

上证 50ETF 期权交易策略研究

2015 年项目总结报告

2015/12/18

项目负责人： 石玉峰 教授

项目组成员： 王 鑫 滕 斌 鞠全永 张银龙 曹 晶
刘建桥 靳 岳 徐甜甜 王宠儿 刘存栋

山东大学金融研究院
风险管理与量化投资研究所

目 录

| | |
|------------------------------------|----|
| 一、项目背景 | 2 |
| 1.1 期权市场发展状况 | 2 |
| 1.2 项目研究方向 | 4 |
| 二、期权策略开发工具箱 | 6 |
| 2.1 期权策略开发工具箱简介 | 6 |
| 2.2 期权策略开发工具箱功能模块 | 8 |
| 2.2.1 数据设置与读取 | 8 |
| 2.2.2 报单执行规则 | 9 |
| 2.2.3 数据更新 | 10 |
| 2.2.4 策略脚本 | 11 |
| 2.2.5 交易记录 | 12 |
| 2.2.6 波动率估计 | 12 |
| 2.2.7 组合策略模版 | 13 |
| 2.2.8 用户函数 | 16 |
| 三、上证 50ETF 期权波动率 | 17 |
| 3.1 参数估计与模型计算方法 | 17 |
| 3.1.1 SABR 模型简介 | 17 |
| 3.1.2 SABR 模型参数估计 | 18 |
| 3.2 实证分析 | 19 |
| 3.2.1 数据选取 | 19 |
| 3.2.2 参数估计 | 20 |
| 四、交易策略研发 | 22 |
| 五、基于随机波动率（SABR）模型的台指选择权波动率研究 | 24 |
| 5.1 研究思路 | 24 |
| 5.2 研究对象和数据选取 | 25 |
| 5.3 实证分析 | 26 |
| 5.3.1 参数 β 估计 | 26 |
| 5.3.2 参数 ν 和 ρ 估计 | 27 |
| 5.3.3 波动率微笑曲线拟合 | 30 |
| 5.3.4 结果分析 | 30 |

| | |
|--|----|
| 六、程序化交易策略智能生成系统 | 31 |
| 6.1 量化投资和程序化交易 | 31 |
| 6.2 程序化交易策略智能生成系统 | 31 |
| 七、期权工具箱更新版本记录 | 34 |
| 附件 1：《基于 SABR 模型的上证 50ETF 期权波动率实证研究》 | 37 |
| 附件 2：《期权策略开发工具箱说明书》 | 37 |
| 附件 3：《程序化交易策略智能生成系统说明书》 | 37 |
| 参考文献 | 38 |

《上证 50ETF 期权交易策略研究》

2015 年项目总结报告

期权的产品特性决定了它是一种功能更加丰富、使用更加灵活的风险管理工具。随着场内期权市场的发展，人们对期权经济功能的认识逐步深化，应用日益广泛深入。作为衍生品的重要组成部分，期权已经成功进入现代金融市场，全球期权交易呈现欣欣向荣的景象。上证 50ETF 期权于 2015 年 2 月 9 日在上海证券交易所上市，这不仅宣告了中国期权时代的到来，也意味着我国已拥有全套主流金融衍生品。发展期权交易市场，不仅可以丰富我国金融投资工具、完善资本市场体系，还可以加快金融市场发展，促进市场经济体制建设。

围绕期权波动率、期权交易策略开发，在本年度中，项目组持续进行上证 50ETF 期权交易策略的研究，基本实现了以下目标：

1. 期权策略工具箱的功能开发和完善；
2. 期权策略工具箱功能介绍及编写说明书；
3. 运用工具箱的策略研发；
4. 上证 50ETF 期权波动率研究；
5. 基于随机波动率（SABR）模型的相关研究。

一、项目背景

1.1 期权市场发展状况

事实上，人们对期权的经济功能认识经历了一个过程。1984 年之前，在现代期权诞生地美国，社会各界对期权还没有形成统一认识。期权的发展一直伴随着社会各界的质疑，甚至认为期权市场是投机市场，没有经济功能。在市场发展过程中，期权不断展现出其强大的功能和作用，社会质疑逐渐消失，人们认可程度不断加深。1997 年度的诺贝尔经济学奖授予期权定价研究。经过二十多年的实践，期权定价公式及其在市场中的运用已得到社会广泛认同。正如瑞典皇家科学院所指出的：“他们的方法论（期权定价公式）多年来为经济领域中的估价行为奠定了基础。这个方法论同时创造出了新类型的金融工具，为社会提供了更为有效的风险管理途径。”至此，关于期权市场功能和作用的争执基本结束，各方统一了对期权的认识，从那时至今，即使是在金融危机发生后，也没有再出现过对场内期权发展的争议。

期权和期货作为衍生工具，都有风险管理、资产配置和价格发现等功能。但是相比期货等其他衍生工具，期权在风险管理、风险度量等方面又有其独特的功能和作用。

期权是一种更为精细的风险管理工具，期权合约的内容较期货合约更加丰富，体现的信息更为充分，对风险揭示更为全面，利用期权进行风险管理，相对更为精致和细密，也更加适合投资者个性化风格，满足多样化风险管理的需求。期权不仅能提供简便易行的“保险”功能，还可以使投资者在管理风险时不放弃获得收益的机会，并且期权管理相对简便易行。利用股指期权的“保险”功能，不仅可以实现管理股票组合价格风险的目的，同时还能不放弃整体组合获得收益的可能。正是由于期权这种便利的“保险”功能，使得股票投资者按照其理想的价格买卖股票组合成为可能，从而使其敢于并安心长期持有股票，有利于投资者树立长期投资的理念，改变频繁买卖、波段操作的股市短期行为，降低股票市场的过度波动，对于股票市场长期健康发展有积极意义。

另外，期权能够有效度量和和管理市场波动的风险。金融投资既面临资产价格绝对水平下降的风险（通常称为“方向性风险”），也面临投资过程中资产价格

大幅波动带来的风险（通常称为“波动性风险”）。对于机构投资者特别是共同基金、社保基金、退休基金和保险基金等资产管理人来说，不仅要管理方向性风险，也要管理波动性风险，保持股票投资组合的价值稳定是极为重要的投资目标。经过波动性风险调整后的收益日益成为衡量资产管理效果的最重要标准，控制波动性风险的重要性也日益提高。期权不同到期日、不同执行价格、买权或卖权的不同变量以及具有的杠杆性可以用各种方式组合在一起，包括同标的资产组合在一起，创造出不同的策略，以满足不同交易和投资目的的需要，使得期权成为比期货更为基础的金融衍生工具，是创造金融产品大厦的基础性构件，具有灵活性和可变通性，能激发市场大量的创新，引发交易所、金融机构等进行一系列的市场连锁创新。

期权和期货相互配合，构成完整的场内市场风险管理体系。前述分析表明，期权和期货在风险管理中扮演着不同角色。期权相对于期货具有独特的功能与作用，但并不能由此替代期货，期货、期权两者之间相互配合、密不可分的。无论从发展的历史来看，还是从各国实践来看，期权和期货几乎都是并行产生，两者相互补充，相互促进，是风险管理的两块基石，共同形成了一个完整的场内市场风险管理体系。两者的并存与组合，可使避险者从中取长补短，满足经济实体多样化、复杂化的避险需求。这如同股票市场一样。经济发展的需要和投融资的需求决定了股票市场既要有主板也要有创业板等其他市场。主板市场服务于成熟的大型企业，创业板市场等市场服务于高成长的科技企业和其他创新企业，从而构成完整的股票市场体系。

由于期权价格包含了投资者对未来市场波动的预期，期权市场已成为一些国家宏观决策部门重要的信息来源，是相关机构观察市场信心的“望远镜”。在预期价格波动水平基础上编制出来的波动率指数，也成为政府观察金融市场压力的重要先行指标。许多新兴市场率先发展股指期货市场的根本原因和内在逻辑或许就在于此。作为衍生品市场最重要的产品之一，期权以其特有的功能，为市场主体提供有效平台、以较小的资金量来防范和化解市场风险。

随着中国第一只期权——上证 50ETF 期权的上市，关于期权交易策略的研究迎来重要机遇。对于机构投资者而言，期权在资产配置、风险管理等领域起着重要作用，期权策略的研发具有重要意义。

期权的核心价值在于其丰富的交易策略，然而这也正是期权投资的难点所在，因此研究各类交易策略，针对国内市场提供相应的交易思想，是急需解决的问题。

1.2 项目研究方向

本课题研究主要涉及以下四个方面：

（1） 期权策略开发工具箱

期权策略开发工具箱是由项目组完全自主研发的量化投资策略开发组合套件，支持全市场数据扫描与 Tick 级高精度回测，是进行数据处理、策略开发的综合应用工具。具有数据时间对齐及推送、报单指令与撮合成交规则、市场及策略状态的查询、报单记录、成交记录等功能点。期权策略开发工具箱在数据处理方面具有明显的便利性，在研究过程中已经体现出其优势。

（2） 期权交易策略开发

基于期权工具箱在数据处理方面的优势，将目前已有的策略逻辑完善优化，目前已构建完整的、稳健的策略交易系统。以期权策略开发工具箱为平台，开发期权交易策略，对交易策略进行回测，研究其绩效及风险。通过对各类交易策略的表现对当前期权市场情况进行分析研究，进而对已开发策略进行改进。目前期权交易策略研发以套利对冲策略为主，包含：盒式价差策略、蝶式价差策略、期权凸性套利策略、Gamma 对冲策略等。策略研究以期权工具箱为主要工具，结合波动率估计、期权定价方法。

（3） 期权波动率估计

期权交易的核心问题是定价与波动率估计，其理论基础是 Black-Scholes 期权定价公式。机构投资者或者做市商为了进行有效的风险对冲，需要建立自己的波动率曲面模型，拟合波动率微笑与倾斜的状态。我们研究了金融实务中被广泛应用的随机波动率模型，刻画欧式期权的波动率结构。运用上证 50ETF 期权高频数据进行波动率研究，结合随机波动率（SABR）模型，估计模型参数并模拟波动率微笑曲线。基于随机波动率模型的实证研究对数据质量有较高要求，对于目前国内的新兴期权市场，研究者们通常难以获取全面的期权数据。我们借助 Wind 资讯的量化平台，获取到了完整的上证 50ETF 期权高频分笔交易数据，因此可以对上证 50ETF 期权市场的结构进行深入的研究。

(4) 随机波动率 (SABR) 模型相关研究

人们通常使用 Black-Scholes (或 Black) 模型来解决欧式期权的定价和对冲 (hedge) 问题。从理论上而言, Black-Scholes (或 Black) 模型内的“隐含波动率” σ 是常数。即使在更一般的情况下, 当“隐含波动率”是时间的函数时, 在不同的执行价格下, Black-Scholes (或 Black) 模型的“隐含波动率”都是相等的。但是在市场实务中, 对某一给定的具有相同到期日、相同标的资产、不同执行价格的欧式期权的“隐含波动率”并不相同, 它们呈现出“波动率微笑”现象。SABR 模型全称为随机 $\alpha\beta\rho$ 模型 (Stochastic $\alpha\beta\rho$ Model), 是一个随机波动率模型。该模型具有显示解形式, 这一点使其应用起来有很大优势。我们以期权策略开发工具箱为工具, 选用台指选择权数据, 估计 SABR 模型参数, 拟合波动率微笑曲线, 深入研究和认识随机波动率模型。

二、期权策略开发工具箱

期权交易的核心问题是定价与波动率估计，在与期权有关的研究分析中，往往需要处理大量的数据以及大规模的计算。但是，我们发现从市场上直接获取到的数据往往很难找到一种高效可靠的数据处理方式，这给进一步的研究分析工作带来了巨大的阻碍。基于此，项目组开发期权策略开发工具箱，以数据处理为重要特色，在数据处理方面具有较大优势。本项目的后续研究都是以期权策略开发工具箱为主要工具的。本项目从启动至今，期权策略开发工具箱经历了多个版本，已实现开发了多个功能并逐步完善。

2.1 期权策略开发工具箱简介

期权策略开发工具箱规划中的研发任务包含：序列变量与自定义函数功能的完善，策略回测资金结算模块开发，绩效统计模块嵌入，期权组合策略评价方式的研究，以及服务器版本完善与性能提升。

期权策略开发工具箱是完全自主研发的量化投资策略开发组合套件，支持全市场数据扫描与 Tick 级高精度回测，是进行数据处理、策略开发的综合应用工具。功能点包括：

- 全市场 Tick 级数据封装
- 数据时间对齐及推送
- 报单指令与撮合成交规则
- 市场及策略状态的查询
- 报单记录、成交记录等

期权策略开发工具箱基于 MATLAB 运行环境，策略脚本使用 MATLAB 语言编写。在该体系下完成数据初始化、数据更新、策略回测、波动率估计、报单成交、交易记录等功能。适用于用户进行量化投资策略开发、数据统计研究等工作。程序工作流程图如下：

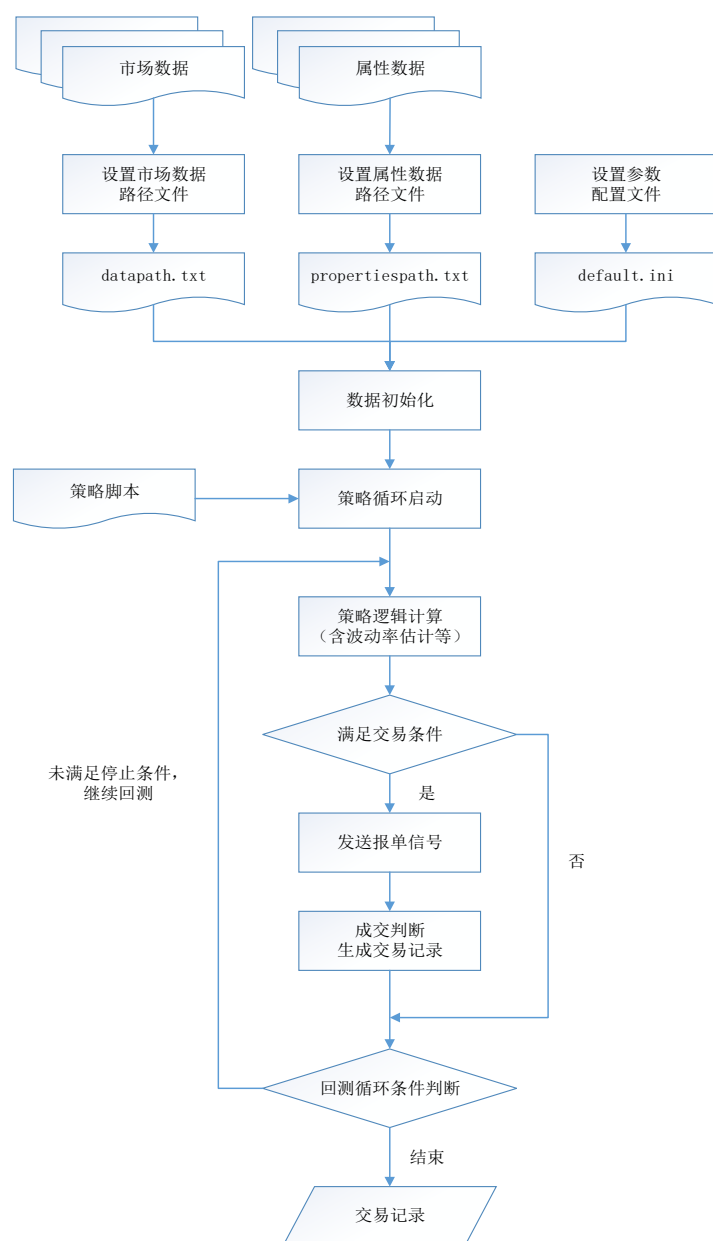


图 2.1 期权策略开发工具箱工作流程图

期权策略开发工具箱具有以下功能特色：

① 多品种数据支持及关联。策略工具箱支持股票、期货、期权、ETF 等多品种数据，且对数据的格式与周期完全不加限制，自动完成数据时间对齐的功能。同时，可以关联期权、期货与其标的资产之间的关系，对套利策略、对冲策略、组合策略的开发提供各种接口。

② 全市场面板数据扫描。通常程序化交易平台仅支持单品种或少数几个品种的策略开发，策略开发的自由度较低。策略工具箱采用了分段面板数据的处理技术，可以支持大规模全市场数据的快速扫描，同时充分降低系统的内存占用和

I/O 开销。这项技术的运用使得工具箱支持用户开发全市场机会发现的策略系统，这尤其适合于期权市场的量化分析策略实现。

③ 高精度 Tick 级回测。策略工具箱相比于传统策略回测系统，具有更高的回测精度，支持 Tick 级分笔数据与不同周期的 K 线数据，并模拟与交易所完全相同的撮合规则进行报单处理，而不采用近似的最新价成交方法，这尤其适合于非活跃的市场交易环境，因此可以尽最大可能实现回测信号的精度，并对可能发生的信号失真情况进行统计，避免回测陷阱。

④ 风险管理与波动率管理模块集成。策略工具箱对期权组合交易进行了重点优化，提供了期权组合策略编写模版，并集成了风险管理、波动率管理模块。风险管理以 alpha, beta, gamma, vega, rho 五个风险参数为基准，波动率方面结合 B-S 模型、SABR 模型等波动率估计标准。

2.2 期权策略开发工具箱功能模块

2.2.1 数据设置与读取

策略工具箱使用数据路径文件来设置回测所需的数据。数据路径文件分为两个：市场数据路径文件 `datapath.txt`，属性数据路路径文件 `propertiespath.txt`。这两个文件中记录了所需使用的数据及其路径，工具箱将在初始化时读取两文件，并按顺序读取其中的数据。

市场数据路径文件 `datapath.txt` 内容为表格，其表头应至少包含五列，分别代表：合约代码(IssueCode)，合约类型(IssueType)，合约标的的代码(IssueUnderlying)，文件编号(No)，文件路径(FilePath)。

| 1 | IssueCode, IssueType, IssueUnderlying, No, FilePath, endl |
|----|--|
| 2 | 10000105. SH, 4, 510050. SH, 1, .\data\Market\Option\10000105. SH\2015-04-13. csv, 0 |
| 3 | 10000105. SH, 4, 510050. SH, 2, .\data\Market\Option\10000105. SH\2015-04-14. csv, 0 |
| 4 | 10000105. SH, 4, 510050. SH, 3, .\data\Market\Option\10000105. SH\2015-04-15. csv, 0 |
| 5 | 10000105. SH, 4, 510050. SH, 4, .\data\Market\Option\10000105. SH\2015-04-16. csv, 0 |
| 6 | 10000105. SH, 4, 510050. SH, 5, .\data\Market\Option\10000105. SH\2015-04-17. csv, 0 |
| 7 | 10000105. SH, 4, 510050. SH, 6, .\data\Market\Option\10000105. SH\2015-04-20. csv, 0 |
| 8 | 10000105. SH, 4, 510050. SH, 7, .\data\Market\Option\10000105. SH\2015-04-21. csv, 0 |
| 9 | 10000105. SH, 4, 510050. SH, 8, .\data\Market\Option\10000105. SH\2015-04-22. csv, 0 |
| 10 | 10000105. SH, 4, 510050. SH, 9, .\data\Market\Option\10000105. SH\2015-04-23. csv, 0 |

图 2.2 市场数据路径文件示例

属性数据路径文件 `propertiespath.txt` 内容也为表格，其表头应至少包含三列，

分别代表：日期(Date)，合约类型(IssueType)，文件路径(FilePath)。

| | |
|---|--|
| 1 | Date, IssueType, FilePath, endl |
| 2 | 20050101, 2, E: \PROJECT\期权回测系统_V1.0.0\2005-01-01.csv, 0 |
| 3 | 20050102, 2, E: \PROJECT\期权回测系统_V1.0.0\2005-01-02.csv, 0 |
| 4 | 20050103, 2, E: \PROJECT\期权回测系统_V1.0.0\2005-01-03.csv, 0 |
| 5 | 20050104, 2, E: \PROJECT\期权回测系统_V1.0.0\2005-01-04.csv, 0 |
| 6 | 20050105, 2, E: \PROJECT\期权回测系统_V1.0.0\2005-01-05.csv, 0 |

图 2.3 属性数据路径文件示例

2.2.2 报单执行规则

策略工具箱中支持以下几种报单执行方式，以交易所成交规则为参考：

① 限价

投资者可设定价格，在买入时成交价格不超过该价格，卖出时成交价格不低于该价格。限价指令当日有效，未成交部分可以撤销。普通限价申报，指按限定的价格或低于限定的价格申报买入期权合约，按限定的价格或高于限定的价格申报卖出期权合约。普通限价申报当日有效，未成交部分可以撤销。见交易规则第（二十六）条。

② 市价剩余转限价

投资者无须设定价格，仅按照当时市场上可执行的最优报价成交（最优价为买一或卖一价）。未成交部分转限价（按成交价格申报）。市价剩余转限价申报，指按市场可执行的最优价格买卖期权合约，未成交部分按本方申报最新成交价格转为普通限价申报；如该申报无成交的，按本方最优报价转为限价申报；如无本方申报的，该申报撤销。见交易规则第（二十七）条。

③ 市价剩余转撤销

投资者无须设定价格，仅按照当时市场上可执行的最优报价成交（最优价为买一或卖一价）。未成交部分自动撤销。市价剩余撤销申报，指按市场可执行的最优价格买卖期权合约，未成交部分自动撤销。见交易规则第（二十八）条。

④ 限价全部成交或撤销

立即全部成交否则自动撤销指令，限价申报（即需设定价格）。全额即时限价申报，指按限定的价格或者优于限定的价格买卖期权合约，所申报的数量如不能立即全部成交则自动全部撤销。见交易规则第（二十九）条。

⑤ 市价全部成交或撤销

立即全部成交否则自动撤销指令，市价申报（即无须设定价格）。全额即时市价申报，指按市场可执行的最优价格买卖期权合约，所申报的数量如不能立即全部成交则自动全部撤销。见交易规则第（三十）条。

⑥ 实时全部成交或撤销（忽略报单量限制）

该指令为理想状况：若 `order.LimitPrice = 0`：立即以 `order.OrderVolume` 按对手价全部成交；若 `order.LimitPrice > 0`：若盘口价满足限价成交条件，立即以 `order.OrderVolume` 按对手价全部成交，否则全部撤销。

⑦ 期权执行

该指令为期权执行指令，按照期权最后结算价成交。

以上指令在配置文件中可设置，包含报单指令与报单状态：

[DEFAULT]

| | |
|--|-----------------|
| <code>ORDER_STATUS_UsrOrder = 1</code> | ；手工报单 |
| <code>ORDER_STATUS_OptionExercise = 100</code> | ；期权合约强制执行 |
| <code>ORDER_STATUS_DataRangeCover = 99</code> | ；数据结束强制平 |
| <code>ORDER_STATUS_UsrWithdraw = 0</code> | ；手动撤单 |
| <code>ORDER_STATUS_AnyPriceWithdraw = -1</code> | ；市价剩余自动撤销 |
| <code>ORDER_STATUS_AllPriceWithdraw = -5</code> | ；市价不能全部成交自动撤销 |
| <code>ORDER_STATUS_Any2LimitPriceWithdraw = -8</code> | ；市价剩余无法转限价自动撤销 |
| <code>ORDER_STATUS_AllLimitPriceWithdraw = -9</code> | ；限价不能全部成交自动撤销 |
| <code>ORDER_STATUS_AnyVolumeWithdraw = -101</code> | ；实时不能全部成交自动撤销 |
| <code>ORDER_STATUS_AutoWithdraw = -81</code> | ；当日收盘自动撤单 |
| <code>ORDER_STATUS_OptionExerciseWithdraw = -82</code> | ；期权执行自动撤销剩余挂单 |
| <code>ORDER_STATUS_WasteOrder = -99</code> | ；废单 |
| <code>ORDER_STATUS_RemainOrder = 98</code> | ；未成交报单 |
| <code>ORDER_TYPE_Exercise = 0</code> | ；期权合约执行 |
| <code>ORDER_TYPE_AnyPrice = 1</code> | ；市价剩余转撤销 |
| <code>ORDER_TYPE_LimitPrice = 2</code> | ；限价 |
| <code>ORDER_TYPE_AllPrice = 5</code> | ；市价全部成交或撤销 |
| <code>ORDER_TYPE_Any2LimitPrice = 8</code> | ；市价剩余转限价 |
| <code>ORDER_TYPE_AllLimitPrice = 9</code> | ；限价全部成交或撤销 |
| <code>ORDER_TYPE_AnyVolume = 101</code> | ；实时全部成交或撤销忽略报单量 |

2.2.3 数据更新

数据更新规则为按 Tick 时间驱动，将内存中所有合约数据按时间顺序排列，并按照此顺序推送数据，当某刻其他合约数据未推送时，保持其上一时刻数据不变，以此来保证每个有数据更新的时刻，可以看到整个截面上的所有数据。

2.2.4 策略脚本

策略脚本按照 MATLAB 语言语法书写，并需要遵循以下格式规则：

```
while sig
    (策略内容...)
    sig = Next();
end
```

其中，**while** 循环表示数据推送，每次循环时时间向前推进一次。策略脚本在循环中重复执行。需要注意的是，**sig = Next()**必须在当次循环结束后执行，如果循环体中出现 **continue** 跳过本次循环，需在 **continue** 之前调用 **sig = Next()**，否则可能发生未知错误。

例如，简单的策略样本如下：

```
num = 1;
while sig
    time = DateTime();
    bars_in_last = BarsSinceLastEntry( '10000131.SH' );
    mp = MarketPosition( '10000131.SH' );
    rnd = rand;
    if mp > 0
        tmp = 1;
    end
    % 多头市价平仓:
    if bars_in_last > 0 && mp > 0 && rnd > 0.999
        fprintf( '[%s]: [10000131.SH]发出市价平仓指令; \n', ...
            datestr( time, 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS.FFF' ) );
        Sell( 101, '10000131.SH', 0, mp );
    end
    rnd = rand;
    mp = MarketPosition( '10000131.SH' );
    % 多头市价开仓:
    if rnd > 0.99
        fprintf( '[%s]: [10000131.SH]发出开仓指令...\n', ...
            datestr( time, 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS.FFF' ) );
        orderID = Buy( 101, num, '10000131.SH', 0, 10, false );
        num = num + 1;
    end
    sig = Next;
end
```

2.2.5 交易记录

策略运行结束，会生成交易记录，交易记录如下图。

| 字段 | IssueCode | Direction | OpenOrderID | OpenOrderTime | OpenTime | OpenLimitPrice | OpenPrice | CloseOrderID | CloseOrderTime |
|----|-------------|-----------|-------------|-----------------------|-----------------|----------------|-----------|--------------|-----------------------|
| 1 | '510050.SH' | 1 | 2 | '2015-06-01 09:32:... | '2015-06-01 ... | 0 | 3.0650 | 6 | '2015-06-03 09:56:... |
| 2 | '510050.SH' | 1 | 2 | '2015-06-01 09:32:... | '2015-06-01 ... | 0 | 3.0650 | 8 | '2015-06-03 11:07:... |
| 3 | '510050.SH' | 1 | 2 | '2015-06-01 09:32:... | '2015-06-01 ... | 0 | 3.0650 | 10 | '2015-06-04 11:29:... |
| 4 | '510050.SH' | 1 | 2 | '2015-06-01 09:32:... | '2015-06-01 ... | 0 | 3.0650 | 11 | '2015-06-04 13:05:... |
| 5 | '510050.SH' | 1 | 2 | '2015-06-01 09:32:... | '2015-06-01 ... | 0 | 3.0650 | 18 | '2015-06-09 09:56:... |
| 6 | '510050.SH' | 1 | 2 | '2015-06-01 09:32:... | '2015-06-01 ... | 0 | 3.0650 | 19 | '2015-06-09 11:04:... |
| 7 | '510050.SH' | 1 | 2 | '2015-06-01 09:32:... | '2015-06-01 ... | 0 | 3.0650 | 20 | '2015-06-10 09:31:... |
| 8 | '510050.SH' | 1 | 2 | '2015-06-01 09:32:... | '2015-06-01 ... | 0 | 3.0650 | 23 | '2015-06-10 14:35:... |
| 9 | '510050.SH' | 1 | 2 | '2015-06-01 09:32:... | '2015-06-01 ... | 0 | 3.0650 | 24 | '2015-06-11 10:02:... |
| 10 | '510050.SH' | 1 | 3 | '2015-06-01 11:07:... | '2015-06-01 ... | 0 | 3.1180 | 24 | '2015-06-11 10:02:... |
| 11 | '510050.SH' | 1 | 3 | '2015-06-01 11:07:... | '2015-06-01 ... | 0 | 3.1180 | 26 | '2015-06-12 10:57:... |
| 12 | '510050.SH' | 1 | 4 | '2015-06-01 13:50:... | '2015-06-01 ... | 0 | 3.1620 | 26 | '2015-06-12 10:57:... |
| 13 | '510050.SH' | 1 | 4 | '2015-06-01 13:50:... | '2015-06-01 ... | 0 | 3.1620 | 29 | '2015-06-15 09:51:... |
| 14 | '510050.SH' | 1 | 5 | '2015-06-02 14:58:... | '2015-06-02 ... | 0 | 3.2110 | 29 | '2015-06-15 09:51:... |
| 15 | '510050.SH' | 1 | 5 | '2015-06-02 14:58:... | '2015-06-02 ... | 0 | 3.2110 | 30 | '2015-06-15 11:01:... |
| 16 | '510050.SH' | 1 | 7 | '2015-06-03 10:31:... | '2015-06-03 ... | 0 | 3.2100 | 30 | '2015-06-15 11:01:... |
| 17 | '510050.SH' | 1 | 7 | '2015-06-03 10:31:... | '2015-06-03 ... | 0 | 3.2100 | 31 | '2015-06-16 09:31:... |

图 2.4 交易记录文件示例

交易记录含有如下字段：

| | | |
|-------------------|------------------------|-------------------|
| Transaction | % struct(n*1) % 【成交记录】 | |
| CombID | % int | % 组合编号 |
| IssueCode | % str | % 合约代码 |
| Direction | % int | % 多空方向（1 多/-1 空） |
| OpenOrderID | % int | % 开仓报单编号 |
| OpenOrderTime | % double | % 开仓委托时间 |
| OpenTime | % double | % 开仓成交时间 |
| OpenLimitPrice | % double | % 开仓委托价格 |
| OpenPrice | % double | % 开仓成交价格 |
| CloseOrderID | % int | % 平仓报单编号 |
| CloseOrderTime | % double | % 平仓委托时间 |
| CloseTime | % double | % 平仓成交时间 |
| CloseLimitPrice | % double | % 平仓委托价格 |
| ClosePrice | % double | % 平仓成交价格 |
| Volume | % int | % 成交数量 |
| OpenMarketVolume | % int | % 开仓成交时刻市场对手方总报单量 |
| CloseMarketVolume | % int | % 平仓成交时刻市场对手方总报单量 |
| CoveredFlag | % bool | % 备兑标志 |

2.2.6 波动率估计

波动率估计是期权交易的核心问题，理论基础为 Black-Scholes 期权定价公式，其解析形式为：

$$V_{call} = e^{-rT_{set}} [fN(d_1) - KN(d_2)],$$

$$V_{put} = e^{-rT_{set}} [KN(-d_2) - fN(-d_1)],$$

$$d_{1,2} = \frac{\log(f/K) \pm \sigma^2 T_{ex} / 2}{\sigma \sqrt{T_{ex}}}.$$

在策略工具箱中，我们编制了 SABR 模型的计算模块，该模型是业界常用的波动率估计模型，对于波动率的动态特征具有较好的刻画。SABR 模型形式为：

$$d\hat{F} = \alpha \hat{F}^\beta dW_1, \quad \hat{F}(0) = f,$$

$$d\alpha = \nu \alpha dW_2, \quad \alpha(0) = \alpha,$$

$$dW_1 dW_2 = \rho dt.$$

波动率估计形式以下图形式展示：

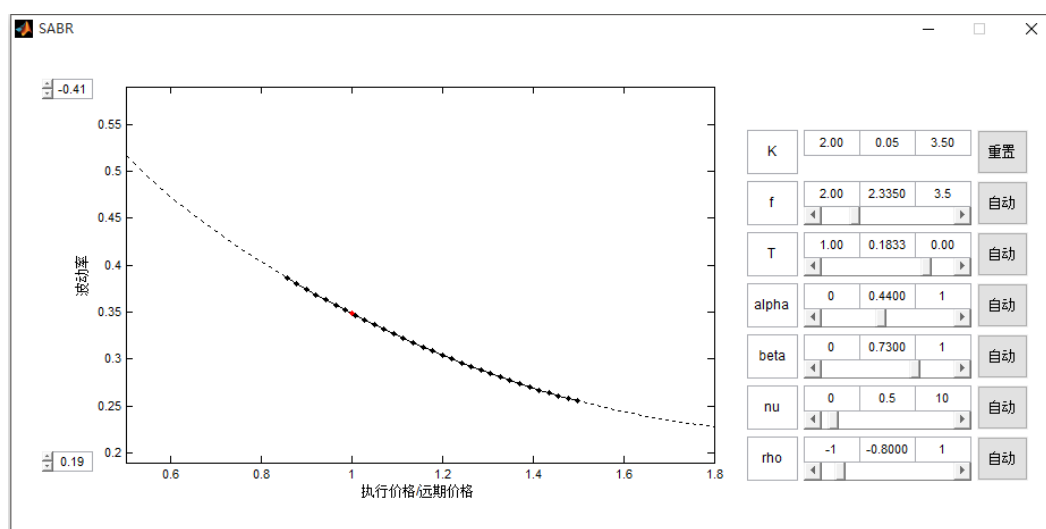


图 2.5 波动率估计形式展示

2.2.7 组合策略模版

策略工具箱给出针对组合策略的编写模版，该模板定义了组合的数据结构（完全在策略层次上定义），并给出组合编号规范，来保证组合下单、查询、平仓的完成。具体模版如下：

% 策略部分字段解释：

% (近似)空头看涨期权保证金/每手 := marginRatio * 标的前收盘价 * 合约单位；

% (近似)空头看跌期权保证金/每手 := marginRatio * 行权价 * 合约单位；

% 手续费/手：

%% 策略参数：

% 策略中不包含常量，如 0.5, 4 等，以参数形式定义，策略所需要参数自由定义，如：

posSize = 1; % 开仓手数；


```

r = 0.02;           % 无风险利率;
fee = 5;            % 手续费/手;
marginRatio = 0.15; % 保证金比例;
stdtrn = 0.5;       % 收益标准;
up = 1.5;           % 收益标准上限比例;
dn = 0.8;           % 收益标准下限比例;
portNum = 3;        % 每个组合合约数量:

%% 策略变量:
% 策略变量在策略中声明也可用, 为保证程序可读性, 策略计算指标在此声明:
% 时间变量:
t = 0;              % 当前日期时间;
d = 0;              % 当前日期;
% 当前可交易合约信息:
contracts = [];
contracts.n = 0;     % 当前可交易合约数量;
contracts.IssueCode = {}; % 当前可交易合约代码;
contracts.IssueID = []; % 当前可交易合约编号;
contracts.PD.ExpireDate = []; % 当前可交易合约到期日;
contracts.PD.ExecPrice = []; % 当前可交易合约执行价格;
contracts.PD.InstrumentType = []; % 当前可交易合约类型[1-C/2-P];
contracts.PD.VolumeMultiple = []; % 当前可交易合约乘数;
contracts.MD.LastPrice = []; % 当前可交易合约最新价;
contracts.MD.BidPrice1 = []; % 当前可交易合约 Bid1;
contracts.MD.AskPrice1 = []; % 当前可交易合约 Ask1;
% 组合信息:
portfolios = [];
portfolios.time = 0; % 组合更新时间;
portfolios.PortID = []; % 组合编号;
portfolios.PortSet = []; % 组合池;
portfolios.PortPostion = []; % 组合持仓情况;

%% 策略开始执行:
while sig
    %% 查询数据:
    % 查询并记录策略所需数据 (各类数据查询函数详见《工具箱使用手册》):
    % 日期时间:
    t = DateTime();
    d = Date();
    % 当前可交易合约代码、合约编号:
    [ contracts.IssueCode, contracts.IssueID ] = IssueCode();
    contracts.n = length(contracts.IssueID);
    % 到期日/执行价格/合约类型/合约乘数:
    contracts.PD = GetPropertyDataFC( { 'ExpireDate', 'ExecPrice', ...
                                         'InstrumentType', 'VolumeMultiple' }, contracts.IssueID );
    % 最新价/Bid1/Ask1/标的前收盘价/标的最新价:
    contracts.MD = GetMarketDataFC( { 'LastPrice', 'BidPrice1', ...
                                       'AskPrice1' }, contracts.IssueID );

    %% 构建组合:
    % 构建组合算法自己定义, 存储形式自己定义;
    % 注意组合更新的条件: 1.组合未构建, 2.日期更新, 3.合约更换等等请详细考虑:
    if contracts.n >= portNum && ( isempty(portfolios.PortID) || ...

```

```

portfolios.time < d + 9.52/24 )
% 组合更新时间:
portfolios.time = t;
% 构造组合池:
% 构建组合的算法 (ConstructPortfolio 为自定义函数):
portfolios.PortSet = ConstructPortfolio(contracts);
% 组合编号, 可自定义:
if ~isempty(portfolios.PortSet)
    portset = sort(portfolios.PortSet);
    portfolios.PortID = portset(1,:)*10^9 + portset(2,:)*10^6 + ...
        portset(3,:)*10^3 + portset(4,:);
end
end

%% 组合数据、状态计算:
% 组合不为空时:
if ~isempty(portfolios.PortSet)
    % 遍历所有组合:
    for i = 1 : size( portfolios.PortSet, 2 )
        %% 计算每个组合, 指标计算:

        % 开仓指标:
        A = rand;
        B = rand;
        C = rand;
        D = rand;
        % 多头开仓指标(指标自己定义)
        condition_OpenL = A > B;
        % 空头开仓指标(指标自己定义)
        condition_OpenS = A < B;

        % 平仓指标:
        % 多头平仓指标(指标自己定义)
        condition_CloseL = A < B;
        % 空头平仓指标(指标自己定义)
        condition_CloseS = C < D;

        % 止盈出场指标:
        % 多头止盈出场指标(指标自己定义)
        condition_LL = A == B && C < D;
        % 空头止盈出场指标(指标自己定义)
        condition_LS = A == B && C > D;

        % 止损出场指标:
        % 多头止损出场指标(指标自己定义)
        condition_SL = A > B;
        % 空头止损出场指标(指标自己定义)
        condition_SS = C < D;

        % 其他指标:
        % 策略开平仓限制条件、查询持仓状态等 (指标自己定义):

        %% 根据指标建仓:
    end
end

```

```

% 买入开仓:
if condition_OpenL % 条件可增减,自定义
    fprintf( '[%s]: 发出买入开仓指令; \n', datestr( t, ...
        'yyyy-mm-dd HH:MM:SS.FFF' ) );
    %Buy();
end

% 卖出开仓:
if condition_OpenS % 条件可增减,自定义
    fprintf( '[%s]: 发出卖出开仓指令; \n', datestr( t, ...
        'yyyy-mm-dd HH:MM:SS.FFF' ) );
    %SellShort();
end

% 买入平仓:
if condition_CloseL % 条件可增减,自定义
    fprintf( '[%s]: 发出买入平仓指令; \n', datestr( t, ...
        'yyyy-mm-dd HH:MM:SS.FFF' ) );
    %BuyToCover();
end

% 卖出平仓:
if condition_CloseS % 条件可增减,自定义
    fprintf( '[%s]: 发出卖出平仓指令; \n', datestr( t, ...
        'yyyy-mm-dd HH:MM:SS.FFF' ) );
    %Sell();
end

% 一个组合计算完毕, 继续计算下一个组合:

    end
end
% 所有组合计算完毕.

%% 策略执行下一步 (请勿修改):
sig = Next();
end

```

2.2.8 用户函数

用户函数是策略开发的所有接口, 包括八大类: 交易函数、状态查询函数、组合状态查询函数、合约查询函数、账户资金函数、时间函数、行情数据查询函数、属性数据查询函数。其函数名与功能列举如下, 具体函数用法可见附件中用户手册。

三、上证 50ETF 期权波动率

上证 50ETF 期权于 2015 年 2 月 9 日在上海证券交易所正式上市交易。期权交易的核心问题是定价与波动率估计，其理论基础是 Black-Scholes 期权定价公式。我们运用上证 50ETF 期权高频数据进行波动率研究，使用业界常用的 SABR 随机波动率模型。修正上证 50 股指期货数据来近似表示 50ETF 的远期价格，估计出 SABR 模型的参数，并利用模型计算波动率曲线。

3.1 参数估计与模型计算方法

3.1.1 SABR 模型简介

SABR 模型全称为随机 $\alpha\beta\rho$ 模型 (Stochastic $\alpha\beta\rho$ Model)，是一个随机波动率模型。考虑 $t=0$ 时刻某资产 A， $\hat{F}(t)$ 为标的资产 A 的远期价格，SABR 模型形式为：

$$d\hat{F} = \alpha\hat{F}^\beta dW_1, \quad \hat{F}(0) = f, \quad (1)$$

$$d\alpha = v\alpha dW_2, \quad \alpha(0) = \alpha, \quad (2)$$

$$dW_1 dW_2 = \rho dt, \quad (3)$$

其中 \hat{F} 与 α 为随机过程， β, v 和 ρ 为常数， $0 \leq \beta \leq 1$ 。

对于以资产 A 为标的的欧式期权，到期日与结算日分别为 T_{ex} 与 T_{set} ，执行价格 K ，SABR 模型下的期权定价公式为：

$$V_{call} = e^{-rT_{set}} [fN(d_1) - KN(d_2)], \quad (4)$$

$$V_{put} = e^{-rT_{set}} [KN(-d_2) - fN(-d_1)], \quad (5)$$

其中

$$d_{1,2} = \frac{\log(f/K) \pm \sigma^2 T_{ex} / 2}{\sigma \sqrt{T_{ex}}}, \quad (6)$$

式中 σ 表示期权的隐含波动率，具有如下的近似解析解形式：

$$\sigma(K, f) = \frac{\alpha \left(1 + \left(\frac{(1-\beta)^2}{24(fK)^{1-\beta}} \alpha^2 + \frac{\rho\beta v}{4(fK)^{(1-\beta)/2}} \alpha + \frac{(2-3\rho^2)v^2}{24} \right) T_{ex} \right)}{(fK)^{(1-\beta)/2} \left(1 + \frac{(1-\beta)^2}{24} \log^2 \frac{f}{K} + \frac{(1-\beta)^4}{1920} \log^4 \frac{f}{K} \right)} \frac{z}{x(z)}, \quad (7)$$

$$z = \frac{v}{\alpha} (fK)^{(1-\beta)/2} \log \frac{f}{K}, \quad (8)$$

$$x(z) = \log \frac{\sqrt{1-2\rho z + z^2} + z - \rho}{1-\rho}, \quad (9)$$

对于平值期权 (At-the-Money, ATM), $K = f$, 波动率计算公式简化为:

$$\sigma_{ATM} = \sigma(f, f) = \frac{\alpha}{f^{1-\beta}} \left(1 + \left(\frac{(1-\beta)^2}{24f^{2-2\beta}} \alpha^2 + \frac{\rho\beta v}{4f^{1-\beta}} \alpha + \frac{(2-3\rho^2)v^2}{24} \right) T_{ex} \right) \quad (10)$$

3. 1. 2SABR 模型参数估计

根据波动率的解析表达式, SABR 模型需要估计 α, β, v, ρ 四个参数。下面简要介绍 SABR 模型的参数估计原理。

(1) 参数 β

对式(10)取对数为:

$$\log \sigma_{ATM} = \log \alpha + (\beta - 1) \log f + \log(1 + (\dots) T_{ex}), \quad (11)$$

Hagan et al. [2002]指出其中剩余项 $(\dots) T_{ex}$ 较小。但是我们通过数据分析发现, 不同时期的数据呈现明显的聚集特征, 且忽略时间相关项后 β 的估计超出模型设定范围, 因此, 我们对式(11)进行如下近似:

$$\log \sigma_{ATM} = \log \alpha + (\beta - 1) \log f + \theta T_{ex}, \quad (12)$$

其中 θ 为常数。

上式可以直接进行回归分析, 获得 β 的最小二乘估计。此处, σ_{ATM} 为平值期权的隐含波动率, 可由公式 (7) - (9) 反解出来。

(2) 参数 α

根据 Graeme West [2005], 式(11)可整理为:

$$\frac{(1-\beta)^2 T_{ex}}{24 f^{2-2\beta}} \alpha^3 + \frac{\rho \beta v T_{ex}}{4 f^{1-\beta}} \alpha^2 + \left(1 + \frac{(2-3\rho^2) v^2 T_{ex}}{24} \right) \alpha - \sigma_{ATM} f^{1-\beta} = 0. \quad (13)$$

该式在给定 (v, ρ) 后，是关于 α 的三次方程，可以直接解出 α 。

(3) 参数 v, ρ

在假设 v, ρ 确定的情况下， α 可通过反解一元三次方程（13）解出，再带入式（7）-（9）可以直接解出不同执行价格的期权的波动率 $\sigma_{MOD}(K)$ ，同时由（4）-（6）可反解出期权隐含波动率 $\sigma_{IMP}(K)$ ，将不同时刻、不同执行价格的数据汇总，可得到模型误差：

$$err = \sum (\sigma_{IMP}(K) - \sigma_{MOD}(K))^2. \quad (14)$$

因此可以优化参数 v, ρ ，使 err 达到最小。需要说明的是，优化目标 err 的形式对于优化结果有决定性影响，在这里也可以采取不同的形式，例如考虑时间加权，对距离当前时刻较远的数据赋予较小的权重，使模型趋向于拟合最新的市场状态。

得到 α, β, v, ρ 的参数估计后，可以绘制出当前时刻的波动率曲线。由于波动率与期权价格的一一对应关系，投资者可以依据隐含波动率相对于波动率曲线的偏差来制定交易策略。

3.2 实证分析

3.2.1 数据选取

由于SABR模型中对于期权波动率的估计，使用的是期权标的的远期价格 f ，我们将采用相应的期货价格作为其标的的远期价格。将修正上证50指数期货数据来代替50ETF期货，主要选取数据如下：

上证50指数(000016)1分钟数据，选取数据区间为：2015-02-16至2015-06-12；

上证50ETF(510050)1分钟数据，选取数据区间为：2015-02-16至2015-06-12；

上证50指数期货(IH1506)1分钟数据，该合约到期日为2015-06-19，选取数

据区间为：2015-05-18 至 2015-06-12；

上证 50ETF 期权 1 分钟数据，选取合约到期日为 2015-06-24 的所有看涨期权，选取数据区间为 2015-05-18 至 2015-06-12。

3.2.2 参数估计

观察 2015-06-03 当日每分钟的隐含波动率情况，可以发现平值、虚值部分较密集，通常这类期权交易量较大，定价较为准确；由于标的市场价格在这段时间内持续走高，图像左侧的期权深度实值，部分数据计算出的隐含波动率失真。

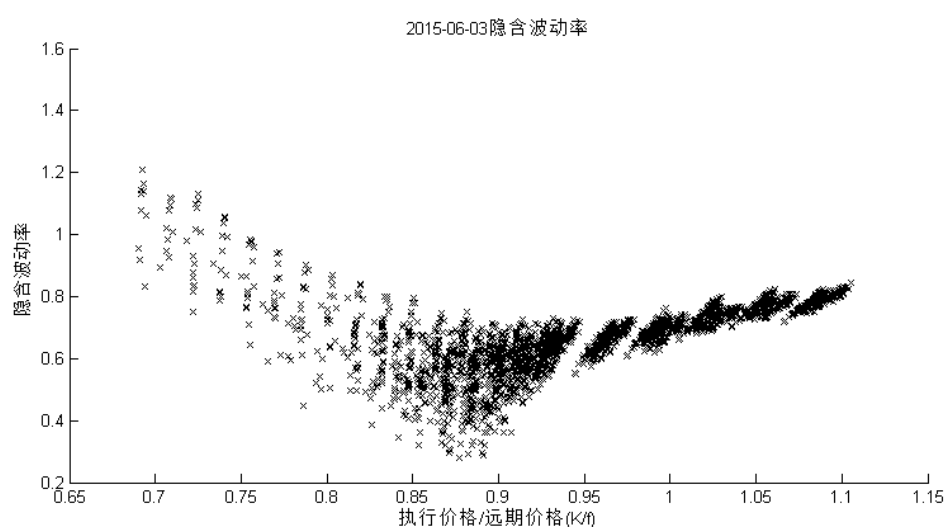


图 3.1 2015-06-03 隐含波动率

限于篇幅，具体的参数估计实证方法此处不再赘述，详细见附录 1《基于 SABR 模型的上证 50ETF 期权波动率实证研究》。

根据当日的参数估计结果，我们可以代入 SABR 模型的波动率解析公式中，求解出模型下的波动率估计，用以验证模型的拟合效果。图中绘制了模型波动率曲线与隐含波动率，通过对比发现 SABR 模型拟合上证 50ETF 期权隐含波动率的效果较好。

下图中绘制了模型波动率曲线与隐含波动率，结果显示 SABR 模型拟合上证 50ETF 期权隐含波动率的效果较好。

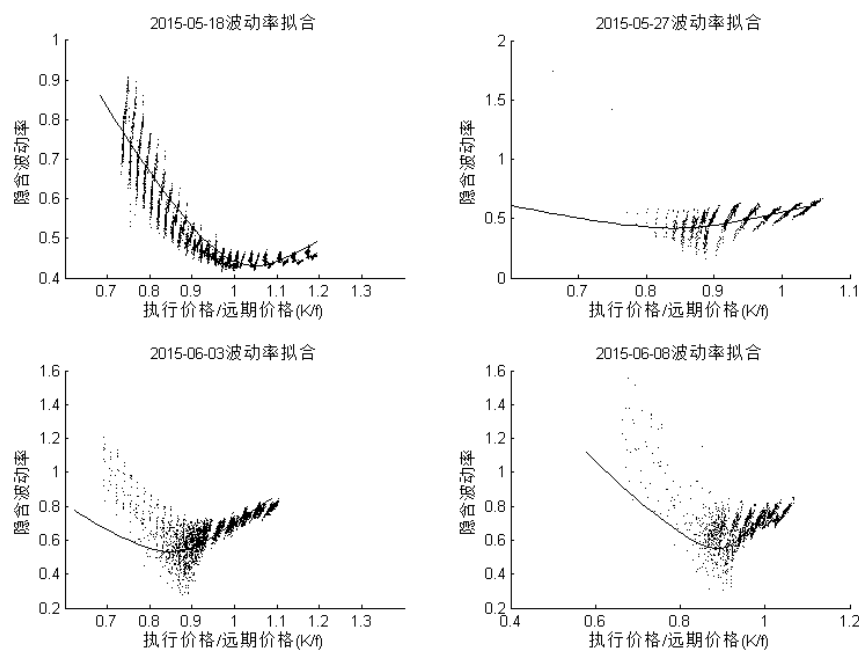


图 3.2 波动率拟合

我们研究了 SABR 模型在上证 50ETF 期权上的应用方法，并实现了比较稳定的参数估计。SABR 模型作为被金融业内广泛应用的模型，适用于中国新兴的期权市场，也证明了上证 50ETF 市场的定价相对合理。另外，怎样在目前的期权市场中正确运用 SABR 模型需要进一步的研究，这包括数据精细化处理，参数估计及调整的方法，以及验证 SABR 模型动态刻画波动率微笑的特点是否与实际市场相吻合等问题。

四、交易策略研发

交易策略方面，我们组织了本科生与研究生参加的期权策略研发实践活动，分为 8 组分别进行策略研发，最终形成三套比较完整的交易策略脚本，分别为：盒式价差策略、期权凸性套利策略、Gamma 对冲策略，其中前两项为无风险套利策略，后一项为 Delta 中性对冲策略。在此以盒式价差策略为例，简述其策略思路：

1.流动性风险的规避：通过从当前时间向前追溯 5 分钟内交易的手数剔除流动性差的期权。

2.构建组合池：

- (1) 按到期日排序并分组 (ssort 函数)；
- (2) 按涨跌再分组 (cpsort 函数)；
- (3) 构建半个盒子 (consthalbox 函数)；
- (4) 构建盒子并输出组合池 (box 函数)。

3.按收益率从高到低对盒子进行排序。

4.开仓和平仓：

- (1) 按收益率从高到低开仓。

(2) 换仓：当手中现金用尽而市场又存在换仓后可取得收益率更高的盒子时，就执行换仓操作。

(3) 平仓：

a.分为完整盒子和残缺盒子 (closejudbox 函数)；

b.完整盒子平仓 (closelong 函数和 closeshort 函数)：收益大于预定收益且收益率大于 m 倍预定收益率或离到期日不足一周。该平仓以盒子为单位。

c.残缺盒子平仓 (closehallong 函数和 closehalshort 函数)：以多头为例，卖出价大于 u 倍的合约买入价 (止盈)，或卖出价小于 d 倍的合约买入价 (止损)，则进行多头平仓。空头同理。该平仓以合约为单位。

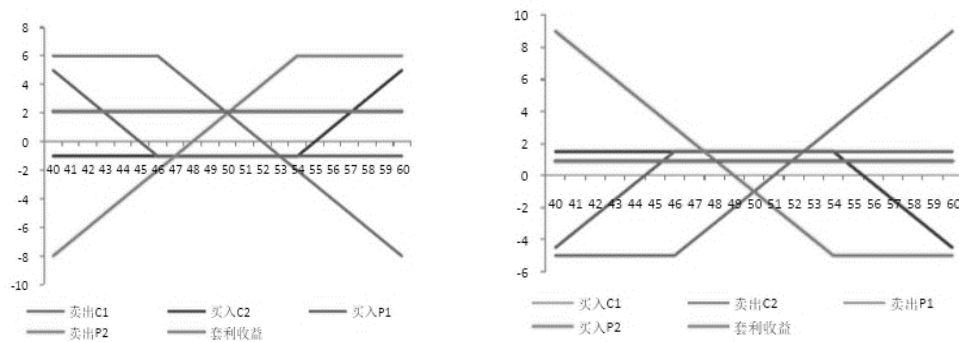


图 4.1 期权盒式价差策略套利理论收益

```

55 % 策略初始化
56 j=0;
57 while sig
58     j=j+1;
59     %% 查询数据:
60     % 查询并记录策略所需数据 (各类数据查询函数详见《工具箱使用手册》):
61     % 日期时间:
62     t = DateTime();
63     d = Date();
64     % 当前可交易合约代码、合约编号:
65     [contracts.IssueCode, contracts.IssueID] = IssueCode();
66     contracts.n = length(contracts.IssueID);
67     % 到期日/执行价格/合约类型/合约乘数:
68     contracts.PD = GetPropertyDataFC( {'ExpireDate', 'ExecPrice', 'InstrumentType', 'VolumeMultiple'}, contracts.IssueID);
69     % 最新价/Bid/Ask/标的前收盘价/标的最新价:
70     contracts.MD = GetMarketDataFC( {'LastPrice', 'BidPrice', 'AskPrice', 'UnderlyingPreClose', 'UnderlyingLast', 'BidVolume', 'AskVolume'});
71
72     %% 构建组合:
73     % 构建组合算法自己定义, 存储形式自己定义;
74     % 注意组合更新的条件: 1. 组合未构建, 2. 日期更新, 3. 合约更换等等, 请详细考虑:
75     % if contracts.n >= portNum && ( isempty(portfolios.PortID) || portfolios.time < d + 9.516667/24)
76     if t > d + 9.516667/24 && isempty(portfolios.price)%d会变化, 这里简单写了
77         % 组合更新时间:
78         portfolios.time = t;
79         % 构建组合池:
80         % 构建组合的算法 (ConstructPortfolio为自定义函数):
81         [portfolios.PortSet, portfolios.PortSetdate] = ConstructPortfolio(contracts);
82         % 组合编号, 可自定义:
83         if isempty(portfolios.PortSet)
84             portset = sort(portfolios.PortSet);
85             portfolios.PortID = portset(1,:)*10^9 + portset(2,:)*10^6 + portset(3,:)*10^3 + portset(4,:);
86             portfolios.Expiredays=(portfolios.PortSetdate-d);
87             portfolios.price=zeros(size(portfolios.PortID));
88         end
89     end
90 end

```

图 4.2 盒式策略脚本示例

五、基于随机波动率（SABR）模型的台指选择权波动率研究

基于 SABR 随机波动率模型的研究，利用市场数据估计参数，并将模型应用于市场，试图寻找并发现可获利机会。

5.1 研究思路

前述已有关于随机波动率模型 SABR 模型的简介。在 SABR 模型中包含四个参数， α ， β ， ν 和 ρ ，我们所做的主要工作就是对参数的估计。

利用期权工具箱进行数据处理，获取交易记录数据文件，其中包含每支期权合约隐含波动率。根据当时期货价格，可以获取在此时刻的平值期权隐含波动率。

由 SABR 模型可以得到下式：

$$\log \sigma_{\text{ATM}} = \log \alpha + (\beta - 1) \log f + \log(1 + (\dots) T_{\text{ex}})$$

此式是关于平值期权隐含波动率和期货价格之间的关系，从实际意义上来讲，波动率可以表示交易者的恐慌程度，此式反应了交易者对期货价格变化的恐慌程度，当期货价格上升时，波动率有所下降。斜率为负， β 的取值范围是(0,1)。如果期货价格和平值期权隐含波动率对数之间是线性关系，可以直接用线性回归估计 β 。事实上，期货价格时间序列数据往往是不平稳的，如果直接估计，可能会产生较大的误差。我们采用这样一种方式：对平值期权隐含波动率对数序列和期货价格对数序列各自差分，得到新的两个数据序列，然后进行回归分析，注意用后一个时间的数据减去前一个时间数据，等号右边得到的是用期货价格表示的对数收益率，而这样的序列往往是平稳序列。

β 表征的是一个趋势项，一般需要较长时间的数据来估计。从实际意义来讲，如果用分钟数据来估计，衡量的是在短时间内交易者对期货价格变化的恐慌程度，而这得到的结果显然不够合理。

α 的估计需要和 ν 和 ρ 同时进行。在得到 β 估计的前提下，假定 ν 和 ρ 的取值，利用市场数据反解由模型推导得到的一元三次方程即可得到 α 的估计值。我们把参数估计的重点放在 ν 和 ρ 的估计上，因为一旦确定了 β ， ν 和 ρ 之后，自然的就能够得到在每一时刻的确定的 α 估计了。

为了得到最好的参数估计结果，需要构造优化目标，如果一组 ν 和 ρ 的估

计，使优化目标最优，那么自然认为这组参数估计是“最好”的。

在得到 β 的估计以及假定 v 和 ρ 后，利用平值期权隐含波动率序列数据及对应的期货价格序列数据，可以得到一个 α 的估计 $\alpha(t)$ （圆括号里的参数 t 为表明 α 与时间相关），那么在这一时刻就可以利用模型，带入参数估计的结果，计算出每支期权合约的隐含波动率 $\sigma_{MOD}(K, t)$ 。同时，可以获得市场上每支期权合约的隐含波动率 $\sigma_{IMP}(K, t)$ ，这是基于布莱克公式的计算结果。

在某一时刻，利用某些期权数据（一般是在平值期权附近的某个范围内），可以做出隐含波动率微笑曲线，我们也只选用这些数据做分析，不必使用所有数据。在任一时刻，实质上是拟合了一条隐含波动率曲线，计算拟合误差，再对时间 t 求和，也就是把不同时间的拟合误差求和获取总误差，这样就拟合了一段时间的隐含波动率曲线。需要注意，对不同时间的误差求和时，考虑到较近数据拟合结果应当对当前有较大影响，所以在求总误差的时候需要有时间加权，赋予不同时刻误差以不同权重，距离当前时间越近，权重越大。

优化目标形式如下：

$$\text{err} = \sum \omega(\sigma_{IMP} - \sigma_{MOD})^2$$

ω 表示时间权重。这里求和是对执行价格和时间求和，即先求某一时刻一条波动率微笑曲线的拟合误差，然后求所有时刻误差之和获取总误差。

在给定 v 和 ρ 按照如上方式可以获得一个 err ，改变 v 和 ρ 可以得到多组的 err ，选取最小的 err ，实质上是选取了波动率微笑拟合“最好”的参数估计。

5.2 研究对象和数据选取

选取台湾期货交易所台指选择权(TXO)作为研究对象，以台股期货(TX)作为标的资产。之所以选择 TXO 做研究是因为 TXO 品种交易相对比较成熟，交易量大，数据代表性强，用 TXO 数据做回测，容易得到较为合理的结果。

TXO 交易时间是营业日上午 8:45~下午 1:45，最后交易日是上午 8:45~下午 1:30。到期月份是自交易月份起连续三个月以及接连的两个季月，最后交易日是合约交割月份的第三个星期三。TX 交易时间是营业日上午 8:45~下午 1:45，最后交易日是上午 8:45~下午 1:30。到期月份是当月下月以及连续的三个季月，最后交易日是交割月份第三个星期三。

根据期货合约存续期,我们可以初步确定在研究过程中选取数据的时间区间,因为在这里期权需要以期货为标的,其数据时间区间应该与期货合约数据区间是完全一致的。另外还需要考虑主力合约的生存周期。所谓主力合约指的是持仓量最大的合约。一般情况下,持仓量最大的合约,其成交量也是最大的。因为它是市场上最活跃的合约,也是最容易成交的合约,所以投机者基本上都在参与这个合约。期货与股票不同的是,期货合约的生存周期是有限的,到合约最后交易日后就要交割。

观察获取到的期货市场数据,可以发现,从上月合约到期日后一天开始到当月合约到期日截止,在此时间段内,当月合约交易量较其他时间明显多很多,这是我们确定某一月份合约主力时间的主要依据。需要注意,一支期货合约在到期前一周左右时间,因为面临到期交割,一般交易量会减少,实际数据也表明了这点,但是减少有限,并不明显,因此我们把这段时间仍然用于当月到期合约的主力时间。

综上,主力合约的存续期大概在一个月左右,从上月合约到期后左右开始到自身到期为止,实际交易日在 20 天左右。考虑到回测过程中数据的使用量不宜偏少,数据量过少会造成回测结果存在较大误差。所以在保证数据合理性的前提之下尽可能保证数据量。

5.3 实证分析

5.3.1 参数 β 估计

选取 2012.01.01-2014.12.31 期间的主力合约日数据来估计 β , 以 3 日为周期, 做回归曲线得到的结果如下图:

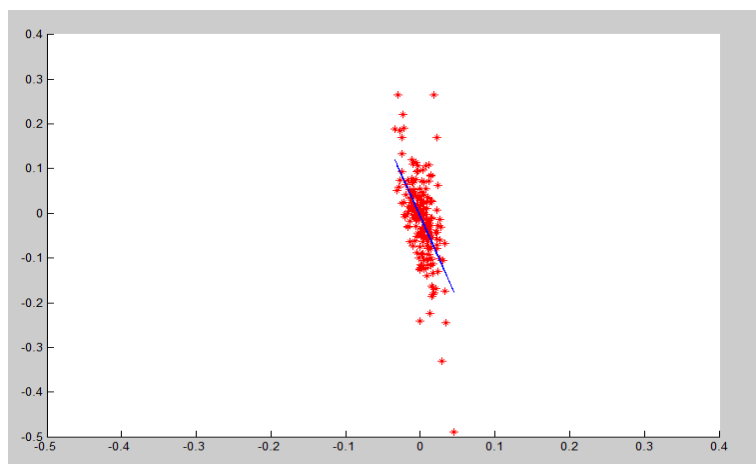


图 5.1 线性回归

从上图可以看出，两组数据序列之间存在明显的线性关系，所得到的回归直线的斜率为 $\beta = -1$ 。但实际上，因为选取的数据区间、数据周期的不同，所得到的估计结果也有很大差别，我们做过很多相关尝试，想得到唯一且稳定可靠的参数 β 估计并不容易实现。

5.3.2 参数 ν 和 ρ 估计

SABR 模型形式为：

$$d\hat{F} = \alpha \hat{F}^\beta dW_1, \quad \hat{F}(0) = f,$$

$$d\alpha = \nu \alpha dW_2, \quad \alpha(0) = \alpha,$$

$$dW_1 dW_2 = \rho dt,$$

注意到第一个式子，当 $\beta = 1$ ， $d\hat{F} = \alpha \hat{F} dW_1$ ，模型为随机对数正态；当 $\beta = 0$ ， $d\hat{F} = \alpha dW_1$ ，模型为随机正态。我们着重研究在 β 等于 1 和 0 的情形下的参数 ν 和 ρ 估计。选取 2015.07.20 到 2015.07.24 之间共 5 天的数据，分别选用 1 分钟数据和 5 分钟数据做参数估计，进行比较。

根据前述估计方法，对 ν 从 0 开始选取每隔 0.05 直到 10 为止，对 ρ 从 -1 开始选取每隔 0.05 直到 1 为止。

(1) 1 分钟数据

I. $\beta = 1$ 时

模型模拟的误差效果图为：

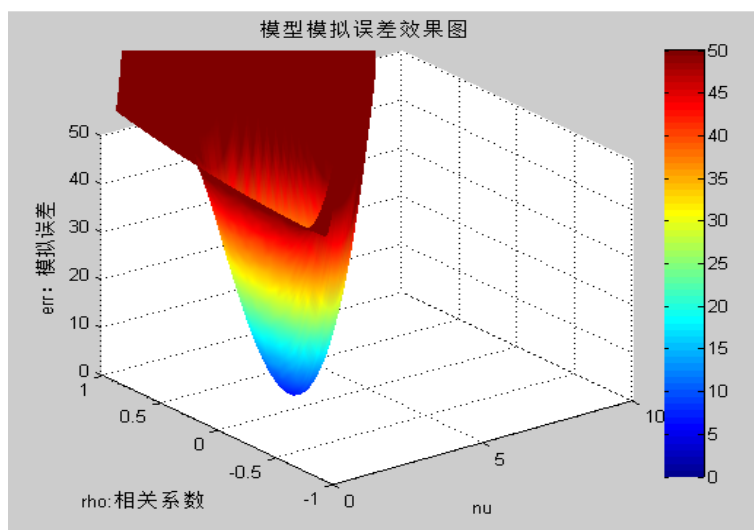


图 5.2 模型模拟误差

所得到的最优估计结果为：

$$\nu = 1.8, \quad \rho = -0.15.$$

此时的最小误差为：

$$\text{Err} = 6.1465.$$

II. $\beta = 0$ 时

模型模拟的误差效果图为：

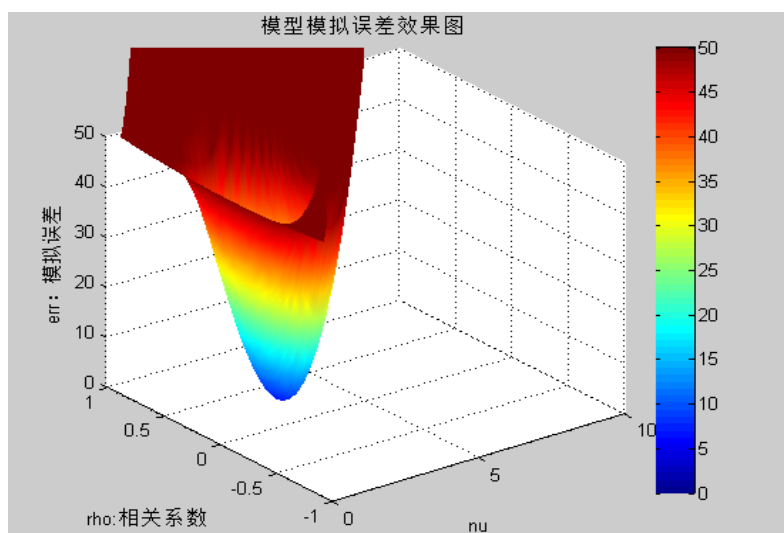


图 5.3 模型模拟误差

所得到的最优估计结果为：

$$\nu = 1.8, \quad \rho = -0.05.$$

此时的最小误差为：

$$\text{Err} = 6.4477.$$

(2) 5 分钟数据

I. $\beta = 1$ 时

模型模拟的误差效果图为：

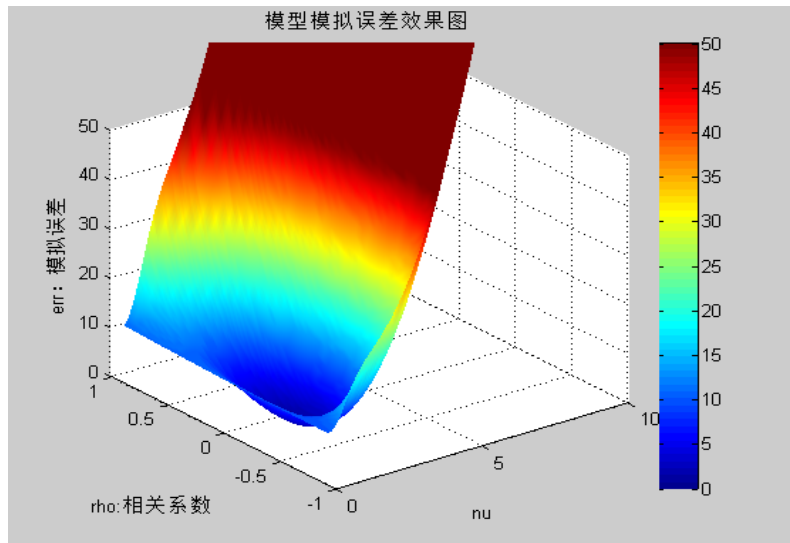


图 5.4 模型模拟误差

所得到的最优估计结果为：

$$\nu = 1.8, \quad \rho = -0.15.$$

此时的最小误差为：

$$\text{Err} = 1.2097.$$

II. $\beta = 0$ 时

模型模拟的误差效果图为：

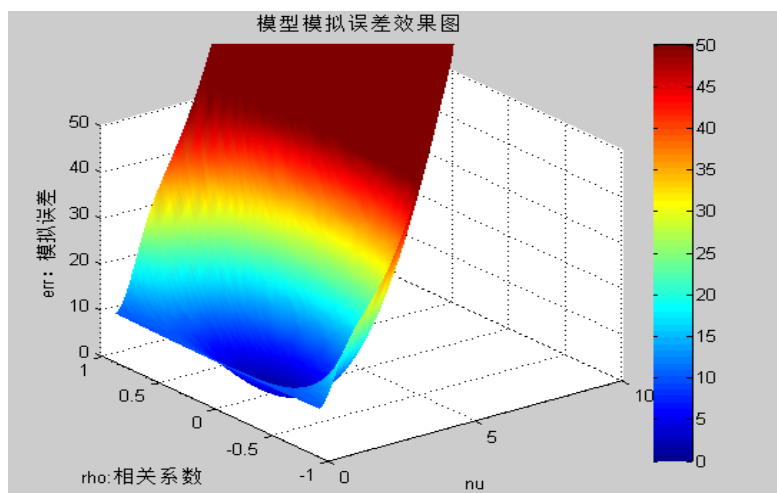


图 5.5 模型模拟误差

所得到的最优估计结果为：

$$\nu = 1.8, \quad \rho = -0.05.$$

此时的最小误差为：

$$\text{Err} = 1.2699.$$

5.3.3 波动率微笑曲线拟合

当得到随机波动率（SABR）模型参数 β ， ν 和 ρ 的估计后，可以将参数估计结果代入模型显示解公式（见 3.1.1 SABR 模型简介式（7）（8）（9））中，可以得到由模型计算出的隐含波动率，进而拟合市场波动率微笑。我们选用 1 分钟数据， $\beta = 1$ 时的最优估计结果，此时选取 $\nu = 1.8$ ， $\rho = -0.15$ ，拟合结果如下：

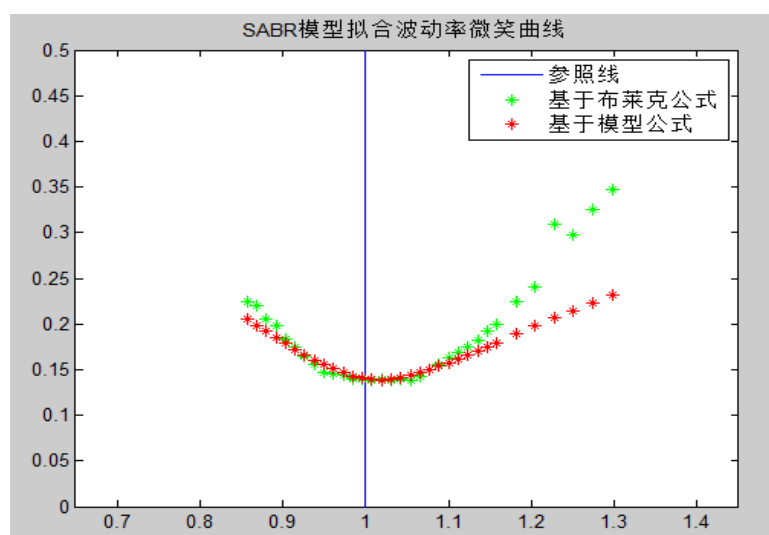


图 5.6 SABR 模型拟合波动率微笑曲线

其中，红色曲线是将参数最优估计结果代入模型公式后得到的波动率微笑曲线，绿色曲线是基于布莱克公式得到波动率微笑曲线。因为在模型参数 ν 和 ρ 估计过程中，并没有使用较高的精度（数据间隔），所得到的拟合结果有一定误差。波动率微笑曲线底部拟合较好，两侧，尤其右侧拟合效果欠佳。

5.3.4 结果分析

从实证分析结果看，利用该时间段期权数据，可以得到稳定的参数 ν 估计，相关系数为负，接近 0，变化不明显。选用 1 分钟数据时，得到的拟合结果较为明显，且 β 值并不影响 ν ，而仅仅影响了相关系数 ρ ，并且拟合误差变化也不大。在改用 5 分钟数据时，相同的 β 下得到的 ν 和 ρ 最优估计结果相同，因为所选用的数据区间一致，仅改变数据周期，得到的最优估计结果不会有明显变化。

六、程序化交易策略智能生成系统

6.1 量化投资和程序化交易

量化投资,是利用现代数学理论、金融数据与信息技术方法来管理投资组合、进行投资决策的一种现代化的证券分析方法。量化投资的本质,是将投资思想通过量化指标、参数设计体现到具体的模型中,让模型对市场进行不带有任何情绪的跟踪。这种跟踪将使得投资的广度和深度都得到很大的拓展。量化方法更多关注“数字”背后的意义,依靠计算机的帮助,分析数据中的统计特征,从而挖掘出其内在的规律,寻求盈利的方法。量化投资策略是主动型投资策略的一种,即其认为市场是非有效或弱势有效的从而试图战胜市场以获得超额收益。同时,量化投资策略因为不受到人类思维的局限,因此其覆盖的范围远大于传统主动型投资策略。伴随着市场复杂度日益提升,以个人主观判断为主的传统投资面临较大挑战。量化投资逐渐被认识和认可,国内市场掀起一股量化产品发行热潮,基金、券商、私募都纷纷推出各自的量化产品。

程序化交易(Program Trading),是指投资者将交易思想与交易规则模型化,构建成量化交易策略,并由计算机执行策略,实现自动判定买卖时机并下单交易的交易方式。程序化交易使得量化投资方式由人工向计算机自动化转变。利用量化投资的理论方法与数据挖掘等技术手段构建的交易模型,可以高效捕捉市场的有效信息,对市场进行不带有任何情绪的跟踪,同时产生稳定的投资收益。

6.2 程序化交易策略智能生成系统

程序化交易策略智能生成系统,是由山东大学金融研究院风险管理与量化投资研究所完全自主研发的,集策略智能生成、策略评估、筛选优化、报表批量生成等功能于一体的综合策略研发平台。

程序化交易策略智能生成系统可以通过较为简便的操作生成交易策略。它是一个独立的 windows 应用程序,所使用的唯一外部数据是市场中你所感兴趣的产品的价格数据。相关的输入设置在一系列的页面窗口中,每一个部分都代表了不同类型的设置,比如“市场数据”,“数据使用区间设置”,“账户设置”和“设

置向导”。在完成了需要的设置后，按“智能生成开始”按钮即可生成策略。在策略生成过程中，已生成策略将会被展示在“策略池”窗口中。用户可通过“策略交易盈亏曲线图”来观察已生成策略的绩效。在“策略观察区”用户可以对挑选出的好的策略进行进一步的观察和优化。

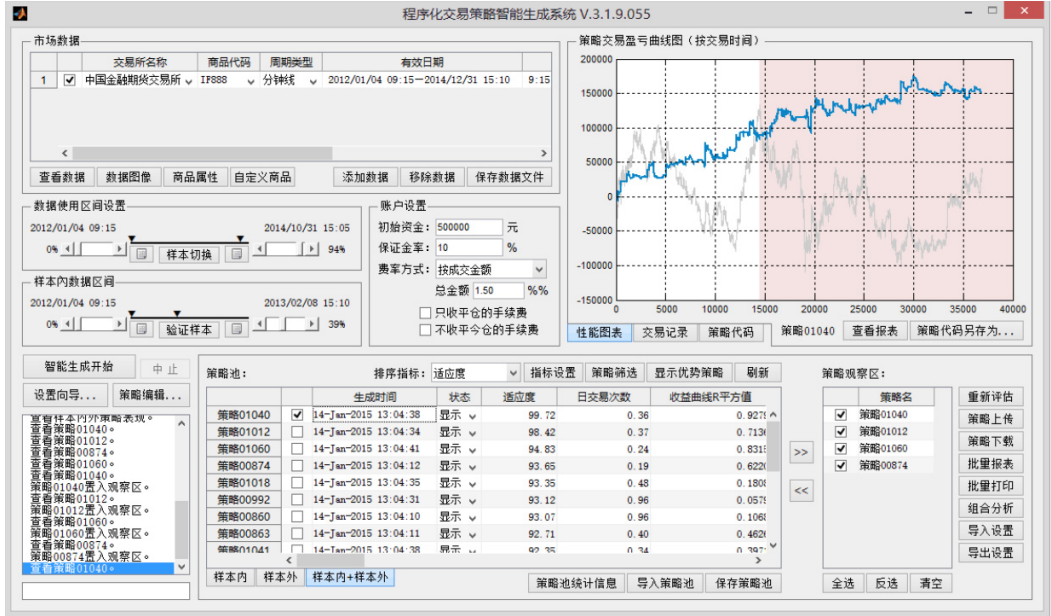


图 6.1 程序化交易策略智能生成系统主界面

概括来说，主要包含以下步骤：

I. 获得价格数据

程序化交易策略智能生成系统可以读取格式为“csv”的价格数据文件，用户可在相关的数据网站下载，也可以在交易开拓者中下载该格式的数据文件。该文件包含的信息有：商品类别、数据周期大小、日期、开盘价、收盘价、最高价、最低价和持仓量等。点击“添加数据”按钮，选择用户所需的数据即可导入。

II. 设置数据区间

数据区间设置包括两个部分：数据使用区间设置和样本内样本外数据区间设置。数据使用区间设置是用户根据自己的需要选择导入数据中所要使用的数据区间。样本内数据是用户生成策略所使用的数据，样本外数据是用户评估策略所使用的数据。样本内数据分为训练样本和验证样本，训练样本用于优化策略，而验证样本用于筛选策略。

III. 设置账户

用户可根据自身需要设置模拟交易的初始资金，保证金率和费率方式，并且

设置是否“只收平仓手续费”以及“不收平今仓手续费”。费率方式包括：按合约数量（元/手）、按合约数量（点/手）以及按成交金额，在总金额处输入用户想要设定的具体数值。

IV. 生成策略

在完成之前的设置之后，用户可以使用程序化交易策略智能生成系统生成策略了。用户可以点击“设置向导”按钮对策略的参数和功能进行设置，以生成符合用户的交易思想的策略组。

V. 评估策略

已生成的策略会显示在策略池中，这些策略会按用户选择的排序指标降序排列。用户可选择“样本内”、“样本外”、“样本内+样本外”作为排序依据。用户可以通过“策略筛选”按钮根据自己的需要设置策略的筛选条件。点击“保存策略池”按钮可以将策略池中的策略保存下来，同样，点击“导入策略池”可以将已存储的策略导入策略池中。

VI. 观察及优化策略

用户可将策略池中所选策略导入策略观察区中。在选好策略之后，可以调整前文所述的参数设置，点击“重新评估”按钮，即可检验这些策略在不同参数甚至不同市场下的绩效。“重新评估”同样可以以所选策略为初始代继续生成策略，从而实现策略的优化。

程序化交易策略智能生成系统在策略生成及绩效评估方面具有强大优势，是集多功能于一体的综合策略研发平台。

七、期权工具箱更新版本记录

期权策略开发工具箱_V. 0. 9. 8. 012. 150723_版本更新说明:

1. 功能提升与改进:
 - I. 增加日数据支持（数据不含日内时间的情况）;
2. BUG 修正:
 - I. 修正仅有一个品种时目标设置的错误;
 - II. 修正未设置属性数据，或某数据未设置属性数据时的错误;

期权策略开发工具箱_V. 0. 9. 7. 011. 150723_版本更新说明:

1. 功能提升与改进:
 - I. 增加不同类型合约的字段，区分证券、期货、期权等;
 - II. 增加期权行权、期货交割及其他强制平仓的处理;
 - III. 增加合约标的字段，并关联合约执行/交割时的数据;
 - IV. 增加策略脚本的输入方法: GetInput;
 - V. 增加策略脚本的输出方法: SetOutput;
 - VI. 增加自定义用户函数;
 - VII. 调整持仓数量记录的逻辑，提高查询效率;
 - VIII. 增加最新价、合约乘数等信息的默认判断;
 - IX. 增加 LatestUpdated 输入输出的向量形式;
 - X. 调整入口逻辑，增加 StartTime, EndTime, Input 输入格式;
 - XI. 增加数据周期变换与数据压缩功能;
 - XII. 更新警告的输出形式;
 - XIII. 增加用户函数 OrderStatus, 报单状态查询并作为报单函数的输出;
 - XIV. 增加用户函数 CoverPortfolio, 按组合编号全部平仓;
 - XV. 增加 K 线开盘价、最高价、最低价、收盘价用户函数;
2. BUG 修正:
 - I. 修正路径设置有误时弹出的警告的问题;
 - II. 修正默认配置文件读取时空格的处理逻辑;
 - III. 修正部分报错的显示;

期权策略开发工具箱_V. 0. 9. 6. 010. 150630_版本更新说明:

1. 功能提升与改进：
 - I. 增加持仓查询函数 Portfolio_PositionSelect;
 - II. 增加当前时刻更新数据合约的记录，及用户函数 LatestUpdated;
 - III. 增加指令类型：实时全部成交或撤销（忽略报单量限制），
用以验证理想状况下的策略绩效；
 - IV. 调整输出：将输出中的时间列格式调整为可读形式；
2. BUG 修正：
 - I. 修正平仓时持仓记录的更新错误；

期权策略开发工具箱_V. 0. 9. 5. 009. 150611_版本更新说明：

1. BUG 修正：
 - I. 修正 Portfolio_PositionState 输出的格式问题；
 - II. 修正 EntryPrice 等函数仅在一个方向持仓时报错的问题；
 - III. 修正定时平仓的逻辑错误；

期权策略开发工具箱_V. 0. 9. 5. 008. 150609_版本更新说明：

1. BUG 修正：
 - I. 修正修正多空头平仓剩余报单类型错误的问题；
 - II. 修正报单价格归档错误；
 - III. 修正所有空头开平仓撮合的 UpdateBarInfo 参数错误；
 - IV. 修正空头平仓限价撮合的价格判断错误；
 - V. 修正 PositionProfit、Portfolio_TotalProfit 数量问题；
 - VI. 修正 Portfolio_PositionState 类型判断错误；
 - VII. 修正手续费双边按合约手数倍数错误；
 - VIII. 修正手续费双边按成交金额成交量错误；
 - IX. 修正数据读取函数输入数值合约编码时的返回错误；
 - X. 修正策略执行时可能发生数据卡住问题；
 - XI. 修正取数据输出可能与第三参数维度不同的问题；
 - XII. 修正 EntryPrice 等函数在未持仓时报错的问题；

期权策略开发工具箱_V. 0. 9. 5. 006. 150529_版本更新说明：

1. 功能提升与改进：

- I. 增加 IssueNum 用户函数；
- II. 增加系统日期、时间转换函数；
- III. 增加下单时的合约数据是否存在的检查；
- IV. 增加快速查询市场数据、属性数据用户函数；

2. BUG 修正：

- I. 修正 CurrentEntries 输入字符型合约名称时的错误；
- II. 修正 Portfolio_TotalProfit 合约名称的调用错误；
- III. 修正获取属性数据指定字段的定位错误；
- IV. 修正 CurrentEntries 计算错误；
- V. 修正输出整体时间序列的错误；
- VI. 修正 MD 下 IssueCode 结构调用的错误；
- VII. 修正 IssueCode 函数为获取当前活跃的合约代码列表；
- VIII. 修正合约因属性数据而被剔除的错误；

期权策略开发工具箱_V. 0. 9. 4. 005. 150515_版本更新说明：

1. 功能提升与改进：

- I. 补全 MD/PD 用户函数；
- II. 补全 SellShort 和 BuyToCover 功能；
- III. 增加用户函数：

LastEntryDate/LastEntryPrice/LastEntryTime/ExitDate/
ExitPrice/ExitTime/EntryDate/EntryPrice/EntryTime；

2. BUG 修正：

- I. 修正初始化事务历史记录中无子结构的问题；

期权策略开发工具箱_V. 0. 9. 4. 004. 150511_版本更新说明：

1. 功能提升与改进：

- I. 增加 BarInfo 结构，记录

CurrentBar/BarsSinceEntry/BarsSinceLastEntry 信息；

- II. 增加用户函数：

MarketPostion/CurrentEntries/PositionProfit/

Commission/Portfolio_CurrentEntries/Portfolio_TotalProfit；

III. 增加 InitMarketData/Next/Buy/Sell/Match 更新 BarInfo 逻辑;

期权策略开发工具箱_V. 0. 9. 4. 003. 150508_版本更新说明:

1. BUG 修正:

- I. 修正读取 ini 配置文件不能删除 tab 空格;
- II. 修正平掉指定合约的全部头寸的输入变量为位置输入;
- III. 修正初始化市场数据数据块在起始时间之前, 不能删除临时变量及初始化指针错位;

期权策略开发工具箱_V. 0. 9. 4. 002. 150506_版本更新说明:

1. 功能提升与改进:

- I. 因为备兑开仓后必须备兑平仓, 去除平仓指令中的备兑记录;

期权策略开发工具箱_V. 0. 9. 4. 001. 150506_版本更新说明:

1. 功能提升与改进:

- I. 增加交易指令类型检查;
- II. 增加备兑平仓记录;

2. BUG 修正:

- I. 修正【9-限价全部成交或撤销】撮合方式的错误;
- II. 修正强制平仓逻辑, 改使用限价单, 按第五档报单价挂单;
- III. 修正删除结构体中对应位置数据时的变量错误;
- IV. 修正初始化市场数据中分离缓存数据的输出对象错误及错误 return;
- V. 修正初始化属性数据中查找起始日期的顺序错误;
- VI. 修正初始化数据中未使用配置参数的错误;

附件 1: 《基于 SABR 模型的上证 50ETF 期权波动率实证研究》

附件 2: 《期权策略开发工具箱说明书》

附件 3: 《程序化交易策略智能生成系统说明书》

参考文献

- [1] Patrick S. Hagan, Deep Kumar, Andrew S. Lesniewski, Diana E. Woodward. Managing Smile Risk[J]. WILMOTT Magazine, 2002.
- [2] G West. Calibration Of The SABR Model In Illiquid Markets[J]. Applied Mathematical Finance, 2005.
- [3] Graeme West. Another Two Algorithms Of Calibration Of The SABR Model In Illiquid Markets[J].2006.
- [4] John C. Hull. Option, Futures, and Other Derivative Securities[M]. Prentice Hall, 1997
- [5] Bartlett B. Hedging under SABR model[J]. Wilmott magazine, 2006.
- [6] Rogers L C G, Veraart L A M. A stochastic volatility alternative to SABR[J]. Journal of Applied Probability, 2008.
- [7] Sepp A. Using SABR model to produce smooth local volatility surfaces[J]. Merrill Lynch, July, 2007.
- [8] Vlaming G. Pricing options with the SABR Model[J]. 2011.