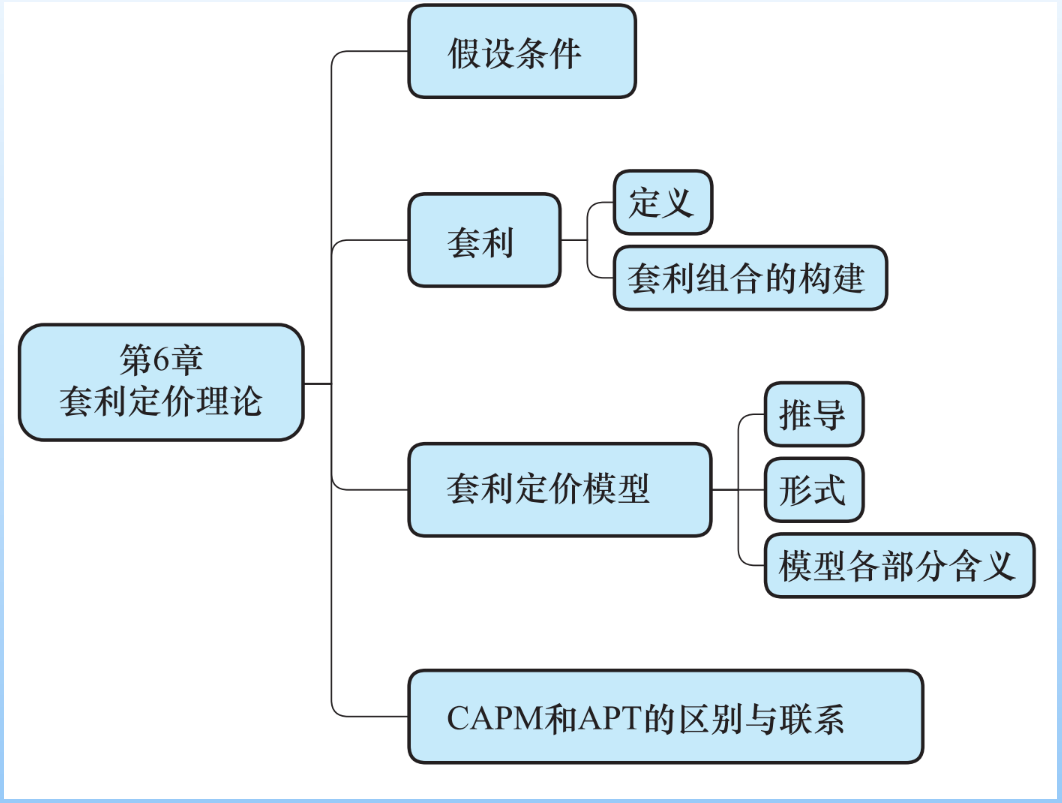
第六章 套利定价理论

内容框架


第6章
套利定价理论
假设条件
套利
定义
套利组合的构建
套利定价模型
推导
形式
模型各部分含义
CAPM和APT的区别与联系

一、背景介绍

（一）CAPM的局限和APT的诞生

- **CAPM的优点**
  - 明确了如何测度系统性风险，并为系统性风险赋予了经济含义
  - 明确了期望收益与系统性风险之间应该存在线性关系
  - 为定价风险证券做出了指导
- **CAPM的局限**
  - 假设过多，证明过程较为复杂
  - 模型中的系统性风险只源自于证券市场组合的风险，忽略了其他宏观层面的风险，如通货膨胀、失业率、利率变化等

套利定价理论的提出

- **1976年，斯蒂芬•罗斯（Stephen Ross）提出了套利定价理论（The arbitrage pricing model, APT)**
- **支持APT的理由：**
  - 首先，它没有CAPM推导那么复杂，也不用利用供需均衡机制，只需要在**无套利均衡**下就可以推出来。
  - 其次，如同资本资产定价模型，**APT也给出了与风险相关的，均衡期望收益的线性定价公式。**套利定价理论基于三个基本假定：

    （1）因素模型能够描述证券收益

    （2）市场上有足够的证券来分散风险

    （3）完善的证券市场不允许任何套利机会存在

（二）套利的概念

- **套利是**利用同一实物资产或证券的不同价格来赚取无风险利润的行为。**也可以说套利是**指没有净投资的情况下获得净收益的行为，是利用价格的暂时失衡而获取无风险利润的活动。
- **套利的三种类型：**
  - 第一类：投资成本为负，未来支付为0
  - 第二类：投资成本为0，未来支付为正
  - 第三类：投资成本为负，未来支付为正

套利的约束条件：在套利的同时，不承担风险。

一价定律（Law of One Price）

- **一价定律（Law of One Price）**指出如果两项资产在所有的经济性方面均相同，那它们应该具有相同的市场价格。
- **一价定律被套利者所利用：**一旦发现违背了这一定律，**他们将进行套利活动，在价格低的地方买进资产同时在价格高的地方售出资产。**
- **在这一过程中，他们将促使低价资产的市场价格上扬，而高价资产市场价格下跌，直到套利机会消失。**

套利的作用：

- 套利行为是现代有效市场的一个决定性因素。
- 根据套利定价原则，当市场存在错误定价（mispricing）时，市场上的少数理性的投资者立即通过套利操作，构筑大额套利头寸产生巨大的市场力量将偏离的市场价格推至重建市场均衡状态。

套利举例

- 假设未来有四种可能发生的市场状态，每种状态发生的概率均为25%。下表中是A和B两只资产在四种状态下的收益率。

	State 1	State 2	State 3	State 4
概率	0.25	0.25	0.25	0.25
A的收益率	15%	10%	6%	8%
B的收益率	10%	5%	1%	3%

- 请问是否存在套利机会？
- 可以看出来，在未来的任意一种状态下，证券A的收益都高于证券B的收益。我们能否用A和B构造一个无风险、零成本、正收益的套利组合呢？

套利举例

- **我们构造一个如下的组合：**
  - 卖空1元钱的资产B
  - 买入1元的的资产A
  - 该组合是自融资组合，其中A的权重为100%，B的权重为-100%。

	State 1	**State 2**	**State 3**	**State 4**
概率	0.25	0.25	0.25	0.25
A的收益率	15%	10%	6%	8%
B的收益率	10%	5%	1%	3%
组合的收益率	**5%**	**5%**	**5%**	**5%**

套利举例

- **该组合有如下特点：**
  - **1. 零成本：**该组合用空头为多头融资，故没有初始投资成本
  - **2. 正收益：**在各个状态下，该组合都获得正收益
  - **3. 无风险：**在各个状态下，该组合的收益都是5%，没有波动

	State 1	**State 2**	**State 3**	**State 4**
概率	0.25	0.25	0.25	0.25
A的收益率	15%	10%	6%	8%
B的收益率	10%	5%	1%	3%
组合的收益率	**5%**	**5%**	**5%**	**5%**

套利均衡

- 如上面两个例子所示，当套利机会出现的时候，聪明的套利者大量会**买入低估的资产，做空高估的资产**。
- 这一套利行为导致两只经济属性相同资产的**价格迅速趋于一致，直至套利机会消失**。
- 根据以上观点，证券价格一旦出现定价偏差，套利者会迅速修正这一偏差，使价格恢复证券的基本面价值。
- **这就是套利均衡。**
- 而套利定价理论的目的就是描述在市场达到无套利均衡的时候，证券的期望收益与宏观风险因素之间的线性关系。

二、套利定价理论

（一）套利定价理论的基本假设
（二）构建套利组合
（三）单因素套利定价模型（补充材料）
（四）多因素套利定价模型（补充材料）

（一）套利定价理论的基本假设

（1）市场是完全竞争的，无摩擦的。

（2）投资者是非满足的，当发现套利机会，会构造尽可能多的套利组合来赚钱。

（3）市场上存在大量不同的资产，市场上证券种类个数大于因子种类个数*k*；

（4）允许卖空，所得款项归卖空者所有；

（5）$E(\varepsilon_i)=0$，$cov(\varepsilon_i,F)=0$，$cov(\varepsilon_i,\varepsilon_j)=0$

（6）所有投资者的预期都相同，任何证券*i*的回报率满足*k*因素模型：

$$r_i = E(r_i) + b_{i,1}\, F_1 + b_{i,2}\, F_2 + \ldots + b_{i,k}\, F_k + \varepsilon_i$$

- r_i是证券i的真实收益率（观测值）
- $E(r_i)$是证券i的期望收益率
- **F_k表示因素的真实值相对其期望值的偏离值**
- $b_{i,k}$是证券i对因素F_k的敏感度
- ε_i是真实收益率中的随机残差项

任意风险证券***i***的真实的收益率是受因素的波动影响的，***i*的真实收益率偏离其期望值的程度是由因素偏离其期望值的程度决定的。**

对比本章的因素模型与第五章的因素模型

- 第五章的因素模型：

$$r_i = a_i + b_{i,1}\, F_1 + b_{i,2}\, F_2 + \ldots + b_{i,k}\, F_k + \varepsilon_i$$

- 本章的因素模型：

$$r_i = E(r_i) + b_{i,1}\, F_1 + b_{i,2}\, F_2 + \ldots + b_{i,k}\, F_k + \varepsilon_i$$

  - 两个模型都表示证券i的收益受到k个因素的影响。
  - 但是，第五章中，F表示因素的真实值
  - **本章中，*F*表示因素的真实值相对其期望值的偏离值**
  - 两个模型的截距项也不同

以单因素模型为例：

$$\boldsymbol{r_i = E(r_i) + b_i F + \varepsilon_i}$$

实际应该写成：

$$\boldsymbol{r_i = E(r_i) + b_i\big(F - E(F)\big) + \varepsilon_i}$$

（二）构建套利组合

$$\begin{cases} w_1 + w_2 + \cdots + w_n = 0 \\ b_{11}w_1 + b_{21}w_2 + \ldots + b_{n1}w_n = 0 \\ b_{12}w_1 + b_{22}w_2 + \ldots + b_{n2}w_n = 0 \\ \qquad \cdots \qquad \cdots \\ b_{1K}w_1 + b_{2K}w_2 + \ldots + b_{nK}w_n = 0 \\ \bar{r}_1 w_1 + \bar{r}_2 w_2 + \ldots + \bar{r}_n w_n > 0 \end{cases}$$

$$(n > K)$$

定义 如果一个证券组合满足下列三个条件：

（1）零投资，初始成本为零；

（2）无风险，对因子的敏感度为零；

（3）正收益，期望回报率为正。

- 我们称这种证券组合为**套利组合（arbitrage portfolios）**。

- **零投资：**套利组合中对一种证券的购买所需要的资金可以由卖出别的证券来提供，即自融资（Self-financing）组合。
- **无风险：**在因子模型条件下，因子波动导致风险，因此，无风险就是套利组合对任何因子的敏感度为0。
- **正收益：**套利组合的期望收益大于零。

套利组合例

- 假定投资者拥有3种证券，他所持的证券当前的市值为1200万美元。三种证券的期望回报率和因素敏感度如下表所示。假设市场上只有一个宏观风险因素F。此时得三只证券是否处于均衡状态？如果不是，价格应该如何变化？

i	期望收益率%	敏感因子b_i
证券1	15	0.9
证券2	21	3.0
证券3	12	1.8

套利组合例

- 求解以下线性不等式组：

$$w_1 + w_2 + w_3 = 0$$ （自融资）

$$b_{11}w_1 + b_{21}w_2 + b_{31}w_3 = 0$$ （对因素的敏感程度为0）

$$E(r_1)w_1 + E(r_2)w_2 + E(r_3)w_3 > 0$$ （期望收益为正）

$$\begin{gathered} w_1 + w_2 + w_3 = 0 \\ 0.9w_1 + 3.0w_2 + 1.8w_3 = 0 \\ 0.15w_1 + 0.21w_2 + 0.12w_3 > 0 \end{gathered}$$

- 满足上述不等式组的解由无数个，即可以构造无数个套利组合。

套利组合例

- **条件1：**考虑套利组合（0.1，0.075，-0.175）购买120万（1200万× 0.1）美元的证券1和90万（1200万× 0.075）美元的证券2，同时卖出210万美元的证券3，该组合的在三只资产的权重之和为零： $0.1+0.075-0.175=0$
- **条件2：该组合对风险因素的敏感度为零：**

$$0.1\times0.9+0.075\times3.0-0.175\times1.8=0$$

- **条件3：该组合的期望收益：**

$$E\left(r_p\right)=0.1\times0.15+0.075\times0.21-0.175\times0.12=0.01>0$$

说明这个套利组合的套利收益率为0.01

面对套利组合，投资者采取的行为

- **对于任何只关心更高回报率而忽略非因子风险的投资者而言，这种套利证券组合是相当具有吸引力的。它不需要成本，没有因子风险，却具有正的期望回报率。**

- **在上面的例子，因为（0.1，0.075，-0.175）是一个套利证券组合，所以每个投资者都会利用它。**
  - 从而，每个投资者都会购买证券1和2，而卖空证券3。
  - 由于每个投资者都采用这样的策略，结果导致证券1和2的价格上升，收益率下降。证券3的价格将下降，收益率上升。
  - 这种价格和收益率的调整过程一直持续到所有套利机会消失为止，此时，证券市场处于一个均衡状态。

无套利均衡状态下的资产收益率

- 对于任何资产组合(w_1, w_2, w_3)，在均衡状态下一定满足：

$$w_1 + w_2 + w_3 = 0$$
$$b_{11}w_1 + b_{21}w_2 + b_{31}w_3 = 0$$
$$E(r_1)w_1 + E(r_2)w_2 + E(r_3)w_3 = 0$$

- 则必然存在常数λ_0 和 λ_1，使得：

$$E(r_i) = \lambda_0 + \lambda_1 b_i \quad i = 1,2,3$$

也可以写作：$E(r_i) = r_f + b_i(E(F) - r_f) \quad i = 1,2,3$

即由无套利得出的定价关系，这个方程就是套利定价理论的资产定价方程。其中，$\boldsymbol{\lambda_0}$是这个方程的截距，表示的是因素敏感度为0的证券的期望收益，即无风险收益。$\boldsymbol{\lambda_1}$是资产定价线的斜率，表示的是**因素*F*的风险溢价**。

- 对于上述例子，刻画**均衡状态**的常数$\boldsymbol{\lambda_0}$ 和 $\boldsymbol{\lambda_1}$和的一组可能值为 $\boldsymbol{\lambda_0} = 8\%$ 和 $\boldsymbol{\lambda_1} = 4\%$。根据APT资产定价方程 $E(r_i) = \lambda_0 + \lambda_1 b_i$ ，则有：

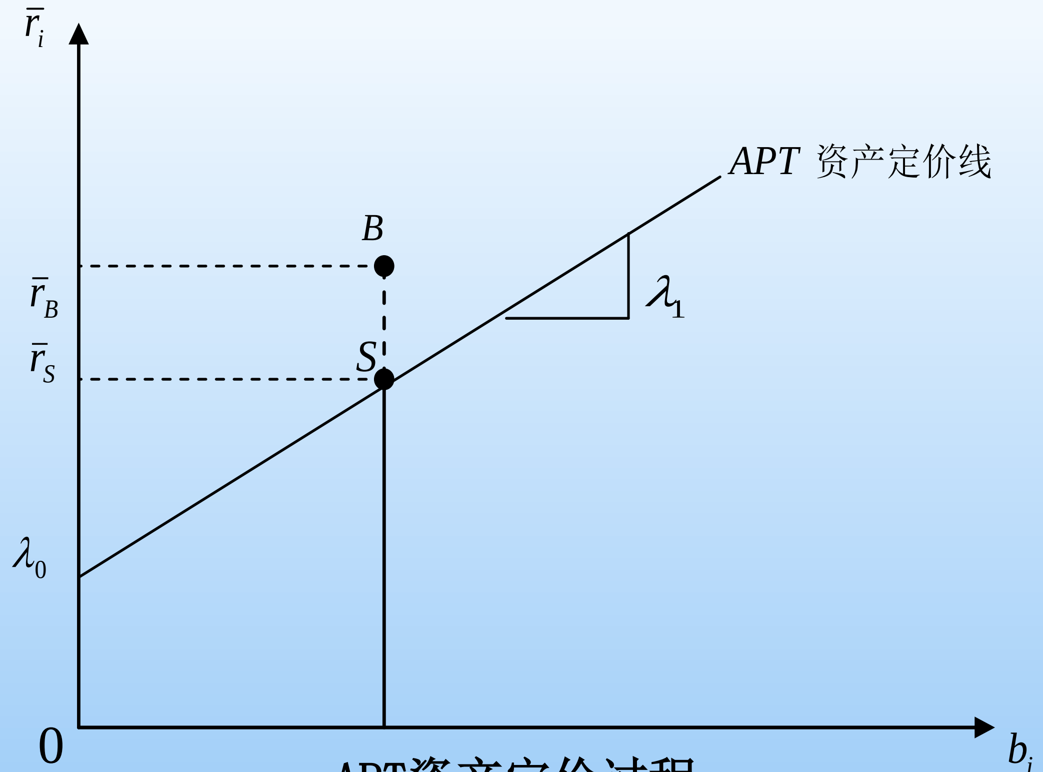
$$E(r_1) = 0.08 + (0.04 \times 0.9) = 11.6\%$$

$$E(r_2) = 0.08 + (0.04 \times 3.0) = 20.0\%$$

$$E(r_3) = 0.08 + (0.04 \times 1.8) = 15.2\%$$

- 在均衡时，证券的期望收益率$E(r_i)$是它的因子敏感度b_i的线性函数。

- 在套利均衡时，所有的证券都落在套利定价线上，只要证券偏离APT定价线就会有套利机会。

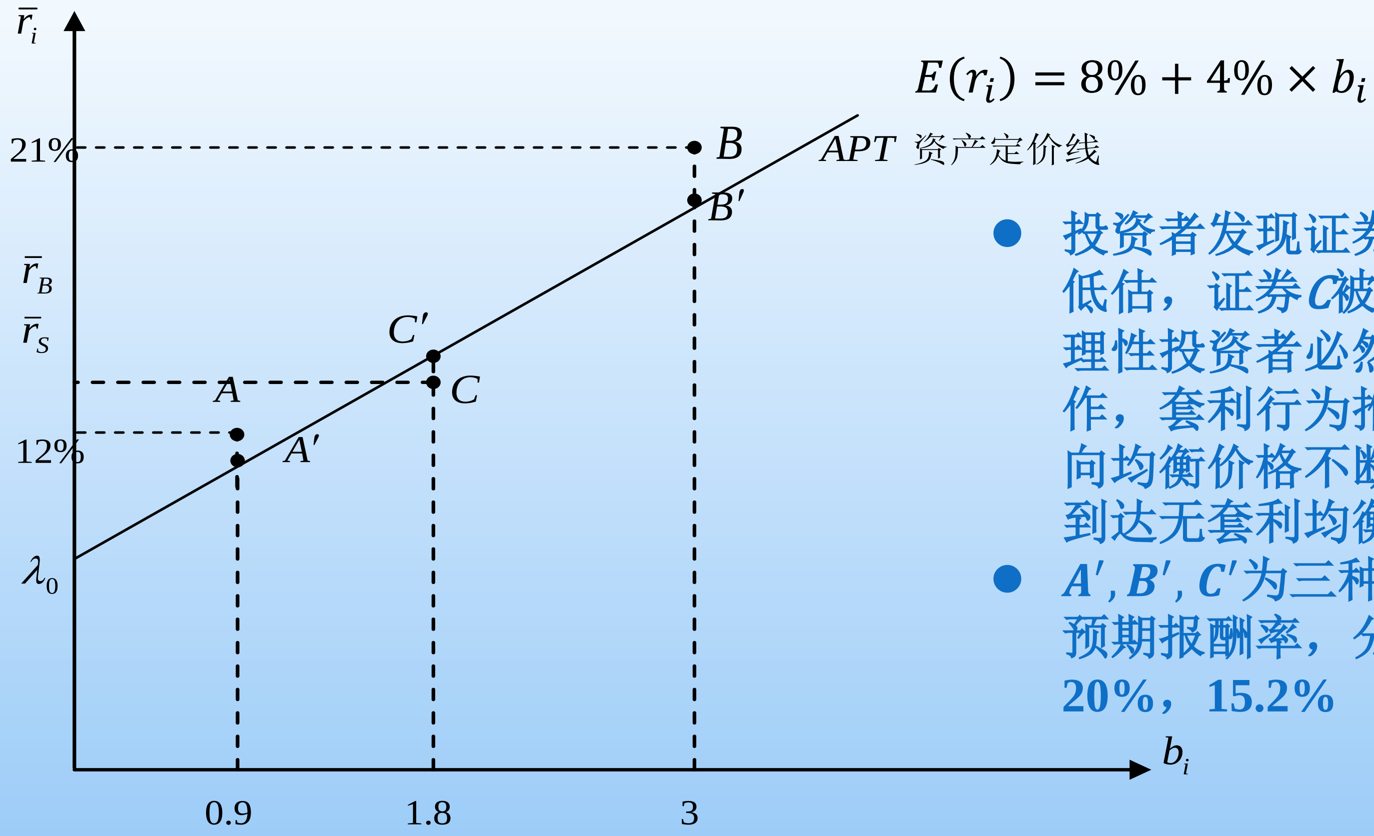


APT资产定价过程

证券*B*被低估，构建套利组合：

- 投资者通过卖出一定数量的证券*S*来支付买入证券*B*的资金，从而投资者不需要追加任何资金。
- 由于证券*B*和证券*S*具有相同的敏感度，因此对证券*S*的卖出和对证券*B*的买入将构成一个对因素无敏感的组合。
- 证券B的预期回报率比证券S的预期回报率高，所以投资者构建的套利组合预期收益为正。

套利均衡状态下的无套利机会



APT的无套利机会的例证

- **投资者发现证券*A*和证券*B*被低估，证券*C*被高估。因此理性投资者必然进行套利操作，套利行为推动资产价格向均衡价格不断靠近，直到到达无套利均衡状态。**
- ***A′*, *B′*, *C′*为三种证券的均衡预期报酬率，分别为11.6%，20%，15.2%**

三、APT和CAPM的比较

（一）联系：

APT和CAPM在本质上是一样的，都是一个证券价格的均衡模型。当把市场组合作为唯一的风险因素时，单因素APT与CAPM是等价的，套利定价理论导出的风险收益关系与资本资产定价模型的结论完全一样。

APT： $E(r_i) = r_f + b_i(E(F) - r_f)$

CAPM： $E(r_i) = r_f + \beta_{iM}(E(r_M) - r_f)$

（二）区别：

1. **APT强调的无套利均衡原则，其出发点是排除无套利均衡机会，若市场上出现非均衡机会，市场套利力量必然重建均衡；CAPM是典型的风险收益均衡关系主导的市场均衡，是市场上众多投资者行为结果均衡的结果。这是两者最根本的区别。**

2. **CAPM是建立在一系列假设之上的非常理想化的模型，这些假设包括马克维茨建立均值-方差模型时所作的假设。 而APT简单的多，更接近现实市场：**
   - APT不需要CAPM赖以成立的投资者风险偏好的假设。
   - APT不需要对资产收益的分布做出假设。
   - APT允许多个因素对证券收益产生影响。
   - APT的不需要市场组合。

3. **风险的来源不同：CAPM仅考虑市场风险；APT除市场风险之外的其他风险。**

补充材料

（三）单因素套利定价模型证明

- 本节证明在有n只风险证券和1个风险因素的情况下，任意证券或组合的期望收益与因素的风险溢价存在近似线性关系。
- 构造一个有n只风险证券组成的套利组合P， 其权重向量为：

$$W^T = [w_1 \ \ w_2 \ \ \ldots \ w_n]$$

- 该套利组合的初始投资成本为0，因此：

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = w_1 + w_2 + \ldots + w_n = 0$$

（三）单因素套利定价模型

- 假设任意证券的收益由以下单因素收益生成过程生成：

$$r_i = E(r_i) + b_i F + \varepsilon_i$$

- 该套利组合的收益为：

$$r_p = \sum_{i=1}^{n} w_i r_i = \sum_{i=1}^{n} w_i E(r_i) + \underbrace{\sum_{i=1}^{n} w_i b_i F_1}_{\text{系统性风险}} + \underbrace{\sum_{i=1}^{n} w_i \varepsilon_i}_{\text{非系统性风险}}$$

套利组合风险为零

- 套利组合***P***的非系统性风险可以通过分散化消除，当***n***足够大，即持有足够多的证券时，***n***个随机残差项的加权之和趋近于**0**。

$$\sigma_{\varepsilon_P}^2 = \lim_{n\to\infty}\sum_{i=1}^{n} w_i^2 \sigma_{\varepsilon_i}^2 = 0$$

- 套利组合***P***的系统性风险通过选择权重使组合的因素敏感度为**0**来消除。

$$\sum_{i=1}^{n} w_i b_i = w_1 b_1 + w_2 b_2 + \ldots + w_n b_n = 0$$

套利组合期望收益为零

- 套利组合的系统性风险和非系统风险都已消除，因此其收益为：

$$r_p = \sum_{i=1}^{n} w_i E(r_i) + \sum_{i=1}^{n} w_i b_i F_1 + \sum_{i=1}^{n} w_i \varepsilon_i = \sum_{i=1}^{n} w_i E(r_i)$$

$$= \sum_{i=1}^{n} w_i E(r_i)$$

- 套利组合的期望收益：

$$E\left(r_p\right) = \sum_{i=1}^{n} w_i E(r_i)$$

套利组合期望收益为零

- 在无套利均衡下，不存在套利机会，因此，无成本无风险的套利组合的期望收益应该为**0**：

$$E\left(r_p\right) = \sum_{i=1}^{n} w_i E\left(r_i\right) = 0$$

套利组合的线性方程组

- 在无套利均衡下，套利组合满足以下三个线性方程

零成本	$\longrightarrow$	$\sum_{i=1}^{n} w_i = 0$	$\longrightarrow$	$\boldsymbol{W^T I} = 0$
零因素暴露	$\longrightarrow$	$\sum_{i=1}^{n} w_i b_i = 0$	$\longrightarrow$	$\boldsymbol{W^T b} = 0$
期望收益	$\longrightarrow$	$\sum_{i=1}^{n} w_i E(r_i) = 0$	$\longrightarrow$	$\boldsymbol{W^T e} = 0$

- 如果该套利组合的线性方程组成立，

$$\begin{cases} W^T I = 0 \\ W^T b = 0 \\ W^T e = 0 \end{cases}$$

- 在向量空间中，如果向量W与向量I、b、e均正交，则向量e落在由向量I和向量b生成得二维空间上。
- 即由向量e可以由向量I和向量b线性表示

（三）单因素套利定价模型

- 单因素APT表示为：

$$E(r_i) = \boldsymbol{\lambda_0} + \boldsymbol{\lambda}_1 b_i$$

- $\boldsymbol{\lambda_0}$表示的是因素敏感度为0的证券的期望收益，即无风险收益。
- $\boldsymbol{\lambda_0}$+ $\boldsymbol{\lambda}_1$表示的是因素敏感度为1的证券或组合的期望收益。
- 因此， $\boldsymbol{\lambda}_1$表示的是因素敏感度为1的证券或组合的风险溢价，也就是因素F的风险溢价。
- 综上，单因素APT中，证券或组合的期望收益可以近似表示为无风险收益、因素风险溢价以及该证券对因素的敏感度的线性关系。

（三）单因素套利定价模型

- **单因素APT表示为：**

$$E(r_i) = \boldsymbol{\lambda_0} + \boldsymbol{\lambda_1} b_i$$

- **也可以表示为如下形式：**

$$E(r_i) = r_f + \left(\delta - r_f\right) b_i$$

- $\boldsymbol{r_f}$**是无风险收益，**$\boldsymbol{\delta}$**是对因素F的敏感度为1的组合的期望收益，**$\left(\boldsymbol{\delta - r_f}\right)$**表示因素的风险溢价。**
- **因素F的敏感度为1的组合也被成为因素组合。**

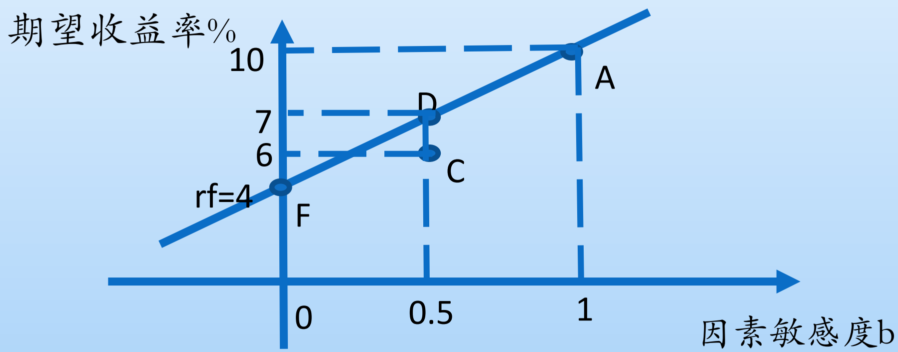
单因素套利定价理论的性质

- 性质**1.**对任意的资产***i***和***j***，它们具有不同的因素敏感度，当市场均衡时，它们的风险溢价必须正比于它们各自的因素敏感度。可表述为下式:

$$\frac{E(r_i) - r_f}{b_i} = \frac{E(r_j) - r_f}{b_j}$$

单因素套利定价理论的性质

- 在期望收益和因素敏感度坐标系中，均衡时任意证券或组合都应该落在从点rF出发，斜率为因素风险溢价的直线上，这条线等价于CAPM中的SML。



- 上图中A和D位于线上，因此是均衡定价的。资产C与D有同样的因素敏感度，但期望收益低于D，说明C的定价过高了。套利者会大量卖空资产C，使其回到线上。

单因素套利定价理论的性质

- **性质2. 如果两个证券或组合具有相同因素敏感度，那么在均衡时，它们一定具有相同的期望收益，否则将存在无风险套利机会，通过套利使二者期望收益相等。**

$$b_i = b_j \Rightarrow E(r_i) = E(r_j)$$

（四）多因素套利定价模型

- 多因素套利定价模型假设证券收益由***k***个风险因素生成：

$$\tilde{r}_i = E(\tilde{r}_i) + b_{i,1}\,\tilde{F}_1 + b_{i,2}\,\tilde{F}_2 + \ldots + b_{i,k}\,\tilde{F}_k + \ldots + b_{i,K}\,\tilde{F}_K + \tilde{\varepsilon}_i$$

- 在无套利均衡下，套利组合必然满足以下三个条件：

$$\begin{cases} \boldsymbol{W}^{\boldsymbol{T}}\boldsymbol{I} = 0 \\ \boldsymbol{W}^{\boldsymbol{T}}\boldsymbol{B}_{\boldsymbol{n}\times\boldsymbol{K}} = \boldsymbol{0}_{\boldsymbol{1}\times\boldsymbol{K}} \\ \boldsymbol{W}^{\boldsymbol{T}}\boldsymbol{e} = 0 \end{cases}$$

（四）多因素套利定价模型

- **此时的B不再是n×1的向量，而是n × k的矩阵**

$$w=\begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdots \\ w_n \end{pmatrix} \quad I=\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \cdots \\ 1 \end{pmatrix} \quad e=\begin{pmatrix} E(r_1) \\ E(r_2) \\ \cdots \\ E(r_n) \end{pmatrix} \quad B=\begin{pmatrix} b_{11} & b_{21} & \cdots & b_{n1} \\ b_{12} & b_{22} & \cdots & b_{n2} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{1K} & b_{2K} & \cdots & b_{nK} \end{pmatrix}_{n\times K}$$

$$b1=\begin{pmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \cdots \\ b_{n1} \end{pmatrix}_{n\times 1} \quad b2=\begin{pmatrix} b_{12} \\ b_{22} \\ \cdots \\ b_{n2} \end{pmatrix}_{n\times 1} \quad \cdots \quad bK=\begin{pmatrix} b_{1K} \\ b_{2K} \\ \cdots \\ b_{nK} \end{pmatrix}_{n\times 1}$$

（四）多因素套利定价模型

- 此时的套利组合关于每个因素$\boldsymbol{F_k}$的敏感度都是零，因此方程组中有 **k+2**个方程。

$$\begin{cases} w_1 + w_2 + \cdots + w_n = 0 \\ b_{11}w_1 + b_{21}w_2 + \ldots + b_{n1}w_n = 0 \\ b_{12}w_1 + b_{22}w_2 + \ldots + b_{n2}w_n = 0 \\ \qquad \ldots \qquad \ldots \\ b_{1K}w_1 + b_{2K}w_2 + \ldots + b_{nK}w_n = 0 \\ E(r_1)w_1 + E(r_2)w_2 + \ldots + E(r_n)w_n = 0 \end{cases} \Longrightarrow \begin{array}{l} w \perp I \\ w \perp b1 \\ w \perp b2 \\ \ldots \\ w \perp bK \\ w \perp e \end{array}$$

$$(n > K)$$

（四）多因素套利定价模型

- **根据Farkas引理，存在常数λ_0， λ_1，…， λ_n，是风险证券i的期望收益可以表示为以下形式：**

$$
\begin{pmatrix} E(r_1) \\ E(r_2) \\ \dots \\ E(r_i) \\ \dots \\ E(r_n) \end{pmatrix} = \lambda_0 \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \dots \\ 1 \\ \dots \\ 1 \end{pmatrix} + \lambda_1 \begin{pmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \dots \\ b_{i1} \\ \dots \\ b_{n1} \end{pmatrix} + \dots + \lambda_K \begin{pmatrix} b_{1K} \\ b_{2K} \\ \dots \\ b_{iK} \\ \dots \\ b_{nK} \end{pmatrix}
$$

取其中一行：

$$E(r_i) = \lambda_0 + \lambda_1 b_{i1} + \dots + \lambda_K b_{iK} \qquad \text{——APT}$$

（四）多因素套利定价模型

- 多因素套利定价模型：

$$E(\tilde{r}_i)=\lambda_0+\lambda_1 b_{i1}+\ldots+\lambda_K b_{iK}$$

- 也可以表示为以下形式：

$$\boldsymbol{E}(\tilde{r}_i)=\boldsymbol{r_f}+(\boldsymbol{\delta_1}-\boldsymbol{r_f})\boldsymbol{b_{i1}}+\ldots+(\boldsymbol{\delta_K}-\boldsymbol{r_f})\boldsymbol{b_{iK}}$$

- δ_k代表第$\boldsymbol{k}$个因素组合的期望收益率$\boldsymbol{E}(\widetilde{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{k}})$,该组合仅对因素$\boldsymbol{k}$有单位敏感性,对其他因素无敏感。因此，该因素组合的风险溢价 $\delta_k-\boldsymbol{r_f}$就代表了因素的风险溢价。

The End