

项目名称：随机过程的若干理论及其在金融保险中的应用
申报山东省 2019 年度自然科学奖

一、提名者及提名意见：

提名者：由山东省教育厅

在多项国家自然科学基金、教育部科技重点项目、教育部博士点基金、香港特区政府基金和山东省自然科学基金资助完成的项目“随机过程的若干理论及其在金融保险中的应用”，对 Levy 过程、跳扩散过程、保险风险理论、空间点过程及多维 Johnson-Mehl 拼嵌的随机生长过程等进行了深入系统的研究，在理论和应用方面得到了一系列重要成果。8 篇代表性论文分别发表在 AAP, Bernoulli, JAP, IME, JCAM 等国外顶级学术期刊上,并被本领域的著名学者在学术专著及顶级学术刊物上引用并推广。其中 Scholar google 引用 407 次, SCI 引用 268 次, 一篇论文入选 ESI 高被引论文。该成果已达到国际先进水平,产生了重要的学术影响。

我单位认真审阅了该项目推荐书及其附件材料,确认真实有效,相关栏目符合填写要求。按照要求,我单位及完成人所在单位均进行公示,确认完成人、完成单位排序无异议。

根据山东省自然科学奖的申报条件,提名该项目为山东省自然科学奖二等奖。

二、项目简介：

本项目属于随机过程、应用概率与现代风险理论、金融等相交叉的一些核心和前沿课题。本项目对 Levy 过程、跳扩散过程、更新理论, 保险风险模型的破产理论, 优化分红策略以及 Johnson-Mehl 拼嵌 (tessellation) 的随机生长过程等方面进行了深入系统的研究, 取得了若干具有一定国际影响力的创新性成果。

具体地, 我们得到了如下结果:

利用谱负 Levy 过程的尺度函数的最新技术, 展开了谱负 Levy 过程关于某水平线的首次通过时间、最后未离时间及其有关量的联合分布的研究。首次借助谱负 Levy 过程理论研究了带扩散干扰的风险模型的资产为负的最后时刻及负资产持续时间等问题。

对于超指数跳跃扩散过程, 研究了单边、双边首出时的分布问题, 求出了首出时与 undershoot (overshoot) 的联合分布、极值的分布并给出在分红的精确表达式。

(3) 带瑕疵的更新方程在应用概率特别是风险理论中有重要作用。在本项目中, 我们通过引入重尾分布的尾等价性理论及随机游动的渐近理论, 突破了传统的条件限制, 得到了一般情况下解的渐近估计。

(4) 首次建立了构成 Johnson-Mehl 拼嵌的随机生长过程的极限分布理论及其胞腔总数的中心极限理论, 并发展出若干统计方法用以估计其密度函数。首次把旋转及变形引入于空间随机闭集的 Boolean 模型中, 并将其渐近方差技术性表达为矩阵空间中的泛函, 从而建立起连续性理论, 该结果从本质上刻画了 Johnson-Mehl 拼嵌的随机生长过程的极限过程, 极大地丰富了随机生长过程理论。在空间点过程中构造出一类最近邻拥抱图, 该图成为摄影机能见度、照明度和无线网络的覆盖范围的一个新型研究工具。

(5) 对带干扰的更新风险模型, 首次引入了一般的期望折扣罚金函数, 并得出了其无穷级数表达式及其渐近解。对于一个带分红策略的风险模型, 分红函数的期望或分布是最重要的问题。本项目对几类模型研究了上述问题, 并建立了障碍策略的最优性条件。

8 篇代表性论文被 SCI 期刊引用 268 次, Scholar google 引用 407 次 (见 <http://scholar.google.com.hk/>), 其中论文[2]是 ESI 高被引论文, 单篇 SCI 引用 50 次。有关成果被概率论、金融保险等领域的世界顶级学术期刊如《Probability Theory and Related Fields》、《The Annals of Probability》、《JCAM》、《IME》多次引用和推广, 部分结果被纳入世界领军人物 A.E. Kyprianou 及 Søren Asmussen & Hansjörg Albrecher 的专著:《Introductory Lectures on

Fluctuations of Levy Processes with Applications》(2006, Springer-Verlag)及《Ruin Probabilities》(2010, Second Edition, World Scientific).

三、客观评价:

客观评价一:

代表性论文[1]: Sung Nok Chiu (赵崇诺) Chuancun Yin(尹传存). Passage times for a spectrally negative Levy process with applications to risk theory. Bernoulli 11(3), 2005, 511-522.

代表性评价:

英国 Bath 大学的 Andreas E. Kyprianou 教授(国际上 Levy 过程领域的领军人物)在他的专著《Introductory lectures on fluctuations of Lévy processes with applications》(2006, 2014, Springer-Verlag)中采纳了论文[1]的部分内容(见附件)。该专著总结了近年来有关 Lévy processes 及其应用方面的最新研究成果,在其引用的 221 个参考文献中,代表性论文[1]是两篇被引用的华人作者的论文之一。

英国 Bath 大学的 Andreas E. Kyprianou 教授和荷兰的 Zbigniew Palmowski 教授在世界著名系列丛书 Séminaire de Probabilités XXXVIII (Lecture Notes in Mathematics Volume 1857, 2005, DOI:10.1007/b104072)中,对于代表性论文[1]关于谱负的 Levy 过程在金融数学、风险及排队论中的成功应用有如下评价(书中 P127):

“In recent years classical models in the theory of financial mathematics, risk and queues have been replaced by ones involving Markov modulation and general classes of Levy processes. In the latter case one particular class that has proved to be quite successful in this respect is spectrally negative Levy processes, on account of the robustness of their fluctuation theory; see for example Schmidli (1999), Asmussen (2000), Asmussen and Kella (2000), Asmussen et al. (2004), Avram et al. (2004), Kluppelberg et al. (2004), Pistorius (2003), Huzak et al. (2004), Chan (2005), Chiu and Yin (2005) and Dube et al. (2004) to name but a few.”

这里的文献 Chiu and Yin (2005)为代表作 [1]。

F. Hubalek and E. Kyprianou 在他们的综述文章“Old and New Examples of Scale Functions for Spectrally Negative Levy Processes”(Progress in Probability, Vol. 63, 119 – 145, 2010, Birkhauser

Verlag Basel/Switzerland)中有下面的描述:“The real value of scale functions as a class with which one may express a whole range of fluctuation identities for spectrally negative Levy processes became apparent in the work of [14, 15], of [8, 9] and an ensemble of subsequent articles; see for example [44], [5], [48, 49, 50, 51], [39], [20] and [21, 22, 24]. Moreover with the advent of these new fluctuation identities and a better understanding of the analytical properties of the function $W(q)$ came the possibility of revisiting and solving a number of classical and modern

problems from applied probability, but now with the underlying source of randomness being a general spectrally negative Levy processes. For example, in the theory of optimal stopping [2, 4, 5] and [38], in the theory of optimal control [6] and [46], in the theory of queuing and storage models [7] and [25], in the theory of branching processes [11] and [45], in the theory of insurance risk and ruin [18, 20, 32, 33, 40, 42, 46, 52], in the theory of credit risk [29] and [43] and in the theory of fragmentation [37]. “这里的文献[18]为代表作[1]。

E. J. Baurdoux (London School of Economics) 在代表作[1]的基础上研究了谱负的 Levy 过程在指数时间前的末离时 (Last exit before an exponential time for spectrally negative Levy processes, J. Appl. Probab. 46, 542-558 (2009)), 他在摘要中写到:“Chiu and Yin (2005) found

the Laplace transform of the last time a spectrally negative Levy process, which drifts to ∞ , is below some level. The main motivation for the study of this random time stems from risk theory: what is the last time the risk process, modeled by a spectrally negative Levy process drifting to ∞ , is 0? In this paper we extend the result of Chiu and Yin, and derive the Laplace transform of the last time, before an independent, exponentially distributed time,.....” .

客观评价二:

代表性论文[2]: Chuancun Yin(尹传存), Ying Shen, Yuzhen Wen. Exit problems for jump processes with applications to dividend problems. Journal of Computational and Applied Mathematics 245 (2013) 30-52.

代表性评价:

北京大学吴岚教授等人在研究超指数跳扩散过程的停留时间及阶梯期权时,用了近 2 个页面的篇幅引用了[2]中的结果, 见论文《Occupation times of hyper-exponential jump diffusion processes with application to price step options》(Journal of Computational and Applied Mathematics, 2014) 中的引理 2 及引理 3。

北京大学吴岚教授等人在研究具有门槛费用策略的权益挂钩的死亡抚恤金定价时,用了半个页面的篇幅引用了[2]中的结果, 见论文《Valuing equity-linked death benefits with a threshold expense

strategy》(Insurance: Mathematics and Economics, 2015) 中的引理 3.2 及引理 3.4。

在研究依赖状态的收费结构下,可变年金费用的扣除时间问题时,北京大学吴岚教授等人用了半个多页面的篇幅引用了[2]中的结果, 见论文《The time of deducting fees for variable annuities under the state-dependent fee structure》(Insurance: Mathematics and Economics, 2015) 中的引理 3.3, 注记 3.1 及引理 3.4。(Insurance: Mathematics and Economics 是精算领域最高期刊)。

瑞士学者 Markus Leippold 与 Nikola Vasiljevic 在美式期权的早期行权溢价的研究中,用我们[2]的结果,解决了金融学中的一个重要的问题:能否把跳跃和扩散的作用分开吗?参见《Pricing and disentanglement of American puts in the hyper-exponential jump-diffusion model》(Journal of Banking and Finance 77 (2017))。(Journal of Banking & Finance 是学术界公认的金融领域的高质量期刊)。

四、代表性论文专著目录:

[1] Sung Nok Chiu (赵崇诺) Chuancun Yin(尹传存). Passage times for a spectrally negative Levy process with applications to risk theory. Bernoulli 11(3), 2005, 511-522.

[2] Chuancun Yin(尹传存), Ying Shen, Yuzhen Wen. Exit problems for jump processes with applications to dividend problems. Journal of Computational and Applied Mathematics 245 (2013) 30-52.

[3] Sung Nok Chiu (赵崇诺), M P Quine. Central limit theory for the number of seeds in a growth model in R^d with inhomogeneous Poisson Arrivals. The Annals of Applied Probability 7 (1997) 802-814.

[4] Chuancun Yin(尹传存), Junsheng Zhao. Nonexponential asymptotics for the solutions of renewal equations, with applications. Journal of Applied Probability 43 (2006) 815-824.

[5] S.N. Chiu (赵崇诺), C.C. Yin(尹传存). The time of ruin, the surplus prior to ruin and the deficit at ruin for the classical risk process perturbed by diffusion. Insurance: Mathematics and Economics 33 (2003) 59-66.

[6] Chuancun Yin(尹传存), Chunwei Wang. The Perturbed Compound Poisson Risk Process with Investment and Debit Interest. Methodology and Computing in Applied Probability (2010) 12:391 – 413.

[7] Heli Gao(高合理) Chuancun Yin(尹传存). The perturbed Sparre Andersen model with a threshold dividend strategy. Journal of Computational and Applied Mathematics 220 (2008) 394 – 408.

[8] Chuancun Yin(尹传存), Kam Chuen Yuen. Optimality of the threshold dividend strategy for the compound Poisson model. Statistics and Probability Letters 81 (2011) 1841 – 1846.

五、主要完成人情况:

第一完成人: 尹传存, 教授, 博士生导师, 曲阜师范大学

对于超指数跳跃扩散过程, 研究了单边、双边首出时的分布问题, 求出了首出时与 undershoot (overshoot) 的联合分布、极值的分布并给出在分红的精确表达式。

2. 对于带扩散干扰的经典风险模型定义了一般的期望折扣罚金函数, 得出了其无穷级数的表达式。建立了一类风险模型的最优分红策略。

3. 首次得出了谱负 Levy 过程末离时的分布, 首次研究了保险公司最后破产的时间分布、负资产持续时间等一系列问题, 建立了两者间的桥梁。

4. 当 Cramer 条件不满足的情况下, 关键更新定理失效。本项目利用重尾分布的尾等价理论及随机游动的渐近理论得到了一般情况下的解的估计, 并将结果应用到人口统计学、期权定价的估计。

5. 建立了具有贷款与投资的带随机干扰的 Poisson 风险模型及其最优分红问题。

在国内外重要学术期刊上发表论文 138 篇, Scholar google 总引用 832 次(见 <http://scholar.google.com.hk/>), CNKI 总引用 267 次(见 <http://acad.cnki.net/>), SCI 期刊总引用 575 次。

第二完成人: Sung Nok Chiu(赵崇诺), 教授, 博士生导师, 香港浸会大学

1. 对构成 Johnson-Mehl 拼嵌的随机(生长)过程定义了完全拼嵌时间, 推导出其极限分布, 亦建立起其胞腔总数的中心极限理论, 并发展出若干统计方法用以估计其密度函数。

2. 首次把旋转及变形引入于空间随机闭集的 Boolean 模型中, 将中空地的渐近方差表达为矩阵空间中的泛函, 并建立起其连续性。

3. 在空间点过程中构造出一类随机图, 计算出其典型点的度的分布。此图后被其它学者称为最近邻拥抱图, 并应用于摄影机能见度及照明度, 和无线网络的覆盖范围的研究。

4. 对于 Levy 过程及带扩散干扰的经典风险模型研究了保险公司最后破产的时间分布、负资产持续时间及破产时赤字等一系列精算量的分布问题。

出版专著 2 部:《Spatial tessellations: concepts and applications of Voronoi diagrams》(John Wiley & Sons Ltd),

《Stochastic Geometry and its Applications》, John Wiley & Sons Ltd), 在国外重要学术期刊上发表论文 50 篇. Scholar google 总引用 13954 次(见 <http://scholar.google.com.hk/>), 其中专著引用 12805 次, 论文引用 1149 次。

第三完成人: 高合理, 副教授, 滨州学院

1. 解决了一个索赔时间间隔具有广义 Erlang(n) 分布的带扩散扰动的 Sparre-Andersen 模型的阈值分红策略。

六、完成人合作情况说明

本项目由曲阜师范大学统计学院尹传存教授，香港浸会大学数学系赵崇诺教授，滨州学院理学院高合理副教授合作完成。尹传存教授是香港浸会大学的博士生，指导教师为赵崇诺教授，已联合发表论文 10 篇；高合理副教授是曲阜师范大学的硕士研究生，指导教师为尹传存教授，已联合发表论文 2 篇。