

机制转换利率模型下的保险公司经济资本度量

李秀芳¹, 赵东旭^{2*}, 陈孝伟¹

(1. 南开大学南开-泰康保险与精算研究院, 天津 300350; 2. 南京信息工程大学管理工程学院, 江苏 南京 210044)

摘要: 根据现实的利率数据建立拟合程度较高的利率机制转换模型, 对利率风险进行准确刻画. 在构建基于利率转换模型的经济资本度量模型的基础上, 以两全保险为例, 运用嵌套随机模拟方法得到基于机制转换模型的利率风险经济资本量化结果, 并分析了与机制转换模型相关的参数对利率风险经济资本的敏感度. 结果表明: 马尔可夫机制转换的利率模型比传统利率模型能更好地拟合现实利率数据; 相较机制转换利率模型, 传统利率模型下计算的经济资本偏低, 利率风险被低估; 保险公司在利率缓慢上升时比快速下降时需要更多的经济资本; 与机制转换相关的参数对经济资本影响的敏感性不同. 本文通过机制转换模型对保险公司经济资本进行了较为精准的度量, 拓宽了经济资本的研究框架, 丰富了保险公司风险管理理论, 为经济资本的实际应用提供了参考与借鉴.

关键词: 保险公司; 经济资本; 利率风险; 机制转换; 嵌套随机模拟

中图分类号: F840.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-5781(2026)01-0145-14

doi: 10.13383/j.cnki.jse.2026.01.010

Study on the economic capital measure of insurance companies under regime switching interest rate model

Li Xiufang¹, Zhao Dongxu^{2*}, Chen Xiaowei¹

(1. Nankai-Taikang College of Insurance and Actuarial Science, Nankai University, Tianjin 300350, China;

2. School of Management Science and Engineering, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: According to the real interest rate data, the regime switching model of interest rate with higher fitting degree is established to accurately describe the interest rate risk. Based on the combination of the economic capital measure model and the regime switching model of interest rate, the quantitative results of the economic capital are obtained by applying the nested stochastic simulation method with endowment insurance as an example. The sensitivity of the parameters associated with the regime switching model is analyzed. The results show that the Markovian regime switching model fits the real interest rate data better than the traditional model. The economic capital calculated under the traditional interest rate model is lower than the regime switching version and the interest rate risk is underestimated. Insurance companies need more economic capital when the interest rate rises slowly than when it falls rapidly and the parameters associated with the regime switching have different sensitivities to economic capital. This paper provides a more accurate measurement of economic capital of insurance companies using the regime switching model.

Key words: insurance company; economic capital; interest rate risk; regime switching; nested stochastic simulation

收稿日期: 2022-02-21; 修订日期: 2022-10-18.

基金项目: 江苏高校哲学社会科学一般资助项目(2025SJYB0142); 国家自然科学基金资助项目(71573143; 61673225); 南京信息工程大学引进人才科研启动经费资助项目(2023r031).

*通信作者

1 引言

当前,世界经济形势日趋复杂,“黑天鹅”与“灰犀牛”交叠共振,疫情造成的经济衰退及大规模财政和货币政策的不确定性极大地增加了金融体系的脆弱性. 2020年7月,天安财险、华夏人寿、天安人寿、易安财险四家保险公司被银保监会实施接管. 金融市场环境的动荡加剧了保险公司的偿付能力不足问题. 2021年12月30日,银保监会发布《保险公司偿付能力监管规则(II)》,鼓励保险公司运用内部模型对风险进行精细化管控,注重内部实际风险暴露,全面提升自身风险管理能力.

作为保险公司风险管理的核心方法,经济资本是在一定的时间区间内、一定的置信水平下,全面衡量保险公司面临的风险,度量用于抵御未来非预期风险所需要的资本. 经济资本的精准度量是现代保险经营理论研究和实践的核心问题. 而利率是保险公司经济资本度量的关键要素,保险公司的经营活动对利率变动较为敏感. 尤其对于寿险公司,利率的波动将直接影响经济资本的量化结果,进而影响保险公司的偿付能力状态. 日趋复杂的经济形势使得利率波动的幅度加大、频率加快,加剧了保险公司的利率风险. 同时,利率市场化和费率市场化也使得利率的变化情况错综复杂,极大地增加了保险公司经济资本量化的难度. 因此,准确刻画和计量利率风险,对于度量保险公司的经济资本以及更好地实现保险公司风险管理的预期目标意义重大.

宏观经济和金融数据的波动经常存在结构性变化和状态转换的特征,传统的线性模型不能够合理刻画模型参数随时间变化而变化的特点,在拟合经济金融数据方面存在较大缺陷. 研究非平稳时间序列时可采用机制转换(Regime Switching, RS)模型,刻画市场在各结构状态之间相互转换过程,即描述市场在一个状态持续一段时间后将转为另外的状态,且转换的时间是不确定的. 利率作为重要的经济金融指标,受到经济增长、通货膨胀等主要宏观经济变量走势的影响,也符合机制转换的特征. 利率的机制转换模型可以准确地刻画因金融市场的状态改变或突发性事件产生的利率结构性变化.

基于以上分析,本文通过构建基于机制转换的经济资本量化模型拟解决如下问题:第一,相较于传统利率模型,带机制转换的利率模型是否能更好的拟合我国现实的利率数据? 第二,采取何种随机模拟方法来计算利率风险经济资本? 机制转换的利率模型如何推导保险公司经济资本量化公式? 第三,与传统的经济资本量化相比,机制转换利率模型影响保险公司经济资本量化结果的路径是什么? 不同经济机制状态对经济资本的测算边际影响差异性和原因是什么?

为研究保险公司经济资本度量中的利率风险,学者们在利率期限结构方面进行了非常丰富的研究,主要将其分为两类:一类是仿射模型, Merton^[1]提出了利率满足一个漂移项和波动项均为常数的扩散方程; Vasicek^[2]和Cox等^[3]根据利率均值回复和非负的特点分别对利率扩散方程的漂移项和波动项做了修正; Chan等^[4]提出了CLKS模型,将上述模型的漂移项和波动项做了一般化处理. 另一类是无套利模型,其中具有代表性的如Ho-Lee模型^[5]、Hull-White模型^[6]和HJM模型^[7],这类模型从远期利率的扩散过程出发构造利率期限结构模型,对漂移项和扩散项作随机化的处理. 传统的利率模型尚未考虑由于经济市场状态变化对利率产生的结构性影响,导致传统利率模型无法准确刻画现实利率. 本文使用利率的机制转换模型刻画保险公司利率风险,可以很好的融合仿射模型扩散性和无套利模型参数随机化的特点,很好的反映利率随经济环境结构性变化的特点,具有很强的实用性,为精准化度量保险公司经济资本提供了有力保证.

在机制转换方面的研究中,学者们经常使用机制转换模型来描述经济周期或金融周期,进行资产定价、策略配置、周期确定和风险预判等方面的研究. Hamilton^[8]首先将机制转换模型应用到经济中,很好地刻画了经济波动中的非线性动态和非对称特性; Elliott等^[9]采用在机制转换框架下的Esscher变换,计算出了寿险公司带有退保期权的产品的公允价值; Chen等^[10]使用马尔可夫机制转换框架求出了连续时间的均值方差标准下保险公司资产负债管理问题的最优策略; 王伟和甘少波^[11]研究了马尔可夫机制转换模型下保险公司的最优投资及再保险策略问题,发现市场的经济状态对保险公司最优投资策略有很大影响; 郑挺国和葛

厚逸^[12]发现中国股市运行周期可被划分为低波动和高波动两个机制, 并且羊群效应的程度具有机制依存性; 李冰清和张天齐^[13]探究了在马尔可夫机制转换模型下的变额年金的风险管理问题, 并得到了马尔可夫机制转换模型在捕捉资产变化特征上比Black-Scholes模型更有优势的结论。

利率会受到诸如货币政策等宏观因素的影响, 学者们也考虑到利率期限结构的动态特征会发生机制转换。Gray^[14]研究了短期利率的机制转换模型, 发现短期利率有均值回复和条件异方差的情况; Ang和Bekaert^[15]研究了美国、德国和英国的利率数据, 发现利率具有机制转换的计量经济学特征和机制转换模型比单一机制模型具有更好的样本外预测表现; 谢赤和钟羽^[16]证明了加入机制转换的Vasicek模型比传统的Vasicek模型能够更好的刻画利率行为; 刘金全和郑挺国^[17]使用马尔可夫机制转换CKLS模型研究短期利率动态, 证明了利率期限结构的非线性特点; 杨宝臣和苏云鹏^[18]研究发现SHIBOR市场利率存在高利率高波动和低利率低波动两个机制, 相应的风险溢价的动态特性也会发生机制转换; 魏晓琴等^[19]通过用马尔可夫机制转换的自回归模型对机制特征进行分析, 得到真实利率是央行宏观货币政策调控的理想指标的结论。本文通过对不同利率模型比较, 得到拟合现实数据更好的利率机制转换模型, 可以更清晰的识别与判断经济环境变化, 对现实中保险公司的偿付能力情况有更加深刻的了解, 能够使得保险公司利率风险经济资本量化结果更加精准。

在经济资本研究领域, 国内外学者对于保险公司经济资本使用了不同的技术方法。在使用随机模型方面, Porteous^[20]利用随机资产模型对英国寿险公司经济资本进行计算; 邓平紧和李静^[21]运用随机利率模型方法对寿险公司利率风险展开研究, 并讨论了不同置信区间、不同情景生成数对利率风险经济资本的影响。在使用嵌套模拟技术方面, Bauer等^[22]讨论了经济资本评估过程中嵌套随机情景生成的技术难题, 并指出过多的经济情景会增加评估成本而过少的经济情景又会影响评估的精确性; Chilla^[23]运用嵌套随机模拟方法和利率情景生成技术对保险公司经济资本进行测算; 李秀芳和杨雅明^[24]研究了基于最小二乘蒙特卡洛简化算法的保险公司经济资本度量问题, 并指出了嵌套随机模拟方法的简化效果与效率提升。在使用Copula函数方面, 田玲等^[25]利用Copula函数和TVaR方法来度量了保险公司经济资本, 并利用动态规划方法对经济资本最优配置模型求解; 李秀芳和毕冬^[26]对寿险公司资产负债进行了实证评估, 并且通过Copula风险聚合得到了寿险公司经济资本和相应的分散化收益; 杨雅明和李静^[27]对保险公司资产端面临的股票与债券投资风险及其Copula风险聚合建立了经济资本度量模型。另外, 经济资本还有关于不同衡量指标的研究, 王稳和郭祥^[28]使用TVaR度量对我国保险公司的经济资本进行了测算; 陈迪红和王清涛^[29]利用凹扭曲风险度量对保险公司的主要业务线进行了经济资本量化研究; 胡斌和胡艳萍^[30]构建了以RAROC为度量指标的贷款保险定价模型。

从以往文献研究来看, 在刻画利率方面有传统的利率模型(Vasicek、CIR等单一机制模型)和机制转换的利率模型。但对保险公司经济资本的研究大多采用传统的利率模型, 机制转换模型技术尚未在保险公司经济资本研究中得到学者们的关注。基于上述描述, 本文拟从以下几个方面进行展开: 首先, 利用机制转换模型验证利率的非线性性和非对称特点, 将机制转换利率模型对数据的拟合和传统利率模型进行对比; 其次, 构造机制转换的利率风险经济资本量化模型, 与传统利率风险下的经济资本量化进行对比, 比较模型优劣; 最后, 通过具体实例验证机制转换利率风险下的经济资本度量在风险管理过程中具有时效性、充分性的优点, 对模型和数据做相关的参数敏感性分析及稳健性分析, 总结其对我国保险公司风险管理的影响, 为保险行业进一步健康快速发展提供一定的现实启示。研究结果表明: 马尔可夫机制转换的利率模型比传统利率模型具有更好的拟合效果; 传统利率模型下的经济资本被低估; 在利率缓慢上升环境(机制1)下保险公司需要较多的经济资本, 在利率快速下降环境(机制2)下保险公司需要较少的经济资本; 与机制转换相关的参数对经济资本影响的敏感性不同。

本文的主要创新概括为以下三个方面: 第一, 本文根据实际利率数据得到了机制转换的利率模型, 发现其比传统(单一机制)模型能更好地拟合现实数据, 并从机制转换模型中选取拟合程度较好的模型作为本文的利率模型。第二, 本文将机制转换利率模型纳入到经济资本框架, 构建基于机制转换利率风险下的保险公

司经济资本量化模型. 对利率风险的准确刻画得到具有时效性的、更为精准的经济资本量化结果, 反映了不同经济环境下保险公司偿付能力情况, 既保证保险公司偿付能力, 又不过多影响资本运行效率, 拓展了保险公司经济资本的研究框架, 为学术界和业界提供了新的思路和方法. 第三, 通过实证分析, 得到传统利率模型下的经济资本较机制转换利率模型下偏小, 利率风险被低估; 保险公司在利率缓慢上升时比快速下降时需要更多的经济资本以应对非预期风险的结果.

2 机制转换的利率模型

利率是保险公司经济资本量化过程中最重要经济变量, 为准确刻画利率风险从而精准地计量利率风险经济资本, 建立机制转换的利率模型, 并研究其对真实利率数据的拟合情况, 考察不同利率模型在数据拟合上的优越性. 由于本文模型参数较多, 表1给出主要符号的定义.

表 1 符号的定义
Table 1 Definition of symbols

| 符号 | 含义 | 符号 | 含义 |
|----------------|-----------------------------|---------------|------------------------------------|
| S_t | 经济状态 | A_t | t 时刻保险公司的资产 |
| Q | 转移概率矩阵 | L_t | t 时刻保险公司的负债 |
| π_{ij} | 从状态 i 到状态 j 的概率 | R_t | t 时刻保险公司的资本剩余 |
| Φ_t | t 时刻的信息集合 | $P(0, \tau)$ | 久期为 τ 的零息债券在 $t = 0$ 时刻的价格 |
| r_t | t 时刻的利率 | δ_τ | 折现因子 |
| α_{S_t} | S_t 状态下利率的调整速度 | F_τ | 保险公司在 $(\tau - 1, \tau]$ 周期内的资产现金流 |
| μ_{S_t} | S_t 状态下利率的均值反转水平 | G_τ | 保险公司在 $(\tau - 1, \tau]$ 周期内的负债现金流 |
| σ_{S_t} | S_t 状态下利率变化的波动率 | h_τ | 保险公司在 $(\tau - 1, \tau]$ 周期内的净现金流 |
| p_{1t} | t 时刻机制 S_t 在机制1的概率 | L | 模拟一次所得未来支付现金流现值 |
| LL | 对数似然函数值 | L2 | 重复模拟一次所得未来支付现金流现值 |
| LR | 似然比统计量 | L(m) | 重复模拟50次所得未来支付现金流现值结果的平均值 |
| $EC(t_1, t_2)$ | 在时间段 $[t_1, t_2]$ 上保险公司经济资本 | L(d) | 重复模拟50次所得未来支付现金流现值结果的标准差 |
| ρ | 风险测度 | VaR | 在险价值 |
| $E(\cdot)$ | 现实概率测度下的期望 | TVaR | 条件在险价值 |
| $E_Q(\cdot)$ | 风险中性概率测度下的期望 | EC_{VaR} | 在VaR风险测度下的经济资本 |
| $Z(t_1, t_2)$ | 在时间段 $[t_1, t_2]$ 上的损失变量 | EC_{TVaR} | 在TVaR 风险测度下的经济资本 |

2.1 机制转换利率模型的构建

传统的利率模型无法刻画利率的非线性性、非对称性以及波动聚集性等特点. 马尔可夫机制转换(Markovian Regime Switching)的利率模型兼具机制转换模型和利率期限结构模型的优点, 既能很好地解释经济周期波动的持续性, 又可将经济变量分解为趋势成分和周期成分, 从而更准确地刻画经济时间序列的周期波动特征. 机制转换的模型有连续时间模型和离散时间模型, 区别在于状态转移的时间是否是连续的. 考虑到现实利率数据为离散型的特点, 本节构建离散时间的马尔可夫机制转换模型: 马尔可夫机制转换的Vasicek模型和马尔可夫机制转换的CIR模型, 简称机制转换Vasicek模型和机制转换CIR模型.

参考杨宝臣和苏云鹏^[18]、唐晓彬^[31]、彭洋等^[32]中的两状态设定, 假定经济状态 $\{S_t; t \geq 0\}$ 有两个不同的状态, 取值为1和2, 表示利率可能处于两个不同的机制. 经济状态过程 S_t 服从两状态一阶马尔可夫链, 其转移概率矩阵为 $Q = (\pi_{ij})_{2 \times 2}$, 其中 $0 \leq \pi_{ij} \leq 1, i, j = 1, 2, t \geq 1$ 且

$$\begin{aligned}
 \pi_{11} &= \Pr(S_t = 1 | S_{t-1} = 1), \\
 \pi_{12} &= \Pr(S_t = 2 | S_{t-1} = 1) = 1 - \pi_{11}, \\
 \pi_{22} &= \Pr(S_t = 2 | S_{t-1} = 2), \\
 \pi_{21} &= \Pr(S_t = 1 | S_{t-1} = 2) = 1 - \pi_{22}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

当 π_{ij} 越大时, 经济状态由 i 转换到 j 的可能性越大; 反之, 当 π_{ij} 越小时, 经济状态由 i 转换到 j 的可能性就越小.

2.1.1 机制转换Vasicek模型

参考Gray^[14], Ang和Bekaert^[15]以及谢赤和钟羽^[16]中的机制转换利率模型, 构建机制转换Vasicek模型

$$dr_t = \alpha_{S_t} (\mu_{S_t} - r_t) dt + \sigma_{S_t} dW_t, t \geq 0. \quad (2)$$

考虑到真实数据的离散性和实证检验的需要, 在给定 $t-1$ ($t \geq 1$) 时刻的信息集合 Φ_{t-1} 情况下, 将问题离散化处理, $\{r_t; t \geq 1\}$ 的条件分布可以表示为分段函数形式

$$\Delta r_t | \Phi_{t-1} = \begin{cases} N(\alpha_1 (\mu_1 - r_{t-1}), \sigma_1^2), & \text{如果 } S_t = 1, \\ N(\alpha_2 (\mu_2 - r_{t-1}), \sigma_2^2), & \text{如果 } S_t = 2, \end{cases} \quad (3)$$

其中 $N(a, b)$ 表示均值为 a , 方差为 b 的正态分布, S_t 为 t 时刻利率所在的机制, α_{S_t} 表示利率的调整速度, μ_{S_t} 表示利率的均值反转水平, σ_{S_t} 表示利率变化的波动率, W_t 表示标准的维纳过程, 表示对短期利率的随机冲击. α_{S_t} 、 μ_{S_t} 、 σ_{S_t} 为依赖于机制 S_t 的参数, 即 α_1 、 μ_1 、 σ_1 为利率在机制 1 时的参数, α_2 、 μ_2 、 σ_2 为利率在机制 2 时的参数, p_{1t} 表示在 $t-1$ ($t \geq 1$) 时刻条件下, t 时刻机制 S_t 在机制 1 的概率, 即 $p_{1t} = \Pr(S_t = 1 | \Phi_{t-1})$.

当经济状态 S_t 只有一个状态时, 模型(2)退化为Vasicek^[2]中的Vasicek模型

$$dr_t = \alpha (\mu - r_t) dt + \sigma dW_t, t \geq 0, \quad (4)$$

其中 α 、 μ 和 σ 为常数. 从长期来看, 利率过程总是围绕着均值反转水平波动; 调整速度越大, 利率返回到均值反转水平的速度越快; 波动率越大, 过程的冲击就越大.

2.1.2 机制转换CIR模型

参考刘金全和郑挺国^[17]和杨宝臣和苏云鹏^[18]中的机制转换模型, 构建机制转换的CIR模型

$$dr_t = \alpha_{S_t} (\mu_{S_t} - r_t) dt + \sigma_{S_t} \sqrt{r_t} dW_t, t \geq 0, \quad (5)$$

与其对应离散化处理后的 $\{r_t, t \geq 1\}$ 的条件分布可以表示为

$$\Delta r_t | \Phi_{t-1} = \begin{cases} N(\alpha_1 (\mu_1 - r_{t-1}), \sigma_1^2 r_{t-1}), & \text{如果 } S_t = 1, \\ N(\alpha_2 (\mu_2 - r_{t-1}), \sigma_2^2 r_{t-1}), & \text{如果 } S_t = 2. \end{cases} \quad (6)$$

当经济状态 S_t 只有一个状态时, 模型(5)退化为Cox等^[3]中的CIR模型

$$dr_t = \alpha (\mu - r_t) dt + \sigma \sqrt{r_t} dW_t, t \geq 0. \quad (7)$$

2.2 机制转换利率模型的选取

2.2.1 模型参数估计

本节利用真实的利率数据对马尔可夫机制转换利率模型进行参数估计, 并将其与传统利率模型下的情况进行比较. 选取我国2002年1月至2021年1月一年期国债到期收益率月度数据(资料来源: Wind)作为利率的历史数据进行传统利率模型和马尔可夫机制转换利率模型的拟合, 采用极大似然估计方法对模型进行估计, 得到表2和表3的参数估计结果.

表 2 机制转换Vasicek模型和Vasicek模型的参数估计
Table 2 Parameters estimation of RS Vasicek model and Vasicek model

| 模型 | α_1 | α_2 | μ_1 | μ_2 | σ_1 | σ_2 | Q |
|---------------|------------|------------|---------|---------|------------|------------|------------------------|
| 机制转换Vasicek模型 | 1.65% | 17.75% | 4.35% | 1.74% | 0.14% | 0.35% | [0.92 0.08; 0.38 0.62] |
| Vasicek模型 | 4.78% | — | 2.58% | — | 0.21% | — | — |

注: 参数来源于模型(2)和模型(4).

表 3 机制转换CIR模型和CIR模型的参数估计

Table 3 Parameters estimation of RS CIR model and CIR model

| 模型 | α_1 | α_2 | μ_1 | μ_2 | σ_1 | σ_2 | Q |
|-----------|------------|------------|---------|---------|------------|------------|------------------------|
| 机制转换CIR模型 | 1.14% | 22.81% | 4.73% | 1.85% | 0.89% | 2.39% | [0.92 0.08; 0.39 0.61] |
| CIR模型 | 4.85% | — | 2.57% | — | 1.35% | — | — |

注: 参数来源于模型(5)和模型(7).

通过表2和表3可以发现: 在机制1, 利率有更小的调整速度, 更高的均值回复水平和更小的波动率; 在机制2, 利率有更大的调整速度, 更低的均值回复水平和更大的波动率. 根据转移概率矩阵, 可以发现, 市场状态更倾向于留在机制1, 很少倾向于机制2. 具体地, 以机制转换Vasicek模型为例, 当市场状态处于机制1时, 利率的调整速度为1.65%, 均值回复水平为4.35%, 波动率为0.14%, 它有92%的可能性留在机制1, 只有8%的可能性转移到机制2; 而当市场状态处于机制2时, 利率的调整速度为17.75%, 均值回复水平为1.74%, 波动率为0.35%, 它有62%的可能性留在机制2, 只有38%的可能性转移到机制1.

2.2.2 模型对比

表 4 机制转换Vasicek模型和Vasicek模型的对比

Table 4 Comparison of RS Vasicek model and Vasicek model

| 模型 | LL | AIC | BIC |
|---------------|----------|-------|-------|
| 机制转换Vasicek模型 | 1 101.94 | -9.59 | -9.47 |
| Vasicek模型 | 1 083.34 | -9.47 | -9.43 |

注: LL为对数似然函数值, AIC和BIC为信息准则量.

表 5 机制转换CIR模型和CIR模型的对比

Table 5 Comparison of RS CIR model and CIR model

| 模型 | LL | AIC | BIC |
|-----------|--------|-------|-------|
| 机制转换CIR模型 | 682.33 | -5.91 | -5.79 |
| CIR模型 | 656.58 | -5.73 | -5.68 |

注: LL为对数似然函数值, AIC和BIC为信息准则量.

采用极大似然估计方法, 表4和表5展示了不同模型拟合利率的对数似然函数值和信息准则量. 以AIC信息准则为例, 根据表4中Vasicek模型和机制转换Vasicek模型下AIC的对比(-9.47 > -9.59), 可以看出马尔可夫机制转换的利率模型比传统利率模型能够更好的拟合数据. 同时, 根据表4和表5中机制转换模型下AIC的比较(-9.59 < -5.91), 机制转换Vasicek模型比机制转换CIR模型更加适合数据. 本文将使用机制转换Vasicek模型计算经济资本, 随后使用机制转换CIR模型验证结论的稳健性.

2.2.3 模型显著性

为证明机制转换模型的显著性, 采用Hansen^[33]的思想, 构造似然比统计量进行模型的非线性性的检验. 参考刘金全和郑挺国^[17], 设定机制转换的Vasicek模型的假设检验: H_0 : Vasicek模型, H_1 : 机制转换Vasicek模型. 构造似然比统计量

$$LR = LL(q_a) - LL(q_0) \sim \chi^2(k), \quad (8)$$

其中 k 为两个模型的参数个数之差, $LL(q_a)$ 表示给定参数估计值 q_a 下马尔可夫机制转换下的Vasicek模型的对数似然值, $LL(q_0)$ 表示给定参数估计值 q_0 下Vasicek模型的对数似然值.

在原假设成立下, 似然比统计量LR渐近服从自由度为 k 的卡方分布. 通过计算可得 $LR_a = 18.60$, 落入拒绝域内, 则拒绝 H_0 . 此结果与刘金全和郑挺国^[17]的似然比检验一致, 证明模型非线性存在, 即模型的机制转换是存在的.

2.2.4 机制转换的划分

本节使用机制转换Vasicek模型得到利率的机制划分以及机制1的滤波概率和平滑概率, 在图1中展示. 如图1所示, 白色区域表示机制1对应的时刻, 灰色区域表示机制2对应的时刻. 研究发现: 在机制1, 利率具有较高的平均水平和更小的波动情况, 且多为上升的过程; 在机制2, 利率具有较低的平均水平和更大的波动情况, 且多为下降的过程. 在机制1, 利率波动较小, 利率水平高; 在机制2, 利率波动较大, 利率水平低, 与表2的参数相一致. 另外, 利率多为缓慢上升过程, 少为迅速下降过程, 机制1的时间占88.60%, 远比机制2占

的11.40%的时间要长.

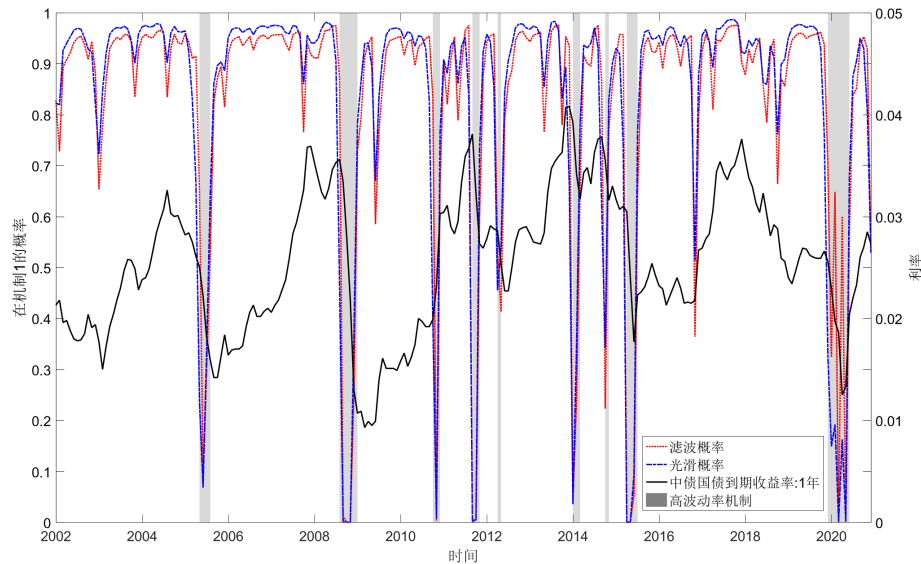


图 1 机制转换 Vasicek 模型下利率的机制划分

Fig. 1 The regime division of interest rates under the RS Vasicek model

图1中的机制划分符合我国宏观经济发展特征、重要事件和货币政策变化. 在机制1, 2006年至2007年为抑制经济过热, 央行上调存款准备金利率和存款准备金; 2009年至2011年, 为推动货币政策常态化, 收紧市场资金; 2013年央行收紧资金, 产生“钱荒”事件; 2016年至2019年, 为防控金融风险, 运用公开市场操作和多种货币创新工具, 温和收紧货币政策. 2006年新华人寿、2007年中华联合保险、2018年安邦保险因偿付能力不足被接管都发生在机制1时间段. 在机制2, 2008年至2009年全球金融危机, 货币当局出台降低利率政策遏制经济衰退; 2011年至2012年, 为放松货币政策环境, 下调利率; 2015年, 面对经济下滑和中国A股暴跌, 刺激经济, 下调金融机构人民币贷款和存款基准利率以降低企业融资成本; 2020年以来面对全球新冠疫情导致经济衰退, 为缓解经济下行压力, 通过下调利率实现稳定增长. 保险公司偿付能力不足情况多在机制1时发生, 保险公司在此机制应适当增加经济资本量以应对此类风险; 在机制2没有发生保险公司偿付能力不足的情况, 可以适当减少经济资本量, 此结论与机制转换的经济资本量化部分表8中的机制1下测算的经济资本大于机制2下测算的经济资本的结果相一致.

3 机制转换的利率风险经济资本量化

3.1 机制转换的利率风险经济资本量化模型

经济资本(EC)指在未来一定期限(T)内, 在给定的置信水平 α 下, 保险公司为吸收非预期损失而应持有的最低资本需求. 根据经济资本量化的定义(邓平紧和李静^[22], 王稳和郭祥^[28], 李秀芳和邓平紧^[34])和利率的机制转换模型(Ang和Bekaert^[15], 谢赤和钟羽^[16], 刘金全和郑挺国^[17]), 本节创新性地构建机制转换的利率风险经济资本量化模型, 即在时间段 $[t_1, t_2]$ 上机制转换利率风险下保险公司经济资本可以表示为

$$\begin{aligned} EC(t_1, t_2) &= \rho(Z(t_1, t_2)|\Phi_{t_1}) - E[Z(t_1, t_2)|\Phi_{t_1}] \\ &= \rho(P(0, t_1)R_{t_1} - P(0, t_2)R_{t_2}|\Phi_{t_1}) - E[P(0, t_1)R_{t_1} - P(0, t_2)R_{t_2}|\Phi_{t_1}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \rho \left\{ P(0, t_1) E_{\mathbb{Q}} \left[\sum_{\tau=t_1+1}^T \frac{\delta_{\tau}}{\delta_{t_1}} (F_{\tau} - G_{\tau}) | \Phi_{t_1} \right] - P(0, t_2) E_{\mathbb{Q}} \left[\sum_{\tau=t_2+1}^T \frac{\delta_{\tau}}{\delta_{t_2}} (F_{\tau} - G_{\tau}) | \Phi_{t_2} \right] \right\} - \\
&E \left\{ P(0, t_1) E_{\mathbb{Q}} \left[\sum_{\tau=t_1+1}^T \frac{\delta_{\tau}}{\delta_{t_1}} (F_{\tau} - G_{\tau}) | \Phi_{t_1} \right] - P(0, t_2) E_{\mathbb{Q}} \left[\sum_{\tau=t_2+1}^T \frac{\delta_{\tau}}{\delta_{t_2}} (F_{\tau} - G_{\tau}) | \Phi_{t_2} \right] \right\} \\
&= \rho \left\{ P(0, t_1) E_{\mathbb{Q}} \left[\sum_{\tau=t_1+1}^T \frac{\delta_{\tau}}{\delta_{t_1}} H_{\tau} | \Phi_{t_1} \right] - P(0, t_2) E_{\mathbb{Q}} \left[\sum_{\tau=t_2+1}^T \frac{\delta_{\tau}}{\delta_{t_2}} H_{\tau} | \Phi_{t_2} \right] \right\} - \\
&E \left\{ P(0, t_1) E_{\mathbb{Q}} \left[\sum_{\tau=t_1+1}^T \frac{\delta_{\tau}}{\delta_{t_1}} H_{\tau} | \Phi_{t_1} \right] - P(0, t_2) E_{\mathbb{Q}} \left[\sum_{\tau=t_2+1}^T \frac{\delta_{\tau}}{\delta_{t_2}} H_{\tau} | \Phi_{t_2} \right] \right\}, \quad (9)
\end{aligned}$$

其中 $\delta_{\tau} = e^{-\int_0^{\tau} r_u du}$ 为折现因子, 并且利率 r_u 是经济状态依赖的, 满足

$$dr_u = \alpha_{S_u} (\mu_{S_u} - r_u) dt + \sigma_{S_u} dW_u, \quad (10)$$

ρ 表示风险测度, $E[\cdot]$ 表示现实概率测度下的期望, $E_{\mathbb{Q}}[\cdot]$ 为风险中性概率测度下的期望, $0 \leq t_1 \leq t_2 \leq T$, Φ_{t_1} 为到 t_1 时刻的信息流, $Z(t_1, t_2)$ 为保险公司在时间段 $[t_1, t_2]$ 上的损失变量, 保险公司的资本剩余为 $R_t = A_t - L_t$, $P(0, \tau)$ 表示久期为 τ 的零息债券在 $t = 0$ 时刻的价格。

根据 Varnell^[35] 中的市场一致性评估方法可知

$$R_t = E_{\mathbb{Q}} \left[\sum_{\tau=t+1}^T \frac{\delta_{\tau}}{\delta_t} (F_{\tau} - G_{\tau}) | \Phi_t \right], \quad (11)$$

其中 F_{τ} 和 G_{τ} 为保险公司在 $(\tau-1, \tau]$ 周期内的资产现金流和负债现金流, $F_{\tau} - G_{\tau} = h_{\tau}(X_u, S_u, u \in (0, \tau])$ 为机制转换的利率风险下的净现金流, 记为 H_{τ} . 当 $t_1 = 1$ 时, 模型变为机制转换的利率风险经济资本预测模型。

另外, 风险测度 ρ 的选取对经济资本的影响十分重要. 参考林源和李连友^[36], 邓平紧和李静^[21] 以及李冰清和张天齐^[13] 中风险测度的选取, 考虑采用在险价值 (VaR) 和条件在险价值 (TVaR) 两种风险测度来计算保险公司经济资本. 在险价值测度为 $\text{VaR}_{\alpha}(X) = \inf \{x; F_X(x) \geq 1 - \alpha\}$, $\alpha \in (0, 1)$, 其中 α 是给定的置信水平, F_X 表示损失变量 X 的分布函数, 即使用损失随机变量的某一分位数来衡量风险大小; 条件在险价值测度为 $\text{TVaR}_{\alpha}(X) = E[X | X > \text{VaR}_{\alpha}(X)]$, $\alpha \in (0, 1)$, 即使用超过损失随机变量在险价值部分的损失平均值来衡量风险的大小, 有时条件在险价值也称尾部条件期望。

3.2 数值算例

本节将马尔可夫机制转换模型用于保险公司利率风险的经济资本的度量过程, 从而考虑不同因素对经济资本的影响. 以两全险为例, 运用嵌套随机模拟方法对保单的利率风险经济资本进行测算. 同时通过控制外部情景、内部情景的模拟次数, 分析各种参数对保险公司经济资本的影响。

3.2.1 基本假定

选取我国 2002 年 1 月至 2021 年 1 月的一年期国债利率 (月度) 历史数据作为基础数据进行后续的嵌套模拟. $r_0 = 0.024 1$ 表示当前利率. 假定保单相关信息如下: 年龄: $x_0 = 60$ 岁, 性别: 男性, 年生存给付: 0.4 万元, 死亡给付: 10 万元. 保单持有人的死亡率参考 2016 年 12 月 18 日原中国保监会发布的《中国人身保险业经验生命表 (2010—2013)》中的《非养老类业务表二 (男)》中的数据。

3.2.2 情景生成

本文采取嵌套随机模拟方法计算利率风险经济资本, 通过随机模拟未来各期的利率情景进行计算. 首先, 外部情景生成过程为: $t = 0$ 对应的是当前时刻利率, 以 $t = 0$ 为基础的一个周期内生成 K 个外部情景. 这一阶段基于现实的经济环境, 因此也叫现实世界情景. 内部情景生成过程为: 基于 $t = 1$ 时刻的每一个外部情景, 生成 $t = 1$ 至 $t = T$ 的 N 个内部情景. 这一阶段基于风险中性的经济环境, 因此也叫风险中性情景. 在外部情景设定时, 采用分布法来模拟现实世界情景. Elliott 等^[37] 证明了马尔可夫机制转换下的模型是鞅过程, 满

足内部情景模拟中风险中性的假定. 因此, 在内部情景设定时, 采用马尔可夫机制转换下的Vasicek模型对风险中性情景进行模拟. 选取模拟的参数为: 现实世界情景次数($K = 100$), 风险中性情景次数($N = 100$).

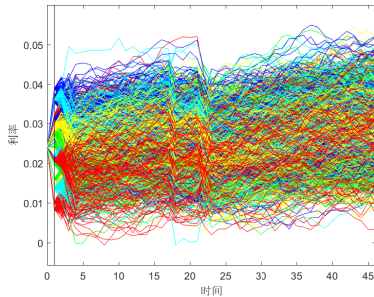


图 2 机制转换Vasicek利率情景嵌套随机模拟

Fig. 2 RS Vasicek interest rate scenario nested stochastic simulation

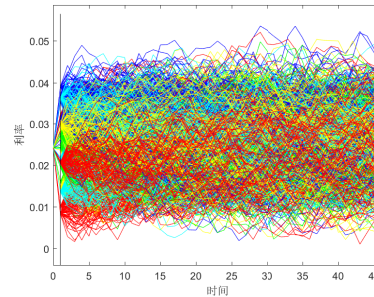


图 3 Vasicek利率情景嵌套随机模拟

Fig. 3 Vasicek interest rate scenario nested stochastic simulation

通过使用机制转换Vasicek模型和Vasicek利率模型进行嵌套随机模拟, 可以得到模拟示意图2和图3. 相比图3中利率变化相对平缓, 图2中机制转换Vasicek模型会有利率突然下降的情况, 而且下降的间隔时间不是固定的, 符合利率的状态转移和非对称性的特点, 说明机制转换Vasicek模型既能刻画利率突然变化的情形, 又能很好地复现当前利率下行的现实情况.

另外, 通过嵌套随机模拟技术计算相应的未来支付现金流现值, 得到未来支付现金流现值的相关统计量, 如表6.

表 6 支付现金流现值相关统计量(单位: 万元)

Table 6 Statistics related to the present value of payment cash flows (Unit: ten thousands Yuan)

| 统计量 | Mean | Media | Std | Min | Max | 2.5%tile | 5%tile | 10%tile | 90%tile | 95%tile | 97.5%tile |
|------|-------|-------|------|-------|-------|----------|--------|---------|---------|---------|-----------|
| L | 12.06 | 12.04 | 0.53 | 10.06 | 14.32 | 11.07 | 11.22 | 11.38 | 12.74 | 12.95 | 13.13 |
| L2 | 12.01 | 11.99 | 0.52 | 10.24 | 14.24 | 11.03 | 11.17 | 11.34 | 12.69 | 12.89 | 13.08 |
| L(m) | 12.15 | 12.14 | 0.51 | 10.38 | 14.37 | 11.19 | 11.33 | 11.51 | 12.82 | 13.02 | 13.20 |
| L(d) | 0.27 | 0.27 | 0.03 | 0.36 | 0.23 | 0.32 | 0.31 | 0.30 | 0.23 | 0.22 | 0.21 |

注: 第二行L为模拟一次所得未来支付现金流现值结果, 第三行L2表示重复模拟一次所得结果, 第四行L(m)表示重复模拟50次所得结果的平均值, 第五行L(d)表示重复模拟50次所得结果的标准差.

3.2.3 基于机制转换模型的经济资本量化结果及其与传统模型比较

通过模型估计中的模型选择部分, 选取利率的机制转换Vasicek模型对保险公司经济资本进行研究. 为研究机制转换模型对经济资本的影响, 使用Vasicek模型和机制转换Vasicek模型进行保险公司利率风险经济资本量化问题研究, 采用90%、95%和97.5%的置信水平进行经济资本度量, 得到表7.

表 7 基于机制转换Vasicek模型和Vasicek模型的利率风险经济资本量化结果(单位: 万元)

Table 7 Quantitative results of economic capital of interest rate risk based on RS Vasicek model and Vasicek model (Unit: ten thousands Yuan)

| 模型 | 机制转换Vasicek模型 | | | Vasicek模型 | | | |
|----|--------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|
| | 置信水平 | 90% | 95% | 97.5% | 90% | 95% | 97.5% |
| t | VaR | 12.74 | 12.95 | 13.13 | 12.91 | 13.1 | 13.24 |
| | TVaR | 13.01 | 13.19 | 13.36 | 13.15 | 13.31 | 13.44 |
| | E(L) | 12.06 | 12.06 | 12.06 | 12.29 | 12.29 | 12.29 |
| | EC _{VaR} | 0.68 | 0.89 | 1.08 | 0.61 | 0.81 | 0.95 |
| | EC _{TVaR} | 0.96 | 1.14 | 1.30 | 0.86 | 1.01 | 1.15 |

注: VaR和TVaR表示相应置信水平下的在险价值和条件在险价值, E(L)表示未来支付现金流现值的期望, EC_{VaR}和EC_{TVaR}表示在VaR和TVaR度量下的经济资本.

通过表7可以发现, 机制转换Vasicek模型下的经济资本在不同的置信水平下都大于传统的Vasicek模型下的经济资本, 这表明传统的利率模型低估了保险公司的经济资本. 这与传统利率模型单一机制假设的设置有关, 这种设定忽略了由于经济环境变化给保险公司带来的风险和不确定性, 而现实中的经济环境具有更大的不确定性, 因此保险公司风险管理对经济资本提出了更高的要求.

为进一步研究在不同机制情形下的利率风险经济资本, 使用不同机制下的参数和Vasicek模型计算相应情形下的经济资本, 得到表8.

表 8 不同机制下的利率风险经济资本量化结果(单位: 万元)

Table 8 Quantitative results of economic capital for interest rate risk under different regimes (Unit: ten thousands Yuan)

| 机制 | 机制1 | | | 机制2 | | |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 90% | 95% | 97.5% | 90% | 95% | 97.5% |
| VaR | 10.92 | 11.18 | 11.41 | 14.42 | 14.52 | 14.60 |
| TVaR | 11.26 | 11.48 | 11.68 | 14.55 | 14.63 | 14.70 |
| E(L) | 10.09 | 10.09 | 10.09 | 14.07 | 14.07 | 14.07 |
| EC _{VaR} | 0.83 | 1.09 | 1.32 | 0.34 | 0.45 | 0.53 |
| EC _{TVaR} | 1.17 | 1.40 | 1.59 | 0.47 | 0.55 | 0.63 |

对照表7和表8, 可以发现: 在各置信水平下, 在机制1情况下的VaR、TVaR和E(L)都小于Vasicek模型和机制转换Vasicek模型下的对应指标; 但是机制2情况下的VaR、TVaR和E(L)都大于Vasicek模型和机制转换Vasicek模型下的对应指标. 根据历史利率数据和机制转换Vasicek模型得到机制1利率平均水平为2.56%, 机制2的利率平均水平为2.06%, 这与利率的模型参数估计部分中表2的机制1的均值反转水平(4.35%)大于机制2的均值反转水平(1.74%)的内容相一致.

在机制1, 市场利率水平较高, 保险公司对利率水平产生较高的市场预期, 有较低的损失期望, 需要较少资本应对预期损失. 经济资本是应对非预期损失的资本要求, 是风险度量减去期望损失后的值, 因此, 在风险度量一定的情况下, 期望损失较小, 保险公司的非预期损失会变大, 经济资本会变大. 相反, 在机制2, 市场利率水平较低, 保险公司对此时的利率水平有较低的市场预期, 产生较高的损失期望, 需要较多的资本应对预期损失. 在风险度量一定的情况下, 期望损失较大, 保险公司的非预期损失变小, 经济资本会变小. 因此, 表8中的机制1经济资本大于表7的经济资本, 而机制2的经济资本小于表7的经济资本. 这个结论与在机制1的损失变量的偏度0.23大于在机制2的损失变量的偏度0.04的统计结果相符合, 也与保险公司常在机制1发生偿付能力不足而被接管的情形相一致. 由此可以看出, 在不同的时间节点上, 保险公司应该根据经济状态环境考虑相应机制下需要的经济资本量以保证偿付能力充足, 通过经济资本的精准化度量可以提高保险公司资本的运行效率, 降低公司成本.

3.2.4 参数敏感性分析

为进一步研究利率风险经济资本的特征, 本节计算了经济资本关于一些参数的敏感度. 表9展示了机制转换Vasicek模型下与机制转换相关的参数($\alpha_1, \alpha_2, \mu_1, \mu_2, \sigma_1, \sigma_2$)对经济资本的影响. 基于表9的结果, 机制转换参数对VaR经济资本与TVaR经济资本的影响存在类似的结论:

第一, 均值回复速率越大, 经济资本越小. 均值回复速率越大, 表明利率回复到均值水平的速度越快, 在一定时间段来看, 利率会围绕在均值水平附近, 不会产生巨大的变化, 所以利率比较稳定, 保险公司面临的风险较小, 经济资本较小. 这一点可以通过表9的第1行和第3行看出, 当 α_1 变大, 经济资本变小; 从第1行和第2行可以看出, 当 α_2 变小, 经济资本变大. 类似地, 从第4、5、6行等也可以得到相同的结论. 由此可以发现, 利率返回均值的速度影响经济资本.

第二, 均值反转水平越大, 经济资本越小. 在其他条件不变的情况下, 利率水平越高, 保险公司的负债端压力越小, 经济资本越小. 这一点可以通过表9的第1行和第7行看出, μ_1 变小, 经济资本变大; 从第1行和

第4行看出, μ_2 变大, 经济资本变小. 类似地, 从第2、5、8行等也可以得到相同的结论. 由此可以看出, 利率的均值反转水平越低时, 保险公司需要更多的经济资本; 反之, 利率均值反转水平越高时, 保险公司需要准备更少的经济资本.

第三, 波动性参数越大, 经济资本越大. 当模型波动性参数增加时, 会整体增加利率的波动性, 从而导致经济资本变大. 从第1行和第19行的对比中, 可以看出 σ_1 变大, 经济资本变大; 从第1行和第10行的对比中, 可以看出 σ_2 变小, 经济资本变小. 同样地, 根据第9、18、27行等也可以得到同样的结论. 因此, 在利率波动较大时, 会对保险公司经济资本提出更高要求. 在进行保险公司经济资本研究时, 应当关注利率的波动性.

表 9 利率风险经济资本关于机制转换相关参数的敏感度(单位: 万元)

Table 9 Sensitivity of economic capital of interest rate risk regarding parameters related to regime switching (Unit: ten thousands Yuan)

| 序号 | $\alpha_1(\%)$ | $\alpha_2(\%)$ | $\mu_1(\%)$ | $\mu_2(\%)$ | $\sigma_1(\%)$ | $\sigma_2(\%)$ | EC _{VaR} | | | EC _{TVaR} | | |
|----|----------------|----------------|-------------|-------------|----------------|----------------|-------------------|------|-------|--------------------|------|-------|
| | | | | | | | 90% | 95% | 97.5% | 90% | 95% | 97.5% |
| 1 | 1.65 | 17.75 | 4.35 | 1.74 | 0.14 | 0.35 | 0.68 | 0.89 | 1.08 | 0.96 | 1.14 | 1.30 |
| 2 | 1.65 | 1.65 | 4.35 | 1.74 | 0.14 | 0.35 | 1.10 | 1.48 | 1.82 | 1.60 | 1.92 | 2.21 |
| 3 | 17.75 | 17.75 | 4.35 | 1.74 | 0.14 | 0.35 | 0.12 | 0.16 | 0.19 | 0.17 | 0.20 | 0.22 |
| 4 | 1.65 | 17.75 | 4.35 | 4.35 | 0.14 | 0.35 | 0.51 | 0.67 | 0.80 | 0.71 | 0.85 | 0.97 |
| 5 | 1.65 | 1.65 | 4.35 | 4.35 | 0.14 | 0.35 | 1.03 | 1.38 | 1.69 | 1.49 | 1.79 | 2.06 |
| 6 | 17.75 | 17.75 | 4.35 | 4.35 | 0.14 | 0.35 | 0.11 | 0.14 | 0.17 | 0.15 | 0.18 | 0.20 |
| 7 | 1.65 | 17.75 | 1.74 | 1.74 | 0.14 | 0.35 | 0.82 | 1.07 | 1.29 | 1.15 | 1.37 | 1.57 |
| 8 | 1.65 | 1.65 | 1.74 | 1.74 | 0.14 | 0.35 | 1.64 | 2.21 | 2.75 | 2.39 | 2.88 | 3.32 |
| 9 | 17.75 | 17.75 | 1.74 | 1.74 | 0.14 | 0.35 | 0.19 | 0.24 | 0.30 | 0.26 | 0.31 | 0.35 |
| 10 | 1.65 | 17.75 | 4.35 | 1.74 | 0.14 | 0.14 | 0.58 | 0.75 | 0.89 | 0.80 | 0.94 | 1.08 |
| 11 | 1.65 | 1.65 | 4.35 | 1.74 | 0.14 | 0.14 | 0.90 | 1.19 | 1.44 | 1.27 | 1.52 | 1.75 |
| 12 | 17.75 | 17.75 | 4.35 | 1.74 | 0.14 | 0.14 | 0.10 | 0.12 | 0.15 | 0.13 | 0.16 | 0.18 |
| 13 | 1.65 | 17.75 | 4.35 | 4.35 | 0.14 | 0.14 | 0.43 | 0.57 | 0.67 | 0.60 | 0.71 | 0.81 |
| 14 | 1.65 | 1.65 | 4.35 | 4.35 | 0.14 | 0.14 | 0.84 | 1.11 | 1.35 | 1.19 | 1.43 | 1.64 |
| 15 | 17.75 | 17.75 | 4.35 | 4.35 | 0.14 | 0.14 | 0.09 | 0.12 | 0.14 | 0.12 | 0.14 | 0.16 |
| 16 | 1.65 | 17.75 | 1.74 | 1.74 | 0.14 | 0.14 | 0.69 | 0.90 | 1.06 | 0.96 | 1.14 | 1.30 |
| 17 | 1.65 | 1.65 | 1.74 | 1.74 | 0.14 | 0.14 | 1.31 | 1.73 | 2.13 | 1.88 | 2.25 | 2.59 |
| 18 | 17.75 | 17.75 | 1.74 | 1.74 | 0.14 | 0.14 | 0.15 | 0.20 | 0.24 | 0.21 | 0.25 | 0.28 |
| 19 | 1.65 | 17.75 | 4.35 | 1.74 | 0.35 | 0.35 | 1.30 | 1.72 | 2.08 | 1.85 | 2.23 | 2.57 |
| 20 | 1.65 | 1.65 | 4.35 | 1.74 | 0.35 | 0.35 | 2.08 | 2.91 | 3.66 | 3.20 | 3.93 | 4.62 |
| 21 | 17.75 | 17.75 | 4.35 | 1.74 | 0.35 | 0.35 | 0.22 | 0.29 | 0.34 | 0.30 | 0.36 | 0.41 |
| 22 | 1.65 | 17.75 | 4.35 | 4.35 | 0.35 | 0.35 | 0.97 | 1.27 | 1.54 | 1.38 | 1.65 | 1.90 |
| 23 | 1.65 | 1.65 | 4.35 | 4.35 | 0.35 | 0.35 | 1.94 | 2.73 | 3.40 | 2.98 | 3.66 | 4.29 |
| 24 | 17.75 | 17.75 | 4.35 | 4.35 | 0.35 | 0.35 | 0.20 | 0.26 | 0.31 | 0.28 | 0.33 | 0.38 |
| 25 | 1.65 | 17.75 | 1.74 | 1.74 | 0.35 | 0.35 | 1.56 | 2.08 | 2.53 | 2.25 | 2.70 | 3.12 |
| 26 | 1.65 | 1.65 | 1.74 | 1.74 | 0.35 | 0.35 | 3.12 | 4.35 | 5.44 | 4.81 | 5.93 | 6.99 |
| 27 | 17.75 | 17.75 | 1.74 | 1.74 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.45 | 0.54 | 0.48 | 0.57 | 0.65 |

3.2.5 稳健性检验

1) 数据

采用2006年10月至2021年11月间的一周SHIBOR利率数据(资料来源: wind), 对保险公司利率风险经济资本进行量化, 得到表10. 由表可知: 机制转换模型下经济资本比传统模型下的经济资本大, 说明传统的利率模型确实会低估经济资本量化结果.

表 10 基于SHIBOR(一周)的利率风险经济资本量化结果(单位:万元)

Table 10 Quantitative results of economic capital for interest rate risk based on SHIBOR (one week) (Unit: ten thousands Yuan)

| 模型 | 机制转换Vasicek模型 | | | Vasicek模型 | | |
|--------------------|---------------|------|-------|-----------|------|-------|
| | 90% | 95% | 97.5% | 90% | 95% | 97.5% |
| 置信水平 | | | | | | |
| EC _{VaR} | 0.47 | 0.62 | 0.75 | 0.38 | 0.49 | 0.58 |
| EC _{TVaR} | 0.66 | 0.79 | 0.89 | 0.52 | 0.62 | 0.70 |

表 11 基于机制转换CIR模型和CIR模型的利率风险经济资本量化结果(单位:万元)

Table 11 Quantitative results of economic capital for interest rate risk based on RS CIR model and CIR model (Unit: ten thousands Yuan)

| 模型 | 机制转换CIR模型 | | | CIR模型 | | |
|--------------------|-----------|------|-------|-------|------|-------|
| | 90% | 95% | 97.5% | 90% | 95% | 97.5% |
| 置信水平 | | | | | | |
| EC _{VaR} | 0.29 | 0.36 | 0.43 | 0.18 | 0.23 | 0.27 |
| EC _{TVaR} | 0.38 | 0.45 | 0.50 | 0.24 | 0.28 | 0.32 |

2) 模型

本文还研究了不同模型对经济资本的影响. 采用CIR模型和机制转换CIR模型对保险公司利率风险经济资本进行计算, 结果如表11. 通过表11发现: 机制转换CIR模型下经济资本大于CIR模型下经济资本; 同时, 相对于表7中使用机制转换Vasicek模型估计的经济资本, 使用机制转换CIR模型估计的经济资本的结果会变小. 这说明传统利率模型下经济资本会被低估的结论具有模型稳健性. 机制转换CIR模型下比机制转换Vasicek模型下经济资本变小, 这与机制转换CIR模型中利率非负性和利率相关扩散项的设定有关, 导致随机模拟产生的利率偏高, 从而引起经济资本的减小. 因此, 保险公司在进行经济资本量化过程时要注重利率模型的选取以免造成经济资本估计不足的后果.

4 结束语

国际经济形势日益复杂, 利率风险成为影响保险公司偿付能力的最重要因素之一. 为精准度量保险公司经济资本, 考虑到利率机制转换的特点, 本文开创性地将机制转换利率模型引入经济资本框架中, 研究了机制转换模型下保险公司基于利率风险的经济资本量化问题. 研究发现: 机制转换的利率模型比传统的利率模型对现实数据的拟合效果更好; 传统的利率模型往往低估保险公司利率风险经济资本; 在利率缓慢上升(机制1)时保险公司应需要准备较多的经济资本, 在利率快速下降(机制2)时保险公司需要准备较少的经济资本; 不同的模型选取会对经济资本量化产生重要影响.

当前我国保险业处于发展调整期, 疫情冲击下的外部环境更趋复杂严峻, 经济不确定性进一步增加, 保险业面临的困难增多、挑战上升. 基于本文研究, 保险公司在风险管理的过程中考虑经济环境对其偿付能力的影响, 可以运用机制转换模型得到精细的量化风险管理决策, 保持防范风险和促进发展之间的平衡, 既保证保险公司经济资本的充足性, 又不过多的影响资本的运行效率. 未来可利用本文的思路在实践中运用和总结, 开发更加具有实时性、有效性以及符合我国保险公司情形的模型并进行新的尝试与探索, 为保险公司风险管理提供重要的工具, 从而促进保险公司高质量发展、维护保险行业持续稳定.

参考文献:

- [1] Merton R C. Theory of rational option pricing. *Bell Journal of Economics & Management Science*, 1973, 4(1): 141–183.
- [2] Vasicek O. An equilibrium characterization of the term structure. *Journal of Financial Economics*, 1977, 5(2): 177–188.
- [3] Cox J, Ingersoll J, Ross S. A theory of the term structure of interest rates. *Econometrica*, 1985, 53(2): 385–407.
- [4] Chan K C, Karolyi G A, Sanders L. An empirical comparison of alternative models of the short-term interest rate. *The Journal of Finance*, 1992, 47(3): 1209–1227.
- [5] Ho T S, Lee S. Term structure movements and pricing interest rate contingent claims. *The Journal of Finance*, 1986, 41(5): 1011–1029.
- [6] Hull J, White A. Pricing interest-rate-derivative securities. *The Review of Financial Studies*, 1990, 3(4): 573–592.
- [7] Heath D, Jarrow R, Morton A. Bond pricing and the term structure of interest rates: a new methodology for contingent claims valuation. *Econometrica*, 1992, 60(1): 77–105.

- [8] Hamilton J D. A new approach to the economic analysis of nonstationary time series and the business cycle. *Econometrica*, 1989, 57(2): 357–384.
- [9] Elliott R J, Chan L, Siu T K. Option pricing and Esscher transform under regime switching. *Annals of Finance*, 2005, 1(4): 423–432.
- [10] Chen P, Yang H, Yin G. Markowitz's mean-variance asset-liability management with regime switching: A continuous-time model. *Insurance: Mathematics and Economics*, 2008, 43(3): 456–465.
- [11] 王 伟, 甘少波. 马尔可夫机制转换模型下保险公司的最优投资及再保险策略. *宁波大学学报(理工版)*, 2015, 28(1): 58–64.
Wang W, Gan S B. Optimal policies on investment and reinsurance based on a Markov regime switching model. *Journal of Ningbo University (Natural Science and Engineering)*, 2015, 28(1): 58–64. (in Chinese)
- [12] 郑挺国, 葛厚逸. 中国股市羊群效应的区制转移时变性研究. *金融研究*, 2021, 489(3): 170–187.
Zheng T G, Ge H Y. A study of the time varying characteristics of herding effects in China's stock market based on a regime switching model. *Journal of Financial Research*, 2021, 64(3): 170–187. (in Chinese)
- [13] 李冰清, 张天齐. 马尔可夫体制转换模型下变额年金的风险管理. *保险研究*, 2021, 42(5): 50–62.
Li B Q, Zhang T Q. Risk management of variable annuity under the Markov regime switching model. *Insurance Studies*, 2021, 42(5): 50–62. (in Chinese)
- [14] Gray S F. Modeling the conditional distribution of interest rates as a regime-switching process. *Journal of Financial Economics*, 1996, 42(1): 27–62.
- [15] Ang A, Bekaert G. Regime switches in interest rates. *Journal of Business & Economic Statistics*, 2002, 20(2): 163–182.
- [16] 谢 赤, 钟 羽. 关于制度转换 Vasicek 利率期限结构模型. *科学技术与工程*, 2004, 4(9): 798–803.
Xie C, Zhong Y. The empirical research on regime switching Vasicek model. *Science Technology and Engineering*, 2004, 4(9): 798–803. (in Chinese)
- [17] 刘金全, 郑挺国. 利率期限结构的马尔可夫区制转移模型与实证分析. *经济研究*, 2006, 52(11): 82–91.
Liu J Q, Zheng T G. Markov regime switching model and empirical analysis of the term structure of interest rates. *Economic Research Journal*, 2006, 52(11): 82–91. (in Chinese)
- [18] 杨宝臣, 苏云鹏. Shibor 市场风险溢价动态特性的机制转换. *系统工程学报*, 2012, 27(2): 201–207.
Yang B C, Su Y P. Regime switching in risk premium dynamics of SHIBOR. *Journal of Systems Engineering*, 2012, 27(2): 201–207. (in Chinese)
- [19] 魏晓琴, 赵腾飞, 牛蓓蓓. 1996–2013 年我国真实利率测度及特征研究. *金融理论与实践*, 2015, 38(3): 30–36.
Wei X Q, Zhao T F, Niu B L. Study on the measurement and characteristics of China's real interest rate from 1996 to 2013. *Financial Theory and Practice*, 2015, 38(3): 30–36. (in Chinese)
- [20] Porteous B T. Economic capital for life insurance with-profit long-term business funds. *Journal of Risk*, 2004, 6(3): 1–26.
- [21] 邓平紧, 李 静. “偿二代”框架下情景生成对利率风险经济资本的影响. *保险研究*, 2016, 37(9): 41–47.
Deng P J, Li J. The impacts of scenarios generation on interest risk economic capital under C-ROSS. *Insurance Studies*, 2016, 37(9): 41–47. (in Chinese)
- [22] Bauer D, Reuss A, Singer D. On the calculation of the solvency capital requirement based on nested simulations. *ASTIN Bulletin*, 2012, 42(2): 453–499.
- [23] Chilla F M W. Economic capital forecasting of interest rate risk in a multi-year framework using non-parametric least squares monte carlo for a with-profit insurance product. *Theory of Probability & Its Applications*, 2014, 37(2): 241–253.
- [24] 李秀芳, 杨雅明. 基于最小二乘蒙特卡洛简化算法的保险公司经济资本度量研究. *管理工程学报*, 2020, 34(3): 169–174.
Li X F, Yang Y M. The research on the simplified algorithm of economic capital measurement of insurance companies based on least square monte carlo method. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2020, 34(3): 169–174. (in Chinese)
- [25] 田 玲, 罗添元, 王正文. 基于 Copula 函数的保险公司经济资本配置研究. *保险研究*, 2011, 32(6): 51–55.
Tian L, Luo T Y, Wang Z W. Research on economic capital allocation of insurance companies based on Copula function. *Insurance Studies*, 2011, 32(6): 51–55. (in Chinese)
- [26] 李秀芳, 毕 冬. 基于 Copula 函数的财险公司风险聚合和经济资本分散化效用研究. *保险研究*, 2016, 37(6): 48–60.
Li X F, Bi D. A research on risk aggregation and economic capital diversification effectiveness of property insurance companies based on Copula function. *Insurance Studies*, 2016, 37(6): 48–60. (in Chinese)
- [27] 杨雅明, 李 静. 保险公司经济资本与“偿二代”资本对比研究: 基于相关性风险的聚合度量. *保险研究*, 2018, 39(8): 81–90.
Yang Y M, Li J. A comparative study of economic capital and “C ROSS” solvency capital of insurance companies: Based on the measurement of risk aggregation. *Insurance Studies*, 2018, 39(8): 81–90. (in Chinese)

- [28] 王 稳, 郭 祥. 基于TailVaR的我国保险公司经济资本度量研究. 中国软科学, 2012, 27(5): 148–156.
Wang, W, Guo, X. Measurement of economic capital of insurance companies based on TailVaR. China Soft Science, 2012, 27(5): 148–156. (in Chinese)
- [29] 陈迪红, 王清涛. 我国财产保险公司承保业务线经济资本的度量. 财经理论与实践, 2013, 34(4): 18–22.
Chen D H, Wang Q T. The empirical analysis on the economic capital of the business lines in the Chinese property insurance company. The Theory and Practice of Finance and Economics, 2013, 34(4): 18–22. (in Chinese)
- [30] 胡 斌, 胡艳萍. 基于RAROC的贷款保险定价研究. 管理评论, 2017, 29(1): 42–52.
Hu B, Hu Y P. A RAROC-based approach to loan insurance pricing. Management Review, 2017, 29(1): 42–52. (in Chinese)
- [31] 唐晓彬. Markov机制转换的状态空间模型及其在我国经济周期中的应用研究. 统计研究, 2010, 27(2): 94–99.
Tang, X B. Research on the state space model of Markov mechanism transformation and its application in China's economic cycle. Statistical Research, 2010, 27(2): 94–99. (in Chinese)
- [32] 彭 洋, 张 龙, 吴莉昀. 时变概率的区制转换泰勒规则设计及其“稳定器”作用机制研究. 金融研究, 2019, 62(7): 19–37.
Peng Y, Zhang L, Wu L Y. Design for Markov switching Taylor rule with time varying transition probabilities and study of the mechanism of stabilizer function. Journal of Financial Research, 2019, 62(7): 19–37. (in Chinese)
- [33] Hansen B E. The likelihood ratio test under nonstandard conditions: testing the Markov switching model of GNP. Journal of Applied Econometrics, 1992, 7: S61–S82.
- [34] 李秀芳, 邓平紧. 风险相依结构下保险公司经济资本量化研究: 以利率风险和资产收益率风险为例. 保险研究, 2018, 39(3): 57–66.
Li X F, Deng P J. The quantitative research of economic capital of insurance companies under the risk dependency structure: With examples of interest rate risks and return on assets risks. Insurance Studies, 2018, 39(3): 57–66. (in Chinese)
- [35] Varnell E M. Economic scenario generators and Solvency II. British Actuarial Journal, 2011, 16(1): 121–179.
- [36] 林 源, 李连友. 中国商业财产保险欺诈损失度量实证研究. 系统工程学报, 2015, 30(4): 509–518.
Lin Y, Li L Y. Empirical study of measuring property insurance fraud loss in China. Journal of Systems Engineering, 2015, 30(4): 509–518. (in Chinese)
- [37] Elliott R, Siu T, Yang H. Martingale representation for contingent claims with regime switching. Communications on Stochastic Analysis, 2007, 1(2): 279–292.

作者简介:

李秀芳 (1966—), 女, 天津人, 博士, 教授, 研究方向: 风险管理与精算学, Email: lixiuf@nankai.edu.cn;

赵东旭 (1991—), 男, 山东济宁人, 博士, 讲师, 研究方向: 风险管理与精算学, Email: zhaodongxu1001@163.com;

陈孝伟 (1985—), 男, 山东临沂人, 博士, 教授, 研究方向: 风险管理学与精算学, 动态经济分析, Email: chenx@nankai.edu.cn.