

金融工程 预测、优化与控制

黄小原 庄新田 著



NEUPRESS
东北大学出版社

金融工程——预测、优化与控制

黄小原 庄新田 著

东北大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

金融工程——预测、优化与控制/黄小原, 庄新田著. —沈阳: 东北大学出版社, 2001. 7

ISBN 7-81054-642-2

I. 金… II. ①黄… ②庄… III. 金融工程-预测-优化-控制 IV. F830

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 037352 号

内 容 简 介

本书较全面地论述了金融工程及金融系统预测、优化、控制的方法和应用。全书分为 6 章, 主要内容包括: 金融工程的技术理论框架、金融系统的预测、金融系统的优化、金融系统的控制、金融系统复杂性的探索和若干问题的研究。理论与实际案例相结合是本书的特点。

本书可以作为管理科学、金融学、系统工程与工商管理专业高年级本科生和研究生的教材, 也可供从事相关专业的科技人员参考。

©东北大学出版社出版

(沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号 邮政编码 110004)

电话: (024)23890881

传真: (024)23892538

网址: <http://www.neupress.com> E-mail: neuph@neupress.com

东北大学印刷厂印刷

东北大学出版社发行

开本: 850mm×1168mm 1/32 字数: 351 千字 印张: 13.5

印数: 1~1060 册

2001 年 7 月第 1 版

2001 年 7 月第 1 次印刷

责任编辑: 任彦斌

责任校对: 米 戎

封面设计: 唐敏智

责任出版: 秦 力

定价: 27.00 元

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 金融工程的技术框架	2
1.2 金融预测	3
1.3 金融优化	4
1.4 金融控制	5
1.5 金融系统的复杂性	7
1.6 金融工程的发展	8
第2章 金融工程的技术理论框架	10
2.1 利率的期限结构.....	10
2.2 现代投资组合理论.....	21
2.3 套利定价理论.....	32
2.4 期权定价理论.....	37
2.5 金融市场微观结构.....	60
第3章 金融系统的预测	87
3.1 金融系统的预测方法.....	87
3.2 期权价格估计方法	114
3.3 金融产品的神经网络专家系统预测	116
3.4 股票市场的智能预测系统	124
3.5 破产风险的识别和预测	134
第4章 金融系统的优化	144
4.1 金融问题与优化方法	144
4.2 证券组合模型的一种推广和优化方法	166

4.3	证券组合的决策和对策	173
4.4	期货市场模型和决策	178
4.5	期权定价模型和最优策略	191
4.6	资产重组模型与决策	197
4.7	银行资产负债管理的模型及其优化	203
4.8	基于 VAR 风险指标的投资组合模糊优化	212
4.9	企业融资结构的模型与优化	220
第 5 章	金融系统的控制	227
5.1	金融系统的控制方法	227
5.2	证券组合的快车道问题	246
5.3	证券组合的 H_∞ 控制问题	252
5.4	金融风险管理的控制问题	258
5.5	资产重组的控制问题	274
5.6	投资决策的控制问题	287
5.7	期权定价的微分对策方法	297
5.8	不确定性条件下的金融控制	312
附录	离散系统 H_∞ 控制基本理论	327
第 6 章	金融系统的复杂性	353
6.1	股市波动与复杂性	353
6.2	股票市场的标度理论	371
6.3	基于 DNA 的非趋势波动方法(DFA)	381
6.4	证券市场混沌的判据	407
6.5	金融危机的系统分析	411
参考文献		419

第1章 绪 论

20世纪90年代以来,金融系统预测、优化和控制问题的深入研究以及信息与控制理论技术在现代金融问题中的广泛应用,给金融工程的发展带来挑战。期权定价理论、金融市场动态模型和风险规避等研究成果为金融工程控制、优化理论的发展和应用提供了先决条件。金融工程已经成为经济领域内独具特色的新兴学科^[1~5]。

金融工程中,信息与控制理论技术不可或缺^[6~13]。这是因为:

第一,金融在现代经济中已经具有核心地位。金融市场的变化,金融风险的出现,使得金融管理日趋重要。信息经济的到来和信息控制技术的迅速发展使得金融管理变得更为复杂;同时,也使得金融市场、金融产品、金融服务、金融工具,特别是金融风险的管理变得可能。没有金融工程中的信息控制理论技术,现代金融的管理则无从谈起。

第二,金融工程的基础理论要求信息控制理论技术的支撑^[6,14]。资金的时间价值、资本资产定价和风险管理是金融工程的基础理论的三个组成部分。金融工程中资金的概念是广泛的,除了货币以外,有价证券如证券、股票等均在这种资金的范围。其时间价值反映了资金的不对称性和买卖双方损失和获利的机会。金融工程中的资本资产定价是在一定市场条件下研究证券定价规律的,它建立了证券收益和风险的关系,指示了证券风险报酬的内部结构。金融工程中的风险是指金融资产或负债的价值由于受到不确定因素影响,致使投资者和资金管理者实际收益发生的偏差或损失,风险管理中主要问题是风险规避、风险控制等。显然,金融工程的理论方法基础要涉及关于资金时间价值的预测、决策、对策,涉及资本资产定价

过程中收益和风险利益的优化,涉及风险管理控制等问题。

1.1 金融工程的技术框架

金融工程的技术框架是指对于金融市场、金融产品、金融服务和金融创新进行机理分析的技术方法。金融工程处在不断发展和变革的过程中。金融工程的技术框架是证券组合理论、资本资产定价模型、套利定价理论、期货市场创新模型、期权定价理论等。

①证券组合理论^[15~19]。Markowitz 提出的证券组合理论,认为投资者的投资愿望主要是追求较高的预期收益,希望避免风险。绝大多数投资者都是风险的厌恶者,特别是巨额投资者尤其如此。因此,对证券组合的管理,不仅应重视预期,而且也应考虑风险。一旦投资者对承担的风险认定后,Markowitz 设计了一个最优的组合而进行证券选择,即应用二次规划,以减少投资风险提高证券收益为目标,确定证券的最优组合。

②资本资产定价模型^[6~10,14]。Markowitz 的证券组合理论,计算证券的收益和风险工作量繁重。Sharp 在 Markowitz 之后提出简化的方法,该模型的意义在于说明资本资产的价格如何确定。关于资本资产定价模型,可以概括为证券特征线;进一步地还提出证券市场线。这些模型可以用来分析收益、风险和证券组合。

③套利定价理论^[8,9]。金融工程涉及处理大量金融系统的数据,从统计的观点,套利定价理论是通过金融市场内外的多种因素来确定金融产品的价格。把握金融产品的价格,不但要从金融市场本身的因素考虑,还要与宏观经济状况、企业经营状况、外汇市场等其他因素联系,使金融产品的价格更好地反映现实情况。

④期货市场创新^[20~23]。期货市场创新是期货市场规范管理的核心,是一种工具性和政策性模型最优设计。20 世纪 90 年代,在期货市场创新工作中建立的市场结构模型代表了该领域的最新进展。

期货市场是在一定场所、按照一定规则和规范进行商品合约买卖的市场。期货市场有两类交易者,即套期保值者和投资者,期货市场模型由保值者和投资者两个极值问题组成,这两个极值问题均为无约束二次规划问题。在考虑期货市场中,保值者和投资者的最优需求相等时,期货市场产生交易平衡。

⑤期权定价理论^[9,24~27]。期权定价理论是期权交易的重要理论和方法。1973年,Black-Scholes提出了股票期权价格模型,解决了期权定价的理论框架问题。Black-Scholes模型集中反映了期权定价理论,该模型描述了期权的价格制定,期权价格是一个正态分布作用下的股票价格与另一个正态分布作用下指数衰减的履约价格之差。目前,人们不但研究了期权的静态模型,而且研究了动态模型。期权定价的动态模型是一个分布参数系统。

1.2 金融预测

金融预测是金融工程中的重要部分。金融衍生产品股票、期权价格等收益和风险的预测,对于金融投资者、筹资者具有重要指导作用。

收益和风险是证券投资中的核心问题。证券收益以收入和资本增益总额的百分率来表示。证券的风险是由于对未来不确定性而产生投入本金和预期收益损失或减少的可能性。风险的估计常采用两种方法,一是标准差估计,二是Beta(β)值估计。标准差是度量证券本身在各个不同时期收益变动的程度;Beta(β)值是量度证券各年收益对于同一时期内市场的平均波动程度。

金融系统的有效性是指金融交易市场对于信息反映的度量,当金融商品的价格完全反映了可以使用的信息时,称之为市场是有效的。市场有效性采用了一些传统方法,如CJ统计方法,不相关性检验,三阶矩阵检验,相关积分和相关维数统计处理的方法,非参数方

法等^[11]。国内学者对市场有效性进行了一定的探索^[28~33, 34~37]。

金融市场的股票价格,已有神经网络预测方法。所用神经网络基本上是BP反向传播网络。神经网络的输入是增广的,包括股票价格的若干阶时滞值以及影响股票市场的宏观经济参数、行业内经营状况、企业经营情况、财务情况、资产负债情况等。神经网络的输出采用实时值进行导师信号训练中间隐层权值。当采用多组股票价格数据训练神经网络权值之后,建立股票价格的神经网络模型,据此可以进行股票价格预测^[38~42]。

在股票价格和其他经济金融数据处理问题上,可以采取模糊系统的处理方法^[43, 44],在金融工程中已经出现模糊神经网络预测股票和期权等金融产品价格的方法^[45]。

证券趋势的预测通常采用传统方法,如K线图,方法要点见文献^[9]。近年来,人们开始采用人工智能方法,如采用模式识别来预测证券股票走势,见文献^[46]。其要点是:建立证券股票曲线的直观图,生成语法曲线;建立相应的股票知识库;根据证券交易规则分析证券交易,估计证券趋势。

证券股票的等级分类是投资前提,如何将证券股票恰当分类估计,是金融工程的一项内容。通常人们采用聚类分析方法将证券股票分类。近年来,人工神经网络的发展,已经将神经网络用来对于证券股票分类估计,这方面工作见文献^[47, 48]。神经网络证券股票分类估计的工作要点是:运用已分类的证券股票分类数据训练权值,建立神经网络模型;运用新的证券股票数据输入神经网络系统,预测证券股票种类。

1.3 金融优化

Markowitz提出的证券组合均值方差问题,是证券组合理论的基本问题,是一般线性约束的二次规划问题。

众多学者研究证券组合的均值方差决策问题,目前,这种研究更为广泛深入。有代表性研究成果是:各种证券组合的逼近方法;用总体方差代替标准方差为基础的证券组合的线性规划模型;证券组合灵敏度;均值方差斜度证券组合模型等^[49~51]。

期货市场合约是创新问题的关键。期货市场合约创新问题是近年来的代表性成果^[20~27]。期货市场结构模型由保值者和投资者两个极值问题组成。保值者权值问题面临多个市场选择需求,以使保值者的需求量和风险最小。投资者极值问题也是参与某个市场选择需求使风险最小。

证券组合是指在证券市场上如何选择证券投资,以减少风险,增加收益。快车道理论的本质是在一定经济系统条件下,最优经济增长轨线将在特定的稳态轨线近旁耗尽几乎所有的过渡时间,这条特定稳态轨线就是快车道。证券组合的快车道所考虑的问题是在证券市场长期投资过程中诸种证券长期稳态轨线,这一问题的研究,对于证券市场长期稳定运行和投资具有理论意义和实际价值。

国外已经开始研究证券组合的快车道问题^[52,53]。但是,从系统的观点分析问题,尚存在不足之处:没有建立具有风险资产个体性质的证券组合动态模型,因而难以研究证券组合问题中诸种证券的快车道;没有进行证券组合快车道问题的应用性研究工作。文献^[54]则讨论了具有风险资产个体性质的快车道问题,应该指出,证券快车道的问题实质上是一个证券投资优化问题。

1.4 金融控制

20世纪70年代, Sethi 就开始研究动态证券问题,这是金融工程中最早出现的动态问题^[55]。近年来,动态证券的研究成果是在交易条件下证券的组合动态问题的精确解^[56]。

期权定价理论研究了股票价格、履约价格对于期权价格的作用

和影响。期权定价的动态系统模型描述了依期货股票金融衍生产品当前价格及其预算成本变化的期权价格动态过程,这是一个偏微分方程模型。这一方程式表明期权价格的时间动态过程,不但与金融衍生产品的本身价格有关,也与金融衍生产品及其成本差异两个独立空间变量变化有关。进一步的金融数理经济意义见文献^[24~27, 57, 58]。期权定价动态系统的控制问题是分布参数控制问题。在期权到期的条件下,该控制问题可以转换成非线性规划控制。

金融资产是包括金融产品在内的更为广泛的金融载体。金融资产在它的运用过程中存在风险,比如股票运作的风险、企业资产运作过程中的风险。运用控制理论 H_∞ 策略研究和规避金融资产风险的不确定性,具有理论和实际意义。文献^[59~61]采用 H_∞ 控制理论研究了证券投资中的风险规避,文献^[62]则讨论了资产重组过程中风险 H_∞ 控制问题。

期权定价是金融风险管理的理论基础,对这一理论的研究不仅有助于深刻理解金融市场的运行规律,而且可以直接得到金融风险管理的方

法。目前的期权定价方法基本上是在随机框架下进行的。这些方法一般假定标的资产的价格服从几何布朗运动,然后用随机过程理论求出一个自融资证券组合,使它在期权到期日与期权具有相同的收益,从而把期权与该证券组合相比较来确定期权的价格。期权定价的随机方法存在两个主要问题:一是当考虑交易费用的影响时,找不到与期权收益完全相同的证券组合;二是当金融市场不满足稳态假设时,股票价格不服从几何布朗运动,甚至是不连续的。当金融市场不满足稳态假设时,证券价格并不服从几何布朗运动。而这一假设正是期权定价的随机理论所赖以生存的基础。从这个角度讲,目前的期权定价理论具有较大的局限性。根据这一情况,即最差情况设计的思想,运用鲁棒控制理论对衍生证券套期保值与定价问题进行研究,即使在最差情况下也能成功地套期保值。文献^[63~65]已经对

于这类期权定价的鲁棒控制进行了探讨。

1.5 金融系统的复杂性

复杂性是系统的重要特征,同样存在于金融系统。文献^[12]分析股市崩溃问题时认为金融系统具有极其复杂的行为。

一般地讲,金融市场的波动以市场效率假设理论所规范。这种理论认为金融市场上股票的价格能及时准确地反映公司未来业绩的预期,股市波动则是经济环境、公司经营、利率变化等变量的影响。但是,金融市场的波动并不完全遵从市场效率假设理论。Lux 和 Marchesi 在 1999 年提出股市波动新理论^[66],应用随机变量模型和统计物理中的标度理论分析了股票市场的波动^[66~69]。股票市场有两类交易者,一类是所谓的理性交易者,主要根据公司收益、利率变化等市场消息来预测股市走向进行交易;另一类是所谓的噪音交易者,不是根据股票的价值,而是视其他交易者如何动作而随大流。噪音交易者会在股票市场中产生一种类似人类群居本能的效应,从而吸引更多的后来者加入。股票市场经常会出现的熊市、牛市大起大落,主要是噪音交易者的行为所引起。虽然从长远来看,股市的稳定力量仍然是理性交易者,但噪音交易者的短期行为经常会将股市引向动荡。当噪音交易者所占比例超过一定临界值时,股票市场的变动性会明显加剧^[70]。

金融系统也是一个非线性的系统。人们也提出并研究了股市的非线性混沌问题,见文献^[12]等。

金融股市有过灾难性的后果,比如 1929 年和 1987 年两次股市灾难。文献^[71]应用重正规划群公式描述了股市指数转移过程,求得了转移过程的非平凡解,利用实际数据拟合了股市灾难的改进型模型;依据这一结果,分析了金融系统崩溃的过程。这是采用系统方法研究股市崩溃的一个重要案例。

1.6 金融工程的发展

信息与控制理论技术结合给金融工程带来生机,金融工程给信息与控制理论技术发展展示了新的方向,金融在现代经济活动中起到越来越重要的作用。亚洲金融危机给世界经济带来的影响,包括对国内经济的影响;一大批金融机构、金融创新工具和交易公司的产生;金融交易高出实物交易数十倍的金融电子虚拟市场的出现等。金融工程发展非常迅速,近年来甚至物理学理论方法也进入金融工程研究领域,如文献^[66~70,72]。相对于国外金融工程研究的进展,国内进行了大量工作,但是尚相对滞后。这些金融事件和变革给金融工程,也给信息与控制理论技术提出了一系列迫切需要研究的实际问题。

①金融产品、金融系统机制和金融系统特征的研究。金融工程已经出现如证券组合理论、期权定价理论等理论框架,新的金融衍生产品层出不穷,这类新的金融衍生产品模型欲跟上变革要求,需要不断开发研究。目前需要研究较高层次的金融运行机制模型,金融资源—配置模型等。风险性、保值性、震荡性、稳定性等一系列金融系统的特征,反映金融系统的功能、运行、作用。目前,尚未从系统角度深入研究这些结构性特征。

②金融灾害预测和风险控制。近年来,国际金融界发生的一系列灾害性事件,对金融工程预测和风险控制提出了重要课题。传统方法,如一般预测方法和K线图,在金融灾害面前无能为力。目前采用的人工智能方法,人工神经网络方法,是探索金融预测的尝试。至于金融风险的控制研究,尚在研究之中。

③金融电子虚拟市场条件下,信息与控制理论技术在金融工程中的作用更加重要。金融系统、金融市场、金融工程、金融产业的快速实时响应问题的研究应不失时机的开展。这就涉及金融工程复杂

系统的算法和快速算法问题。金融衍生产品需要实际求解,数学规划方法、控制理论方法等已经在金融工程中大量应用。近年来,模式识别、模拟退火神经网络、遗传算法等已经在金融工程中处理了常规方法难以解决的问题。但是,对于金融工程快速算法尚未进行研究。

④金融市场、金融工具在中国加入世贸组织(WTO)过程中转制或转轨的系统问题研究,是国内金融工程最重要的问题。信息与控制理论技术则应抓住机遇,研究这一过程中转轨的稳定性和安全性等一系列重大金融工程问题。

金融工程是金融经济学发展过程中最新的成就和里程碑。金融经济学的发展经历了大致这样几个阶段:第一个阶段,是以实物货币为方法,以货币兑换或货币经营作为金融机构的经济活动。第二个阶段,以银行信用逐步代替实物货币,银行业占据金融经济活动主导地位的方法。第三个阶段,新的金融工具不断出现,金融产品、金融衍生产品以及金融市场挑战传统地位的银行业,金融市场逐步占据金融经济主导地位。正是在金融经济发展过程的第三个阶段中,由于金融创新和金融工具的迅速发展,金融工程应运而生。随着金融工具的创新,金融市场的全球化过程,信息和网络化必将推动金融工程新的发展。应该说这是金融工程进一步的发展方向,也是金融经济学发展的第四个阶段。由于经济全球化的趋势,金融工具、金融市场、金融经济的信息化和网络化趋势不可避免。市场经济的发展,使金融经济参与者不可能在完全信息或对称信息条件下活动。因此,金融系统处于非对称信息条件下,如何运用委托代理理论,如何运用道德风险、逆向选择等信息经济学的理论,在金融工程、金融经济学理论与应用中显得很重要。20世纪90年代末期,大量自然科学家,特别是物理学家的加入,使得金融经济学在经济学家、金融学家传统领域的工作面目皆非,物理学家甚至提出“金融物理学”的概念,探索金融系统的奥秘。因此,在今后一个时期,金融系统复杂性的研究显得更为重要。

第2章 金融工程的技术理论框架

2.1 利率的期限结构

2.1.1 债券的价格

债券的价格等于债券持有人在未来所能得到的全部现金流量的现值。定期支付给债券持有人的现金流称为票面利息,在债券到期日一次付清的本金称作债券的面值。

债券的未来现金流量包括两部分,即所有利息收入与到期偿还的本金。债券价格可通过下式计算

$$P = \sum_{i=1}^T \frac{C_i}{(r + r_i)^i} + \frac{FV}{(1 + r_T)^T} \quad (2-1)$$

式中, C_i 为时间 i 时的利息, r_i 为从现在到 i 时的折现率或投资者要求的回报率, FV 为债券的面值。上式右端的第一项为所有利息收入的现值,第二项为到期日偿还本金的现值。

因为国库券的发行人是政府,政府被认为是不会违约的,所以对于国库券,折现率为无风险利率。如果债券具有违约风险,折现率将不再是无风险利率,而需要根据风险进行调整。

由式(2-1)可看到,债券的价格与折现率成相反的关系,折现率上升,价格下降;折现率下降,价格上升。

2.1.2 到期收益率

债券的到期收益率是指使债券的本金与利息的净现值等于债券现行价格的折现率,它相当于投资债券的内部收益率。

例 2-1 面值 1000 美元的 6 年期债券, 利率为 12%, 每年付息一次, 价格为 1100 美元。设 r 为到期收益率, 则有

$$1100 = \sum_{t=1}^6 \frac{120}{(1+r)^t} + \frac{1000}{(1+r)^6}$$

利用年金的计算公式可以得到

$$1100 = 120 \times \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{r(1+r)^6} \right] + 1000 \left[\frac{1}{(1+r)^6} \right]$$

$\left[\frac{1}{r} - \frac{1}{r(1+r)^6} \right]$ 为年金因子, 可以求得 $r = 9.27\%$ 。

如果上述债券由每年付息一次变为每半年付息一次, 可以计算出半年期的到期收益率为

$$1100 = 60 \times \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{r(1+r)^{12}} \right] + \frac{1000}{(1+r)^{12}}$$

$$r = 4.879\%$$

债券的买卖通常发生在两次付息日之间的某个时间, 这时, 债券的购买者不仅要支付给债券的出售者债券的市场报价, 同时还要支付累计利息。假设上一个付息日是 λ 天之前, 从上一个付息日到下一个付息日之间的时间间隔为 T 天, 每次付息额为 C , 那么累计利息的数额为:

$$\frac{\lambda}{T} \times C$$

当有应计利息存在时, 债券投资者的初始投资为债券的市场报价加上累积利息, 那么在计算债券的到期收益率时, 就应该使所有未来现金流量的净现值等于实际的初始投资, 而不是债券的市场报价。

应当注意的是, 债券的到期收益率并不一定是投资债券的实际收益率。只有当从债券所得利息可以以到期收益率进行再投资时, 两者才相等。换言之, 在计算债券的到期收益率时, 假定在债券到期日之前可以一个恒定不变的利率不断进行再投资。但实际上, 在未

来某时间的投资回报率是不确定的,因此到期收益率只是对未来实际投资收益率的一个近似。使用它的好处是,不必去预测未来的投资收益率。

假设 P 为现时债券的价格, F 为到期日时刻债券所产生的所有现金流的价格, T 为从现在至到期日的时间,则实际投资收益率 r 为

$$r = (F/P)^{1/T} - 1 \quad (2-2)$$

例 2-2 A, B 两种债券面值均为 1000 美元,每年付息一次,第一次付息为一年以后。假设两种债券都不具有违约风险,其报价如表 2-1 所示。

可以计算求得两种债券的到期收益率均为 10%。设 rr 为再投资利率,债券 A 的到期价值可由下式求得:

表 2-1

A, B 债券报价

	债券 A	债券 B
年息率/%	6	14
期限/年	12	12
价格/\$	727.45	1272.55

$$F = 1000 + 60 \times \left[\frac{(1 + rr)^{12} - 1}{rr} \right]$$

上式右边的第二项将每年 60 美元的利息换算为到期日的价值。在不同的再投资利率下,该债券的到期价值计算如表 2-2 所示。

表 2-2

债券到期价值

再投资利率 rr /%	最终价值 = 本金 + 息票 + 息票的利息
8	2138.63 = 1000 + 720 + 418.63
10	2283.06 = 1000 + 720 + 563.06
12	2447.99 = 1000 + 720 + 727.99

很明显,再投资利率通过影响在息票上可以取得的利息,来影响债券持有人在债券期限内可以实现的总价值。在不同的再投资利率假定下,债券持有人可以实现的实际投资收益率的计算结果列于表 2-3。