

Empirical Study on Pricing of Convertible Bonds in China's Market

by

Bo Liu

A Dissertation Presented in Partial Fulfillment
of the Requirements for the Degree
Doctor of Business Administration

Approved March 2024 by the
Graduate Supervisory Committee:

Shawn Huang, Co-Chair

Hong Yan, Co-Chair

Hui Chen

ARIZONA STATE UNIVERSITY

May 2024

中国市场可转债定价实证研究

刘波

全球金融工商管理博士
学位论文

研究生管理委员会
于二零二四年三月批准：

黄晓川，联席主席
严弘，联席主席
陈晖

亚利桑那州立大学

二零二四年五月

ABSTRACT

Convertible bonds, as a vital means for listed companies to raise funds, are favored by both listed companies and institutional investors due to their hybrid features of equity, debt, and options. The U.S. market, with its large scale, significantly supports the rapid growth of numerous high-tech enterprises. In contrast, China's convertible bond market started later and lags behind in terms of issuer numbers and issuance scale. Since the issuance regulations on February 17, 2017, the convertible bond market in China has seen substantial development opportunities, with increased enthusiasm from listed companies and various investors, leading to significant growth in market issuance and trading volume.

This article employs Monte Carlo simulation to empirically study the theoretical pricing of convertible bonds, aiming to identify factors influencing differences between theoretical and market prices. Analyzing classic terms such as conversion, redemption, put, and call provisions, the study establishes a foundation for subsequent convertible bond pricing research.

Following the consideration of various terms, the article uses the Monte Carlo simulation method to attempt pricing the asset prices of convertible bonds. To enhance computational efficiency, the core simulation process undergoes encapsulation and optimization. The analysis of theoretical prices reveals minimal overall fluctuation in pricing errors, showing a negative error rate before June 2021, indicating market prices

slightly below theoretical prices, and afterward, market prices slightly above theoretical prices.

Finally, the article analyzes the reasons behind pricing errors, examining 13 variables' potential impact through regression analysis, finding significant effects from 11 variables. The article attempts to provide a reasonable interpretation of the logic behind the impact of variables on pricing errors.

摘要

可转债作为上市公司融资的一项重要手段,由于其兼具股权、债权和期权的多重特性,通常内嵌转换条款、赎回条款、回售条款和下修条款等多种特殊条款,具体复杂的衍生品特征,一直受到上市公司和机构投资者的钟爱。美国可转债市场规模较大,为大量高新技术企业的快速成长提供了非常有力的资金支持,相比之下,我国可转债市场起步较晚,无论是发行家数,还是发行规模,都远远落后于发达市场。2017年2月17日再融资新规发布以来,可转债市场的发行受到政策扶持,可转债市场的迎来重大发展机遇。上市公司以及各类投资者的参与热情都空前高涨,市场发行规模及交易量都取得了长足的发展。存量规模的持续扩大和成交金额的持续增长,都为可转债定价的研究提供了较为有利的市场环境和丰富的样本空间。

本文力图通过使用蒙特卡洛模拟的方法,对可转债的理论价格进行实证研究,并通过分析理论价格和市场价格之间的差异,试图找到影响这种差异产生的若干因素。本文首先对可转债的转股、赎回、回售、下修经典条款设置进行了分析,分析各条款触发后,发行人、投资人等各参与主体的行为,以及各条款设置的统计规律,为后续可转债定价积累基础数据支持。

其次,本文在考虑各类条款的前提下,使用蒙特卡洛模拟方法对可转债的资产价格尝试进行定价,同时为了提高运算效率,对核心模拟过程做了封装和优化处理。模拟完成之后,本文试图对获得的可转债理论价格进行分析,发现定价误差整体波动较小,在2021年6月份之前,误差率为负,显示市场价格略低于理论价格,之后市场价格略高于理论价格。

最后,本文试图对定价误差形成的原因进行分析,选取了可能影响可转债定价误差的

13 个变量，利用回归的分析方法，将 13 个变量与定价误差的关系进行了分析梳理。研究发现，有 11 个变量对定价误差有显著影响，有 2 个变量影响并不显著。本文对变量与定价误差的影响逻辑尝试进行了合理解释。

目录

	页码
表格列表	vii
图表列表	viii
章节	
一、第 1 章 导论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究意义	3
1.3 研究思路与框架	4
1.3.1 理论定价	5
1.3.2 理论定价与市场价格差异的原因	5
1.3.3 Delta 套利	5
1.4 本研究的创新之处	6
1.4.1 大样本计算量	6
1.4.2 模型参数的使用和确立	6
1.4.3 对于信用风险的考量	6
1.4.4 信用评级的跟踪	7
1.4.5 贴近市场	7
二、文献综述	8
2.1 可转债定价理论研究	8

章节	页码
2.2 可转债实证研究.....	10
2.3 可转债套利策略研究.....	11
三、国内可转债条款描述及定价假设.....	12
3.1 利率条款.....	12
3.2 转股期和回售期的设置.....	12
3.2.1 转股期.....	13
3.2.2 回售期.....	13
3.3 有条件赎回条款.....	13
3.3.1 赎回触发条件.....	13
3.3.2 赎回价格.....	14
3.3.3 具体赎回条款.....	14
3.4 回售条款.....	15
3.4.1 回售触发条件.....	15
3.4.2 回售价格.....	15
3.4.3 投资人行权.....	16
3.4.4 具体回售条款.....	16
3.5 下修条款.....	17
3.5.1 下修触发条件.....	17
3.5.2 下修方法.....	17

章节	页码
3.5.3 下修价格确定	18
3.5.4 下修条款的重要性	18
3.5.5 具体下修条款	19
3.6 模拟定价之条款假设	20
3.7 本章小结	20
四、国内可转债定价实证研究	21
4.1 数据来源与可用性	21
4.2 参数确定	21
4.2.1 利率参数	21
4.2.2 提前赎回概率	22
4.2.3 下修概率	22
4.2.4 回售概率	22
4.2.5 到期赎回概率	22
4.3 模拟过程说明	23
4.3.1 蒙特卡洛模拟的理论说明	23
4.3.2 蒙特卡洛模拟方法的收敛测试	25
4.3.3 程序设计简要说明	27
4.3.4 模拟步骤	27
4.4 本章小结	28

章节	页码
五、实证结果分析.....	29
5.1 定价结果的评价	29
5.2 定价的实证情况.....	29
5.2.1 国内实证定价的详细分析	31
5.3 参数敏感性测试.....	34
5.3.1 模拟次数对于结果集的影响	34
5.3.2 强赎概率对于结果集的影响.....	34
5.4 下修和回售概率对于结果集的影响	34
5.5 本章小结	35
六、影响理论价格与市场价格差异的因素分析.....	36
6.1 影响理论价格与市场价格差异的因素假设.....	36
6.2 解释变量的相关性分析	38
6.3 回归结果分析.....	38
6.3 影响误差率差异的因素分析.....	40
6.4 本章小结	42
七、结论与展望.....	43
7.1 研究总结.....	43
7.2 不足之处与未来研究展望.....	43
参考文献.....	45

表格列表

表格	页码
1 可转债利率分年统计表.....	12
2 主要数据来源表	21
3 各条款触发等待时间统计描述表.....	22
4 样本区间到期回售情况表	23
5 蒙特卡洛模拟股价统计分布表.....	27
6 定价结果的整体描述表.....	30
7 全部样本定价误差率统计分布表.....	31
8 不同信用评级定价误差率统计分布表.....	32
9 不同上市年限可转债定价误差率统计分布表.....	32
10 解释变量的含义及计算方式.....	37
11 影响定价误差的变量列表	38
12 解释变量的相关性矩阵表.....	38
13 多模型回归结果	39

图表列表

图表	页码
1 研究框架示意图.....	4
2 强赎条款分布示意图.....	15
3 回售条款分布示意图.....	16
4 下修条款分布示意图.....	19
5 蒙特卡洛模拟流程图.....	24
6 蒙特卡洛模拟 1000 次直方图	25
7 蒙特卡洛模拟 5000 次直方图	25
8 蒙特卡洛模拟收敛示意图.....	26
9 定价偏差的核密度估计图	31
10 时间序列上的平均定价误差率变化图	33
11 时间序列上的平均绝对误差率变化图.....	33

一、第 1 章 导论

1.1 研究背景

可转债的全称是可转换公司债券，是一种含权债券，本身具备债券和股票的双重属性。对于投资者来说，既有确定的债券期限以及定期息率，还赋予投资者有权在规定期限内按照一定比例和相应条件以特定的价格将其转换成确定数量的发债公司的普通股票，享受到股利分配和资本增值。从衍生工具的角度看，可转债是普通债券附加公司股票看涨期权，使可转债成为兼具债券和股票收益的复合衍生品种。因此，可转债是一种“股债双得，攻守兼备”的投资品种。由于上不封顶，下有债底的保护，可转债深受机构投资者的偏爱。对于投资者来说，可转债交易成本低，没有印花税和过户费，而且是 T+0 的交易模式，没有风险敞口。对于上市公司来说，可转债是融资的其中一种方式，融资成本低，发行利率通常在 1%。对比同样是债务融资方式的银行信用和公司债，具有明显的成本优势。

资本市场的第一支可转债是 1843 年由美国纽约 Eric 铁路公司发行的，但由于条款，规则和理论模型的缺失，早期的可转债功能与普通债券并无差异，并一直处于市场边缘化并缓慢发展。但 20 世纪 70 年代以后，随着期权定价理论的发展和美国资本市场的成熟以及高速的通货膨胀，普通的债券价值缩水，可转债逐渐受到各方的追捧，至此可转债在美国进入了高速发展阶段。

我国可转债市场发展于 90 年代，1992 年底于深交所正式发行了中国证券市场的第一支可转债——宝安转债，发行数量 10 万张，每张 5000 元面值，共筹资 5 亿元。但由于中国资本市场发展时间太短、制度和法律相对欠缺，转股失败后可转债市场 5 年没有动静，

处于停滞状态，直到 1998 年才发行了两只转债，分别是南化转债、丝绸转债。2001 年 4 月，中国证监会颁布了《上市公司发行可转换公司债券实施办法》和 3 个相关的配套文件，对发行可转债的条件、可转债条款设计应包含的内容以及具体编制格式等等细节之处都做出了相应的指导性规定，在原有基础上提高了公司的盈利要求，在制度和流程上都有了更细微的规定。可转债的发行规模和数量才明显上升。自 2006 年至 2009 年 3 年期间，中国发行可转债规模是 274 亿，年平均发行 91 亿。但从 2010 年始至 2016 年，中国累计发行规模达 2470 亿，年平均发行 411 亿，年平均发行规模增长 3.5 倍。中国的转债市场迎来第一次规模大扩容。到了 2017 年，随着再融资新规、减持新规、和可转债信用申购新规的出台，可转债市场开始出现很大的变化，前期在一级市场较为明显。2019 年以后，可转债以井喷式的速度发展，可转债的数量从 2019 年初的 111 只发展到现在的 458 多只，存续规模发展到 7000 多亿，发行金额连续 3 年突破 2700 亿，日均成交额从 7 亿左右增长到现在的 1000 多亿。中美可转债有一定差异，如从转债类型、利率条款、信用担保与违约率、发行主体的质地等方面看，美国可转债本质比较像债，而中国可转债的本质更像是增发股票。在中国，可转债融资已成为上市公司的一个重要融资工具，受到更多专业机构投资者和个人投资者的追捧。

可转债在我国发展的过程中，也出现了很多自己的特点。例如，国外许多可转债在除权除息时转股价都不会调整。在我国，遇到这种情况，除了早期一些公司发行的可转债没有调整外，现在各可转债的转股价均会随正股的除权除息而调整。另外由于国内可转债在设计上直接借鉴了国外的成熟经验，我国可转债条款的设计显得极为复杂。除了一般的债权、转股权之外，还有复杂的路径依赖期权，主要包括回售权、赎回权、转股价格特

别修正权(为了区别普通除权除息带来的转股价调整)等。 这些路径依赖权最重要的参数是其触发条件, 主要为从某个特定时期开始, 当股价连续 X 个交易日内至少有 $Y(X \geq Y)$ 个交易日高于(或低于)当期转股价格的一定比例($Z\%$) 时, 公司可以或者必须进行某项操作。

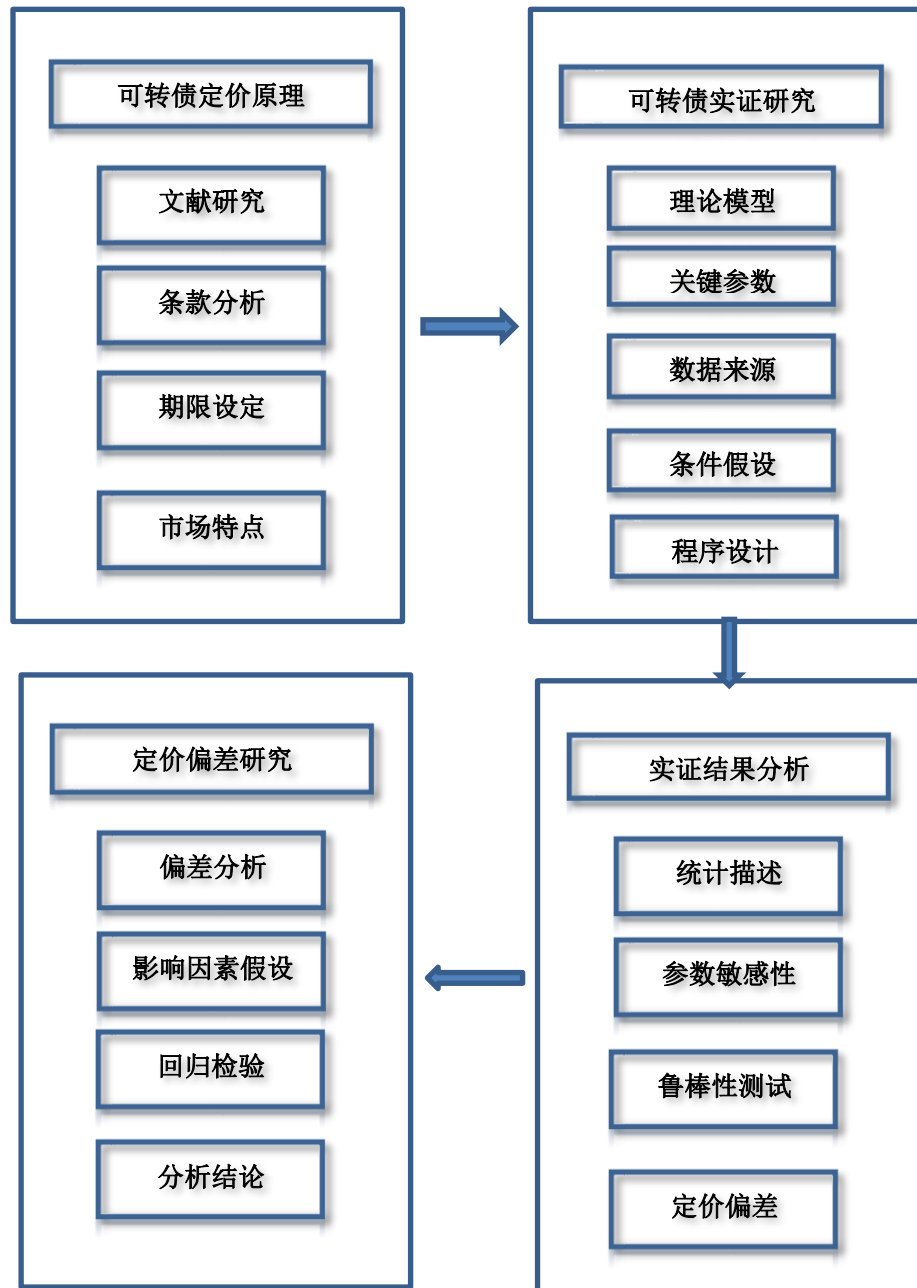
1.2 研究意义

可转换债券是一种复杂的结构性衍生产品, 具有美式期权、向上看涨期权、巴黎期权、重置期权和债券固定收益的性质。按定价思路划分, 可转债定价可以分为整体定价法与成分定价法。按定价技术划分, 可以分为解析解法、有限差分法、二叉树法、蒙特卡罗法。按风险因子划分, 可以分为基于公司价值的定价、基于股票价格的定价。国内外已有研究文献为可转债定价提供了模型基础, 从权益定价思想, 到因子定价模型, 以及其他二叉树或蒙特卡罗模拟等方法, 形成了较为完善的定价体系。由于可转换债券条款的复杂性, 许多外国文献中可转换债券的定价模式并不一定适合中国市场特征。自 2019 年以来, 国内 A 股市场的可转债发行量增长较快, 数据量成倍增长, 为实证研究提供可能性。目前已有的文献对可转债市场的溢价和折价的原因分析具有一定的分散性, 且得出的研究结论不一。研究可转债交易策略也仅集中于可转债 δ 套利策略的收益对可转债套利对冲基金业绩的解释方面。相较于美国成熟的可转债市场, 中国可转债市场仍处于发展之中, 并缺少了可转债套利对冲基金和交易策略方面的研究。因此, 本文将通过对可转债市场数据进行定量研究, 采用蒙特卡罗模拟的定价方法, 对可转债的理论价格尝试进行定价, 深入研究可转债的理论定价与市场定价偏差的规律, 并尝试解释定价误差形成的原因。

1.3 研究思路与框架

本文立足于中国可转债市场，从理论定价实证、理论价值与市场价值差异的原因分析以及 Delta 套利三个方面进行研究。研究框架如下：

图表 1 研究框架示意图



1.3.1 理论定价

本文通过对历史文献进行分类和整理，对可转债的理论定价的方法进行分类归纳与整理，并结合中国可转债市场的自身条款复杂、上市公司与投资者在债权和股权之间的博弈等特点，选取比较能够比较准确定价的蒙特卡洛模拟法进行实证定价研究，以期能够较为准确地计算出可转债的理论价值。

1.3.2 理论定价与市场价格差异的原因

由于可转债 T+0 交易制度、交易成本相对低廉，以及债券违约风险传导、投资者结构变化等原因，造成可转债的市场价格相较理论定价出现比较大的波动。本文试图构建以下因子，以分析该类因子对市场价格与理论价格的偏差的解释性：

I:反映市场投资者整体情绪的指标：VIX 指数，本文选取 Wind 全 A 的 VIX 指数数据

II:利率条款：取 N 年利率条款的均值（含利率补偿）

III: 短期股价动量（近 10 个交易日的平均涨跌幅）

IV: 短期股价的波动率（近三个月波动率）

V: 是否处于回售期，以及是否有回售条款

VI: 剩余期限

VII: 存续规模

1.3.3 Delta 套利

Delta 是国外对冲基金较普遍采用的可转债套利策略。在国内，由于融券各类和数量的困难，该策略在实际实现中存在困难。Delta 套利策略的核心在于利用可转债中的看涨期权特性。可转债可以看作是纯债券和嵌入的看涨期权的组合。Delta 值衡量的

是期权价值相对于标的股票价格变化的敏感度。在 Delta 套利策略中，投资者会同时做多可转债和做空相应数量的标的股票，以此来构建一个对股票市场波动相对中性的组合。这样，无论股票价格如何变动，组合的价值都能保持相对稳定。

1.4 本研究的创新之处

本研究在大样本量、各定价细节等方面进行了深入研究，以期获得更贴近市场真实的定价结果。

1.4.1 大样本计算量

为精准实现模拟，本文选取全 A 市场上自 19 年初到 2022 年末存续的 687 只可转债作为研究样本，对每个交易日，每只可转债进行理论定价，而且为保证模拟的收敛和控制误差，每个交易日每只可转债的模拟次数设置为 5000 次。本研究计算量之大，为过去类似研究所罕见。

1.4.2 模型参数的使用和确立

对于涉及模拟的重要参数，如强赎概率、下修概率、回售概率、模拟次数等，本文都进行了敏感性测试，以期排除重要参数对数据结果的影响。

1.4.3 对于信用风险的考量

为体现债券的违约特性，将信用风险考虑在定价之内，在现金流折现定价过程中，以相同剩余期限相同评级的企业债收益率近似替代为现金流折现模型中的无风险利率。

1.4.4 信用等级的跟踪

在可转债存续期间，外部信用评级机构会根据上市公司的财务状况，对其信用评级进行调整。为了反映可转债信用评级修正，本次研究从 Wind 数据库提取了可转债信用等级的调整情况，根据调整后的信用评级，对应相应的违约风险。

1.4.5 贴近市场

在每个转债的模拟过程中，充分考虑其转股期、回售期等时间特征，以及其模拟当日所处的强赎、下修或回售等阶段特征，将其实际阶段特征引入到模拟过程中，例如：某转债在已经处于强赎的连续 30 个交易日的第 10 个交易日高于当期转股价格的 130%，则在当日模拟开始时，将从 10 个交易日开始继续累加强赎条款，更加贴近实际。

二、文献综述

2.1 可转债定价理论研究

Ingersoll(1977) 和 Brennan and Schwartz (1977) 进行了可转债定价的开创性研究。尽管他们的研究是独立的，但几乎发表了相同的定价模型。1977年，Ingersoll(1977) 提出最早可转换债券定价的单因素模型，通过适当的边界条件，考虑可转换债券转为股票的可能。利用求解偏微分方程求解更复杂的问题，比如债券付息模式，信用风险等，推导出可赎回可转债的价值为不可赎回可转债价值与赎回权价值之和。Brennan 和 Schwartz (1977) 采用了有限差分数值方法求解该偏微分方程，事实上，有限差分法仍然不能很好地综合考虑转债诸多特性，并且他们的这个模型有个显著的局限在于：仅考虑公司价值变化的影响，并没有考虑利率的影响，并没有考虑利率的随机变动。因此属于单因素模型。1986年，McConnell 和 Schwartz (1986) 以股票价格为标的变量，提出了一个零息票、可转换、可赎回、可回售的单因素可转换债券定价模型，大多数可转换债券定价的设计均以该模型为基础。这是目前市场上使用比较广泛的一种可转换债券定价模型。Goldman Sachs (1994) 利用二叉树模型来计算可转债的理论价格，利用股票价格进行可转债的定价做了有益的尝试。Tsiveriotis and Fernandes (1998) 提出的模型把可转债价值分解成两部分：一部分是指将可转债转换成股票的转换价值；另一部分是和一直持有转债能够得到的现金流有关的价值。

结构法双因素模型包括 Brennan&Schwartz (1980) 模型、Carayannopoulos (1996) 模型和 Nyborg (1996) 模型。Brennan&Schwartz (1980)模型延展了他们在 1977 提出的理论，并把短期利率作为无风险利率引入。此模型局限在于只考虑的转换权和赎回权，并

假定息票的支付数额是固定的。在此基础上, Nyborg (1996)对 Brennan 和 Schwartz (1980) 模型进行了扩展, 考虑了有回售条款和浮动息票支付条件下的可转债的定价以及在息票支付上。简式双因素模型主要包括 Ho&Pfeffer (1996) 模型、Giovanni, Ana Bermudez&John Hatgioannides (2003)模型和 A.Takahashi T.Kobayashi&N.Nakagawa (2001)模型。Ho&Pfeffer (1996)模型考虑了利率的随机波动和违约风险补偿加入到股价运动模型的漂移率之中。A. Takahashi.T.Kobayashi&N.Nakagawa (2001)模型(简称 TKN 模型) 引入信用风险作为一个随机因素。GBH 模型(B—A., Giovanni, Ana Bermudez&John Hatgioannides, 2003) 假定转债价格的影响因素为股价和公司债券的收益率, 并允许股价与利率之间存在相关性。利用无套利原理推导出了可转债定价偏微分方程。1999 年, Davis&Lischka(1999)提出了一个可转债定价三因素模型。假定可转债价格受利率、股价和违约风险影响。利率随机波动模型使用拓展的 Vasicek 模型。并不再认为信用风险利差是不变的常数, 能更加精确地对可转债进行定价。

蒙特卡洛模拟法是目前可转债定价的最佳方法:可转换债券包含有多个路径依赖性的奇异期权, 赎回权、回售权、美式买入期权、债权等彼此互相影响, 这些期权应作为一个整体来定价, 而不宜采用拆分成债券加期权的办法。解析式法、二叉树法, 有限差分法用于可转换债券定价都有很大的缺陷。

2004 年, Lvov et al. (2004) 假设违约强度为常数, 采用 CIR 随机利率模型对最小二乘蒙特卡洛 LSM 法与 Ayache et al (2003) 有限差分法对可转债定价的准确度进行了比较。Wilde &Kind (2005) 对比了 LSM 模型、解析式法以及二叉树模型对欧式和美式可转债的定价效率, 结果表明随机利率尤其会对平值可转债的价值产生影响, 并且证实

LSM 法更适合实践应用。Ammann et al. (2008) 采用 GARCH 模型来估计随机波动率，采用 Tsiveriotis & Fernandes (1998) 的方式处理违约风险，利用两阶段蒙特卡洛模拟法对美国市场上的可转债进行实证分析。庞环鹏 (2013) 基于 LSM 方法对我国可转债定价进行了实证研究，其中对股份的波动率过程采用 GARCH 进行建模，并将信用风险纳入模型中，利用违约强度对违约前股价的动态过程进行了修正，利率采用 CIR 模型，认为随机利率对定价的影响很小可以忽略。

2.2 可转债实证研究

实证方面，赖其男，姚长辉，王志诚 (90) 使用了 Tsiversotis & Fernandes 模型的二叉树形式对可转债进行定价，但谭治国 (2004) 认为在对回售权和特别向下修正权的处理上尚存在一些问题。赖其男等 (90) 对 2005 年 1 到 3 月的数据采用 TF 模型进行实证分析，但得出的结果低于市场价格，从而得出可转债价格没有被低估的结论。谭治国 (2004) 同样使用 TF 模型处理凯诺转债 (110398) 和凯诺科技 (600398) 在 2006 年 8 月 30 日到 2006 年 11 月 17 日共 54 天的收盘价数据，也发现结果低于市场价格。但在谭治国 (2004) 的后续分析指出这是由于可转债流动性低下、卖空操作的缺失导致中国可转债事实上存在严重低估，因此 TF 模型对我国可转债市场的实用性有待商榷。在深圳证券交易所第七届会员单位与基金公司研究成果评选终评会上的一篇《可转债定价研究》中，该文作者效仿高盛 (Goldman Sachs) 模型，运用“套利比率”加权的方式构建了可转债的二叉树定价模型。谭治国 (2004) 认为该文作者文中阐述观点和实际操作有出入。作者在文中说“我国可转债几乎没有违约风险，因此这里所采用的模型是简约法单因素模型”，但在效仿高盛 (Goldman Sachs) 模型时，又使用了“套利比率”加权的方式计算贴现利率以弥补

简约法没能考虑违约风险的缺陷，这和文中所表达“没有违约风险”的假设自相矛盾，同时这个“套利比率”加权的方式也缺乏理论依据。

2.3 可转债套利策略研究

Loncarski, Horst & Veld (2009)讨论了可转债套利策略的兴起和衰败，在实证研究发现可转债在发行日是被低估的，且从发行当日的卖空正股活跃度来看，股性可转债要强于债性可转债，而且发现最近几年可转债套利空间巨幅缩小。Batta, Chacko 和 Dharan (2010)认为可转债套利的超额收益主要来源于流动性风险因子的补偿。Hutchinson 和 Gallagher (2010)构造了经典可转债套利策略组合来模拟可转债套利，发现可转债套利收益与违约率和期限结构成正相关关系，并比较了与可转债套利指数的超额收益。吴海燕(2013)在对可转换债券进行理论研究的基础上，对我国可转换债券的风险收益特征、市场套利机会的存在性和 Delta 套利策略展开实证研究。周铭山等(2013)认为投资者的信息不全面和不完全理性的投资情绪导致我国可转债定价效率低，并构造了相应的套利策略。Agarwal 等(2011)一文中也构造了一类可转债套利策略，套利策略组合包括可转债多头、正股空头、利率空头和信用风险空头，它们之间的比例由可转债收益率与股票、利率和信用风险价差之间的回归系数确定。

三、国内可转债条款描述及定价假设

3.1 利率条款

国内可转债的存续期限一般为 6 年，利率采用固定利率，每年在固定的时点进行利息支付。利率水平一般采用前低后高的特点，第一到六年的利率水平中位数分别为：0.4%，0.6%，1%，1.5%，1.8%和 2.0%，远低于同期国债的利率水平。

有的可转债在最后一年（第 5 或第 6）到期时，会设置利率补偿条款，在正常还本付息的基础上，每张可转债再给予一定的利率补偿金额，这也是第五和第六年利率水平略高的原因。

表格 1 可转债利率分年统计表

分年利率	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
1	687	0.36	0.10	0.1	0.3	0.4	0.4	0.8
2	687	0.58	0.13	0.2	0.5	0.6	0.7	1.5
3	687	1.00	0.20	0.3	1.0	1.0	1.0	2.6
4	687	1.55	0.29	0.8	1.5	1.5	1.5	3.3
5	687	2.02	0.44	1.2	1.8	1.8	2.3	6.0
6	664	2.41	0.56	1.6	2.0	2.0	3.0	5.0

3.2 转股期和回售期的设置

在国内可转债的转股期和回售期的设置是相当标准化的，但具体的设定可能因发行人和具体的市场环境而异。一般可转债会设置六个月的封闭期，在封闭期内不能进行转股操作。封闭期的存在以及对冲手段的缺乏，是造成可转债大幅折价的重要原因之一。

3.2.1 转股期

转股期通常在可转债发行之后的六个月开始，一直持续到该可转债的到期日。在转股期间，债券持有人可以根据市场情况和自身的投资目标，选择将债券转换成发行人的普通股。转股价格在发行时就已经确定，并在发行说明书中详细列出。

3.2.2 回售期

回售期是指投资者有权选择将可转债卖回给发行人的期间。中国的可转债通常会设置两个或者三个回售期，通常分别在发行后的第三年、第四年和第五年的一段时间内。如果在这些回售期内，满足一定的回售触发条件（如可转债价格连续一段时间低于债券面值的一定比例），那么债券持有人就有权选择行使回售权，将债券卖回给发行人。

3.3 有条件赎回条款

一般可转债会设置有条件赎回条款，这是作为可转债体现股性的重要条款。一般可转债规定，在转股期内，如果正股股价连续 X 个交易日中至少有 Y 个交易日满足收盘价格不低于当期转股价格的 $Z\%$ ，则上市公司有权以面值加当期利息进行强制回售。当发生有条件赎回时，转债的价值一般会在 130 元以上，此时投资者为了避免被 100 元面值加利息赎回，需要将手中的可转债卖出或者转换成股票，由此实现可转债的转股退出。有条件赎回触发时，债券存续期减少，期权的时间价值下降。

3.3.1 赎回触发条件

发行人只有在满足一定的条件下才能行使赎回权。这个条件通常是基于可转债的转股价值和市场价格。一种情形是，如果在可转债转股期内，连续若干个交易日（例如 30 个或者 60 个）内，可转债的转股价值高于其面值的一定比例（例如 130% 或者 150%），那么发

行人就可以选择行使赎回权。另外一种情形时，当本次发行的可转债未转股的票面金额少于一定金额（例如 3,000 万元）时，发行人有权利行使赎回权。前面一种情形，往往与股价的大幅上涨有关，而后面一种情形，往往由于可转债持有人转股积极，存续份额下降到比较小的规模，从而触发提前赎回条款。

3.3.2 赎回价格

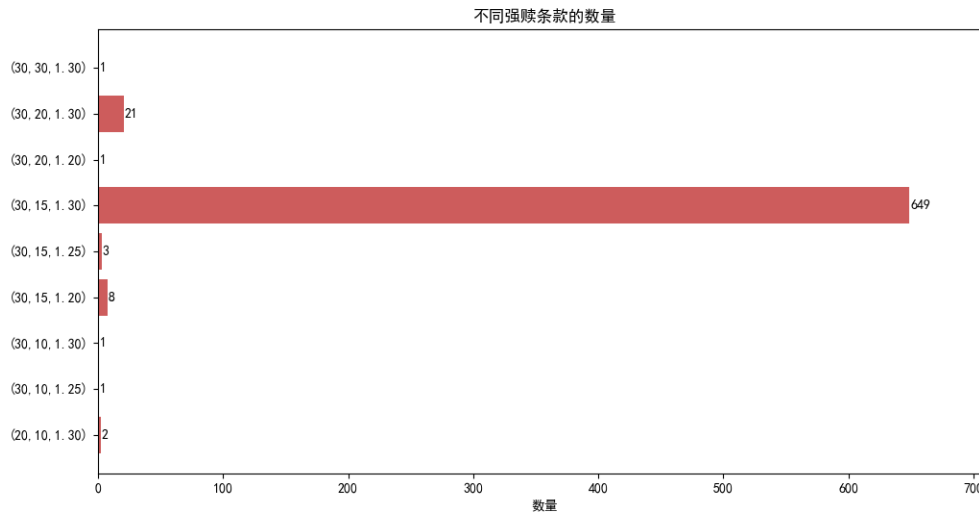
赎回价格通常是根据可转债的面值以及累计利息来确定的。也就是说，发行人需要支付给持有人的金额是可转债的面值加上从发行日到赎回日之间的应付未付利息。

发行人如果决定行使赎回权，需要在规定的时间内发出赎回通知。这个通知需要包括赎回的日期，赎回的价格，以及投资者需要采取的行动等信息。投资者在收到赎回通知后，需要在规定的时间内将可转债交付给发行人，以便收到赎回价格。

3.3.3 具体赎回条款

国内市场上强赎条款一般集中连续 30 个交易日中至少 15 个交易日满足股价高于当期转股价格的 130%，占比 95.72%。

图表 2 强赎条款分布示意图



3.4 回售条款

3.4.1 回售触发条件

连续若干个交易日（一般为 30 个交易日）内，可转债对应正股收盘价格低于转股价值的一定比例（如 80%）即触发有条件回售；另外，当可转换公司债券募集资金投资项目的实施情况与公司在募集说明书中的承诺情况相比出现重大变化，根据中国证监会的相关规定被视作改变募集资金用途或被中国证监会认定为改变募集资金用途的，可转换公司债券持有人享有一次回售的权利。

3.4.2 回售价格

回售价格通常是可转债的面值加上应付未付的利息。面值一般为 100 元，而利息则根据可转债的票面利率和已经过去的时间来计算。在某些情况下，回售价格可能会高于债券的面值。通常规定一个回售期，一般为最后两年，即第五、六年，只有在这些日期，持有人才可以选择行使回售权。改变募集用途引发的回售不受回售期限的限制。

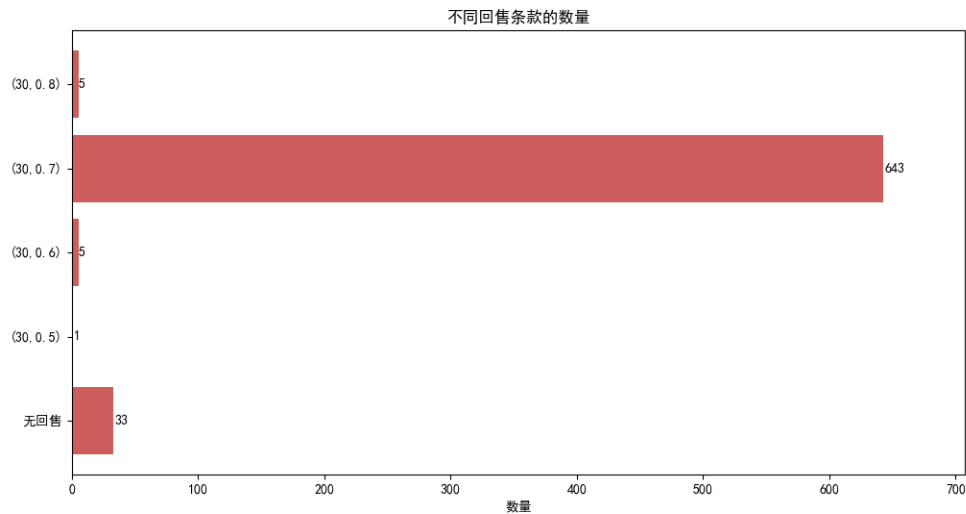
3.4.3 投资人行权

根据可转债发行条款要求，投资人可以首次满足后可按上述约定条件行使回售权一次，若在首次满足回售条件而可转债持有人未在公司届时公告的回售申报期内申报并实施回售的，该计息年度不应再行使回售权，可转债持有人不能多次行使部分回售权。

3.4.4 具体回售条款

A 股市场上，回售条款一般集中在连续 30 个交易日，股价低于转股价格的 70%这一条款上，占比 94.84%。另外，还有 33 家公司未设置回售条款，占比 4.87%。

图表 3 回售条款分布示意图



3.5 下修条款

如果正股股价连续 X 个交易日中至少有 Y 个交易日满足收盘价格低于当期转股价格的 Z%，则发行人可以提请对转股价格进行下修，下修价格一般不低于前 20 个交易日均价和前一交易日均价的较高值，一般不低于每股面值和每股净资产。下修是国内可转债实现转股退出的重要保障。

下修转股价，意味着相同面值的可转债可以转换为更多的上市公司股份，对于原股东来说，意味着更高的股权融资成本，因此原股东并非有强的下修转股价的意愿。从市场实践的角度看，下修也往往是伴随着回售而产生的，反映了上市公司控股东为了避免回售可转债而进行转股价下修的博弈。

3.5.1 下修触发条件

下修触发条件是下修条款的核心。下修条款通常在以下几种情况下触发：

公司分红：如果公司进行现金分红或者送红股，而分红的比例超过了一定的阈值，发行人就需要按照约定的方式调整转股价格。

公司进行重大资本运作：比如增发新股、非公开发行、配股等，导致公司股本增加，这时也需要调整转股价格。

如果在一定期限内（如连续 30 个或 60 个交易日），可转债的收盘价持续低于转股价格的某一确定比例（如 70%或 80%），那么发行人可以选择行使下修权，对转股价格进行调整。

3.5.2 下修方法

通常，下修转股价格的方法会在发行说明书中明确规定。通常的方法是根据公式进行调整，公式中会考虑到分红的比例、配股的价格等因素。

发行人在决定行使下修权时，需要在规定的时间内发出下修通知。这个通知需要包括下修的日期，下修后的转股价格，以及触发下修条款的事件等信息。

3.5.3 下修价格确定

分红或派息：如果公司进行了分红或派息，那么转股价格通常会按照以下公式调整：

调整后的转股价格 = 调整前的转股价格 / (1 + 分红率)

其中，分红率 = 每股派息金额 / 调整前的转股价格。

股本变动：如果公司进行了增发、配股等导致股本增加的操作，那么转股价格通常会按照以下公式调整：

调整后的转股价格 = 调整前的转股价格 x 调整前的总股本 / 调整后的总股本

市场价格持续下跌：如果市场价格持续下跌触发了下修条款，那么转股价格通常会按照以下公式调整：

调整后的转股价格 = 连续下跌期间的平均交易价格

3.5.4 下修条款的重要性

下修条款在中国的可转债市场中被认为是非常重要的，主要有以下几个原因：

保护投资者权益：当公司分红、增发、配股或者市场价格持续下跌等情况发生时，原来的转股价格可能会显得过高，这将使得投资者的转股权利受到削弱，也就是说，投资者可能失去了在股票上涨时获利的机会。通过执行下修条款，可以适时调整转股价格，保护投资者的权益。

提高可转债的吸引力：下修条款的存在使得可转债的投资价值得到提高。因为在一些情况下，即使公司的股票价格出现下跌，投资者也有机会通过转股获得收益，这就增加了可转债的吸引力。

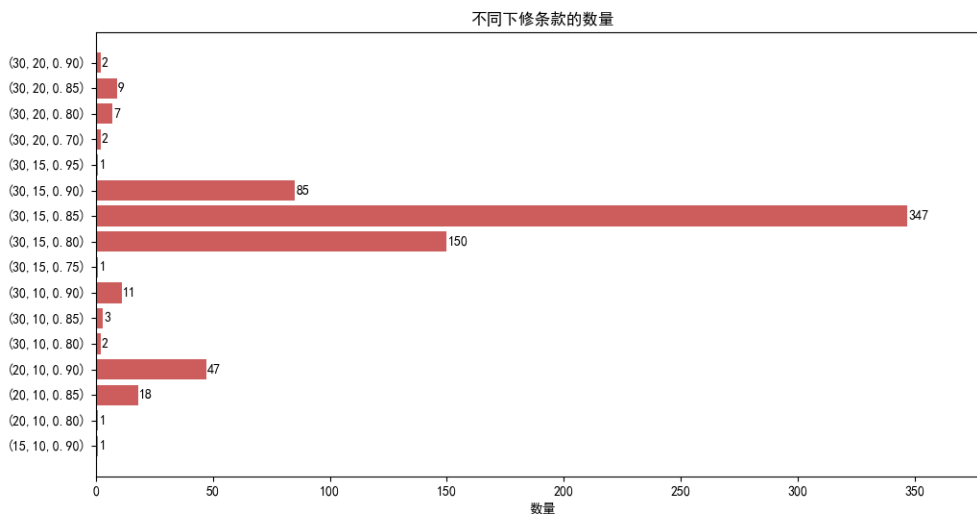
防止过早回售：当市场价格持续下跌时，如果没有下修条款，投资者可能会选择行使回售权，这将增加公司的财务压力。下修条款的存在，可以通过降低转股价格来提高可转债的市场价格，从而减少投资者过早行使回售权的可能性。

减少公司的财务成本：在股票价格上涨的情况下，下修条款可以帮助公司降低转股价格，增加转股的可能性，从而减少未来需要偿还的债务，降低财务成本。

3.5.5 具体下修条款

国内下修条款主要集中在连续 30 个交易日至少有 15 个交易日，股价低于当期转股价格的 85%，占比为 51.18%。

图表 4 下修条款分布示意图



3.6 模拟定价之条款假设

由于有条件赎回、回售和下修等条款触发之后，并非 100%产生相应的赎回、回售或下修等动作，均存在上市公司与债券持有人之间的博弈，即发生有条件赎回后，上市公司股东由于自身未减持完毕、现金流动性不足或其它原因，不进行赎回，以及当下修条款触发之后，上市公司出于原有股东利益等原因，而不进行相应的下修等，因此本文统计了自 2019 年 1 月 1 日至 2022 年 12 月 31 日，触发条款之后，实际进行赎回、回售或下修的概率，作为定价模拟的重要参数。

在定价模拟过程中，考虑到债券的违约概率，以相同剩余期限相同评级的企业债收益率近似替代为现金流折现模型中的无风险利率进行折现。

此外，国内大部分可转债会在正股除权除息时调整转股价，在不考虑其他因素的情况下，送红股、转增股本对可转债的转股价值无任何影响。配股与增发新股对可转债价值影响情况一样，若转股价大于正股股价（此时转股价值小于 100），配股与增发新股将增加可转债转股价值，反之则减少；发放现金股利对可转债的影响机制与配股刚好相反。本文为研究方便起见，暂不考虑此类调整对于可转债价值的影响。

3.7 本章小结

本章对国内可转债的各条款进行了分析和特征描述，包括利率条款、转股期和回售期的设置，赎回、回售以及国内比较有特色的下修条款等，从股东和投资人博弈的角度，以及国内市场的现状角度，分析各条款的特征，提出实证定价模型在各条款的假设条件，为后续进行实证分析奠定基础。

四、国内可转债定价实证研究

4.1 数据来源与可用性

本文数据时间选取从 2019 年 1 月 1 日起至 2022 年 12 月 31 日合计 972 个交易日，期间共存续约 687 只可转债。可转债和正股的行情采用每个交易日收盘价，正股的波动率使用其每个交易日前一年的历史波动率，可转债的利率和条款数据均取自恒生聚源商业数据库。可转债评级的调整信息、国债和不同评级企业债收益率数据均来自 Wind。

表格 2 主要数据来源表

数据名称	表名	数据库名
可转债基本信息	Bond_ConBDBasicInfo	恒生聚源数据库
可转债行情信息	Bond_ConBDEXchangeQuote	恒生聚源数据库
可转债条款信息	Bond_ConBDIssueTerm	恒生聚源数据库
可转债利率与现金流信息	Bond_IntRedInfoPL	恒生聚源数据库
可转债赎回信息	Bond_ConBDCallInfo	恒生聚源数据库
可转债回售信息	Bond_ConBDPutInfo	恒生聚源数据库
可转债下修信息	Bond_ConBDChangeInfo	恒生聚源数据库
股票历史波动率	Qt_Performance	恒生聚源数据库
一年期国债收益率	WIND	Wind数据库
各期限企业债收益率	WIND	Wind数据库
可转债信用评级修正	WIND	Wind数据库

4.2 参数确定

参数是蒙特卡洛模拟过程中的重要变量，主要包括利率参数、提前赎回概率、下修概率、回售概率、到期赎回概率等。

4.2.1 利率参数

债券 DCF 估值收益率：采用同一交易日，相同企业评级，相同剩余期限（年）的企业债收益率。并根据可转债信用评级的修正信息，实时进行修正。

可转债存续期利率：采用可转债发行时公布的利率条款。

4.2.2 提前赎回概率

样本区间内，共发生 689 次提前赎回事件，其中有 214 次发生了提前赎回，概率为 31.06%。提前赎回发生后，距离提前赎回实施日的间隔日期，中位数为 19 个交易日，平均数为 21 个交易日。提前赎回未发生时，需要等待一个日期继续产生下一次提前赎回事件，等待日期的中位数约为 61 个交易日，平均数约为 91 个交易日。

4.2.3 下修概率

样本区间内，根据下修条件共发生 848 次下修事件，其中有 106 次发生下修，下修概率约为 12.5%。样本区间内，下修发生后，到下修公告发生，会有一段 CPR_Wait_Days，样本区间内共统计到 358 次发公告的下修事件，距离公告日的等待日期中位数为 75 个交易日，平均值为 135 个交易日。未发生下修事件，上市公司一般会公告一个时间，在这个时间内不再进行下修，经统计，这个时间的中位数约为 120 个交易日，平均值约为 100 个交易日。

4.2.4 回售概率

回售分为提前回售和到期回售两种类型。样本区间内，发生提前回售共 350 次，其中仅有辉丰转债(代码: 128012)和江南转债(代码: 113010)两只通过提前回售实现退出。由此估计提前回售的概率约为 0.57%。

表格 3 各条款触发等待时间统计描述表

variable	N	mean	std	min	0.25	0.5	0.75	max
redeem_pub_days	686	77	103.46	0	2	31	115	667
noredeem_wait_days	292	91	55.92	13	60	61	120	430
redeem_finish_days	209	21	6.66	3	15	19	27	45
cpr_pub_days	358	135	170.1	0	13	75	179	927
nocpr_wait_days	222	100	43.27	19	61	120	124	242

4.2.5 到期赎回概率

样本区间内，共有 8 只可转债到期回售实现退出，占整体样本 687 只的 1.16%。

表格 4 样本区间到期回售情况表

代码	名称	摘牌日期	发行总额(万)	到期比例	赎回价格	
110030.SH	格力转债	43824	98000	0.4	106	
113008.SH	电气转债	44229	600000	0.22	106.6	
110031.SH	航信转债	44362	240000	1	107	
110034.SH	九州转债	44578	150000	1	108	
113009.SH	广汽转债	44585	410558	0.26	106	
127003.SZ	海印转债	44720	111100	0.39	110	
128013.SZ	洪涛转债	44771	120000	0.05	108	
110038.SH	济川转债	44879	84316	0.75	106	

4.3 模拟过程说明

4.3.1 蒙特卡洛模拟的理论说明

与 Black-Sholes 模型中的假设一样，即在无风险测度下，股价服从几何布朗运动：

$$dS_t = rS_t dt + \sigma S_t dW_t$$

其中， r 是无风险利率， σ 是股价的波动率。本文使用之前一年的历史波动率来估计股价的波动率，即

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^T \left(\ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right) - \mu \right)^2}$$

(公式 4-1)

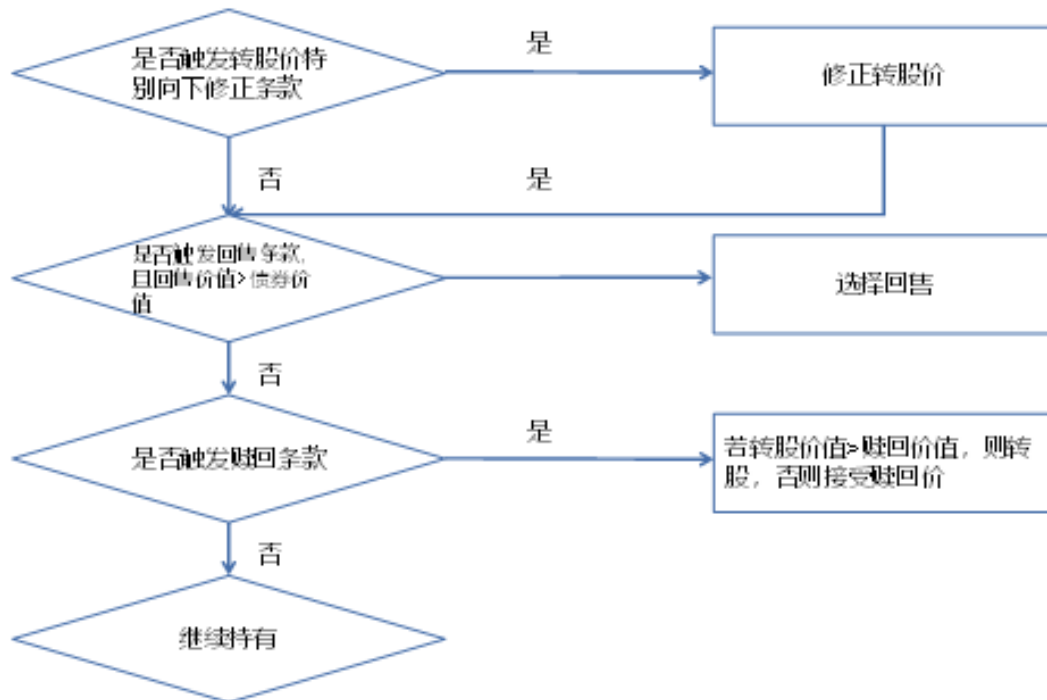
其中

$$\mu = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right)$$

(公式 4-2)

根据几何布朗运动，本文将使用蒙特卡洛方法对每一只正股股价路径进行模拟,对每一个模拟股价，判断可转债的赎回、回售、下修或存续状态，从而决定一个交易日的模拟路径选择，如此循环进而完成对每一个可转债的定价。将每一条模拟路径的理论定价进行平均，就得到该只可转债的模拟理论定价。

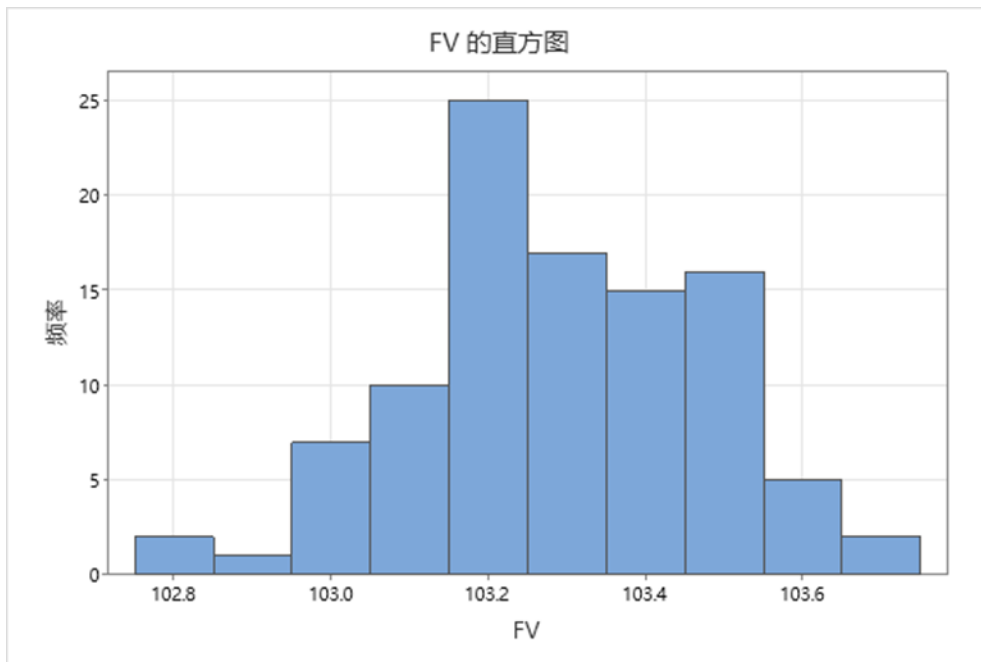
图表 5 蒙特卡洛模拟流程图



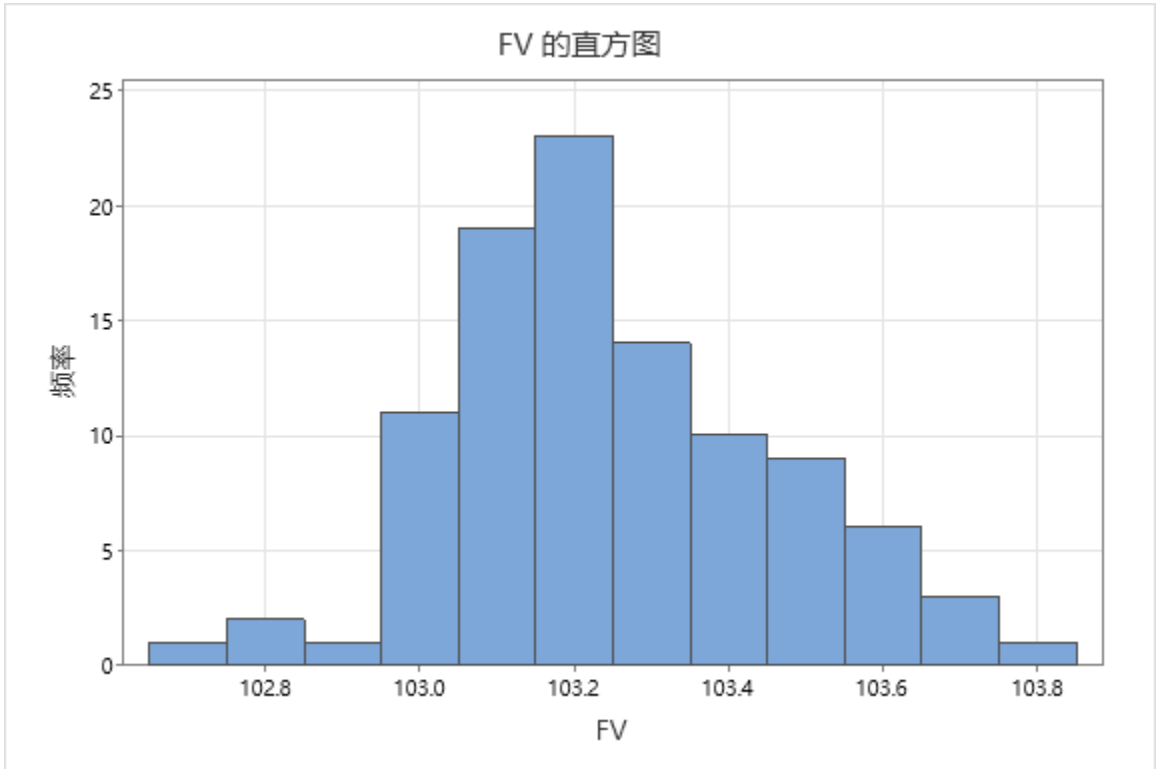
4.3.2 蒙特卡洛模拟方法的收敛测试

本文选取格力转债（可转债代码“110030”）以 2019 年 1 月 2 日收盘价进行价格模拟，每次的模拟次数为 1000 次，共进行 100 次模拟，以及模拟次数为 5000 次，进行 100 次模拟所得数据描述性统计如下：

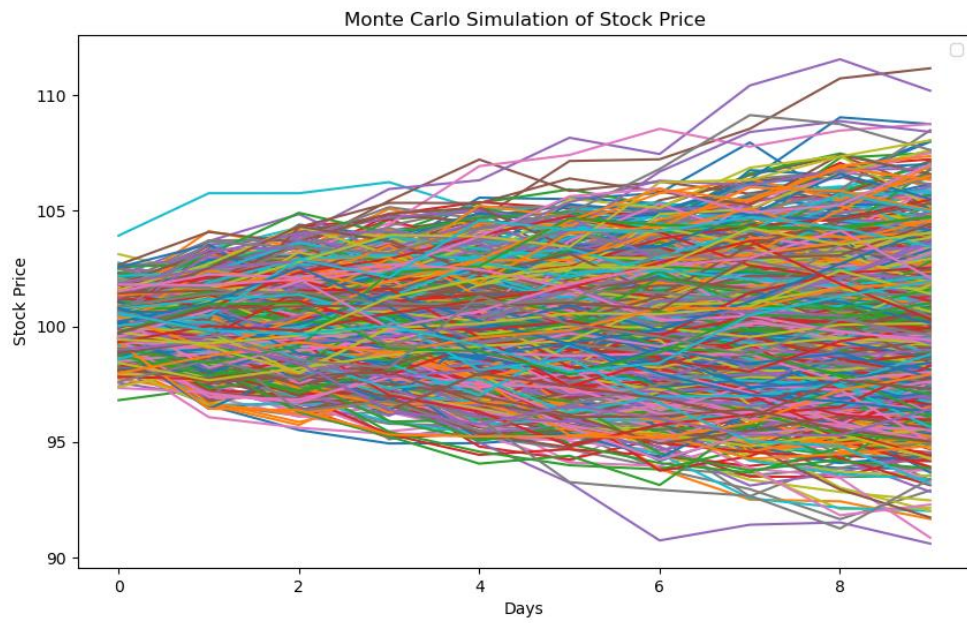
图表 6 蒙特卡洛模拟 1000 次直方图



图表 7 蒙特卡洛模拟 5000 次直方图



图表 8 蒙特卡洛模拟收敛示意图



由此，可见模拟次数达到 1000 次以上的时候，数据都具备较好的收敛效果，而且模拟次数越多，数据具备越好的收敛效果。

表格 5 蒙特卡洛模拟股价统计分布表

变量	均值	均值标准误	标准差	最小值	下四分位数	中位数	上四分位数	最大值
FV_1000	103.28	0.0184	0.184	102.81	103.17	103.28	103.43	103.68
FV_5000	103.25	0.0209	0.209	102.73	103.12	103.22	103.4	103.8

4.3.3 程序设计简要说明

本文主要程序采用 Python 设计，主要程序设计分为前期数据处理、后期模拟、数据分析以及性能优化等几个部分。整个样本空间包括 296,008 条数据，每条数据需要进行 5000 次定价模拟，需要进行 148,004 万次模拟和计算，对于系统性能和算力提出了非常高的要求。为提升运算效率，针对关键的单次模拟，利用 C++ 及多线程技术对核心过程进行了深度优化。

4.3.4 模拟步骤

假设模拟开始的时间为 T_0 日，某股票其股价为 P_0 ，其转股价格为 P_c 。

步骤一：生成该股票下一交易日的股价 P_1

$$P_1 = P_0 \times [(1 + \text{RateRiskFree}) \times \text{Random}] \quad (\text{公式 4-3})$$

步骤二：判断该交易日股价是否触发强赎、回售或下修条件。

(1) 如果触发强赎条款，则模拟结束，可转债以转股形式退出，模拟结束。强赎价格公式为：

$$P = (P_1 / P_c) \times 100 \quad (\text{公式 4-4})$$

(2) 如果触发回售条款，则可转债以回售概率进行回售，回售价格公式为：

$$P = P_{callback} \quad (\text{公式 4-5})$$

$P_{callback}$ 一般在发行条款中约定

(3) 如果触发下修条款，则可转债进一定的概率进行下修，当下修发生时，下修价格一般为：

$$P_{cnew} = \max(P_{20 \text{ 均价}}, P_{\text{前收盘价}}) \quad (\text{公式 4-6})$$

步骤三：重复上述步骤，直至可转债实现退出，或到期结束。

步骤四：对于转股实现的退出，由于没有信用风险，无风险利率取当期国债利率利率。

对于到期、回售等实现的退出，无风险利率取同期同信用等级的企业债利率作为无风险利率。最后利率 DCF 现金流折现方法，将其折现为 T_0 时刻的估值。每一次模拟的

$$Value_{final_{s_0}} = \sum_{i=0}^n (CashFlow_i / (1 + Rate_{riskfree})^n) \quad (\text{公式 4-7})$$

其中， $CashFlow_i$ 为可转债每一期的现金流，在没有退出之前，为每年固定日期派发的利息。 $Rate_{riskfree}$ 为当期现金流对应的无风险利率，以相同剩余期限相同评级的企业债收益率近似替代。

步骤五：所有的模拟次数 s_0 到 s_n 的估值取平均值，即得到 T_0 时刻的可转债理论定价值。

$$Value_{final} = average(\sum_{i=s_0}^{s_n} Value_{final_{s_0}}) \quad (\text{公式 4-8})$$

4.4 本章小结

本章从数据来源与可用性方面对定价的实证研究进行分析，并确定了利率、提前赎回概率、下修概率、回售概率和到期赎回概率等参数，对实证方法的收敛特征等进行了测试，并根据蒙特卡洛模拟方法的理论，对整个实证过程步骤，以及每一步的公式进行了推导和简要说明。

五、实证结果分析

5.1 定价结果的评价

一般来说，实证定价的结果与市场价格之间不会完全相等，模型误差主要来源于两个方面，模型参数设定带来的误差和模型自身限制带来的误差。通常有采用平均定价误差率、平均绝对定价误差率和平均定价误差率平方和的标准差等标准来评判定价模型的优劣。郑振龙和林海（2004）、赖其男、姚长辉和王志诚（2005）、刘娥平和韦科帆（2006）、Ammann, Kind 和 Wide(2003)都是通过计算平均定价误差率来判断市场的价值状态。Zabolotnyuk, Jones 和 Veld(2010)使用平均定价绝对误差率以及平均定价误差率平方和的标准差等模型优劣性比较指标。

$$\text{平均定价误差率} = \text{average}\left(\frac{\text{市场价格} - \text{理论价格}}{\text{理论价格}} \times 100\%\right) \quad (\text{公式 5-1})$$

$$\text{平均绝对误差率} = \text{average}\left(\left|\frac{\text{市场价格} - \text{理论价格}}{\text{理论价格}}\right| \times 100\%\right) \quad (\text{公式 5-2})$$

$$\text{平均定价误差率平方和的标准差} = \sqrt{\text{average}\left(\frac{\text{市场价格} - \text{理论价格}}{\text{理论价格}}\right)^2} \times 100\% \quad (\text{公式 5-3})$$

平均定价误差率可以判断市场价格是平均整体高于或低于理论价格，可以得出市场的整体估值状态。平均绝对定价误差率可以判断市场价格与理论价格的绝对偏离水平，平均绝对定价误差率越低，说明市场价格和理论价格的吻合程度越高。

5.2 定价的实证情况

Ammann, Kind 和 Wilde (2003)认为法国可转债市场存在高估现象，平均高估程度约为 3%，Barone-Adesi, Bermudez 和 Hatgioannides (2003)运用英国一只可转债数据，发现高估约 5%，Ammann, Kind 和 Wilde (2008)认为美国可转债市场呈现轻微高估现象，

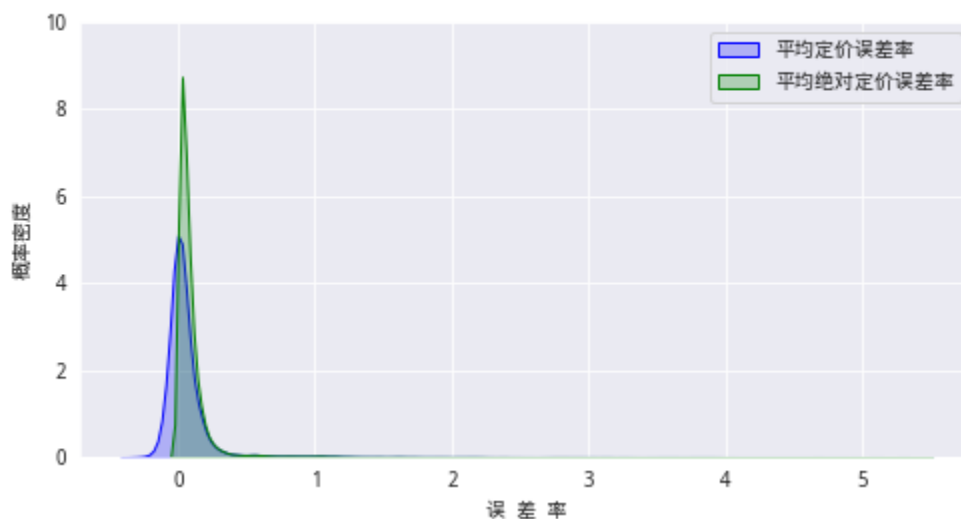
约为 0.36%，Zabolotnyuk, Jones 和 Veld (2010)的实证结果显示，加拿大可转债市场也出现高估现象。赖其男、姚长辉和王志诚(2005)运用 Tsiveriotis 和 Fernandes (1998)模型和二叉树方法，选取 2005 年 1 月至 3 月之间的 30 只可转债市场数据进行实证研究，发现市场高估约 1%以内。刘大巍、陈启宏和张翀(2011)认为在 2009 年之后的可转债市场普遍存在高估现象。平均绝对定价误差率可以作为衡量理论定价模型市场实践性的重要指标，刻画理论价格水平与市场价格之间的绝对偏差水平，平均绝对定价误差率越小，说明理论定价模型的表现越好(Zabolotnyuk, Jones 和 Veld, 2010)。

从整体定价结果来看，四年时间共 291869 个定价样本，平均定价误差率（(市场价格-理论价格)/理论价格)的平均值为 6.18%，中位数为 2.03%，最大值为 545.29%，最小值为-36.12%。平均绝对定价误差率的平均值为 10.15%，中位数为 5.23%，最大值为 545.29%，最小值为 0%。

表格 6 定价结果的整体描述表

	mean	std	min	25%	50%	75%	max
Value_T	123.67	51.65	37.41	106.51	114.28	126.99	2467.26
ClosePrice	131.18	67.43	66.67	108.50	117.52	130.72	3420.40
Bias	6.18%	23.97%	-36.12%	-2.79%	2.03%	8.01%	545.29%
ABSBias	10.15%	22.58%	0.00%	2.40%	5.23%	9.91%	545.29%

图表 9 定价偏差的核密度估计图



5.2.1 国内实证定价的详细分析

从国内可转债定价的实证结果来看，平均定价误差率为 6.18%，平均绝对定价误差率为 10.15%，定价误差率的标准差为 23.97%。

表格 7 全部样本定价误差率统计分布表

	全部样本
平均定价误差率	6.18%
(t值)	139.36
平均绝对定价误差率	10.15%
(t值)	242.82
定价误差率的标准差	23.97%
1%定价误差范围内的样本比例	10.53%
3%定价误差范围内的样本比例	30.99%
5%定价误差范围内的样本比例	48.35%
10%定价误差范围内的样本比例	75.28%
15%定价误差范围内的样本比例	86.72%
20%定价误差范围内的样本比例	91.93%
25%定价误差范围内的样本比例	94.20%
30%定价误差范围内的样本比例	95.39%
样本总数目	291869

从不同信用等级的可转债定价结果来看，信用等级高的 (AA-以上) 平均定价误差率和平均定价绝对误差率均较低，信用评级较低的 (A+和 A 级) 平均定价误差率和平均定价绝对误差率均较高。

表格 8 不同信用评级定价误差率统计分布表

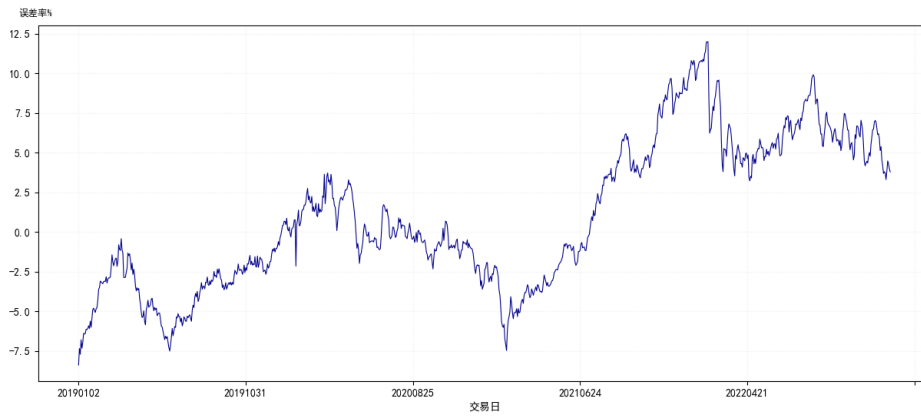
信用评级	AAA	AA+	AA	AA-	A+	A
平均定价误差率	1.72%	0.60%	4.54%	5.78%	20.42%	30.04%
(t值)	38.99	13.84	62.31	95.80	90.25	50.85
平均绝对定价误差率	4.68%	5.28%	10.12%	8.96%	21.08%	30.16%
(t值)	136.06	154.45	149.66	162.45	93.94	51.33
定价误差率的标准差	6.95%	8.56%	24.40%	16.92%	42.30%	26.58%
1%定价误差范围内的样本比例	14.92%	14.04%	10.87%	9.53%	5.10%	2.77%
3%定价误差范围内的样本比例	41.41%	39.68%	33.03%	28.37%	14.63%	6.81%
5%定价误差范围内的样本比例	64.72%	60.98%	51.35%	45.02%	22.72%	10.02%
10%定价误差范围内的样本比例	91.87%	89.32%	78.78%	75.19%	40.28%	13.98%
15%定价误差范围内的样本比例	98.21%	96.06%	89.32%	89.23%	58.03%	19.06%
20%定价误差范围内的样本比例	99.21%	98.03%	92.93%	94.36%	74.83%	30.77%
25%定价误差范围内的样本比例	99.46%	98.80%	94.20%	96.12%	83.77%	47.31%
30%定价误差范围内的样本比例	99.69%	99.40%	94.77%	96.69%	88.93%	61.04%
样本总数目	24809	39099	112373	78592	34971	2025

从不同的上市年限来看，处于上市前三年以及最后一年的可转债平均定价误差率和平均定价绝对误差率均较低，处于第 4 和第 5 年的可转债平均定价误差率和平均定价绝对误差率均较高，显示随着时间价值的降低，可转债的市场定价并未如期降低，造成一定的高估现象。

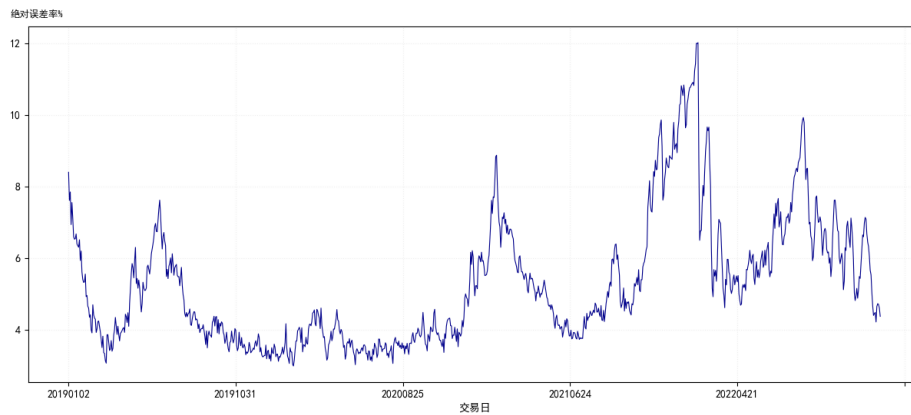
表格 9 不同上市年限可转债定价误差率统计分布表

已上市年限	year1	year2	year3	year4	year5	year6
平均定价误差率	2.81%	3.96%	11.02%	15.85%	18.60%	12.37%
(t值)	55.82	86.56	77.86	54.34	46.59	33.18
平均绝对定价误差率	8.47%	7.65%	13.25%	17.74%	19.03%	12.78%
(t值)	189.34	190.76	96.43	61.84	47.91	34.67
定价误差率的标准差	17.42%	13.59%	30.63%	44.15%	41.23%	21.46%
1%定价误差范围内的样本比例	10.42%	11.06%	10.52%	10.51%	4.80%	19.06%
3%定价误差范围内的样本比例	30.77%	32.47%	32.13%	28.99%	17.74%	40.30%
5%定价误差范围内的样本比例	48.22%	50.60%	49.93%	43.91%	34.49%	46.73%
10%定价误差范围内的样本比例	76.65%	78.48%	72.86%	68.91%	60.38%	66.06%
15%定价误差范围内的样本比例	89.08%	89.32%	82.92%	79.75%	73.37%	76.50%
20%定价误差范围内的样本比例	94.23%	94.43%	87.68%	86.47%	79.08%	81.69%
25%定价误差范围内的样本比例	96.10%	96.57%	90.49%	89.18%	83.60%	83.89%
30%定价误差范围内的样本比例	97.07%	97.40%	92.23%	90.16%	86.88%	89.29%
样本总数目	119832	88298	46857	22897	10670	3315

图表 10 时间序列上的平均定价误差率变化图



图表 111 时间序列上的平均绝对误差率变化图



另外，从时间序列上看，可转债平均定价误差率也表现为一定的时间变化特征，在 2021 年 6 月份之前，误差率为负，显示市场价格略低于理论价格，之后市场价格高于理论价格。显示随着市场的发展，投资者对于可转债市场的关注度增加，可转债市场出现明显的市场价格高于理论价格的情形。而从平均绝对误差率观察，则以 6%附近为中轴，呈现一定的周期性波动特征。

5.3 参数敏感性测试

本文研究发现理论价格对正股股价的弹性较大，对正股波动率的弹性大于对无风险利率的弹性。特别向下修正条款相对来说对可转债的影响程度大。赎回条款次之，回售条款影响力则非常弱。

5.3.1 模拟次数对于结果集的影响

在进行蒙特卡洛模拟时，模拟的次数可以影响最终结果的精确性和稳定性。通常来说，模拟次数越多，结果越接近真实值，且变异性越小。模拟次数越多，估计值越接近真实值。通过增加模拟次数，可以提高结果的精度，减小估计误差。随着模拟次数的增加，结果的变化会减小，模拟的稳定性提高。较少的模拟次数可能导致结果波动较大，而较多的模拟次数可以降低这种波动性。随着模拟次数的增加，计算成本也会增加。因此，需要在计算成本和结果精度之间找到一个平衡点，以确定合适的模拟次数。

5.3.2 强赎概率对于结果集的影响

可转债是一种混合了债券和股票特性的金融工具，而强赎概率表示发行公司在一定时期内选择提前赎回可转债的可能性。强赎概率的变化会影响可转债的未来现金流。通过在模拟中考虑不同的强赎概率，可以更全面地评估可转债的定价范围。高强赎概率可能导致提前赎回，影响债券期限和未来现金流。

5.4 下修和回售概率对于结果集的影响

下修条款是指在符合一定的股价条件下，上市公司对于可转债的转股价格进行向下修订的行为。下修事件发生时，转股价格下调，直接提升可转债的理论价值。在不考虑双方博弈的前提下，下修概率越大，对于可转债的理论定价会越高。

回售概率是可转债到期或者提前退出的概率，由于回售是以债券形式退出，因此会起到拉低可转债的理论定价的作用，回售概率越高，可转债理论定价越低。

5.5 本章小结

本章从平均定价误差率、平均定价绝对误差率以及平均定价误差率平方和的标准差三个指标层面，对国内实证定价的结果进行分析，发现定价结果随上市年限、信用评级等不同，理论价格和 market 价格的定价误差率呈现一定的变化特征。另外，随着时间的推移，2021年6月之前误差率为负，显示市场价格略低于理论价格，之后市场价格高于理论价格。显示随着市场的发展，投资者对于可转债市场的关注度增加，可转债市场出现明显的市场价格高于理论价格的情形。

本章尝试对影响定价误差的各参数进行了敏感性分析，发现模拟次数、强赎概率、下修和回售概率等参数对于定价结果都有一定的影响。

六、影响理论价格与市场价格差异的因素分析

6.1 影响理论价格与市场价格差异的因素假设

可转债作为二级市场交易的活跃品种，参与的投资者结构非常复杂，其市场价格也受到各种因素的影响。可转债是兼具债券属性和权益属性的复杂衍生品，要分析其定价偏差的影响因素，自然地想到从债券和股票相关的变量出发。但除此之外，还有一些交易维度的信息值得探讨。比如市场情绪较好时，市场参与者比较热情，可能导致定价偏差较高。因此，本文将定价偏差的影响因素分成四类。第一类是有关债券属性的变量，包含了转债剩余年限、一年期国债利率、信用利差水平。第二类是有关股票属性的变量，包含了转股溢价率、实值程度、股票波动率。第三类是转债交易维度上的因子，包含了转债涨幅均值、转债换手率均值、转债的债券余额、机构投资者的持有比例。第四类是刻画二级市场的情绪因子，包含了中证转债指数涨幅均值、全部转债的转股溢价率均值。本文通过观察不同可转债品种理论价格和市场价格之间的平均绝对误差率，提出以下猜想：一、可转债的剩余年限越长，越不容易高估，剩余年限越短，越容易发生高估；二、可转债转股价格越高，可转债越容易被高估，反之越容易被低估；三、可转债的转股溢价率、转股价值的实值和虚值程序，对于平均绝对误差率有影响；四、可转债信用评级、一年期国债的利率水平，对于平均绝对误差率有影响；五、可转债对应正股股票的波动率、股票市场的恐慌指数，对于平均绝对误差率有影响；六、可转债余额大小、近 60 个交易日的日均涨跌幅、日均换手率等，对于平均绝对误差率有影响；七、全部转债市场的转股溢价以及全部转债近 60 个交易日的涨跌幅情况，对于平均绝对误差率有影响；

基于以上猜想，本文选取了如下 12 个指标进行回归：

- 1、剩余年限，可转债距离到期日的时间/365
- 2、信用利差
- 3、一年期国债利率
- 4、转股溢价率
- 5、实值程度：转股价值/100-1
- 6、股票波动率
- 7、转债涨跌幅均值
- 8、转债换手率均值
- 9、转债余额
- 10、机构投资者持有比例
- 11、全部转债转股溢价率的均值
- 12、中证转债指数近 60 个交易日的日均涨跌幅

各解释变量的含义、计算方式以及各变量数值的统计描述，分别见表格 10 和表格 11。

表格 10 解释变量的含义及计算方式

标签	变量	计算方式
leftyear	转债剩余年限	距到期日的剩余年数
Y1TB	一年期国债利率	国债利率的时间序列数据
R_Margin	信用利差水平	对应评级的企业债利率-国债利率
convert_premium	转股溢价率	转债价格/转股价值-1
convert_bias	实值程度	转股价值/100-1
Y1Volatility	股票波动率	股票60日收益率的标准差
bond_re60	转债涨幅均值	个券滚动60个交易日的收益率均值
bond_turnover60	转债换手率均值	个券滚动60个交易日的换手率均值
bond_num	转债的债券余额	转债每天的债券余额，取对数处理
bond holdingratio	机构投资者持有比例	基金季度披露
market_re60	中证转债指数涨幅均值	指数滚动60个交易日的收益率均值
market premium	全部转债的转股溢价率均值	日度数据，衡量转债市场估值水平

表格 11 影响定价误差的变量列表

标签	标签替代	count	mean	std	min	0.25	0.50	0.75	max
leftyear	bond1	291869	4.42	1.19	0.01	3.77	4.67	5.37	5.96
Y1TB	bond2	291869	0.02	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
R_Margin	boond3	291869	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.03	0.08
convert_premium	stock1	291869	0.35	0.42	(0.34)	0.11	0.24	0.44	10.06
convert_bias	stock2	291869	0.04	0.62	(0.81)	(0.22)	(0.06)	0.14	24.60
Y1Volatility	stock3	291869	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.06
bond_re60	cb1	291869	0.25	1.56	(10.85)	(0.05)	0.05	0.21	276.16
bond_turnover60	cb2	291869	0.32	0.91	0.00	0.01	0.04	0.16	11.93
bond_num	cb3	291869	1.94	1.14	(1.56)	1.15	1.84	2.50	6.21
bond holdingratio	cb4	291869	0.17	0.15	0.00	0.02	0.15	0.28	0.78
market_re60	market1	291869	0.00	0.00	(0.00)	(0.00)	0.00	0.00	0.00
market premium	market2	291869	0.35	0.12	0.11	0.26	0.33	0.45	0.66

6.2 解释变量的相关性分析

根据前文描述，12 个解释变量的相关系数矩阵如下表所示：

表格 12 解释变量的相关性矩阵表

	bond1	bond2	bond3	stock1	stock2	stock3	cb1	cb2	cb3	cb4	market1	market2
bond1	1.00	0.14	0.17	-0.18	0.00	0.16	0.15	-0.11	0.09	-0.25	0.08	-0.24
bond2	0.14	1.00	-0.04	-0.18	0.02	-0.02	-0.03	-0.05	-0.01	-0.10	0.15	-0.63
bond3	0.17	-0.04	1.00	0.06	0.05	0.27	0.05	0.24	-0.56	-0.19	-0.04	0.05
stock1	-0.18	-0.18	0.06	1.00	-0.34	0.01	-0.01	0.28	-0.12	-0.12	-0.12	0.29
stock2	0.00	0.02	0.05	-0.34	1.00	0.30	0.07	0.23	-0.18	0.08	0.08	-0.05
stock3	0.16	-0.02	0.27	0.01	0.30	1.00	0.08	0.32	-0.40	-0.12	-0.04	0.10
cb1	0.15	-0.03	0.05	-0.01	0.07	0.08	1.00	0.12	-0.01	-0.13	0.08	-0.02
cb2	-0.11	-0.05	0.24	0.28	0.23	0.32	0.12	1.00	-0.43	-0.21	-0.02	0.08
cb3	0.09	-0.01	-0.56	-0.12	-0.18	-0.40	-0.01	-0.43	1.00	0.17	0.00	0.02
cb4	-0.25	-0.10	-0.19	-0.12	0.08	-0.12	-0.13	-0.21	0.17	1.00	-0.06	0.18
market1	0.08	0.15	-0.04	-0.12	0.08	-0.04	0.08	-0.02	0.00	-0.06	1.00	-0.41
market2	-0.24	-0.63	0.05	0.29	-0.05	0.10	-0.02	0.08	0.02	0.18	-0.41	1.00

由上表数据可以看出，整体而言，各变量的相关程度较低，最大的是国债利率与转债转股溢价率的均值，相关系数为-0.63，但在逻辑上两者关系不大。可以认为，解释变量之间不存在严重的多重共线性。

6.3 回归结果分析

本文分别采用混合回归、随机效应估计和固定效应估计的方法对平均绝对误差率进行估计，得到相应解释变量的回归结果。

表格 13 多模型回归结果

回归方法 系数	混合回归		固定效应估计		随机效应估计	
	系数	p值	系数	p值	系数	p值
const	-0.0052	0.1630	0.0651	0.0000	0.0742	0.0000
leftyear	-0.0027	0.0000	-0.0245	0.0000	-0.0238	0.0000
YITB	2.1014	0.0000	2.0761	0.0000	2.0945	0.0000
R Margin	0.4912	0.0000	1.5444	0.0000	1.5970	0.0000
convert premium	0.2770	0.0000	0.3160	0.0000	0.3154	0.0000
convert bias	0.0473	0.0000	0.0420	0.0000	0.0422	0.0000
YIVolatility	-1.7679	0.0000	-0.3117	0.0010	-0.3405	0.0000
bond re60	0.0016	0.0000	0.0014	0.0000	1.40E-03	0.0000
bond turnover60	0.0981	0.0000	0.0633	0.0000	0.0635	0.0000
bond num	-0.0002	0.0000	0.0002	0.0354	0.0000	0.1407
bond holdingratio	-0.0737	0.0000	-0.1010	0.0000	-0.1010	0.0000
market re60	6.5024	0.0000	7.4953	0.0000	7.5081	0.0000
market premium	-0.0206	0.0000	-0.1300	0.0000	-0.1252	0.0000
样本数量	291869		291869		291869	
对数似然比	133850		206800		206400	
R ²	0.5410		0.5150		0.5083	
F统计量	28680		19850		19950	
p值	0.0000		0.0000		0.0000	

分析上述回归结果，固定效应中转债余额系数的 p 值为 0.0354，在 1% 的显著性水平下无法拒绝原假设，认为该变量不显著。另外在混合回归中该项系数为 -0.0002，系数方向与固定效应相反，随机效应中系数为 0，p 值为 0.14，综合三个回归的结果来看，转债余额这一变量不是很显著，因此考虑将该变量剔除后，重新进行二次回归。

表格 14 多模型二次回归结果

	混合回归		固定效应估计		随机效应估计	
	系数	p值	系数	p值	系数	p值
const	-0.0127	0.0010	0.0673	0.0000	0.0759	0.0000
leftyear	-0.0033	0.0000	-0.0243	0.0000	-0.0237	0.0000
Y1TB	2.0674	0.0000	2.0735	0.0000	2.0913	0.0000
R Margin	0.5659	0.0000	1.5520	0.0000	1.5821	0.0000
convert premium	0.2771	0.0000	0.3161	0.0000	0.3154	0.0000
convert bias	0.0469	0.0000	-0.0419	0.0000	0.0422	0.0000
Y1Volatility	-1.4680	0.0000	-0.3233	0.0000	-0.3483	0.0000
bond re60	0.0016	0.0000	0.0014	0.0000	0.0014	0.0000
bond turnover60	0.0978	0.0000	0.0633	0.0000	0.0635	0.0000
bond holdingratio	-0.0724	0.0000	-0.1014	0.0000	-0.1012	0.0000
market re60	6.5017	0.0000	7.4915	0.0000	7.4963	0.0000
market premium	-0.0260	0.0000	-0.1299	0.0000	-0.1253	0.0000
样本数量	291869		291869		291869	
对数似然比	133590		206800		206400	
R ²	0.5400		0.5166		0.5141	
F统计量	31190		21660		21740	
p值	0.0000		0.0000		0.0000	

在固定效应估计与随机效应估计之间，进行豪斯曼检验，卡方值为 **364.22**，因此认为存在固定效应。在混合回归与固定效应估计之间，进行似然比检验，卡方值为 **146420**，因此认为使用固定效应估计更合理。

以下针对固定效应估计，对各解释变量的系数尝试进行分析，以找到合理的逻辑解释。

6.3 影响误差率差异的因素分析

从前面的回归分析结果可以看到，转债剩余年限、信用利差水平、股票波动率、债券余额、机构投资者持有比例、恐慌指数、市场转股溢价率均值的回归系数为负；转债转股溢价率、实值程度、换手率、市场收益率均值的回归系数为正。

LeftYear 转债剩余年限的回归系数为负，说明刚转债存续的前期，市场定价相对合理，平均绝对误差率低；而在转债存续的后期，强赎或下修等条款博弈加剧，从而导致平均绝对误差率上升。

Y1TB 为一年期国债利率，系数为正。国债收益率越高，纯债价值越低，在市场价不变时，定价误差率较大。

R_Margin 信用利差水平系数为正。信用利差为转债评级对应的企业债利率与国债利率的差值，信用利差越大，即转债评级越低。信用利差水平系数为负说明信用评级低的转债平均绝对误差率高，信用评级高的转债平均绝对误差率低。从这个系数可以看出，市场参与者在可对转债进行交易时已对信用风险进行了定价考量。

Convert_premium 转股溢价率用来衡量转债的市场价格与转股价值之间的偏离程度（公式：转股溢价率=转债市场价格 / 转股价值 -1）。转股溢价率系数为正，说明转股溢价率越高的转债平均绝对误差率高。国内市场，转股溢价率高一般为两种情形，一种在转债期权价值为实值的情况下，高转股溢价率反映的一种高投机，这种情形下定价的平均绝对误差率相对较高。另一种情形为深度虚值的情形，在这种情形下，理论模型定价往往较低，但由于国内可转债市场未有违约案例，因此存在类似“刚兑”的预期，转债的市场价格往往很高，也造成较大的定价平均绝对误差率。

Convert_bias 转股价值偏离度（公式：转股价值 / 100 - 1）系数为正。高转股价值的转债，相比低转股价值的转债，相应正股期权价值更高，一般而言正股的隐含波动率较高，对应转债的市场价格弹性也更高，系数为正表明市场定价偏差的绝对值较大。

Y1Volatility 股票一年期波动率系数为负。对于股票波动率较大的股票，其行情活跃，对应转债也会得到较多的关注，市场定价会更为充分，因此平均绝对误差率较小。

Bond_re60 为近期转债收益率，系数为正，表明转债的动量效应会影响投资者的决策预期。转债上涨时，参与者投资热情与投机热情较高，转债也更容易被高估，导致较高的定

价偏差。而转债下跌或者不温不火时，参与者较为保守理性，给予正常的估值，因此绝对误差率较小。

Bond_turnover60 转债换手率系数为正，转债作为可日内交易的资产，换手率表征着投机情绪，因此高换手的转债市场价格更容易偏离理论价值，因此平均绝对误差率较高。

Bond_holdingratio 机构投资者持有比例为负，机构投资者相对个人投资者会比较专业一些，也会参照一些定价模型进行交易，机构参与者多，市场价格越接近理论价格，因此平均绝对误差率较低。

Market_re60 为近期指数收益率，系数为正，表明市场上涨时，参与者投资热情与投机热情较高，因此转债的平均绝对误差率较大。反之亦然。

Market_premium 为全部转债的转股溢价率均值，系数为负。以市场整体的角度，平均溢价的提高有两种情况，一是市场情绪高涨，在转股价值不变时额外拉高溢价率。但此情景一般整体提升不多，且发生的次数也很有限；二是转债整体结构的变化。由于具备下修价值，偏债型转债的转股溢价率天然较高，当偏债型转债较多时，市场整体溢价率也会增大。而这两种情形都会造成定价绝对误差率变大，因此系数为负。

6.4 本章小结

本章对影响理论价格和市场价格差异的因素进行了猜想，并根据猜想设计了 12 个解释变量。本文尝试使用回归的方法，对 12 个解释变量对误差率的关系进行了回归分析，并尝试对其解释的合理性和逻辑性进行了分析。

七、结论与展望

7.1 研究总结

本文试图通过对国内可转债市场理论价格的实证研究，发现影响理论价格和市场价格之间偏差的重要因素，并据此分析偏差形成的原因。本文在研究上取得了以下创新之处：

1、对当前国内可转债市场全样本范围内进行定价实证研究，研究样本量大，时间跨度长，数据本身的鲁棒性、参数敏感性等均做了测试，数据结果具备较强的说服力。

2、本文对影响理论价格与市场价格偏差的重要因素做了假设，并通过回归进行了假设检验，并由此发现了市场情绪指标、可转债剩余期限、正股股价波动率、正股股价近期表现等显著影响价格偏差的重要因素。

3、本文在实证定价的基础上，尝试对误差率影响变量进行合理的逻辑解释，并得出了较令人信服的结论。

7.2 不足之处与未来研究展望

尽管如此，本文囿于研究能力和思维局限，只能对所观察到的情形进行有限的假设、分析和论证，存在相当的局限性，后续可以对如下方向展开研究：

1、对于影响有条件赎回的概率进行细致研究，分析大股东持有可转债、上市公司现金流等因素，对于强赎概率的影响，以便更准确对可转债进行估值。

2、影响理论价格和市场价格偏差的因素还非常多，比如可转债宏观市场的利率环境、有无回售条款等，后续可以对这些影响因素进行分析和补充。

3、上市公司发布有条件赎回、回售或者下修等公告事件，对于可转债的理论价格和市场价格会造成影响，可以据此设计类似事件性套利的策略，以获取事件性套利收益。

4、本文形成的理论定价模型，可以广泛使用在套利以及可转债指数增强等策略中，后续可以加强对模型应用的研究，以期实现研究成果转化的效果。

参考文献

- [1]Agarwal, V., Fung, W.H., Loon, Y.C., Naik, N.Y. Risk and return in convertible arbitrage: evidence from the convertible bond market [J]. *Journal of Empirical Finance*, 2011, 18(2): 175-194.
- [2]Ammann,M.,Kind,A.and Wilde,C.Simulation-based pricing of convertible bonds.*Journal of Empirical Finance* 15(2):310-331,2008.
- [3]Ayache,E.,Forsyth,P.A.,& Vetzal,K.R.The valuation of convertible bonds with credit risk. *Journal of Derivatives*,7(1),77-92,2003.
- [4]Batta, G., Chacko, G., Dharan, B.G. A liquidity-based explanation of convertible arbitrage alphas [J]. *Journal of Fixed Income*, 2010, 20(1): 28-43.
- [5]Brennan Michael J., E. S. Schwarz: "Convertible Bond: Valuation and Optional Strategies for Call and Conversion." *Journal of Finance*, December 1977, 17(5), 1699-1715
- [6]Brennan, M.J and Schwartz, E.S.Analyzing convertible bonds[J].*Journa of Financial and Ouantitative Analysis*S, 1980,15:907—929
- [7]Carayannououlos , P.Valuing convertible bonds under the assumption of stochastic interest rates:an empirical investigation[J].*Quarterly Journal of Business and Economics*, 1996, 35:17-31
- [8]Davis, M. and Lischka, F. R., *Convertible Bonds with Market Risk and Credit Risk*, Working paper, 1999, Tokyo-Mitsubishi International
- [9]Giovanni B A,Ana B,John H.Two-factor Convertible Bonds Valuation Using the Method of Characteristics/Finite Elements[J].*Journal of Economic Dynamics &Control*,2003,27(10):1801-1831.
- [10]Goldman Sachs (1994): "Valuing convertible bonds as derivatives", Technical report. Quantitative Strategies Research Notes.
- [11]Ho, T.S.Y., Pfeffer, D.M. (1996): "Convertible bonds: model, value attribution and analytics", *Financial Analyst Journal*. 52(5): 35-44.
- [12]Hutchinson, M.C., Gallagher, L.A. Convertible bond arbitrage: Risk and return [J]. *Journal of Business Finance & Accounting*, 2010, 37(1): 206-241.
- [13]Ingersoll J. E: "A contingent-claims valuation of convertible securities" *Journal of Financial Economics*, 1977a, 4(2), 289-321

- [14]Ingersoll J. E: "An Examination of Corporate Call Policies on Convertible Securities", Journal of Finance,, 1977b(32), 463-478
- [15]Loncarski, L., Horst, J.T., Veld, C. The rise and demise of the convertible arbitrage strategy [J]. Financial Analysts Journal, 2009, 65(5): 35-50.
- [16]Lvov D,Yigitbasioglu A B,Elbachir N.Pricing Convertible Bonds by Simulation[J].Icma Centre Discussion Papers in Finance,2004.
- [17]McConnell, Schwartz, "LYON Taming", The Journal of Finance, 1986(3), 561-577
- [18]Nyborg, K.G. (1996): "The use and pricing of convertible bonds". Applied Mathematical Finance, 3: 167-190.
- [19]Takahashi, T. Kobayashi and N. Nakagawa, Pricing Convertible Bonds with Default risk, The Journal of Fixed Income, 2001.
- [20]Tsiveriotis, K., Fernandes, C. Valuing convertible bonds with credit risk [J]. Journal of Fixed Income, 1998, 8(3): 95-102.
- [21]Wilde C,Kind A H.Pricing Convertible Bonds with Monte Carlo Simulation[J]. Ssrn Electronic Journal,2005.
- [22]赖其男,姚长辉,王志诚,关于我国可转换债券定价的实证研究,金融研究,2005年第9期
- [23]庞环鹏.中国市场可转债定价研究【D】.浙江大学,2013.
- [24]谭治国. 博弈均衡定价模型——可转换债券研究[D]. 西南财经大学,2007.
- [25]吴海燕.融资融券机制下我国可转债市场特征及 Delta 套利策略研究【D】.湖南大学,2013.
- [26]周铭山,董志勇,方旭赟,黄伟.我国可转债定价效率可以提高吗? ——基于套利交易成本的视角【J】.经济学(季刊),2013.04: 1277-1298.
- [27]黄冰华.含转股价格向下修正条款的可转换债券定价和套利策略研究 .上海交通大学,2017
- [28]魏超然.我国可转债定价及交易策略实证研究 .对外经济贸易大学,2017