

局部波动率模型场外期权定价与对冲

——衍生品系列研究之（八）



研究结论

- 本文基于我们上一篇局部波动率模型期权定价报告，继续探讨其在外场期权上的定价与对冲效果。波动率曲面构建方面，我们采用 SVI 参数法，基于场内期权隐含波动率的离散数据构建完整的隐含波动率曲面，探讨其在上证 50ETF 单边障碍期权、白糖与豆粕普通期权上的动态对冲效率。Delta 对冲操作是基于日内 1min 价格变动，通过预先设定调仓的阈值进行组合头寸调整，跟踪对冲损益，并对临近到期的反式击出期权边界附近的进行特殊调仓处理，防止其 Delta 快速变化产生高额交易成本。此外，我们对障碍期权静态对冲进行了探讨，以击出期权为例构建静态对冲组合。
- 对于标的为上证 50ETF 的单边障碍期权，基于两年样本区间的动态对冲总损益百分比统计分析显示，SVI 波动率模型较 BS 常数波动率模型在均值、各分位数上更优，且 Wilcoxon 检验大多在 0.05 的置信水平上显著，对冲交易的换手率均处于合理的范围，说明我们边界处理方法是有效的。对于击出期权的静态对冲组合，在不进行调仓的情况下，其盯市价格与击出期权理论价格间存在一定误差并日间的产生较大跳变，仍需将剩余风险进行动态管理。
- 商品期权方面，白糖与豆粕美式期权基于 5 个月的样本区间的对冲统计结果显示，SVI 波动率模型较 BS 常数波动率模型在均值、各分位数上更优，且 Wilcoxon 检验在 0.01 的置信水平上显著。

风险提示

- 量化模型失效风险
- 市场极端环境的冲击

报告发布日期

2017 年 12 月 12 日

证券分析师 朱剑涛

021-63325888*6077

zhujiantao@orientsec.com.cn

执业证书编号：S0860515060001

相关报告

分析师研报的数据特征与 alpha	2017-12-03
风险模型在时间序列上的改进	2017-12-01
量化因子选股回顾与展望	2017-11-27
细分行业建模之券商内因子研究	2017-10-26
局部波动率模型期权定价实证研究	2017-09-08
质优股量化投资	2017-08-31
用机器学习解释市值：特异市值因子	2017-08-04
商品期货中的 alpha 策略	2017-07-11

东方证券股份有限公司经相关主管机关核准具备证券投资咨询业务资格，据此开展发布证券研究报告业务。

东方证券股份有限公司及其关联机构在法律许可的范围内正在或将要与本研究报告所分析的企业发展业务关系。因此，投资者应当考虑到本公司可能存在对报告的客观性产生影响的利益冲突，不应视本证券研究报告为作出投资决策的唯一因素。

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

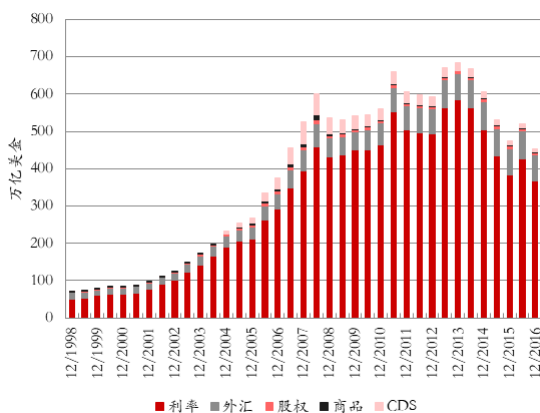
目录

一、背景	3
二、局部波动率模型	7
三、数值定价方法	10
四、基于上证 50ETF 的单边障碍期权对冲	12
4.1 障碍期权收益与风险结构	12
4.1.1 反式击出期权（单鲨型障碍期权）	12
4.1.2 其他单边障碍期权类型	15
4.2 Delta 动态对冲方法	16
4.2.1 障碍价格附近的调仓处理	16
4.2.2 Delta 动态对冲的步骤	16
4.4 静态对冲组合构建	20
五、基于商品期货的场外期权对冲	25
5.1 Delta 动态对冲方法	25
5.2 Delta 动态对冲结果	25
六、研究结论总结	26
6.1 上证 50ETF 标的的单边障碍期权动态对冲结果	26
6.2 上证 50ETF 标的的单边障碍期权静态对冲结果	27
6.3 白糖、豆粕期货标的的普通美式期权动态对冲结果	27
风险提示	27
参考文献	28

一、背景

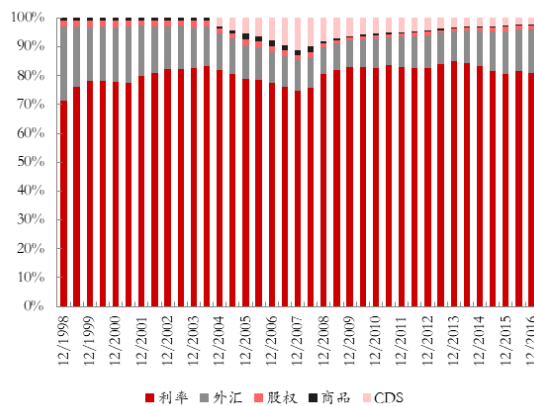
根据国际清算银行（BIS）的统计，截至 2016 年底，全球场外衍生品名义本金约为 482.9 万亿美元，其中主要为利率和外汇产品，分别占比 76.28% 和 14.21%，股权与商品类分别占比 1.27% 和 0.28%。2008 年金融危机之后，全球衍生品总量由一定的下滑，其中利率类衍生品总量先增后降，外汇类、权益类变动不大，商品场外衍生品总额有一定程度的下滑，以 CDS 下降最为显著。总市值方面，2016 年底全球场外衍生品总市值达到约 15.0 万亿美元，其中权益类总市值为 0.47 万亿美元，约占 3.15%，商品类总市值占比约 1.09%。

图 1：全球场外衍生品分类名义本金



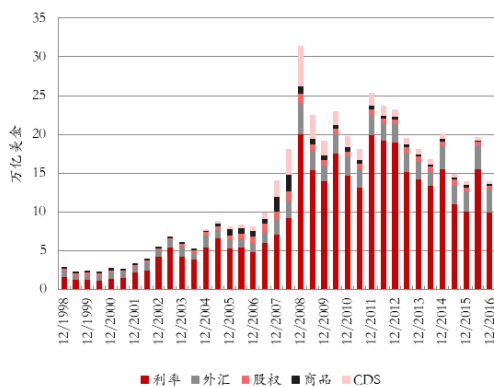
资料来源：东方证券研究所 & BIS

图 2：全球场外衍生品分类名义本金占比



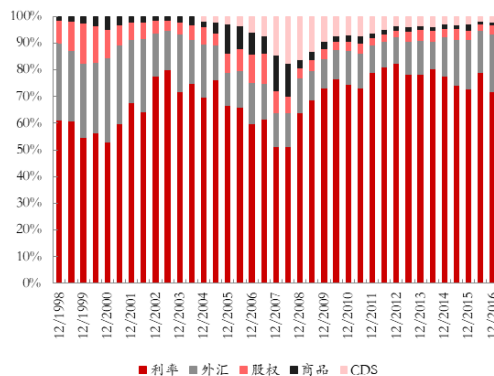
资料来源：东方证券研究所 & BIS

图 3：全球场外衍生品分类总市值



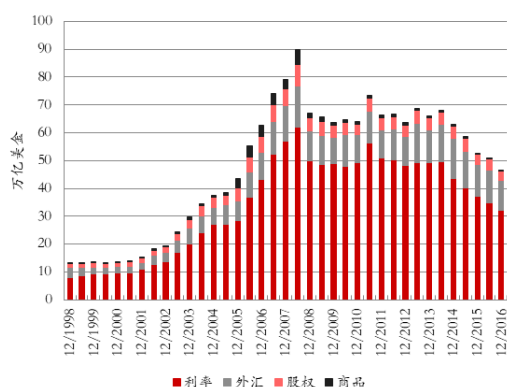
数据来源：东方证券研究所 & BIS

图 4：全球场外衍生品分类总市值占比

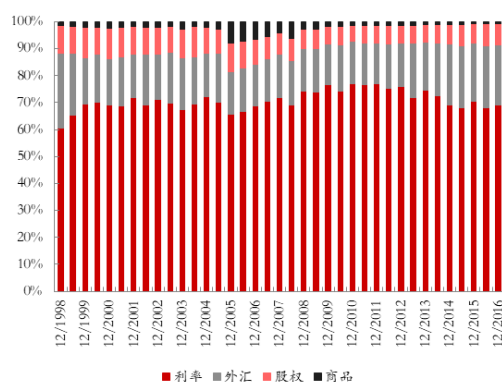


数据来源：东方证券研究所 & BIS

场外期权方面，截至 2016 年底，全球场外期权名义本金总额约为 46.7 万亿美金，约占全球场外衍生品名义本金总量的 9.7%，其中利率类期权占比最高，约为 68.98%，外汇期权占比 22.44%，股权类占比 7.73%，商品场外期权约占 0.84%。

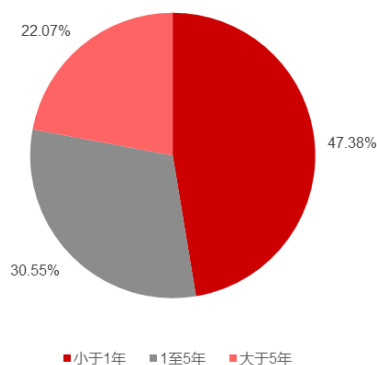
图 5：全球场外期权名义本金


数据来源：东方证券研究所 & BIS

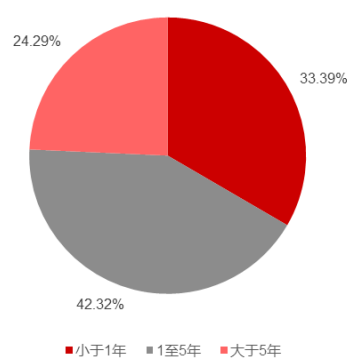
图 6：全球场外期权分类名义本金占比


数据来源：东方证券研究所 & BIS

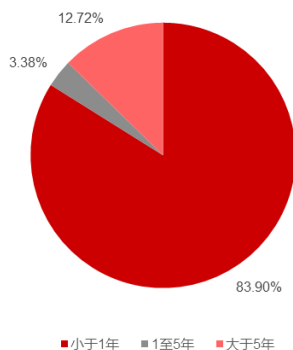
全球场外期权的期限主要以短期为主，场外期权总量上期限小于 1 的占比约为 47.38%，在利率、外汇和权益类场外期权中，利率类场外期权期限较长，以 1 至 5 年为主，外汇类期权期限最短，约 83.9% 的合约期限在 1 年以内，权益类场外期权适中，66.21% 的期限小于 1 年，29.44% 的合约期限大于 5 年。

图 7：全球场外期权期限分布汇总


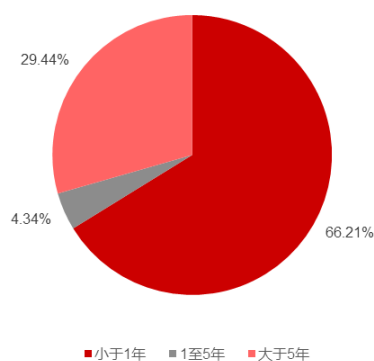
数据来源：东方证券研究所 & BIS

图 8：全球场外期权期限分布（利率类）


数据来源：东方证券研究所 & BIS

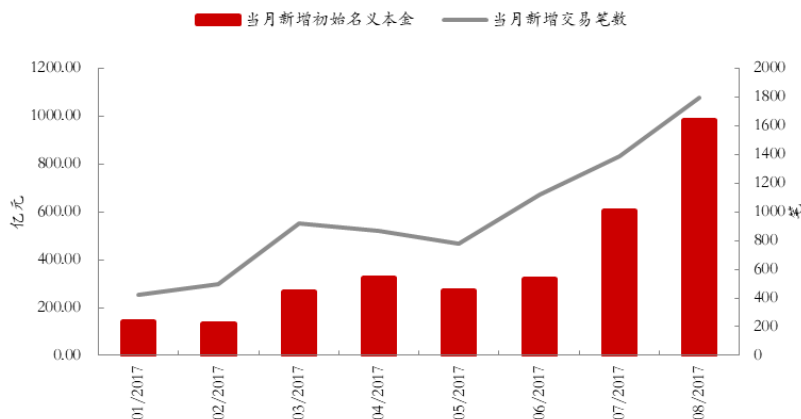
图 9：全球场外期权期限分布（外汇类）


数据来源：东方证券研究所 & BIS

图 10：全球场外期权期限分布（权益类）


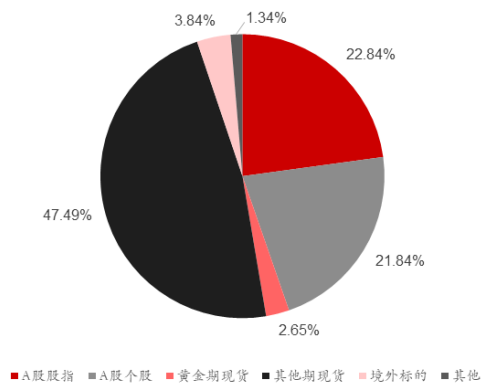
数据来源：东方证券研究所 & BIS

我国场外衍生品市场方面，2017 年场外期权月度新增交易数目与新增名义本金也快速上涨。根据中国证券业协会发布的场外业务报告，本年 8 月份，我国场外权益类衍生品新增名义本金 1202.25 亿元，其中期权业务新增 1796 笔，约为 983.37 亿元，月末未了结名义本金约为 4580.09 亿元，本年累计新增期权业务 7791 笔，约为 3049.68 亿元。

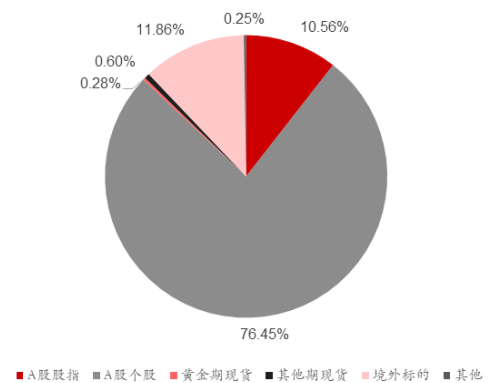
图 11：我国场外期权月度新增交易情况


数据来源：东方证券研究所 & 中国证券业协会

场外期权标的主要包括 A 股股指（沪深 300、中证 500、上证 50）、A 股个股、黄金期现货，以及境外标的。其中，8 月新增期权合约中，A 股股指名义本金、期权费分别占比 22.84%、10.56%；A 股个股名义本金、期权费占比 21.84%和 76.45%，黄金期现货名义本金、期权费占比 2.65%和 0.28%，其他期现货名义本金、期权费占比 47.49%和 0.6%。

图 12：8 月新增期权合约标的（名义本金）


数据来源：东方证券研究所 & BIS

图 13：8 月新增期权合约标的（期权费）


数据来源：东方证券研究所 & BIS

场外期权在我国衍生品市场中的地位与发展空间越来越亮眼，而对冲效率对场外期权业务成本与报价的市场竞争力有重要影响。在本篇报告中我们将探讨局部波动率模型、期权定价的二叉树模型在场外期权上的定价与对冲效果。波动率曲面构建方面，我们采用 SVI 模型，基于场内期权隐含波动率的离散数据构建完整的隐含波动率曲面，探讨其在上证 50ETF 单边障碍期权、白糖与豆粕普通期权上的动态对冲效率。

二、局部波动率模型

进行场外期权的定价，首先要对波动率进行估计，对于已经具有相应的场内期权的场外期权，我们可以通过场内期权市场价格反算隐含波动率，基于这些离散的隐含波动率点估计场外期权定价所需的波动率参数。目前业界常用的方法是基于 BS 模型隐含波动率为常数的假设估计模型价与市场价误差平方和最小的波动率值，进而用于场外期权的定价与对冲。而实际上，隐含波动率随行权价与到期日的变化而呈现微笑或倾斜的状态，基于常数模型率估计进行定价与对冲效率较低，无法反映场内期权市场不同行权价与期限的隐含波动率结构，即市场对期权隐含波动率的完整预期。在《局部波动率模型期权定价实证研究》这篇研究报告中，我们将 SVI 模型（Stochastic Volatility Inspired Model）引入 50ETF 期权进行实证研究，并成功基于场内期权隐含波动率拟合出与实际相符的隐含波动率曲面，在场内动态对冲上取得显著优于 BS 常数波动率模型的结果。SVI 模型实施的具体方法也在上篇报告中有详细说明，在此仅做简述。

基于场内期权交易数据，通过 BS 公式反算各到期日、行权价上的隐含波动率。以看涨期权为例，从市场交易数据中取得期权价格 C ，标的资产价格 S ，时间为 t ，期权到期日为 T ，该期权的隐含波动率为满足下述公式的唯一的 σ_{imp} ：

$$C = C^{BS}(\tau, K, \tau \sigma_{imp}^2; S, r, \tau)$$

局部波动率模型将波动率定义为标的价格 S 与到期时间 t 的函数 $\sigma(S_t, t)$ ，由 Dupire (1994)，Derman and Kani (1994) 提出，对于标的价格 S 和时间 t ，其偏微分方程为：

$$dS_t = \mu(S_t, t)dt + \sigma(S_t, t)dz_t$$

我们选取业界常用的 SVI 模型 (Stochastic Volatility Inspired Model) 中的原始 SVI 表达式 (Gatheral, J. (2004))，基于上证 50ETF 期权进行定价与动态对冲的实证研究。原始 SVI 表达式可表示为：

$$\omega_{imp}^{SVI}(x) = a + b \left(\rho(x - m) + \sqrt{(x - m)^2 + \sigma^2} \right)$$

其中， x 为远期价值状态 (Forward log-moneyness)，对于行权价为 K 、标的资产 S 在期权到期日的远期价格为 $F_{[t, t+\tau]}$ ，距到期日为 τ 的看涨期权，其远期价值状态 x 为：

$$x = \log(K / F_{[t, t+\tau]})$$

ω_{imp} 为隐含方差 (Total Implied Variance)：

$$\omega_{imp} = \tau \sigma_{imp}^2$$

SVI 模型的原理是基于市场数据进行 SVI 表达式的参数优化，其刻画了期权的隐含方差（Implied Variance）对期权虚实值程度（Forward log-moneyness）的微笑曲线，可以通过参数灵活的取值对方差的总体水平、左右渐近线角度、顶点的平滑程度、曲线的方向以及曲线在水平方向上的位置进行调整，得到符合市场实际情况的隐含波动率曲线。我们在《局部波动率模型期权定价实证研究》这篇研究报告中指出，采用 Quasi-Explicit 优化法，将 SVI 模型进行参数降维，将原始的含有 5 个参数的非线性优化问题分成内层优化与外层优化两部分，大幅提高了运算效率与参数拟合的稳定性。其中，内层优化的目标函数为

$$f_{\{x_i, \omega_i\}}(\hat{a}, c, d) = \sum_{i=1}^n \left(\hat{a} + dy(x_i) + cz(x_i) - \omega_i \right)^2$$

(\hat{a}, c, d) 的定义域为：

$$D = \left\{ (\hat{a}, d, c) : \begin{cases} 0 \leq c \leq 4\sigma \\ |d| \leq c \\ |d| \leq 4\sigma - c \\ 0 \leq \hat{a} \leq \max_i \{\omega_i\} \end{cases} \right\}$$

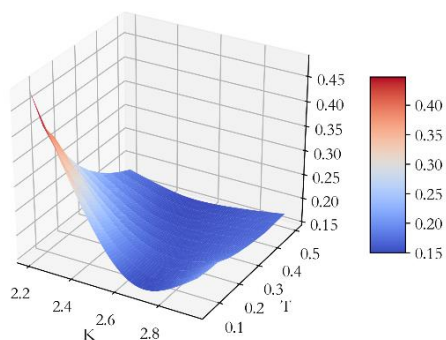
外层优化的目标函数为

$$p = \min_{m, \sigma} \sum_{i=1}^n \left(\omega_{\sigma, m, d^*, \rho^*}(x_i) - \omega_i \right)^2$$

内部优化问题非常容易处理，因为其目标函数 $f_{\{x_i, \omega_i\}}(\hat{a}, c, d)$ 是一个光滑的凸函数，且定义域为凸集，外层优化较为复杂，我们选取 Nelder-Mead Simplex 算法，可得到稳定的优化结果。

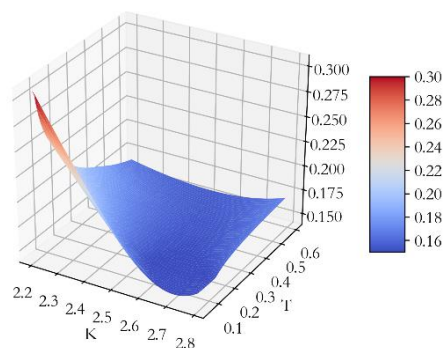
我们使用 SVI 模型，基于 2017 年 8 月 3 日的认沽与认购期权收盘价数据，分别进行拟合，通过优化 SVI 参数表达式，我们可以得到认沽与认购期权四个不同到期日的隐含波动率曲线，再将其进行线性插值构造完整的隐含波动率曲面，如图表 14-15 所示，隐含波动率曲面微笑的现象非常明显。

图 14：50ETF 认购期权隐含波动率曲面



数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

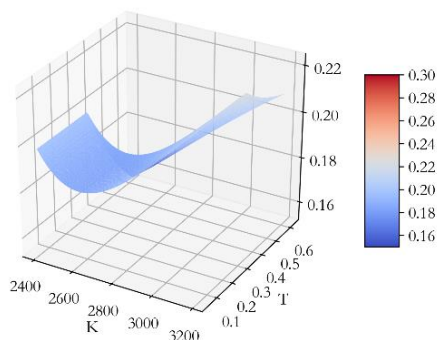
图 15：50ETF 认沽期权隐含波动率曲面



数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

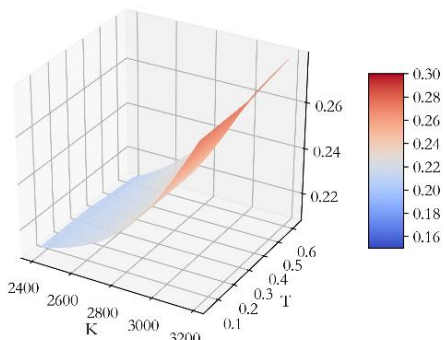
在商品期权方面同样采用 SVI 模型，以 2017 年 8 月 3 日的收盘数据为例，构造豆粕期权与白糖期权认购、认沽期权隐含波动率曲面，由于商品期权交易量不大，非主力、次主力期货合约对应的期权交易量非常之少，我们仅选取主力与次主力两个合约构造隐含波动率曲面。豆粕期权（图表 16-17）与白糖期权（图表 18-19）隐含波动率曲面相比 50ETF 期权在不同行权价上变化的范围较窄，但曲面形状亦较为明显。

图 16：豆粕认购期权隐含波动率曲面



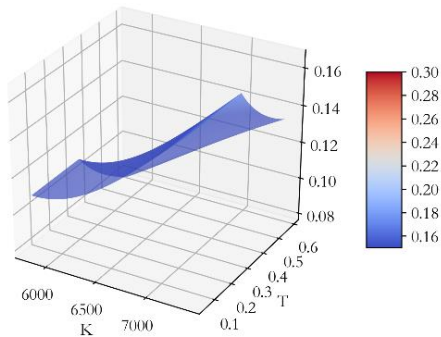
数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

图 17：豆粕认沽期权隐含波动率曲面



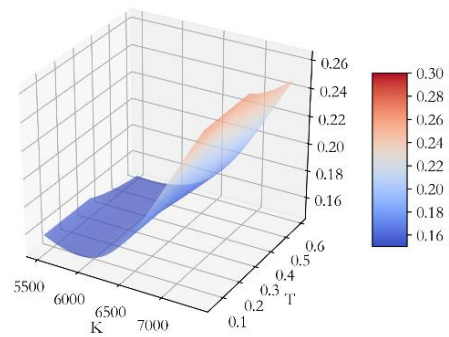
数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

图 18：豆粕认购期权隐含波动率曲面



数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

图 19：豆粕认沽期权隐含波动率曲面



数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

三、数值定价方法

在完成 SVI 模型隐含波动率曲面的构建或 BS 常数波动率模型隐含波动率估计之后，我们要进行期权定价方法的选择，之前的报告因为只涉及简单的欧式期权，我们采用的是解析解法。而本文将对不同类型的场外期权进行定价与对冲，包括欧式、美式，以及部分奇异期权，我们采用二叉树的数值法进行期权的定价与希腊值计算。基于二叉树的数值法的优势在于其可以为美式期权以及收益结构复杂的奇异期权提供有效地定价与 Greeks 计算，并且相对于 Monte Carlo 模拟效率要高很多，一般情况下 Monte Carlo 模拟在处理非常复杂包含对历史路径依赖的收益结构时才使用，其计算效率最低。

我们基于 CRR 模型（Cox, Ross and Rubinstein, 1979）构建期权定价的二叉树，第一步是将从估值日至到期日（距到期时间为 t ）等分为 n 个阶段，建立标的价格树，假设当期标的价格为 S ，波动率对应为 σ ，则下一阶段标的价格有两种可能性 $S_u = S \cdot u$ 和 $S_d = S \cdot d$ ，其中，

$$u = e^{\sigma\sqrt{t/n}}$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{t/n}}$$

出现两种可能性的概率分别为，

$$p_u = \frac{e^{r/n} - d}{u - d}$$

$$p_d = 1 - p_u$$

第二步是基于上述标的价格二叉树推算期权价格，首先计算最后一列各节点对应的期权价值，然后从后向前进行推演：

$$C_{t-\Delta t,i} = e^{-r\Delta t} (p_u C_{t,i+1} + (1-p_u) C_{t,i})$$

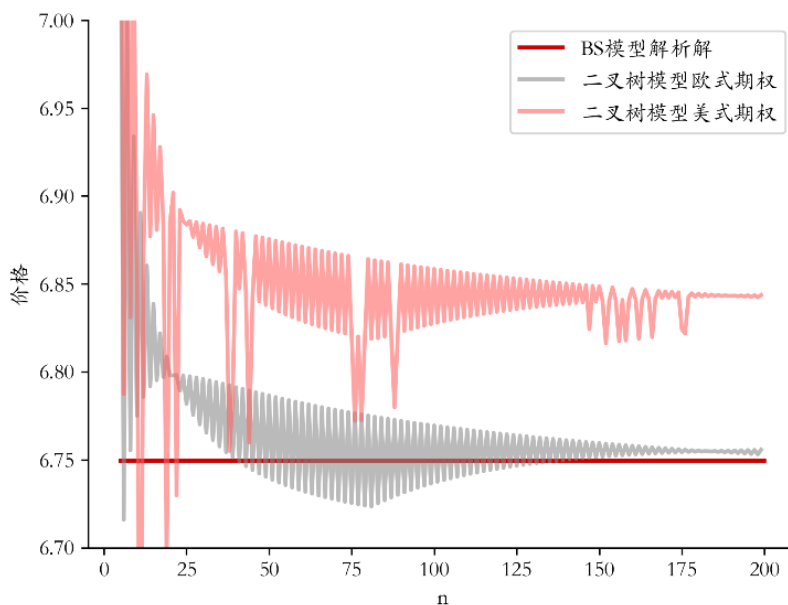
若是美式期权，需在每个节点上将上式下期收益的折现值与行权收益进行对比，决定是否行权。直至推演到 $n=0$ 即得到估值日的期权价值。

期权 Delta 的计算方法为：

$$Delta = (C_{1,1} - C_0) / (S_{1,1} - S_0)$$

我们采用二叉树模型，设置不同的步数（ n ），对相同条件下的欧式期权、美式期权的定价结果进行分析，从图表 20 中可以看出，二叉树模型定价结果随步数 n 增大趋于稳定，对于欧式期权定价收敛于 BS 模型的解析解，对于美式期权在相同条件下价格略高。

图 20：二叉树模型期权定价示例



数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

四、基于上证 50ETF 的单边障碍期权对冲

4.1 障碍期权收益与风险结构

常规边界期权是最常见的单边触碰障碍期权，包括跌出买权（down and out call）、跌入买权（down and in call）、涨出卖权（up and out put）、涨入卖权（up and in put）四种，击出期权触发价的设置使期权在虚值时失效，这简化了触发条件。反式边界期权触发价的设置使期权在实值时失效，因此导致其价值在边界的两边出现巨大差异，其交易难度和风险也相对常规期权较高。图表 21 中包括不同类型单边障碍期权的分类与基本特征描述。本文中我们以欧式买权为例，针对两种常规买权和两种反式买权，进行基于 SVI 模型隐含波动率曲面的定价与 Greeks 分析，以及对冲实证研究。

表 1：单边触碰障碍期权的分类

障碍期权类别	收益结构	描述	交易难度和风险
常规击出买权	跌出买权（down-and-out call）	期权失效时为虚值	低
常规击入买权	跌入买权（down-and-in call）	期权生效时为虚值	低
常规击出卖权	涨出卖权（up-and-out put）	期权失效时为虚值	低
常规击入卖权	涨入卖权（up-and-in put）	期权生效时为虚值	低
反式击出买权	涨出买权（up-and-out call）	期权失效时为实值	高
反式击入买权	涨入买权（up-and-in call）	期权生效时为实值	高
反式击出卖权	跌出卖权（down-and-out put）	期权失效时为实值	高
反式击入卖权	跌入卖权（down-and-in put）	期权生效时为实值	高

数据来源：东方证券研究所

4.1.1 反式击出期权（单鲨型障碍期权）

反式击出期权（reverse knock-out option）的障碍价格位于期权实值部位，即涨出买权（up-and-out call，UOC），或跌出卖权（down-and-out put，DOP）。以涨出买权为例，其在期权有效期内，当标的价格最大值大于等于障碍时期权价值为零，反之期权具有欧式看涨期权收益结构，定价公式如下：

$$UOC = e^{-rT} E_{\square} \left((S_T - K)^+ 1_{\{S_T < B\}} \right), (B > K)$$

$$DOP = e^{-rT} E_{\square} \left((K - S_T)^+ 1_{\{S_T > B\}} \right), (B < K)$$

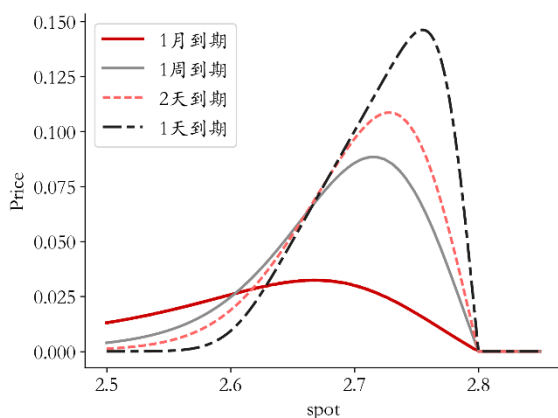
从中证场外衍生品报价系统取得单鲨型障碍期权的两个示例，其行权价为期权生效日标的价格的 100%，对于看涨期权当标的收盘价上涨超出 115%（看跌期权标的跌出 85%）的触发价时期权失效。

表 2：中证单鲨型场外期权基本信息

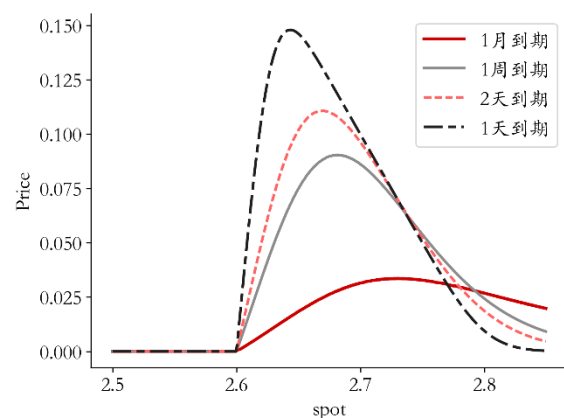
挂钩标的	期权结构	期权类型	交易期限	行权价格	障碍价格	障碍事件	参考卖价
上证 50 指数	单鲨型	看涨	90 天	100%	115%	敲出无补偿	3.14%
上证 50 指数	单鲨型	看跌	90 天	100%	85%	敲出无补偿	2.75%

数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

以行权价为 2.6，触发价为 2.8 的涨出买权和行权价为 2.8，触发价为 2.6 的跌出卖权为例，基于 2017 年 8 月 3 日隐含波动率曲面，图表 23 至图表 28 展示了其价格、Delta、Gamma 随标的价格变化的变化情况。随到期期限缩短，涨出买权的价格临近触发价时变动幅度加大，临近触发价时，期权的 Delta 也由正转负，并随到期日的缩短变化速度增大，到期日在一周之内临近触发价时期权的 Delta、Gamma 都出现即为夸张的表现，这为我们的动态对冲带来一定的困难，我们在对冲实证过程中对临近到期的期权在触发值附近的对冲组合调仓做出专门的处理。

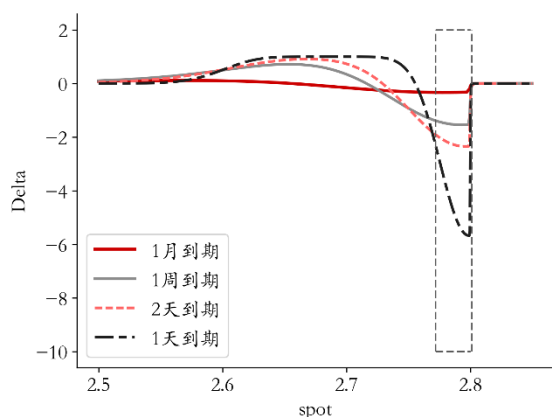
图 21：涨出买权的价格随到期日变化情况


数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

图 22：跌出卖权的价格随到期日变化情况


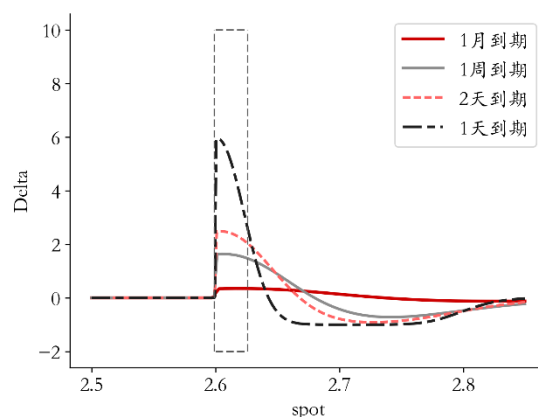
数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

图 23：涨出买权的 Delta 随到期日变化情况



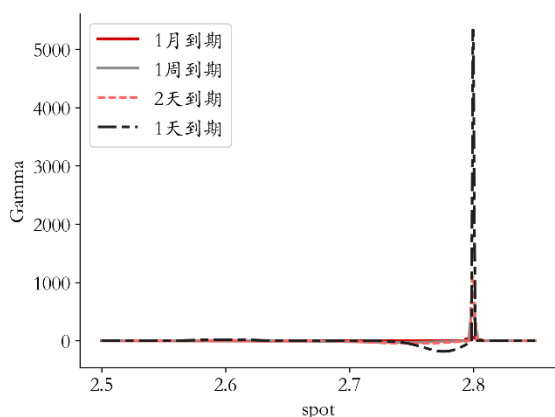
数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

图 24：跌出卖权的 Delta 随到期日变化情况



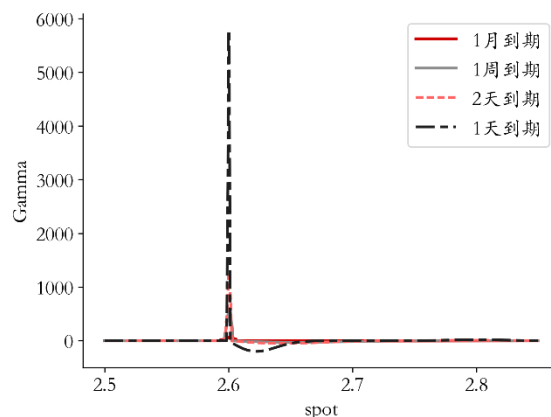
数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

图 25：涨出买权的 Gamma 随到期日变化情况



数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

图 26：跌出卖权的 Gamma 随到期日变化情况



数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

4.1.2 其他单边障碍期权类型

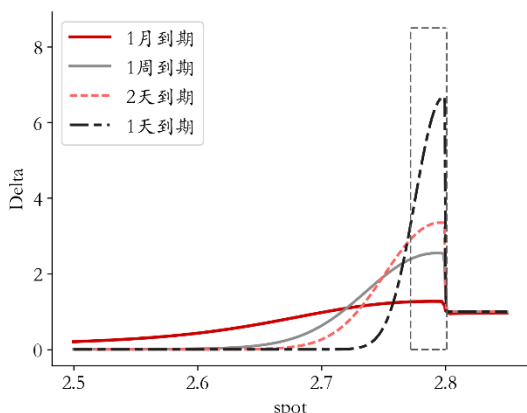
除反式击出期权外，普通单边障碍期权还包括反式击出期权，普通击出、击入期权。反式击入期权的障碍价格同样是在期权的实值部位，即涨入买权（up-and-in call, UIC）与跌入卖权（down-and-in put, DOP），其定价公式为：

$$UIC = e^{-rT} E_{\square} \left((S_T - K)^+ 1_{\{S_T \geq B\}} \right), (B > K)$$

$$DOP = e^{-rT} E_{\square} \left((K - S_T)^+ 1_{\{S_T \leq B\}} \right), (B < K)$$

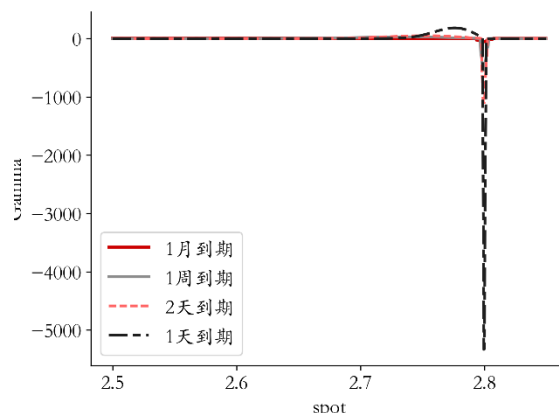
反式击入期权同样会出现到期日临近时，标的价格接近障碍时期权价格、Delta、Gamma 快速变化的情况，对 Delta 动态对冲造成一定的难度。以行权价为 2.6，触发价为 2.8 的反式击入买权为例，图表 29 至图表 30 展示了其 Delta 与 Gamma 在随到期日临近的变化状态。

图 27：涨入买权的 Delta 随到期日变化情况



数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

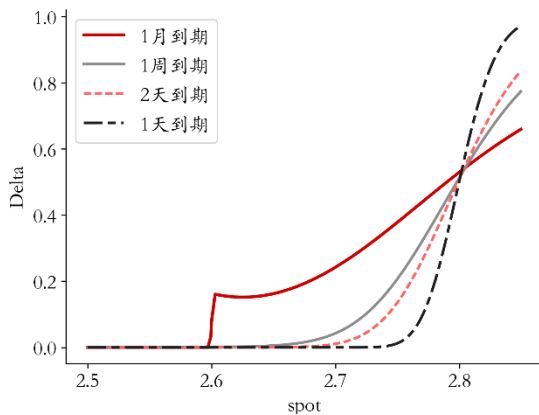
图 28：涨入买权的 Gamma 随到期日变化情况



数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

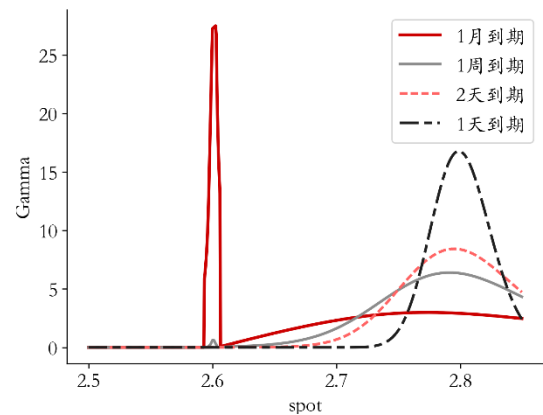
普通击入击出期权的障碍价格在其虚值部位，包括跌入买权（down-and-in call）、涨入卖权（up-and-in put）、跌出买权（down-and-out call）、涨出卖权（up-and-out put）。普通击入击出期权的风险较反式障碍期权小，因障碍价格在期权虚值部位，临近到期不会出现靠近障碍价格期权的价格、Delta 等快速变化的现象。以行权价为 2.8，障碍价格为 2.6 的跌入买权为例，图表 31 至图表 32 展示了其 Delta 与 Gamma 在随到期日临近的变化状态。

图 29：跌出买权的 Delta 随到期日变化情况



数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

图 30：跌出买权的 Gamma 随到期日变化情况



数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

4.2 Delta 动态对冲方法

4.2.1 障碍价格附近的调仓处理

对于反式期权，在距到期日一周之内，临近障碍价格时 Delta 的变动幅度很大，当标的价格反复接近障碍价格的情况下会产生较多的交易费用，但对于敲出期权的卖方当标的较为接近障碍价格时其风险敞口潜在的提高幅度已经很小。我们采用这样的方法处理敲出边界情况，对于距到期日一周之内的反式敲出期权（单鲨障碍期权），以 1% 为界限，对于涨出买权，当标的价格低于障碍价格 1% 以内，不再增加对冲组合的仓位；对于跌出卖权，当标的价格高于障碍价格 1% 以内，不再增加对冲组合的仓位。而对于反式敲入期权，当标的较为接近障碍价格时其风险敞口潜在的提高幅度很大，限制对冲仓位是不明智的，可能导致严重的单次损失，我们采用实际 Delta 进行对冲不采取仓位限制。

4.2.2 Delta 动态对冲的步骤

我们参考 Bakshi (1997) 期权动态对冲的做法构建对冲头寸，从 2015 年 9 月 1 日至 2017 年 6 月 1 日，每日新建当日生效期限为 3 个月的障碍期权，所包含的障碍类型与触发价区间由图表 22 所示。对于每个障碍期权，采用 Delta 动态对冲的方法构造复制组合，对卖出障碍期权头寸进行对冲。从第一个期权生效至最后一个期权到期，我们对冲实证研究的历史时间区间为 2 年，基于每日的场内期权收盘价数据计算隐含波动率，通过 SVI 模型拟合隐含波动率曲面，以及在 BS 模型常熟波动率假设下计算使总误差最小的常数波动率估计。动态对冲过程是基于日内 1 分钟数

据，关注日内标的价格的实时变化，同时也控制调仓频率，并对障碍期权标的临近触发价时的特定情况在调仓方面做一定处理，以免因为对冲组合过度的开平仓带来较高的对冲成本。

首先对冲交易的基本假设如下：

- 1) 交易成本 α 为万分之二；
- 2) 交易标的为 50ETF 现货，假设标的可以进行融券卖出；
- 3) 对冲组合资金盈余的利息收入为 3%，资金占用的利息费用为 6%；
- 4) 我们对两个模型采用统一的初始期权价值，使用 SVI 模型与 BS 模型对期权初始定价结果的较大者衡量，即在不同模型下卖出障碍期权所得初始收入相同。

对冲组合构建与调仓步骤如下：

- 1) 基于 $t-1$ 日的收盘数据，分别采用 SVI 模型构造隐含波动率曲面，以及 BS 模型计算使总误差最小的常数波动率估计，基于两种波动率模型计算障碍期权在 $t-1$ 日的 Δ_{t-1} ，买入 Δ_{t-1} 份额的标的 50ETF（若 Δ_{t-1} 为负即卖出）。
- 2) 在下一个交易日（ t 日），基于日内 1min 数据，根据标的价格设定调仓条件为：距上次调仓标价格变动超过标的价格的 3% 则进行调仓，若日内未调仓则按收盘价调仓。对冲组合现货头寸调整幅度与对冲组合现金账户的计算方法如下，现金账户包含初始卖出障碍期权的收入， $replicate$ 为对冲组合价值：

$$\begin{aligned}
 cash_t &= \left(cash_{t-1} - \sum_i \Delta holding_{t,i} \cdot S_{t,i} - fee \right) \cdot e^{r_f \Delta t} \\
 \Delta holding_{t,i} &= \Delta_{t,i} - \Delta_{t,i-1} \\
 replicate_t &= \Delta_{t,i} \cdot S_t + cash_t \\
 cash_0 &= C_0
 \end{aligned}$$

- 3) 障碍期权到期时，对冲组合的净值减去障碍期权到期时的价值，得到组合总损益，我们将组合总损益除以障碍期权的初始理论价值，得到对冲损益百分比：

$$pnl_T = \frac{replicate_T - C_T}{C_0}$$

4.3 Delta 动态对冲结果

动态对冲的实证部分，我们设计单边障碍期权如图表 33 所示，每种障碍期权包含三个不同的障碍价格。从 2015 年 9 月至 2017 年 6 月，每日构建相应的障碍期权，从 2015 年 9 月第一个期权生效至 2017 年 9 月最后一个期权到期，基于日内 1min 数据进行动态监测与对冲组合的仓位调整。对冲过程中我们使用两种波动率模型，一是基于 SVI 模型构建的隐含波动率曲面，二是基于 BS 模型常数波动率假设推算得到的总误差最小的常数模型率估计，并分析两种波动率模型下的动态对冲总损益。

正如前文对障碍期权收益与风险结构部分的分析中提到，反式击出期权的交易难度和风险都是较高的，对冲方面，其障碍价格附近 Delta 变化剧烈给动态对冲带来了一定的难度，我们通过上文中障碍价格附近的调仓处理，选择在距到期日一周之内临近敲出价格时留出一定敞口，避免在障碍价格附近频繁调仓。

表 3：障碍期权基本条款

障碍类型	行权类型	标的	期限	行权价	障碍价格	对冲时间区间
涨出买权	欧式	50ETF	3M	100%	115%, 114%, 113%	2015 年 9 月-2017 年 9 月
跌出卖权	欧式	50ETF	3M	100%	-115%, -114%, -113%	2015 年 9 月-2017 年 9 月
跌出买权	欧式	50ETF	3M	100%	-110%, -109%, -108%	2015 年 9 月-2017 年 9 月
涨出卖权	欧式	50ETF	3M	100%	110%, 109%, 108%	2015 年 9 月-2017 年 9 月
涨入买权	欧式	50ETF	3M	100%	110%, 109%, 108%	2015 年 9 月-2017 年 9 月
跌入卖权	欧式	50ETF	3M	100%	-110%, -109%, -108%	2015 年 9 月-2017 年 9 月

数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

基于两年的样本区间，对障碍期权动态对冲结果样本进行统计分析，进而比较两种模型的结果。我们对样本结果进行均值、中位数以及 25%、75%分位数的展示，并通过 Wilcoxon 检验两种模型的结果差异是否显著。Wilcoxon 检验是一种非参数检验方法，即不比较总体参数只比较总体分布的位置是否相同，当样本分布不符合正态分布时，用来代替 t 检验。样本动态对冲结果的分布明显具有左偏的形态不符合正态分布，可以由均值、分位数统计结果看出，因而 t 检验也会失效，我们在此采用 Wilcoxon 检验。

由图表 34 至图表 36 所示，基于 SVI 波动率模型与 BS 常数波动率模型对上述障碍期权进行 Delta 动态对冲，样本统计分析结果显示：1) 从样本均值、中位数等统计结果可以看出基于 SVI 波动率模型的对冲效果较 BS 常数波动率更优；2) Wilcoxon 检验的 p 值结果显示，在 0.05 的显著性水平下，大部分障碍期权类型样本检验结果拒绝两组样本总体分布相同的原假设，认为 SVI 模型对冲结果相对 BS 模型的优势是统计显著的；3) 换手率方面，反式击出障碍期权换手率高于普通击出期权，这与我们前文对反式障碍期权边界 Delta 变化的分析一致，我们对反式敲出期权边界条件的特殊处理使得其换手率控制在合理范围内。

此外，我们可以看到，从均值或中位数来看，除涨出买权之外，其他类型的障碍期权总损益的百分比均为正数，看跌期权普遍高于看涨期权，首先，样本期内 50ETF 大多处于上涨期，买权的边界比卖权更容易接近或穿越；其次，为统一两个模型对冲损益的度量标准，并避免出现因个别时

点隐含波动率过低产生期权初始价值过低而产生异常损益百分比的结果,我们对两个模型采用统一的初始期权价值,即 SVI 模型与 BS 模型对期权初始定价结果的最大值,由此造成的期权定价偏高可能是产生普遍的正对冲损益的原因,但即便如此我们所用的期初模型价值仍远小于市场上障碍期权的一般报价。

表 4: Delta 动态对冲结果 (反式击出期权/单鲨障碍期权)

期权类型	障碍价格	模型	总对冲损益占期初期权价值的百分比				Wilcoxon 检验(p 值)	换手率
			均值	中位数	75%分位数	25%分位数		
涨出买权 Up-out Call	15%	SVI 模型	-19%	1%	37%	-51%	0.065	29%
		BS 模型	-21%	-1%	41%	-49%		25%
	14%	SVI 模型	-21%	-3%	47%	-64%	0.035	30%
		BS 模型	-23%	-6%	44%	-68%		28%
	13%	SVI 模型	-24%	-3%	46%	-63%	0.014	32%
		BS 模型	-28%	-4%	45%	-69%		29%
跌出卖权 Down-out Put	-15%	SVI 模型	13%	27%	58%	-11%	0.041	18%
		BS 模型	10%	25%	50%	-12%		17%
	-14%	SVI 模型	2%	25%	56%	-18%	0.033	19%
		BS 模型	1%	22%	48%	-18%		18%
	-13%	SVI 模型	5%	23%	54%	-11%	0.012	20%
		BS 模型	0%	19%	45%	-23%		19%

数据来源: 东方证券研究所 & wind 资讯

表 5: Delta 动态对冲结果 (普通击出期权)

期权类型	障碍价格	模型	总对冲损益占期初期权价值的百分比				Wilcoxon 检验(p 值)	换手率
			均值	中位数	75%分位数	25%分位数		
跌出买权 Down-out Call	-10%	SVI 模型	18%	24%	39%	-6%	0.096	15%
		BS 模型	18%	23%	39%	-5%		10%
	-9%	SVI 模型	18%	23%	38%	-6%	0.038	14%
		BS 模型	18%	22%	38%	-13%		9%
	-8%	SVI 模型	17%	22%	37%	-8%	0.068	14%
		BS 模型	17%	21%	38%	-16%		9%
涨出卖权 Up-out Put	10%	SVI 模型	33%	44%	60%	10%	0.002	12%
		BS 模型	29%	38%	58%	1%		10%
	9%	SVI 模型	33%	40%	59%	10%	0.002	12%
		BS 模型	29%	34%	58%	2%		10%
	8%	SVI 模型	32%	39%	58%	10%	0.001	11%

有关分析师的申明, 见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分, 或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责声明。

		BS 模型	28%	32%	56%	3%		10%
--	--	-------	-----	-----	-----	----	--	-----

数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

表 6：Delta 动态对冲结果（反式击入期权）

期权类型	障碍价格	模型	总对冲损益占期初期权价值的百分比					换手率
			均值	中位数	75%分位数	25%分位数	Wilcoxon 检验(p 值)	
涨入买权 Up-in Call	10%	SVI 模型	8%	40%	65%	-9%	0.012	21%
		BS 模型	6%	27%	57%	-18%		18%
	9%	SVI 模型	10%	41%	69%	-6%	0.032	20%
		BS 模型	9%	20%	57%	-9%		17%
	8%	SVI 模型	12%	27%	64%	-6%	0.029	19%
		BS 模型	9%	18%	46%	-12%		16%
跌入卖权 Down-in Put	-10%	SVI 模型	59%	69%	81%	40%	0.021	20%
		BS 模型	50%	58%	79%	31%		17%
	-9%	SVI 模型	57%	65%	78%	38%	0.023	19%
		BS 模型	49%	57%	77%	31%		16%
	-8%	SVI 模型	54%	62%	76%	37%	0.032	18%
		BS 模型	47%	58%	75%	29%		15%

数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

4.4 静态对冲组合构建

欧式奇异期权的收益函数 (payoff) 是分段式的仿射函数，可以通过一系列普通认沽认购构造其复制组合。奇异期权的直接静态对冲基于 Carr (1994) 提出的买卖权的对称性原理 (Put Call Symmetry)，对称原理在海外期权交易中已有较长的实践经验，假设没有偏度的情况下，其做法是基于远期找到一个对称的等价行权价与其风险相匹配。计算对称行权价的具体方法如下：

令 K 为认沽 (认购) 期权的行权价， F 为远期价格，则对称的认购 (认沽) 期权的行权价 K' 满足：

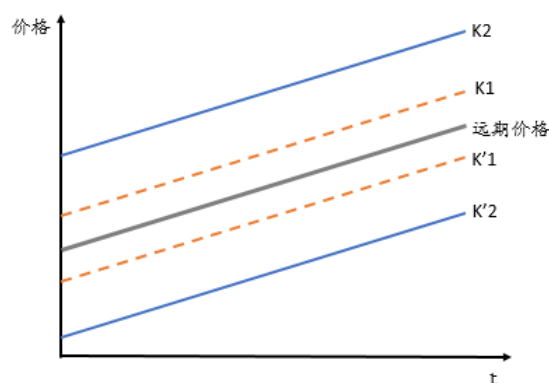
$$\log\left(\frac{K}{F}\right) = \log\left(\frac{F}{K'}\right)$$

$$\text{即 } K' = \frac{F^2}{K}$$

对称行权价的取值使得远期价格称为两个行权价的几何均值。图表 37 中，行权价 $K1, K2$ 对应的对称行权价分别为 $K'1, K'2$ 。并且在偏度为零的情况下，认沽期权行权价 K 与其对称的认购期权行权价 K' 与期权价格之间满足：

$$\frac{Put(K')}{Call(K)} = \frac{\sqrt{K'}}{\sqrt{K}}$$

图 31：买卖权的对称性 (Put Call Symmetry)



数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

Nassim Taleb (1996) 指出，以行权价的平方根的比例构造多空组合可以提供零 Gamma 和零 Vega，在一个 Delta 中性的结构中，买卖权对称性可以实现低于三阶矩的中性。当然，这是一个较为理论化的结论，实际上交易过程中，买卖权对称性可能具有一定的不稳定性，在海外市场，静态对冲方法是被业界广为接受的，毕竟完美的对冲总是不存在的，静态对冲方法较动态对冲方法还是可以节约不少交易成本。

基于上证 50ETF，我们以卖出买权为例对静态对冲的步骤进行详细解释。我们构建跌出障碍买权基本信息如下，设置行权价为 2.495 与生效日标的收盘价临近，到期日为当月 50ETF 期权当月合约到期日的前一天，简化了构建组合的情形，若障碍期权到期日不存在相同月份的场内期权合约则静态对冲的复制组合在临近到期日时会发生较大的价值偏离。

表 7：静态对冲跌出买权基本条款

障碍类型	行权类型	生效日期	到期日期	行权价	障碍价格	单位
跌出买权	欧式	2017 年 5 月 26 日	2017 年 6 月 27 日	2.495	2.3	1000

数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

基于静态对冲原理，场内期权构造近似复制组合的步骤如下：

- i. 多 1 单位行权价为 2.495 的普通认购期权（若场内认购期权中该行权价不存在，取最近的行权价）；
- ii. 基于买卖权对称原理计算认购障碍期权行权价以触发价的远期为对称轴的对称认沽期权行权价 K' ，由下述公式可计算出 K' 约等于 2.13，该行权价不存在在场内期权中，我们取场内认沽期权中最近的行权价 2.153。

$$K' \times K = BarrierForward^2 = (B \cdot e^{r_f \tau})^2$$

- iii. 计算行权价为 2.153 的认沽期权的卖出比例，根据下式，基于当日数据得到该比例约为 1.08。

$$PutRatio = \sqrt{\frac{K}{K'}}$$

- iv. 构造复制组合，即多 1 单位行权价为 2.495 的普通认购期权，空 1.08 单位行权价为 2.153 的普通认沽期权。并且，当障碍期权的边界被触及时，复制组合必须马上在市场上进行平仓。

表 8：静态对冲复制组合头寸信息

期权类型	期权名称	到期日期	行权价	头寸（每单位障碍期权）
认购	50ETF 购 2017 年 6 月 2.495A	2017 年 6 月 28 日	2.495	+1
认沽	50ETF 沽 2017 年 6 月 2.153A	2017 年 6 月 28 日	2.153	-1.08

数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

基于上述静态对冲方案，采用障碍期权生效当日的波动率计算，在不同的标的价格下，静态对冲复制组合复制组合的价值，以及静态对冲组合的理论对冲误差。

表 9：静态对冲组合理论对冲误差

标的价格	障碍期权 价值	看涨期权 价值	看跌期权 价值	复制组合 价值	理论对冲误差
2.300	0.00	0.10	3.92	0.00	0.00%
2.310	0.00	0.16	2.91	0.00	0.00%
2.320	0.00	0.24	2.12	0.00	0.00%
2.330	0.00	0.37	1.53	0.00	0.00%
2.340	0.00	0.55	1.08	0.00	0.00%
2.350	0.00	0.80	0.76	0.00	0.00%
2.360	0.61	1.15	0.52	0.60	-0.07%
2.370	1.27	1.62	0.35	1.25	-0.09%

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

2.380	2.02	2.25	0.24	2.00	-0.09%
2.390	2.92	3.07	0.16	2.90	-0.08%
2.400	4.02	4.11	0.10	4.01	-0.06%
2.410	5.38	5.44	0.06	5.37	-0.05%
2.420	7.04	7.08	0.04	7.03	-0.04%
2.430	9.06	9.08	0.03	9.05	-0.02%
2.440	11.47	11.49	0.02	11.47	-0.02%
2.450	14.33	14.34	0.01	14.33	-0.01%
2.460	17.66	17.67	0.01	17.66	-0.01%
2.470	21.50	21.50	0.00	21.49	0.00%
2.480	25.85	25.85	0.00	25.85	0.00%
2.490	30.74	30.74	0.00	30.74	0.00%
2.500	36.16	36.16	0.00	36.16	0.00%
2.510	42.10	42.10	0.00	42.10	0.00%
2.520	48.54	48.54	0.00	48.54	0.00%
2.530	55.46	55.46	0.00	55.46	0.00%
2.540	62.83	62.83	0.00	62.83	0.00%
2.550	70.61	70.61	0.00	70.61	0.00%

数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

在障碍期权的生效期内，在对静态对冲组合进行调仓的前提下，我们基于每日实际收盘价格计算静态对冲组合的价格与对冲损益，实际对冲误差的计算方法为，以收盘价计算的复制组合价格与基于当日波动率计算的障碍期权价值之差占初始障碍期权价值的百分比。

表 10：静态对冲组合基于日收盘价的实际对冲误差

日期	标的价格	障碍期权价值	看涨期权头寸价值	看跌期权头寸价值	复制组合价值	实际对冲误差
2017/5/26	2.47	19.90	17.30	0.90	16.33	-17.97%
2017/5/31	2.48	22.21	22.70	0.70	21.94	-1.36%
2017/6/1	2.49	31.33	27.40	0.80	26.54	-24.07%
2017/6/2	2.47	22.84	20.00	0.50	19.46	-16.98%
2017/6/5	2.44	11.56	10.30	0.40	9.87	-8.51%
2017/6/6	2.46	15.41	13.20	0.40	12.77	-13.26%
2017/6/7	2.48	26.00	24.20	0.60	23.55	-12.31%
2017/6/8	2.50	37.90	36.10	0.50	35.56	-11.77%
2017/6/9	2.52	47.52	44.50	0.60	43.85	-18.41%
2017/6/12	2.51	43.86	40.30	0.70	39.54	-21.67%
2017/6/13	2.51	40.49	38.10	0.50	37.56	-14.72%

2017/6/14	2.48	22.52	21.80	0.50	21.26	-6.34%
2017/6/15	2.47	13.91	14.90	0.40	14.47	2.78%
2017/6/16	2.46	9.86	9.80	0.30	9.48	-1.95%
2017/6/19	2.50	21.62	22.40	0.30	22.08	2.31%
2017/6/20	2.48	15.15	17.40	0.20	17.18	10.23%
2017/6/21	2.51	26.19	24.00	0.10	23.89	-11.53%
2017/6/22	2.52	36.61	34.80	0.20	34.58	-10.20%
2017/6/23	2.54	51.52	48.50	0.20	48.28	-16.25%
2017/6/26	2.55	59.62	60.90	0.10	60.79	5.88%
2017/6/27	2.56	69.23	64.90	0.10	64.79	-22.28%

数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

在障碍期权有效期内，我们看到静态对冲组合实际误差较大并在日间产生很大的跳变，其原因主要是，隐含波动率曲面偏度不为零，导致基于对称性原理构建的静态组合存在偏差；其次是由于收市场交易情绪的影响期权收盘价格存在一定程度的偏离是正常情况；随市场情况的变化，静态对冲组合也需要进行相应的仓位调整，或将剩余风险敞口通过动态对冲进行处理，预计会有助于提升对冲效果。

采用静态对冲的方法使用相应的场内期权构造投资组合理论上是 Delta 中性、Gamma 中性与 Vega 中性的。考虑到国内不管是 50ETF 期权还是商品期权，行权价、到期日较少而构造静态对冲组合的困难较大，若可找到合适的行权价可以此作为动态对冲的补充。

五、基于商品期货的场外期权对冲

5.1 Delta 动态对冲方法

商品方面，目前场内有白糖期权和豆粕期权的欧式期权，我们设计商品场外期权如图表 42 所示，从 2017 年 4 月至 2017 年 6 月，每日构建相应的障碍期权，从 2017 年 4 月第一个期权生效至 2017 年 9 月最后一个期权到期，基于日内 1min 数据进行动态监测与对冲组合的仓位调整。我们通过场内期权隐含波动率数据使用 SVI 模型构造波动率曲面，并与通过 BS 常数波动率模型进行对比分析。

表 11：商品场外期权基本条款

期权类型	行权类型	标的品种	标的合约	期限	行权价
认购	美式	豆粕	到期日对应的期货主力合约	3M	100%
认购	美式	白糖	到期日对应的期货主力合约	3M	100%

数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

商品期权 Delta 对冲的基本假设与调仓条件如下：

- 交易成本为万分之二；
- 杠杆率为 1.0；
- 对冲组合资金盈余的利息收入为 3%，资金占用的利息费用为 6%。
- 调仓条件为：基于日内 1min 数据距上次调仓标价格变动超过标的价格的 5%则进行调仓，若日内未调仓则按收盘价调仓。

除此之外，不存在边界条件的处理，Delta 动态对冲基本方法与上文基于 50ETF 的场外期权基本一致。

5.2 Delta 动态对冲结果

对于豆粕与白糖场外期权，从图表 43 所示 Delta 动态对冲结果可以看出，基于 SVI 模型的对冲损益的均值、中位数、各分位数等统计结果均好于 BS 模型。对于豆粕期权，在杠杆率为 1.0 的情况下，基于 SVI 模型隐含波动率曲面的平均对冲总损益占期初期权价值的百分比约为-5%左右，高于 BS 常数波动率模型的-8%，并且在 0.01 的显著性下，Wilcoxon 检验的结果拒绝原假设，认为两组数据结果的总体分布位置不同，说明了 SVI 模型优于 BS 模型的统计显著性。对于白糖期权，在杠杆率为 1.0 的情况下，基于 SVI 模型隐含波动率曲面的平均对冲总损益占期初期权价值的百分比约为-7%左右，高于 BS 常数波动率模型的-14%，同样，Wilcoxon 检验结果显示，SVI 模型相对 BS 模型的优势是显著的。

表 12：商品期权 Delta 动态对冲结果（杠杆率=1.0）

期权类型	杠杆率	模型	总对冲损益占期初期权价值的百分比					换手率
			均值	中位数	75%分位数	25%分位数	Wilcoxon 检验 (p 值)	
豆粕美式看涨期权	1.0	SVI 模型	-5%	-6%	60%	-66%	0.000	16%
		BS 模型	-8%	-11%	54%	-73%		16%
白糖美式看涨期权	1.0	SVI 模型	-7%	-6%	-2%	-10%	0.000	22%
		BS 模型	-14%	-15%	-11%	-18%		18%

数据来源：东方证券研究所 & wind 资讯

六、研究结论总结

6.1 上证 50ETF 标的的单边障碍期权动态对冲结果

对于标的为上证 50ETF 的反式击出、反式击入等不同类型与障碍类型的障碍期权，从 2015 年 9 月至 2017 年 6 月，每日构建相应的障碍期权，从 2015 年 9 月第一个期权生效至 2017 年 9 月最后一个期权到期，分别采用 SVI 波动率模型与 BS 常数波动率模型，基于日内 1min 数据进行动态监测、调整仓位，并对临近到期日标的的价格接近触发价的反式击出期权进行特定仓位管理。动态对冲结果的样本统计分析结论如下：

- 1) 从样本均值、中位数等统计结果可以看出基于 SVI 波动率模型的对冲效果较 BS 常数波动率更优；
- 2) Wilcoxon 检验的 p 值结果显示，在 0.05 的显著性水平，大部分障碍期权类型样本检验结果拒绝两组样本总体分布相同的原假设，认为 SVI 模型对冲结果相对 BS 模型的优势是统计显著的（个别触发价的 Wilcoxon 检验结果在 0.1 的水平上显著）；
- 3) 换手率方面，反式击出障碍期权换手率高于普通击出期权，这与我们前文对反式障碍期权边界 Delta 变化的分析一致，我们对反式敲出期权边界条件的特殊处理使得其换手率控制在合理范围内。

6.2 上证 50ETF 标的的单边障碍期权静态对冲结果

基于买卖权的对称性原理（Put Call Symmetry）构建出期权的静态对冲组合，静态对冲组合由场内期权构成，该组合在偏度为零的假设下，理论上是 Delta 中性、Gamma 中性与 Voga 中性的。在不进行调仓的情况下，我们按照每日收盘价格计算静态组合的每日盯市价格并比较其与障碍期权理论价值的偏离度，我们观测到的静态对冲组合实际误差较大并在日间产生较大的跳变，需将剩余风险敞口进行动态对冲。

6.3 白糖、豆粕期货标的的普通美式期权动态对冲结果

基于 SVI 波动率模型与 BS 常数波动率模型对从样本区间为 2017 年 4 月至 2017 年 9 月的白糖与豆粕普通美式期权进行 Delta 动态对冲，基于日内 1min 数据进行动态监测与对冲组合的仓位调整。动态对冲结果的样本统计分析结论如下：

- 1) 对于白糖普通美式期权，从样本均值、中位数等统计结果可以看出基于 SVI 波动率模型的对冲效果较 BS 常数波动率更优，并且 Wilcoxon 检验结果在 0.01 的水平上显著；
- 2) 对于豆粕普通美式期权，同样基于 SVI 波动率模型的对冲效果较 BS 常数波动率更优，并且 Wilcoxon 检验结果在 0.01 的水平上显著。

风险提示

1. 量化模型基于历史数据分析得到，未来存在失效的风险，建议投资者紧密跟踪模型表现。
2. 极端市场环境可能对模型效果造成剧烈冲击，导致收益亏损。

参考文献

- [1]. Nassim Nicholas Taleb, Dynamic Hedging: Managing Vanilla and Exotic Options. Wiley, 1997.
- [2]. Bakshi,G., Cao C., Chen Z., Empirical Performance of Alternative Option Pricing Models. The journal of finance, VOL. LII, NO. 5 . December 1997.
- [3]. Gatheral, J. A parsimonious arbitrage-free implied volatility parameterization with application to the valuation of volatility derivatives. Presentation at Global Derivatives & Risk Management, Madrid, 2004.
- [4]. Gatheral, J., Jacquier, A. Arbitrage-free SVI volatility surfaces. Quantitative Finance, 14(1):59 - 71, 2014.
- [5]. Gatheral, J. The Volatility Surface: A Practitioner's Guide. Wiley Finance, 2006.
- [6]. Durrleman, V. A note on initial volatility surface. Unpublished, February 2003.
- [7]. Fongler, R. Arbitrage-Free Smoothing of the Implied Volatility Surface. Quantitative Finance, 9(4):417-428, 2009.
- [8]. Gatheral, J., Jacquier, A. Convergence of Heston to SVI. Quantitative Finance, 11 (8):1129 - 1132, 2011.
- [9]. Zeliade Systems. Quasi-explicit calibration of Gatheral's SVI model. Zeliade White Papers, 2009.
- [10].Leursen, M.A., Le Riche, R. Globalized Nelder-Mead method for engineering optimization. Computers & Structures, 82(23-26):2251 - 2260, 2004.

分析师申明

每位负责撰写本研究报告全部或部分内容的研究分析师在此作以下声明：

分析师在本报告中对所提及的证券或发行人发表的任何建议和观点均准确地反映了其个人对该证券或发行人的看法和判断；分析师薪酬的任何组成部分无论是在过去、现在及将来，均与其在本研究报告中所表述的具体建议或观点无任何直接或间接的关系。

投资评级和相关定义

报告发布日后的 12 个月内的公司的涨跌幅相对同期的上证指数/深证成指的涨跌幅为基准；

公司投资评级的量化标准

买入：相对强于市场基准指数收益率 15%以上；

增持：相对强于市场基准指数收益率 5%～15%；

中性：相对于市场基准指数收益率在-5%～+5%之间波动；

减持：相对弱于市场基准指数收益率在-5%以下。

未评级——由于在报告发出之时该股票不在本公司研究覆盖范围内，分析师基于当时对该股票的研究状况，未给予投资评级相关信息。

暂停评级——根据监管制度及本公司相关规定，研究报告发布之时该投资对象可能与本公司存在潜在的利益冲突情形；亦或是研究报告发布当时该股票的价值和价格分析存在重大不确定性，缺乏足够的研究依据支持分析师给出明确投资评级；分析师在上述情况下暂停对该股票给予投资评级等信息，投资者需要注意在此报告发布之前曾给予该股票的投资评级、盈利预测及目标价格等信息不再有效。

行业投资评级的量化标准：

看好：相对强于市场基准指数收益率 5%以上；

中性：相对于市场基准指数收益率在-5%～+5%之间波动；

看淡：相对于市场基准指数收益率在-5%以下。

未评级：由于在报告发出之时该行业不在本公司研究覆盖范围内，分析师基于当时对该行业的研究状况，未给予投资评级等相关信息。

暂停评级：由于研究报告发布当时该行业的投资价值分析存在重大不确定性，缺乏足够的研究依据支持分析师给出明确行业投资评级；分析师在上述情况下暂停对该行业给予投资评级信息，投资者需要注意在此报告发布之前曾给予该行业的投资评级信息不再有效。

免责声明

本证券研究报告（以下简称“本报告”）由东方证券股份有限公司（以下简称“本公司”）制作及发布。

本报告仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。本报告的全体接收人应当采取必要措施防止本报告被转发给他人。

本报告是基于本公司认为可靠的且目前已公开的信息撰写，本公司力求但不保证该信息的准确性和完整性，客户也不应该认为该信息是准确和完整的。同时，本公司不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的证券研究报告。本公司会适时更新我们的研究，但可能会因某些规定而无法做到。除了一些定期出版的证券研究报告之外，绝大多数证券研究报告是在分析师认为适当的时候不定期地发布。

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，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需求。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况，若有必要应寻求专家意见。本报告所载的资料、工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的邀请或向人作出邀请。

本报告中提及的投资价格和价值以及这些投资带来的收入可能会波动。过去的表现并不代表未来的表现，未来的回报也无法保证，投资者可能会损失本金。外汇汇率波动有可能对某些投资的价值或价格或来自这一投资的收入产生不良影响。那些涉及期货、期权及其它衍生工具的交易，因其包括重大的市场风险，因此并不适合所有投资者。

在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任，投资者自主作出投资决策并自行承担投资风险，任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

本报告主要以电子版形式分发，间或也会辅以印刷品形式分发，所有报告版权均归本公司所有。未经本公司事先书面协议授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容。不得将报告内容作为诉讼、仲裁、传媒所引用之证明或依据，不得用于营利或用于未经允许的其它用途。

经本公司事先书面协议授权刊载或转发的，被授权机构承担相关刊载或者转发责任。不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

提示客户及公众投资者慎重使用未经授权刊载或者转发的本公司证券研究报告，慎重使用公众媒体刊载的证券研究报告。

东方证券研究所

地址：上海市中山南路 318 号东方国际金融广场 26 楼

联系人：王骏飞

电话：021-63325888*1131

传真：021-63326786

网址：www.dfzq.com.cn

Email：wangjunfei@orientsec.com.cn