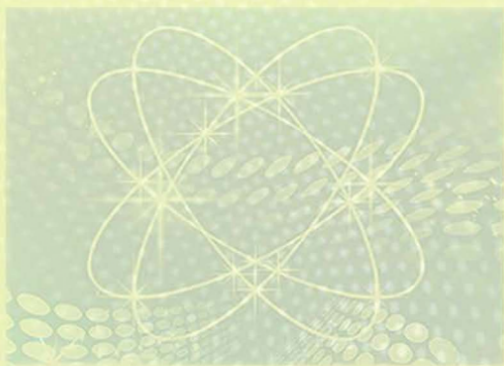


洪水灾害风险分析模型 与洪灾保险应用研究 ——以湖南省为例

欧阳资生 甘 柳 著



中南大学出版社

湖南省高等学校科技创新团队“开放经济条件下金融风险度量、控制与政策”及湖南省高等学校人文学社会科学重点研究基地“区域金融创新研究基地”资助

洪水灾害风险分析模型 与洪灾保险应用研究

——以湖南省为例

欧阳资生 甘 柳 著



中南大学出版社

www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

洪水灾害风险分析模型与洪灾保险应用研究:以湖南省为例/
欧阳资生,甘柳著. —长沙:中南大学出版社,2016. 1

ISBN 978-7-5487-2182-6

I. 洪... II. ①欧... ②甘... III. ①洪水-水灾-风险分析-湖南省
②洪水-灾害保险-研究-湖南省 IV. ①P426. 616 ②F842. 64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 028601 号

洪水灾害风险分析模型与洪灾保险应用研究 ——以湖南省为例

欧阳资生 甘 柳 著

☐责任编辑 浦 石 陈应征

☐责任印制 易红卫

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 湖南誉成广告印务有限公司

☐开 本 880×1230 1/32 ☐印张 5 ☐字数 125 千字 ☐插页

☐版 次 2016 年 1 月第 1 版 ☐印次 2016 年 1 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-2182-6

☐定 价 15.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

内容摘要

本书以洞庭湖地区为例,利用极值统计方法,研究分析水灾发生的频率并进行预报,同时开展洪灾风险评估和洪灾保险制度的研究,这为政府相关部门减少水灾预报中的失误和制定防洪减灾方案提供了方法指导与思路,并将丰富洪水频率分析和洪灾保险研究的内容。因此本项目的研究具有较好的理论和现实意义。本书主要包括如下六部分。

1. 基于单变量极值模型的洪水频率分析模型及其应用

采用广义极值模型对洪水发生的频率建立模型,得出 50 年和 100 年一遇的重现水平和超出历史最高水位的概率模型,并对桃江、津市等洞庭湖地区周边四个站点的水文数据进行实证分析;采用 GPD 模型进行洪水频率的分析,选取概率加权估计、矩估计、极大似然估计和贝叶斯估计方法进行了比较分析。利用 L-矩估计方法对湖南省内四水系 10 个主要水文站点近 50 年的水位数据进行分析 and 估计,利用拟合优度检验选择了各自相对最为合适的分布函数,在此基础上比较分析了各站点出现不同程度洪水的水位大小及变化情况。最后基于指数回归模型给出了矩估计的门限值选取原理和方法,利用 MC 方法,对 Burr(1, 1, 1)、Frechet(1) 等几种常见的极值分布进行模拟以验证模型,并运用洞庭湖湖区周边四个水文观测站所观察到的洪水流量数据进行了实证分析,得到了洪水分布的尾指数估计。

2. 基于 Copula 方法的联合洪水频率与风险分析

讨论了不同站点发生洪水的相依关系,研究基于 Copula 方法的联合洪水频率与风险分析方法。以湖南省四大水系中的四个站点 50 多年的年最高水位数据为基础,结合常用于灾害分析的分布模型估计出每个站点的洪水频率分布,再利用 Copula 函数模型得到两两水系间水位协同变化的联合分布函数,进而估计每两条

河流同时发生洪水灾害的概率。

3. 基于极值统计的洪灾保险风险定价研究

首先研究了我国洪灾保险债券的定价问题。通过收集我国洪水损失数据,利用非寿险精算方法对我国洪水损失分布和次数分布进行了分析。在此基础上利用资本资产定价模型(CAMP)和债券定价原理对洪水巨灾债券的收益率和价格进行了初步设计;研究了洪灾巨灾期权定价方法,利用精算定价的原理构建了洪灾巨灾期权定价模型,并利用相关的数据进行了实证研究,得到了不同期限的洪灾巨灾期权定价结果;在常利率情况下,建立了索赔次数为 Poisson - Geometric 过程的双险种风险模型,给出了该模型初始资产为 u 时生存概率所满足的积分方程以及初始资产为零时生存概率的精确解。同时将洪水损失的厚尾分布模型应用于此双险种模型,用来考虑保险在此类保单下的风险状况。

4. 洪灾所致的地质灾害纯保费估计与风险度量研究

以湖南省娄底市洪灾所致地质灾害的损失数据为样本,借助广义 Pareto 分布和对数正态分布对洪灾所致地质灾害损失分布进行刻画,建立了一个分段的地质灾害损失分布模型,然后讨论了洪灾所致地质灾害损失的纯保费和最大可能损失的估计问题,得到了一些有意义的结果。

5. 我国开展洪水保险的制度设计研究

首先对美国的洪水保险制度运行特点进行了较为详细的阐述,并通过对中美两国洪水保险开展情况的比较分析,提出适合我国国情的洪水风险防范措施和构建保险制度框架的建设性意见。

6. 洞庭湖地区防洪减灾的对策建议研究

结合前文关于洪水频率分析、洪灾保险定价和风险度量的理论研究结果,针对湖区水灾发生频繁的现状,首先分析了洞庭湖地区水灾的特点,然后探讨了湖区洪水灾害的成因,并在此基础上提出了正确处理治江与治湖的关系、防洪与排灌的关系,推行洪水保险,构建全方位、立体式的灾害救助体系等对策建议。

Abstract

In this book, we take the Dongting Lake area as an example and utilize the extreme value statistics to analyze the flood's frequency and its forecasting. Meanwhile, the works on flood disaster risk assessment and flood insurance study could help government departments to reduce the flood prediction error and provide methodological guidance and ideas in developing flood control or disaster mitigation program, which can also enrich the content of flood frequency analysis and study of flood insurance. Above all, the research of this project has a good theoretical and practical significance. The content of this book is organized as follows.

1. Model for flood frequency analysis based on single variable extreme value and its application

Utilizing generalized extreme value to model flood frequency, we get 50 and 100 year return levels and above the record level of probability models, and analyze empirically the hydrological data of Taojiang, Jinshi and other four sites near Dongting Lake. We conduct a comparative analysis by adopting the GPD model for flood frequency analysis and choosing probability weighted moment's estimation, moment estimation, maximum likelihood estimation and Bayesian estimation method. We use L – moment estimation method for analysis and estimation with annual water levels at ten hydrological stations, which represent the four major river systems in Hunan Province with nearly 50 years long history data, and then adopt goodness of fit test to select the most appropriate distribution function. On the basis of previous work, we analyze the different level of flood water level and changes in various hydrological stations, and therefore give the

threshold selecting methods of moment estimation based on exponential regression model. By using the MC method, we simulate the distributions of several common extreme value distributions, such as Burr(1, 1, 1), Frechet(1), to examine the models. Finally, we analyze empirically four observed hydrological flood flow data around Dongting Lake area, and derive the tail index estimation.

2. The joint flood frequency and risk analysis based on Copula approach

We discuss the dependency of floods frequency in different hydrological stations and study the joint risk of flood by Copula approach. Based on over 50 years' annual maximum water level data of four major river systems in the Hunan Province, we apply the distribution model for disaster analysis to estimate the flood frequency of each hydrological station, and then use Copula function to obtain the joint distribution function between two rivers' water level. Thus we can estimate the probability when flooding disasters occur at the rivers simultaneously.

3. Study of flood insurance risk pricing based on extreme value statistics

First, we investigate the pricing of flood insurance bond in China. By collecting flood losses data in China, we use non-life actuarial method to analyze the distribution of flood losses and frequency. Then, we design the yield and price of flood catastrophe bond according to the theory of Capital Asset Pricing Model (CAPM) model and bond pricing theory. Then we build a flood catastrophe options pricing model with actuarial pricing theory. Through empirically analyzing the data in the model, we capture the results of flood catastrophe options pricing in various terms. Then, a double-type insurance risk model with compound Poisson-Geometric process under a constant interest rate is constructed. The integral equation satisfying the non-ruin probability with initial reserve u and

the expression of non – ruin probability with 0 initial reserves are obtained. Meanwhile, we apply the heavy – tailed distribution model of flood losses to double – type – insurance risk model, and then we can consider the insurance risk under such insurance policy.

4. Net premium estimation of flooding – caused geological disaster and its risk measurement research

Taking the flood disaster losses data in Loudi Hunan, we apply a general Pareto distribution and log normal distribution to fit the flooding – caused geological disaster losses distribution and build a segmental geological disaster losses distribution model. At last, we discuss the net premium losses of flooding – caused geological disaster losses, and some significant results are obtained.

5. Study on the system designing of flood insurance in China

First, we give more detailed description of the operating characteristics of flood insurance in US. And then, we attempt to find the flood risk prevention measures and flood insurance system appropriate in the Chinese context through a comparative analysis of the differences of basic national conditions between China and the United States and present some policy recommendations.

6. Flood control and disaster reduction countermeasure research on Dongting Lake area

Combining the flood frequency analysis, pricing on flood insurance and results of theoretical research on risk measurement discussed above, we firstly analyze the characteristics of floods in Dongting Lake area and then explore the causes of flood disaster in Dongting Lake area. Based on the earlier works, we present suggestions on governing the lake and river, rolling out flood insurance, building comprehensive and integrated disaster relief system.

目 录

绪 论	(1)
-----------	------

第一篇 基于极值统计的洪水频率分析篇

第一章 基于单变量极值模型的洪水频率分析模型及其应用	(6)
----------------------------------	------

1.1 基于 GEV 模型的极值洪水频率分析模型及其应用	(7)
1.1.1 极值型定理和广义极值分布	(7)
1.1.2 GEV 分布的参数估计	(9)
1.1.3 重现水平和超出概率的估计	(10)
1.1.4 基于 GEV 的极值洪水频率分析的实证分析	(11)
1.1.5 小结	(19)
1.2 基于 GPD 模型参数估计的洪水频率分布拟合	(19)
1.2.1 GPD 模型的定义及其极限定理	(20)
1.2.2 厚尾分布的诊断	(21)
1.2.3 门限值的初步选取	(22)
1.2.4 GPD 模型的检验原理	(23)
1.2.5 GPD 模型的参数估计	(24)
1.2.6 洞庭湖湖区洪水频率分布的实证分析	(26)
1.3 基于 POT 模型贝叶斯估计的洪水频率分布拟合	(34)
1.3.1 模型参数的 MCMC 估计的思路	(34)
1.3.2 洪水频率分布拟合贝叶斯方法的实证分析	(36)
1.4 基于 L-矩估计法的湖南省洪水频率分析	(40)
1.4.1 引言	(40)

1.4.2	洪水频率分布的选取	(41)
1.4.3	几种常见分布参数的 L-矩估计	(44)
1.4.4	湖南省四水系各站点的洪水频率分析	(47)
1.4.5	小结	(54)
1.5	洪水频率分布的尾指数估计	(55)
1.5.1	引言	(55)
1.5.2	尾指数估计的统计建模	(57)
1.5.3	随机模拟	(61)
1.5.4	湖南省四水系洪水频率分析的实证分析	(62)
1.5.5	小结	(65)
第二章	基于 Copula 方法的联合洪水频率与风险分析 ...	(66)
2.1	引言	(66)
2.2	Copula 函数理论及联合分布的构建方法	(68)
2.3	湖南省四大水系极值洪水频率与风险的实证分析	(70)
2.3.1	湖南省四大水系的洪水频率分布估计	(70)
2.3.2	Copula 函数的选择及四大水系洪水水位相依变 动分析	(73)
2.4	小结	(77)

第二篇 基于极值统计的洪灾保险应用篇

第三章	洪灾保险风险定价研究	(78)
3.1	我国洪灾保险债券的定价研究	(79)
3.1.1	引言	(79)
3.1.2	我国洪灾损失模型的构建	(79)
3.1.3	洪灾债券设计	(83)
3.1.4	小结	(87)
3.2	洪灾巨灾期权定价方法研究	(87)
3.2.1	引言	(87)
3.2.2	洪灾期权定价模型分析	(89)

3.2.3 洪灾期权定价的实证分析	(92)
3.2.4 小结	(99)
3.3 复合 Poisson - Geometric 模型及其在洪灾保险风险模 型中的应用	(101)
3.3.1 引言	(101)
3.3.2 预备知识及模型定义	(101)
3.3.3 生存概率所满足的更新方程	(103)
3.3.4 $\varphi_{\delta}(0)$ 的精确解	(105)
3.3.5 洪灾巨灾保险的风险模型	(108)
3.3.6 举例	(108)
第四章 洪灾所致的地质灾害纯保费估计与风险度量 ...	(110)
4.1 引言	(110)
4.2 地质灾害损失分布模型拟合	(112)
4.3 地质灾害损失的纯保费估计和风险度量	(113)
4.3.1 地质灾害损失的纯保费估计	(113)
4.3.2 地质灾害损失风险度量方法	(114)
4.4 实证结果及分析	(114)
4.4.1 经验损失数据描述	(114)
4.4.2 地质灾害损失数据的分布探讨与纯保费估计	(116)
4.4.3 地质灾害造成的可能的最大损失 PML 的测算	(118)
4.5 研究结论	(118)
第五章 我国开展洪水保险制度的设计探讨	(121)
5.1 引言	(121)
5.2 美国洪水保险的运行模式分析	(123)
5.3 中美两国洪水保险比较分析	(125)
5.4 我国洪水保险未来的发展方向和政策建议	(128)

第三篇 洞庭湖地区防洪减灾对策建议篇

第六章 洞庭湖流域防洪减灾的对策研究	(131)
6.1 引言	(131)
6.2 洞庭湖水灾的特点	(132)
6.3 洞庭湖区洪水灾害的成因分析	(133)
6.4 洞庭湖湖区防洪减灾的对策建议	(137)
参考文献	(141)

引: 1600 万荷兰居民得到了统计公式的保护。由于荷兰一半以上的国土位于海平面之下, 因此该国筑起一条条海堤加以防范。这些海堤根据极值统计的数学原理设计, 用来对付大自然可能发起的最恶劣挑战。发生在 1953 年 2 月的海水倒灌灾难夺去了 1800 人的生命, 毁坏了 4.7 万间居民住宅。此后, 荷兰政府迫切需要修筑能保护该国数百年安全的新海防大堤。科学家们分析了该国有关此类极端事件的历史数据, 得出了新建堤防须 5 米高的标准。极值统计被用来确定新建堤防标准, 使在不远的将来再次发生灾难的机会变得微乎其微。

绪 论

洪水是一种自然现象, 不可避免, 但是近半个世纪以来, 洪水发生的频率更高, 损失也呈增长趋势。洞庭湖地区由于其特殊的地理位置决定了其洪水的多发性。据统计, 该地区从 1949 到 1998 年的 48 年中, 共发生水灾 43 次, 平均 1.1 年一次。20 世纪 90 年代湖区年年水灾, 1991、1993、1994、1995、1996 年洪灾损失分别为 28 亿元、92 亿元、152 亿元、202 亿元和 303 亿元, 1998 年洪灾损失高达 330 亿元。因此, 防洪减灾对洞庭湖地区至关重要。

防洪减灾是关乎国计民生的大事, 也是政府和民众一直关注的重大问题, 而进行洪水灾害分析则是防洪减灾的基础。因此, 如何准确地获得洪水频率变化情况一直是防洪减灾机构和管理人员所关注的重点。当然, 其中最重要的一部分工作就是对洪水频率分布进行估计, 获取相对接近真实情况的分布函数, 从而发现洪水发生的频率和强度的规律性。而这些需要我们用极值统计方

法进行研究。

作为一种对随机现象的研究理论,极值理论可追溯到 20 世纪初期,但直到 20 世纪 50 年代后,才真正被人们关注并用于建模。极值理论的应用始于工程设计,现已广泛应用于水利、保险等各个方面。在 20 世纪 90 年代以来,极值理论在国外得到了较快的发展,许多学者对极值理论做了系统研究和梳理,详细内容可参见 Reiss and Thomas(2001) 和 Embrechts et al. (1997) 的著作。在国内,专注于极值理论研究的学者集中在少数几个学校。北京大学的潘家柱和程士宏、天津大学的史道济、中国科技大学的苏淳、湖南商学院的欧阳资生等是国内较早对极值理论进行研究的学者。目前,欧阳资生所著的《极值估计在金融保险中的应用》(2006)、史道济所著的《实用极值统计方法》(2006) 是国内较完整、较详尽的极值理论专著。对极值理论的应用研究,国内学者则相对较多,涉及金融、保险、水利、气象等方面,但主要集中在金融领域。

本书以洞庭湖地区为例,利用极值统计方法,研究分析水灾发生的频率并进行预报,同时开展洪灾风险评估和洪灾保险制度的研究,为政府相关部门减少水灾预报中的失误和制定防洪减灾方案提供方法指导与思路。同时也将丰富洪水频率分析和洪灾保险研究的内容,弥补国内这方面研究的不足。因此本课题的研究具有较好的理论价值和现实意义。

本书的研究内容分为基于极值统计的洪水频率分析篇、基于极值统计的洪灾保险应用篇和洞庭湖地区防洪减灾的对策建议三篇,共六章,每一章的具体内容如下:

第一章,研究了基于单变量极值模型的洪水频率分析模型及其应用。在第一节首先采用广义极值模型对洪水发生的频率建立模型,得出 50 年和 100 年一遇的重现水平和超出历史最高水位的概率模型,然后以桃江、津市等洞庭湖地区周边四个站点的水

文数据进行实证分析;第二、第三节采用 GPD 模型进行洪水频率分析,本书选取概率加权估计、矩估计、极大似然估计和贝叶斯估计方法,并将其进行了比较分析;第四节利用 L-矩估计方法对湖南省内四水系 10 个主要水文站点近 50 年的水位数据进行分析和估计,利用拟合优度检验选择了各自相对最为合适的分布函数。在此基础上比较分析了各站点出现不同程度洪水的水位大小及变化情况;第五节首先基于指数回归模型给出了矩估计的门限值和样本点分割的选取原理和方法,然后利用 MC 方法,对 Burr (1, 1, 1)、Frechet(1)、学生-t4 等几种常见的极值分布进行模拟以验证模型,最后运用洞庭湖湖区周边四个水文观测站所观察到的洪水流量数据进行了实证分析,得到了洪水分布的尾指数估计。

第二章,讨论了不同站点的洪水发生的相依关系,研究了基于 Copula 方法的联合洪水频率与风险分析方法。首先以湖南省四大水系中的四个站点 50 多年的年最高水位数据为基础,结合常用于灾害分析中的分布模型估计出每个站点洪水频率的分布,再利用 Copula 函数模型得到两两水系间水位协同变化的联合分布函数,进而估计每两条河流同时发生洪水灾害的概率。

第三章,主要讨论了洪灾保险风险定价问题。在第一节,研究了我国洪灾保险债券的定价问题。通过收集我国洪水损失数据,利用非寿险精算方法对我国的洪水损失分布和次数分布进行了分析。在此基础上利用资本资产定价模型和债券定价原理对洪水巨灾债券的收益率和价格进行了初步设计;第二节研究了洪灾巨灾期权定价方法,本书利用精算定价的原理,构建了洪灾巨灾期权定价模型,然后利用相关的数据进行了实证研究,得到了不同期限的洪灾巨灾期权定价结果;第三节在常利率情况下,建立了索赔次数为 Poisson-Geometric 过程的双险种风险模型,给出了该模型初始资产为 u 时生存概率所满足的积分方程,以及初始

资产为零时的生存概率的精确解。考虑到洪灾巨灾的厚尾性,将洪灾损失的厚尾分布模型应用到此双险种模型上,用来分析保险在此类保单下的风险状况。

第四章,主要研究了洪灾所致的地质灾害纯保费估计与风险度量问题。本书以湖南省娄底市洪灾所致地质灾害的损失数据为样本,借助广义 Pareto 分布和对数正态分布对洪灾所致地质灾害损失分布进行刻画,建立了一个分段的地质灾害损失分布模型,然后讨论了洪灾所致地质灾害损失的纯保费和最大可能损失的估计问题,得到了一些有意义的结果。

第五章,研究了我国开展洪水保险的制度设计。首先对美国的洪水保险运行特点进行了较为详细的阐述,并通过对中美两国洪水保险开展情况的比较分析,提出了适合我国国情的洪水风险防范措施和构建保险制度框架的建设性意见。

第六章,提出了洞庭湖地区防洪减灾的对策建议。结合前几章关于洪水频率分析、洪灾保险定价和风险度量的理论研究成果,针对湖区水灾发生频繁的现状,首先分析了洞庭湖地区水灾的特点,然后探讨了湖区洪水灾害的成因,并在此基础上提出了如何正确处理治江与治湖的关系、防洪与排灌的关系,推行洪水保险,构建全方位、立体式的灾害救助体系等的对策建议。

本书的创新性的主要体现在以下几个方面:

(1) 采用 GEV、GPD 和半参数极值模型分别对洪水发生的频率建立模型,并采用概率加权估计、L-矩估计和贝叶斯估计等参数和非参数估计方法对其参数进行估计,分析洪水频率分布的尾部特征,得到 50 年和 100 年一遇的重现水平和超出历史最高水位的概率预报模型,拓宽了洪水频率分析理论的研究思路。

(2) 借助 Copula 方法研究了不同站点的洪水发生的相依关系,有效地解决了不同水系同时发生水灾的概率计算问题。将 Copula 方法引入到洪水频率分析中,有效解决了不同水系洪灾发

生的相依关系。

(3) 研究了我国洪灾保险债券和洪灾巨灾期权的定价问题。利用极值理论、资本资产定价模型和债券定价原理构建了洪水巨灾债券和洪灾巨灾期权定价模型。同时,建立了索赔次数为 Poisson - Geometric 过程的双险种风险模型,给出了该模型初始资产为 u 时生存概率所满足的积分方程,及初始资产为零时的生存概率的精确解,丰富了洪灾保险的研究内容。

(4) 通过对广义 Pareto 分布的检验,得到了洪灾损失的精确的门限值和样本点分割方法,并由此建立了一个分段的灾害损失分布模型以合理估计灾害损失的纯保费和最大可能损失,为保险公司防范风险提供了一个很好的方法。