

湖南师范大学商学院经济管理理论丛

自然风险

对我国粮食安全的影响

统计测度与保险定价研究

梁来存\著

ZIRAN FENGXIAN

DUI WOGUO LIANGSHI ANQUAN DE YINGXIANG:

TONGJI CEDU YU BAOXIAN DINGJIA YANJIU



经济科学出版社
Economic Science Press

湖南师范大学商学院经济管理理论丛

自然风险

对我国粮食安全的影响

统计测度与保险定价研究

梁来存\著

ZIRAN FENGXIAN

DUI WOGUO LIANGSHI ANQUAN DE YINGXIANG:

TONGJI CEDU YU BAOXIAN DINGJIA YANJIU



经济科学出版社
Economic Science Press

图书在版编目 (CIP) 数据

自然风险对我国粮食安全的影响：统计测度与保险定价
研究 / 梁来存著. —北京：经济科学出版社，2012.3

(湖南师范大学商学院经济管理理论丛)

ISBN 978 - 7 - 5141 - 1589 - 5

I. ①自… II. ①梁… III. ①自然环境 - 影响 -
粮食问题 - 研究 - 中国②粮食 - 农业保险 - 研究 -
中国 IV. ①F326.11②F842.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 025790 号

责任编辑：王东岗

责任校对：杨海

版式设计：代小卫

技术编辑：王世伟

自然风险对我国粮食安全的影响：

统计测度与保险定价研究

梁来存 著

经济科学出版社出版 发行 新华书店经销

社址：北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编：100142

总编部电话：88191217 发行部电话：88191540

网址：[www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮件：[esp@ esp. com. cn](mailto:esp@esp.com.cn)

北京中科印刷有限公司印装

880 × 1230 32 开 9 印张 240000 字

2012 年 3 月第 1 版 2012 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 1589 - 5 定价：20.00 元

(图书出现印装问题，本社负责调换)

(版权所有 翻印必究)

总 序

湖南师范大学经济与管理学科源远流长。1938 年设立的公民训育学系就已经开设经济学、中国经济组织、国际政治经济、近代外国经济史等四门课程。新中国成立后，学校先后于 1953 年和 1960 年成立了政治经济学教研组与教研室。1992 年，著名经济学家、中国消费经济学的主要创始人之一尹世杰教授调入湖南师范大学工作，我校经济管理学科步入快速发展时期，他亲自创办的《消费经济》杂志也落户我校。1997 年，我校成立经济与管理学院，2003 年经济与管理学院更名为商学院。

目前，我校已开设经济学、金融学、国际经济与贸易、市场营销、人力资源管理、工商管理、电子商务、旅游管理、酒店管理、文化产业管理等 10 多个经济管理类本科专业，拥有产业经济学、政治经济学、西方经济学、人口、资源与环境经济学、区域经济学、企业管理、工商管理（MBA）、统计学、民商法学、经济法学等 20 余个经济管理类专业或相关专业硕士点；概率论与数理统计、运筹学与控制论等 5 个经济管理相关学科已拥有博士点，形成了博士、硕士、学士三级培养体系。改革开放以来，我校先后培养了包括陈东琪、魏后凯、杨开忠、梁琦、谭跃进、马超群等一大批活跃在经济与管理学界的著名中青年学者。

湖南师范大学商学院一直秉承“仁爱精勤”的校训精神，鼓励和支持教师在教书育人的同时，积极从事科学研究，通过科学研究提升教学水平，并把服务社会作为自己的重要使命。学院已在消费与产业结构、金融保险理论、产业组织理论、区域经济发展战略、人力资源管理、企业理论、开放经济理论、教育经济管理等领域组

建了精干的学术梯队，形成了较为稳定的研究方向。“十一五”以来，学院教师先后成功申报国家社会科学基金、国家自然科学基金等国家级课题 10 余项，在 SSCI、SCI、EI 源刊等国内外重要学术期刊发表论文数十篇。

在经济科学出版社的大力支持下，《湖南师范大学商学院经济管理论丛》将陆续与广大读者见面，希望社会各界不吝赐教。

湖南师范大学商学院院长 刘子兰

2010 年 9 月

目 录

第一章 概述	1
第一节 本书的研究背景和研究意义.....	1
第二节 国内外研究综述.....	8
第三节 主要内容、基本思路和方法、主要观点与 创新之处	13
第二章 自然风险及其对粮食安全影响的测算视角	20
第一节 影响粮食安全的主要自然风险	20
第二节 自然风险影响粮食安全的基本特征及 测算影响程度的视角	26
第三章 保险风险区划及其 Probit 排序选择模型验证	29
第一节 自然风险影响粮食安全的统计测度指标体系	29
第二节 粮食作物保险风险区划及其 Probit 排序 选择模型验证	35
第三节 稻谷、小麦、玉米保险风险区划及其 Probit 排序选择模型验证	50

第四章 参数估计法厘定粮食保险的纯费率	89
第一节 费率厘定的参数估计法	89
第二节 基于参数法的粮食保险的纯费率厘定	99
第三节 基于参数法的稻谷、小麦、玉米保险的 纯费率厘定	108
第五章 非参数估计法厘定粮食保险的纯费率	134
第一节 费率厘定的非参数估计法	134
第二节 基于非参数法的粮食保险的纯费率厘定	138
第三节 基于非参数法的稻谷、小麦、玉米保险的 纯费率厘定	148
第六章 参数法、非参数法厘定结果的比较与选择	180
第一节 粮食保险纯费率的确定	180
第二节 稻谷、小麦、玉米保险纯费率的确定	189
结论与政策建议	210
附录	229
参考文献	274
后记	277

第一章

概 述

第一节

本书的研究背景和研究意义

一、研究的背景

改革开放以来,我国粮食产量从1980年的32055.5万吨,增加到2010年的54641万吨,年均增长仅为1.8%。在此期间,有1/3的年份相对上年是减产的,以2000年的下降幅度最大,达到9.1%。我国粮食产量呈波动式的这种缓升之势,其波动的频率与幅度已经或正将对经济社会的稳定和发展构成实质性威胁,找准我国粮食生产不稳定的症结是强化我国粮食安全基础的切入点。目前,关于影响我国粮食生产的最主要原因,学术界尚有分歧,其中代表性学术观点主要有两个^①:一是农业技术进步决定论^[1],认为农业技术创新是我国粮食生产增长的原动力,我国农业生产率的增长在极大程度上应归功于对农业科研的投入。二是农业宏观政策主

^① 关于影响中国粮食生产的主要原因,除农业技术进步论和农业宏观政策主导论这两个主要学术观点之外,还有农业体制创新论、农业基础设施投资论等观点。

导论^[2]，认为导致我国粮食生产波动较大的关键原因是国家宏观粮食政策。

然而，目前我国粮食生产的基本形势是：由于农业技术在短期内难以取得重大突破，呈相对稳态化，加之农民科技文化素质普遍偏低状况长期制约着农业科技的推广应用，这些使农业技术不足以成为确保我国粮食持续增产的可靠现实依托；各种支农惠农政策的陆续出台与落实，农业发展的政策环境不断改善。因而，在当前农业发展的技术和政策环境之下，粮食生产波动的技术进步论与宏观政策主导论已显得不合时宜，其解释力已大大衰减。那么，导致我国粮食生产稳定性较差的长期性关键原因究竟何在，在技术进步与宏观政策之外是否还存在其他重要，甚至是关键的原因呢？

我国的粮食生产始终伴随着自然灾害的发生。我国是世界上灾害最为严重的国家之一，有“三岁一饥，六岁一衰，十二岁一荒”之说^[3]，灾害种类多，受灾面积广，成灾比例大。我国的粮食生产几乎年年遭受着或大或小的自然灾害的影响，它不仅给人民生命、财产造成损失，也成为发展国民经济的一大制约因素。新中国成立后，我国遭受的特大自然灾害有 1954 年长江流域发生大水，受灾面积 2.4 亿亩，4755 万亩农田绝收。1963 年的华北大水，仅海河流域直接经济损失就达 60 亿元人民币。1975 年 8 月台风在福建登陆，淹没农田 2595 万亩，冲毁京广线 100 公里，死亡 10 万人，直接经济损失 100 亿元。1991 年夏季江淮流域发生的特大洪水，受灾面积 3.15 亿亩，损失 725 亿元。1998 年全国农作物受灾 75217.5 万亩，成灾 37771.5 万亩，绝收 11421 万亩，各类损失达 3007.4 亿元。其中，水灾 2550.9 亿元，死亡 5000 余人。2003 年夏季淮河流域的水灾，灾情使安徽、江苏、河南 3 省农作物受灾面积达到 5857.5 万亩，绝收 1197 万亩，受灾人口达 4751.8 万人，有 231.2 万人被洪水围困，紧急转移安置 84.3 万人、死亡 16 人，3 省损失 181.7 亿元。2004 年秋季南方发生了干旱程度为 1953 年以来之最早的旱灾，造成经济损失 40 亿元，720 多万人出现了饮水困

难。这些重大自然灾害对粮食生产的冲击、对人民生活的影响，耳闻目睹，让人永远心有余悸。自然灾害造成的粮食波动所带来的市场和心理的冲击，使得中国政府和人民对粮食问题有着异乎寻常的敏感。自然风险一直以来是影响我国粮食安全的一个重要因素。

我国是世界上自然灾害最严重的少数国家之一，灾害种类多、发生频率高、分布地域广、造成损失大。据联合国统计资料，20世纪全世界54个最严重的自然灾害中，有8个发生在中国。粮食生产是生物性生产，容易遭受干旱、洪涝、干热风、霜冻、台风、雹灾、尘暴、寒潮、病虫害等大量自然风险的影响，据《中国统计年鉴》资料，2000~2010年间，我国农田年均受灾面积69015万亩，占播种面积的30%；年均绝收面积9360万亩，占播种面积的4.2%。自然灾害造成成片农田收成锐减，甚至颗粒无收，沉重打击了农民的生产积极性，威胁我国粮食安全也危及社会稳定。而保险可以在抗灾、减灾、灾后重建中起重要作用，能分散风险，稳定生产，安定灾民。因此，发展粮食保险是应对自然灾害，以确保我国粮食安全，维护社会稳定的重要举措之一。

农业保险是WTO规则中的“绿箱”政策之一，我国正利用农业保险以提高农业生产经营水平和竞争力。党的十六届三中全会通过的《关于完善社会主义市场经济体制若干问题的决定》第一次以党的正式文件形式将“探索建立和完善政策性农业保险制度”作为深化农村改革、完善农村经济体制的一项重要措施予以明确。2004~2010年连续7年的中央一号文件，都对政策性农业保险提出了明确要求。2011年的中央一号文件首次聚焦水利问题，文件将鼓励和支持发展洪水保险作为加快水利改革发展的一项重要决定加以明确和强调。2006年6月26日国务院正式颁布的《关于保险业改革发展的若干意见》指出，要建立国家财政支持的巨灾风险保险体系，改变单一的、事后财政补助的农业灾害救助模式，逐步建立政策性农业保险与财政补助相结合的农业风险防范与救助机

制，完善多层次的农业巨灾风险转移分担机制，探索建立中央、地方财政支持的农业再保险体系。近几年来，对农业保险实施保费补贴的试点是我国政府发展农业保险以确保农业生产稳定、农民收入稳步增长的一项重要举措，取得了明显成效。

作为政策性农业保险的粮食保险，政府对各地的保费补贴应与其风险水平、费率水平相适应，以使补贴科学、公平、合理，达到提高保费补贴使用效率的目的。我国地域辽阔，各地自然经济条件极为复杂，风险程度不一，发展粮食作物保险自然应当适用风险一致性原则，也就是说，应当在风险分区的基础上再厘定粮食保险的费率，这是在全国范围内成功开展粮食作物保险必不可少的一项技术性先期准备工作。为此，很有必要根据各地的风险水平厘定出相应的保险费率，为政府保费补贴政策等支农政策的制定提供参考，为保障我国粮食保险的健康发展提供技术支持。因此，本书将就自然风险对粮食生产的影响进行统计测度，并对全国实施粮食生产的保险风险进行区划，进而厘定各风险区的保险费率。

二、研究的意义

（一）有利于丰富和发展农业保险精算理论

改革开放以来，我国保险业发展迅速，保费收入从1980年的4.6亿元增加到2010年的14527.97亿元，年均增长30.81%；农业保险保费收入从1982年的0.0023亿元增加到2010年的135.68亿元，年均增长48%。从2007年我国启动政策性农业保险试验以来，先后有18家财产保险公司进入农业保险领域，农业保险保费收入从2006年的8.5亿元增加到2010年的135.68亿元，增长了15倍。与快速发展的保险实践相比，我国保险理论研究还比较滞后，没有形成一套符合我国国情的比较成熟的现代保险理论。

理论源于实践并指导实践。保险理论是社会性和实践性都很强的学科，脱离了保险实践，保险理论研究就失去了存在的基础。与

此同时，保险实践也是保险理论研究的落脚点，不以保险实践为最终目标，保险理论研究也就失去了它的意义。因此，需要站在宏观、全局的高度研究保险理论，力争走在实践的前面，对保险实践起到战略性的指导作用。为此，要积极吸取世界各国保险业发展的先进成果、先进经验，充分尊重我国国情，从我国实际出发，进行消化、吸收、提高、创新。

粮食生产是生物性生产，容易遭受干旱、洪涝、干热风、霜冻等自然灾害的影响。种种自然灾害打击了农民的生产积极性，严重影响粮食生产。而保险可以分散风险，稳定生产。因此，发展粮食保险是确保粮食安全的一个重要举措。

作为政策性农业保险的粮食保险，如何确保粮食保险顺利地、全面地推进和健康地发展，对于确保我国的粮食安全显得尤为重要。我国地域辽阔，粮食生产的自然环境各地迥异，如何设置一个科学的指标体系以评价自然风险对粮食安全的影响，如何选择适当的方法将全国各地按自然风险的大小进行粮食作物的保险风险区划，对于区划的结果如何利用科学的方法进行验证，在风险区划的基础上如何厘定出各地区的粮食保险纯费率，等等。这些问题，都是在全国范围内全面推开粮食保险前必须从理论上解决的问题。所以，探讨粮食安全的自然风险影响，研究风险一致性原则在我国粮食保险中的应用，将丰富社会主义市场经济条件下的农业保险精算理论。

（二）有利于农民增收

研究粮食作物的保险风险区划与费率厘定，旨在为粮食保险提供技术支持。粮食保险越发展，就越能保障粮食的安全。而随着粮食产量的稳步增长，只要价格稳定，农民收入就会相应提高。

在价格相对稳定的条件下，粮食产量增长会推动农民收入的提高，我国过去的实践已经证明了这一点：1999～2003年我国粮食总产量持续下降，这期间的农民人均纯收入的年平均增长速度为3.9%。为了促进粮食生产，保障粮食安全，2004～2010年党中

央、国务院连续颁发了七个“一号文件”，实施了一系列鼓励粮食生产的政策，使粮食总产量从2003年的43069.5万吨增加到2010年的54641万吨。相应期间的农民收入摆脱了增长滞缓的局面，人均纯收入年均增长速度达到12.4%。尤其是粮食主产区，农民收入主要来源于粮食生产，国家保障粮食安全的政策措施越全面、越完善、越优惠，粮农的生产积极性就越高涨，农民增收就越有保障。

（三）有利于推进新农村建设

建设新农村是全面解决“三农”问题的根本，建设新农村的五大目标中的第一个目标就是“生产发展”。农村的“生产发展”具体来说应包括三大产业的发展，其中首先又是农业生产的发展，农业生产中积极发展粮食生产是核心，只有稳定的粮食生产，才能建立起雄厚的建设新农村的物质基础。粮食生产发展了，供应充足，且农民因此增收了，才有资金与精力从事其他产业，最终才能夯实新农村建设的经济基础。因此，在新农村建设中，决不能忽视农业，更不能放松粮食生产，要始终把发展粮食生产，保障粮食安全放在首位。

本书研究自然风险对粮食安全的影响，探讨了粮食保险实施中的具体技术问题，从而有助于粮食保险的拓展，给予农民稳定的收入预期，使农民即使在遭受自然灾害的情况下仍然能保持粮食生产的热情，保障粮食安全，为新农村建设奠定物质基础。

（四）有利于构建和谐社会

粮食生产面临的自然风险种类繁多，各地的灾害种类各异，风险程度不同，粮食保险理应按风险一致性原则厘定费率，即高风险地区费率高，低风险地区费率低。科学的风险区划和费率厘定，能够揭示风险水平在全国的分布规律，为制定粮食生产布局、分区分类地发展粮食保险事业提供科学依据，推进粮食保险在不同地区的全面开展，有助于各地区及时地防灾、减灾、抗灾，从而确保粮食安全。

保障粮食安全有利于构建和谐社会。民以食为天，只有粮食充足了，每个人有饭吃，人们才会安居乐业，社会才会稳定，所以，粮食又是社会赖以稳定的基础。粮食安全的一个重要内容就是要保障弱势群体的粮食供给，目前我国农村贫困人口仍有 2300 万人，城市下岗失业、收入水平低、需要救助的人口近 2200 万人，这些弱势群体收入低，其食物时常得不到保障，这与那些高收入富裕阶层相比，形成明显的不协调，导致社会的不和谐。弱势群体食物供给的不安全，不仅会导致社会的不和谐，而且会威胁到社会的稳定，因此政府应实行粮食救济措施，满足其基本需要。所以，为了满足人民的第一生活需要，保证社会稳定，为了保证弱势群体的基本生活，构建和谐社会，就必须保障粮食安全。

（五）有利于国民经济协调发展

粮食保险旨在克服因自然灾害带来的粮食生产的起落，确保粮食生产的稳定，有助于粮食安全。农业是国民经济的基础，而粮食生产又是农业的基础。国内外历史经验证明，一个国家经济的波动，首先是农业的波动，而农业生产的波动中首先又是粮食生产的波动。因为粮食生产发展了，供应充足了，一方面可以保证人们有足够的食物，有充足的精力从事各种生产活动；另一方面可以保证市场物价的稳定，经济的平衡发展；再一方面可以保证相关工业所需原材料的供应，从而促进国民经济各部门协调发展。相反，粮食生产萎缩，供应短缺，粮食安全问题凸现，则人民的生产、生活都会受到影响，整个国民经济发展则会陷入危机，这种境况，在经济学上叫“李嘉图陷阱”。在我国经济发展历史上，已有多次落入“李嘉图陷阱”，最严重的一次是“三年困难时期”。由此可见，粮食安全是一个国家经济安全的根本，要保证一国的国民经济健康运行，就必须保障粮食安全。

（六）有利于政府保费补贴更科学、公平，且有效率

按风险一致性原则厘定费率，将使高风险区的费率高，低风险区的费率低。根据这种科学合理的粮食保险定价，如果政府能

按费率的一定比率进行补贴，使政府对各地的保费补贴与其风险水平、费率水平相适应，即分配给高风险地区的相对较多，低风险地区的相对较少，则政府对各地区的补贴将更科学、更公平。并且，定价的科学性还能激发农民的投保热情：低风险区的农民因为费率较低、又有政府补贴而愿意购买，高风险区的农民因为风险较高、政府的补贴较多也愿意通过保险来分散风险。这样，农民购买保险的热情会相对提高，扩大了投保面，更好地分散了风险，也调动了保险人的积极性，从而有效放大政府补贴的效果，提高了保费补贴的使用效率，推动农业保险发展，确保国家粮食安全。

第二节

国内外研究综述

综合国内关于粮食安全的研究，主要集中在以下几个方面：粮食安全的内涵；粮食安全的衡量标准；粮食安全的影响因素；粮食供求、流通、价格、安全预警的研究；主产区和主销区的粮食安全责任；粮食安全保障体系等。关于农作物保险方面，在保险的必要性、保险的组织制度方面、保险经营的财务方面涉及较多。

从自然风险影响的角度关注粮食安全，并利用保险分散风险的相关研究，可归结为：农作物的自然风险区划研究；以参数估计法厘定农作物保险费率的研究，以非参数方法厘定农作物保险费率的研究三个主要方面。

一、农作物的自然风险区划研究

关于评价自然风险的影响程度，既有就单一风险进行的区划研究，也有就多种风险进行的区划研究。阿格特伯格等（Agterberg et

al. 1989, 1990)^{[4][5]} 和博纳姆·卡特等 (Bonham Carter et al., 1988)^[6] 在 20 世纪 80 年代末期提出了一种基于 GIS 的暴雨灾害评价的证据权重法。春山等 (Haruyama et al., 1996)^[7] 利用陆地卫星 (Landsat) TM 影像经主成分分析制作出地貌类型图, 以此对泰国中部平原的洪灾风险进行了评价和区划。莫尼拉尔·伊斯兰等 (Monirul Islam et al., 2002)^[8] 利用美国国家海洋和大气管理局气象卫星 (NOAA AVHRR) 影像, 运用最大似然法评价孟加拉国的洪水危险性。乔伊·桑亚尔等 (Joy Sanyal et al., 2005)^[9] 利用 ETM 数据, 经主成分变换后评价了印度恒河沿岸西孟加拉地区居民点的脆弱性。P·阿莱奥蒂等 (P. Aleotti et al., 1999)^[10] 采用 GIS 对意大利皮德蒙特 (Piedmont) 地区的总风险进行了区划制图研究。庾国柱、丁少群 (1994)^[11] 认为, 划分风险区域时所考虑的因素主要是气候和土壤两类, 选择了作物产量水平、产量变异系数、灾害发生频率和强度指标、气候综合评判值、地理指标、土壤等级、水利设施指标、其他经济技术条件的综合评判值、作物结构共 9 个具体指标, 以平均亩产量和亩产量变异系数为主导指标, 采用指标图重叠法对陕西泾阳棉花生产进行了分区。黄崇福、刘新立 (1998)^[12] 应用信息扩散的模糊数学方法对湖南省农业旱涝灾害进行了风险评估。刘长标 (2000)^[13] 提出并讨论了农作物区域产量保险风险区划中风险因子的选择问题。邢鹏、钟甫宁 (2006)^[14] 选择粮食单产变异系数、农作物成灾概率、粮食专业化指数、粮食效率指数 4 个主导指标, 运用聚类分析法对全国粮食产地进行了风险等级划分。陈新建、陶建平 (2008)^[15] 通过水稻单产变异系数、单产减产 10% 的概率、单产减产 20% 的概率、生产的专业化指数、生产的效率指数五个指标对湖北省水稻生产县市进行了风险区划。

二、以参数估计法厘定农作物保险费率的研究

划分风险区域, 再厘定费率, 这是很多开展农作物保险的国家

的共同做法，如加拿大、美国、日本、德国等。其目的都是一样——贯彻风险一致性原则。

保险费率厘定的关键是确定单产的概率分布。①基于正态分布的研究：农作物保险纯费率的厘定主要在于确定产量的期望损失，而计算期望损失必须确定农作物单产的概率分布密度函数。在服从正态分布的条件下，费率由分布的均值和方差确定^[16]。当样本容量充分大时，金（King, 1988）^[17]对正态假定下的期望损失的计算进行了简化。为了使所求费率与农作物生产历史相联系，上述正态法转换为实际生产历史法（APH 法）。若对区域农作物历年单产进行适当的趋势调整，则该方法称作调整后 APH 法^[18]。将 APH 法进一步改进，即通过某种方法求得历年农作物产量的理论值，然后根据历年实际产量与理论产量之差求得历年农作物产量的损失，进而求得农作物区域产量保险的经验费率，称为经验费率法。理论产量是通过农作物产量的时序趋势来确定的，线性模型不一定是较好的选择，门茨和帕代（Menz and Pardey, 1983）^[19]将具有状态转移的随机趋势模型引入农作物产量的时序分析。卡伦和科罗马（Kaylen and Koroma, 1991）^[20]利用农作物产量时序数据估计了随机趋势方程。如果再考虑农作物产量自身的自回归与滑动平均效果，可以利用 ARIMA 模型估计得到相应的农作物产量的趋势值。②基于非正态分布的研究：对于农作物产量分布的非正态性，戴（Day, 1965）认为适合负偏的贝塔（Beta）分布；加拉格尔（Gallagher, 1987）在研究美国大豆产量分布时使用了正偏的伽马（Gamma）分布；纳尔逊和普雷克尔（Nelson and Preckel, 1993）提出了条件贝塔（Beta）分布；莫斯和肖恩克怀尔（Moss and Shonkwiler, 1993）提出了逆双曲线正弦分布。

庾国柱等（1994）^[21]基于正态分布利用正态函数法厘定了陕西省泾阳县棉花保险统一保额下的分区费率。中国人民保险公司农险部（1994）在山东德州进行了农业保险单一风险责任的费率分区及测算试验，单产分布选取 t 分布。陈新建等（2008）^[22]基于正态