

金融工程

证券研究报告

2017年11月17日

资产配置策略研究之二：

引入衰减加权和趋势跟踪的主成分风险平价模型研究

作者

吴先兴 分析师
SAC 执业证书编号：S1110516120001
wuxianxing@tfzq.com
18616029821

相关报告

- 1 《金融工程：基于半衰主成分风险平价模型的全球资产配置策略研究》 2017-09-18
- 2 《金融工程：基于风格因子视角的 FOF 投资策略研究》 2017-09-18
- 3 《金融工程：FOF 专题研究（四）：景顺长城沪深 300 增强指数型基金》 2017-08-07
- 4 《金融工程：FOF 专题研究（三）：华泰柏瑞量化 A 偏股混合型基金》 2017-07-24
- 5 《金融工程：FOF 专题研究（二）：国泰估值优势偏股混合型基金》 2017-07-18
- 6 《金融工程：FOF 专题研究（一）：银华中小盘精选偏股混合型基金》 2017-07-06

传统风险平价模型的局限性

传统的风险平价（Risk Parity, RP）模型存在许多局限性：（1）模型要求资产间的相关性尽可能低，而事实上现有资产间的相关度是非常高的；（2）模型会对所有资产分配权重，即便投资标的中有两种相关性极高资产；（3）模型没有考虑资产的未来收益表现，如果所有资产都处于下跌行情，模型依然会给资产分配权重；（4）模型没有考虑不同资产的风险特性；等等。

针对前两个问题，我们在上一篇资产配置模型的专题报告中提出了主成分风险平价模型。针对后两个问题，本报告将引入趋势跟踪法用于判断各资产未来的走势，同时引入风险的衰减加权法增强风格变化的影响。

资产的特性分析

通过对资产的理论分析和实证分析发现，资产的收益率是比较难以预测的，而资产的风险预测准确度较高，其中资产的波动率具有较强的聚集性和衰减性，资产间的相关系数具有长期关联性。因此，基于风险视角的资产模型的稳定性会更强，其中比较热门且最具代表性的便是风险平价模型。

主成分风险平价模型的优势

主成分风险平价（Principal Components Risk Parity, PCRP）模型利用主成分分析对原资产进行线性变换形成互不相关的主成分组合，然后使用标准风险平价模型确定主成分组合的最优投资权重，最后通过线性变换的反推确定原有资产的最优投资权重。通过理论和实证分析发现，相比于传统风险平价模型对高相关性资产的重复配置，主成分风险平价模型在完全正交的空间下实现等风险贡献的目标，同时该模型还具有资产筛选的功能。

资产配置模型的两点改进

考虑到资产之间的相关系数和波动率的稳定性不同，我们对资产收益率的相关系数和波动率分别使用不同的半衰期进行加权估计，从而形成基于衰减加权的预期风险估计方法。趋势跟踪假设市场会保持上涨或者下跌的趋势，即在上涨时做多，在下跌时做空，并预期这种趋势会继续保持，从而形成了基于趋势跟踪的预期走势估计方法。

将上述的预期风险估计和预期走势估计与主成分风险平价模型结合，便可得到三种改进主成分风险平价模型，同时本报告给出了相应的算法操作流程。

资产配置模型的实证分析

实证结果发现，TF-PCRP 模型的年化收益率为 6.03%，最大回撤为 0.94%，Calmar 比率达到 6.399；而 WDC-TF-PCRP 模型的年化收益率为 5.72%，最大回撤仅为 0.68%，Calmar 比率达到 8.418。

由此可见，预期走势估计对主成分风险平价模型在收益和风险的提升效果是明显的，而预期风险对主成分风险平价模型在风险控制方面是较好的。另外，由于主成分风险平价模型大部分都是投资在债券上，因此我们发现可以通过债券加杠杆的形式增强模型的收益。

风险提示：本报告为基于历史数据对模型进行实证研究，不同市场结构的调整以及交易因素的影响等皆有可能使得模型失效。



内容目录

1. 引言	5
2. 资产的特性分析	5
2.1. 资产收益率的难预测性	5
2.2. 资产波动率的聚集性和衰减性	6
2.3. 资产间相关系数的长期关联性	7
3. 主成分风险平价模型的优势	8
4. 资产配置模型的两点改进	11
4.1. 预期风险估计：衰减加权法	12
4.2. 预期走势估计：趋势跟踪法	12
5. 改进的主成分风险平价模型	14
6. 资产配置模型的实证分析	15
6.1. 大类资产数据的采集与分析	16
6.1. 标准资产配置模型	17
6.2. 引入预期风险估计改进的资产配置模型	19
6.3. 引入预期走势估计改进的资产配置模型	22
6.4. 引入预期风险估计和预期走势估计改进的资产配置模型	25
6.5. 改进的主成分风险平价模型汇总分析	28
6.6. 主成分风险平价模型的增强：债券加杠杆	30
7. 总结与展望	32
附录	32
附录 1：标准风险平价模型的统一框架	32
附录 2：基于分散化思想的主成分风险平价模型	33
参考文献	35
风险提示	35

图表目录

图 1：沪深 300 指数月度收益率走势图	5
图 2：沪深 300 指数月度收益率自相关性散点图	5
图 3：沪深 300 指数月波动率走势图	6
图 4：沪深 300 指数月波动率一阶自相关性散点图	6
图 5：沪深 300 指数月波动率二阶自相关性散点图	6
图 6：沪深 300 指数月波动率三阶自相关性散点图	6
图 7：上证 5 年期国债与上证企债指数 1 月相关系数走势图	7
图 8：上证 5 年期国债与上证企债 1 月相关系数自相关性散点图	7
图 9：上证 5 年期国债与上证企债指数 3 月相关系数走势图	7
图 10：上证 5 年期国债与上证企债 3 月相关系数自相关性散点图	7
图 11：上证 5 年期国债与上证企债指数 6 月相关系数走势图	8

图 12: 上证 5 年期国债与上证企债 6 月相关系数自相关性散点图	8
图 13: 大类资产相关性统计图	9
图 14: RP 模型下投资组合 I 权重分布图	10
图 15: PCR 模型下投资组合 I 权重分布图	10
图 16: RP 模型下投资组合 II 权重分布图	10
图 17: PCR 模型下投资组合 II 权重分布图	10
图 18: 中证 800 与沪深 300 在 RP 模型下权重差异分布	11
图 19: 中证 800 与沪深 300 在 PCR 模型下权重差异分布	11
图 20: 衰减加权协方差的要素估计示意图	12
图 21: 沪深 300 指数 3 个月趋势跟踪策略净值曲线走势图	13
图 22: 大类资产收益和风险信息统计图	16
图 23: 大类资产长期相关性统计图	17
图 24: 标准资产配置模型回测净值曲线图	17
图 25: EW 模型在每个季度投资权重分布图	18
图 26: RP 模型在每个季度投资权重分布图	18
图 27: PCR 模型在每个季度投资权重分布图	19
图 28: 标准资产配置模型季度换手率走势图	19
图 29: 引入预期风险估计的资产配置模型回测净值曲线图	20
图 30: WDC-EW 模型在每个季度投资权重分布图	21
图 31: WDC-RP 模型在每个季度投资权重分布图	21
图 32: WDC-PCR 模型在每个季度投资权重分布图	21
图 33: 引入预期风险估计的资产配置模型季度换手率走势图	22
图 34: 引入预期趋势估计的资产配置模型回测净值曲线图	23
图 35: TF-EW 模型在每个季度投资权重分布图	24
图 36: TF-RP 模型在每个季度投资权重分布图	24
图 37: TF-PCR 模型在每个季度投资权重分布图	24
图 38: 引入预期趋势估计的资产配置模型月度换手率走势图	25
图 39: 引入预期风险估计和预期收益估计的资产配置模型回测净值曲线图	26
图 40: WDC-TF-EW 模型在每个季度投资权重分布图	27
图 41: WDC-TF-RP 模型在每个季度投资权重分布图	27
图 42: WDC-TF-PCR 模型在每个季度投资权重分布图	27
图 43: 引入预期风险估计和预期趋势估计的资产配置模型月度换手率走势图	28
图 44: 改进的主成分风险平价模型回测走势图	28
图 45: 1.4 倍杠杆率下 TF-PCR 模型的净值走势图	31
图 46: 1.4 倍杠杆率下 WDC-TF-PCR 模型的净值走势图	31
表 1: 大类资产配置回测结果统计表	10
表 2: 两个投资组合平均权重统计表	11
表 3: 沪深 300 指数 3 个月趋势跟踪策略回测结果统计表	14
表 4: 大类资产相关信息统计表	16
表 5: 标准资产配置模型回测结果统计表	18

表 6: 引入预期风险估计的资产配置模型回测结果统计表	20
表 7: 引入预期走势估计的资产配置模型回测结果统计表	23
表 8: 引入预期风险估计和预期走势估计的资产配置模型回测结果统计表	26
表 9: 改进的主成分风险平价模型回测结果汇总表	29
表 10: 改进风险平价模型最新权重分布统计表 (截至 2017 年 10 月 31 日)	29
表 11: 移动平均阶数对 TF-PCR 模型回测结果的影响	29
表 12: 移动平均阶数对 WDC-TF-PCR 模型回测结果的影响	30
表 13: 不同杠杆率下 TF-PCR 模型的回测结果统计表	31
表 14: 不同杠杆率下 WDC-TF-PCR 模型的回测结果统计表	31

1. 引言

在基于风险视角的资产配置模型中，风险平价模型已成为主流。一方面是由于其针对每种资产等风险贡献确定投资权重的思想，另一方面在我国首批 6 只公募 FOF 中有 3 只产品采用了相关策略。一般情况下，风险平价模型会给高风险的资产分配更低的权重，而给低风险的资产分配更高的权重，这为投资组合净值的稳定提供了保证。

但是，传统的风险平价（Risk Parity, RP）模型存在许多局限性：（1）模型要求资产间的相关性尽可能低，而事实上现有资产间的相关度是非常高的；（2）模型会对所有资产配置权重，即便投资标的中有两种相关性极高资产；（3）模型没有考虑资产的未来收益表现，如果所有资产都处于下跌行情，模型依然会给资产分配权重；（4）模型没有考虑不同资产的风险特性；等等。

针对前两个问题，我们在上一篇资产配置模型的专题报告《基于半衰主成分风险平价模型的全球资产配置策略研究》中提出了主成分风险平价模型，该模型在实现内在资产组合等风险贡献的同时，具有资产筛选的功能。针对后两个问题，本报告将引入趋势跟踪法用于判断各资产未来的走势，同时引入风险的衰减加权法增强风格变化的影响。

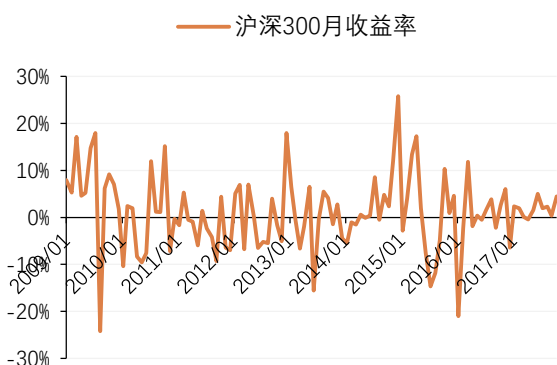
因此，本报告通过对资产的特性进行分析和对主成分风险平价模型的优势进行介绍，从资产预期风险和预期走势两个方面进行修正和改进，形成了基于衰减加权和趋势跟踪的主成分风险平价模型，并开展相关的实证研究。

2. 资产的特性分析

2.1. 资产收益率的难预测性

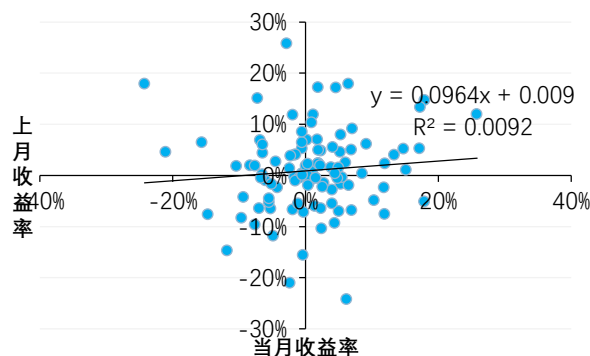
收益率是多因子组合模型和资产配置模型中的重要指标，因其变化具有非线性和随机性，预测难度也是非常大的。因此，人们试图通过主观判断、线性回归、时间序列、机器学习等方法对资产收益率进行预测，希望能够从中找寻“确定性”的规律。但是遗憾的是，大多数情况下收益率预测的准确率都比较低。资产的收益率近似服从随机游走的特性，即当期资产的收益率与下期资产的收益率并没有比较强的关联性。

图 1：沪深 300 指数月度收益率走势图



资料来源：Wind，天风证券研究所

图 2：沪深 300 指数月度收益率自相关性散点图



资料来源：Wind，天风证券研究所

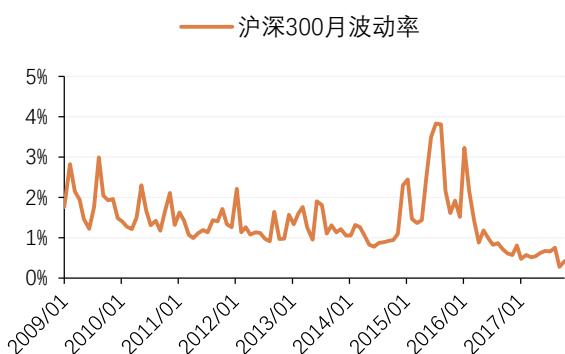
上面左图中绘制了沪深 300 指数自 2009 年以来每月收益率的走势。可以看到，沪深 300 月度收益率走势是比较随机的，邻近月份并没有比较强的关联性。同时，我们绘制了沪深 300 当月收益与上月收益之间的散点图以及回归拟合曲线。由散点的分布可以看到，沪深 300 当月收益与上月收益的点几乎是随机分布的，从而使得它们的回归方程拟合优度

不足 0.01。可见，沪深 300 指数月度收益的一阶自相关性较低。与此相类似的，绝大多数资产的收益率都不存在很好的自相关性，这也为资产收益率的预测增加了难度。

2.2. 资产波动率的聚集性和衰减性

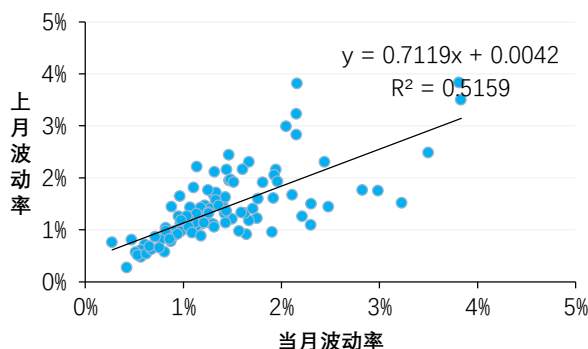
相比于资产收益率的难预测性，资产的波动率具有较好的可预测性。我们会发现，某类资产在过去一段时间波动较大，在未来一段时间较大概率会出现较大的波动；某类资产在过去一段时间波动较小，在未来一段时间较大概率会出现较小的波动。资产的波动率会呈现比较明显的自相关性，即资产的当期波动率会与上期波动率有较强的相关性；同时，资产波动率的自相关性会呈现衰减性，即资产的当期波动率与远期波动率的相关性会随着时间的增加而降低。

图 3：沪深 300 指数月波动率走势图



资料来源：Wind，天风证券研究所

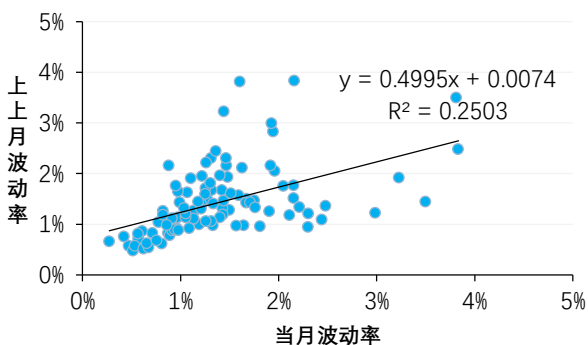
图 4：沪深 300 指数月波动率一阶自相关性散点图



资料来源：Wind，天风证券研究所

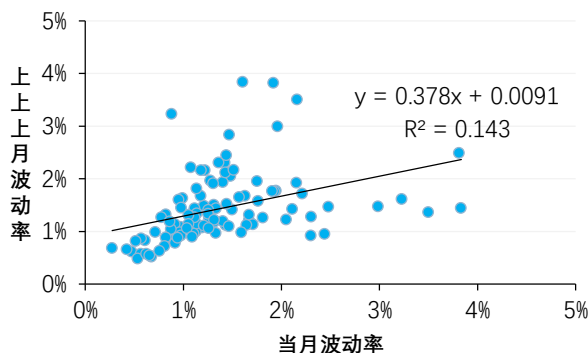
上面左图中绘制了沪深 300 指数自 2009 年以来每月波动率的走势图。可以看到，沪深 300 月波动率走势波动局部较为集中，具有明显的聚集效应。同时，我们绘制了沪深 300 当月波动率与上月波动率之间的散点图以及回归拟合曲线。由散点的分布可以看到，沪深 300 当月波动与上月波动的点整体上分布在回归曲线附近，拟合优度达到了 0.5 以上。可见，沪深 300 指数月波动率具有明显的一阶自相关性。

图 5：沪深 300 指数月波动率二阶自相关性散点图



资料来源：Wind，天风证券研究所

图 6：沪深 300 指数月波动率三阶自相关性散点图



资料来源：Wind，天风证券研究所

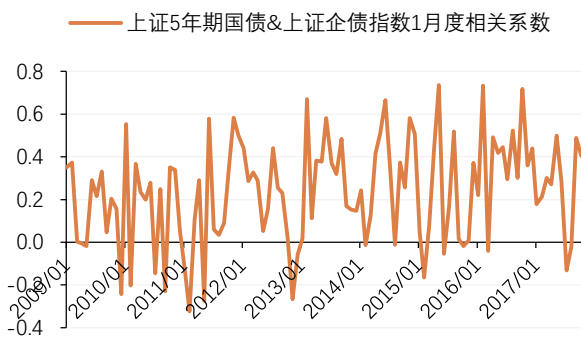
同样，我们分别绘制了沪深 300 当月波动率与上上月波动率和上上上月波动率之间的散点图以及回归拟合曲线。由散点的分布可以看到，随着滞后阶数的增加，沪深 300 月波动率的分布越发分散，同时回归模型的拟合优度也在逐渐降低。可见，沪深 300 月波动率的自相关性具有明显的衰减性。与此相类似的，绝大多数资产的波动率都存在着明显的自相关性，以及自相关性随着滞后阶数的增加具有明显的衰减性。

2.3. 资产间相关系数的长期关联性

资产间的相关系数具有长期关联性。我们知道，短期内资产的局部波动会使得资产间的相关性不稳定，而长期内因均值回复会使得资产间的相关性更加稳定。因此，为了更加真实反映不同资产之间的相关性，我们应该使用更长周期的数据进行估计。

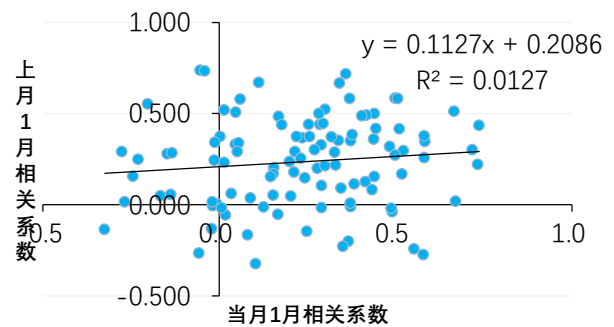
下面各图中绘制了上证5年期国债与上证企债指数不同月份相关系数走势图。可以看到，随着计算时间的增加，两指数间的相关系数曲线的聚集性整体是逐渐增加的；同时，由当月与上月不同月份相关系数回归方程的拟合优度也是逐渐增大的。可见，上证5年期国债与上证企债指数间的相关性具有较强的长期关联性。同样，绝大多数资产间的长期相关系数会更加稳定。

图 7：上证 5 年期国债与上证企债指数 1 月相关系数走势图



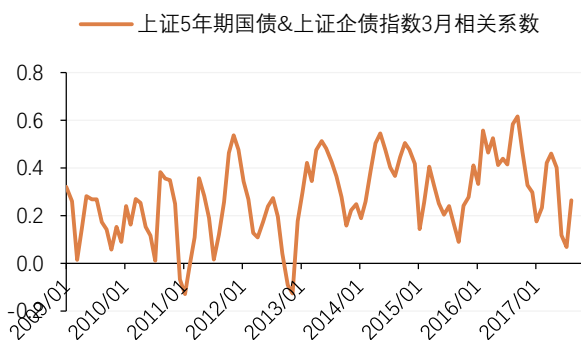
资料来源：Wind，天风证券研究所

图 8：上证 5 年期国债与上证企债 1 月相关系数自相关性散点图



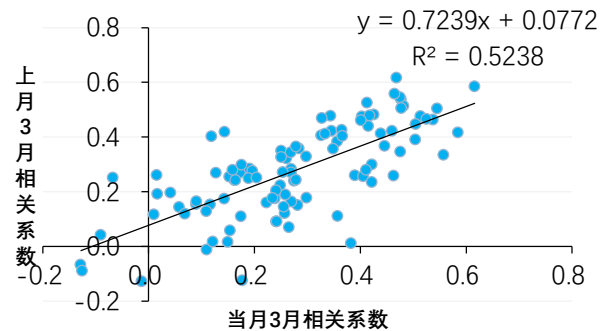
资料来源：Wind，天风证券研究所

图 9：上证 5 年期国债与上证企债指数 3 月相关系数走势图



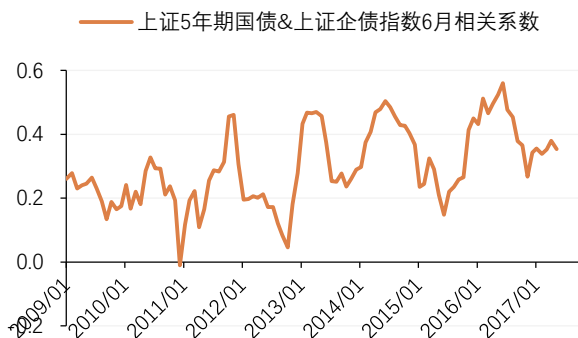
资料来源：Wind，天风证券研究所

图 10：上证 5 年期国债与上证企债 3 月相关系数自相关性散点图



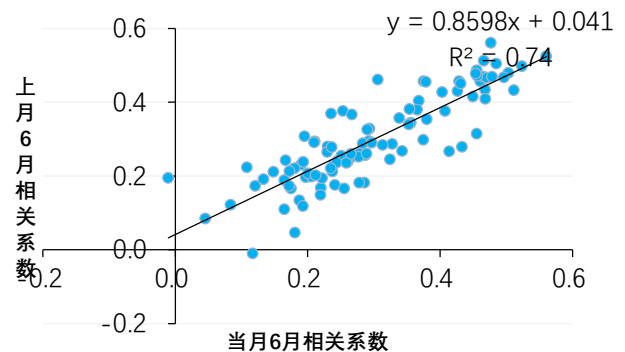
资料来源：Wind，天风证券研究所

图 11：上证 5 年期国债与上证企债指数 6 月相关系数走势图



资料来源：Wind，天风证券研究所

图 12：上证 5 年期国债与上证企债 6 月相关系数自相关性散点图



资料来源：Wind，天风证券研究所

通过前文对资产的收益率、波动率和相关系数分析可以发现，资产的收益率是比较难以预测的，而资产的风险预测准确度较高，其中资产的波动率具有较强的聚集性和衰减性，资产间的相关系数具有长期关联性。因此，相比于基于收益构建的资产配置模型，基于风险视角的资产模型的稳定性会更强。

事实上，因对资产配置的逻辑和偏好资产各不相同，不同投资者会使用不同的资产配置模型。大部分资产配置模型主要是由三个因素构成，分别为投资者观点、资产的收益和风险，三个因素的相互交叉共同形成了整个资产配置模型体系。相比于投资者观点的异质性、资产收益的难预测性，资产的风险变成了有效的因素。同时，大类资产配置并非追求的高风险下的高收益，更多的是希望能够在保证低风险的同时争取相对较高的收益。在基于风险视角的资产配置模型中，比较热门且最具代表性的便是风险平价模型。

3. 主成分风险平价模型的优势

在上一篇资产配置模型的专题报告《基于半衰主成分风险平价模型的全球资产配置策略研究》中我们提出了主成分风险平价模型，该模型利用主成分分析对原资产进行线性变换形成互不相关的主成分组合，然后使用标准风险平价模型确定主成分组合的最优投资权重，最后通过线性变换的反推确定原有资产的最优投资权重。具体地，假设原资产的投资权重为 w ，资产收益率间的协方差为 Σ ，则通过主成分分析可确定主成分组合的投资权重为

$$w_{PC} = E'w$$

协方差矩阵为

$$Cov(R_{PC}) = \Lambda$$

其中： $\Lambda = diag(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N)$ 表示原资产收益率协方差矩阵 Σ 特征值构建的对角阵； E 表示 λ_i ($i=1,2,\dots,n$) 对应特征向量列排列构成的特征向量矩阵。

将上述主成分组合的投资权重和协方差矩阵带入到标准风险平价模型的统一框架（见附录 1）中，便可得到第 i 个主成分组合的风险贡献 RC_i ：

$$RC_i = w_{PC,i} \frac{(\Lambda w_{PC})_i}{\sqrt{w_{PC}' \Lambda w_{PC}}} = \frac{(E'w)_i \cdot (E'\Sigma w)_i}{\sqrt{w'\Sigma w}}$$

所以基于主成分组合的风险平价模型可转化为

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [(E'w)_i (E'\Sigma w)_i - (E'w)_j (E'\Sigma w)_j]^2 = 0$$

我们将这种模型称为**主成分风险平价模型** (Principal Components Risk Parity, PCR_P)。上述模型可进一步转化为优化模型求解满足约束条件的最优解，即：

$$\min_w \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [(E'w)_i (E'\Sigma w)_i - (E'w)_j (E'\Sigma w)_j]^2$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{i=1}^n w_i = 1 \\ 0 \leq w_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

当目标函数等于 0 时，有 $\forall i, j \in \{1, 2, \dots, n\}, RC_i = RC_j$ ，该数值解即为原资产最优权重。

可以发现，虽然在想法上我们需要在先求得主成分组合的最优投资权重，然后反推确定原资产的最优投资权重，但是主成分风险平价模型给出了解析解，模型得到的最优解即为原资产的最优投资权重。可见，模型虽然理论复杂，但是求解过程还是非常优美的。

传统风险平价模型，希望对完全不相关或者低相关的资产进行等风险贡献资产配置，而现实中部分资产间的相关性非常高，从而在此基础上得到的等风险贡献并非真正意义上的等风险贡献；而我们提出的主成分风险平价模型会将资产的进行重新组合，在完全正交的空间下实现等风险贡献的目标，同时该模型还具有资产筛选的功能。

假设在原资产中有两种高度相关的资产，传统风险平价模型都会分配以权重，而主成分风险平价模型基本每期只会投资其中一种资产。例如我们提出了如下两个投资组合：

投资组合 I：沪深 300、纳斯达克 100、中证全债、SHFE 黄金；

投资组合 II：中证 800、沪深 300、纳斯达克 100、中证全债、SHFE 黄金；

通过比较两个投资组合资产种类可以发现，投资组合 II 仅比投资组合 I 多了中证 800。投资组合中大部分资产的相关性整体上都比较低，其中，中证 800 与沪深 300 的相关性极高，2010 年以来相关系数达到了 0.986。可见，在投资组合 II 中，中证 800 和沪深 300 可视为一类资产。

图 13：大类资产相关性统计图

	中证800	沪深300	纳斯达克100	中证全债	SHFE黄金
中证800	1				
沪深300	0.986	1			
纳斯达克100	0.150	0.152	1		
中证全债	0.012	0.014	0.000	1	
SHFE黄金	0.067	0.071	0.038	-0.011	1

资料来源：Wind，天风证券研究所

此处分别以投资组合 I 和投资组合 II 的大类资产为投资标的；回测区间为 2009 年 1 月 1 日至 2017 年 10 月 30 日（其中 2009 年数据用于初期样本内的计算）；调仓时间为每季度末最后一个交易日；估计窗为每个调仓前 240 个交易日数据；资产配置模型涉及风险平价模型 (RP) 和主成分风险平价模型 (PCR_P)。回测结果如下表所示。

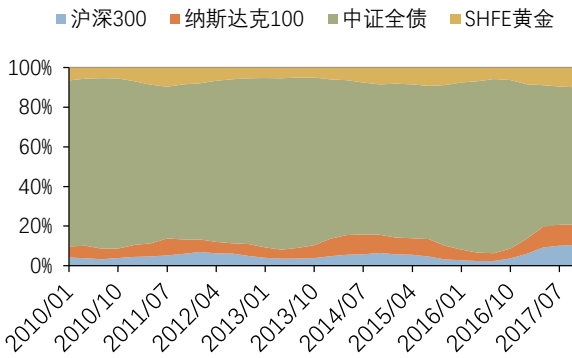
表 1: 大类资产配置回测结果统计表

	投资组合 I		投资组合 II	
	RP	PCRP	RP	PCRP
累计收益率	47.74%	52.18%	47.19%	53.17%
年化收益率	5.11%	5.51%	5.06%	5.59%
年化波动率	2.46%	2.31%	2.70%	2.09%
最大回撤	3.62%	3.28%	3.54%	3.33%
夏普比率	0.858	1.083	0.762	1.243
Calmar 比率	1.412	1.677	1.427	1.680

资料来源: Wind, 天风证券研究所

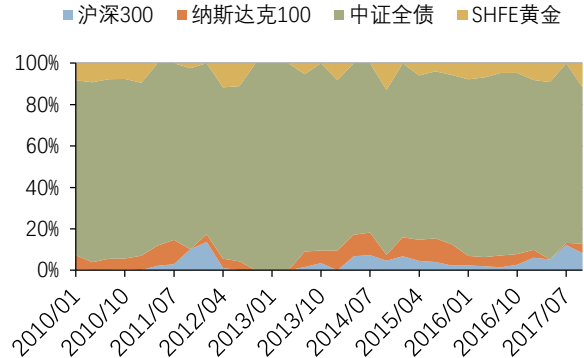
由上表中的数据可以发现, 两个投资组合中, PCRP 模型在年化收益、最大回撤和 Calmar 比率等多指标下均明显优于 RP 模型的回测结果。同时, 针对每一种资产配置模型而言, 在 RP 模型中, 投资组合 II 的年化收益率小于投资组合 I, 且年化波动率大于投资组合 I; 而在 PCRP 模型中, 投资组合 II 的年化收益率与投资组合 I 较为接近, 而年化波动率却小于投资组合 I, 进而使得模型的夏普比率和 Calmar 比率较高。由此可知, 相对于传统的风险平价模型, 我们提出的主成分风险平价模型在实证方面展现出明显的优势。

图 14: RP 模型下投资组合 I 权重分布图



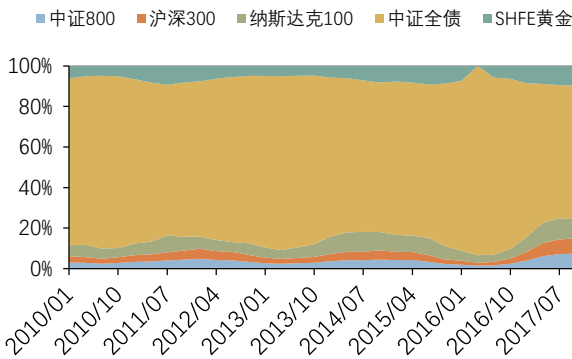
资料来源: 天风证券研究所

图 15: PCRP 模型下投资组合 I 权重分布图



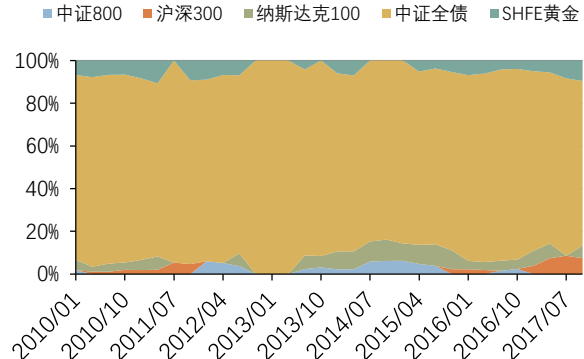
资料来源: 天风证券研究所

图 16: RP 模型下投资组合 II 权重分布图



资料来源: 天风证券研究所

图 17: PCRP 模型下投资组合 II 权重分布图



资料来源: 天风证券研究所

上面各图中绘制了投资组合在两种资产配置模型下权重分布图。可以看到, 在投资组合 I 中, 两种资产配置模型的权重分布大致相同, 主要都集中在中证全债上; 在投资组合 II 中, 两种资产配置模型的权重分布存在较大差异性, 主要表现在对中证 800 和沪深 300

上。同时，在 RP 模型中，投资组合 II 的权重分布中明显比投资组合 I 多了中证 800；而在 PCR 模型中，投资组合 II 的权重分布却与投资组合 I 较为接近。可见，相关性极高的中证 800 与沪深 300 是两个投资组合产生差异性的重要影响因素。

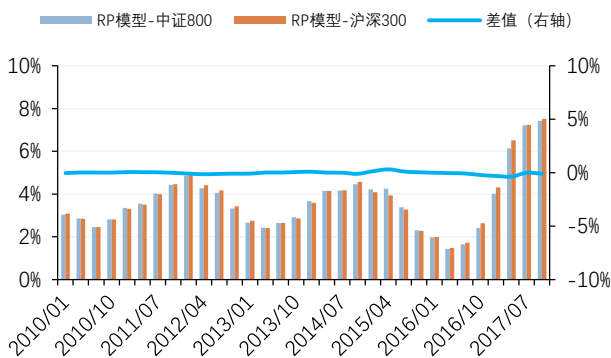
表 2：两个投资组合平均权重统计表

	投资组合 1		投资组合 2	
	RP	PCR	RP	PCR
中证 800	-	-	3.64%	1.78%
沪深 300	5.10%	3.55%	3.67%	1.61%
纳斯达克 100	6.99%	5.60%	6.71%	4.75%
中证全债	80.77%	85.77%	79.30%	86.87%
SHFE 黄金	7.14%	5.07%	6.68%	4.99%

资料来源：Wind，天风证券研究所

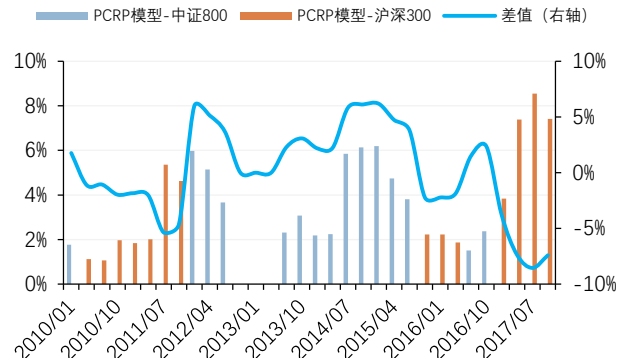
下面分别绘制了投资组合 II 中的中证 500 与沪深 300 在不同模型在权重差异性分布图。可以发现，在 RP 模型中，每期中证 800 与沪深 300 的投资权重均较为接近，它们之间的差值基金在 0% 附近；而在 PCR 模型中，每期主要投资中证 800 和沪深 300 中的一种资产，进而使得两者之间的差值较大。可见，针对高相关性的资产，PCR 模型具有资产筛选的功能，每期只会投资其中一种资产，而非 RP 模型对每种资产均会投资。

图 18：中证 800 与沪深 300 在 RP 模型下权重差异分布



资料来源：天风证券研究所

图 19：中证 800 与沪深 300 在 PCR 模型下权重差异分布



资料来源：天风证券研究所

由此可见，主成分风险平价模型解决了两个问题，分别为：（1）在正交的空间内实现了主成分组合的等风险贡献，而非传统意义上的资产等风险贡献；（2）克服了传统模型在高相关资产重复配置的问题。从而使得主成分风险平价模型的实证结果在诸多方面均明显优于传统的风险平价模型。

4. 资产配置模型的两点改进

然而，上述的主成分风险平价模型与传统风险平价模型相似，依然没有解决如下问题：（1）没有考虑资产的未来收益表现，如果所有资产都处于下跌行情，模型依然会给资产分配权重；（2）没有考虑不同资产的风险特性，本报告在第 2 节分析发现资产波动率具有聚集性和衰减性，相关系数具有长期关联性，而模型的风险是整体估计的，并没有考虑资产风格的快速变换问题；等等。因此，本报告将利用衰减加权法对资产的预期风险进行估计，利用趋势跟踪法对资产的预期走势进行估计，具体内容如下所示。

4.1. 预期风险估计：衰减加权法

任意两种资产的收益率协方差可根据资产收益率序列计算得到，即针对第 i, j ($i, j = 1, 2, \dots, N$) 两种资产，它们之间的协方差为

$$\sigma_{i,j}^2 = E[(r_i - \bar{r}_i)(r_j - \bar{r}_j)]$$

其中： r_i, r_j 分别为 i, j 两种资产的收益率序列； \bar{r}_i, \bar{r}_j 分别为 i, j 两种资产收益率序列的期望。同时，协方差是由资产收益间的相关系数和资产收益的波动率两部分构成的，即

$$\sigma_{i,j}^2 = \rho_{i,j} \sigma_i \sigma_j$$

其中： $\rho_{i,j}$ 表示 i, j 两种资产收益率的相关系数； σ_i, σ_j 分别表示 i, j 两种资产收益率的波动率。因此， N 个资产收益率的协方差 Σ 为

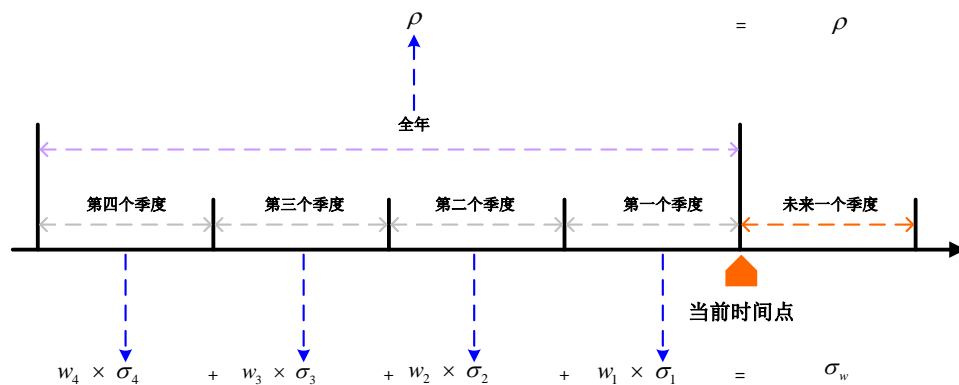
$$\Sigma = \Lambda \rho \Lambda$$

其中： $\Lambda = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N)$ 表示波动率的对角矩阵； $\rho = (\rho_{i,j})_{N \times N}$ 表示相关系数矩阵。

考虑到资产之间的相关系数和波动率的稳定性不同，因此我们对资产收益率的相关系数和波动率分别使用不同的半衰期进行加权估计。具体地，由于资产收益率间的相关系数相对较为稳定，可以选择较长的周期；而资产收益率的波动率相对变化较大，可以选择较短的半衰期，从而能够更加迅速反映资产风险的变化情况。

具体地，资产配置模型的协方差估计时间长度一般为一年（假设 240 个交易日），此处可以对 240 个交易日平均划分为四个阶段，每个阶段即为一个季度。我们将基于每个季度资产的日收益率估计资产的波动率，分别得到 $[\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4]$ ，假定季度对应的衰减权重为 $[w_1, w_2, w_3, w_4]$ ($w_1 \geq w_2 \geq w_3 \geq w_4 \geq 0, \sum_k w_k = 1$)，则通过加权的形式便可得到资产预期波动率，即 $\sigma_w = w_1 * \sigma_1 + w_2 * \sigma_2 + w_3 * \sigma_3 + w_4 * \sigma_4$ 。而我们资产的 240 个交易日的日收益率估计资产间的相关系数 ρ 。示意图如下图所示。因此，将所有资产的衰减加权波动率与资产间的相关系数结合，便可得到资产的预期协方差。

图 20：衰减加权协方差的要素估计示意图



资料来源：天风证券研究所

4.2. 预期走势估计：趋势跟踪法

趋势跟踪是一种利用在不同市场交易的长期变化进行投资的交易技术，可应用于所有时间交易模型。其基本假设是市场会保持上涨或者下跌的趋势，即在上涨时做多，在下跌时做空，并预期这种趋势会继续保持（Tharp, Chabot, 2007）。趋势跟踪方法以历史价格为基础做出买卖方向的判断，即基于当前已经形成的市场趋势，而非预测市场走向。

常见的趋势跟踪方法是以某一时间长度的价格移动平均值的变化趋势来判断市场趋势。当资产价格上穿周期移动平均线时，可以判断为买入信号；当资产价格下穿周期移动

平均线时，可以判断为卖出信号。虽然移动平均线所反映的信息存在一定的时滞性，但移动平均线是对历史趋势的有效呈现，在一定程度上可以降低噪音对市场趋势判断的负面影响。

考虑到调整周期，本报告选择月末资产价格进行研究。假设第 t ($t=1,2,\dots,T$) 个月末资产价格为 p_t ， n 个月移动平均价格为 $MA(n)_t$ 。则趋势跟踪策略的买卖点可以设置为：

买点：当资产月末价格不低于 n 月移动平均价格，即 $p_t \geq MA(n)_t$ ；

卖点：当资产月末价格低于 n 月移动平均价格，即 $p_t < MA(n)_t$ 。

为了保证每期满仓投资，所以当资产达到卖点时应该进行做空（如果可以）或投资其他资产。假设第 t 个月末投资标的的投资权重为 $w_t = [w_{t,1}, w_{t,2}, \dots, w_{t,N}]'$ 。

(1) 在**允许做空**的条件下，第 i ($i=1,2,\dots,N$) 种资产的投资权重调整为：

$$w'_{t,i} = \text{sign}(p_t^i - MA(n)_t^i) \cdot w_{t,i}$$

其中： $\text{sign}(x)$ 为符号函数，当 $x \geq 0$ 时， $\text{sign}(x) = 1$ ；当 $x < 0$ 时， $\text{sign}(x) = -1$ 。因此， N 种资产的投资权重向量为 $w'_t = [w'_{t,1}, w'_{t,2}, \dots, w'_{t,N}]'$ 。

(2) 在**不允许做空**的条件下，我们将不可做空的部分投资**其他资产**，因此第 i ($i=1,2,\dots,N$) 种资产的投资权重调整为：

$$w'_{t,i} = \text{logical}(p_t^i - MA(n)_t^i \geq 0) \cdot w_{t,i}$$

其中： $\text{logical}(x)$ 为逻辑函数，当 $x \geq 0$ 时， $\text{logical}(x \geq 0) = 1$ ；当 $x < 0$ 时， $\text{logical}(x \geq 0) = 0$ 。

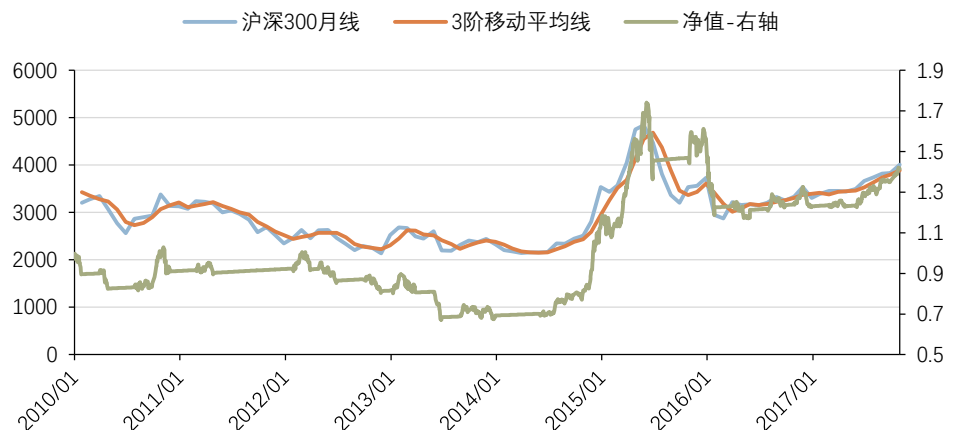
此时， N 种资产的投资总权重为 $\sum_{i=1}^N w'_{t,i}$ ，其他资产的投资权重 $w'_{t,N+1}$ 为

$$w'_{t,N+1} = 1 - \sum_{i=1}^N w'_{t,i} = 1 - \sum_{i=1}^N \text{logical}(p_t^i - MA(n)_t^i \geq 0) \cdot w_{t,i}$$

所有 $N+1$ 种资产的投资权重向量为 $w'_t = [w'_{t,1}, w'_{t,2}, \dots, w'_{t,N}, w'_{t,N+1}]'$ 。

事实上，由于我国投资品种做空机制的匮乏，使得我们无法对处于下跌状态的资产进行做空，因此我们选择无风险资产进行替代（如现金，货币基金等）。

图 21：沪深 300 指数 3 个月趋势跟踪策略净值曲线走势图



资料来源：Wind，天风证券研究所

例如，我们以沪深 300 月末收盘价为基础，可以构建 3 个月移动平均线。在每个月月

末判断，当沪深 300 月末价格不低于 3 阶移动平均线时，持有沪深 300 指数；当沪深 300 月末价格低于 3 阶移动平均线时，持有无风险资产（每日收益率为 1.25%）。2010 年以来的回测结果如上图所示。可以发现，趋势跟踪策略可以在短期内降低净值的波动和回撤，从而可以明显提升策略的净值。具体地，沪深 300 的年化收益率为 1.46%，而趋势跟踪策略的年化收益率为 4.54%；沪深 300 的最大回撤为 46.70%，而趋势跟踪策略的最大回撤为 34.71%。可见，趋势跟踪策略在收益和风险诸多方面均具有明显的优势，从而使得策略的夏普比率和 Calmar 比率明显高于沪深 300 指数。同样，大部分资产也都具有相似的结论。

表 3：沪深 300 指数 3 个月趋势跟踪策略回测结果统计表

	沪深 300	趋势跟踪策略
累计收益率	12.05%	41.59%
年化收益率	1.46%	4.54%
年化波动率	23.29%	16.57%
最大回撤	46.70%	34.71%
夏普比率	-0.066	0.093
Calmar 比率	0.031	0.131

资料来源：Wind，天风证券研究所

5. 改进的主成分风险平价模型

将上述的预期风险估计和预期走势估计与主成分风险平价模型结合，便可形成引入预期风险估计改进的主成分风险平价模型、引入预期走势估计改进的主成分风险平价模型，以及引入预期风险估计和预期走势估计改进的主成分风险平价模型。具体地，每种主成分风险平价模型的介绍如下。

（1）引入预期风险估计改进的主成分风险平价模型

该模型主要是在标准主成分风险平价模型的基础上对风险指标（协方差）进行修正，以期能更加快速反映资产当前的特性。在 4.1 小节中我们发现，资产的协方差可以分解为资产的波动率和资产间的相关系数两部分；而在第 2 节我们发现，资产的波动率具有聚集性和衰减性，而资产间的相关系数具有长期关联性。因此，我们应该用更加短期数据衰减加权估计资产的波动率，而使用更加长期数据刻画资产间的相关性。为方便记忆，我们将引入预期风险估计改进的主成分风险平价模型简称为 WDC-PCR模型。

接下来，我们将对引入预期风险估计的主成分风险平价模型的算法进行介绍，具体地：

- ①在季末调仓日，基于衰减加权法利用过去 240 个交易日数据对资产的协方差进行估计；
- ②使用附录 2 的主成分风险平价模型计算每种资产的最优投资权重；
- ③利用上述的最优权重进行下一期的投资，在该季度末重复操作上述步骤直至结束。

（2）引入预期走势估计改进的主成分风险平价模型

该模型主要在标准主成分风险平价模型的基础上对资产的预期走势进行判断，以期对处于上涨阶段的资产进行配置，而对处于下跌阶段的资产替换为无风险资产。在 4.2 小节中我们提出可以通过趋势跟踪方法中的移动平均线简单识别资产的走势。在我们之前的资产配置模型中，为了降低策略的调仓频率，我们是对资产进行季度调仓的，而在季度间资产的走势可能会出现比较大差异性。因此，我们将在每个季度末确定各类资产的投资权重，而在每个月度末判断资产的趋势。为方便记忆，我们将引入预期走势估计改进的主成分风险平价模型简称为 TF-PCR模型。

接下来，我们将对引入预期走势估计的主成分风险平价模型的算法进行介绍，具体地：

- ①在季末调仓日，利用过去 240 个交易日数据对资产的协方差进行估计；
- ②使用附录 2 的主成分风险平价模型计算每种资产的最优投资权重；
- ③基于 4.2 小节的趋势跟踪法判断各资产处于上涨趋势还是下跌趋势，而将处于下跌趋势资产的投资权重转投资无风险资产；
- ④在季度间的每个月末，重新判断个资产处于上涨趋势还是下跌趋势，针对前一个月末处于下跌趋势且本月处于上涨趋势的资产，则卖出无风险资产投资该资产；针对前一个月末处于上涨趋势且本月处于下跌趋势的资产，则卖出该资产投资无风险资产；
- ⑤在该季度末重复操作上述步骤直至结束。

（3）引入预期风险估计和预期走势估计改进的主成分风险平价模型

该模型主要是同时对标准主成分风险平价模型的预期风险和预期走势进行估计，综合考虑这两种改进方法对模型的优化效果。因此，我们将在季度末调仓时基于衰减加权法估计协方差，而在每个月度末基于趋势跟踪法投资权重，避免对处于下跌趋势中的资产进行配置。为方便记忆，我们将引入预期风险估计和预期走势估计改进的主成分风险平价模型简称为 WDC-TF-PCRP 模型。

接下来，我们将对引入预期风险估计和预期走势估计的主成分风险平价模型的算法进行介绍，具体地：

- ①在季末调仓日，基于衰减加权法利用过去 240 个交易日数据对资产的协方差进行估计；
- ②使用附录 2 的主成分风险平价模型计算每种资产的最优投资权重；
- ③基于 4.2 小节的趋势跟踪法判断各资产处于上涨趋势还是下跌趋势，而将处于下跌趋势资产的投资权重转投资无风险资产；
- ④在季度间的每个月末，重新判断个资产处于上涨趋势还是下跌趋势，针对前一个月末处于下跌趋势且本月处于上涨趋势的资产，则卖出无风险资产投资该资产；针对前一个月末处于上涨趋势且本月处于下跌趋势的资产，则卖出该资产投资无风险资产；
- ⑤在该季度末重复操作上述步骤直至结束。

上述通过分别引入预期风险估计和预期走势估计形成了三种改进主成分风险平价模型，并给出相应的算法。同时，如果将上述模型中的主成分风险平价模型替换为其他资产配置模型，同样可以形成引入预期风险估计改进的资产配置模型、引入预期走势估计改进的资产配置模型、引入预期风险估计和预期走势估计改进的资产配置模型。因此，为了与主成分风险平价模型进行对比，我们在接下来的实证研究中将会引入常见的等权重（Equal Weight, EW）模型和标准的风险平价（Risk Parity, RP）模型。

6. 资产配置模型的实证分析

在上一节中我们构建了基于趋势跟踪的衰减主成分风险平价模型，相比于之前提出的主成分风险平价模型，在预期风险估计和预期走势估计等多方面进行了改进。为了从实践上验证模型的有效性，本节将开展大类资产配置的实证研究。具体地，为了改进的效果，本节将在原主成分风险平价模型上逐步添加改进方法，以说明改进方法的改进效果。

6.1. 大类资产数据的采集与分析

本节将从全球范围内的股票、债券和期货等资产类别中筛选 25 种大类资产作为投资标的，具体地如下：

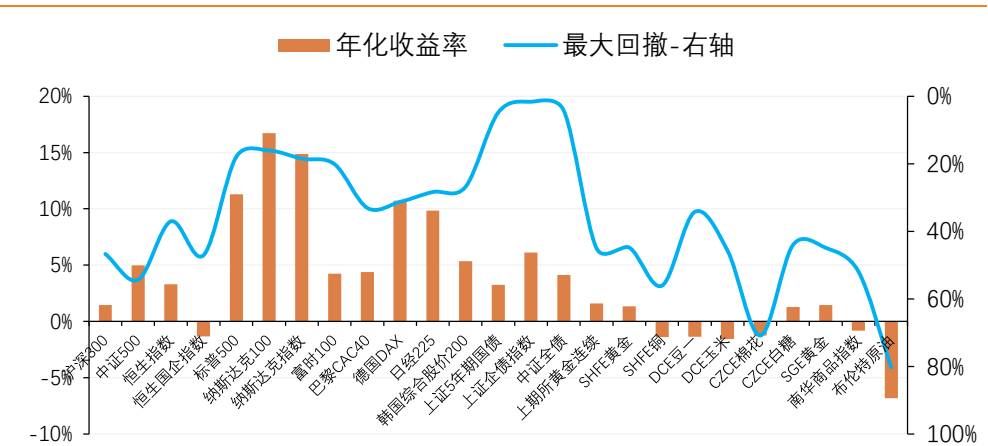
表 4：大类资产相关信息统计表

资产类别	地区	大类资产
股票	国内	沪深 300、中证 500
	香港	恒生指数、恒生国企指数
	海外	标普 500、纳斯达克 100、纳斯达克指数、富时 100、巴黎 CAC40、德国 DAX、日经 225、韩国综合股价 200
债券	国内	上证 5 年期国债、上证企债指数、中证全债
期货	国内	上期所黄金连续、SHFE 黄金、SHFE 铜、DCE 豆一、DCE 玉米、CZCE 棉花、CZCE 白糖、SGE 黄金、南华商品指数
	海外	布伦特原油

资料来源：Wind，天风证券研究所

本报告从万得 (Wind) 数据库中选取 2009 年 1 月至 2017 年 10 月期间上述资产的收盘价数据。同时，由于不同国家的交易日不同，本报告将以 A 股市场交易日为准，对其他地区资产的数据进行修正，如在某个交易日其他指数没有交易则采用前一个交易日的数据。经统计，共 2145 个交易日，其中 2009 年的数据将用于初期风险估计的计算。

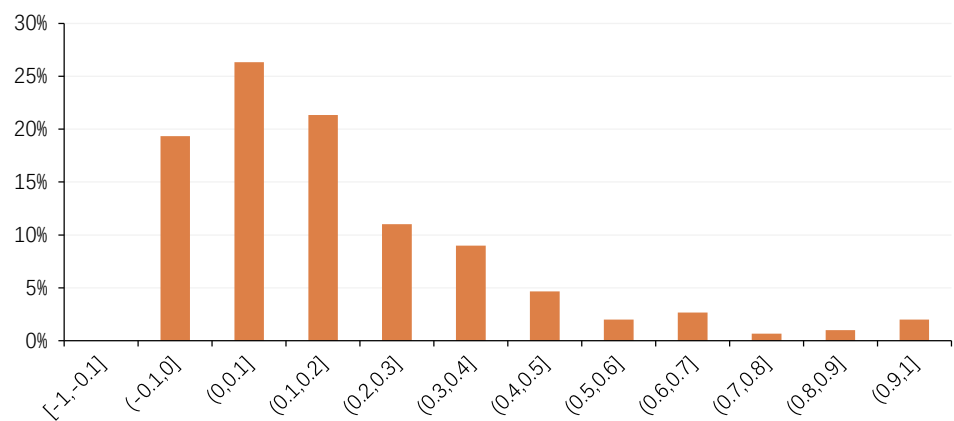
图 22：大类资产收益和风险信息统计图



资料来源：Wind，天风证券研究所

上图中绘制了 25 种大类资产在 2010 年以来的年化收益率和最大回撤统计图。可以发现，在年化收益率方面，海外股票类指数的年化收益率明显高于同期其他地区指数、债券和期货等，期货类资产的年化收益率相对最低；而在最大回撤方面，债券资产的最大回撤最低，海外股票类指数的最大回撤其次。可见，单一资产投资并无法实现低风险高收益的目标，而通过大类资产配置可以在一定程度上可以实现这一目标。

图 23：大类资产长期相关性统计图



资料来源：Wind，天风证券研究所

同时上图中绘制了大类资产之间的长期相关性统计图。可以发现，本报告选取的大类资产整体来看相关性较低，主要集中在-0.1到0.2之间，占比超过了65%。大类资产间的低相关性有利于提升投资组合的收益表现。

6.1. 标准资产配置模型

本小节将对标准的资产配置模型进行实证研究。具体参数设置为：

回测区间：2009年1月1日至2017年8月31日（其中2009年数据用于初期风险估计的计算）；

投资标的：全球范围内的股票、债券和期货等25种大类资产；

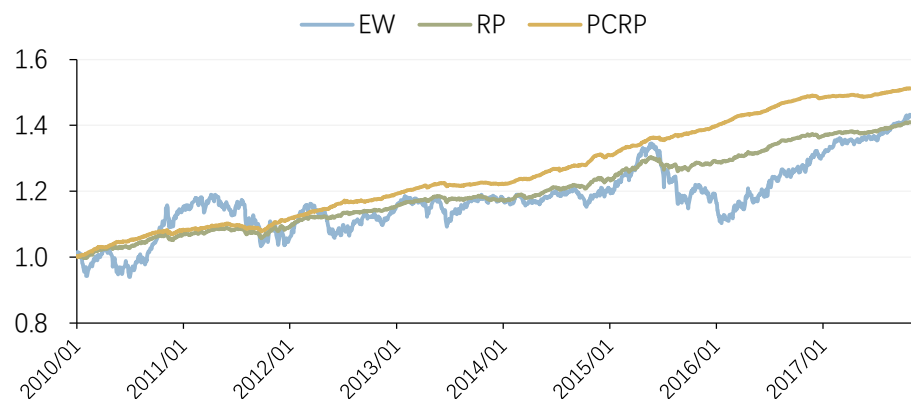
调仓时间：每季度末最后一个交易日；

估计窗：每个调仓前240个交易日数据；

资产配置模型：等权重资产配置模型（EW）、风险平价资产配置模型（RP）和主成分风险平价资产配置模型（PCRP）。

回测结果如下所示。

图 24：标准资产配置模型回测净值曲线图



资料来源：Wind，天风证券研究所

上图中绘制了投资标的在不同资产配置模型下的回测净值曲线图。可以看到，RP 模型和 PCRP 模型的净值曲线较为平缓，而 EW 模型的净值曲线波动较为剧烈。同时，PCR 模型的累计收益率明显高于其他模型。具体地回测结果统计如下表所示。可以发现，PCR 模型在年化收益率、年化波动率和最大回撤等诸多方面均明显优于 EW 模型和 RP 模型，进而使得模型的夏普比率和 Calmar 比率超过了 2。

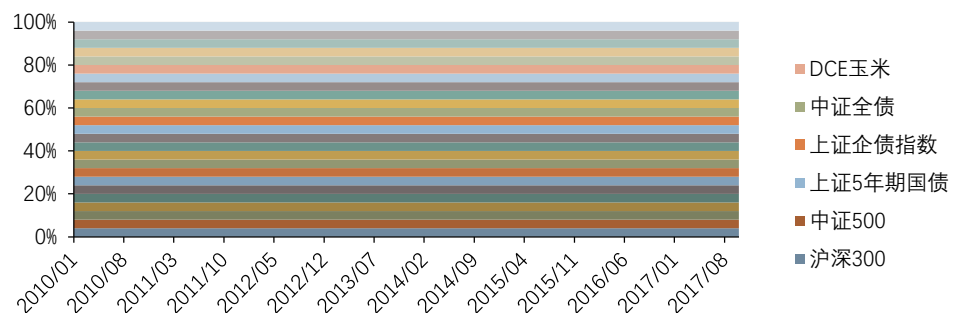
表 5：标准资产配置模型回测结果统计表

	标准资产配置模型		
	EW	RP	PCR
累计收益率	43.16%	40.95%	51.22%
年化收益率	4.69%	4.48%	5.42%
年化波动率	8.36%	1.98%	1.15%
最大回撤	17.98%	3.30%	2.21%
夏普比率	0.202	0.747	2.102
Calmar 比率	0.261	1.357	2.449

资料来源：Wind，天风证券研究所

下面我们将分析各种标准资产配置模型在每个季度调仓权重分布图，具体如下所示。图中从下到上依次对应的是表 4 中的资产。可以发现，EW 模型中各类资产的投资权重在不同时期均是相等的；RP 模型主要投资在三种债券（上证 5 年期国债、上证企债指数、中证全债）上，而其他资产的平均总权重不超过 30%；PCR 模型更是主要投资于上证企债指数，只是在短期内增加了对其他债券指数和 DCE 玉米等资产的投资，在各资产上的投资权重变化速度明显高于其他模型。

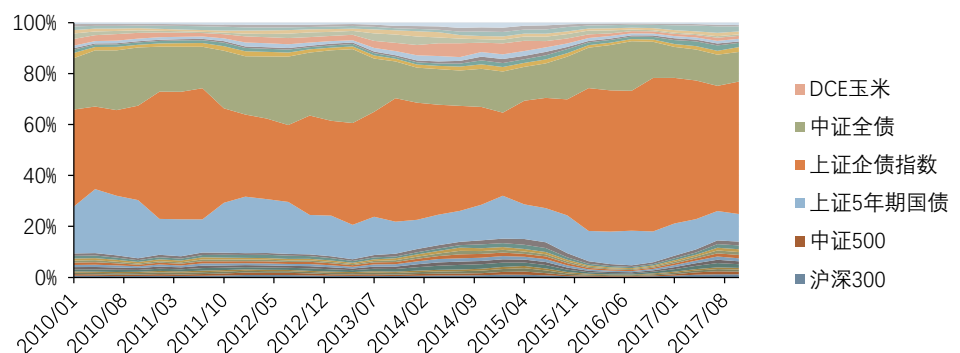
图 25：EW 模型在每个季度投资权重分布图



注：因大类资产数量过多，为了更好地展示，本报告只标记部分权重较大或重要的资产。下同。

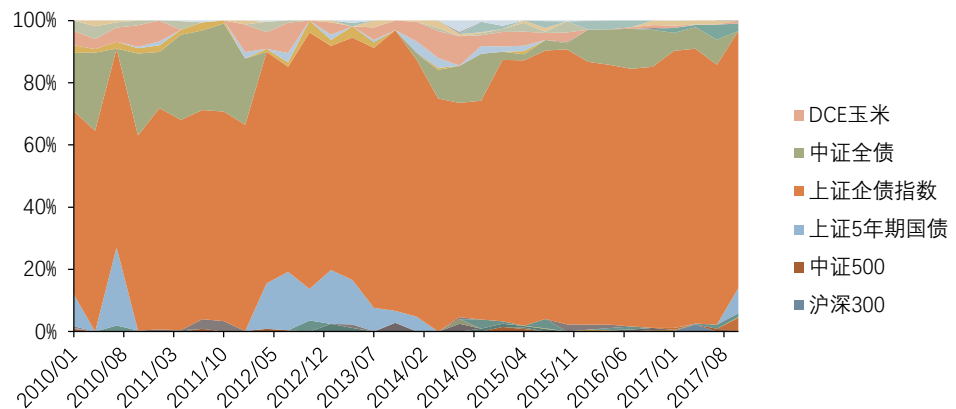
资料来源：Wind，天风证券研究所

图 26：RP 模型在每个季度投资权重分布图



资料来源：Wind，天风证券研究所

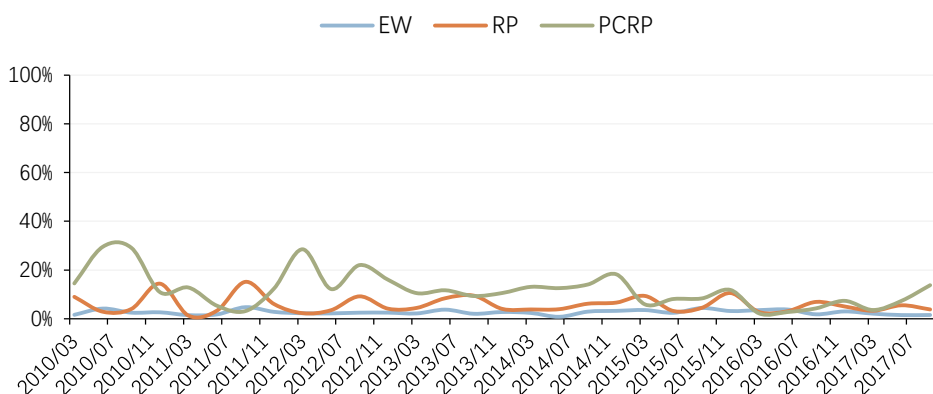
图 27: PCRP 模型在每个季度投资权重分布图



资料来源: Wind, 天风证券研究所

下图中绘制了不同资产配置模型下每个季度的换手率情况。可以发现，整体上，EW 模型的换手率最低，平均季度换手率为 2.63%；PCR P 模型的换手率最高，平均季度换手率为 13.60%；RP 模型居中，平均季度换手率为 5.74%。同时，2016 年以来 PCR P 模型和 RP 模型的换手率均明显低于历史平均水平。PCR P 模型通过对资产的重新组合，准确识别风险并及时调整仓位保证了模型的良好表现。

图 28: 标准资产配置模型季度换手率走势图



资料来源: Wind, 天风证券研究所

6.2. 引入预期风险估计改进的资产配置模型

本小节将对引入预期风险估计改进的资产配置模型进行实证研究。具体参数设置为：

回测区间：2009 年 1 月 1 日至 2017 年 8 月 31 日（其中 2009 年数据用于初期风险估计的计算）；

投资标的：全球范围内的股票、债券和期货等 25 种大类资产；

调仓时间：每季度末最后一个交易日；

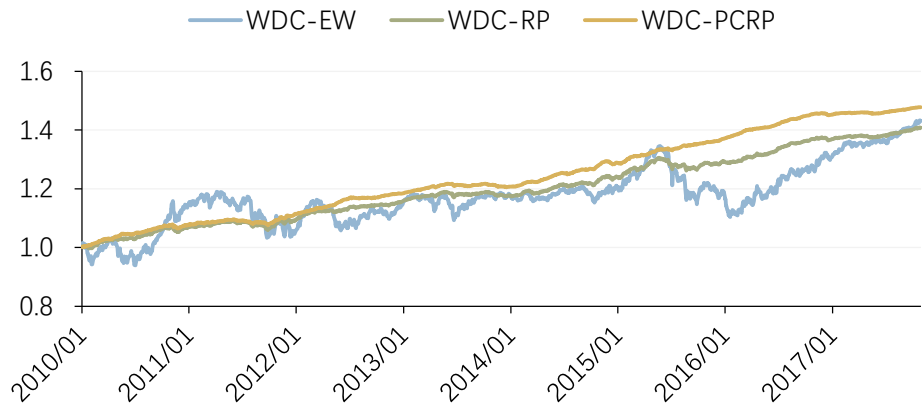
估计窗：每个调仓前 240 个交易日数据；

衰减权重：相关系数整体估计，波动率半衰权重 $[4, 3, 2, 1]/10$ ；

资产配置模型：引入预期风险估计的等权重资产配置模型（WDC-EW）、引入预期风险估计的风险平价资产配置模型（WDC-RP）和引入预期风险估计的主成分风险平价资产配置模型（WDC-PCR）。

回测结果如下所示。

图 29：引入预期风险估计的资产配置模型回测净值曲线图



资料来源：Wind，天风证券研究所

上图中绘制了投资标的在引入预期风险估计的不同资产配置模型下的回测净值曲线图。可以看到，WDC-RP 模型和 WDC-PCR 模型的净值曲线较为平缓，而 WDC-EW 模型的净值曲线波动依旧较为剧烈。同时，WDC-PCR 模型的累计收益率略低于 WDC-RP 模型，而波动却相对最小。具体地回测结果统计如下表所示。可以发现，WDC-PCR 模型在年化收益率、年化波动率和最大回撤等诸多方面均明显优于 WDC-EW 模型和 WDC-RP 模型，进而使得模型的夏普比率和 Calmar 比率方面具有显著优势。

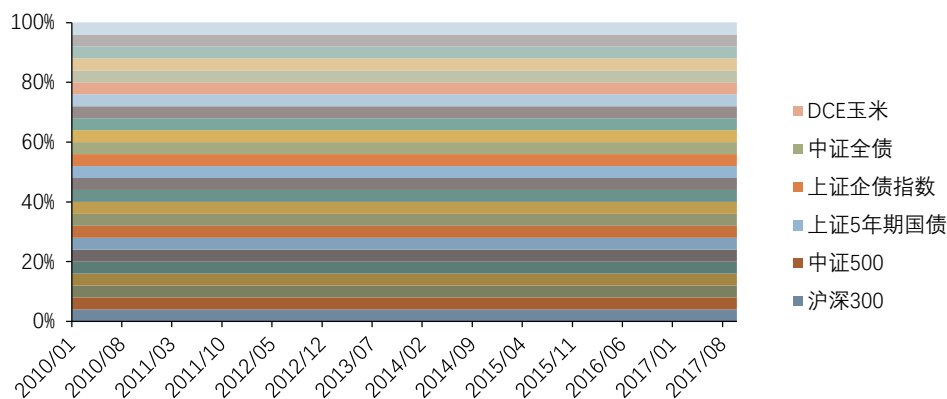
表 6：引入预期风险估计的资产配置模型回测结果统计表

	标准资产配置模型			引入预期风险估计的资产配置模型		
	EW	RP	PCR	WDC-EW	WDC-RP	WDC-PCR
累计收益率	43.16%	40.95%	51.22%	43.16%	40.87%	47.71%
年化收益率	4.69%	4.48%	5.42%	4.69%	4.47%	5.11%
年化波动率	8.36%	1.98%	1.15%	8.36%	1.97%	1.14%
最大回撤	17.98%	3.30%	2.21%	17.98%	3.24%	1.88%
夏普比率	0.202	0.747	2.102	0.202	0.746	1.855
Calmar 比率	0.261	1.357	2.449	0.261	1.379	2.718

资料来源：Wind，天风证券研究所

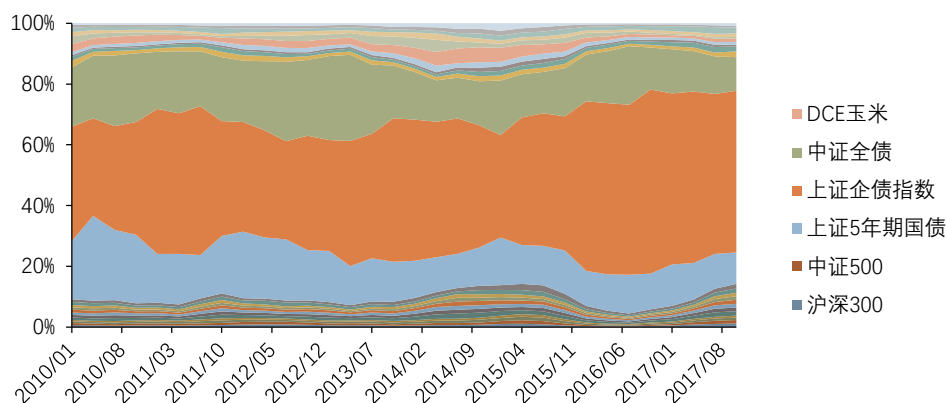
下面我们将分析各种引入预期风险估计的资产配置模型在每个季度调仓权重分布图，具体如下所示。图中从下到上依次对应的是表 4 中的资产。可以发现，WDC-EW 模型中各类资产的投资权重在不同时期均是相等的，与 RP 模型的权重分布并无差异性；WDC-RP 模型主要投资在三种债券（上证 5 年期国债、上证企债指数、中证全债）上，而其他资产的平均总权重不超过 30%；WDC-PCR 模型更是主要投资于上证企债指数，只是在短期内增加了对其他债券指数和 DCE 玉米等资产的投资，在各资产上的投资权重变化速度明显高于其他模型。

图 30: WDC-EW 模型在每个季度投资权重分布图



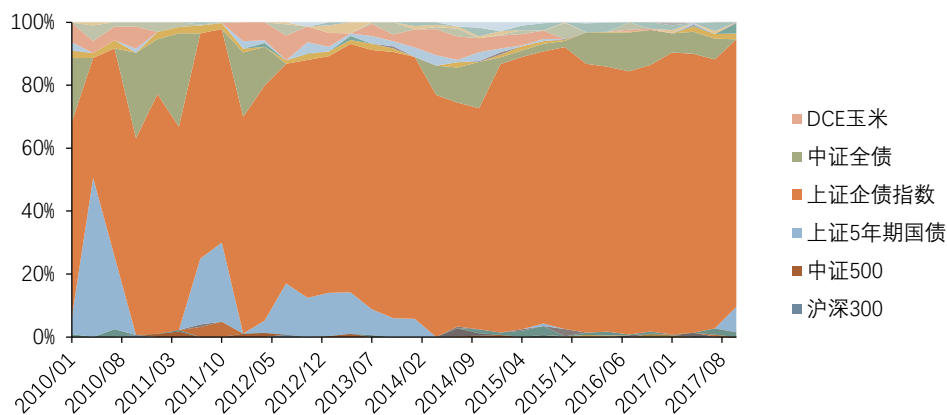
资料来源: Wind, 天风证券研究所

图 31: WDC-RP 模型在每个季度投资权重分布图



资料来源: Wind, 天风证券研究所

图 32: WDC-PCR模型在每个季度投资权重分布图

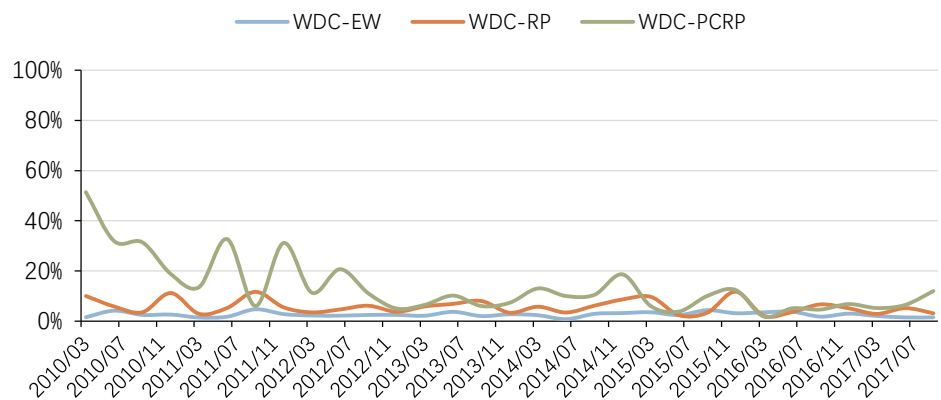


资料来源: Wind, 天风证券研究所

下图中绘制了引入预期风险估计的不同资产配置模型下每个季度的换手率情况。可以发现,整体上,WDC-EW模型的换手率最低,平均季度换手率为2.63%;WDC-PCR模型的换手率最高,平均季度换手率为13.60%;WDC-RP模型居中,平均季度换手率为5.74%。

同时，2013 年以来 WDC-PCR 模型和 WDC-RP 模型的换手率明显低于历史平均水平，且两者换手率走势较为接近。可见，引入预期风险估计弱化了 PCR 模型和 RP 模型之间的差异性。

图 33：引入预期风险估计的资产配置模型季度换手率走势图



资料来源：Wind，天风证券研究所

同时，引入预期风险估计的资产配置模型与传统资产配置模型相比，虽然年化收益率并没有出现提升，但是却使得模型的年化波动率和最大回撤大幅降低。其中，在风险方面改善较为明显的便是主成分风险平价模型。可见，引入预期风险估计可以在一定程度上降低资产配置的风险，进而提升投资组合的收益风险比。

6.3. 引入预期走势估计改进的资产配置模型

本小节将对引入预期走势估计改进的资产配置模型进行实证研究。具体参数设置为：

回测区间：2009 年 1 月 1 日至 2017 年 8 月 31 日（其中 2009 年数据用于初期风险估计的计算）；

投资标的：全球范围内的股票、债券和期货等 25 种大类资产；

估计窗：每个调仓前 240 个交易日数据；

移动平均阶数：3 个月；

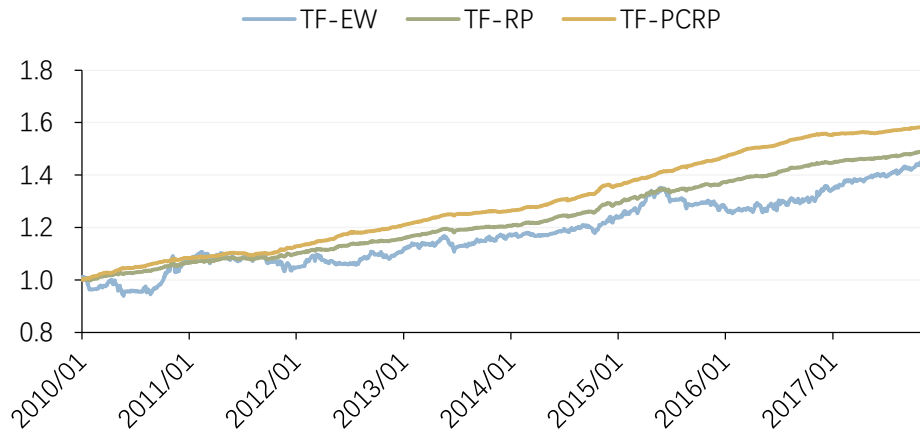
权重调整时间：每季度末最后一个交易日；

趋势调整时间：每个月末最后一个交易日；

无风险资产：年度无风险资产收益率为 3%，日度无风险收益率为 1.25%；

资产配置模型：引入预期走势估计的等权重资产配置模型（TF-EW）、引入预期走势估计的风险平价资产配置模型（TF-RP）和引入预期走势估计的主成分风险平价资产配置模型（TF-PCR）。

图 34：引入预期走势估计的资产配置模型回测净值曲线图



资料来源：Wind，天风证券研究所

上图中绘制了投资标的在引入预期走势估计的不同资产配置模型下的回测净值曲线图。可以看到，TF-RP 模型和 TF-PCR 模型的净值曲线较为平缓，而 TF-EW 模型的净值曲线波动高于其他模型。同时，TF-PCR 模型的累计收益率明显高于其他模型，TF-RP 模型次之，TF-EW 模型的累计收益率最低。具体地回测结果统计如下表所示。可以发现，TF-PCR 模型在年化收益率、年化波动率和最大回撤等诸多方面均明显优于 TF-EW 模型和 TF-RP 模型，进而使得模型的夏普比率达到了 3 以上，Calmar 比率达到了 6 以上，远远超过其他模型。

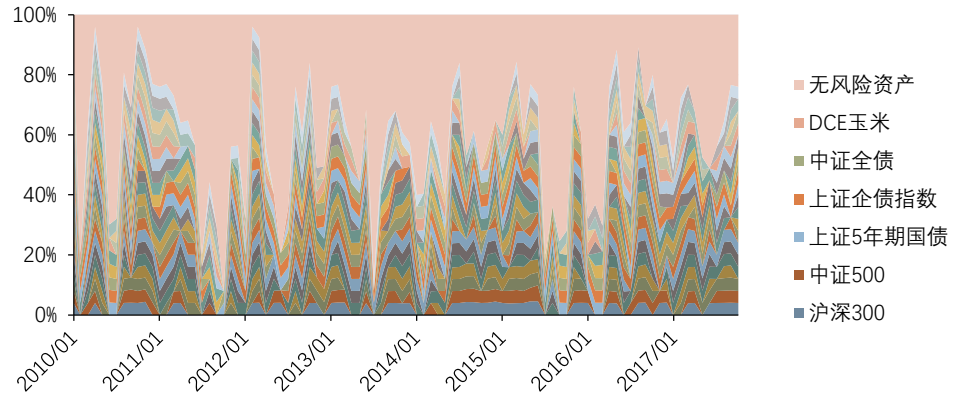
表 7：引入预期走势估计的资产配置模型回测结果统计表

	标准资产配置模型			引入预期走势估计的资产配置模型		
	EW	RP	PCR	TF-EW	TF-RP	TF-PCR
累计收益率	43.16%	40.95%	51.22%	44.81%	48.84%	58.23%
年化收益率	4.69%	4.48%	5.42%	4.84%	5.21%	6.03%
年化波动率	8.36%	1.98%	1.15%	5.20%	1.29%	0.94%
最大回撤	17.98%	3.30%	2.21%	7.24%	1.23%	0.94%
夏普比率	0.202	0.747	2.102	0.354	1.715	3.238
Calmar 比率	0.261	1.357	2.449	0.668	4.244	6.399

资料来源：Wind，天风证券研究所

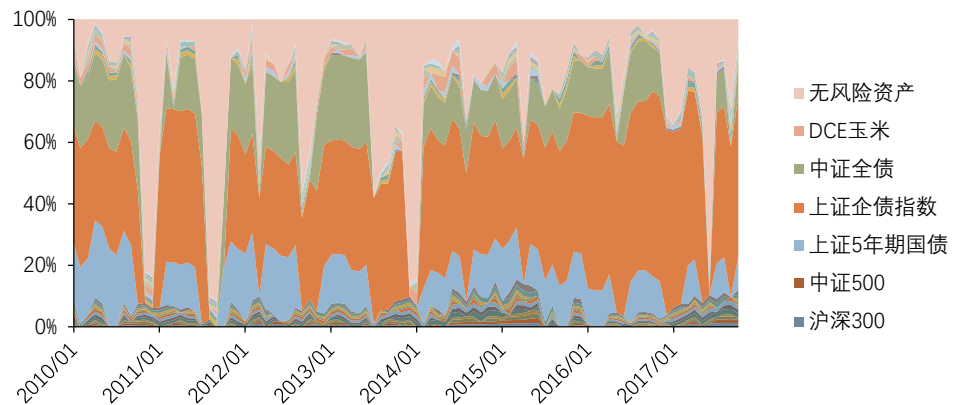
下面我们将分析各种引入预期走势估计的资产配置模型在每个月份调仓权重分布图，具体如下所示。图中从下到上依次对应的是表 4 中的资产，最上层是无风险资产。可以发现，TF-EW 模型中的权重较大比例集中在无风险资产上，某些月份会因为资产的上涨使得无风险资产比例降低；TF-RP 模型主要投资在三种债券（上证 5 年期国债、上证企债指数、中证全债）和无风险资产上，部分月份会因债券没有跑赢 3 阶移动平均线使得无风险资产比例增多；TF-PCR 模型更是主要投资于上证企债指数，某些月份也会增加对其他债券指数和无风险资产的投资，其中也会有个别月份因上证企债指数没有跑赢其 3 阶移动平均线使得无风险资产的投资比例明显增大。

图 35: TF-EW 模型在每个季度投资权重分布图



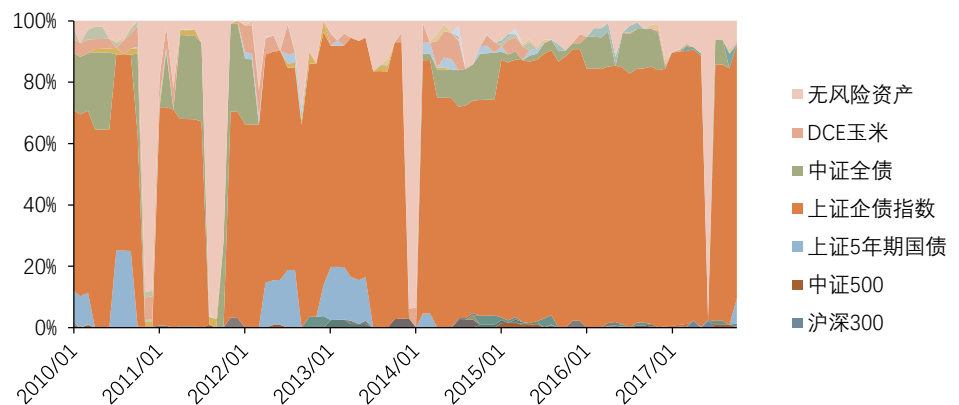
资料来源: Wind, 天风证券研究所

图 36: TF-RP 模型在每个季度投资权重分布图



资料来源: Wind, 天风证券研究所

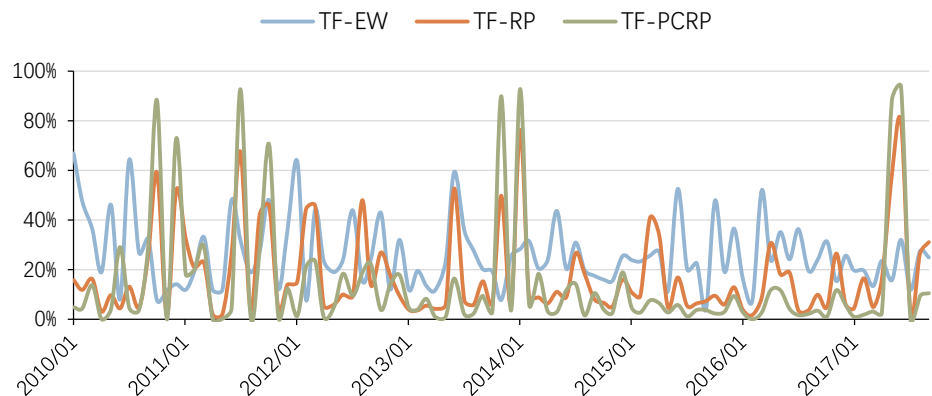
图 37: TF-PCR模型在每个季度投资权重分布图



资料来源: Wind, 天风证券研究所

下图中绘制了引入预期走势估计的不同资产配置模型下每个月度的换手率情况。可以发现, 整体上, TF-PCR 模型的换手率最低, 平均月度换手率为 14.44%; TF-EW 模型的换手率最高, 平均月度换手率为 26.08%; TF-RP 模型居中, 平均月度换手率为 17.86%。同时, 大规模的换手主要集中在季度调仓和市场风格迅速变化的时期, 明显高于其他月份。可见, 引入预期走势估计使得 PCR 模型的换手率相对于其他资产配置模型优势更加明显。

图 38：引入预期走势估计的资产配置模型月度换手率走势图



资料来源：Wind，天风证券研究所

同时，引入预期走势估计的资产配置模型与传统资产配置模型相比，年化收益率明显增加，而年化波动率和最大回撤明显降低。可见，引入预期走势可以大致预判各类资产未来走势，当资产出现潜在风险时，换成保守的无风险资产是一种有效的调整策略。

6.4. 引入预期风险估计和预期走势估计改进的资产配置模型

本小节将对引入预期风险估计和预期走势估计改进的资产配置模型进行实证研究。具体参数设置为：

回测区间：2009年1月1日至2017年8月31日（其中2009年数据用于初期风险估计的计算）；

投资标的：全球范围内的股票、债券和期货等25种大类资产；

估计窗：每个调仓前240个交易日数据；

衰减权重：相关系数整体估计，波动率半衰权重 $[4, 3, 2, 1]/10$ ；

移动平均阶数：3个月；

权重调整时间：每季度末最后一个交易日；

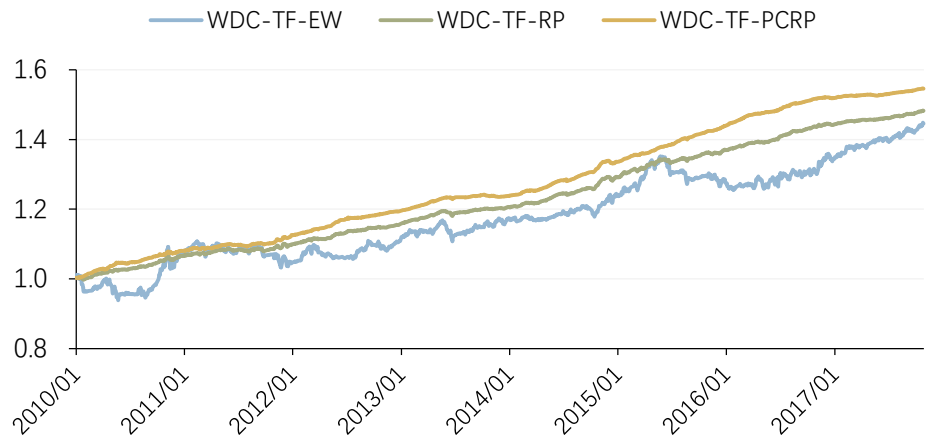
趋势调整时间：每个月末最后一个交易日；

无风险资产：年度无风险资产收益率为3%，日度无风险收益率为1.25%；

资产配置模型：引入预期走势估计的等权重资产配置模型（WDC-TF-EW）、引入预期走势估计的风险平价资产配置模型（WDC-TF-RP）和引入预期走势估计的主成分风险平价资产配置模型（WDC-TF-PCR）。

回测结果如下所示。

图 39：引入预期风险估计和预期收益估计的资产配置模型回测净值曲线图



资料来源：Wind，天风证券研究

上图中绘制了投资标的在引入预期风险估计和预期走势估计的不同资产配置模型下的回测净值曲线图。可以看到，WDC-TF-RP 模型和 WDC-TF-PCR 模型的净值曲线较为平缓，而 WDC-TF-EW 模型的净值曲线波动略高于其他模型。同时，WDC-TF-PCR 模型的累计收益率明显高于其他模型，WDC-TF-RP 模型次之，WDC-TF-EW 模型的累计收益率最低。具体地回测结果统计如下表所示。可以发现，WDC-TF-PCR 模型在年化收益率、年化波动率和最大回撤等诸多方面均明显优于 WDC-TF-EW 模型和 WDC-TF-RP 模型，进而使得模型的夏普比率达到了 3 以上，Calmar 比率达到了 8 以上，远远超过其他模型。

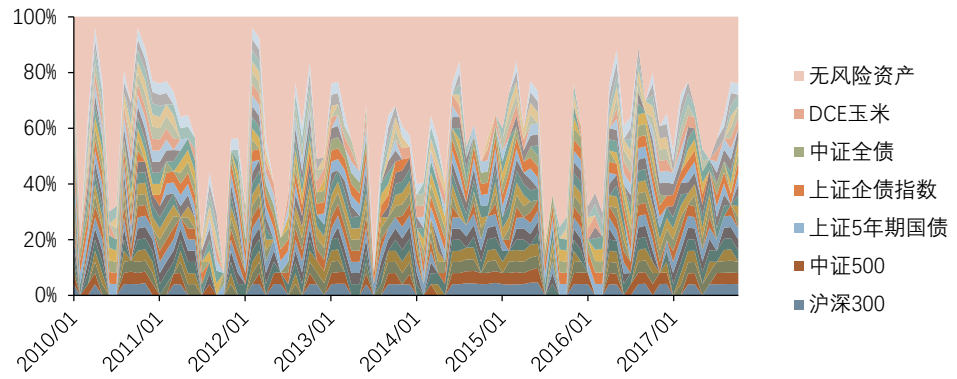
表 8：引入预期风险估计和预期走势估计的资产配置模型回测结果统计表

	标准资产配置模型			引入预期风险估计和预期走势估计的资产配置模型		
	EW	RP	PCR	WDC-TF-EW	WDC-TF-RP	WDC-TF-PCR
累计收益率	43.16%	40.95%	51.22%	44.81%	48.26%	54.59%
年化收益率	4.69%	4.48%	5.42%	4.84%	5.16%	5.72%
年化波动率	8.36%	1.98%	1.15%	5.20%	1.27%	0.90%
最大回撤	17.98%	3.30%	2.21%	7.24%	1.23%	0.68%
夏普比率	0.202	0.747	2.102	0.354	1.693	3.016
Calmar 比率	0.261	1.357	2.449	0.668	4.201	8.418

资料来源：Wind，天风证券研究所

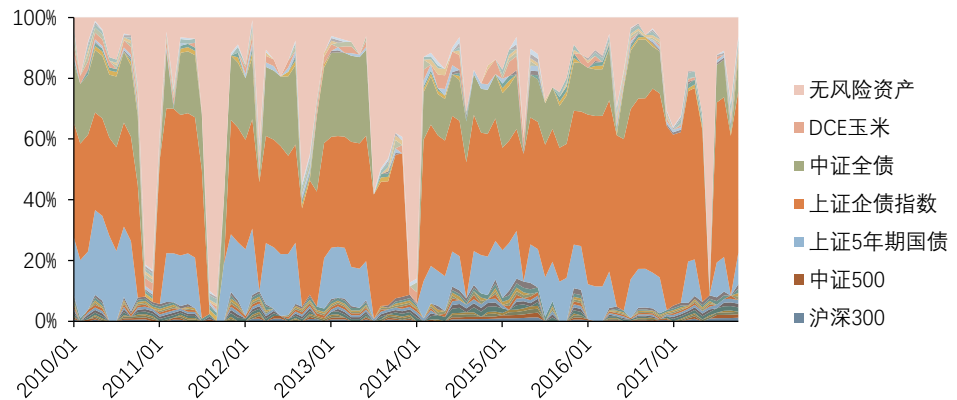
下面我们将分析各种引入预期风险估计和预期走势估计的资产配置模型在每个月份调仓权重分布图，具体如下所示。图中从下到上依次对应的是表 4 中的资产，最上层为无风险资产。可以发现，WDC-TF-EW 模型中的权重较大比例集中在无风险资产上，某些月份会因为资产的上涨使得无风险资产比例降低；WDC-TF-RP 模型主要投资在三种债券（上证 5 年期国债、上证企债指数、中证全债）和无风险资产上，部分月份会因债券没有跑赢 3 阶移动平均线使得无风险资产比例增多；WDC-TF-PCR 模型更是主要投资于上证企债指数，某些月份也会增加对其他债券指数和无风险资产的投资，其中也会有个别月份因上证企债指数没有跑赢其 3 阶移动平均线使得无风险资产的投资比例明显增大。

图 40: WDC-TF-EW 模型在每个季度投资权重分布图



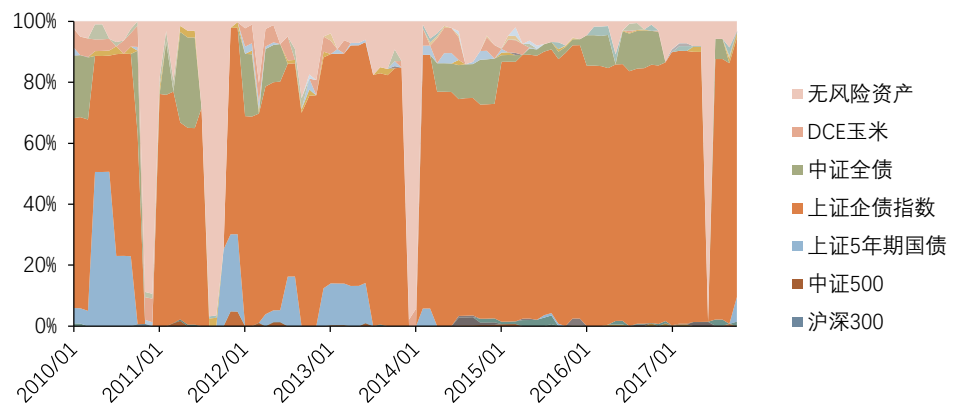
资料来源: 天风证券研究所

图 41: WDC-TF-RP 模型在每个季度投资权重分布图



资料来源: 天风证券研究所

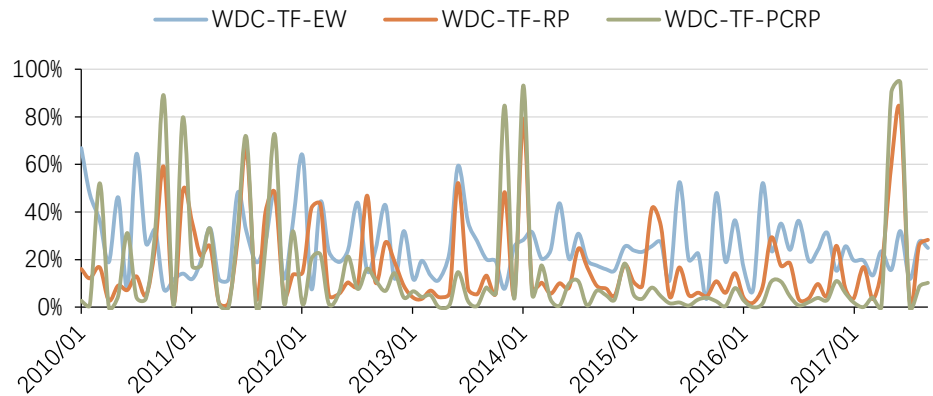
图 42: WDC-TF-PCR模型在每个季度投资权重分布图



资料来源: 天风证券研究所

下图中绘制了引入预期风险估计和预期走势估计的不同资产配置模型下每个月度的换手率情况。可以发现，整体上，WDC-TF-PCR 模型的换手率最低，平均月度换手率为 14.65%；WDC-TF-EW 模型的换手率最高，平均月度换手率为 26.08%；WDC-TF-RP 模型居中，平均月度换手率为 17.78%。同时，大规模的换手主要集中在季度调仓和市场风格迅速变化的时期，明显高于其他月份。可见，引入预期风险估计和预期走势估计使得 PCR 模型的换手率与引入预期走势估计的资产配置模型的换手率较为接近。

图 43: 引入预期风险估计和预期走势估计的资产配置模型月度换手率走势图



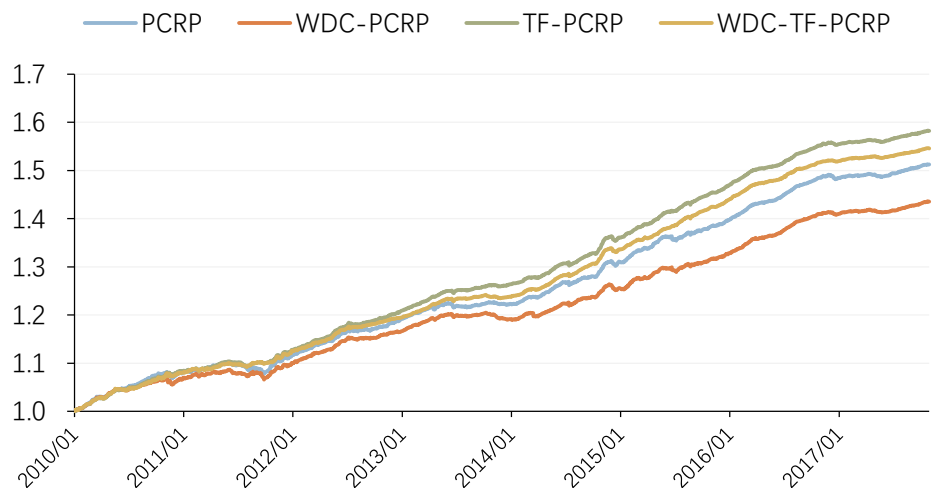
资料来源: Wind, 天风证券研究所

同时, 引入预期风险估计和预期走势估计的资产配置模型与传统资产配置模型相比, 年化收益率明显增加, 而年化波动率和最大回撤的降低更为显著。可见, 当引入预期风险估计和预期走势估计, 能够在大致预判各类资产未来走势的同时, 大幅度降低投资组合的风险, 进而使得投资组合的收益风险比提升。

6.5. 改进的主成分风险平价模型汇总分析

上面三小节分别逐步实证了引入预期风险估计和预期走势估计改进对资产配置模型的影响。可以发现, 我们提出的主成分风险平价模型在收益和风险等诸多方面相对于传统的资产配置模型均具有明显的优势。同时, 为了直观比较改进的主成分风险平价模型的效果, 下面我们对相关回测结果进行汇总, 具体如下所示。

图 44: 改进的主成分风险平价模型回测走势图



资料来源: Wind, 天风证券研究所

上图中绘制了四种主成分风险平价模型的回测净值曲线图。可以看到, 各个模型的波动整体较低, 净值走势持续增加, 其中 TF-PCR 模型的累计收益率最高, 其次是 WDC-TF-PCR 模型, 最低的是 WDC-PCR 模型。各模型的具体回测结果统计如下表所示。可以发现, TF-PCR 模型的年化收益率最高, 而 WDC-TF-PCR 模型的年化波动率和最大回撤最低; 当考虑收益风险比时, TF-PCR 模型的夏普比率是最高的, 而 WDC-TF-PCR 模型的 Calmar 比率是最高的。

表 9：改进的主成分风险平价模型回测结果汇总表

	PCR	WDC-PCR	TF-PCR	WDC-TF-PCR
累计收益率	51.22%	47.71%	58.23%	54.59%
年化收益率	5.42%	5.11%	6.03%	5.72%
年化波动率	1.15%	1.14%	0.94%	0.90%
最大回撤	2.21%	1.88%	0.94%	0.68%
夏普比率	2.102	1.855	3.238	3.016
Calmar 比率	2.449	2.718	6.399	8.418

资料来源：Wind，天风证券研究所

通过比较 PCR 模型与 WDC-PCR 模型、以及 TF-PCR 模型与 WDC-TF-PCR 模型可以发现，引入预期风险估计可以明显降低投资组合的波动和回撤；通过比较 PCR 模型与 TF-PCR 模型、以及 WDC-PCR 模型与 WDC-TF-PCR 模型可以发现，引入预期走势估计可以明显降低投资组合的波动和回撤，同时可以提升投资组合的收益。由此可见，预期走势对主成分风险平价模型在收益和风险的提升效果是明显的，而预期风险对主成分风险平价模型在风险控制方面是较好的。

表 10：改进风险平价模型最新权重分布统计表（截至 2017 年 10 月 31 日）

最新权重	PCR	WDC-PCR	TF-PCR	WDC-TF-PCR
富时 100	4.49%		4.43%	
德国 DAX	0.26%		0.26%	
日经 225	1.26%	1.60%	1.26%	1.60%
上证 5 年期国债	8.06%	8.00%		
上证企债指数	82.62%	85.08%	82.63%	85.03%
上期所黄金连续		1.81%		
SHFE 黄金	2.41%	3.17%		
SHFE 铜		0.22%		0.22%
DCE 玉米	0.90%			
CZCE 棉花		0.12%		
无风险资产			11.42%	13.15%

注：由于 PCR 模型和 WDC-PCR 模型是季度调仓策略，所以其对应权重为 3 季度调仓后至截止日各资产的市值占比。

资料来源：天风证券研究所

下面为了探究移动平均阶数对趋势跟踪的影响，我们将遍历分析不同阶数下模型的表现。本报告将在 1 到 12 阶之间，考察不同阶数下 TF-PCR 模型和 WDC-TF-PCR 模型的回测结果，具体如下面各表所示。

表 11：移动平均阶数对 TF-PCR 模型回测结果的影响

移动平均阶数	TF-PCR 模型											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
累计收益率	51.22%	57.88%	58.23%	58.42%	56.88%	56.66%	56.33%	52.72%	52.92%	53.66%	53.88%	53.43%
年化收益率	5.42%	6.00%	6.03%	6.05%	5.92%	5.90%	5.87%	5.55%	5.57%	5.64%	5.66%	5.62%
年化波动率	1.15%	0.92%	0.94%	0.96%	0.95%	0.97%	0.98%	1.03%	1.02%	1.03%	1.04%	1.04%
最大回撤	2.21%	0.75%	0.94%	0.83%	0.83%	1.16%	1.14%	1.62%	1.72%	1.62%	1.99%	1.99%
夏普比率	2.102	3.256	3.238	3.187	3.070	2.985	2.935	2.487	2.518	2.558	2.556	2.513
Calmar 比率	2.449	8.034	6.399	7.312	7.152	5.098	5.148	3.438	3.248	3.489	2.849	2.829

资料来源：Wind，天风证券研究所

上表中列出了移动平均阶数对 TF-PCR 模型回测结果影响的统计表。可以发现，随着移动平均阶数的增加，模型的年化收益率呈现先增大后减小的走势，整体位于 5.5% 到 6.0% 之间；年化波动率并没有随着移动平均阶数的变化而变化，基本稳定在 1% 附近；最大回撤呈现先变小后逐渐增大的走势，在 2 至 5 阶之间的最大回撤控制在 1% 以内；夏普比率呈现先增加后逐渐降低的走势，整体均在 2 以上，在 2 至 5 阶之间的夏普比率均在 3 以上；Calmar 比率呈现先增加后降低的走势，在 2 至 5 阶之间的 Calmar 比率均在 6 以上。

表 12：移动平均阶数对 WDC-TF-PCR 模型回测结果的影响

移动平均阶数	WDC-TF-PCR 模型											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
累计收益率	47.71%	55.03%	54.59%	53.48%	52.60%	53.50%	54.18%	50.95%	51.01%	50.98%	50.81%	50.53%
年化收益率	5.11%	5.76%	5.72%	5.62%	5.54%	5.62%	5.68%	5.40%	5.40%	5.40%	5.39%	5.36%
年化波动率	1.14%	0.87%	0.90%	0.91%	0.91%	0.92%	0.92%	0.97%	0.96%	0.97%	0.98%	0.99%
最大回撤	1.88%	0.64%	0.68%	0.92%	0.92%	0.92%	0.92%	1.53%	1.53%	1.53%	1.72%	1.78%
夏普比率	1.855	3.156	3.016	2.877	2.794	2.858	2.906	2.483	2.503	2.476	2.444	2.393
Calmar 比率	2.718	8.971	8.418	6.080	5.996	6.082	6.146	3.523	3.526	3.523	3.123	3.008

资料来源：Wind，天风证券研究所

上表中列出了移动平均阶数对 WDC-TF-PCR 模型回测结果影响的统计表。可以发现，随着移动平均阶数的增加，模型的年化收益率呈现先增大后减小的走势，整体位于 5.0% 到 5.7% 之间；年化波动率并没有随着移动平均阶数的变化而变化，基本控制在 1% 以内；最大回撤呈现先变小后逐渐增大的走势，在 2 至 7 阶之间的最大回撤控制在 1% 以内；夏普比率呈现先增加后逐渐降低的走势，整体维持在 2 以上，在 2 至 7 阶之间的夏普比率均在 2.5 以上；Calmar 比率呈现先增加后降低的走势，在 2 至 7 阶之间的 Calmar 比率均在 6 以上。

由此可见，TF-PCR 模型在收益率方面具有明显的优势且较稳定，而 WDC-TF-PCR 模型在风险控制方面具有明显的优势。事实上，其背后的原因一是趋势跟踪法在提升组合收益上具有良好的表现，趋势跟踪只对有明显上升趋势的资产进行配置，而对处于下跌趋势的资产替换为无风险资产，保证了投资组合收益的稳定性；二是衰减加权法在风险控制上具有良好的表现，其更加直观反映了当前资产的波动，对低波动的资产增加配置，有效控制了投资组合的风险。而当把趋势跟踪法和衰减加权法结合时，并没有使得投资组合的收益提升，主要原因是引入衰减加权法的模型会对近期低波动的资产给予高配，而基于资产短期动量思想这类资产很难突破移动平均线，进而使得模型在风险控制方面具有明显优势，而使得收益有所降低。

另外，本报告前文中选择以 3 阶移动平均构建的 TF-PCR 模型和 WDC-TF-PCR 模型虽然不是全局最优，但却是局部稳定的较优解。

6.6. 主成分风险平价模型的增强：债券加杠杆

主成分风险平价模型具有高收益风险比的特性，主要原因是配置了高比例的债券，但是可以发现模型的年化收益率整体偏低。考虑到当前市场上，大部分债券均可以通过添加杠杆的形式改变其收益风险属性，从而提升投资组合的收益。因此，本小节我们在债券添加杠杆的条件下进行主成分风险平价模型的回测分析。

债券加杠杆的主要形式是通过银行间市场以现券为质押物进行质押式回购融资在买入债券。目前，回购市场透明度较高，但因受到政策约束，债市杠杆较低且有顶，杠杆比率一般在 2 倍以内，其中公募债券基金市场的杠杆率不得超过总资产的 140%^①。假设每年融资费用为 3%，则每日的融资费用约为 1.25%（假定每年有 240 个交易日）。

① 2013 年证监会《公募基金运作管理办法（征求意见稿）》规定，“基金总资产超过基金净资产的百分之一百四十”。

不同杠杆率下 TF-PCR模型和 WDC-TF-PCR模型的回测结果如下面各表所示。

表 13: 不同杠杆率下 TF-PCR模型的回测结果统计表

杠杆率	0	1	1.1	1.2	1.3	1.4	2	3	4	5	6	7	8	9	10
累计收益率	58.2%	92.4%	96.1%	100.0%	103.9%	107.9%	133.5%	183.2%	242.9%	314.8%	401.0%	504.4%	628.3%	776.4%	953.3%
年化收益率	6.03%	8.71%	8.98%	9.25%	9.52%	9.79%	11.44%	14.21%	17.04%	19.91%	22.84%	25.82%	28.85%	31.93%	35.06%
年化波动率	0.94%	1.37%	1.42%	1.47%	1.52%	1.57%	1.88%	2.42%	2.97%	3.53%	4.10%	4.66%	5.23%	5.80%	6.37%
最大回撤	0.94%	2.16%	2.28%	2.41%	2.53%	2.65%	3.38%	4.58%	5.79%	6.98%	8.17%	9.35%	10.53%	11.70%	12.98%
夏普比率	3.238	4.172	4.218	4.261	4.299	4.334	4.487	4.632	4.720	4.786	4.842	4.892	4.940	4.987	5.033
Calmar 比率	6.399	4.027	3.931	3.845	3.767	3.697	3.387	3.100	2.944	2.852	2.795	2.760	2.739	2.729	2.701

资料来源: Wind, 天风证券研究所

表 14: 不同杠杆率下 WDC-TF-PCR模型的回测结果统计表

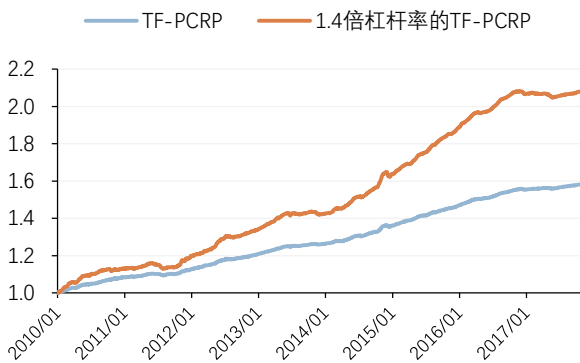
杠杆率	0	1	1.1	1.2	1.3	1.4	2	3	4	5	6	7	8	9	10
累计收益率	54.6%	88.2%	91.9%	95.7%	99.6%	103.6%	128.9%	177.9%	237.1%	308.3%	393.9%	496.8%	620.2%	768.0%	944.8%
年化收益率	5.72%	8.41%	8.68%	8.95%	9.22%	9.50%	11.15%	13.94%	16.78%	19.67%	22.62%	25.62%	28.66%	31.77%	34.92%
年化波动率	0.90%	1.34%	1.39%	1.44%	1.50%	1.55%	1.86%	2.41%	2.97%	3.54%	4.11%	4.68%	5.26%	5.83%	6.41%
最大回撤	0.68%	1.66%	1.75%	1.85%	1.95%	2.05%	2.63%	3.63%	4.97%	6.30%	7.62%	8.92%	10.21%	11.49%	12.75%
夏普比率	3.016	4.024	4.075	4.121	4.162	4.200	4.370	4.533	4.634	4.709	4.772	4.829	4.882	4.933	4.983
Calmar 比率	8.418	5.078	4.950	4.837	4.735	4.643	4.241	3.840	3.373	3.120	2.968	2.871	2.807	2.766	2.740

资料来源: Wind, 天风证券研究所

上表中列出了不同杠杆率下 TF-PCR模型和 WDC-TF-PCR模型的回测结果。可以发现, 随着杠杆率的增加, 模型的提升效果是明显的。虽然在年化收益率增加的同时, 模型的年化波动率和最大回撤均在增加, 但是模型的夏普比率却在逐渐增大。可见, 债券加杠杆是提升主成分风险平价模型收益的一种有效方式。

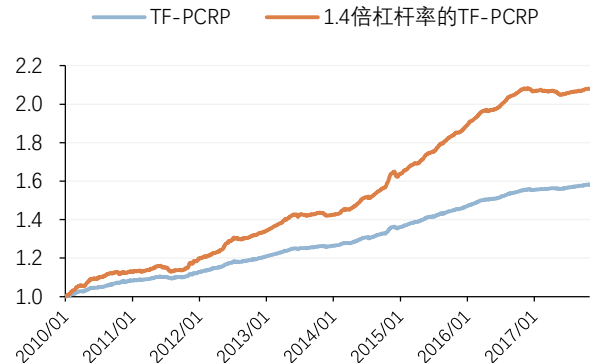
下图绘制了 1.4 倍杠杆率下 TF-PCR模型和 WDC-TF-PCR模型的净值走势图。可以发现, 债券加杠杆后的模型净值明显优于之前的模型, 且超额收益持续增长。但是, 随着 2016 年下半年债券市场的下行, 使得模型的收益表现较弱。

图 45: 1.4 倍杠杆率下 TF-PCR模型的净值走势图



资料来源: Wind, 天风证券研究所

图 46: 1.4 倍杠杆率下 WDC-TF-PCR模型的净值走势图



资料来源: Wind, 天风证券研究所

整体而言, 通过债券加杠杆可以提升风险平价相关模型的收益表现, 但是实际操作中可能会遇到一些问题。例如, 短期融资出现融资困难或者融资费用较高的问题; 债券的杠杆比例有限制; 债券市场的波动将会严重影响模型的收益表现; 等等。

7. 总结与展望

传统的风险平价 (Risk Parity, RP) 模型存在许多局限性: (1) 模型要求资产间的相关性尽可能低, 而事实上现有资产间的相关度是非常高的; (2) 模型会对所有资产分配权重, 即便投资标的中有两种相关性极高资产; (3) 模型没有考虑资产的未来收益表现, 如果所有资产都处于下跌行情, 模型依然会给资产分配权重; (4) 模型没有考虑不同资产的风险特性; 等等。在上一篇报告中我们提出了主成分风险平价模型有效解决了前两个问题, 该模型在实现内在资产组合等风险贡献的同时, 具有资产筛选的功能。因此, 为了解决后两个问题, 在本报告中我们依次提出了基于衰减加权的预期风险估计和基于趋势跟踪的预期走势估计。

通过对全球范围内的股票、债券和期货等资产类别中筛选 25 种大类资产进行资产配置研究发现, 主成分风险平价模型在收益风险诸多方面均明显优于传统的风险平价模型; 引入预期风险估计可以明显降低投资组合的波动和回撤; 引入预期走势估计可以明显降低投资组合的波动和回撤, 同时可以提升投资组合的收益。由此可见, 预期走势对主成分风险平价模型在收益和风险的提升效果是明显的, 而预期风险对主成分风险平价模型在风险控制方面是较好的。另外, 由于主成分风险平价模型大部分都是投资在债券上, 因此我们发现可以通过债券加杠杆的形式增强模型的收益。

事实上, 本报告主要的目的在于通过实证说明主成分风险平价模型及其改进相对于传统风险平价模型的优势, 而非专注于最后构建的大类资产配置策略。由于所选取的大部分原资产在收益风险方面并不令人满意, 从而使得实证结果与实际投资依然会存在一定差距。要将模型转化为可投资的策略, 还需要更好的资产才可实现。

当然, 本报告引入预期风险估计和预期走势估计有效提升了模型的收益表现, 但是模型依旧存在许多可以改进的地方。例如, 引入预期风险估计和预期走势估计并没有达到双重提升的效果; 不同资产的波动率估计应该存在一定差异性; 不同资产的趋势跟踪效果应该存在一定的差异性; 债券加杠杆虽然可以提升模型的收益表现, 但是债券市场的一些风险也会给投资组合带来很多不确定性; 等等。因此, 在接下来的研究中我们将针对这些问题进行深入探讨。

附录

附录 1: 标准风险平价模型的统一框架

风险平价 (Risk Parity or Equal Risk Contribution, RP) 是一种新型资产配置策略, 该策略在确定组合中各类资产权重时, 要求组合总风险平均分配在各类资产上, 即组合对每类资产的风险暴露程度相同。

假设投资组合中共有 n 个资产, 第 i 个资产的收益率为 r_i , 假定 $w = [w_1, w_2, \dots, w_n]'$ 表示资产的投资权重向量, 则投资组合的波动率可以定义为:

$$\sigma_p = \sqrt{w' \Sigma w}$$

其中: σ_p 表示投资组合波动率, 用以衡量组合的整体风险; Σ 表示投资组合收益率的协方差矩阵, 为对称阵。由此, 我们可以得到每个资产对投资组合的风险贡献 RC_i 为:

$$RC_i = w_i \frac{\partial \sigma_p}{\partial w_i} = w_i \frac{(\Sigma w)_i}{\sqrt{w' \Sigma w}}$$

而所有资产的总风险贡献 TRC 为:

$$TRC = \sum_{i=1}^n RC_i = \sum_{i=1}^n w_i \frac{(\Sigma w)_i}{\sqrt{w' \Sigma w}} = \sqrt{w' \Sigma w} = \sigma_p$$

从而，我们可以认为，组合的波动率可以分解为各项资产的边际风险之和，即

$$Risk(r_p) = \sigma_p = RC_1 + RC_2 + \dots + RC_n$$

为了能够消除不同资产对组合风险贡献的不平衡，得到风险更加分散化的组合。研究者提出等风险的组合，以保证各资产的风险贡献相等。具体的

$$RC_i = RC_j \text{ for all } i \neq j \Leftrightarrow w_i \frac{(\Sigma w)_i}{\sqrt{w' \Sigma w}} = w_j \frac{(\Sigma w)_j}{\sqrt{w' \Sigma w}} \text{ for all } i \neq j$$

$$\Leftrightarrow \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (RC_i - RC_j)^2 = 0 \Leftrightarrow \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w_i (\Sigma w)_i - w_j (\Sigma w)_j)^2 = 0$$

上述等式可以转化为优化模型求解最优权重，即：

$$\min_w \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [w_i (\Sigma w)_i - w_j (\Sigma w)_j]^2$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{i=1}^n w_i = 1 \\ 0 \leq w_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

当目标函数等于 0 时，有 $\forall i, j \in \{1, 2, \dots, n\}, RC_i = RC_j$ ，该数值解即为风险平价模型的投资组合权重。

上述模型即为标准风险平价模型的统一框架。当算得各资产的风险贡献 RC 和协方差 Σ ，便可带入上述框架中形成相应的风险平价模型。风险平价模型适用范围从资产配置到单个资产类别，到基于因子组合或模型，具有较强的普适性。风险平价模型从风险角度出发优化投资权重，追求不同类型资产的风险均衡。

附录 2：基于分散化思想的主成分风险平价模型

主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)最初由 Pearson 于 1901 年提出，后由 Wold、Hotelling 等进一步研究至现在版本。主成分分析是一种基于降维思想把多个资产利用数学变换转化为少数几个主成分(即综合变量)的多元统计分析方法，这些主成分能够反映原始资产的大部分信息，更具有现实意义，通常表现为原始资产的线性组合，为使得这些主成分所包含的信息互不重叠，要求各主成分之间互不相关。本模型的基本思路是运用主成分分析对投资组合中的标的资产进行旋转，提取所有不相关的资产组合进行风险平价模型分析，最后反推确定原资产的最优投资权重。

假设投资组合中共有 N 个资产，资产的收益率为 $R = [r_1, r_2, \dots, r_N]'$ ，针对投资组合权重 $w = [w_1, w_2, \dots, w_N]'$ ，投资组合的总收益为：

$$R_w = w'R$$

可利用 N 个资产的收益率计算资产的协方差矩阵 $\Sigma = Cov(R)$ ，因协方差阵 Σ 的对称性，可将 Σ 分解为 N 个正交的特征向量：

$$E \Lambda E' = \Sigma$$

其中： $\Lambda = diag(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N)$ 为 Σ 特征值构建的对角阵，且 λ_i 满足 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_N$ ；E 为 λ_i 对应特征向量 e_i 列排列构成的特征向量矩阵，且 E 为正交矩阵，所以 $E' = E^{-1}$ 且 $E'E = I$ 。因此，协方差阵可分解为：

$$\Sigma = \lambda_1 e_1 e_1' + \lambda_2 e_2 e_2' + \dots + \lambda_N e_N e_N'$$

特征向量可形成 N 个正交的投资组合，又被称作主成分组合 (Principal Component Bets) (Partovi and Caputo, 2004)。主成分组合的收益率可定义为：

$$R_{PC} = E'R$$

同时，

$$Cov(R_{PC}) = Cov(E'R) = E' Cov(R) E = E' \Sigma E = E' E \Lambda E' E = \Lambda$$

针对单个主成分投资组合有 $Var(\tilde{r}_i) = e_i' \Sigma e_i = \lambda_i$ 。对于任意两个主成分组合 \tilde{r}_i 和 \tilde{r}_j 有 $Cov(\tilde{r}_i, \tilde{r}_j) = e_i' \Sigma e_j = 0$ 。可以发现， N 个主成分组合是不相关的且他们的方差分别与 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ 相等。因此，主成分组合的权重可由原权重的线性组合构成，即

$$w_{PC} = E'w$$

主成分组合的总收益为：

$$R_w = w_{PC}' R_{PC} = (E'w)'(E'R) = w'EE'R = w'R$$

对主成分组合进一步应用风险平价模型，由风险贡献 RC_i 的定义可得

$$w_{PC,i} \frac{(\Lambda w_{PC})_i}{\sqrt{w_{PC}' \Lambda w_{PC}}} = \frac{(E'w)_i \cdot (\Lambda E'w)_i}{\sqrt{w'E \Lambda E'w}} = \frac{(E'w)_i \cdot (E^{-1} \Sigma w)_i}{\sqrt{w' \Sigma w}} = \frac{(E'w)_i \cdot (E' \Sigma w)_i}{\sqrt{w' \Sigma w}}$$

所以主成分组合的风险平价模型可转化为

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [(E'w)_i (E' \Sigma w)_i - (E'w)_j (E' \Sigma w)_j]^2 = 0$$

本报告将这种方法称为**主成分风险平价模型** (Principal Components Risk Parity, PCRP)。上述等式可以转化为优化模型求解最优权重，即：

$$\min_w \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [(E'w)_i (E' \Sigma w)_i - (E'w)_j (E' \Sigma w)_j]^2$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{i=1}^n w_i = 1 \\ 0 \leq w_i \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

当目标函数等于 0 时，有 $\forall i, j \in \{1, 2, \dots, n\}, RC_i = RC_j$ ，该数值解即为主成分风险平价模型的投资组合权重。

主成分风险平价模型通过对原资产进行线性变换确定互不相关的主成分组合，针对主成分组合进行风险均衡的优化，由于主成分分析是线性变换，所以可以很容易通过模型反推出原资产的最优投资权重。

参考文献

- [1] Tharp V K, Chabot C, Tharp K. Trade your way to financial freedom[M]. McGraw-Hill, 2007.
- [2] Partovi M H, Caputo M. Principal portfolios: Recasting the efficient frontier[J]. Economics Bulletin, 2004, 7(3): 1-10.
- [3] Lohre H, Opfer H, Orszag G. Diversifying Risk Parity[J]. Ssrn Electronic Journal, 2012, 16(5).
- [4] Lohre H, Neugebauer U, Zimmer C. Diversified Risk Parity Strategies for Equity Portfolio Selection[J]. Social Science Electronic Publishing, 2012.
- [5] Baltas N. Trend-Following, Risk-Parity and the influence of Correlations[M]// Risk-Based and Factor Investing. 2015:65-95.
- [6] Clare A, Seaton J, Thomas S. The Trend is Our Friend: Risk Parity, Momentum and Trend Following in Global Asset Allocation[C]// Centre for Applied Macroeconomic Analysis, Crawford School of Public Policy, The Australian National University, 2013.

风险提示

本报告为基于历史数据对模型进行实证研究，不同市场结构的调整以及交易因素的影响等皆有可能使得模型失效。

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，本报告所表述的所有观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法。我们所得报酬的任何部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属天风证券股份有限公司（已获中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）及其附属机构（以下统称“天风证券”）。未经天风证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有本报告中使用的商标、服务标识及标记均为天风证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，天风证券不因收件人收到本报告而视其为天风证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但天风证券对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供客户参考，不构成所述证券买卖的出价或征价邀请或要约。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。客户应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，天风证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，天风证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。

天风证券的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。天风证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。天风证券的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

特别声明

在法律许可的情况下，天风证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此，投资者应当考虑到天风证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

投资评级声明

类别	说明	评级	体系
股票投资评级	自报告日后的 6 个月内，相对同期沪深 300 指数的涨跌幅	买入	预期股价相对收益 20%以上
		增持	预期股价相对收益 10%-20%
		持有	预期股价相对收益 -10%-10%
		卖出	预期股价相对收益 -10%以下
行业投资评级	自报告日后的 6 个月内，相对同期沪深 300 指数的涨跌幅	强于大市	预期行业指数涨幅 5%以上
		中性	预期行业指数涨幅 -5%-5%
		弱于大市	预期行业指数涨幅 -5%以下

天风证券研究

北京	武汉	上海	深圳
北京市西城区佟麟阁路 36 号	湖北武汉市武昌区中南路 99 号保利广场 A 座 37 楼	上海市浦东新区兰花路 333 号 333 世纪大厦 20 楼	深圳市福田区益田路 4068 号卓越时代广场 36 楼
邮编：100031	邮编：430071	邮编：201204	邮编：518017
邮箱：research@tfzq.com	电话：(8627)-87618889	电话：(8621)-68815388	电话：(86755)-82566970
	传真：(8627)-87618863	传真：(8621)-68812910	传真：(86755)-23913441
	邮箱：research@tfzq.com	邮箱：research@tfzq.com	邮箱：research@tfzq.com