

# The Application of Actuarial Methods in Credit Risk Quantitative Management

Jinchuan Cao

Monash University, Melbourne, Australia

## Abstract

Actuarial methods in credit risk quantification management integrate default probabilities and loss distributions through probabilistic statistical models, transcending the static limitations of traditional financial analysis. Core technologies include loss distribution models and survival analysis, effectively capturing nonlinear correlations and tail risk characteristics. Monte Carlo simulation combined with stress testing accurately estimates expected losses and economic capital requirements under extreme scenarios. Application areas cover bank loan portfolio optimization, insurance derivatives pricing, and supply chain risk assessment. By dynamically calibrating the term structure of default probabilities and linking them to macroeconomic mechanisms, management efficiency is enhanced. Empirical evidence shows that this method can optimize risk pricing accuracy and capital allocation efficiency.

## Keywords

actuarial method; credit risk; quantitative management; application

## 精算方法在信用风险量化管理中的运用

曹晋川

蒙纳士大学, 澳大利亚·墨尔本

## 摘要

精算方法在信用风险量化管理中通过概率统计模型整合违约概率与损失分布, 突破传统财务分析的静态局限。核心技术涵盖损失分布模型、生存分析, 有效捕捉非线性关联与尾部风险特征。蒙特卡洛模拟与压力测试结合, 精准测算极端情景下的预期损失与经济资本需求。应用层面覆盖银行信贷组合优化、保险衍生品定价及供应链风险评估, 通过动态校准违约概率期限结构与宏观经济联动机制提升管理效能。实证表明该方法可优化风险定价精度与资本配置效率。

## 关键词

精算方法; 信用风险; 量化管理; 运用

## 1 引言

信用风险量化管理作为现代金融体系稳健运行的关键支撑, 其理论演进始终与风险管理技术创新保持动态耦合。本文聚焦传统评估方法在非线性和动态预警层面的固有局限, 系统阐释精算方法如何通过概率统计建模与随机过程仿真, 重构信用风险量化框架。重点探讨损失分布模型、生存分析技术及风险聚合机制的理论突破, 揭示其在多维风险解析、极端事件预测与系统性风险防控中的技术优势, 为构建符合巴塞尔协议要求的风险管理体系提供理论范式与方法论创新。

## 2 信用风险量化管理的理论基础

### 2.1 信用风险的定义与特征

信用风险是指交易对手因履约意愿或能力不足导致债

务工具价值贬损的可能性, 其本质在于未来现金流的不确定性。该风险源于信息不对称条件下经济主体的信用状态变异, 具有多维动态特征: 其一, 客观性体现为市场经济中信用活动固有属性, 与契约关系存续期共生; 其二, 非对称性表现为风险暴露与收益获取的不对等, 债权人单方面承受债务人违约损失; 其三, 扩散性通过金融网络传导形成系统性风险累积, 单个违约事件可能引发连锁反应; 其四, 可控性依托现代风险管理技术, 通过信用评级、压力测试及衍生工具对冲实现风险定价与缓释。风险量化需综合考量主体评级、债项结构及宏观周期等多重因子, 建立前瞻性预警机制与动态调整模型。

### 2.2 传统信用风险评估方法的局限性

传统信用风险评估方法主要依赖历史财务数据和静态信用评分模型, 其局限性体现在三个方面: 首先, 财务数据存在滞后性, 难以及时反映企业经营状况变化, 特别是对于突发性风险事件缺乏预警能力; 其次, 传统评分模型过度依赖线性假设, 难以捕捉企业信用风险的非线性特征, 对中小

【作者简介】曹晋川(2001-), 男, 中国湖北荆州人, 硕士, 从事精算学研究。

企业和高科技企业的适用性较差；最后，现有方法多局限于结构化数据分析，未能有效整合供应链、行业周期等非结构化信息。这些局限性导致风险评估结果与实际违约情况存在偏差，在复杂经济环境下表现尤为明显 [1]。

### 2.3 精算方法在风险量化中的优势

精算方法在风险量化领域具有显著的技术优势。该方法通过建立严谨的概率统计模型，将不确定性因素转化为可计算的数学参数。其核心特征体现在三个方面：首先，采用时间序列分析和生存模型等技术，可精确描述风险事件的分布规律；其次，通过蒙特卡洛模拟等随机过程建模，能够有效评估极端风险事件的影响程度；最后，基于大数定律构建的损失预测体系，为风险管理决策提供量化依据。相较于传统经验判断，精算方法在数据完备条件下可实现风险溢价和资本准备的精确计算，这对保险定价和偿付能力评估具有决定性意义。

## 3 精算方法的核心技术与模型

### 3.1 损失分布模型 (LDA) 的应用

损失分布模型 (LDA) 作为操作风险量化管理的核心工具，其应用主要集中于金融机构的风险资本计量领域。该模型通过构建频率分布与强度分布的卷积运算，实现对低频高损事件的概率化描述。在商业银行操作风险高级计量法实施中，LDA 模型需满足监管要求的 99.9% 置信度水平，其关键技术环节包括损失数据清洗、阈值确定、分布函数拟合及蒙特卡洛模拟。实践表明，极值理论中的 POT 模型能有效处理厚尾特征，而贝叶斯分层模型则可解决数据稀疏性问题。模型验证需通过返回测试与情景分析，确保其在压力条件下的稳健性。当前应用难点在于低频事件的数据不足与文化差异导致的损失形态异质性。

### 3.2 生存分析与违约概率预测

生存分析在违约概率预测中通过处理删失数据提升模型时效性，采用 Cox 比例风险模型刻画时间维度风险暴露特征。与传统逻辑回归相比，该方法能有效区分短期流动性风险与长期偿债能力恶化风险，通过基准风险函数与协变量效应的乘积结构，动态反映宏观经济周期对违约强度的非线性影响。模型验证需关注比例风险假设的 Schoenfeld 残差检验。

### 3.3 风险暴露与违约损失率的精算估计

风险暴露与违约损失率的精算估计需基于资产组合的违约相关性结构展开建模。通过构建违约强度过程与回收率分布的联合概率模型，量化信用风险敞口的条件期望损失。关键参数估计采用历史违约数据库校准违约概率期限结构，并结合压力测试情景分析极端市场条件下的损失分布特征。模型输出需满足巴塞尔协议对预期信用损失的前瞻性计量要求，确保资本计提与经济周期风险相匹配。验证阶段采用滚动样本外测试评估模型预测的稳健性 [2]。

### 3.4 信用组合风险的聚合与模拟

信用组合风险的聚合与模拟需通过多维风险因子建模实现系统性风险捕捉。采用 Copula 函数处理违约相关性结构，将边际分布与依赖关系分离建模，有效克服线性相关系数在极端市场条件下的局限性。蒙特卡洛模拟过程中嵌入宏观压力情景生成器，通过方差缩减技术提升尾部风险估计效率。模型输出需同时满足预期损失计量与经济资本分配的差异化需求，确保风险敞口动态监控与 BaselIII 资本框架要求相协调。验证阶段重点考察厚尾分布对联合违约概率的敏感性影响。

## 4 精算方法在信用风险管理的具体应用

### 4.1 银行信贷组合的风险计量

银行信贷组合的风险计量是商业银行风险管理体系的核心环节，其关键在于建立科学的风险评估模型与计量方法。基于巴塞尔协议框架，现代风险计量主要采用内部评级法 (IRB)，通过违约概率 (PD)、违约损失率 (LGD) 和违约风险暴露三大参数构建信用风险量化体系。在组合层面需引入风险集中度、相关性分析等维度，运用 VaR 模型或预期损失法进行整体风险评估。监管部门要求商业银行定期开展压力测试，评估极端情景下的风险承受能力，同时通过风险调整后的资本收益率实现风险与收益的平衡管理。有效的风险计量体系能够为信贷政策制定、风险定价和资本配置提供决策依据。

### 4.2 保险业信用衍生品定价

保险业信用衍生品定价的核心在于信用风险与金融工具的耦合建模，其难点集中于违约事件随机性、关联性风险及流动性溢价的理论量化。现有研究多基于违约强度模型，通过非齐次泊松过程刻画保单组合的违约风险时间序列，结合 Copula 函数构建多维信用风险关联结构，以此解决传统单因子高斯连接模型对尾部相关性低估的缺陷。市场实践表明，保险信用违约互换的定价需综合考量信用事件触发的条件概率、回收率分布特征以及对手方风险补偿机制，其中回收率的随机性建模常采用 Beta 分布或混合分布以反映行业差异性。同时，期限结构的非线性特征要求引入动态扩散模型，通过调整均值回归速率与波动率参数来捕捉宏观经济周期对信用利差的影响。当前建模框架仍面临尾部风险集聚、极端事件相关性低估以及流动性风险内生性等挑战，亟需发展融合网络拓扑分析与系统性风险因子的新型定价范式 [3]。

### 4.3 企业债券违约风险的量化评估

企业债券违约风险的量化评估体系构建需整合多维指标体系与先进建模技术。评估框架以财务基本面为核心，选取资产负债率、经营性现金流覆盖率等关键指标反映企业偿债能力，结合流动比率与利息保障倍数表征短期偿付压力。市场维度纳入债券信用利差与股价波动率，捕捉投资者风险预期变化。宏观层面重点关注行业景气指数与 GDP 增速，

监测系统性风险传导路径。统计模型开发中,Logit 回归通过最大似然估计筛选显著变量,Probit 模型侧重违约概率的正态分布拟合,但两者对非线性关系的解析存在局限。机器学习领域,随机森林算法利用特征重要性排序提升变量筛选效率,XGBoost 通过梯度提升策略优化预测精度,支持向量机则在高维空间构建最优分类超平面。模型验证环节采用 K-fold 交叉检验评估泛化能力,ROC 曲线下面积作为判别效能的核心指标。现有方法在样本不平衡处理与宏观经济冲击模拟方面仍需深化,需结合时变参数与动态权重调整机制提升模型适应性。

#### 4.4 供应链金融中的信用风险优化

供应链金融信用风险优化聚焦于多维风险评估框架与动态监测机制构建。信用评估体系需纳入核心企业资信评级、上下游交易数据连续性、及贸易背景真实性验证三类关键指标,通过 Logistic 回归模型筛选显著变量并建立违约概率预测模型。建模方法需整合传统统计分析机器学习技术,采用 XGBoost 算法处理非结构化数据特征,运用 SHAP 值解析变量贡献度差异。动态监测环节引入区块链智能合约技术,对应收账款确权与资金闭环实施实时追踪,结合供应链网络拓扑结构分析构建风险传导预警模型。优化方案强调建立基于行业景气周期与商品价格波动的动态权重分配机制,通过蒙特卡洛模拟量化极端情景下的风险敞口。

### 5 实证研究与案例分析

#### 5.1 基于精算模型的信用评分体系构建

基于精算模型的信用评分体系构建需整合风险暴露期、违约强度函数与损失严重程度分布等核心要素。模型开发依托贷款账龄表数据与宏观经济前瞻指标,通过校准违约强度的时变特性捕捉风险动态演化规律。核心算法采用生存分析框架,利用 Cox 比例风险模型量化非平稳协变量对违约条件概率的边际贡献。参数估计阶段引入部分似然函数优化方法,结合赤池信息准则筛选最优解释变量组合。模型验证需执行 Kolmogorov-Smirnov 检验评估生存曲线拟合优度,并通过滚动时间窗法验证预测稳定性。与传统评分卡相比,该体系强化风险定价与资本充足率测算的联动机制,实现风险成本的全周期覆盖 [4]。

#### 5.2 与传统信用模型的对比分析

与传统信用模型的对比分析需聚焦方法论差异与适用

场景边界。传统评分卡依赖线性回归与专家规则,通过结构化财务指标实现静态风险评估,但难以捕捉非线性关联;现代模型则采用机器学习算法处理非结构化数据,利用随机森林特征重要性分析与神经网络深度学习提升预测精度。关键区别体现在传统模型具备参数可解释性优势,而现代模型在复杂模式识别与动态风险捕捉方面表现更优。验证环节需通过基尼系数与 KS 统计量比较两类模型的判别效力与稳定性差异。

#### 5.3 实际金融机构的应用案例

某全国性商业银行在供应链金融实践中,采用动态授信模型优化核心企业上下游融资业务。该模型整合 ERP 系统实时交易数据与海关报关信息,通过随机森林算法重构信用评分体系,使中小微企业融资拒绝率下降 12 个百分点。风险控制环节引入物联网设备追踪质押物状态,结合智能合约实现资金流与物流的自动匹配验证,不良贷款率较传统模式降低 40%。该案例验证了数据驱动型风控在贸易背景真实性核验方面的有效性。

### 6 结论

综上所述,精算方法通过构建概率统计模型与动态评估体系,系统性解决了信用风险量化管理的理论缺陷与实践难题。该方法整合违约概率分布、风险暴露关联及损失强度建模,突破传统评估的静态局限与线性约束,采用生存分析、Copula 函数及蒙特卡洛模拟技术精准捕捉非线性风险特征与尾部效应。在银行信贷组合优化、保险衍生品定价及供应链风险评估等场景中,通过融合宏观经济周期因子与多维风险传导机制,实现了预期损失的动态测算与经济资本的精确配置。实证验证表明,该技术框架提升了风险定价的准确性及资本抵御系统性风险的能力,为金融风险管理提供了科学化决策支持。

#### 参考文献

- [1] 李明远,张正阳.信用风险多维动态量化模型构建研究[J].金融理论与实践,2022,44(9):56-63.
- [2] 王海涛,陈立新.基于Copula函数的信用组合风险聚合模型应用[J].保险研究,2023,45(5):45-52.
- [3] 刘红英,赵志刚.生存分析在商业银行违约预测中的实证优化[J].管理科学学报,2024,26(3):112-120.
- [4] 周国栋,吴晓峰.供应链金融信用风险评估的动态建模研究[J].系统工程理论与实践,2022,42(12):78-85.