

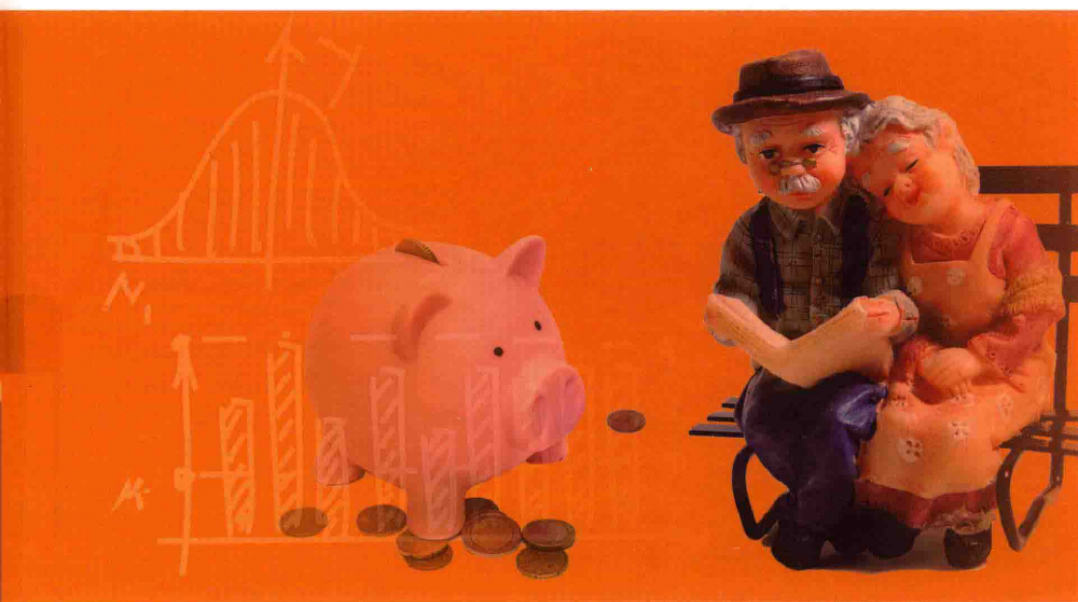
□ 国家社科基金 (17BJL048) 阶段性成果

□ 中南林业科技大学学术著作出版资助

基于随机动态死亡率模型的 长寿风险债券定价研究

Research on Longevity Risk Bond Pricing
Based on Stochastic Dynamic Mortality Model

◎ 樊 毅 著



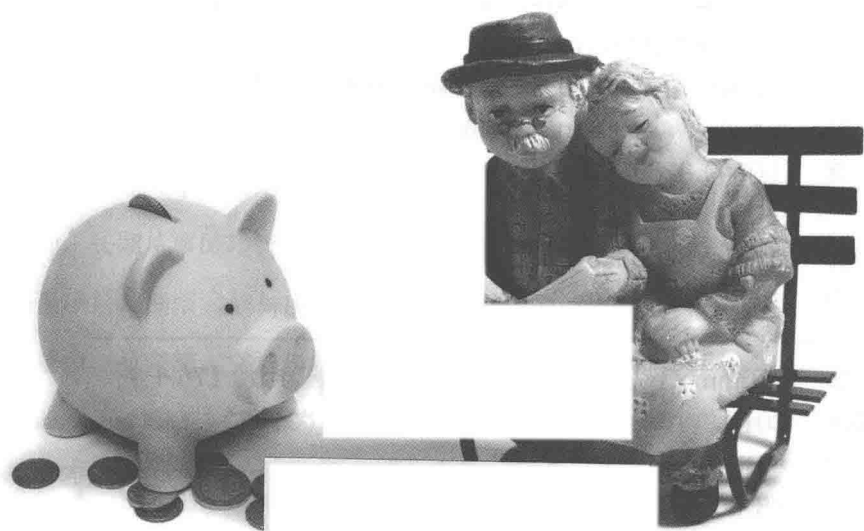
西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

□ 国家社科基金(17BJL048)阶段性成果

□ 中南林业科技大学学术著作出版资助

基于随机动态死亡率模型的 长寿风险债券定价研究

◎ 樊 毅 著



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

基于随机动态死亡率模型的长寿风险债券定价研究 / 樊毅著. —西安: 西安交通大学出版社, 2018. 10

ISBN 978-7-5693-0973-7

I. ①基… II. ①樊… III. ①债券—定价—研究—汉、英 IV. ①F830.91

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 256121 号

书 名 基于随机动态死亡率模型的长寿风险债券定价研究
著 者 樊 毅
责任编辑 贺彦峰

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtpress.com>
电 话 (029) 82668357 82667874 (发行中心)
(029) 82668315 (总编办)
传 真 (029) 82668280
印 刷 湖南省众鑫印务有限公司

开 本 710mm×1000mm 1/16 印张 13.5 字数 176 千字
版次印次 2018 年 10 月第 1 版 2018 年 10 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5693-0973-7
定 价 88.00 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题, 请与本社发行中心联系、调换。

版权所有, 侵权必究



樊 毅 女，湖南常德人，1983年9月生，湖南大学经济学博士，美国密歇根州立大学联合培养博士，现任中南林业科技大学经济学院教师、硕士生导师。长期从事风险管理与保险方面的教学和研究工作。主持完成湖南省社科基金项目、湖南省情与决策咨询项目、湖南省教育厅项目等5项，参与国家社科基金、教育部人文社科基金、省社科基金项目等6项；在《Emerging Markets Finance and Trade》《Journal of Computers》《农业技术经济》《保险研究》《财经理论与实践》等SSCI、EI和CSSCI刊物发表研究论文20余篇，编写教材1本。研究成果荣获中国保险教育论坛论文二等奖、湖南省社会科学界学术年会论文一等奖和湖南省保险学术年会论文二等奖。



序 言

人口寿命的延长使寿险公司和养老金机构面临长寿风险，也给各国政府带来养老压力。长寿风险是无法通过大数法则分散的系统性风险，其有效规避成为全世界面临的共同难题。近年来死亡率风险证券化越来越引起人们的关注。长寿债券在国外已经发行数年，本研究使用中国死亡率经验数据，设计长寿风险债券，并计算长寿债券隐含的风险市场价格。

本书在整体思路，遵循“理论架构——现实考察——实证分析——政策框架”的研究范式，具体按照“文献梳理——理论基础——运行机理——定价方法——实证测度——实现机制”的演进方向进行研究。

首先，针对中国历史死亡数据(0~89岁男女混合数据)，在目前流行的 Lee-Carter (LC) 系以及 Cairns、Blake 和 Dowd (CBD) 系随机死亡率模型中选取8个模型，分别为 LC 模型、RH 模型、APC 模型、CBD 模型、M6 模型、M7 模型、M8 模型和 Plat 模型，进行关于模型性质、拟合优度、模型预测方面的定量和定性的比较，得到一个最适合中国数据的随机死亡率预测模型，即 APC 模型。

其次，在阐述自然对冲、养老金的买断和买入等传统长寿风险管理方法以及长寿债券、长寿互换、 q 远期等新兴资本市场管理方法的基础上，着重分

析了瑞士再保险公司和欧洲投资银行发行的国际经典死亡率债券的经验教训,并讨论长寿债券的不同类型和构造方法,结合长寿债券期限长的特点,根据我国的实际情况设计了一支息票加本金的长寿债券。本研究认为,传统的长寿风险管理工具由于其自身在处理聚合长寿风险方面存在局限性,无法实现风险的完全转移,而以长寿债券为代表的资本市场管理工具在提供风险转移机会和提高市场效率方面均能发挥巨大潜能;我国在长寿债券的设计上应重点考虑基差风险、信用风险、模型参数风险和债券期限等因素。

再次,在比较传统的风险定价方法和债券定价新方法的基础上,选择合适的长寿债券定价方法,并利用中国人口死亡率数据和带永久跳跃的 APC 死亡率模型假设,对本研究设计的长寿债券进行定价。实证结果表明,双因素王、LFC 风险立方和最大熵这 3 种方法都不同程度地给出了风险市场价格,并且都处在一个合理的溢价范围内。本研究实证表明,LFC 风险立方定价方法和最大熵法的总体风险溢价比较高。随机死亡率模型和定价方法的选取对长寿债券的风险溢价有很大影响,即使使用同一种方法,不同的无风险利率和 LIBOR 对风险溢价也有较大影响。笔者认为,在定价实务中可以考虑使用一组模型来处理模型风险。

最后,从监管机制、法律机制、政府支持 3 个方面对我国建立发展健康的长寿债券市场提出了政策建议。在监管方面需明确监管主体,对 SPV 的营业范围和偿付能力做出明确要求,加强信息披露监管,鼓励债券市场发展;建立健全法律机制,明确发行主体资格,为 SPV 的建立提供法律环境,完善相关破产法律;政府应大力支持鼓励发展年金保险市场,完善金融市场,建立健全税惠制度,完善死亡率预测和死亡率指数编制等。

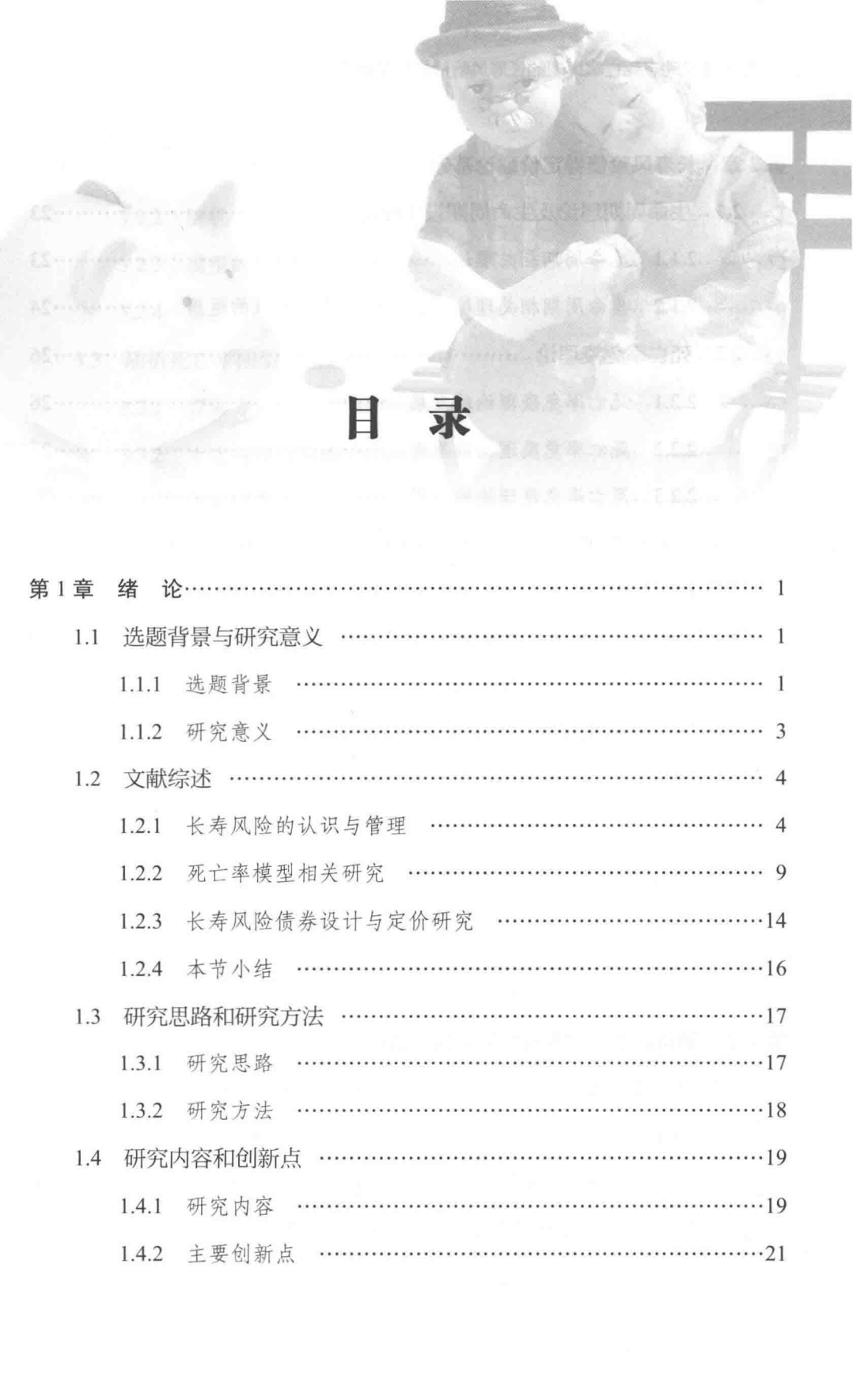
本书的撰写得到了笔者的博士生导师、湖南大学经济与贸易学院王耀中教授的悉心指导和热心关怀。王教授在选题、框架的构建、内容的讨论以及修

改等方面给予了极大的启迪、帮助和鼓励。本书的撰写还要感谢湖南大学金融与统计学院保险系主任张宁博士的关心、支持和帮助，张宁博士在著作的理论研究和实证部分写作过程中给予了大力支持，并提出了大量宝贵意见和建议。

长寿债券对我国来说是一个新生事物，其设计与定价是一个非常复杂的系统工程。同时，由于本人的知识存量和研究水平有限，故本书还存在着诸多方面的不足，有待进一步探讨和突破，希望在以后的研究中能得以完善与发展。本书写作过程中，尽管勉力求实与创新，但因学识尚浅、时间精力不济，观点谬误与言辞唐突之处在所难免，恳请各位读者、同仁不吝赐教。

樊 毅

2018 年 7 月



目 录

第1章 绪 论	1
1.1 选题背景与研究意义	1
1.1.1 选题背景	1
1.1.2 研究意义	3
1.2 文献综述	4
1.2.1 长寿风险的认识与管理	4
1.2.2 死亡率模型相关研究	9
1.2.3 长寿风险债券设计与定价研究	14
1.2.4 本节小结	16
1.3 研究思路和研究方法	17
1.3.1 研究思路	17
1.3.2 研究方法	18
1.4 研究内容和创新点	19
1.4.1 研究内容	19
1.4.2 主要创新点	21

第 2 章 长寿风险债券定价理论基础	23
2.1 生命周期理论及生命周期投资理论	23
2.1.1 生命周期相关理论	23
2.1.2 生命周期相关理论在长寿风险债券领域的运用	24
2.2 死亡率免疫理论	26
2.2.1 死亡率免疫理论的发展	26
2.2.2 死亡率免疫理论的原理	27
2.2.3 死亡率免疫理论的应用	28
2.3 资产证券化理论	29
2.3.1 资产证券化的定义	29
2.3.2 资产证券化的理论	30
2.3.3 资产证券化理论的扩展	31
2.4 人口老龄化理论	32
2.4.1 人口老龄化的定义	32
2.4.2 人口老龄化的相关理论	33
2.5 不完全市场理论	35
2.5.1 不完全市场理论及其发展	35
2.5.2 不完全市场理论在长寿风险债券中的应用	36
第 3 章 随机动态死亡率模型的比较与选择	39
3.1 死亡率模型	39
3.1.1 静态死亡率模型	39
3.1.2 随机死亡率模型	40
3.2 随机死亡率模型拟合效果比较分析	47

3.2.1	数据来源	47
3.2.2	随机死亡率模型的选择	47
3.2.3	模型的拟合优度标准	52
3.2.4	模型的参数估计和稳定性检验	58
3.3	随机死亡率模型预测效果比较分析	62
3.3.1	预测方法	62
3.3.2	生物合理性判断	67
3.3.3	预测结果的稳定性检验	70
3.4	我国长寿债券定价死亡率模型的选择	74
第 4 章	长寿风险管理与长寿债券运作机理	77
4.1	长寿风险管理方法	77
4.1.1	传统长寿风险管理方法	77
4.1.2	新兴长寿风险管理方法	80
4.2	国际经典死亡率连接债券	85
4.2.1	Swiss Re 死亡率债券	85
4.2.2	EIB 长寿债券	87
4.3	我国长寿债券的设计	91
4.3.1	长寿债券的类型和构造方法	91
4.3.2	SPV 概述	94
4.3.3	本金在险型长寿债券的设计	95
第 5 章	长寿风险债券定价方法	99
5.1	传统的风险定价方法	99
5.1.1	资本资产定价法 (CAPM)	99

5.1.2	“Wang 转换” (Wang Transform)	105
5.1.3	风险中性定价方法 (Risk Neutral Method)	107
5.1.4	夏普率定价方法 (Sharp Ratio Method)	110
5.2	债券定价新方法	111
5.2.1	双因素 “Wang 转换”	111
5.2.2	风险立方定价方法 (Risk Cubic Approach)	113
5.2.3	最大熵定价方法 (Maximum Entropy Method)	116
5.3	定价方法的比较与选择	120
5.3.1	定价方法比较	120
5.3.2	长寿债券定价方法选择	124
第 6 章	基于 APC 模型的长寿债券定价方法实证研究	127
6.1	实证假设	127
6.1.1	死亡率模型假设	127
6.1.2	带跳跃的年龄 — 时间 — 出生年效应模型 (APC 模型)	129
6.1.3	长寿债券其他相关假设	131
6.2	长寿债券定价实证	132
6.2.1	双因素 “Wang 转换” 定价过程	132
6.2.2	风险立方定价过程	134
6.2.3	最大熵方法定价过程	136
6.3	实证结果比较分析	137
第 7 章	我国长寿债券实现机制	139
7.1	我国长寿债券监管机制	139
7.1.1	明确监管主体	139

7.1.2 对 SPV 的营业范围和偿付能力的监管	142
7.1.3 加强信息披露监管, 鼓励债券市场发展	143
7.2 我国长寿债券法律机制	145
7.2.1 为 SPV 的建立提供法律环境	146
7.2.2 为 SPV 具有发行长寿债券主体资格扫清障碍	147
7.2.3 完善相关破产体系	148
7.3 我国长寿债券政府激励机制	150
7.3.1 大力发展年金保险市场	150
7.3.2 完善和发展金融市场, 建立流通的二级市场	151
7.3.3 建立健全税惠制度	152
7.3.4 尽快建立完善死亡率预测和死亡率指数编制	153
结 论	155
参考文献	159
附 录	177
附录 A 死亡率模型参数估计值	177
附录 B 死亡率模型时间因子估计值	190



第1章 绪 论

1.1 选题背景与研究意义

1.1.1 选题背景

死亡率是特定人群死亡的发生概率，直接决定了寿险公司或年金保险人死亡给付成本的高低和未来现金流的最终实现。它和承保地区的地理、生活环境，承保地区人群的生存状况、医疗水平、道德风险、经验数据的准确性等因素有关。自20世纪80年代以来，随着社会的发展与进步，人民生活水平和医疗水平整体提高，人口预期寿命延长的趋势越来越明显，世界上多数国家相继进入老龄化社会，且程度逐渐加深。除了巨灾年份外，人口死亡率不断下降已成为世界各个国家的普遍现象，这一现象的变化趋势主要表现为两种态势：一是生存概率增大，即不同年龄段所属的死亡概率均有所下降；二是出现了人口预期寿命普遍提高的情况，尽管不同年龄段的死亡率没有表现出明显的下降趋势。以上所述的世界人口死亡率的下降趋势，在一定程度上对年金以及养老金的给付额和给付期限均产生了重要的影响。日益凸显的长寿风险使得整个社会养老资源受到巨大的挑战，给世界各国经济、社会、政治、文化等方面的发展带来了深刻影响。根据联合国提供的统计数字，2002年全世界60岁以上的老

年人口为6.29亿，占世界人口总数的10%；2015年全球60岁及以上人口约9.01亿，占世界人口总数的12.3%；预计2030年这一比例将达到16.5%；预计到2050年，老人人数将猛增到19.64亿，60岁以上的人口数将超过15岁以下的人口数，占世界总人口的21%。

人类寿命的迅速延长是世界人口老龄化的主要原因。我国从1999年开始已进入老龄化阶段，属于“未富先老，未备先老”的国家。2000年我国65岁以上的人口超过9 000万，达到国际上公认的老年人口占比超过7%的老龄化标准，并且仍在加速增长。截至2014年年底，我国60岁及以上的老年人口总数达2.12亿，占总人口的15.5%，中国已成为世界上老年人口总量最多的国家。我国的人均预期寿命从1982年的67岁，到2010年“第六次全国人口普查”时的74.8岁，再到2015年全国人均预期寿命76.34岁，预计到2020年将会达到79岁。从我国的老年人抚养比来看，《中国统计年鉴2015》的数据显示，我国老年人抚养比基本保持持续上升态势，从1982年的8%上升到2014年的22.5%，并呈现继续上升趋势。而相同期间的少儿抚养比却一路呈现下降趋势，从1982年的54.6%下降至2014年的22.5%。我国老年人口比例过高，无论是绝对数值还是相对比例都值得警惕。

人口寿命的空前延长给社会和经济造成了很大影响。长寿风险对政府、金融机构和个人都会产生重大影响：社会的整体长寿面临未来社会保障方面的巨额支出，政府的基本养老保险系统受到长寿风险的严重冲击，养老金收支缺口扩大、财政补贴压力持续增加，养老金制度的财政维持能力受到质疑，特别是实行收益确定型模式（Defined Benefit）退休金计划的国家；保险公司和企业的各种年金计划和养老金计划面临赔付率过高的风险，当前的年金产品是以固定的死亡率作为精算假设进行定价的，尚未涉及未来死亡率的降低，投保人寿命的延长可能会导致年金商品费率被低估，进而影响到寿险公司和年金保险公

司的财务问题,更有可能使寿险公司和年金保险公司面临严重的偿付危机和破产风险;个人面临累积财富不足而难以支撑未预期的生存年限的风险。基于这一情况,我国老年人口的生活质量也引起了社会各界广泛的关注和担忧。据我国民政部统计数据显示,截至2010年年底,中国已有1.67亿老年人口,其中年龄在80周岁以上的人数约为1 899万,这些高龄老人中的绝大部分处于半自理,甚至是无法自理的状态,其中半失能、失能老人的人数达3 172万,大致为老年人口的18.9%。目前空巢家庭在大中城市的比例不断上升,已超过70%。另外,有约4 000万的老年人留守在农村。参考全球老年观察指数(2013)的报告,在全球91个国家和地区中,中国老年人的生活质量水平在全球排名第35,说明中国的老年人生活质量堪忧。

长寿风险的规避是全世界面临的共同难题。传统的处理长寿风险的方法有再保险、年金保险和寿险产品的自然对冲以及养老金的买断买入等,但这些方法都有其自身的局限性,尤其是面对全球化长寿风险越来越大的趋势,传统管理方法很难成功实现长寿风险的转移。近年来人们在不断寻求、探索新的风险管理方法,众多学者将目光集中在发达的资本市场,资本市场上流动的巨额资金在数量、流动性及地域分布等方面都存在可以利用的优势;同时,资本市场具有极强的风险消化能力,可分散风险,提高保险人的承保能力,因此我们可以借助资本市场工具,探索新式长寿风险管理方法。

1.1.2 研究意义

长寿风险问题逐渐成为理论和实务界关注的热点和前沿。死亡率风险证券化研究从1973年开始在国际上萌芽,到2003年瑞士再保险公司(Swiss Re)第一次成功发行巨灾债券,2004年欧洲投资银行(EIB)尝试发行长寿债券,期间经历了较长时间的理论探索和复杂的演化过程。资本市场在长寿风险转移

中发挥巨大作用的创新理念,掀起了一场风险管理革命,并逐渐成为21世纪国际金融市场新的发展趋势。目前我国对于长寿风险证券化的研究才刚刚起步,很多研究仅限于定性讨论阶段。加强长寿风险证券化研究,特别是长寿债券的设计和定价研究,对我国寿险公司提高承保能力和偿付能力,促进其与国际先进风险管理技术顺利接轨,对我国资本市场乃至整个金融业都将产生重要影响。具体而言,本研究的意义体现在以下几个方面。

(1)有利于弥补我国再保险市场的不足。目前我国再保险市场整体承保技术力量薄弱,同时未完全与国际再保险市场接轨,在国际分保中分出、分入渠道缺乏,国内再保险公司风险积累过多,缺乏足够的资本来应对巨灾赔付。

(2)有利于提高寿险公司、养老机构的承保能力和抗风险能力。通过证券化形式,将集中于寿险公司和养老机构的死亡率风险分散到资本市场,提高其偿付能力,并有利于其扩大承保范围,增强投保人信心,提高市场占有率。

(3)有利于减轻国家社会保障基金压力。目前我国养老金收支缺口扩大,政府面临财政补贴压力,将长寿风险转移至资本市场有利于缓解政府财政压力。

(4)有利于进一步丰富证券市场,为投资者提供新的、风险独立的投资渠道。

(5)通过比较国内外流行的死亡率预测模型,找到最适合中国数据的随机死亡率预测模型并进行定价分析,为我国建立和发展长寿债券市场提供切实可行的思路和具体操作方法。

1.2 文献综述

1.2.1 长寿风险的认识与管理

关于长寿风险的定义,主要来自国外学者的讨论。瑞士再保险公司2007年在第三期研究报告 *sigma* 中阐述了长寿风险的经济含义和对人口统计提出的

挑战,认为“长寿风险是个人以及整个群体寿命延长却没有生活来源的经济资源差距”。报告提出可以通过再保险、分散及对冲等方式解决长寿风险问题。政府应通过开展个人金融意识教育、鼓励自养的税收激励措施等方式为市场长寿风险的解决方案提供良好的发展环境。美国国家经济研究局将长寿风险定义为:“活的时间太长,储蓄太少,退休太早,钱花得太快。”目前,国内外学者大多倾向于主张长寿风险是个人或提供养老保险的机构的预期死亡率与实际死亡率的偏差引发的财务困难。“长寿风险是指个人或总体人群未来的平均实际寿命高于预期寿命而产生的风险”的定义目前在学术界占据主流地位(Stallard, 2006^[1]; MacMinn, Brockett, Blake, 2006^[2])。

关于长寿风险的分类,Blake和Harrison(2008)^[3]认为可分为个体长寿风险(individual longevity risk)和聚合长寿风险(aggregate longevity risk):个体长寿风险是指由于个人储蓄不足导致个人财富不足以维持生存年限的支出;聚合长寿风险从群体的角度描述一个群体平均生存年限超过预期年限的风险。前者可通过购买社会养老保险、企业年金、寿险公司年金产品等养老保障产品进行管理,而后者则无法通过大数法则分散,具有系统性风险的特征(Cairns et al., 2006b)^[4]。Blake(2009)^[5]提出养老金计划的长寿风险由建模风险(Modeling Risk,选择死亡率估测模型产生的风险)、趋势风险(Trend Risk,由于社会经济环境或卫生保健改善造成寿命预期出现重大变化的风险)和随机变化风险(random variation risk,死亡率偏离预期值的随机风险)三种潜在风险构成。私人机构可以通过多元化投资和大数定律降低或消除建模风险和随机变化风险,而趋势风险类似于通货膨胀风险,个人很难有效管理。Zugic等^[6]在2010年提出长寿风险主要由波动风险(volatility risk)、水平风险(mortality level risk)和趋势风险(mortality trend risk)三个风险因素构成:波动风险是指个人死亡的随机风险,与预期相比或早或晚发生;水平风险是对现有个人或群体死亡率水