

ATMOSPHERIC SCIENCE RESEARCH AND APPLICATION

大气科学研究与应用

(2013·1)

上海市气象科学研究所 编

大气科学研究与应用

(2013 · 1)

(第四十四期)

上海市气象科学研究所 编

图书在版编目(CIP)数据

大气科学研究与应用. 2013. 1/上海市气象科学研
究所编. —北京:气象出版社, 2013. 12

ISBN 978-7-5029-5852-7

I. ①大… II. ①上… III. ①大气科学-文集 IV. ①P4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 286547 号

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

策划编辑:沈爱华

责任编辑:蔺学东

封面设计:刘 扬

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:205 千字

版 次:2013 年 12 月第 1 版

定 价:25.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:周诗健

责任技编:吴庭芳

印 张:8

印 次:2013 年 12 月第 1 次印刷

《大气科学研究与应用》第三届编审委员会名单

顾 问:秦曾灏 朱永禔

主 编:徐一鸣

副主编:端义宏

委 员:(以姓氏笔画为序)

王守荣	王迎春	王以琳	边富昌	许健民	刘万军
李泽椿	李永平	李 文	陈联寿	陈双溪	沈树勤
邵玲玲	罗哲贤	周诗健	钮学新	柯晓新	钟晓平
徐一鸣	钱永甫	梁建茵	崔春光	曹晓岗	黄 炎
黄家鑫	董安祥	雷小途	端义宏		

前 言

《大气科学研究与应用》是由上海区域气象中心和上海市气象学会主办、上海市气象科学研究所编辑、气象出版社公开出版发行的大气科学系列书刊。

自 1991 年创办以来,每年 2 本,至今共出版了 44 本,刊登各类文章 600 多篇,共约 700 多万字,文章的作者遍及于全国各地气象部门和相关大专院校,文章的内容几乎涵盖了大气科学领域的各个方面,以及和气象业务有关的一些应用技术。经过历届编审委员会的努力,《大气科学研究与应用》发展成为立足华东、面向全国,以发表大气科学理论在业务应用和实践中最新研究成果为主的气象学术书刊,在国内具有一定的知名度。作为广大气象科研和业务技术人员进行学术交流的园地,受到了华东地区乃至全国气象台站、气象研究部门和相关大专院校师生(包括港、台)的欢迎。

从 2005 年开始,根据各方面的意见,我们对书刊的封面和部分版式、内容进行适当的调整,例如在目录中不再划分成论文、技术报告和短论等栏目,而统一按文章的内容进行编排,使之更为符合本书刊所强调的理论研究与实际应用相结合的特色。

从 2007 年第 2 期(总第三十三期)起,《大气科学研究与应用》被《中国学术期刊网络出版总库》全文收录。

从 2009 年第 1 期(总第三十六期)起,《大气科学研究与应用》部分文章以彩色印刷出版。

与此同时,希望继续得到大家的关心和热情支持,对书刊存在不足和今后发展提出宝贵意见和建议,使《大气科学研究与应用》能更好地为广大气象科技工作者服务。

《大气科学研究与应用》第三届编审委员会

主编 徐一鸣

大气科学研究与应用

(2013 · 1)

目 录

基于同现超越概率的热带气旋影响与致灾风险评估方法及其应用	
..... 杨秋珍 徐 明 鲁小琴(1)	
上海地区近 12 年暴雨个例分型及预报要点	
..... 朱佳蓉 漆梁波(13)	
四种再分析温度资料与中国东南部探空资料的对比分析	
..... 谢 潇 祁 莉 黄宁立 等(25)	
2012 年汛期东亚夏季风活动进程及上海阶段性天气气候	
..... 汪佳伟 梁 萍 彭玉萍(38)	
影响镇江市的台风概况与灾害分级预评估	
..... 李建国 周 勍 田永飞(47)	
1007 号台风“圆规”转向时环境环流变化特征分析	
..... 朱智慧 黄宁立 戴 平(55)	
金华地区一次副热带高压控制下强对流天气过程诊断分析	
..... 严红梅 黄 艳(63)	
上海地区强降水特征分析	
..... 顾忠良(70)	
2012 年上海地区空气质量综述	
..... 甄新蓉 许建明 张国珏(79)	
2012 年 7 月 6 日上海强对流天气过程的气象服务浅析	
..... 王秋云 俞晓东(86)	
2012 年春季奉贤一次大雾过程分析	
..... 过霁冰 徐 杰 郭品强(94)	
基于飞信技术开发的天气监测预警平台	
..... 沈 伟 吴 杰 王文清 等(102)	
自动土壤水分观测数据异常原因分析	
..... 巫丽君 潘建梅 魏爱明 等(109)	
闽西北地区一次冰雹大风灾害成因分析	
..... 阮锡章 张昌荣 陈延云 等(115)	

Contents

A Mixed Probability Method Based on Copula Theory for Measuring Tropical Cyclone Disaster Risk and Its Application	YANG Qiuzhen XU Ming LU Xiaoqin (1)
The Classification and Forecast Key Points of Heavy Rainfall over the Past 12 Years in Shanghai	ZHU Jiarong QI Liangbo (13)
Comparison of Four Reanalysis Datasets and the Upper-Air Observations about Temperature over Southeastern China	XIE Xiao QI Li HUANG Ningli, et al. (25)
East Asian Summer Monsoon Activities and Shanghai Periodic Weathers in the 2012 Flood Season	WANG Jiawei LIANG Ping PENG Yuping (38)
Assessment of the Impact of Typhoon Situation and Disaster Grades in Zhenjiang City	LI Jianguo ZHOU Qing TIAN Yongfei (47)
The Analysis of Environment Field Change During the Turning Time of Typhoon Kompasu (1007)	ZHU Zhihui HUANG Ningli DAI Ping (55)
Diagnosis of Severe Convective Weather Occurring in the Subtropical High in Jinhua Area	YAN Hongmei HUANG Yan (63)
Analysis of Heavy Precipitation Characteristics in Shanghai	GU Zhongliang (70)
Analysis of Shanghai Air Quality in Year 2012	ZHEN Xinrong XU Jianming ZHANG Guolian (79)
Analysis of the Meteorological Service of a Severe Convective Weather Process Occurring on July 6, 2012 in Shanghai	WANG Qiuyun YU Xiaodong (86)
Analysis of an Advection Fog Event over Fengxian in Spring of 2012	GUO Jibing XU Jie GUO Pingqiang (94)
Development of Weather Monitoring and Warning System Based on Fetion Technology	SHEN Wei WU Jie WANG Wenqing, et al. (102)
Causation Analysis of Exception Data in Automatic Soil Moisture Observations	WU Lijun PAN Jianmei WEI Aiming, et al. (109)
Causation Analysis of a Hail with Gale Disaster Weather in Northwestern Fujian	RUAN Xizhang ZHANG Changrong CHEN Yanyun, et al. (115)

基于同现超越概率的热带气旋影响 与致灾风险评估方法及其应用

杨秋珍^{1,2} 徐 明^{1,2} 鲁小琴^{1,2}

(1 中国气象局上海台风研究所 上海 200030;

2 中国气象局台风预报技术重点开放实验室 上海 200030)

提 要

热带气旋(TC)成灾是多因素共同作用复杂的非线性过程。在灾害应对能力无显著变化的前提下,成灾风险大小常与台风风雨影响强弱相一致。台风风雨越大,越趋于小概率事件时,导致严重灾害的可能性越大。本文引入 Copula 函数探讨 TC 风雨联合影响概率风险,依据气象随机现象在时间域与空间域分布上具等价性的原理,以 TC“海葵”对上海地区影响为例,建立了以日最大降水量、极大风速为边际分布、基于 Copula 的联合概率风险评估模型,并以台风风雨同现超越概率作为度量影响风险大小的判别依据。结果显示,风雨同现超越概率能很好地表征各地受 TC 影响风险程度,尤其对受灾严重的高风险区有相当准确的鉴判。这为根据气象资料评估极端事件影响风险程度的准确性提供了有价值的思路。

关键词 热带气旋影响 Copula 联合分布 同现超越概率 风险评估

0 引 言

热带气旋(以下简称 TC)是世界上致灾影响最大的自然灾害之一,具有发生频次高、影响面广、成灾度大等特征,历来对我国危害十分严重。其主要致灾因素是强风和暴雨,尤其在与风暴潮、天文潮相遇时所掀起的狂涛巨浪,常导致极其严重的致灾后果^[1,2]。随着经济社会的高速发展,TC 致灾影响日趋加重,引起国际社会广泛关注。所以,近十多年来,不少学者致力于 TC 灾害损失预测及灾害风险评估的研究和探索,相关的模型及应用也日益成熟。国际上对飓风(Hurricane)损失风险评估的研究较多集中在风工程方面,尤其侧重结构易损性等方面^[3~10]。国内早在 20 世纪 90 年代中期,卢文芳^[11]用统计回归方法对上海台风灾情评估进行过研究。近 10 多年间 TC 灾害研究主要采用灾情指数、层次分析、模糊综合评判、灰色理论、神经网络等方法评估预测 TC 灾情或分析 TC 灾害风险^[12~31],取得了不少有价值的成果,但也存在一些问题。上述多数方法基本思路是先建立各类评估指标,由于主要是基于专家经验进行的,无法避免主观性;神经网络等人工智能法基于样本信息的先验知识,克服了专家经验的主观性,评价结果的准确性较高,但也

资助项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)“台风登陆前后异常变化及机理研究”第五课题“登陆台风强风暴雨及成灾机理研究”(2009CB421505);科技部行业专项“台风灾情资料整编技术研究”(GYHY200906005)。

作者简介:杨秋珍(1963—),女,上海人,高级工程师,主要从事气象事件影响及台风灾害风险评估方法研究。

E-mail: yangqz@mail. typhoon. gov. cn.

具有与回归方法向众数靠近的相同特性,不能较好地表征极端事件。另外,风险事件的发生是在多个影响因素共同作用下的随机事件,风险评估就是根据多个影响因素的状态确定事件可能处于的状态及其概率,不确定性是风险评估的本质特性,但上述方法都无法给出风险事件发生的概率,最终导致评价结论为确定性结论,不能反映风险事件的随机特性。近年,杨秋珍^[32~34]等研发了基于致灾因子超越概率风险评估方法,一定程度上能对 TC 致灾风险强度进行客观描述,对 TC 致灾极端事件影响程度也能较好刻画。本文引入 Copula 连接函数,研究探讨 TC 风雨联合影响风险的恰当表达方式,建立致灾风险评估模型及基于联合概率的风险判据,并应用于 TC 影响风险空间分区评估。

1 思路及方法

1.1 思路要点

“风险”(risk)常指具有确定概率分布的不确定性^[35~38]。气象事件在任何时空尺度上都具有一定程度的随机性。按照随机过程的遍历性原理,以时间域的频次为考察对象的单个测点的气象要素概率分布与以空间或质量占有数为对象的气象要素场空间概率分布,两者并无本质区别^[39]。从理论上说,借助于概率分布函数(PDF)的适当解析形式可以对气象要素的水平空间分布非均匀性做出严谨的数学描述。而确定恰当的 PDF 描述函数是反映气象要素的水平空间分布的非均匀性特征的关键步骤^[42]。

众所周知,TC 灾害的影响因素有多种,损失后果也有多重表现,同时它们间的相互关系也错综复杂。客观评估 TC 影响致灾风险须全面考量各类 TC 成灾风险因素的影响,但许多资料受部门协调的限制,难以快速获得。考虑到一定区域,在应灾能力(风险控制管理能力)无显著变化的前提下,TC 所带来的破坏损失主要源于与之相伴生的大风、暴雨等,承灾体(人、财、物、生态环境)受灾的轻重与 TC 风雨致灾因子的强弱是相一致的,当风雨强度趋于小概率事件时,超出设防能力可能性大,应对难度高,造成的破坏越严重,出现严重灾害的可能性也越大。相反,当风雨强度较小,趋于可遇机会大的常发事件时,灾情往往较轻或倾向无害甚或有益。可以推知,当风雨变量同时趋于极端情况时(都为小概率时),便有可能触发更极端联合事件,它是更小的小概率事件,成灾风险往往比单因子为小概率事件时更严重,出现巨灾的可能性更大。对于多个变量同时作用的随机现象的概率问题,适合依托多变量联合分布来加以研究,以联合概率值作为度量 TC 影响强度及致灾风险是较为恰当的,可对多个变量同时达到极值的随机现象的概率风险做出客观的度量。Copula 连接函数能将响应变量与解释变量联系起来,由于对随机变量没有必须服从正态分布的要求,适用面宽泛,有助于分析多因素相互作用的联合事件概率,近年来在金融、水文等领域得到较多应用。

1.2 基于联合分布的 TC 风雨影响风险评估

(1) Copula 函数与多维随机变量的联合分布

Sklar 定理给出了 Copula 函数和多维变量联合分布的关系,设 X, Y 为连续的两维随机变量,那么存在唯一的 Copula 函数 $C_\theta(\cdot)$,使得:

$$H(x, y) = C_\theta(F_X(x), F_Y(y)), \forall x, y \quad (1)$$

式中: $F_X(x)$ 和 $F_Y(y)$ 分别为 X, Y 的边沿分布函数,其中, $F_X(x) = P(X \leq x)$, $F_Y(y)$

$= P(Y \leq y)$; $H(x, y)$ 是具有边缘分布 $F_X(x)$ 和 $F_Y(y)$ 的联合分布函数^[40~42]; $C_\theta(F_X(x), F_Y(y))$ 为 Copula 函数, θ 为 Copula 函数待定参数, 取决于变量间协调性。

度量变量间协调性的指标有多种, 其中 Kendall 秩相关系数 τ 既可描述变量之间的线性相关关系, 还适用于描述变量之间非线性的相关关系。通过下式求得 Kendall 秩相关系数 τ :

$$\tau = P[(x_1 - x_2)(y_1 - y_2) > 0] - P[(x_1 - x_2)(y_1 - y_2) < 0] = 4 \int_1^2 \int_1^2 C(s, t) ds dt - 1 \quad (2)$$

如果 τ 为正值, 说明两个变量变化趋势是一致的, 一个变量变大, 另一个变量变大的可能性大; 如果 τ 为负值, 说明两个变量变化趋势是相反的, 一个变量变大, 另一个变量变小的可能性大; 如果 τ 为零, 则表明两个变量之间相互独立。

设 V, R 是风雨影响强度随机变量, (V, R) 是同一概率空间 $(\Omega, \mathcal{F}, P)$ 上的二维随机向量, 为了描述 (V, R) 的整体统计规律, 引入联合分布函数的概念, 称二元函数:

$$F(v, r) = P(V \leq v, R \leq r), (v, r) \in R^2 \quad (3)$$

式(3)为 (V, R) 的联合分布函数, 而 $F_V(v) = P(V \leq v)$, $F_R(r) = P(R \leq r)$, 分别表示 V 与 R 的边沿分布。

对于 TC 风雨共同影响, 关注的主要是以下事件:

$$E_{v,r}^{\cap} = (V > v) \cap (R > r) \quad (4)$$

式中: $E_{v,r}^{\cap}$ 表示事件中风和雨变量(极大风速 V 、日最大降水量 R)同时超过某一特定值。而 $E_{v,r}^{\cap}$ 事件的超越概率称作同现超越概率 $P_{\cap}(v, r)$, 本文中用以表征影响风险大小, 定义如下:

$$P_{\cap}(v, r) = 1 - P(V \leq v \cap R \leq r) \quad (5)$$

$P_{\cap}(v, r)$ 表达的是风及雨皆超过各自某特定界限值的联合事件出现概率, 其值越小, 反映出风雨联合事件影响强度越大, 而概率低的高强度风雨事件造成的灾情常较大; 反之, 出现概率高的一般风雨联合事件所造成的灾情往往较小。依据 $P_{\cap}(v, r)$ 与灾情的依存性, 确立风险划分阈值标准。

(2) 模型参数估计及适度检验^[43~45]

随机变量分布概率模型参数估计通常由矩估计法、概率加权矩法、极大似然法等得到; 拟合优度评价指标是选择分布线型的一个重要标准, 这里引入两种用于评价分布模型能否很好地拟合变量实际分布的检验方法: Kolmogorov-Smirnov (K-S) 法与离差平方和 (OLS) 最小准则。

Kolmogorov-Smirnov (K-S) 检验方法:

评价联合分布理论频率与联合观测值的拟合程度的二维随机变量统计量 d_n 计算如下:

$$d_n = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \left| F(x_i, y_i) - \frac{m(i) - 1}{n} \right|, \left| F(x_i, y_i) - \frac{m(i)}{n} \right| \right\} \quad (6)$$

式中: $F(x_i, y_i)$ 为 (x, y) 的联合分布; $m(i)$ 为联合观测值样本中满足条件 $x \leq x_i, y \leq y_i$ 的联合观测值的个数; d_n 为经验分布函数与理论分布函数样本点上的偏差中的最大值, 若 n 很大, 则 $d_n \sqrt{n}$ 近似地服从分布 $\theta_n(\lambda)$, λ_α 为信度 α 下满足 $\theta(\lambda_\alpha) = 1 - \alpha$ 的临界值, 若 $d_n \sqrt{n} < \lambda_\alpha$ 则接受原假设, 即理论分布函数与经验分布函数无差异。

OLS 评价方法:

以离差平方和最小准则法 (OLS) 选取 OLS 最小的 Copula 作为连接函数。OLS 的计算公式如下:

$$OLS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{\alpha} - P_i)^2} \quad (7)$$

式中: P_{α} 、 P_i 分别为经验频率和理论频率, i 为样本序号。当 OLS 值越小时, 模型拟合得越好。

2 上海应用实例

上海东濒东海, 南临杭州湾, 北界长江入海口, 5—11 月间易受 TC 影响, 常导致较大灾害损失。据统计, 近 500 年间造成上海万人以上死亡的台风灾害多达 17 起。即使在防御能力相当强大的当今, 仍不时遭灾^[46]。如 0509 号“麦莎”、0513 号“卡努”、0716 号“罗莎”及 1211 号“海葵”都给上海带来较大灾害损失。为此, 本文以“海葵”TC 对上海的影响为例, 研究基于多变量联合分布的 TC 影响风险评估方法, 从空间上对影响风险程度做出客观诊断, 为防台减灾提供有效依据。

2.1 资料来源与处理说明

本文所用的气象资料是由上海市气象信息技术支持中心提供的“海葵”影响上海期间自动气象站风雨记录, 资料起讫时间为 2012 年 8 月 7 日 00 时至 8 月 10 日 23 时, 包括各地过程降水量、日最大降水量、时最大降水量, 最大风速、极大风速及相应风向, 各级最大风速、各级极大风速、各级降水量持续时间等。

文中涉及的灾情资料来自于农林部门、因特网、民政部门公布的数据。并规定 TC 影响上海期间凡导致灾情损失后果(包括人、财、物、生态环境等受损)的地区为受灾地点, 否则为非受灾影响地区。

2.2 TC“海葵”对上海影响基本情况

2012 年第 11 号强台风“海葵”, 于北京时间 8 月 3 日 08 时在台湾以东约 2000 km 洋面(140.7°E, 23.2°N)生成。生成后 48 h 内, 较为稳定地向西北偏西方向行进; 6 日 14 时至 8 日 03 时进入我国海域并迅速增强为强台风, 移向由西转为西北; 8 日 03 时 20 分登陆浙江象山县鹤浦镇, 登陆时近中心附近最大风力 14 级, 登陆后西北行至浙皖交界处停滞消亡(9 日 20 时)。其产生的风雨浪潮的影响范围广、强度大, 给浙、沪、苏、皖等省市造成较严重灾害。

“海葵”中心位置离上海最近时仅 120 km 左右, 受“海葵”影响, 8 月 7—8 日上海地区普遍出现狂风暴雨, 24 h 最大降水量仅崇明为暴雨, 其他地区均为 100 mm 以上的大暴雨, 嘉定降水量达 200 mm 以上(最大 1 h 降水量超过 50 mm), 浦东、嘉定、松江 > 25 mm 的有 2 个时次。各区县局本部测站的最大 24 h 降水量为 215.4 mm(嘉定站), 非局本部测站最大值达 245 mm(市区鲁迅公园)。南部金山、奉贤、青浦地区出现 10~11 级大风, 沿海及洋山地区在 12~13 级以上。期间, 局本部测站的最大阵风风速除徐家汇外, 均为 8 级以上, 其中, 浦东、宝山、闵行为 8 级, 嘉定、海洋台、崇明、松江为 9 级, 青浦、奉贤 10 级, 金山 11 级; 嘉定、海洋台、崇明、奉贤、青浦、金山的 8 级大风持续时间超过 10 h; 非局

本部测站如洋山与奉贤海湾测得最强风速达 13 级以上。

2.3 TC 风雨影响强度边缘分布确定

据对台风灾害历史资料的研究结果,在众多影响上海的 TC 致灾因素中,与灾情程度最为密切,通过置信水平 $\alpha = 0.01$ 极显著检验的是过程极大风速与最大日降水量。另外,TC 的位置(离沪最近点距离)、强风暴潮与致灾的相关系数也达极显著水平。考虑到业务应用,必须考虑到资料的易得性,本文选取极大风速、24 h 最大日降水量两个变量作为评判 TC 影响的关键因子。

“海葵”影响过程造成上海风雨地区分布的基本统计特征见表 1。由表 1 看出,最大日降水量地区分布的数据峰度为负值,表明峰度比正态分布低,偏度系数大于零,为右偏(正偏)分布。极大风速地区分布数据的峰度也为负值(低于正态分布),但偏度系数小于零,为左偏(负偏)分布。可见,“海葵”风雨地区分布均为有偏分布。

表 1 海葵风雨地区分布数据的基本特征

	最大日降水量	过程极大风速
平均值	122.5 mm	22.0 m/s
中位数	116.5 mm	22.4 m/s
标准差	55.6	5.11
峰度	-0.3329	-0.3174
偏度	0.2141	-0.2531

根据多种概率分布模型(Weibull 分布、Gumbel 分布、广义极值分布、GPD 分布、P-III 分布及生物种群增长模型)对实际风雨致灾因子数据的拟合结果,应用参数估计及拟合优度检验方法进行筛选,发现 Weibull 分布适于拟合各地极大风速 V 的边缘分布函数,而生物种群增长模型适合拟合各地 24 h 最大日降水量 R 的边缘分布函数:

极大风速分布函数具体形式:

$$F_V(v) = 1 - e^{-\frac{(v-0.828)^{4.4638}}{e^{-14.026}}} \quad (8)$$

式中:拟合相关系数为 0.9938; $OLS = 0.0241$, $d_n \sqrt{n} = 0.0709$,通过 K-S 检验,

最大日降水量分布函数具体形式:

$$F_R(r) = \frac{1.0649}{[1 + e^{(0.6876-0.0188r)}]^{0.2579}} \quad (9)$$

式中:拟合相关系数为 0.9957; $OLS = 0.0264$, $d_n \sqrt{n} = 0.5221$,通过 K-S 检验。

同时,由 TC 海葵影响上海各地极大风速及最大日降水量,分别求得各自的累积频率 F_{mv} 、 F_{mr} ,将风雨边缘分布函数计算所得的 $F_V(v)$ 、 $F_R(r)$ 值对 F_{mv} 、 F_{mr} 的拟合情况由图 1~图 4 给出。从图中看出,各边缘分布的理论曲线能够很好地拟合出边缘分布的实际概率,这也反映出用上述分布概率模型表示各地风雨的边缘分布是合理的。

2.4 风雨影响强度联合分布模型的构建

统计表明,TC 极大风速与最大日降水量的 Kendall 秩相关系数为 -0.1779,根据统

计量 $|t_{\text{实}}| = \left| \frac{\gamma \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-\gamma^2}} \right|$ (n 为样本数、 γ 为秩相关系数),计算出秩相关系数统计值

$|t_{\text{实}}| = 1.5552$, 由于 $|t_{\text{实}}| < t_{0.01} = 2.6516$, 未能通过置信水平 $\alpha = 0.01$ 显著性水平检验, 说明风雨两变量之间无显著的相依性。

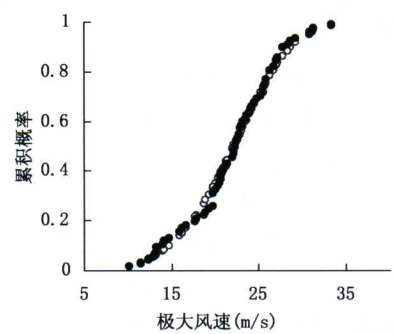


图1 极大风速空间分布累积概率
拟合值与经验值比较
(实心黑点为实际值, 空心点为理论值)

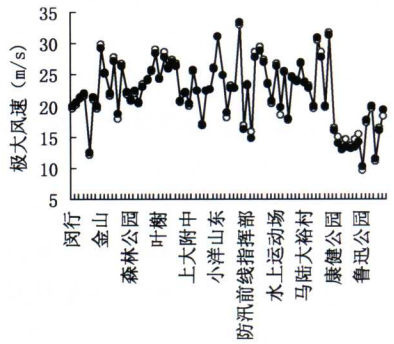


图2 极大风速空间分布拟合值与
实际值比较
(实心黑点为实际值, 空心点为拟合值)

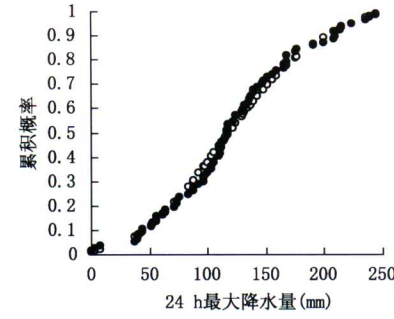


图3 24 h 最大降水量空间分布累积概率
拟合值与经验值比较
(实心黑点为实际值, 空心点为理论值)

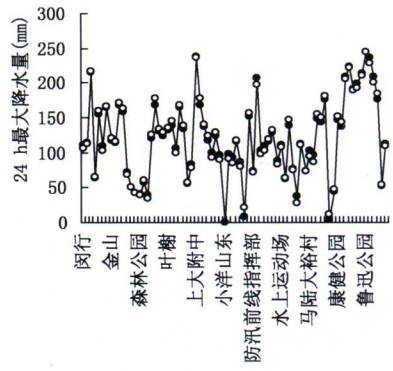


图4 24 h 最大降水量空间分布拟合值与
实际值比较
(实心黑点为实际值, 空心点为拟合值)

根据不同的 Copula 函数对于变量相依性适应范围, 本文选择 *Ali — Mikhail — Haq* (AMH) Copula 函数来构造联合分布函数。因为 (AMH) Copula 函数能描述正相关或负相关的随机变量, 但是不适用于非常高的正相关性或负相关性,

(AMH) Copula 函数如下:

$$C(s, t) = \frac{st}{[1 - \theta(1-s)(1-t)]}, \theta \in [-1, 1) \tag{10}$$

式中: $s = F_V(v)$ 、 $t = F_R(r)$ 分别为 TC 海葵影响上海各地极大风速与最大日降水量的边缘分布函数; θ 为 (AMH) Copula 函数的参数, 本文采用 Genest 和 Rivest 等提出的非参数估计方法进行估计, 其优点在于不用假设边际分布, 有助于降低因边际分布的假设不当而带来的误差, 它与 Kendall 秩相关系数 τ 关系如下:

$$\tau = (1 - \frac{2}{3\theta}) - \frac{2}{3} \left(1 - \frac{1}{\theta}\right)^2 \ln(1 - \theta), \theta \in [-1, 1) \tag{11}$$

解上述方程得到 $\theta = 0.9749$, 得到 $(v, r) \in R^2$ 的 (AMH) Copula 模型具体形式为 $F(v, r) = C(s, t)$ 。

由各地极大风速 V 、最大日降水量 R 实测数据, 求得 (AMH) Copula 计算的理论联合分布概率值 $F(v, r)$ 对风雨经验联合分布概率 F_{emp} (为 $V \leq v_i, R \leq r_i$ 的累积频率值) 的拟合相关系数为 0.9877, 将两者绘于图 5 中; 各地的拟合情况见图 6。

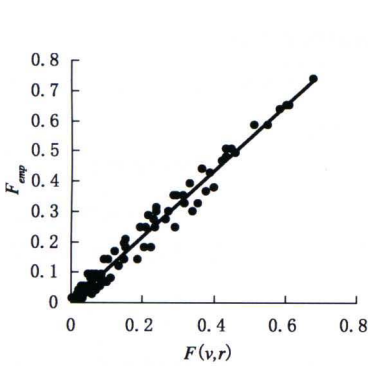


图 5 极大风速与 24 h 最大降水量地区分布联合经验累积概率和理论累积概率的比较

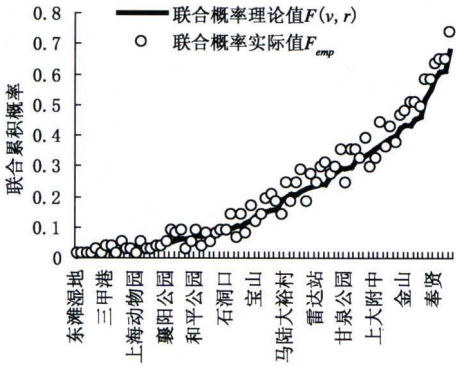


图 6 各地联合累积概率和理论累积概率

根据 OLS 准则、K-S 检验法计算的 $F(v, r)$ 对 F_{emp} 的拟合优度结果见表 2。

表 2 $F(v, r)$ 拟合优度检验

	统计量	计算值
OLS 准则	$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{ei} - P_i)^2}$	0.0362
K-S 测验	$d_n \sqrt{n}$	$0.6318 < \lambda_\alpha$

另外, 由统计值 $F = \frac{\gamma^2(n-2)}{1-\gamma^2}$ (n 为样本数、 γ 为相关系数), 计算上述联合分布函数的 $F=2952.7$, 由于 $F > F_{0.01}(f_1, f_2) = F_{0.01}(1, 74) = 6.996$, 可见所建风雨联合分布函数通过置信水平 $\alpha = 0.01$ 极显著检验。

由此可见, 计算所得各地极大风速 v 、最大日降水量 r 的理论联合概率与经验联合频率吻合度较高, 表明边缘分布及其参数的选择是合理的, 风雨联合分布函数对风雨影响程度地区分布的拟合精度较高, 适用于描述影响风险地区分布。

2.5 风险程度划分阈值判据的确立与应用

由上得出上海地区风雨影响风险程度地区分布评判标准的同现超越概率 $P_0(v, r)$ 计算式:

$$P_0(v, r) = 1 - (1 - e^{-\frac{(v-0.828)^{4.4638}}{e^{-14.026}}}) - \frac{1.0649}{[1 + e^{(0.6876-0.0188r)}]_{0.2579}^{\frac{1}{0.2579}}} + \frac{(1 - e^{-\frac{(v-0.828)^{4.4638}}{e^{-14.026}}}) \left\{ \frac{1.0649}{[1 + e^{(0.6876-0.0188r)}]_{0.2579}^{\frac{1}{0.2579}}} \right\}}{1 - 0.9749(1 - e^{-\frac{(v-0.828)^{4.4638}}{e^{-14.026}}}) \left\{ 1 - \frac{1.0649}{[1 + e^{(0.6876-0.0188r)}]_{0.2579}^{\frac{1}{0.2579}}} \right\}} \quad (12)$$

将各地“海葵”影响造成的直接经济损失、农作物成灾面积、受灾人口、倒塌或严重损坏房屋间数,转换成以累积频率表示的各类灾情指标(表 3)。统计显示, $P_{\cap}(v,r)$ 与各类灾情指标均为负相关,其中,与直接经济损失、农作物成灾面积及综合灾情程度指标等相关性置信概率都在 95% 以上,说明 $P_{\cap}(v,r)$ 之值越小的地区,灾情越严重。可见,风雨同现超越概率 $P_{\cap}(v,r)$ 也能较好反映灾情风险大小地区分布。图 7~图 9 给出了 $P_{\cap}(v,r)$ 与 F_{m1} 、 F_{m4} 、 F_{m12345} 的对应关系。

表 3 $P_{\cap}(v,r)$ 与各地灾情指标的相关系数

灾情程度指标	灾情程度指标含义	灾情程度与 $P_{\cap}(v,r)$ 间相关系数
F_{m1}	直接经济损失累积频率	-0.7344
F_{m2}	倒塌房屋间数累积频率	-0.6125
F_{m3}	严重损坏房屋间数累积频率	-0.4735
F_{m4}	农作物成灾面积累积频率	-0.7917
F_{m5}	受灾人口累积频率	-0.5711
F_{m12345}	F_{m1} 、 F_{m2} 、 F_{m3} 、 F_{m4} 、 F_{m5} 之平均	-0.7814

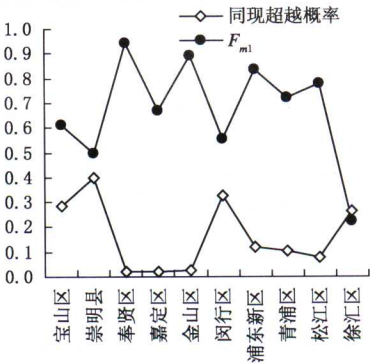


图 7 $P_{\cap}(v,r)$ 与直接经济损失指标 F_{m1} 关系

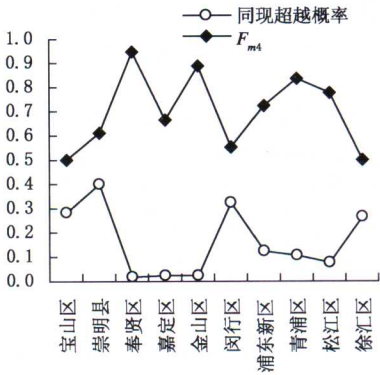


图 8 $P_{\cap}(v,r)$ 与农作物成灾面积指标 F_{m4} 的对应关系

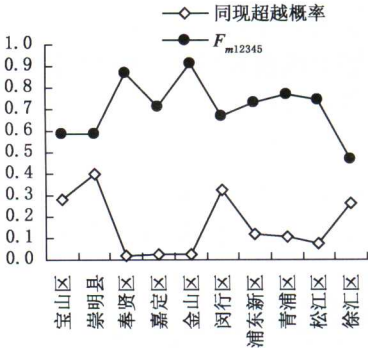


图 9 $P_{\cap}(v,r)$ 与综合灾情指标 F_{m12345} 的对应关系

同时,参照受灾损失风雨标准,建立不同 $P_{\cap}(v,r)$ 所对应的影响风险程度判据如表 4 所示。

表 4 TC 海葵对各地影响风险程度阈值判据

$P_{\cap}(v,r)$	影响风险程度分类
<0.05	特高风险区
$0.05\sim0.15$	高风险区
$0.15\sim0.30$	中等风险区
$0.30\sim0.45$	轻度风险区
≥0.45	基本无风险区

根据表 4 中 $P_{\cap}(v,r)$ 划分标准,“海葵”对上海各地风雨联合影响风险程度分布见图 10。从图 10 中看出,特高风险区与高风险区主要位于金山、奉贤、嘉定及市区普陀、虹口、闸北等地,而崇明大部基本无致灾风险,杨浦、闵行及浦东部分地区致灾风险较小。其评估结果与实际灾情程度地区分布比较吻合。

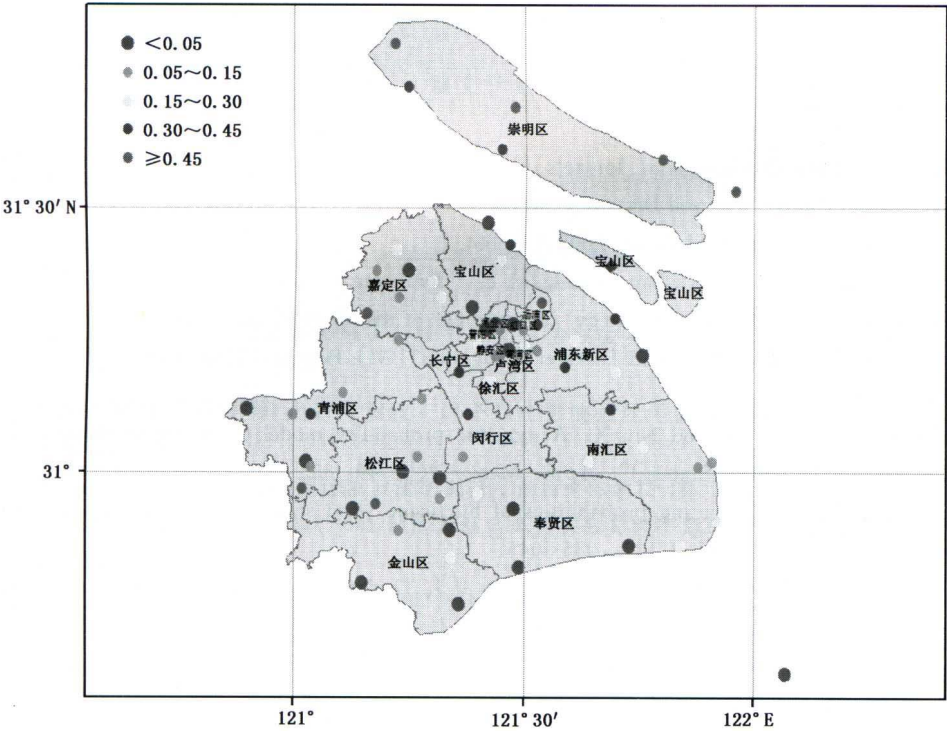


图 10 $P_{\cap}(v,r)$ 阈值与“海葵”对上海风雨联合影响风险地区分布

3 主要结论

(1)灾情轻重在应灾能力无显著变化的前提下,常与台风风雨的影响强弱相一致;风雨强弱可用其超越概率示之。台风风雨越大,越趋于小概率事件,被超过的可能性越小,导致严重灾害的可能性越大。相反,不利影响风险小。

(2)提出了以 TC 致灾因子空间分布联合概率来表征 TC 影响风险地区分布的思路,建立了与上海地区灾情显著相关的 TC 日最大降水量、过程极大风速为边际分布的联合概率模型,以风雨同现超越概率大小作为评判 TC 影响风险程度的准则,结合上海各地实测资料评估了“海葵”影响风险程度的空间分布。

(3)对比收集到的灾情实况资料,据此基于风雨同现超越概率大小为 TC 影响风险程度划分准则的评估方法能够较为客观地表达各地实际受灾风险大小,并便于识别巨灾的空间分布。

(4)本文探讨了风险因素之一即致灾因子对风险的影响,虽然这是影响风险大小的最主要因素,但台风灾害毕竟是涉及多个变量共同作用的复合事件,是一个致灾因子、受灾对象(承灾体)的物理暴露与脆弱性以及减轻风险能力相互关联的复杂非线性过程,因此,对其他风险因素的影响的表达有待进一步的探讨。

致谢:上海市气象信息技术支持中心陈春红为本文提供了上海地区“海葵”影响期间的自动站观测资料。

参考文献

- [1] Xu Ming, Yang Qiuzhen, *et al.* Impacts of Tropical Cyclones on Lowland Agriculture and Coastal Fisheries of China// Natural Disasters and Extreme Events in Agriculture (Impacts and Mitigation) [M]. Springer Berlin Heidelberg, 2005:137-144.
- [2] Yang Qiuzhen, Xu Ming, Duan Yihong, *et al.* Typhoon Disaster Impacts on Public Safety of Shanghai And Its Mitigation Strategy//Proceedings of the World Engineers Convention 2004, Vol. D (Environment Protection and Disaster Mitigation) [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2004:623-626.
- [3] Jagger T, Elsner J B, and Niu X. A dynamic probability model of hurricane winds in coastal countries of the United States[J]. *Appl. Meteor*, 2001, **40**: 853-863.
- [4] Darling R W R. Estimating probabilities of hurricane wind speeds using a large-scale empirical model[J]. *Climate*, 1991, **4**(10):1035-1046.
- [5] Georgiou P N, Davenport A G, and Vickery P J. Design wind speeds in regions dominated by tropical cyclones[J]. *Wind Eng. Ind, Aerodyn*, 1983, **13**:139-152.
- [6] Nelson J, O'Brien D Scott, and Webb T. Model estimates hurricane wind speed probabilities[J]. *Eos*, 2000, **81**:433-438.
- [7] Russell L R. Probability distributions for hurricane effects[J]. *Wtrwy., Harb. and Coast. Engrg. Div, ASCE*, 1971, **97**(1):139-154.
- [8] Landsea C W, and Pielke R A, Jr. Normalized hurricane damages in the United States: 1925-1995 [J]. *Wea. and Forecast*, 1998, **13**: 621-631.
- [9] Vickery P J, Skerj P F, and Twisdale L A. Simulation of hurricane risk in the U. S. using empirical track model[J]. *Struct. Eng.*, 2000, **126**:1222-1237.
- [10] Cobaner M, Unal B, and Kisi O. Suspended sediment concentration estimation by an adaptive neuro-fuzzy and neural network approaches using hydro-meteorological data [J]. *Journal of Hydrology*, 2009, **367**(1-2): 52-61.
- [11] 卢文芳. 上海地区热带气旋灾情的评估和灾年预测[J]. *自然灾害学报*, 1995, **4**(3):40-45.