

中国 VIX 指数估计方法及择时策略

——基本面量化系列

主要结论

核心观点：本文基于 CBOE 的 VIX 指数编制方法和《上证 50 ETF 波动率指数编制方案》提出了中国 VIX 指数的推导公式和编制方法，并将其应用到沪深 300ETF 和中证 500ETF 期权，构建上证 50ETF 波动率指数 CVIX，沪深 300ETF 波动率指数 HVIX，中证 500ETF 波动率指数 ZVIX，其中 CVIX 与中国波指 iVIX 的 Pearson 相关性系数为 0.9918。基于编制的 VIX 指数构建了以 ETF 基金为标的的择时策略，上涨 50ETF 回测区间年化收益率为 10.76%，夏普比率为 1.27。沪深 300ETF 回测区间年化收益率为 12.90%，夏普比率均为 1.59。

中国 VIX 指数的拓展 -- 成交量加权 VIX 指数和广义 VIX 指数

针对中国期权市场的成熟性，本文提出了成交量加权 VIX 指数，将不同期权对 ETF 波动率的贡献基于成交量进行加权。本文接着证明 VIX 并不是无模型的波动率估计，它并不衡量市场对波动率的预期，而是衡量线性矩组合的预期，特别是，当市场回报预期为负（正）偏斜时，VIX 指数会低估（高估）波动率，基于此，本文提出了一种真正意义上无模型的广义 VIX 指数，可以认为是 VIX 指数的修正。

中国 VIX 指数的性质

本文分析了 VIX 指数的三个性质，具体而言，VIX 指数是广义 VIX 指数的一种特例；VIX 指数与广义 VIX 指数存在协整关系；VIX 指数与 ETF 收益率具有负相关性。同时，本文使用**牛顿法**计算期权隐含波动率，并描述 VIX 指数与期权隐含波动率的相关性和概念上的差异性。

中国 VIX 指数的预测模型

本文基于编制的 VIX 指数构建了以 ETF 基金为标的的择时策略，上涨 50ETF 回测区间为 2015 年 3 月 2 日至 2023 年 6 月 30 日，广义 VIX 指数指导择时效果较好，在两跳滑点下年化收益为 10.76%，夏普比率为 1.27。沪深 300ETF 回测区间为 2020 年 2 月 1 日至 2023 年 6 月 30 日，VIX 指数和广义 VIX 指数策略开平仓信号相同，在两跳滑点下年化收益均为 12.90%，夏普比率均为 1.59。

风险提示：模型统计均基于历史数据、历史规律可能失效

量化策略

王程畅

wangchengchang@csc.com.cn

021-68821601

SAC 执证编号：S1440520010001

徐建华

xujianhua@csc.com.cn

SAC 执证编号：S1440523100002

发布日期：2023 年 11 月 14 日

市场表现



相关研究报告

- 23.08.28 基于机构调研问答文本的行业轮动策略
- 22.11.20 机构调研对行业轮动和选股的启示
- 22.08.10 基于低频拥挤度规避高景气行业下行风险
- 21.11.16 基于宏观数据的行业轮动策略
- 21.08.24 基于中微观基本面数据的行业轮动策略

目录

一）前言	3
1.1、VIX 指数介绍	3
1.2、本文思路	3
二）中国 VIX 指数编制方法	4
2.1、VIX 指数公式推导	4
2.2、VIX 指数编制方法	7
2.3、成交量加权 VIX 指数编制方法	8
2.4、广义 VIX 指数编制方法	9
三）VIX 指数性质分析	10
3.1、VIX 指数与广义 VIX 指数	10
3.2、编制方案检验	11
3.3、VIX 指数协整性	13
3.4、VIX 指数与 ETF 收益率的相关性	15
四）VIX 指数与期权隐含波动率	16
4.1、隐含波动率计算	16
4.2、VIX 指数和隐含波动率的相关性和差异性分析	19
五）基于 VIX 指数的 ETF 择时策略	20
5.1、上证 50ETF 策略回测	21
5.2、沪深 300ETF 策略回测	22
六）总结	25
七）模型风险分析	25

图表目录

图表 1：本文主要研究思路	4
图表 2：上证 50VIX 估计与中国波指 iVIX 对比图（左）& 上证 50 成交量加权 VIX 与中国波指 iVIX 对比图（右）	11
图表 3：上证 50 广义 VIX 指数与中国波指对比图（左）& 上证 50 广义 VIX 指数与上证 50VIX 估计之差（右）	12
图表 4：沪深 300VIX 估计（左）& 沪深 300 成交量加权 VIX 指数（右）	12
图表 5：沪深 300 广义 VIX（左）& 沪深 300 广义 VIX 与 VIX 估计之差（右）	12
图表 6：中证 500VIX 估计（左）& 中证 500 成交量加权 VIX 指数（右）	13
图表 7：中证 500 广义 VIX（左）& 中证 500 广义 VIX 与 VIX 估计之差（右）	13
图表 8：VIX 指数与广义 VIX 指数的协整检验结果	14
图表 9：上证 50 三种 VIX 指数与上证 50ETF（上）沪深 300ETF（中）中证 500ETF（下）未来收益率的相关性检验结果	15
图表 10：上证 50 三种 VIX 指数与上证 50ETF（上）沪深 300ETF（中）中证 500ETF（下）未来收益率的协整性检验结果	16
图表 11：上证 50ETF 期权每日平均隐含波动率走势图（左）& 沪深 300ETF（中）& 中证 500ETF（右）	

.....	17
图表 12: 上证 50ETF 期权 KS 比值分组波动率微笑 (左) & 沪深 300ETF (中) & 中证 500ETF (右)	18
.....	18
图表 13: 上证 50ETF 全体期权多项式拟合曲线 (左) & 沪深 300ETF (中) & 中证 500ETF (右)	18
.....	19
图表 14: VIX 指数与隐含波动率研究思路	20
图表 15: VIX 指数与 IV 对比 - 上证 50(左)沪深 300(中)中证 500(右)	21
图表 16: 净值曲线-上证 50VIX 择时上证 50ETF (左) & 上证 50 广义 VIX 择时上证 50ETF (右)	21
.....	21
图表 17: 上证 50ETF 业绩统计指标	21
图表 18: thres1 敏感性分析-上证 50VIX 择时上证 50ETF (左) & 上证 50 广义 VIX 择时上证 50ETF (右)	21
图表 19: thres2 敏感性分析-上证 50VIX 择时上证 50ETF (左) & 上证 50 广义 VIX 择时上证 50ETF (右)	22
图表 20: 滑点分析, 上证 50VIX 指数择时上证 50ETF (左) & 上证 50 广义 VIX 指数择时上证 50ETF (右)	22
图表 21: 净值曲线-沪深 300VIX 择时沪深 300ETF (左) & 沪深 300 广义 VIX 择时沪深 300ETF (右)	23
.....	23
图表 22: 净值曲线-上证 50VIX 择时沪深 300ETF (左) & 上证 50 广义 VIX 择时沪深 300ETF (右)	23
.....	24
图表 23: 沪深 300ETF 择时业绩统计指标	24
图表 24: thres1 敏感性分析-上证 50VIX 择时沪深 300ETF (左) & 上证 50 广义 VIX 择时沪深 300ETF (右)	24
图表 25: thres2 敏感性分析-上证 50VIX 择时沪深 300ETF (左) & 上证 50 广义 VIX 择时沪深 300ETF (右)	24
图表 26: 滑点分析, 上证 50VIX 指数择时沪深 300ETF (左) & 上证 50 广义 VIX 指数择时沪深 300ETF (右)	25

一）前言

CBOE 波动性指数，即 VIX，是一个实时市场指数，代表市场对未来 30 天波动性的预期。投资者在做投资决策时，使用 VIX 指数来衡量市场的风险、恐惧或压力水平。VIX 这一指标凸显了期权市场的出现如何颠覆了传统的投资认知，使投资者不再仅仅限于对市场涨跌进行判断，而能够通过期权合约的买入或卖出来实现潜在收益，从而使市场波动的幅度变得具有实际可操作性。因此，对 VIX 指数的深入研究实际上是对市场波动趋势的研究，这一研究可用于辨识市场风险，或者指导期权合约或现货资产的投资决策。

1.1、VIX 指数介绍

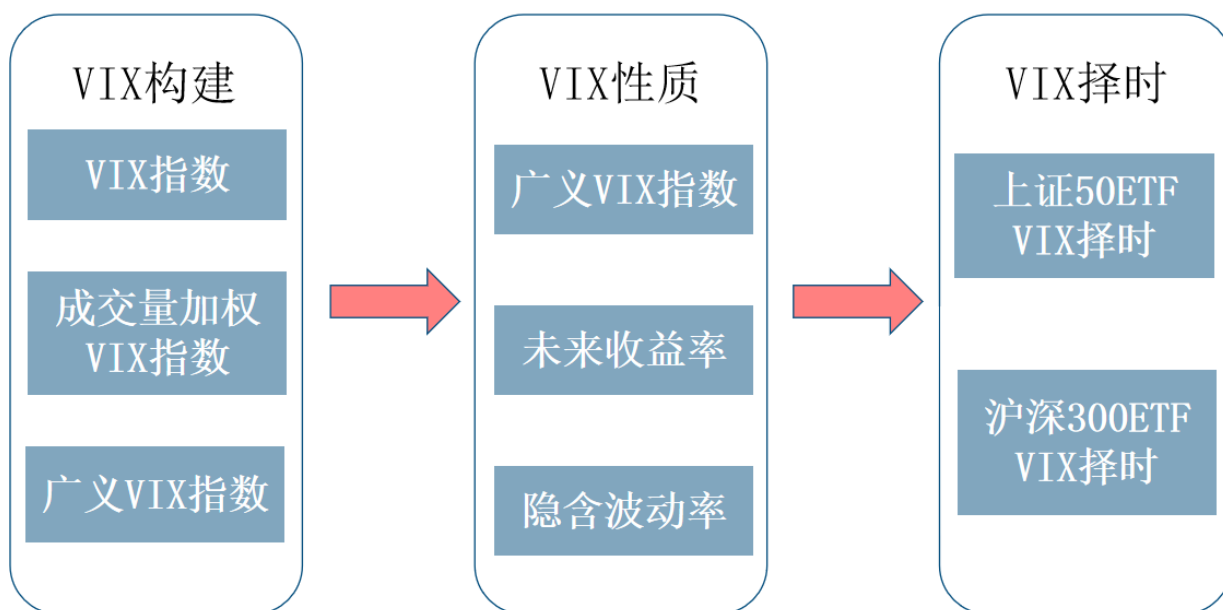
芝加哥期权交易所（CBOE）波动率指数（VIX）是估算市场波动率预期最常用的工具之一。该指数旨在捕捉市场对未来 30 天波动率的总体预期，最初于 1993 年推出，基于标准普尔 100 指数等期权价格的隐含波动率。由于隐含波动率的计算在很大程度上依赖于期权定价模型的假设，2003 年，CBOE 对波动率的估算方法做出了重大改变，以避免模型规范问题。2003 年的 VIX 表述具有直观的吸引力，因为期权溢价和标的资产（标准普尔 500 指数）的价格反映了相同的信息，因此可以直接从期权市场数据中提取资产收益的事前波动率，而无需使用任何期权定价模型。简单地说，波动率预测不需要特定的模型，只需要当前的期权价格。无模型隐含波动率的概念由 Demeterfi、Derman、Kamal 和 Zou（1999 年）提出，由 Britten-Jones 和 Neuberger（2000 年）正式确定，并由 Jiang 和 Tian（2005，2007）进一步扩展。基于 CBOE 的波动率指数编制方法，上证所发布了《上证 50 ETF 波动率指数编制方案》，以上证 50ETF 期权为标的构建中国 iVIX 指数。由于 VIX 指数是对未来风险的预期，通常也被称为恐慌指数。

1.2、本文思路

本文编制了中国 VIX 指数，并拓展至成交量加权 VIX 指数和广义 VIX 指数，研究了 VIX 指数与广义 VIX 指数、隐含波动率的关系，并根据编制的 VIX 指数提出以上证 50ETF 为标的的择时策略。具体研究工作包括以下几个方面：

1. 推导 VIX 指数的计算公式，提出中国 VIX 指数的编制方案；
2. 将 VIX 指数拓展至成交量加权 VIX 指数和广义 VIX 指数；
3. 分析 VIX 指数的相关性质，并探究 VIX 指数和期权隐含波动率的差异性和相关性；
4. 构建基于 VIX 指数的上证 50ETF、沪深 300ETF 择时策略。

图表 1：本文主要研究思路



资料来源：wind、中信建投

二）中国 VIX 指数编制方法

2.1、VIX 指数公式推导

本文推导了期权价格与对数收益率的分布矩组合之间的一般关系。我们先用大写的 R_T 表示简单的持有期收益率，用小写的 r_T 表示连续复合收益率（或对数收益率）。它们的写法是：

$$R_T = \frac{S_T - S_0}{S_0} \quad (1)$$

$$r_T = [\ln(S_T) - \ln(S_0)] = \ln\left(\frac{S_T}{S_0}\right) \quad (2)$$

其中， S_0 和 S_T 分别为 0 和 T 时刻的资产价格。考虑以 $\ln(S_T)$ 的余数为中心对 S_0 进行泰勒展开，我们可以得到：

$$\ln(S_T) = \ln(S_0) + \frac{S_T - S_0}{S_0} + \int_{S_0}^{\infty} \frac{-1}{K^2} (S_T - K)^+ dK + \int_0^{S_0} \frac{-1}{K^2} (K - S_T)^+ dK \quad (3)$$

等价地，带入方程（1）和（2），方程（3）可以重写为：

$$R_T - r_T = \left[\int_{S_0}^{\infty} \frac{1}{K^2} (S_T - K)^+ dK + \int_0^{S_0} \frac{1}{K^2} (K - S_T)^+ dK \right] \geq 0 \quad (4)$$

即，一份合约多头头寸的回报是持有期回报（ R_T ）的多头头寸和支付 T 时总回报对数（ r_T ）的空头头寸的

回报，**可以用所有执行价高于当前资产价格的执行价为 K 的看涨期权多头头寸的回报和所有执行价低于当前资产价格的执行价为 K 的看跌期权多头头寸的回报来复制、所有期权合约的到期时间都是 T 。**值得注意的是，非负的期权报酬确保了 $R_T \geq r_T$ 。

考虑到在无套利条件下，可以从欧式期权的看跌-看涨平价中提取出资产的当前公允价格，即：

$$S_0 = C_T(K_A) - P_T(K_A) + K_A e^{-rT}$$

其中， $C_T(K_A)$ 和 $P_T(K_A)$ 分别是看涨期权和看跌期权合约的当前权利金，其执行价为 K_A ，到期日为 T 。在风险中性框架下确定资产价格和收益率，即：

$$E(S_T) = e^{rT} [C_T(K_A) - P_T(K_A)] + K_A = S_0 e^{rT}$$

$$E(R_T) = \frac{E(S_T) - S_0}{S_0} = e^{rT} - 1$$

这就意味着，(4) **中预期收益差的公允价值也可以从风险中性的复制期权组合的远期价值中得出：**

$$E(R_T) - E(r_T) = e^{rT} \left\{ \int_{S_0}^{\infty} \frac{1}{K^2} C_T(K) dK + \int_0^{S_0} \frac{1}{K^2} P_T(K) dK \right\} \quad (5)$$

为了将方程 (5) 与矩组合表达式连接起来，我们对 R_T 的指数函数应用泰勒级数，如下所示：

$$(1 + R_T) = \frac{S_T}{S_0} = \exp\left[\ln\left(\frac{S_T}{S_0}\right)\right] = 1 + \sum_{k=1}^N \frac{1}{k!} \left[\ln\left(\frac{S_T}{S_0}\right)\right]^k + o\left[\ln\left(\frac{S_T}{S_0}\right)\right]^N \quad (6)$$

然后，对等式 (6) 两边的期望值进行一些重新排列， r_T 和 r_T 之间的收益差的期望值等于以下两个矩的线性组合：

$$E(R_T) - E(r_T) = \frac{1}{2} E(r_T^2) + \frac{1}{6} E(r_T^3) + \frac{1}{24} E(r_T^4) + o[E(r_T^4)] \quad (7)$$

有趣的是，等式 (7) 表明预期持有期收益是对数收益的矩生成函数。因此，当我们把 (5) 和 (7) 结合起来时，OTM 期权组合的远期价值就代表了对数收益率的事前矩组合。下面定理 1 可以证明这一点：

定理 1：

假设 $C_T(K_A)$ 和 $P_T(K_A)$ 分别是行使价为 K 且到期日为 T 的欧式看涨期权和看跌期权。在不对标的运动过程施加任何结构的情况下，可以从 OTM 期权组合的市场价格中提取对数收益的事前时刻组合的公允价值，其权重与该期权组合中执行价格的平方成反比：

$$\frac{1}{2} E(r_T^2) + \frac{1}{6} E(r_T^3) + \frac{1}{24} E(r_T^4) + o[E(r_T^4)] = e^{rT} \left\{ \int_{S_0}^{\infty} \frac{1}{K^2} C_T(K) dK + \int_0^{S_0} \frac{1}{K^2} P_T(K) dK \right\} \quad (8)$$

定理 1 强调了期权溢价与市场对未来收益矩的预期之间的重要联系。具体来说，OTM 看跌/看涨期权组合

的市场价格提取了事前矩（如方差、偏度、峰度等）线性组合的公允价值。其次，我们注意到 VIX 指数是基于未来方差的公允价值概念得出的，并使用标的资产的远期价格而不是当前价格作为参考点来确定看涨和看跌期权的未来 OTM 期权报酬。此外，由于在实践中几乎可以肯定没有任何期权合约的执行价格与远期价格完全相等，因此可以选择低于远期价格的第一个执行价格作为参考价格。在推论 1 中，我们将考虑远期价格来调整期权组合的公允价值。

推论 1:

假设 S_0 是根据 ATM PutCall 平价确定的相关资产的当前公允价格，则 T 时间的远期价格 F_0 等于 $S_0 e^{rT}$ ，其中 r 是年化无风险利率。此外，假设 K_0 是低于远期价格的第一个执行价格（ $K_0 \leq F_0$ ）。定理 1 中期权组合的远期价值具有如下等式：

$$e^{rT} \left[\int_{S_0}^{\infty} \frac{1}{K^2} C_T(K) dK + \int_0^{S_0} \frac{1}{K^2} P_T(K) dK \right] = [(e^{rT} - 1) - (\frac{F_0}{K_0} - 1) - \ln(\frac{K_0}{S_0})] + e^{rT} \left[\int_{K_0}^{\infty} \frac{1}{K^2} C_T(K) dK + \int_0^{K_0} \frac{1}{K^2} P_T(K) dK \right] \quad (9)$$

推论 1 的证明非常简单。利用关于点 K_0 的 $\ln(S_T)$ 余数的泰勒展开，我们得到：

$$\ln(S_T) = \ln(K_0) + \frac{S_T - K_0}{K_0} + \int_{K_0}^{\infty} \frac{-1}{K^2} (S_T - K)^+ dK + \int_0^{K_0} \frac{-1}{K^2} (K - S_T)^+ dK \quad (10)$$

将（3）代入（10），利用风险中性期望值， $E(R_T) = e^{rT} - 1$ ，就得到了方程（9）。

总之，通过对持有期收益率和对数收益率之间关系的数学应用，我们说明了在没有任何扩散假设和模型指定的情况下，与行使价平方值成反比加权的 OTM 期权组合可以提取事前收益矩线性组合的公允价值。由于波动率指数是根据与(9)相同的期权组合的价格计算出来的，VIX 的表述实际上是一个矩组合，而不是一般的波动率度量。

本节接着介绍波动率指数的推导过程，该指数的推导假设资产收益的随机过程遵循几何布朗运动（GBM）和伊藤定理（IL）：

$$\frac{dS_t}{S_t} = \mu dt + \sigma dZ_t \quad (11)$$

$$d[\ln(S_t)] = (\mu - \frac{1}{2}\sigma^2)dt + \sigma dZ_t \quad (12)$$

其中， Z_t 是维纳过程或布朗运动， μ 是固定漂移， σ 是恒定波动率。GBM 和 IL 假设资产收益是连续对称分布的。因此，比方差更高阶的矩既不存在，也不会对收益生成过程产生影响。由于 T 期间的对数收益率及其方差可以表示为 $r_T = \int_0^T d[\ln(S_t)]$ 和 $\int_0^T \sigma^2 dt$ ，根据方程（11）和（12）可以直接计算出瞬时波动率（方差）如下：

$$v = \frac{1}{T} \int_0^T \sigma^2 dt = \frac{2}{T} \left[\int_0^T \frac{dS_t}{S_t} - r_T \right] \quad (13)$$

等式 (13) 表明，事前波动率是由两个头寸组合复制的：(1) 价值一元的相关资产 $\frac{1}{S_t}$ 股的连续再平衡多头头寸，(2) 支付 T 时总回报对数的合约空头头寸。在风险中性下， $E(\int_0^T \frac{dS_t}{S_t}) = rT$, $E(R_T) = e^{rT} - 1$ ，由此可以计算出期望波动率：

$$E(v) = \sigma^2 = \frac{2}{T} \{e^{rT} [\int_{S_0}^{\infty} \frac{1}{K^2} C_T(K) dK + \int_0^{S_0} \frac{1}{K^2} P_T(K) dK] - [(e^{rT} - 1) - rT]\} \quad (14)$$

因此，在假设 (11) 和 (12) 的条件下，收益波动率的预期值可以从价外期权组合的市场价格中提取出来，其权重与执行价格的平方值成反比。方程 (14) 的第三项用 $(e^{rT} - 1) - rT$ 表示，它捕捉了 T 期间连续复利收益和单一复利收益之间的差额。

将推论 1 的结果应用于方程 (14)，我们就得到了 VIX 公式：

$$VIX^2 = E(v) = \frac{2}{T} \{rT - (\frac{F_0}{K_0} - 1) - \ln(\frac{K_0}{S_0}) + e^{rT} [\int_{K_0}^{\infty} \frac{1}{K^2} C_T(K) dK + \int_0^{K_0} \frac{1}{K^2} P_T(K) dK]\} \quad (15)$$

因此，与任何期权定价模型无关，隐含波动率是通过一组价外期权价格、当前资产价格和无风险利率明确计算出来的。此外，应用对数函数的泰勒展开并忽略二阶以上的项，(15) 中积分前的项可以重述为：

$$[rT - (\frac{F_0}{K_0} - 1) - \ln(\frac{K_0}{S_0})] = [\ln(\frac{F_0}{K_0}) - (\frac{F_0}{K_0} - 1)] \approx -\frac{1}{2} (\frac{F_0}{K_0} - 1)^2 \quad (16)$$

因此，与上证所发布的波动率编制书中所示相同，波动率指数可以在离散框架下计算如下：

$$\hat{VIX} = \frac{2e^{rT}}{T} \sum \frac{1}{K_i^2} Q(K_i) \Delta K_i - \frac{1}{T} (\frac{F_0}{K_0} - 1)^2 \quad (17)$$

其中 $Q(i)$ 是期权买卖差价的中点（如果 $i > Q$ ，则为看涨期权；如果 $i < Q$ ，则为看跌期权；如果 $i = Q$ ，则为看涨和看跌期权）， $\Delta K_i = \frac{K_{i+1} - K_{i-1}}{2}$ 。远期价格是通过看跌-看涨平价从价内期权计算得出的，因此 $F_0 = K_A + e^{rT} [C_T(K_A) - P_T(K_A)]$ 。此外，上证所通过对两个到期日（分别为近月（ T_1 ）和次近月（ T_2 ））的两个波动率指数进行插值来计算 VIX。最后，通过对这两个 VIX 的加权平均值，就可以得到一个年化指数（用 VIX_a 表示），如下所示：

$$\hat{VIX}_a = \sqrt{[\frac{N(T_2) - N(30)}{N(T_2) - N(T_1)}] (T_1 \cdot \hat{VIX}_1^2) + [\frac{N(30) - N(T_1)}{N(T_2) - N(T_1)}] (T_2 \cdot \hat{VIX}_2^2)] (\frac{N(365)}{N(30)})} \quad (18)$$

其中 $N(T_1)$ 和 $N(T_2)$ 是近期期权和下期期权的时间间隔数（如分钟、天数）。 $N(30)$ 和 $N(365)$ 分别是 30 天和一年 365 天的时间间隔数。

2.2、VIX 指数编制方法

上证 50 ETF 波动率指数展期时间为 7 天。满足剩余到期天数超过 7 天的最近到期合约在近月合约，次近到

期合约为次近月合约，两者隐含波动率分别为近月与次近月波动率。近月波动率的计算公式如下，次近月算法与之一致：

$$\sigma_1^2 = \frac{2}{T} \sum_i e^{RT} \frac{\Delta K_i}{K_i^2} P(K_i) - \frac{1}{T} \left[\frac{F}{K_0} - 1 \right]^2$$

σ_1^2 : 近月波动率的平方

NT: 近月合约剩余到期时间（以分钟/天计）

$$T: \frac{N_T}{N_{365}}$$

R: 上交所采用的无风险利率

S: 认购期权价格与认沽期权价格相差最小的执行价 F: $S + e^{RT} \times [\text{认购期权价格}(S) - \text{认沽期权价格}(S)]$

K_0 : 小于 F 且最接近于 F 的执行价，若无则用最小执行价填充

K_i : 由小到大的所有执行价 ($i = 1, 2, 3, \dots$)

ΔK_i : 第 i 个执行价所对应的执行价间隔，一般为 $\frac{K_{i+1} - K_{i-1}}{2}$

$P(K_i)$: 若 K_i 小于 K_0 为 K_i 对应的认沽期权价格; 若 K_i 大于 K_0 ，为 K_i 对应的认购期权价格; 若 K_i 等于 K_0 ，为 K_i 对应的认沽期权价格与认购期权价格均值

完成近月波动率 σ_1^2 与次近月波动率 σ_2^2 的计算之后，采用以下公式计算上证 50 ETF 波动率指数：

$$\hat{VIX}_a = \sqrt{\left[\left[\frac{N(T_2) - N(30)}{N(T_2) - N(T_1)} \right] (T_1 \cdot \hat{VIX}_1^2) + \left[\frac{N(30) - N(T_1)}{N(T_2) - N(T_1)} \right] (T_2 \cdot \hat{VIX}_2^2) \right] \left(\frac{N(365)}{N(30)} \right)}$$

若近月与次近月相隔超过 30 天，则用近月波动率填充次近月波动率。

2.3、成交量加权 VIX 指数编制方法

成交量加权的 VIX 指数在计算隐含波动率时基于期权的成交量进行加权，交易频繁的期权对于市场的波动有着更高的贡献，因此对交易较为频繁的期权赋予更高的权重，可以更好捕捉标的资产的价格波动率，其近月波动率和次近月波动率计算公式如下，其余算法与 VIX 指数一致：

$$\sigma_1^2 = \frac{2 * N}{T * \sum_i V_i} \sum_i V_i * e^{RT} \frac{\Delta K_i}{K_i^2} P(K_i) - \frac{1}{T} \left[\frac{F}{K_0} - 1 \right]^2$$

其中， V_i 为期权 i 的成交量，N 为带入计算的期权总数。

2.4、广义 VIX 指数编制方法

VIX 波动率指数是根据 (14) 所示的无模型波动率期望值推导出来的。推导 VIX 所需的关键假设是标的资产价格的随机过程是连续的，并且遵循 GBM 和 IL。当股价过程中存在相对较小的跳跃时，这种无模型方法可以很好地近似资产价格对数的风险中性预期四次方变化。但是，如果存在大幅跳跃的明显风险，那么近似误差可能会非常大。在定理 2 中，我们将证明在不对基础资产收益生成过程作任何扩散假设的情况下，无模型 VIX 表达式实际上是其基础投资组合对数收益的矩组合。

定理 2:

设 $V_T = E(r_T^2)$ 、 $W_T = E(r_T^3)$ 和 $X_T = E(r_T^4)$ 分别为资产的第二、第三和第四个事前收益率矩。在不对收益的随机过程进行任何建模的情况下，VIX 指数等于收益矩的线性组合，即：

$$VIX = \frac{1}{\sqrt{T}} \sqrt{\left[V_T + \frac{M_T}{3} + \frac{X_T}{12} + o(X_T) \right] - 2[(e^{rT} - 1) - rT]} \quad (19)$$

$$\lim_{T \rightarrow 0} [(e^{rT} - 1) - rT] = 0$$

公式 (19) 可以直接从定理 1、推论 1 以及公式 (14) 和 (15) 中得出。定理 2 指出了 VIX 作为波动率指数的无效性，除非收益率分布的高矩数既不存在也不影响收益率的产生过程。因此，VIX 与真实波动率的任何近似误差直观上都是由于高收益矩的影响造成的。基于上述发现，本文在下面的定理中提出了对事前收益波动率的直接估计。

定理 3:

假设 $C_T(K)$ 和 $P_T(K)$ 分别是行使价为 K 、到期日为 T 的欧式看涨期权和看跌期权。 S_0 是根据 ATM 看跌期权平价确定的无套利条件下的当前资产价值， $S_0 = C_T(K_A) - P_T(K_A) + K_A e^{-rT}$ ，远期价格为 $F_0 = E(S_T) = e^{rT} [C_T(K_A) - P_T(K_A)] + K_A = S_0 e^{rT}$ ，此外，让 K_0 成为低于远期价格 y 的第一个执行价格。假设存在对数收益分布的有限第一矩和第二矩（分别用 μ_T 和 V_T 表示）。在不对收益率的分布形式和/或随机过程做任何说明的情况下，广义波动率指数（GVIX）可以直接用对数收益率标准差的定义表示如下：

$$GVIX = \frac{1}{\sqrt{T}} \sqrt{V_T - (\mu_T)^2} \quad (20)$$

其中：

$$\mu_T = \ln\left(\frac{K_0}{S_0}\right) + \left(\frac{F_0}{K_0} - 1\right) - e^{rT} \left[\int_{K_0}^{\infty} \frac{1}{K^2} C_T(K) dK + \int_0^{K_0} \frac{1}{K^2} P_T(K) dK \right] \quad (21)$$

$$V_T = \ln^2\left(\frac{K_0}{S_0}\right) + 2 \ln\left(\frac{K_0}{S_0}\right) \left(\frac{F_0}{K_0} - 1\right) + 2e^{rT} \left[\int_{K_0}^{\infty} \frac{[1 - \ln(\frac{K}{S_0})]}{K^2} C_T(K) dK \right. \\ \left. + \int_0^{K_0} \frac{[1 + \ln(\frac{S_0}{K})]}{K^2} P_T(K) dK \right] \quad (22)$$

对数收益率的事前平均值 $\mu_T = E(r_T)$ ，可直接由 (5) 和 (9) 计算得出，而第二矩量 $V_T = E(r_T^2)$ ，可根据泰勒展开求得。注意，对于任何连续二次微分函数，带余数的泰勒展开式可表示为： $f(S_T) = f(a) + f'(a)(S_T - a) + \int_a^\infty f''(K)(S_T - K)^+ dK + \int_0^a f''(K)(K - S_T)^+ dK$ ，其中 $f(a)$ 和 $f''(K)$ 分别是在 a 和 K 处求得的与 S 有关的报酬的一阶导数和二阶导数。为了得出 V_T ，定义 $f(S_T) = \ln^2\left(\frac{S_T}{S_0}\right)$ ，并让 $a = K_0$ ，那么：

$$\ln^2\left(\frac{S_T}{S_0}\right) = \ln^2\left(\frac{K_0}{S_0}\right) + 2\ln\left(\frac{K_0}{S_0}\right)\left(\frac{S_T - K_0}{K_0}\right) + 2\int_{K_0}^\infty \frac{[1 - \ln(\frac{K}{S_0})]}{K^2}(S_T - K)^+ dK + 2\int_0^{K_0} \frac{[1 + \ln(\frac{S_0}{K})]}{K^2}(K - S_T)^+ dK \quad (23)$$

此外，通过对等式 (23) 两边进行风险中性预期，我们可以得到等式 (22)。定理 3 提出了从 OTM 期权组合中提取事前波动率公允价值的通用机制。实际上，我们的广义波动率指数的计算与 VIX 的计算一样简单(公式 (17))。不需要额外的信息，我们可以根据三个方面来计算 GVIX：期权价格 (Q_k)，标的资产的无套利远期价格 $F_0 = S_0 e^{rT}$ 和无风险利率 (r)，使得：

$$\hat{\mu}_T = \left[\ln\left(\frac{K_0}{S_0}\right) + \left(\frac{F_0}{K_0} - 1\right) \right] - e^{rT} \sum_i \frac{1}{K_i^2} Q(K_i) \Delta K_i \quad (24)$$

$$\hat{V}_T = \left[\ln^2\left(\frac{K_0}{S_0}\right) + 2\ln\left(\frac{K_0}{S_0}\right)\left(\frac{F_0}{K_0} - 1\right) \right] + 2e^{rT} \sum_i \frac{1}{K_i^2} \left[1 + \ln\left(\frac{S_0}{K_i}\right) \right] Q(K_i) \Delta K_i \quad (25)$$

$$\hat{GVIX} = \frac{1}{\sqrt{T}} \sqrt{\hat{V}_T - (\hat{\mu}_T)^2} \quad (26)$$

此外，为了与 CBOE 的 VIX 估计一致，我们以 30 天为基础调整 GVIX 指数。按照与 VIX 估计相同的插值程序(见公式(18))，我们首先确定近期和下期的期权合约，分别用 T_1 和 T_2 表示。然后，分别根据 T_1 和 T_2 计算两个 GVIX 指数。最后，通过加权平均，可以根据 30 天的市场回报计算出年化的 GVIX 指数。如下所示：

$$\hat{GVIX}_{30} = \sqrt{\left[\frac{N(T_2) - N(30)}{N(T_2) - N(T_1)} \right] (T_1 \cdot \hat{GVIX}_1^2) + \left[\frac{N(30) - N(T_1)}{N(T_2) - N(T_1)} \right] (T_2 \cdot \hat{GVIX}_2^2) \left(\frac{N(365)}{N(30)} \right)} \quad (27)$$

三) VIX 指数性质分析

3.1、VIX 指数与广义 VIX 指数

上文计算的 VIX 指数是广义 VIX 指数的一个特例，只有当资产收益的随机过程遵循几何布朗运动和伊藤引理时，它们才相等，如公式 (11) 和 (12) 所示，基于布朗运动和伊藤引理的假设，

$$E\left(\ln^2\left(\frac{S_T}{S_0}\right)\right) = \sigma^2 T + \left[\left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)T\right]^2 \quad (28)$$

$$E\left(\ln\left(\frac{S_T}{S_0}\right)\right) = \left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)T \quad (29)$$

$$GVIX^2 = \frac{1}{T} \left\{ E\left(\ln^2\left(\frac{S_T}{S_0}\right)\right) - \left\{ E\left(\ln\left(\frac{S_T}{S_0}\right)\right) \right\}^2 \right\} = \sigma^2 = \frac{1}{T} \int_0^T \sigma^2 dt = E(V) = VIX^2 \quad (30)$$

因此，如果公式(11)(12)所示的分布条件满足，广义 VIX 指数与 VIX 指数恒等。

3.2、编制方案检验

本文使用两种方法检验编制的 VIX 指数的有效性。**皮尔逊相关系数**（Pearson correlation coefficient），也称为皮尔逊相关性（Pearson correlation）或皮尔逊积差相关系数（Pearson product-moment correlation coefficient），是一种用于衡量两个连续变量之间线性关系强度和方向的统计指标。它通常用来评估两个变量之间的相关性，其值介于-1 和 1 之间。皮尔逊相关系数公式如下：

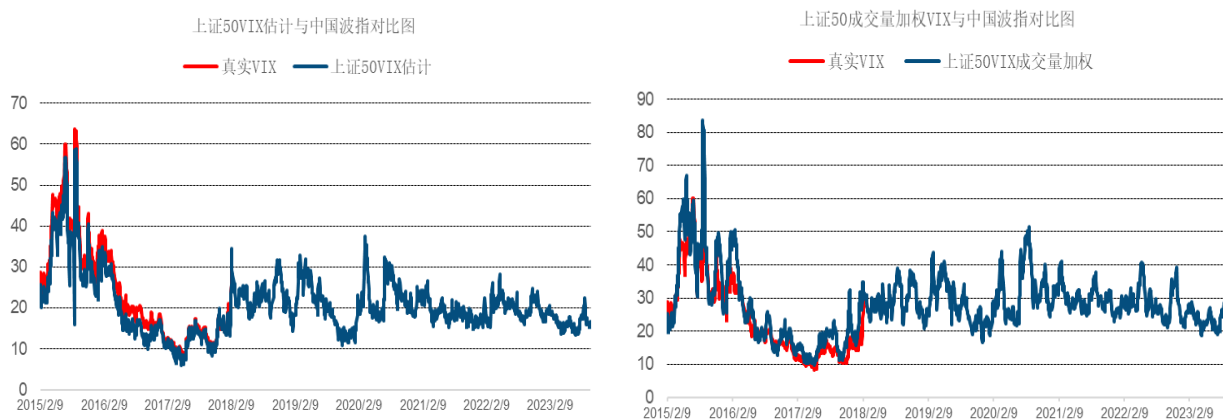
$$r = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2 \sum(Y - \bar{Y})^2}}$$

皮尔逊相关系数的值越接近 1 或-1，说明两个变量之间的线性相关性越强，而值越接近 0 则表示两个变量之间的线性相关性越弱。这使得皮尔逊相关系数成为一种常用的统计工具，用于探索变量之间的关系和依赖。

KS 检验（Kolmogorov-Smirnov 检验）是一种用于检验两个数据样本是否来自同一总体分布的非参数统计检验方法，它的原理是通过比较两个累积分布函数之间的最大差距来判断两个样本是否来自相同的总体分布。KS 统计量（D）表示两个分布函数之间的最大差距。KS 检验不对数据的分布做出特定的假设，因此是一种非参数检验方法，适用于不满足正态分布等特定分布假设的数据。

按照本文算法编制的以上证 50ETF 期权为标的的 VIX 指数与中国波指的走势即为相似，两者的皮尔逊相关系数达到 0.9918，经过 KS 检验 p 值小于 0.01，拒绝零假设，认为两个序列分布相同，可以使用本文编制的 VIX 指数代替中国波指；而基于上证 50ETF 的成交量加权 VIX 指数通过成交量加权赋予交易行为更活泼的期权更高权重，在波动率上涨的趋势中波峰相比中国波指更高，对于交易者的恐慌心理捕捉更为敏感。

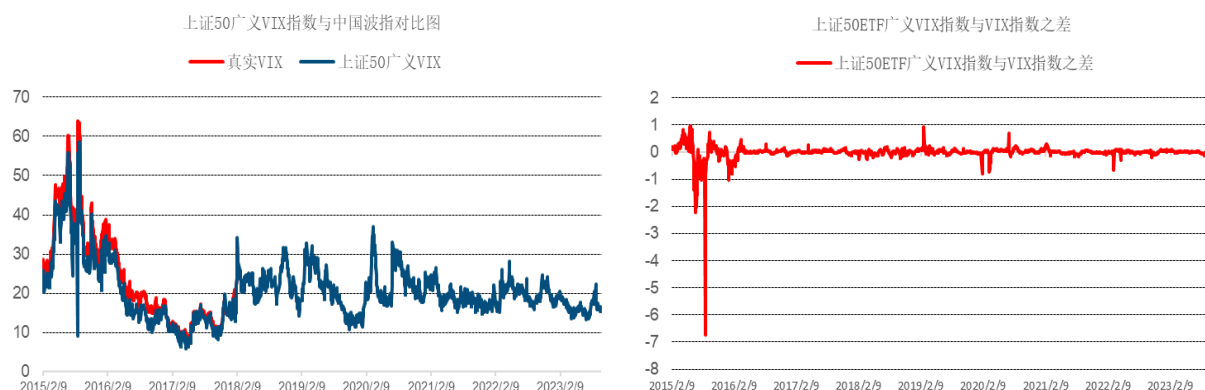
图表 2：上证 50VIX 估计与中国波指 iVIX 对比图（左）& 上证 50 成交量加权 VIX 与中国波指 iVIX 对比图（右）



资料来源：Wind、中信建投

作为一种真正意义上无模型的指数，广义 VIX 指数在计算时考虑到了投资者对于市场行情预期的偏差和峰度，由于中国股票交易市场的高风险性，投资者倾向于高估市场风险，广义 VIX 指数通常略低于 VIX 指数，可以作为 VIX 指数的一种修正。值得注意的是，2015 年下半年广义 VIX 指数与 VIX 指数出现了显著偏离，VIX 指数显著高于广义 VIX 指数，这是由于 2015 年的股灾导致投资者对于市场的预期过度悲观。

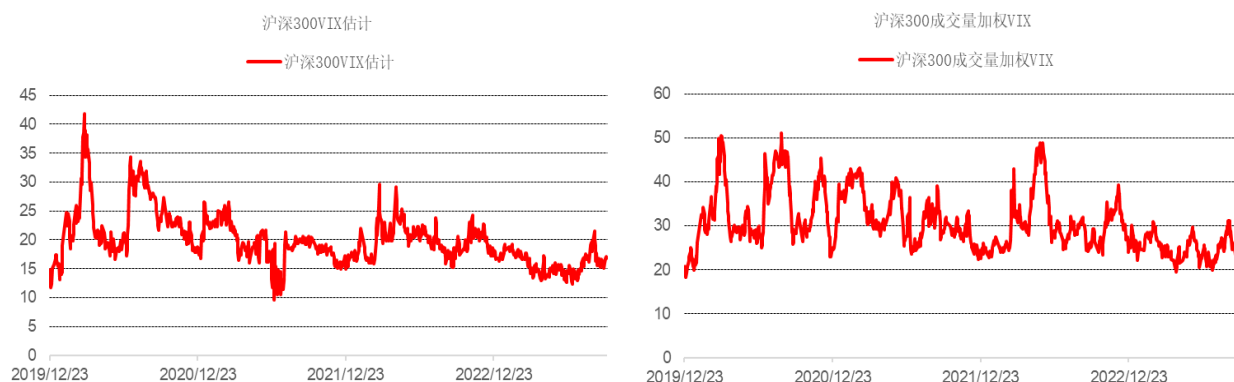
图表 3：上证 50 广义 VIX 指数与中国波指对比图（左）& 上证 50 广义 VIX 指数与上证 50VIX 估计之差（右）



资料来源：Wind、中信建投

基于沪深 300ETF 期权标的的三种 VIX 指数走势如下。

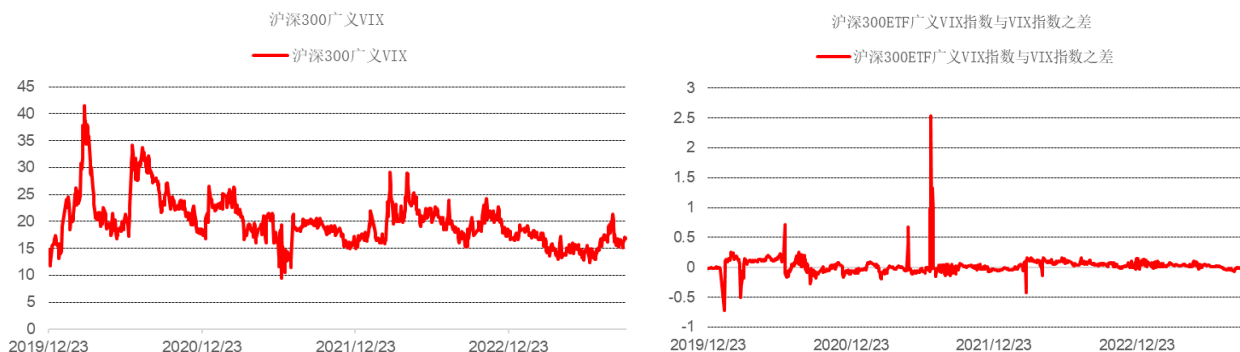
图表 4：沪深 300VIX 估计（左）& 沪深 300 成交量加权 VIX 指数（右）



资料来源：Wind、中信建投

可以看出，与上证 50ETF 类似，沪深 300 的成交量加权 VIX 指数相比 VIX 指数出现了更多的波峰，同时，沪深 300ETF 的广义 VIX 指数和 VIX 指数在绝大多数时间较为接近，在出现短暂偏离后也会迅速修正。

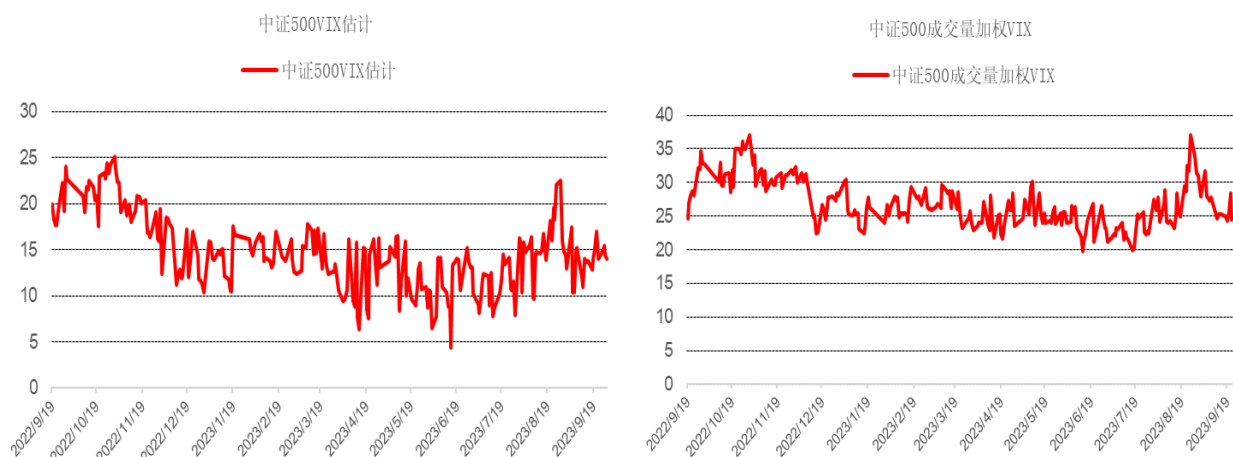
图表 5：沪深 300 广义 VIX（左）& 沪深 300 广义 VIX 与 VIX 估计之差（右）



资料来源：Wind、中信建投

本文接着绘制基于中证 500ETF 期权标的的三种 VIX 指数。

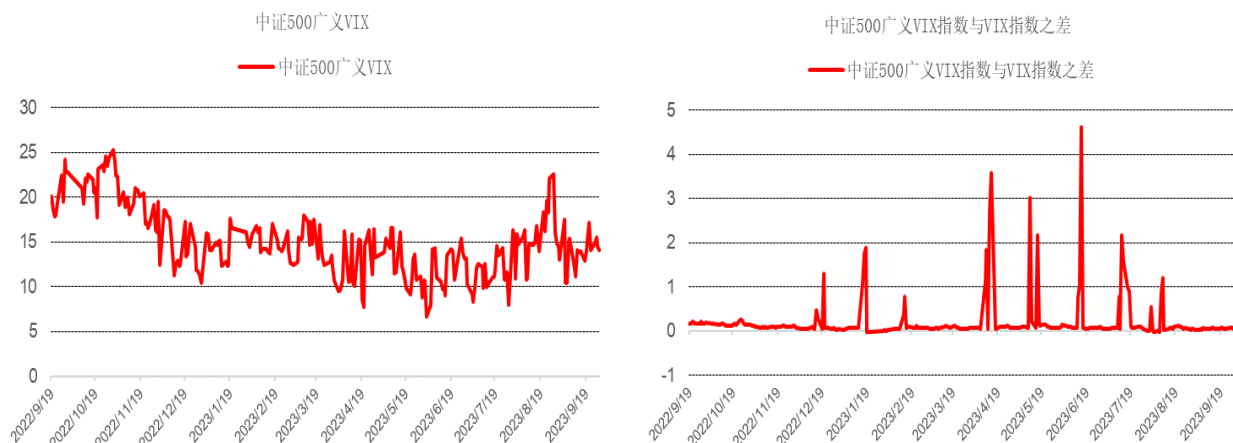
图表 6：中证 500VIX 估计（左）& 中证 500 成交量加权 VIX 指数（右）



资料来源：Wind、中信建投

由于中证 500ETF 期权发行至今仅有一年，ETF 期权市场较为不稳定和不成熟，三种 VIX 指数的波动规律与上证 50ETF、沪深 300ETF 略有差异。

图表 7：中证 500 广义 VIX（左）& 中证 500 广义 VIX 与 VIX 估计之差（右）



资料来源：Wind、中信建投

具体而言，中证 500 成交量加权 VIX 指数略高于 VIX 指数，且波动性小于 VIX 指数，这可以归因于成交的期权过少，成交量加权的 VIX 指数更具稳定性。同时，广义 VIX 指数与 VIX 指数出现的偏离均为投资者低估市场风险，这侧面印证了投资者对于中证 500ETF 期权市场的积极情绪。

3.3、VIX 指数协整性

本节 VIX 指数和广义 VIX 指数之间的协整性进行检验。协整性是时间序列分析中的一个重要概念，用于描述两个或多个时间序列之间的长期关系。协整性的主要含义是，虽然各个时间序列可能都有自己的趋势和随机

波动，但它们在长期内具有某种稳定的关系，可以通过线性组合使它们之间的差异保持在一个有限范围内。协整性通常与协整关系、协整向量等相关概念一起使用，用于建立多个时间序列之间的均衡关系。协整性的经济学含义是，即使两个或多个时间序列在短期内可能出现不稳定的波动，它们在长期内会趋于回归到一个均衡状态。这种均衡状态可能反映了经济中的长期关系或者市场中的均衡条件。协整性的存在使得研究人员能够分析和建立多个相关时间序列之间的长期关系，以便更好地理解它们的相互影响和预测未来走势。

协整性的检验通常涉及使用统计方法，如协整检验。其中，最常用的是 Engle-Granger 协整检验和 Johansen 协整检验。协整性的数学表示可以通过以下协整关系的一般公式来表示：

$$Y_t = \alpha + \beta X_t + \varepsilon_t$$

在这个公式中， Y_t 表示第一个时间序列， X_t 表示第二个时间序列， α 和 β 是常数，分别表示截距和协整关系的系数， ε_t 表示白噪声误差项，它代表了两个序列之间的瞬时差异和随机波动。如果存在协整关系，那么 Y_t 和 X_t 的线性组合将是平稳的，而不是随时间变化而发散的。这就意味着两个时间序列虽然可能在短期内有波动，但它们在长期内会维持某种均衡状态。协整性的概念在金融、经济学和统计学中都有广泛的应用，特别是在套利交易和风险管理领域。

本文使用 Python 的 statsmodels 库中的 Coint 函数来检验 VIX 指数与其他指标的协整性。Coint 函数的输出包括：

协整性检验的统计量：这个统计量用于衡量两个时间序列之间的协整关系的强度。

p-值：表示统计量在零假设下的显著性，即两个时间序列之间没有协整关系的概率。若 p 值小于通常的显著性水平(例如 0.05),表明存在协整关系。

临界值数组：这个数组包含了在不同显著性水平下的统计量的临界值，通常将统计量的值与这些临界值进行比较，以确定协整性的存在。如果统计量小于这些临界值，那么可以拒绝零假设，表示存在协整关系。

图表 8：VIX 指数与广义 VIX 指数的协整检验结果

标的	t统计量	p值	1%置信区间	5%置信区间	10%置信区间
上证50	-7.129291	4.211E-09	-3.901655332	-3.339036964	-3.046467353
沪深300	-8.811923	2.632E-13	-3.908436181	-3.342808547	-3.049083373
中证500	-7.178092	3.213E-09	-3.940605234	-3.360581328	-3.061390385

资料来源：Wind、中信建投

针对 VIX 指数和广义 VIX 指数的定义，广义 VIX 指数考虑了金融市场的偏度、峰度等高阶误差，是对 VIX 指数的补充和修正，由于金融市场会出现投资者对市场的错估和修正过程，对应残差序列的均值突破和回复过程，广义 VIX 指数可能与 VIX 指数存在协整关系。以下是对三个 ETF 为标的的协整关系检验结果，根据 p 值，构建的三个 VIX 指数都与其对应的广义 VIX 指数存在较强协整关系(p 值小于 0.01)。

3.4、VIX 指数与 ETF 收益率的相关性

VIX 指数和 ETF 指数的收益率之间通常存在负相关关系，这意味着当 VIX 指数升高时，股票市场的收益率往往下降，反之亦然。这种负相关关系的原因有以下几个方面：

避险需求：VIX 指数通常被称为“恐慌指数”，它测量了市场投资者对未来市场波动性的预期。当市场不稳定，投资者会更加谨慎，寻求避险资产，例如债券和黄金，而减少对股票等风险资产的需求。这会导致股票市场下跌，从而降低 ETF 的收益率。

投资者情绪：VIX 指数反映了市场情绪的变化。高 VIX 值通常表明市场情绪悲观，而低 VIX 值则反映市场情绪乐观。悲观情绪可能导致投资者更倾向于卖出 ETF，因为他们担心市场可能会下跌，这会对 ETF 指数的表现产生负面影响。

风险厌恶：高 VIX 值通常反映了投资者对风险的较高厌恶程度。他们可能更倾向于保守投资策略，如持有低风险资产，而不是追求高回报的股票。这会导致股票市场的需求下降，从而影响 ETF 的表现。

反转效应：市场通常呈现出一种反转效应，即在市场底部或悲观情绪达到高点时，股票市场有可能出现反弹。这是因为一旦市场情绪极度悲观，投资者可能会认为市场已经被充分反映，从而寻找投资机会。这可能导致 VIX 指数下降，同时 ETF 的收益率上升。

图表 9：上证 50 三种 VIX 指数与上证 50ETF（上）沪深 300ETF（中）中证 500ETF（下）未来收益率的相关性检验结果

VIX指数	未来收益率时间区间/天														
	1	3	5	7	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
VIX指数	-0.008051	-0.038998	-0.055103	-0.073218	-0.0962	-0.136866	-0.150706	-0.150729	-0.168526	-0.195244	-0.223801	-0.23499	-0.250751	-0.259989	-0.259545
成交量加权VIX指数	-0.016752	-0.041908	-0.05297	-0.070208	-0.094507	-0.146778	-0.170126	-0.167446	-0.178956	-0.206249	-0.237262	-0.253726	-0.272828	-0.289553	-0.297751
广义VIX指数	-0.008227	-0.041899	-0.058008	-0.075319	-0.097734	-0.13748	-0.149491	-0.149494	-0.168015	-0.194851	-0.222857	-0.235226	-0.252029	-0.261807	-0.261541
VIX指数	未来收益率时间区间/天														
	1	3	5	7	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
VIX指数	-0.00299	-0.031282	-0.048167	-0.06239	-0.078358	-0.1085	-0.117451	-0.114689	-0.134039	-0.163093	-0.193238	-0.207788	-0.22271	-0.230805	-0.224494
成交量加权VIX指数	-0.014662	-0.038297	-0.046475	-0.060295	-0.079559	-0.121593	-0.140322	-0.137106	-0.152097	-0.182004	-0.214455	-0.232426	-0.250815	-0.264119	-0.264552
广义VIX指数	-0.001655	-0.031718	-0.047913	-0.061325	-0.077497	-0.106485	-0.114285	-0.111595	-0.131944	-0.160873	-0.190645	-0.206332	-0.222271	-0.230953	-0.224944
VIX指数	未来收益率时间区间/天														
	1	3	5	7	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
VIX指数	0.0491299	0.0631218	0.0738449	0.0763958	0.0819019	0.081448	0.0751789	0.0701001	0.0663139	0.0577426	0.0488312	0.043624	0.038008	0.0312962	0.0265986
成交量加权VIX指数	0.0373886	0.0406657	0.0465379	0.0458194	0.0449627	0.0324314	0.0142274	-0.00147	-0.013504	-0.030583	-0.047311	-0.053742	-0.059663	-0.066906	-0.073014
广义VIX指数	0.0514964	0.0669561	0.0791003	0.0821222	0.0872435	0.0870511	0.08118	0.0758755	0.0714292	0.0629068	0.0540072	0.0485233	0.0425065	0.0353914	0.0302604

资料来源：Wind、中信建投

本节对基于上证 50ETF 的 VIX 指数与上证 50ETF、沪深 300ETF、中证 500ETF 基金的 1 天、3 天、5 天、

10 天、15 天、20 天、25 天、30 天后的收益率进行相关性分析和协整性分析。

图表 10：上证 50 三种 VIX 指数与上证 50ETF（上）沪深 300ETF（中）中证 500ETF（下）未来收益率的协整性检验结果

VIX 指数	未来收益率时间区间/天														
	1	3	5	7	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
VIX 指数	0.0044662	0.0306884	0.0363764	0.026802	0.0329301	0.0122313	0.0020434	0.0094565	0.0014599	0.0015813	0.0148177	0.0149028	0.0221022	0.0116273	0.0031807
成交量加权 VIX 指数	0.0012126	0.0013717	0.0009951	0.0011241	0.0009054	0.0007583	0.0006644	0.0006285	0.0004971	3.333E-05	0.0005902	0.0006978	0.0005991	0.0006339	0.0004884
广义 VIX 指数	0.0279144	0.0227633	0.0380548	0.019606	0.0337307	0.0153956	0.0140996	0.0117461	0.0014074	0.0012184	0.012914	0.012086	0.0244167	0.0142044	0.0111675

VIX 指数	未来收益率时间区间/天														
	1	3	5	7	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
VIX 指数	0.0045206	0.0327265	0.0390427	0.0265109	0.0344397	0.005431	0.01229	0.0116644	0.0023031	0.0018759	0.016822	0.0178639	0.0287688	0.0141656	0.0115229
成交量加权 VIX 指数	0.001201	0.0009907	0.0010948	0.0011482	0.0010023	0.0008434	0.0007633	0.0007642	0.0005847	4.12E-05	0.0007344	0.0009601	0.0009018	0.0009418	0.0007403
广义 VIX 指数	0.028887	0.0251036	0.0407508	0.0200879	0.0353331	0.0169165	0.0153713	0.0145137	0.0017193	0.0013996	0.0147673	0.0145105	0.0312999	0.0171965	0.0140377

VIX 指数	未来收益率时间区间/天														
	1	3	5	7	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
VIX 指数	0.0034457	0.0166285	0.0236484	0.0199198	0.0189556	0.0183719	0.0036066	0.0038731	0.0040858	0.0043649	0.0048663	0.0048085	0.0052441	0.0049005	0.0050099
成交量加权 VIX 指数	0.0001235	0.0001484	0.000159	0.0001265	0.0001429	0.0001595	0.0001811	0.0002078	0.0002196	0.0002443	0.0003045	0.0003069	0.00034	0.0003143	0.000298
广义 VIX 指数	0.0022981	0.0188907	0.026564	0.0224624	0.0206742	0.0203604	0.0210463	0.0228885	0.024296	0.0258829	0.0281925	0.0273703	0.0289302	0.0278521	0.0286371

资料来源：Wind、中信建投

可以看出，上证 50ETF 期权的三种 VIX 指数与上证 50ETF、沪深 300ETF 收益率存在负相关和协整性(p 值均小于 0.05)，且时间越长，负相关性越强。上证 50ETF 期权的三种 VIX 指数与中证 500ETF 的未来收益率存在协整性但没有明显的相关性。

四）VIX 指数与期权隐含波动率

4.1、隐含波动率计算

隐含波动率是金融领域中的一个重要概念，它在期权定价和风险管理中起着关键作用。**隐含波动率的经济意义**在于它代表了市场参与者对未来资产价格波动性的预期，而不是历史波动性。它反映了市场对资产价格未来波动性的看法，通常用于期权定价和风险管理中。**隐含波动率的高低可以表明市场对未来波动性的不同预期，这对投资者和交易者非常重要。**

隐含波动率的公式通常基于布莱克-舒尔斯(Black-Scholes-Merton, BSM)期权定价模型，该模型描述了欧式期权的价格。BSM 模型中的隐含波动率是一个可调参数，用于使模型计算的期权价格与市场上实际交易的期权价格相匹配。BSM 模型的期权定价公式如下(以看涨期权为例)：

$$C = S_0 N(d_1) - Ke^{-rT} N(d_2)$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

其中, C 表示欧式看涨期权的价格, S_0 是标的资产的当前价格, K 是期权的行权价格, r 是无风险利率, T 是期权的剩余时间, N 表示标准正态分布的累积分布函数。隐含波动率是上述公式中的一个参数, 因为在正态分布的累积分布函数中, 通常通过逆推的数值模拟方式从市场观察到的期权价格中计算得出。这就引入了数值模拟方法, 其中牛顿法是常用的一种。本文使用牛顿法对期权的隐含波动率进行数值模拟。

当使用牛顿法计算隐含波动率时, 需要迭代地更新隐含波动率的估计值, 以使计算得到的期权价格逼近市场观察到的期权价格。牛顿法的公式和步骤如下:

(1) 选择一个初始的隐含波动率估计值 σ_0 (通常可以使用历史波动率或其他合理的估计, 本文初始值设为 0.2)

(2) 使用所选的估计值 σ_0 计算期权价格 $C(\sigma_0)$ 然后与市场观察到的期权价格 C 进行比较

(3) 计算期权价格误差: $f(\sigma_0) = C(\sigma_0) - C$

(4) 计算隐含波动率估计值的导数, 通常用于计算更新步骤: $f'(\sigma_0)$

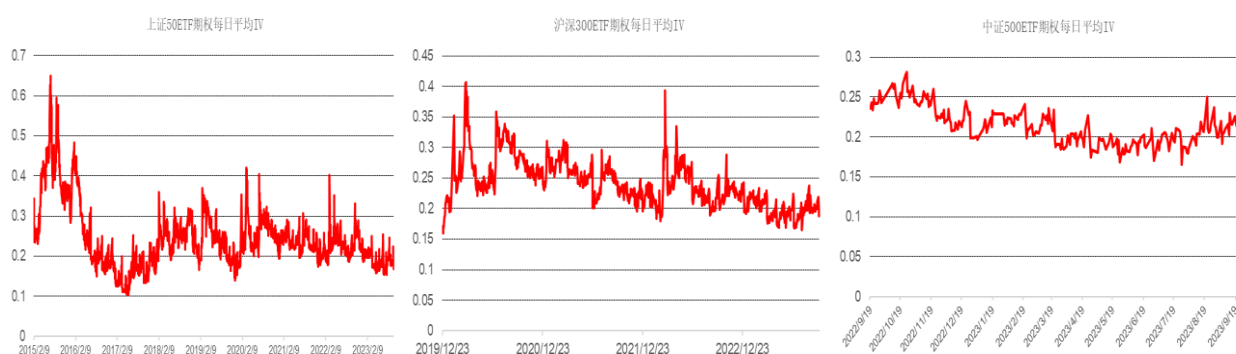
(5) 使用牛顿法迭代公式来更新隐含波动率的估计值:

$$\sigma_1 = \sigma_0 - \frac{f(\sigma_0)}{f'(\sigma_0)}$$

重复步骤 2 至步骤 5, 将新的隐含波动率估计值 σ_1 代入计算期权价格, 直到收敛到一个满足预定精度要求的隐含波动率估计值。本文迭代次数设为 100, 误差容忍阈值设置为 $1e-6$ 。

牛顿法的核心思想是通过不断更新隐含波动率的估计值, 使得期权价格误差逼近零, 从而找到符合市场观察到的期权价格的隐含波动率。需要注意的是, 牛顿法可能会收敛到不止一个根, 因此在实际应用中, 需要谨慎选择初始估计值以确保收敛到正确的根。此外, 牛顿法要求计算隐含波动率的一阶导数 (即价格对波动率的导数 Vega), 因此需要计算期权定价模型的导数。如果无法显式计算导数, 也可以使用数值逼近方法, 如中心差分法来估计。

图表 11: 上证 50ETF 期权每日平均隐含波动率走势图 (左) & 沪深 300ETF (中) & 中证 500ETF (右)



资料来源: wind、中信建投

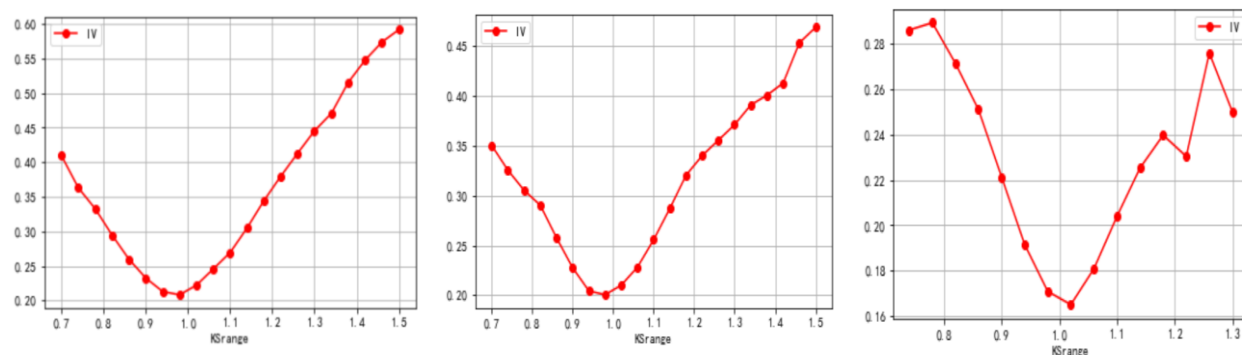
本文使用牛顿法模拟期权隐含波动率, 上证 50ETF 起始日期为 2015 年 2 月 9 日, 与 VIX 指数对应, 沪深

300ETF 和中证 500ETF 自期权上市起开始计算，三个标的的期权计算截止日期均为 2023 年 9 月 28 日。经过牛顿法数值模拟后，对每日的期权波动率进行平均，得到每日的平均 IV(隐含波动率)及平均 IV 走势。

波动率微笑指同一标的及到期月的期权隐含波动率与行权价格之间的关系。所谓波动率微笑是指虚值期权和实值期权的波动率高于平值期权的波动率，使得波动率曲线呈现出中间低两边高的向上的半月形，形似一个微笑的嘴形，故称为波动率微笑。

本文按照期权的行权价与标的资产价格的比值对期权进行分组，比值范围设置为 0.7 到 1.5，步长设为 0.04，比值小于 0.7 的期权被分在 0.7 这一组，比值在 0.7 到 0.74 这一组的期权被分到 0.74 这一组，以此类推。计算每一组期权隐含波动率均值，绘制 IV 均值和 KS 比值的走势图。

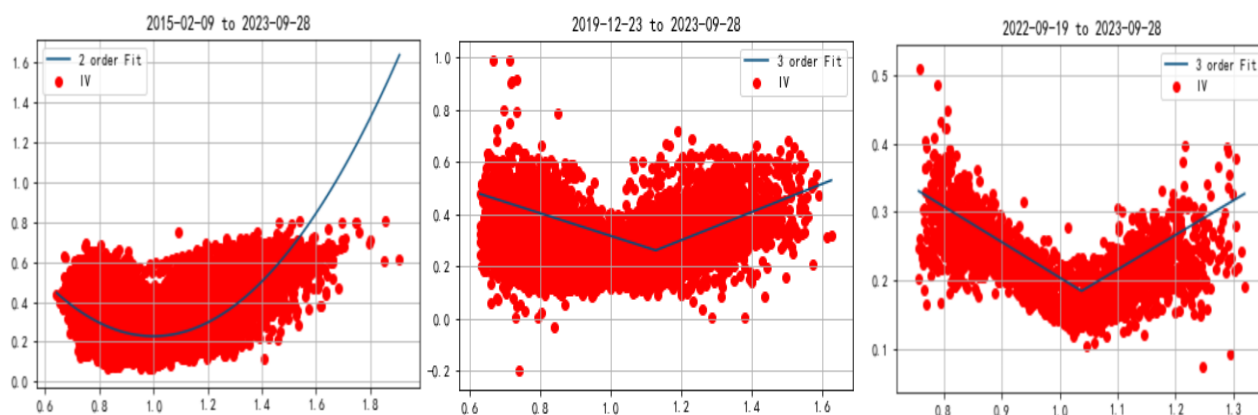
图表 12：上证 50ETF 期权 KS 比值分组波动率微笑（左）& 沪深 300ETF（中）& 中证 500ETF（右）



资料来源：wind、中信建投

可以发现，在上证 50ETF 期权，沪深 300ETF 期权，中证 500ETF 期权上都出现了“波动率微笑”性质。中证 500 期权隐含波动率在 KS 比值接近 1.3 处下降的原因是由于此处期权的数量过少，不具有统计意义。接着将三个标的的全体期权隐含波动率绘制散点图，横轴依旧为行权价格和标的资产价格的比值，并对散点进行多项式拟合。

图表 13：上证 50ETF 全体期权多项式拟合曲线（左）& 沪深 300ETF（中）& 中证 500ETF（右）

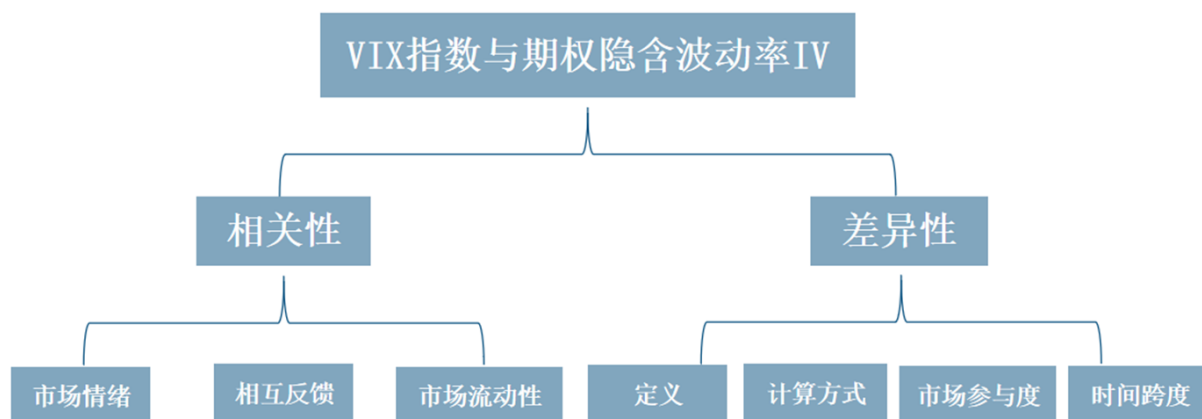


资料来源：wind、中信建投

可以发现，在上证 50ETF 期权，沪深 300ETF 期权，中证 500ETF 期权上多项式拟合曲线也都满足“波动率微笑”性质。上证 50ETF 期权的波动率微笑曲线呈现左低又高的性质，而沪深 300、中证 500ETF 期权的拟合曲线左右两边峰值接近。

4.2、VIX 指数和隐含波动率的相关性和差异性分析

图表 14：VIX 指数与隐含波动率研究思路



资料来源：Wind、中信建投

使用牛顿法模拟出上证 50ETF 期权，沪深 300ETF 期权，中证 500ETF 期权的隐含波动率后，本节将接着探讨 VIX 指数和期权隐含波动率之间的关系，研究思路如图 14 所示。

同为衡量波动率的指标，VIX 指数和期权隐含波动率之间存在差异性和相关性。差异性主要体现在以下四个方面：

定义差异：VIX 指数是根据实际市场上的期权价格计算的，它测量了市场投资者对未来 30 天内标普 500 指数的预期波动性。VIX 的计算方法基于期权市场上的买卖行为，反映了市场对未来波动性的期望。而隐含波动率是基于期权定价模型（如 Black-Scholes 模型）中的期权价格反推出的波动率水平。它是一个具体期权合约的波动率估计，表示市场对该特定标的资产未来波动性的期望。

计算方法差异：VIX 指数的计算涉及多个期权合约，包括不同的到期日和执行价格，以反映整个市场的波动性预期，而隐含波动率是通过解决期权定价模型中的方程，使用特定期权合约的市场价格来计算的，通常与特定的到期日和执行价格有关。

时间跨度差异：VIX 通常测量未来 30 天的波动性，因此它是一个中短期波动性指标，而隐含波动率可以涵盖不同的时间跨度，具体取决于选择的期权合约，它可以代表近期波动性或远期波动性。

市场参与度差异：VIX 包括了多个 ETF 期权合约，因此它更广泛地反映了整个市场的波动性预期，而隐含波动率通常与特定期权合约相关，因此它主要反映了与该期权相关的资产的波动性预期。

同为衡量资产波动率和市场情绪的指标，VIX 指数和期权隐含波动率也有相关性，具体体现在以下三个方

面：

市场情绪反映：VIX 指数是一个衡量市场情绪的指标，通常与市场恐慌程度相关。当投资者对未来的市场波动性感到担忧时，VIX 上升，反映了市场的悲观情绪。这种情绪通常与隐含波动率上升相关，因为期权价格也受到投资者情绪的影响。

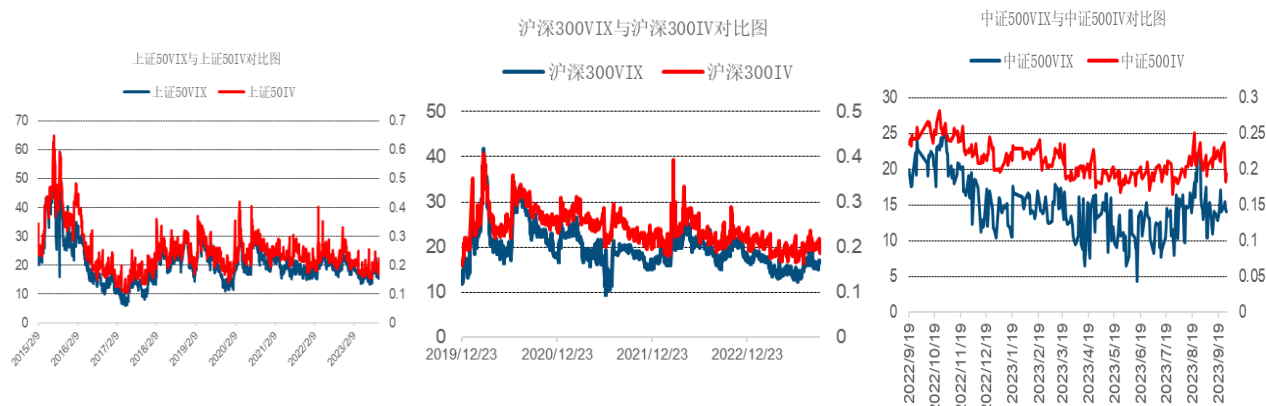
相互反馈效应：VIX 和隐含波动率之间存在一种相互反馈效应。当 VIX 上升时，投资者可能会购买更多的保护性期权，这会导致期权价格上升，从而提高了隐含波动率。反之亦然，随着隐含波动率上升，VIX 也可能升高，因为市场情绪变得更加悲观。

期权市场活动：VIX 指数的计算基于 ETF 期权市场的活动。如果期权市场参与者在特定时期内更积极地交易期权，可能会导致 VIX 和隐含波动率之间的相关性增加。

综合而言，VIX 指数和期权隐含波动率都提供了有关市场波动性和情绪的信息，但它们有不同的定义和应用。投资者通常同时考虑这两个指标，以更全面地了解市场状况。VIX 通常用于测量市场整体情绪，而隐含波动率通常用于评估特定期权的波动性预期。本节最后绘制三个 ETF 标的的 VIX 指数和 IV 走势对比图并计算相关性系数。

从图中可以发现，上证 50、沪深 300 的 VIX 和 IV 走势较为接近，中证 500 的 VIX 与 IV 走势有一些偏离，这可以归因于中证 500ETF 期权仅发行一年，还没有形成成熟的交易市场。经计算，上证 50VIX 指数与 IV 的相关性系数为 0.933，沪深 300VIX 指数与 IV 的相关性系数为 0.873，中证 500VIX 指数与 IV 的相关性系数为 0.78。

图表 15：VIX 指数与 IV 对比 - 上证 50(左)沪深 300(中)中证 500(右)



资料来源：wind、中信建投

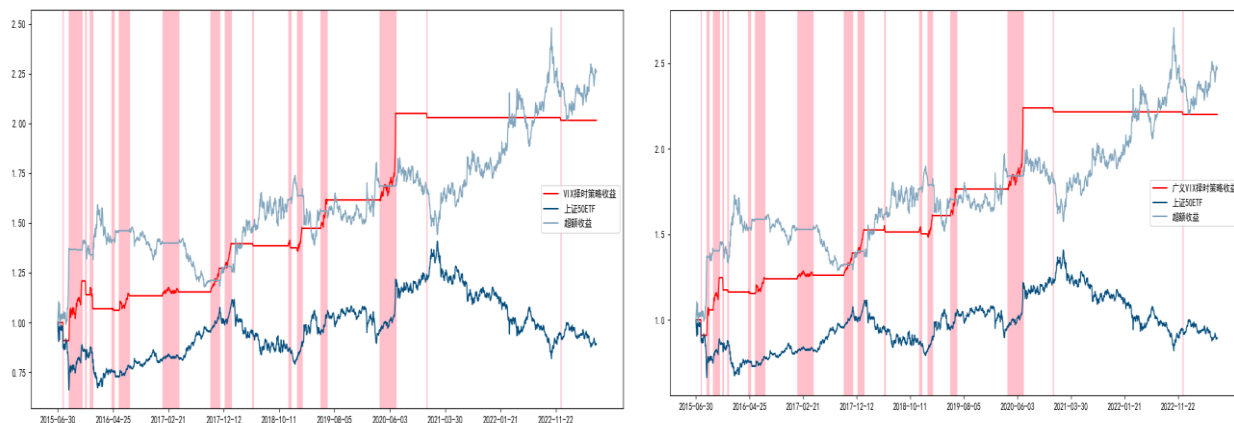
五）基于 VIX 指数的 ETF 择时策略

根据上面的分析，可以发现当 VIX 快速下降时，市场乐观情绪得以建立，ETF 有较大概率迎来一波上涨走势，当 VIX 快速拉升时，ETF 的价格容易出现剧烈波动，市场情绪非常恐慌，此时是良好的出场时机。据此，本文设计了基于 VIX 指数的 ETF 择时策略。

5.1、上证 50ETF 策略回测

我们在上证 50ETF 上对上证 50VIX 择时与上证 50 广义 VIX 择时策略进行回测，净值曲线如下：

图表 16：净值曲线-上证 50VIX 择时上证 50ETF（左）& 上证 50 广义 VIX 择时上证 50ETF（右）



资料来源：Wind、中信建投

可以看出 VIX 指数和广义 VIX 指数均能抓住投资者情绪较为乐观的上涨阶段，在 2021 年到 2023 年的单边下跌阶段保持空仓。本文接着对策略业绩指标进行计算。

图表 17：上证 50ETF 业绩统计指标

策略名	年化收益率	年化波动率	最大回撤	夏普比率	Calmar比率	胜率	盈亏比
上证50VIX指数择时	9.49%	9.10%	12.37%	1.04	0.77	0.588235294	4.410316768
上证50广义VIX指数择时	10.76%	8.49%	9.22%	1.27	1.17	0.611111111	5.606103238

资料来源：wind、中信建投

VIX 指数和广义 VIX 指数指导择时均能带来一定正收益，分别为年化 9.49%和 10.76%，同时都保持了大于 1 的夏普比率，策略风险性较小。

图表 18：thres1 敏感性分析-上证 50VIX 择时上证 50ETF（左）& 上证 50 广义 VIX 择时上证 50ETF（右）

上证50ETF VIX择时								上证50ETF 广义VIX择时							
thres1取值	年化收益率	年化波动率	最大回撤	夏普比率	Calmar比率	胜率	盈亏比	thres1取值	年化收益率	年化波动率	最大回撤	夏普比率	Calmar比率	胜率	盈亏比
0.08	8.59%	8.97%	11.72%	0.96	0.73	0.6153846	4.0697133	0.08	9.85%	8.31%	9.22%	1.19	1.07	0.7142857	5.9156303
0.085	8.59%	8.97%	11.72%	0.96	0.73	0.6153846	4.0697133	0.085	9.69%	8.31%	9.22%	1.17	1.05	0.6666667	5.8015183
0.09	8.43%	8.97%	11.72%	0.94	0.72	0.5714286	4.0054614	0.09	11.02%	8.43%	9.22%	1.31	1.19	0.6875	6.6882198
0.095	9.60%	9.09%	11.72%	1.06	0.82	0.625	4.6943388	0.095	10.76%	8.45%	9.22%	1.27	1.17	0.6666667	6.1962901
0.1	9.49%	9.10%	12.37%	1.04	0.77	0.5882353	4.4103168	0.1	10.76%	8.49%	9.22%	1.27	1.17	0.6111111	5.6061032
0.105	9.44%	9.14%	12.37%	1.03	0.76	0.5294118	4.1003122	0.105	9.62%	8.38%	9.22%	1.15	1.04	0.5882353	5.0011694
0.11	8.36%	9.04%	12.37%	0.93	0.68	0.5	3.6306039	0.11	8.69%	8.80%	12.37%	0.99	0.7	0.5	3.5329311
0.115	7.97%	9.06%	13.76%	0.88	0.58	0.5	3.4821961	0.115	9.01%	8.90%	13.76%	1.01	0.65	0.55	3.9872631

资料来源：Wind、中信建投

对 thres1,thres2 这 2 个参数进行敏感性测试和分析。thres1 阈值设定为 0.08 到 0.115，步长为 0.05，thres2 阈值设定为 0.735 到 0.77，步长为 0.005。

图表 19：thres2 敏感性分析-上证 50VIX 择时上证 50ETF（左） & 上证 50 广义 VIX 择时上证 50ETF（右）

上证 50ETF VIX 择时								上证 50ETF 广义 VIX 择时							
thres2取值	年化收益率	年化波动率	最大回撤	夏普比率	Calmar比率	胜率	盈亏比	thres2取值	年化收益率	年化波动率	最大回撤	夏普比率	Calmar比率	胜率	盈亏比
0.735	6.41%	8.26%	12.37%	0.78	0.52	0.5882353	2.9590226	0.735	7.57%	7.59%	9.22%	1	0.82	0.6111111	3.7763176
0.74	9.57%	9.10%	12.37%	1.05	0.77	0.5882353	4.4422366	0.74	7.57%	7.59%	9.22%	1	0.82	0.6111111	3.7763176
0.745	9.57%	9.10%	12.37%	1.05	0.77	0.5882353	4.4422366	0.745	10.76%	8.49%	9.22%	1.27	1.17	0.6111111	5.6061032
0.75	9.49%	9.10%	12.37%	1.04	0.77	0.5882353	4.4103168	0.75	10.76%	8.49%	9.22%	1.27	1.17	0.6111111	5.6061032
0.755	9.49%	9.10%	12.37%	1.04	0.77	0.5882353	4.4103168	0.755	10.68%	8.49%	9.22%	1.26	1.16	0.6111111	5.5703893
0.76	9.39%	9.10%	12.74%	1.03	0.74	0.5882353	4.3983533	0.76	10.18%	8.75%	9.22%	1.16	1.1	0.5882353	5.4196851
0.765	10.08%	9.22%	12.74%	1.09	0.79	0.5882353	4.7173637	0.765	10.14%	8.75%	9.22%	1.16	1.1	0.5882353	5.4007631
0.77	8.62%	9.59%	14.30%	0.9	0.6	0.5294118	3.9441039	0.77	10.82%	8.87%	9.22%	1.22	1.17	0.5882353	5.8639647

资料来源：Wind、中信建投

整体来看，针对参数 thres1，在 0.05 步长的搜索下，在 0.1 附近策略表现没有出现明显波动；针对参数 thres2，在 0.005 步长的搜索下，在 0.75 附近策略表现也没有出现明显波动，可以认为参数设置没有过拟合问题。接下来对策略进行滑点分析，分析范围为双边 0tick 到双边 5tick。

图表 20：滑点分析，上证 50VIX 指数择时上证 50ETF（左） & 上证 50 广义 VIX 指数择时上证 50ETF（右）

VIX 择时滑点	年化收益率	年化波动率	最大回撤	夏普比率	Calmar比率	胜率	盈亏比	广义 VIX 择时滑点	年化收益率	年化波动率	最大回撤	夏普比率	Calmar比率	胜率	盈亏比
0	9.87%	9.10%	11.75%	1.09	0.84	0.58823529	4.7676742	0	11.17%	8.49%	8.99%	1.32	1.24	0.6111111	6.1375474
0.001	9.68%	9.10%	12.06%	1.06	0.8	0.58823529	4.5836434	0.001	10.96%	8.49%	9.11%	1.29	1.2	0.6111111	5.8621588
0.002	9.49%	9.10%	12.37%	1.04	0.77	0.58823529	4.4103168	0.002	10.76%	8.49%	9.22%	1.27	1.17	0.6111111	5.6061032
0.003	9.30%	9.10%	12.67%	1.02	0.73	0.58823529	4.2467971	0.003	10.55%	8.49%	9.34%	1.24	1.13	0.6111111	5.3674164
0.004	9.11%	9.11%	12.98%	1	0.7	0.58823529	4.0922846	0.004	10.35%	8.50%	9.45%	1.22	1.09	0.6111111	5.1443909
0.005	8.93%	9.11%	13.28%	0.98	0.67	0.58823529	3.9460643	0.005	10.15%	8.50%	9.57%	1.19	1.06	0.6111111	4.9355361

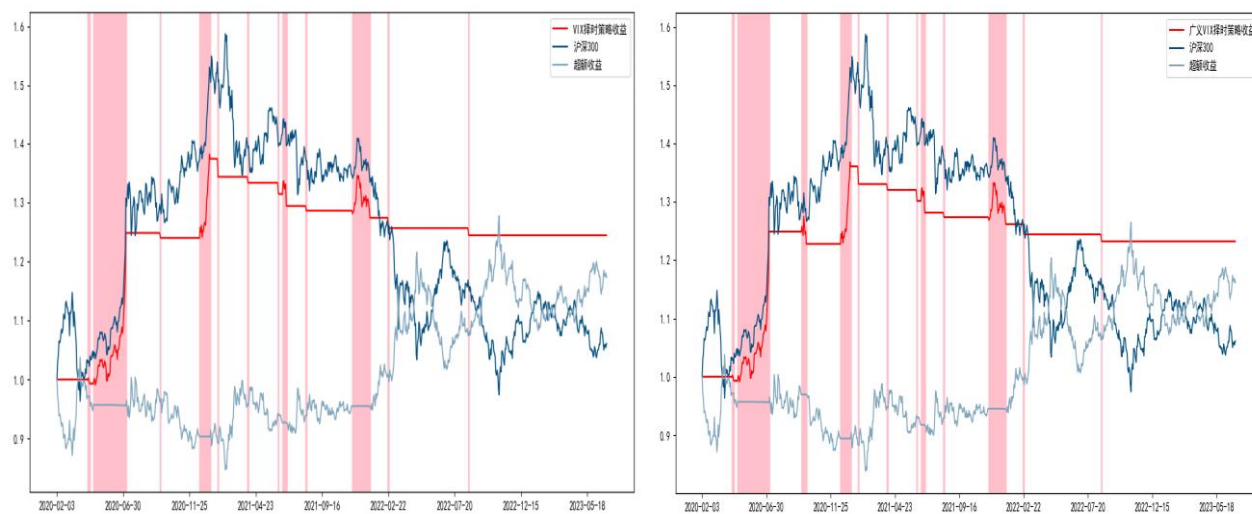
资料来源：wind、中信建投

根据滑点分析结果，0-5tick 的滑点对两个策略的收益有小幅影响，综合实际交易情况，本文设置交易磨损为双边 2tick 滑点。综合各方面测试结果，最优策略设置 thres1=0.1，thres2=0.75，回测在 2tick 滑点下进行。

5.2、沪深 300ETF 策略回测

本文接着在沪深 300ETF 上对沪深 300VIX 择时与沪深 300 广义 VIX 择时策略进行回测，净值曲线如下：

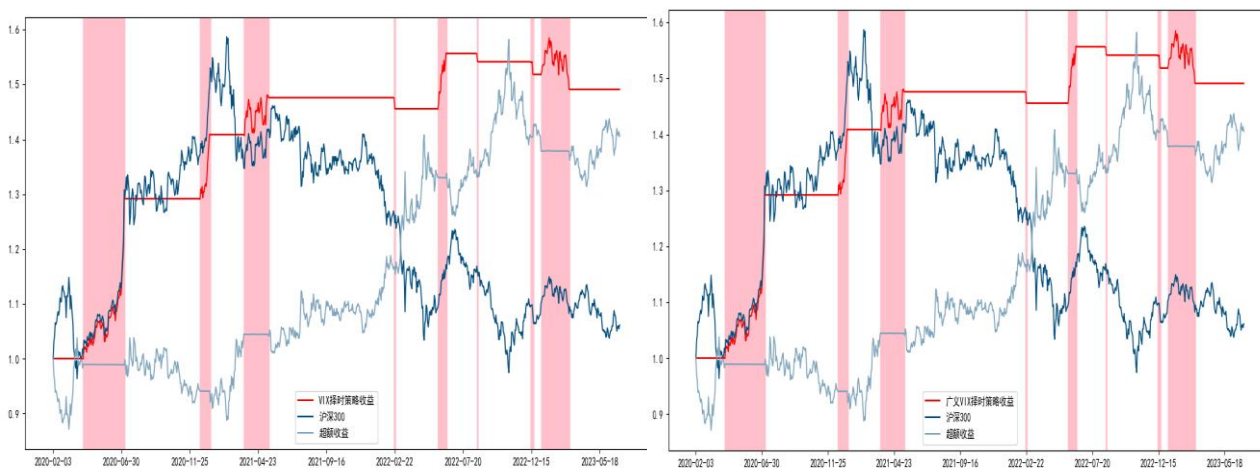
图表 21：净值曲线-沪深 300VIX 择时沪深 300ETF（左）& 沪深 300 广义 VIX 择时沪深 300ETF（右）



资料来源：Wind、中信建投

可以看出沪深 300VIX 指数和沪深 300 广义 VIX 指数均能抓住一些投资者情绪较为乐观的上涨阶段,但是会发出一些错误信号,同时只能抓住少量上升波段,影响策略收益。本节接着对比了上证 50VIX 指数与上证 50 广义 VIX 指数在沪深 300ETF 上进行择时的表现。

图表 22：净值曲线-上证 50VIX 择时沪深 300ETF（左）& 上证 50 广义 VIX 择时沪深 300ETF（右）



资料来源：Wind、中信建投

从图表可以发现,基于上证 50ETF 期权的两个 VIX 指数对于捕捉上涨波段更为准确,同时错误开仓信号较少,这可以归因于上证 50 成分股为流动性最好的 50 只股票,上证 50ETF 期权的 VIX 指数更能有效代表市场的恐惧情况,而沪深 300 成分股均为大市值股票,其收益率波动性相较于上证 50 较小,在风险提示和乐观情绪捕捉上不如上证 50VIX 指数有效。本节接着对策略业绩指标进行计算和对比。

图表 23：沪深 300ETF 择时业绩统计指标

	年化收益率	年化波动率	最大回撤	夏普比率	Calmar比率	胜率	盈亏比
上证50VIX指数择时	12.90%	8.09%	5.93%	1.59	2.18	0.5	10.44307252
上证50广义VIX指数择时	12.90%	8.09%	5.93%	1.59	2.18	0.5	10.44307252
沪深300VIX指数择时	6.88%	7.04%	9.93%	0.98	0.69	0.166666667	2.999805899
沪深300广义VIX指数择时	6.55%	7.32%	9.93%	0.89	0.66	0.166666667	2.68059897

资料来源：wind、中信建投

从图表中可以发现，上证 50 的两个 VIX 指数则是效果优于沪深 300VIX 指数，年化收益率、夏普比率、Calmar 比率均有所提升。年化波动率低于沪深 300VIX 指数择时是因为上证 50VIX 指数择时的开仓机会较多，多次开仓会带来收益波动率的上升。因此本节选择使用上证 50 的两个 VIX 指数对沪深 300ETF 进行择时。接着，本节对 thres1, thres2 这 2 个参数进行敏感性测试和分析。thres1 阈值设定为 0.08 到 0.115，步长为 0.05，thres2 阈值设定为 0.735 到 0.77，步长为 0.005，回测结果如下：

图表 24：thres1 敏感性分析-上证 50VIX 择时沪深 300ETF（左） & 上证 50 广义 VIX 择时沪深 300ETF（右）

沪深300ETF VIX择时								沪深300ETF 广义VIX择时							
thres1取值	年化收益率	年化波动率	最大回撤	夏普比率	Calmar比率	胜率	盈亏比	thres1取值	年化收益率	年化波动率	最大回撤	夏普比率	Calmar比率	胜率	盈亏比
0.18	3.14%	4.24%	4.10%	0.74	0.77	0.4	5.6261105	0.18	3.14%	4.24%	4.10%	0.74	0.77	0.4	5.6261105
0.185	2.70%	4.30%	4.10%	0.63	0.66	0.3333333	3.4787396	0.185	3.14%	4.24%	4.10%	0.74	0.77	0.4	5.6261105
0.19	2.70%	4.30%	4.10%	0.63	0.66	0.3333333	3.4787396	0.19	2.14%	5.27%	5.93%	0.41	0.36	0.2857143	3.0757734
0.195	4.24%	5.66%	5.93%	0.75	0.71	0.375	4.6574742	0.195	4.24%	5.66%	5.93%	0.75	0.71	0.375	4.6574742
0.2	12.90%	8.09%	5.93%	1.59	2.18	0.5	10.443073	0.2	12.90%	8.09%	5.93%	1.59	2.18	0.5	10.443073
0.205	12.90%	8.09%	5.93%	1.59	2.18	0.5	10.443073	0.205	12.90%	8.09%	5.93%	1.59	2.18	0.5	10.443073
0.21	12.90%	8.09%	5.93%	1.59	2.18	0.5	10.443073	0.21	12.47%	8.12%	5.93%	1.54	2.1	0.5555556	10.646205
0.215	10.34%	7.44%	5.93%	1.39	1.75	0.4444444	5.6677072	0.215	10.34%	7.44%	5.93%	1.39	1.75	0.4444444	5.6677072

资料来源：Wind、中信建投

图表 25：thres2 敏感性分析-上证 50VIX 择时沪深 300ETF（左） & 上证 50 广义 VIX 择时沪深 300ETF（右）

沪深300ETF VIX择时								沪深300ETF 广义VIX择时							
thres2取值	年化收益率	年化波动率	最大回撤	夏普比率	Calmar比率	胜率	盈亏比	thres2取值	年化收益率	年化波动率	最大回撤	夏普比率	Calmar比率	胜率	盈亏比
0.735	5.42%	6.25%	5.93%	0.87	0.91	0.5	5.5625014	0.735	5.42%	6.25%	5.93%	0.87	0.91	0.5	5.5625014
0.74	12.90%	8.09%	5.93%	1.59	2.18	0.5	10.443073	0.74	5.42%	6.25%	5.93%	0.87	0.91	0.5	5.5625014
0.745	12.90%	8.09%	5.93%	1.59	2.18	0.5	10.443073	0.745	12.90%	8.09%	5.93%	1.59	2.18	0.5	10.443073
0.75	12.90%	8.09%	5.93%	1.59	2.18	0.5	10.443073	0.75	12.90%	8.09%	5.93%	1.59	2.18	0.5	10.443073
0.755	10.57%	9.12%	15.25%	1.16	0.69	0.4285714	5.892144	0.755	10.57%	9.12%	15.25%	1.16	0.69	0.4285714	5.892144
0.76	10.57%	9.12%	15.25%	1.16	0.69	0.4285714	5.892144	0.76	10.57%	9.12%	15.25%	1.16	0.69	0.4285714	5.892144
0.765	10.57%	9.12%	15.25%	1.16	0.69	0.4285714	5.892144	0.765	10.57%	9.12%	15.25%	1.16	0.69	0.4285714	5.892144
0.77	10.57%	9.12%	15.25%	1.16	0.69	0.4285714	5.892144	0.77	10.57%	9.12%	15.25%	1.16	0.69	0.4285714	5.892144

资料来源：Wind、中信建投

整体来看，针对参数 thres1，在 0.05 步长的搜索下，在 0.2 以上策略表现没有出现明显波动，但 0.2 以下策略表现出现明显差异；针对参数 thres2，在 0.005 步长的搜索下，策略在 0.75 以上和 0.745 以下均出现了表现的下滑。参数敏感性分析的结果说明策略的收益与阈值紧密相关，从净值曲线和仓位图也可以看出该策略的盈利逻辑为抓牛市中的大幅上涨波段，因此存在一定路径依赖问题，对阈值非常敏感是正常现象。接下来对策略进行滑点分析，分析范围为双边 0tick 到双边 5tick。

图表 26：滑点分析，上证 50VIX 指数择时沪深 300ETF（左）&上证 50 广义 VIX 指数择时沪深 300ETF（右）

VIX择时滑点	年化收益率	年化波动率	最大回撤	夏普比率	Calmar比率	胜率	盈亏比	广义VIX择时滑点	年化收益率	年化波动率	最大回撤	夏普比率	Calmar比率	胜率	盈亏比
0	13.15%	8.09%	5.88%	1.63	2.24	0.5	11.749531	0	13.15%	8.09%	5.88%	1.63	2.24	0.5	11.749531
0.001	13.02%	8.09%	5.90%	1.61	2.21	0.5	11.059357	0.001	13.02%	8.09%	5.90%	1.61	2.21	0.5	11.059357
0.002	12.90%	8.09%	5.93%	1.59	2.18	0.5	10.443073	0.002	12.90%	8.09%	5.93%	1.59	2.18	0.5	10.443073
0.003	12.77%	8.09%	5.95%	1.58	2.15	0.5	9.8894005	0.003	12.77%	8.09%	5.95%	1.58	2.15	0.5	9.8894005
0.004	12.65%	8.09%	5.97%	1.56	2.12	0.5	9.3892481	0.004	12.65%	8.09%	5.97%	1.56	2.12	0.5	9.3892481
0.005	12.52%	8.10%	6.00%	1.55	2.09	0.5	8.935201	0.005	12.52%	8.10%	6.00%	1.55	2.09	0.5	8.935201

资料来源：wind、中信建投

根据滑点分析结果，0-5tick 的滑点对两个策略的收益有小幅影响，综合实际交易情况，本文设置交易磨损为双边 2tick 滑点。综合各方面测试结果，最优策略设置 $\text{thres1}=0.2$ ， $\text{thres2}=0.75$ ，回测在 2tick 滑点下进行。

六）总结

本文基于 CBOE 的 VIX 指数编制方法以及《上证 50 ETF 波动率指数编制方案》，提出了中国 VIX 指数的推导公式和编制方法，进一步将其应用到沪深 300ETF 和中证 500ETF 期权，构建了上证 50ETF 波动率指数 CVIX、沪深 300ETF 波动率指数 HVIX 和中证 500ETF 波动率指数 ZVIX。其中，CVIX 与中国波指 iVIX 的 Pearson 相关性系数达到 0.9918。此外，为解决中国期权市场的不成熟性，本文提出了成交量加权 VIX 指数，该指数将不同期权对 ETF 波动率的贡献基于成交量进行加权。同时，本文明确指出 VIX 并不是无模型的波动率估计，当市场回报预期出现负（正）偏斜时，VIX 指数会低估（高估）波动率。为应对这一问题，本文提出了一种真正意义上无模型的广义 VIX 指数，这可视为对 VIX 指数的修正。

本文还分析了中国 VIX 指数的几个关键性质，包括 VIX 指数是广义 VIX 指数的一种特例，二者之间存在协整关系，同时 VIX 指数与 ETF 收益率之间具有负相关性。本文介绍了使用牛顿法计算期权隐含波动率的方法，并探讨了 VIX 指数与期权隐含波动率之间的相关性和概念上的差异性。

最后，基于编制的 VIX 指数，本文构建了以上证 50ETF 为标的的择时策略，并在回测区间（2015 年 6 月 30 日至 2023 年 6 月 30 日）内获得了显著的年化收益，达到 10.76%，夏普比率为 1.27，同时构建了以沪深 300ETF 为标的的择时策略，并在回测区间（2020 年 2 月 1 日至 2023 年 6 月 30 日）内获得了显著的年化收益，达到 12.90%，夏普比率为 1.59。如何使用 VIX 构建表现更好的策略，仍然值得后续探讨和改进。

这一系列研究结果为中国 VIX 指数的编制方法和应用提供了有力的支持，有望为金融市场参与者提供更全面的波动率信息和更有效的风险管理工具。同时，本文强调了中国 VIX 指数在市场预测和风险管理领域的重要性，为未来研究和实践提供了有益的方向。

七）模型风险分析

模型统计均基于历史数据、历史规律可能失效。模型仅从期权价格的隐含波动率角度构建择时策略，未考虑宏观环境的变化、政策的变化和突发事件的影响。此外，量化模型是根据历史数据总结出来的规律，在未来有失效的可能，历史有效并不代表未来有效。在宏观环境复杂的背景下，既往历史规律有失效的可能，特别是

当遇到一些意想不到的黑天鹅事件，和量化模型无法处理的情况，此时应更多的依赖主观上的定性分析，并且需要考虑不同可能情况下企业盈利和宏观变量的变化。

分析师介绍

王程畅：CFA，北京大学计算机硕士，中南大学统计学学士；6 年量化策略研究经验（2 年私募基金，4 年券商研究所），2019 年加入中信建投研究发展部，专注 A 股择时和行业配置方向的量化策略研究，覆盖经济周期定位、行业基本面量化、文本分析、期权衍生品等领域，2019 年、2020 年 Wind 金牌分析师金融工程第 2 名、第 5 名团队核心成员。

徐建华：总监，多因子与 ESG 策略组首席分析师，先后就职于 MSCI Barra 公司和标普公司等专业研究机构，具有十多年金融市场研究、统计建模等专业经验。为多家银行、基金和保险等资管客户提供因子模型、投资组合优化管理、基金评价、指数研究以及风险管理等咨询。

评级说明

投资评级标准		评级	说明
报告中投资建议涉及的评级标准为报告发布日后6个月内的相对市场表现，也即报告发布日后的6个月内公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。A股市场以沪深300指数作为基准；新三板市场以三板成指为基准；香港市场以恒生指数作为基准；美国市场以标普500指数为基准。	股票评级	买入	相对涨幅 15%以上
		增持	相对涨幅 5%—15%
		中性	相对涨幅-5%—5%之间
		减持	相对跌幅 5%—15%
		卖出	相对跌幅 15%以上
	行业评级	强于大市	相对涨幅 10%以上
		中性	相对涨幅-10-10%之间
		弱于大市	相对跌幅 10%以上

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：（i）以勤勉的职业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观地出具本报告，结论不受任何第三方的授意或影响。（ii）本人不曾因，不因，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。

法律主体说明

本报告由中信建投证券股份有限公司及/或其附属机构（以下合称“中信建投”）制作，由中信建投证券股份有限公司在中华人民共和国（仅为本报告目的，不包括香港、澳门、台湾）提供。中信建投证券股份有限公司具有中国证监会许可的投资咨询业务资格，本报告署名分析师所持中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格证书编号已披露在报告首页。

在遵守适用的法律法规情况下，本报告亦可能由中信建投（国际）证券有限公司在香港提供。本报告作者所持香港证监会牌照的中央编号已披露在报告首页。

一般性声明

本报告由中信建投制作。发送本报告不构成任何合同或承诺的基础，不因接收者收到本报告而视其为中信建投客户。

本报告的信息均来源于中信建投认为可靠的公开资料，但中信建投对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告所载观点、评估和预测仅反映本报告出具日该分析师的判断，该等观点、评估和预测可能在不发出通知的情况下有所变更，亦有可能因使用不同假设和标准或者采用不同分析方法而与中信建投其他部门、人员口头或书面表达的意见不同或相反。本报告所引证券或其他金融工具的过往业绩不代表其未来表现。报告中所含任何具有预测性质的内容皆基于相应的假设条件，而任何假设条件都可能随时发生变化并影响实际投资收益。中信建投不承诺、不保证本报告所含具有预测性质的内容必然得以实现。

本报告内容的全部或部分均不构成投资建议。本报告所包含的观点、建议并未考虑报告接收人在财务状况、投资目的、风险偏好等方面的具体情况，报告接收者应当独立评估本报告所含信息，基于自身投资目标、需求、市场机会、风险及其他因素自主做出决策并自行承担投资风险。中信建投建议所有投资者应就任何潜在投资向其税务、会计或法律顾问咨询。不论报告接收者是否根据本报告做出投资决策，中信建投都不对该等投资决策提供任何形式的担保，亦不以任何形式分享投资收益或者分担投资损失。中信建投不对使用本报告所产生的任何直接或间接损失承担责任。

在法律法规及监管规定允许的范围内，中信建投可能持有并交易本报告中所提公司的股份或其他财产权益，也可能在过去12个月、目前或者将来为本报中所提公司提供或者争取为其提供投资银行、做市交易、财务顾问或其他金融服务。本报告内容真实、准确、完整地反映了署名分析师的观点，分析师的薪酬无论过去、现在或未来都不会直接或间接与其所撰写报告中的具体观点相联系，分析师亦不会因撰写本报告而获取不当利益。

本报告为中信建投所有。未经中信建投事先书面许可，任何机构和/或个人不得以任何形式转发、翻版、复制、发布或引用本报告全部或部分内容，亦不得从未经中信建投书面授权的任何机构、个人或其运营的媒体平台接收、翻版、复制或引用本报告全部或部分内容。版权所有，违者必究。

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
电话：（8610）8513-0588
联系人：李祉瑶
邮箱：lizhiyao@csc.com.cn

上海
上海浦东新区浦东南路528号南塔2103室
电话：（8621）6882-1600
联系人：翁起帆
邮箱：wengqifan@csc.com.cn

深圳
福田区福中三路与鹏程一路交汇处广电金融中心35楼
电话：（86755）8252-1369
联系人：曹莹
邮箱：caoying@csc.com.cn

中信建投（国际）

香港
中环交易广场2期18楼
电话：（852）3465-5600
联系人：刘泓麟
邮箱：charleneliu@csci.hk