

南開大學

金融學本科教材系列

# 算法交易与套利交易

赵胜民等 编著



廈門大學出版社  
XIAMEN UNIVERSITY PRESS

南開大學

金融學本科教材系列

# 算法交易与套利交易

赵胜民等 编著



廈門大學出版社  
XIAMEN UNIVERSITY PRESS

**图书在版编目(CIP)数据**

算法交易与套利交易/赵胜民等编著. —厦门:厦门大学出版社,2010.9  
(南开大学金融学本科教材系列)

ISBN 978-7-5615-3625-4

I. ①算… II. ①赵… III. ①数理经济学-应用-金融学-高等学校-教材  
IV. ①F830

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 137997 号

厦门大学出版社出版发行

(地址:厦门市软件园二期望海路 39 号 邮编:361008)

<http://www.xmupress.com>

[xmup@public.xm.fj.cn](mailto:xmup@public.xm.fj.cn)

泉州晚报印刷厂印刷

(地址:泉州市新华北路 65 号)

2010 年 9 月第 1 版 2010 年 9 月第 1 次印刷

开本:787×960 1/16 印张:21 插页:2

字数:368 千字 印数:1~4 000 册

定价:35.00 元

如有印装质量问题请与承印厂调换

# 前 言

21 世纪以来,我国资本市场一直处在发展和变革之中。在与世界其他资本市场接轨的过程当中,我们需要不断地了解和学习国外相应的交易规则、产品、交易策略等知识。只有这样,我们才能适应不断变化的市场环境,并在未来的竞争中获得一席之地。

算法交易是近十年来国外流行起来的一种交易方式,主要是利用计算机系统通过一些规则化或智能化的交易策略进行自动的交易和投资活动。它的出现和流行对于资本市场的结构和运作方式都产生了很大的影响。套利交易策略主要出现在机构投资者和对冲基金当中,通过发现两种本质相同或类似的证券之间的价格差异来获取利润。本书主要介绍算法交易和一些套利交易的策略,以便于读者对相关方面的内容进行阅读和学习。

在本书的第一部分,我们回顾了投资学一些相关的基本内容。其中,前两章介绍了证券投资的收益和风险等特征,以及马可维茨的最优资产配置模型。第 3 章则介绍了股票投资分析当中常用的资本资产定价模型(CAPM)、套利定价模型(APT),以及因素模型。然后,第 4、5 章分别讲到了金融证券估值模型、基本面分析和技术分析。

第二部分则着重于介绍算法交易的相关内容。第 6 章给出了算法交易的整体概况,其中包括算法交易的历史和概况,算法交易策略的简介,以及算法交易的优势和可能产生的影响。第 7 章介绍了算法交易相关的计算机和交易系统。算法交易出现的主要原因就在于买方和卖方机构追求更低的交易成本、更高的流动性,以及自动化的需要。第 8 到第 10 章从交易成本开始介绍了算法交易开发的目标、模型以及评价方式。其中,第 8 章全面分析了交易成

本的产生、分类,以及原因,然后介绍了交易成本管理的目标和方法。第9章从一个最优交易的模型出发,介绍 Implementation Shortfall、VWAP 等等的一些算法交易策略。第10章则探讨了算法交易策略的选择和交易后分析等相关内容。

本书的最后一部分介绍了一些套利交易策略。套利交易的思想是把握本质相同或者近似的两种证券之间的价格差异,当两种证券的价格出现偏离的时候,投资者可进行交易,并从中获利。“一价定律”或者“近似一价定律”是套利交易的理论基础。本书的第11到第14章深入详细地介绍了配对交易、可转债套利、并购套利和股指期货套利等几种具体的套利交易策略。随着我国市场上融资融券和股指期货业务的推出,可以预见,这些交易策略在未来几年将会逐渐出现并活跃在A股市场当中。第15章则以长期资本管理公司为例,总结了套利交易和对冲基金操作当中的一些经验教训。

参加本书写作的有:方意(第一章、第五章),郑玉宝(第二章、第四章第一、二节),陈正元(第三章),张雪莲(第四章第三、四节),武文超(第六章、第七章前三节),魏子哲(第九章,第七章后三节),李燕燕(第八章第一、二节),杨锐(第十章、第八章第三节),翟光宇(第十一章,第十四章),王昊彦(第十二章),赵胜民(第十三章,第十五章),全书由赵胜民最终定稿。

编者

2010年7月



# 目 录

## 前 言

第一章 投资的收益与风险	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 收益	(1)
1.2.1 算术平均值	(2)
1.2.2 几何平均值	(3)
1.2.3 算术平均值与几何平均值的比较	(3)
1.2.4 通货膨胀调整收益	(4)
1.2.5 期望收益	(4)
1.2.6 资产组合的收益率	(5)
1.3 风险	(6)
1.3.1 风险的来源	(6)
1.3.2 风险的衡量	(8)
1.3.3 风险溢价	(9)
第二章 资产配置与均值方差模型	(10)
2.1 一些主要的资产类别	(10)
2.2 投资组合的一般特性	(11)
2.2.1 投资组合的期望收益率	(11)
2.2.2 投资组合的方差	(12)
2.3 现代投资组合理论	(14)
2.3.1 不存在无风险资产的情形	(14)

2.3.2 存在无风险资产的情形 .....	(15)
2.3.3 选择一个风险资产的最优投资组合 .....	(17)
2.4 输入数据时的考虑 .....	(19)
2.4.1 优化问题中经通货膨胀调整的输入数据 .....	(19)
2.4.2 输入数据估计值的不确定性 .....	(20)
2.5 对现代投资组合模型的评价 .....	(21)
<b>第三章 CAPM 和套利定价理论 .....</b>	<b>(27)</b>
3.1 CAPM 的推导 .....	(28)
3.2 对 CAPM 的经验检验 .....	(32)
3.3 修正的资本资产定价模型 .....	(35)
3.4 单指数模型 .....	(41)
3.4.1 单指数模型概述 .....	(41)
3.4.2 单指数模型的特点 .....	(44)
3.4.3 贝塔估计 .....	(45)
3.4.4 市场模型 .....	(48)
3.5 多指数模型 .....	(48)
3.5.1 一般多指数模型 .....	(48)
3.5.2 行业指数模型 .....	(50)
3.6 APT 的推导 .....	(50)
3.7 多指数模型和套利定价模型的应用 .....	(53)
3.7.1 消极管理 .....	(56)
3.7.2 积极管理 .....	(57)
<b>第四章 金融计算基础及对债券的估值 .....</b>	<b>(62)</b>
4.1 金融计算基础 .....	(62)
4.1.1 终值的计算 .....	(62)
4.1.2 现值的计算 .....	(64)
4.1.3 贴现率的确定 .....	(65)
4.2 债券价值分析 .....	(67)
4.2.1 收入资本化法与债券价值分析 .....	(67)
4.2.2 收益率曲线 .....	(69)
4.2.3 利率的期限结构理论 .....	(72)
4.3 债券属性与价值分析 .....	(76)
4.3.1 到期时间 .....	(76)

4.3.2 息票率 .....	(77)
4.3.3 可赎回条款 .....	(78)
4.3.4 税收待遇 .....	(79)
4.3.5 流通性 .....	(79)
4.3.6 违约风险 .....	(80)
4.4 债券组合管理 .....	(82)
4.4.1 价格因时间推移而发生变动 .....	(82)
4.4.2 非预期价格变化 .....	(83)
4.4.3 对收益率曲线移动的敏感性 .....	(83)
4.4.4 凸性(convexity) .....	(85)
4.4.5 债券凸性与久期之间关系 .....	(87)
4.4.6 防范期限结构变动 .....	(87)
4.4.7 债券组合的年收益率管理 .....	(92)
4.4.8 运用现代组合理论积极选择债券 .....	(95)
4.4.9 互换 .....	(101)
<b>第五章 股票基础分析</b> .....	(104)
5.1 基础分析方法概述 .....	(104)
5.2 宏观政治经济和行业分析 .....	(105)
5.2.1 政治因素分析 .....	(105)
5.2.2 经济因素分析 .....	(105)
5.2.3 经济周期分析 .....	(106)
5.2.4 经济政策分析 .....	(106)
5.2.5 行业分析 .....	(107)
5.3 股利贴现模型 .....	(109)
5.3.1 股利贴现模型的一般形式 .....	(109)
5.3.2 不变增长股利贴现模型 .....	(110)
5.3.3 两阶段模型 .....	(112)
5.3.4 H模型 .....	(113)
5.3.5 三阶段模型 .....	(115)
5.3.6 多元增长模型 .....	(115)
5.4 自由现金流模型 .....	(116)
5.4.1 自由现金流的计算和自由现金流模型 .....	(116)
5.4.2 股利贴现模型、自由现金流模型二者的比较 .....	(120)



5.5 相对估值模型 .....	(121)
5.5.1 市盈率的计算 .....	(121)
5.5.2 市盈率模型的应用 .....	(121)
5.5.3 市盈率模型的优缺点 .....	(123)
<b>第六章 算法交易简介</b> .....	(124)
6.1 什么是算法交易? .....	(125)
6.2 背景及历史回顾 .....	(128)
6.2.1 交易系统的自动化 .....	(128)
6.2.2 程序交易和 1987 年股市崩盘 .....	(130)
6.2.3 交易系统的十进制化 .....	(134)
6.2.4 金融数据服务的发展 .....	(135)
6.2.5 算法交易发展的推动力 .....	(135)
6.3 算法交易策略简介 .....	(136)
6.3.1 算法交易策略 .....	(136)
6.3.2 自动化投资策略 .....	(138)
6.4 算法交易的优势和影响 .....	(142)
<b>第七章 算法交易系统的结构</b> .....	(145)
7.1 交易流程简介 .....	(145)
7.2 直通式处理和算法交易 .....	(148)
7.2.1 直通式处理 .....	(148)
7.2.2 算法交易 .....	(149)
7.3 FIX 协议 .....	(152)
7.4 我国金融业的通信标准 .....	(154)
7.5 电子通信网络 .....	(155)
7.5.1 另类交易系统 .....	(155)
7.5.2 电子通信网络 .....	(156)
7.5.3 交叉网络 .....	(158)
7.5.4 直接入场技术 .....	(159)
7.6 复杂事件处理 .....	(159)
<b>第八章 交易成本分析</b> .....	(162)
8.1 交易成本简介 .....	(162)
8.1.1 什么是交易成本 .....	(163)
8.1.2 交易成本的组成 .....	(165)

8.1.3 交易成本产生的原因 .....	(170)
8.1.4 投资周期中的交易成本 .....	(172)
8.1.5 衡量交易成本的价格基准 .....	(173)
8.2 交易成本分析 .....	(174)
8.2.1 执行落差 .....	(174)
8.2.2 价格增长 .....	(176)
8.2.3 时间风险 .....	(179)
8.2.4 市场冲击 .....	(182)
8.2.5 机会成本 .....	(188)
8.3 交易成本管理 .....	(190)
8.3.1 最优交易操作 .....	(190)
8.3.2 交易执行的目标 .....	(191)
8.3.2 交易成本和换手率 .....	(192)
8.3.3 交易成本的管理过程 .....	(193)
<b>第九章 算法交易策略介绍 .....</b>	<b>(195)</b>
9.1 最优交易问题 .....	(195)
9.1.1 最优投资组合问题 .....	(195)
9.1.2 最优交易问题描述 .....	(196)
9.1.3 交易成本对夏普比率的影响 .....	(197)
9.2 一个最优交易模型 .....	(198)
9.2.1 模型设定 .....	(198)
9.2.2 最优交易策略 .....	(201)
9.3 VWAP 交易策略 .....	(205)
9.3.1 如何实现 VWAP .....	(206)
9.3.2 交易量特征的估计 .....	(208)
9.3.3 为什么交易员会选择 VWAP 交易策略? .....	(209)
9.4 算法交易策略简介 .....	(211)
9.4.1 价格基准和交易策略 .....	(211)
9.4.2 一些交易算法的介绍 .....	(212)
<b>第十章 交易后分析和算法的选择 .....</b>	<b>(215)</b>
10.1 交易后分析 .....	(215)
10.1.1 测量交易成本 .....	(215)
10.1.2 相对表现测量 .....	(225)

10.1.3 交易后分析过程 .....	(229)
10.2 如何选择和应用算法交易 .....	(233)
10.2.1 Kissell 的决策框架 .....	(233)
10.2.2 针对不同类型的股票进行操作 .....	(235)
10.3 算法交易的影响 .....	(236)
10.3.1 算法交易能够节省成本吗? .....	(236)
10.3.2 算法交易的问题和影响 .....	(237)
<b>第十一章 配对交易</b> .....	(239)
11.1 历史 .....	(239)
11.2 数学基础 .....	(239)
11.2.1 基本统计知识 .....	(239)
11.2.2 平滑技术 .....	(241)
11.2.3 平稳时间序列 .....	(242)
11.3 配对交易方法 .....	(242)
11.3.1 基本概念 .....	(242)
11.3.2 基本术语 .....	(243)
11.3.3 股票对的选择 .....	(244)
11.3.4 交易分析方法和参数计算 .....	(245)
11.3.5 具体交易细节的设计 .....	(247)
11.4 思路的扩展 .....	(251)
11.4.1 交易内容的扩展 .....	(251)
11.4.2 交易数量的扩展 .....	(251)
11.4.3 分析技术的发展 .....	(252)
<b>第十二章 可转换债券套利</b> .....	(253)
12.1 可转换债券特征 .....	(253)
12.2 基本术语 .....	(254)
12.3 可转债定价 .....	(255)
12.3.1 Black-Scholes 公式 .....	(255)
12.3.2 利率期限结构 .....	(257)
12.3.3 可转换债券定价 .....	(259)
12.3.4 数量算法 .....	(260)
12.4 可转换债券套利 .....	(265)
12.4.1 套利技术 .....	(265)

12.4.2 相关风险 .....	(267)
<b>第十三章 风险套利</b> .....	(286)
13.1 什么是风险套利 .....	(286)
13.2 并购(M&A) .....	(287)
13.3 并购的风险套利方法 .....	(290)
13.3.1 采用现金收购的风险套利方法 .....	(290)
13.3.2 固定股票交换率并购的套利方法 .....	(291)
13.3.3 可变股票交换率并购的套利方法 .....	(292)
13.4 影响因素 .....	(293)
13.5 并购套利基金 .....	(294)
<b>第十四章 股指期货套利</b> .....	(296)
14.1 股票指数 .....	(296)
14.2 期货 .....	(297)
14.3 股票指数期货 .....	(299)
14.4 套利方法 .....	(301)
14.2.1 跨期套利 .....	(301)
14.2.2 期现套利 .....	(305)
14.2.3 跨市场套利 .....	(307)
14.2.4 跨品种套利 .....	(309)
<b>第十五章 套利失败的教训—长期资本管理公司的教训</b> .....	(310)
<b>参考文献</b> .....	(320)

## 第一章

# 投资的收益与风险

---

## 1.1 概述

---

投资者通过把剩余的钱投资于金融市场上,以使其未来的消费最大化。然而在投资于金融市场之前,我们要对收益与风险有一个很好的了解。收益与风险评估是投资者设计并应用投资组合时必须考虑的。对收益与风险的论述、计算与评估将贯穿本章。在需要时,我们还将应用这些概念的特殊形式。但是,在开始分析各种各样的证券之前,我们有必要了解收益与风险的基础知识。因此,我们必须思考这些概念并学会如何分析与计算。已实现的收益,顾名思义,就是过去的收益,或是已经或本应取得的收益。由于已实现的收益已经发生,因此可以运用恰当的数据进行计算。反之,预期的收益则是指投资者预期将在未来的某个时期内从其资产中取得的收益。显然,预期收益具有不确定性,尽管我们经常用已实现的收益(历史收益)来预测预期收益,但是二者有着本质区别。

---

## 1.2 收益

---

投资者的目标是在一定的约束与风险条件下,最大化预期收益。对于投资者而言,取得投资收益至关重要,收益是投资活动的全部意义之所在。计算已实现的收益是投资者评价其投资好坏或是其委托的投资管理者投资

好坏所必需的。并且,对历史收益的计算也会在评估预期收益中发挥很大的作用。

一般投资的收益由两个要素组成:

(1)收入。即在投资过程中,从投资中获得的定期的现金流。如债券的利息、股票的股利。收入的特点是发行人向资产持有人支付的现金。

(2)资本增值(损失)。另一个要素是资产价格的增值(或减值),也即价格变动。在长期情况下,它是资产的购买价与可能的或已实现的售价之间的差额;在短期情况下,它是销售价格与该短期收盘价格之间的差额。

记  $TR$  为总收益,  $I$  为收入,资本增值为  $\Delta P$ ,则

$$TR = I + \Delta P \quad (1.1)$$

其中  $I, \Delta P$  均可正可负。

**【例 1.1】**某投资者以 950 美元购买 10 年期的债券面值为 1 000 美元的 IBM 债券,其票面利率为 8%,半年付息一次。3 个月 after 他收到一次利息,且此时的债券价格为 1 050 美元。则可知其总收益为  $1\,000 \times 4\% + (1\,050 - 950) = 140$  美元。

如果投资者从  $t$  到  $t+1$  时刻持有一份资产,那么他所获得的简单收益率为:  $R_t = \frac{P_{t+1}}{P_t} - 1$

其中  $P_t$  为该资产在  $t$  时刻的价格。进一步地,投资者从 1 时刻开始,持有资产到  $t+1$  时刻所获得的总收益率为:

$$\begin{aligned} R &= \frac{P_{t+1}}{P_1} - 1 = \frac{P_2}{P_1} \times \frac{P_3}{P_2} \times \dots \times \frac{P_{t+1}}{P_t} - 1 \\ &= (1+R_1) \times (1+R_2) \times \dots \times (1+R_t) - 1 \end{aligned}$$

### 1.2.1 算术平均值

对大多数人来说,最好的统计方法就是计算算术平均值。因此,在提及平均收益时,除非特别指明,通常应认为是指算术平均值。算术平均值通常用  $\bar{R}$  表示,是一系列数据的平均值。计算如下:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \quad (1.2)$$

某投资者投资金融市场 5 年。5 年收益率分别为 20%, 15%, -10%, -5%, 30%, 则他在这 5 年的平均收益率为  $\bar{R} = \frac{0.2+0.15-0.1-0.05+0.3}{5} = 10\%$ 。

### 1.2.2 几何平均值

算术平均收益是对特定时期内(如 10 年期的)收益数据分布的中心趋势的大致预测。然而,在一段时间内,收益以复合增长率变化,用算术平均值测算这些变化会产生误导。如某投资者投资某股票(假设无股利),买入时价格为 10 美元,一年后股票价格为 20 美元,再过一年后,股票价格为 10 美元。则收益率的算术平均值为  $[100\% + (-50\%)]/2 = 25\%$ 。显然这个不太合理,因为投资者最终一分钱没有赚,由开始的 10 美元变为最终的 10 美元,收益率为 0,则平均收益率也为 0。而几何平均值可以解决这个问题。

一组收益率的几何平均值由下式定义:

$$G = \left[ \prod_{i=1}^n (1 + R_i) \right]^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (1.3)$$

其中  $R_i$  为投资期间的每年收益率,  $\prod_{i=1}^n$  为  $n$  个数相乘。显然,上述的投资者的投资收益率的几何平均值为:

$$G = [(1+100\%) \times (1-50\%)]^{\frac{1}{2}} - 1 = 0$$

几何收益率测算了一定时期内的复合增长率。

### 1.2.3 算术平均值与几何平均值的比较

一般而言,几何平均值都比算术平均值小,除非给定的值是相同的。两者的差异取决于给定区间的标准差;标准差越大,两者的差异就会越大。  $[(a+b)/2] \geq \sqrt{a \times b}$ , 当且仅当  $a, b$  相等时取等号]。

当我们需要描述金融资产的收益时,什么时候使用算术平均值,什么时候使用几何平均值具体应取决于投资者的目标:

- 在计算单个期间的平均业绩时,算术平均值较好。在预测下一期间的预期收益时,它是最好的预测指标。
- 在计算过去的总财富值变化时(多个期间),几何平均值较为适用。它

是一个后向视角,计量过去特定期间财富增长的现金复合收益率。

### 1.2.4 通货膨胀调整收益

前面讨论的所有收益都是名义收益,或称之为货币收益。通常,我们日常生活中见到的收益率都是以名义利率表示的收益率,如金融机构支付的利率,固定收益证券利率等。但是我们需要考虑收益的实际购买力。为达到这一目标,我们必须分析实际收益,也就是考虑通货膨胀的作用。

名义收益与实际收益的关系为: $R \approx r + \pi^e$ ,其中  $R$  为名义收益率, $r$  为实际收益率, $\pi^e$  为预期通货膨胀。

精确的表达式为:

$$(1+R) = (1+r)(1+\pi^e) \quad (1.4)$$

2004 年标准普尔 500 指数的总收益率为 10.8742%(假设每月的股息都用于再投资)。通胀率为 3.2556%。因此,在 2004 年用标准普尔 500 指数计量大盘股的实际总收益为:

$$r = (1+R)/(1+\pi^e) - 1 = (1+10.8742\%)/(1+3.2556\%) - 1 = 7.378\%$$

### 1.2.5 期望收益

期望收益显然是衡量未来收益的一个指标,是投资者结合自己现在所获得的信息对未来收益的一个估计。上面我们讨论了投资者投资于金融资产多年后可以获得的平均收益。已实现收益非常重要是因为投资者需要知道他们的投资组合表现如何。已实现收益还能对投资者建立对未来收益的预期做出一个非常准确的估计。

投资者的投资收益是未知的,我们必须进行估计。未来的收益是一种预期的收益,可能实现也可能不能实现。一个投资者可能预期某证券未来一年的收益为 0.10,但是实际上这只是一个点估计。当投资者作出投资决策的时候,风险或者不利事件发生的可能性也就随之发生。投资者常对预期收益过度乐观。我们可以用“随机变量”这个词来描绘证券的预期收益,它是一个随机波动的不确定值。一般来说,随机变量服从一定的分布。投资者需要牢记尽管他们期望证券的收益为 10%,但是这只是整个可能范围内的一个点估计。由于投资者面临的未来是不确定的,因此各种结果都有可能发生。考虑



这些结果及其概率总的来说是一个收益的概率分布,包含可能发生的结果和这些结果发生的概率。概率分布中的概率总和必须等于1,因为它们必须完整地描述所有可能发生的结果。

概率分布可以是离散的,也可以是连续的。在离散的概率分布中,每个可能的结果都被指定一个概率。在连续的概率分布中,如图 1.1,存在无限多种可能性。因为概率用图 1.1 中曲线的面积来衡量。

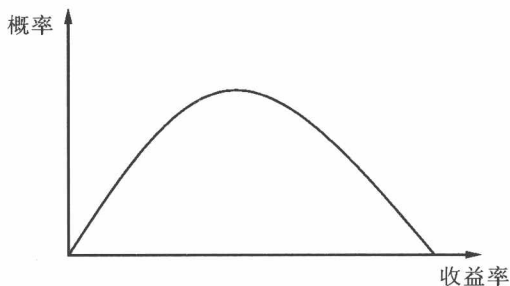


图 1.1

为了确定某个特定概率分布的一个可能性最大的结果,我们必须计算期望值,期望值是所有结果的加权平均,权重就是该种结果发生的概率。对于离散的随机变量,期望定义为

$$E[R] = \sum_{i=1}^m R_i p_i$$

其中  $R$  为随机变量,  $R_i$  为随机变量  $R$  在第  $i$  个可能性发生时的取值,  $p_i$  为第  $i$  个可能性发生时的概率。  $m$  为出现所有结果可能性的个数。

### 1.2.6 资产组合的收益率

一个资产组合的简单收益率可以表示为它所包含的资产的简单收益率的加权平均,其中,权重就是每种资产在投资组合中所占有价值的比例。例如,对于投资组合  $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ , 其中  $x_i$  为资产  $i$  在投资组合总价值中所占有的比例。那么投资组合的总收益率为  $R_t = \sum_{i=1}^n x_i R_{it}$ 。