

高等院校**财政金融专业**应用型教材

# 金融工程 及其Python应用

朱顺泉 编著

# FINANCE

- ◎ **前瞻性** 紧跟财政金融专业教学改革步伐，将一些较前沿的课程加入教材建设
- ◎ **专业性** 紧密围绕财政金融专业核心课，针对性更强，更能体现专业性
- ◎ **实用性** 学生在学完整套教材后，能够具备较强的财政金融业实践能力
- ◎ **科学性** 案例导入教学，案例点击与材料解析开阔视野

免费赠送  
电子课件



清华大学出版社

高等院校财政金融专业应用型教材

# 金融工程及其 Python 应用

朱顺泉 编著

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书的主要内容包括：金融工程导论；金融工程定价方法及其 Python 应用；远期合约及其 Python 应用；期货合约及其 Python 应用；期货套期保值及其 Python 应用；互换合约及其 Python 应用；期权合约及其策略；Black-Scholes 期权定价模型及其 Python 应用；期权定价的蒙特卡罗模拟法及其 Python 应用；二叉树法期权定价及其 Python 应用；期权定价的有限差分法及其 Python 应用；奇异期权及其 Python 应用；利率衍生证券及其 Python 应用；量化金融数据分析及其 Python 应用；以及关于 Python 的两个附录。

本书内容新颖、全面，实用性强，融理论、方法、应用于一体，是一部供金融工程、金融数学、计算金融、投资学、金融学、保险学、金融专业硕士、经济学、统计学、数量经济学、管理科学与工程、应用数学、计算数学、概率统计等专业的本科高年级学生与研究生使用的参考书。

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

金融工程及其 Python 应用/朱顺泉编著. —北京：清华大学出版社，2019  
(高等院校财政金融专业应用型教材)

ISBN 978-7-302-51075-8

I. ①金… II. ①朱… III. ①金融工程—应用软件—高等学校—教材 IV. ①F830.49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 195650 号

责任编辑：孟 攀

封面设计：杨玉兰

责任校对：周剑云

责任印制：董 瑾

出版发行：清华大学出版社

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

地 址：北京清华大学学研大厦 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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈：010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载：<http://www.tup.com.cn>, 010-62791865

印 装 者：三河市少明印务有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×260mm

印 张：13.75

字 数：331千字

版 次：2019年1月第1版

印 次：2019年1月第1次印刷

定 价：45.00元



产品编号：076591-01

金融工程是以现代金融理论、数学、运筹学、统计学和计算机科学等为理论基础的新兴交叉金融学科。它运用工程技术的方法(如数学建模、数值计算、模拟仿真等技术)设计、开发和实施新型的衍生产品,创造性地解决金融问题。例如:期货的套期保值策略等要进行一系列的优化计算;期权定价计算要用到随机过程、偏微分方程和数值分析;期权定价的二项式模型要进行一系列的递推计算。金融工程模型的分析与计算不仅工作量大而且计算过程很复杂,利用人工计算显然是不现实的。因此,本书试图在现代金融理论的基础上,通过 Python 工具,对各种实用的金融工程模型进行计算,以供有志于从事金融工程、金融数学、计算金融、投资学、金融学、保险学、经济学、统计学、数量经济学、管理科学与工程、应用数学、计算数学、概率统计等专业研究和教学的读者参考。本书具有一定的深度和广度,可供金融工程、金融数学、计算金融、投资学、金融学、保险学、金融专业硕士、经济学、统计学、数量经济学、管理科学与工程、应用数学、计算数学、概率与数理统计等专业的本科高年级学生与研究生使用。本书实例与内容丰富,有很强的针对性,详细地介绍了各种金融工程实例的 Python 具体操作过程,读者只需按照书中介绍的步骤一步一步地实际操作,就能学会使用 Python 解决各种金融工程计算问题。

本书的内容安排如下:第 1 章介绍金融工程导论;第 2 章介绍金融工程定价方法及其 Python 应用;第 3 章介绍远期合约及其 Python 应用;第 4 章介绍期货合约及其 Python 应用;第 5 章介绍期货套期保值及其 Python 应用;第 6 章介绍互换合约及其 Python 应用;第 7 章介绍期权合约及其策略;第 8 章介绍 Black-Scholes 期权定价模型及其 Python 应用;第 9 章介绍期权定价的蒙特卡罗模拟法及其 Python 应用;第 10 章介绍二叉树法期权定价及其 Python 应用;第 11 章介绍期权定价的有限差分法及其 Python 应用;第 12 章介绍奇异期权及其 Python 应用;第 13 章介绍利率衍生证券及其 Python 应用;第 14 章介绍量化金融数据分析及其 Python 应用;书后提供了关于 Python 的两个附录。

本书是作者多年从事金融工程、投资学、金融学、保险学等专业本科生与研究生科研与教学的总结。由于作者水平的限制,书中难免出现一些纰漏,恳请读者谅解并提出宝贵意见。

作者

## 目 录

<b>第 1 章 金融工程导论</b> .....	1	3.4.2 远期利率协议的定义 .....	22
1.1 金融工程的概念 .....	2	3.4.3 远期利率协议的常见术语 .....	22
1.2 国外现代主流金融理论发展历程 .....	2	3.4.4 远期利率协议的结算金 .....	23
1.3 国内金融的发展 .....	3	3.4.5 远期利率协议的定价 .....	24
1.4 现代主流金融理论简介 .....	4	3.4.6 远期利率协议的案例分析 .....	25
1.4.1 投资组合理论 .....	4	3.5 远期外汇合约 .....	26
1.4.2 资本资产定价模型 .....	5	3.5.1 远期外汇合约的定义 .....	26
1.4.3 套利定价理论 .....	6	3.5.2 远期汇率的确定 .....	27
1.4.4 期权定价 .....	6	3.5.3 远期外汇综合协议的 结算金 .....	28
1.4.5 有效市场假说 .....	7	3.5.4 远期外汇综合协议的定价 .....	28
1.4.6 固定收益证券 .....	8	3.6 远期合约定价及其 Python 应用 .....	28
1.4.7 资本结构 .....	8	3.6.1 基本知识 .....	29
1.5 金融工程的研究对象 .....	8	3.6.2 无收益资产的远期合约 .....	30
1.6 金融衍生产品市场的参与者 .....	9	3.6.3 支付已知现金收益资产的 远期合约 .....	32
思考题 .....	9	3.6.4 提供已知红利收益率资产的 远期合约 .....	33
<b>第 2 章 金融工程定价方法及其 Python 应用</b> .....	11	3.6.5 一般结论 .....	34
2.1 风险中性定价法及其 Python 应用 .....	12	3.6.6 远期合约的价格与价值的 进一步说明 .....	35
2.2 无套利定价法 .....	13	3.6.7 市场外远期合约 .....	35
2.3 状态价格定价法及其 Python 应用 .....	14	思考题 .....	36
思考题 .....	16	<b>第 4 章 期货合约及其 Python 应用</b> .....	37
<b>第 3 章 远期合约及其 Python 应用</b> .....	17	4.1 期货合约的概念及其要素 .....	38
3.1 远期合约的概念 .....	18	4.2 期货交易制度 .....	38
3.1.1 远期合约实例 .....	18	4.2.1 期货交易的结算所 .....	38
3.1.2 远期合约四要素 .....	18	4.2.2 期货交易的保证金 .....	39
3.1.3 远期合约的概念 .....	18	4.2.3 逐日盯市制度 .....	39
3.2 远期合约的优缺点 .....	20	4.2.4 市场结构 .....	39
3.3 远期合约的应用 .....	21	4.3 期货合约的类型 .....	39
3.3.1 套期保值 .....	21	4.3.1 商品期货合约 .....	39
3.3.2 平衡头寸 .....	21	4.3.2 金融期货合约 .....	41
3.3.3 投机 .....	21	4.4 期货合约定价及其 Python 应用 .....	42
3.4 远期利率协议 .....	22		
3.4.1 远期利率协议的引例 .....	22		

4.4.1 期货合约价格实例.....	42	7.1.2 期权的分类.....	77
4.4.2 金融期货合约定价.....	43	7.2 期权合约的价格.....	78
思考题.....	46	7.2.1 期权合约价格的概念.....	78
<b>第 5 章 期货套期保值及其 Python 应用</b> .....	<b>47</b>	7.2.2 影响期权价格的因素.....	78
5.1 商品期货的套期保值.....	48	7.3 到期期权的定价与盈亏.....	79
5.2 金融期货的套期保值.....	50	7.3.1 到期期权的定价.....	79
5.2.1 利率期货的套期保值.....	50	7.3.2 到期期权的盈亏.....	80
5.2.2 外汇期货的套期保值.....	50	7.4 期权合约策略.....	81
5.2.3 股指期货的套期保值.....	51	7.4.1 保护性看跌期权.....	81
5.3 期货合约的套期保值计算方法.....	52	7.4.2 抛补的看涨期权.....	82
5.4 最优套期保值策略的 Python 应用.....	53	7.4.3 对敲策略.....	82
5.4.1 空头套期保值的利润和方差.....	53	7.4.4 期权价差策略.....	83
5.4.2 多头套期保值的利润和方差.....	54	7.4.5 双限期权策略.....	83
5.4.3 计算实例.....	54	思考题.....	84
思考题.....	55	<b>第 8 章 Black-Scholes 期权定价模型及其 Python 应用</b> .....	<b>85</b>
<b>第 6 章 互换合约及其 Python 应用</b> .....	<b>57</b>	8.1 Black-Scholes 期权定价模型的推导.....	86
6.1 互换合约的起源与发展.....	58	8.1.1 标准布朗运动(维纳过程).....	86
6.1.1 互换合约的起源.....	58	8.1.2 一般布朗(Brown)运动(维纳过程).....	86
6.1.2 互换合约的发展.....	59	8.1.3 伊藤过程 $\sigma$ 和伊藤引理.....	87
6.1.3 互换合约产生的理论基础.....	60	8.1.4 不支付红利股票价格的行为过程.....	88
6.2 互换合约的概念和特点.....	60	8.1.5 Black-Scholes 欧式看涨期权定价模型的导出.....	88
6.3 互换合约的作用.....	61	8.2 Black-Scholes 期权定价模型的 Python 应用.....	91
6.4 利率互换合约.....	61	8.3 红利对欧式期权价格影响的 Python 应用.....	92
6.5 货币互换合约.....	64	8.4 风险对冲的 Python 应用.....	94
6.6 商品互换合约.....	66	8.5 隐含波动率的 Python 应用.....	97
6.7 信用违约互换.....	67	思考题.....	98
6.8 利率互换合约定价及其 Python 应用.....	68	<b>第 9 章 期权定价的蒙特卡罗模拟法及其 Python 应用</b> .....	<b>99</b>
6.8.1 利率互换定价.....	68	9.1 蒙特卡罗法的基本原理.....	100
6.8.2 影响利率互换价值的因素.....	69	9.2 对数正态分布随机变量模拟的 Python 应用.....	101
6.9 货币互换合约定价及其 Python 应用.....	71		
思考题.....	73		
<b>第 7 章 期权合约及其策略</b> .....	<b>75</b>		
7.1 期权合约的概念与分类.....	76		
7.1.1 期权合约的概念.....	76		

9.3 蒙特卡罗法模拟欧式期权定价 及其 Python 应用 .....	101	思考题 .....	133
9.4 对偶变量法蒙特卡罗模拟 及其 Python 应用 .....	103	<b>第 12 章 奇异期权及其 Python 应用</b> .....	135
9.5 控制变量法蒙特卡罗模拟 及其 Python 应用 .....	105	12.1 奇异期权的特点 .....	136
思考题 .....	107	12.2 亚式期权的 Python 应用 .....	136
<b>第 10 章 二叉树法期权定价及其 Python 应用</b> .....	109	12.2.1 几何平均价格期权的 Python 函数计算 .....	136
10.1 二叉树法的单期欧式看涨期权 定价 .....	110	12.2.2 算术平均价格期权的 Python 函数计算 .....	137
10.2 二叉树法的两期与多期欧式 看涨期权定价 .....	112	12.3 回望期权的 Python 应用 .....	139
10.3 二叉树看跌期权定价与 平价原理 .....	115	12.4 障碍期权的 Python 应用 .....	140
10.3.1 二叉树看跌期权定价 .....	115	12.5 资产交换期权的 Python 应用 .....	141
10.3.2 平价原理 .....	115	思考题 .....	142
10.4 二叉树法的解析式与计算步骤 .....	116	<b>第 13 章 利率衍生证券及其 Python 应用</b> .....	143
10.4.1 解析式 .....	116	13.1 利率衍生证券概述 .....	144
10.4.2 计算步骤 .....	117	13.2 利率衍生证券定价及其 Python 应用 .....	145
10.5 二叉树法的无收益资产欧式 期权定价 Python 应用 .....	117	13.2.1 利率上限定价 .....	145
10.6 二叉树法的无收益资产美式 期权定价 Python 应用 .....	119	13.2.2 债券期权定价 .....	147
10.7 二叉树法的支付连续红利率美式 期权定价 Python 应用 .....	121	13.3 均衡模型期权定价及其 Python 应用 .....	151
10.8 应用二叉树期权定价模型进行 项目投资决策 .....	123	13.3.1 Rendlmmen-Bartter 模型与 债券期权定价 .....	151
思考题 .....	124	13.3.2 Vasicek 债券期权 定价模型 .....	152
<b>第 11 章 期权定价的有限差分法 及其 Python 应用</b> .....	125	13.4 无套利模型 .....	154
11.1 有限差分法的基本思想 .....	126	思考题 .....	157
11.2 内含有限差分法和外推 有限差分法 .....	126	<b>第 14 章 量化金融数据分析及其 Python 应用</b> .....	159
11.3 外推有限差分法的欧式 期权定价 Python 应用 .....	128	14.1 战胜股票市场策略可视化的 Python 应用 .....	160
11.4 内含有限差分法的欧式 期权定价 Python 应用 .....	131	14.2 股票数据描述性统计的 Python 应用 .....	164
		14.3 资产组合标准均值方差 模型及其 Python 应用 .....	170
		14.3.1 资产组合的可行集 .....	170

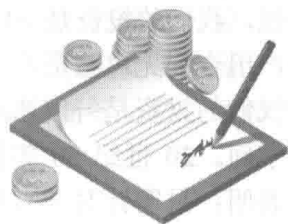
14.3.2	有效边界与有效组合 .....	170	Python 应用 .....	177	
14.3.3	标准均值方差模型的求解 .....	171	14.5.3	投资组合实际数据的 Python 应用 .....	182
14.4	资产组合有效边界的 Python 绘制 .....	175	思考题 .....	187	
14.5	Markowitz 投资组合优化的 Python 应用 .....	177	附录 A	金融工程的 Python 工作环境 .....	189
14.5.1	Markowitz 投资组合优化基本理论 .....	177	附录 B	Python 基础知识与编程基础 .....	201
14.5.2	投资组合优化实例的 .....		参考文献 .....	210	



# 第1章 金融工程导论

## 本章精粹

本章首先介绍金融工程的概念；简要回顾国外现代主流金融理论发展历程和国内金融的发展；对现代主流金融理论进行简介；介绍金融工程的研究对象及金融衍生产品市场的参与者。



## 1.1 金融工程的概念

金融工程是 20 世纪 90 年代初在西方国家出现的一门新兴的金融交叉学科。它运用工程技术的方法(如数学建模、数值计算、模拟仿真等)设计、开发和实施新型的金融产品,创造性地解决金融问题。这里的“开发和实施新型的金融产品”主要是指组合成混合证券或对某资产进行拆分,如将某证券集优先股和各种看涨看跌期权的特征于一体,按优先股结构设计,在四年后可以转换成公司普通股。又如一张抵押传递证明被拆分成本金和利息的证券。金融工程融现代金融理论、数学、统计学、运筹学、信息科技和工程方法等于一体,因而迅速发展成为一门新兴的交叉学科,从而把金融学的研究推进到一个新的发展阶段,对金融业及经济领域产生了极其深远的影响。

## 1.2 国外现代主流金融理论发展历程

目前,无论是在学术界或业界,金融都是一个十分具有挑战性的领域。诺贝尔经济学奖获得者是金融学术领域的佼佼者;政府、企业和居民都已认识到金融已成为经济的核心。老百姓也逐渐接受了传统储蓄思维以外的投资知识,债券、股票、基金和金融衍生品不再是资本主义国家居民的专利,随着经济全球化的不断推进,不发达国家居民也开始和发达国家居民一样来选择满足自己需要的各种各样金融产品,金融产品的复杂性和金融市场固有的投机性不仅给投资者带来了刺激,也给投资者带来了巨大的财富或损失。下面简要回顾一下金融学的发展历程。

追溯金融学的发展历史,1896 年费希尔(Irving Fisher)最先确认并对基本估值问题做出解释,这种估值关系是金融理论的核心之一,它说明未来现金流的现值之和即为该项资产的价值。由于金融市场的飞速发展,人们开始探索风险资产未来价格的预测方法,1900 年法国数学家路易斯(Louis Bachelier)提出了著名的投机理论,他发现股票价格的变化服从布朗运动(它的期望值为 0),这一发现推动了金融学的发展,并且奠定了期权定价理论的基础。1934 年本杰明(Benjamin Graham)和戴维(David Dodd)出版了证券估值著作,成为证券行业的圣经。1938 年,麦考利(Frederick Macaulay)建立了债券价格对利率的敏感性分析模型,这一模型对债券市场上的发行者和投资者都极具价值,他提出的关于久期和免疫的理论被目前资产债务行业的管理层普遍采用。1944 年,冯·诺依曼(Von Neumann)和摩根斯坦(Morgenstern)提出了广为人知的效用理论,着手研究投资者的风险态度。1952 年,马科维茨(Markowitz)在 Journal of Finance 上发表了一篇题为“投资组合的选择”的论文,首次提出了投资分散化原理,建立了均值一方差模型(收益—风险模型),开启了投资组合理论的先河。但他只考虑风险资产组合之间的比例配置,这与人们对风险的态度无关。从这种意义上来说,我们的投资是一门科学。1958 年,托宾(Tobin)建立了收益—风险理论,考虑了风险资产组合和无风险资产之间的比例配置,这与人们对风险的态度有关。从这种意义上来说,我们的投资是一门艺术。把哈利和托宾的观点结合起来:投资则是科学和艺术结合的一门学问。20 世纪 50 年代,阿罗(Arrow)对保险和风险以及一般均衡框架或有证券研究的结果表明:只需针对未来每一种潜在的可能性设计出相应的应对条款,就能构造出一种“阿罗

证券”来确保总体经济的一般均衡。同时，阿罗研究发现，如果投资者理性决策所依赖的一定信息条件得不到满足，金融产品的合同安排就可能不完全，例如，在保险业就可能会出现“道德风险”的问题。阿罗的这些观点对之后的金融理论发展产生了巨大影响。莫迪利亚尼(Modigliani)和米勒(Miller)也在20世纪50年代开始关注金融市场上的证券供给问题。他们采用的是微观经济学中的均衡分析方法，在“金融市场完全竞争”这一假设前提下，试图通过公司的融资成本——收益决策来推导出证券供给曲线，不过，这些内容现在已不被人们所关心，我们在公司财务、投资学等教科书中所使用的“MM定理”便是以此为基础，其背后的证券供给曲线反而被人们忽视了。MM定理表明：在给定若干假定条件下，公司采用的资本结构并不能给公司创造更多价值。MM定理如今为分析复杂的公司金融活动搭建了一个框架，并且奠定了现代公司金融理论基础，这一结论相当于完全竞争市场假设在经济学中的作用。夏普(Sharp)建立了单指数模型，1963年他在管理科学杂志发表了投资组合分析的简化模型，1968年在金融杂志上发表了“资本资产价格：风险条件下的市场均衡理论”。1962年林特纳(Lintner)、1966年莫森(Mossin)也发现了同样的结论。1970年，法玛(Fama)建立了有效市场假说理论；1976年，罗斯(Ross)建立了套利定价理论；1973年，Black和Scholes建立了B-S期权定价公式；1979年，考克斯-罗斯-鲁宾斯坦(Cox-Ross-Rubinstein)等人建立了二项式期权定价理论。

至此，国际主流金融学的内容基本成型。20世纪80年代以后，陆续发展了行为金融和金融工程学科等。

### 1.3 国内金融的发展

在改革开放之前，中国实施计划经济，以财政代替金融，没有商业银行和资本市场。

在改革开放之后，开始发展和健全金融体系，但当时金融的主要目的是为大企业服务，尤其是1983年拨款改贷款以后，企业不能从国家财政直接拿到拨款，而改由银行通过低价资金进行补贴，为了满足广大企业的需要，政府压低利率，同时建立大型国有银行来补贴这些大型国有企业。中国当前的金融体系基本上以四大国有商业银行为主，四大国有商业银行拥有的人民币资金占整个金融体系拥有资金总量的70%，其服务对象主要是国有大型企业。股票市场从1990年开始发展，当然，能进入股票市场的也都是大企业。绝大多数中小微企业在高度集中的金融体系之下，得不到金融服务和资金的支持，发展受到限制。

国外的银行体系一般是从小到大发展起来的，在经济发展初期，劳动力密集型产业占主导地位，金融体系中的中小银行为当地的中小企业提供服务；随着经济的发展，资本不断深化，企业规模不断扩大，大银行和股票市场应运而生。但中国的经济体制改革是自上而下进行的，一开始建立起很多大型国有企业，同时建立了为大企业服务的大型国有银行和股票市场，但并没有能够满足中小企业需求的金融机构和金融工具。

现我国正处于特殊经济转型时期，科技型中小微企业的融资风险高，大银行一般不愿介入。因此，要大力提倡并鼓励发展为中小微企业服务的金融市场，让股权交易市场、新三板市场、创业板市场、中小企业板市场、民间私人银行、小额信贷公司等金融市场和机构盘活私人资本并合法而规范地服务于地方中小微企业。

马云对传统金融进行过评论。

(1) 传统金融机构做得不好，由于金融监管过度，只服务了 20% 的客户。

(2) 他要依靠思想开放、技术开放和政策开放去改变这个现状，去服务 80% 的客户。他会做得比传统金融机构更好。

(3) 金融机构利用互联网，所做的是金融互联网，互联网机构做金融，所做的是互联网金融。

(4) 他做的金融是讲道德的，不是自娱自乐，要承担起未来 30 年经济发展的重任。

所以目前出现了很多与科技有关的金融，包括互联网金融(P2P 信贷、众筹、电商小贷、移动支付、微信支付)、科技型企业投融资(含创业投资或风险投资 VC、私募股权 PE)、科技型企业治理等。所以说，互联网不仅仅是一种技术，更重要的是一种思维。

从金融学教育方面来看，当现代西方金融理论日新月异发展的时候，国内的金融学研究还处于启蒙阶段。从教学内容上看，货币银行学仍是金融学专业最核心的课程，而且还是经济类专业的基础课程，如果按照金融学课程体系的逻辑去理解，则有点本末倒置、不伦不类。从国际化的角度看，金融工程学开始试点，但很多人仅仅把金融工程理解为纯技术的学科，忽视了它背后的金融经济理论，这种把金融学等同数学的看法实际上是对现代金融理论新发展的片面理解。从研究层次看，国内研究对国外研究成果模仿者居多，对现存问题描述性讨论较多，缺乏对现象背后的内在逻辑的理解。实际上，金融问题和任何经济问题一样，都有其社会制度背景，如果忽略这种背景知识，盲目地和国际接轨，只能给人以隔靴搔痒的感觉。目前出版的各种金融理论读物，大多是对金融现象的描述分析，以文字描述较多，缺乏强有力的理论逻辑和科学的研究方法。国内金融著作的现状严重滞后于国外金融理论著作。因此，我国的金融市场要得以繁荣，仅仅依靠一些缺乏理论和经验证据的政策辩论是毫无意义的，如果要形成正确的金融活动决策，就需要掌握科学的研究方法，要求我国学者对国外研究成果有较全面的掌握。

## 1.4 现代主流金融理论简介

### 1.4.1 投资组合理论

1952 年马柯维茨(Markowitz)提出的投资组合理论通常被认为是现代金融学的发端。马柯维茨在他的《投资组合》这篇具有划时代意义的论文中假设投资者均为风险厌恶者，即理性投资者的目标在于：在风险给定的条件下，追求预期收益的最大化；而在收益给定的条件下，追求风险的最小化。若用  $E(r_p)$  代表投资组合  $P$  的预期收益率，用  $\sigma_p$  代表预期收益率的标准差(即投资组合的风险)，马柯维茨断言，投资者的目标是追求  $(\sigma_p, E(r_p))$  空间中效用的最大化。从而给出了如何在众多的证券中建立起一个具有较高收益和较低风险的最佳证券组合。1958 年托宾(Tobin)证明了风险规避型投资者在  $(\sigma_p, E(r_p))$  空间中的无差异曲线必定具有一定曲率，且呈凸状。而在不存在无风险投资机会的条件下，投资有效界面(即马柯维茨有效边界)呈凹形。因此在  $(\sigma_p, E(r_p))$  空间中，投资者的无差异曲线与投资有效界面将有且仅有一个切点，该切点所代表的证券组合便是投资者的最优投资组合。由于最优投资组合的确定需要计算大量的证券收益率、方差和证券间的协方差，且是一个二次规划，



不适用于实际应用,因此,1963年夏普(Sharpe)提出了简化形式的计算方法,即现在所称的单指数模型。这一简化形式,使组合投资理论特别是在大量的证券经营中更实用了。在这个模型中,夏普把证券的风险分为系统性(不可分散)风险和非系统性(可分散)风险两部分。系统性风险就是市场风险,指证券价格的哪一部分变动是由于整个市场价格变动的影响造成的。它反映各种证券的价格对市场价格变化的敏感性或反应性的强弱。每种证券的系统风险是不同的,可用 $\beta$ 值(见后面章节)表示,说明证券价格受市场影响的程度。非系统性风险是指价格的哪一部分变动是由具体证券本身特点造成的。单指数模型还指出,投资者因承担较大风险而获得较高收益,但收益只与系统性风险相联系,与非系统性风险无关。因此,投资者不可能因承担可分散风险而得到报酬。

## 1.4.2 资本资产定价模型

资本资产定价模型(Capital Asset Pricing Model, CAPM)以马柯维茨的投资组合理论为基础,完整地回答了在资本市场均衡时,证券收益的决定机制问题,为使用现代组合投资理论的投资者提供了下列衡量工具。

- (1) 组合投资风险与收益关系。
- (2) 单个证券资产风险的度量。
- (3) 单个证券资产风险与收益的关系。

这个模型的主要特点是一种证券资产的预期收益率可以用这种证券资产的风险的相对测度 $\beta$ 因子测定,在不存在套利机会下,则存在一种均衡,即如果证券的风险相同,则它们的预期收益率应该相同。该模型可以表述为

$$E(r_j) = r_f + \beta_j(E(r_M) - r_f)$$

其中:  $E(r_j)$  为证券  $j$  的期望收益率;

$r_f$  为无风险利率;

$\beta_j$  为证券  $j$  的系统风险系数;

$E(r_M)$  为市场组合投资的期望收益率。

这个模型的主要框架为:首先运用马柯维茨均值一方差准则,投资者能够估计到所有证券组合中每一种证券的预期收益率、标准差和协方差。根据这些估计值,投资者就能推导出马柯维茨有效集合;然后给定无风险资产收益率,投资者就能识别出切点处证券组合和线性有效集合的位置;最后投资者对切点处证券组合进行投资,并按无风险收益率进行借或贷,具体借或贷的数量依赖于投资者对风险—收益的偏好。

资本资产定价模型由夏普于1964年、林特纳(Lintner)于1965年、莫森(Mossion)于1966年从不同角度独立发现,是马柯维茨模型的具体运用,其简单直观的特点使之从诞生之日起就备受投资者的青睐,得到了广泛的应用。为了提高资本资产模型的实用性,20世纪70年代上半期,经济学家们在简化最初构成模型的众多苛刻条件方面取得了巨大的进展。布莱克(Black)于1972年和布鲁南(Bulunan)于1970年简化了模型无税收和无风险利率不变的假设;莫顿(Merton)于1973年成功地将模型单周期的局限进行了拓展,建立了跨期资产定价模型(ICAPM)。

### 1.4.3 套利定价理论

在资本市场达到均衡时，在一定的假设下，一方面，CAPM 给出了资产收益率的决定机制，但是由于难以得到真正的市场组合，CAPM 不易被检验；另一方面，考虑一些经验的结果表明，如小公司现象：当以公司的规模为基础形成资产组合时，考虑到估计  $\beta$  的差异后，小公司的年平均收益率比大公司的年平均收益率高出将近 20%。这种现象不能用 CAPM 来加以解释。罗斯(Ross)于 1976 年提出了一个旨在替代 CAPM 的套利定价理论。套利定价模型也是一个均衡资产定价模型，其不同于 CAPM 之处在于它并不要求投资者是风险规避者，即 APT 并不依据预期收益率和标准差来寻找最优投资组合，它更加强调资产收益率的生成结构，指出资产的收益率取决于一系列影响资产收益率的因素。而套利活动则能确保资本市场均衡地实现。其理论基础是一价定律，即两种风险—收益性质相同的资产不能按不同的价格出售。APT 模型一经提出，经济学家们便围绕 CAPM 模型与 APT 模型孰优孰劣的问题各执一词，争论不休。但对它的研究已成为金融投资当中的重要内容。

### 1.4.4 期权定价

期权是 20 世纪国际金融市场创新实践的一个成功典范。它的诞生给金融理论和实践带来了巨大的影响。1973 年，布莱克(Black)与舒尔茨(Scholes)的著名论文《期权定价与公司负债》及同年莫顿的论文《期权的理性定价理论》奠定了期权定价模型的理论基础，并推导出第一个完整精确的期权定价公式，即 Black-Scholes 模型，为金融财务学开创了一个崭新的领域。舒尔茨和莫顿因其在建立期权定价模型方面所做出的开拓性贡献而于 1997 年被授予诺贝尔经济学奖，布莱克虽然因为在 1995 年 8 月逝世而未能享此殊荣，但其英名也将永载经济学史册。至今，关于期权理论与应用的研究已成为金融学领域最活跃的分支之一。

期权，按照最一般的定义，是指在将来某一时刻按一定价格买卖某种资产的权利。而在期权交易中，如何给买卖双方确定公平的期权费，即期权定价，自然是一个非常重要的问题。期权定价模型(Black-Scholes 模型)给出了依赖于标的资产的执行价格  $X$ 、现货价格  $S$ 、到期时间  $T$ 、波动率  $\sigma$  和无风险利率  $r$  的欧式看涨期权价格  $C$  的定价公式：

$$C = SN(d_1) - Xe^{-rt}N(d_2)$$

其中： $N(d)$  是标准正态分布函数， $d_1 = \frac{\ln(S/X) + (r + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}$ ， $d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$ 。

上述公式是建立在以下一系列严格假设基础之上的：

- (1) 标的资产收益率服从正态分布。
- (2) 标的资产可以自由买卖，且可以卖空。
- (3) 标的资产到期前不支付红利。
- (4) 投资者可以以无风险利率进行借贷。
- (5) 没有税收、交易成本等额外费用。
- (6) 标的资产价格具有连续性，服从几何布朗运动，其波动率的标准差为常数。

Black-Scholes 公式是现代金融理论的重大突破，但其只能用于欧式期权定价，而实际场内交易的期权美式比欧式多，科克斯(Cox)、罗斯和鲁宾斯坦(Rubinstern)于 1979 年提出了

二叉树(二项式)期权定价模型,使得标准期权有了定价基础。以后许多专家学者都试图通过放松 Black-Scholes 模型假设来修正期权定价公式,且在这一方面的尝试一直没有停止过。布莱克、舒尔茨和莫顿在期权方面的贡献远远超出了衍生工具定价的范畴,他们所提出的方法可以广泛运用于经济活动的各个方面,为资产定价在许多领域中的应用铺平了道路。

### 1.4.5 有效市场假说

在关于风险与收益的理论中,最为基础的理论是有效市场假说(Efficient Market Hypothesis, EMH)。有效市场假说研究的是投资者的预期如何传递到证券价格的变化中去。如果市场是完全有效的,那么,所有证券的价格都将等于它们的内在价值。换句话说,既没有价格被高估的证券,也没有价格被低估的证券。投资的收益率必然是由系统性风险决定的正常收益率。所以,市场是否有效以及有效的程度,对投资者具有非常重要的作用。因为,在一个完全有效的市场中,证券分析的基础分析法和技术分析法都是徒劳无益的;反之,如果市场并非完全有效,那么借助证券分析寻找价格被高估和低估的证券,将可以为投资者赢得超常的收益。

有效市场的概念,最初是由法玛(Fama)在 1970 年提出的。法玛认为,当证券价格能够充分地反映投资者可以获得的信息时,证券市场就是有效市场,即在有效市场中,无论随机选择何种证券,投资者都只能获得与投资风险相当的正常收益率。法玛根据投资者可以获得的信息种类,将有效市场分成了三个层次:弱形式有效市场(Weak-form EMH)、半强形式有效市场(Semi-strong-form EMH)和强形式有效市场(Strong-form EMH)。

#### 1. 弱形式有效市场(Weak-form EMH)

弱形式有效市场假设所涉及的信息,仅仅是指证券以往的价格信息。当弱形式有效市场假设成立时,投资者单纯依靠以往的价格信息,不可能持续获得非正常收益。换言之,同一证券不同时间的价格变化是不相关的,所以投资者无法根据证券的历史价格预测未来的走势。在弱形式有效市场假设中,包含以往价格的所有信息已经反映在当前的价格中,所以利用移动平均线和 K 线图等手段分析历史价格信息的技术分析方法是无效的。

#### 2. 半强形式有效市场(Semi-strong-form EMH)

除了证券以往的价格信息之外,半强形式有效市场假设中包含的信息还包括发行证券的企业的年度报告、季度报告、股息分配方案等在新闻媒体中可以获得的所有信息,即半强形式有效市场假设中涉及的信息囊括了所有的公开信息。如果半强形式有效市场假设成立,所有公开可获得的信息都已经完全反映在当前的价格之中,投资者根据这些公开信息无法持续获取非正常收益。那么,依靠企业的财务报表等公开信息进行的基础分析也是无效的。

#### 3. 强形式有效市场(Strong-form EMH)

强形式有效市场假设中的信息既包括所有的公开信息,也包括所有的内幕信息,如企业内部高级管理人员所掌握的内部信息。如果强形式有效市场假设成立,上述所有的信息都已经完全反映在当前的价格之中,那么,即便是掌握内幕信息的投资者也无法持续获取

非正常收益。

包括有效市场假设在内的传统金融理论都是以市场参与者完全理性为前提的。事实上，市场参与者仅仅拥有在认知能力、行为能力、利己心均受到一定约束下的有限理性。外部世界的复杂性与其自身有限的信息收集处理能力，决定了市场参与者只能实现过程理性，而无法达到实质理性。完全理性这一前提的动摇，对传统金融理论的分析形成了巨大的挑战。无论是有效市场假设，还是以之为基础的资本资产定价理论与模型都有待修正。

#### 4. 投资策略

根据投资者对市场有效性的判断，可以把投资策略分为主动投资策略和被动投资策略两种。如果认为市场是有效的，那么投资者应选择被动投资策略。例如，指数基金管理公司可以简单地投资于指数期货，或者按照市场指数中各种证券所占的比重建立组合。如果认为市场是无效的，即相信通过证券分析可以发现价格被低估或高估的证券，从而获得超常的投资收益率，那么投资者应选择主动投资策略。

### 1.4.6 固定收益证券

固定收益证券中有四个重要的内容，即利率期限结构、久期、凸度、免疫。利率期限结构是由一个已知的即期利率和一系列的远期利率组成的。久期是衡量债券价格对收益率变化的敏感度，定义为价格变化的百分比除以收益率变化的百分比，而凸性则是斜率的变化量。免疫是久期的应用，即如果投资者能使另一个债券的久期等于这个债券的到期期限，那么那个债券是免疫的，免疫策略能够避免市场利率的风险。

### 1.4.7 资本结构

在不存在税收的完美市场条件下，公司的价值只依赖于其产品的 EBIT(息税前收益)，而与其负债比例的大小即资本结构无关。这是莫迪利亚尼(Modigliani)和米勒(Miller)MM 著名命题的基本思想。此理论提出了现代金融学一个重要的方法——无套利均衡定价分析方法，而且成为金融工程的基本原理，使金融学的分析方法从传统的经济学中分离出来，有了自己独特的分析方法。

当然，MM 命题并没有完全回答资本结构问题。现实中存在所得税和市场不完美。但 MM 的思想告诉了人们资本结构在哪里起作用。后来这种分析方法得到推广，形成了最优资本结构理论。

## 1.5 金融工程的研究对象

金融工程的主要研究对象是衍生产品的定价和风险管理，衍生产品主要包括远期、期货、互换和期权等。

远期是指一个在确定的将来时间按确定的价格购买或出售某项资产的协议。

期货是两个对手之间签订的一个在确定的将来时间按确定的价格购买或出售某项资产的协议，主要有商品期货和金融期货。



远期与期货的差别在于远期是私人协议，因此属于非标准化的协议，而期货在期货交易所交易，属于标准化的协议。

互换是指两个或两个以上当事人按照商定条件，在约定的时间内交换一系列现金流的合约，交换对象既可以是不同种类的货币、债券，也可以是不同种类的利率、汇率、价格指数等，因此，互换主要有利率互换和货币互换。

期权又称为选择权，是指投资者(持有者)在未来特定时间内，按某一事先约定的价格(执行价格)，买进或卖出一定数量的特定标的资产的权利，有两种常见的期权合约：看涨期权和看跌期权。看涨期权又称为买入期权，看跌期权又称为卖出期权。看涨期权是赋予期权持有者在未来某个时点，按照合约有规定，购买一定数量标的资产的权利。期权持有人购买标的资产的价格在期权合约中是规定的，称为期权的执行价格，当标的资产价格大于执行价格时，持有者执行看涨期权是有利可图的。看跌期权则是赋予期权持有者在未来某个时点，按照合约规定，卖出一定数量标的资产的权利。当标的资产价格小于执行价格时，持有者执行看跌期权是有利可图的。

按执行方式的不同，有美式期权和欧式期权。欧式期权是指持有人只在期权到期日才能行权的期权合约，而美式期权则赋予持有人在期权到期日之前任何时点行权的权利。

## 1.6 金融衍生产品市场的参与者

金融衍生产品市场的参与者主要有：套期保值者、投机交易者和套利者。

套期保值者是指利用套期保值策略的投资者。

投机交易者是指投机者根据对市场的判断，把握机会，利用市场出现的价差进行买卖，从中获取利润的交易行为。

套利是指同时买进和卖出两张不同种类的衍生合约的交易行为。交易者买进自认为是“便宜的”合约，同时卖出那些“高价的”合约，从两个合约价格间的变动关系中获利。在进行套利时，交易者注意的是合约之间的相互关系，而不是绝对价格水平。

这三类参与者是衍生产品市场的重要组成部分，都必须根据对市场走势的判断来确定交易的方向，选择买卖时机的方法及操作手法基本相同。但三者有一定区别，从交易的目的来看，套期保值的目的是规避现货市场的价格风险，投机的目的是赚取风险利润，套利是赚取无风险利润，获取较为稳定的价差收益；从承担风险的角度来看，套期保值承担的风险最小，套利次之，投机风险最大。

## 思考题

1. 简述金融工程的概念。
2. 简述现代金融理论的主要内容。
3. 简述金融工程的研究对象。
4. 简述衍生产品市场的参与者。