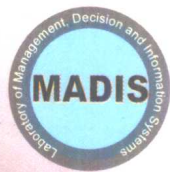


管理、决策与信息系统丛书



投资组合优化与 无套利分析

● 李仲飞 汪寿阳 著

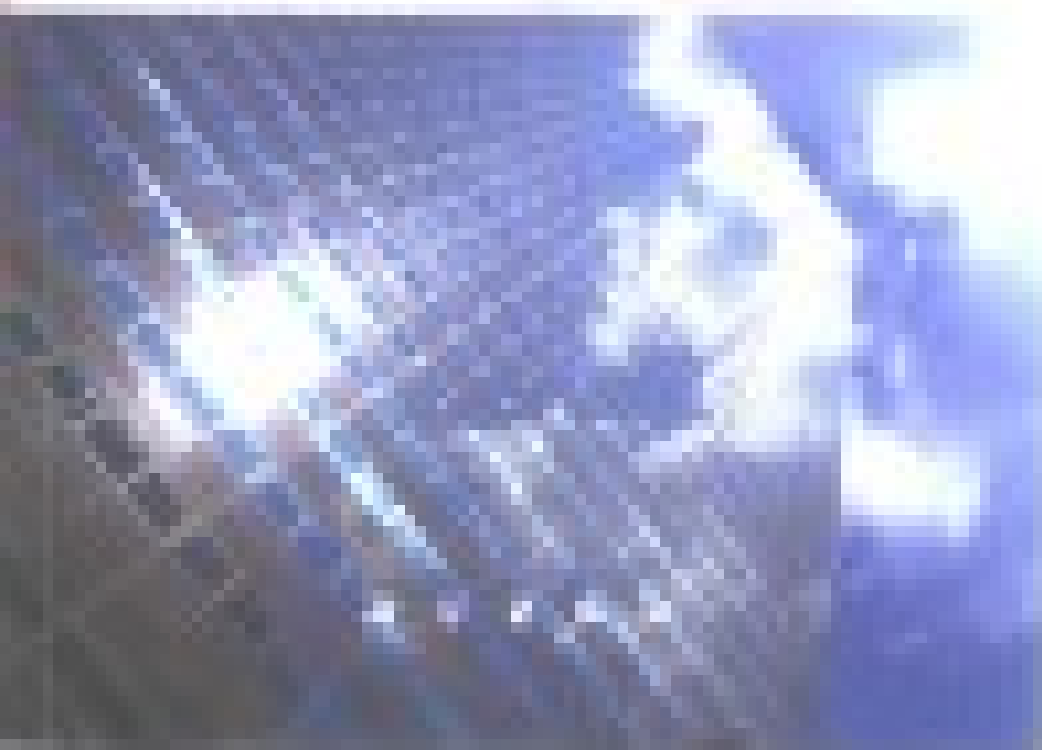
科学出版社

中国金融理论前沿



投资组合优化与 无套利分析

王宇光 王宇光 著



管理、决策与信息系统丛书

投资组合优化与 无套利分析

李仲飞 汪寿阳 著

科学出版社

2001

F114/13

内 容 简 介

本书是作者近年来在投资决策分析领域的部分研究工作的总结,反映了国内投资组合优化与无套利分析研究方向的某些重要研究进展。本书应用凸分析、非光滑优化、动态规划、线性规划、非线性规划等数理工具,对投资组合选择理论和无套利分析方法展开了深入的研究。本书有两个主要特色:一是将投资组合理论的基本方法——均值方差方法和现代金融学的基本方法——无套利分析方法相结合;二是对更接近于实际的问题进行建模并设计有效的模型求解方法或给出模型解的解析表达式。

本书可供从事金融数学、金融工程和金融管理研究的人员及实际从事投资决策分析和实务的专业人员参考,也可作为相关专业的教师、高年级学生或研究生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

投资组合优化与无套利分析/李仲飞,汪寿阳著.-北京:科学出版社,2001.5

(管理、决策与信息系统丛书)

ISBN 7-03-008891-3

I. 投… II. ①李…②汪… III. ①投资-组合规划②投资-风险分析 IV. F830.59

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 72257 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

源海印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001 年 5 月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

2001 年 5 月第一次印刷 印张: 6 1/8

印数: 1—3 000 字数: 151 000

定价: 13.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈杨中〉)

《管理、决策与信息系统丛书》

编辑委员会

主 编	许国志		
副主编	陆汝钤	章祥荪	杨晓光
编 委	(按姓氏笔画排列)		
	于 刚	邓小铁	许国志
	汪寿阳	陆汝钤	张汉勤
	邹恒甫	杨晓光	岳五一
	金 芝	章祥荪	黄海军

序 言

管理、决策与信息系统是 20 世纪中发展起来的研究新领域，它从系统科学、数学和经济学中吸取了一些理论和方法，从而得到了飞速的发展。计算机科学和技术的发展，不仅为它在实践中的应用创造了条件，也为其理论探讨提供了工具。与此同时，系统科学、数学和计算机科学也从它的研究发现了新问题，吸取了新养分。为了促进这个领域的发展，中国科学院管理、决策与信息系统开放实验室决定编写“管理、决策与信息系统丛书”。这套丛书不求全而求新，以反映我们的研究成果为主。

回顾管理理论的发展历史，我们可以发现一个趋势：系统的概念和方法越来越多地用于其中，并成为管理理论发展的第三阶段的重要特征。管理理论的第一阶段形成于 20 世纪初，以 F.W.Taylor 为代表，倡导科学的管理，他们针对提高工厂劳动生产率的问题提出了标准化原理。管理理论的第二阶段，从 20 世纪二三十年代开始，以行为科学为特点，主要代表有 A.H.Maslow, K.Lewin, R.Jannenbaum 和 D.McGregor 等人。他们研究人的需要、动机、激励和定向发展；研究正式和非正式的团体的形成、发展和成熟；研究个人在团体中的地位、作用，领导方式和领导行为等。管理理论的第三阶段出现在第二次世界大战后，这一阶段有各种学派，例如社会系统学派、决策理论学派、系统管理学派、管理科学学派和经验主义学派等。他们从不同角度强调系统的概念、理论和方法。这三个发展阶段并非截然分开，而是互相渗透的。不论管理有多少学派和多少技巧，我们大致可以分成三种模式：机械模式、生物模式和社会模式。生物模式认为，组织像一个生物，有头脑机构，有职能部分和分支机构。一个企业的目标可以分解，各部门完成其中的一部分。在这种模式下，目标管理得以发展。社会模式认为，各级组织都是一个交互作用的系统，它们有共同的目标、交互作用和信息联系，管理者是交互作用的中心。目前，美国有一学派

强调交互式管理 (interactive management), 强调以系统方法来管理. 这正是它不同于传统管理的地方. 在实践上, 传统管理大致分为三类: 回顾式 (reactive) 管理、被动式 (inactive) 管理、预测式 (preactive) 管理. 回顾式管理是在自下而上地总结过去经验的基础上, 去发现单位的弱点, 找出克服弱点的措施, 并在预算允许的条件下, 逐个地实施. 被动式管理的特点是危机管理, 是“救火队”, 领导疲于处理各种各样的当前问题. 预测式管理的各种决策基于对今后的经济、技术、顾客行为和各种环境的预测. 这三类管理可以混合成各种样式的管理, 正像红、黄、蓝可以组成各种颜色一样. 交互式管理强调系统的方法, 认为某企业出现的市场问题绝不仅仅是个市场问题, 而跟 R&D、生产、原材料供给和人事等等有关, 是系统的问题, 是整个企业的问题. 回顾式管理的弱点就是缺乏系统的观点. 交互式管理强调要设计可见的未来, 创造一条尽可能实现它的道路, 这是“救火队”所不能做到的, 但它又不把一切都寄托于预测. 交互式管理还强调“全员参与”和“不断改进”. 我们认为, 交互式管理是社会模式的一种. 目前日本出现了“3C 管理”, 核心就是竞争 (competition)、合作 (cooperation) 和协调 (coordination).

决策理论学派是以 E.W.Simon 为代表, 从社会系统学派中发展起来的. 它认为决策贯穿于管理的全过程, 管理就是决策. 决策的优劣在很大程度上依赖于决策者的智慧、素养和经验. 计算机技术的发展不仅使人们能够快速地解决决策中的复杂计算问题, 而且可以有效地进行决策过程中的信息处理、分析等工作, 从而达到提高决策质量的效果. 今天正处在不断发展阶段的决策支持系统 (DSS) 和管理信息系统 (MIS) 正是集管理理论、系统理论和信息技术三大成就的交叉学科, 它们已为解决一些复杂决策问题提供了有力的工具. 粗略地说, 决策问题或者管理问题大致可分为三个层次: 战略决策、结构决策和运行决策. 战略决策是指与确定组织发展方向和远景有关的重大问题的决策. 结构决策是指组织决策, 运行决策是指日常管理.

从信息论的观点看, 整个管理过程就是一个信息的接收、传

输、处理、增功与利用的过程。管理就是根据信息而进行的有效的控制行为。这些行为表现的形式为计划、组织、协调、反馈与控制。计算机信息处理，用于管理走过了三个阶段：数据处理（EDP）、管理信息系统和决策支持系统。作为管理信息系统和决策支持系统的支持环境，相对独立于计算机科学的软件的开发，需要研究和建立各类管理信息系统独特的支持软件系统和开发环境，例如分布式数据库管理系统和分布式知识库管理系统，面向用户、通用性较强和面向特殊用户的模型库、方法库管理系统，以及一些专门的用户接口语言。

展望未来，我们认为管理、决策与信息系统这个交叉学科的研究领域，将会出现以下的发展趋势：

1. 更加重视人的行为的研究，企业的管理将不仅强调竞争，而且应在竞争的前提下注重合作与协调；
2. 宏观经济的非线性建模与决策分析，将与非线性数学的研究互相促进取得进展；
3. 计算机技术的飞跃发展，将为管理与决策提供更高的支持平台，例如数据库技术、人工智能、多媒体技术、智能化用户接口和网络技术的应用；
4. 在管理理论研究的基础上，在大量开发决策支持系统之后，利用计算机技术可能形成在一定范围内真正实用的决策支持系统；
5. 分布式系统模式将会有更广泛的应用；
6. 一些新的理论、方法和技术将会出现。

从这些展望中我们不难发现以下几个特点：（1）利用信息科学与数学中的最新成就，研究管理与决策中的问题并取得应用成果；（2）通过观察管理与决策系统发现其规律，研究管理与决策中的问题并取得应用成果；（3）通过观察管理与决策系统发现其规律，形成数学与信息科学中的研究课题。这也是我们这套丛书的特色之一。

在这套丛书的编写中，我们在注重学术水平的同时，又注意其实用价值。因此这套丛书也有一定的适用面。丛书的作者们将竭

尽全力把自己在有关领域中的最新研究成果和国外发展动态写得通俗易懂，以便使更多的读者用已掌握的有关理论和方法去解决他们工作中的实际问题。这是我们组织这套丛书的宗旨，也是我们的希望。

本丛书可供从事管理与决策工作的领导干部和管理人员、大专院校有关专业的师生以及技术人员学习、参考。

许国志 邓志坚

1993 年 5 月

前 言

H. Markowitz 于 1952 年提出的投资组合选择理论与 F. Modigliani 和 M. H. Miller 合作于 1958 年提出的无套利分析方法分别被称为是金融学发展中的两个里程碑。这两个奠基性的工作对于金融学的发展所产生的影响是十分巨大和深远的。投资组合选择理论主要研究怎样在未来结果不确定的情况下对有限种资产进行投资以使得回报最大与风险最小，而无套利分析方法则为金融学的研究提供了一种基本的方法论。40 多年以来，投资组合选择和无套利分析一直是金融问题研究的两个主要领域，吸引了许多优秀的学者在这两方面开展工作。然而，将这两者结合起来的研究似乎仍有待加强。

近几年来，在国家自然科学基金（项目编号：19501022，19701016 和 79600081）、香港城市大学战略研究基金（项目编号：9040349 和 7000763）、香港研究资助局（项目编号：9040439）、中国科学院（重点项目编号：1501800 和“百人工程计划”项目）以及中国科学院管理、决策与信息系统开放研究实验室的支持下，作者在投资决策分析领域进行了一定的探索并取得了一批得到关注和好评的研究成果。本书是作者在投资组合优化理论与无套利分析方法方面的部分研究工作的总结。下面我们对本书的出版作几点说明。

一、本书主要集中在相关的理论与方法的探讨上，对投资组合优化理论与无套利分析方法的实际应用没有展开任何讨论。但作者并不认为这是本书的一个缺陷。目前书店中关于投资决策分析的书籍数量之多，可用“蜂拥而至”来加以形容，然而在系统深入的研究基础之上写成的理论专著似乎寥寥无几。绝大多数的书籍基本上是向读者介绍如何进行投资的实用技术，这对于大众去了解投资决策的一些基本知识和技术是相当有帮助的，但对于从事投资决策分析的专业人员和开展投资分析理论研究的师生，其

参考价值就非常有限了。因此，出版一批能反映或代表投资决策分析国际研究动态与进展的中文专著对于推动中国在这一领域开展高水平的研究无疑具有重要的意义。这是作者出版本书的一个基本出发点。因此，本书除了介绍作者的研究工作外，在参考文献[1~350]中还提供了350篇(部)论著目录。这些论著基本上可以较好地反映投资组合优化理论与无套利分析方法在国际上的研究现状与发展历史，这对于准备在投资决策分析领域开展研究工作的读者会有一定的帮助。

二、在写作本书的过程中，作者并没有刻意去追求所谓的完整性而试图把它写成本有关投资组合优化理论与无套利分析方法的教科书。事实上，作者在投资组合优化和资产定价方面的不少其他工作并没有收入到本书中，目的是为了保持本书中的投资组合优化与无套利分析相结合的研究特色。希望读者在阅读本书时能注意到这一点。本书可作为讨论班和专门课程的教学参考书，但不适合作为学生的教科书。

三、作者在本书中运用了一些凸分析、非光滑分析、线性与非线性规划和动态规划的分析方法和技巧，这是本书的另一个特色。从本书中，读者可以发现作者长期在这些领域开展研究工作的痕迹。但作为一本研究专著，作者不准备在本书的最后增加关于凸分析、非光滑分析、线性规划、非线性规划和动态规划等方面的基础知识的附录。本书几乎未涉及这些领域的任何艰深的定义和定理，相信绝大多数读者都可以理解和掌握本书所用的概念和分析方法。而对于少量完全没有接触过凸分析和数学规划等领域的读者，建议他们先看一些有关的参考书，然后再来阅读本书。

在本书的写作和出版过程中，作者得到了许多同行和朋友的支持与帮助。首先，作者要感谢本丛书编辑委员会主任、中国科学院系统科学研究所的许国志院士对本书的出版所给予的关心与支持。其次，作者衷心感谢那些对本书中的研究成果有所贡献的专家和同事。香港城市大学的邓小铁教授是作者在这一研究领域的长期合作伙伴，参与了本书的一些专题的研究。他的贡献对于本书中某些深刻结果的取得可以讲是至关重要的。中国证监会北京办事

处的李仲翔先生参与了部分工作的研究与讨论，是作者的两篇论文的合作者。香港大学的杨海亮博士参与了本书关于弱无套利有关内容的讨论与相应的论文修改与定稿工作。香港中文大学的李端教授、清华大学的张顺明博士、中国科学院系统科学研究所的卢祖帝博士、徐善鹰博士、李萍博士、侯文华博士、王振全博士、史敏先生以及北京航空航天大学的刘善存副教授等参与了本书主要内容的讨论并贡献了有价值的意见。作者也感谢那些对本书的主要结果给予修改建议的学者，他们是中国科学院应用数学所的严加安院士、北京大学的史树中教授、中国科学院科技政策与管理科学研究所的徐伟宣教授、清华大学的武康平教授、北京航空航天大学的邱婉华教授、天津大学的张维教授、香港城市大学的 K. K. Lai 教授、美国 Marquette 大学的 S. S. Syam 教授、日本东京理工大学的 H. Konno 教授、英国 Sheffield 大学的 P. Fleming 教授、西班牙 Santiago de Compostela 大学的 L. Coladas 教授等。另外，作者还要特别地感谢科学出版社的副总编林鹏先生和本书的责任编辑单靖华小姐对本书的顺利出版所作的许多努力和所付出的辛勤劳动。

最后指出，由于作者转到金融研究领域的时间较短，对经济学和金融学的一些重要问题和概念还缺乏深刻的理解与领悟，所以本书难免存在一些不足，甚至错误，欢迎读者批评指正。

李仲飞 汪寿阳

2000 年 6 月于北京中国科学院五所大楼

目 录

序言

前言

第一章	引论	1
1.1	金融学的发展简史	1
1.2	金融学与数学的关系	7
1.3	金融学的问题和展望	8
1.4	投资组合选择基本模型	10
1.4.1	均值 - 方差模型	10
1.4.2	均值 - 方差 - 偏度模型	11
1.4.3	对数效用模型	12
1.4.4	几何期望收益模型	12
1.4.5	安全 - 首要模型	13
1.5	无套利分析基本原理	13
1.6	本书选题背景与研究内容	14
第二章	摩擦市场的最优投资组合选择	18
2.1	引言	18
2.2	模型	19
2.3	解的性质	22
2.4	交互式方法	31
2.5	交互式方法的数值例子	34
2.6	线性规划算法	37
2.6.1	模型的重建	37
2.6.2	算法	42
2.6.3	数值例子	47
2.7	小结与讨论	51
第三章	资产定价与最优投资组合选择的极大极小方法	52
3.1	引言	52

3.2	问题陈述与建模	53
3.3	最优策略	56
3.4	均衡的价格系统	60
3.5	均衡的性质	64
3.6	小结与讨论	70
第四章	不允许卖空时证券组合有效前沿的解析表达	71
4.1	引言	71
4.2	不存在无风险资产的情形	73
4.3	存在无风险资产投资的情形	79
4.4	存在无风险资产借贷的情形	82
4.5	小结与讨论	85
第五章	多阶段最优投资组合选择	86
5.1	引言	86
5.2	多阶段投资组合模型	87
5.3	辅助问题的构造	89
5.4	辅助问题解析解的推导	91
5.5	原问题解析解的推导	97
5.6	小结与讨论	102
第六章	摩擦市场的无套利分析	104
6.1	引言	104
6.2	概念与引理	105
6.3	弱无套利的刻画	110
6.4	强无套利的刻画	117
6.5	状态价格	122
6.6	摩擦市场套利的计算复杂性	126
6.7	小结与讨论	128
第七章	摩擦市场最优消费 - 投资组合选择的无套利分析 ...	130
7.1	引言	130
7.2	最优消费 - 投资组合与市场无套利的关系	131
7.3	最优消费 - 投资组合与转换了的市场之无套利的关系	134
7.4	含初始消费的情形	140

7.5	小结与讨论.....	142
第八章	摩擦市场利率期限结构的无套利分析	143
8.1	引言	143
8.2	符号与定义.....	144
8.3	期限结构的存在性.....	148
8.4	现值原理.....	151
8.5	小结与讨论.....	157
参考文献		159

第一章 引 论

金融决策的核心问题是如何在不确定的环境下对资源进行分配和利用. 为了解决这样一类问题, 金融学应运而生. 它是作为经济学的应用分支学科发展起来的, 在西方已经历了百余年的历史. 由于其自身充足的特征, 金融学从 20 世纪 50 年代起逐步从经济学中分离出来而成为一门独立的学科. 金融学的发展经历了三个主要阶段, 即定性描述阶段、定量分析阶段和工程化阶段. 金融数学的问世, 标志着金融学开始摆脱纯粹描述性的研究和单凭经验操作的状态, 进入了定量分析的阶段. 而金融工程的诞生, 使金融学进入了工程化和产品化的更高阶段, 并带着鲜明的知识经济的印记而展现出无可限量的发展前途.

1.1 金融学的发展简史

金融学的最早出现可追溯到 1896 年 Irving Fisher 最先确认并作出解释的基本估值关系 (他对经济学和金融学理论还作出了许多其他的重要贡献). 这种估值关系是金融理论的核心之一, 它说明一项资产的价值等于其产生的未来现金流的现值之和. 随着证券市场的发展, 投资者们开始寻找对风险证券进行定价和预测未来价格的方法. 这样, 在 20 世纪一开始法国数学家 Louis Bachelier 便提出了著名的“投机理论”^[114]. 他发现股票价格的变化服从布朗运动. 这一理论为后来金融学的发展, 特别是现代期权定价理论的建立奠定了基础. 1934 年 Benjamin Graham 和 David Dodd 两人合作出版了一本关于证券估值的著作^[66], 它成为了证券行业的圣经. 1938 年 Frederick Macaulay 建立了对债券交易市场上的发行者和投机者都非常有用的债券价格对利率的敏感性分析模型等^[113], 他的关于久期 (duration) 和利率免疫 (immunization) 的工作导出了几乎被目前所有从事资产 / 债务管理的人都普遍采

用的工具。1944 年 von Neumann 和 Morgenstern 提出了至今仍广泛使用的效用理论^[135], 开始了对投资者风险态度的描述。

1952 年, Harry Markowitz 发表了一篇题为“投资组合选择”的论文^[117], 阐述了如何利用投资组合创造更多的可供选择的投资品种, 从而在一定风险水平下取得最大可能的预期收益率。该文引发了大量的对现代证券组合的分析工作, 开创了现代金融数学的先河, 在理论界被称为 20 世纪发生在华尔街的第一次金融革命。不过, 在当时的条件下, 该模型的计算技术很复杂, 尤其是在给定的时间条件下, 难度就更大了。1963 年, Markowitz 的学生 William Sharpe 提出了简化形式的计算方法^[171], 即现在所称的单指数模型, 使投资组合理论特别是在大量的证券经营上更实用了。到了 70 年代, 该模型所需的计算可以借助计算机完成, 这就使证券组合理论更广泛地应用于实践。现在, 单指数模型已经被广泛地运用于投资组合中的单个普通股票之间的投资分配了, 而最初的更一般的 Markowitz 模型则被广泛地运用于不同类型证券之间的投资分配, 诸如债券、股票、风险资本和不动产等。此外我们应提到, 60 年代早期, Leland Johnson^[89] 和 Jerome Stein^[182] 采用债券组合的方法, 把证券组合理论扩展到套期保值; 70 年代末期, Louis Ederington 把 Johnson 和 Stein 的工作发展到用金融期货对金融价格风险进行套期保值^[49], 这些工作形成了现代套期保值理论。

1958 年, Modigliani 和 Miller 在研究企业资本结构和企业价值之间的关系时, 发表了一项划时代的重要成果, 即所谓的 MM 理论^[130]。这一理论蕴涵着一个极为深刻的思想, 那就是无套利均衡思想, 它在后来产生了巨大的影响, 使金融学在研究方法上从传统经济学中逐步独立出来, 而且成为其后一系列金融研究成果(如套利定价理论和期权定价理论)的重要分析手段, 也是当今金融工程面向产品设计、开发和设施的基本分析技术。因此这一方法被看作是现代金融学的真正的方法论革命。在这以后, 许多学者, 如 Fischer Black 和 Myron Scholes^[16], Robert Merton^[127], Stephen Ross^[151, 152], Harrison 和 Kreps^[72], Harrison 和 Pliska^[73],