与最优化方法	4
1.2.1 最优化问题	4
1.2.2 最优化方法	5
1.3 多准则决策	6
1.3.1 基本概念	6
1.3.2 多目标决策和多目标优化	8
1.4 装备保障优化决策	9
1.4.1 装备保障决策中存在问题分析	9
1.4.2 装备保障优化决策概念	10
1.4.3 装备保障优化决策过程	11
1.4.4 装备保障优化决策典型应用	13
参考文献	14
第 2 章 智能优化算法	17
2.1 禁忌搜索	17
2.1.1 禁忌搜索的基本思想	17
2.1.2 禁忌搜索算法框架与应用	19
2.2 模拟退火	21
2.2.1 模拟退火算法的基本思想	21
2.2.2 模拟退火算法框架与应用	22
2.3 遗传算法	24
2.3.1 遗传算法的基本思想	24
2.3.2 遗传算法框架与应用	26
2.3.3 遗传算法的其他变种	29

2.4	蚁群算法	31
2.4.1	蚁群算法的基本思想	31
2.4.2	蚁群算法应用	31
2.5	粒子群算法	34
2.5.1	粒子群算法的基本思想	34
2.5.2	粒子群算法框架与应用	35
2.5.3	粒子群算法的其他变种	36
2.6	差分进化算法	37
2.6.1	差分进化算法的基本思想	37
2.6.2	差分进化算法框架与应用	38
2.6.3	差分进化算法的其他变种	39
2.7	生物地理学优化算法	40
2.7.1	生物地理学优化算法的基本思想	40
2.7.2	生物地理学优化算法框架与应用	41
2.7.3	生物地理学优化算法的其他变种	41
2.8	混合智能优化算法	42
2.8.1	遗传/禁忌混合优化算法	43
2.8.2	生物地理学优化/差分进化算法	43
	参考文献	44
第3章	多属性决策	46
3.1	多属性决策概述	46
3.2	经典多属性决策方法	48
3.3	基于 Vague 集的模糊多属性决策	51
3.3.1	Vague 集基本概念	51
3.3.2	Vague 集(值)之间的距离度量	53
3.3.3	Vague 集(值)之间的相似度量	54
3.3.4	Vague 值的排序方法	59
3.3.5	基于 Vague 集的多阶段模糊多属性决策方法	61
	参考文献	65
第4章	装备管理优化决策	67
4.1	装备运用优化决策	67
4.1.1	装备动用时间优化分配	67
4.1.2	装备动用优化遗传算法	68
4.1.3	算法实验与评价	69
4.2	装备补充优化决策	70
4.2.1	装备补充优化问题	70

4.2.2	多目标遗传算法	71
4.2.3	多目标粒子群算法	72
4.2.4	算法实验与评价	72
4.3	装备更新优化决策	73
4.3.1	装备更新优化决策问题	73
4.3.2	装备更新多阶段决策模型	75
4.3.3	算法实验与评价	76
4.4	装备调运优化决策	78
4.4.1	装备调运优化问题	78
4.4.2	生态地理学优化算法	79
4.4.3	算法实验与评价	80
	参考文献	81
第 5 章	维修保障优化决策	82
5.1	战略维修规划	82
5.1.1	问题简介	82
5.1.2	数学模型描述	83
5.1.3	两阶段禁忌搜索算法	85
5.1.4	自适应粒子群优化算法	86
5.1.5	算法实验与评价	87
5.2	装备维修任务分配优化决策	90
5.2.1	问题简介	90
5.2.2	数学模型描述	91
5.2.3	约束多目标粒子群算法	92
5.2.4	算法实验与评价	99
5.2.5	基于 Vague 的多属性决策	102
5.3	维修作业调度优化	106
5.3.1	问题简介	106
5.3.2	数学模型描述	106
5.3.3	粒子群优化算法	107
5.3.4	算法实验与评价	108
	参考文献	110
第 6 章	器材保障优化决策	112
6.1	器材筹措规划	112
6.1.1	多品种器材筹措问题	112
6.1.2	分阶段粒子群优化算法	113
6.1.3	分阶段差分进化算法	114
6.1.4	算法实验与评价	114

6.2	器材存储分配优化	115
6.2.1	器材存储分配优化问题	115
6.2.2	多目标遗传算法	118
6.2.3	多目标二元差分进化算法	119
6.2.4	算法实验与评价	120
6.3	器材分仓优化	121
6.3.1	器材分仓优化问题	121
6.3.2	禁忌搜索算法	123
6.3.3	算法实验与评价	123
6.4	器材供应优化	124
6.4.1	器材供应优化问题	124
6.4.2	粒子群优化算法	125
6.4.3	差分进化算法	126
6.4.4	算法实验与评价	126
	参考文献	127
第7章	装备战时保障优化决策	129
7.1	战场抢修任务指派优化	129
7.1.1	问题分析	129
7.1.2	数学建模	130
7.1.3	基于模糊学习子群的多目标粒子群算法	131
7.1.4	算法实验	137
7.2	基地级维修作业分工优化	139
7.2.1	问题分析	140
7.2.2	数学建模	140
7.2.3	遗传算法	141
7.2.4	算法实例	146
7.2.5	拓展研究	148
7.3	维修器材配送优化	150
7.3.1	问题分析	150
7.3.2	数学建模	151
7.3.3	基于模拟退火的混合粒子群算法	153
7.3.4	算法实验	155
7.3.5	拓展研究	157
	参考文献	163
第8章	装备保障优化决策支持系统	165
8.1	决策支持系统概述	165
8.1.1	决策支持系统的基本概念	165

8.1.2	决策支持系统的研究与发展	165
8.2	系统总体设计	167
8.2.1	装备保障优化决策的基本过程	167
8.2.2	系统设计需求分析	168
8.2.3	系统总体设计思路	168
8.2.4	总体功能设计	169
8.3	系统关键设计	171
8.3.1	模型库设计	171
8.3.2	系统接口设计	177
8.3.3	人-机交互设计	179
8.4	系统应用示例	182
	参考文献	186

第1章 绪 论

决策自古有之，且作为人类的一项基本活动广泛存在于政治、经济、军事、技术和日常生活等各个方面。随着科学技术的飞速发展，为满足信息化条件下联合作战及面对自然灾害等多种非战争军事行动任务的要求，装备保障任务日益繁重，装备保障时效性、绩效性要求越来越高。许多装备保障决策问题都具有大规模、多目标、多约束等特点，传统的依赖决策者阅历、知识和偏好的经验型决策已经不能满足装备保障“适时、适地、适量”的需求，运用智能优化算法对复杂装备保障决策问题求解是科学定量决策的重要手段，必须研究如何对规模庞大、结构复杂、目标多元的装备保障决策问题科学定量决策的问题，这也是装备保障决策的必然发展趋势。

本章主要介绍决策、最优化问题、多准则决策的基本概念与方法，在相关理论方法和装备保障决策中存在问题分析研究的基础上，提出装备保障优化决策的概念，并对装备保障优化决策的决策过程及其典型应用进行了分析。

1.1 决策与决策方法

决策是指组织或个人为了实现某种目标，以对事物发展规律及主客观条件的认识为依据，而对未来一定时期内有关活动的方向、内容及方式等寻求并实现某种最佳（满意）的准则和行动方案而进行的活动。

时至今日，决策还没有统一的概念，这是由决策的复杂性决定的。对决策概念的理解，主要有两类：一是把决策看作是一个提出问题、确立目标、设计和选择方案、实施并修正方案的全过程，这是广义的理解；二是认为决策就是从几种备选的行动方案中作出最佳抉择，这是狭义的理解^[1]。

1.1.1 决策的基本要素

决策要素是为了更深刻理论和认识管理者的决策过程而提出的概念。一般来说，决策的基本要素主要包括决策者、决策目标、决策方法、备选方案、决策环境、决策准则和决策结果等方面的内容^[2, 3]。

（1）决策者。决策者既可以是个人，也可以是由多人组成的机构或群体。决策者是决策的关键要素和核心要素，也是最积极、最能动及最不确定的要素，是

决策成败的关键。

决策者的智力结构、思维方法、品德修养、综合素质等都对决策有重要影响，尤其是在当今的环境下，各种为决策者辅助决策提供支持的各种信息处理设备和决策支持系统对决策者的科学决策将发挥越来越重要的作用。

(2) 决策目标。决策目标指决策活动所期望达到的成果和价值。决策目标的明确与否直接影响到决策的优劣，只有明确了目标，才能据此制定各种可行方案，并从中择优选择。

一个决策活动，针对不同阶段及不同的参与人员可能有不同的决策目标。

(3) 决策方法。在搜集到足够的信息后，需要选择合适的方法对信息进行加工处理，这些方法既可以是一些基本的理论，也可以是一些数学模型。应用正确的方法对决策问题进行分析、归纳、整理，可以得到决策备选方案。

(4) 备选方案。备选方案必须是正确的，即可以实现决策目标。备选方案必须多于一个，在决策理论中，把只有一个方案而没有选择余地的情况称为“霍布森选择”。“霍布森选择”的困境是应当避免的，若陷入“霍布森选择”，就无法比较，更难以作出最优的抉择。为对多个决策方案进行优选，需对备选方案进行评价，评价的主要内容：方案目标是否合理、决策所依据的价值准则是否科学、备选方案的经济性如何、备选方案在社会方面是否可行、备选方案是否与能力与资源相适应等。

(5) 决策环境。决策环境是指决策活动及各种备选方案可能面临的自然状态或背景，即不以决策者意志为转移的客观条件，是对环境及环境作用方式信息的描述。决策正确与否、能否顺利实施、它的效果如何，不仅取决于决策本身，还取决于决策所处的环境。

(6) 决策准则。决策准则是指选择方案所依据的原则和对待风险的态度。在现实决策问题中，准则常具有层次结构，包含有目标和属性两类，形成多层次的准则体系。

(7) 决策结果。决策结果是指一项决策实施后产生的效果和影响。在决策方案评价时，要结合决策可能的结果进行评价。

1.1.2 决策分类

由于决策问题、决策目标、决策条件、决策主题等方面存在的差异，从不同的角度分类，决策具有不同的类型^[4-6]。

(1) 按决策的作用可分为战略决策、管理决策和业务决策。

① 战略决策是指直接关系到组织的生存和发展，涉及组织全局的长远性、方向性的决策。战略决策由高层管理人员作出，一般需要长时间才可看出决策结果，其所需解决问题复杂，环境变动较大，并不过分依赖数学模式和技术，定性定量并重，对决策者的洞察力和判断力要求高。

② 管理决策是为保证总体战略目标的实现而解决局部问题的重要决策，是组织内部范围贯彻执行的决策，属于战略决策过程的具体决策，由中层管理人员作出。

③ 业务决策又称执行性决策，是指基层管理人员为解决日常工作和作业任务中的问题所作的决策，涉及范围小，只对局部产生影响。

(2) 按决策的性质可分为程序化决策和非程序化决策。

① 程序化决策即经常重复发生，能按原已规定的程序、处理方法和标准进行的决策。

② 非程序化决策是指管理中首次出现的或偶然出现的非重复性的决策，无先例可循，随机性和偶然性大。

(3) 按决策的问题的可控程度可分为确定性决策、风险型决策和不确定型决策。

① 确定性决策即决策所需的各种情报资料已完全掌握的条件下作出的决策。

② 风险型决策是指决策方案未来的自然状态不能预先肯定，可能有几种状态，每种自然状态发生的概率可以作出客观估计，但不管哪种方案都有风险的决策。

③ 不确定型决策是指资料无法加以具体测定，而客观形势又必须要求作出决定的决策。

(4) 按决策主体可分为个人决策和群体决策。

① 个人决策是指在最后选定决策方案是由最高领导最终作出决定的一种决策形式，个人决策具有决策迅速，责任明确，可充分发挥领导个人主观能动性的特点。

② 群体决策是指由两个或以上的决策群体所作出的决策，群体决策耗时、复杂，但可集思广益，弥补个人不足。

(5) 按决策目标数量可分为单目标决策和多目标决策。

若决策目标为单一目标，则为单目标决策；反之，若决策目标多于一个，则为多目标决策。

1.1.3 决策步骤

决策制定的步骤反映了决策过程的客观规律，一般来说，一个完整的决策过程和步骤大致包括以下几个方面^[6]。

(1) 识别决策问题。决策的第一步是需要管理者将需要决策的问题明确地提出来，识别问题是决策的前提，是确定决策目标的基础。

(2) 确定决策目标。决策目标是指在一定外部环境和内部环境条件下，在调查研究的基础上所预测达到的结果。决策目标是根据所要解决的问题来确定的，因此，必须把握住所要解决问题的要害。只有明确了决策目标，才能避免决策的失误。

(3) 拟定备选方案。决策目标确定以后，就应拟定达到目标的各种备选方案。拟定备选方案，第一步是分析和研究目标实现的外部因素和内部条件，积极因素和消极因素，以及决策事物未来的运动趋势和发展状况；第二步是在此基础上，将外部环境各不利因素和有利因素、内部业务活动的有利条件和不利条件等，同决策事物未来趋势和发展状况的各种估计进行排列组合，拟定出实现目标的方案；第三步是将这些方案同目标要求进行粗略的分析对比，权衡利弊，从中选择出若干个利多弊少的可行方案，供进一步评估和抉择。

(4) 评价备选方案。备选方案拟定以后，随之便是根据确定的评价准则对备选方案进行评价，评价标准是看哪一个方案最有利于达到决策目标。评价的方法通常有 3 种：经验判断法、数学分析法和试验法。

(5) 选择方案。选择方案就是对各种备选方案进行总体权衡后，由决策者挑选一个最好的方案。

1.2 最优化问题与最优化方法

1.2.1 最优化问题

在工程技术、科学研究和经济管理等诸多领域会经常碰到这样的问题：在一定的条件下，如何获取最佳的效益或结果？从数学角度，最优化就是寻求一个数学模型的最优解。因此，用数学模型描述，最优化问题就是求一个多元函数在某个给定集合上的极值，几乎所有类型的最优化问题都可以用式 (1.1) 的数学模型来描述^[7]，即

$$\begin{aligned} \min \quad & f(\mathbf{x}) \\ \text{s.t.} \quad & \mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n), \mathbf{x} \in K \end{aligned} \quad (1.1)$$

式中： K 为某个给定的集合（称为可行集或可行域）； $\mathbf{x}$ 为决策变量； $f(\mathbf{x})$ 为定义在集合 K 上的实值函数。

从决策变量取值特点、目标函数数量及变量取值特点、有无约束、目标函数和约束函数特点等不同角度分析，最优化问题分类如下：

(1) 根据决策变量 $\mathbf{x}$ 取值的特点，优化问题分为函数优化和组合优化 2 种，前者决策变量 $\mathbf{x}$ 的取值是连续的，后者决策变量 $\mathbf{x}$ 的取值是离散的。

(2) 根据影响目标函数的变量的个数，只有一个变量需要被优化的问题被称为单变量问题，若多于一个变量需要被考虑，则是多变量问题。

(3) 根据有无约束，优化问题分为无约束优化和约束优化 2 种，一般的约束优化问题的一般数学模型为

$$\begin{aligned} \min \quad & f(\mathbf{x}) \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} \mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n), \mathbf{x} \in K \\ g_i(\mathbf{x}) \leq c_i, i = 1, 2, \dots, m \end{cases} \end{aligned} \quad (1.2)$$

(4) 根据目标函数的数量,可分为单目标优化和多目标优化,只有一个目标函数的称单目标优化,反之称多目标优化,多目标优化的一般数学模型为

$$\begin{aligned} \min \quad & F(\mathbf{x}) = (f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_k(\mathbf{x})) \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} \mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n), \mathbf{x} \in K \\ g_i(\mathbf{x}) \leq c_i, i = 1, 2, \dots, m \end{cases} \end{aligned} \tag{1.3}$$

如果式(1.3)中目标函数的个数 $k > 5$,则该多目标优化问题一般被看作高维多目标优化问题。

(5) 根据目标函数和约束函数是否线性,可分为线性优化问题和非线性优化问题,其中目标函数和约束函数中的所有函数都是线性的优化问题称为线性优化问题,否则称为非线性优化问题。

最优化问题还有很多其他分类方法:如针对以时间划分阶段的动态过程的最优化问题,称为动态规划问题;在许多线性规划问题中,决策变量具有不可分割的性质,如人数、设备台数、车船数量等,若一个规划(通常是线性规划)中要求所有决策变量都取整数,这就是整数规划问题;更特殊的,在实践中也有一些决策问题要求决策者判断“是与否”、“有与无”等逻辑判断问题,这些问题中决策变量的取值只能是0或1,这就是所谓的0-1型整数规划问题。

1.2.2 最优化方法

最优化方法主要用于解决最优计划、最优分配、最优决策、最佳设计等最优化问题,广泛应用于工业、农业、商业、交通运输、军事、通信、政府机关及管理等部门领域^[8]。

最优化方法是搜索方法,目标是找出一个优化问题的解(一个或一组),使得一个给定的量得到最优化(有可能是在一组约束条件下)^[9-11]。一个最优化方法搜索最优解的过程是迭代地改变现有候选解的位置以得到新的更好的解。

最优化方法的分类很多,主要有以下几种分类方法。

(1) 根据求得解的类型,最优化方法可分为局部搜索算法和全局搜索算法2类。局部搜索算法只利用当前解附近的搜索空间的局部信息来产生新解,由于只利用局部信息,局部搜索算法找出的是局部最优值,而全局搜索算法利用搜索空间的更多信息来产生一个全局最优值。

(2) 根据候选解转移的方法,最优化方法可分为确定算法和随机算法2类。随机方法利用随机因素使得一个候选解转移到新的解,因此新的点不能被预测,而确定收益法中没有使用随机因素,新的候选解是确定可预测的。

(3) 根据最优化问题的分类,最优化方法通常又可分为无约束方法、约束方法、多目标优化方法、多解(小生境)方法和动态方法等。其中无约束方法用于优化无约束问题;约束方法用于在约束搜索空间中求解;多目标优化方法用于对多目标优化问题的求解;多解(小生境)方法具有可找到多个解的能力;动态方

法具有能够找到并跟踪变化的最优值的能力。

更通常的，优化方法主要分为经典优化算法和启发式优化算法 2 大类。

经典优化算法通常指运筹学中的线性规划、动态规划、整数规划等算法。经典算法一般难以解决大规模的优化问题，而且不同方法往往只能解决特定的优化问题，如求解线性最优化问题的算法中应用最广、最有效的是单纯形法和内点法，求解整数规划问题的方法主要有穷举法、分支定界法和割平面法，求解动态规划问题主要有逆推解法和顺推解法等^[12]。

启发式优化算法一般是受大自然的优化过程的启发而提出来的，启发式优化算法又叫现代优化算法或智能优化算法。由于启发式优化方法只需要考虑输入与输出之间的关系，而不需要深入研究造成这种关系的原因，因此启发式优化方法便于处理因果关系不是很明确或很复杂的优化问题^[13]。典型的启发式方法有模拟大自然中进化现象以及模拟地球上生物进化规律的遗传算法（Genetic Algorithm）^[14]，模拟金属物体退火现象的模拟退火算法（Simulated Annerling, SA）^[15-17]，禁忌搜索（Tabu Search）^[18-19]，模拟蚂蚁觅食原理的蚁群优化算法（Ant Colony Optimization, ACO）^[20-23]，模拟鸟群飞行觅食行为的粒子群优化算法（Particle Swarm Optimization, PSO）^[24-30]，模拟生物种群在栖息地的分布、迁移和灭绝规律的生物地理学优化算法（Biogeography-Based Optimization, BBO）^[31-33]等。

智能优化算法具有很强的通用性，对目标函数的解析性质没有任何要求，因此以进化方法为代表的智能优化方法对复杂优化问题的求解有传统方法无可比拟的优势，已经成为解决复杂优化问题的主要方法。

1.3 多准则决策

随着人类认识自然和改造自然的不断深入，系统规模越来越庞大，决策目标更加多样化，决策过程中面临大量的不确定性因素，使得决策活动更加复杂、困难。于是，多准则决策作为现代决策科学的重要组成部分，在工程、经济、管理和军事等诸多领域显示出极大的优越性和广泛的应用前景，现已被用于投资决策、项目评价、方案选优、工厂选址、经济效益综合评价等方面^[34-40]。

1.3.1 基本概念

多准则决策（Multiple Criteria Decision Making, MCDM）是指在多个不能互相替代的准则下进行的决策。

任何一个多准则决策问题，都包括决策单元、目标集（指标体系）、属性集、决策形势和决策规则 5 个要素。

（1）决策单元。决策单元则是由决策人、分析人员和作为信息处理器的人机系统构成。决策人是某个人或由一些个人组成的群体，他们直接或间接地提供最

终的价值判断，据此可以确定各备选方案的优劣。

(2) 目标集（指标体系）。目标是决策人所感觉到的比现状更佳的客观存在，用来表示决策人的愿望或决策人所希望达到的、努力的方向，在多目标决策中，目标是求极值（极大或者极小）的对象，即需要优化的函数式。

(3) 属性集。属性是备选方案的特征、品质或性能参数；准则是判断的标准或度量事物价值的原则及检验事物合意性的规则，它兼指属性和目标。

(4) 决策形势。决策形势兼指决策问题的结构和决策环境。决策形势的确定与决策问题的性质和所有相关人员（包括决策人和决策分析人员）的经验、创造力、判断力有关。各种决策方法都是为特定的决策形势所设计的，因此，要为一定的多准则决策问题寻找适当的求解方法，首先要找到与决策问题最适配的决策形势。

(5) 决策规则。对方案排序或分档定级的依据称为决策规则。决策规则可以分为两类：一类是最优化规则，它能把方案集中，把所有备选方案排成完全序；另一类是满意规则，它为了分析简化、节省时间、降低费用而牺牲最优性，把方案集划分成容易处理的几个有序子集。

按照不同的分类规则，多准则决策可以分成多种形式。最常用的分类法是按照决策问题中备选方案的数量来分，多准则决策可以划分为多目标决策和多属性决策。多属性决策问题，也称为有限方案多目标决策问题，这类问题求解的核心是对各备选方案进行评价后安排各方案的优劣次序，再从中择优；多目标决策问题，也称为无限方案多目标决策问题，求解这类问题的关键是向量优化，即数学规划问题。

多准则决策问题的形式千变万化，其中多属性决策考虑如何在事先已经确定好的有限数目的备选方案中进行选择，而多目标决策问题中的方案却没有事先给定，决策者要考虑如何在有限资源的条件下，找到一个最佳的解决方案。在实际应用中，该分类方法能很好地适应解决问题的两个方面：选择和评价问题使用多属性决策方法，设计问题则使用多目标决策方法，两者的不同特征如表 1-1 所列^[41]。

表 1-1 多属性决策和多目标决策特征比较

项目	多属性决策	多目标决策
准则形式	属性	目标
准则特征	隐含的目标，与方案不直接联系	明确的目标，与决策变量直接联系
约束条件	不变动，合并到属性中	变动，以显式给出
方案特征	有限数目，离散，预定方案	无限数目，连续，产生方案
适应范围	选择/评价问题	设计问题