

保險精算丛书



人口数学

R. L. 布朗 著 郑培明 译

上海科学技术出版社

李大潜主编

《保险精算丛书》

人 口 数 学

Robert.L.Brown 著

郑培明 译

上海科学技术出版社

内 容 简 介

本书描述了生命表的构成以及如何从人口普查数据来构造生命表的具体过程,并在此基础上分析了静止人口、稳定人口等基本人口模型的性质和特征。本书兼顾理论和实际应用,提供了许多例子和习题,对人口专业和保险专业人员有着重要的参考价值,也可作为高等学校有关专业的教材或参考书。

Robert L. Brown, FSA
Introduction to the
Mathematics of Demography
(Second Edition)
ACTEX Publications Inc.
Winsted and Abington, Connecticut
Copyright ©1985

《保险精算丛书》

人 口 数 学

R. L. 布朗著

郑 培 明 译

上海科学技术出版社出版、发行

(上海瑞金二路450号)

常熟市印刷八厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 7.5 字数 272 000

1996年6月第1版 1998年11月第2次印刷

印数 1 801—3 800

ISBN 7-5323-4040-6/O·203

定价: 17.80 元

如遇印装质量问题,可直接向承印厂调换

地址: 常熟市梅李镇通江路21号 邮编: 215511

《保险精算丛书》编委会

总顾问：何静芝 徐福生 钱建中

主 编：李大潜

副主编：尚汉冀 郑培明 郑韞瑜(常务)

编 委：(按姓氏笔划为序)

李大潜 余跃年 尚汉冀 郑培明

郑韞瑜 徐诚浩 裘星熙

策划：应兴国

《保险精算丛书》前言

保险，作为商品社会中处理风险的一种有效方法，已被全世界所普遍采纳。在现代保险业蓬勃发展的进程中，科学的理论和方法，特别是精确的定量计算，起着十分重要的作用。保险业运营中的一些重要环节，如新险种的设计、保险费率和责任准备金的计算、分保额的确定、养老金等社会保障计划的制定等等，都需要由精算师 (Actuary) 依据精算学 (Actuarial Science) 原理来分析和处理。有鉴于此，许多发达国家都以法律形式规定，保险公司的营业报告必须由精算师签字方为有效。这也是国家对保险业进行调控管理的一种手段。

所谓精算学，实际上是将数学方法应用于金融保险所形成的一套理论体系。它的基础包括精算数学、利息理论、风险理论、人口数学、修匀数学、生存模型和生命表构造等等，还包括一些更专门的内容。这一套理论的重要性和正确性，已经得到国际社会的公认。

在我国，虽然早在 1949 年就由中央人民政府批准成立了中国人民保险公司，但是，由于种种历史原因，在相当长一段时间内我国的保险业发展缓慢，人才培养远不能适应实际需要。特别是精算学的研究和精算人才的培养，未得到应有的重视。在保险业的实际运作中，也很少严格按照精算学的原理办事。这一切都影响了我国保险业的进一步发展及与国际接轨。这种情况已引起保险界、教育界和学术界的注意，正在采取积极措施改变现状。刚刚颁布的《保险法》更明确规定：“经营人身保险业务的保险公司，必须聘用经金融监督管理部门认可的精算专业人员，建立精算报告制度。”在此情况下，迫切需要引进国际上先进的精算学

理论，并结合我国的实际加以应用，本丛书就是在这样的背景下翻译出版的。

《保险精算丛书》（第一辑）是由复旦大学数学系、中国人民保险公司上海市分公司（以下简称人保上海分公司）合作翻译的，由上海科学技术出版社出版。全国政协副主席、中科院院士苏步青为丛书题写书名；复旦大学研究生院院长、中科院院士李大潜担任丛书主编；中国人民保险公司上海市分公司总经理何静芝、副总经理钱建中，上海市新闻出版局局长徐福生担任丛书总顾问。上海是我国保险业的发源地之一，历来是保险业的中心。成立于1950年的人保上海分公司，经过45年艰难曲折的发展，业务有了很大开拓，1994年已实现业务收入30亿元人民币，占上海保险市场的80%。根据市场的需要，公司已开办了财产、人身、责任、信用四大类约200多个险种。特别是作为公司主要业务之一的国内人身保险业务，1994年的业务收入已近12亿元。公司所开设的人身险种类也从1982年时的一种，扩展到各种形态的医疗保险、定期和终身保险及责任不同的各种人身意外伤害保险等多个品种，并逐步形成系列化。上海保险市场虽然在不断扩大，但竞争也日趋激烈。特别是一些实力雄厚的国际著名大保险公司的进入，促使国内各保险公司采取有力措施不断提高从业人员的业务素质，包括学习精算知识和培养精算人才。正是由于这样的需要，人保上海分公司决定与复旦大学数学系联手，在上海科学技术出版社的积极支持下，翻译了这套《保险精算丛书》。

复旦大学数学系不仅在数学的基础理论研究方面成就卓著，而且历来重视数学在国民经济中的应用，并取得多项重大研究成果。近年来，他们为了拓宽数学应用的领域，又开辟了精算学研究的新方向，并进行了大量的实际工作。他们在数学系研究生和本科生中开设了有关精算的课程和专题讨论，努力培养精算人才；他们还与各大保险公司合作，从事保险精算实际课题的研究，招收应用数学（保险）大专班，举办面向社会的保险精算培训班，培

训了一批人员参加 A.S.A (北美精算师学会准会员) 资格考试 (该项考试的上海考点就设在复旦大学内), 并于第一期考试中取得通过率超过 90% 的优异成绩。与人保上海分公司合作翻译这套《保险精算丛书》, 不仅是复旦数学系理论和实践相结合的一项新的举措, 也是他们面向社会培养国家急需的精算人才的重要措施。

“保险精算丛书” (第一辑) 共六本, 分别为:

《利息理论》, S.G. 凯利森著, 尚汉冀译;

《风险理论》, N.L. 鲍尔斯著, 郑韞瑜、余跃年译;

《精算数学》, N.L. 鲍尔斯著, 余跃年、郑韞瑜译;

《人口数学》, R.L. 布朗著, 郑培明译;

《修匀数学》, D. 伦敦著, 徐诚浩译;

《生存模型》, D. 伦敦著, 陈子毅译。

所依据的原书均是北美精算师学会 (Society of Actuaries) 为其准会员 (A.S.A) 资格考试所指定的教材和参考书, 具有一定的权威性。阅读这套丛书, 不论对读者了解和掌握精算学基本原理并应用于保险业实践, 还是对读者准备参加 A.S.A 资格考试 (该项考试在中国的北京、上海、天津、长沙等地已设有考点), 均会有很大帮助。

保险精算在我国是一项刚刚起步的新事物, 这套丛书是高等院校、保险公司和出版社三方共同合作, 编写翻译出版学术水平较高、填补国家缺门的专业书籍的一种有益的探索。我们热诚希望广大读者提出宝贵意见, 以利于我们改进工作, 做好这套丛书的出版工作, 促进保险精算事业在中国的发展。

编者谨识

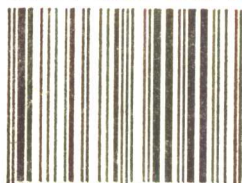
1995 年 11 月于上海



李大潜主编
《保险精算丛书》

- 利息理论
- 精算数学
- 风险理论
- 人口数学
- 生存模型
- 修匀数学

ISBN 7-5323-4040-6



9 787532 340408 >

ISBN 7-5323-4040-6/O·203

定价: 17.80元

C92
4037

目 录

第一章 数据、资料和误差	(1)
§1.1 引论	(1)
§1.2 人口统计采样	(2)
§1.3 人口普查实施	(4)
§1.4 误差来源和校正	(6)
§1.5 结论	(14)
练习	(15)
第二章 死亡和生育测度	(19)
§2.1 引论	(19)
§2.2 概约率	(20)
§2.3 限定年龄死亡率	(21)
§2.4 死亡调节测度	(22)
§2.5 婴儿死亡测度	(25)
§2.6 限定年龄生育率	(27)
练习	(34)
第三章 生命表	(41)
§3.1 引论	(41)
§3.2 生命表的数值	(41)
§3.3 连续情况	(46)
§3.4 分数年龄方法	(52)
练习	(56)
第四章 从普查数据构造生命表	(59)
§4.1 引论	(59)
§4.2 1979 - 1981 美国生命表	(62)

§4.3 1985 - 1987 加拿大生命表	(70)
§4.4 节略生命表	(77)
§4.5 关于死亡原因的生命表分析	(81)
练习	(83)
第五章 静止人口理论	(89)
§5.1 引论	(89)
§5.2 生存组分析	(90)
§5.3 静止人口	(95)
§5.4 Lexis 图	(104)
§5.5 进一步的应用	(110)
练习	(114)
第六章 稳定人口理论	(118)
§6.1 引论	(118)
§6.2 稳定人口理论基础	(119)
§6.3 由普查数据来近似 r_i	(128)
§6.4 应用	(134)
§6.5 拟稳定人口	(137)
练习	(140)
第七章 人口规划	(145)
§7.1 普查之间和普查后即刻估计	(145)
§7.2 人口规划: 逻辑曲线	(149)
§7.3 人口规划: 组合方法	(153)
练习	(161)
第八章 人口普查数据的应用	(169)
§8.1 引论	(169)
§8.2 实例: 社会保障金	(170)
§8.3 总结	(183)
练习	(184)
附录 A 公式 (1.3) 的推导	(186)

附录 B 1979 - 1981 美国生命表	(188)
附录 C 1985 - 1987 加拿大生命表	(196)
附录 D 稳定人口理论的进一步分析	(206)
练习答案	(210)
参考文献	(217)
汉英名词对照	(220)
译者的话	(225)

第一章 数据、资料和误差

§1.1 引 论

人口统计学来自两个希腊单词，假如由字面解释，意味着“刻画或描述人类”。根据联合国多种语言人口统计学字典，“人口统计学是人口的科学研究，主要关于他们的数量、结构和发展。”一个由 Bogue 给出的更精确的定义如下：

“人口统计学是关于人口数量、组成以及空间分布和通过生育、死亡、婚姻、迁移和社会流动这五个过程的作用使这些方面随时间变化的统计学和数学研究。”([2], 第 1 页)

人口数学是在生命表形成过程的发展中开始的(参见第三和第四章)。John Graunt 1662 年的著作《死亡表的自然和政治观察》(参见 Keyfitz 和 Smith [18], 第 11-20 页)被引用为第一部发表的重要的人口统计学著作。Graunt 仅用伦敦瘟疫时期的洗礼和死亡名单就得到一系列给人留下深刻印象的统计数据。

人口数学中第二部重要的著作是 1693 年的 Breslau 生命表，这是由哈雷彗星命名者 Edmund Halley (哈雷) 建立的(参见 Keyfitz 和 Smith [18], 第 21-26 页)。

人口数学发展中重要的又一步是 1789 年 Thomas Robert Malthus (马尔萨斯)《人口原理评论》的发表。他推测人口自然地增长会超过维持他们所必需的食物供应。Malthus 认为是挫折使人口保持在一个可维持水平，他将其分类为罪恶、苦难、道德束缚。控制人口增长的罪恶是战争以及各种暴行，苦难这一类则包括疾病、传染病、饥荒、瘟疫等等。

§1.2 人口统计采样

实际上所有基本的人口统计数据来自于人口普查、调查或人口动态统计登记系统。

人口普查 (census) (来自拉丁文 *censere*, 确定数额) 定义为“在指定时刻或时期, 收集、编制和公布属于指定地区所有人的入口、经济和社会数据的全过程。”在看一看美国和加拿大是如何进行普查以及所产生的结果之后, 我们再深入讨论人口普查。

人口普查既可以实际 (*de facto*) 为基础, 也可以法律 (*de jure*) 为基础。在实际方法下, 人口普查期间人们被计入所在的任何地方, 而在法律方法下, 则根据人们常住地来清点人数, 以致于暂时不在就象在一样被计入。

美国和加拿大均采用法律方法, 除了短期过客的情形使用实际方法。在世界的其他地方, 使用实际方法更为普遍, 并且为联合国人口委员会所推荐。

法律方法的便利就是它描绘了所查社区的长期人口情况。这些数据可用来, 例如, 决定依司法权限应当有的政治代表数目。

法律方法不利之处就是由于一些人不在他们通常的居住区, 因此也许会遗漏或者会计算两次, 一次在他们的暂住区, 再一次在他们的常住区。更进一步, 关于那些临时不在的人们的间接的信息也许会不完全或不正确。

反之, 实际方法主要的优点就在于它使二次计数或遗漏的可能性减少了。实际方法的不利之处有三方面: 获得变迁中的人们信息是困难的; 它对于一个社区的常住人口提供了不正确的描绘; 并且因为人口基数与动态统计无关, 人口动态统计率也许会被歪曲 (例如, 人们通常回到常住区生孩子)。

在加拿大和美国, 大部分普查表格被邮寄出去, 每家一封, 然后再邮寄回来。通常户主回答关于所有家庭成员的问题。在文

化水平低的农村，由一名受过训练的统计员或推销员去访问每个人。

邮件方式的好处是普查可在指定的一天实施。采用统计员则通常意味着时间必须延续好几天或几星期。这也许导致在此期间关于出生、死亡、迁移的问题。若时间拖延，也许还会因为记忆力不好而导致不精确。

调查 (survey) 用来发现在普查中的错误 (参见 1.4 节)，提供在两次普查之间更频繁间隙的信息以及在普查中未包括项目的情况。例如，由美国的人口统计局和加拿大统计局执行的月抽样调查，提供了关于月劳动力的统计数据，包括失业率。

抽样调查包含覆盖、分类误差以及采样误差，以后我们会详细讨论 (参见 1.4 节)。这些调查在一个国家的基础上通常是非常精确的，然而在次于一个国家的基础上则需谨慎使用。每一次调查的公布应当意味着数据的精确性。建议调查的使用者仔细地检查这些信息，目的是弄清楚可表示的限度。应当仔细地检查所有定义以便清楚地理解所使用的术语。对于除美国人口统计局或加拿大统计局以外的机构所作的数据分析，这点尤其正确。由其他机构公布的资料中的术语使用一般不正确，例如在用比率的地方使用的率 (参见第二章)。

术语 人口动态统计 (vital statistics) 一般指涉及动态事件的数据，象生育、抚养、死亡、结婚、离婚、合法分居以及注销等。法律要求数据通常要在事件发生之时记录。在加拿大登记这些事件是省的责任。在美国，每一个州负责它自己的动态统计数字的登记。而巴尔的摩、新奥尔良和纽约这些城市的系统一直独立于它们所在的州。

在某些场合，人口动态统计为了某些报告与普查数据相结合，像美国和加拿大的生命表。例如，1979 - 1981 年美国国民生命表兼有从 1979 年至 1981 年期间的州登记中的死亡数据，并且将它与 1980 年 4 月 1 日的人口普查相比较，这种结合产生了

在每一岁的中位死亡率。在 1985-1987 年加拿大生命表中用到类似的数据组合。

人口登记 (population register) 是对于每个人都有记载的连续的登记系统。许多国家和地区使用人口登记, 包括荷兰、比利时、芬兰、瑞典、挪威、丹麦、冰岛、意大利、直布罗陀、德国、以色列、日本、苏联、保加利亚和捷克斯洛伐克。

为了人们的合法身份、选举、服兵役等等而提供长期和最新的基本资料, 人口登记是有用的。通过在数据中选取恰当的样本, 还可能进行专门的研究。在相反的方面, 维持人口登记是昂贵的, 并且也许会不完全。通常仅在高文化、低移民的国家使用。

最后, 关于从国外移入或移往国外的人们的资料一般在他们入境或出境点上汇集, 例如飞机场。这里假设是合法移民。非法入境的移民数目使美国移民统计的可信度减少。

§1.3 人口普查实施

人口统计的迹象早在公元前 3800 年的巴比伦和公元前 3000 年的中国已出现。在北美的第一次人口普查是 1666 年由 Jean Talon 在魁北克实施的。美国从 1790 年起, 加拿大从 1851 年起开始实施 10 年一次的人口普查。从 1956 年起, 加拿大还有较小的 5 年一次的人口普查。加拿大人口普查在 7 月 1 日开始, 美国人口普查在 4 月 1 日开始, 选择这些靠近年中的日期, 使在常住区家中的人数达到最大 (法律方法)。

在加拿大, 人口普查和其他几种人口调查都是加拿大统计局的责任。在美国, 是商务部下属的人口统计局的责任。除实施 10 年一次的人口和住房普查之外, 人口统计局还进行每 5 年一次的经济人口统计、农业人口统计以及政府人口统计。统计局也实施成百次的调查, 有些每月一次。

在美国, 宪法第一章第二节要求人口普查, 以通过公民人数

来确定众议院的代表。然而，设计人口普查是为了满足一个很大范围的可能的用户需要。尽管在每次普查中保持相同的问题可以增加其连续性和可比的统计数字，但在每次普查中安排的问题仍有轻微的改变。设置问题的数目要在用户的需要和收集、处理信息的费用之间取得协调。美国人口统计局和加拿大统计局花费了相当大的精力试图使所有问题最优化，以便在政府预算的限制下满足尽可能多的用户。

加拿大和美国在实际普查前要广泛地预先测试普查的问题和形式，并且在普查之时提供广泛的宣传材料。这两个国家也给普查提供电话支持，个人可打免费电话寻求有关调查表的指导，并且可以确保个人信息的完全保密。普查机构有任何个人信息的识别，没有人能从那得到数据。

在整体费用的限制下，为了使范围广大的数据资料收集最优化，美国和加拿大都使用采样技巧 (sampling techniques)，由此并不是每个家庭回答每个问题。

在 1986 年的加拿大人口普查中，发给市区 80% 的家庭一份短调查表，表格询问关于名字、生日、性别、婚姻状况、土著情况、母语、住宅类型、住宅所有权等问题。另外 20% 的城市家庭和所有农村以及北方家庭，给了一份长调查表，不仅重复了短调查表的所有问题，而且包括一些关于劳动力的活动、收入、教育、伤残、国籍、住房（能源使用和住房费用）、种族、语言等问题。

1990 年的美国人口普查包括一份短调查表，每 6 个城市家庭中大致有 5 个收到这份表。短调查表问了 14 个问题，7 个是对于每个人的，6 个对于住房条件，最后一个用来控制问题以确保所有的家庭成员都被计入，而没有拜访者被计入。随机抽样近似为 6 个城市家庭有一个收到长调查表，它问了这些问题，并且有额外的关于住房条件的 19 个问题以及关于每个人的 26 个问题。这些问题中有几个有重复部分，但并不是每个人必须回答每个问题。一些问题仅适合于具有一定特征的家庭和个人。

在较小的城镇或县(人口少于 2500 人),每两个家庭就有一户收到长调查表。50% 的抽样率被用在占有将近十分之一的国家人口的地区。总体上说来,大约 81% 的人口完成短调查表,19% 的人口完成长调查表。

美国和加拿大都采用了一种 邮寄问答 (mail-out/mail-back) 和 统计员 (enumerators) 结合的方法。例如,在 1990 年的美国人口普查中,邮政部门给本国所有地址中的大约 83% 发送了调查表,基本在主要大城市。对国家另外 11% 的住房,大多在农村和季节性居住地区,由统计员在普查日之前拜访每一户住家,留下需完成并需邮寄回去的调查表。在乡村人烟稀少的地方,确定通信地址通常是困难的,统计员去散发调查表也并不节省成本,则由邮政部门发送不写地址的调查表给所有知道的住宅。这些家庭的成员将完成表格并且保有它们直到统计员来收集。当统计员收取调查表时记录下地址。此项技术仅适用于大约占有所有家庭的 6%,但是覆盖了国家面积的 50% 的地区。

§1.4 误差来源和校正

人口普查和人口动态统计有几个误差来源,现在让我们详细讨论。

1.4.1 覆盖误差

虽然尽了一切努力以减少覆盖误差(例如遗漏一所住宅),但是误差仍然发生。有时误差导致二次计数或 过覆盖 (overcoverage),虽然通常这个问题少于在个人或家庭被疏忽时所发生的 次覆盖 (undercoverage)。

测量次覆盖的基本计划是 后调查计划 (Post Enumeration Program)。这项计划包括几项后统计调查,它们试图测量人口普查数据的性质。除了测量次覆盖,此计划力图测量在普查中被错误地纳入的人(就像在 4 月 1 日以后出生的婴儿),计入超过一次