

察息变，测偿压：基于 BiLSTM-Attention 模型的人身险公司偿付能力预警

李忱 陈倩

摘要 在利率长期下行并双向波动、偿二代二期全面实施的背景下，人身险公司利率风险与偿付能力压力持续凸显。本文以 2016—2025 年 74 家人身险公司季度面板数据为样本，构建 BiLSTM-Attention 的偿付能力预测模型，结合置换特征重要性与 SHAP 归因开展可解释性分析。研究发现：一是利率风险对偿付能力的传导存在短期滞后，基于过去 4 个季度信息的模型预测最优，测试集达 0.6820；公司微观指标 > 利率风险指标 > 宏观环境指标；二是在 4 个季度窗口内，认可资产扩张与净利润增长对偿付能力呈负向，其核心机制在于保证收益类长期储蓄业务^①扩张抬升最低资本占用；三是利率水平约为利率波动的 3.4 倍，与偿付能力负相关；四是宏观指标作用相对有限。据此，本文构建涵盖保证收益类业务增速、利率趋势拐点与宏观环境的三级预警体系，并提出监管与行业建议。

关键词 利率风险 偿付能力 BiLSTM-Attention 风险预警

一、引言

中国人身险尤其是寿险行业历经 10 余年的高速扩张，已进入高质量发展转型期，成为全球重要的保险市场。据国家金融监督管理总局统计，2025 年人身险业务原保险保费收入约 4.65 万亿元，年末人身险公司总资产约 36.4 万亿元，保费与资产规模延续扩张态势。然而，随着经济进入新常态，无风险利率中枢长期下行并呈现双向波动，行业在高利率时期积累的利率风险逐步显性化，成为威胁偿付能力的核心系统性风险。相较于银行业、证券业，人身险公司经营具备负债久期长、负债成本刚性、现金流跨周期匹配的典型特征，利率

变动可通过多重路径传导至资产、负债、资本三大经营维度，并最终影响偿付能力水平。

从行业现实传导来看，利率风险对偿付能力的冲击形成三重压力。一是负债成本刚性。存量高预定利率保单形成刚性负债成本，而长期无风险利率下行持续压低固定收益类资产收益率与再投资收益水平，利差空间收窄甚至倒挂，利差损风险持续累积；二是负债估值被动抬升。利率下行环境下，准备金评估利率随之下调，使保单未来赔付现金流的现值上升、负债评估价值相应提高，保险公司需增提责任准备金，进而减少实际资本，对偿付能力

李忱，西南财经大学中国金融研究院博士生、中信保诚资产管理有限责任公司总监；陈倩（通信作者），天津大学新媒体与传播学院电子信息工程博士生、中信保诚资产管理有限责任公司风险经理。

① 特指普通型增额终身寿险、传统固定给付类年金保险、带有最低保证利率的万能型寿险及年金产品等。

形成直接负面冲击。三是久期错配加剧, 最低资本被动扩张。保证收益类长期储蓄业务扩张持续拉长负债久期, 资产端久期调整滞后于负债端, 资产负债久期缺口持续扩大, 利率风险敞口攀升, 直接推高市场风险与保险风险最低资本占用。偿付能力水平作为衡量人身险公司风险抵御能力、保障行业稳健运行的核心指标, 其稳定与否直接关系到保险消费者权益、金融市场秩序乃至实体经济发展。

偿二代二期进一步强化利率风险计量要求, 优化利率风险最低资本计算方法, 强化资产负债匹配监管, 对保险公司利率风险管理提出更严格标准。2025 年以来, 监管在产品端、资产端与资本端协同发力: 《保险公司监管评级办法》于 2025 年 3 月起施行, 强化分级分类监管与资本约束; 预定利率与市场利率挂钩的动态调整机制落地, 引导负债成本随市场利率下行而调整; 金融监管总局于 2025 年末就《保险公司资产负债管理办法(征求意见稿)》公开征求意见, 拟引入有效久期缺口、压力情景下流动性覆盖率等量化指标。这些安排收紧负债成本与资本占用约束, 使偿付能力管理从单一时点达标转向前瞻性、资产负债联动的过程管理。顺应这一转变, 科学识别利率风险向偿付能力的传导周期、预测贡献、非线性滞后特征, 构建前瞻性预警模型, 对前瞻防控利率风险、提升资本约束效能具有现实意义。

现有研究多采用线性回归、静态面板、动态面板 GMM 等传统计量方法, 难以捕捉金融时序数据的非线性、时变性、长期依赖特征, 尤其无法识别一年内(4 个季度)利率风险的短期传导结构。深度神经网络模型虽能处理长时序问题, 但多数研究仅

关注预测精度, 忽视深度学习“黑箱”问题, 可解释性不足; 同时, 结合偿二代二期背景、针对资产与利润在短期内对偿付能力的负向传导效应开展定量研究的文献仍较为匮乏。

针对上述不足, 本文构建基于双向长短期记忆网络-注意力机制(BiLSTM-Attention)的偿付能力预测模型, 以 74 家人身险公司 10 年的季度数据为样本, 系统研究利率风险传导机制并重点揭示 4 个季度最优窗口期内的特征与动态关系。本文边际贡献主要体现在三方面: 一是引入 BiLSTM-Attention, 有效捕捉利率风险向偿付能力传导的非线性、滞后性与时变特征, 弥补传统线性模型无法刻画长序列动态依赖关系的局限; 二是融合置换特征重要性与 SHAP 加性归因构建双维度可解释性框架, 从预测贡献与边际方向两方面解析模型决策机制, 有效提升深度神经网络模型的可解释性与透明度, 其结果反映变量对模型预测的贡献与方向; 三是通过多组时间步长对比识别利率风险的最优传导周期, 并基于实证结论构建前瞻性偿付能力预警体系, 为监管机构与保险公司提供量化工具与决策参考。

二、监管框架与理论文献

本节先界定中国人身险偿付能力的监管口径与计量框架, 再梳理利率风险向偿付能力的传导机制, 并回顾深度学习时序方法及其在保险风险预测中的研究进展, 为后文研究设计提供制度与理论基础。

(一) 中国人身险行业偿付能力监管要求

中国保险业已全面实施《保险公司偿付能力监管规则(II)》(偿二代二期), 监管层面设置综合偿付能力充足率与核心偿

付能力充足率两项法定刚性监管指标，以此衡量保险公司的偿付能力水平，即抵御非预期损失的能力。其中，综合偿付能力充足率反映公司全部合格资本对整体风险的覆盖程度，是衡量公司整体偿付能力安全性、稳定性最具代表性的指标；核心偿付能力充足率则用于衡量公司在极端风险情景下吸收损失的核心保障水平。监管部门以核心偿付能力充足率 $\geq 50\%$ 、综合偿付能力充足率 $\geq 100\%$ 为刚性底线，同步运用风险综合评级（IRR）、偿付能力风险管理要求与评估（SARMRA）及保险公司法人机构监管评级等工具，形成“资本充足率为底线、风险评估为核心、公司治理与风险管理能力为支撑”的监管格局，并对偿付能力不达标、风险评级偏低的机构依法采取限制业务扩张、限制股东分红、责令股东增资、调整高级管理人员等差异化监管措施，倒逼机构强化资本约束与风险管控。据国家金融监督管理总局数据，截至2026年一季度末，人身险公司平均综合偿付能力充足率为170.7%、核心偿付能力充足率为118.1%，整体保持在监管底线之上。

从计量机制来看，综合偿付能力充足率 = 实际资本 $\div$ 最低资本。

其中，实际资本与最低资本的计量高度依赖监管假设与关键参数：实际资本主要受准备金折现率、投资资产分类与减值、负债评估精算假设、资本分级与扣除等因素影响；最低资本则基于市场风险、信用风险、保险风险、控制风险等，按照监管规定的风险因子、压力情景、计量模型与风险分散效应计算确定，且高度依赖利率期限结构、业务结构、久期缺口、现金流分布、资产穿透结果等核心参数。

由于综合偿付能力充足率的计量同时

涵盖实际资本与最低资本，能够全面反映利率波动、资产负债变动、业务结构调整、投资收益变化等因素的综合影响，因此在监管实践、行业经营管理及学术研究中最为广泛地使用。

（二）利率风险对偿付能力的影响机制

偿付能力充足率的分子（实际资本）与分母（最低资本）均受利率环境影响，利率风险是人身险行业面临的系统性风险之一，利率主要通过资产估值、负债折现、利差损、再投资、退保等渠道向偿付能力水平传导。裴峰（2017）指出利率风险是寿险业面临的重大风险之一，利率下降从负债端和资产端双向发力，对寿险业经营带来巨大压力。朱晶晶等（2022）表明，低利率环境会显著压制寿险公司投资收益，加剧利差损风险，对偿付能力形成持续负面冲击。徐宁（2024）基于偿二代二期监管规则研究发现，利率风险通过影响资产风险权重与最低资本计量，形成对投资组合与偿付能力的强约束，资产负债久期错配越大，利率冲击对偿付能力的影响越显著。李秀芳等（2026）指出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。从近年行业现实看，随着预定利率与市场利率挂钩的动态调整机制落地，普通型人身险产品预定利率上限持续下调，行业加快由传统固定收益型产品向增额终身寿险、分红险等切换；但存量高预定利率保单形成的刚性负债成本短期难以消化，利率下行对利差与偿付能力的压力仍在累积。

（三）LSTM 模型在金融时序问题中的应用

现有金融计量相关研究多采用固定效

应模型 (FE)、随机效应模型 (RE)、动态面板 GMM、Logit 模型等传统线性方法, 其线性假设难以捕捉金融时间序列中普遍存在的非线性关系、时变效应及变量间的长期依赖特征。循环神经网络 (RNN) 虽可处理时序数据, 但在长序列学习中易出现梯度消失与梯度爆炸^①问题, 难以有效捕捉长期依赖关系。针对该缺陷, Gers et al. (2000) 在原始 LSTM 基础上引入遗忘门, 构建包含遗忘、输入、输出三门的标准 LSTM 结构, 通过自适应门控结构, 实现对历史信息的选择性记忆与更新, 从根本上缓解长时序建模中的梯度异常问题, 大幅提升模型对长期依赖关系的捕捉能力。为进一步充分挖掘时序数据的上下文信息, Schuster & Paliwal (1997) 提出双向循环神经网络 (BRNN), 通过前向与反向双路径结构实现对历史与未来时序信息的同步利用, 为 LSTM 的双向扩展奠定理论基础。为进一步强化关键时序信息的聚焦能力, Wang (2024) 将注意力机制与 BiLSTM 融合, 构建 BiLSTM-Attention 模型, 展现出更强的特征提取与自适应加权能力。

LSTM 在金融资产价格预测、金融风险预警等领域取得显著成效, 且通过模型改进与多方法融合, 持续提升时序处理的精度与适应性。田博文等 (2025) 提出基于大模型与 LSTM 的股价时间序列预测模型, 将新闻报道、时事热点、财务报告等外部市场信息纳入考虑, 利用大模型对这些信息进行分析获得引导信号, 融合股

价时间序列数据后输入 LSTM 模型进行预测, 实验结果表明, 该模型短期预测 MSE 提升 2.11%, MAE 提升 1.19%; 长期预测 MSE 提升 1.27%, MAE 提升 0.66%。李斌和于涵阅 (2025) 构建融合 LSTM 和多臂老虎机模型 (Multi-armed Bandit, MAB) 的动态交易决策优化框架, LSTM 对未来股价进行预测, 捕捉市场时间序列特征, 同时采用 Decay ϵ -Greedy 算法动态调整探索与利用的平衡策略, 实现股票选择与持仓决策的双重优化, 实验结果表明, LSTM-MAB 模型在平均回报率、夏普比率和风险控制方面均优于对照组, 表现出更强的抗风险能力和决策适应性。刘佳佳等 (2026) 构建融合时空图卷积网络 (STGCN)、长短期记忆网络 (LSTM) 与贝叶斯神经网络 (BNN) 混合预测模型, 提升原油价格预测的准确性并有效量化预测不确定性。谢佳辉等 (2025) 以 2018—2023 年中国 275 个地市层面面板数据为基础, 探究地方政府显性和隐性债务预测, 研究结果发现 LSTM 神经网络模型表现更优, 能精准捕捉时序数据长距离依赖关系, 预测误差低且泛化能力强。刘鹏 (2025) 构建 LSTM-Attention 模型结合多源数据预测 A 股上市公司信用违约风险, 结果显示, 模型在牛市环境预测准确率达 91.2%, 熊市环境达 87.8%, 极端事件环境达 83.7%, 风险预警提前期较传统系统延长 1.9 个月。

聚焦保险领域, 深度学习方法已逐步应用于风险测度与预警的多个方向。一是偿付能力与破产风险的静态预测, Poufinas

① 梯度消失与梯度爆炸是深度学习模型训练过程中的常见问题: 梯度消失指在反向传播过程中, 梯度值逐渐变小, 最终趋近于 0, 导致模型早期参数无法有效更新; 梯度爆炸则是反向传播时梯度值被逐步放大, 导致参数更新幅度过大, 模型训练震荡、无法收敛。



& Siopi (2024)、Acatrinei et al. (2024) 基于机器学习与监督学习算法对偿付能力充足率水平进行预测, Castellani et al. (2021) 将机器学习嵌入寿险嵌套随机模拟以提升资本计量效率; 二是理赔准备金评估, Kuo (2018) 提出 DeepTriangle 深度学习准备金模型, Ramos-Pérez et al. (2022) 构建融合 Mack 模型与循环神经网络的 Mack-Net 模型; 三是保险业系统性风险预警, 唐振鹏等 (2022)、师荣蓉与杨娅 (2023) 分别运用 EEMD-LSTM 与 Attention-LSTM 模型对中国保险业系统性风险进行评估与预警。总体来看, 既有研究多集中于静态时点的偿付能力或破产风险预测、理赔准备金估计以及行业系统性风险识别, 对利率风险向偿付能力动态传导过程的季度频率预测与前瞻预警仍着墨不多。鉴于此, 本文聚焦利率风险传导下人身险公司偿付能力的季度预测与预警, 以期在传导机制刻画与预警体系构建方面形成补充。

三、研究设计

在偿二代二期监管框架下, 偿付能力充足率由监管规则统一规定公式计算得出, 属于时点式、规则化、结果导向的静态计量方法, 对于捕捉利率风险在时间维度上的动态传导、滞后累积效应与多因素非线性交互方面仍存在补充空间, 对偿付能力的前瞻性预判与拐点识别可进一步强化。为在监管核算基础上完善与补充偿付能力预测与预警, 本文采用数据驱动的 BiLSTM-Attention 深度神经网络模型, 无

须依赖人为设定的精算与监管假设, 可直接从历史时序数据中学习利率风险、公司经营、宏观环境对偿付能力的真实影响规律, 实现动态、滚动、前瞻式测算, 更好贴合利率风险渐进传导的现实特征。

(一) 样本与数据来源

本文采用中国人身险公司 2016—2025 年季度面板数据作为原始样本, 涵盖近 10 年无风险利率、公司经营和宏观环境信息。^① 数据来源方面, 其中公司维度数据来源于人身险公司公开披露的偿付能力报告、聚源数据库, 宏观环境数据、利率数据等来源于 Wind。为了保证入模数据质量, 本文对原始样本进行了如下筛选: ①剔除样本期内数据缺失超过 50% 的公司; ②对缺失值进行后向填充, 如后向数据缺失则进行前向填充。模型最终入模公司数量为 74 家, 包括 66 家寿险公司、3 家养老险公司、5 家健康险公司。

(二) 变量定义

本文选取综合偿付能力充足率作为目标变量, 为缓解异方差性, 对目标变量进行自然对数化处理, 以提升后续建模的稳健性与预测精度。解释变量分为三类, 分别是利率风险指标、公司微观指标与宏观环境指标, 具体定义如下。

1. 利率风险指标

为全面刻画利率水平趋势与波动不确定性的双重传导效应, 本文选择利率水平指标与利率波动指标双视角同时纳入模型。

① 利率水平指标: 选取中债 10 年期国债收益率作为利率水平代理变量。主要

① 受模型不同时间步滑动窗口截取影响, 模型实际使用的偿付能力指标时间跨度略短于原始收集的 10 年区间。

依据在于人身险公司负债以长期保障型与储蓄型业务为主, 资产负债久期普遍长达 10 年以上, 10 年期国债收益率能够较好匹配行业久期特征; 同时, 各期限利率走势具有较强相关性, 10 年期国债收益率可有效代表无风险利率的整体趋势与水平变动。本文采用季末值作为入模变量。

② 利率波动指标: 选取 10 年期国债波动率作为利率波动代理变量, 利率波动会通过多渠道影响偿付能力稳定性。该指标通过计算得出, 首先采用 GARCH(1,1) 模型计算 10 年期国债收益率的条件波动率, 其次计算季度内最大值与最小值的差并放大 100 倍作为最终入模变量。

2. 公司微观指标

① 业务规模指标: 选取季度保险业务收入作为业务规模代理变量, 用于反映人身险公司业务扩张水平与现金流创造能力。取对数处理后作为入模变量, 为保留样本完整性并降低极端值影响, 计算对数时, 当保险业务收入大于等于 0 时取 $\ln(x+1)$, 当保险业务收入小于 0 时取 $-\ln(1-x)$ 。

② 盈利能力指标: 选取净利润作为盈利能力代理变量, 用以衡量公司经营获利水平。取对数处理后作为入模变量, 为保留样本完整性并降低极端值影响, 计算对数时, 当净利润大于等于 0 时取 $\ln(x+1)$, 当净利润小于 0 时取 $-\ln(1-x)$ 。

③ 资产规模指标: 选取认可资产作为资产规模代理变量, 依据《保险公司偿付能力监管规则 (II) 第 1 号: 实际资本》, 认可资产是指处置不受限制、并可用于履行对保单持有人赔付义务的资产, 是衡量保险公司偿付能力支撑能力的核心指标。取对数处理后作为入模变量, 为保留样本

完整性并降低极端值影响, 计算对数时, 当认可资产大于等于 0 时取 $\ln(x+1)$, 当认可资产小于 0 时取 $-\ln(1-x)$ 。

需要说明的是, 久期缺口、公司实际投资收益率等指标对刻画利率风险敞口与资产负债匹配状况同样具有重要意义, 但受限于现行公开披露口径与季度数据连续性不足, 难以就 74 家样本公司在 2016—2025 年间形成口径统一、连续可比的季度面板, 故本文暂未将其纳入模型, 并将其作为后续研究的重要拓展方向。

3. 宏观环境指标

① 经济增长指标: 选取 GDP 增速作为经济增长代理变量。经济增长情况会通过保费收入与投资收益两条路径影响保险公司的偿付能力。采用 GDP 不变价当季同比直接作为入模变量。

② 通货膨胀指标: 选取 CPI 增速作为通货膨胀代理变量, 通胀水平会影响负债的真实价值与投资的实际收益。采用 CPI 当月同比值的季度均值作为入模变量。

③ 货币流动性指标: 选取 M2 增速作为货币流动性代理变量, 流动性宽松程度会影响保险公司的融资成本与投资收益。采用 M2 月度同比值的季度均值作为入模变量。

④ 资本市场指标: 选取沪深 300 收益率作为资本市场代理变量, 反映权益投资对保险公司偿付能力的影响。采用沪深 300 季度收益率作为入模变量。

(三) 数据预处理

为保证模型的稳健性, 本文对数据进行如下预处理。需要特别说明的是, 样本区间覆盖 2020—2022 年新冠疫情对宏观经济与利率环境的冲击。考虑到该时期蕴含利率快速下行、资本市场剧烈波动等

表 1 解释变量处理前后数据范围

指标名称	处理前范围	去极值后范围	标准化后范围
10 年国债收益率	1.6664~3.8674	1.6664~3.8674	-2.1469~1.8026
10 年国债波动率	0.2077~2.3619	0.2077~2.3619	-1.1979~2.6570
CPI	-0.3333~4.9667	-0.3333~4.9667	-1.4691~2.9164
M2	6.4667~13.5667	6.4667~13.5667	-1.7636~2.4027
GDP	-6.8000~18.9000	-3.9324~15.1819	-3.7702~3.7937
沪深 300 季度收益率	-15.1644~28.6213	-15.1644~28.0446	-1.7947~3.0292
保险业务收入（对数）	5.4055~26.9256	14.7686~26.9256	-3.2178~2.7415
认可资产规模（对数）	19.4116~29.6007	19.4116~29.6007	-2.6508~2.9808
净利润（对数）	-22.8430~25.5531	-22.8430~25.5531	-1.4327~1.2066

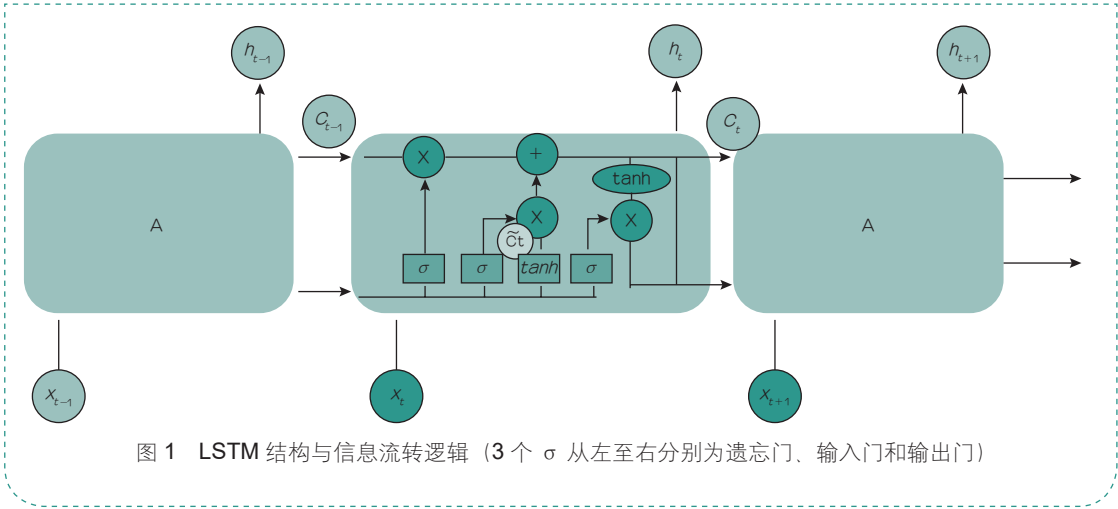
极端但真实的传导信息，本文不对疫情样本做简单剔除，而将其作为极端宏观情景纳入建模，并通过 3σ 缩尾、标准化以及 Dropout、L2 正则化与早停等机制抑制异常值干扰与过拟合风险（表 1）。需要承认的是，疫情冲击可能带来阶段性结构变化，后续研究可进一步开展分阶段建模或情景化稳定性检验，以更稳健地刻画极端时期的传导特征。

①去极值处理：为避免样本中异常值对模型训练与参数估计造成干扰，提升模型拟合效果与结论稳健性，本文对所有解释变量采用 3σ 原则缩尾处理。

②标准化处理：为消除量纲的影响，本文对所有变量（含目标变量、解释变量）进行 Z-score 标准化。为严格遵循时序预测建模规范、避免未来信息提前引入造成的模型评估偏误，本文仅使用训练集样本计算各变量的均值与标准差，验证集与测试集在标准化过程中直接复用训练集的统计量，该处理方式可有效防止模型在训练阶段提前获取未来数据分布信息，确保模型泛化能力评估无偏、可靠。

③数据划分：将 74 家人身险公司按 8:1:1 的比例随机分配至训练集、验证集

与测试集，按该比例拆分数据集是机器学习与深度学习建模中的通用标准做法，既能保障训练集拥有充足样本用于模型参数学习，又可通过验证集调优超参数、使用测试集客观评估模型泛化能力。为保证各数据集样本相互独立，避免数据信息交叉泄露，本文以单家保险公司为独立划分单元，而非按时间维度进行拆分。主要原因为如果采用时间维度划分，容易出现训练集包含未来时段信息、测试集落入历史区间的时序泄露问题，而以公司为单元划分，能够完整保留每家公司全周期的时序特征。在时序样本构建阶段，仅使用各公司历史季度数据生成输入序列，严格遵循“仅用过去信息预测当前状态”的时序建模原则。同时本文采用的 BiLSTM 结构中，其双向特性只在已有的历史窗口内做双向编码，不看未来数据。通过上述设计，本文有效控制不同数据集之间的信息交叉泄露。需要说明的是，上述按公司维度的随机划分主要用于检验模型对未见公司样本的跨公司样本外泛化能力，并不等同于对未来年份的时间外推检验；本文的预测与预警结论亦在这一边界内审慎成立。



(四) 模型架构: BiLSTM-Attention

1. LSTM 基础结构与原理

长短期记忆网络 (Long Short-Term Memory, LSTM) 作为 RNN 的改进版, 专门为解决长期依赖问题而设计。LSTM 通过引入细胞状态 (C) 信息传输通道与门控设计, 实现历史时序信息的长期记忆与自适应更新。其中细胞状态可以理解为一 条不受干扰的“长期记忆通道”, 时序数据中的关键信息可以沿该通道进行传递。LSTM 设置遗忘门、输入门与输出 门三个门控机制, 负责信息流转, 门控输出均通过 σ 函数实现“开关”效果。LSTM 结 构和信息流转如图 1 所示 (Olah, 2015)。遗忘门以当前时刻输入特征与上一时刻隐 藏状态为输入, 经 σ 映射为 $[0,1]$ 之间的 权重系数作为过滤开关, 即当系数趋近 于 1 时保留细胞状态中的历史信息, 趋近 于 0 时舍弃相关信息。输入门筛选当前时 刻需要纳入细胞状态的特征信息, 同时通 过 $\tanh$ 函数生成当前时刻的候选信息, 通 过 $\tanh$ 使信息范围位于 $[-1,1]$ 区间。输出 门筛选当前细胞状态中需要向外传递的信

息, 生成当前时刻隐藏状态。三组 σ 门控 有效配合, 遗忘门控制历史信息留存、输 入门控制新信息写入、输出门控制特征信 息输出, 通过细胞状态更新构建稳定的长 距离时序依赖传递通道。

2. BiLSTM 特征提取机制

为进一步提升信息利用效率, 本文 采用双向长短期记忆网络 (Bidirectional Long Short-Term Memory, BiLSTM) 结构, 即前向 LSTM 和反向 LSTM。前向 LSTM 沿时间递增方向正向捕捉历史信息, 反向 LSTM 沿时间递减方向, 在给定观测窗口 内反向提取序列关联特征。模型将两个方 向的信息进行融合, 充分挖掘长时序数据 的双向关联关系。

3. 注意力机制设计

注意力机制 (Attention) 是指根据输 入信息的重要程度, 自适应不同权重的特 征优化方法, 通过注意力机制能够重点聚 焦核心信息, 弱化冗余噪声干扰, 目前已 普遍应用于各类神经网络结构中, 用于优 化深层特征提取效果。本文为进一步强化 模型对关键特征的捕捉能力, 在双向时序



特征提取之后，引入注意力机制对所有时间步输出特征进行权重再分配，从而提升建模精度。

4. 模型训练与优化策略

为充分发挥 BiLSTM-Attention 模型捕捉长时序依赖与关键特征聚焦的建模优势，同时缓解深度网络训练过程中易出现的过拟合、梯度不稳定、收敛效率低等问题，进一步提升模型泛化能力与预测精度，本文从损失函数、正则化约束、梯度控制、学习率动态调节、训练终止规则及超参数寻优六个维度，构建了完备的模型训练与优化策略。

（五）可解释性分析框架

深度神经网络模型较强的表征能力往往伴随着决策过程不透明的黑箱问题，直接影响其在风险管理场景下的可信度与实用性。本文构建全局重要性与局部归因相结合的双维度可解释性分析框架，从“重要程度”与“影响方向”两个层面对模型决策过程进行解析，具体设计如下。

置换特征重要性，量化各变量对偿付能力的全局影响强度，明确核心驱动因素。

SHAP 加性特征归因 (SHapley Additive exPlanations) 识别各变量的影响方向与边际作用机制。相较于仅能识别重要性排序的置换法，SHAP 方法可进一步明确各特征对偿付能力的正向推动或负向抑制作用。

需要说明的是，置换特征重要性与 SHAP 分析主要用于解释模型预测过程及变量作用特征，其结果反映变量对模型预测结果的重要程度与作用方向，为识别风险传导规律提供依据，但不构成严格意义上的因果效应识别。

四、实证分析与结论

本节首先比较不同时间窗口下的模型

表现，以确定利率风险的最优传导周期，随后结合置换特征重要性与 SHAP 加性归因，解析各变量对偿付能力预测结果的贡献程度与边际方向。

（一）最优时序窗口与模型性能检验

利率风险向偿付能力的传导存在明显时滞，这一特征既源于保险公司资产负债业务的长期属性，也与偿付能力监管规则、会计确认机制与精算评估流程密切相关。因此，有必要通过设置不同时间步长，识别利率风险的最优传导周期。本文分别测试时间步长为 3~7 个季度的模型性能，并选取测试集决定系数、均方根误差 RMSE、平均绝对误差 MAE、皮尔逊相关系数四项指标开展量化评价，结果如表 2 所示，最优步长下超参数集合和注意力权重如表 3 和图 2 所示。

通过表 2 可以看出当时间步长超过 4 个季度后，模型性能开始逐步下降。表明利率风险对偿付能力的影响集中在滞后 4 个季度区间内，呈现明显的年度滞后累积传导特征，而超过 1 年的远期历史信息对偿付能力变动的解释能力显著衰减，易引入冗余噪声并干扰模型拟合效果。而从利率历史走势看，2016—2025 年中国 10 年期国债收益率经历多轮周期波动，呈现“熊短牛长、中枢下行、趋势延续性强”的典型特征，利率趋势一旦形成通常持续 4 个季度以上，与本文实证得到的利率风险 4 个季度最优传导窗口高度吻合。图 2 注意力权重分布进一步显示，在最优步长下，过去 4 个季度信息贡献相对均衡。综上所述，本文确定 4 个季度为最优时间窗口，后续实证分析均基于该窗口展开。

（二）模型结果分析

基于最优步长窗口模型，本文采用置

表 2 不同时间步长下的模型性能对比

时间步长 (季度)		RMSE	MAE	皮尔逊相关 系数
3	0.4128	0.9985	0.3445	0.6947
4	0.6820	0.4531	0.3170	0.8915
5	0.6806	0.4378	0.3058	0.8789
6	0.5777	0.4816	0.3275	0.8177
7	0.5721	0.4597	0.3267	0.8039

表 3 最优步长下 (T=4) 超参数组合

超参数名称	超参数值
学习率 (Learning Rate)	0.001
隐藏层单元数 (Hidden Dimension)	64
LSTM 层数 (Number of LSTM Layers)	2
Dropout 丢弃率 (Dropout Rate)	0.3
L2 正则化系数 (L2 Regularization Coefficient)	1e-5
批次大小 (Batch Size)	64

换特征重要性和 SHAP 加性归因识别各因素对偿付能力的影响强度与方向，结果如表 4 所示。

从置换特征重要性与 SHAP 影响方向可以看出，各解释变量对人身险公司偿付能力水平的贡献程度与边际方向存在明显差异。整体来看，公司微观指标的影响最强，利率风险指标次之，宏观环境指标影响相对最弱；影响方向上，认可资产规模、10 年期国债收益率、净利润、M2 增速、CPI 增速对偿付能力表现为负向边际贡献，10 年期国债波动率、GDP 增速、沪深 300 收益率、保险业务收入则表现为正向边际贡献，与利率风险传导机制及行业现实基本一致。

1. 各类型指标影响程度排序分析

按置换特征重要性加总比较，影响强度从高到低依次为：公司微观类指标（置换特征重要性合计 2.2070）> 利率风险类指标 (1.6561) > 宏观经济类指标 (0.9416)。

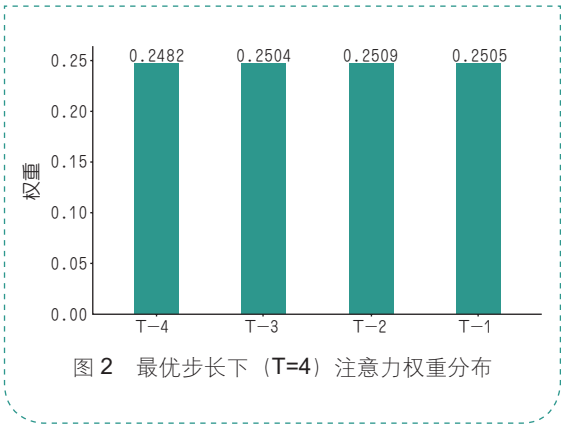


图 2 最优步长下 (T=4) 注意力权重分布

其中，认可资产规模、10 年期国债收益率置换特征重要性远高于其他指标，是决定偿付能力水平的核心变量，而宏观环境指标整体重要性偏低，仅起到辅助调节作用。

2. 公司微观指标结构分析

一是认可资产规模置换特征重要性最高，为 1.6677，与综合偿付能力充足率呈负向边际贡献。二是净利润置换特征重要性 0.5213，影响偏低，与综合偿付能力亦呈负向边际贡献。三是保险业务收入置换特征重要性 0.0180，对综合偿付能力充足率呈正向微弱支撑。

从实证结果看，公司认可资产扩张与当期净利润增长对综合偿付能力充足率均呈现显著的负向边际贡献，这一结论看似与传统财务直觉相悖，但其本质是在 4 步长最优时序窗口下验证的保证收益类长期储蓄业务在一年内的短期传导结果，具有明确的行业特征与监管逻辑。

一是认可资产扩张在一年内体现为“分母增速快于分子”。在保证收益类长期储蓄业务快速扩张阶段，公司会同步扩大资产配置以匹配负债，认可资产规模短期上升。但在 4 个季度的观测窗口内，负债端刚性成本、久期拉长与利率风险敞口扩

表 4 最优模型的解释变量重要性影响方向

变量类别	变量名称	置换特征重要性	SHAP 影响方向
利率风险指标	10 年国债收益率	1.2755	负向
利率风险指标	10 年国债波动率	0.3806	正向
宏观环境指标	GDP 增速	0.3459	正向
宏观环境指标	M2 增速	0.3256	负向
宏观环境指标	CPI 增速	0.2311	负向
宏观环境指标	沪深 300 收益率	0.0390	正向
公司微观指标	保险业务收入	0.0180	正向
公司微观指标	认可资产规模	1.6677	负向
公司微观指标	净利润	0.5213	负向

大，会直接推高市场风险最低资本与保险风险最低资本，导致综合偿付能力充足率公式分母（最低资本）的增幅显著高于分子（实际资本）的增幅，从而在短期内压制偿付能力充足率。从长期看，优质资产的持续积累与结构优化仍会逐步增强损失吸收能力、支撑偿付能力，但在利率风险传导的一年内短期窗口，资本占用效应占据主导。

二是当期净利润高增多来自高预定利率储蓄业务，形成“短期盈利、长期耗资本”的滞后效应。样本期内行业主力为 3.5% 预定利率的长期储蓄型产品，此类业务在承保当期即可贡献可观保费收入与投资收益，推高当期净利润；但同时会锁定长期高成本负债，大幅提升利率风险敞口与最低资本占用。

需要强调的是，上述负向关系来自数据驱动的预测建模框架，刻画的是各变量对模型预测结果的边际贡献，并不构成严格意义上的因果识别，亦无法完全排除偿付能力承压后公司被动扩张资产、确认利润等反向路径的影响，相关机制有待后续研究借助实验或结构化识别策略进一步厘清。

3. 利率风险指标结构分析

利率风险指标是模型中重要的外部系统性因素，且呈现显著的结构性差异。10 年期国债收益率的置换特征重要性（1.2755）约为利率波动率（0.3806）的 3.4 倍，表明利率水平的趋势性变动对偿付能力的冲击远大于利率波动。从影响方向看，10 年期国债收益率与综合偿付能力充足率呈负向关系，10 年期国债波动率表现为正向调节作用。需要说明的是，该结果反映的是利率水平在多因素共同作用下对综合偿付能力充足率的综合影响，而非单一利率变动冲击的直接效应。理论上，利率下行会通过负债估值上升、准备金增加、利差损风险累积等渠道压缩实际资本，对偿付能力形成负面影响；但在偿二代二期框架下，利率同时影响最低资本计量，市场风险资本与保险风险资本均与利率环境及利率风险敞口密切相关。因此，利率对综合偿付能力充足率的影响实际上是其对实际资本和最低资本共同作用后的综合结果。本文 SHAP 结果表明，在样本期内，10 年期国债收益率对综合偿付能力充足率表现出负向边际贡献，说明利率水平变化所对应的最低资本约束效应可能强于其对

实际资本的正向支撑效应。该结果进一步表明, 利率风险向偿付能力的传导具有多路径、非线性和阶段性特征。

4. 宏观环境指标影响整体偏弱

宏观环境指标整体重要性低于公司与利率因素。GDP 增速置换特征重要性 0.3459, 呈正向边际贡献, 表明经济增长能够改善保费需求与投资环境, 对偿付能力形成支撑; M2 增速与 CPI 增速置换特征重要性分别为 0.3256 和 0.2311, 且呈负向边际贡献, 意味着流动性宽松会压低市场收益率、加剧再投资压力, 通胀上行则抬升负债实际成本与运营支出; 沪深 300 收益率置换特征重要性 0.0180, 影响微弱, 说明权益市场波动对行业整体偿付能力的影响有限。结合当前宏观经济环境和货币政策, 行业将持续面对流动性相对宽松、负债成本刚性的经营环境, 经济回暖可为行业稳健运行提供一定缓冲, 但难以从根本上改变行业整体资本约束趋紧的格局。这意味着人身险行业必须转向资产负债精细化管理、业务结构深度转型、资本使用效率持续提升的高质量发展模式。

五、基于 BiLSTM-Attention 模型的偿付能力预警体系

模型结果的价值不仅在于提升预测精度, 更在于将利率风险的滞后传导转化为可跟踪的公司经营指标、利率指标与宏观指标, 从而为预警阈值的设定提供依据。基于前述实证结果, 本文构建三级偿付能力预警指标体系, 具体如下(表 5)。

一级预警针对保证收益类长期储蓄型人身保险业务。此类业务具有负债久期长、预定利率刚性、利率风险敞口大、资本占用高的特征, 是驱动偿付能力短期承压的

核心业务因素。

依据金融监管总局《人身保险公司监管评级办法》中关于业务扩张合理性的监管导向, 人身险公司业务增速应与资本实力、风险抵御能力相匹配。结合行业保费增速测算, 2019—2023 年行业人身险保费年化复合增速约 3.4%, 长期稳健增速中枢约 5%~8%。当保证收益类长期储蓄业务季度增速突破 10%, 已显著高于行业稳态增速, 意味着业务结构快速偏向高资本消耗型产品, 最低资本占用开始明显上升, 资产扩张对偿付能力的短期负向效应逐步显现, 需启动预警提示。当该类业务季度增速超过 20%, 意味着公司短期内集中承接大量长期高成本负债, 资产负债久期缺口快速扩大, 利率风险敞口与资本消耗压力呈加速上升态势。结合偿二代二期利率风险最低资本计量规则, 此类业务扩张会使负债端压力在 4 个季度内充分传导, 极易引发偿付能力明显承压, 需触发红色预警并实施管控。

二级预警为利率趋势拐点预警。采用 10 年期国债收益率作为预警指标, 当 10 年期国债收益率出现反转, 并持续 4 个季度, 表明利率对偿付能力的冲击方向发生结构性变化, 触发拐点预警。实证结果表明, 1~2 个季度利率波动多为短期噪声, 难以对偿付能力形成趋势性冲击; 而趋势反转后连续 4 个季度持续, 则可有效过滤短期扰动, 并通过负债成本抬升、久期缺口扩大、最低资本占用攀升等传导至偿付能力结构性变化。结合表 3 置换特征重要性结果, 连续 4 个季度趋势反转能够提前捕捉利率冲击信号, 为预警提供可靠依据。

三级预警为宏观经济环境预警。选取

表 5 预警指标体系

预警类型	预警指标	预警规则
保证收益类长期储蓄型人身保险业务增速预警	保证收益类长期储蓄型人身保险业务季度同比增速	黄色预警：增速 $\geq 10\%$ 且 $< 20\%$ 红色预警：增速 $\geq 20\%$
利率趋势拐点预警	10 年期国债收益率	10 年期国债收益率趋势反转且持续 4 个季度
宏观经济环境预警	宏观经济指标增速（季度均值）	GDP 增速：连续 4 个季度 $< 4\%$ → 预警 宏观支撑走弱 M2 增速：连续 4 个季度 $> 10\%$ → 预警 再投资收益下行压力 CPI 增速：连续 4 个季度 $> 3\%$ → 预警 负债实际成本上升

宏观环境经济相关指标预警公司经营所处经济环境发生变化，作为经营管理辅助预警。三类预警指标与当前监管关注点相互呼应：保证收益类业务增速对应产品定价与负债成本管理，10 年期国债收益率趋势对应利率风险与资产负债匹配，宏观指标对应投资收益与再投资压力，从而将模型结论嵌入日常监测。

六、政策建议

（一）监管层面

一是建立基于 4 个季度滚动时序的人身险偿付能力常态化监测机制。依托利率走势、公司微观经营指标、宏观经济变量构建分层监测框架，重点跟踪 10 年期国债收益率趋势拐点、保证收益类长期储蓄业务扩张节奏，将实证识别的核心影响指标纳入日常监管观测体系，提升风险预判的前瞻性。

二是实施差异化业务与资本约束监管。对保证收益类长期储蓄业务增速偏高、资产规模盲目扩张、盈利结构过度依赖传统储蓄险的机构，适度强化资本占用约束、细化业务增速管控要求；引导公司控制刚性久期负债扩张，从源头缓释久期错配与后续偿付能力承压隐患。

（二）行业层面

一是顺应宏观周期优化经营布局，夯实内部稳健经营基础。公司层面需合理把控资产扩张节奏，避免盲目规模扩张带来的资本消耗与利率风险敞口扩大；优化盈利结构，弱化对保证收益类长期储蓄业务的依赖，缓解当期利润与偿付能力短期反向拖累的矛盾。同时，加大分红型、利益浮动型产品布局，缩短刚性负债久期，降低利差损累积压力，在流动性宽松、低利率环境下实现资产负债动态匹配。行业层面引导机构立足宏观周期特征，主动压降负债成本、拉长资产久期，充分借助经济回暖支撑效应平滑偿付能力波动，构建长期稳健的经营态势。

二是建立适配 4 个季度传导规律的全行业风险预警与协同防控机制。以本文识别的利率风险 4 个季度最优传导窗口为核心支撑，推动行业与公司建立、前瞻的风险预警体系。公司层面将利率趋势拐点、保证收益类储蓄业务增速、GDP 及 M2 变动等核心指标纳入内部预警阈值，实现对偿付能力压力的提前识别与动态应对。行业层面推动预警机制标准化、规范化，聚焦保证收益业务增速、利率趋势变化、宏观经济走势等关键信号，形成监测、预警、

响应、处置的闭环管理, 引导机构提前调整资产配置、久期结构与现金流安排, 提升全行业风险前置防控能力。

三是推动行业经营理念转型, 完善高质量发展考核导向。全行业加快从规模扩张导向转向资本效率优先、偿付能力稳健、风险可控的高质量发展模式。弱化短期保费规模、市场份额等考核指标, 强化偿付

能力充足率、资本使用效率、负债成本管控、资产负债匹配质量等长期指标权重。依托本文“微观指标对偿付能力起决定性作用”的实证结论, 引导机构回归保障本源、强化资本约束与精细化管理, 推动行业形成结构更优、韧性更强、可持续性更高的发展格局。^[N]

学术编辑: 卢超群

参考文献

- [1] 李斌,于涵阅.基于LSTM-MAB融合框架的动态股票交易决策优化研究[J].经济理论与经济管理,2025,45(9):117-132.
- [2] 李秀芳,赵东旭,陈孝伟.机制转换利率模型下的保险公司经济资本度量[J].系统工程学报,2026,41(1):145-158.
- [3] 刘佳佳,张唯一,李鑫竹,等.气候政策不确定性下原油价格预测: 一个STGCN-LSTM-BNN框架[J/OL].系统工程理论与实践,1-13[2026-07-03].<https://link.cnki.net/urlid/11.2267.n.20260313.1352.002>.
- [4] 刘鹏.基于LSTM-Attention的混合模型在金融风险预测中的应用[J].信息与电脑,2025,37(13):43-45.
- [5] 裴峰.持续低利率环境下寿险业的应对策略[J].上海经济,2017(1):16-22.
- [6] 师荣蓉,杨娅.中国保险业系统性风险的评估与预警研究——基于Attention-LSTM模型的分析[J].财经理论与实践,2023,44(2):33-40.
- [7] 唐振鹏,吴俊传,张婷婷,等.基于EEMD-LSTM的中国保险业系统性风险预警研究[J].管理评论,2022,34(5):1-12.
- [8] 田博文,高程,康琦.基于大模型与LSTM的股价预测模型[C]//第36届中国过程控制会议论文集: 上.2025:1-6.
- [9] 谢佳辉,蔡育涵,张斌.基于LSTM神经网络模型的地方政府债务风险非线性预警研究[J].金融发展研究,2025(10):16-26.
- [10] 徐宁.偿付能力监管体系下保险公司资产端风险偏好传导研究[J].保险理论与实践,2024(3):50-66.
- [11] 朱晶晶,李腾,郭金龙.市场利率波动对寿险公司股价的影响研究[J].价格理论与实践,2022(10):150-154.
- [12] Acatrinei M, Davidescu A A, Baranga L P, et al. Supervised learning algorithms for non-life SCR ratio forecasting[C]//Proceedings of the 7th International Conference on Economics and Social Sciences. 2024: 631-647.
- [13] Castellani G, Fiore U, Marino Z, et al. Machine learning techniques in nested stochastic simulations for life insurance[J]. Applied Stochastic Models in Business and Industry, 2021, 37(3): 565-585.
- [14] Gers F A, Schmidhuber J, Cummins F. Learning to forget: Continual prediction with LSTM[J]. Neural Computation, 2000, 12(10): 2451-2471.
- [15] Hochreiter S, Schmidhuber J. Long short-term memory[J]. Neural Computation, 1997, 9(8): 1735-1780.
- [16] Kuo K. DeepTriangle: A deep learning approach to loss reserving[J]. Risks, 2018, 6(3): 97.
- [17] Olah C. Understanding LSTM networks[EB/OL]. (2015-08-27). <https://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/>.
- [18] Poufinas T, Siopi E. Investment portfolio allocation and insurance solvency: New evidence from insurance groups in the era of Solvency II[J]. Risks, 2024, 12(12): 191.
- [19] Ramos-Pérez E, Alonso-González P J, Núñez-Velázquez J J. Mack-Net model: Blending Mack's model with recurrent neural networks[J]. Expert Systems with Applications, 2022, 201: 117178.
- [20] Schuster M, Paliwal K K. Bidirectional recurrent neural networks[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1997, 45(11): 2673-2681.
- [21] Wang S. Intelligent BiLSTM-Attention-IBPNN method for anomaly detection in financial auditing[J]. IEEE Access, 2024, 12: 83291-83302.



Tracking Rate Declines and Gauging Solvency Pressure: Solvency Early Warning for Personal Insurance Companies

LI Chen CHEN Qian

(CITIC Prudential Asset Management Co., Ltd.)

Abstract Amid a prolonged decline in interest rates and the full implementation of Phase II of the China Risk-Oriented Solvency System, personal insurance companies have faced increasingly pronounced interest rate risk and solvency pressure. This study examines these issues and constructs a solvency forecasting model based on BiLSTM-Attention and using quarterly panel data from 74 personal insurance companies from 2016 to 2025. There are four main findings: First, the transmission of interest rate risk to solvency exhibits a short-term lag. The model based on information from the previous four quarters achieves the best predictive performance. In terms of explanatory importance, company-level micro indicators rank above interest-rate risk indicators, followed by macroenvironmental indicators. Second, within the four-quarter window, expansion of admitted assets and growth in net profit have a negative association with solvency. The underlying mechanism is that the expansion of guaranteed-return long-term savings business, including ordinary whole-life insurance with increasing sum assured, traditional fixed-benefit annuities, and universal life and annuity products with minimum guaranteed interest rates, raises required capital and thereby weakens the solvency ratio in the short term. Third, the effect of the interest rate level is approximately 3.4 times that of interest rate volatility, and the interest rate level is negatively associated with solvency. Fourth, macroeconomic indicators play a relatively limited role. On this basis, a three-tier early-warning framework is developed, covering the growth rate of guaranteed-return business, interest rate trend turning points, and macroeconomic conditions, followed by regulatory and industry-level policy implications.

Keywords Interest Rate Risk, Solvency, BiLSTM-Attention, Risk Early Warning

JEL Classification C45 G22 G28