

高等院校金融数学丛书



非寿险索赔准备金评估 统计模型与方法

段白鸽 著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

高等院校金融数学丛书



非寿险索赔准备金评估 统计模型与方法

段白鸽 著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

非寿险索赔准备金评估: 统计模型与方法 / 段白鸽著. —北京: 北京大学出版社, 2017.12

(高等院校金融数学丛书)

ISBN 978-7-301-29052-1

I. ①非… II. ①段… III. ①财产保险—索赔—准备金—评估方法—统计模型—中国
IV. ①F842.65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 306813 号

- | | |
|-------|--|
| 书 名 | 非寿险索赔准备金评估: 统计模型与方法
FEISHOUXIAN SUOPEI ZHUNBEIJIN PINGGU: TONGJI MOXING YU FANGFA |
| 著作责任者 | 段白鸽 著 |
| 责任编辑 | 曾婉婷 |
| 标准书号 | ISBN 978-7-301-29052-1 |
| 出版发行 | 北京大学出版社 |
| 地 址 | 北京市海淀区成府路 205 号 100871 |
| 网 址 | http://www.pup.cn 新浪微博: @北京大学出版社 |
| 电子信箱 | zpup@pup.cn |
| 电 话 | 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62767347 |
| 印 刷 者 | 北京宏伟双华印刷有限公司 |
| 经 销 者 | 新华书店 |
| | 889 毫米 × 1194 毫米 16 开本 17.75 印张 370 千字 |
| | 2017 年 12 月第 1 版 2017 年 12 月第 1 次印刷 |
| 定 价 | 58.00 元 |



未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: ld@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题, 请与出版部联系, 电话: 010-62756370

内 容 简 介

本书在吸取索赔准备金评估经典著作的基础上,提出一元评估随机性方法的三个层次(即无分布假设、有分布假设、在分层结构下考虑各种分布假设),并将其扩展到两类多元评估随机性方法中.本书叙述遵循由简单到复杂的写作思路,在结构安排上做到循序渐进、由浅入深、深入浅出.全书内容共分七章:第一章为引言,第二至四章介绍一元评估随机性方法;第五、六章介绍两类多元评估随机性方法;第七章探讨各种评估方法的稳健推断工具.

本书特色在于:第一,涵盖了一元和两类多元评估方法;第二,将一元和两类多元评估的波动性度量从二阶矩 MSEP 估计提升到预测分布模拟,拓展了准备金评估的不确定性风险度量研究;第三,各章内容涉及复杂的数值计算,故每章给出了大量的数值实例,便于读者理解和参考;第四,使用 R 软件和 WinBUGS 软件对各种评估方法进行编程实现,算法极具灵活性和可移植性(对相应的算法程序感兴趣的读者可与作者联系: duanbaige@fudan.edu.cn).

本书适用于高校保险精算专业研究生教学,也是精算从业人员掌握准备金评估技术的重要参考书.

前 言

索赔准备金是非寿险公司资产负债表中份额最大的负债之一. 在确定非寿险公司经营业绩和偿付能力方面, 都依赖于索赔准备金的准确评估. 一方面, 索赔准备金评估的准确性是真实反映非寿险公司经营成果的基础, 也是非寿险公司在经营管理中进行科学决策的依据; 另一方面, 索赔准备金的充足性对非寿险公司的偿付能力和风险状况会产生重大影响, 也是监管部门进行偿付能力监管的基本要求. 因此, 科学合理评估索赔准备金对非寿险公司经营和监管意义重大.

在国际非寿险精算领域中, 存在聚合索赔模型和个体索赔模型两类索赔准备金评估模型. 目前聚合索赔模型在精算理论和实务中仍处于主流地位. 聚合索赔模型中对索赔准备金评估已不再局限于点估计, 开始逐渐涉及波动性度量, 如预测均方误差(MSEP)估计、区间估计等概念, 而为了从理论上阐述这些概念, 就需要深入研究索赔准备金评估的随机性模型与方法. 2008年, 瑞士苏黎世联邦理工学院(ETHZ)数学系的 Wüthrich 和 Merz 教授出版了国际上第一部系统介绍索赔准备金评估随机性方法的著作 *Stochastic Claims Reserving Methods in Insurance*. 该著作针对一些经典索赔准备金评估随机性方法, 详细推导了索赔准备金估计和 MSEP 估计的解析形式, 并附有大量数值实例. 这是一部划时代著作, 得到著名精算专家 Bühlmann 的高度评价. 国内第一部系统介绍索赔准备金评估随机性方法的著作是作者的博士生导师张连增教授在 2008 年出版的专著《未决赔款准备金评估的随机性模型与方法》. 在两部著作基础上, 结合索赔准备金评估新进展, 张连增和作者于 2013 年出版了新著作《非寿险索赔准备金评估随机性方法》.

鉴于索赔准备金评估的随机性方法相对来说更复杂, 目前国内外仅有的三部著作都是在聚合索赔模型框架下研究索赔准备金评估的各种随机性模型与方法. 总结来看, 已有的三部著作主要集中于一元索赔准备金评估的各种随机性方法, 且国内两部著作尚未涉足当前国际精算准备金评估领域的前沿与热点, 即考虑相依结构的两类多元索赔准备金评估随机性方法, 它们分别将基于已决赔款与已报案赔款之间的相关性和基于不同业务线之间的相依性体现在索赔准备金评估的分析框架中. 同时, 在索赔准备金波动性度量上, 三部著作更多关注于 MSEP 估计, 鲜少涉及预测分布的模拟问题. 而预测分布作为更完整的波动性度量, 包含了更充分的信息, 不但可以得到索赔准备金的均值、标准差、分位数等相关分布特征, 合理度量风险边际, 对索赔准备金负债评估的准确性和充足性具有重要的研究价值, 而

且在预测分布这个统一框架下可以计算各种风险测度,如在险价值(VaR)、尾部在险价值(TVaR)、预期短缺(ES)、条件尾部期望(CTE)等,这在新的偿付能力监管中也具有尤为突出的作用。

伴随着2016年中国第二代偿付能力监管制度体系,即中国风险导向的偿付能力体系(China Risk Oriented Solvency System, C-ROSS)的正式实施,非寿险精算实务中对索赔准备金评估随机性方法的技术需求日益凸显,出版一部系统介绍一元和多元索赔准备金评估随机性方法的著作具有重要的理论意义和应用价值。鉴于此,本书沿用聚合索赔模型的分析框架,结合多年的前期研究积累及对前沿方向的把握,逐渐凝练并提出一元索赔准备金评估随机性方法的三个层次(即无分布假设、有分布假设、在分层结构下考虑各种分布假设),并将其扩展到上述两类多元索赔准备金评估随机性方法中,基于更严格的统计模型与方法视角,将一元和两类多元索赔准备金评估的波动性度量从二阶矩MSEP估计提升到预测分布的模拟问题。这些探索研究必将进一步拓展索赔准备金评估不确定性风险度量的研究,推动精算学中定量风险管理技术的发展。

全书共分七章。第一章为引言。第二至四章介绍考虑单个流量三角形的一元索赔准备金评估随机性模型与方法,包括无分布假设的随机性链梯法、有分布假设的随机性方法、考虑流量三角形数据纵向特征的分层模型。第五、六章介绍存在相依结构的多个流量三角形的两类多元索赔准备金评估随机性模型与方法:一类是基于已决赔款和已报案赔款相关性的多元索赔准备金评估;另一类是基于不同业务线相依性的多元索赔准备金评估。第二至六章中假设聚合流量三角形数据正确,不存在离群的异常赔款额。第七章针对流量三角形中可能存在的离群值,研究各种评估方法的稳健推断工具,并将基于数据和模型的稳健性问题进一步提升为索赔准备金评估的统计诊断与检验和模型选择问题。

需要指出,本书各章内容涉及大量复杂的数值计算,每章都附有大量数值实例,这很大程度上归功于当前日益先进的计算机技术和统计软件的支持。R软件是当前国际上日益流行的免费开发软件,它有非常多的软件包。本书使用R软件对各种索赔准备金评估随机性模型与方法进行了完整的编程实现,所有算法模块化且具有较高的灵活性和可移植性。目前,R软件在金融工程、定量风险管理、统计与精算学中的应用日益广泛,在国际精算学术界应用R软件解决精算数值问题也已经成为一种发展趋势。另外,本书部分章节也使用了专门用于贝叶斯统计分析的WinBUGS软件进行算法实现。

综上所述,本书主要贡献在于,在国内非寿险精算领域首次提出多元索赔准备金评估方法、一元和多元框架下索赔准备金评估的分层模型、考虑离群值的稳健评估方法以及各种评估模型的统计诊断与检验,并对这四个专题提出了一些有待深入探索的新思路,尤其在采用严格的统计模型与方法模拟索赔准备金的预测分布方面,结合非寿险精算中普遍存在的具有层次性及相关性的数据结构,以分层模型全新视角研究索赔准备金评估方法,将贝叶斯方

法、随机模拟、信度理论、数据分析技术、科学计算融合其中,这对提升我国非寿险精算学科的统计分析体系,促进我国非寿险精算学科发展具有重要的科学研究意义,也有望为国内非寿险公司的随机性索赔准备金评估提供理论支持和实务参考。

本书的出版得到了国家自然科学基金青年项目“基于相依结构的多元索赔准备金评估随机性方法研究”(No. 71401041)和复旦大学理论经济学 I 类高峰计划项目(高峰学术专著系列)“非寿险随机性索赔准备金评估统计模型与方法”的资助,在此表示衷心的感谢。

段白鸽
2017 年 6 月

目 录

第一章 引 言	(1)
第一节 索赔准备金评估简介	(1)
1.1.1 评估背景	(1)
1.1.2 评估数据结构	(1)
1.1.3 评估分类	(2)
第二节 索赔准备金评估方法	(2)
1.2.1 评估方法的发展历程	(2)
1.2.2 一元评估随机性方法	(3)
1.2.3 多元评估随机性方法	(4)
1.2.4 本书内容结构	(5)
第二章 无分布假设的随机性链梯法	(7)
第一节 无分布假设的 Mack 模型	(7)
2.1.1 Mack 模型	(7)
2.1.2 Mack 模型中条件 MSE _P 的定义和估计	(12)
2.1.3 数值实例	(17)
第二节 非参数 Bootstrap 方法	(20)
2.2.1 基于非参数 Bootstrap 方法的随机性链梯法	(20)
2.2.2 非参数 Bootstrap 方法中 MSE _P 的定义和估计	(22)
2.2.3 数值实例	(23)
第三节 本章小结	(30)
第三章 随机性索赔准备金评估的分布模型	(32)
第一节 广义线性模型	(32)
3.1.1 GLM 的基本框架	(32)
3.1.2 基于过度分散泊松模型的随机性链梯法	(34)
3.1.3 数值实例	(40)
第二节 对数正态模型	(43)
3.2.1 对数正态模型	(43)
3.2.2 在对数正态模型中应用 Bootstrap 方法模拟预测分布	(44)

3.2.3 数值实例	(46)
第三节 索赔进展过程的曲线拟合模型	(51)
3.3.1 索赔进展过程建模	(51)
3.3.2 索赔准备金的估计和波动性度量	(55)
3.3.3 数值实例	(59)
3.3.4 主要结论	(70)
第四节 本章小结	(72)
第四章 索赔准备金评估的分层模型	(73)
第一节 分层模型	(73)
4.1.1 分层模型的基本思想	(73)
4.1.2 分层模型的模型结构	(73)
第二节 索赔准备金评估的非线性分层模型	(78)
4.2.1 非线性分层增长曲线模型	(78)
4.2.2 数值实例	(81)
4.2.3 主要结论与建议	(93)
第三节 索赔准备金评估的贝叶斯非线性分层模型	(95)
4.3.1 贝叶斯建模分析的基本框架	(96)
4.3.2 贝叶斯非线性分层模型	(103)
4.3.3 数值实例	(105)
4.3.4 主要结论与建议	(112)
第四节 本章小结	(113)
第五章 考虑不同类型赔款数据相关性的多元索赔准备金评估方法	(115)
第一节 随机性准备金进展法	(115)
5.1.1 准备金进展法	(115)
5.1.2 基于 Bootstrap 方法的随机性准备金进展法	(117)
5.1.3 数值实例	(120)
第二节 随机性 Munich 链梯法	(122)
5.2.1 链梯法的缺陷及改进的思路	(122)
5.2.2 Munich 链梯法	(125)
5.2.3 基于 Bootstrap 方法的随机性 Munich 链梯法	(131)
5.2.4 数值实例	(136)
第三节 考虑不同类型赔款数据相关性的随机性准备金进展法	(142)
5.3.1 准备金进展法的不足及改进	(142)
5.3.2 考虑不同类型赔款数据相关性的随机性准备金进展法	(145)

5.3.3 数值实例	(147)
第四节 本章小结	(161)
第六章 基于不同业务线相依性的多元索赔准备金评估方法	(162)
第一节 一般的多元框架	(162)
第二节 多元链梯法	(163)
6.2.1 多元 CL 模型	(163)
6.2.2 多元 CL 模型中 MSE _P 的定义和估计	(167)
6.2.3 数值实例	(181)
第三节 多元可加损失准备金评估方法	(189)
6.3.1 多元 ALR 模型	(190)
6.3.2 多元 ALR 模型中条件 MSE _P 的估计	(195)
6.3.3 数值实例	(200)
第四节 多元 CL 和 ALR 混合方法	(206)
6.4.1 多元 CL 和 ALR 混合模型	(207)
6.4.2 多元 CL 和 ALR 混合模型中 MSE _P 的估计	(210)
6.4.3 数值实例	(218)
第五节 多元索赔准备金评估的贝叶斯非线性分层模型	(223)
6.5.1 贝叶斯分层建模方法的引入	(223)
6.5.2 贝叶斯非线性分层模型	(224)
6.5.3 数值实例	(227)
第六节 本章小结	(231)
第七章 稳健索赔准备金评估方法	(233)
第一节 考虑离群值的稳健链梯法	(233)
7.1.1 链梯法	(233)
7.1.2 稳健链梯法	(236)
7.1.3 数值实例	(243)
7.1.4 主要结论与建议	(251)
第二节 考虑离群值的稳健广义线性模型	(251)
7.2.1 GLM 的稳健估计与索赔准备金评估	(251)
7.2.2 基于 GLM 和 RGLM 的索赔准备金评估	(252)
7.2.3 数值实例	(254)
第三节 本章小结	(258)
参考文献	(260)

附录	(264)
附录 A 逆向计算与过度分散泊松模型和链梯法的一致性	(264)
附录 B 考虑分数进展年和分数进展月的不同暴露期调整	(264)
附录 C 关于对数似然函数的导数计算	(266)
附录 D Wishart 分布	(269)
附录 E 残差的标准差为小于 1 的常数的证明	(271)

第一章 引言

第一节 索赔准备金评估简介

1.1.1 评估背景

保险行业的显著特点是负债经营。保险公司在出售保险产品时并不知道产品的真实成本,按照会计核算的权责发生制原则,一般需要在每个会计年末提取各种责任准备金以应对未来负债。责任准备金可理解为:相对于某一评估时点,保险公司应承担的保单责任大小的一种估计。一般选取会计年末作为评估时点。

特别地,对于非寿险公司来说,在评估时点,需要根据保单期限内保险事故是否已经发生,将保险责任分为未到期责任和未决赔款责任两部分。未到期责任,是指保单期限尚未满期,仍有可能发生保险事故的责任,需要提取未到期责任准备金;未决赔款责任,是指保单期限内已发生保险事故但尚未结案的责任,需要提取未决赔款责任准备金(Outstanding Claims Liabilities Reserves),也称索赔准备金^①(Claims Reserves)或损失准备金(Loss Reserves)。通常,未到期责任准备金评估较为简单直接,而索赔准备金评估在理论方法和实务操作中都存在很多复杂的技术难点。由于存在报案延迟、领取赔偿金的司法程序等原因,使得责任保险等非寿险业务具有长尾索赔性质,这就为索赔准备金评估提出了一些独特的分析挑战,也是非寿险精算技术得以存在的主要原因之一。

1.1.2 评估数据结构

索赔准备金评估存在两类数据结构:一类是基于流量三角形的聚合数据结构;另一类是基于个体索赔的微观数据结构。在聚合数据结构下,可以仅考虑单个流量三角形,如单个累计赔款或增量赔款流量三角形;也可以同时考虑存在相依结构的多个流量三角形,如同一家公司整体业务层面的已决赔款与已报案赔款流量三角形,同一家公司同种业务不同赔付类型的流量三角形,不同公司感兴趣的同种产品、业务或险种的流量三角形。

^① 目前国内学者和保险业内人士大多将“索赔准备金”称为“未决赔款准备金”。随着非寿险准备金评估随机性方法的发展,大多数国外文献已直接采用“Claims Reserves”这一专业术语。为了与国际精算前沿研究保持一致,本书使用“索赔准备金”这一专业术语。

为了区分两类数据结构下的评估方法, Taylor 等(2003)将相应的评估模型分为聚合索赔模型(Aggregate Claims Models)和个体索赔模型(Individual Claims Models)两大类. 目前, 聚合索赔模型在精算理论和实务中仍处于主流地位. 本书沿用聚合索赔模型的分析框架.

1.1.3 评估分类

如图 1.1 所示, 在聚合数据结构下, 单个流量三角形对应于一元索赔准备金评估, 多个流量三角形对应于多元索赔准备金评估, 其中多元索赔准备金评估可以考虑不同流量三角形之间存在的相依结构, 进一步可以细分为基于不同类型赔款数据(如已决赔款和已报案赔款)相关性的多元索赔准备金评估和基于不同业务线相依性的多元索赔准备金评估两类.

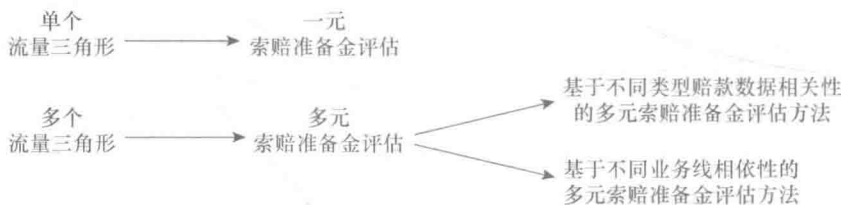


图 1.1 聚合数据结构下索赔准备金评估的分类

第二节 索赔准备金评估方法

1.2.1 评估方法的发展历程

从国际精算实务的历史发展来看, 很多年以来一直沿用传统的确定性方法评估索赔准备金. 由确定性方法只能得到索赔准备金的点估计(即均值估计), 无法度量波动性. 在总结了过去多年以来保险公司偿付能力不足的教训之后, 国际精算师协会对索赔准备金评估的不确定性风险逐渐予以关注. 目前, 对索赔准备金评估已不再局限于孤立的点估计, 开始逐渐涉及区间估计的概念, 而为了从理论上阐述这些概念, 就需要深入研究索赔准备金评估的各种随机性模型与方法. 图 1.2 给出了索赔准备金评估方法的发展历程.



图 1.2 索赔准备金评估方法的发展历程

总体来看,关于索赔准备金评估随机性方法的较早文献出现于 20 世纪 80 年代,早期关注的焦点是采用预测均方误差(Mean Square Error of Prediction, MSEP)描述索赔准备金估计的波动性.2002 年,England 和 Verrall 首次提出了需要考虑索赔准备金的预测分布问题.2005 年,美国非寿险精算协会(CAS)开展了量化索赔准备金估计波动性的研究工作,随后涌现出大量采用严格统计模型与方法评估索赔准备金,度量索赔准备金波动性以及模拟索赔准备金预测分布的研究文献.

特别指出,Wüthrich 和 Merz(2008)出版了国际上第一部系统介绍索赔准备金评估随机性方法的著作.该著作针对一些经典的索赔准备金评估方法,详细推导了索赔准备金的均值估计和 MSEP 估计的解析形式,并附有大量数值实例.这是一部划时代著作,得到著名精算专家 Bühlmann 的高度评价.在国内,第一部系统介绍准备金评估随机性方法的著作是作者的博士生导师张连增教授在 2008 年出版的著作《未决赔款准备金评估的随机性模型与方法》.在这两部著作基础上,结合索赔准备金评估领域的新进展,张连增和作者于 2013 年出版了新著作《非寿险索赔准备金评估随机性方法》.这两部国内著作基本涵盖了当前国际精算研究中一元索赔准备金评估随机性方法的各个分支.

目前,关于一元索赔准备金评估已有大量的研究文献,作为最新发展趋势,考虑相依结构的多元索赔准备金评估已经引起精算学术界的广泛关注.无论是一元还是多元索赔准备金评估,都经历了由确定性方法向随机性方法转变的过程.

1.2.2 一元评估随机性方法

大多数确定性方法出现在一元索赔准备金评估,主要包括:链梯(CL)法、案均赔款法、准备金进展法、赔付率法、B-F 法^①等,其中准备金进展法同时考虑了已决赔款与已报案赔款,已具备多元评估方法的雏形.确定性方法无法度量波动性,需要引入随机性方法.目前,随机性方法已有长足发展,其文献汇总见德国 TU Dresden 大学 Schmidt 教授的主页^②,最新进展见 ETHZ 数学系 Wüthrich 教授的主页^③.

一元索赔准备金评估随机性方法可分为三个层次.第一个层次是无分布假设的随机性链梯法,该方法直接对传统链梯法建立随机模型,没有赔款额分布假设,主要包括 Mack 模型和非参数 Bootstrap 方法.在无分布假设下,一般仅可以估计均值和 MSEP,无法模拟预测分布,而预测分布包含了更完整的分布信息,可以度量风险边际及任意感兴趣的风险测度.为此,需要引入第二个层次.

① B-F 法是一种将赔付率法和链梯法相结合的方法.

② https://www.math.tu-dresden.de/sto/schmidt/publications_online.html. A Bibliography on Loss Reserving.

③ <https://people.math.ethz.ch/~wueth/papers3.html>.

第二个层次是有分布假设的随机性方法. 常见分布模型主要包括: 对数正态模型、广义线性模型(Generalized Linear Models, GLM)及其扩展模型、索赔进展过程曲线拟合模型(非线性模型)、贝叶斯模型等. 显然, 在有分布假设下, 不但可以得到索赔准备金的均值估计和 MSE 估计, 而且可以模拟索赔准备金的预测分布.

作为最新进展, 第三个层次是在分层结构下考虑各种分布假设的随机性方法. 常见的分层模型主要包括: 线性分层模型(Hierarchical Linear Models, HLM)、广义线性分层模型(Hierarchical Generalized Linear Models, HGLM)、非线性分层模型及贝叶斯框架下的分层模型. 之所以要引入分层结构下的分布模型, 是因为在分层结构下研究索赔准备金评估问题具有很多优势: 第一, 在分布模型假设下, 往往存在各种不同的模型假设. 以流行的 GLM 为例, 在 GLM 中要求增量赔款满足独立性假设, 而独立性假设一般很难采用统计方法进行检验. 而在分层模型中, 可以自然地考虑累计赔款反复观测值的纵向特征, 合理避免了考虑增量赔款的独立性假设. 第二, 与以往的分布模型相比, 分层模型可以避免模型参数过度化问题. 在索赔准备金评估中, 相对于已知的上三角赔款样本数据来说, 各种分布模型中需要估计的参数个数往往过多. 第三, 与以往的分布模型相比, 分层模型可以自然地考虑不同事故年赔付情况的异质性. 第四, 在分层结构下, 结合各种分布假设, 同样可以估计均值和 MSE, 并模拟预测分布. 目前, 分层模型与贝叶斯方法相结合的文献已经出现, 如 HGLM 与贝叶斯方法相结合的较新文献见 Gigante 等(2013). 这源于在贝叶斯框架下, 可以内嵌式地应用马尔科夫蒙特卡洛(MCMC)方法实施贝叶斯推断, 进而模拟预测分布.

1.2.3 多元评估随机性方法

在聚合数据结构下, 同时研究多个流量三角形的主要优势在于: 多个流量三角形之间的相依性产生的效应对索赔准备金的均值估计和波动性度量(MSE、预测分布)具有重要意义. 如前所述, 在多元框架下, 评估方法可以细分为基于不同类型赔款数据相关性和基于不同业务线相依性两大类.

一、考虑不同类型赔款数据相关性的多元评估随机性方法

研究基于不同类型赔款数据相关性的多元索赔准备金评估方法的意义在于: 一方面, 在实务操作中, 基于已决赔款和已报案赔款数据估计的索赔准备金往往存在显著差异, 会导致精算师对两类赔款数据的选择产生困惑. 另一方面, 由于已决赔款包含于已报案赔款中, 而已报案赔款又包含了额外的信息, 这将影响未来的已决赔款, 故这两类赔款数据本身存在相关性. 然而, 针对单个流量三角形的一元索赔准备金评估方法却无法考虑这种相关性.

这类多元评估随机性方法主要包括: 考虑已决赔款与已报案赔款相关性的随机性准备金进展法、考虑已决赔款与已报案赔款相关性的随机性 Munich 链梯法、考虑已决赔款与已报案赔款的互补损失率(Complementary Loss Ratio, CLR)方法、已决-已报案链(Paid-incurred Chain, PIC)方法、贝叶斯 PIC 方法.

二、基于不同业务线相依性的多元评估随机性方法

研究基于不同业务线相依性的多元索赔准备金评估方法的意义在于这种多元评估方法具有两大优势：一是可以解决相依性问题；二是可以解决可加性问题。就相依性问题而言，这种方法允许同时研究各个子业务，从总体业务的角度来讲，不但可以合理区分小额或大额子业务的索赔行为，而且可以处理不同业务线流量三角形的相依性问题，如车辆责任保险和一般责任保险中的人身伤害。此外，同时研究各个子业务也为估计总体业务的 MSEP 及模拟总体业务的预测分布提供了一种统一方式。就可加性问题而言，一元索赔准备金评估都是基于合并业务流量三角形来估计加总索赔准备金和相应的不确定性的。然而，正如 Ajne (1994), Klemmt (2004) 所述，当子业务流量三角形满足一元模型假设，而加总业务流量三角形并不满足一元模型假设时，直接加总处理可能并不是一种有效的解决方案，采用多元索赔准备金评估无疑是一种更好的处理方式。此外，在精算实务中，通过把流量三角形按业务特征细分为多个不同的流量三角形，可以使每个流量三角形满足某些齐次性条件，这些条件在应用随机性方法时是本质的假设。

这类多元评估随机性方法主要包括：无分布假设的多元 CL 法、多元可加损失准备金评估 (ALR) 方法、多元 CL 和 ALR 混合方法。类似于一元评估随机性方法，在无分布假设下仅可以估计均值和 MSEP，无法模拟预测分布，需要引入有分布假设的多元评估方法。目前，基于同步 Bootstrap 方法、Copula 函数来考虑多个流量三角形之间相依性的文献已经出现。类似于一元评估随机性方法的第三个层次，在分层结构下考虑各种分布假设无疑是多元评估随机性方法的最新发展方向。在这方面，Zhang 等 (2012) 首次在分层建模框架下，将贝叶斯非线性模型应用于美国 10 家大型非寿险公司劳工赔款保险业务的准备金评估中，但该文献更多关注于如何从统计分析的角度来检验模型假设的合理性及评估模型的充足性和预测能力，并未给出这 10 家非寿险公司的索赔准备金预测分布的模拟结果。

1.2.4 本书内容结构

本书沿用聚合索赔模型分析框架，结合作者多年研究积累及对前沿方向的把握，从无分布假设、有分布假设、在分层结构下考虑各种分布假设三个层次，系统整理并总结了一元和两类多元索赔准备金评估随机性方法的研究成果。

本书基于更严格的统计模型与方法视角，将一元和两类多元索赔准备金评估的波动性度量从二阶矩 MSEP 估计提升到预测分布的模拟问题，有望使我国在随机性索赔准备金评估领域的精算教学和科研工作与国际前沿水平接轨。

图 1.3 给出了本书各章内容的基本架构。

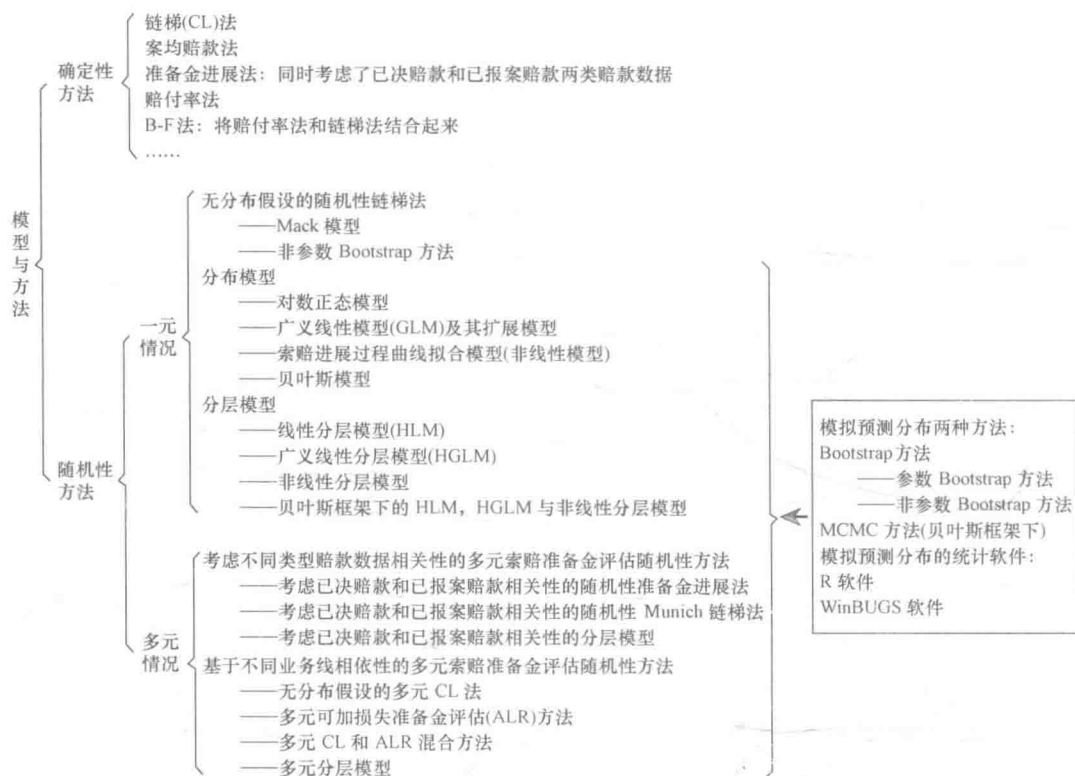


图 1.3 本书内容架构图