

2015 年以来马尔可夫随机过程在计量金融上的应用科研前沿

2018.10.30 方建勇

1, 本文侧重于在马尔可夫和非马尔可夫设置中估计对金融监管至关重要的评级转移概率。我们首先使用离散（缺失）数据处理连续时间马尔可夫链的估计, 并导出 Fisher 信息矩阵的更简单表达式, 将 Wald 置信区间的计算时间减少到当前标准的一半以下。我们提供了一种有效的程序, 将这些不确定性转移到评级迁移和违约概率, 这对从业者来说是有用的。当一个完整的数据集可用时, 我们提出了一个基于自激标记点过程的易处理和简约模型, 它捕获了评级动量的非马尔可夫效应。与马尔可夫模型相比, 非马尔可夫模型在投资等级中产生更高的违约概率, 但在某些投机等级中也会降低违约概率。这与经验观察结果一致, 具有明确的实际意义。我们使用穆迪专有的企业信用评级数据集中的数据来说明所有方法。R 包 `ctmcd` 中提供了实现

2, 我们介绍了一维和多维金融市场的一般框架, 并研究没有套利条件。更准确地说, 我们得出了等价（局部）鞅测度和严格鞅密度的存在和不存在的确定性条件。对于具有随机切换机制的连续模型, 我们研究了一组保持结构的等效（局部）鞅测量。特别是, 对于一维马尔可夫切换模型, 我们为保持等效（局部）鞅测量的结构的存在提供了充分和必要的条件。在数学上, 我们的证据基于措施的局部变化以及存在和唯一性条件。

3, 我们提出了金融体系内金融机构之间依赖结构的动态模型, 并构建了依赖性和金融不稳定性的度量。利用联合信贷迁移的马尔可夫结构, 我们的模型允许信用评级的传染性同时跳跃, 并提供建模依赖结构的灵活性。另一个关键方面是, 随着金融机构的不断发展, 拟议的措施考虑了相互依存关系并反映了不断变化的经济格局。在最后一部分, 我们举几个例子, 我们研究各种依赖结构并研究它们的系统不稳定性测量。特别地, 我们显示受到相同的马尔可夫链池的影响, 具有不同依赖结构的模拟马尔可夫结构产生不同的系统不稳定序列。

4, 一些研究探讨了基于随机波动率 (SV) 模型的推论, 同时考虑了返回数据的程式化事实。常见的问题是许多波动率模型的潜在参数是高维的并且在分析上难以处理, 这意味着推断需要使用例如马尔可夫链蒙特卡罗或拉普拉斯方法的近似。一些 SV 模型表示为线性高斯状态空间模型, 其导致边际可能性, 从而减小问题的维数。其他的不是线性化的, 并且潜在参数被整合出来。然而, 这些提出了一个相当严格的演化方程。因此, 我们提出了具有直接边际似然性的贝叶斯 GED-Gamma SV 模型, 该模型是广义学生 t -分布的乘积, 其中潜状态通过静态高斯演化方程在时间上相关。然后, 对对数精度/波动率的先验分布进行近似, 而不需要模型线性化。这还允许计算边际似然函数, 其中高维潜在状态被整合出来并且使用平滑过程容易地在块中采样。此外, 我们的 GED-Gamma 模型的扩展很容易包含偏斜的重尾分布。

我们使用贝叶斯估计器来推断静态参数, 并对估计器的几个属性进行模拟研究。我们的结果表明, 可以合理地估计所提出的模型。此外, 我们提供巴西资产和英镑/美元汇率的案例研究, 以显示我们的方法在拟合和预测方面的表现。关键词: SV 模型, 新的序贯和平滑过程, 广义学生 t 分布, 非高斯误差, 重尾, 偏度

5, 传统的股票市场预测方法通常仅利用历史交易数据, 忽略了股票市场波动可能受到各种其他信息源 (例如股票相关事件) 影响的事实。尽管最近的一些工作通过考虑事件数据提出了事件驱动的预测方法, 但如何利用多个数据源的联合影响仍然是一个开放的研究问题。在这项工作中, 我们研究如何探索多个数据源以提高股票预测的性能。我们引入了一个扩展耦合隐马尔可夫模型, 将新闻事件与历史交易数据相结合。为了解决每个单一股票的新闻事件的数据稀疏性问题, 我们进一步研究股票之间的波动相关性, 并将相关性纳入模型以促进预测任务。对 2016 年中国 A 股市场数据的评估显示, 我们的模型与以前的方法相比具有优越的性能。

6, 本文运用熵作为模型独立度量来解决有关金融时间序列的三个研究问题。在第一项研究中, 我们将转移熵应用于外汇汇率的下降和提取, 以研究它们的相关性和互相关性。当应用于每日和每小时的欧元/美元和英镑/美元汇率时, 我们发现最大抽奖 (即 5% 和 95% 分位数) 之间依赖的证据, 但不如同一对的每日收益之间的相关性强汇率。在

第二项研究中，我们使用波动率的状态空间模型（隐马尔可夫模型）来研究汇率之间的波动溢出。在货币对中，欧元/美元和瑞士法郎/美元波动状态的共同移动显示出最强的观察关系。通过使用转移熵，我们找到了 AUD, CAD 和 BRL 的波动率状态序列之间的信息流的证据。第三项研究利用标准普尔实现波动率的熵来检测波动率制度的变化，以重新审视对冲基金市场波动时间的主题。使用单因素模型，以有关市场波动率熵的信息为条件，以衡量对冲基金股票敞口的动态。在关注美国股票市场的约 2500 家对冲基金的横截面上，我们发现，在 2000 年至 2014 年期间，对冲基金会根据波动率制度的变化动态调整其风险敞口。这增加了关于对冲基金经理波动时间行为的文献，但使用熵作为波动率制度的模型独立度量。

7，本文考虑了金融市场中出现的非马尔可夫控制问题，其中资产收益取决于隐藏因素。问题是非马尔可夫，因为需要非线性滤波来推断这些因素，因此相关的动态程序有效地将过滤分布作为其状态变量之一。这是非常困难的，因为滤波分布是无限维的随机概率测量，因此动态程序具有在传统意义上不能区分的状态。缺乏可微性意味着使用 Hamilton-Jacobi-Bellman (HJB) 方程无法解决问题。本文将展示如何使用倒向随机微分方程 (BSDEs) 分析和解决问题，关键工具是问题的双重公式。

8，我们已经开发了一种统计技术，通过提出一种新的判别统计来测

试几何布朗运动 (GBM) 模型的二元状态切换扩展的模型假设。给定时间序列数据, 我们已经确定了用于统计推断的可允许类别的制度转换候选模型。通过执行一些系统实验, 我们已经成功地证明, 检验统计量的抽样分布显着不同, 如果从 GBM 模型假设的变化马氏调制 GBM, 或半马氏调制 GBM。此外, 我们已经实施了这一统计数据, 用于检验印度部门指数的制度转换假设。

9, 对于每个市场从业者而言, 从金融市场中获得持续利润的自动程序是有利可图的。深度强化学习的最新进展为这种交易代理的端到端培训提供了框架。在本文中, 我们提出了一个适用于金融交易任务的马尔可夫决策过程 (MDP) 模型, 并使用最先进的深度循环 Q 网络 (DRQN) 算法来解决它。我们建议对现有的学习算法进行一些修改, 使其在金融交易环境下更合适, 即 1。与现代深度强化学习算法中使用的算法相比, 我们使用了相当小的重放记忆 (只有几百个)。我们开发了一种动作增强技术, 通过为代理提供所有动作的额外反馈信号, 减少随机探索的需要。这使我们能够在学习过程中使用贪婪的政策, 并且与更常用的 epsilon-greedy 探索相比, 显示出强大的经验表现。但是, 这种技术特定于一些市场假设下的金融交易。我们为递归神经网络训练采样了一个更长的序列。这种机制的副产品是我们现在可以为每个 T 步骤训练代理。这大大减少了培训时间, 因为整体计算下降了 T 倍。我们将上述所有内容组合成一个完整的在线学习算法, 并在现货外汇市场上验证我们的方法。

10, 通过将测量方程结合到原始联合 VaR 和 ES 回归模型中, 提出了一种新的实现的联合风险价值 (VaR) 和预期短缺 (ES) 回归框架。测量方程模拟所实现的测量 (例如, 实现的方差和实现的范围) 与潜在的条件分位数之间的同期依赖性。此外, 子采样和缩放方法应用于实现的范围和实现的方差, 以帮助处理固有的微结构噪声和低效率。采用自适应贝叶斯马尔可夫链蒙特卡罗方法进行估计和预测, 通过仿真研究对其性质进行评估, 并与最大似然估计进行比较。在一项预测研究中, 与一系列参数, 非参数和半参数模型相比, 所提出的模型适用于 7 个市场指数和 2 个单独资产, 包括 GARCH, Realized-GARCH, CARE 和 Taylor (2017) 联合 VaR 和 ES 分位数回归模型, 提前一天的风险值和预期的不足预测结果有利于所提出的模型, 特别是在模型中纳入子采样的实现方差和子采样的实现范围时。

11, 没有坚实的理由支持数字货币是在线支付的未来, 或者一些前参与者在用于面对批评时宣称的颠覆性技术。本文旨在通过发现可应用于加密市场的金融市场中存在的偏差之间的并行性, 从行为金融的角度解决加密货币难题。此外, 有人认为加密货币的价格是由放牧驱动的, 因此本研究通过采用马尔可夫转换方法测试不对称和对称条件下的放牧行为以及不同牧群制度的存在。

12, 在本文中, 我们建立了量子随机过程和非局部扩散之间的联系。

我们演示了 Accardi & Boukas 的非交换 Black-Scholes 方程 (Luigi Accardi, Andreas Boukas, '量子 Black-Scholes 方程', 2007 年 6 月, 可在 arXiv:0706.1300v1 获得) 如何以整体形式书写。这使得 Monte-Carlo 方法的应用适用于 McKean 随机微分方程 (HP McKean, 'A class of Markov processes with nonlinear with nonlinear parabolic equation', Proc.Natl.Acad.Sci.USA, 56 (6): 1907- 1911 年, 1966 年) 用于模拟解决方案。我们展示了如何将单一变换应用于经典的 Black-Scholes 系统以引入新的量子效应。这些市场“恐惧因素”具有简单的经济解释, 近期市场动荡导致未来波动性增加, 与当地波动函数或其他随机变量无关。最后, 我们将此系统扩展到 2 个变量, 并将 Quantum 模型用于买卖价差动态。

13, 本文研究了做市策略的盈利能力以及延迟对电子做市商利润的影响。通过使用马尔可夫决策过程分析最优做市问题, 我们提供了简单的条件来确定做市商何时获得零利润或正利润并讨论经济影响。我们还证明, 较高的延迟会导致做市商的利润减少, 并进行数值实验来说明延迟和相对延迟对做市商预期利润的影响。最后, 我们的工作强调了订单价值在最佳做市中的重要性。

14, 我们研究了连续时间 Itô-Markov 添加剂市场中的投资组合选择问题, 其中 Markov 添加剂流程描述了金融资产的价格, 这些流程结合了 Lévy 流程和政权转换模型。因此, 该模型考虑了两个风险来源:

跳跃扩散风险和政权转换风险。因此，市场不完整。我们通过使用一套马尔可夫跳跃证券，马尔可夫跳跃证券和冲动政策转换证券来扩大市场。此外，我们给出了市场渐近无套利的条件。我们解决了 Itô-Markov 添加剂市场中用于电力公用事业和对数效用的投资组合选择问题。

15, 马尔可夫链模型的开发是为了估计不良贷款的治愈率。该技术在投资组合上共同执行，并且可以适用于信用减值的计算过程。它在数据处理成本方面是高效的，这使得即使是较小的金融机构也可以访问它。此外，还建议了其他几个应用程序来进行组合优化。

16, 泰勒（2017）的联合风险价值（VaR）和预期短缺（ES）分位数回归模型通过结合实施的措施来推广，以推动尾部风险动态，作为可能比日常回报更有效的驱动因素。采用最大似然和自适应贝叶斯马尔可夫链蒙特卡罗方法进行估计，通过模拟研究评估和比较其性质;结果有利于贝叶斯方法，后来用于七个市场指数和两个单独资产的预测研究。将所提出的模型与一系列参数，非参数和半参数模型进行比较，包括 GARCH，Realized-GARCH 和 Taylor（2017）中的联合 VaR 和 ES 分位数回归模型。这一比较是在包括 2007 - 2008 年全球金融危机在内的长期预测样本期内，提前一天风险值和预期短缺预测的准确性。结果有利于所提出的模型结合实现的测量，特别是当采用子采样的实现方差和子采样的实现范围时。

17, 我们根据投标的信息内容构建了一个检测短期资产价格泡沫的统计指标, 并询问普通香草看跌期权和看涨期权的市场报价。我们的建设利用了资产价格泡沫的鞅理论, 以及资产价格超过其基本价值的情景原则上可以通过分析隐含波动率表面的渐近行为来检测。为了推断这种隐含波动率, 我们选择 SABR 模型, 主要是因为它适用于实际期权市场报价, 适用于广泛的期限和易于校准。作为主要的理论结果, 我们证明了对数正态 SABR 动力学下, 我们可以通过求解不适定的逆校准问题来计算一个简单而强大的闭式鞅缺陷指标。为了应对不适定性并量化这种指标固有的不确定性, 我们采用贝叶斯统计参数估计的角度。我们结合优化和自适应马尔可夫链蒙特卡罗方法探测得到的后验密度, 从而提供所有基础参数和鞅缺陷指标的全面不确定性估计。最后, 由于对科技泡沫 2.0 的担忧日益增加, 我们提供了基于期权的指标的实际市场测试, 重点关注科技股。

18, 我们从终端财富中研究效用最大化的问题, 其中代理人通过投资债券和风险资产来最佳地建立她的投资组合。资产价格动态遵循扩散过程, 其中政权转换系数由连续时间有限状态马尔可夫链建模。我们认为投资者具有恒定相对风险规避 (CRRA) 效用函数。我们推导出相关的 Hamilton-Jacobi-Bellman 方程来构造解和最优交易策略, 并通过证明价值函数是 HJB 方程的唯一约束粘性解来验证最优性。通过拉普拉斯变换方法, 我们展示了如何显式计算值函数并说明具有两态

和三态情况的方法。这种方法本身很有意义，可以在涉及混合系统的其他应用中使用，并使用其他类型的变换，其基本属性类似于拉普拉斯变换。

19, 我们发现解释银行贷款回收率的因素取决于经济周期的状况。我们的建模方法结合了两状态马尔可夫转换机制作为潜在信用周期的代理，有助于解释观察到的恢复率随时间的差异。我们能够证明违约概率以及某些特定贷款和其他变量在信贷周期中对“好”和“坏”时间的回收率有不同的解释力。也就是说，回收率与某些贷款特征，公司特征和违约概率之间的关系根据潜在的信贷市场条件而不同。这对于资本保留建模具有重要意义，特别是在反周期方面。

20, 我们假设一个类似于 Almgren-Chriss 的连续时间价格影响模型，但假设价格影响参数是随机过程建模为相关标量马尔可夫扩散。在这种情况下，我们为希望清算其库存但由于交易而面临价格影响的交易者制定交易策略。对于固定的交易范围，我们对与交易者的价值函数相关的 Hamilton-Jacobi-Bellman 方程进行系数展开。系数展开产生一系列偏微分方程，我们求解这些方程以给出值函数和最优清算策略的闭合近似。我们研究了最优清算问题的一些特殊情况，并对这些情况下的近似清算策略给出了财务解释。最后，我们提供数值例子来证明近似的有效性。

21, 我们制定了主权或有可转换债券 (S-CoCo) 的定价模型, 其中包含由主权信用违约掉期 (CDS) 价差引发的支付停顿。我们将危机期间普遍存在的 CDS 传播制度转换模型化为隐马尔可夫过程, 并结合固定制度下均值回归随机扩散水平过程, 以通过模拟获得 S-CoCo 价格。本文使用 Longstaff-Schwartz 美国期权定价框架中的定价模型来计算风险管理的未来状态或有 S-CoCo 价格。双重触发定价也使用主权债务的特殊 CDS 利差和广泛的市场指数进行讨论。使用 S-CoCo 设计为希腊, 意大利和德国报告了数值结果, 包括定价和或有定价模型。

22, 解释金融市场看似随机的性质有两种可能的方式: 有效市场假说 (EMH) 和一系列推动市场行为的程式化事实。我们展示了一些风格化事实的证据, 例如短期内价格波动中的记忆式现象, 幂律行为以及对收益的非线性依赖性。鉴于此, 我们使用马尔可夫链构建市场模型。然后, 我们开发了一种算法, 可以推广到任何 N 符号字母和 K 长度马尔可夫链。使用此工具, 我们能够证明它至少总是比完全随机的模型 (如随机漫步) 更好。代码用 MATLAB 编写, 并在 GitHub 中维护。

23, 我们引入了一种新方法, 将不确定性纳入投资商品储备的决策中。投资是不可逆转的一次性资本支出, 之后投资者通过提取商品并在现货市场上出售来获得现金流。投资者面临价格不确定性和储备中可用资源量的不确定性 (即技术不确定性)。然而, 她确实了解了时间的

储备水平，这是决定投资的关键决定因素。为了模拟储备水平的不确定性以及她如何了解储备中商品的估计，我们采用连续时间马尔可夫链模型来评估投资储备的选项并调查学习之前的投资价值。

24, 基于马尔可夫过程的新分支正在最近的金融时间序列建模文献中得到发展。在本文中，索引马尔可夫链已被用于模拟报价公司的高频价格回报。这种模型的特点在于，通过引入指数流程，可以内生地考虑市场波动，并且可以考虑两个非常重要的金融时间序列的程式化事实：长记忆和波动聚类。在本文中，首先我们提出了一种最优确定索引过程状态空间的方法，该方法基于马尔可夫链的变点方法。此外，我们提供了索引过程的第一次状态变化的概率分布函数的显式公式。结果与 2007 年 1 月 1 日至 2010 年 12 月 31 日期间报价意大利公司的日内价格相关。

25, 无论您是为自己交易期货还是对冲基金，您的策略都会被计算在内。多头和空头头寸限制使得独特策略的数量有限。策略，交易数量的公式，不做任何行动。给出了离散的动作分布，相应的概率质量，累积分布和特征函数，矩，极值。策略时间片分布是确定的。研究了交易策略的向量属性。具有可逆元素的代数非关联，交换，初始岩浆控制交易头寸和策略。最大利润策略，MPS 和最佳交易元素可以定义交易模式。Dynkin 在 1963 年将英文解释为“马尔可夫时间”一词。Nurtci 在 1991 年将其用于技术分析的正式化。

26, 本文提出了一种基于强化学习 (RL) 的离散时间期权定价模型, 更具体地说, 是 RL 著名的 Q-Learning 方法。我们为经典 Black-Scholes-Merton (BSM) 模型的离散时间版本构建风险调整马尔可夫决策过程, 其中期权价格是最优 Q 函数。定价是通过学习动态优化期权复制投资组合的风险调整回报来完成的, 如 Markowitz 投资组合理论。使用 Q-Learning 和相关方法, 一旦在参数设置中创建, 该模型就能够无模型地学习直接从动态复制投资组合生成的数据中定价和对冲选项, 该投资组合在不连续的时间重新平衡。如果世界符合 BSM, 我们规避风险的 Q-Learner 会在给定足够的培训数据的情况下, 在连续时限内收敛期权的真实 BSM 价格和套期保值比率, 即使在数据生成阶段应用的套期保值也是如此。完全随机 (即它也可以学习 BSM 模型本身!), 因为 Q-Learning 是一种非策略算法。如果世界与 BSM 世界不同, Q-Learner 也会发现它, 因为 Q-Learning 是一种无模型算法。对于有限的时间步长, Q-Learner 能够直接从交易数据中有效地计算期权的最优套期保值和最优价格, 并且没有明确的世界模型。这表明 RL 可以提供有效的数据驱动和无模型方法, 以实现最优定价和期权对冲, 一旦我们偏离学术连续时间限制, 反之亦然, 数学金融中开发的期权定价方法可能被视为特殊基于模型的强化学习案例。我们的模型只需要基本的线性代数 (加上蒙特卡罗模拟, 如果我们使用合成数据)。

27, 在本章中, 我们考虑了不同的随机波动率模型和金融市场中常用的跳跃扩散模型下的波动率互换, 方差互换和 VIX 期货定价。我们使用凸性校正近似技术和拉普拉斯变换方法来评估波动率罢工并估计 VIX 未来价格。在实证研究中, 我们使用马尔可夫链蒙特卡罗算法进行基于标准普尔 500 历史数据的模型校准, 评估加入资产价格过程中跳跃对波动率衍生品定价的影响, 并比较不同定价方法的表现。

28, 在本文中, 我们研究基于指数移动平均线 (ExpMA) 的交易策略, 这是技术分析中的一个重要指标。当底层的漂移由 Ornstein-Uhlenbeck 过程或两态连续时间马尔可夫链建模时, 我们寻求最优的 ExpMA 策略。在对数效用最大化和长期增长率最大化的情况下获得封闭形式的解。

29, 在博弈论框架中, 我们研究能源市场的连续统一生产者, 这些生产者从石油这样的可耗竭资源中产生能量。每个生产者同时优化生产率, 推动她的收入, 以及为补充储备的勘探努力。该勘探活动通过受控点过程建模, 该过程导致随机增量到储备水平。生产者通过取决于总产量的市场价格相互作用。我们采用平均场博弈方法来求解马尔可夫纳什均衡, 并开发数值方案来求解非局部 HJB 的结果系统和具有非局部耦合的传输方程。还探索了时间静止的公式, 以及探索变得确定的流体限制。

30, 我们为 Hermite 分数金融市场提出了一个新的框架, 概括了分数布朗运动和分数 Rosenblatt 市场。考虑到纯粹和混合的 Hermite 市场, 随着风险资产价格的变化, 我们对套期保值组合的交易量加速率引入特定策略套利税, 使我们能够利用套利机会将 Hermite 市场转变为没有套利机会的市场马尔可夫交易策略的类。

31, 在本文中, 我们使用半马尔可夫方法研究交易股票的金融量的高频动态。更准确地说, 我们假设体积的日内对数变化由加权索引的半马尔可夫链模型描述。基于这些假设, 我们表明该模型能够再现关于体积演化的若干经验事实, 如时间序列依赖性, 日内周期性和体积不对称性。从 2007 年 1 月 1 日至 2010 年 12 月底, 从意大利股票市场的实际数据应用到高频数据获得了结果。

32, 在本文中, 我们继续研究由驾驶情绪过程定义的模拟股票市场框架。我们关注由马尔可夫链类型的买/卖交易情绪过程驱动的市场环境。我们应用隐马尔可夫模型和递归神经网络的方法来重建马尔可夫情绪过程的转移概率矩阵, 并从观察到的股票价格行为中恢复潜在的情绪状态。

33, 非平衡系统中远程记忆的起源仍然是一个悬而未决的问题, 因为这种现象可以使用基于马尔可夫过程的模型来再现。在这些情况下, 引入了虚假记忆的概念。具有乱假记忆的马尔可夫过程的一个很好的

例子是由非线性随机微分方程 (SDE) 驱动的随机过程。此示例与使用分数布朗运动 (fBm) 构建的模型不一致。我们分析了这两种情况之间的差异, 试图建立对观察到的远程记忆起源的可能的实证检验。我们研究了在数值上获得的时间序列中的突发和突发间持续时间的概率密度函数 (PDF), 并与 fBm 的结果进行比较。我们的分析证实, 由一维 SDE 描述的过程的特征是突发或突发间持续时间 PDF 的幂律指数 $3/2$ 。随机过程的这种性质可用于检测各种非平衡系统中的虚假记忆, 其中观察到的宏观行为可以从试剂的模拟相互作用中得出。

34, 为实现金融时间序列中的波动率和尾部风险预测, 实现的 GARCH 框架扩展到包含双边威布尔分布。此外, 作为实现的方差或每日回报的竞争者, 实现的范围被用于实现的 GARCH 框架中。此外, 子采样和缩放方法应用于实现的范围和实现的方差, 以帮助处理固有的微结构噪声和低效率。开发了一种自适应贝叶斯马尔可夫链蒙特卡罗方法, 用于估计和预测, 通过模拟研究评估其性质并与最大似然进行比较。与一系列著名的参数 GARCH, 具有双边威布尔分布和实现 GARCH 模型的 GARCH 相比, 7 个市场指数回报系列和 2 个单独资产的尾部风险预测结果显然有利于实现包含双边威布尔分布的 GARCH 模型, 尤其是采用子样本实现方差和子样本实现范围的模型, 包括全球金融危机在内的六年时间内。

35, 在本文中, 我们解决了资产收益遵循多变量自回归隐马尔可夫模

型时的离散时间均值 - 方差套期保值问题。时间依赖性波动率和序列依赖性金融时间序列的完善属性，我们的模型涵盖了两者。为了说明我们提出的方法的相关性，我们首先通过似然比检验和 S & P 500 每日回报的新拟合优度检验来比较所提出的模型与众所周知的隐马尔可夫模型。其次，我们提供了 S & P 500 香草期权的样本外对冲结果以及基于理论价格的交易策略，我们将其与简单模型（包括经典的 Black-Scholes delta-hedging 方法）进行比较

36, 在假设为几何布朗运动的经典股票价格模型中，价格的漂移和波动率保持不变。然而，实际上，波动性确实有所不同。在量化金融中，已经成功地使用了赫斯顿模型，其中波动率表示为随机微分方程。此外，我们考虑一种制度转换模型，其中股票波动动态依赖于潜在的过程，这可能是非马尔可夫纯跳跃过程。在这种模型假设下，我们发现本地风险最小化欧式香草期权的定价。价格函数显示满足 Heston 型 PDE。

37, 我们提出了一个带有动态的限价订单簿 (LOB) 模型，它考虑了最近订单的影响和 LOB 的形状。我们提出了一个实证分析，表明即使在考虑了 LOB 的状态之后，最后一个订单的类型也会显著改变即期未来订单的提交率。为了共同模拟这些效应，我们引入了离散马尔可夫链模型。然后，基于这些改进的 LOB 动态，我们通过将其定义为马尔可夫决策过程，找到了最佳订单选择和股票购买问题中的位

置的策略。从数字上导出的最优策略使用限价订单, 取消和市场订单。它希望利用出价/询问中的交易量总结的 LOB 状态和最近订单的类型来获得最佳执行价格, 同时避免非执行和逆向选择风险。当预计中间价格会出现不利影响时, 市场订单会被大量使用。限价订单置于有利的 LOB 条件下, 并在非执行或逆向选择概率较高时取消。使用来自纳斯达克证券交易所的超高频数据, 我们将我们的最优政策与其他提交策略进行比较, 这些策略使用所有可用订单类型的子集, 并显示我们的显着优于它们。

38, 在本文中, 我们提出了一个用于评估转换期权合约的多州模型。多状态模型基于年龄指数的半马尔可夫链, 其能够再现影响期权估值的许多重要方面, 例如持续时间问题, 时间非同质性和老化效应。在对此合同进行正式描述后, 将评估转换选项的值。

39, 最近的实证研究表明, 与金融时间序列相关的波动率表现出短期相关性。这需要波动过程非常粗糙, 其自相关在原点处表现出明显的衰减。通常假设波动性的另一个经典风格特征是它意味着回归。在本文中, 显示快速平均回复粗糙波动率模型的价格影响与快速均值回归马尔可夫随机波动率模型相关。这将粗糙波动率路径的经验观察与隐含波动率曲面的良好拟合与快速平均回复马尔可夫波动率模型进行了协调。此外, 结果符合近期关于粗随机波动率模型的数值结果。它扩展了模型的范围, 其中快速均值回归马尔可夫波动率的渐近结果是

有效的。本文最后对分数波动渐近性及其相互关系进行了一般性讨论。在那里讨论的制度包括快速和缓慢的波动因素，波动幅度波动很大或者很小，而且一般来说，限制不是通勤。引入了特征项结构指数的概念，该指数控制了各种渐近机制中的隐含波动率项结构。

40, 我们提出了一种新的信用违约模型，该模型考虑了宏观经济信息和传染效应对债务人违约的影响。我们使用集值马尔可夫链来模拟默认流程，该流程是集团中所有违约债务人的集合。我们获得了默认流程的分析特征，并使用它们以合成债务抵押债券（CDO）的明确形式推导出定价公式。此外，我们使用市场数据来校准模型，并对 CDO 的部分差价进行数值研究。我们找到证据支持系统性违约风险加上违约传染可能是总违约风险的主要组成部分。

41, 我们认为投资者面临效用最大化问题，其中风险资产价格过程具有纯跳跃动态，受到不可观察的连续时间有限状态马尔可夫链的影响，其强度也可以通过投资者的行为来控制。使用经典滤波理论，我们将部分信息减少到具有完整信息的信息，并将其解决为对数和电力效用函数。特别地，我们将分段确定性马尔可夫过程（PDMP）的控制理论应用于我们的问题，并导出值函数的最优性方程，并将值函数表征为相关动态规划方程的唯一粘性解。最后，我们提供了一个玩具示例，其中不可观察的状态过程由两个状态的马尔可夫链驱动，并讨论投资者控制状态过程强度的能力如何影响最优投资组合策略以及两个部

分下的最优财富和完整的信息案例。

42, 我们在连续时间内提出了一个简单的金融网络清算模型。在该模型中, 公司 (银行) 被表示为具有流入和流出的液体 (货币) 的储存器 (储罐)。这种方法为 Eisenberg 和 Noe (2001) 引入的经典静态金融清算模型提供了一种简单的递归解决方案。我们模型的动态结构有助于回答其他相关问题, 并可能为处理更复杂的动态金融网络开辟道路。此外, 我们的方法提供了一个有用的工具, 用于求解涉及线性系统和最大最小操作的非线性方程, 类似于贝尔曼方程, 用于马尔可夫链的最优停止和其他优化问题。

43, 我们基于 Shannon 的熵概念开发了大规模经济系统的复杂性度量。通过采用 Leontief 的生产过程视角作为循环流程, 我们将过程表述为马尔可夫链。然后, 我们将经济复杂性的度量推导为在生产过程中对商品和服务流进行编码所需的平均比特数。我们使用来自七个国家经济体的数据来说明这一措施, 这些经

44, 我们提出了一种微观结构建模框架, 用于研究 FIFO (先进先出) 限价订单簿 (LOB) 中的最优做市策略。在这种情况下, LOB 中的限价订单, 市场订单和取消订单到达被建模为 Cox 点流程, 其强度仅取决于 LOB 的状态。这些是高维模型, 从微观结构的观点来看是现实的, 并且最近在文献中已经开发出来。在这种情况下, 我们考虑一个

做好准备以公开报价定期和持续买卖股票的做市商, 并确定最大化她的 P&L 的策略。我们应用马尔可夫决策过程理论和动态规划方法来分析地表征我们最优做市问题的解决方案。本文的第二部分论述了高维交易问题的数值方面。我们使用控制随机化方法结合量化方法来计算最优策略。对模拟数据执行若干计算测试以说明计算的最优策略的效率。特别是, 我们模拟了具有常数/对称/不对称/状态依赖强度的订单簿, 并将计算出的最优策略与朴素策略进行了比较。

45, 我们用对数正态分布模拟非平稳的体积价格分布, 并收集其两个参数的时间序列。两个参数的时间序列显示为静止和马尔可夫, 因此可以使用 Langevin 方程建模, Langevin 方程直接从它们的一系列值导出。利用对数正态参数的演化方程, 我们重建了适合经验数据的体积 - 价格分布的第一时刻的统计。最后, 所提出的框架足以研究其他研究领域中的其他非平稳随机变量, 即生物学, 医学和地质学。

46, 我们证明, 当基础是指数马尔可夫过程时, 方差交换率等于共同终端欧式合约的价格, 由任意连续随机时钟改变时间, 其与驱动马尔可夫过程任意相关。为方差交换定价的欧洲合约的支付函数 G 满足普通的积分微分方程, 该方程仅取决于马尔可夫过程的动态, 而不取决于时钟。我们提出马尔可夫过程的例子, 其中 G 可以明确计算。通常, 解决方案 G 不包含在先前在马尔可夫过程是 Lévy 过程的特殊情况下获得的对数族中。

47, 在这项工作中, 我们研究了与配对交易相关的动态投资组合优化问题, 这是一种投资策略, 它将一个证券中的多头头寸与另一个具有类似特征的证券中的头寸相匹配。称为扩散的对之间的关系由高斯均值回复过程建模, 其漂移率由不可观察的连续时间有限状态马尔可夫链调制。使用经典随机滤波理论, 我们将部分信息减少到具有完全信息的信息并将其解决为对数效用函数, 其中终端财富根据财富过程的实现波动性受到投资组合风险的影响。我们在完整和部分信息下描述最优美元中性策略以及最优价值函数, 并表明确定性等价原则适用于最优投资组合策略。最后, 我们为具有双状态马尔可夫链的玩具示例提供数值分析。

48, 群组效应是决定某些国家人类死亡率演变的重要因素。已经在文献中提出了具有群组特征的动态死亡率模型的扩展, 以在广义线性建模框架下考虑这些因素。在本文中, 我们通过在状态空间方法下通过新颖公式纳入的群组因子来解决死亡率建模的问题。在这个过程中, 我们证明了队列因素可以在国家 - 空间框架下自然形成, 尽管队列因素是根据出生年份而不是年份来编制索引的。然后基于有效的马尔可夫链蒙特卡罗采样器开发状态空间公式中的队列模型的贝叶斯推断, 允许对群组模型中的参数不确定性进行量化, 并且得到用于预期寿命和生命表构造的死亡率预测。通过涉及来自不同国家的男性和女性人口的综合实证研究来检验我们方法的有效性。我们的研究结果表

明，我们研究的某些国家存在群组模式，并且群体因素的包含对于捕获这些现象至关重要，因此突出了在州空间框架中引入群组模型的益处。还根据群组因子的预测讨论了群组模型的预测

49，优先级排队模型和平均场理论的组合显示了交易者群体行为的出现，即使每个人都有由限价订单簿驱动的市场的行为预测。使用非线性马尔可夫模型，我们分析选择有利订单价格的交易者的动态，同时考虑到他人产生的等待成本。由于交易者对市场的反应延迟，我们发现群体行为出现，而群体的方向取决于当前的市场地位和零智能随机行为的强度，而不是主观交易者的预测。

50，债券评级转换概率矩阵（TPM）建立在一年时间框架内，并且出于许多实际目的，例如评估投资组合中的风险或计算银行资本要求（例如新的 IFRS 9 规则），需要在较小的时间间隔内计算 TPM 和默认概率。在连续时间马尔可夫链（CTMC）的背景下，已经提出了几种确定性和统计算法来估计发生器矩阵。我们关注 Bladt 和 Sorensen（2005）对期望最大化（EM）算法的 CTMC，该 CTMC 具有这种估计的吸收状态。这项工作的贡献有三个方面。首先，我们为出现在 EM 算法和相关信息矩阵中的数量提供直接可计算的闭式表达式，从而可以轻松地近似置信区间。以前，必须以数字方式估算这些数量，并且已经获得了相当大的计算加速。其次，我们证明在非常弱的条件下（对于 TPM 问题）收敛到一组参数。最后，我们提供了我们的结

果与其他已知算法的数字基准，特别是与信用风险相关的几个问题。我们提出的 EM 算法，用新公式（和误差标准）填充，在几个度量中优于其他已知算法，特别是，与其他统计算法相比，对更高评级中的默认概率的高估要少得多。

51, 随机过程的缩减（相应的绘制），也称为最高层的反映过程（相应的下限），在许多领域有广泛的应用，包括金融风险管理，精算数学和统计学。在本文中，对于一般的时间齐次马尔可夫过程，我们研究了在第一次通过时的牵伸（分别绘制）过程的第一次通过时间，其超调和基础过程的最大值的联合定律。通过使用短时间路径分析，在一些温和的规律条件下，三个下降量的联合定律被证明是积分方程的唯一解，其以基础过程的基本双侧出口量表示。当马尔可夫过程仅具有单侧跳跃或是 Lévy 过程（可能具有双侧跳跃）时，可以找到该联合定律的显式形式。所提出的方法提供了一种统一的方法来研究一般时间齐次马尔可夫过程的各种缩减量。

52, 确定单位风险敞口对组合范围经济资本的风险贡献是金融风险管理中的一项重要任务。尽管存在实际需求，但风险贡献的计算对于大多数风险模型来说是具有挑战性的，因为它通常需要罕见事件模在本文中，我们解决了在风险价值（VaR）衡量总风险时估算风险贡献的问题。我们提出了一种新的 VaR 贡献估计，它利用马尔可夫链蒙特卡罗（MCMC）方法。与现有的估算器不同，我们基于 MCMC 的

估算器是根据我们感兴趣的罕见事件通过条件损失分布的样本计算的。MCMC 方法能够在不评估总风险密度的情况下生成此类样本。由于这些特性，与粗蒙特卡罗方法相比，我们的估算器提高了样品效率。此外，我们的方法广泛适用于由联合组合损失密度指定的各种风险模型。在本文中，我们表明我们基于 MCMC 的估计有几个有吸引力的属性，如一致性和渐近正态性。我们的数值实验还表明，在实践中使用的各种风险模型中，与现有估算器相比，我们的 MCMC 估计器具有更小的偏差和 MSE。

53, 研究了具有未知恒定漂移和随机状态转换波动率的资产的最优清算。漂移的不确定性由任意概率分布表示，随机波动率由 m 状态马尔可夫链建模。利用滤波理论，找到原始问题作为四维最优停止问题的等效重构，然后通过构造逼近的三维最优停止问题序列进行分析。确定了最佳清算策略和问题的各种结构特性。详细介绍了对两点先验案例的分析，并在此基础上给出了对一般先前案例的扩展概要。

54, 我们提出了一个框架来研究大型股票的限价订单中的最优清算策略，其差价等于一个价格。所有订单簿事件（市场订单，限价订单和取消）都根据独立的泊松过程发生，参数取决于价格移动方向。我们的目标是最大化需要在固定时间范围内清算其职位的代理人的预期终端财富。假设代理商仅在价格移动时进行交易（通过卖出限价订单或/和卖出市场订单），我们将她的清算程序建模为半马尔可夫决策过

程，并使用拉普拉斯方法在语言中计算半马尔可夫核。排队论。然后通过动态规划解决最优清算政策，并以数字方式说明。

55，当基础资产遵循指数方差伽玛过程时，本文提出了一种多项式期权定价方法。连续时间方差伽玛过程由具有相同第一个累积量的离散时间马尔可夫链近似。这种方法对于定价美国和百慕大期权特别方便，可以在到期日之前的任何时间行使。给出了欧洲和美国期权的数值计算，并与使用有限差分方法和 Black Scholes 模型获得的结果进行了比较。

56，通过将测量方程结合到传统的 CARE 模型中，以类似于 Realized-GARCH 模型的方式，提出了一种称为 Realized Conditional Autoregressive Expectile (Realized-CARE) 的新模型框架。竞争实现的测量（例如，实现的方差和实现的范围）被用作测量方程中的因变量并且驱动外部动态。这里的测量方程模拟了实现的测量和潜在的条件扩展之间的同期依赖性。我们还建议在扩展级别网格搜索期间使用分位数损失函数作为目标标准，而不是传统的违规率。对于所提出的模型，通常的搜索过程和非对称最小二乘 (ALS) 优化来估计外部水平和 CARE 参数证明是具有挑战性的并且经常不能收敛。我们采用快速随机游走 Metropolis 随机搜索方法，结合更有针对性的网格搜索程序，以便合理快速和提高估计此级别和相关模型参数的准确性。鉴于收敛问题，提出了贝叶斯自适应马尔可夫链蒙特卡罗方法进行估计，

同时通过模拟研究评估其性质并与 ALS 进行比较。在应用于 7 个市场指数和 2 个单独资产收益的实际预测研究中，与原始 CARE 相比，参数 GARCH 和 Realized-GARCH 模型，提前一天风险值和预期亏空预测结果有利于拟议的实现-CARE 模型，特别是在将实现范围和子采样实现范围合并为模型中实现的度量时。

57, Leontief 输入输出模型和马尔可夫链之间的初始理论联系建立于 20 世纪 50 年代。然而，考虑到马尔可夫链的各种数学性质，尚未对马尔可夫链形式主义的演化世界经济网络进行全面研究。利用最近可用的世界投入产出数据库，我们通过对一系列有限马尔可夫链的分析，模拟了 1995 年至 2011 年世界经济网络的演变。我们通过马尔可夫链的不同属性评估了这个演化系统的不同方面，例如混合时间，Kemeny 常数，稳态概率和过渡矩阵的扰动分析。首先，我们展示了混合时间和 Kemeny 常数的时间序列如何用作全球化的综合指数。接下来，我们将稳态概率作为衡量经济结构能力的指标，这些经济体与经济体的 GDP 比例相当，作为传统的经济指标。此外，我们引入了两种系统性风险度量，称为系统性影响和系统性脆弱性，前者是受影响节点数量与节点总数之比，由节点活动的冲击引起，后者基于关于特定经济节点受任何其他节点的活动冲击影响的次数。最后，关注 Kemeny 常数作为整个网络货币流动的 global 指标，我们发现经济节点的活动水平变化对网络整体流动产生了矛盾的影响。虽然大多数具有高结构功率的节点的经济放缓导致网络上的平均货币流量减慢，但是存在一些

节点, 其中它们的减速在连通性和平均货币流量方面改善了网络的整体质量。

58, 我们引入了一个动态优化框架来分析信息驱动的传染性遇险模型中的最优投资组合分配。投资者将他的财富分配给几个股票, 这些股票的增长率和遇险强度是由隐藏的马尔可夫链驱动的, 并且还受到经济困境的影响。我们表明, 最优投资策略取决于价值函数的梯度, 通过遇险状态递归地相互联系。我们建立了一系列逼近问题解的一致边界, 证明了它们收敛于 Hamilton-Jacobi-Bellman 偏微分方程 (HJB 偏微分方程) 递归系统的唯一 Sobolev 解, 并证明了一个验证定理。我们提供了一个数值研究来说明策略对传染性危机, 股票波动率和风险规避的敏感性。

59, 我们提出了一个包含游戏特征的银行系统的简单模型, 其中货币储备的演变被建模为耦合的 Feller 扩散系统。通过最小化受 Cox-Ingersoll-Ross 型过程影响的线性二次成本而产生的马尔可夫纳什均衡产生了流动性和存款率。增加流动性导致了植绒效应, 但存款利率降低了总货币储备的增长率, 导致大量银行违约。此外, 还讨论了相应的平均场比赛和具有折扣因子的无限时间范围随机博弈。

60, 具有转嫁实体的所得税制度将公司的收入转移给股东, 这些股东单独征税。2014 年, 智利的税制改革引入了这类实体, 并改为按权

责发生制，将收入（但不是亏损）分配给股东。智利税务机关的关键步骤是计算每个人的最终收入，考虑到公司和公司的复杂网络，通常包括他们之间的周期。在本文中，我们展示了数学概念化和问题的解决方案，证明只有一种方法可以将收入分配给纳税人。利用吸收马尔可夫链的理论，我们定义了一个计算每个纳税人应税收入的数学模型，并提出了一个分解算法来解决这个问题。这使我们能够准确地计算解决方案并有效地使用计算资源。最后，我们介绍了智利纳税人网络的一些特征以及使用该网络的算法的计算结果

61，本文研究了不可再生自然资源的最优提取和征税。众所周知，石油，天然气，铀，铜等主要战略资源的市场价值随全球和季节性宏观经济参数随机波动，这些价值使用马尔可夫转换 Lévy 过程建模。我们将此问题表述为差异游戏。这种差异化游戏的两个参与者是采矿公司，其目的是最大化其提取活动产生的收入以及负责管理和征税自然资源的政府机构。我们证明了纳什均衡的存在。完全解决了相应的 Hamilton Jacobi Isaacs 方程，并以闭合形式推导出价值函数以及最优提取和税率。我们提供了一个数值例子来说明我们的发现。

62，本文研究了一个年龄相关的半马尔可夫调制市场中的定价导数。我们考虑一个金融市场，其中资产价格动态遵循一种制度切换几何布朗运动模型，其中系数依赖于有限多个年龄相关的半马尔可夫过程。我们进一步允许波动率系数明确地依赖于时间。在这些市场假设下，

我们研究了本地风险，最大限度地降低了一类欧式期权的定价。结果表明，价格函数可以通过求解非局部 B-S-M 型 PDE 得到。我们建立柯西问题的经典解的存在性和唯一性。我们还通过第二类 Volterra 积分方程系统找到了价格函数的另一种表征。这种替代表示导致用于寻找价格和对冲的计算上有效的方法。最后，我们分析 PDE 以建立解决方案对半马尔可夫过程的瞬时转换率的连续依赖性。还获得了二次残差风险的明确表达。

63，当股票价格遵循一般指数 Lévy 过程时，我们提出了一种在存在比例交易成本时为欧洲看涨期权定价的方法。该模型是 Davis, Panas 和 Zariphopoulou (1993) 著名作品的概括，其中选项的价值是使用效用无差别价格的概念获得的。这需要在有限时间内解决两个随机奇异控制问题，满足相同的 Hamilton-Jacobi-Bellman 方程和不同的终端条件。我们使用马尔可夫链逼近方法在数值上解决连续时间优化问题，并考虑指数默顿跳跃扩散过程之后的基础股票。该模型考虑了投资组合破产的可能性。我们展示了一个无限富裕投资者的简单案例的数值结果，其违约概率可以忽略不计。为作者和买家都获得期权价格。

64，该项目试图解决金融市场中资产定价的问题，其中利率和波动率表现出制度转换。这是 Black-Scholes 模型的扩展。马尔可夫调制的状态转换模型的研究已被充分记录。该项目将这一概念扩展到一类称为年龄相关过程的半马尔可夫过程。我们还允许制度内的波动性具有时

间依赖性。我们表明，在这样一个市场中期权定价的问题等同于求解某个积分方程。

65, 在本文中, 我们研究了鞅 2 型 Banach 空间中的随机演化方程 (1.1) (漂移的线性部分只是 C_0 -半群的生成元)。我们证明了这个方程的解的存在性和唯一性。我们将抽象结果应用于 Heath-Jarrow-Morton-Musiela (HJMM) 方程 (6.3)。特别地, 我们分别在加权 Lebesgue 和 Sobolev 空间中证明了后一个方程的解的存在性和唯一性。我们还找到了加权 Lebesgue 空间中与方程 (6.3) 相关的马尔可夫半群的不变量度的存在性和唯一性的充分条件。

66, 本文考虑了具有两种状态的极限订单簿的一般半马尔可夫模型, 其中包含不固定到一个刻度的价格变化。此外, 我们介绍了 LimitOrder Books 的半马尔可夫模型的更一般情况, 其中包含价格变化的任意数量的状态。对于这两种情况, 提供了不同限价订单簿数据的理由, 扩散限制, 实施和数值结果: Apple, 亚马逊, 谷歌, 微软, 英特尔在 2012/06/21 和思科, Facebook, 英特尔, Liberty Global, Liberty Interactive, 微软, 沃达丰从 2014/11/03 至 2014/11/07。

67, 取代 Black-Scholes 的驾驶过程, 布朗运动, 具有分数布朗运动, 允许结合过去的股票价格依赖性, 但面临一些主要的垮台, 包括在金融市场实施套利的情况。我们介绍了使用分数布朗运动定价导数的简

化替代方法的开发，测试和实现。通过放宽对布朗运动的过去独立性的假设但保留马尔可夫属性，我们正在开发一种竞争模型，该模型保留了标准 Black-Scholes 模型的数学简单性，但也具有允许过去依赖性的改进的准确性。这是通过用 Vladimir Dobrić 和 Francisco Ojeda 提出的特定高斯马尔可夫过程取代 Black-Scholes 的基本过程布朗运动来实现的。

68, 我们引入了一类评估多元股权衍生工具的新流程。建议的设置非常适合将标准 copula 函数理论应用于过程而不是变量, 并且很容易实现鞅定价要求。鞅条件强加于一般的多维马尔可夫设置, 我们只添加增量的非格兰杰因果关系的限制 (格兰杰独立增量)。我们称这类过程为 GIMP (Granger Independent Martingale Processes)。该方法还可以扩展到时间变化的应用, 在该时间变化下, 鞅限制继续存在。此外, 我们表明 GIMP 过程的类是在时间变化下关闭的: 如果 Granger 独立过程被用作 GIMP 过程时间变化的多变量随机时钟, 则新过程也是 GIMP。

69, 在这项工作中, 我们分析了天然气发电站估值的随机控制问题, 同时考虑了运行特性。电力和天然气现货价格过程都表现出均值回复峰值和马尔可夫政权转换。利维政权转换模型结合了能源市场中的供需波动和突然的经济中断或商业周期的影响。我们利用倾斜的 Levy copula 来模拟电力和气体跳跃的依赖风险。相应的 HJB 方程是非线性

PIDE, 其通过显式有限差分方法求解。数值方法为我们提供了工厂的价值和最佳的运营策略, 取决于天然气和电力价格, 锅炉的当前温度和时间。控制策略和合同值的表面是通过实现特定示例的数值方法获得的。

70, 我们提出了一个保险损失指数的模型和一个保险公司的索赔流程, 该公司持有合同总数的一小部分, 用于捕获由于灾难造成的普通损失和损失。在这个模型中, 我们通过效用无差别定价的方法对灾难导数进行定价。通过分段确定性马尔可夫过程的技术来处理相关的随机优化问题。数值研究说明了我们的结果。

71, 我们研究市场模型中的最优清算问题, 其中投标价格遵循几何纯跳跃过程, 其局部特征由不可观察的有限状态马尔可夫链和清算率驱动。该模型与高频数据的程式化事实一致, 例如刻度数据的离散性质和订单流中的聚类。我们在分析中包含临时和永久效应。我们使用随机过滤将最优清算问题减少到完全信息下的等效优化问题。这导致分段确定性马尔可夫过程 (PDMP) 的随机控制问题。我们对这个问题进行了详细的数学分析。特别地, 我们推导出值函数的最优性方程, 我们将值函数表征为相关动态规划方程的连续粘性解, 并证明了一种新的比较结果。本文最后用数值结果说明了部分信息和价格影响对价值函数和最优清算率的影响。

72, 本文研究了根据各种金融和经济限制和约束条件优化提取不可再生自然资源的问题。考虑到主要自然资源（即石油，天然气，铜等）的市场价值在全球和季节性宏观经济参数之后随机波动的事实，这些值使用马尔可夫转换 Lévy 过程建模。我们将此问题表述为有限时间范围组合最优停止和最优控制问题。我们证明了值函数是相应的 Hamilton-Jacobi-Bellman 方程的唯一粘性解。此外，我们证明了值函数的有限差分近似的收敛性。提供了数值例子来说明这些结果。

73, 本文探讨和开发动态死亡率模型的替代统计表示和估计方法。我们采用的框架是在一般的状态空间建模方法中重新解释流行的死亡率模型，如 Lee-Carter 模型，该方法允许在统一框架下对死亡率进行建模，估计和预测。此外，我们提出了另一类模型识别约束，其更适合于基于边际化可能性的最大化或贝叶斯推断的滤波和参数估计设置中的统计推断。然后，我们开发了一类新的贝叶斯状态空间模型，其中包含关于死亡率模型特征的先验信念，以及与观察到的死亡率数据中存在的异方差性相关的更灵活和适当的假设。我们证明了在状态空间结构下可以投射多个周期和群组效应。为了研究长期死亡率动态，我们将时间效应引入随机波动率。所得到的死亡率随机波动率模型的估计是使用最近一类蒙特卡罗程序进行的，该程序专门用于贝叶斯状态空间模型中的状态和参数估计，称为粒子马尔可夫链蒙特卡罗方法。我们用丹麦男性死亡率数据说明了我们开发的框架，并表明尽管模型复杂性增加，但结合异方差性和随机波动性显著改善了模型拟合。通

过重建生命表的长期和短期校准周期检查增强模型的预测属性。

74, 本文研究了政权转换模型下的最优 VIX 期货交易问题。我们将 VIX 视为均值回归动力学, 其依赖于在有限数量的状态之间切换的状态。对于交易策略, 我们分析了投资者市场参与的时间和顺序, 这导致了几个相应的变分不等式耦合系统。通过使用 Crank-Nicolson 方案的投影连续过松弛 (PSOR) 方法, 开发了数值方法来解决这些最优的双停止问题。我们通过两状态马尔可夫链模型的数值例子说明了最优边界。特别是, 我们研究了交易成本和制度转换时间对 VIX 期货交易策略的影响。

75, 本文提出了当股息增长率是一般连续变量时的一般离散时间红利估值模型。主要假设是股息增长率遵循具有可测量空间的离散时间半马尔可夫链。本文提供了充分的条件, 以确保基本价格和风险的有限性以及描述一阶和二阶价格 - 股息比率的新方程式。提出了求解方程的逼近方法, 并建立了具有 Borel 状态空间的半马尔可夫奖励过程的一些新结果。本文概括了以前基于基本面处理定价公司的贡献。

76, 模拟订单流对资产价格的影响对了解金融市场的行为至关重要。本文的第一部分报告了价格动态描述的显着改进, 当人们将过去的回报对未来订单流的影响结合起来时, 可以获得这种改进。然而, 第一部分中提出的影响模型将订单流视为外生过程, 仅以其两点相关性为

特征。这种假设严重限制了模型的预测能力。在这里，我们尝试使用所谓的混合过渡分布（MTD）框架直接模拟离散事件流，该框架最初由 Raftery（1985）引入。我们区分价格变化和非价格变化事件，并将它们与订单符号相结合，以便将订单流动态降低到四态离散随机变量的动态。MTD 代表完整高阶马尔可夫链的简约近似。新方法以足够的真实性捕获小型和大型股指期货和签名图的签名事件之间的条件相关函数。从方法论的角度来看，我们讨论了一种新颖而灵活的方法来校准具有大量参数的大类 MTD 模型。尽管存在大量参数，但样本外分析确认模型不会过度拟合数据。

77，本文涉及具有盈余依赖溢价的保险公司的最优股息分配问题。在没有股息支付的情况下，这种风险过程是所谓的分段确定性马尔可夫过程的特例。控制机制选择股息支付的规模。目标在于将收到的预期累积贴现股息支付的总和最大化，直至破产时的罚款和破产时的罚款，这是破产时短缺规模的增加函数。针对相应的随机控制问题提出了完整的解决方案。我们根据特定的 Gerber-Shiu 函数确定相关的 Hamilton-Jacobi-Bellman 方程，并找到单个红利策略最优性的必要和充分条件。分析了许多具体的例子。

78，几乎每个主要股票市场都存在股票和隐含波动率指数。这些在金融中发挥着重要作用：无论是作为基准，衡量一般不确定性还是投资或对冲的方式。在学术文献中众所周知，不同指数之间的相关性和较

高时刻往往会随时间变化。然而，据我们所知，还没有人考虑过全球设置，包括各大洲的股票和隐含波动率指数，以及允许不断变化的依赖结构。我们的目标是通过应用马尔可夫转换 R-vine 模型来研究不同的全球依赖机制的存在来缩小这一差距。特别是，我们在由北美，欧洲和亚洲指数组成的数据集中确定“正常”和“异常”状态的时间。我们的结果证实了全球政权转换发生的联合点的存在。

79，开发了一种方法，以确定作为研究单位的每个股票价值从给定的最高价格水平下降。发现价格下降量的临界水平将在随机游走下操作的段与根据幂律操作的段分开。该级别被解释为相变为自组织系统的点。在研究的所有股票市场指数中都发现了自组织的证据，但没有一个控制合成随机序列。调查结果部分解释了金融时间序列的分形结构特征，并表明价格波动采用两种不同的操作方式。我们建议识别大于显然受幂律影响的临界水平的向下运动，作为自组织状态，并且价格降低小于临界水平，作为马尔可夫属性的随机游走。

80，最近的实证研究表明，基础价格过程的波动性可能具有在某些市场条件下缓慢衰减的相关性。在本文中，波动率被建模为具有远程相关属性的固定过程以捕获这种情况，并且我们考虑欧式期权定价。这意味着波动过程既不是马尔可夫过程也不是鞅。然而，通过利用价格过程仍然是半鞅的事实并因此使用鞅方法，我们可以在波动率过程快速均值回归的制度中获得期权价格的分析表达式。波动过程被建模为

分数 Ornstein-Uhlenbeck 过程的平滑和有界函数。我们给出了隐含波动率的表达式，它具有分数期限结构。

81, 本文研究了投资组合优化问题，其中由多个股票组成的市场通过具有年龄相关的半马尔可夫调制系数的多维跳跃扩散过程建模。我们研究了有限时间范围内的风险敏感投资组合优化。我们通过使用概率方法来确定相应的 Hamilton-Jacobi-Bellman (HJB) 方程的经典解的存在性和唯一性来研究该问题。我们还实施了一个数值方案来研究解决方案对初始投资组合财富的不同值，成熟度和厌恶参数风险的行为。

82, 在本文中，我们考虑了基于随机波动率和随机利率与政权转换的混合模型的离散抽样方差互换定价问题。我们的建模框架通过包括 CIR 随机利率和根据连续时间可观察马尔可夫链过程切换的模型参数来扩展 Heston 随机波动率模型。推导出方差互换的半封闭式定价公式。定价公式通过数值实施进行评估，并讨论了包含制度转换对定价差异掉期的影响。

83, 在本文中，我们考虑一种基于强度的简化信用风险模型，该模型具有隐马尔可夫状态过程。提出了一种过滤方法，用于在给定观察过程的情况下提取基础状态。该方法可以应用于广泛的问题。基于该模型，我们推导出多个默认时间的联合分布，而不对默认强度的形式施加严格的假设。获得了用于分配默认时间的封闭式公式，然后将其应

用于解决诸如对冲和定价信用衍生品等许多实际问题。所呈现的方法和数值算法可适用于各种形式的默认强度。

84, 体制转换模型, 特别是隐马尔可夫模型 (HMM), 其中切换由不可观察的马尔可夫链驱动, 由于其易处理性和良好的计量经济学特性, 在金融应用中被广泛使用。在这项工作中, 我们认为 HMM 在连续时间内具有恒定和开关波动性。在具有切换波动率的连续时间模型中, 由于这种随机波动性, 可以观察到基础马尔可夫链, 并且不需要 (在理论上) 对其进行估计 (过滤), 而在离散化模型或具有恒定波动率的模型中, 过滤基础马尔可夫链。连续时间模型的动机是金融中的明确计算。为了在连续时间内具有不可观察的马尔可夫链的实际模型和良好的计量经济学特性, 我们引入了一种制度转换模型, 其中波动率取决于基础链的过滤器并说明过滤方程。我们证明了固定信息过滤的近似结果, 并通过考虑社会学习论证进一步激励模型。我们分析了它与切换波动率模型的关系, 并给出了离散化模型的收敛结果。然后, 我们通过考虑数值模拟来说明其计量经济学特性。

85, 在本文中, 我们通过在具有允许不断变化的经济环境的部分信息的模型中最大化预期的贴现未来股息支付来研究保险公司的估值问题。剩余过程被建模为具有漂移的布朗运动。这种漂移取决于基础马尔可夫链, 其当前状态被认为是不可观察的。因此, 马尔可夫链的不同状态代表了经济的不同阶段。我们应用滤波理论的结果来克服不确

定性，然后我们给出最优值函数的分析表征。最后，我们提出了一个涵盖各种情景的数值研究，以清楚地了解应如何支付股息。

86, Cai, Song 和 Kou (2015) [Cai, N., Y. Song, S. Kou (2015) 马尔可夫过程下亚洲期权定价的一般框架。歌剧院。RES。63 (3): 540-554]通过提出一个一维框架来取得突破，该框架在一维马尔可夫过程下对离散和连续监测的亚洲期权进行定价。在本文中，在连续时间马尔可夫链 (CTMC) 的设置下，我们分别对离散和连续监测的情况明确地执行逆 Z 变换和逆拉普拉斯变换。得到的显式单拉普拉斯变换改进了它们的定理 2, p.543, 并且数值研究证明了效率的提高。

87, 来自多元高阶条件矩的信号以及外生协变量中包含的信息可以被理性投资者有效地利用，以在不同的风险投资机会中分配他们的财富。本文提出了一种新的柔性动态 copula 模型, 能够解释和预测大尺寸资产收益分布的时变形态。此外，我们让单变量边际分布由基于条件分布的缩放分数的更新机制驱动。这个框架允许我们在条件分布的第四个时刻引入时间变化。随后将时变依赖模式建模为潜在马尔可夫切换过程的函数，还允许在动态更新方程中包括外生协变量。我们凭经验评估所提出的模型大大改善了理性投资者的最优投资组合分配，从而最大化其预期效用。

88, R. Cont 和 A. de Larrard (SIAM J. Finan.Math, 2013) 引入了一个

易处理的随机模型，用于限价订单的动态，计算各种利息，如价格上涨的概率或扩散限制。价格过程。正如经验观察所建议的那样，我们将其框架扩展到 1) 书籍事件到达时间（可能是非指数）的任意分布 2) 新书事件的性质及其相应的到达间隔时间取决于性质以前的书事件。我们通过采用马尔可夫更新流程来模拟出价和询问队列的动态。我们通过显式表达式保持分析易处理性，用于各种感兴趣的拉普拉斯变换。我们通过 6 月 21 日st 2012 年将我们的模型校准到亚马逊，苹果，谷歌，英特尔和微软的五只股票来证明和说明我们的方法。与 R. Cont 和 A. de Larrard 一样，买卖差价保持不变等于一个刻度线，只对出价和排队队列建模（它们彼此独立并在价格变化后重新初始化），并且所有订单具有相同的大小。

89, 基于经济变量的宏观经济模型 (i) 资产, (ii) 杠杆 (定义为债务而不是资产) 和 (iii) 信托 (定义为最大可持续杠杆) 被提议用于调查信贷在经济动态中的作用增长, 以及信贷如何与经济表现和信心相关联。我们的第一个值得注意的发现是与耐心相关的奖励/惩罚机制, 由资产回报量化。在 EBITA /资产比率大于债务成本的常规经济体中, 从高于杠杆的信托开始会导致最高的长期资产回报率 (可以看作是经济增长的代表)。我们的第二个主要发现涉及一项建议, 即中央银行对外部冲击的反应会对经济增长产生负面影响。我们发现, 模型经济中的后期政策干预导致了最高的资产长期回报和最大的资产价值。但这是以危机延长直到干预发生为代价的代价。这种现象可归因于这样

一个事实，即推迟干预可以使信任首先增加，而当信任度很高时进行干预是最有效的。这些结果来自我们模型背后的两个基本假设：(a) 当信任高于杠杆时，信任往往会增加；(b) 经济主体以最佳方式学习，以调整给定信任水平和资产数额的债务。使用马尔可夫转换模型获得 EBITA / 资产比率，我们已经成功地将我们的模型校准为 2000 年至 2013 年期间 EURO STOXX 50 的股本回报率的经验数据。我们发现，由于变量之间的非线性耦合，杠杆和信任的动态可能与曲线轨迹高度非单调。

90, 本论文致力于研究仿射过程及其在金融数学中的应用。在第一部分中，我们考虑了时间 - 非齐次仿射过程在一般状态空间上的理论。我们为时间不均匀的马尔可夫过程提供了简洁的设置。对于随机连续的仿射过程，我们表明总是存在 càdlàg 修改。之后我们考虑仿射过程的规律性和半定性属性。与时间同质的情况相反，时间不均匀的仿射过程通常既不是常规的也不是半正式的，而时间不均匀的情况引发了许多新的和有趣的问题。假设仿射过程是半参数，我们表明即使没有规律性，参数函数也满足广义 Riccati 积分方程。这概括了时间均匀仿射过程的重要结果。我们还表明，随机连续的仿射半鞅基本上是由我们称之为绝对连续仿射半鞅的确定性时间变化产生的。这些过程概括了时间均匀的常规仿射过程。在第二部分中，我们考虑了仿射 LIBOR 市场模型的类别。我们以两种方式为这类模型做出贡献。首先，我们修改仿射 LIBOR 市场模型的原始设置，使得除了非负仿射过程

之外，还可以使用实值仿射过程。数值例子表明，这允许更灵活的隐含波动率表面。其次，我们介绍了仿射通胀市场模型的类，是仿射 LIBOR 市场模型的延伸。一个校准实例表明，这些模型在拟合市场观察到的通胀衍生品价格方面表现良好。

91，为了获得合理可靠的原油价格波动预测方法，本文评估了单一制 GARCH 模型（包括标准线性 GARCH 模型和非线性 GJR-GARCH 和 EGARCH 模型）和两种方案的预测性能。马尔可夫政权切换 GARCH（MRS-GARCH）模型，用于不同数据频率和时间范围内的原油价格波动。结果表明，首先，在大多数评估标准下，双区 MRS-GARCH 模型在样本内数据估计中胜过其他三个单区 GARCH 类型模型，尽管在一些其他评估标准下它看起来较差。其次，双管制 MRS-GARCH 模型总体上为每日数据提供更准确的波动率预测，但这种优势在每周和每月数据中消失。第三，在三个单一制度 GARCH 型模型中，非线性 GARCH 模型的波动率预测比较长时间范围的日常数据的线性 GARCH 模型表现出更高的准确性。最后，线性单一制 GARCH 模型总体上比其他三种非线性 GARCH 类型模型在风险价值（VaR）预测中表现更好。

92，市场操纵是交易者用来改变金融证券价格的策略。一种操纵是基于通过使用多种交易策略买入或卖出资产的过程，其中欺骗是一种流行的策略，并被市场监管机构视为非法。已经开发了一些有前途的工

具来检测操纵，但仍然可以在市场中找到案例。在本文中，我们模拟了欺骗和 ping 交易，这两种策略在法律背景上有所不同，但却具有相同的市场操纵元素概念。我们在马尔可夫决策过程的完全和部分可观察性中使用强化学习框架，并通过找出鼓励交易者进行欺诈活动的原因来分析操纵者的潜在行为。这揭示了解决可能对市场监管机构有所帮助的问题的程序，因为我们的模型预测了欺骗者的活动。

93, 我们引入投机影响网络 (SIN) 来破解金融泡沫期间部门 (和/或公司) 之间的因果关系。SIN 分两步构建。首先, 我们开发了隐式马尔可夫模型 (HMM), 其在由几何布朗运动 (GBM) 表示的正常市场阶段和由随机超指数 Sornette-Andersen (2002) 气泡模型表示的气泡状态之间切换。HMM 的校准提供了每次给定安全性处于气泡状态的概率。有条件的是, 两个资产在泡沫制度中被限定, 然后我们使用转移熵来量化一个资产 i 的回报对另一个资产 j 的影响, 从中我们在证券中引入 SIN 的邻接矩阵。我们在 2005 - 2008 年期间将我们的技术应用于中国股市, 在此期间, 正常阶段之后是一场大规模修正的壮观泡沫。我们引入净投机影响强度 (NSII) 变量作为从 i 到 j 和从 j 到 i 的转移熵之间的差异, 它用于一系列排序有序回归以预测最大损失 ($\% \{MaxLoss\}$) 在坠机期间忍受了。发现影响其他行业的行业损失最大。通过使用涉及工业部门的转移熵解释金融机构的 $\% \{MaxLoss\}$ 而不是反之亦然, 可以获得明确的预测技巧。我们还表明, 根据中国市场数据校准的泡沫状态变量与市场表现出强烈的价格加

速, 然后是明显的价格体制变化的政权相吻合。我们的研究表明, SIN 可以为基于一般联系的系统性风险度量和早期预警指标的发展贡献出重要的技能。

94, 我们将亚洲期权(金融合约)的价格定义为非线性运营商的定点。近年来, 人们一直有兴趣将制度的变化纳入描述相关资产价格演变的参数, 即利率和波动率, 以模拟经济中突然的外生事件。亚洲期权特别有趣, 因为收益取决于综合资产价格。我们研究浮动和固定触击亚洲看涨期权的情况, 当资产遵循一个系统切换几何布朗运动时系数取决于马尔可夫链, 并进行算术平均。找到金融期权价值的典型方法是求解耦合偏微分方程的相关系统。或者, 我们提出了一个迭代过程, 该过程使用经典定点定理以几何速率收敛于该契约的值。

95, 本研究的目的是设计处理非常高维的百慕大式衍生生物的数值方法。对于这些问题, 我们很快就会发现我们最多只能希望价格范围, 我们只能使用模拟方法。我们使用 Barraquand 和 Martineau 的方法, 该方法建议将奖励过程视为马尔可夫, 然后使用它来生成停止规则, 从而产生价格的下限。使用 Rogers 和 Haugh & Kogan 引入的双重方法, 这种近似马尔可夫过程引导我们采用对冲策略和价格上限。该方法是通用的, 并在八个不同难度级别的例子中进行说明。运行时间对尺寸很不敏感。

96, 最近, 我们在 Hirz 等人 (2015) 中开发了一个新框架, 使用扩展的 CreditRisk + 方法模拟随机死亡率, 这与先前用于死亡率建模的传统时间序列方法非常不同。在这个框架中, 死亡是由共同的潜在随机风险因素驱动的, 这些因素可能被解释为死亡原因, 如肿瘤, 循环系统疾病或特殊成分。这些共同因素导致年金组合中的保单持有人之间或人口中的死亡事件之间的依赖性。该框架可用于根据死亡率预测构建生命表。此外, 该框架允许进行压力测试, 因此可以深入了解某些健康情景如何影响保险公司的年金支付。这种情况可能包括改善健康治疗或改善药物治疗。在本文中, 利用澳大利亚的公开数据, 我们使用马尔可夫链蒙特卡罗方法估计模型, 以确定所有年龄组的主要死亡原因, 包括 2031 年和 2051 年的长期预测。除了一般降低的死亡率, 死亡的比例因为某些原因在 1987 年至 2011 年期间发生了巨大的变化。我们的模型预测表明, 如果这些趋势持续存在, 那么未来将为 40 岁以上的人提供全新的死亡率图。肿瘤将成为总体死亡原因之一。此外, 由于精神和行为障碍导致的死亡很可能会激增, 而由于循环系统疾病导致的死亡往往会减少。由于老年人的精神和行为障碍导致的死亡人数的这种潜在增加将对社会系统产生巨大影响, 因为这些患者通常需要长期的老年护理。

97, 在本研究中, 我们针对非流动市场中不同市场微观结构的大额订单交易的离散时间最优清算问题制定了交易策略。在此框架中, 订单流可以被视为具有随机强度的点过程。我们将价格影响建模为自激动

态过程的线性函数。我们将清算问题制定为离散时间马尔可夫决策过程，其中状态过程是分段确定性马尔可夫过程（PDMP）。数值结果表明，最优交易策略取决于市场微观结构的特征。当没有超过特定值的订单时，最优解决方案会在限价订单簿的较低级别中提供要约，以防止未填写订单并面临最终库存成本。

98, 利用经合组织 - 世界贸易组织世界经济活动网络的新数据，我们构建了这个有向网络的谷歌矩阵 G 并进行详细分析。该网络包括 1995 年，2000 年，2005 年，2008 年，2009 年的 58 个国家和 37 个活动部门。基于马尔可夫链转型的 G 的建设以平等的民主理由对待所有国家，而活动部门的贡献与其交换成比例货币量。Google 矩阵分析可以获得各国和活动部门的可靠排名，并确定各国 CheiRank-PageRank 商业平衡对各国价格变动和劳动力成本的敏感度。我们证明，与通常的进出口分析相比，所开发的方法考虑了网络链接的多样性以及国家和活动部门之间的经济互动，因此更有效。我们的结果强调了 1995 年至 2009 年期间德国经济活动对其他国家影响的显著增加，同时欧元区的影响力下降。我们将结果与 UN COMTRADE 数据库对世界贸易网络的类似分析进行了比较。我们认为，网络结构的知识可以分析经济影响和传染传播对世界经济的影响

99, 群体遗传学和可交换性框架的数学方法提供了马尔可夫链模型，用于分析和解释股票市场的随机行为，特别解释市场形态形成，统计

均衡和市场权重的时间稳定性。

100, 在观察到的广义半马尔可夫制度中, 对制度转换的转换率的估计导致计算局部风险最小化期权价格。尽管转移率的估计阶跃函数具有一致收敛性, 但为了满足修正价格方程的经典解的存在性, 估计量近似于平滑函数类, 并且建立了收敛性。之后, 验证了修正价格方程解的存在性, 并证明了期权价格近似的逐点收敛性, 以回答其在金融中应用的易处理性。为了证明结果的一致性, 已经报道了数值实验

101, 我们提出了一个灵活的框架, 通过在欧洲欧式看涨期权, 看跌期权, 债券和远期合约中持有静态头寸来对冲或有债权。针对最优静态套期保值策略导出无模型表达式, 该策略最小化受成本约束影响的预期平方套期保值误差。最优对冲涉及计算一系列预期, 这些预期反映了或有债权和对冲资产之间的依赖关系。我们提供了一种在一般马尔可夫扩散市场中以分析方式逼近这些期望的通用方法。为了说明我们方法的多功能性, 我们提出了几个数值例子, 包括对冲资源相关资产上的对冲路径依赖期权和期权

102, 我们引入了一个加性随机死亡率模型, 该模型允许联合建模和预测潜在的死亡原因。可以自由选择死亡率趋势的参数族。随着模型设置变为高维, 马尔可夫链蒙特卡罗 (MCMC) 用于参数估计。然后, 我们将我们提出的模型链接到信用风险模型 CreditRisk + 的扩展版本。

这允许通过有效的数值稳定的 Panjer 递归算法进行精确的风险聚合，并在信用，人寿保险和年金组合中提供许多应用以得出 P^* 和 L 分布。此外，该模型允许精确（没有蒙特卡罗模拟误差）计算风险度量及其对 $P \& L$ 分布的模型参数的敏感性，例如风险值和预期不足。显示了许多示例，包括使用奥地利和澳大利亚数据对 Solvency II 下的部分内部模型的应用。

103，利用经合组织 - 世界贸易组织世界经济活动网络的新数据，我们构建了这个有向网络的谷歌矩阵 G 并进行详细分析。该网络包含 1995 年和 2008 年的 58 个国家和 37 个活动部门。基于马尔可夫链转型的 G 建设以平等的民主理由对待所有国家，而活动部门的贡献与其交换货币量成正比。Google 矩阵分析可以获得各国和活动部门的可靠排名，并确定各国 CheiRank-PageRank 商业平衡对各国价格变动和劳动力成本的敏感度。我们证明，与通常的进出口分析相比，所开发的方法考虑了网络链接的多样性以及国家和活动部门之间的经济互动，因此更有效。还分析了 G 的频谱和本征态与国家的特定活动社区有关。

104，我们开发了一个多曲线的术语结构设置，其中建模成分由马尔可夫过程的有理函数表达。我们校准 LIBOR 交换数据并显示合理的双因子对数正态多曲线模型足以使市场数据与准确性相匹配。我们阐明了在风险中性测量 Q 下开发和校准的模型与实际概率测度 P 下的

一致等价类之间的关系。一致的 P-定价模型用于计算可能需要遵守的风险敞口有监管义务。为了计算交易对手风险评估调整，例如 CVA，我们展示了如何推导出具有理性形式的正默认强度过程。我们通过将结果应用于基础掉期合约来充实我们的研究。

105，我们研究马尔可夫决策问题，其中代理人不知道将当前状态和行为映射到未来状态的转移概率函数。代理人首先相信一组可能的过渡函数，并使用贝叶斯规则更新信念。我们允许她被错误指定，因为真正的转移概率函数不在她之前的支持中。这个问题在许多经济环境中都很重要，但通常不适合研究人员进行分析。我们通过研究渐近行为来使问题易于处理。我们提出了一个均衡概念，并提供了表征稳态行为的条件。在问题是静态的特殊情况下，均衡与 Berk-Nash 均衡的单一代理版本一致（Esponda 和 Pouzo (2016)）。我们还讨论了由于可能产生负面价值而在动态设置中出现的细微问题。

106，在本文中，我们开发了一个马尔可夫模型，该模型处理电子订单的最佳报价所提供的数量。第一个限制的数量是一个随机过程，其路径会定期中断并重置为新值，可以通过差价内部提交的新限价单，也可以是删除第一个限额的市价单。使用应用概率结果杀死和复活马尔可夫过程，我们得出最佳报价提供的交易量的固定分布。所有提出的模型都是经验拟合和比较的，强调了所提出机制的重要性。

107, 使用联合国 COMTRADE 数据库\cite {comtrade}, 我们构建了联合国国家之间多产品世界贸易的 Google 矩阵 G , 并分析了 1962 年至 2010 年该网络上的贸易流量属性。这种基于马尔可夫链的结构, 对待所有国家在平等的民主基础上独立于其丰富程度, 同时考虑贸易产品对其贸易量的贡献。我们认为这项交易涉及多达 227 个国家的 61 种产品。得出的结果表明, 产品的贸易贡献是不对称的: 其中一些是出口导向的, 而另一些是进口导向的, 即使它们的贸易量排名在对全球各国平均后的出口和进口方面是对称的。Google 矩阵的构建允许调查贸易平衡对产品价格变化的敏感性, 例如: 石油和天然气, 考虑到贸易联系的世界连通性。基于 PageRank 和 CheiRank 概率的贸易平衡凸显了近年来中国和其他金砖国家在世界贸易中的主导作用。我们还表明, 具有大特征值的 G 的本征态选择特定的贸易社区。

108, 在本文中, 我们建立了双边马尔可夫订单模型的流体限制。我们的主要结果表明, 在一定的渐近规则中, 一对代表订单簿的“卖方形状”和“买方形状”的度量价值过程收敛于一对确定性的度量价值过程。感。我们还测试了我们对数据的流体近似。实证结果表明, 在某些时间段内, 流动性交易股票的近似值相当合理。

109, 本文开发了马尔可夫资产定价模型的谱理论, 其中潜在的经济不确定性遵循具有一般状态空间的连续时间马尔可夫过程 X (Borel 权利过程 (BRP)) 和随机贴现因子 (SDF) 是正半合数乘法 X 的函

数。关键结果是定价算子的正本征函数的唯一性定理，使得 X 在与该特征函数（递归本征函数）相关联的新概率测度下重复出现。作为经济应用，我们证明了 Hansen 和 Scheinkman（2009）对应于递归本征函数的马尔可夫 SDF 因子分解的唯一性，将 Ross（2015）的恢复定理从离散时间，有限状态不可约 Markov 链扩展到递归 BRP，并获得定价运算符的长期渐近渐近性。当资产定价模型由给定的风险中性概率与马尔可夫状态的短期函数一起指定时，我们给出了反复特征函数存在的充分条件，并在许多重要的金融模型中提供了明确的例子，包括仿射和二次曲线。扩散模型和具有跳跃的仿射模型。这些例子表明，除了固定唯一性之外，递归假设排除了不稳定的经济动态，例如渐近地进入无穷大的短期利率或没有逃避可能性的零下限陷阱。

110，我们探索鞅和凸二元技术来研究最优投资策略，从而最大限度地利用消费和终端财富的预期风险 - 逆效用。我们考虑一种由（多变量）标记点流程和所谓的非线性财富动态驱动的跳跃市场模型，该模型允许考虑宽松的假设，如差别借贷和贷款利率或现金抵押品和负利率的空头头寸。我们为具有对数和 CRRA 功率效用的代理存在最优策略提供了充分条件。我们在纯跳跃模型的情况下找到了最优值函数的闭合解，其中跳跃大小分布由双态马尔可夫链调制

111，最近，罗斯表明，有可能从风险中性措施中恢复客观指标。他的模型假设有一个有限状态马尔可夫过程 X 在离散时间内推动经济。

许多作者将他的模型扩展到具有状态空间 R 的马尔可夫扩散过程 X 的连续时间设置。不幸的是，连续时间模型未能从风险中性测量中恢复客观测量。我们确定在连续时间模型中可以进行哪些信息恢复。事实证明，如果 X 在客观测量下是经常性的，那么恢复是可能的。在本文中，当 X 在客观测量下是暂时的时，我们会调查哪些信息足以恢复。

112, 我们研究了市场微观结构模型中的最优高频交易问题，该模型旨在成为准确性和易处理性之间的良好折衷。股票价格由马尔可夫更新流程 (MRP) 驱动，而市场订单通过与股票价格本身相关的点流程到达限价订单簿。在这个框架中，我们可以重现逆向选择风险，以两种不同的形式出现：通常的一种是由于大的市场订单影响股票价格和惩罚代理商，而较弱的一种是由于市场秩序较小而降低了概率。有利可图的执行。我们通过该半马尔可夫模型中的随机控制技术解决了市场制造问题。在无风险规避的情况下，我们提供最优控制的显式公式，并将值函数表征为简单的线性 PDE。在一般情况下，我们根据先前的结果推导出最优控制和价值函数，并说明风险规避如何影响交易者策略及其预期收益。最后，通过使用扰动方法，根据两个简单的 PDE 明确计算小风险厌恶的近似最优控制，大大降低计算成本并启发结果的财务解释。

113, 本文致力于将 B 样条应用于波动率建模，特别是随机局部波动率模型中杠杆函数的校准以及针对稀疏期权数据校准的无套利隐含

波动率表面的参数化。我们使用通过包含具有无限支持的基函数而获得的经典 B 样条的扩展。我们首先回到形状约束 B 样条的应用来估计条件期望，不仅来自散点图而且来自给定的边际分布。应用是马尔可夫投影的随机局部波动率模型的蒙特卡罗校准。然后，我们提出了一种新技术，用于将隐含波动率曲面校准到稀疏期权数据。我们使用相对于粗略校准的基本模型的基础风险中性概率密度的 Radon-Nikodym 导数的 B 样条参数化。我们证明了这种方法提供了无套利的无套利隐含波动率曲面。最后，我们用 B 样条有限元绘制了 Galerkin 方法，得到了 Radon-Nikodym 导数满足的偏微分方程的解。

114, 我们严格介绍和处理连续双重拍卖的新多代理模型，或者换句话说订单簿 (OB)。它旨在解释影响市场的新信息到来时市场的集体行为。该模型的新颖特征是另外两个缓慢变化的参数，即所谓的情感函数。这些情绪函数衡量的是两组投资者的公平价格概念，即多头和空头。我们的模型为情感函数的时间演化指定了微分方程，并构成了一个展示长期相关性的非线性马尔可夫过程。我们解释了情感函数方程背后的直觉，并提出了数值模拟，表明我们模型的行为类似于真实市场的行为。我们还得到了模型的扩散极限，即具有可变波动率的 Ornstein-Uhlenbeck 型过程。波动率与多头和空头对证券公平价格的意见差异成正比。这篇论文与我们之前的工作是互补的，其中提供了数学证明。

115, 我们使用衍生工具价格来制定和分析反问题, 以获得波动率隐藏状态的隐含过滤密度。随机波动率是隐马尔可夫模型 (HMM) 中的未观察状态, 可以使用贝叶斯过滤进行跟踪。然而, 衍生数据可以被视为已经在市场中观察到的条件期望, 并且可以用作反问题的输入, 其解决方案是对波动率的隐含条件密度。我们的分析依赖于测量的鞅变化的规范, 我们将其称为 separability 。该规范具有乘法成分, 其行为类似于市场中波动率不确定性的风险溢价。当应用于 SPX 期权数据时, 估计的模型和隐含的密度产生与 VIX 波动率指数一致的方差交换率。隐含密度随着时间的推移相对稳定, 并且会因期权到期而获得一些月度影响, 表明由于期权的到期日, 波动率 - 不确定性溢价可能会出现周期性影响。