



证券研究报告·金融工程跟踪

矿海拾趣（第2期）

——中信建投金融工程海外文献精选推荐

主要观点

推荐文献一： Style Timing: Value versus Growth 【2000】

推荐理由

本文从 Gordon model 这个最基础的模型出发，将价值相对成长的超额收益分解为两个维度：1) 价值组合相对成长组合的**价值价差 (Value Spread)**；2) 成长组合相对价值组合的**成长价差 (Growth Spread)**。其中价值价差的代理变量是价值股和成长股未来 12 个月预期 E/P 值的比值、BP 的比值、SP 的比值以及这三个变量构建的综合价值价差变量，而成长价差的代理变量是价值股和成长股未来 5 年 EPS 预期年化增长率的差值。统计检验结果发现，价值价差对未来 12 个月价值相对成长的超额收益有显著正的影响，而成长价差有显著负的影响。并且，基于综合价值价差变量和成长价差变量构建的方程解释力度可以达到 38%。本文的一大亮点就是建模采用的指标是源于原始的 Gordon model，虽然简单，但是非常直观而且很有说服力。最终实证检验的结果也很好地解释了价值股相对成长股的超额收益率不仅仅来源于价值股比成长股便宜，以及历史上为什么会出现价值股投资策略长时间回撤的现象。

推荐文献二： Statistical Arbitrage Pairs Trading Strategies: Review and Outlook 【2017】

推荐理由

配对交易思想简洁，历史悠久，在现实交易中（包括：跨品种套利、指数增强等诸多方面）被广泛应用，本期我们将引入 Krauss 关于配对交易的综述性文章，从方法论上和发展历史上对配对交易予以深入介绍。

金融工程研究

丁鲁明

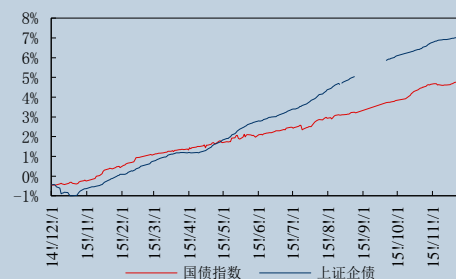
dingluming@csc.com.cn

021-68821623

执业证书编号：S1440515020001

发布日期：2018 年 3 月 29 日

市场表现



相关研究报告

18.03.02 矿海拾趣（第一期）——中信建投金融工程海外文献精选推荐



目录

推荐文献一: Style Timing: Value versus Growth 【2000】	1
一) 研究背景	1
二) 模型和参数说明	1
2.1 模型介绍	1
2.2 指标参数说明	2
三) 实证结果	2
3.1 单个指标表现检验	2
3.2 多个指标综合检验	3
推荐文献二: Statistical Arbitrage Pairs Trading Strategies: Review and Outlook 【2017】	5
一) 距离方法:	6
二) 协整方法:	7
三) 时间序列方法:	8
四) 随机控制领域:	10
五) 其他方法:	10

图目录

图 1: 价值指标多空收益差表现 (季度调仓)	3
图 2: 价值因子滚动 12 个月收益表现	3
图 3: 价值价差(Value Spread)的描述性统计	4
图 4: E/P Spread	4
图 5: B/P Spread	4
图 6: S/P Spread	4
图 7: Growth Spread	4
图 8: Composite Value Spread & Growth Spread(标准化)	4
图 9: 实证回归结果汇总	5
图 10: 基于距离方法的配对交易文献	7
图 11: 基于协整方法的配对交易文献	8
图 12: 基于时间序列方法的配对交易文献	9
图 13: 基于随机控制理论的配对交易文献	10
图 14: 其他方法论下的配对交易文献	11



推荐文献一：Style Timing: Value versus Growth【2000】

推荐文献：Style Timing: Value versus Growth. The Journal of Portfolio Management 26(3):50-60 · March 2000

推荐人：段伟良

推荐理由：本文从 Gordon model 这个最基础的模型出发，将价值相对成长的超额收益分解为两个维度：1) 价值组合相对成长组合的**价值价差(Value Spread)**；2) 成长组合相对价值组合的**成长价差(Growth Spread)**。其中价值价差的代理变量是价值股和成长股未来 12 个月预期 E/P 值的比值、BP 的比值、SP 的比值以及这三个变量构建的综合价值价差变量，而成长价差的代理变量是价值股和成长股未来 5 年 EPS 预期年化增长率的差值。统计检验结果发现，价值价差对未来 12 个月价值相对成长的超额收益有显著正的影响，而成长价差有显著负的影响。并且，基于综合价值价差变量和成长价差变量构建的方程解释力度可以达到 38%。本文的一大亮点就是建模采用的指标是源于原始的 Gordon model，虽然简单，但是非常直观而且很有说服力。最终实证检验的结果也很好地解释了价值股相对成长股的超额收益率不仅仅来源于价值股比成长股便宜，以及历史上为什么会出现价值股投资策略长时间回撤的现象。

一）研究背景

大量的学术文献都验证价值股策略在选股中的有效性，代表性的文献有 Fama&French(1992, 1993), Capaul, Rowley, Sharpe(1993)都用不同国家的数据验证了长期来看，价值股的表现好于成长股。但是，需要承认的是，这个策略并不是无风险的，也经常会有长时间表现不好的阶段。为了提高价值股策略的有效性，很多学者采用了各种方法去预测价值因子的收益率。研究的角度有：经济扩张、金融环境、利率期限结构、信用利差以及其他的宏观经济指标。但是，由于这些变量都有实际的经济意义，因此我们很难去判断得到的相关关系到底是真实的，还是数据上的巧合。而本文则从 Gordon model 这个最基础的模型出发，将价值相对成长的超额收益分解为两个维度：1) 价值组合相对成长组合的**价值价差(Value Spread)**；2) 价值组合相对成长组合的**成长价差(Growth Spread)**。

二）模型和参数说明

2.1 模型介绍

该文献基于 Gordon Model，将价值和成长的收益率差异的来源分解为两个：1) 价值组合相对成长组合的**价值价差(Value Spread)**；2) 价值组合相对成长组合的**成长价差(Growth Spread)**。如下所示，其中 E(R) 代表期望收益率，E/P 代表预期下一年盈利收益率，g 代表预期盈利增长率：

$$E(R) = E/P + g$$

对于价值股和成长股，我们分别有：

$$E(R_{value}) = E/P_{value} + g_{value}, \quad E(R_{growth}) = E/P_{growth} + g_{growth}$$

那么,价值股和成长股的表现差异就可以分解为:

$$E(R_{value} - R_{growth}) = (E/P_{value} - E/P_{growth}) - (g_{growth} - g_{value})$$

其中,等式右边的第一项**价值价差(Value Spread)**,第二项可以看做是**成长价差(Growth Spread)**。一般而言,价值股和成长股相比,价值股的 E/P 更高,而成长股的 g 更高,所以这两项一般为正。该文献将价值股和成长股的价差分解为这两个维度,虽然简单,但是非常直观。**这也就解释了为什么价值股策略并不一定长期有效**,因为价值股策略只考虑的 E/P,而价值股和成长股的表现差异不仅仅取决于它们 E/P 的差异,还取决于 g 的差异。一旦成长股的 g 远高于价值股的 g,并且超过价值股和成长股 E/P 的差异,那么这时候配置成长股可以获得的期望收益率是更高的。

2.2 指标参数说明

E/P: 分别用三个指标来衡量个股是否是价值股, E/P, B/P, S/P

其中, E/P: IBES 预测的未来 12 个月的 EPS/当前股价, B/P:普通股股权/当前总市值, S/P:销售收入/(当前总市值+长期负债的账面价值-现金及其等价物)。另外,文中还对这些指标做了行业中性化处理:

$$\text{Industry-Adjusted } E/P_{it} = E/P_{it} - \overline{E/P}_{it}$$

$$\text{Industry-Adjusted } B/P_{it} = B/P_{it} - \overline{B/P}_{it}$$

$$\text{Industry-Adjusted } S/P_{it} = S/P_{it} - \overline{S/P}_{it}$$

基于行业中性化后的三个价值指标,本文还构建了一个综合的价值指标:

$$\text{Value Composite} = \text{Average}[\text{Rank}(E/P) + \text{Rank}(B/P) + \text{Rank}(S/P)]$$

g: t 时刻 EPS 长期预期增长率的中位数(5 年期)

三) 实证结果

3.1 单个指标表现检验

本文分别参考行业中性化后的价值指标 E/P、B/P、S/P、Value Composite,将股票分为 10 组,最高的那组可以看做价值组(Value),最低的那组可以看做成长组(Growth)。可以发现,通过 Value Composite 分组后的年化超额收益为 6.25%, t 统计量为 2.46。而从因子滚动 12 个月的收益表现来看,尽管价值组长期来看表现好于成长组,但是 **1982~1999 确实也出现了三段大的回撤区间**: 1989~1990, 1995~1996, 1998~1999。

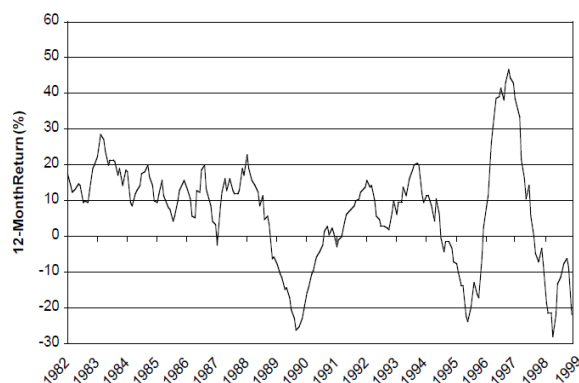
图 1：价值指标多空收益差表现（季度调仓）

VALUE STRATEGY PERFORMANCE
 DECILE 10 (VALUE) MINUS DECILE 1 (GROWTH)
 JANUARY 1982-OCTOBER 1999

	E/P	B/P	S/P	Comp.
Average (annualized) (%)	2.74	3.38	6.79	6.25
Std. Dev. (annualized) (%)	9.83	9.52	8.93	10.75
Annual Sharpe Ratio	0.28	0.36	0.76	0.58
t-Statistic	1.18	1.50	3.21	2.46
Beta with S&P 500	0.00	-0.03	-0.02	-0.03
Best 12 Months (%)	34.7	25.5	34.6	46.1
Worst 12 Months (%)	-36.1	-26.8	-15.8	-28.1

数据来源：JPM、中信建投证券研究发展部

图 2：价值因子滚动 12 个月收益表现



数据来源：JPM、中信建投证券研究发展部

3.2 多个指标综合检验

考虑到价值因子历史上会出现长时间回撤，这里将 E/P 和 g 两个变量综合考虑进来，看看能否预测价值股和成长股的表现差异。首先让我们回顾最开始的等式：

$$E(R_{value} - R_{growth}) = (E/P_{value} - E/P_{growth}) - (g_{growth} - g_{value})$$

其中，等式右边的第一项**价值价差(Value Spread)**，第二项可以看做是**成长价差(Growth Spread)**。

价值价差(Value Spread)的代理变量是价值组的价值因子中位数和成长组的价值因子中位数的比值：

$$E/P \text{ Spread}_t = \frac{(\text{Value Portfolio Median } E/P_{it})}{(\text{Growth Portfolio Median } E/P_{it})}$$

$$B/P \text{ Spread}_t = \frac{(\text{Value Portfolio Median } B/P_{it})}{(\text{Growth Portfolio Median } B/P_{it})}$$

$$S/P \text{ Spread}_t = \frac{(\text{Value Portfolio Median } S/P_{it})}{(\text{Growth Portfolio Median } S/P_{it})}$$

成长价差(Growth Spread)就是原始 g 的差分值，不做变换。

首先看**价值价差(Value Spread)**，从历史数据来看，价值组的 E/P 中位数是成长组 E/P 中位数的 2.0 倍，也就是说，成长组的 P/E 是价值组 PE 的 2 倍。同样，价值组的 B/P 是成长组的 4.1 倍，价值组的 S/P 是成长组的 5.4 倍。

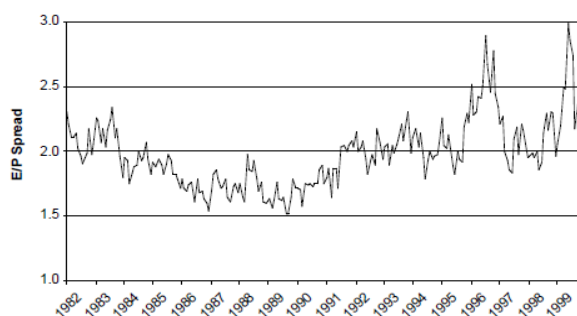
图 3：价值价差(Value Spread)的描述性统计

SUMMARY STATISTICS FOR VALUE SPREADS
VALUE (DECILE 10) ÷ GROWTH (DECILE 1)
FOR E/P, B/P, AND S/P
JANUARY 1982-OCTOBER 1999

	E/P Spread	B/P Spread	S/P Spread
Average	2.0×	4.1×	5.4×
Std. Dev.	0.3×	0.8×	1.1×
Maximum	3.0×	6.4×	8.5×
Minimum	1.5×	2.7×	3.4×
Current (11/99)	2.9×	5.8×	5.6×

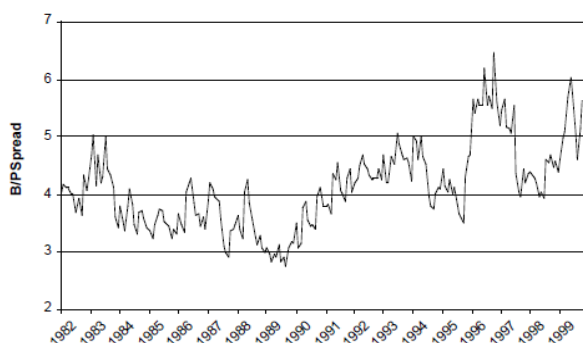
数据来源：JPM、中信建投证券研究发展部

图 4：E/P Spread



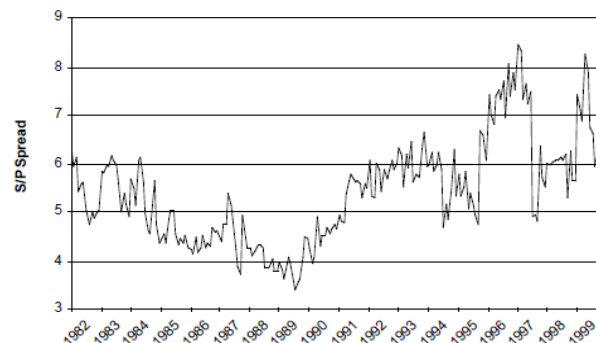
数据来源：JPM、中信建投证券研究发展部

图 5：B/P Spread



数据来源：JPM、中信建投证券研究发展部

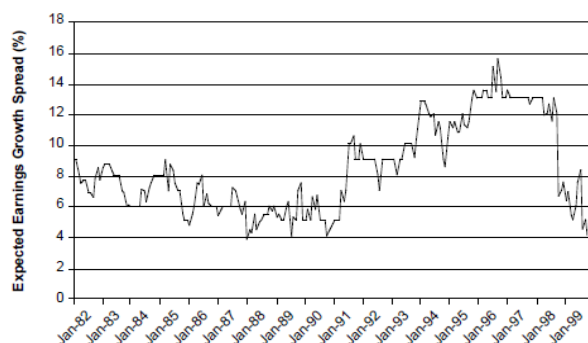
图 6：S/P Spread



数据来源：JPM、中信建投证券研究发展部

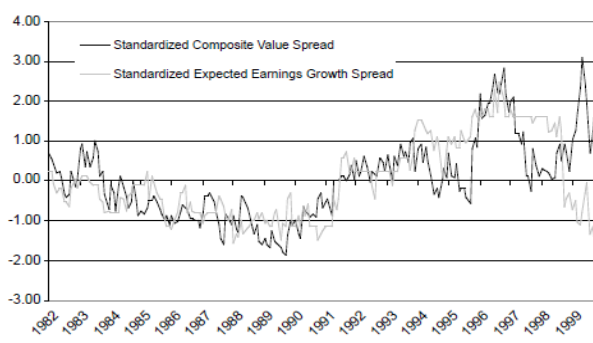
然后再看**成长价差(Growth Spread)**，会发现成长组的预期盈利增速始终高于价值组，而且波动范围比较大，在[3.9%，15.5%]区间不等。如果把价值价差和成长价差都做标准化处理，放到同一张图上可以发现，两个价差存在很强的正相关性（相关系数 0.62）。直观来说，**当价值股相对成长股非常便宜时，成长股相对价值股的预期增长率也往往越高**，所以说价值价差很大并不是决定价值股表现会好于成长股的充分条件。

图 7：Growth Spread



数据来源：JPM、中信建投证券研究发展部

图 8：Composite Value Spread & Growth Spread(标准化)



数据来源：JPM、中信建投证券研究发展部

下表是文献实证回归结果的汇总。**回归因变量**：价值组和成长组未来 12 个月的滚动收益率，回归自变量：E/P Spread, B/P Spread, S/P Spread, Composite Value Spread, Earning Growth Spread。

回归(1)-(4)是四个价值价差单变量的回归结果，发现这四个因子确实可以显著解释未来价值股相对成长股的超额收益，其中 Composite Value Spread 的解释力度达到 23%；

回归(5)是成长价差单变量的回归结果，回归系数为正，似乎与前面观点冲突，但事实上这个变量和价值价差变量本身存在很强的正相关性，因此这种关系很有可能是伪相关性，另外，回归系数的 t 值事实上也不显著。

回归(6)-(9)是价值价差和成长价值的综合回归结果，两个变量的回归系数非常显著，其中价值价差对未来超额收益的影响显著为正，成长价差对未来超额收益的影响显著为负。而且，综合价值价差指标和成长价差指标的回归解释力度可以达到 38.7%。

图 9：实证回归结果汇总

**PREDICTIVE REGRESSIONS OF ANNUAL VALUE STRATEGY RETURNS
ON VALUE SPREADS AND EARNINGS GROWTH SPREADS
JANUARY 1982-OCTOBER 1999**

	Constant	Value Spread	Earnings Growth Spread	Adjusted R-Square
1. B/P Only	7.12 (2.19)	7.57 (2.72)		24.6%
2. E/P Only	7.23 (2.18)	7.36 (2.28)		19.5%
3. S/P Only	6.98 (2.09)	6.44 (2.04)		17.4%
4. Composite Value Only	7.18 (2.17)	7.58 (2.47)		22.8%
5. Earnings Growth Only	6.45 (1.80)		1.84 (0.45)	1.1%
6. B/P with Earnings Growth	7.92 (3.03)	13.43 (4.17)	-7.57 (-2.67)	35.4%
7. E/P with Earnings Growth	7.87 (2.79)	11.57 (5.77)	-5.37 (-2.37)	26.0%
8. S/P with Earnings Growth	7.69 (2.79)	12.07 (4.24)	-7.05 (-3.01)	26.6%
9. Composite Value with Earnings Growth	8.29 (3.26)	15.52 (5.13)	-9.48 (-4.49)	38.7%

数据来源：JPM、中信建投证券研究发展部

推荐文献二： Statistical Arbitrage Pairs Trading Strategies: Review and Outlook 【2017】

推荐文献：Statistical Arbitrage Pairs Trading Strategies: Review and Outlook .Journal of Economic Surveys, 2017, 31(2)

推荐人：王赞杰



推荐理由：配对交易思想简洁，历史悠久，在现实交易中（包括：跨品种套利、指数增强等诸多方面）被广泛应用，本期我们将引入 Krauss 关于配对交易的综述性文章，从方法论上和发展历史上对配对交易予以深入介绍。

一）距离方法：

距离方法（distance approach）来源于 Gatev（2006），是目前受最广泛关注的配对交易框架体系，该方法的一般流程是：1）在形成期，计算每个个股标准化后的累计净值序列，并在此基础上，计算不同股票净值序列间的（欧氏）距离，并选取距离最小的股票对应用配对策略，2）在交易期，监测此后时间中两者间价差，若价差扩大则买低卖高。该方法优点是易于计算、结果具有一定的统计显著性，缺陷在于方法论上无法保证挑出的股票对一定最优。一般而言，人们总是希望用于作配对交易的证券对之间具有价差波动率高和均值回复特性强的特点。

Do&Faff（2010、2012）复制 Gatev 的方法，并将回测时间延长至 2009 年，但发现由于交易对的不收敛和考虑交易成本，配对交易收益几乎为零。于是他们将用于配对交易的股票对限制在同行业内，并选择存在价差项较多零点的股票对，虽然在扣除交易成本后，该策略仍能盈利，但收益率对交易数据较为敏感。

Chen（2012）将 Gatev 方法中的距离替换为 Pearson 相关系数，对于 beta 差异较大的 2 只个股，该方法可获得比 Gatev 更好的效果，同时，从结果上看，该策略收益接近 GGR 方法收益的 2 倍。

Nath(2003)首次将配对交易策略应用于美国政府债市场的高频交易环境中，当价差平方超过一定比例方差时开仓，并在价差回归中值时或出现较大亏损时平仓。研究发现，存在较大的不收敛风险。尽管如此，其结果依然跑赢基准，并获得不俗的 Sharp 率和收益亏损比。Bowen（2010）将该方法应用于富时 100 指数成分股的小时数据上，并发现盘中配对交易在系统风险暴露较低的同时可获得约年化 20% 的超额收益，但该方法对交易成本和执行速度较为敏感，扣除 15 个基点交易成本并考虑执行的滞后性后，超额收益所剩无几。

GGR 的配对交易算法已被后人在各方面进行了改进：Bianchi（2009）测试该方法在商品市场上的有效性（1990-2008），Mori&Ziobrowski（2011）将 GGR 方法应用于美国股票市场和 REIT 市场（1987-2008），并发现该策略在 REIT 市场上效果相对更好，但在 2000 年后 REIT 市场上的赚钱效应消失了。Broussard&Vaihekoski(2012)将 GGR 算法应用于 1979~2012 年的芬兰股票市场，Bowen&Hutchinson（2014）应用该算法于 1979 年至 2012 年的英国股票市场，并发现获取的超额收益在统计意义上具有显著性。

图 10：基于距离方法的配对交易文献

Study	Date	Sample	Objective
GGR	1999	U.S. CRSP 1962-1997	Baseline approach in U.S. equity markets: Pairs trading is profitable; returns are robust
GGR	2006	U.S. CRSP 1962-2002	
DF	2010	U.S. CRSP 1962-2009	Expanding on GGR: Profitability is declining and not robust to transaction costs; improved formation based on industry, number of zero crossings
DF	2012	U.S. CRSP 1963-2009	
CCL	2012	U.S. CRSP 1962-2002	Improvements: Quasi-multivariate pairs trading variants outperform univariate pairs trading; correlation-based formation outperforms SSD rule
P	2007	Brazil 2000-2006	
P	2009	Brazil 2000-2006	
ADS	2005	Taiwan 1994-2002	Sources of pairs trading profitability: Uninformed demand shocks, accounting events, common vs. idiosyncratic information, market frictions, etc.
PW	2007	U.S. subset 1981-2006	
EGJ	2009	U.S. CRSP 1993-2006	
JW	2013	Intl'; U.S. CRSP 1960-2008	
J	2015	U.S. CRSP 1962-2008	
JW	2015	Intl'; U.S. CRSP 1962-2008	
H	2013	U.S. S&P 500 2002-2009	Sensitivity of pairs trading profitability to duration of formation period and to volatility timing
H	2015	U.S.; Japan 2003-2013	
N	2003	U.S. GovPX 1994-2000	High-frequency: Pairs trading profitability in the U.S. bond market and the U.K. equity market
BHO	2010	U.K. FTSE 100 2007-2007	
BDZ	2009	Commodities 1990-2008	Further out-of-sample tests: Pairs trading profitability in the commodity markets, the Finnish market, the REIT sector, the U.K. equity market
BV	2012	Finland 1987-2008	
MZ	2011	U.S. REITS 1987-2008	
BH	2014	U.K. 1979-2012	

数据来源：中信建投证券研究发展部

二）协整方法：

Vidyamurthy (2004) 从实践的角度系统地阐述了基于协整方法的配对交易模型，并将该方法总结为三步：

1) 基于统计/基本面信息基础之上的协整对搜索：Vidyamurthy 更倾向于通过计算具有共同因子收益的相似性来搜寻用于配对交易的证券对；2) 可交易性的测试：虽然传统做法是通过检测计算

$$p_{it} = \mu + \gamma p_{jt} + \varepsilon_{ijt},$$

并对残差项 ε_{ijt} 进行单位根检验（Engle-Granger 方法）来检验其平稳性。然而，Vidyamurthy 认为协整并非必需，关键在于价差的均值回复特性，因此，对于该类问题，他更关注价差通过零点的频率。3) 交易规则设计：使用非参数方法，将开仓信号设置为 k 倍标准差。

单变量协整方法的首次应用是期货市场上的所谓价差交易。关于这方面的经典研究来自于 Girman & Paulson (1999)。他们主要测试能源类期货（原油与汽油、燃油）间的套利，在经过协整检验后，当价差偏离其移动均值 k 倍时，开仓相应期货品种，并当价差回落至移动均值时平仓；由于有基本面信息作保证，这种产业链间的套利收益较为可观。

多变量协整策略主要应用于指数策略，Dunis & Ho (2005) 等人对此有过详细介绍，无论是被动跟踪还是主动指数增强，多变量协整方法在此均有所收获，关键在于如何保证协整的实时有效性。

此外，协整技术还经常与其他方法相联系用于制作配对交易策略：Burgess 将协整与基于基因算法的神经网络相关联，Karakas（2009）应用分数阶协整构建均值回复组合，Peters（2011）使用 Bayes 方法进行协整测试。

图 11：基于协整方法的配对交易文献

Study	Date	Sample	Objective
V	2004	-	Most widely cited cointegration-based concept
LMG	2006	Selected stocks 2001-2002	Entry/exit signals: First, development of minimum profit bounds and then of optimal pre-set boundaries for cointegration-based pairs trading
PLG	2010	Selected stocks 2004-2005	
P	2012	Selected applications	
GP	1999	Crack spread 1983-1994	Futures spread trading: Cointegration-based trading of the crack spread, the WTI-Brent spread, the soy crush spread, the spark spread, the gold silver spread
DLE	2006c	Energy futures 1995-2004	
S	1999	Soy crush spread 1985-1995	
EL	2002	Spark spread 1996-2000	
WC	1994	Gold-silver spread 1988-1992	
HS	2003	64 Asian shares/ADRs 1991-2000	ADRs: Cointegration-based pairs trading strategies for ADRs and the local stocks
BR	2012	Selected stocks 2003-2009	
DGLR	2010	EuroStoxx 50 2003/2009-2009	Common stocks: Cointegration-based pairs trading frameworks with applications to the European high frequency, the Brazilian and the Chinese markets; improved selection via Granger-causality
CM	2013	Brazil 2005-2012	
GT	2011	Selected stocks 1997-2008	
LCL	2014	38 Chinese stocks 2009-2013	
HA	2015	U.S. S&P 500 2000-2011	Comparison studies: Comparison of univariate pairs trading strategies - most notably distance vs. different variants of cointegration approach
B	2011	Australia ASX 1996-2010	
BBS	2010	U.S. DJIA 1999-2008	
DH	2005	EuroStoxx 50 1999-2003	Passive index tracking/enhanced indexation: Development of multivariate cointegration-based strategies for tracking indices or artificial benchmarks
A	1999	Intl' indexes 1990-1998	
A	2001	U.S. S&P 100 1995-2000	
AD	2005	U.S. DJIA 1990-2003	
GPP	2012	Intl' indexes 2003-2009	Cointegration-based multivariate statistical arbitrage approaches
B	2003	EuroStoxx 50 1998-2002	
B	1999	U.K. FTSE 100 1997-1999	Multivariate statistical arbitrage approach based on cointegration and machine learning techniques
D	2011	U.S. Swap rates 1998-2005	Identification of sparse mean-reverting portfolios
K	2009	U.S. dual class firms 1980-2006	Fractional cointegration: Pairs trading approaches based on fractional cointegration
LC	2003	Gold-silver futures 1983-1995	
PKLMG	2011	Selected securities 1999-2005	Bayesian approach: Development of Bayesian approaches for cointegration-based pairs trading
GHV	2011	Selected securities 2009-2009	
GHLV	2014	U.S. DJIA 2009-2009	
CYP	2011	Selected stocks 2005-2008	Cointegration-based pairs trading framework with logistic mixture AR equilibrium errors

数据来源：Wind，中信建投证券研究发展部

三）时间序列方法：

在大多数时间序列方法中，形成期通常被忽视，作者总假定用于配对交易的证券对已被建立。人们将关注重点集中于对均值回复过程的建模，即：确定交易周期和如何获取最优交易信号上。

Elliott 是该领域被引用数量最多的作者，他在《Pair Trading》(2005)中使用具有均值回复效应的 Gauss Markov 链来对离散时间下的价差建模，并可通过状态空间方程求得：

$$x_{k+1} - x_k = (a - bx_k)\tau + \sigma\sqrt{\tau}\varepsilon_{k+1},$$

其中, $a \in \mathcal{R}_0^+$, $b > 0$, $\sigma \geq 0$, $\varepsilon_k \stackrel{iid}{\sim} \mathcal{N}(0,1)$ 。而对于连续时间变量,该模型即为著名的 Ornstein-Uhlenbeck

模型:

$$dx_t = \rho(\mu - x_t)dt + \sigma dW_t,$$

同时, 可对价差建模: $y_k = x_k + D\omega_k$, $D > 0$; 当 $y_k \geq \mu + c\left(\frac{\sigma}{\sqrt{2\rho}}\right)$ 或 $y_k \leq \mu - c\left(\frac{\sigma}{\sqrt{2\rho}}\right)$ 时, 开仓构建配对交易组合。该方法存在使用前提: 1) 模型具有可估计型, 2) 利用连续时间模型可估计期望持仓时间和期望收益, 3) 该模型基于配对交易的均值回复假设。对此, Do (2006) 曾撰文批评: 1) 需要用对数价格数据替代价格数据来计算价差, 因为只有在用对数价格数据时, 均值回复特性才能最大程度实现, 2) 严格的均值回复很少在现实中出现。

而 Do (2006) 的配对交易方法基于收益率数据, 并将配对交易关注重点集中在累计收益率上。Montana (2011) 引入时变参数, 并用 Bayes 方法替代 EM 算法来进行参数估计。

此外, Bertram (2010) 通过引入零均值的对称 O-U 过程: $dx_t = -\kappa x_t dt + \sigma dW_t$, 来对均值回复过程进行建模, 并得到相应的预期收益和风险:

$$\mu(a, m, c) = \frac{r(a, m, c)}{E(\mathcal{T})},$$

$$\sigma^2(a, m, c) = \frac{r^2(a, m, c) \text{VAR}(\mathcal{T})}{E^3(\mathcal{T})}.$$

Cummins & Bucca (2012) 则将该方法大规模应用于 2003-2010 年间的能源期货市场的价差分析后, 均取得不俗效果。

此后, 关于配对交易的 O-U 过程, Rampertshammer (2007)、Kim (2011)、Zeng & Lee (2014) 等人进行了更深入的讨论。同时, 在时间序列领域, Bock & Mestel (2009)、Bogomolov (2013)、Chen (2014) 等人从其他领域 (诸如: Markov 转移模型、非参数方法、Garch 模型) 对其进行更深入的研究。

图 12: 基于时间序列方法的配对交易文献

Study	Date	Sample	Objective
EVM	2005		- Modeling the spread in state space at the price level
DFH	2006		- Modeling the spread in state space at the return level
TM	2011	Selected stocks 1980-2008	Modeling the spread in state space with a Bayesian approach
B	2010	Energy futures 2003-2010	- Modeling the spread with OU processes; Development of optimal entry and exit thresholds; Selected empirical applications, also in high frequency settings
CB	2012		
R	2007		
K	2011		
ZL	2014	Selected stocks	
BM	2009	DJ STOXX 600 2006-2007	Further time-series approaches for spread modeling; Markov regime-switching; profit model based on OU-process; nonparametric approach with renko and kagi; three regime TAR-GARCH
KRF	2010	Energy futures 2000-2008	
B	2013	U.S.; Australia; 1996-2011	
CCC	2014	U.S. DJIA 2006-2013	

数据来源: Wind, 中信建投证券研究发展部

四）随机控制领域：

与时间序列方法类似，随机控制方法主要关注交易期的建模（价格路径的动态描述），随机控制理论主要用于确定价值和最优政策函数。Jurek&Yang（2007）通过引入随机控制理论，得到了 HJB 方程，并求得相应的封闭解。在此基础上，Liu&Timmermann（2013）通过将协整框架应用于资产价格动态模型中，得到对市场指数 P_{mt} 的动态描述：

$$\frac{dP_{mt}}{P_{mt}} = (r + \mu_{mt})dt + \sigma_m dB_t,$$

并将两个不同资产的动态价格路径描述为：

$$\frac{dP_{1t}}{P_{1t}} = (r + \beta\mu_m)dt + \beta\sigma_m dB_t + \sigma dZ_t + \beta dZ_{1t} - \lambda_1 x_t dt$$

$$\frac{dP_{2t}}{P_{2t}} = (r + \beta\mu_m)dt + \beta\sigma_m dB_t + \sigma dZ_t + \beta dZ_{2t} + \lambda_2 x_t dt$$

其中， $x_t = \ln(P_{1t}) - \ln(P_{2t})$ 。

图 13：基于随机控制理论的配对交易文献

Study	Date	Sample	Objective
JY	2007	Selected stocks 1962-2006	OU-process: Derivation of the optimal strategy
BB	2004		- for a risky asset following an OU-process under
MPW	2008		- various utilities
KPB	2008		
ELT	2011	Selected stocks 2002-2008	- Optimal stopping theory: Derivation of the optimal
LLW	2013		- closing of a pairs trade under different con-
SZ	2013		- ditions (OU process; Lévy processes with jumps;
L	2014		- opportunity costs, etc.)
KLNPTZ	2015		
LT	2013	Selected stocks 2006-2012	Cointegration: Derivation of the optimal strat-
TR	2013	Selected stocks 2011-2011	- egy for two cointegrated risky assets under various
CW	2015	Selected stocks	- utilities
LX	2015		

数据来源：Wind，中信建投证券研究发展部

五）其他方法：

除以上介绍的各类配对交易框架外，另有一些非常规方法在配对交易上的应用同样值得关注：Huck（2009、2010）通过引入机器学习方法来作配对交易，其框架主要基于三步：预测、排序、交易，并未使用任何均衡模型，将其应用于标普 100 成分股，可获得约 0.8% 的周超额收益。在 Ferreira（2008）、Liew&Wu（2013）、Stander（2013）等人的作品中，基于 Copula 方法的配对交易策略被广泛讨论。而 Avellaneda&Lee（2010）则将主成分

分析法应用于美国股票市场：在形成期，将个股收益进行分解：

$$R_i = \sum_{j=1}^m \beta_{ij} F_j + \varepsilon_i,$$

由于此时假设：

$$\frac{dP_{it}}{P_{it}} = \mu_i dt + \sum_{j=1}^m \beta_{ij} \frac{dI_{jt}}{I_{jt}} + dX_{it},$$

在交易期，对于以上方程中的特质项 dX_{it} ，可应用 Elliott（2005）中的方法建立开平仓信号。该策略测试了 1997 年至 2007 年美国市场上的表现，可获得 1.44 的 Sharp 率。

图 14：其他方法论下的配对交易文献

Study	Date	Sample	Objective
H	2010	U.S. S&P 100 1992-2006	Multivariate pairs trading based on Elman artificial neural networks and ELECTRE III
H	2009	U.S. S&P 100 1993-2006	
DLE	2006a	Crack spread 1995-2005	Pairs trading frameworks based on different machine learning techniques (artificial neural networks, higher order neural networks, recurrent neural networks, genetic algorithms, support vector regression, etc.)
DLE	2008	Energy future spreads 1995-2005	
TK	2006	Selected stocks 2005-2005	
LC	2008	Australia ASX selection 2000-2002	
HHCL	2015	Selected stocks 2003-2012	
DLMK	2015	Corn/eth. crush spread 2005-2010	
MP	2009	U.S. S&P 500 EFT 2000-2007	Copula based pairs trading frameworks
LW	2013	Selected stocks 2009-2012	
F	2008	Selected stocks 2007-2008	
SMB	2013	Selected stocks, SSFs 2007-2009	Multivariate pairs trading frameworks based on PCA
AL	2010	U.S. subset 1997-2007	
MTT	2009	U.S. S&P 500 1997-2005	

数据来源：Wind，中信建投证券研究发展部



分析师介绍

丁鲁明：同济大学金融数学硕士，中国准精算师，现任中信建投证券研究发展部金融工程方向负责人，首席分析师。9 年证券从业，历任海通证券研究所金融工程高级研究员、量化资产配置方向负责人；先后从事转债、选股、高频交易、行业配置、大类资产配置等领域的量化策略研究，对大类资产配置、资产择时领域研究深入，创立国内“量化基本面”投研体系。多次荣获团队荣誉：新财富最佳分析师 2009 第 4、2012 第 4、2013 第 1、2014 第 3 等；水晶球最佳分析师 2009 第 1、2013 第 1 等。

研究服务

社保基金销售经理

彭砚苹 010-85130892 pengyanping@csc.com.cn

姜东亚 010-85156405 jiangdongya@csc.com.cn

机构销售负责人

赵海兰 010-85130909 zhaohailan@csc.com.cn

北京非公募组

张博 010-85130905 zhangbo@csc.com.cn

李祉瑶 010-85130464 lizhiyao@csc.com.cn

周瑞 010-85130749 zhourui@csc.com.cn

刘凯 010-86451013 liukaizgs@csc.com.cn

张勇 zhangyongzgs@csc.com.cn

北京公募组

黄玮 010-85130318 huangwei@csc.com.cn

朱燕 85156403 zhuyan@csc.com.cn

任师惠 010-8515-9274 renshihui@csc.com.cn

黄杉 010-85156350 huangshan@csc.com.cn

王健 010-65608249 wangjianyf@csc.com.cn

上海地区销售经理

黄方禅 021-68821615 huangfangchan@csc.com.cn

戴悦放 021-68821617 daiyuefang@csc.com.cn

邓欣 dengxin@csc.com.cn

谈祺阳 tanqiyang@csc.com.cn

翁起帆 wengqifan@csc.com.cn

深广地区销售经理

胡倩 0755-23953981 huqian@csc.com.cn

许舒枫 xushufeng@csc.com.cn

程一天 chengyitian@csc.com.cn

曹莹 caoyingzgs@csc.com.cn

张苗苗 zhangmiaomiao@csc.com.cn

廖成涛 liaochengtao@csc.com.cn

陈培楷 chenpeikai@csc.com.cn



评级说明

以上证指数或者深证综指的涨跌幅为基准。

买入：未来 6 个月内相对超出市场表现 15% 以上；

增持：未来 6 个月内相对超出市场表现 5—15%；

中性：未来 6 个月内相对市场表现在-5—5%之间；

减持：未来 6 个月内相对弱于市场表现 5—15%；

卖出：未来 6 个月内相对弱于市场表现 15% 以上。

重要声明

本报告仅供本公司的客户使用，本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告的信息均来源于本公司认为可信的公开资料，但本公司及研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，也不保证本报告所包含的信息或建议在本报告发出后不会发生任何变更，且本报告中的资料、意见和预测均仅反映本报告发布时的资料、意见和预测，可能在随后会作出调整。我们已力求报告内容的客观、公正，但文中的观点、结论和建议仅供参考，不构成投资者在投资、法律、会计或税务等方面的最终操作建议。本公司不就报告中的内容对投资者作出的最终操作建议做任何担保，没有任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺。投资者应自主作出投资决策并自行承担投资风险，据本报告做出的任何决策与本公司和本报告作者无关。

在法律允许的情况下，本公司及其关联机构可能会持有本报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或类似的金融服务。

本报告版权仅为本公司所有。未经本公司书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布本报告。任何机构和个人如引用、刊发本报告，须同时注明出处为中信建投证券研究发展部，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和/或修改。

本公司具备证券投资咨询业务资格，且本文作者为在中国证券业协会登记注册的证券分析师，以勤勉尽责的职业态度，独立、客观地出具本报告。本报告清晰地反映了作者的研究观点。本文作者不曾也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

股市有风险，入市需谨慎。

中信建投证券研究发展部

北京

东城区朝内大街 2 号凯恒中心 B
座 12 层（邮编：100010）
电话：(8610) 8513-0588
传真：(8610) 6560-8446

上海

浦东新区浦东南路 528 号上海证券大
厦北塔 22 楼 2201 室（邮编：200120）
电话：(8621) 6882-1612
传真：(8621) 6882-1622

深圳

福田区益田路 6003 号荣超商务中心
B 座 22 层（邮编：518035）
电话：(0755) 8252-1369
传真：(0755) 2395-3859