

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 200442058

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

中国可转债定价研究

Study of the Pricing for the Chinese Convertible Bonds

洪 锐

指导教师姓名: 郑振龙教授

专业名称: 金融工程

论文提交日期: 2007年4月

论文答辩时间: 2007年 月

学位授予日期: 2007年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2007年 4 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

内容摘要

自从 2006 年 5 月份股权分置改革正式启动以来，经过一年多的努力，中国股票市场股权分置改革基本完成。股权分置改革解决了制约我国可转债市场发展的最大障碍，我国可转债市场将进入高速发展期。国内的可转债定价实证研究大都是在股权分置的环境下进行的，在全流通背景下，研究适用于新环境的可转债定价模型，具有重要的意义。

本文首先阐述了可转换债券的概念、基本要素以及国内外可转债市场发展的概况，然后介绍可转债定价的基础理论、国外定价理论的发展历程和国内可转债理论研究的成果。在对各种模型进行分析比较的基础上，本文结合我国可转债条款的具体特点，给出适用于我国可转债定价的单因素简化模型，并利用最新数据对模型进行实证研究。实证部分计算了最近市场上有交易的 15 只可转债的理论价值，并和市场的价格进行比较，研究发现：本文所采用的可转债定价模型能够充分反映股价波动对可转债价值的影响；中国可转债的市场价格仍略被低估。笔者建议通过扩大市场规模，提高市场完全性和加强投资者教育来提高市场效率。

本文的创新在于，首先，在全流通背景下，控股股东的决策目标发生了改变，本文结合发行人新的决策目标和可转债的具体条款，设计出适用于中国市场的可转债定价模型；其次，本文对模型参数进行精确求解，在利率期限结构的估计上没有简单的假定利率不变，而是利用样条函数对上交所债券交易数据进行拟合，来获得符合我国利率结构特征的贴现函数，在波动率的估计上没有简单采用股价的方差替代股价波动率，而是利用 GARCH 和 EWMA 模型进行较精确的计算。第三，本文使用 MonteCarlo 方法对可转债的复杂边界条件进行处理，利用 2006 年第四季度的的市场价格数据，进行实证检验，并对影响中国可转债市场效率的深层次原因进行分析。

关键词：可转换公司债券；定价理论；蒙特卡罗模拟

Abstract

The split-share reform, which began on May 9, 2006, was almost completed. And the biggest obstacle for the development of China convertible bond market is removed. The convertible bond market of China has been entering into a new development period. But most of the research of convertible bond pricing in China are under the split share structure. So the research of convertible bond pricing with a "full circulation" background is very important.

At first, this thesis introduced the definition, basic elements of convertible bond, then presents the general situation of international and domestic convertible bond markets. After that, this thesis introduced the development of international pricing models and the research of domestic achievement. On the basis of this, the thesis gives us a one-factor simplified model, which considered the specific provisions of the domestic convertible bond. And then this thesis conducted empirical research based on this new model with the latest data, which included 15 convertible bonds in the market. The comparison of the theoretical price and practical price proves that this model is applicable in China's bond market, and the convertible bonds in China's market are slightly underpriced, and it suggests that we can improve the market efficiency by enlarge the market scale, enhance the complete market and strengthen educations on investors.

The innovation of this paper are: first, this paper presents a model considering the new strategic goals of controlling shareholders and the specific provisions of China convertible bond since the strategic goals of the controlling shareholders changed under the new full circulation circumstance; secondly, this paper precisely calculates the model parameters with the application of spline method in the procession of bond trading data from SSE instead of simply assuming the constant interest rate under the term structure, which is more realistic to the discounting function under the term structure in China, and this paper also employed GARCH and EWMA models to calculate the stock volatility instead of the simple standard deviation of stock price

returns; thirdly, this paper used Montecarlo method to calculate the complicated frontier conditions of convertible bonds and conducted empirical test on the application of the model with the fourth quarter datas in 2006, and analysed the factors influencing the efficiency of China's convertible bond market.

Keywords: convertible bond; valuation; MonteCarlo simulation

目录

第一章 导论	1
1.1 研究的背景与意义	1
1.2 文献综述	1
1.3 本文创新点	3
1.4 主要章节及内容	3
第二章 可转债概述	5
2.1 可转债的基本概念	5
2.2 可转债的基本要素	6
2.3 国外可转债市场概况	8
2.4 国内可转债市场概况	9
第三章 可转债定价理论研究	12
3.1 衍生品定价理论基础	12
3.2 Black-Scholes 期权定价理论	13
3.3 风险中性定价原理	15
3.4 国外定价研究介绍	15
3.5 国内定价研究介绍	21
第四章 我国具体条款下的定价模型	23
4.1 我国可转债各参与主体的行为分析	23
4.2 适用于我国可转债定价的单因素简化模型	24
第五章 实证分析	29
5.1 模型参数的估计	29
5.1.1 波动率的估计	29
5.1.2 利率期限结构和信用风险的估计	31
5.2 实证研究	37
第六章 结论和政策建议	41
附录	42
参考文献	53
致谢	56

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Origin of the Theme	1
1.2 Theoretical Fundation	1
1.3 Innovations.....	3
1.4 Structure Arrangemnet.....	3
Chapter 2 Basic theory of convertible bond.....	5
2.1 Definition of convertible bond	5
2.2 Elements of convertible bond.....	6
2.3 Introduction of international convertible bond market.....	8
2.4 Introduction of domestic convertible bond market.....	9
Chapter 3 Study of convertible bond pricing theory.....	12
3.1 Principle of pricing convertible bond	12
3.2 Black-Scholes option pricing model	13
3.3 Risk-neutral valuation.....	15
3.4 Review of international convertible bond pricing theory.....	15
3.5 Review of domestic convertible bond pricing theory.....	21
Chapter 4 Pricing model with spcific provision.....	23
4.1 Analysis on the best choice of issuer and investors.....	23
4.2 model applicable in china's bond market.....	24
Chapter 5 Empirical study.....	29
5.1 Estimating parameters of model	29
5.1.1 Estimating Volatility.....	29
5.1.2 Estimating term structure	31
5.2 Empirical study.....	37
Chapter 6 Coclusion and policy advices.....	41
Appendix.....	42
References.....	53
Acknowledgement.....	56

第一章 导论

1.1 研究的背景与意义

自 1992 年深宝安发行我国第一只可转债以来，国内的可转债市场已走过风风雨雨的十五年。股权分置导致的非流通股股东和流通股股东利益不一致，是制约我国可转债市场发展的最大制度性障碍。2005 年 4 月，我国证券市场股权分置改革正式启动，经过一年多的努力，到 2006 年底股改大致完成。股改完成后，可转债市场重新开始融资，发行节奏也明显加快。从 2006 年 7 月 27 日到 2006 年底，共有 6 只转债发行上市，发行规模合计达到 48.87 亿元。

可转换债券可以降低发行人的财务成本、减少股东与债权人的利益冲突，一直是国外成熟资本市场的重要组成部分。可以预见，在未来几年内，中国的可转债市场会有很大发展，将进入快速扩容期。在这个阶段对可转债进行研究，就有很重要的意义。

定价是研究可转换债券的最核心的问题，对发行人来说，准确的定价关系到可转换债券是否能够顺利发行和转换。对投资者来说，准确的定价关系到其能否正确制定投资策略和获得收益。因此，本文研究重心是可转债定价模型，并通过定价模型的研究，尝试回答下面两个问题：

- 1 中国证券市场股权分置改革后，非流通股股东和流通股股东的利益得到了统一。在这种新的市场环境下，什么样的模型是适用的？
- 2 在新的市场环境下，可转债市场的效率是否有所提高。可转债市场价格被低估的现象是否还存在？其背后的原因是什么？

1.2 文献综述

国外可转债定价研究开始于 60 年代，当时的研究方法是先确定可转债在未来某一个时点的价值，然后进行贴现，得到可转债的现值。未来时点一般是到期日，价值则取纯债券价值和转股价值中的最大者。因为可转换债券复合了普通债券和多重期权，这种简单的定价方法不能准确的计算可转债的价值。

1973 年，Black & Scholes 取得突破性的成果，推导出 BS 微分方程并给出衍

生品定价的一般思路。从此可转债定价的现代理论框架确立起来。^[1]Ingersoll (1977)最早把 Black & Scholes 的期权定价思想引入到可转债定价中,设计出以公司价值为基础变量的结构单因素模型;^{[2][3]}Brennan & Schwartz (1980)的模型对单因素模型进行了扩展,把利率的不确定性引入模型当中,利用 Vasicek 利率模型,建立以利率和公司价值为基础变量的双因素模型。^[4]但是其模型有两个主要缺陷,一是 Vasicek 利率模型不能很好的模拟现实的利率,二是模型没有考虑回售条款和浮息可转债。Carayannopoulos(1996)对 Brennan & Schwartz(1980)模型的作了改进,利用 CIR 利率模型替代 Vasicek 模型,解决了 Vasicek 模型的短期利率可能为负值的问题。^[5]Nyborg (1996)的模型则考虑了回售条款和浮动利息对可转债价值的影响。^[6]

上述研究把公司价值作为影响可转债价值的基本变动因素。公司价值的运动比较复杂,其价格和波动率不可以被直接观测,也很难用模型来进行表示。为了解决这个问题,McConnell&Schwartz(1986)以股价为基础变量建立模型。^[7]这种以股价为基础变量的模型称为简化模型。McConnell&Schwartz(1986)的模型考虑了赎回、回售等主要条款,而且较好的拟合了市场价格。目前大多数的可转债定价都是以此模型为基础。对此模型的改进包括引入利率的不确定性、引入风险的不确定性等等, Ho & Pfeffer(1996)利用 Ho & Pfeffer 利率模型,建立考虑了股票价格和利率变动的双因素简化模型。^[8]Tsiveriotis 和 Fernandes(1998)提出了考虑信用风险调整的简单单因素模型,把可转债的价值被分解成虚拟的债券和权益两个部分,较为合理的度量了可转债的信用风险价值。^[9]

我国的可转债定价理论研究基本上是对国外研究成果的引进。在单因素模型方面,张德华、陶融(1999)直接合成债券价值和转股权的 BS 公式价值进行定价,^[10]林义相(2000)考虑了赎回条款的价值,但也是采用合成的方法,没有考虑可转债条款的整体性。^[11]陈恩全、万军(2003)利用无套利均衡原理建立模型并为万科可转债定价,发现模型价值高于市场价值。^[12]在双因素模型方面,范辛亭、方兆本(2001)借鉴 Ho-Lee 随机利率模型建立模型,^[13]杨如彦、魏刚(2002)借鉴 Brennan-Schwartz 模型建立模型进行研究。^[14]郑振龙、林海(2004)对国内股权分置条件下的控制股东决策和行为进行研究,推导出股权分置条件下的边界条件。^[15]在对国外模型进行适用性检验方面,王承炜、吴冲锋(2001)利用 MonteCarlo

和有限差分法对鞍钢转债和机场转债进行定价，发现可转债市场价格被低估；^[16] 蒋殿春、张新（2002）利用两阶段二叉树对机场转债进行定价，也发现同样的现象；赖其男、姚长辉、王志诚(2005)借鉴 Tsiveriotis&Fernandes (1998)的模型，并用二叉树方法对 30 只可转债进行实证检验，发现市场价值和理论价格误差率较小。^[18]

上述的国内转的可转债定价研究是在国内股权分置环境下进行的。而本文将新的市场环境下，对适用于我国市场的定价模型进行实证研究。

1.3 本文创新点

本文对可转债定价的基础理论进行了全面、系统的阐述；结合我国可转债的特点，对影响可转债价值的因素进行了分析和研究；构造出适用于我国可转债市场的单因素简化定价模型；并利用最新的市场数据进行比较分析。本文的意义在下面几个方面：

1、对国外可转债定价模型进行系统全面的介绍，对各种模型的适用环境和优缺点进行比较。

2、结合中国可转债的具体条款设计适用于中国市场的可转债定价模型，并利用 MonteCarlo 方法对复杂边界条件进行处理，对可转债价格进行精确求解。

3、利用样条方法和 Garch 模型计算模型中需要的利率参数和波动率参数，得到较精确的计算结果。

4、计算 2006 年第 4 季度 12 个时点的可转债理论价值，发现市场价格略被低估，并对其原因进行深层次的分析。

1.4 主要章节及内容

第一章，引言。简要介绍研究背景，并对定价理论和本文创新点进行概述。

第二章，可转债概述。先是详细介绍了可转换债券的概念、应用范围和基本要素，然后对国内外转换债市场的发展历程进行简述。

第三章，可转债定价理论研究。先是对构造可转债定价理论框架的关键基础理论进行介绍，然后回顾了国外定价模型的发展过程，并对不同模型的优缺点进行分析比较。最后介绍国内可转债理论研究的成果。

第四章，我国具体条款下的定价模型。根据发行人和投资者的决策目标，对发行人和投资者的最优行为进行分析，在此基础上给出适用于我国可转债定价的单因素简化模型。

第五章，实证部分。本部分计算了我国 2006 年第四季度的 15 只可转债的理论价值，并和市场的价格数据进行比较，对造成偏差的深层次原因进行分析。

第六章，结论部分。对实证结果进行分析，并提出政策建议。

第二章 可转债概述

2.1 可转债的基本概念

可转债是“发行公司依法发行、在一定期间内依据约定的条件可以转换成股份的公司债券”。这是2006年5月8日颁布的《上市公司证券发行管理办法》对可转债的官方定义。

可转换债券是附有转股权的债券，是一种介于债券与股票之间的金融产品，在可转换债券的转股期内，投资人可以按约定的条件把可转换债券转换成公司股票。现代可转债除了最基本的转股权，通常附有附加条款，这些附加条款实际上为可转债套嵌了多种期权，使可转债成为一种相当复杂的金融衍生产品。

可转换债券特殊的条款设计可以满足发行人和投资者的不同需求。首先，对于发行人来说，可转债可以避免股权融资带来的强大业绩压力。可转债融资类似于股权融资，如果可转债成功发行，并且全部转股，实际上就相当于发行人按转股价发行了一批股票。其中的区别是：发行新股一次性的把发行的股份计入总股本；发行可转债是在一段时间内，随着转换的行进，逐渐的把募集的资金计入股本，企业的股本的增长是一个过程。在发行股票后，每股收益马上被摊薄，而募集的资金投入到新项目后，往往要过一段时间才能获得收益。这样，公司会面临较大的业绩压力。

其次，在发行人认为企业的股票价格被低估，又想进行股权融资时，可以利用可转债以转股价进行股权融资。例如，当发行人认为企业未来会取得好的业绩，公司股票价格会大涨，就以预期的未来股价发行可转债，等到未来股票价格上涨后再使投资人转股，以减少股权融资的成本。而且可转债的息票率比较低，可以避免公司发生财务危机。

第三，债权人投资可转债可以减小与公司股东的利益冲突，有利于解决委托代理问题。公司的价值等于公司股权市场价值加上公司债权市场价值，所以公司股权投资人倾向进行高风险商业活动，提高公司的风险，以减少公司债权的市场价值和提高股权的市场价值，这种行为会损害普通债券投资人的利益。可转债可以分享股权价值上升带来的收益，这就减小了公司股东进行冒险的动力。

2.2 可转债的基本要素

1、票面值：票面值等于可转换债券到期应兑付的本金值，按《上市公司证券发行管理办法》的规定，可转债票面值为 100 元。

2、票面利率：指可转债的付息率。可转债的票面利率一般都较低。因为可转债内复合了转股权，而较低的票面利率就是投资者为了获得转股权而付出的成本。较低的票面利率可以减轻发行公司的财务压力，并减小发行公司违约的可能性。

3、存续期：存续期为可转债发行条款规定的付息还本的期间。我国《上市公司证券发行管理办法》规定，可转换公司债券存续期为 1 至 6 年，目前已发行的可转债大多是 5 年期。存续期对可转债的影响有两个方面，首先，存续期长的可转债，债券部分的利率敏感性就高，利率变动对可转换债券部分带来的影响更大；其次，在其他条款一样的条件下，期限越长，可转债包含的股票看涨期权价值就越大。

4、转换期：转换期是指可以行使转股权的时间区间，按规定可转债发行结束后是不能立即转股的，发行日和转股权生效的时点之间的这一段时间，被称为锁定期。由于我国《上市公司证券发行管理办法》规定，上市公司发行的可转换公司债券的锁定期为 6 个月，在发行结束六个月后，持有人可以根据约定的条件把债券转换为股份。这个规定是为了避免投资者过早的转股，而造成股权过早稀释。锁定期越长，可转债所含的期权行权期间越短，可转债的价值就越低。

5、转股价格：转股价格是指将可转债转换为公司普通股的行权价格。《上市公司证券发行管理办法》规定转股价格的不得低于公布募集说明书前 20 日股价均价和前一日的股价均价。与转股价格相联系的其他几个重要术语是：

转换比率：单位可转债 / 转股价格

转换价值：股票市价 × 转换比率

转换溢价：转债价格 - 转换价值

转换溢价率：转换溢价 / 转换价值

6、向下修正条款：向下修正条款规定在可转债存续期的一定期限内，若基准股票市场表现不佳，公司有权向下调整转股价格。首先向下修正权要达到触发条件后才可以使使用，触发条件一般规定多少天内公司股价低于转股价一定比例，

其次，现在《上市公司证券发行管理办法》规定了向下修正的幅度不得低于股东大会召开前 20 日和前一日的股票价值，而且规定在董事会提出向下修正议案后，要股东大会 2/3 以上投票表决通过才可以行使向下修正权。设置向下修正条款是为了避免在公司财务状况恶化时，可转债投资人进行回售，而导致发行人财务危机；对修正权进行限制则是为了保护发行人股东的利益，避免过度修正带来的股权稀释效用损害发行公司股东的利益。

7、除权调整条款：除权调整条款是指当发行人实行送配股、转增、增发和派息时，按一定调整公式对转股价格进行调整。我国早期发行的可转债并没有除权调整条款，现在发行的可转债为了加大对投资者的吸引力，都附有除权调整条款，一般的调整公式如下：

$$\text{派息： } P = P_0 - D$$

$$\text{送股或转增股本： } P = P_0 / (1 + N)$$

$$\text{增发新股或配股： } P = (P_0 + AK) / (1 + K)$$

$$\text{三项同时进行： } P = (P_0 - D + AK) / (1 + N + K)$$

其中调整前转股价为 P_0 ，每股派息为 D ，每股送股或转增股本数为 N ，每股增发新股或配股数为 K ，增发新股价或配股价为 A ，调整后转股价为 P 。

8、赎回条款：赎回条款是指可转债发行公司在到期日前，在满足一定条件后可以按事先约定的价格从投资者手中买回未转股的可转债。赎回条款包括条件赎回条款和无条件赎回条款，无条件赎回条款规定，在可转债存续期内的某一个或者几个时点，公司可以无条件赎回未转股的可转债；而条件赎回条款规定，基准股票在规定时间内，价格高于转股价一定比例，公司可以赎回未转股的可转债。赎回价格至少等于股票面值加上当年应计利息，高出的部分则作为对投资者的补偿。

赎回条款实质上是赋予发行公司的看涨期权，对发行公司来说，赎回条款对可转债的价值的上限进行了限制，根据 MM 理论，这种对可转债价值进行限制的条款可以保护发行人股东的利益。

9、回售条款：回售条款是指可转债投资者在一定条件下可以按预先约定的

价格将可转债卖还给发行公司。回售条款实际上是对可转债价值的下限进行限制，为投资者提供了一道保险。一般而言，回售条款规定了回售期、回售价格和回售条件。回售期指投资者可以行使回售权的期间；回售价格一般为面值加一定的溢价比率，这一溢价比率一般高于票面利率，其高出部分是对投资者的补偿；回售条件规定了的回售条款可以实施的触发条件，通常要求股票价格在一定长的连续交易日中低于转股价一定比率。

10、担保条款：担保条款规定了可转债债务的担保方。对发行公司而言，担保条款可以起到增信作用，从而吸引投资者，降低可转债票面利率。而对投资者而言，担保条款降低了可转债违约风险。按目前《上市公司证券发行管理办法》规定，在发行人净资产额达到 15 亿元以上时，可以不设担保，否则发行可转债必须有全额担保。

2.3 国外可转债市场概况

1843 年，美国 New York Erie 发行了世界上第一只可转债，因为缺乏金融理论的支持，市场定位也比较模糊，可转债市场发展非常缓慢。70 年代后，随着期权理论的发展，可转换债券市场也开始高速发展，到 2005 年末，全球可转债的总市值已达到 5000 亿美元。

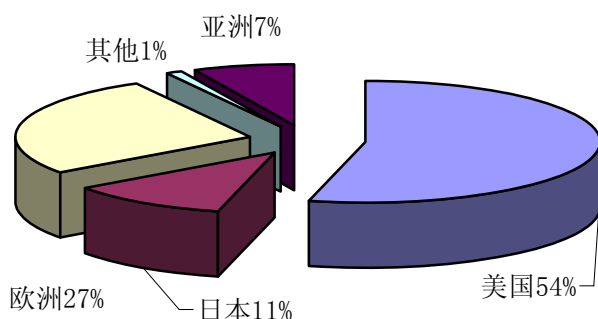
从市场规模上看，现在美国是世界上最大的可转债市场，美国可转债市场的存量大约在 2600 亿。而且美国的可转债种类也最为齐全，很多可转债的产品创新都发生在美国。欧洲是第二大的可转债市场，目前市场的规模大约在 1300 亿美元，发行的转债以传统的带票息可转债为主，发行人集中在法、德、英、意等发达国家。日本在 1999 年以前是世界上最大的可转债市场，在日本经济泡沫的破灭后，随着旧券的到期和新券发行规模减小，日本市场规模而不断的减小。目前市场存量为 500 多亿美元。亚洲的可转债市场以台湾、香港、韩国为主，截止到 2005 年底，市场规模约在 320 亿美元。

从行业分布上看，美国可转债发行人较为集中的行业为科技，健康保护，金融和消费品；欧洲可转债发行人较为集中的行业为金融、工业、电讯、消费品；日本可转债发行人较为集中的行业为工业、可选消费，公用事业及科技。亚洲可转债集中在金融、电讯和公共事业行业，其总和约占整个亚洲转债市场的 70%。

其中台湾转债以金融和电讯为主，韩国转债以电讯和公共事业行业为主。

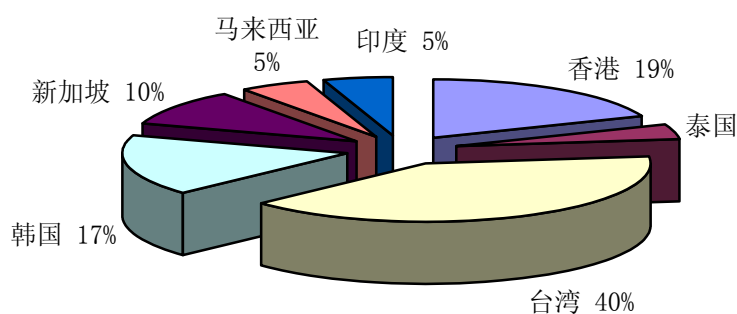
从可转债的信用级别上看，美国可转债的信用等级较低，日本、欧洲的可转债信用等级较高，而亚洲未评级的可转债所占的比例很高。这是因为美国的公司债市场比较发达，可转债只是市场的一个补充，是信用较差的公司进行融资的工具；欧洲和日本公司债市场较不完善，可转债是公司融资的一个相对独立的手段，日本可转债的发行人主要是像索尼、松下这样的大型企业，所以可转债的信用级别很高，97%的可转债评级高于 BBB。

图 2-1：2005 年全球可转债市场分布



数据来源:bloomberg

图 2-2：2005 年亚洲可转债市场分布



数据来源:bloomberg

2.4 国内可转债市场概况

1992 年 10 月，深圳宝安集团发行了第一例可转债，随后南玻集团、中纺机

械、庆铃汽车、镇海炼油、华能国际几家企业在国际市场上以私募的方式发行了可转换公司债券。深宝安转债存续期为3年，转换期为1993年6月1日至1995年12月29日，发行前股票价格是28元，转股价25元，因为发行条款设计的不合理，在转股价始终高于实际股票价格的情况下，仅有2.7%的宝安可转债实施转股，最后深宝安不得不筹资4亿多元偿还债券。由于深宝安转债转股的失败和缺乏相关的法律规定，在随后的几年里，中国可转债市场发展缓慢。

1997年3月25日，证监会发布《可转换公司债券管理暂行办法》，同意选择重点国有企业进行可转换公司债券试点，并对可转换公司债券的发行、承销及相关条件作出明确规定。在《暂行办法》出台以后的三年内先后有三家非上市公司（南宁化工、吴江丝绸茂名石化）和两家上市公司（虹桥机场、鞍钢新轧）发行了可转债。2000年虹桥机场可转债和鞍钢新轧可转债获准发行上市。

2001年4月28日，证监会发布《上市公司发行可转换公司债券实施办法》和《公开发行证券的公司信息披露的内容与格式》的第12、13、14号准则三个配套文件，对可转换公司债券的发行条件、可转换公司债券条款设计应包含的内容及具体的编制格式做出了规定。随后，深万科等5只转债先后上市。

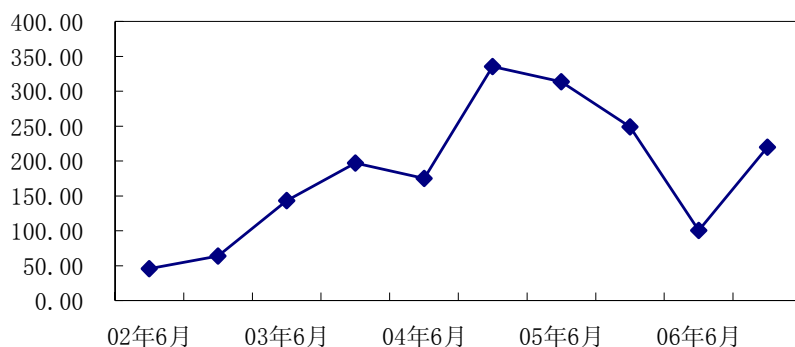
2002年6月下旬，为了避免上市公司大额增发对二级市场带来过大的压力（2001年上市公司增发筹资额达到163亿元），证监会颁布了《进一步规范上市公司增发新股的通知》，规定只有净资产收益率达到10%的企业可以增发新股。2003年，二级市场走势持续低迷，上市公司通过配股、增发融资困难重重，加上证监会对增发严格控制，各上市公司开始青睐可转债融资。我国的可转债市场进入高速发展的阶段。2003年，我国共发行了16只可转债，募集资金达185.5亿元。这个时期发行的可转债为了增强对投资者的吸引力，降低了触发下修正条款的条件和初始的溢价幅度，增强了可转债的投资价值。2004年共有13只可转债上市，融资规模达到209亿元

2004年11月以后，为了配合证券市场股权分置改革，可转债市场停止融资，市场存量不断萎缩。2005年初国内可转债的市场存量是334.88亿元，到2006年上半年只剩下100.24亿元，减少了60%，一方面是因为从2005年到2006年上半年没有发行新的可转债，旧的可转债自然退市；另一方面是因为可转债必须转股后才能获得股改支付的对价，所以在那些股改的可转债中，偏股性的可转债基

本上都转换成股票，只有债性强的股票被保留下来。

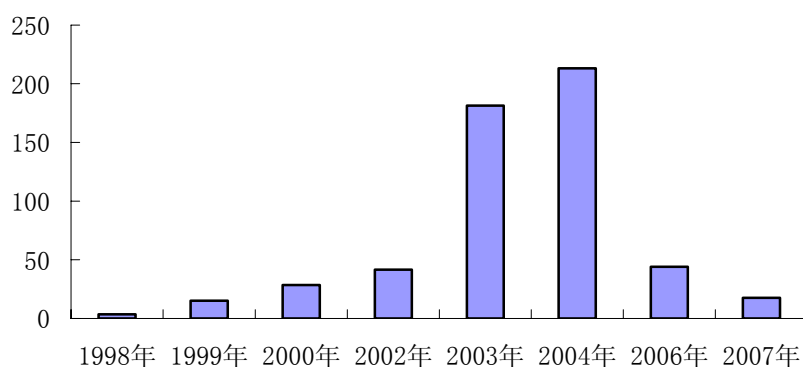
2006年5月8号，证监会颁布了《上市公司证券发行管理办法》。《管理办法》规定，可转换债券发行人向下修正转股权，由董事会提议后，要经由股东大会2/3通过才能实施，有效的制止了上市公司随意调整转股价的行为，更好的保护了发行人股东的权益。2006年7月份开始，可转债市场重新开始融资，截止到2006年底，已有6只转债发行并上市，发行规模合计达到48.87亿元，可转换债券发行节奏明显加快，中国的可转债市场已经进入快速扩容期，可以预见在未来几年会有相当快速的成长。

图 2-4: 我国可转债市场市场余额变化 单位: 亿元



数据来源:wind

图 2-5: 我国可转债市场发行量统计 单位: 亿元



数据来源:wind

第三章 可转债定价理论研究

3.1 衍生品定价理论基础

可转债的价值受到多个因素的影响，而股票价格则是其中最重要的因素。因此，要建立可转债的定价模型，首先要对股票价格的行为过程进行分析。下面介绍用来描述股票价格行为的重要随机过程。

在市场弱式有效的假定下，一种股票现在的价格已经包含了所有的过去的价格信息，不能通过观测股价的历史数据来预测股价未来的走势。股票价格的行为模型通常用维纳过程来表示，维纳过程是马尔科夫过程的一种特殊形式，基本维纳过程遵循下面的规律：

$$\Delta z = \varepsilon \sqrt{\Delta t} \quad (3.1)$$

其中变量 z 在时间 Δt 内的变化为 Δz ， ε 是服从标准正态分布 $N(0,1)$ 的一个随机数，对任何两个不同时间间隔的 Δt ， Δz 的值相互独立。

从式(3.1)我们可以看出， Δz 服从 $N(0, \sqrt{\Delta t})$ 的正态分布；而对任何两个不同时间间隔的 Δt ， Δz 的值相互独立，又说明了 Δz 是和 z 过去的运动形式无关， z 遵循马尔科夫过程。也就是说，在任意长度为 T 的时间间隔内，遵循维纳过程的变量值的增加量服从 $N(0, \sqrt{T})$ 的正态分布。

基本维纳过程的漂移率为 0，方差率为 1，我们把维纳过程的漂移率设定为常数 a ，方差率设定为常数 b ，就得到一般化的维纳过程：

$$dx = adt + b dz \quad (3.2)$$

我们把上式一般化的，使 a 和 b 可以随时间和 x 而发生改变，就得到著名的 Ito 过程

$$dx = a(x,t)dt + b(x,t)dz \quad (3.3)$$

根据 K.Ito 在 1951 年发现的定理：如果变量 x 的值遵循 Ito 过程， G 是 x ， t

的函数，那么 G 遵循下面的过程

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial x} a + \frac{\partial G}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} b^2 \right) dt + \frac{\partial G}{\partial x} b dz \quad (3.4)$$

其中 dz 是维纳过程，所以， G 也遵循 Ito 过程，

$$\text{其中 } G \text{ 的漂移率为 } \frac{\partial G}{\partial x} a + \frac{\partial G}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} b^2, \text{ 方差率为 } \left(\frac{\partial G}{\partial x} \right)^2 b^2$$

股票的投资者要求来自股票的期望收益率和股票的价格无关，也就是说股票的增长率是一个相对数，与股价绝对值的高低是无关的。而一般维纳过程的漂移率是一个常数，不会因为股价的增加而按比例增加，所以要对一般维纳过程进行修正。一个合理的假设就是：无论股票价格高低，在很短的时间内，投资者认为收益率的不确定性是没有改变的，也就是说股票的百分比收益率的方差是没有改变的。根据这种假定修正后的 Ito 过程如下

$$dS = \mu S dt + \sigma S dz \quad (3.5)$$

$$\text{其中 } \frac{dS}{S} = \mu dt + \sigma dz$$

这就是描述股票价格行为的最常用的模型，也称为股票价格的几何布朗运动模型，该模型的离散形式为

$$\frac{\Delta S}{S} = \mu \Delta t + \sigma \varepsilon \sqrt{\Delta t} \quad (3.6)$$

3.2 Black-Scholes 期权定价理论

70 年代初 Fischer Black 和 Myron Scholes 推导出基于无红利支付股票的任何衍生品必须要满足的方程，后来这种思想被应用到各个方面，成为现代衍生品定价理论的基础。这种方法假定股票和衍生品都受到同样的一个不确定因素的影响，通过构造一个股票和衍生品的组合，使这个不确定因素对股票价值的影响和对衍生品价值的影响互相抵消，就可以消去不确定因素，并根据股票的价值求出衍生品的价值。^[1]

下面部分将详细介绍该模型模型的思想，该模型有下面的假设条件：

1. 股票价格遵循几何布朗运动；

2. 允许卖空标的股票；
3. 没有交易费用和税收、所有证券都是完全可分的；
4. 在衍生证券有效期内，标的证券没有现金红利支付；
5. 不存在无风险套利机会；
6. 证券交易是连续的，价格变动也是连续的；
7. 在衍生证券有效期内，无风险利率 r 为常数。

股票价格 S 遵循(3.5)式的几何布朗运动，即 $dS = \mu S dt + \sigma S dz$

f 是基于 S 的某个衍生证券，那么 f 是 t 和 S 的某个函数，由 Ito 引理

$$df = \left(\frac{\partial f}{\partial S} \mu S + \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \sigma^2 S^2 \right) dt + \frac{\partial f}{\partial S} \sigma S dz \quad (3.7)$$

上面两个式子的离散形式为

$$\Delta S = \mu S \Delta t + \sigma S \Delta z \quad (3.8)$$

$$\Delta f = \left(\frac{\partial f}{\partial S} \mu S + \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \sigma^2 S^2 \right) \Delta t + \frac{\partial f}{\partial S} \sigma S \Delta z \quad (3.9)$$

下面通过构造一个组合 V 来把 Δz 消掉， V 由一单位的 f 空头和 $\frac{\partial f}{\partial S}$ 单位的票多头组成。由定义，在 Δt 时间后， V 的价值变化值如下：

$$\begin{aligned} \Delta V &= -\Delta f + \frac{\partial f}{\partial S} \Delta S \\ \Delta V &= \left(-\frac{\partial f}{\partial t} - \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \sigma^2 S^2 \right) \Delta t \end{aligned}$$

因为 ΔV 和风险因素 Δz 无关，所以该证券组合的收益率应和无风险利率相同

$$\Delta V = rV \Delta t$$

$$\left(-\frac{\partial f}{\partial t} - \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \sigma^2 S^2 \right) \Delta t = r \left(f - \frac{\partial f}{\partial S} S \right) \Delta t$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \sigma^2 S^2 + rS \frac{\partial f}{\partial S} = rf \quad (3.10)$$

这个适用于所有以 S 为标的物的衍生品的公式就是 BS 等式，也是下文关于可转债的各种定价模型的基础。

3.3 风险中性定价原理

在 BS 等式中不包含投资者对股票的预期收益率 μ ，也就是说上式中出现的变量独立于投资者的风险偏好。也就是说我们可以用任何预期收益率代入上式而不会对定价的结果产生任何影响。最简单的方法就是假定收益率是无风险收益率，这样我们就进入风险中性世界，在风险中性世界中对衍生品进行定价有两个影响，一是股票的期望收益率变成无风险利率，再一个是所有衍生品的贴现率也变成无风险利率。这两者产生的影响刚好互相抵消，而使在风险中性世界中进行定价得到的定价结果和在现实世界中的定价结果是相一致的。在风险中性世界，衍生品定的价格为：

$$f = e^{-r(T-t)} \hat{E}(f_T) \quad (3.11)$$

其中 \hat{E} 表示在风险中性世界中的期望值

3.4 国外定价研究介绍

1 可转债定价模型概述

国外可转债定价模型的研究开始于 60 年代。早期的定价理论的主要思想是，先计算在未来某个时点的可转债所含纯债券价值 BV 和转股价值 CV 。然后对 $Max(BV, CV)$ 进行贴现来求可转债的现值。这种定价方法的问题在于假定所有的可转债都是在债券到期日进行转换的，这明显是不符合实际的，另外也没有考虑赎回条款对可转债价值的影响。

70 年代后，BS 公式的出现为衍生品定价提供了数学处理的范式，并且其思想可以扩展到一般的衍生品定价中，建立了现代可转债定价模型的理论框架。

影响可转债模型价值的最主要的因素有三个：公司的价值、利率、信用风险。根据度量公司价值变量的选用，可以把模型分成使用整体公司价值变量的结构模型和使用股票价格变量的简化模型。从模型的所考虑的可变影响因素的个数出发，又可以把可转债的模型分为单因素模型、双因素模型和三因素模型。单因素模型只考虑公司价值变动对可转债价值的影响，其优点是较容易得偏微分方程的解析解或者用数值方法进行计算，而模型的缺点是没有考虑信用风险或者利率变

化的影响。双因素模型同时考虑股票价格变化和利率的变化，或者同时考虑股票价格变化和信用风险的变化，比单因素模型更贴近实际，但模型方程无显式解，只能用数值方法解，而且需要选择适合的利率模型或者信用风险模型。三因素模型比双因素模型更符合现实，但是更难求解。下表说明了各种模型的特点、依赖的变量和有代表性的模型：

表 3-1：各种定价模型的特点和比较

模型分类	特点	因素个数	模型特点	代表模型
结构模型： 以公司价值 为影响因素	不能直接观察到公司的价值和波动，不能准确的描述公司价值的运动	单因素	可转债价值受公司价值变动影响	Ingersoll (1977)、 Brennan & Schwartz (1977)
		双因素	可转债价值受利率和公司价值两个因素影响	Brennan & Schwartz(1980)
简化模型： 以股票价值 为影响因素	能够对股票价格进行观测，有刻画股票价值运动的成熟的模型	单因素	可转债价值只受公司股票价格变动影响	McConnell & Schwartz(1986)
		双因素	可转债价格受利率变动和股价变动影响	Ho & Pfeffer(1996)
		三因素	可转债价格波动取决于利率、股价和违约风险	Davis & Lischka(1999)

下面我们对各种模型的具体内容进行介绍：

1、Ingersoll(1977)和 Brennan & Schwartz(1977)的模型只考虑单一因素变动对可转债价格的影响，其基本模型如下：^{[2][3]}

$$V_t = C_t + S_t \quad (3.12)$$

其中 C_t 是公司的可转债的市值， S_t 是公司的股票的市值。 V_t 是一个波动服从对数正态分布的伊藤过程。在此模型中，可转债的价值只依赖于 V_t 一个变量。Ingersoll 推导出债券持有人的最优转换策略和公司的最优赎回策略。债券持有人的最优转换策略是，除非临近红利发放、转股条件发生不利的变化或者到期，否则债券持人不应该进行转换。公司的最优赎回策略是当可转债不被赎回时的价值大于赎回价格时立即实施赎回。

在上面的假定条件下可转债的价值 W 仅仅是公司价值 V_t 和时间 t 的函数，根据 BS 微分方程，可转债价值需要满足的随机微分方程是

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 W}{\partial V^2} \sigma^2 V^2 + rV \frac{\partial W}{\partial V} = rW \quad (3.13)$$

Brennan & Schwartz(1977)考虑了赎回条款、息票利息和现金股利。并使用有限差分法得到可转换债券的价值。^[19]

2、Brennan & Schwartz(1980)的模型对单因素模型进行了扩展,^[4]把利率的不确定性放入模型当中,模型中采用的 Vasicek 利率模型如下

$$dr = \alpha(\mu_r - r)dt + r\sigma_r dz_r \quad (3.14)$$

其中 dz_r 是标准布朗运动, μ_r 是利率的长期均值, $\alpha(\mu_r - r)dt$ 是 dr 的期望值。

因为 μ_r 是利率的长期均值,模型具有均值回归的特点,和现实的情况吻合,但是这个模型的利率初始结构和现实世界不一样,存在套利的可能。

采用的公司的价值模型如下

$$dV = [V\mu_v - Q(V,t)]dt + V\sigma_v dz_v \quad (3.15)$$

$$Q(V,t) = I_B + I_{CB} + D(V,t)$$

其中 V 是公司价值, μ_v 是公司资产的期望收益率, I_B 是公司普通债券持有人的息票支付, I_{CB} 是对可转债持有人的息票支付, $D(V,t)$ 是对股票持有人发放的现金红利。 $Q(v,t)$ 是公司所有的现金分红和利息支付。这样,公司价值增长的期望值 $V\mu_v - Q(v,t)$ 就是公司资产的期望收益率减去公司发放的所有现金分红。

Brennan 与 Schwartz 根据上面的假定,运用 BS 微分方程,得到可转债的偏微分方程

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \frac{\partial^2 C}{\partial V^2} \sigma_v^2 V^2 + Vr\rho\sigma_v\sigma_r \frac{\partial^2 C}{\partial r\partial V} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 C}{\partial r^2} \sigma_r^2 r^2 + [\alpha(\mu_r - r) - \lambda r\sigma_r] \frac{\partial C}{\partial r} + \\ & [rV - Q(V,t)] \frac{\partial C}{\partial V} + \frac{\partial C}{\partial t} - rC + cF = 0 \end{aligned} \quad (3.16)$$

其中 $\rho = \text{cov}(dV, dr)$, C 是可转债的市场价格, F 是可转债的面值, c 是可转债的息票率, λ 是利率风险的市场价格。此方程的满足下列的边界条件

转换条件: $C(V, r, t) \geq z[V - NB(V, r, t)]$

赎回条件: $C(V, r, t) \leq CP(t)$

$$\text{到期条件: } C(V, r, t) = \begin{cases} z[V - NB(V, r, T)], & \text{当 } z[V - NB(V, r, T)] \geq F \\ F, & \text{当 } z[V - NB(V, r, T)] \leq F \leq \frac{(V - NB)}{I} \\ \frac{(V - NB)}{I}, & \text{当 } F \geq \frac{(V - NB)}{I} \\ 0, & \text{当 } V < NB \end{cases}$$

其中 B 是公司普通债券的市场价格, N 公司普通债券的发行量, I 是可转债的发行量, z 是稀释因子, $z = \frac{q}{M + \Delta M}$, 其中 q 是转换比率, M 是股票的发行量, z 表示可转债进行转换以后, 增加的股份数在公司总股份数中的比率。

Brennan & Schwartz(1980)在得到可转债的随机微分方程和边界条件后, 利用有限差分法得到了可转债价格的解。但是上述模型存在下面一些缺陷, 首先, 模型使用的 Vasicek 利率模型的未来短期利率是正态分布的, 有可能产生负值, 而且也不能匹配现实世界的初始利率结构, 其次, 模型没有考虑回售条款, 而且息票的支付是固定的。所以后来双因素结构模型的发展主要是对上述两个缺点进行改进。

Carayannopoulos(1996)在 Brennan & Schwartz(1980)模型的基础上利用 CIR 利率模型替代 Vasicek 模型进行改进^[5]。CIR 模型的利率总是为非负值, 利率的运动过程为 $dr = a(b - r)dt + \sigma\sqrt{r}dz$, 其特点是随机项的标准差和 \sqrt{r} 成正比, 标准差随短期利率的上升而上升。Nyborg (1996)的模型则在 Brennan & Schwartz(1980)模型的基础上考虑了回售条款和浮动利息对可转债价值的影响。^[6]

3、因为公司价值的运动比较复杂, 很难用模型来进行表示, 而且公司价值和波动率是不可以直接被观察到的。而金融衍生品定价领域中对股票价格运动的研究已经很深入了, 所以 McConnell & Schwartz(1986)以公司的股票价格为基础变量, 提出一个零息票、可转换、可赎回、可回售的可转债模型——LYON 定价模型。^[7]这个模型的结论与市场价格有较好的拟合, 而且包含了可转债的主要条款, 目前大多数的可转债定价都是以此模型为基础。模型最大的缺点是没有考虑到信用风险对可转债价值的影响。此模型的假定股票价格遵循几何布朗运动

$$dS = [S\mu - D(S, t)]dt + S\sigma dz \quad (3.17)$$

其中 μ 表示股价瞬时期望收益率, σ 表示股票收益率的标准差, $D(S,t)$ 表示公司在 t 时刻支付给股东的股利。由上述假定可知可转债的价格 L 遵循

$$\frac{\partial L}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 L}{\partial S^2} \sigma^2 S^2 + [rS - D(S,t)]S \frac{\partial L}{\partial S} = rL \quad (3.18)$$

McConnell & Schwartz(1986)还对参与者的最优决策作了如下的分析:

(1)投资者的最优转换策略: 只要 L 小于转换价值, 那么投资者就会买入可转债并进行转换, 获得无风险收益。

(2)发行公司的最优赎回策略: 公司价值等于债券价值加上股票价值, 公司要最大化股票的价值, 就要最小化债券的价值, 所以, 只要 L 超过赎回价格, 那么公司就会赎回可转债。此时投资者要么接受赎回, 要么进行转股, 也就是说投资者可以获得转股价值和赎回价格中较大的一个, 所以 L 小于赎回价格和转股价值中较大者。

(3)最优回售策略: 投资者的目的是使 L 的价值最大化, 如果 L 的价格小于回售价格, 投资者就可以买入可转债并进行回售, 来获得无风险收益。因此在任何一个回售日, L 一定大于或等于回售价格。

综上所述, 可以把模型的边界条件归纳如下:

$$L(S,T) = \max(kS, F), \text{当可转债到期时}$$

$$L(S,t) \geq kS$$

$$L(S,t) \leq \max(P_{call}, kS), \text{当满足赎回条件时}$$

$$L(S,t) \geq P_{put}(t), \text{当满足回售条件时}$$

其中 k 是转换比率, kS 是可转债的转股价值, P_{call} 是赎回价格, P_{put} 是回售价格

4、Tsiveriotis & Fernandes (1998)提出了考虑信用风险调整的简化法单因素模型。^[9]在此模型中, 可转债的价值被分解成虚拟的债券和权益两个部分。债券部分的现金收入和发行人的支付能力有关, 所以债券部分部分用风险贴现率进行贴现, 而权益部分是转股获得的收益, 只要企业存在就可以发行有价值的股票, 所以这一部分用无风险贴现率进行贴现。通过这种分解, 模型较规范的刻画出企业信用风险对可转债价值的影响。基于这种思想推导出来的模型如下:

假定股票价格遵循几何布朗运动

$$\frac{dS}{S} = \mu dt + \sigma dz$$

可转债价值 V 的偏微分方程

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\sigma^2 S^2}{2} \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} + (r_f - q)S \frac{\partial V}{\partial S} - r_f V - r_c g + c(t) = 0 \quad (3.19)$$

虚拟证券 g 的偏微分方程如下

$$\frac{\partial g}{\partial t} + \frac{\sigma^2 S^2}{2} \frac{\partial^2 g}{\partial S^2} + (r_f - q)S \frac{\partial g}{\partial S} - (r_f + r_c)g + c(t) = 0 \quad (3.20)$$

其中 V 表示可转债的价值， g 表示虚拟证券的价值， r_f 表示无风险收益率， r_c 表示信用风险价差， q 表示股票的连续分红率， $c(t)$ 表示 t 时刻的预期外部现金流，也就是息票支付。方程的终端条件是

$$V(S, T) = \text{Max}(kS, F)$$

边界条件条件是

$$B(S, T) = \begin{cases} F; F > kS \\ 0; F \leq kS \end{cases}$$

其中 F 是债券的面值， k 是债券的转换比例。

5、Ho & Pfeffer(1996)的模型考虑了股票价格和利率两个因素对可转债价值的影响，其中利率模型采用 Ho & Pfeffer 利率模型，Ho & Pfeffer 利率模型的基本形式如下^[18]

$$dr = \theta(t)dt + \sigma dz \quad (3.21)$$

$$\theta(t) = F_t(0, t) + \sigma^2 t$$

其中短期利率瞬态标准偏差 σ 是常数， $\theta(t)$ 是 t 时刻利率 r 的漂移率。 $F_t(0, t)$ 是 t 时刻的远期利率。这样，我们通过初始的利率期限结构来计算 $\theta(t)$ ，保证了模型与初始的利率期限结构相一致。

在 Ho & Pfeffer(1996)的可转债定价模型中，可转债的价值被分解成三部分

$$CB = I + W - C \quad (3.22)$$

其中 CB 是可转债的价格； I 是投资价值， I 相当于一个和可转换债券有相同

息票、到期时间、本金的普通公司债券的价值； W 是认股权证的价值， C 是强制转股条款的价值。这个模型用二元二叉树来计算可转债的价格。

6、Davis & Lischka(1999)提出了一个可转换债券定价三因素模型。把利率、股价和违约风险三个因素对可转换债券的价格波动的影响都考虑进来。这个模型使用 Hull & White(1996)的随机利率波动模型。在考虑违约风险的波动时，模型假定违约风险和股票价格是负相关的，也就是说在公司股票价格越低的时候越容易违约，从而使违约风险和股票价格统一到了同一个风险源。这个模型考虑的比较全面，同时也使模型更加复杂，定价更为困难。^[20]

3.5 国内定价研究介绍

我国的可转债主市场近年来才开始发展，所以国内可转债的定价研究主要是对国外研究成果的引进。下面选择一些有影响力的研究成果进行介绍。

在只考虑公司价值变化的单因素模型方面，张德华、陶融（1999）认为可转债可以看成由一般债券和一个看涨期权价值组成，并利用普通的 black-scholes 公式和稀释的 black-scholes 公式看涨期权进行了定价。其模型并没有考虑可转债附加条款对可转债价值的影响。^[10]林义相等(2000)认为可转换债券价值可以看作由投资价值、投资者美式买入期权价值和发行人买入期权价值组成，即：可转换债券价值=投资价值+投资者美式买入期权的价值-发行人美式买入期权的价值。其模型的虽然考虑了赎回条款，但是该文忽略了赎回条款及转换条款是相依存的，即赎回之后就不能转换，同时转换以后也不能赎回，而分别计算期权的价值并简单地叠加并不能准确反映可转换债券的真正价值。^[11]陈恩全、万军（2003）利用无套利均衡原理来为可转债定价，在 Black-Scholes 期权定价框架下建立理论模型，并利用微分方程的数值方法来求解。其模型考虑了赎回权的期权价值，并对万科转债进行实证检验，发现模型价格高于市场价格。^[12]

在考虑公司价值变化和利率变化的双因素模型方面，范辛亭、方兆本（2001）利用 Ho-Lee 作为随机利率模型，建立双因素可转债定价模型并对处于实值和虚值状态的美国可转债，以及国内机场转债进行实证检验，发现模型在可卖空的美国市场对处于实值状态的可转债能准确定价，对处于虚值状态的可转债则要考虑违约风险。^[13]杨如彦、魏刚等(2002)借鉴 Brennan-Schwartz 模型，建立了一个基

于股价和利率波动的双因素定价模型，对机场转债进行实证检验，发现我国可转换债券对利率变化不敏感，并对可转换债券条款的设计提出了改进建议。^[14]

考虑到国内股权分置环境下控制股东的特殊行为，郑振龙、林海(2004)分析了股权分置条件下大股东的最优决策行为进行了分析，得到有关可转债基本结论，在此基础上对边界条件进行了刻画，并对发行日的可转债价值进行分析，发现中国可转换债券的价格和其理论价值相比存在极大的差异，可转换债券价值被明显低估。^[15]

在对国外模型的适用性实证检验方面，王承炜、吴冲锋(2001)利用 MonteCarlo 和有限差分法对鞍钢转债和机场转债进行实证研究，其模型对附加条款定价并分析了回售和赎回条款在总价值中占的比重。发现回售条款对投资者价值贡献很小，但对发行人风险很大。而且实证的结果表明转债理论价值和市场价格相差 4% 和 10%，市场对可转债的价值估计偏低。^[16]蒋殿春、张新(2002)利用两阶段二叉树对机场转债进行定价，其模型考虑了赎回条款、回售条款和向下修正条款，研究结果发现机场转债的价值被市场低估，而低估的原因主要是因为市场规模过小。而且其研究还发现在上市公司公布可转债发行意向书或者募集说明书日股价平均跌幅比同期大盘大 2%，这说明在公告日，稀释效应已经提前被吸收到股价中，在对国内转债进行定价时可以不考虑稀释作用的影响。^[17]周琳(2003)对可转换债券定价理论进行研究，计算了阳光转债 2002 年 5 月份到 6 月份的理论价格，^[21]其研究结果表明股票价格和股价波动率与可转换债券价值成正比关系。赖其男、姚长辉、王志诚(2005)使用 Tsiveriotis&Fernandes (1998)的模型设定，并用二叉树方法对可转债进行定价。其定价模型考虑了转股条款、赎回条款、回售条款和特别向下修正条款，并对对 30 只可转债的进行实证检验，发现其定价所得到的理论价格与市场价格误差率较小，且理论价格变动与市场价格高度相关。^[18]

第四章 我国具体条款下的定价模型

4.1 我国可转债各参与主体的行为分析

本文的模型除了 Black-Scholes 模型的基本假定外，还进行了如下的假定：

1 可转债发行企业的决策目标为股东财富最大化，也就是使企业股票的市值达到最大，而投资人的决策目标是可转债价值的最大化。在股权分置的环境下，控股股东的决策目标是每股净资产最大化。在全流通背景下，非流通股与流通股股东的利益得到统一，所以控股股东的决策目标是股票的市场价格最大化。

2 发行人只通过可转债进行融资，发行企业的价值为 $A = S \times N + CB$ ，其中 A 是发行人企业的整体价值， S 是发行企业的股票价值， N 是企业总股本数， CB 是可转债的市场价值。

在上述的假定下，下面对可转债的转股权、赎回权、回售权、向下修正权分别进行分析，推导出在这些附加条款下发行人和投资者会做出什么样的行为，并对可转债价值产生什么影响。

(1) 转股权

理性投资者总是希望可转债价值最大化，只要可转债价格大于转换价值，投资者就不会实施转换的。同时，只要在可转债的转换期内，如果可转债的价值小于其转换价值，那么投资人总是买入可转债后马上转换，以获得无风险收益。

(2) 赎回权

假定公司的价值 $A = S \times N + CB$ ，假定是完全市场，根据 MM 理论，企业执行赎回不会影响公司的整体价值，在转债价值高于赎回价时，执行赎回就减小了可转债转股权的价值，而公司的整体价值不变，所以赎回后公司股东权益就得到提高。所以只要在赎回期内，只要可转债的价格超过赎回价格时，发行人就会赎回可转债，而当可转债价格小于赎回价时发起人决不会行使赎回权。对投资者来说，在发起人行使赎回权时，投资者会根据赎回价格和转换价值哪一个比较大，来选择被赎回或者执行转股。

(3) 回售权

在回售条款触发后,投资者可以在继续持有可转债和将可转债以预先设定的价格回售给发行人之间作出选择,投资人目的是使可转债的价值最大化,如果可转债价格超出回售价格,投资人不会实施回售;相反,如果可转债价格低于回售价格,投资人可以立即买入可转债并回售来套利。

(4) 向下修正权

在修正期内,发行人可以选择是否向下修正转股价。因为向下修正转股价提高了可转债的价值。和赎回权的分析相似,公司向下修正转股价并不会提高公司的整体价值,所以执行向下修正一定是对原有股东的利益的损害。为了避免向下修正带来的转债价值的提高和股权稀释效用的增强,发行人一定不愿意向下修正股价。结合回售条款一起考虑,如果在回售日可转债的价格低于回售价格,投资者进行回售,会给公司带来很大的财务压力。这时候就要考虑这种财务压力是否是公司可以承受的。发行人可能会因为财务危机而使公司整体价值下降。在这种情况下,只要修正后给股东财富带来的减少值,小于因为财务危机给股东财富带来的减少值,发行人就会进行修正。因此,是否执行向下修正条款要结合发行人具体的财务状况来进行分析。因为国内达到可以发行可转换债券标准的企业大多实力雄厚,资产质量优良,所以本文假定企业有能力偿还债务,控股股东不向下修正转股价。

4.2 适用于我国可转债定价的单因素简化模型

要确定适用于我国的可转换债券定价模型,就要根据我国市场的实际情况对各影响因素做分析。利率、股价、信用风险是对可转债价格影响最大的三个波动因素,

从信用风险来看,我国的可转换债券信用等级相当高,都是有银行等第三方进行担保。新颁布的《上市公司证券发行管理办法》中又明确规定除非企业净资产大于 15 亿元,否则一定要有银行进行担保。所以在中国可转换债券的清偿可以得到充分保障,信用等级普遍在 AAA 级,在这种情况下可以认为债券的信用风险利差是一个常数。

从利率风险为看,国内学者杨如彦的研究结果表明在国内利率波动对可转债的价值影响很小。而且 Brennan & Schwartz(1980)的研究结果也表明利率波动对

可转债的影响很小,可以将其忽略。考虑到动态利率模型的选用对模型结果影响较大,不仅使计算过程变的复杂,准确性也值得怀疑。所以笔者认为能够准确刻画利率的初始期限结构的静态利率模型是最适用的,较适合于我国可转债市场的模型是单因素简化模型,

在确定可转债的基本模型后,接下来考虑到中国可转债特殊的附加条款。国内可转债一般规定的在公司分红、配股、增发时自动的对转股价进行调整。在笔者考察的市场上流通的 15 支可转债中,除了早期发行的国电转债外,随后发行的可转债都规定了除权调整条款。派息使股价下降带来的可转债价值下降和下调可转债转股价格带来的可转债价值上升互相抵消,派息对可转债价值几乎没有影响。所以中国的可转债定价模型可以把公司股票视为无红利股票。而无红利股票的美式看涨期权相当于欧式看涨期权,投资者不会提前执行期权,这就为利用 MonteCarlo 对模型进行计算提供了可能。

Tsiveriotis & Femandes (1998) 把可转债中有信用风险的股权部分和没有信用风险的现金部分分开贴现,这种处理方法是现在公认的对信用风险较规范的处理办法,所以在模型中笔者采用 Tsiveriotis & Femandes (1998) 的贴现方法。

下面给出适用于我国可转债定价的单因素简化模型和 MonteCarlo 计算方法。

首先把可转债的价值分成两部分,一部分是可转债的现金部分,也就是指可转债不被转换时所具有的价值,即所有未来现金流(包括利息和本金)的市场利率的贴现值,因为这一部分价值的偿付和企业的运营风险是联系在一起的,所以应该用企业债券的贴现值来进行贴现,用公式表示如下:

$$Bond_i = \sum_{t=i}^{t=T} \frac{I_t}{(1+r_f+r_c)^t} + \frac{F}{(1+r_f+r_c)^T} \quad (4.1)$$

其中 F 是可转债的面值, r_f 是无风险利率, r_c 是企业债券的信用风险溢酬。

另一部分是权益的价值,也就是说投资者通过可转债转股权,得到的高于可转债现金部分的那一部分价值,这一部分价值是只要投资者执行转换就一定可以得到的,和公司的运营风险无关,所以这一部分应该用无风险利率来进行贴现。这一部分权益的价值本文用 MonteCarlo 方法来进行计算。首先介绍一下 MonteCarlo 数值方法。

求解衍生品定价方程的方法有解析法和数值方法。解析法是指利用构造

Black-Schole 等式的方法得到关于衍生证券价格的精确解析公式，从而得到衍生品价格和其影响因素的数量关系，这样直接把影响因素代入到公式里面就可以得到衍生品的价格，而在衍生品没有精确的解析解的时候，就需要用数值方法。特别是像可转债这种依赖于股价的历史路径的衍生品，难以得到精确的解析解，所以只能用数值方法求解。MonteCarlo 方法是用来给欧式期权定价的一种数值方法，特别适用于处理路径依赖衍生品和有多个变动因素的衍生品。下面先介绍 MonteCarlo 方法的理论基础：大数定律和风险中性定价原理。

(1)大数定律：设 X_1, X_2, \dots, X_n 为一列独立同分布的随机变量，则对于任意的正数 ε ，有

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(|\bar{X}_n - \mu| < \varepsilon) = 1 \quad (4.2)$$

其中 $\mu = E(X_k)$ ， $\bar{X}_n = \frac{1}{n}(X_1 + X_2 + \dots + X_n)$ ，也就是说当试验的次数很多的时候，算术平均数 \bar{X}_n 和 μ 的偏差就会很小。

(2)风险中性定价原理：风险中性世界中， $f = \hat{E}[f_T e^{-r(T-t)}]$ ，其中 $\hat{E}[f_T e^{-r(T-t)}]$ 是 $f_T e^{-r(T-t)}$ 在风险中性世界中的期望值，在风险中性世界中，所有资产的价值都等于其在风险中性世界期望的贴现值。

MonteCarlo 就是基于上述两个定理的定价方法，既然衍生品的价格依赖于股票，那么先根据股票的随机波动模型，模拟出在风险中性世界中股票的一条可能的路径，并计算出衍生证券在这条路径下的最终价值。利用风险中性世界的性质，用无风险利率把衍生品的终值贴现到现在，就得到一个衍生品的现值。然后再模拟股价的另一条路径，计算出衍生证券的终值，贴现得到衍生品的另一个现值。通过大量的模拟计算，比如说经过 10 万次模拟，就得到 10 万个衍生品的现值。通过求这 10 万个衍生品价值的算术平均值，就得到了衍生品价值的估计值。在模拟次数足够多的情况下，根据大数定律，这个平均值和要求的衍生品价值的就非常接近。

蒙特卡罗模拟有下列的优点：能处理较复杂的情况且计算的相对效率较高；运算的时间随处理的随机变量的个数线性增长，在处理三个以上的随机变量时运算较有效；能够通过调整运算次数来控制结果的精确度；能够用于求解路径依赖衍生品。但是蒙特卡罗模拟是以现在为起点，一步步向后模拟的，所以没有办法

求解美式期权。因为美式期权要不断在一些时点上进行比较，选择是执行期权，还是继续持有。通过蒙特卡罗模型我们只能知道以前的路径，而不知道继续持有期权得到的价值。我国的可转债有特殊的除权修正条款，在分红时自动调整转股价，可转债中所包含的期权可被看为是无红利股票的美式期权，而无红利股票的美式期权相当于欧式期权，可以用 MonteCarlo 方法进行定价。

本文的模型使用和 Black-Scholes 等式相同的假定：无交易费用、交易连续、借贷与卖空无限制。在简化单因素模型中，可转债的价格 $f(S,t)$ 只受股票价格 S 和时间 t 两个变量的影响，股票价格遵循如下几何布朗运动

$$dS = \mu S dt + \sigma S \varepsilon \sqrt{dt} \quad (4.3)$$

把这个过程离散化，我们可以得到：

$$\Delta S = \mu S \Delta t + \sigma S \varepsilon \sqrt{\Delta t} \quad (4.4)$$

因为 $\varepsilon \sim N(0,1)$ ，所以 $\frac{\Delta S}{S} \sim N(\mu \Delta t, \sigma \sqrt{\Delta t})$ ，我们可以得到离散化的股价随机波动模型：

$$S_{t+1} = S_t e^{(\mu - \sigma^2 / 2) \Delta t + \sigma \varepsilon \sqrt{\Delta t}}, \varepsilon \sim N(0,1) \quad (4.5)$$

利用(4.5)式，可以在模拟出一条风险中性世界中的股票路径，然后计算是在该条路径下，股权衍生品的终值，进行贴现就得到股权衍生品的现值。可转债在风险中性世界中，路径有下面三种终结的情况：

第一种是股价运动路径没有触发可转债赎回条款或者条件回售条款，投资者持有可转债到期，到期日可转债的价值 V_T 为转换价值和纯债券价值中的最大者。权益部分的贴现值如下式所示：

$$V_T = \text{Max}(St \times k, \text{Bond}_T) \quad (4.6)$$

$$Di = (V_T - \text{Bond}_T) \times e^{-R_f(T, t_0) \times (T - t_0)} \quad (4.7)$$

其中 T 为可转债到期日， V 为可转债的价值， Di 为第 i 次模拟中可转债股权部分的价值值的贴现值， $R_f(t_1, t_2)$ 为从 t_1 时点贴现到 t_2 时点的无风险贴现率， k 为转换比率， Bond_T 为 T 时点可转债纯债券部分的价值。

第二种情况是可转债被赎回。可转债一般规定的赎回触发条件是股价在赎回价格线上运行的时间达到一定长度，比如说股价 30 天内有 20 天运行在赎回价格

线之上，那么发行人就有权按规定的价格赎回可转债。因为现在国内的可转债都设有比较高的赎回安全比例，一般都设置到转股价 130%左右，所以在发出赎回公告后，都可以达到顺利转股。所以，一旦股价 $S_t > P_T \times R_R$ 达到规定的时间长度（其中 P_T 是转股价， R_R 是赎回比例），发行人就发出赎回公告，此时股价高出转股价，可转债持有人进行转股，此时可转债的价值就是转换价值。用式子表示如下：

$$V_t = S_t \times k \quad (4.8)$$

$$D_i = (V_t - Bond_t) \times e^{-Rf(t,t_0) \times (t-t_0)} \quad (4.9)$$

第三种情况是股价在回售条款规定的价格线下运行达到规定时间，触发回售条款。此时可转债持有人就拥有回售权，可以选择是回售、转股、还是继续持有。因为回售比例都低于一，所以转股价值一定小于回售价值，投资者不会选择转股，只会在回售和继续持有之间作选择。这取决于可转债继续持有可转债和进行回售哪一个价值比较大。根据郑振龙 & 林海(2004)的研究结果表明，可以用 $(S_t \times \frac{Fv}{P_T}) \times N(d_1) - Bond_T e^{-r(T-t)} N(d_2) + Bond_t$ 近似的表示可转债的价值（其中 Fv 是债券面值）。如果可转债的价值大于回售价值，投资者继续持有可转债，则路径没有终结，则继续进行模拟并考察上面几种情况，否则，路径终结，可转债的价值等于回售价值。用式子表示如下

$$\text{若 } P_p > (S_t \times \frac{Fv}{P_T}) \times N(d_1) - Bond_T e^{-r(T-t)} N(d_2) + Bond_t$$

$$V_t = P_p \quad (4.10)$$

$$D_i = (V_t - Bond_t) \times e^{-Rf(t,t_0) \times (t-t_0)} \quad (4.11)$$

其中 P_p 是回售价格， P_T 是转股价， R_R 是赎回比率

对股票价格进行多次模型，并由每次模拟的出来的股票价格路径求得可转债权益部分的价值 D_i ， D_i 的均值就是可转债权益部分在风险中性世界中的预期收益的贴现值，这个贴现值加上债券的贴现值就得到可转换债券的价值，即：

$$(\sum_{i=1}^n D_i) / n + Bond_0 \quad (4.12)$$

第五章 实证分析

本文选用 2006 年 10 月份之前发行的, 2006 年 10-12 月在市场上有交易的所有可转债为样本进行研究, 其中招商转债是 2006 年 8 月底刚刚发行的可转债, 其条款在股改后上市的可转债中相当有代表性, 本文先以招商转债为例进行分析, 说明定价模型的具体实现方法, 然后利用此方法对所有转债进行定价分析。招商转债的具体条款可参考附录。

5.1 模型参数的估计

5.1.1 波动率的估计

可转债的价格受对股票价格的波动率很敏感。波动率影响可转换债券价值的一个非常重要的因素。可转换债券的权益部分实际上相当于一个认购权证, 股票的波动率大, 认购权证的价值大, 可转债的价值就大。所以波动率估计的准确程度对模型的准确性影响很大。

波动率的估计分成两种, 一种是利用历史数据统计出的历史波动率, 另一种是利用市场上的期权价格和相关定价模型推导出的隐含波动率。因为我国的权证市场还很不成熟, 大多数股票没有对应的权证, 所以本文用 EWMA 和 GARCH 模型对波动率进行估计:

(a) 指数加权移动平均模型 EWMA 可以表示为

$$\sigma_n^2 = \sum_{i=1}^m \alpha_i u_{n-i}^2 \quad (5.1)$$

$$\text{其中 } 1 = \sum_{i=1}^m \alpha_i$$

指数加权移动平均模型是一种特殊的加权移动平均模型, 它规定 $\alpha_{i+1} = \lambda \alpha_i$, λ 介于 0 和 1 之间。EWMA 的波动率预测方程为:

$$\sigma_n^2 = \lambda \sigma_{n-1}^2 + (1 - \lambda) u_{n-1}^2 \quad (5.2)$$

上式表明在 $n-1$ 天对第 n 天波动率 σ_n 进行预测, 则预测值取决于在 $n-2$ 天

预测的 $n-1$ 天波动率 σ_{n-1} 和第 $n-1$ 天的市场波动。根据 EWMA 模型，我们对未来波动率的预测只取决于对波动率最近一期的预测值和最新的市场波动。其中权重数 λ 决定了新的市场数据对波动率预测值影响的大小， λ 的值越大，则波动率受新市场信息的影响就越小。EWMA 模型的缺陷是模型非增均值回归，而现实世界中股票波动率是均值回归的。

(b) Garch 模型

Engle(1982)提出了自回归条件异方差性模型(ARCH)模型，认为股票的回报率常常存在条件异方差，条件方差不应该是一个常数，而会受过去误差的影响而随时间变化。^[22]ARCH 模型更符合市场的实际情况，从而得到了广泛的应用。在 ARCH 的基础上，Bollerslev(1986)提出广义自回归条件异方差 GARCH 模型，GARCH 模型的条件方差不仅是滞后残差平方的线性函数，而且是滞后条件方差的线性函数，可以用较低的计算量来描述高阶 ARCH 过程。GRCH 模型成功的模拟了方差随时间的变化，得到广泛的应用，是现在较成熟的波动率模型。^[23]我们用下面形式的 Garch(1,1)模型计算股票价格波动率。

$$\sigma_n^2 = \gamma V_L + \alpha u_{n-1}^2 + \beta \sigma_{n-1}^2 \quad (5.3)$$

其中 $\gamma + \alpha + \beta = 1$ ， V_L 是模型的长期波动率

从上式可以看出，模型预测的波动率 σ_n^2 不仅仅取决于上一期的预测值和最新的市场波动率，还取决于波动率的长期平均值。这样 Garch(1,1)模型是均值回归的，符合股票市场的实际情况。

设 $\omega = \gamma V_L$ ，我们可以得到方程

$$\sigma_n^2 = \omega + \alpha u_{n-1}^2 + \beta \sigma_{n-1}^2$$

用最大似然法对上式进行估计，得到模型的三个参数，就可以利用模型参数来计算隐含在其中的长期平均波动率。有

$$V_L = \frac{\omega}{1 - \alpha - \beta} \quad (5.4)$$

模型的选用：在现实中波动率有均值回归的趋势。Garch(1,1)模型包含均值回归，而 EWMA 模型则不是均值回归的，所以 Garch(1,1)模型可以更好的对股票

的波动进行描述。但是利用 Garch(1,1)进行时间序列估计的要求波动率序列是平稳的。如果估计出来的参数 $\omega < 0$, 说明模型的波动率序列是非平稳的, 那么 Garch 模型就不适用了, 这时候需要用 EWMA 模型来进行预测。

所以本文使用最近 180 天的每日股票收盘价格来计算股票收益率的波动率。估计的具体过程如下, 首先根据股票收盘价序列计算出股票收益率序列, 再去掉因为派息、送股、增发、配股、股改等影响造成的股价异常波动, 得到股票价格收益率序列。然后利用根据股票价格收益率, 利用 Eview 对股票价格波动率进行 Garch 模型估计。得到 Garch 模型参数估计值后, 根据得出的参数值来确定 Garch 模型是否对此时间序列适用, 如果不适用就使用 EWMA 模型进行估计, 以得出较准确的波动率估计值。

以招商转债为例, 选取模型计算时点前 180 日的正股收盘价数据来计算波动率。从 2006 年 4 月 3 日到 2006 年 9 月 29 日共有 125 个交易日, 其中招商地产 (000024) 在剔除股改和停牌的影响后, 共计有 122 个可用数据。利用 Eview 计算 Garch 模型, 得到的结果如下:

$$\sigma_n^2 = 0.000103 + 0.071396\mu_{n-1}^2 + 0.822502\sigma_n^2$$

$\alpha = 0.71396, \beta = 0.822502, \lambda = 0.00103$; 把估计结果代入 $V_L = \frac{\omega}{1 - \alpha - \beta}$, 计算出 $V_L = 0.00097$

再利用 $\sigma_{year} = \sqrt{V_L \times 250}$ 把日波动率转化成成年波动率, 计算的结果是 $\sigma = 0.4926$

5.1.2 利率期限结构和信用风险的估计

我国可转债一般都有商业银行、集团或者第三方的担保公司为其提供担保, 所以可转债的信用等级都很高, 大部分达到 AAA 级。实证分析的 15 支可转债有 4 支没有达到 AAA 信用评级。其中凯诺转债、桂冠转债由商业银行提供担保, 西钢转债由中投信用担保有限公司提供担保, 水运转债由南京长江油运公司提供担保。第三方担保的保证了可转换债券的债券部分的价值, 即使可转债发行人破产清算了, 可转换债券的本金和利息还是可以由第三方偿付。在这样的市场环境下, 我们可以假定信用风险利差是固定的。

计算可转换债券的价值需要贴现可转债价值的未来值。这需要估计无风险利率的利率期限结构和公司的信用风险利差。本文利用 MacCulloch(1971)所提出的样条函数作为贴现函数，对国债利率期限结构和公司债利率期限结构进行估计，^[24]

MacCulloch 采用的样条函数的具体形式为

$$f_1(m) = \begin{cases} m - \frac{1}{2d_2}m^2, 0 \leq m \leq d_2 \\ \frac{1}{2}d_2, d_2 < m \leq m_n \end{cases}$$

$$f_i(m) = \begin{cases} 0, 0 < m < d_{j-1} \\ \frac{(m-d_{j-1})^2}{2(d_j-d_{j-1})}, d_{j-1} < m \leq d_j \\ \frac{1}{2}(d_j-d_{j-1}) + (m-d_j) - \frac{(m-d_j)^2}{2(d_{j+1}-d_j)}, d_j < m \leq d_{j+1} \\ \frac{1}{2}(d_{j+1}-d_{j-1}), d_{j+1} < m \leq m_n \end{cases} \quad \left. \vphantom{f_i(m)} \right\} j = 2, \dots, k-1$$

$$f_k(m) = \begin{cases} 0, 0 \leq m \leq d_{k-1} \\ \frac{(m-d_{k-1})^2}{2(m_n-d_{k-1})}, d_{k-1} < m \leq m_n \end{cases}$$

其中 $d_j = m_l + \theta(m_{l+1} - m_l)$ ， $\theta = [(j-1)n]/(k-1) - l$ ， l 是小于 $[(j-1)n]/(k-1)$ 的最大整数。

假设贴现函数为

$$\delta(m) = a + \sum_{j=1}^k a_j f_j(m) \tag{5.5}$$

$$P = F(1 + \sum_{j=1}^k a_j f_j(m_0)) + C \sum_{i=1}^n a_i f_j(m_i)$$

$$= F + C(n+1) + \sum_{j=1}^k a_j (F f_j(m_0) + C \sum_{i=0}^n f_j(m_i))$$

其中 F 表示面值， C 表示息票， $n+1$ 表示付息次数， m_0 表示债券到期日， $m_j, j=1, 2, 3, \dots, n$ 表示债券的付息日。

设 $y = P - F - C(n+1)$ ， $x_j = F f_j(m_0) + C \sum_{i=0}^n f_j(m_i)$ ，可以得到

$$y = \sum_{j=1}^k a_j x_j$$

根据市场上的信息我们可以计算出各个债券的 y 和 x_j ，根据不同的 k ，对模型进行回归就可以计算出 a_j ，通过 a_j 就可以计算出贴现函数。在求出贴现函数后就可以用贴现函数来计算利率期限结构。这种方法相当于把贴现函数分成数段来对利率期限结构的初始值进行拟合估计。

下面用上述的方法 2006 年 10 月 9 日的国债和企业债的收益曲线。以下是选择的国债和企业债品种。

表 5-1: 10 月 9 日上交所国债数据

证券代码	10 月 9 日收盘价	票面利率	到期日期	下次付息时间	付息次数
009704	109.5878	9.78%	2007-9-5	2007-9-5	1
009905	101.5383	3.28%	2007-8-20	2007-8-20	1
009908	101.5536	3.30%	2009-9-23	2007-9-23	1
010103	102.574	3.27%	2008-4-24	2007-4-24	1
010110	100.3412	2.95%	2011-9-25	2007-9-25	1
010112	103.3828	3.05%	2011-10-30	2006-10-30	1
010115	103.0928	3%	2008-12-18	2006-12-18	1
010203	98.9178	2.54%	2012-4-18	2007-4-18	1
010210	99.2501	2.39%	2009-8-16	2007-8-16	1
010214	102.7983	2.65%	2007-10-24	2006-10-24	1
010215	103.6124	2.93%	2009-12-6	2006-12-6	1
010301	102.368	2.66%	2010-2-19	2007-2-19	1
010307	100.6616	2.66%	2010-8-20	2007-8-20	1
010308	99.5503	3.02%	2013-9-17	2007-9-17	1
010311	106.6764	3.5%	2010-11-19	2006-11-19	1
010403	107.5949	4.42%	2009-4-19	2007-4-19	1
010404	112.3488	4.89%	2011-5-24	2007-5-24	1
010407	110.3935	4.71%	2011-8-24	2006-8-24	1
010408	109.7821	4.3%	2009-10-19	2007-10-19	1
010410	114.6875	4.86%	2011-11-24	2006-11-24	1
010503	104.1698	3.30%	2010-4-25	2007-4-25	1
010505	104.4741	3.37%	2012-5-24	2007-5-24	1
010507	100.0766	1.58%	2007-7-14	2007-7-14	1
010508	99.3261	1.93%	2008-8-14	2007-8-14	1
010509	100.3566	2.83%	2012-8-24	2007-8-24	1

010511	99.3913	2.14%	2010-10-19	2006-10-19	1
010513	102.6306	3.01%	2012-11-24	2006-11-24	1
010514	100.6435	1.75%	2007-12-14	2006-12-14	1
010601	98.7472	2.51%	2013-2-26	2007-2-26	1
010604	101.0222	2.12%	2009-4-16	2007-4-16	1
010605	100.3665	2.40%	2011-5-15	2007-5-15	1
010606	100.9905	2.62%	2013-5-24	2007-5-24	1
010610	100.5449	2.34%	2009-7-16	2007-7-16	1
010612	100.4173	2.72%	2011-8-14	2007-8-14	1
010613	100.3167	2.89%	2013-8-30	2007-8-30	1
010107	109.9386	4.26%	2021-7-31	2007-1-31	2
010213	94.3424	2.6%	2017-9-20	2007-3-20	2
010303	100.8994	3.4%	2023-4-17	2006-10-17	2
010501	111.673	4.44%	2015-2-27	2007-2-28	2
010504	110.7665	4.11%	2025-5-14	2006-11-15	2
010512	103.73	3.65%	2020-11-14	2006-11-15	2
010603	97.0997	2.8%	2016-3-26	2007-3-27	2
010609	101.0745	3.7%	2026-6-25	2006-12-26	2
010616	100.112	2.92%	2016-9-25	2007-3-26	2
010608	100.6167	1.924%	2007-6-14	2007-6-14	1
010615	100.1341	1.958%	2007-9-14	2007-9-14	1

数据来源: wind

表 5-2: 10 月 9 号上交所企业债券数据

证券代码	10 月 9 日收盘价	票面利率	到期日期	下次付息时间	付息次数
120102	114	5.21%	2016-11-8	2006-11-8	1
120201	105.9	4.76%	2022-9-20	2007-9-20	1
120202	103.5	3.50%	2007-10-28	2006-10-28	1
120203	107.4	4.5%	2017-10-28	2006-10-28	1
120204	106.03	4.51%	2017-12-11	2007-12-11	1
120205	106	4.32%	2012-12-9	2006-12-9	1
120207	104.45	4.02%	2009-11-4	2006-11-4	1
120288	103.55	4.22%	2012-4-28	2007-4-28	1
120301	105.01	4.51%	2018-2-19	2007-2-19	1
120302	102.9	4.30%	2013-7-17	2007-7-17	1
120303	110	4.86%	2033-7-31	2007-7-31	1
120304	106.62	4.61%	2013-12-30	2006-12-30	1
120306	112.01	5.02%	2018-12-7	2006-12-7	1
120307	103.7	4.29%	2013-1-12	2007-1-12	1

120308	104.5	4.29%	2013-1-23	2007-1-23	1
120309	106.7	4.61%	2013-11-20	2006-11-20	1
120310	106.91	4.6%	2013-12-3	2007-12-3	1
120483	105.53	4.61%	2014-2-23	2007-2-23	1
120485	110.5	5.3%	2014-9-21	2007-9-21	1
120486	112	5.6%	2019-9-21	2007-9-21	1
120489	110.95	5.3%	2014-9-16	2007-9-16	1
120490	94.4	5.6%	2019-9-16	2007-9-16	1
120502	109	5.05%	2015-5-18	2007-5-18	1
120503	108.88	5.05%	2015-4-25	2007-4-25	1
120505	107.7	4.98%	2015-6-29	2007-6-29	1
120506	112	5.28%	2020-4-28	2007-4-28	1
120508	105.65	4.85%	2020-7-28	2007-7-28	1
120509	107.9	4.98%	2015-7-7	2007-7-7	1
120511	108	4.98%	2015-7-26	2007-7-26	1
120512	113.82	5.18%	2020-7-26	2007-7-26	1
120516	108	4.98%	2015-7-11	2007-7-11	1
120517	104.1	4.8%	2010-7-5	2007-7-5	1
120518	104.7	4.95%	2012-7-5	2007-7-5	1
120519	109.86	5.02%	2015-7-4	2007-7-4	1
120520	108	5.02%	2015-6-19	2007-6-19	1
120521	105	4.5%	2015-9-6	2007-9-6	1
120522	104.99	4.6%	2015-8-17	2007-8-17	1
120523	108.13	5.05%	2015-6-9	2007-6-9	1
120525	106.9	4.98%	2015-7-21	2007-7-21	1
120527	108	4.7%	2020-12-25	2006-12-25	1
120528	102.98	4%	2012-12-27	2006-12-27	1
120529	108.1	4.9%	2020-9-15	2007-9-15	1
120601	103	4.2%	2026-2-15	2007-2-15	1
120602	101.3	4.18%	2026-3-27	2007-3-27	1
120603	100	4%	2021-4-17	2007-4-17	1
120604	101.45	4.05%	2016-5-28	2007-5-28	1
120605	100.4	4.15%	2026-5-10	2007-5-10	1
120606	101	4%	2013-5-18	2007-5-18	1
120607	101.2	4.25%	2021-6-28	2007-6-28	1
129902	106.32	4.500%	2009-10-12	2006-10-12	1
129905	101.43	4.500%	2007-9-7	2007-9-7	1

数据来源: wind

设 $k = 4$ ，对模型方程进行估计，回归后得到如下的结果

表 5-3: 样条函数参数表

	A1	a2	a3	a4
企业债	-0.0259	-0.0389	-0.0314	-0.0294
国债	-0.0072	-0.028	-0.0338	-0.039

利用得到的贴现函数计算相对应时间的收益率，得到国债无风险利率期限结构和企业债利率期限结构如下图所示

图 5-1: 国债无风险利率期限结构

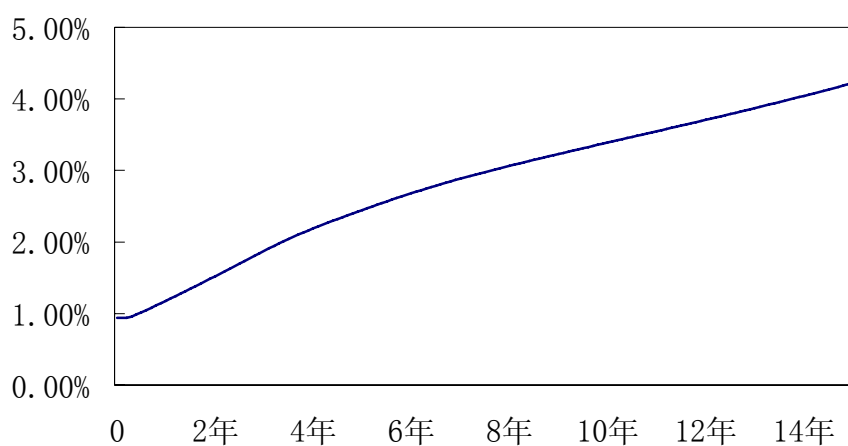
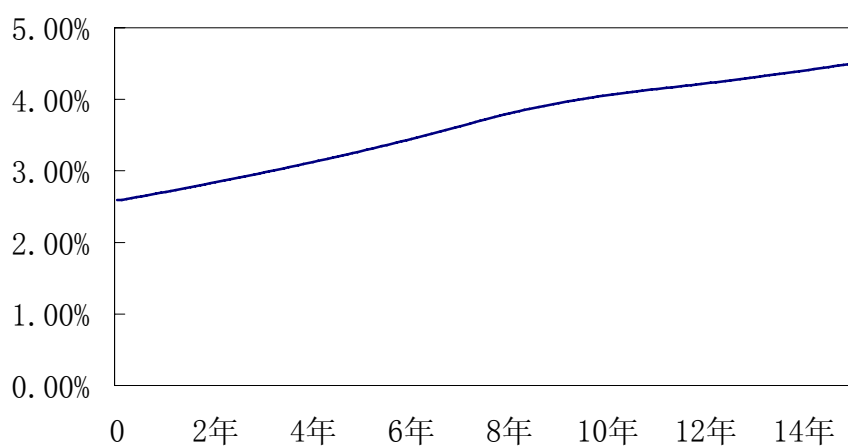


图 5-2: 企业债利率期限结构



我们可以看到，企业债利率期限结构和国债的利率期限结构之间存在显著的

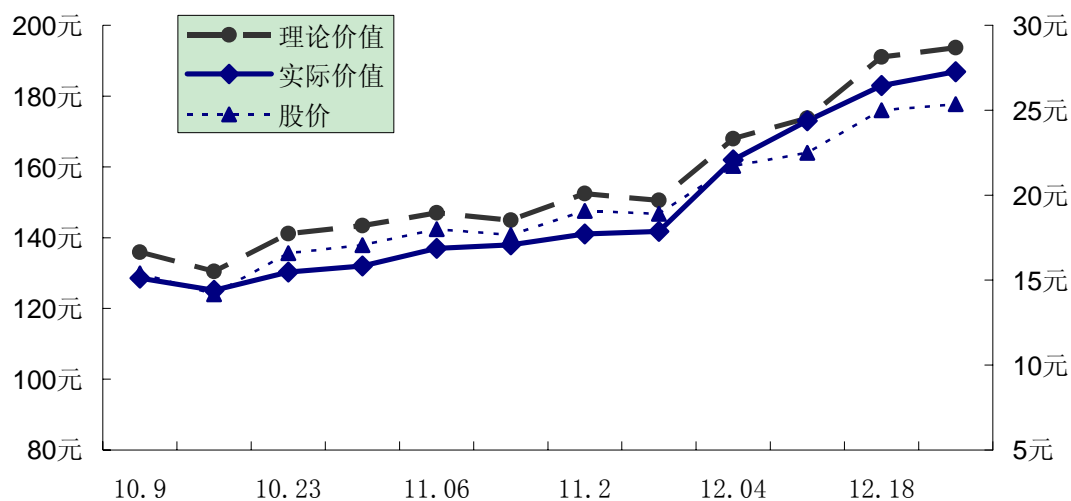
违约风险利差，而且时间越短，企业债与国债之间的利差就越大。其中 1 个月期的企业债与国债风险溢酬是 0.0165，三个月期为 0.0166，半年期为 0.0162，一年期为 0.0153，两年期为 0.011，五年期的为 0.0083。随着时间长度的增长，风险溢酬显的越来越不显著，15 年期的风险溢酬仅仅是 0.003 左右。因为企业债大都有担保，而 1 至 5 年期的信用风险利差均值在 1.2% 左右，所以本文取 1.2% 作为信用风险利差。

5.2 实证研究

把上文计算得出的结果代入模型中，基于 MonteCarlo 方法，使用 Matlab 软件对招商转债的理论价值进行模拟计算，模拟次数为 1 万次，步长为 0.02 年，估计出 2006 年 10 月 9 号招商转债的理论价值是 136 元。

笔者在 2006 年 10 月至 12 月份选取 12 个时点对招商转债的理论价值进行估计，其结果如下图所示

图 5-3：招商转债股价、理论价值、市场价值的比较



由上图我们可以看出，模型的实际价值、股价和理论价值呈向同向波动的趋势，可转债实际价值的波动是可转债市场价值波动的重要影响因素，可转债的理论价格升降可以非常准确的反映可转债的市场价格的升降，在整个观测区间，理论价值要略低于实际价值。

笔者对 2006 年 10 月份至 12 月份市场上有交易的 15 只可转债的价值进行计算，其中西钢 10 月 9 号停牌，柳化 11 月 20 号停牌，本文所以分别使用西钢 10 月 10 日的开盘价和柳化 11 月 21 日的开盘价来替代。计算结果如下表所示

表 5-3：2006 年第 4 季度 15 只可转债的定价结果 单位：元

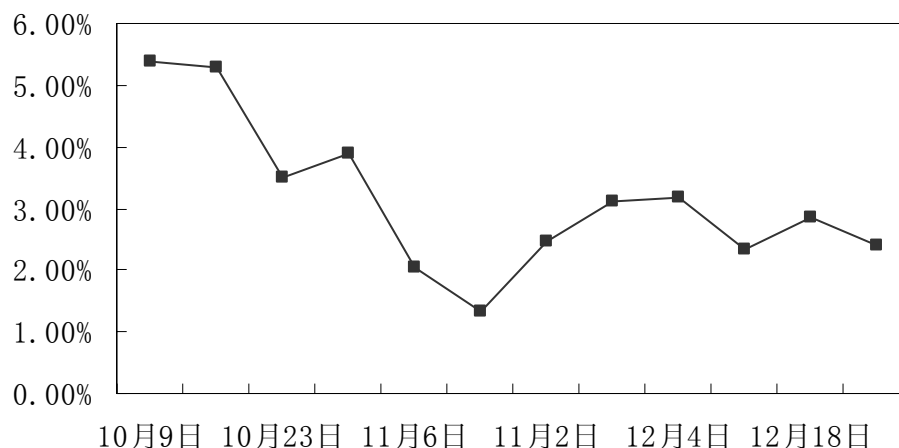
时间	10月9日	10月16日	10月23日	10月30日	11月6日	11月13日
水运	107.25	105.57	103.11	103.75	103.38	102.51
西钢	109.76	113.03	108.97	110.36	110.29	108.12
桂冠	116.23	116.19	115.03	116.43	116.46	114.56
华电	114.72	114.34	109.94	109.36	110.68	108.33
国电	115.98	117.31	114.48	115.89	118.65	115.28
营港	128.08	127.72	125.17	127.17	126.58	123.3
华发	136	134.04	139	138.22	140.94	150.73
凯诺	122.69	120.38	116.56	119.05	118.43	114.91
柳化	117.48	118.78	114.41	114.06	117.23	114.98
创业	121.25	120.16	118.78	120.7	118.13	114.74
招商	131.46	125.97	137.4	141.37	145.3	144.11
晨鸣	116.79	117.02	114.22	113.98	113.13	112.14
海化	115.84	113.87	110.43	111.62	112.25	110.49
华菱	107.44	107.43	106.62	105.82	105.84	106.53
首钢	119.56	121.01	115.86	117.54	122.3	117.06
时间	11月20日	11月27日	12月4日	12月11日	12月18日	12月25日
水运	102.87	107.8	114.67	114.1	114.22	115.08
西钢	108.07	109.24	111.91	109.66	112.25	112.36
桂冠	116.28	118.05	118.58	115.17	116.51	116.96
华电	110.27	111.95	114.39	113.88	115.22	113.25
国电	117.56	119.16	121.02	119.33	120.54	119.16
营港	124.66	125.73	129.26	134.07	134.46	132.51
华发	170.07	170.01	179.01	170.61	180.94	180.09
凯诺	115.01	115.72	118.56	120.79	119.95	121.22
柳化	114.09	119.9	127.17	122.08	125.06	126.14
创业	114.71	115.57	120.04	122.29	121.02	119.67
招商	152.26	151.46	167.91	173.16	192.93	196.47
晨鸣	113.93	116.23	116.9	122.54	123.42	123.68
海化	111.01	113.53	121.55	119.11	120.07	121.4
华菱	106.63	107.42	108.57	109.15	113.75	112.82
首钢	119.64	120.66	123.52	126.42	126.5	128.12

表 5-4: 理论价值与实际价值的差额

	10月9日	10月16日	10月23日	10月30日	11月6日	11月13日
水运	0.05%	-0.18%	-1.33%	-1.28%	-1.57%	-1.17%
西钢	4.19%	6.61%	2.90%	4.21%	2.32%	2.00%
桂冠	6.93%	6.11%	5.05%	6.48%	4.05%	2.18%
华电	5.82%	5.18%	1.51%	0.79%	-1.62%	-1.53%
国电	4.47%	4.95%	2.89%	3.75%	2.90%	1.16%
营港	2.47%	3.83%	1.37%	2.97%	0.59%	0.16%
华发	7.19%	7.75%	9.49%	6.75%	5.96%	5.57%
凯诺	6.77%	5.60%	3.37%	5.36%	3.44%	1.90%
柳化	3.83%	3.46%	-0.94%	-0.43%	-1.39%	-4.81%
创业	9.73%	9.45%	6.68%	8.39%	6.37%	3.47%
招商	2.26%	0.68%	5.45%	7.10%	6.06%	4.43%
晨鸣	10.40%	10.04%	7.69%	7.32%	5.44%	4.79%
海化	5.46%	4.80%	2.04%	2.39%	-3.65%	-3.08%
华菱	2.14%	2.20%	1.22%	-0.70%	-3.11%	-0.28%
首钢	9.10%	8.81%	5.00%	5.44%	4.75%	4.94%
均值	5.39%	5.29%	3.49%	3.90%	2.04%	1.32%
	11月20日	11月27日	12月4日	12月11日	12月18日	12月25日
水运	-1.02%	-1.08%	-1.62%	0.39%	-0.33%	-0.02%
西钢	2.24%	2.77%	3.72%	2.29%	3.89%	2.82%
桂冠	5.03%	5.35%	4.80%	2.37%	2.21%	1.45%
华电	-0.67%	-0.04%	0.45%	-0.11%	1.06%	0.17%
国电	4.73%	4.82%	4.33%	3.77%	4.40%	0.44%
营港	0.05%	2.08%	3.00%	2.12%	0.65%	-1.07%
华发	8.93%	8.37%	5.99%	0.36%	1.65%	5.78%
凯诺	1.95%	3.79%	4.01%	2.47%	3.08%	4.95%
柳化	-5.72%	-2.20%	0.93%	-2.29%	0.85%	-2.11%
创业	3.35%	4.26%	6.23%	6.97%	5.93%	5.02%
招商	7.99%	6.80%	3.65%	0.09%	5.43%	5.14%
晨鸣	5.73%	5.76%	4.33%	7.50%	6.34%	3.63%
海化	-1.85%	-0.14%	2.92%	0.86%	0.90%	1.17%
华菱	-0.34%	-0.67%	-1.84%	-0.22%	-0.22%	0.73%
首钢	6.49%	6.89%	6.62%	8.63%	6.78%	8.13%
均值	2.46%	3.12%	3.17%	2.35%	2.84%	2.41%

误差率=(理论价格-市价)/理论价格

图 5-4: 可转债误差率趋势图



对实证结果进行分析，我们可以得到以下结论

1 从平均价格水平来看，市场价格略低于理论价值。其中在 9 月份市场价格和理论价值的误差比较大，而 11 月和 12 日市场价格则很接近于理论价值。从市场价格与理论价值的差异来看，可转债价值略被低估，误差值平均在 2% 至 5.5%。

2 从股票价格运动和可转债价格运动的相关性上看，我们可以看到股票价值是影响可转债价值最重要的因素，本模型的运动方向和可转债价格的运动方向拟合的相当好。股票价格是本文的模型的唯一变动因素，而现实世界中可转债的价格影响因素包括利率变动、企业市场价值变动、投资者偏好变动等多种变动因素。所以实际价值和理论价值的波动不会完全一致。

3 在样本观察期前期股票价格比较低的时候，理论价值和实际价值的偏差较大，而在样本观察期后期股票价格增长之后，实际市场价格被低估的幅度就非常小。结合去年的股票市场走势进行分析，在去年 9 月初的时候中国股票市场刚刚突破 2000 点，大量资金在随后的几个月内涌入市场，在这种环境下，投资者更偏好于投资股性比较重的产品。在股票价格低的时候可转债主要表现为债性，受投资者冷落而受到低估。在股票价格走高后，可转债表现为股性，被低估的幅度就很小。

第六章 结论和政策建议

根据上面的分析，笔者认为现在国内可转债市场的市场效率有所提高，但是有效性仍有不足，为此，笔者建议：

(1) 扩大国内可转债市场规模。中国可转债市场规模偏小，股票市场值有十几万亿，可转债却只有 200 亿左右。美国的可转债规模约占股票市场规模的 1.5%，日本是 8%。可转债市场规模足够大，市场上有大量同类的产品作比较，市场的定价效率才能提高。参考其他国家可转债市场的发展，管理层可以适当放宽可转债发行的限制。按现行法规的规定，发行可转债的企业要连续 3 年加权平均净资产收益率大于 6%，而且净资产小于 15 亿企业发行的可转债要求有担保。这样保证了可转换债券的信用等级，但也把发行人限制在较小的范围。而像亚洲其他国家和美国发行的可转债很多是低信用评级的债券或者是无信用评级的。要增大市场规模，就应该扩大发行人的范围。

(2) 加强投资者教育力度，国内投资者在投资可转债时更偏好可转债的股性。在股票价格较低的时候，可转债的股性较小，会受到投资者的冷落，使市场价值被低估。通过加强投资者教育，可以提高投资者对可转债价值的认识 and 关注，有利于可转债市场的发展。

(3) 尽快推出中国证券市场的卖空机制。卖空假定是衍生证券的基本定价方法需要条件之一，在没有卖空机制的条件下，投资者不能进行套利，市场效率会受到影响，这也一定会影响到模型的定价效果。现在创新类券商融资融券试点正在紧锣密鼓的筹划，有望在近期推出。在卖空机制推出后，如果可转债的价值被低估，投资者进行套利，可使可转债价格向价值回归。

综上所述，本文在中国证券市场上采用单因素简化模型为可转换债券定价，发现理论价值与实际价格价格走向基本一致，但还的存在偏差，市场价格被低估。而影响模型的定价效果的因素主要有：可转债市场规模、市场完全性和投资者投资理念。

附录

1 招商可转债基本资料

转债名称	招商转债	代码	125024
股票名称	招商地产	代码	000024
信用等级	AAA	评级机构	上海远东资信评估
担保人	中国工商银行	担保方式	不可撤销连带责任担保
转股价	13.09 元	转股比例	7.639
发行规模	15.1 亿	交易市场	深圳证券交易所
起息日期	2006-8-25	到期日期	2011-8-30
付息频率	1 次/年	票面价值	100 元
特别向下修正条款	修正期：可转债的存续期		
	修正条款触发条件：股票在任意 20 个连续交易日中累计 10 个交易日的收盘价不高于当期转股价格的 80%		
	修正价格下限：修正转股价格的股东大会召开前 20 个交易日公司股票交易均价和前一交易日的均价		
	修正程序：公司董事会有权提出向下修正议案，并需经公司股东大会三分之二以上表决同意。		
赎回条款	赎回期限：转股期		
	赎回条件：股票连续 30 个交易日中至少 20 个交易日的收盘价格不低于当期转股价格的 130%（在满足条件后当年公司首次不实施赎回的，当年不得再实施赎回）		
	赎回价格：债券面值的 103 元（含当前计息年度利息）		
回售条款	回售期：转股期		
	回售条件：股票在任何连续 30 个交易日的收盘价格低于当期转股价的 70%		
	回售价格：105 元		

2 可转债定价程序

1、"12504.m"文件：招商转债债券基本资料输入文件

```
M_t=10000;
Dt=0.02;
t0=datenum('09-Oct-06');
FV=100;
cs=0.012;
D=5;
Vol=0.492;
St=15.4;
X=13.0900;
t2=datenum('30-Aug-11');
B_I=[1,1.4,1.8,2.2,2.6];
B_Ibc=0;
e=0.5;
divtStr=[];
divt=[];
for idivt=1:size(divtStr,1)
divt=[divt,datenum(divtStr(idivt,:))]
end
divi=[];
D_t0=datenum('30-Aug-06');
D_t2=datenum('30-Aug-11');
D_day=10;
D_daymax=20;
D_dayRate=[0.8,0.8,0.8,0.8,0.8]
D_Rate=[0.8,0.8,0.8,0.8,0.8];
D_Ltime=0;
D_Lm=[];
D_Lother=0;
P_t0=datestr('1-Mar-07');
P_t2=datenum('30-Aug-11');
P_day=30;
P_daymax=30;
P_Rate=[0.70,0.70,0.70,0.70,0.70];
P_Pp=[105,105,105,105,105];
P_CI=1;
P_Ltime=0
R_t0=datestr('1-Mar-07');
R_t2=datenum('30-Aug-11');
R_day=20;
R_daymax=30;
R_Rate=[1.3,1.3,1.3,1.3,1.3];
```

```
R_Pr=[103,103,103,103,103];
R_CI=1;
```

2、"Mon_Fun.m" 文件：蒙特卡罗模拟定价文件

```
function result =Mon_Fun
(M_t,Dt,St,X,Vol,divt,divi,D,FV,t0,t2,B_I,B_Ibc,cs,D_t0,D_day,D_daymax,D_Rate,D_Ltime,D_L
m,D_Loother,P_t0,P_day,P_daymax,P_Rate,P_Pp,P_CI,P_Ltime,R_t0,R_day,R_daymax,R_Rate,R
_Pr,R_CI,zr_x,zr_y,R_t2,P_t2)
if length(divt)~= length(divi)
error('divt and divi must have the same length')
end
if length(zr_x)~= length(zr_y)
error('zr_x and zr_y must have the same length')
end
if length(B_I)~= D
error('B_I and D must have the same length')
end
if length(D_Rate)~= D
error('D_Rate and D must have the same length')
end
if length(R_Rate)~= D
error('R_Rate and D must have the same length')
end
if P_CI~= 1 & P_CI~= 2 & P_CI~= 3
error('P_CI must be 1 or 2 or 3')
end
if R_CI~= 1 & R_CI~= 2 & R_CI~= 3
error('R_CI must be 1 or 2 or 3')
end
arrMeanAll=[];
T_Days=daysdif(t0,t2);
T_Years=T_Days/365;
T_Dt=(T_Years/Dt);
DtPerYear=1/Dt;
iaDt=1;
aDt_notInt=T_Years-ceil(T_Dt-1)*Dt; aDt=[];
while iaDt<=ceil(T_Dt)
aDt=[aDt;aDt_notInt+(iaDt-1)*Dt];
iaDt=iaDt+1;
end
T_Dt=ceil(T_Dt);
aYear=aDt*Dt;
iM=1;
amYear=[];
```



```

while iM<=T_Dt
amYear=[amYear;max((D- floor((T_Dt-iM)*Dt)),1)];
iM=iM+1;
end
if daysdif(P_t0,t0)>=0
Pt0=1
else
Pt0=ceil(daysdif(t0,P_t0)/(Dt*365));
end
if daysdif(P_t2,t0)>0
Pt2=0;
else
Pt2=max(ceil(daysdif(t0,P_t2)/(Dt*365)),T_Dt);
end
if daysdif(R_t0,t0)>=0
Rt0=1
else
Rt0=ceil(daysdif(t0,R_t0)/(Dt*365));
end
if daysdif(R_t2,t0)>0
Rt2=0;
else
Rt2=max(ceil(daysdif(t0,R_t2)/(Dt*365)),T_Dt);
end
divt_Dt=[];
for iDiv=1:length(divt)
divt_Dt=[divt_Dt,ceil(daysdif(t0,divt(iDiv))/(Dt*365))];
end
Pday=P_day/(250*Dt)
Pdaymax=P_daymax/(250*Dt)
Rday=R_day/(250*Dt)
Rdaymax=R_daymax/(250*Dt)
zr_y=zr_y./100;
zr_x=zr_x./Dt;
Rf_Dt=interp1(zr_x,zr_y,aDt,'spline');
aDiv=ones(1,T_Dt);
for iDiv=1:length(divt_Dt)
if divi(iDiv)>0 & divt_Dt(iDiv)>0
aDiv(divt_Dt(iDiv))=divi(iDiv);
end
end
aBV=[];
iaBV=length(aDt)-1;
Cash=FV+FV*B_I(amYear(T_Dt))/100+B_Ibc;

```

```

tI=iaBV+1;
aBV=Cash;
while iaBV>0
RfCs=GetRf(tI,iaBV,Rf_Dt,aDt)+cs;
if mod(iaBV,DtPerYear)==mod(length(aDt),DtPerYear)
Cash=CashOld/exp(RfCs*(aDt(tI)-aDt(iaBV)))+FV*B_I(amYear(iaBV))/100;
tI=iaBV;
aBV=[Cash;aBV];
else
tempBondValue=Cash/exp(RfCs*(aDt(tI)-aDt(iaBV)));
aBV=[tempBondValue;aBV];
end
iaBV=iaBV-1;
CashOld=Cash;
end
iMonteCarlo=1
arrV_Value=[]
while iMonteCarlo<=M_t
aSt=zeros(0,T_Dt);
Rf=Rf_Dt(1);
aSt(1)=(St*exp((Rf-Vol*Vol/2)*aDt(1)+normrnd(0,Vol*sqrt(aDt(1)))))*aDiv(1);
for iDt=2:T_Dt
Rf=GetRf(iDt,(iDt-1),Rf_Dt,aDt);
aSt(iDt)=(aSt(iDt-1)*exp((Rf-Vol*Vol/2)*Dt+normrnd(0,Vol*sqrt(Dt))))*aDiv(iDt);
end
amR=[];
amP=[];
amX=[];
for iDt=1:T_Dt
tempR=X*R_Rate(amYear(iDt));
tempP=X*P_Rate(amYear(iDt));
amR=[amR;tempR];
amP=[amP;tempP];
amX=[amX;X];
end
MN=1;
MP_T=T_Dt+1;
MR_T=T_Dt+1;
iDt=Pt0;
tL=Pt0;
while iDt<(Pt2-Pdaymax)
numDay=0;
for jDt=iDt:min((iDt+Pdaymax-1),T_Dt)
if aSt(jDt)<=amP(jDt)

```

```

numDay=numDay+1;
end
end
if numDay>=Pday
t_Dt=iDt+Pdaymax-1;
T=aDt(T_Dt);
t=aDt(t_Dt);
StK=aSt(t_Dt)*(100/amX(t_Dt));
Rf=GetRf(t_Dt,T_Dt,Rf_Dt,aDt);
d1=(log(StK/aBV(T_Dt))+(Rf+Vol^2/2)*(T-t))/(Vol*sqrt(T-t));
d2=d1-Vol*sqrt(T-t);
Rf=GetRf(T_Dt,t_Dt,Rf_Dt,aDt);
Vt=StK*normcdf(d1,0,1)-aBV(T_Dt)*exp(-Rf*(T-t))*normcdf(d2)+aBV(t_Dt);
switch P_CI
case 1
PPp=P_Pp(amYear(t_Dt));
case 2
PPp=P_Pp(amYear(t_Dt))+FV*B_I(amYear(t_Dt))/100
(t_Dt-mod(T_Dt,DtPerYear))/DtPerYear;
case 3
PPp=P_Pp(amYear(t_Dt))+FV*B_I(amYear(t_Dt))/100;
end
if PPp>=Vt
fcSt=aSt(t_Dt);
fcP2=PPp;
fcFv=FV;
fcSig=Vol;
fcr=GetRf(T_Dt,t_Dt,Rf_Dt,aDt);
fcT=aDt(T_Dt);
fct=aDt(t_Dt);
fcV=aBV(T_Dt);
fcBondValue=aBV(t_Dt);
arrData=[fcSt,fcP2,fcFv,fcSig,fcr,fcT,fct,fcV,fcBondValue];
Xnew=erfen('fc',0.01,50,0.01,arrData);
Xold=amX(t_Dt);
bDL=Xnew/Xold<D_Rate(amYear(t_Dt))/100;
bDL=bDL & t_Dt>=tL;
bDL=bDL & Xnew>=D_Lother;
for iLm=1:length(D_Lm)
tLm=floor((D_Lm(iLm)/250)/Dt);
bDL=bDL & mean(aSt(1,(t_Dt-tLm):t_Dt))<=Xnew;
end
if ~bDL
MN=0;

```

```

MP_T=t_Dt;
MP_P=PPp-aBV(t_Dt);
break;
else
if D_Ltime>0
tL=t_Dt+floor(DtPerYear*D_Ltime);
end
Pnew=Xnew*P_Rate(amYear(iDt));
Rnew=Xnew*R_Rate(amYear(iDt));
for iamDt=t_Dt:T_Dt
amR(iamDt)=Rnew;
amP(iamDt)=Pnew;
amX(iamDt)=Xnew;
end
end
else
if P_Ltime==1
while and(amYear(iDt)==amYear(iDt),iDt<T_Dt)
iDt=iDt+1;
end
end
end
end
iDt=iDt+1;
end
iDt=Rt0;
while iDt<=(Rt2-Rdaymax)
numDay=0;
for jDt=iDt:(iDt+Rdaymax-1)
if aSt(jDt)>=amR(jDt)
numDay=numDay+1;
end
end
if numDay>=Rday
t_Dt=iDt+Rdaymax;
MN=0;
MR_T=t_Dt;
switch R_CI
case 1
RPr=R_Pr(amYear(t_Dt));
case 2
RPr=R_Pr(amYear(t_Dt))+(FV*B_I(amYear(t_Dt))/100)
(t_Dt-mod(T_Dt,DtPerYear))/DtPerYear;
case 3

```

*

```

RPr=R_Pr(amYear(t_Dt))+FV*B_I(amYear(t_Dt))/100;
end
if aSt(iDt+Rdaymax)*FV/amX(iDt+Rdaymax)>RPr
MR_P=aSt(iDt+Rdaymax)*FV/amX(iDt+Rdaymax)-aBV(iDt+Rdaymax);
else
MR_P=R_Pr(amYear(t_Dt));
end
break;
end
iDt=iDt+1;
end
T_Dt1=0;
MN_P=max((aSt(T_Dt)*FV/amX(T_Dt)-aBV(T_Dt)),0);
MN_T=T_Dt;
if MN==1
Value1=MN_P;
T_Dt1=MN_T;
else
if min(MR_T,MP_T)==MR_T
Value1=MR_P;
T_Dt1=MR_T;
else
Value1=MP_P;
T_Dt1=MP_T;
end
end
Rf=Rf_Dt(T_Dt1);
Value2=Value1/exp(Rf*aDt(T_Dt1));
arrV_Value=[arrV_Value,Value2];
iMonteCarlo=iMonteCarlo+1
end
result=mean(arrV_Value)+aBV(1);

```

3、进行批量计算使用的 excel 宏程序

Private Sub 计算可转价格()

Dim lastRowCondition, lastColCondition, firstRowCondition, firstColCondition, lastRowWorking
As Long

Dim iRow, iCol, iRowVol, iColVol, iMonteCarloTimes, ColVol As Long

Dim code, codeKZ, nameKZ As String

Dim Bond_Date_End, ShareTransfer_Date_Begin, redemption_Date_Begin, Putable_Date_Begin
As String

Dim Bond_Close, ShareTransfer_Price, St, Downward_Rate, redemption_Rate As Double

Dim D_Year, Downward_Day_MAX, Downward_Day, Downward_Limit, Downward_RateLimit,
redemption_Day_MAX, redemption_Day, redemption_Divi_Contained, Putable_Day,

```
Putable_Day_MAX As Long
Dim strBond_Rate, strPutable_Rate, strPutable_Price As String
Dim MonteCarloTimesSub, M_t As Long
workingWorkBook.Activate
Sheets("可转价格").Select
conditionWorkbook.Activate
Sheets("转债资料").Select
lastRowCondition = [A1].End(xlDown).row
lastColCondition = [A1].End(xlToRight).Column
firstColCondition = 1
firstRowCondition = 2
For iRow = 2 To 16
conditionWorkbook.Activate
Sheets("转债资料").Select
codeKZ = Cells(iRow, 1).Value
nameKZ = Cells(iRow, 2).Value
For iCol = firstColCondition To lastColCondition
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "期限") Then D_Year = Cells(iRow, iCol).Value
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "到期日期") Then Bond_Date_End = Cells(iRow, iCol).Value
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "利率格式经调整") Then strBond_Rate = CStr(Cells(iRow,
iCol).Value)
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "可转债收盘价") Then Bond_Close = Cells(iRow, iCol).Value
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "自愿转股起始日期") Then ShareTransfer_Date_Begin =
Cells(iRow, iCol).Value
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "转股价格") Then ShareTransfer_Price = Cells(iRow, iCol).Value
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "重设触发计算最大时间区间") Then Downward_Day_MAX =
Cells(iRow, iCol).Value
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "重设触发计算时间区间") Then Downward_Day = Cells(iRow,
iCol).Value
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "特别修正幅度") Then Downward_RateLimit = Cells(iRow,
iCol).Value
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "正股收盘价") Then St = Cells(iRow, iCol).Value
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "触发比例") Then Downward_Rate = Cells(iRow, iCol).Value
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "修正次数限制") Then Downward_Limit = CInt(Cells(iRow,
iCol).Value <> "不限")
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "条件赎回起始日期") Then redemption_Date_Begin =
Cells(iRow, iCol).Value
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "赎回触发计算最大时间区间") Then redemption_Day_MAX =
Cells(iRow, iCol).Value
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "赎回触发计算时间区间") Then redemption_Day = Cells(iRow,
iCol).Value
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "赎回触发比例") Then redemption_Rate = Cells(iRow,
iCol).Value / 100
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "利息处理") Then redemption_Divi_Contained = CInt(Cells(iRow,
```

```

iCol).Value = "已含")
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "条件回售起始日期") Then Putable_Date_Begin = Cells(iRow,
iCol).Value  注意这里还有个无条件回售的也会给找出来
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "回售触发计算最大时间区间") Then Putable_Day = Cells(iRow,
iCol).Value
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "回售触发计算时间区间") Then Putable_Day_MAX =
Cells(iRow, iCol).Value
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "回售比例经整理") Then strPutable_Rate = CStr(Cells(iRow,
iCol).Value)
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "回售价格经整理") Then strPutable_Price = CStr(Cells(iRow,
iCol).Value)
If InStr(1, Cells(1, iCol).Value, "正股代码") Then code = CStr(Cells(iRow, iCol).Value)
Next
MLEvalString "clear all"
Sheets("时间").Activate
ColVol = [B1].End(xlToRight).Column
For iColVol = 3 To ColVol
conditionWorkbook.Activate
Sheets("转债资料").Activate
MLEvalString ("b" & Cells(iRow, 1).Value & ";")
Sheets("时间").Activate
DateSettle = Cells(1, iColVol).Value
MLEvalString ("t0=datenum(" & CStr(DateSettle) & ");")
Sheets("波动率").Activate
MLEvalString ("Vol=" & Cells(iRow, iColVol).Value & ";")
Sheets("正股价格").Activate
MLEvalString ("St=" & Cells(iRow, iColVol).Value & ";")
Sheets("转股价").Activate
MLEvalString ("X=" & Cells(iRow, iColVol).Value & ";")
Sheets("利率期限结构").Activate
MLEvalString ("zr_x=[" & Cells(2, 2).Value & "];")
MLEvalString ("zr_y=[" & Cells(2, iColVol).Value & "];")
MLEvalString ("M_t=" & MonteCarloTimes & ";")
MLEvalString ("Dt=" & Delta & ";")
MLEvalString ("cs=" & CStr(cs) & ";")
Select Case ComboBox_beheave.Value
Case 0 "cal_MonteCarlo"
M_t = CInt(MonteCarloTimes) / 10
MLEvalString "arrMeanAll=[];"
MLEvalString ("M_t=" & M_t & ";")
For iMonteCarloTimes = 1 To 10
MLEvalString
"CSV=Mon_Fun(M_t,Dt,St,X,Vol,divt,divi,D,FV,t0,t2,B_I,B_Ibc,cs,D_t0,D_day,D_daymax,D_R
ate,D_Ltime,D_Lm,D_Lother,P_t0,P_day,P_daymax,P_Rate,P_Pp,P_CI,P_Ltime,R_t0,R_day,R_

```

```
daymax,R_Rate,R_Pr,R_CI,zr_x,zr_y,R_t2,P_t2);"  
MLEvalString "arrMeanAll=[arrMeanAll CSV];"  
labelFinished.Caption = "完成了" & CStr(iMonteCarloTimes) & "%"  
DoEvents  
Next  
MLEvalString "CSV=mean(arrMeanAll);"  
workingWorkBook.Activate  
Sheets("可转价格").Activate  
MLGetMatrix "CSV", (arrayAlpha(iColVol) + CStr(iRow))  
MatlabRequest  
End Select  
Next  
Next  
End Sub
```


参考文献

- [1] Black F. and Scholes.M.. The Pricing of Options and Corporate Liabilities[J]. Journal of Political Economy,1973,(3):637-654
- [2] Ingersoll J.. An Examination of Corporate Call Policies on Convertible Securities[J]. Journal of Finance,1977,32(2):463-478
- [3] Ingersoll J.. A Contingent-Claims Valuation of Convertible Securities[J]. Journal of Financial Economics,1977,4(2):289-322
- [4] Brennan M. J. and Schwartz E.. Analyzing Convertible Bonds[J]. Journal of Financial and Quantitative Analysis,1980,(11):907-929
- [5] Caruannopoulos P.. Valuing Convertible Bonds under the Assumptions of Stochastic Interest Rates:An Empirical Investigation[J]. Quarterly Journal of Business and Economics,1996,(35):17-31
- [6] Nyborg K. G.. The use and pricing of convertible bonds[J]. Applied Mathematical Finance,1996,(2):167-190
- [7] McConnell J. and Schwartz E.. LYON taming[J]. The Journal of Finance,1986,41(3),561-576
- [8] Ho T S Y and D.M. Pfeffer. Convertible Bonds:Model,Value Attribution, and Analytics[J]. Financial Analysts Journal,1996,(52):35-44
- [9] Tsiveriotis K.and Fernandes.C.. Valuing convertible bonds with credit risk[J]. Journal of FixedIncome,1998,8(2):95-102
- [10] 张德华,陶融. Black-Scholes 期权定价模型在可转换债券定价中的应用[J]. 财经理论与实践,1999
- [11] 林义相. 可转换债券投资分析和运作[M]. 上海:上海远东出版社,2000
- [12] 陈恩全、万军. 可转换债券定价模型[J]. 华东经济管理,2003,(6):116-118
- [13] 范辛亭、方兆本. 随机利率条件下可转换债券定价模型的经验检验[J]. 中国管理科学,2001,9(6):7-14
- [14] 杨如彦、魏刚. 可转换债券的定价及其绩效评价[M]. 北京:中国人民大学出版社,2002
- [15] 郑振龙、林海. 中国可转债定价研究[J]. 厦门大学学报(哲社版),2004,(2):93-99

- [16] 王承炜、吴冲锋. 上市公司可转换债券价值分析[J]. 系统工程,2001,(7):47-53
- [17] 蒋殿春、张新. 可转换公司债定价问题研究[J]. 国际金融研究,2002,(4):16-22
- [18] 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[J]. 金融研究,2005,(9):105-121
- [19] Brennan M. J. and Schwartz E.. Convertible Bonds:Valuation and Optimal Strategies for Call and Conversion[J]. The Journal of Finance,1977,(12):1699-1715
- [20] Davis M. and Lischka F.. Convertible bonds with market risk and credit risk[R]. Tokyo-Mitsubishi international,1999
- [21] 周琳. 可转换债券的定价及其影响因素的实证分析[J]. 同济大学学报,2003,(14):52-56
- [22] Engle R. F.. Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of UK Inflation[J]. Econometrica,1982,(50):987-1008
- [23] Bollerslev T.. Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity[J]. Journal of Econometrics,1986,(31):307-327
- [24] Mcculloch J. . Measuring the Term Structure of Interest Rate[J]. Journal of Business,1971,(44):19-31
- [25] Fama E.. The Behaviour of stock market prices[J]. Journal of Business,1965,(38):34-105
- [26] Goldman Sachs. Valuing convertible bonds as derivatives[R]. Quantitative Strategies Research Notes,GoldmanSachs,1994,(11):11-30
- [27] Hull J. C.. Option,Futures and[M]. Prentice Hall,2003
- [28] Merton R.. Theory of Rational Option Pricing[J]. Bell Journal of Economics,1973,(4):141-183
- [29] Merton R.. On the pricing of corporate debt:The risk structure of interest rates[J]. Journal of Finance,1974(29):449-470
- [30] 刘立喜. 可转换公司债券[M]. 上海:上海财经大学出版社,1999
- [31] 秦学志、吴冲锋. 可赎回的可转换债券的博弈定价方法[J]. 系统工程,2000,(5)
- [32] 郑小迎、陈军、陈金贤. 可转换公司债券定价模型探讨[J]. 系统工程理论与实践,2000,(8)
- [33] 杨大楷、杜新乐、刘庆生. 浅析我国可转换债券的定价及设计[J]. 中国管理科学,2001,9(4):7-15
- [34] 范辛亭、方兆本. 一种随机利率条件下企业可转换债券定价的离散时间方法[J]. 系统工程与实践,2002,(8):29-41

- [35] 郭多祚、程海洋. 可转换债券的未定权益分析[J]. 金融教学与研究,2004,(1):42-44
- [36] 约翰.赫尔. 期权、期货和其它衍生产品[M]. 北京:华夏出版社,2000
- [37] 张鸣. 可转换债券定价理论与案例研究[J]. 上海财经大学学报,2001,(10):29-35
- [38] 周琳. 我国证券市场可转换债券定价法探讨[J]. 郑州轻工业学院学报,2002,(12)
- [39] 郑振龙、林海. 中国市场利率期限结构的静态估计[J]. 武汉金融,2003,(3):33-37
- [40] 郑振龙、林海. 中国违约风险溢价研究[J]. 证券市场导报,2003,(6):21-26

致谢

在这里，我首先向我的导师郑振龙老师表示我衷心的感谢。在两年多的研究生学习期间，郑老师以他严谨的治学态度和对学术的孜孜追求深刻影响了我。郑老师知识渊博，为人和蔼谦逊，这些无论是对我将来的学习、工作还是为人处世都提供了良好的榜样。从本文开题的准备工作一直到论文最后的完稿，郑老师给予了我多方面的指导和帮助，提出了很多建设性意见。

在此一并感谢厦门大学金融系诸位老师在我两年多的学习中给予的指导和帮助。

另外，我要感谢我的家人，他们无论何时都在给我无私的关怀，默默地支持我的学习和工作，他们永远都是我不断取得进步的动力。

两年多难忘的研究生生活即将结束，在此谨向在这期间给予我无私帮助各位老师 and 同学们再次表示最真诚的感谢！