

BUSINESS

A D M I N I S T R A T I O N

● ● ● 普通高校工商管理系列规划教材 ● ● ●



MODELS AND METHODS

OF

MANAGEMENT SCIENCE

张浩◎编著

管理科学研究 模型与方法



清华大学出版社



● ● ● 普通高校工商管理系列规划教材 ● ● ●

管理科学研究 模型与方法

张浩◎编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书介绍了管理科学研究领域中常用的一些定量模型与方法,如决策方法、预测方法、仿真方法、博弈论、系统动力学、结构方程模型、灰色系统理论等,紧密结合管理科学研究和实践前沿,颇有特色、有价值,可读性强。

本书适合管理类、经济类等相关专业的本科生、研究生等使用,可作为教材和参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

管理科学研究模型与方法/张浩编著. —北京:清华大学出版社,2016

(普通高校工商管理系列规划教材)

ISBN 978-7-302-43458-0

I. ①管… II. ①张… III. ①管理学—研究方法 IV. ①C93-3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 078256 号

责任编辑:左玉冰

封面设计:汉风唐韵

责任校对:宋玉莲

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:18.25 字 数:413 千字

版 次:2016 年 6 月第 1 版 印 次:2016 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:39.00 元

产品编号:068177-01

普通高校工商管理系列规划教材

编 委 会

主 任：王国顺

副主任：孙永波 杨浩雄

委 员：（按姓氏笔画排序）

王 真	王 晶	王 勇	邓春平	刘文纲
李业昆	何 辉	张 永	张景云	张运来
张 浩	曹正进	蒯鹏州		



欢迎您阅读这本书！管理科学(management science)，这个词语我们耳熟能详，而且它在管理中所起的作用越来越重要。有了管理科学，我们的决策依据会更加翔实、清晰和准确。随着管理科学知识的普及，尤其是近些年计算机技术、大数据分析、仿真技术的兴起，使得管理科学在现实中的应用越来越便捷，应用思路越来越清晰，应用效果越来越明显。

那么，管理科学的本质到底是什么呢？弗雷德里克·S. 希利尔教授在《数据、模型与决策》一书中对管理科学进行了明确的定义：管理科学是对与定量因素(quantitative factors)有关的管理问题通过应用科学的方法(scientific approach)进行辅助管理决策制定(aid managerial decision making)的一门学科(discipline)。

由此定义可以了解到，它首先是一门学科，是一门管理类的学科，是建立在科学基础上的用于解决管理决策问题的知识和技术的集合体。定义中还提到了“科学的方法”，那到底什么是科学的方法呢？哪些方法算是科学的呢？首先，我们必须要了解“科学”这个名词。

中国的《辞海》中这样定义“科学”：科学是关于自然、社会和思维的知识体系。法国的《百科全书》认为：科学通过分类以寻求事物之中的条理，通过揭示支配事物的规律，以求说明事物。日本的《世界大百科辞典》认为：所谓科学，是具备客观性和真理性的既具体又普遍的有体系的学术上的认识，即科学是学问达到最高程度的部类。而爱因斯坦认为：科学是寻求我们感觉经验之间规律性关系的有条理的思想。当然，针对“科学”的定义有很多种，但我们发现这些定义有一个共性，即科学是用来揭示规律性的。科学代表着知识，代表着具体，代表着更加可靠。而“科学的方法”，就是那些研究知识的更加具体和可靠的方法。而管理科学涉及的方法往往是以数学、计算机、社会科学、系统科学等为基础的，经过长期验证，被公认为是可靠的方法。

当然，有很多朋友会认为管理是一门艺术。的确，管理不单单是科学，它也是艺术。管理的科学，与管理的艺术不是对立的，它们就像是一枚硬币的两个面，只有同时具备了这两个面，才是一枚完整的硬币，才能够做好管理这项充满了智慧的工作。

管理科学的定义中还提到了一个关键词：定量。管理科学的研究对象就是“与定量

因素有关的管理问题”，而解决这一类问题的方法往往是定量分析方法。管理中的定量分析方法主要用来研究管理现象的数量特征、数量关系与数量变化，并从中发掘规律。定量分析方法往往和模型结合在一起使用，这里的模型指的是对管理现象或过程的简化描述。模型和方法的使用，为我们更加深入地刻画管理中的各种规律提供了很多工具。

管理科学的传统名称叫作运筹学(operations research)，这是被很多人所熟悉的。而管理科学的萌芽，要追溯到 18 世纪中叶之后，在工业革命的进程中，对效率和效益的追求促使管理者们越来越注重数学与自然科学的应用。直到 20 世纪初，泰勒等人创立科学管理理论，并出版了《科学管理原理》，这通常被认为是管理科学形成理论体系的起点。随着市场经济的快速发展，许多管理者从不同的角度提出了对管理学的见解，形成了诸多学派。其中，部分学者以系统的观点，运用数学、统计学等科学的计量方法来研究和解决管理问题，使管理问题的研究在以往定性分析的基础上，又增加了定量分析的管理学派。1939 年英国曼彻斯特大学教授布莱克特成立了运筹学小组，代表人物有埃尔伍德·斯潘赛·伯法、霍勒斯卡·文森等，这被认为是管理科学学派正式成立的标志。此后，管理科学逐步成为一门独立的学科，对这个领域的研究也越来越活跃。

管理科学在我国的发展，最初要追溯到由华罗庚、钱学森等倡导的运筹学、系统工程等的研究，他们提出了一系列理论和方法，如优选法、统筹法、开放的复杂巨系统等，解决了许多实际中的管理问题。20 世纪 70 年代之后，管理科学研究着重和决策理论相结合，涉及区域规划、项目管理、预测和评价管理等领域，重点研究各种管理决策理论和方法。进入 21 世纪之后，管理信息系统、数据挖掘、计算机仿真、人工智能等新型技术与方法的运用更是加快了管理科学研究的发展，并同许多社会科学学科和自然科学学科进一步相互交叉和融合。

在教学和科研工作中，我发现很多学生愿意学习一些定量的模型和方法，但他们对这些模型和方法缺少一个系统的了解，于是我萌生了编写一本教材的想法。管理科学领域的模型和方法博大精深，我选择了一些在经管类研究中常用的定量模型和方法进行编撰。本书内容丰富，通俗易懂，例题具有代表性，计算过程详细，可作为高校经济管理类研究生、本科生的教材，也可以作为管理科学爱好者的学习材料，还能够为管理工作提供参考。本书中不包括系统的数据分析方法，因为我们计划今后将单独编写有关商业数据分析方面的教材。本书也没有重复运筹学教材里的知识内容，重点介绍了运筹学教材所没有涉及的定量模型与方法。将本书和运筹学、商业数据分析等结合在一起使用，对于培养高端的管理人才是很有益处的。

本书共分为 12 章，第 1 章系统科学的简介，介绍系统科学的形成和发展，系统的定义、特性与分类。第 2 章决策方法，介绍确定型、风险型、不确定型以及多属性决策方法。第 3 章预测方法，主要介绍时间序列预测法、回归分析预测法、趋势外推预测法等。第 4 章评价方法，介绍 DEA、层次分析法、模糊综合评价方法、熵值法、集对分析法。第 5 章优化算法，介绍粒子群算法、遗传算法。第 6 章系统可靠性，介绍系统可靠性的计算方法以及失效分析。第 7 章博弈论，重点介绍非合作博弈、合作博弈和演化博弈。第 8 章管理仿真，介绍系统动力学和聚焦模型。第 9 章复杂性科学，介绍耗散结构、协同学、混沌理论、突变理论、超循环理论、分形理论、自组织临界性。第 10 章结构方程模型。第 11 章马尔

可夫链。第12章灰色系统理论。

在本书的编写和出版过程中得到了很多学者的指导和帮助,在此表示感谢!感谢我的硕士导师张铁男教授,是他带我进入了复杂性科学的世界。感谢我的博士生导师沈继红教授,是他让我对系统科学和管理科学有了全面的了解。向两位导师致敬!感谢我国著名的物流学家、我校管理科学与工程学科负责人何明珂教授,他的《物流系统论》使我受益匪浅。感谢杨浩雄教授,经常和我探讨定量分析方法,给了我很多启发。感谢毛新述教授,正是他促成了本书的出版。感谢王国顺教授、欧阳爱平教授、孙永波教授、庞毅教授、张永教授、王真教授、李业昆教授、刘文纲教授等学者,给我很多指导和帮助。感谢我的同事们,崔丽、王晶、陈锴、侯汉坡、吕俊杰、张京敏、杜新建、周永圣、孙红霞、汪林生、郭大新、李文东、张霖霖、王勇、张运来、郭崇义、邓春平,等等。是你们给了我大力的支持和帮助,并提出了很多宝贵且有益的建议。感谢帮助过我的研究生们,许慎思、刘阔、朱丽羽、王明坤等,在文献整理、数值仿真以及校稿等方面付出了辛勤的劳动。同时,感谢清华大学出版社的左玉冰编辑和相关工作人员,为本书的出版付出了大量的劳动。

在本书的编写过程中参考了大量的相关文献,包括国内外专家、学者的著作、教材和论文,并将这些文献尽可能地列在书后的参考文献中,但难免会有遗漏,在此特向被遗漏的作者表示歉意,并向所有的作者表示最诚挚的感谢。

由于编者学识和时间有限,书中可能存在纰漏之处,敬请各位学者和专家指正,今后我会继续充实并完善本书的内容,并制作可用于教学的PPT。我的邮箱是 zhbtbu@126.com,衷心希望能够和对管理科学感兴趣的朋友共同研讨。

编者

2016年5月



第 1 章 系统科学	1
1.1 系统科学的形成和发展	2
1.1.1 系统科学的发展历程.....	2
1.1.2 主要系统科学学派.....	6
1.1.3 系统科学在中国的发展.....	7
1.2 系统的定义与特性.....	10
1.2.1 系统的定义	10
1.2.2 系统的特性	11
1.3 系统的分类.....	11
本章小结	13
重要概念和术语	13
思考与练习题	13
案例分析	14
本章推荐阅读资料	14
第 2 章 决策方法	15
2.1 决策概述.....	16
2.1.1 决策的定义	16
2.1.2 决策的分类	17
2.1.3 决策的过程	18
2.1.4 决策系统的基本要素	18
2.2 确定型决策.....	19
2.3 风险型决策.....	20
2.3.1 期望值法	20
2.3.2 决策树法	21

2.3.3 贝叶斯决策	22
2.4 不确定型决策	24
2.4.1 乐观法	24
2.4.2 华德法	25
2.4.3 赫威斯法	25
2.4.4 拉普拉斯法	26
2.4.5 萨凡奇法	26
2.5 多属性决策方法	27
2.5.1 TOPSIS 法	27
2.5.2 VIKOR 法	29
本章小结	31
重要概念和术语	31
思考与练习题	32
案例分析	32
本章推荐阅读资料	33
第3章 预测方法	34
3.1 预测概述	35
3.1.1 预测的含义	35
3.1.2 预测的分类	35
3.1.3 预测的步骤	35
3.2 定性预测方法	36
3.3 定量预测方法	38
3.3.1 时间序列预测法	38
3.3.2 回归分析预测法	43
3.3.3 趋势外推预测法	52
本章小结	54
重要概念和术语	55
思考与练习题	55
本章推荐阅读资料	56
第4章 评价方法	57
4.1 评价方法概述	58
4.1.1 评价的定义	58
4.1.2 评价方法的分类	59
4.1.3 评价流程	60
4.2 DEA	61
4.2.1 DEA 的定义	61

4.2.2	DEA 分析模型	61
4.2.3	算例	65
4.3	层次分析法	67
4.3.1	层次分析法概述	67
4.3.2	层次分析法的原理	67
4.3.3	层次分析法的应用实例	71
4.3.4	Yaaph 软件简介	75
4.4	模糊综合评价方法	77
4.4.1	模糊综合评价方法的界定	77
4.4.2	模糊映射与模糊变换	77
4.4.3	模糊综合评价方法的步骤	79
4.4.4	模糊综合评价方法的算例	80
4.5	熵值法	82
4.5.1	基本原理	82
4.5.2	应用案例	84
4.6	集对分析法	87
4.6.1	基本原理	87
4.6.2	应用案例	89
附录	DEA 模型的 MATLAB 程序	94
	本章小结	95
	重要概念和术语	95
	思考与练习题	95
	案例分析	98
	本章推荐阅读资料	99
第 5 章	优化算法	100
5.1	优化算法简介	101
5.1.1	优化算法的基本概念	101
5.1.2	智能优化算法的发展	102
5.2	粒子群优化算法	103
5.2.1	算法原理	103
5.2.2	算法模型	103
5.2.3	算法流程	104
5.2.4	参数分析与设置	105
5.2.5	算例分析	105
5.2.6	算法的优缺点	108
5.2.7	粒子群优化算法的改进	109
5.3	遗传算法	110

5.3.1 遗传算法概述	110
5.3.2 遗传算法的基本操作	111
5.3.3 遗传算法在 MATLAB 中的实现	113
本章小结	114
重要概念和术语	114
思考与练习题	115
案例分析	115
本章推荐阅读资料	116
第 6 章 系统可靠性	117
6.1 可靠性概述	118
6.1.1 基本概念	118
6.1.2 可靠性研究的原理及内容	119
6.1.3 可靠性研究的意义	120
6.2 可靠性特征量	120
6.3 系统可靠度及计算	121
6.4 系统可靠性失效分析	124
本章小结	125
重要概念和术语	126
思考与练习题	126
案例分析	126
本章推荐阅读资料	127
第 7 章 博弈论	128
7.1 博弈论概述	130
7.1.1 博弈论的相关概念	130
7.1.2 博弈论的发展	131
7.1.3 博弈论与诺贝尔经济学奖	132
7.2 非合作博弈	135
7.2.1 完全信息博弈	135
7.2.2 不完全信息博弈	139
7.3 合作博弈	145
7.3.1 基本概念	145
7.3.2 合作博弈的分配	145
7.3.3 匹配博弈	149
7.4 演化博弈	151
7.4.1 概述	151
7.4.2 演化稳定策略(ESS)	152

7.4.3 复制动态	152
本章小结	154
重要概念和术语	154
思考与练习题	155
案例分析	155
本章推荐阅读资料	155
第 8 章 管理仿真	156
8.1 仿真概述	157
8.1.1 仿真的概念	157
8.1.2 仿真的分类	157
8.1.3 仿真的作用	158
8.1.4 现代建模与仿真技术	158
8.1.5 管理仿真常用的技术	158
8.2 系统动力学	160
8.2.1 系统动力学概述	160
8.2.2 系统动力学发展历程与展望	161
8.2.3 系统动力学应用步骤	161
8.2.4 系统动力学基本概念	162
8.2.5 应用案例	163
8.3 战略认知聚焦模型及仿真	178
8.3.1 战略认知聚焦	178
8.3.2 战略认知聚焦模型	180
8.3.3 仿真结果及分析	182
本章小结	187
重要概念和术语	187
思考与练习题	188
案例分析	190
本章推荐阅读资料	191
第 9 章 复杂性科学	192
9.1 概述	193
9.1.1 复杂性科学的演进	193
9.1.2 复杂系统的特征	195
9.2 耗散结构	196
9.3 协同学	198
9.4 混沌理论	201
9.4.1 混沌动力学的发展	201

9.4.2	混沌的定义	204
9.4.3	混沌的特性	205
9.4.4	Lyapunov 指数	206
9.4.5	Logistic 映射与 Tent 映射	207
9.5	突变理论	211
9.5.1	理论简介	211
9.5.2	基本内容	211
9.5.3	突变理论的数学描述	212
9.5.4	突变级数法	215
9.5.5	理论意义	217
9.6	超循环理论	218
9.6.1	理论简介	218
9.6.2	理论原理	218
9.6.3	层次分类	219
9.6.4	重要性质	220
9.6.5	理论意义	220
9.7	分形理论	221
9.7.1	理论简介	221
9.7.2	分形的定义	222
9.7.3	分形维数测量方法	223
9.7.4	分形理论的应用	224
9.8	自组织临界性	225
	附录	226
	本章小结	227
	重要概念和术语	227
	思考与练习题	227
	案例分析	228
	本章推荐阅读资料	228
第 10 章	结构方程模型	229
10.1	结构方程模型概述	230
10.2	结构方程模型的构成	231
10.3	结构方程模型的应用案例	234
	本章小结	240
	重要概念和术语	240
	思考与练习题	240
	本章推荐阅读资料	241

第 11 章 马尔可夫链	242
11.1 马尔可夫过程	243
11.2 马尔可夫链	244
11.2.1 定义	244
11.2.2 相关概念	245
11.3 马尔可夫链模型的分类	248
11.3.1 连续时间马尔可夫链	248
11.3.2 隐马尔可夫模型	249
11.4 马尔可夫链模型的应用	250
本章小结	255
重要概念和术语	255
思考与练习题	256
本章推荐阅读资料	256
第 12 章 灰色系统理论	257
12.1 灰色系统基本概念	258
12.2 灰色关联分析	258
12.2.1 关联系数的定义	259
12.2.2 灰色关联分析算例	259
12.3 经典 GM(1,1)模型	260
12.4 灰色预测模型	263
12.4.1 灰色预测定义	263
12.4.2 灰色预测算例	263
附录	264
本章小结	266
重要概念和术语	267
思考与练习题	267
本章推荐阅读资料	267
参考文献	268



第1章

系统科学



学习目标

1. 了解系统科学的形成和发展。
2. 掌握系统的定义与特性。
3. 理解系统的分类。



引例

中国航天与系统科学

在创建我国导弹和火箭研究体系之初,钱学森就意识到:现代复杂工程系统的开发与传统工程研制有很大不同,必须建立具有宏观谋划指导与系统设计控制、管理职能的总体研究机构。据此,他提出了建立导弹研究院。钱学森立足国情,在航天科研实践中运用了工程控制论的方法,使我国航天科研管理正规化、科学化。在钱学森思想的指导下,航天科技创造性地运用了系统工程理论和方法,从建立总设计师和行政指挥两条指挥线,到全面实施矩阵管理、项目管理、“零缺陷”管理,形成了科学严密的组织管理体系,丰富和完善了整体优化、系统协调、环境适应、创新发展、风险管理、优化保证等系统工程的核心理念。成千上万的研究人员,数量众多的部门和单位,难以计数的设备,数额庞大的经费,要求严格、种类繁多的物质、器材,在系统工程方法的指导下,协调一致地组织起来,有序地投入这一工程的研究、设计、试制、试验和生产过程中去,建立起了一个高效有序的导弹火箭工程开发组织管理体系。

虽然中国的系统工程还属于工程系统工程的范畴,但也包含了人、团队、管理和文化等方面的因素。中国特色系统工程思想典型的代表就是中国航天的“两总系统”。“两总系统”是根据中国当时的体制建立的,由总师保障技术和业务,总指挥负责行政指挥和后勤保障。人、团队和文化等方面的因素在这个系统中得到了很好的规划和管理。

2011年,中国航天工程咨询中心正式更名为中国航天系统科学与工程研究所(以下简称系统院)。系统院是中国航天发展主要的咨询研究和信息技术研发机构,肩负着集团总部智囊团和发展战略参谋部、信息化建设总部、信息系统技术与运行保障部、共性软件开发部和软件产业推进部的重要使命。此外,系统院具有开发大型应用软件系统的技术储备和工程经验,在各类信息管理系统开发方面具备较强的能力,在企业门户系统、综合办公管理、信息管理应用系统、ERP等方面也积累了丰富经验。

面对日益复杂的挑战,系统科学的工程方法是航天工程项目成功的重要保证,系统复杂性理论为航天项目组织管理问题的解决提供了新视角和新思路。同时,在航天工程的实践中通过对组织机构复杂性管理的认识,逐步总结出并形成以整体创造力为目标的社会组织系统工程方法,进而推动系统科学和管理科学的发展。

资料来源:

[1] 胡世祥,张庆伟.中国载人航天工程——成功实践系统工程的典范[J].中国航天,2004(10):3-6.

[2] 郭宝柱.系统科学的理论与方法在航天项目管理中的应用[J].宇航学报,2008,29(1):29-33.

1.1 系统科学的形成和发展

系统的思想很早就已经开始出现,如亚里士多德提出的“整体大于部分之和”,就初步具备了整体论的系统观。此后,西方的德谟克利特和柏拉图的观点,东方的《黄帝内经》和《道德经》等,也有一些内容体现了“系统”的思想。而直到20世纪20年代,系统科学才逐步形成理论体系。1924—1928年,美籍奥地利理论生物学家贝塔朗菲(Ludwig von Bertalanffy, 1901—1972)(图1.1)多次发表文章,表达了系统论的思想。他提出生物学中有机体的概念,强调必须把有机体当作一个整体或系统来研究,才能发现不同层次上的组织原理。他在1932年发表的《理论生物学》和1934年发表的《现代发展理论》中提出用数学模型来研究生物学的方法和机体系统论的概念,将协调、有序、目的性等概念用于研究有机体,形成研究生命体的三个基本观点,即系统观点、动态观点和层次观点。他的这些观点形成了一般系统论的理论前身。此后,随着系统科学理论不断丰富,越来越多的学者和专家逐步加入这一领域的研究,如鲍尔丁、萨缪尔森、霍尔等;越来越多的学科知识逐步融入系统科学之中,如数学、物理、逻辑学、控制论、信息论、社会学等。同时,系统科学的应用领域也越来越广泛,如生物学、管理学、经济学、医学、工程学,等等。



图 1.1 贝塔朗菲

1.1.1 系统科学的发展历程

追溯系统科学的发展过程,可以分为以下三个阶段。

1. 20世纪40年代至50年代,系统科学的形成和主张

早期的系统科学,包括了一般系统论、信息论和控制论,即俗称的“老三论”,这是系统

科学形成初期的核心知识体系。

(1) 一般系统论。一般系统理论是由美籍奥地利理论生物学家贝塔朗菲创立的。1937年,贝塔朗菲在芝加哥大学的一次哲学讨论会上提出了一般系统理论的概念。他对文艺复兴时期以来形成的机械论和还原论的观点和方法提出质疑,指出分析方法的局限性,提出了要用系统方法解决问题。一般系统论提出了许多基本的概念,如系统整体性、关联性、有序性、方向性、目的性等。他还提出,一般系统论从生物和人的角度出发,这类问题的解决不能沿用无机界的机械论的分析方法;并且提出不能把各个部分简单拼加成整体,必须考虑子系统与整个系统的相互关系,才能认识各部分的行为和整体。20世纪50年代,贝塔朗菲与经济学家鲍尔丁、生物学家杰拉德、生物数学家拉波波特,共同发起成立了“一般系统研究会”,吸引了大批的科学家,在西方学术界产生了很大影响,这四人也被认为是“系统科学运动之父”。

(2) 信息论。随着一般系统理论的发展,信息理论应运而生。1948年后,美国数学家克劳德·艾尔伍德·香农(Claude Elwood Shannon, 1916年4月30日—2001年2月26日)(图1.2),从研究通信过程的角度,相继发表了《通讯的数学理论》《在噪声中的通信》,研究了通信过程中的信息定义、度量、转换、传输、接收、处理、储存和控制等问题,运用数学统计方法,从量的方面描述信息的传输和读取问题,提出了信息量理论、编码理论等,建立信息熵的数学公式。这两篇文章是现代信息论的奠基之作。同时香农进一步扩展了信息论的范围,使其能处理语用信息、语义信息和非概率信息等广义信息。

(3) 控制论。1948年,美国数学家诺伯特·维纳(Norbert Wiener, 1894—1964)(图1.3)将生理学、生物学、行为科学等学科中的有关控制问题的研究成果与机器控制原理的伺服系统理论相结合,陆续发表了《控制论》《平稳时间序列的外推、内插和平滑化》等文章,创立了控制论。他从系统科学的角度,概括出具有一般意义的概念、原理、方法和模型。控制论被认为是综合性、基础性的学科,不同于一般系统论,它只着眼于信息方面,只研究系统的行为方式。控制论的发展与复杂性研究紧密结合,逐渐被应用于工程控制、神经控制、经济控制、军事控制、生物控制、人口控制、生态控制和社会控制等众多领域,以处理其中的复杂系统控制问题。

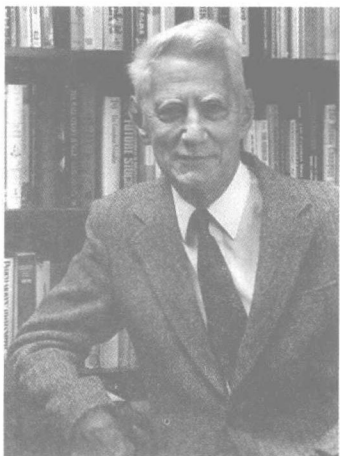


图 1.2 克劳德·艾尔伍德·香农



图 1.3 诺伯特·维纳