

学校编码: 10384
学号: 27720141152757

分类号____密级____
UDC____

廈門大學

碩 士 學 位 論 文

中国含权债的定价研究及误差修正：
基于二叉树和三叉树模型

**A Study on the Evaluation of Chinese Option-Embedded Bonds
and Pricing Errors: Based on Binomial Tree Model and Trinomial
Tree Model**

李昂

指 导 教 师： 牛霖琳 副教授

专 业 名 称： 数量经济学

论 文 提 交 日 期： 2017 年 4 月

论 文 答 辩 时 间： 2017 年 4 月

学 位 授 予 日 期： 2017 年 6 月

答 辩 委 员 会 主 席： _____

评 阅 人： _____

2017 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈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其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为(中债登与厦门大学金融工程研究咨询项目)课题(组)的研究成果,获得(中债登与厦门大学金融工程研究咨询项目)课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

本文使用了 Hull-White 模型、Black-Karasinski 模型和 Black-Derman-Toy 模型，并根据风险利率定价和无风险利率下的违约概率定价两种不同的定价过程，对 2015 年 1 月 1 日到 2015 年 12 月 31 日在中国市场中流通且交易天数最多的 60 支可回售债券进行定价，发现 Hull-White 违约率模型在六种模型中表现最好。之后我们把 Hull-White 违约率模型在 2015 年期间的定价误差作为被解释变量，选取了与宏观经济水平、企业微观经营状况和债券流动性水平相关的一共 9 个变量作为解释变量进行面板数据回归，并根据回归系数对 2016 年 1 月 1 日到 2016 年 6 月 30 日之间 Hull-White 违约率模型的定价进行误差修正，发现进行误差修正后的定价结果比误差修正前的定价结果对于实际交易价格的拟合及预测有比较明显的提升。本文结果表明，在我国含权债市场，应将传统金融理论的定价结果与面板数据模型对定价误差的修正结合到一起对债券进行综合定价。

关键词：含权债；利率树；面板数据模型

ABSTRACT

In this thesis, we evaluated 60 most traded puttable bonds in Chinese bond market between January 1, 2015 and December 31, 2015, applying Hull-White model, Black-Karasinski model and Black-Derman-Toy model in combination with two different pricing processes: risky interest rate pricing method and the probability of default pricing method. The systematic comparison indicates Hull-White default rate model gives the best performance among the six models. Then we introduced ten variables, which are related to macroeconomic condition, corporate management condition and bond liquidity, to interpret the pricing errors from the application of Hull-White default rate model to 2015 data and took those panel data regression coefficients to correct pricing results between January 1, 2016 and June 30, 2016. The pricing results significantly improved after correction for a better fitting and prediction to the real trading prices. Finally, we demonstrated that the traditional financial theory and the panel data analysis method should be combined to comprehensively evaluate the option-embedded bonds in Chinese bond market.

Keywords: option-embedded bonds; interest rate tree; panel data model

目 录

第一章 引言	1
1.1 可赎回债券和可回售债券的定义.....	1
1.2 可赎回债券和可回售债券的分类.....	2
1.3 可赎回债券和可回售债券的发展状况.....	3
1.4 研究内容、方法和意义	5
第二章 可赎回债券和可回售债券的条款.....	8
2.1 可赎回债券和可回售债券的基本条款.....	8
2.2 赎回条款	9
2.3 回售条款	9
第三章 文献综述	12
3.1 含权债定价理论的发展	12
3.2 信用债利差的研究与实证	15
3.3 实证方法选择	18
第四章 含权债定价模型及定价误差分析模型.....	19
4.1 短期利率模型	19
4.2 二叉树的构建过程	21
4.3 二叉树定价模型举例.....	25
4.4 面板数据模型	28

第五章 含权债定价实证.....	35
5.1 数据来源和样本选取.....	35
5.2 含权债定价结果.....	39
5.3 敏感性分析.....	47
第六章 含权债定价误差分析.....	53
6.1 定价误差解释变量.....	53
6.2 模型选择与假设检验结果.....	56
6.3 面板数据回归结果.....	57
6.4 定价误差预测及修正后的定价结果.....	62
第七章 结论.....	64
参考文献.....	66
附录.....	68
致谢.....	79

Contents

Chapter1	Introduction	1
1.1	Definition of Option-Embedded Bonds	1
1.2	Classification of Option-Embedded Bonds	2
1.3	The Development of Option-Embedded Bonds	3
1.4	Methodology and Meanings	5
Chapter2	Terms of Option-Embedded Bonds	8
2.1	Basic Terms of Option-Embedded Bonds	8
2.2	Call Option Terms	9
2.3	Put Option Terms	9
Chapter3	Literature Review	12
3.1	The Reserch on Option-Embedded Bonds Pricing Theory	12
3.2	The Reserch on Credit Spread of Corporate Bonds	15
3.3	Empirical Methodology Comparision	18
Chapter4	Option-Embedded Bonds Pricing Model and Pricing Errors Analysis	
	Model	19
4.1	Short Interest Rate Model	19
4.2	Construstion of Trinomial Tree	21
4.3	Pricing Option-Embedded Bonds by Trinomial Tree	255
4.4	Panel Data Model	28
Chapter5	Pricing Results of Option-Embedded Bonds	35
5.1	Data Sources and Sample Selection	35
5.2	Pricing Results of Option-Embedded Bonds	39
5.3	Sensitivity Analysis	47

Chapter6 Pricing Errors Analysis of Option-Embedded Bonds	53
6.1 Explanatory Variables of Option-Embedded Bonds	53
6.2 Model Selection and Results of Hypothesis Tests	56
6.3 Panel Data Regression Results.....	57
6.4 Prediction of Pricing Errors and Pricing Results of Error Correction ...	62
Chapter7 Conclusion	64
References	66
Appendix.....	68
Acknowledgement.....	79

第一章 引言

随着中国金融市场的发展,债券越来越成为政府和企业等机构重要的融资手段。在国内金融市场逐步发展创新的进程中,债券的类型以及所包含的特殊条款变得越来越丰富,这有利于债券发行人和投资人更灵活的管理自身的资产,从而提高金融市场的效率。具体而言,债券的特殊条款包括赎回、回售、延期、提前偿还、定向转让等,其中赎回、延期与提前偿还是以债券发行人为权利主体;而回售、定向转让是以债券投资人为权利主体。可赎回债券和可回售债券是含有内嵌期权的债券,其中可赎回债券赋予了债券发行人在约定的时间按照约定的价格在债券到期日之前赎回债券的权利;可回售债券则赋予了债券投资人在约定的时间按照约定的价格在债券到期日之前将债券回售给发行人的权利。本文主要关注可赎回债券和可回售债券的定价问题,一方面将根据 Hull-White 模型(以下简称 HW 模型)、Black-Karasinski 模型(以下简称 BK 模型)和 Black-Derman-Toy 模型(以下简称 BDT 模型)构建利率二叉树(或三叉树)并且采用风险利率和无风险利率下的债券违约概率两种不同的思路对含权债券进行定价,并比较六种模型设定下定价结果的优劣;另一方面由于以上六种传统的短期利率模型设定对含权债券进行定价时除了定价日当天无风险利率期限结构、风险利率的期限结构以及债券本身的基本条款外,并没有考虑定价时可能会影响信用债利差的宏观经济水平、企业微观经营状况和债券流动性水平等因素,所以我们使用面板数据模型对以上六种模型中定价结果较好的 HW 违约率模型的定价误差进行分析,并根据面板回归结果对定价误差进行预测,从而使误差修正后的定价结果与债券实际交易价格有更好的拟合与预测。

1.1 可赎回债券和可回售债券的定义

可赎回债券和可回售债券是含有期权的债券,当金融市场利率发生较大变动时,其所包含的期权可以使债券发行人(对于可赎回债券而言)以及债券投资人(对于可回售债券而言)更方便的控制所持有资产的风险。

可赎回债券是指赋予了债券发行人在债券到期之前按照约定的时间以及约定的价格(一般高于或等于债券面值)从投资人手中赎回债券的权利的债券。在

债券行权日期内如果市场中的利率下降，债券价格上升超过赎回条款中约定的赎回价格时，债券发行人往往会行使赎回权利，从而降低自己的融资成本。不难看出可赎回条款对债券发行人有利，即在市场利率较低时债券发行人可以提前赎回债券，进而重新发行利率较低的债券，节约融资成本；但是对于债券投资人来讲不利，因为赎回价格往往低于行权日的债券市场价格，并且使投资人面临再投资风险。所以可赎回期权对于债券发行人来说是一种关于债券价格的看涨期权(call option)。在可赎回债券与对应的普通债券之间，存在如下关系，设 P_C 和 P_N 分别代表可赎回债券和普通债券的价格， C 代表赎回权的价格，则理论上应该有：

$$P_C = P_N - C \quad (1.1)$$

相当于债券发行人持有期权的多头，投资人持有期权的空头。

类似的，可回售债券是指赋予了债券投资人在债券到期之前按照约定的时间以及约定的价格（一般低于或等于债券面值）向债券发行人回售债券的权利的债券。在债券行权日期内如果市场中的利率上升，当债券价格下降至低于回售条款中约定的回售价格时，债券投资人往往会行使回售权利，从而获得高于当时市场价格的收益。不难看出可回售条款对债券投资人有利，即在市场利率较高时债券投资人可以提前回售债券，进而将回售所得的资金重新以较高的回报率借贷出去，提高了资产收益；但是对于债券发行人来讲不利，因为回售价格往往高于行权日的债券市场价格，并且使发行人面临再融资风险。所以可回售期权对于债券投资人来说是一种关于债券价格的看跌期权(put option)。设 P_P 和 P_N 分别代表可回售债券和普通债券的价格， P 代表投资者持有的回售权的价格，则有：

$$P_P = P_N + P \quad (1.2)$$

相当于债券发行人持有期权的空头，投资人持有期权的多头。

1.2 可赎回债券和可回售债券的分类

可赎回债券中所包含的期权类型可以分为欧式期权、美式期权与百慕大式期权，相应的可赎回债券可细分为欧式可赎回债券、美式可赎回债券和百慕大式可赎回债券。

(1) 欧式可赎回债券为在到期日前根据可赎回条款中约定的日期，企业可

以根据金融市场中的实际情况决定是否执行提前赎回策略，中国市场中一般规定债券发行人若执行赎回计划，则需要在赎回日的前一个月由公司按照有关规定在主管部门指定的信息媒体上刊登《提前赎回公告》。

(2) 美式可赎回债券为在可赎回条款中约定的赎回日期之后至债券到期日之前的任意交易日内，债券发行人均可执行提前赎回策略，目前中国市场含有美式可赎回债券的数量很少，绝大部分都属于欧式可赎回债券。

(3) 百慕大式可赎回债券是指在可赎回条款中约定的赎回日期之后至债券到期日前，包含有若干个可赎回日期，即赋予债券发行人多次执行提前赎回的权利，目前中国市场中的多权债券就属于此类。

可回售债券的特点和可赎回债券非常相似，区别只在于行使权利的一方为债券投资人。类似的，可回售债券也分为欧式可回售债券、美式可回售债券和百慕大式可回售债券。

1.3 可赎回债券和可回售债券的发展状况

含权债券在国外发展较早，美国政府在1917年已经开始发行含有可赎回期权的债券。关于含权债券的研究始于20世纪40年代，到80年代之后，随着资产定价理论和实证方法的发展，越来越多的学者参与到和含权债券相关的研究中。在美国，绝大部分企业债券都含有可赎回期权，也有少部分政府债券和市政债券含有可赎回期权。相比与可赎回债券，美国市场上的可回售债券数量较少，这与中国债券市场有很大不同。目前我国债券市场上流通的可回售债券数量约为可赎回债券数量的四倍。

截止到2017年1月31日，我国市场上正在流通的含权债券（含有可赎回期权和可回售期权的债券）一共有5447支，其中可赎回债券1085支，可回售债券4362支，流通中的可回售债券的数量约为可赎回债券数量的四倍。按照不同年份对含权债发行数量进行统计可知，2016年共发行含权债2464支，2015年发行2067支，2014年发行1812支，2013年898支，2012年发行1059支，2011年发行420支，2010年之前（含2010年）共发行了738支。从图1.1中可以看出含权债券的发行数量呈逐年递增趋势。

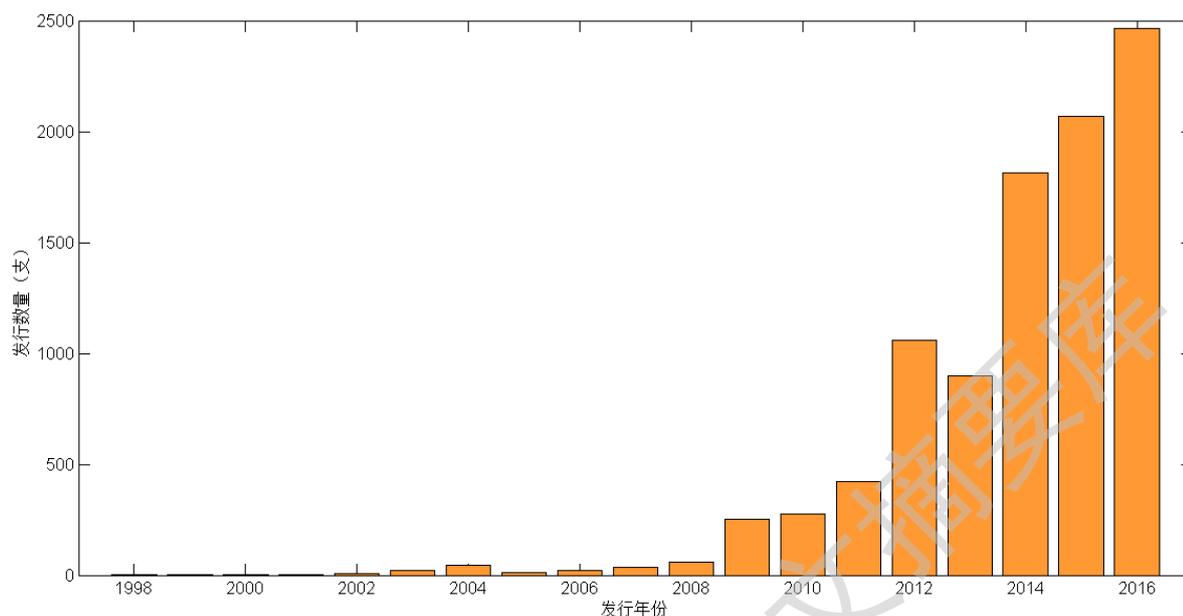


图 1.1 中国含权债各年度发行数量（数据来源：Wind 数据库）

若按照不同年份对含权债券的发行金额进行统计可知，2016年发行含权债券金额32095亿元，2015年发行金额为26398亿元，2014年发行金额为22203亿元，2013年发行金额为9558亿元，2012年发行金额为14611亿元，2011年发行金额为9478亿元，从图1.2中不难看出含权债券发行金额也大体呈逐年递增趋势。

另外，对截止到2017年1月31日中国市场上正在流通的5447支含权债券的发行行业进行统计可知，建筑业发行的含权债券数量最多为978支，其次为综合行业共有896支，制造业发行的含权债券数量为826排在第三位，之后是房地产业和金融业，发行含权债券数量分别为789支和730支。图1.3展示了全部5447支含权债券所覆盖的18个行业的统计结果。

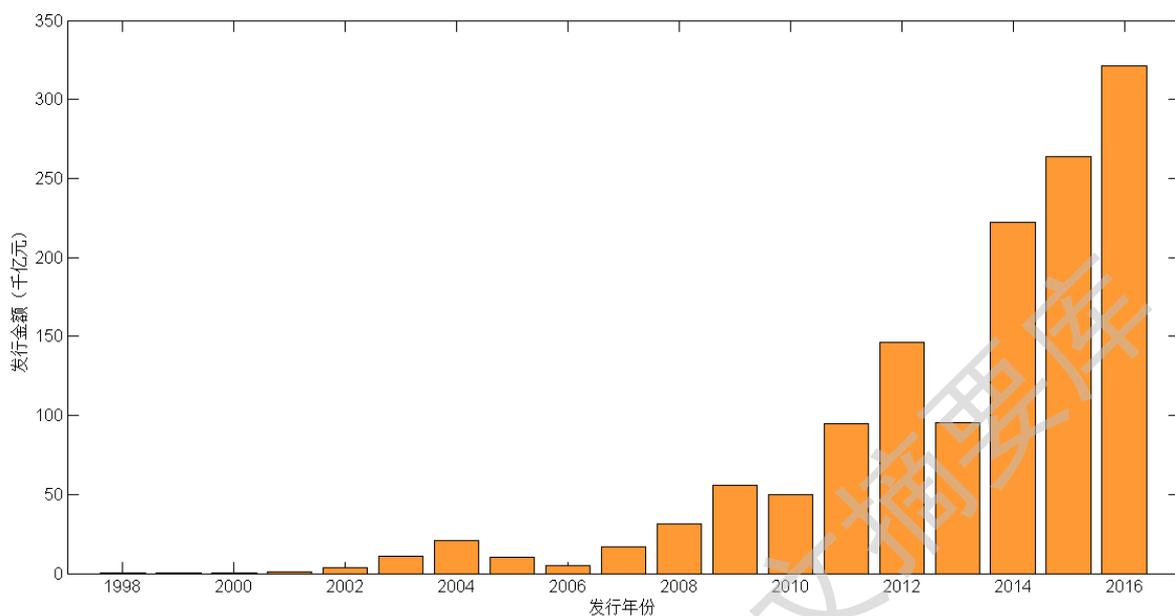


图 1.2 中国含权债各年度发行金额（数据来源：Wind 数据库）

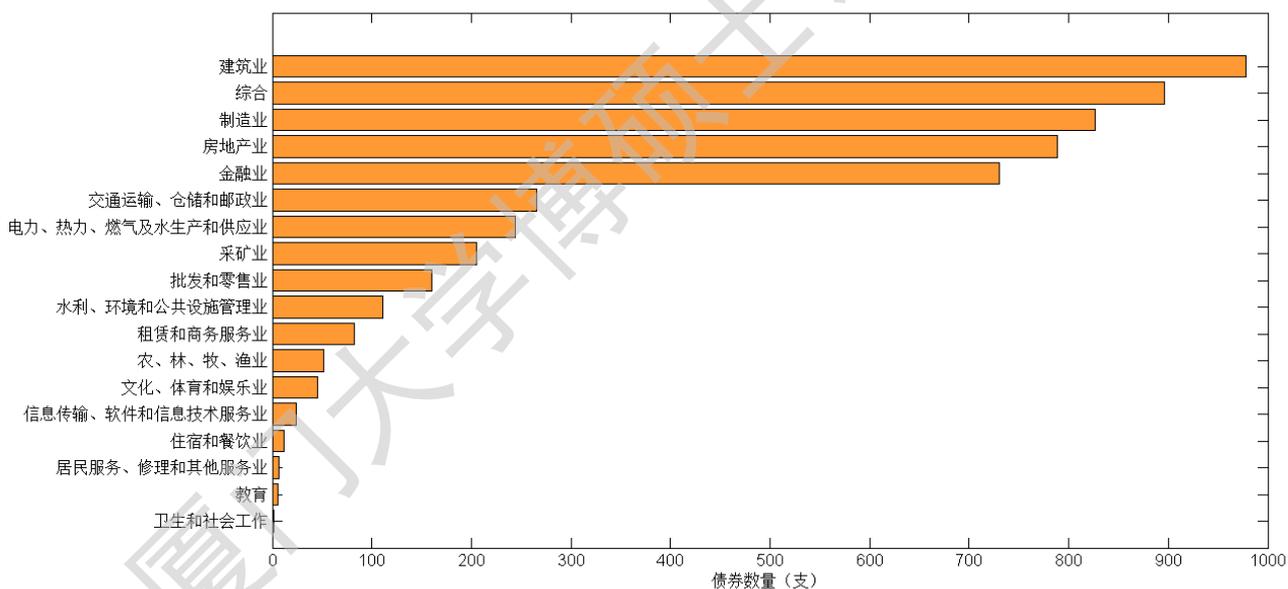


图 1.3 中国市场流通中的含权债券发行行业统计（数据来源：Wind 数据库）

1.4 研究内容、方法和意义

本文主要研究可赎回债券和可回售债券的定价问题。对含权债券定价，传统上是根据含权债券的基本信息、定价当日市场的风险利率和无风险利率的期限结构以及基于历史数据所估计出的利率波动率和均值回复速度等参数对含权

债券的价值进行计算。在含权债券的定价问题中最关键的一步是对未来各期利率的变动轨迹进行预估，据此确定出未来各时点上的利率值，从而对含权债券各期的现金流进行折现以得到含权债的估值。对于利率的变动究竟从属于何种运动过程，不同的学者给出了不同的假设，并根据所选择的假设推导出连续时间下的利率运动过程所满足的方程，最终得出离散时间下不同时点上利率的取值，为实证定价提供可能。但目前学界对于含权债定价中究竟该选择何种模型并无一致结论，所以为了更全面的衡量不同模型在含权债定价中的表现，本文选取了 HW 模型、BK 模型和 BDT 模型构建利率二叉树（或三叉树）对相同的债券样本进行定价以期望比较出三种模型定价结果的优劣。不仅如此，在定价思路本文也选择了两种不同的方式：第一种思路是根据定价日含权债券所对应评级的债券收益率曲线构建出利率树，从而对含权债券未来各期的现金流进行折现计算出债券价格；第二种思路是根据国债收益率曲线构建出无风险的利率树，然后再根据国债收益率曲线和含权债券所对应评级的信用债收益率曲线计算出利率树每一时期债券可能发生违约的概率，最终通过无风险利率树和各时点的违约概率对含权债各期的现金流进行折现计算出债券价格。所以本文一共使用了六种不同的模型设定对含权债券进行定价，分别是：HW 风险利率模型和 HW 违约率模型，BK 风险利率模型和 BK 违约率模型以及 BDT 风险利率模型和 BDT 违约率模型。

从 1.3 节对于流通中的含权债券统计结果可知，目前中国市场中的可回售债券的数量约为可赎回债券的四倍，并且在相同的时间区间内可回售债券的有交易天数比可赎回债券多，为了更有效地比较出六种模型定价结果与实际交易价格偏差的大小，我们把研究的重点放在可回售债券上。我们从 Wind 数据库中筛选出 2015 年 1 月 1 日到 2015 年 12 月 31 日之间交易天数最多的 AAA 级、AA+级和 AA 级可回售债券各 20 支进行定价，发现在上面的六种模型中 HW 违约率模型定价结果表现最优。但是在某些时间段内，HW 违约率模型的定价结果仍会与样本中部分债券的实际交易价格有一定程度的持续偏离。我们认为这主要由于在定价过程中模型的输入变量只包含了定价日的风险利率和无风险利率的期限结构，这两种变量只能反应债券市场整体的利率水平，但无法完全包含能够反映每支债券个体利差的其他影响因素，例如能够反映债券个体信用

风险的企业微观经营状况，还有能够对企业微观经营状况产生影响的宏观经济生产水平，以及可能会影响债券流动性利差的因素。所以在认识到现有短期利率模型对于含权债券定价存在的缺陷之后，我们通过面板数据回归的方法找出能够影响债券信用利差和流动性利差的变量与定价误差之间存在的相关关系，并期望通过面板数据分析得到的回归系数对样本外时间区间的定价误差进行预测，以此来修正短期利率模型的定价结果，提高模型的定价精度。为此我们选择了在 2015 年 1 月 1 日到 2015 年 12 月 31 日这段时间内六种模型设定中定价结果最优的 HW 违约率模型的定价误差作为被解释变量，选择了四种反映宏观经济水平的变量（银行间 7 天质押式回购利率、10 年期与 2 年期国债收益率差、工业增加值同比增速和 CPI 同比增速）、四种反映企业微观经营状况的变量（企业净资产收益率、总资产报酬率、流动比率和资产负债率）以及反映债券流动性水平的变量（前 20 个交易日换手率）作为解释变量，计算得出回归系数。并据此对 2016 年 1 月 1 日到 2016 年 6 月 30 日之间的模型定价误差进行预测从而对 HW 违约率模型的定价结果进行修正。最终发现，误差修正后的定价结果比误差修正前的定价结果在均方根误差（RMSE）和平均绝对误差（MAE）这两项统计指标上均有超过 50% 的下降，这表明误差修正后的模型定价相比于修正前的模型定价有了比较明显的改进，对实际价格的拟合更加精确。

本文的余下部分安排如下，第二章介绍含权债券的条款，第三章总结了含权债券定价以及信用债利差分析的理论 and 实证文献，第四章介绍了短期利率模型和面板数据回归模型，第五章展示含权债券的定价结果以及参数敏感性分析结果，第六章使用面板数据模型分析含权债定价误差并根据回归结果对样本外时间区间的含权债定价结果进行修正，第七章为结论。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库