



# 风险预算模型与 FOF 底层资产的关系研究

## —FOF 系列报告之二

### 主要观点：

本系列首篇报告着重介绍了风险平价模型，并根据其给出的大类资产配置结果，构建主动管理 FOF 进行实证研究。本报告在风险平价模型基础上更进一步，引入风险预算模型，以四种大类资产为配置对象，对风险预算模型在构建配置型 FOF 组合中大类资产配置风险控制方面的应用进行研究，并进行实证检验分析。

利用风险预算模型可以方便地从风险管理角度出发，设计出不同风险等级的配置型 FOF 组合，与通常直接指定股债等资产的比例来决定配置型 FOF 风险等级相比，风险预算模型对风险的控制将更加合理有效。

风险预算 (risk budgeting) 策略指从风险管理角度出发进行资产配置的策略，使得各资产的风险得到精确地控制，实现收益最大化。不同的风险度量指标都可以用于风险预算策略，而目前常见的风险平价 (risk parity) 策略可以说是采用波动率度量投资组合风险的一种特殊的风险预算策略。

在风险采用波动率来度量，选用标普 500、上证综指、中证全债（全价）和 Comex 黄金四种资产的情况下我们发现：

✧ 在不加入杠杆的情况下，风险平价策略并不一定带来最佳的夏普比率，而当加入杠杆放大债券资产的收益与波动后，债券资产实质上成为与其他三类资产风险收益特征类似的第四种风险资产，在这种情况下，风险预算均衡时得到最优的夏普比率与最大回撤。

风险预算模型中利用波动率来度量投资组合风险在于投资者对市场持中性观点，不对未来市场的走势做出判断，如果投资者对未来市场有较明确的分析，则需要在度量风险时加入对未来收益情况的判断，在下一篇 FOF 系列文章中我们将从这一角度讨论基于风险预算模型的资产配置问题。

上海证券基金评价研究中心

刘亦千

执业证书编号：S0870511040001

邮箱：liuyiqian@shzq.com

电话：021-53686101

孙桂平

执业证书编号：S0870116080009

邮箱：sunguiping@shzq.com

电话：021-53686102

王博生

执业证书编号：S0870115080016

邮箱：wangbosheng@shzq.com

电话：021-53686109

报告日期：2016 年 10 月 13 日

### 相关报告：

《风险平价模型结合主动管理基金的实践研究-FOF 系列报告之一》

本系列首篇报告介绍了风险平价模型，并根据其给出的大类资产配置结果，构建主动管理 FOF 进行实证研究。本报告在风险平价模型基础上更进一步，引入风险预算模型，以四种大类资产为配置对象，对风险预算模型在构建配置型 FOF 组合中大类资产配置风险控制方面的应用进行研究，并进行实证检验分析。

## （一）风险预算模型介绍

风险预算 (risk budgeting) 策略指从风险管理角度出发进行资产配置的策略，使得各资产的风险得到精确地控制，实现收益最大化。不同的风险度量指标都可以用于风险预算策略，而目前常见的风险平价 (risk parity) 策略可以说是采用波动率度量投资组合风险的一种特殊的风险预算策略。

风险平价模型中不同资产在组合中的风险贡献是相等的，而现实中也需要对资产指定不同的风险贡献，从而得到不同资产的权重比例，这就是风险预算模型的思想。利用风险预算模型可以方便地从风险管理角度出发，设计出不同风险等级的配置型 FOF 组合，与通常直接指定股债等资产的比例来决定配置型 FOF 风险等级相比，风险预算模型对风险的控制将更加合理有效。

风险预算模型的一般形式如下：设资产组合  $w = (w_1, \dots, w_i, \dots, w_n)$ ，其中  $w_i (1 \leq i \leq n)$  表示资产  $i$  在组合中的权重， $R(w)$  为投资组合  $w$  的风险度量，该风险度量需要满足  $\sum_{i=1}^n w_i \frac{\partial R(w)}{\partial w_i} = R(w)$ ， $b_i (1 \leq i \leq n)$  表示资产  $i$  在组合中的风险预算值，也可称为风险权重，也就是资产在组合中的风险贡献度，则符合条件的资产权重  $w^*$  可以表示如下：

$$w^* = \{w \in [0,1]^n\} \quad (1)$$

在满足  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$  与  $\sum_{i=1}^n b_i = 1$  的情况下我们有  $w_i \frac{\partial R(w)}{\partial w_i} = b_i R(w)$ 。

若投资组合风险采用波动率进行度量，(1) 式可以通过 (2) 式的最小化过程求解，且最优解一定存在。如采用其他度量风险的方式，例如 VaR 或 CVaR 等，则 (2) 式不一定得到最优解。

$$w^* = \operatorname{argmin} f(w; b) \quad (2)$$

其中  $f(w; b) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left( \frac{w_i}{b_i} \frac{\partial R(w)}{\partial w_i} - \frac{w_j}{b_j} \frac{\partial R(w)}{\partial w_j} \right)^2$ ，可见当  $f(w^*; b) = 0$  时， $w^*$  即为满足风险预算  $b$  条件下的资产权重，当  $b=1/n$  时，(2) 式的最优解即为风险平价模型的解，一般通过 SQP (Sequential Quadratic Programming) 来求得。此外，由风险权重求出资产权重是一个相对复杂的过程，而反过来则是很容易实现的，由资产权重可以直接求出风险权重， $b_i = \frac{w_i}{R(w)} \frac{\partial R(w)}{\partial w_i}, i \in [1, n]$ 。

## (二) 风险预算模型的实证分析

接下来我们对风险预算模型进行实证分析，风险采用波动率来度量，资产的选择上，选用标普 500、上证综指、中证全债（全价）和 Comex 黄金四种资产类型，时间区间为 2005.1 至 2016.7，每季度调整一次资产权重，资产之间收益率的协方差矩阵通过前 240 个交易日的日收益率计算得到。除中证全债之外，因为其他三种资产的波动率相近，我们主要对中证全债的风险预算值进行调整，其它资产之间的风险预算值保持相等。

在实验数据时间较长的情况下，资产波动率可以采用日收益和月收益率两种方式计算，结果发现中证全债按两种方式计算的波动率差别较大，而其他三种资产则相差很小，因此我们统一按照月收益率计算年化波动率，最大回撤按日净值计算，夏普比的无风险利率取 2.5%。

表 1 不同资产的风险收益指标（年化）

资产类别	收益率	波动率	最大回撤	夏普比
标普 500	5.53%	20.08%	56.78%	0.151
上证综指	8.25%	28.03%	71.99%	0.205
Comex 黄金	10.52%	19.52%	43.86%	0.411
中证全债	5.05%	3.03%	4.28%	0.842

数据来源：Wind 资讯 上海证券基金评价研究中心

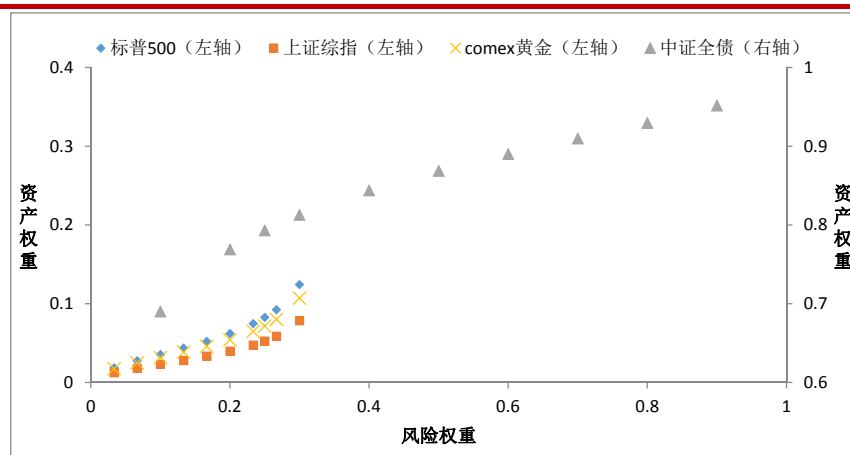
表 2 不同风险预算比例下的风险收益指标（年化）

风险预算比例	收益率	波动率	最大回撤	夏普比
30-30-10-30	6.54%	4.33%	6.52%	0.933
27-27-20-27	6.14%	3.49%	3.70%	1.043
25-25-25-25	6.02%	3.27%	3.68%	1.076
23-23-30-23	5.92%	3.12%	3.78%	1.096
20-20-40-20	5.77%	2.93%	3.91%	1.116
17-17-50-17	5.66%	2.82%	4.01%	1.121
13-13-60-13	5.56%	2.77%	4.09%	1.105
10-10-70-10	5.46%	2.75%	4.16%	1.076
07-07-80-07	5.37%	2.76%	4.22%	1.040
03-03-90-03	5.27%	2.81%	4.30%	0.986

数据来源：Wind 资讯 上海证券基金评价研究中心

资产顺序为：标普 500-上证综指-中证全债（全价）-Comex 黄金

图1 风险权重和资产权重的散点图



来源：Wind 资讯 上海证券基金评价研究中心

中证全债平均波动率大约是其它三种资产波动率的 1/7，可见为了使得中证全债的风险预算值达到要求，必须降低组合整体波动率，可以预计即使给予债券较低的风险预算值，其权重仍然很高，实验结果也证明了这一点。如中证全债的风险预算值设定为 10%，为其他资产的 1/3 时，中证全债的权重依然很高，平均权重达到 70%，而当中证全债的风险预算设为 90% 时，其平均权重接近 95%，可见在资产之间波动率相差较大的情况下，即使提高波动率低资产的风险预算值，其权重仍然很高，波动率低的资产占据主导地位。

从风险收益交换效率来看，表 2 中的夏普比要高于表 1 中原始资产的夏普比，大部分组合的波动率和最大回撤都小于中证全债，说明了风险预算模型在控制波动风险和下行风险时具有很大优势。具体来看，随着债券风险预算值从 10% 到 90% 变化过程中，夏普比先增加后减小，最大值在债券风险预算值 50% 左右，可见并非在风险预算值等价时风险收益的交换效率最高。而最大回撤与夏普比率的表现并不一致，由于其与收益率和波动率都有关，两者的共同作用使得最大回撤在风险预算等价左右时最小。

### (三) 引入债券杠杆机制的风险预算模型

由于债券资产配置比例过高，虽然风险预算模型可以取得较为稳定的收益，但相对较低，为了提高整个组合的收益，我们借助债券的杠杆机制，通过放大杠杆倍数提高债券资产的收益率和波动率，这也是风险平价模型提高收益的核心理念。《公开募集证券投资基金运作指引第 2 号——基金中基金指引》也规定公募 FOF 不超过 20% 部分可以直接投向债券，这部分债券资产可以通过放杠杆的形式进行收益增强。接下来我们首先对风险平价模型放杠杆的效果进行检验，然后在此基础上引入风险预算模型。

考察债券杠杆比例为 1.2、1.5、2.0、3.0、5.0、10.0 等多种情况，

由于杠杆比例会随着债券资产的变化而变化，因此我们每季度末将杠杆恢复到初始值，债券质押贷款利率采用上证所新质押式国债 91 天回购利率季度平均值，每季度更新一次，该项数据从 2007 年开始提供，2007 年至今的平均值为 3.38%，2005 年到 2006 年的数据用 2007 年平均值 3.26% 代替，贷款利息从投资组合每天净值中进行扣除，按照每年 365 天计算。

在计算资产收益率的协方差矩阵时，因为债券加杠杆，所以债券日收益率采用原始日收益率乘以相应的杠杆比例得到，其它资产的收益率保持不变，计算区间仍为前 240 个交易日。除了固定杠杆的情况之外，另考虑浮动杠杆情形，每期调整资产权重时，根据不同资产波动率之间的比例，重新计算债券杠杆比例，使得中证全债的波动率与其它三种资产的平均波动率相等，波动率的计算区间为前 240 个交易日。

表 3 不同杠杆比例下的风险平价模型组合风险收益指标（年化）

	杠杆比例	收益率	波动率	最大回撤	夏普比
风险平价	1.2	6.38%	3.77%	4.55%	1.029
中证全债	1.2	5.36%	3.63%	5.43%	0.788
风险平价	1.5	6.87%	4.44%	5.80%	0.984
中证全债	1.5	5.82%	4.54%	7.14%	0.731
风险平价	2.0	7.54%	5.41%	7.64%	0.932
中证全债	2.0	6.55%	6.05%	9.95%	0.669
风险平价	3.0	8.55%	6.96%	10.59%	0.869
中证全债	3.0	7.92%	9.07%	15.84%	0.598
风险平价	5.0	9.80%	9.06%	14.69%	0.806
中证全债	5.0	10.26%	15.13%	28.38%	0.513
风险平价	10.0	11.23%	11.81%	20.08%	0.739
中证全债	10.0	13.63%	30.42%	53.82%	0.366
风险平价	浮动	11.31%	12.96%	22.30%	0.68
中证全债	浮动	2.23%	44.44%	80.32%	-0.006

数据来源：Wind 资讯 上海证券基金评价研究中心

在考虑资金成本情况下，随着杠杆比例的提高，中证全债的收益率都有了明显增加，波动率相应也明显升高，风险收益交换效率下降，尤其是 10 倍杠杆时，波动率已经超过其他三种资产的波动率，夏普比下降到 0.366，已经低于 Comex 黄金资产。在融资成本较高和杠杆比例较高的情况下，中证全债总收益指数的走势趋向于中证全债净价指数的走势，但波动更剧烈，说明更高的融资成本将会侵蚀掉票息收益，使得中证全债总收益指数更趋向于交易性资产。

总体来看，风险平价的夏普比率随着杠杆倍数的提高呈现先上升后下降的趋势。与债券资产风险收益的变化类似，风险平价模型收益增强的同时，波动率也显著增加，导致夏普比率逐渐减小，但仍显著高于股票和黄金，也好于同样杠杆水平的债券指数。各杠杆水平下最大回撤都明显低于同水平的债券指数。即使在浮动杠杆下债券收益已经较低的情况下，采用风险平价模型得到的结果仍然不错，说明了资产配置和风险



分散的稳定性。在 5 倍杠杆时，中证全债的平均权重下降到 44%，由于上证综指波动率最高，其平均权重最小，为 14%，其他两者在 20% 左右。

图 2 5 倍杠杆时的资产净值变化

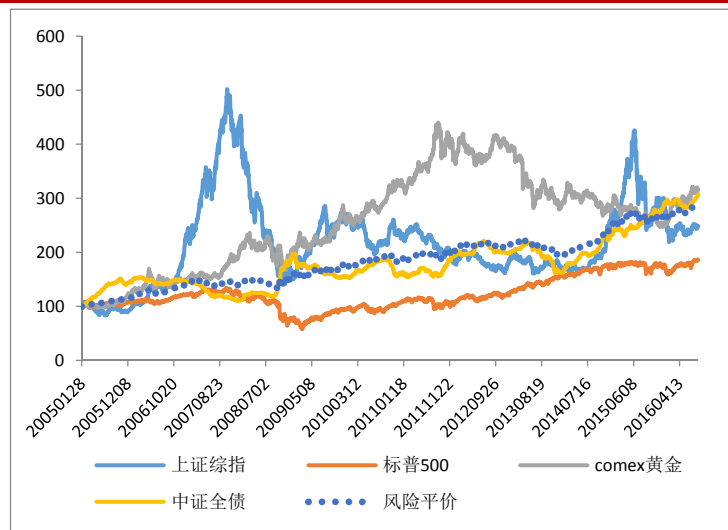
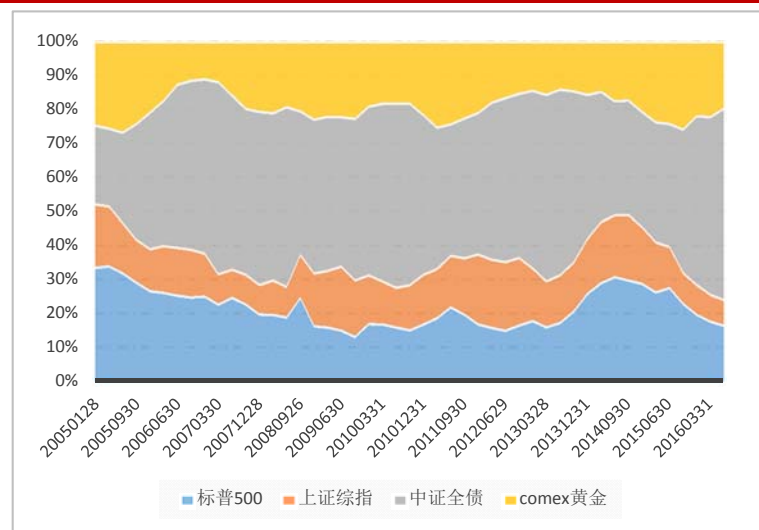


图 3 5 倍杠杆时的资产权重变化



数据来源：Wind 资讯 上海证券基金评价研究中心

下面考虑融资成本降低情况下风险平价模型的表现，我们取融资成本等于上证所新质押式国债 91 天回购利率的 0.8 和 0.6 倍，杠杆比例取 5 倍的情况。

表 4 风险收益指标 (5 倍杠杆)

	融资成本	收益率	波动率	最大回撤	夏普比
风险平价	0.8	11.09%	9.04%	13.93%	0.950
中证全债	0.8	13.21%	15.08%	24.86%	0.710
风险平价	0.6	12.39%	9.02%	13.16%	1.096
中证全债	0.6	16.22%	15.03%	23.62%	0.913

数据来源：Wind 资讯 上海证券基金评价研究中心

由于 2014 年以来利率持续下行，融资成本的降低使得加入杠杆后的中证全债收益率大幅提升，相应的风险平价收益也明显提高，而两者的波动率和最大回撤则变化不大，使得夏普比显著升高，可见融资成本的改变主要影响风险平价模型的收益率。

接下来我们采用包含 5 倍杠杆债券在内的四种资产采用不同的风险预算比例，观察其在四种资产波动率相近的情况下投资组合的风险收益情况，融资成本比例为 1.0。

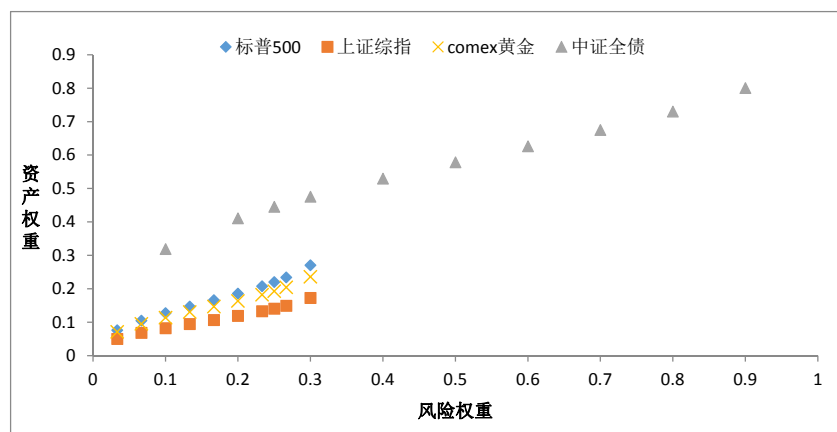
表 5 不同风险预算比例下的风险收益指标（5 倍杠杆）

风险预算比例	累积收益率	波动率	最大回撤	夏普比
30-30-10-30	9.92%	9.65%	16.22%	0.769
27-27-20-27	9.83%	9.14%	13.77%	0.802
23-23-30-23	9.78%	9.05%	15.49%	0.804
20-20-40-20	9.76%	9.17%	16.85%	0.792
17-17-50-17	9.75%	9.41%	18.04%	0.770
13-13-60-13	9.75%	9.77%	19.14%	0.742
10-10-70-10	9.76%	10.24%	20.24%	0.709
07-07-80-07	9.79%	10.89%	21.44%	0.669
03-03-90-03	9.86%	11.85%	22.90%	0.621

数据来源：Wind 资讯 上海证券基金评价研究中心

资产顺序为：标普 500-上证综指-中证全债（全价）-Comex 黄金

图 4 风险权重和资产权重的散点图



来源：Wind 资讯 上海证券基金评价研究中心

加 5 倍杠杆后债券波动率的提高，使得在相同的风险预算条件下，债券权重大幅下降，相应的其他三种资产的权重也有提升，风险预算模型的收益率比不加杠杆的提高了 3.5% 以上，而波动率也大幅提升，导致了夏普比率差于未加杠杆时，但仍明显高于 5 倍杠杆的债券，最大回撤也显著小于债券。从不同的风险预算来看，风险预算等价左右时，夏普比最高，此时最大回撤也最小。

整体来看，在不加入杠杆的情况下，风险平价策略并不一定带来最佳的夏普比率，而当加入杠杆放大债券资产的收益与波动后，债券资产实质上成为与其他三类资产风险收益特征类似的第四种风险资产，在这种情况下，风险预算相等时产生最优的夏普比率与最大回撤。

风险预算模型中利用波动率来度量投资组合风险在于投资者对市场持中性观点，不对未来市场的走势做出判断，如果投资者对未来市场有较明确的分析，则需要在度量风险时加入对未来情况的判断，在下一篇 FOF 文章中我们将从这一角度讨论基于风险预算模型的资产配置问题。

## 分析师承诺

分析师 刘亦千 孙桂平 王博生

本人以勤勉尽责的职业态度，独立、客观地出具本报告。本报告依据公开的信息来源，力求清晰、准确地反映分析师的研究观点。此外，本人薪酬的任何部分过去不曾与、现在不与、未来也将不会与本报告中的具体推荐意见或观点直接或间接相关。

## 公司业务资格说明

本公司具备证券投资咨询业务资格，是具备协会会员资格的基金评价机构。

## 重要声明

本报告中的信息均来源于已公开的资料，我公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证，不保证该信息未经任何更新，也不保证本公司作出的任何建议不会发生任何变更。在任何情况下，报告中的信息或所表达的意见并不构成所述证券买卖的出价或询价。在任何情况下，我公司不就本报告中的任何内容对任何投资作出任何形式的担保。我公司及其关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行或财务顾问服务。业绩表现数据仅代表过去的表现，不保证未来结果。投资收益和本金将随市场波动，当出售证券资产时可能发生损益。当前的表现可能会高于或低于那时引用的数据。

本报告版权归上海证券有限责任公司所有。未获得上海证券有限责任公司事先书面授权，任何人不得对本报告进行任何形式的发布、复制。如遵循原文本意地引用、刊发，需注明出处为“上海证券基金评价研究中心”。