

交易咨询资格号：
证监许可[2012]112

金融工程
专题报告

2023年10月26日

分析师

时翔宇
金融工程分析师
期货从业资格：F03104321
交易咨询从业证书号：Z0019649
联系人：杨旻
期货从业资格：F03096114
联系人：杜思嘉
期货从业资格：F03103175
联系电话：021-61625026
E-mail：ztqh_sh@163.com
客服电话：400-618-6767
公司网址：
<http://www.ztqh.com>

中泰微投研小程序



中泰期货公众号



报告概述

- 本报告基于 Paweł Sakowski, Rafał Sieradzki, Robert Ślepaczuk 的学术文献《The Systemic Risk Approach Based on Implied and Realized Volatility》构建一个基于波动率的系统性风险识别指标——IVRVSRI。该指标由两部分加权求和后计算得到。第一部分为 IVSRI，具体推导和计算方法可参考期权系列研报《无模型波动率指数数学推导及策略设计——期权策略系列研究之一》。第二部分为 RVSRI，选择近 22 个交易日（约一个自然月）的指数收盘价数据计算已实现波动率（Realized Volatility）后得到。
- 本报告计算了上证 50 指数自 2015 年 2 月 9 日至 2023 年 9 月 28 日的 IVRVSRI，通过定性与定量相结合的方法验证了该指标对系统性风险的识别效果。结果表明，在周度频率上当期及滞后三阶 IVRVSRI 变化率与指数当期收益率之间的负相关关系较为明显，且在当期及众多滞后 IVRVSRI 变化率与指数当期收益率的回归中可以看出，当期和滞后三阶的回归系数可以通过参数显著性检验。最后根据 IVRVSRI 的分位数图构建一个“避险组合”，结果发现该组合存在超额收益，从侧面验证了 IVRVSRI 对指数系统性风险的识别能力较为有效。同时，通过改变构建 IVRVSRI 的参数发现，该指标识别效果对参数的依赖度不高，具有稳健性。
- **风险提示：**基于历史经验研究总结的相关规律未来可能存在失效的风险。

基于波动率的系统性风险指标研究

——股指策略系列研究之四

一、波动率指标的构建

- 本报告借鉴了 Paweł Sakowski, Rafał Sieradzki, Robert Ślepaczuk 的学术文献《The Systemic Risk Approach Based on Implied and Realized Volatility》中详细介绍的一个基于波动率的系统性风险识别指标——IVRSRI。该文献中选取美国、欧洲、日本、巴西四个市场检验了指标的有效性，并且与其他的系统性风险识别指标相比，该指标拥有颗粒度更细（可计算日度甚至日内的指标数值）、识别效果更好、稳定性更强（对构建指标的参数依赖性不强）等优点。
- IVRSRI 的构建由两部分组成，其中第一部分 IVSRI（Implied Volatility Systemic Risk Indicator）是基于无模型波动率来构建的，第二部分 RVSRI（Realized Volatility Systemic Risk Indicator）基于已实现波动率来得到。
- 无模型波动率的计算借鉴了芝加哥期权交易所（CBOE）编制 VIX 指数的方法，具体的计算公式如下：

$$E\sigma^2 \approx \frac{2}{T} e^{rT} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta K_i}{K_i^2} \times V_T(K) \right) - \frac{1}{T} \left(\frac{F_0}{K_0} - 1 \right)^2 \quad (1)$$

- 其中 T 为到期期限， r 为无风险利率， n 表示距离到期期限为 T 的期权合约个数， K 表示执行价格， $V_T(K)$ 表示期权的价值（当 $K > K_0$ 时， $V_T(K)$ 表示看涨期权的价值；当 $K < K_0$ 时， $V_T(K)$ 表示看跌期权价值）， $F_0 = S_0 e^{rT}$ 为远期价格， K_0 为一个很接近远期价格 F_0 的期权执行价格。
- 随后根据波动率指数的编制规则，在当最近到期期权的到期期限大于 30 天时，采用最近一期到期的期权合约计算得到无模型波动率数值，如果当到期期限小于 30 天时，先得到对最近两期到期的期权合约波动率平方的线性差值结果，再进行年化求得无模型波动率数值，具体 IVSRI 计算公式如下：

$$IVSRI_t = 100 \times \sqrt{\left(T_1 \sigma_1^2 \frac{T_2 - 30}{T_2 - T_1} + T_2 \sigma_2^2 \frac{30 - T_1}{T_2 - T_1} \right) \times \frac{365}{30}} \quad (2)$$

- 其中 $IVSRI_t$ 为 t 日的 IVSRI 数值， T_1 为最近一期到期期权的剩余期限， T_2 为次近一期到期期权的剩余期限， σ_1^2 与 σ_2^2 分别为最近一期期权合约波动率的平方与次近一期期权合约波动率的平方，均可根据公式①计算得到。关于无模型波动率的计算及波动率指数的编制逻辑可参考期权策略系列研报《无模型波动率指数数学推导及策略设计——期权策略系列研究之一》。
- 根据以上的计算公式得到自 2015 年 2 月 9 日上证 50ETF 期权上市以来至 2023 年 9 月 28 日的 IVSRI 数值，具体如图表 1 所示。
- 从图表 1 中可以看出，IVSRI 与指数在大部分时间段内呈现负相关，当 IVSRI 急速上涨时，往往伴随着指数的剧烈波动。

图表 1：上证 50 指数与上证 50 指数 IVSRI



来源：同花顺 iFinD，中泰期货整理

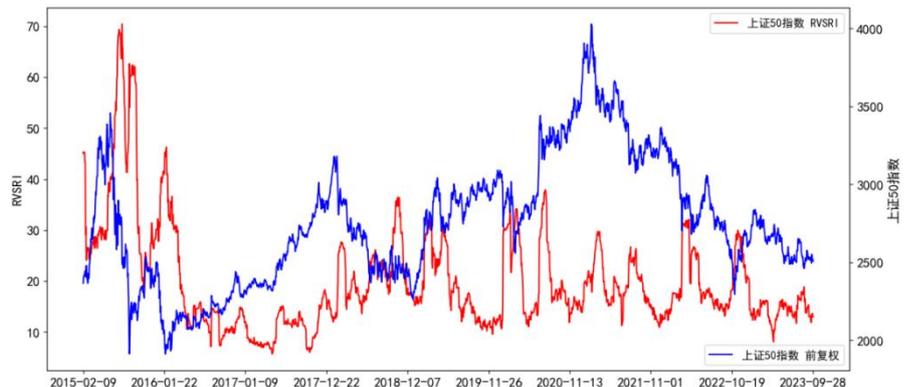
- IVRSRI 的第二部分基于已实现波动率 (Realized Volatility) 计算得到。已实现波动率的计算公式如下所示：

$$RVSRI_t = \sqrt{\frac{252}{22} \sum_{k=0}^{21} r_{t-k}^2} \quad (3)$$

$$r_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$$

- 其中， $RVSRI_t$ 表示在 t 日的 RVSRI 数值， P_t 表示在 t 日指数的收盘价。从 IVSRI 的构建中可以看出，该指标衡量未来 30 天的波动情况，故为了保持一致性，在计算 RVSRI 时，滚动选取过去 22 个交易日（约为 30 天自然日）的数据。

图表 2：上证 50 指数与上证 50 指数 RVSRI



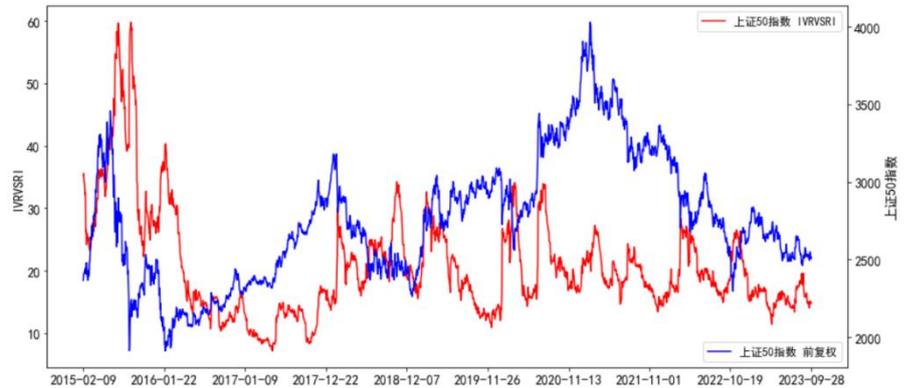
来源：同花顺 iFinD，中泰期货整理

- 从图表 2 中可以看出，RVSRI 在指数波动较大时，有非常明显的上涨。总体来说，RVSRI 也与指数呈现负相关关系。
- 将 IVSRI 与 RVSRI 两个指标加权求和可得到 IVRSRI，计算公式如下所示。

$$IVRSRI_t = \omega_I \times IVSRI_t + \omega_R \times RVSRI_t \quad (4)$$

- 其中， $IVRSRI_t$ 为在 t 日的 IVRSRI 数值， $IVSRI_t$ 和 $RVSRI_t$ 表示在 t 日的 IVSRI 与 RVSRI 数值， ω_I 和 ω_R 表示 IVSRI 与 RVSRI 在计算 IVRSRI 时的权重 ($\omega_I + \omega_R = 1$)，如无特殊说明，本报告选取 $\omega_I = \omega_R = 0.5$ 。
- IVRSRI 的计算结果如图表 3 所示。

图表 3：上证 50 指数与上证 50 指数 IVRSRI



来源：同花顺 iFinD，中泰期货整理

- 从图表 3 中可以看出，IVRSRI 继承了 IVSRI 与 RVSRI 的特征，在大多数时期内均与指数呈现负相关关系，计算在该时期内 IVRSRI 变化率与上证 50 指数收益率的相关系数为-9.66%。

二、IVRSRI 的分位数图

- 从上一节的分析可知，IVRSRI 与指数的涨跌具有一定的负相关性，这说明当 IVRSRI 快速上涨时，往往伴随着系统性风险的暴露。本节通过绘制 IVRSRI 分位数图的方法来检验该指标对于指数系统性风险的识别效果，具体构建步骤如下。
- 首先，在 IVRSRI 的时间序列数据的起始阶段，选取一段固定长度的历史数据（如无特殊说明，历史数据长度为 252 天，约为一年）。
- 其次，计算上一步中历史数据的 25%分位数(quantile_1)、中位数(quantile_2)、75%分位数(quantile_3)。
- 第三，判断新一期的 IVRSRI 数值的位置，并标识成图表 4 所示的颜色。
- 最后，保持历史数据的长度不变，滚动判断每一期新的 IVRSRI 数值所处的位置，并标识图表 4 所示颜色。

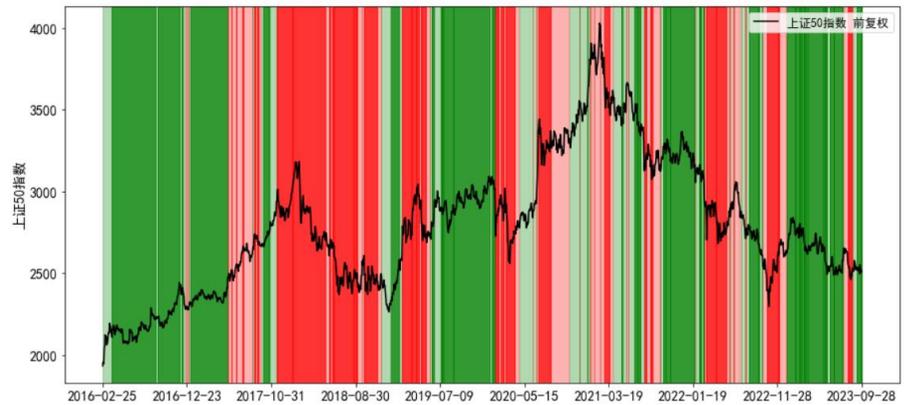
图表 4：IVRSRI 分位数图颜色设置

新一期 IVRSRI 所处位置	颜色设置
$IVRSRI \leq \text{quantile}_1$	绿色
$\text{quantile}_1 < IVRSRI \leq \text{quantile}_2$	淡绿色
$\text{quantile}_2 < IVRSRI \leq \text{quantile}_3$	淡红色
$IVRSRI > \text{quantile}_3$	红色

来源：中泰期货整理

- 从 IVRSRI 变化率与指数收益率呈负相关关系可知，当一个区域被标注为“红色”时，说明该时段发生系统性风险的“可能性”较高，当被标注为“绿色”时，说明该时段发生系统性风险的“可能性”较低。
- 本报告选择历史时期为 252 天（一年约为 252 个交易日），进行分位数计算并画出 IVRSRI 分位数图，具体如图表 5 所示。

图表 5：IVRVSRI 分位数图



来源：同花顺 iFinD，中泰期货整理

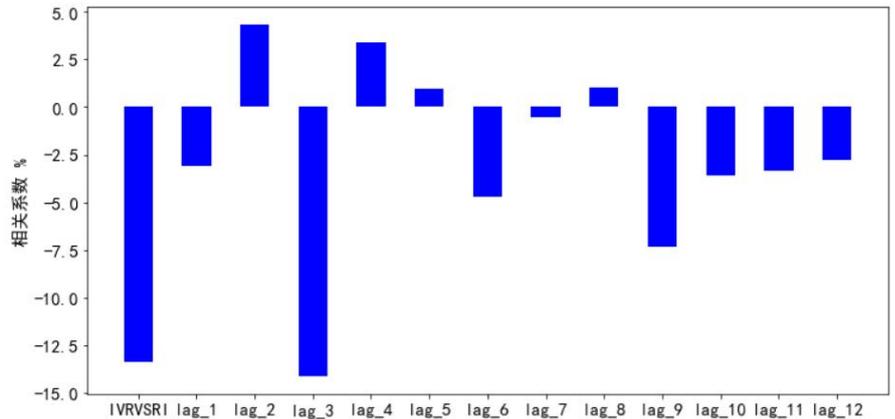
- 从图表 5 中可以看出，IVRVSRI 成功将 2018 年指数的下跌时段标识为了“红色”，同时也标注出了 2020 年初指数波动较大的时段。但该指数也存在阶段性失效的现象，例如将 2022 年底的反弹错误地标注成了“红色”区域等。作为一个系统性风险识别指标来说，其主要作用是对市场上的投资者起到警示作用，相比当该指标上涨后并没有带来指数的下跌，指标没有发生变化（分位数图的颜色没有发生变化）但随后指数大幅下跌带来的伤害要更大一些。从这个判断标准出发，除了 2023 年上半年指数缓慢下跌阶段，该指标的判断存在显著误差以外（主要是由于当时市场波动率水平相对较低且长期没有发生改变导致了指标失效），其他指数明显下跌的区域均被标识为了“红色”及“淡红色”，故说明该指标存在一定的识别系统性风险的作用。

三、IVRVSRI 与指数的相关性及回归分析

- 根据上节的分析，IVRVSRI 对上证 50 指数的系统性风险有一定的识别作用，本节通过一些定量研究说明两者的相关关系。为了研究 IVRVSRI 和指数的相关性，排除短期内由于交易因素导致的影响，考虑将数据的时间间隔从日度调整为周度，时间区间为 2015 年 2 月 13 日至 2023 年 9 月 28 日。
- 首先计算当期及滞后 IVRVSRI 变化率与指数当期收益率之间的相关关系，结果如图表 6 所示。
- 图表 6 计算了当期、滞后一阶、滞后二阶直至滞后十二阶的 IVRVSRI 变化率分别与指数当期收益率序列的相关系数。从图表 6 中可以看出，当期 IVRVSRI 变化率、滞后三阶 IVRVSRI 变化率与指数当期收益率之间的相关系数绝对值较大，数值均小于 -10%，这不仅与之前的研究结论具有一致性（IVRVSRI 与指数在大多数时期呈现负相关关系），而且说明该指标在一定程度上还有“预警”功能。
- 随后，考虑建立上证 50 指数当期收益率与当期及滞后 IVRVSRI 变化率的多元线性回归结果，模型形式如下所示：

$$r_t^{Index} = \beta_0 + \sum_{k=0}^{12} r_{t-k}^{IVRVSRI} + \varepsilon_t \quad (5)$$

- 其中， r_t^{Index} 表示当期的上证 50 指数收益率， $r_{t-k}^{IVRVSRI}$ 为滞后 k 阶的 IVRVSRI 变化率， β_0 为回归方程的常数项， ε_t 为残差项，回归结果如图表 7 所示。

图表 6：当期及滞后 IVRVSRI 变化率与指数当期收益率之间的相关关系


来源：同花顺 iFinD，中泰期货整理

图表 7：当期及滞后 IVRVSRI 与上证 50 指数的回归结果

	系数	t 检验统计量	P 值
β_0	0.0005	0.328	0.743
IVRVSRI	-0.0337	-2.839	0.005
LAG_1	-0.0120	-1.013	0.312
LAG_2	0.0144	1.215	0.225
LAG_3	-0.0316	-2.653	0.008
LAG_4	0.0043	0.359	0.720
LAG_5	-0.0053	-0.436	0.663
LAG_6	-0.0081	-0.673	0.502
LAG_7	0.0001	0.006	0.995
LAG_8	-0.0018	-0.153	0.878
LAG_9	-0.0176	-1.478	0.140
LAG_10	-0.0065	-0.546	0.585
LAG_11	-0.0124	-1.045	0.297
LAG_12	-0.0061	-0.512	0.609

来源：同花顺 iFinD，中泰期货整理

- 从图表 7 中可以看出，取显著性水平 $\alpha = 0.05$ ，在回归方程中，当期、滞后三阶 IVRVSRI 变化率对上证 50 当期收益率具有显著影响，且影响方向均为负向，结合图表 6 也可以看出，滞后三阶 IVRVSRI 变化率与指数当期收益率的相关关系较为紧密，针对 IVRVSRI 对指数可能的系统性风险预警功能，可另做详尽的研究。

四、IVRVSRI 的稳健性检验

- 本节从组合超额收益的角度分析 IVRVSRI 对指数系统性风险的识别作用。在本报告第二部分，根据 IVRVSRI 目前数值与历史区间内的分位数大小做比较可以将每个交易日标注上不同的颜色。其中红色表明存在发生系统性风险的可能，绿色表示发生系统性风险的可能较低。本节通过构建一个“避险组合”，该组合在 IVRVSRI 认为系统性风险发生概率较

大的时间段投资于国债 ETF (511010.SH)，系统性风险发生概率较小的时间段投资于上证 50ETF (510050.SH)，可以通过比较该组合和始终投资于指数 (上证 50ETF) 的效果来说明 IVRVRSRI 的系统性风险识别效果。

- 根据图表 5 的分位数图结果，分别投资于上述两个标的，不同颜色区域投资的初始投资权重会有所区别，具体如图表 8 所示。
- 例如，当 IVRVRSRI 进入红色区域时，将账户内资金 100% 投资于国债 ETF (511010.SH)，当 IVRVRSRI 进入淡红色区域时，将账户中 25% 资金投资于上证 50ETF (510050.SH)，75% 的资金投资于国债 ETF (511010.SH)，以此类推。注意，只在颜色区域发生变化时才按照图表 8 所示的权重进行调仓。

图表 8：避险组合在不同区域的初始投资权重

分位数图区域	投资权重
绿色	上证 50ETF 100%
淡绿色	上证 50ETF 75% 国债 ETF 25%
淡红色	上证 50ETF 25% 国债 ETF 75%
红色	国债 ETF 100%

来源：同花顺 iFinD，中泰期货整理

- 根据图表 8 中的权重设置及图表 5 的分位数图进行回测，得到“避险组合”与始终投资于上证 50ETF 的业绩比较基准组合的单位净值曲线，具体如图表 9 所示。

图表 9：上证 50ETF 与避险组合的单位净值



来源：同花顺 iFinD，中泰期货整理

- 从图表 9 中可以看出，在回测期期初 2016 年 2 月 25 日至 2021 年 3 月指数上涨阶段，“避险组合”基本完全享受到了该时间段内的涨幅，并且避险组合的单位净值相比 100% 权重投资于上证 50ETF 的组合更加平稳。在 2021 年 3 月至 2023 年 9 月，上证 50 指数出现了回落，此时“避险组合”通过调仓可以较好地规避回撤，故可以说明该指标有一定的系统性风险识别能力。
- 截至目前，在 IVRVRSRI 的构造中均使用 IVSRI 与 RVSRI 等权重的计算方法，并且在绘制 IVRVRSRI 分位数图时也采用过去一年的历史数据进行滚动计算。为了说明该指标的稳定性及波动率对于系统性风险的识别能力，可考虑使用不同参数来构造 IVRVRSRI 及使用不同长度的历史数据滚

动计算分位数。

- 在图表 10 中，首先采用不同的 IVSRI 与 RVSRI 权重构建 IVRSRI。图表 10 第一行表示构建 IVRSRI 时使用的 IVSRI 权重，RVSRI 权重可用 1 减去 IVSRI 权重得到。图表 10 的第一列表示在计算 IVRSRI 的分位数图时使用的历史数据数量，分别为 1 年、2 年直至 5 年。
- 确定完参数后，采用图表 8 中的规则构建“避险组合”，并与直接 100% 投资于上证 50ETF 的业绩比较基准组合做比较。在回测期内将两者的年化收益率相减估计得到“避险组合”的超额收益率。红色标注的是使用不同数量历史数据时最大的超额收益率。

图表 10：IVRSRI 超额收益率

ω_{IV}	30%	40%	50%	60%	70%
N					
1	3.35%	3.58%	3.55%	4.90%	5.74%
2	4.41%	4.93%	4.75%	4.97%	5.00%
3	2.86%	2.97%	2.70%	3.02%	4.59%
4	2.61%	2.15%	2.82%	3.57%	2.71%
5	2.15%	1.83%	3.02%	1.64%	2.01%

来源：同花顺 iFinD，中泰期货整理

- 从图表 10 的结果中可以看出，该指标对于参数的选择并不十分敏感，在各个参数组合中“避险组合”均取得了正超额收益。充分说明了该指标在识别系统性风险上存在明显效果。从超额收益的绝对数值来看，采用较短的历史数据来确定分位数图且给予 IVSRI 更多的权重效果更佳。

五、结论

- 本报告基于 Paweł Sakowski, Rafał Sieradzki, Robert Ślepaczuk 的学术论文《The Systemic Risk Approach Based on Implied and Realized Volatility》构造国内上证 50 指数的 IVRSRI。经过不同维度的定性、定量分析可以看出，该指标在国内市场中具有一定的系统性风险识别作用，可作为参考。同时，该指标对于指数的预警效力可进一步进行研究。
- **风险提示：**基于历史经验研究总结的相关规律未来可能存在失效的风险。
- **参考文献：**

[1]Paweł Sakowski, Rafał Sieradzki, Robert Ślepaczuk.The Systemic Risk Approach Based on Implied and Realized Volatility[R].SSRN Electronic Journal,January 2023.

免责声明：

中泰期货股份有限公司（以下简称本公司）具有中国证券监督管理委员会批准的期货交易咨询业务资格（证监许可〔2012〕112）。本报告仅限本公司客户使用。

本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，本公司不对任何人因使用本报告中的内容所导致的损失负任何责任。市场有风险，投资需谨慎。

本报告所载的资料、观点及预测均反映了本公司在最初发布该报告当日分析师的判断，是基于本公司分析师认为可靠且已公开的信息，本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，也不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，在不同时期，本公司可在不发出通知的情况下发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与本公司其他业务部门、单位或附属机构在制作类似的其他材料时所给出的意见不同或者相反。本公司并不承担提示本报告的收件人注意该等材料的责任。

本报告的知识产权归本公司所有，未经本公司书面许可，任何机构和个人不得以任何方式进行复制、传播、改编、销售、出版、广播或用作其他商业目的。如引用、刊发、转载，需征得本公司同意，并注明出处为中泰期货，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。