

PDF-PAPER2020027

基于波动率的可转债套利策略研究¹

摘 要

随着我国金融市场的不断发展，各种新式的金融产品不断出现。自进入 2017 年以来，可转债开始大规模发行，可转债市场的发展也进入到一个新的阶段。由于中国的可转债普遍具有股性强的特征，即可转债的价格波动与标的股票的价格波动具有紧密的联系，为套利策略的实施提供了良好的环境。

本文主要研究基于波动率的可转债套利策略，该策略不同于传统的可转债套利策略，不需要其他金融工具的辅助，只在有符合条件的标的出现时，对单只可转债进行交易，因而具有成本更低的特性。又由于套利交易的显著优点是通常具有更低的波动率，令套利者面临的风险更小。

可转债的价值分为纯债价值和转股权价值两方面，纯债价值作为保底价值，对可转债的价格起到支撑的作用，转股权的价值则随着标的股票的价格波动而波动。转股权作为看涨期权的一种，具备期权的特质，而波动率是期权交易的重要指标之一，本文即从转股权波动率的视角，研究可转债的套利策略。当期权的隐含波动率上升到特别高的水平时，其未来一定会回落至理论大小；若期权的隐含波动率下跌到特别深的水平时，其未来一定会回升至理论大小，利用该特性构建了本策略。

在实际操作中计算转债隐含波动率时会出现很多无效值，影响指标构建，因而对波动率数据进行处理。B-S 模型是连接波动率和价值的桥梁，由于计算隐含波动率时需要利用转股权市场价值通过 B-S 模型反推，而这样的反推会导致无效值的出现。为解决该问题，直接将预测波动率正向代入 B-S 模型得到转股权理论价值，将其直接与转股权市场价格对比。

基于以上原理，策略的具体构建过程如下：使用 GARCH (1,1) 模型处理标的股票的历史波动率，得到预测波动率，代入 B-S 模型中得到转股权理论价值。再从可转债的市场价值中减去纯债价值得到转股权的市场价值。又由于市场价值通常存在溢价，为了更好的构建指标，要将溢价部分从市场价值中减去。再对理论价值和剔除溢价后的市场价格的差额进行标准化处理，构建指标。

1 本论文由东北财经大学金融学院的殷小舒撰写，指导教师为熊海芳。

在实际的研究中，选取 2001 年至 2017 年的可转债交易数据作为训练集，计算出买点卖点和溢价情况，再以 2018 年的可转债交易数据作为测试集，判断策略是否合理。通过对 2018 年数据的模拟，验证本策略达到了 24% 的年化收益率，同时有较高的胜率和较低的回撤，相对中证转债指数有更好的表现。从本策略和中证指数的对比上可以发现，本策略能够在行情下降前提前给出卖出信号，从而避免收益的大规模回撤，有较好的抗风险能力，同时在行情见底的时候陆续给出买入信号，从而实现较好的收益。

关键词：可转债；波动率；套利

ABSTRACT

With the continuous development of China's financial market, a variety of new financial products are emerging. Since 2017, convertible bonds have been issued on a large scale, and the development of convertible bond market has entered a new stage. Because the convertible bonds in China generally have strong stock's characteristics, that is, the price fluctuation of convertible bonds is closely related to the price fluctuation of standard stocks, which provides a good environment for the implementation of arbitrage strategy.

This paper mainly studies the volatility-based convertible bond arbitrage strategy, which is different from the traditional convertible bond arbitrage strategy. It does not need the assistance of other financial instruments. It only deals with single convertible bond when the eligible target appears, so it has the characteristics of lower cost. Moreover, the significant advantage of arbitrage trading is that it usually has lower volatility, that is to say, it makes arbitrageurs face less risk.

The value of convertible bond can be divided into two aspects: pure bond value and convertible equity value. As a bottom-guaranteed value, the value of pure bond plays a supporting role in the price of convertible bond, while the value of convertible equity fluctuates with the price fluctuation of the underlying stock. As a kind of call option, convertible equity has the characteristics of option, and volatility is one of the important indicators of option trading. From the perspective of momentum, this paper studies the arbitrage strategy of convertible bonds. When the implied volatility rises to a particularly high level, it will fall back to the theoretical level in the future; if the implied volatility falls to a particularly deep level, it will rise back to the theoretical level in the future. This strategy is constructed by using this characteristic.

In practice, it is found that there will be many invalid values when calculating the implicit volatility of convertible bonds, which will affect the construction of indicators, so the volatility data are processed. Black-Scholes model is a bridge between volatility and value. When calculating implied volatility, we need to use the market value of converted equity to deduce through BS formula, which will lead to the emergence of invalid value. In this case, the forecasted volatility is directly substituted into

Black-Scholes model to obtain the theoretical value of converted equity, which is directly compared with the price of converted equity market.

Based on the above principles, the specific construction process of the strategy is as follows: using GARCH (1, 1) model to deal with the historical volatility of the underlying stock, to get the predicted volatility, and substituting it into BS formula to get the theoretical value of the converted equity. Then the market value of convertible bonds is deducted from the market value of convertible bonds and the market value of convertible equity is obtained. Because market value usually has a premium, in order to better construct indicators, the premium should be subtracted from market value. Then standardize the theoretical value and the difference of market price after eliminating premium, and construct the index.

In the actual study, the data of convertible bond transactions from 2001 to 2017 are selected as training set, and the buying point, selling point and premium are calculated. Then, the data of convertible bond transactions in 2018 are used as test set to judge whether the strategy is reasonable. Through the simulation of 2018 data, it is verified that the strategy achieves an annual return of 24%, and has a higher winning rate and a lower withdrawal rate, which is better than the CSE convertible bond index. From the comparison between this strategy and the stock index, it can be found that this strategy can give the sell signal before the market declines, thus avoiding the large-scale withdrawal of earnings, and has better risk resistance. At the same time, when the market bottoms out, it gives the buy signal one after another, and so achieves better returns.

Key Words: Convertible Bonds, Volatility, Arbitrage

目 录

1 绪论.....	1
1.1 研究的背景及意义.....	1
1.2 文献综述.....	4
1.3 研究内容和研究框架.....	7
1.4 本文的创新及不足.....	8
2 相关概念及理论基础.....	9
2.1 波动率的概念和基本特性.....	9
2.1.1 波动率的基本概念及分类.....	9
2.1.2 波动率的特征及风险溢价特性.....	12
2.2 策略所用模型的基本情况.....	13
2.2.1 Black-Scholes 模型的基本情况.....	13
2.2.2 GARCH (1,1) 模型的基本情况.....	16
3 基于波动率的可转债套利策略的可行性分析.....	18
3.1 波动率的均值回复性构成策略的基本思想.....	18
3.2 转股溢价率对策略可行的支撑.....	20
3.3 套利策略操作的可实现性.....	23
4 基于波动率的可转债套利策略的构建.....	24
4.1 策略构建思路的展示.....	24
4.2 基于波动率的可转债策略的构造.....	25
5 基于波动率的可转债套利策略的评价.....	28
5.1 策略计算过程的展示.....	28
5.2 基于波动率的可转债套利策略回测结果.....	30
5.3 本文研究成果总结.....	33
附录 A 实现策略所用 R 语言程序.....	35
参考文献.....	38
后 记.....	41

1 绪论

1.1 研究的背景及意义

随着我国金融市场不断发展，各种新式金融产品不断涌现，同时具有债性和看涨期权性质的可转换债券开始受到越来越多的关注。

1992 年国内第一只可转换债券由深宝安发行，但最后出现转股失败的情况，导致我国可转债的发展出现了停滞。在 2001 年 4 月，《上市公司发行可转换公司债券实施办法》和《上市公司发行可转换公司债券申请文件》《可转换公司债券募集说明书》、《可转换公司债券上市公告书》的发布，为我国可转债的发展打下基础。

自 2000 年起，每年都有一定数量的可转债发行，从 2016 年起，可转债发行进入到一个新的阶段，每年有近百只的可转债发行。截至 2018 年 12 月 31 日，共有 118 只可转债在交易所挂牌交易，当日成交共 175.49 万手，成交总额达 18.10 亿元，活跃的交易水平为可转债策略的实施提供了基础。下表展示了不同年份可转债的发行只数。

表 1-1 2000 年至 2018 年可转债发行只数

年份	发行只数	年份	发行只数	年份	发行只数
2018 年	104	2012 年	4	2006 年	10
2017 年	121	2011 年	9	2004 年	13
2016 年	73	2010 年	8	2003 年	15
2015 年	24	2009 年	7	2002 年	5
2014 年	15	2008 年	17	2000 年	2
2013 年	10	2007 年	15		

数据来源：根据万得数据库数据整理

可转债市场发展如此迅猛的原因在于，2017 年 2 月，《上市公司非公开发行股票实施细则》的重新修订限制了企业的再融资规模，对企业通过定增市场筹集资金的行为产生了较大影响，根据万得数据可知，实施定向增发的公司同比大幅减少 51.55%，实际募资总额同比减少 26.48%。再融资新政的出台，使得约 5000 亿的再融资需求被挤出定增市场，上市公司将通过其他不受限制的再融资方式募集资金，具体包括可转债、公司债以及优先股。可转债融资相较于其他的再融资方式具有“发行门槛高、收费高”的特性，所以选择发行可转债的公司多是比较规范，风险小的

优质公司，因而在一级市场，投行承销可转债的热情很高。与此同时，监管层也在鼓励股债结合的产品发行。

截至 2018 年 1 月，美国可转债市场存量约 3244 亿元，中国可转债市场的存量为 1198 亿元，约为美国市场存量的三分之一。从市场成熟度来看，美国市场明显比中国市场成熟，交易机制与交易策略更加多元化，转债定价也比国内有效。因而中国的可转债市场还有很大的提升空间。

表 1-2 2018 年 1 月 1 日中美国市场可转债余额 单位：百万美元

	发行额
美国	324418.52
中国	18407.83

数据来源：根据万得数据库整理

相对于普通的公司债券，可转债同时具有债权性、股权性和期权性的特征。债权性，指可转债的持有人在以债券的形式持有可转债的时候可享有从发行公司处获得利息和本金的权力。股权性，指可转债的持有人在行使转换权后，将持有的可转债转换成公司的股票，从而成为公司的股东的权利。但是这种股权性是一种潜在的性质，只有当投资者行使权利完成从债券的股票转换后才会出现。期权性是指，当可转债没有发生转换但具备可转换的条件时，可转债的投资者可以选择在一定时间内按照一定比例将可转债转换为公司股票的权利。

因而通常将可转债的价值分成纯债价值和标的股票看涨期权价值两大部分。纯债价值部分的计算使用现金流贴现的方法确定，这部分通常作为投资者的保底价值。看涨期权部分的价值则取决于标的股票的走势情况：当标的股票的价格小于转股价时，看涨期权处于虚值状态，此时可转债的价格接近纯债的价格，可转债的债性强使得可转债价格的波动同标的股票价格的波动没有实质联系。当标的价格大于可转债的转股价时，看涨期权是实值状态，转债的股性较强，可转债的价格会同标的股票价格同向变动。

转股溢价率代表转债价超过转股价值的程度，即转股溢价率=（转债价格—转股价值）/转股价值，转股溢价率能够衡量可转债股性的强弱情况。转股溢价率越低，正股的上漲幅度就会越充分地传导到可转债上；相反转股溢价率越高，正股越难带动可转债上涨，股性越差。转股溢价率较高，是因为投资者在标的股票表现不佳的时候仍看好该只股票。而当投资者不再持有这种预期时，溢价会不断缩小，转债的价格也会下跌，甚至比股票跌幅更大。一般来说，可转债的转股溢价率都是正的，因为当转股溢价率为负时，会出现“买入转债转股+卖出正股”的套利机会，这样的套利机会在发生时会被迅速发现和填平，从而使得转股溢价率恢复为正。

Barlacu (2000) 应用 B-S 期权定价模型, 以可转债对基础股票价格变化的敏感性指标 Delta 作为权益价值指标。Delta 指标同时考虑了包括到期时间、无风险收益率, 股利率以及普通股波动率等对债性和股性特征的影响。Delta 越高, 则可转债对基本股票的价格变化越敏感, 其包含的股性成分越高。而 Delta 越低, 则其债性成分越大。由 Delta 指标可以衍生出 N(d) 指标, 即 d 值标准正态分布的累计分布概率。N(d) 指标越接近于 1, 则可转换债券的股性越强, 指标越接近于 0, 则可转换债券的债性越强。

$$\Delta = e^{-\delta T} N(d) = e^{-\delta T} N\left[\frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + (r - \delta + \frac{\sigma^2}{2})T}{\sigma\sqrt{T}}\right]$$

$$d = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + (r - \delta + \frac{\sigma^2}{2})T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (1-1)$$

其中: δ 是可转债公告日前一年上市公司的股利收益率, T 是可转债的期限, S 是可转债公告日前七天的基础股票平均收盘价, X 是可转债的初始转换价格, r 是一年定期存款利率, σ 是标的股票收益率的标准差, $N(\cdot)$ 是标准正态分布的累计分布概率。

通过对 18 年在交易所上市的可转债的 N(d) 值进行计算, 部分结果展示如下。统计可知, 18 年上市的可转债的 N(d) 值的平均值为 0.73, 中位数为 0.70, 标准差为 0.08。由此可知, 我国上市的可转债普遍拥有股性较强的特征。

表 1-3 部分 18 年发行可转债的 N(d) 值

可转债名称	N(d)	可转债名称	N(d)	可转债名称	N(d)	可转债名称	N(d)
玲珑转债	0.64	博世转债	0.71	太阳转债	0.79	东财转债	0.83
蒙电转债	0.63	博尔转债	0.71	天康转债	0.54	道氏转债	0.80
航电转债	0.78	万顺转债	0.67	双环转债	0.66	康泰转债	0.92
无锡转债	0.66	横河转债	0.66	迪龙转债	0.69	星源转债	0.87
泰晶转债	0.76	凯发转债	0.66	江银转债	0.69	曙光转债	0.82
艾华转债	0.78	蓝盾转债	0.72	大族转债	0.76	蓝思转债	0.71
天马转债	0.65	长证转债	0.60	金农转债	0.62	铁汉转债	0.73
新风转债	0.75	敖东转债	0.66	岩土转债	0.62	万信转债	0.88
新泉转债	0.71	湖广转债	0.57	利欧转债	0.60	安井转债	0.83
再升转债	0.66	宁行转债	0.74	赣锋转债	0.77	高能转债	0.70

数据来源: 根据锐思数据库数据整理

目前国际上针对可转债的套利策略可分为三大类: 第一类是与股票组合的套利策略, 包括传统静态套利和 Delta 对冲套利。由于国内市场在卖空股票方面存在较

高的门槛，需要有一定的质押和融资融券的费用，成本较高。第二类是与个股期权组合的套利策略，是在买入可转债的同时，为了对冲风险买入对应标的股票的看跌或卖出看涨期权。对国内来说，个股期权还没有普及开来。第三类是信用套利策略，包括低位买入质地优良但因信用风险价格大幅降低的可转债，和买入可转债后同时买入信用违约互换两种。

通过以上分析可以得到，在国际上适用的套利方法在中国市场上很难进行实践，或是有较高的门槛。而本文所研究的基于波动率的可转债套利策略与上面几种套利策略相比具有以下四个优势：

第一，基于波动率的可转债套利策略属于择时策略，不需要其他投资工具的辅助即可实现针对可转债的套利，这就避免了融资融券的高门槛和个股期权的难获得导致的不可操作性。使得套利的操作更加简便。

第二，基于波动率的可转债套利策略只在有符合条件的标的出现时，对单只可转债进行交易。而使用 Δ 对冲或个股期权等辅助工具通常要付出更高的成本，例如利息费用、期权费。因而本策略的成本更低。

第三、套利交易的关键在于获得合约的价差收益，这种价差交易具有低于一般交易的波动率，使套利者面临更小的风险。

第四、套利交易的风险收益比相较于其他交易更加诱人。套利的每一次交易可能并没有收获特别高的收益，但能做到每一次交易的成功率高。这是因为价差交易的风险有限，相对较低的风险和波动率特性提高了交易的成功率。长期而言，套利有收益稳定、低风险的特点，更适宜大资金的运作。

可转债的投资价值在于其拥有债券保底的低风险特征，所以对于风险回避的投资者来说，可转债是一个非常好的选择。但同时可转债又拥有权益投资的高回报特征，这使得可转债拥有获得主动收益的能力。尤其在市场情况不明确，难以辨别运行方向的情况下，使用基础股票组合同时搭配可转债的策略，能够达到进可攻退可守的投资效果。

由上述分析可知，可转债是一个有着巨大潜力的市场，而基于波动率的可转债投资策略因其操作简便、风险水平低，具有较高的研究意义。

1.2 文献综述

Kazemi 和 Schneeweis (2003) 使用了多种替代模型度量对冲基金经理的表现，他们发现，在使用了多种业绩度量方法后，均证明了那些采用可转债套利策略的对冲基金能够在市场中获取超额收益。King (1986) 针对一个包含了 104 只美国市场可转

换债券的组合进行研究后发现,平均来看这些可转换债券的价格被低估了 4%,存在套利的空间。

黄建兵(2002)通过研究可转债的套利交易,认为中国的可转债市场仍然是一个弱有效市场。郑振龙和林海(2004)使用金融工程的方法对中国可转债进行定价,得出结论:在公司会使用最优策略的前提下,中国的可转债被严重低估,低估比率在 20%到 30%之间。黄冰华和冯芸(2017)对 2010 年至 2014 年中国市场上的可转债进行了统计分析,利用误差率指标证明我国可转债在上市首日存在明显的低估现象,具有套利的空间。因而使用 Delta 对冲的方式挖掘在可转债市场上错误定价的机会,赚取低风险收益。但随着市场不断完善,可转债首日低估的情况已经不常发生。张绍林(2011)根据套利理论的原理,根据我国可转债市场的实际情况,通过计算得出我国可转债市场的确存在套利空间的结论,并在此基础上设计出针对不同情形的可转债套利策略。但该策略要求投资者可以以较低成本、无限量的在市场上进行融券卖出交易,因而在中国市场上不具有较好的实践意义。

由上述文献可知,我国可转债市场上存在可转债市价与理论价值偏离的情况,因而存在套利空间。

Billingsley(1988)对 1977 年到 1983 年之间美国进行债权融资的 189 家公司,进行股权融资的 205 家公司,以及进行可转债融资的 139 家公司进行了对比研究。研究发现,发行可转债的公司其资产负债表的右侧与进行债权融资的公司非常类似,而其他收益以及风险类的指标却与进行股权融资的公司非常类似,体现出兼具债性和股性的双重特点。汪洁(2013)通过对 2000 年 2012 年底所发行的可转换债券计算综合判断指数,证明了我国可转债发行公司近年来发行的可转债越来越倾向于股权型可转债。同时,发行者通过在条款上进行适当的设计,使得投资者能够尽快实现转股。陈玥(2007)通过对山鹰转债的实证研究,证明了我国的上市公司通过向下修正转股价格的行为促进可转债的持有人转股,从而灵活调整公司资本结构的问题。这种向下修正转股价格的行为反过来进一步增强市场上可转债的股性,使得我国市场上的可转债股性偏高。徐加根(2016)证明我国可转债的股性普遍较高,可转债的 Delta 均值为 0.6528,中间值为 0.7796。这主要因为我国可转债发行人普遍把可转债融资作为一种间接的股权融资,从而造成我国可转债的股性普遍较高。苏青(2013)通过研究,证明了可转债的条款设计很大程度上影响了可转债债性、股性的强弱。并且将可转债价格同标的股票价格的变动趋势进行对比,得出结论:当标的股票价格极低时,可转债价格会跌破债底;当股价较低时,可转债债性较强;当股价较高时,可转债股性较强。

上述文献均证明,我国可转债股性较强,可转债价格同对应标的股票的价格波动有较大联系,可以以此作为套利策略研究的切入点。

1973 年, Black 和 Scholes 研究了著名的期权定价公式: Black-Scholes 模型, 一项对期权定价具有深远意义的成果。1977 年, Ingersoll 尝试将 Brennan and Schwartz 期权定价应用在可转换债券定价中, 假定可转换债券价值受单因素变量的影响: 公司市场价值, 在此基础上提出套利理论并推导出了可转换债券的最优解。

在我国, 1998 年, 华夏证券首次尝试运用 Black-Scholes 模型对我国可转换债券的价值进行分析的。张德华和陶融(1999)首次个人利用 Black-Scholes 模型对国内可转换债券定价进行实证分析。赖其男(2005)将信用风险因素考虑进对可转换债券的影响, 利用二叉树得出市场价格被高估的结论。王新哲、周荣喜(2005)将利率加入 B-S 模型, 并将无违约利率的期限结构模型结合起来, 为中国可转换债券的定价的进步和完善起了积极作用。庄新田和周玲春(2006)充分利用了信用风险及利率期限结构, 利用二叉树模型建立了股票价格和利率的双因素模型, 使得对可转换债券定价的结果更准确, 得到的理论价值更接近市场价格。王乐乐, 边保军(2010)在 B-S 模型中加入股票价格和利率, 将信用风险作为定价分析的自变量, 并修改股票价格的运动过程, 得到一个综合性的结论。

通过对我国学者对可转换债券理论的实证研究了解到, B-S 模型适用于可转债的定价, 且可转债的市场价格有被高估的倾向。

权证是基础证券发行人或第三人发行的, 约定持有人在规定的期间内有权按约定价格向发行人购买或出售标的股票的有价证券, 也是看涨期权的一种。权证与可转债的转股权有很多相似处, 关于波动率的权证研究如下。

夏红芳和梁涛(2011)通过处理权证的交易数据, 进行 Wald 检验, 证明了在 5% 的显著性水平之下, 权证的历史波动率比隐含波动率能更多的解释已实现波动率的变化情况, 即历史波动率相对于隐含波动率来讲是更好的未来标的证券波动情况的估计量。故应使用历史波动率计算预测波动率。钱吉夫(2009)通过对权证的隐含波动率和历史波动率与实际市场价格的平均偏误进行研究, 证明了由历史波动率代入 B-S 模型得到的理论价值具有和市场价格一致的运行趋势, 即 B-S 模型得出的理论价格对整个权证存续区间的价格趋势起到了决定性的作用, 但市场价格是普遍要高于理论价格, 有波动率溢价的存在。

基于以上文献可知, 对于权证来说, B-S 模型计算出的隐含波动率更多反映了当下市场上投资者对未来的预估, 而历史波动率反映未来市场价格的理论方向, 是预测波动率的基础。隐含波动率最后会回归历史波动率。由于波动率的研究多以期权或是权证作为研究对象, 几乎没有以可转债作为研究对象。因而本文将关于波动率的研究引入到可转债的转股权上, 并以 B-S 模型作为辅助进行期权的定价。

1.3 研究内容和研究框架

本文的研究内容是基于波动率的可转债投资策略，基于可转债同时具有债性和股性且股性较强的特质，从股性的载体—转股权出发，利用期权的波动率的均值回归等性质，构造策略。构造策略的主要步骤有：1) 筛选股性强的可转债作为样本；2) 计算标的股票的历史波动率，使用 GARCH (1,1) 模型处理历史波动率得到预测波动率，代入 B-S 模型得到转股权的理论价值；3) 使用现金流贴现法得到可转债的纯债价值，从转债市场价格中抛去纯债价格后得到转股权的市场价值；4) 通过统计理论价值和市场价值后得到溢价；5) 计算指标值，根据由训练集得到的两个分位点判断买点和卖点，当出现买点即在第二天以收盘价买入可转债、出现卖点即卖出持有的可转债。最后根据 2018 年的可转债交易数据进行了实证分析，得到了较好的投资结果。本文的研究框架如下：

第一章绪论。概述可转债的选题背景和本策略的研究意义，对于可转债近年来的发行情况以及债性股性的强弱程度进行了归纳和总结。了解国内外关于可转债和期权的相关理论，结合前人对可转债、权证和波动率的实证研究，找到可应用在可转债上的基于波动率的套利策略

第二章相关理论和概念。第一部分重点介绍了期权的波动率，对波动率的分类情况和预测方法进行了详细的介绍，最后选定 GARCH (1,1) 模型预测波动率。除此以外对波动率的特质和溢价情况进行了探讨。第二部分对 B-S 模型性、GARCH 模型进行了简要介绍，为后续策略的构建打下基础

第三章是策略的可行性分析。在初步介绍了基于波动率的可转债套利策略的实施过程后，对策略实施的可行性进行了分析。首先，证明了在可转债的转股权价格上的确存在均值回复的性质，可以构建指标反应目前市场价格的高估和低估程度。接下来针对如何筛选样本以满足策略的要求进行了探讨，最后证明，只有转股溢价率低于 20% 的样本才满足本策略。最后在操作的可实现性上做了介绍。

第四章是策略的具体设计和实施情况。首先利用具体案例展示了转股权的价格对未来转债价格的提示作用，接下来详细介绍了策略的构造过程以及各参数的选用情况。

第五章是策略的评价。以新凤转债、崇达转债为例具体演示了策略是如何操作的并同中证转债指数和其他可转债策略对比，评价本策略的优劣。

1.4 本文的创新及不足

本文的创新点在于：

(1) 国内文章研究的可转债套利策略一般是基于转债和正股之间的套利，或是利用转债条款导致的转债价格波动套利，没有考虑到只通过可转债自身的买卖实现套利。本文基于波动率构建套利指标，只操作可转债无需其他的金融产品，对于金融创新有一定的意义。

(2) 在针对可转债的研究上，针对中国市场上的可转债股性强的特性，把重点放在转股权的价值上。利用波动率在期权交易中的重要意义，使用波动率作为判断可转债买卖信号的重要指标。

(3) 利用机器学习中验证集方法的原理，设置训练集和测试集，模型在训练集中拟合，得到买点卖点，再使用测试集中的数据进行检验，增加买点卖点的可信度。

本文的缺点在于：

(1) 由于可转债市场仍在不断的发展和完善中，目前市场上可用来作为训练集和测试集的数据有限，即样本数量有限。这会影响指标的有效性，对测试的结果会有一定影响。

(2) 由于根据上市年份划分了训练集和测试集，各参数数值的确定会受到影响，如买点卖点的确定、波动率溢价的确定。因为划分训练集和测试集的方式使得观察数据被分成了两组，最终参数的数值取决于哪些观测被包括在训练集里，但并没有兼顾测试集中的数据。

(3) 本策略只考虑了可转债的交易数据，但由于可转债是一种比较复杂的交易工具，在发行时带有多种保护投资者或是发行人的条款，如回售条款。当发行公司基准股票在可转债的一段存续期内始终低于转换价格一定比例，面临要触发回售条款的风险时，发行公司有权修正转换价格，向下修正转换价格。当投资者意料到公司要下修转股价时，市场上会出现套利机会，从而导致可转债的价格会上涨。而本策略完全没有考虑到有关条款给转债价格带来的冲击。

2 相关概念及理论基础

2.1 波动率的概念和基本特性

2.1.1 波动率的基本概念及分类

可转债套利交易是指在对可转债合理估值后，同现在的市场价格相对比，当两者之间的差额达到一定程度时会出现套利机会，利用该套利机会买卖可转债，从而获得套利收益。套利交易的重点在合理估值，对可转债而言由于债底的价值固定，合理估值意味着合理计算转股权的价值。转股权作为一项看涨期权，其定价及相关的特性可依据期权的标准进行。

对于期权交易而言，波动率是期权定价的核心，即期权的价格是对标的资产未来一段时间可能的波动情况的判断，具体表现为一段时间内连续复利收益率的标准差。波动率的计算公式为：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad (2-1)$$

其中 x_i 是对数收益率， \bar{x} 是样本的平均收益率， N 是样本数量。一般使用的波动率都经过了年化处理，即用波动率乘以一个年化因子，年化因子的取值通常是一年实际交易日的数量的开方。

波动率主要有四大类。

(1) 实际波动率。反映了市场实际波动情况，只存在于瞬间。

(2) 历史波动率。用来衡量资产价格历史变动情况的指标，体现资产价格在过去一段特定时期内偏离均值的程度。通常是取一段时期内每日资产收盘价，选择一个合适的窗口长度计算变动百分比的平均值。短频交易者倾向于使用短期历史波动率，中线和长线交易者通常使用长期历史波动率。

(3) 隐含波动率。通常与期权有关，是市场自身对未来波动率的预期值，也是交易员们统一出来的对未来波动率可能情况的看法。隐含波动率反映了投资者对标的资产未来价格变动的预期，高的隐含波动率意味着市场预期资产价格会出现大幅的波动，有可能是向着一个方向，也有可能是剧烈的振荡。隐含波动率的计算通常是将期权的市场价格代入到 Black-Scholes 模型中，在已知行权价格、无风险利率、

到期时间的情况下反推出来。B-S 模型表述如下：

$$C = SN(d_1) - Xe^{-(T-t)}N(d_2)$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + (r - \delta + \frac{\sigma^2}{2})T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (2-2)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{(T-t)}$$

其中：C 表示买入期权的价格、S 表示标的资产的现行市场价格、r 表示无风险利率、 σ 表示标的资产的价格波动率、T 表示期权的到期日、t 表示现在的时间、N(x) 表示标准正态分布变量的累积概率分布函数。

B-S 模型通常应用于期权估值，将无风险利率、标的资产价格、期权到期日、波动率、行权价代入 B-S 模型中，可推出期权的价值。带入的波动率不同，得到的期权价值也有所不同。代入历史波动率通常能够得到期权的理论价格，代入隐含波动率能够得到可转债的市场价格，代入预测波动率得到市场预期下的期权价格。

(4) 预测波动率。由于历史波动率中包含的信息有限，为了更好的反应市场情况，在历史波动率的基础上，通过各种模型和基本面信息，对未来的波动率进行预测。不同的预测方法包含许多主观成分，得出的结果也有所不同。

最简单的预测方法是假设未来 N 天的波动率会和过去 N 天一致，这汇总方法又叫做移动窗口法。但这种预测方法的问题在于，股票价格的大幅波动会在波动率估计量的序列中保留 N 天后突然消失，解决这种问题的标准方法是使用指数加权移动平均模型（EWMA）。该模型具体如下： $\sigma_t^2 = \lambda\sigma_{t-1}^2 + (1-\lambda)\gamma^2$ 。即用最近一期平方收益率与前期方差的加权平均来估计方差。 λ 越小意味着约早期的波动对当前的波动率的影响越小，而越近期的波动率对当前波动率的影响越大， λ 的取值通常为 0.9~0.99。这种方法优点在于简单易用、便于理解。缺点是不够灵敏。如果出现了异常事件，在预测波动率时需要手动剔除；且没有考虑最近的波动率估计量所处的市场环境，忽略了波动率的均值回复性。

广义自回归条件异方差（GARCH）模型族可以解决以上模型存在的部分问题。GARCH 模型与其他模型不同，引入了长期平均方差项，考虑了波动率的均值回复性，如果当前方差处于高位，则预期在短期内方差仍会维持高位，但最终仍会回到正常水平。GARCH (1,1) 的表达式为： $\sigma_t^2 = \lambda V + \alpha\gamma_{t-1}^2 + \beta\sigma_{t-1}^2$ ，其中 V 是长期方差项，且要满足 $\alpha + \gamma + \beta = 1$ 。

另一种方式是通过波动率锥进行预测。波动率锥的作用是阐明不同的交易区间内波动率区间是如何变化的。它表现出波动率的特征，有时也被叫做“波动率的期

限结构”。

通过处理 2016 年至 2018 年上市可转债的标的股票的波动率，计算每只股票波动率的 5 日、10 日、15 日、30 日、60 日移动平均数，统计出其最大值、75%分位数、中位数、25%分位数和最小值，展示在下表中，同时画出相应的折线图。

表 2-1 2016 年至 2018 年可转债标的股票的波动率期限结构

	5 日	10 日	15 日	30 日	60 日
最小值	0.008	0.017	0.0413	0.075	0.1083
75%	0.1617	0.1863	0.1956	0.2122	0.2246
中位数	0.2517	0.2759	0.2877	0.298	0.3065
25%	0.7239	0.5789	0.4175	0.4212	0.4151
最大值	1.6	1.12	0.823	0.6	0.52572

数据来源：经锐思数据库数据整理

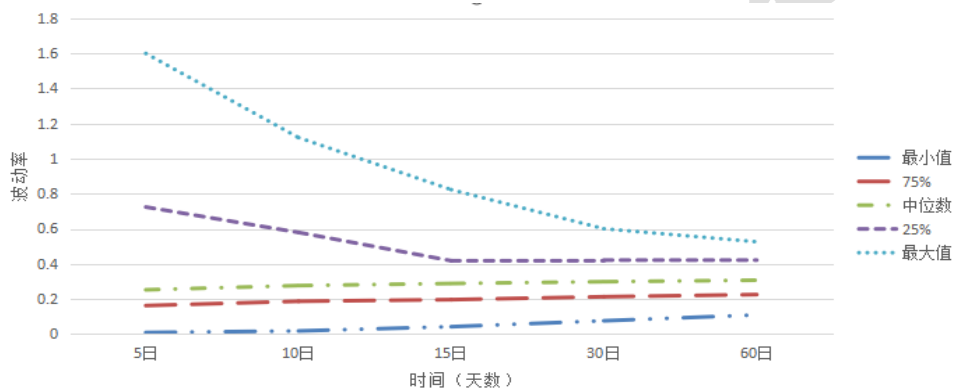


图 2-1 2016 年至 2018 年可转债标的股票波动率锥

数据来源：经锐思数据库数据整理

从图中可以看出，短期波动率的变化幅度比长期波动率大，大的波动率会在更长的时间里被平滑掉。即随着周期变长，波动率趋向于收敛。因此使用波动率锥预测波动率的方法在于，比较隐含波动率和由波动率锥给出的历史波动率的分布。当此时一个月的隐含波动率水平已经达到过去两年中一个月波动率的 95%分位数，那么卖出此时产品能够获得套利收益。

第三种预测波动率的方法是使用基本面信息来预测波动率。上面介绍的两种方法都是从时间序列的角度预测波动率，但是金融产品的价格波动也会以来基本面方面的信息。由于基本面信息发生的频率非常缓慢，因而其更适用于长期的预测，同时也需要投资者承担较长时间的不好表现。

2.1.2 波动率的特征及风险溢价特性

波动率有三个显著的特征：序列相关性、聚集效应和均值回复性。

序列相关性和聚集效应是指，波动率不仅是变化的，而且会按照特定的方式变化，即一种波动的后面会紧跟与其相似的波动，也就是说一个大的波动后面会紧跟一个较大的波动，小的波动后也会紧跟小的波动。聚集则意味着，当前的波动率可以用来估计未来波动率。波动率聚集是金融资产收益率序列中的一个重要特征，是波动率建模和预测的前提和依据。下图是根据中国股市 1997 年 1 月至 2012 年 10 月的交易数据绘制出的波动率图表，可以看到，无论是市场波动率还是行业波动率、公司波动率都呈现出明显的聚集效应。

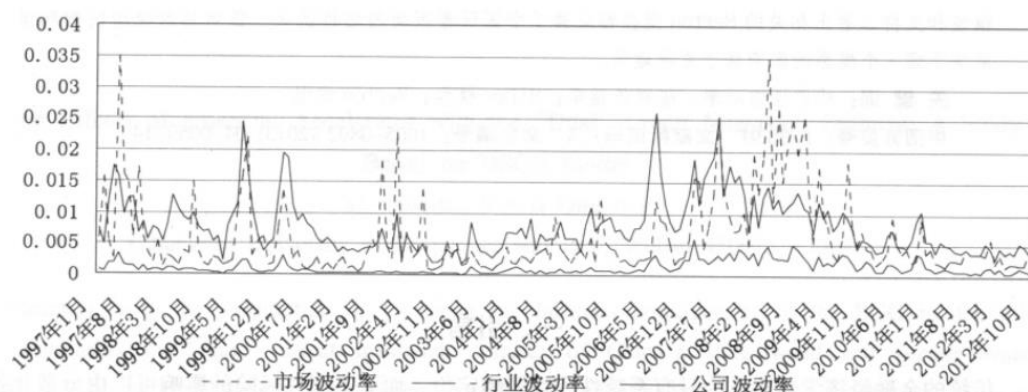


图 2-2 中国股市波动率示意图

资料来源:中国股票市场的波动率聚集性研究, 吴鑫育, 2018 年 7 月

波动率的另一个特征是均值回复性，随着正的自相关性最终衰减，短期波动率会向长期均值回复。一种对均值回复进行稳定性检验的方法是 Campbell、Lo 和 MacKinlay 提出的方差比检验。当用日收益率数据来度量的波动率比用其他更长周期的收益率来度量的波动率更大时，就存在均值回复。这是因为市场虽然在不停地波动，但在长期却不会有太大的变化。

波动率风险溢价在期权定价、风险管理等方面都具有重要的价值。在对波动率进行预测的时候，会出现隐含波动率会等于或显著大于预测波动率的现象。其原因在于有些完全合理的事情虽然从未发生过，但将来可能会发生，如果我们使用历史波动率去预测，那么这些因素就没有被考虑进去。且可转债作为一种低风险的投资品种，更受风险厌恶型投资者的青睐，对于风险厌恶的投资真来说，其承担的风险往往需要更多的补偿。

也有很多学者针对波动率溢价情况进行了研究。周海林、吴鑫育（2013）基于 S&P500 与 VIX 指数联合数据，采用 EIS—ML 方法对 GARCH 扩散模型的客观与风

险中性测度进行了联合估计，证明隐含波动率的风险溢价是可以进行推断的，且 S&P500 指数的波动率风险溢价小于零，市场波动率风险具有负的定价。

樊嵘（2018）基于上证 50ETF 期权和 VIX 指数研究期权的波动率风险溢价，采用了广义矩估计（GMM）和广义经验似然估计（GEL）两种方法从实证结果的整体情况来看，当波动率作为一个随机变量出现时，波动率风险便成为了一个二阶风险源，由期权价格反推出来的隐含波动率是在理想情况即风险中性世界中的一个波动率的估计值，历史波动率是实际的历史数据所计算出来的波动率，他们之间的差异可以用波动率风险溢价加以解释。作为基础数据的 50ETF 期权存在波动率风险并且波动率风险溢价为负。陆书芳（2013）以上证综指作为对象，采用 TGARCH（1，1）-M 模型来分析股票溢价和股票市场波动率的相关性，最后得出结论，上证指数的风险溢价参数大于 0，说明存在正的风险溢价，波动较大的时候股票的溢价也高，这也证实了高风险高收益的思想。

2.2 策略所用模型的基本情况

2.2.1 Black-Scholes 模型的基本情况

在实现波动率和期权价值之间的转换时，Black-Scholes 模型是一个重要的工具。

在 1973 年以前，期权估值没有统一理论定价的公式，求解繁琐且费时。直到 1973 年 B-S 模型的产生，因为其实用性且操作简单，被 CBOE 里的交易者认为是最好的期权定价模型后广泛推广，成为金融市场上使用最多的模型。B-S 模型能够捕捉可转换债券转股权价值变化的趋势，反应可转换债券的价值变动。B-S 模型的具体表现形式为：

$$\begin{aligned} C &= SN(d_1) - Xe^{-(T-t)}N(d_2) \\ d_1 &= \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + (r - \delta + \frac{\sigma^2}{2})T}{\sigma\sqrt{T}} \\ d_2 &= d_1 - \sigma\sqrt{(T-t)} \end{aligned} \quad (2-3)$$

其中：C 表示买入期权的价格、S 表示标的资产的现行市场价格、r 表示无风险利率、 σ 表示标的资产的价格波动率、T 表示期权的到期日、X 表示执行价格、t 表示现在的时间、N(x) 表示标准正态分布变量的累积概率分布函数。

由 B-S 模型我们可以看出影响转股权价值的因素如下：

1) 标的股票现行市场价格 S：对于投资者而言，转股权即意味着一张公司股票

的看涨期权，因而当正股股价上涨时，期权的价格也会上升。

2) 执行价格 X ：也就是转股价，即可转债持有者能够以什么价格兑换对应的标的股票。通常转股价越低，一张可转债所能转换的股票数量越多，那么转股权的价值越高。

3) 持有期 $(T-t)$ ：通常情况下，持有的时间越长，转股权的价值越高。因为持有期越长，期间正股价格可能发生的波动越大，盈利的机会更大。

4) 标的股票股价波动性 σ ：波动性越大，转股权获利的可能性越高，期权的价值越大。

5) 无风险利率 r ：由于 B-S 模型在推导过程中应用到无套利定价原理，并假设投资组合的收益率等于无风险利率，因此引入了无风险利率作为一个变量。无风险利率水平与期权价值成正相关关系。

B-S 模型的假设包括股票价格的运动服从常数为 μ 和 σ 的对数正态分布。对数正态分布和普通的正态分布不同，正态分布被认为是可以用来代表真实世界的价格分布，但是在用来描述股票价格的时候存在不足。股票的价格无论是上涨还是下跌都是有限的，而正态分布允许负值出现的假设与实际情况不符。因而在理论定价时，假设股票价格的实际分布满足对数正态分布。对数正态分布与正态分布很类似，但是在对数正态分布下，资产的价格将不会出现低于 0 的情况。

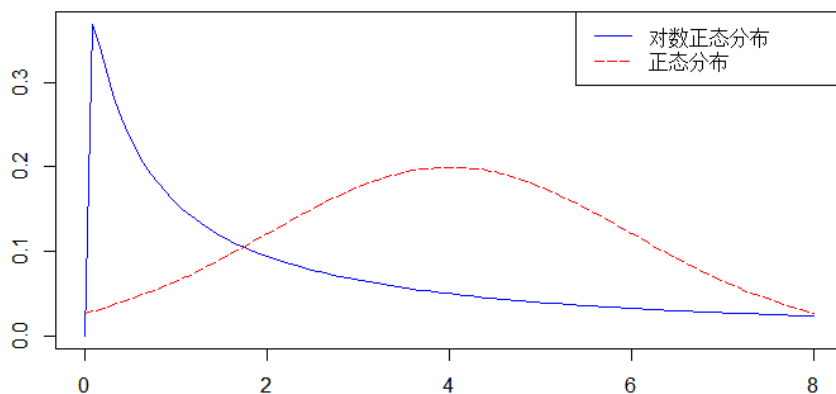


图 2-3 正态分布与对数正态分布的对比图

对数正态分布从短期来看与正态分布很相似，但从长期来看，对数正态分布向上分布的数值更多一些，即对数正态分布中有更大的向上波动的可能，更小的向下波动的可能，即对数正态分布是一个右偏的分布。正态分布和对数正态分布之间可以通过指数变换或对数变换的方法相互转换。

当标的股票价格 S 服从对数正态分布 $N(\mu, \sigma^2 t)$ 时，对标的价格取对数做差

$(R_t = \ln \frac{S_t}{S_{t-1}})$ 后计算出的收益率 R_t 服从正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$ ，且当 σ^2 是常数时，

可以实现用样本估计总体方差。而如果使用简单算术收益率 $(R_t = \frac{S_t}{S_{t-1}} - 1)$ ，不仅

难以确定该收益率的分布情况，也难以确定收益率的方差情况。

B-S 模型是沟通了波动率和期权价值的桥梁。B-S 模型中的五大变量分别是无风险利率、期限、行权价格、市场价格、波动率，在策略执行的一段连续的时间里，无风险利率的波动非常小，行权价格几乎是固定的，期限在以非常均等的速度递减，可能对期权价格产生较大影响的就是标的股票的市场价格和波动率。对于可转债来说，标的股票的市场价格和转股价之间存在着平衡关系，当股票市场价格和转股价之间存在较大偏差时，会通过投资者转股或发行者修改条款等方式缩小股价和转股价之间的差额。因而波动率的变化对转股权价格具有更为重要的影响。波动率与期权价格之间是正相关关系，波动率越大，意味着期权盈利的可能性越大，期权的价格就越高。

由于在实际操作中，隐含波动率在计算时会出现大量的无效值，影响指标的构建。为了解决这一问题，结合以上对于 B-S 模型的分析，决定不再比较波动率而利用转债市场价格去“反推”波动率，而是将波动率正向代入 B-S 模型得到理论价格，从而比较价格。即用从市价中分离出的可转债转股权价值替代隐含波动率；用可转债期权的理论价值替代正股波动率，具体的计算为：将正股的预测波动率带入到 B-S 模型中计算出来可转债期权的理论价格。

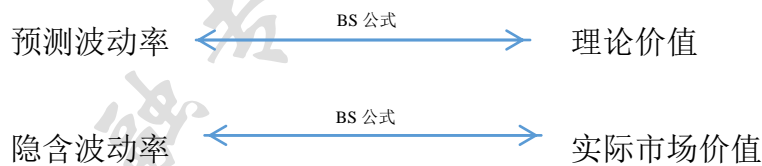


图 2-4 波动率与价值关系示意图

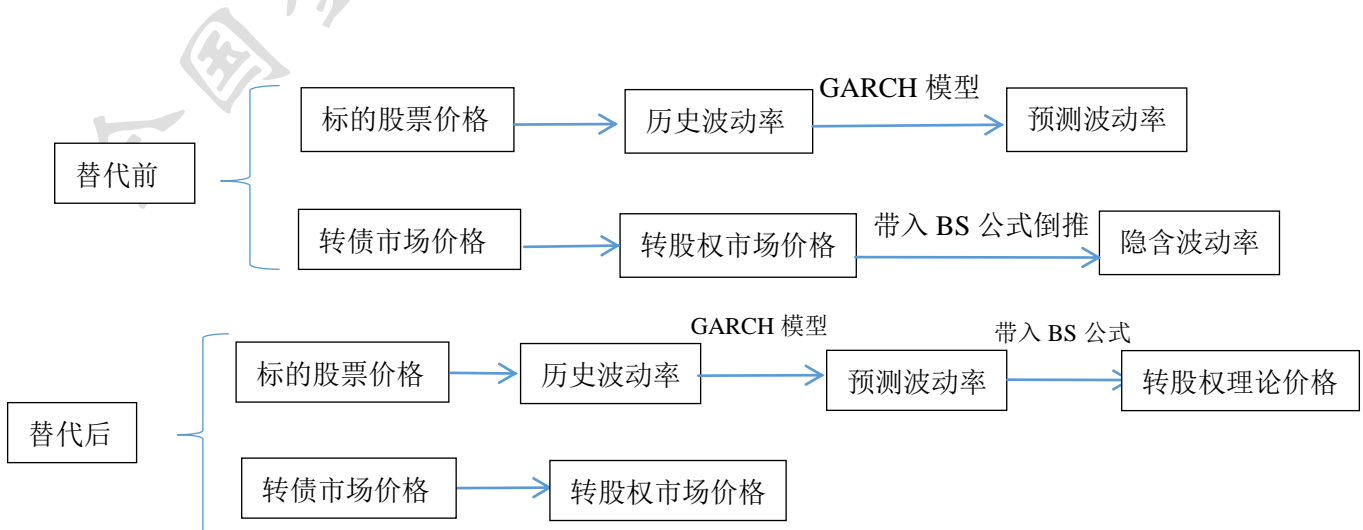


图 2-5 变量替代前后的计算流程图

2.2.2 GARCH (1,1) 模型的基本情况

金融变量的一个重要特点是，虽然无法估计金融序列的收益，但是可以一定程度上预测收益率的方差。所以在金融变量相关的回归估计中，残差序列并不表现出自相关性，但残差的方差却出现明显的持久性。因而，预测波动率相较预测收益率就有更高的可行性。

Engle (1982) 提出了时间序列分析的自回归条件异方差 (ARCH) 模型，被广泛的应用于金融时间序列分析中，其核心思想在于，误差项在时刻 t 的方差与时刻 $(t-1)$ 的误差平方有很大关联。ARCH (p) 模型中最简单的形式是 ARCH (1) 模型，即滞后阶数为 1 的 ARCH 模型，具体表现为：

$$\begin{aligned} y_t &= x_t' \phi + \mu_t, \mu_t \sim N(0, \sigma_t^2) \\ \sigma_t^2 &= \alpha_0 + \alpha_1 \mu_{t-1}^2 \end{aligned} \quad (2-4)$$

其中 y_t 和 x_t 分别表示因变量和自变量， μ_t 表示无序列相关性的随机扰动项。

ARCH 模型能准确地模拟时间序列变量的波动性的变化，在金融工程学的实证研究中应用广泛，使人们能更加准确地把握波动性的情况。由于 ARCH (p) 模型的回归估计中，常常需要很多的滞后期数才能得到较好的拟合效果，这意味着在使用 ARCH (p) 模型时，不可避免的要估计很多参数，使得计算非常繁琐。

在 ARCH (p) 模型的基础上，Bollerslev 提出了广义自回归条件异方差 (GARCH (p, q)) 模型。GARCH 模型是时间序列分析的一种标准工具，尤其在具有波动率聚集性的金融实证中的到广泛的应用。

以 ARCH (1, 1) 为例，在 $\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \mu_{t-1}^2$ 中加入 σ_{t-1}^2 自身的一个滞后项，用以代替很多个 μ_{t-1}^2 的滞后项，这样就得到了 GARCH (1, 1) 模型的表达式：

$$\begin{aligned} y_t &= x_t' \phi + \mu_t, \mu_t \sim N(0, \sigma_t^2) \\ \sigma_t^2 &= \alpha_0 + \alpha_1 \mu_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 \end{aligned} \quad (2-5)$$

GARCH (1, 1) 中的 (1, 1) 表示节数为 1 的 GARCH 项和阶数为 1 的 ARCH 项。

GARCH 模型因其良好的统计特性，常被学术界用来预测未来市场风险，如

Black 和 Scholfs, Christie 等发现 GARCH 模型能够成功预测市场的未来波动。Day 和 Lewis 通过 GARCH 和 EGARCH 模型分别获取条件方差, 之后将隐含波动率作为外生变量加入模型, 检验结果表明隐含波动率比 GARCH 和 EGARCH 模型的条件方差波动率包含更多的有效信息, 更能反映市场的未来波动。

我国的众多学者都曾使用 GARCH 模型对中国股票市场的波动率情况进行预测。郑振龙和黄蕙舟 (2010) 比较了不同时间长度的 GARCH 波动率和隐含波动率的预测能力, 最后得到结论: 在较短的时间区间里 (一周内) GARCH 波动率对未来已实现波动率的解释最多, 包含了最多的信息, 而隐含波动率包含了最少的信息。原因在于, 时间序列模型是根据历史数据建立合适的模型预测未来, 隐含波动率是根据市场提取信息, 反映市场对未来波动率的预期。若未来的市场情况是在重复过去的情形, 则 GARCH 模型预测出来的波动率更加准确。同时也要关注市场上资产的价格是否合理, 交易是否活跃等因素。李亚静、朱宏泉、彭育威 (2003) 使用 GARCH 族模型处理上证综合指数、上证 30 指数和深圳成分指数, 得出结论: GARCH(1, 1) 对收益率未来 5 天、特别是 10 天波动性的预测好于 EGARCH 模型, 与 TGARCH 模型的差异不大。骆桦和王爽 (2016) 对港股期权进行了研究, 证明 GARCH 模型更好的反映历史信息, 适用于短期的波动率预测。屈满学和王鹏飞 (2017) 也使用 GARCH 族模型对我国上证 50 指数的每日收盘数据进行了建模分析。

3 基于波动率的可转债套利策略的可行性分析

本文研究基于波动率的可转债套利策略。因为可转债的价值分为纯债价值和转股权价值两方面，纯债价值是作为底部价值，支撑起可转债的市场价格，转股权的价值则随着标的股票的价格波动而波动，本策略即从转股权价格的波动中寻找买点和卖点进行套利操作。

结合期权的相关知识，以波动率为切入点研究可转债的投资策略。首先计算出标的股票的历史波动率，使用 GARCH (1, 1) 模型处理历史波动率，得到预测波动率。又由于隐含波动率通常存在一定的波动率溢价，根据训练集的数据计算出溢价均值后将其从隐含波动率中减去，将得到的结果同预测波动率进行对比。因为预测波动率是在现有波动的基础上，根据市场的实际情况和以往的时间序列调整后的结果，其反应了波动率应有的水平。隐含波动率是利用市场实际价格从 B-S 模型中倒退出来的结果，反映了市场上实际的波动率水平。预测波动率和减去溢价后的隐含波动率对比，可以看出现在市场的波动率是否被高估。

因为波动率具有均值回复的特性，当隐含波动率高估的程度特别深时，那么其未来一定会回落至均值附近；若隐含波动率低估的程度特别深时，其未来一定会回升至均值附近。在这样的思路下构建了基于波动率的可转债投资策略。

3.1 波动率的均值回复性构成策略的基本思想

金融时间序列通常围绕一个固定的值上下波动，这样的特性被称作是均值回复性。均值回复的具体定义为：股票的价格或波动率等指标发生暂时性的高于或低于均值后，在接下来的一段时间里会大概率地向均值回归。这表明，价格或波动率即使发生波动，也是围绕着“内在价值”的上下波动，不会发生长期偏离均值的现象。

VIX 指数是美国芝加哥期权交易所依据 S&P500 期权隐含波动率加权平均后得到的波动率指数，反映了市场的实时情绪和对走势的预判情况。根据王晓宝、杨永恒对 2003 年 1 月 2 日到 2016 年 9 月 21 日的 VIX 指数进行的实证研究表明，一旦波动率指数偏离均值过远，就会有向均值靠近的走势，具体情况如图 3-1 所示。同时还适用单位根检验和自相关检验，证明这种均值回归特性是真实存在的。

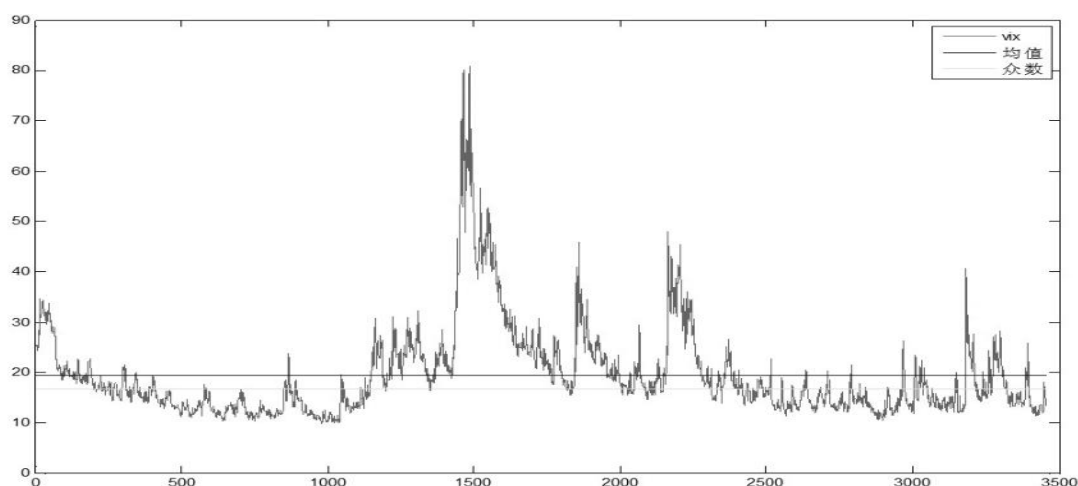


图 3-1 VIX 指数及其均值的关系图

资料来源：王晓宝、杨永恒（浅析波动率的均值回归特性，2017 年 6 月）

将均值回归特性应用在转股权中意味着，转股权的隐含波动率会围绕一个内在价值上下波动，这种内在价值通常以预测波动率的形式体现。又因为在期权的实际交易中，价格和波动率具有紧密的内在联系，期权的价格即为波动率的体现，所以转股权的实际价格会围绕理论价格上下波动，最终回归理论价格。接下来以横河转债（123013）和泰晶转债（11305）为例展示市场价格和理论价格之间的关系。

横河转债于 2018 年 8 月 21 日上市交易，由于初上市时会有一定的溢价，导致转股权市场价值会高于理论价值，随后逐渐回调。在 2018 年 10 月，转债的市场价值跌破债底，导致转股权市价为零，低于理论价格，随后回调至理论价格。

泰晶转债于 2018 年 1 月 2 日上市，上市后市场价格一直高于理论价格，直到 2018 年 5 月末，市场价格不断下行，向理论价格靠拢，随后一直围绕理论价格小幅波动。

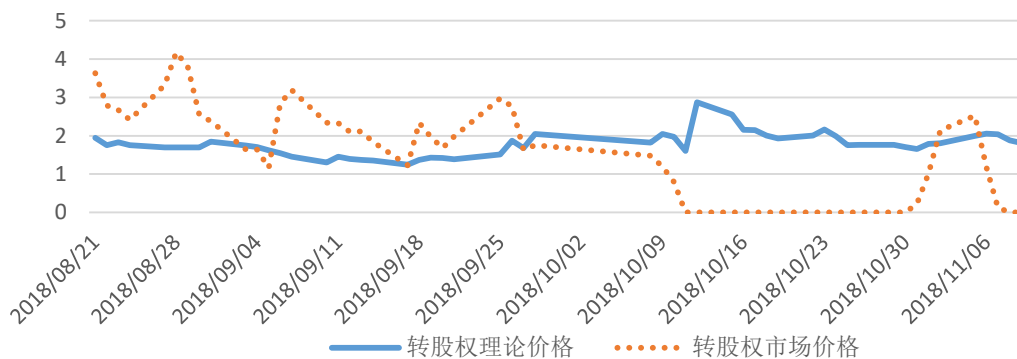


图 3-2 横河转债转股权理论价格和市场价格关系图

数据来源：根据锐思数据库数据整理

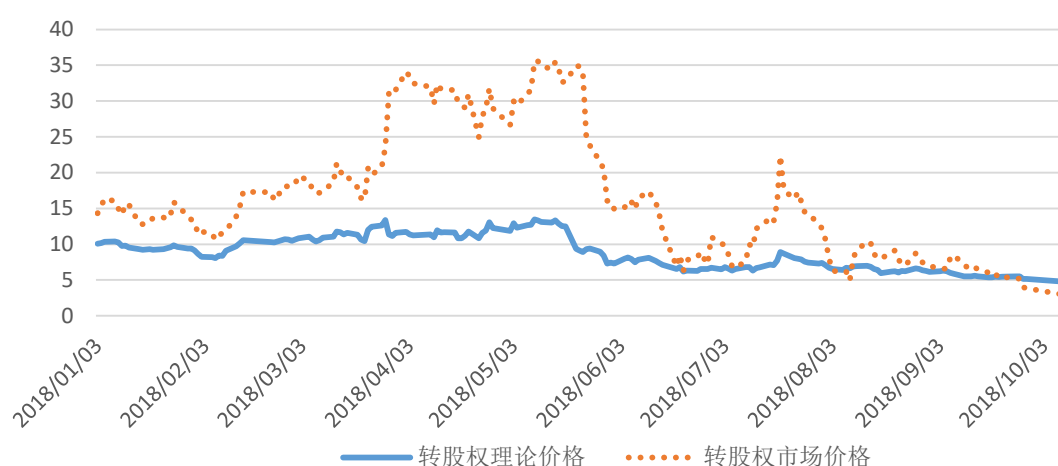


图 3-3 秦晶转债转股权理论价格和市场价格关系图

数据来源：根据锐思数据库数据整理

以上两只转债代表了大部分转债的转股权理论价格和市场价格的关系，即市场价格围绕理论价格上下波动，最终回归理论价格。而这种特性是基于波动率的可转债套利策略指标构建的核心。

3.2 转股溢价率对策略可行的支撑

本策略是基于波动率的可转债套利策略，即利用波动率判断可转债的市场价格是否存在高估或低估现象，从而寻找买卖点。策略实现的关键在于隐含波动率和标的股票的历史波动率代入 B-S 模型后得到的数值能够反映转股权的实际价值和理论价值，因而在对样本进行选择时必须选择标的股票价格和可转债价格在波动上具有高度相关性的可转债，即股性强的可转债。

转股溢价率是衡量可转债股性强弱的重要指标，其表达式为：

$$\text{转股溢价率} = \frac{\text{可转债价格} - \text{转股价值}}{\text{转股价值}} \quad (3-1)$$

通常转股溢价率越低，意味着可转债的股性越强。当转债溢价率为负值时，代表可转债和标的股票之间存在无风险套利空间。

以艾华转债（113504）为例，说明转股溢价率对价格波动情况的影响。在图中可以看到，当转股溢价率低于 20% 时，标的股票价格的波动率和可转债价格的波动率几乎呈同向变动，在 2018 年 4 月 3 日，转股溢价率突破 20% 之后，股票价格的波动率出现了大幅上升，而这一变动却没有传达到转债的价格上，随后一段时间，股票价格波动率和转债价格波动率不再同向变动。

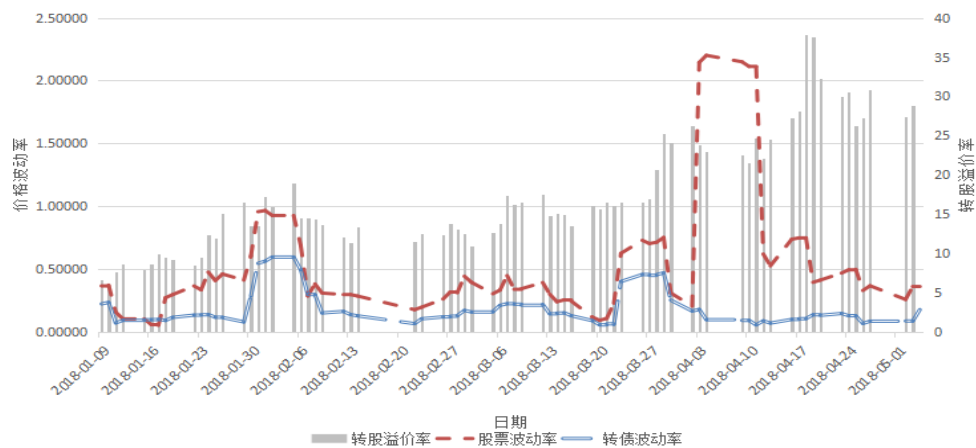


图 3-4 艾华转债的转债波动率、标的股票波动率与转股溢价率的关系图

数据来源：根据锐思数据库数据整理

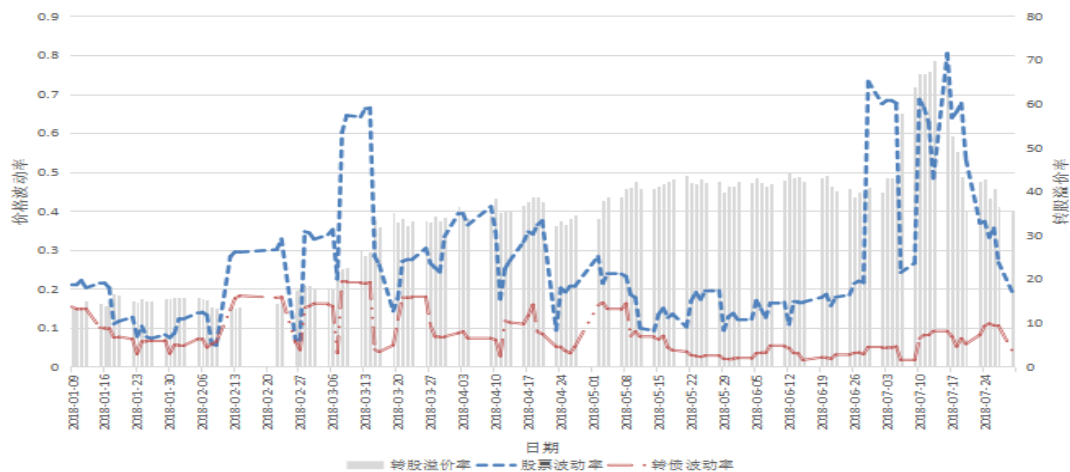


图 3-5 长证转债的转债波动率、标的股票波动率与转股溢价率的关系图

数据来源：根据锐思数据库数据整理

长证转债（127005）也出现了类似的情况，当转债溢价率大于 20%后，股票价格波动率和转债价格波动率之间的关系不再具有规律性，有时同向变动，有时反向变动，有时相互独立。

再对可转债的交易数据进行进一步的量化分析。作为测试集的 2018 年上市交易的可转债样本共有 53 只，其中有 26 只出现了转股溢价率大于 20%的情况。对于这 26 只可转债的交易数据，删除其中转股溢价率大于 20%的部分，再同未处理的数据进行对比，观察转债价格波动率和正股价格波动率变动的相关性是否增加。

具体操作如下：

1. 以“出现转股溢价率连续 3 天大于 20%”为筛选条件，筛选出 26 只符合该条件的可转债；

2. 对于每只可转债，计算在包含全部数据情况下，每日的标的股票价格波动率和转债价格波动率，求出两者的相关系数；

3. 对于每只可转债，在全部数据中，当出现“转股溢价率连续 3 天大于 20%”信号时，删除接下来交易日中所有转股溢价率大于 20%部分的交易数据，直至出现“转股溢价率连续 3 天小于 20%”信号，计算剩余部分的相关系数。

得到的结果如下：

表 3-1 筛选前后相关系数变化情况表

转债名称	筛选前 相关系数	筛选后 相关系数	两者差额	转债名称	筛选前 相关系数	筛选后 相关系数	两者差额
蒙电转债	0.3301	0.4287	0.0986	双环转债	0.643	0.6557	0.0127
艾华转债	0.19	0.6318	0.4418	大族转债	0.5724	0.6737	0.1013
航电转债	0.7901	0.8894	0.0993	岩土转债	0.3982	0.8113	0.4131
新泉转债	0.6053	0.5588	-0.0465	利欧转债	0.4966	0.8096	0.313
千禾转债	0.8107	0.8483	0.0376	华通转债	0.4102	0.0468	-0.3634
曙光转债	0.7562	0.8108	0.0546	海澜转债	0.5624	0.5298	-0.0326
道氏转债	0.1333	-0.066	-0.1993	鼎信转债	0.879	0.908	0.029
长证转债	0.3619	0.9173	0.5554	广电转债	0.5835	0.4225	-0.161
敖东转债	0.7119	0.7618	0.0499	凯中转债	0.6489	0.4798	-0.1691
众兴转债	0.3696	0.7075	0.3379	盛路转债	0.8287	0.8648	0.0361
赣锋转债	0.2439	0.565	0.3211	金农转债	0.636	0.7707	0.1347
太阳转债	0.5011	0.7409	0.2398	江银转债	0.4914	0.4177	-0.0737
天康转债	0.8855	0.2947	-0.5908	宁行转债	0.6745	0.6123	-0.0622

数据来源：根据锐思数据库数据整理

筛选前相关系数的平均值是 0.5582，筛选后相关系数的平均值上升到 0.6189，提升了 11%。其中，由于筛选导致相关系数上升的可转债共有 17 只，占总只数的 66%。

基于以上的分析可以得到本策略的适用条件，即当可转债的转股溢价率低于 20%时，可依据本策略的上下阈值买卖可转债，但是当转债溢价率连续三个交易日高于 20%时，将该可转债依据观察列表，不再依据阈值购买该可转债，同时卖出已持有的该可转债。当转债溢价率连续三个交易日低于 20%时，恢复对该可转债的观察，将其重新列入观察列表。

3.3 套利策略操作的可实现性

常见的可转债套利方法包括转股套利，Delta 对冲法，强赎套利和回售套利。

转股套利是指利用标的股票价格与转股价之间的背离进行套利的方法，当标的股票价格大幅上涨时，可按照较低的转股价将可转债转化为股票，再把股票按照市价卖出进行套利。但是这样的套利机会转瞬即逝，普通投资者很难及时发现并操作。

Delta 对冲法也就是在购入一定数量的可转债之后，首先需要对标的股票波动率进行计算和判断，根据对波动率的预期测算出合理的 δ ，在股票市场上放空一定数量的股票，因此，只要股票价格出现一定程度的波动，无论上涨还是下跌，该策略都可以实现盈利。但该策略通常需要融资融券业务来辅助，而在中国市场上，可进行融券的股票数量有限，同时融券业务的成本也很高，通常要融券的年息在 8.3% 左右，再加上基本交易成本，即证券交易佣金、过户费、印花税等。如果要开通融资融券业务往往需要满足开户交易满六个月，同时需要前 20 多个工作日交易日日均拥有 50 万元资产市值及以上的要求。因而 Delta 对冲法的成本高，操作复杂，不适合一般投资者。

强赎套利和回售套利是利用可转债相关条款的调整引发的套利空间，通常发生在市场大行情发生变化时，一般很少遇到，同时套利的空间有限，大约在 3% 左右。因而不能算作是可持续的套利策略。

基于波动率的可转债套利策略只针对可转债这一种金融产品，使得套利的操作更加简便，成本也更加低廉，综合各券商的具体情况，可转债的交易费用平均在万分之 0.5。同时与条款类的策略相比，本策略有更多的操作机会，套利空间的大小取决于市场行情，有更大的可能性。

4 基于波动率的可转债套利策略的构建

4.1 策略构建思路的展示

本策略的思路在于依据波动率设计一个指标反应转股权实际价格和理论价格的偏离程度，当实际价格远高于理论价格时，给出卖出的信号，当实际价格远低于理论价格时，给出买入信号，以此获得套利收益。因此，策略可行的关键点在于实际价格和理论价格之间的差额达到某一点后，可转债的市场价格会出现上涨或下降。

以三力转债和崇达转债为例证明转股权的理论价格与实际价格之间的关系可以提示未来可转债市场价格的。

三力转债于 2018 年 6 月 29 日上市，债券代码为 129039。在 2018 年 6 月 29 日至 2018 年 11 月 3 日之间，三力转债的标的股票价格变动较为平稳，始终在 5.2 元至 6.2 元之间，由此导致由历史波动率和预测波动率计算出的转股权理论价值也较为平稳。而转股权的实际价格却出现了大幅的波动。在 18 年 7 月 2 日，转股权的理论价格和实际价格之间出现较大的差额，理论价格高于实际价格，在随后的一段时间里，转债的市场价格不断上涨，从 88.38 元上涨到了 99.81 元。在 18 年 8 月 28 日，转股权的实际价格高于理论价格的程度达到了一个高点，自此之后，转债的市场价格开始逐步下行。

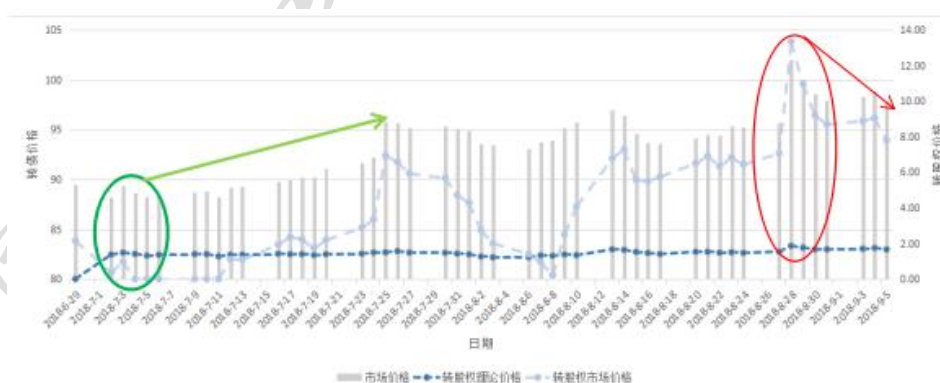


图 4-1 三力转债转股权理论价格、市场价格和转债市场价格的关系图

数据来源：根据锐思数据库数据整理

崇达转债于 2018 年 1 月 22 日上市，债券代码为 128027。在 2018 年 2 月 8 日

至 2018 年 3 月 26 日之间，转股权理论价格和市场价格大致维持在同一水平，市场价格围绕理论价格小幅的波动。在 2018 年 2 月 8 日，转股权的市场价格低于理论价格一定幅度，自此之后，转债的市场价格不断稳步上升，从 100.13 元逐步上涨到 111.78 元。

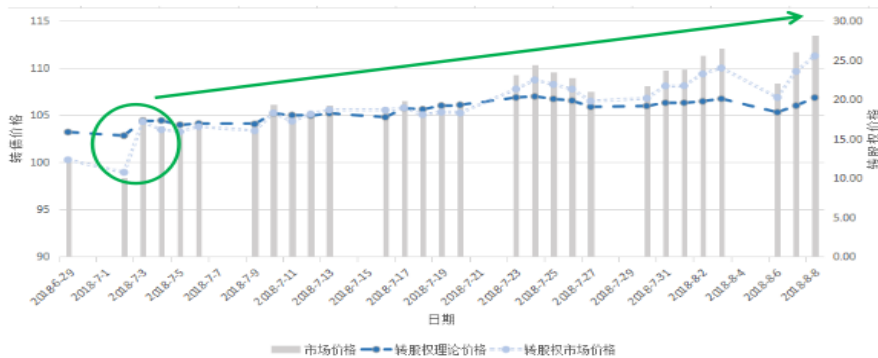


图 4-2 崇达转债转股权理论价格、市场价格和转债市场价格的关系图

数据来源：根据锐思数据库数据整理

由以上两个具体案例可以看出，转股权的实际价格和理论价格之间的关系对判断转债未来的市场价格的走向有一定意义。当转股权的实际价格低于理论价格一定程度时，买入可转债可以获得套利收益。当转股权的实际价格高于理论价格一定程度时，可转债的市场价格会逐步下行，若持有该可转债则应卖出该可转债，避免损失发生。

4.2 基于波动率的可转债策略的构造

本策略的原理在于，由于隐含波动率反映了转股权目前的市场价格水平，预测波动率反映了人们预期此时的市场价格水平，若隐含波动率高于预测波动率一定水平，意味着该可转债处于价值高估的状态，又因为波动率具有均值回复的特性，则此时卖出该可转债。若隐含波动率低于已实现波动率一定水平，意味着该可转债价值被低估，则买入该可转债。

由于计算隐含波动率时需要把市价带入到 B-S 模型中倒退得到波动率，这样得到的结果非常不稳定。转股权价值相对于普通期权价值呈现普遍高估的情况，当把较高的转股权价值代入程序计算时程序难以得到结果。在此基础上本文使用变量替代的方法，使用转股权的市场价格替代隐含波动率、转股权的理论价格替代预测波动率。转股权的市场价格是从可转债市价中减去纯债价值后得到；转股权理论价值是经过 GARCH (1,1) 模型处理后的标的股票预测波动率代入 B-S 模型得到的，由此解决了隐含波动率难以计算的问题。

对期权来说, 隐含波动率普遍高于历史波动率, 原因在于存在波动率溢价的问题。为了构建一个普遍适用于所有可转债的指标, 使隐含波动率与预测波动率处于可比较的同一水平上, 在构建指标时, 从隐含波动率中减去溢价均值。

本策略旨在寻找买点和卖点, 使之充分反应转股权的低估和高估情况, 并适用于所有的可转债。故在构建指标的时候, 要对差额进行标准化处理。

$$\eta = \frac{\text{转股权市场价格} - \text{波动率溢价值} - \text{转股权理论价格}}{|\text{转股权市场价格}| + |\text{转股权理论价格}|} \quad (4-1)$$

基于以上的原理, 构造出指标 η , 其反应了可转债转股权价值的高估和低估的程度。当 η 值低于买点时, 证明可转债被低估, 此时买入该可转债。当 η 值高于卖点时, 证明可转债被高估, 此时应卖出可转债。

具体的指标计算过程如下:

1) 数据分类

可转债分为传统的可转债, 可交换债以及可分离债。本文中所涉及的可转债均为传统可转债, 不包括可分离债和可交换债。

将 2001 年至 2018 年上市交易的可转债交易数据分成训练集和测试集两部分。本策略以 2001 年至 2017 年的数据作为训练集, 用以推出波动率溢价和指标的上下限。以 2018 年上市的可转债作为测试集, 用以测试策略的效果。

从锐思数据下载 2001 年至 2018 的每只可转债的每日交易数据作为样本。

第一步, 整理数据。在整理中发现有部分可转债的交易数据存在缺失现象, 对于缺失严重无法补齐的可转债, 移出样本。

第二步, 剔除其中债性强股性弱的个体。通过第三章的相关内容可知, 当转股溢价率低于 20% 时可转债的股性较强, 在高于 20% 时股性会减弱, 标的股票的波动率和可转债价格的波动率之间的变动不再具有紧密的联系。因而在筛选样本时, 设置如下的筛选规则: 当某只可转债的转股溢价率低于 20%, 保留在样本中, 当转股溢价率连续 3 个交易日大于 20%, 则将该只可转债移出样本, 若此时持有该可转债则卖出该可转债; 当可转债的转股溢价率由大于 20% 转向小于 20% 时, 在转股溢价率连续 3 个交易日小于 20% 时, 将该只可转债移回样本。由此保证样本中的可转债都具有较强的股性, 符合策略的适用条件。

第三步, 将整理后的样本分成两大类, 2001 年至 2017 年上市交易的可转债作为训练集, 用来推导波动率溢价和买卖阈值。2018 年上市的可转债作为测试集, 测试该策略的效果。

最终得到的结果中, 训练集中共有 73 只可转债、测试集中共有 53 只可转债。

2) 计算转股权理论价格

首先计算标的股票收益的历史波动情况，计算当日（ t ）标的股票价格（ S_t ）与前一天（ $t-1$ ）标的股票价格（ S_{t-1} ）的比值，并取自然对数： $R_t = \ln(\frac{S_t}{S_{t-1}})$ 。接下来使用 GARCH（1,1）模型处理自然对数 R_t ，得到预测波动率。

转股权原则上是一种美式期权，即可转债的持有者可以在转股期内随时行权，将可转债转化为股票。但根据以往对可转债的研究，有接近 9 成的投资者持有可转债至转股，因而普遍将转债的转股权视为一种欧式期权，基于此，我们将转股权视为不产生红利的欧式期权，同时设置转股权的存在期限为从购买可转债的当天到转股期截止日。

将预测波动率代入 B-S 模型，得到转股权的理论价值。在代入 B-S 模型时，参数设置如下：行权价代入当日的转股价，无风险利率代入当日的隔夜 SHIBOR，期限代入交易日当天至转股截止日的天数。

3) 计算转股权市场价值

可转换债券价值等于纯债价值加上转股权价值。首先根据现金流贴现法计算出可转债的纯债价格。现金流贴现的公式如下：

$$P = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (4-2)$$

其中 P 代表纯债价格， CF_t 代表债券在 t 时刻产生的现金流， n 代表债券的存续期， r 代表与其现金流的折现率。

在计算纯债价格时， t 时刻的现金流为每期发债公司所付的票面利息， n 为可转债的债券期限截止日至本交易日的间隔，换算成以年作为单位。 r 使用当日的隔夜 SHIBOR。

再用可转债的市场价格减去纯债价格，剩余部分即为转股权的市场价格。

4) 确认波动率溢价和买卖阈值

计算出训练集中每只可转债每一天的理论价值和市场价格，并将两者做差，求出所有差值的平均值，即为波动率溢价。

将计算出的每只可转债每一日的转股权理论价值、转股权市场价值和波动率溢价均值带入到 η 指标的计算公式中得到训练样本，统计样本中 η 值的 10%分位点和 90%分位点分别作为买点和卖点，经过计算可得，买点和卖点分别为 -0.4 和 -0.1。

再以 2018 年的可转债交易数据作为测试集，计算每日的 η 值，当某只可转债某日出现第一个小于 -0.4 的 η 值时，即在第二天以当天的收盘价买入并持有一个单位的该，直到该持有的可转债的 η 值出现第一次大于 -0.1 后，在第二天以收盘价卖出所有持有的该可转债。

5 基于波动率的可转债套利策略的评价

5.1 策略计算过程的展示

以 2018 年 1 月 22 日上市的崇达转债（128027）和 2018 年 5 月 16 日上市的新凤转债（113508）为例，展示指标的计算过程和买卖情况。

如表格所示计算出每项的值，求出指标的数额，当出现第一个小于-0.4 的指标时在第二天以收盘价买入一个单位的转债，买入后当出现第一个大于-0.1 的指标值时在第二天以收盘价卖出所持有的转债。

表 5-1 崇达转债交易情况示意表 单位：元

序号	交易日期	预测波动率（年化）	转股权理论价格	纯债价格	转股权市场价格	指标	买卖点	转债收盘价	买卖情况
1	2018-2-8	0.9065	15.8656	87.7993	12.3307	-0.4268	买点	100.13	
2	2018-2-9	0.9071	15.4129	87.7202	10.7398	-0.5037		98.46	实际买入
3	2018-2-12	0.9077	17.2879	87.7562	17.1638	-0.2503		104.92	
4	2018-2-13	0.9082	17.3356	87.7517	16.1683	-0.2885		103.92	
5	2018-2-14	0.9087	16.7888	87.0864	15.9136	-0.2867		103	
6	2018-2-22	0.9092	16.9457	87.5834	16.5666	-0.2649		104.15	
7	2018-2-23	0.9097	16.8884	87.7563	16.0337	-0.2841		103.79	
8	2018-2-26	0.9101	18.2332	87.9008	18.2992	-0.2309		106.2	
9	2018-2-27	0.9105	18.0185	87.9555	17.2445	-0.263		105.2	
10	2018-2-28	0.9109	17.9498	87.2391	18.1609	-0.2295		105.4	
11	2018-3-1	0.9113	18.2499	87.3391	18.6909	-0.2182		106.03	
12	2018-3-2	0.9116	17.7573	86.9453	18.6647	-0.2085		105.61	
13	2018-3-5	0.9119	18.8991	87.552	18.948	-0.2233		106.5	
14	2018-3-6	0.9122	18.7549	87.7288	18.0712	-0.2494		105.8	
15	2018-3-7	0.9125	19.2296	87.8568	18.3932	-0.2482		106.25	
16	2018-3-8	0.9128	19.3158	87.9702	18.2898	-0.2533		106.26	
17	2018-3-9	0.9131	20.2617	87.9608	21.3392	-0.1784		109.3	
18	2018-3-12	0.9133	20.3945	87.9133	22.4867	-0.1494		110.4	
19	2018-3-13	0.9135	20.0755	87.6694	21.9306	-0.1582		109.6	
20	2018-3-14	0.9138	19.8658	87.6945	21.3155	-0.1712		109.01	
21	2018-3-15	0.914	19.0661	87.7048	19.7952	-0.2		107.5	

续表 5-1

崇达转债交易情况示意表

单位：元

序号	交易日期	预测波动率（年化）	转股权理论价格	纯债价格	转股权市场价格	指标	买卖点	转债收盘价	买卖情况
22	2018-3-16	0.9142	19.1846	87.9349	20.1651	-0.1911		108.1	
23	2018-3-19	0.9143	19.5823	88.0733	21.7267	-0.1539		109.8	
24	2018-3-20	0.9145	19.5864	88.0933	21.7567	-0.1531		109.85	
25	2018-3-21	0.9147	19.7726	88.0938	23.2562	-0.1166		111.35	
26	2018-3-22	0.9148	20.0985	88.148	24.012	-0.104		112.16	
27	2018-3-23	0.915	18.3816	88.1729	20.2771	-0.1708		108.45	
28	2018-3-26	0.9151	19.2211	88.1987	23.5813	-0.0967	卖点	111.78	
29	2018-3-27	0.9153	20.2465	87.9579	25.5421	-0.07		113.5	实际卖出，收益 15.04

数据来源：根据锐思数据库数据整理

表 5-2

新风转债交易情况示意表

单位：元

序号	交易日期	预测波动率（年化）	转股权理论价格	纯债价格	转股权市场价格	指标	买卖点	转债收盘价	买卖情况
1	2018-6-19	0.4343	5.3173	87.7098	6.1202	-0.4649	买点	93.83	
2	2018-6-20	0.434	5.4675	87.5715	8.8785	-0.3547		96.45	实际买入
3	2018-6-21	0.4337	5.2151	87.7058	8.6842	-0.3619		96.39	
4	2018-6-22	0.4334	5.4025	87.7459	7.8341	-0.4081		95.58	
5	2018-6-25	0.4331	5.2898	87.8711	7.7889	-0.4045		95.66	
6	2018-6-26	0.4328	5.341	88.1049	7.3951	-0.4194		95.5	
7	2018-6-27	0.4325	5.2781	88.4741	7.0459	-0.4283		95.52	
8	2018-6-28	0.4322	5.8884	89.2624	6.8276	-0.4631		96.09	
9	2018-6-29	0.4319	5.9367	87.5762	10.0038	-0.2781		97.58	
10	2018-7-2	0.4316	5.7635	88.1315	8.4785	-0.4047		96.61	
11	2018-7-3	0.4314	6.0007	88.6294	8.8206	-0.3832		97.45	
12	2018-7-4	0.4311	6.0445	89.7455	8.2645	-0.4224		98.01	
13	2018-7-5	0.4308	5.4313	90.09	7.45	-0.4216		97.54	
14	2018-7-6	0.4305	5.4779	90.9377	6.5623	-0.455		97.5	
15	2018-7-9	0.4302	5.8555	90.8269	7.3931	-0.442		98.22	
16	2018-7-10	0.4299	6.0872	89.2244	10.1756	-0.2713		99.4	
17	2018-7-11	0.4297	5.975	88.7396	10.3504	-0.2526		99.09	
18	2018-7-12	0.4294	6.1355	88.3425	11.6375	-0.1687		99.98	
19	2018-7-13	0.4291	6.3508	88.3823	12.4277	-0.129		100.81	
20	2018-7-16	0.4288	6.3596	88.018	12.622	-0.1179		100.64	
21	2018-7-17	0.4286	6.409	87.8563	12.7937	-0.1102		100.65	

续表 5-2

新风转债交易情况示意表

单位: 元

序号	交易日期	预测波动率 (年化)	转股权理论价格	纯债价格	转股权市场价格	指标	买卖点	转债收盘价	买卖情况
22	2018-7-18	0.4283	6.1423	88.1862	12.2938	-0.1274		100.48	
23	2018-7-19	0.428	6.3104	88.7302	12.2398	-0.1386		100.97	
24	2018-7-20	0.4278	6.4837	89.0832	12.2968	-0.1431		101.38	
25	2018-7-23	0.4275	7.0285	89.0184	13.9816	-0.0736	卖点	103	
26	2018-7-24	0.4272	7.3259	89.068	16.482	0.0276		105.55	实际卖出, 收益 9.1
27	2018-7-25	0.427	7.0752	89.0928	15.5172	-0.0026		104.61	
28	2018-7-26	0.4267	7.0168	89.237	15.253	-0.0118		104.49	
29	2018-7-27	0.4265	7.2141	89.4261	14.7539	-0.0437		104.18	
30	2018-7-30	0.4262	7.2535	89.87	13.78	-0.0938		103.65	
31	2018-7-31	0.426	7.1425	90.5332	12.7268	-0.1467		103.26	
32	2018-8-1	0.4257	6.8221	90.7305	11.7395	-0.193		102.47	
33	2018-8-2	0.4255	7.0815	91.0289	11.3311	-0.2308		102.36	
34	2018-8-3	0.4252	7.4078	91.6499	11.3501	-0.243		103	
35	2018-8-6	0.425	6.105	91.8149	8.8351	-0.3862		100.65	
36	2018-8-7	0.4247	6.5041	92.8805	9.1495	-0.374		102.03	
37	2018-8-8	0.4245	6.6175	93.8809	6.9291	-0.4885	买点	100.81	
38	2018-8-9	0.4243	7.0544	92.8405	10.0795	-0.3195		102.92	实际买入
39	2018-8-10	0.424	7.3205	91.7942	11.4758	-0.2311		103.27	
40	2018-8-13	0.4238	7.3184	90.3544	12.6656	-0.1578		103.02	
41	2018-8-14	0.4236	7.13	89.2899	12.9501	-0.1335		102.24	
42	2018-8-15	0.4233	6.9253	89.211	12.969	-0.1235		102.18	
43	2018-8-16	0.4231	7.1156	88.4024	13.6076	-0.0969	卖点	102.01	
44	2018-8-17	0.4229	6.595	88.0722	13.7778	-0.0647		101.85	实际卖出, 收益-1.07
45	2018-8-20	0.4226	6.9592	87.8708	15.1492	-0.014		103.02	
46	2018-8-21	0.4224	7.0248	87.8232	15.0268	-0.0226		102.85	

数据来源: 根据锐思数据库数据整理

5.2 基于波动率的可转债套利策略回测结果

目前评价程序化交易模型的回测指标主要有以下三类:

第一类、考察模型盈利能力的指标, 包括年化收益率、描述系统性风险的 Beta 值、描述非系统性风险的 Alpha 值。

年化收益率: 该指标考察模型的盈利能力, 表明了模型净增长情况。一般来说结果必须为正值, 较好的表现一般为, 收益率大于通胀率和定期存款的总和。

第二类、考察模型有效性的指标, 包括交易次数、胜率等。

交易次数：以平仓为判断标志，一次开仓和一次平仓算是一次交易。交易次数较少的模型的优势在于手续费和滑点的影响会非常小。

胜率是盈利的交易次数占总交易次数的百分比。胜率固然是越高越好，一般要求大于 1/2，但是胜率高的模型也不一定盈利率就好，即使胜率很高，但是如果每次交易的盈利水平非常低，也会使得策略最后的收益低。

第三类、考察模型抗风险能力的指标：最大回撤、夏普比率等。

最大回撤：在某一特定的时期内，账户净值从达到最高值后一直向后推移，直到净值回落到最低值，这期间净值减少的幅度即为回撤。在选定的时间段内，有时会有好几次净值回落的情形，这时选取其中一段最大的回落情形，作为最大回撤。最大回撤可以用来衡量模型的抗风险能力。强平、爆仓的风险就取决于回撤幅度。

夏普比率：可以衡量收益稳定性，使得收益与风险之间的关系被量化出来，该比值能够反映出每单位绝对风险所要求的风险溢价。该比率越大，则在承担每单位风险的同时所要求的风险回报也就越高，权益曲线也就越平滑。一个好的交易模型需要具有较高的夏普比率。

$$\text{夏普比率} = \text{收益率} / \text{方差} = \frac{[E(R_p) - R_f]}{\sigma_p} \quad (5-1)$$

其中 $E(R_p)$ 代表投资组合预期报酬率， R_f 代表无风险利率， σ_p 代表方差。

在评价策略时之前首先设置基本情况。通过整理 2010 年至 2017 年数据，发现每一年同时符合持有条件的可转债不超过 4 只，为方便计算，设置初始资金为 400 元，每次出现买点则购买 1 张可转债。

自 2018 年 1 月 1 日起每日监控转债溢价率的情况，并计算符合溢价率要求的所有可转债的 η 指标，直到 2018 年 11 月 31 日。在 2018 年 1 月 1 日至 2018 年 11 月 31 日之间，共出现 16 次信号，8 次买入信号，8 次卖出信号。这代表在测试期间分别对 8 只可转债进行了 8 次交易，这 8 只可转债分别是泰晶转债（113503）、艾华转债（113504）、新风转债（113508）、崇达转债（128027）、天康转债（128030）、三力转债（128039）和盛路转债（128041）。策略的收益情况与同期中证转债的对比如下：

下图是本策略收益情况的折线图与同期中证指数的对比，可以看出策略的收益是在稳步上升的，且本策略在转债指数下降之前就给出了卖出所有转债的信号，而在转债指数达到底部后逐渐给出买入信号，从而获得高于指数的收益。

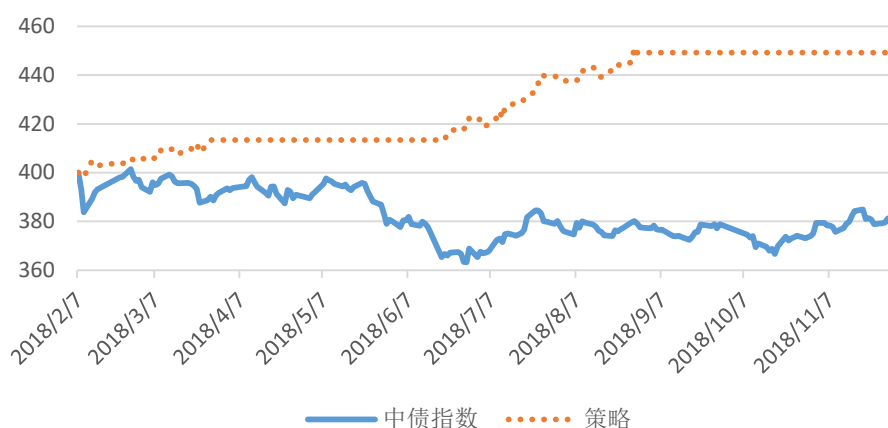


图 5-1 策略与中证指数的收益对比图

数据来源：根据锐思数据库数据整理

通过对本策略和中证转债指数的多空净值表现进行对比，可以看出，本策略给出的买入和卖出信号更加的谨慎和准确，日收益率为负的概率非常低，回撤的比例很小。

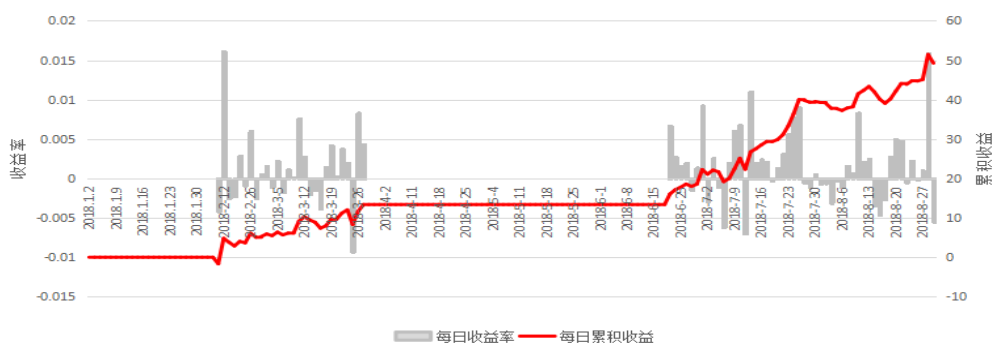


图 5-2 策略日收益率与累积收益对比图

数据来源：根据锐思数据库数据整理

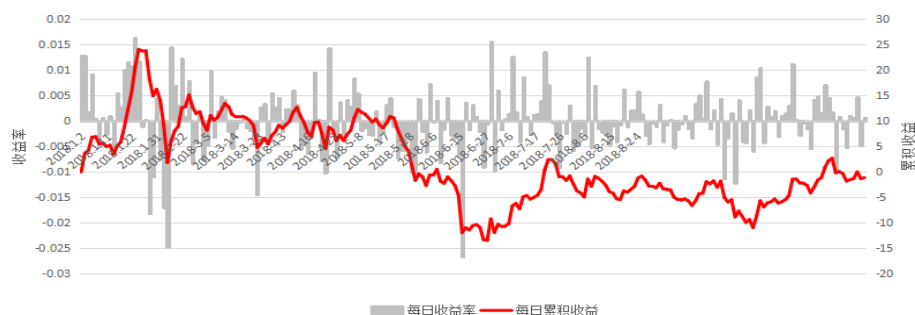


图 5-3 中证指数日收益率与累积收益对比图

数据来源：根据锐思数据库数据整理

回测情况的总结如下：策略的年化收益是 24%，在共 8 次交易中仅有一次交易的收益为负，7 次的收益均为正。日胜率在 78%，说明大部分时间策略的收益都是正的，与中证转债指数 44%相比具有一定的提升。最大回撤仅为总资产价值的 1%左右，回撤风险非常低。较高的夏普比率也说明本策略在承担一定风险的同时回报以更高的风险报酬。在同其他策略对比时，如任瞳（2018）的因子选债策略，黄冰华、冯芸（2017）的 Delta 对冲策略，本策略收益和风险状况也属于较好的。

表 5-3 波动率策略与其他策略回测结果对比表

	波动率策略	中证转债指数	因子选债策略	Delta 对冲策略
年化收益率	0.2408	-0.1216	0.1545	0.263
年化波动率	0.1865	0.0784	0.1684	1.21
最大回撤率	0.0095	0.0952	-0.4035	
交易次数	8	1		
胜率	0.875			0.5
日胜率	0.7794	0.4412	0.7901	0.62
夏普比率	1.51	-1.48	0.94	0.1925

数据来源：锐思数据库，可转债套利策略研究（张绍林，2011 年 3 月），
可转债多因子选债策略（任瞳，2018 年 6 月）

5.3 本文研究成果总结

本文研究基于波动率的可转债套利策略。因为可转债的价值分为纯债价值和转股权价值两方面，纯债价值是作为底部价值，支撑起可转债的市场价格，转股权的价值则随着标的股票的价格波动而波动，本策略即从转股权价格的波动中寻找买点和卖点进行套利操作。

结合期权的相关知识，以波动率为切入点研究可转债的投资策略。首先计算出标的股票的历史波动率，使用 GARCH (1, 1) 模型处理历史波动率，得到预测波动率。又由于隐含波动率通常存在一定的波动率溢价，根据训练集的数据计算出溢价均值后将其从隐含波动率中减去，将得到的结果同预测波动率进行对比。因为预测波动率是在现有波动的基础上，根据市场的实际情况和以往的时间序列调整后的结果，其反应了波动率应有的水平。隐含波动率是利用市场实际价格从 B-S 模型中倒退出来的结果，反映了市场上世纪的波动率水平。预测波动率和减去溢价后的隐含波动率对比，可以看出现在市场的波动率是否被高估。

因为波动率具有均值回复的特性，当隐含波动率高估的程度特别深时，那么其未来一定会回落至均值附近；若隐含波动率低估的程度特别深时，其未来一定会回升至均值附近。依据该思路构建了基于波动率的可转债投资策略。

由于在实际操作中发现计算可转债的隐含波动率时会出现很多无效值，影响取数。因而在策略构建中进行了变量替换：即将预测波动率和隐含波动率都带入到 B-S 模型中，得到对应的理论价值和市场价格，以理论价值和市场价格作为新的变量完成策略的构建。最后同中证转债指数进行对比，判断本策略的优劣。

本策略基于 2001 年至 2017 年的可转债数据得到买点和卖点的位置，以及溢价的均值，并将其应用在 2018 年的交易数据上，得到了 24% 的年化收益率，本策略同时有较高的胜率和较低的回撤，相对中证转债指数有更好的表现。从本策略和中证指数的对比上可以发现，本策略能够在行情下降前提前给出卖出信号，从而避免收益的大规模回撤，有较好的抗风险能力，同时在行情见底的时候陆续给出买入信号。从而实现较好的收益。在研究中使用 R 语言编程，实现指标的自动计算。同时使用 EXCEL 配合数据的统计。

附录 A 实现策略所用 R 语言程序

```
rm(list=ls())
#读入数据
library(openxlsx)
setwd("E://")
company1<-read.xlsx("测试集 2018.xlsx",sheet=1)
st1<-company1[,21]
st0<-company1[,26]
st<-log(st1/st0)
a<-5
b<-length(st)
#计算预测波动率
ptd.HSI <-company1[,21]# 提取日收盘价信息
rtd.HSI <-diff(log(ptd.HSI))# 计算日对数收益
plot(rtd.HSI)# 画出日收益序列的时序图
#构建 garch 模型
library("fGarch", lib.loc="D:/R-3.1.1/R-3.5.0/library")
GARCH.model_1 <- garchFit(~garch(1,1), data=rtd.insample,trace=FALSE)
hv<-fBasics::volatility(GARCH.model_1)# 提取 GARCH(1,1)-N 模型得到的波动率估计
hva<-hv*sqrt(240)
hvb<-c(NA,hva)
#计算债底的价格
library("jrvFinance")
d1<-as.Date(company1[,7],origin = "1899-12-30")
d2<-as.Date(company1[,28],origin = "1899-12-30")
d3<-as.Date(company1[,29],origin = "1899-12-30")
#d1 是交易日期, d2 是债券截止日, d3 是转股截止日
bondprice<-numeric(b)
for(i in 1:b){
  bondprice[i]<-bond.price(settle = d1[i],mature=d2[i],coupon=company1[i,30],
```



```

        freq=1,yield = company1[i,27]/100)
    }
    #coupon 票面利率, yield 收益率
    #得到债券价值后,计算期权的价值
    optionprice<-company1[,14]-bondprice
    optionprice[optionprice < 0] <- 0
    #计算理论价格
    #计算距离转股期限的时间
    time1<-difftime(d3,d1)/365
    #将 time 转化成数字模式
    time2<-as.numeric(time1)
    #计算由正股波动率得到的理论价格
    library("FMStable", lib.loc="D:/R-3.1.1/R-3.5.0/library")
    llvalue<-numeric(b)
    for(i in 1:b){
        llvalue[i]<-BSOptionValue(spot=company1[i,21],strike=company1[i,20],
                                   expiry=time2[i],volatility=hvb[i],intRate = company1[i,27]/100)
    }
    #计算指标
    optionprice<-optionprice-8.5
    d<-matrix(c(round(llvalue[1:b],digits = 4),optionprice[1:b])
              ,ncol=2,byrow=FALSE)
    e<-(d[,2]-d[,1])/(abs(d[,1])+abs(d[,2]))
    f<-matrix(c(company1[,6],round(e,digits=4),company1[,7]),ncol=3,byrow=FALSE)
    #输出指标
    g<-c(company1[1,6],company1[1,5])
    q<-matrix(c(f,company1[,14]),ncol = 4,byrow = FALSE)
    策略回测:
    company2<-read.xlsx("回测指标.xlsx",sheet=1)

    company2[,1]<-as.Date(company2[,1],origin = "1899-12-30")
    a<-data.frame(company2[,c(2:10)],row.names = company2[,1])
    #计算年化收益
    library("PerformanceAnalytics", lib.loc="D:/R-3.1.1/R-3.5.0/library")

```

```
Return.annualized(a[,6],scale=240)
```

```
#计算阿尔法、贝塔
```

```
CAPM.alpha(a[,6,drop=FALSE],a[,9,drop=FALSE],Rf=a[,7,drop=FALSE]/240)
```

```
CAPM.beta(a[,6,drop=FALSE],a[,9,drop=FALSE],Rf=a[,7,drop=FALSE]/240)
```

```
#计算最大回撤
```

```
library("tseries", lib.loc="D:/R-3.1.1/R-3.5.0/library")
```

```
maxdrawdown(a[,2])
```

```
#计算夏普
```

```
library("SharpeR", lib.loc="D:/R-3.1.1/R-3.5.0/library")
```

```
as.sr(a[,1], c0 = 0.025, ope = 240, na.rm = FALSE, epoch = "yr", higher_order = FALSE)
```

参考文献

- [1]陈玥.公司治理、股权融资偏好与转股价格调整——基于山鹰转债的案例研究[A]. 中国会计学会.中国会计学会 2007 年学术年会论文集（下册）[C].中国会计学会:中国会计学会,2007:18.
- [2]樊乐.可转换债券投资价值和投资策略的简要分析[J].中国证券期货,2010(02):30-31.
- [3]樊嵘.基于上证 50ETF 期权的波动率风险溢价研究[D].西安工业大学,2018.
- [4]胡宗义,谭妮.权证的隐含波动率与历史波动率的偏离分析[J].求索,2010(06):8-10
- [5]黄海南,钟伟.GARCH 类模型波动率预测评价[J].中国管理科学,2007(06):13-19.
- [6]黄奕.我国债性回归中的可转债市场[J].财会月刊,2006(18):68-69.
- [7]李慧.隐含波动率在预测波动率中的应用[D].西南财经大学,2011.
- [8]李亚.基于恒生指数期权隐含波动率的实证分析[D].华中科技大学,2007.
- [9]李妍.运用 Black-Scholes 模型对我国可转换债券价值的实证分析[D].首都经济贸易大学,2015.
- [10]李月清.隐含波动率的计算和其在可转债定价中的应用[J].首都师范大学学报(自然科学版),2007(03):21-26.
- [11]刘帅路.论中国市场上的可转债套利机会[D].复旦大学,2014.
- [12]陆书芳.基于 GARCH-M 模型对中国股票市场风险溢价的研究[D].重庆大学,2013.
- [13]骆桦,王爽.用 GARCH 模型与隐含波动率预测金融波动率[J].浙江理工大学学报(自然科学版),2016,35(02):322-326.
- [14]马健健.我国股市特质波动率风险溢价研究[D].安徽财经大学,2018.
- [15]钱吉夫.基于历史和隐含波动率的权证定价效率研究[J].中国证券期货,2009(12):51-52.
- [16]屈满学,王鹏飞.我国波动率指数预测能力研究——基于隐含波动率的信息

比较[J].经济问题,2017(01):60-66.

[17]尚继才.我国可转债的发行公告效应与股性研究[D].西南财经大学,2016.

[18]施智敏.上证 50ETF 波动率指数及期权交易策略的实证研究[D].上海师范大学,2018.

[19]谭璇.基于 GARCH 模型族的中国股市波动率检测[J].武陵学刊,2018,43(06):31-37.

[19]汪颖.我国可转债条款与股性研究[D].复旦大学,2013.

[10]汪洁.我国可转换公司债券股性研究[D].复旦大学,2013.

[21]王梦贤.GARCH 模型下的可转债定价研究[D].广州大学,2009.

[22]韦力.可转换债券定价研究——基于上海电气可转债的分析[J].全国商情,2016(28):108-110.

[23]魏宇,余怒涛.中国股票市场的波动率预测模型及其 SPA 检验[J].金融研究,2007(07):138-150.

[24]吴鑫育,李心丹,马超群.中国股票市场的波动率聚集性研究——基于 Markov 机制转换 Copula 模型的实证分析[J].系统管理学报,2018,27(04):644-650.

[25]夏红芳,梁涛.权证隐含波动率在标的证券波动率预测中的作用研究[J].浙江金融,2011(08):61-65.

[26]晏峤敏.中国上市公司可转换债券转股行为对股价的影响研究[D].首都经济贸易大学,2016.

[27]杨继平,陈晓暄,张春会.中国沪深股市结构性波动的政策性影响因素[J].中国管理科学,2012,20(06):43-51.

[28]杨科,陈浪南.股市波动率的短期预测模型和预测精度评价[J].管理科学学报,2012,15(05):19-31.

[29]于亦文.实际波动率与 GARCH 模型的特征比较分析[J].管理工程学报,2006(02):65-69.

[30]叶子楠.我国股市波动率预测及策略应用研究[D].浙江大学,2018.

[31]张爱玲.隐含波动率的建模、计算方法及其应用[D].上海交通大学,2009.

[32]张艳萍.美式期权定价优化模型及隐含波动率计算[J].长治学院学报,2016,33(02):56-60.

[33]赵晓明.隐含波动率对期权策略的影响[N].期货日报,2014-04-15(003).

[34]郑振龙,林海.中国可转换债券定价研究[J].厦门大学学报(哲学社会科学

版),2004(02):93-99.

[35]郑振龙,黄薏舟.波动率预测:GARCH 模型与隐含波动率[J].数量经济技术经济研究,2010,27(01):140-150.

[36]周海林,吴鑫育.基于 VIX 的波动率风险溢价估计[J].中国管理科学,2013,21(S1):365-374.

[37]Britten-Jones, M, and A Neuberger., 2000, "Option prices, implied price processes, and stochastic volatility". The Journal of Finance, 55.2: 839-866.

[38]Brooks, C., and M. Oozeer., 2002, "Modeling the Implied Volatility of Options on Long Gilt Futures". Journal of Business, Finance and Accounting, 29:111-137.

[39]Browne, S., 1999, "Reaching Goals by a Deadline: Digital Options and Continuous-Time Active Portfolio Management". Advances in Applied Probability, 31:551-557.

[40]Carr, P., and D. Madan., 1998, "Towards a Theory of Volatility Trading." In Volatility: New Estimation Techniques for Pricing Derivatives. London: Risk Books.

[41]Coval, J., and T. Shumway., 2001, "Expected Option Returns". Journal of Finance, 56:983-1009

[42]Derman, E., 1999, "Regimes of Volatility". Quantitative Strategies Research Notes. Goldman Sachs.

[43]Glosten, L.R., R. Jagannathan, and D.E. Tunkle, 1993, "On the Relation between the Expected Value and the Volatility of the Nominal Excess Return on Stocks". Journal of Finance, 48:1779-1801.

后 记

时间飞逝，毕业已在眼前，回忆这两年来的校园时光，收获良多。

首先，我要感谢我的导师熊海芳老师，在这两年的时间里，我从导师身上学习了很多。在导师的推荐下，我开始接触 R 语言，并利用 R 语言实现一部分统计和计算工作，还学习了计量经济和机器学习的基础知识。这篇毕业论文的完成也离不开导师对我的帮助，从一开始的选题，到模型的使用，到章节的修改和完善，每一处都有导师的指导。每当我遇到困难时，导师都会给我细心的讲解，令我受益匪浅。

同时，还要感谢我的校外导师汤伟，在论文的内容上提出专业意见。感谢金融专业所有的任课老师，让我们度过了充实的两年，开始对金融有了更深刻的认识。在此，祝愿所有的老师们身体健康，工作顺利！感谢研究生阶段一同前行的同学们对我的鼓励和帮助，祝愿所有的同学们前程似锦！

衷心感谢东北财经大学两年来对我的培养，在这里我认识了一群志同道合的朋友，见识了各位名师的风采，也坚定了我将金融作为一份真正的事业并将其做下去的信念。

最后，离别母校恋恋不舍，向母校送上祝福，愿母校永远朝气蓬勃！

殷小舒

2019 年 3 月 14 日