



国际电气工程先进技术译丛

 Springer

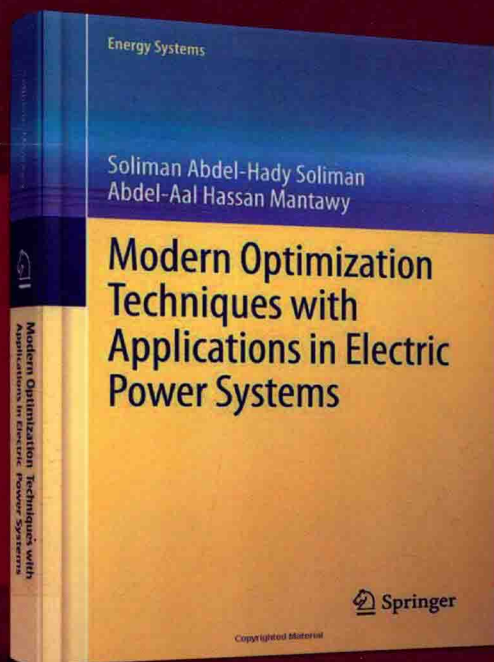
现代优化算法在电力系统中的应用

Modern Optimization Techniques with Applications
in Electric Power Systems

苏莱曼·阿黛尔-哈迪·苏莱曼 (Soliman Abdel-Hady Soliman)
[埃及] 阿黛尔-阿尔·哈桑·曼塔维 (Abdel-Aal Hassan Mantawy)

著

刘宏达 马忠丽 王兴月 等译



- ◎ 详述人工智能在电力系统工程领域的应用
- ◎ 提供大量人工智能优化算法在电力系统运行和控制方面的工程实例
- ◎ 为不断探索并逐步实现性能更佳的电力运行控制智能化、调度决策智能化和电力测量智能化提供有力的知识支撑



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国际电气工程先进技术译丛

现代优化算法在电力系统中的应用

[埃及] 苏莱曼·阿黛尔-哈迪·苏莱曼 (Soliman Abdel-Hady Soliman) 著
阿黛尔-阿尔·哈桑·曼塔维 (Abdel-Aal Hassan Mantawy)

刘宏达 马忠丽 王兴月 等译

机械工业出版社

本书包含电力系统中的多种优化问题,其中包括电力系统经济运行(短期调度、长期调度)、机组组合、电力系统最优潮流以及电能质量智能测量等问题。在算法上,介绍了泛函分析、模糊系统、模拟退火、禁忌搜索、遗传算法、粒子群算法等多种优化方法。对各种电力优化问题,通常会给出两种以上的优化技术解决方案。针对不同的优化技术解决方案,均详实地给出了问题的数学模型、优化技术或算法的针对性运用以及具体的求解流程,同时还给出了优化结果。通过阅读本书,可以使初学者在短时间内了解多种电力问题的数学模型、优化求解思路和具体的实现技法;通过多种优化技术的对比,可以帮助有基础的读者实现电力优化技术的提升以及应用领域的引领。

本书可作为电气工程学科高年级本科生和研究生以及从事电力运行、控制优化和电力智能测量的电气工程师的教材或参考书。因为本书探讨的发电装置同时涉及了火电、核电和水电,所以对从事运筹学和水资源研究的科研人员也有一定的帮助。

Translation from English language edition:

Modern Optimization Techniques with Applications in Electric Power Systems

By Soliman Abdel - Hady Soliman and Abdel - Aal Hassan Mantawy

Copyright © 2012 Springer New York

Springer New York is a part of Springer Science + Business Media

All Rights Reserved

本书中文简体字版由 Springer 授权机械工业出版社独家出版。

版权所有,侵权必究。

北京市版权局著作权合同登记 图字:01-2014-1092 号。

图书在版编目(CIP)数据

现代优化算法在电力系统中的应用/(埃及)苏莱曼·阿黛尔-哈迪·苏莱曼等著;刘宏达等译. —北京:机械工业出版社,2018.8

(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文:Modern Optimization Techniques with Applications in Electric Power Systems

ISBN 978-7-111-60423-5

I. ①现… II. ①苏…②刘… III. ①最优化算法-应用-电力系统-研究 IV. ①TM71

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 156142 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:江婧婧 责任编辑:朱林

责任校对:刘志文 封面设计:马精明

责任印制:常天培

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2018 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·24 印张·1 插页·464 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-60423-5

定价:139.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

译者序

近些年，智能优化技术和人工智能理论不仅在电力系统领域风生水起，伴随着深度学习等新技术的突破，在现代文明和现代科技方面也已经成为引领风向的风头。

可再生能源发电占比在电网中逐步扩大化的趋势已经明朗，能源革命的实现高度依赖未来高比例分布式可再生能源的开发与利用。但相比于传统发电系统，未来电网中的波动性、随机性和不确定性更强且更复杂，这将驱使研究人员进一步去探索并逐步实现性能更佳的电力运行控制智能化、调度决策智能化和电力测量智能化。

为了实现这些目标，需要不断培育从事智能控制、智能决策和智能测量的技术人员。国内外对智能技术在电力系统中的相关研究虽然较多，但相对其他电力专业书籍来说，有关智能技术在电力系统应用方面的相关图书还较少。国内的出版社、高校教师和电力研究工作者在近些年已经意识到此问题，并已经陆续在近几年出版了一些专著，这在一定程度上间接地推动了国内电力研究生和电力科研工作者对相关技术的掌握和吸收。但国内外的相关图书，或者过于偏重智能技术的介绍，或仅限于电力系统某一子领域的知识范畴。目前，还缺少一些能够涵盖电力系统大部分领域的有关智能算法应用实例内容的专业类书籍。

本书的英文版是由 Springer 出版社出版的，它由两位埃及学者编写而成。书中对智能技术的基本理论和实施流程及智能技术在电力运行、电力调度和机组组合、电力最优潮流、电力信号智能算法测量等多方面内容进行了介绍。优化对象也比较丰富，包括考虑多约束的火电系统、水-火-核联合供电电力系统、梯级水电系统等。在涉及的相关理论、算法、公式模型和优化问题求解方面给出了详细的描述，对国内电力相关专业研究生和电力科研工作者掌握和吸收相关技术将起到很好的作用。同时，本书有助于为今后进一步研究可再生能源融入电力系统后的各种优化问题打下坚实基础。

本书共 7 章，全书由哈尔滨工程大学海洋能研究中心和电气工程研究所刘宏达组织翻译。其中，原书前言、第 2~6 章全部和第 7 章部分内容由刘宏达翻译；第 1 章和第 7 章部分内容由哈尔滨工程大学自动化所马忠丽翻译。王禹森、王兴月、张国堃、张文一先后参与了首轮翻译或部分文字校对工作。

IV 现代优化算法在电力系统中的应用

在翻译过程中，译者在忠实原著的基础上，尽力修改了翻译过程中发现的原著问题，同时做了极少但又是极其必要的补充和解释，以便读者阅读。限于译者的个人能力和外语水平，书中难免有不妥之处，期待与广大读者交流，并恳请批评指正。

译者

2018 年 6 月于哈尔滨工程大学

原 书 前 言

近年来,人工智能(Artificial Intelligence, AI)在电力系统工程领域的应用已成热门,这使得基于人工智能这一先进领域的各种智能算法的应用日益广泛。智能算法不同于以往那些数学优化方法,它对于在电力系统中常见的非线性连续和离散优化问题有着很强的适应能力。目前,在人工智能领域中,比较为人熟知的算法有进化规划算法、遗传算法、模拟退火算法、禁忌搜索算法和神经网络算法。

在过去的30年中,已经发表了很多关于各种智能算法在电力系统中应用的学术论文。但是,出版的相关书籍还不是很多,而且大多都仅限于电力系统某一子领域的知识范畴。目前急需一本能够涵盖电力系统大部分领域的有关智能算法应用实例内容的专业书籍。

本书给出了很多人工智能优化算法在电力系统运行和控制方面的应用实例。

本书通过大量示例和工程实例,介绍了诸如泛函分析、模拟退火、禁忌搜索、遗传算法和模糊系统等优化方法,以及它们在电力系统最优运行与控制方面的应用。

第2章简要介绍了一些优化算法的数学背景,其中包括最小范数定理以及如何应用最小范数定理求解最优化问题;还简要介绍了可以作为最优化问题求解工具的模糊系统、模拟退火算法、禁忌搜索算法、遗传算法和粒子群算法。

第3章主要介绍了电力系统经济运行问题。以水-火-核联合供电电力系统的短期调度问题为例,采用最小范数定理对其蕴含的最优化问题进行了求解。同时,本章还阐述了如何利用模糊系统对全火力发电系统的模糊经济调度问题进行建模,并介绍了具体的求解方法与求解过程。

第4章介绍了电力系统的经济调度问题(Economic Dispatch Problem, EDP)和机组组合问题(Unit Commitment Problem, UCP)。详细介绍了使用人工智能算法求解UCP所需要的3个步骤:对问题进行数学描述或系统建模、产生试验解的规则以及有效的EDP的求解算法。在这一章中,还详细介绍了采用不同算法求解EDP和UCP的具体实施过程。

第5章的“最优潮流”研究的是电力系统优化潮流问题。首先介绍了传统潮流和最优潮流(Optimal Power Flow, OPF)的区别,然后给出了OPF问题的多种优化目标的数学表述。在这一章中,还重点介绍了如何用粒子群算法来求解电力系统最优潮流问题。

VI 现代优化算法在电力系统中的应用

第6章“水力发电系统的长期调度”，将多水库级联发电系统（梯级水电系统）的长期调度问题作为待优化问题。本章分别介绍了采用最小范数定理、模拟退火算法和禁忌搜索算法求解该问题的方法和求解过程。

最后，在第7章“电能质量分析”中，介绍了如何用模拟退火算法测量电压信号中的电压闪变量、频率量和谐波量；还介绍了如何利用模拟退火算法和禁忌搜索算法，在估测保护系统中恒频和变频两种情况下，测量电压信号的频率和相角。并分析和讨论了两种非恒频情况（频率随时间呈线性变化，频率随时间呈指数变化）对智能测量方法的影响。此外，还探讨了关键参数对智能测量算法性能的影响。

本书对在进行电力系统运行控制和保护方面的学习研究工作的电气工程学科的高年级本科、研究生以及电气工程师，将是十分有用的。同时，本书对从事运筹学和水资源研究的科研人员也将是十分有帮助的。

Soliman Abdel – Hady Soliman
Abdel – Aal Hassan Mantawy

致 谢

在此，我要感谢埃及科技大学（MUST）的校长 Khalied Altokhy 在我写作期间给予我的支持和帮助，更要感谢埃及科技大学工程学院院长 Hamdy Ashour 教授对我的帮助。此外，我还要感谢科威特技术研究院的助理教授 Jamal Madough 博士允许我将我们共同协作完成的一部分材料用在了本书的第2章和第3章。最后，我要感谢我最好的朋友——科威特技术研究院的助理教授 Ahmad Al - Kandari 博士，是他在我写作的每一个阶段都全力地支持我。

同时，如果没有我妻子和孩子的理解信任，也不会有这本书的出版。在此，我要向我的妻子 Laila Mousa 女士表示由衷的谢意，谢谢她对我的理解和支持，同时也谢谢我的孩子们，Rasha、Shady、Samia、Hadeer 和 Ahmad，还有我的孙子 Ali，他们是我这一生中最美丽的花朵。Ali，我非常地爱你，愿上帝保佑你健康成长，在你今后的人生道路上，要一直保持那份最美的微笑，阿门。

S. A. Soliman

我要真挚地感谢我的博士导师，Youssef L. Abdel - Magid 教授和 Shokri Selim 教授，感谢他们的指引、点播和我们的友谊，还要感谢他们允许我使用我们共同协作研究的成果材料。

同时也还要由衷地感谢艾因·夏姆斯大学（Ain Shams）和法赫德国王石油矿产大学对我工作的支持，前者是我的母校，后者是我继续深造的地方。

我尤其要感谢我的朋友和这本书的合著者 S. A. Soliman 教授，是他不断鼓励我并支持我的写作工作。

最后，也是最重要的，我要感谢我的妻子 Mervat 和我的孩子 Sherouk、Omar 和 Kareem，感谢他们对我的爱，以及给予我的耐心和理解。

A. H. Mantawy

本书的作者感谢 Abiramasundari Mahalingam 女士所做出的努力，她多次审阅了本书，我们非常感激她。我们要对她说，你做得真的很棒，对这本书每一部分你都坦诚以待。

作者

目 录

译者序

原书前言

致谢

第 1 章 概述	1
1.1 引言	1
1.2 优化技术	2
1.2.1 传统优化技术（经典算法）	3
1.2.2 进化技术	6
1.3 本书概要	17
参考文献	19
第 2 章 数学优化方法	20
2.1 引言	20
2.2 二次型	20
2.3 一些静态优化方法	22
2.3.1 无约束优化	23
2.3.2 带约束优化问题	26
2.4 庞特里亚金最大值定理	30
2.5 泛函解析优化技术	34
2.5.1 范数	34
2.5.2 内积（点积）	35
2.5.3 函数的转换	36
2.5.4 最小范数定理	38
2.6 模拟退火算法	39
2.6.1 模拟退火的物理概念	40
2.6.2 组合优化问题	40
2.6.3 一般模拟退火算法	41
2.6.4 冷却进度表	41
2.6.5 多项式时间冷却进度表	41
2.6.6 Kirk 冷却进度表	43
2.7 禁忌搜索算法	44

2.7.1 禁忌表约束	44
2.7.2 特赦准则	45
2.7.3 终止准则	45
2.7.4 常规禁忌搜索算法	46
2.8 遗传算法	47
2.8.1 编码	48
2.8.2 适应度函数	48
2.8.3 遗传算子	49
2.8.4 约束条件的处理(修复机制)	49
2.8.5 普通遗传算法	49
2.9 模糊系统	50
2.9.1 基本术语和定义	54
2.9.2 模糊集支集	54
2.9.3 正规性	55
2.9.4 凹凸性	55
2.9.5 模糊集合的基本运算	56
2.10 粒子群优化(PSO)算法	59
2.11 PSO 算法的基本原理	61
2.11.1 一般 PSO 算法	62
参考文献	64
第3章 电力系统经济运行	66
3.1 引言	66
3.2 水-火-核联合供电电力系统	67
3.2.1 数学建模	67
3.2.2 优化步骤	69
3.2.3 基于最小范数定理的最优解获取	72
3.2.4 一种可行的多层算法	74
3.2.5 结论与总结	76
3.3 全火力发电系统	76
3.3.1 常规全火力发电系统的问题描述	76
3.3.2 模糊全火力发电系统问题的数学模型	77
3.3.3 求解算法	84
3.3.4 算例	84
3.3.5 总结	99
3.4 考虑模糊负荷和模糊成本函数参数的全火力发电系统	102
3.4.1 问题的数学描述	102
3.4.2 三角形模糊数的模糊区间运算	104

3.4.3	采用三角形 L-R 表示法的模糊数的模糊运算	105
3.4.4	算例	106
3.5	计及损耗的模糊经济调度问题	140
3.5.1	问题的数学描述	140
3.5.2	求解算法	143
3.5.3	仿真实例	144
3.5.4	总结	157
附录		159
附录 A.1		159
附录 A.2		159
参考文献		160
第 4 章	经济调度问题与机组组合问题：建模与求解算法	162
4.1	引言	162
4.2	该问题的求解思路	162
4.3	制定试验解的产生规则	163
4.4	电力系统经济调度问题	163
4.5	目标函数	163
4.5.1	生产成本	163
4.5.2	机组起动成本	164
4.6	约束条件	164
4.6.1	系统约束	165
4.6.2	机组约束	165
4.7	试验解的产生规则	166
4.8	产生初始解	169
4.9	经济调度问题的求解算法	169
4.9.1	基于线性互补形式的经济调度问题	170
4.9.2	经济调度问题的 Tableau 规模	171
4.10	模拟退火算法用于求解 UCP	172
4.10.1	与文献中其他 SAA 的比较	172
4.10.2	数值算例	173
4.11	总结与结论	187
4.12	用禁忌搜索 (TS) 算法求解 UCP	188
4.12.1	禁忌表 (TL) 的约束	188
4.12.2	特赦水平的标准	189
4.12.3	终止准则	189
4.12.4	常规禁忌搜索算法	189
4.12.5	TS 算法在 UCP 中的应用	190

4. 12. 6	UCP 的禁忌表类型	192
4. 12. 7	UCP 的禁忌表方法	192
4. 12. 8	不同禁忌表建立方法之间的比较	193
4. 12. 9	用于 UCP 的禁忌表的大小	194
4. 12. 10	STSA 的数值结果	194
4. 13	高级禁忌搜索 (ATS) 算法	200
4. 13. 1	中期记忆	200
4. 13. 2	长期记忆	200
4. 13. 3	策略波动机制	200
4. 13. 4	ATS 算法用于求解 UCP	201
4. 13. 5	中期记忆的实现	202
4. 13. 6	长期记忆的实现	202
4. 13. 7	策略波动的实现	202
4. 13. 8	ATSA 的数值结果	202
4. 14	局部总结	207
4. 15	遗传算法用于求解 UCP	207
4. 15. 1	解的编码	208
4. 15. 2	适应度函数	208
4. 15. 3	遗传算子	209
4. 15. 4	约束处理 (修复机制)	209
4. 15. 5	普通遗传算法	209
4. 15. 6	用遗传算法求解 UCP	210
4. 15. 7	问题编码	210
4. 15. 8	构建适应度函数	212
4. 15. 9	染色体的选择过程	212
4. 15. 10	交叉	212
4. 15. 11	变异	213
4. 15. 12	自适应 GA 算子	214
4. 15. 13	算例	214
4. 15. 14	总结与延伸	219
4. 16	用于求解 UCP 的混合算法	220
4. 17	模拟退火与禁忌搜索的混合 (ST)	220
4. 17. 1	ST 算法中的禁忌搜索部分	221
4. 17. 2	ST 算法中的模拟退火部分	222
4. 18	ST 算法的数值计算结果	222
4. 19	遗传算法与禁忌搜索的混合	226
4. 19. 1	遗传禁忌 (GT) 算法的提出	226
4. 19. 2	GT 算法中的遗传算法部分	227

4.19.3	GT 算法中的禁忌搜索部分	228
4.20	GT 算法的数值计算结果	229
4.21	GA、SA 与 TS 算法的混合 (GST 算法)	234
4.21.1	GST 算法的遗传算法部分的设计与实现	234
4.21.2	GST 算法的禁忌搜索部分的设计与实现	234
4.21.3	GST 算法的模拟退火部分的设计与实现	234
4.22	GST 算法的数值计算结果	236
4.23	总结与延伸	241
4.24	各算法在 UCP 方面的比较	242
4.24.1	算例 1 的比较结果	242
4.24.2	算例 2 的比较结果	243
4.24.3	算例 3 的比较结果	244
4.24.4	小结	246
	参考文献	246
第 5 章 最优潮流		252
5.1	引言	252
5.2	电力潮流方程	258
5.2.1	负荷节点	258
5.2.2	电压控制节点	258
5.2.3	松弛节点	259
5.3	一般 OPF 问题的数学描述	261
5.3.1	目标函数	261
5.3.2	约束条件	263
5.3.3	OPF 中的优化算法	265
5.4	优化算法用于单目标最优潮流	267
5.4.1	粒子群优化 (PSO) 算法用于求解 OPF 问题	267
5.4.2	IEEE-30 节点电力系统	268
5.4.3	有功损耗最小	272
5.4.4	最小发电燃料成本	276
5.4.5	最大化无功储备裕度	280
5.4.6	最小化无功功率损耗	284
5.4.7	最小化排放指数	288
5.4.8	最大化安全裕度	292
5.5	不同单目标函数的比较	296
5.6	多目标 OPF 算法	297
5.7	多目标分析的基本概念	297
5.8	多目标 OPF 算法	299

5.8.1 多目标 OPF 建模	299
5.8.2 求解多目标 OPF 问题的一般步骤	299
5.9 生成非支配解集	301
5.9.1 所用方法	301
5.9.2 加权法	301
5.10 层次聚类技术	302
5.11 本章小结	307
附录	308
参考文献	311
第 6 章 水力发电系统的长期调度	316
6.1 引言	316
6.2 问题的数学模型	317
6.3 问题的求解: 最小范数法	318
6.3.1 系统建模	319
6.3.2 公式化	319
6.3.3 最优解求取	321
6.3.4 实际应用算例	323
6.3.5 小结	324
6.3.6 非线性模型	324
6.4 模拟退火算法	331
6.4.1 试验解的产生(邻近解)	332
6.4.2 SAA 用于 LTHSP 的详细步骤	333
6.4.3 实际应用算例	335
6.4.4 小结	336
6.5 禁忌搜索算法	337
6.5.1 问题描述	337
6.5.2 禁忌搜索方法	337
6.5.3 TSA 的具体步骤	339
6.5.4 停止判据	340
6.5.5 数值实例	340
6.5.6 总结与延伸	342
参考文献	342
第 7 章 电能质量分析	345
7.1 引言	345
7.2 模拟退火算法的应用	348
7.2.1 模拟退火算法的接受测试	348

7.2.2 步长向量的调整 348

7.2.3 冷却进度表 349

7.3 闪变电压的模拟 349

7.3.1 问题的数学描述 349

7.3.2 求解电压闪变算法测试 350

7.3.3 采样数的影响 350

7.3.4 采样频率的影响 351

7.4 谐波问题的数学描述 351

7.5 算法在求解谐波方面的测试 352

7.5.1 信号频率已知 352

7.5.2 信号频率未知 354

7.6 结论 356

7.7 稳态频率估计 357

7.7.1 恒频模型和问题的建模 359

7.7.2 计算机模拟数据 359

7.7.3 受谐波污染的信号 360

7.7.4 实际量测数据 361

7.8 结论 362

7.8.1 变频模型 363

7.8.2 仿真算例 364

7.8.3 呈指数衰减的频率 366

7.9 结论 368

参考文献 368

第 1 章 概 述

本章主要目标

- 对通常所说的优化技术给出一个宽泛的表述；
- 明确优化技术适用于哪些问题；
- 使读者能对一个标准优化问题进行数学建模；
- 明确对一个实际优化问题如何科学地进行问题简化；
- 充分理解优化理论，学会选择适当的优化策略，并能对优化结果进行评估。

1.1 引言^[1-11]

对一个优化问题来说，它的最终目的在于：对已经给定的数量关系，寻找一组参数组合（自变量）来优化该数量关系。其中，参数的取值范围通常会受到一些限制。这个待优化（最大化或最小化）的数量关系被称作目标函数；在寻优过程中，那些可以变化的参数被称为控制变量或决策变量；那些针对参数允许值而施加的限制被称为约束条件。

对任何优化问题，其建模过程都可以归纳为以下几个步骤：

- 1) 选择设计变量（控制变量和状态变量）；
- 2) 建立约束条件；
- 3) 建立目标函数；
- 4) 设置变量的可变范围；
- 5) 选择一种优化算法；
- 6) 求解问题，并获得最优解。

决策变量（也称为控制变量）是一组能对输出造成显著影响的参数。选择一组好的决策变量是一项很具有挑战性的任务。因为，对于现实中的某些待优化问题，我们很难确定其中的哪些变量会影响哪些特性。有时决策变量也可能去选取包括逻辑判断的控制流程（Logic Determining Control Flow）。一般来说，决策变量的取值范围通常由人工设置的约束条件来限制。

优化问题可能被描述为单目标函数的优化问题，也可能被描述为多目标函数的优化问题。多目标优化问题（MultiObjective Optimization Problem, MOOP，也

被称为多指标优化、多性能或向量优化问题）可以被定义为：“寻找一组满足约束条件的决策变量向量，且这组决策变量能够优化一组以这些变量为元素的目标函数的向量函数”。这组函数，通常是通过数学描述方法来表征的一组互相冲突的性能指标。所以，所谓“优化”，其实就是寻找一组能够使得决策者对所有子目标函数值都满意的解。

在过去的 20 年里，多目标优化在工程领域引发了巨大的热潮。优化技术在工程领域的实际问题解决中，尤其是在一些工程设计、科学实验以及商业决策问题中，发挥了非常重要的作用。现实中，大多数的实际待优化问题都蕴含着不止一个目标。因此，可将这类含有多个互相冲突的利益关系问题转化为多目标优化问题来求解。

1.2 优化技术

对于一个特定的待优化问题，通常会有很多优化算法可供工程师进行选择；并且，对每种优化算法来说，大多还会存在不同的求解方法。因此，辨识某一问题具有哪些特性，以便能够找出与之对应的求解方法是一项很重要的工作。比如，针对不同类别的待优化问题，会存在着多种不同的最优化方法，这些方法在计算要求、收敛性等方面都存在着差异。通常，优化问题可依据目标函数、约束条件和控制变量的数学特性来进行分类。这其中，最重要的是依据目标函数性质的分类。表 1.1 总结了按目标函数性质来分类时的常见情况。

表 1.1 按目标函数性质分类的分类情况表

特性	性质	分 类
控制变量的个数	一个	单变量目标函数
	多个	多变量目标函数
控制变量的类型	连续实数	连续型目标函数
	整数	整数或离散型目标函数
问题相关函数	控制变量由连续的实数和整数构成	混合整数目标函数
	控制变量的线性函数	线性目标函数
	控制变量的二次函数	二次目标函数
	控制变量的非线性函数	非线性目标函数
问题表述	受约束条件的限制	带约束优化问题
	不受约束条件的限制	无约束优化问题

根据解决方案的类型，可以将优化算法分为两类：

1. 最优准则法

这类方法属于解析法。一旦确定了最优解的条件，则可从以下两个步骤中选