

影响广西的台风极端灾害趋势风险分析

卢耀健¹, 刘合香^{1,2}, 李广桃¹

(1. 南宁师范大学 数学与统计学院, 广西 南宁 530029; 2. 广西北部湾海洋灾害研究重点实验室, 广西 钦州 535000)

摘要: 利用趋势性检验和R/S分析方法探讨了影响广西的极端台风灾害的风险演变趋势。结果表明:1961—2018年影响广西的台风频数呈显著下降趋势,但强致灾台风频数在近年来显著上升,未来可能持续增加;台风影响日期服从正态分布,极早与极晚事件的发生率相关性较强,变化趋势较为一致,均随着年代变化呈下降趋势,在未来可能继续下降;影响广西的台风最大风速 ≥ 39 m/s被定义为极端大风事件,其发生概率整体呈增加趋势,并在未来可能持续增加;影响广西的台风累计最大雨量服从伽马分布,降水量 ≥ 388 mm被定义为极端大雨事件,在58 a间其发生概率持续增长,在未来可能继续维持增长趋势。

关键词: 广西;极端台风;风险阈值;趋势性检验;R/S分析

中图分类号: P444 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2021)02-0031-11

1 引言

近年来,在全球变暖的气候背景下,极端天气事件频发^[1-3],给人们的生命财产安全带来极大威胁。确定极端天气事件,了解极端事件的历史趋势变化,并且预估极端灾害事件的未来演变趋势,是极端灾害风险研究的重要方面。从统计学角度看,极端事件是指发生概率高于(或低于)某一阈值的事件^[4],即末尾事件。薛联青等^[5]提出了一种百分位方法来确定洞庭湖全流域的极端降水事件阈值,并研究极端降水的演变趋势,之后便有不同的学者以某一百分位值作为定义极端降水事件的标准来研究极端事件的变化规律^[6-8]。侯威等^[9]将去趋势波动分析法和替代数据法相结合,提出随机重排去趋势波动分析方法来确定极端事件的风险阈值,并通过数值实验验证了该方法的可靠性。杨秋珍等^[10]则利用KS检验(Kolmogorov-Smirnov test)方法估计台风样本序列的理论分布,通过计算累计分布概率确定上海影响台风的风险阈值。极端阈值可分为绝

对阈值和相对阈值,例如中国将每日降水量大于50 mm定义为极端降水事件是绝对阈值。本文主要讨论相对阈值,利用事件概率分布来确定风险相对阈值。

台风是广西常见的一种气象灾害。台风带来的雨水可以缓解干旱,只有台风造成的狂风暴雨、风暴潮及其次生灾害等才会给人民带来灾难,对当地居民生活造成巨大影响。确定极端台风灾害的阈值,研究极端灾害的演变趋势,了解台风极端事件的变化规律,从而采取相应的政策措施,无疑对防台减灾工作具有较大的现实意义。目前,台风研究主要从发生频率^[11]、登陆强度^[12-13]、路径变化^[14-15]以及登陆前后的物理机制变化^[16-17]这几个方面展开。对于极端台风的演变,陆逸等^[18]采用了百分位法定义了极端大风并研究其变化规律。但百分位阈值的确定是基于线性假设,极端事件的变量序列一般很难满足,具有显著的非线性特征^[19],因此,在筛选极端事件时应充分考虑其概率分布的影响。广西位于华南西部,南临北部湾,靠近南海和西北太平洋

收稿日期: 2020-03-12; 修回日期: 2020-06-02。

基金项目: 国家自然科学基金(41665006); 广西研究生教育创新计划资助项目(YCSW2020195)。

作者简介: 卢耀健(1996-),男,硕士在读,主要从事概率统计、自然灾害风险分析方面的研究。E-mail: hx_post@163.com

通讯作者: 刘合香(1962-),女,教授,硕士,主要从事概率统计、数学模型和自然灾害风险分析方面研究。E-mail: hx_post@163.com

台风生源地,常年遭受台风影响。本文将以影响广西的台风作为研究对象,以概率分布为依据确定风险阈值,通过研究台风影响频数、影响日期和风雨的演变趋势,探究广西的台风极端灾害风险变化。

2 资料说明

2.1 资料来源

本文所使用数据的原始资料来源于上海台风研究所整编的CMA-STI热带气旋最佳路径数据集(网址: <http://tcdata.typhoon.org.cn>),后经广西气候中心整理分析得到影响广西的台风序列样本。样本包含每个台风的影响日期,以及进入影响区后最大风速和降雨量等信息,降雨量和大风数据来自91个国家气象站数据。

2.2 资料处理及说明

(1)本文中影响广西的台风是指台风中心进入112°E以东,19°N以北范围,并满足下列条件之一的台风:

- ① 过程最大降水量 ≥ 50 mm;
- ② 进入影响区后的最大风速 ≥ 7 级;
- ③ 过程最大降水量 ≥ 30 mm,且进入影响区后的最大风速 ≥ 6 级。

(2)筛选出符合上述条件的台风个例,统计出台风进入影响区后最大风速、影响广西的日期和影响过程最大降水量等。

(3)本文将符合上述影响标准的台风每次影响广西的初始日定为影响时间,由于统计资料中记录的时间为进入影响区起始日前1 d,因此需将该日期增加1 d,即为台风对广西的影响时间。

(4)本文选用了1961—2018年的台风资料进行分析,其中资料表明2004年没有台风影响广西。

3 极端事件的确定与检验方法

3.1 极端事件定义及风险阈值的确定

极端天气事件和极端气候事件统称极端事件,它是指某个异常天气或者气候变量值的发生,该值

高于(或低于)该变量历史观测值区间的上限(或下限)端的某一阈值。从这一定义可以看出,极端事件即为末尾事件,在统计学意义下,其发生概率(或频率)小于或大于某一阈值时,则可被确定为极端事件。因此,若充分考虑其概率分布特征来确定极端阈值,筛选出极端事件将会更加合理。

假设 X 为某地历史台风影响事件的某项指标序列(例如影响该地初始时间或降水量等), $F(x)$ 则为下一台风事件的指标 X 不超过 x 的累计CDF(Cumulative Distribution Function, 概率分布函数),以 $X \leq$ 任意实数 x 的概率 $P(X \leq x)$ 来表示,即:

$$F(x) = P(X \leq x) = \begin{cases} \sum_{x_i \leq x} p_i & \text{离散型} \\ \int_{-\infty}^x f(t) dt & \text{连续性} \end{cases} \quad (1)$$

进一步地,可得超越概率分布函数:

$$P(X \geq x) = 1 - F(x) \quad (2)$$

本文统一以 $F(x)$ 作为台风影响指标风险衡量标准,以 $F(x) \leq 0.1$ 作为低于下限的极端事件,以 $F(x) \geq 0.9$ 作为高于上限的极端事件。

台风影响因子的概率分布函数 $F(x)$ 的确定最为关键,在样本量较大时可采用经验累计分布函数,但是在确定准确阈值时只能预估成一个阈值区间。因此,本文将利用KS检验方法确定 X 的理论概率分布,对于无法确定其理论分布的变量 X ,将采用信息扩散模型^[19]计算得到 X 的概率分布列,从而进一步地确定准确阈值。若影响台风事件的某一影响因子论域为: $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$,通过下面的公式,可将一个单值样本 x_j 所携带的信息分配给 U 中所有的点:

$$f_j(u_i) = \frac{1}{h\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x_j - u_i)^2}{2h^2}\right] \quad (3)$$

式中: h 为扩散系数,可根据样本集合 $\{x_j\}$ 的最大值、最小值和样本数量确定^[20]。

3.2 事件的趋势风险分析

本文将主要采用Mann-Kendall趋势性检验、突变点检验和Spearman相关性检验来分析历史台风样本的风险趋势;同时,利用重标度极差分析法(R/S)来对未来的台风影响序列时间演变趋势进行分析,并对未来的趋势风险进行大致判断。

(1)非参数M-K趋势检验^[21]

定义检验统计量 S :

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^i \text{sign}(x_i - x_j) \quad (4)$$

式中:

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} 1, & x_i - x_j > 0 \\ 0, & x_i - x_j = 0 \\ -1, & x_i - x_j < 0 \end{cases} \quad (5)$$

接着令:

$$Z = \begin{cases} (S-1)/\sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ (S+1)/\sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} & S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

式中: Z 为正值表示增加趋势,负值表示减少趋势。

(2)R/S分析方法

R/S分析方法最早由Hurst^[22]提出,是一种非线性时间序列分析的基本方法。给定一个时间序列,计算出对应时滞的极差和标准差,并求二者的比值(R/S),如果该比值随时滞呈现出幂律分布的趋势,则幂指数就是Hurst指数。计算得到 H 指数,可估计差分序列的自相关系数。

对于一个时间序列 $\{X(t), t=1, 2, \dots, n\}$,对于任意正整数 $\tau \geq 1$,均值序列为:

$$X_\tau = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} X(t), \tau = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

累计离差为:

$$X(t, \tau) = \sum_{i=1}^t (X(i) - X_\tau), 1 \leq t \leq \tau \quad (8)$$

极差为:

$$R(\tau) = \max_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) - \min_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau), \tau = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

标准差为:

$$S(\tau) = \left[\frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} (X(t) - X_\tau)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \tau = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

比值 $R(\tau)/S(\tau) = R/S$,拟合幂律指数关系,即:

$$R/S = k \left(\frac{\tau}{2} \right)^H \quad (11)$$

差分序列的自相关系数计算公式为:

$$R_i = 2^{2H-1} - 1 \quad (12)$$

式中: H 为Hurst指数简写; R_i 为自相关系数。

根据 H 指数和 R_i 的大小可以判断时间序列为持

续性还是反持续性,以及时间序列前后变化的自相关性^[23-24]。当 $H = 0.5, R_i = 0$,表明时间序列自相关系数为0,历史趋势与未来趋势无关;若 $H > 0.5, R_i > 0$,表明时间序列自相关系数 > 0 ,即时间序列变化前后呈正相关,历史趋势和未来趋势一致;若 $H < 0.5, R_i < 0$,表明事件序列自相关系数 < 0 ,即时间序列前后呈负相关,历史趋势与未来趋势相反。

4 结果分析

4.1 台风频数变化趋势风险分析

4.1.1 频数统计特征

1961—2018年影响广西的台风频数总计为282个。其中,年影响频数最多为9个(1974年和2013年),次多为8个(1967年、1971年、1973年和1994年);年影响频数最少为0个(2004年),次少为1个(1997年)。将进入广西影响区时的最大风速大于32.7 m/s的台风记为强致灾台风,影响广西的强致灾台风频数总计为59个,占有台风的20.92%。其中,年影响频数最多的为4个(1973年),次多的为3个(1963年、1978年和1992年)。影响广西的台风年平均频数为4.86个,标准差为2.02,变异系数 $CV_1 = 0.42$;强致灾台风年平均频数为1.01个,标准差为0.94,变异系数 $CV_2 = 0.92$ 。变异系数可以用来比较两组数据的离散程度,两组数据的变异系数均大于0.2,且强致灾台风频数的变异程度远高于影响台风频数的变异程度,表明两组数据的数据点分布不集中,分散程度较高,且强致灾台风频数的分散程度远高于台风影响频数。

4.1.2 影响频数趋势风险分析

图1给出台风年影响频数和强致灾台风年影响频数的曲线变化图。从中可以发现,1961—2018年,影响广西的台风年频数呈下降趋势,平均每年下降0.058个;强致灾台风年频数呈现出非常微弱的下降趋势,可认为在这区间范围内强致灾台风年频数并无趋势变化。我们对台风年影响频数做M-K趋势性检验,得到统计量 $Z = -2.565$,显著性概率值 $P = 0.01 < 0.05$,通过了信度0.05的显著性检验,表明影响台风年频数呈显著的下降趋势。进一步对该序列做Pettitt突变点检验,得到可能存在的突变点为第36个数据点,即1996年,该检验的显著

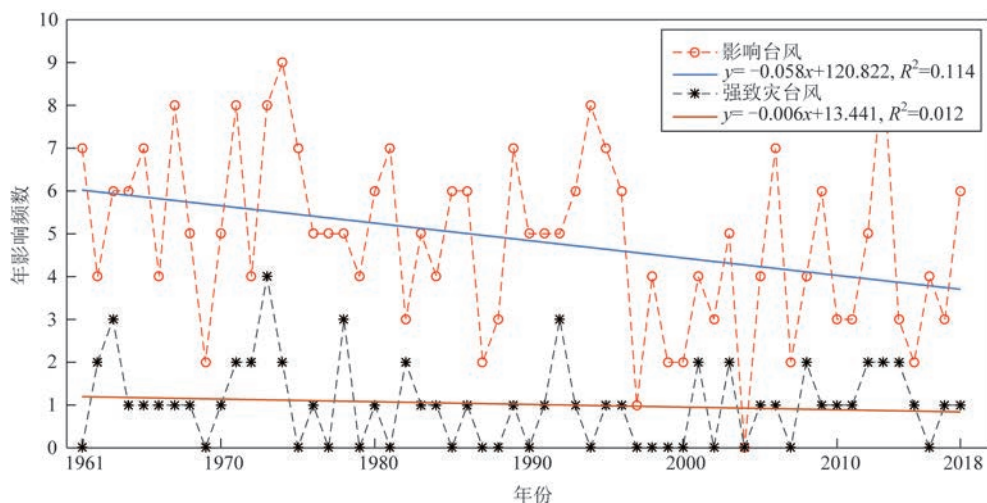


图1 影响广西的台风年频数和强致灾台风年频数变化曲线图

概率 $P = 0.009 < 0.01$, 通过了信度 0.01 的显著性检验, 表明在 1996 年后影响广西的台风年频数出现显著突变。计算两个时段的年平均频数, 其中 1961—1996 年的年平均频数为 5.56 个, 1997—2018 年的年平均频数为 3.73 个, 后一个时段的台风影响频数显著下降。

下面, 我们进一步分析两个时段的发展趋势。1961—1996 年统计量 Z 的绝对值基本接近 0, 表明该时段台风影响频数基本没有趋势变化; 1997—2018 年统计量 $Z = 1.435$, 表明该时段台风影响年频数呈上升趋势, 但显著性概率值高于 0.1, 上升趋势不明显。但是在对 1997—2018 年强致灾台风年频数进行趋势性分析时发现, 统计量 $Z = 1.78$, 显著性概率 $P = 0.075 < 0.1$, 表明在这个时间段内, 影响广西的强致灾台风年频数呈现较为显著的上升趋势, 这或许是因为近年来以极端强度登陆华南的台风显著增多而导致^[25]。

4.1.3 台风影响频数趋势演变的 R/S 分析

从上述分析中我们可以得知, 1961—2018 年影响广西的台风年频数呈显著下降趋势, 1997—2018 年影响广西的强致灾台风年频数呈较为显著的上升趋势, 因此, 将对这两个时段的年频数进行 R/S 分析, 结果见表 1。

从表 1 中可以看出, 1961—2018 年台风年频数 H 指数为 $0.593 > 0.5$, 表明未来台风年频数的变化过程与过去具有弱的持续性, 未来影响广西的台风年频数可能会继续下降; 1997—2018 年强致灾台风

表1 影响广西的台风和强致灾台风演变趋势分析结果

时段	类别	H 指数	R_i	演变趋势
1961—2018 年	台风	0.593	0.138	弱持续性
1997—2018 年	强致灾台风	0.677	0.278	较强持续性

年频数 H 指数为 $0.677 > 0.5$, 表明未来强致灾台风年频数演变趋势将与过去一致, 未来影响广西的强致灾台风年频数可能会继续上升。

4.2 影响广西的极早和极晚台风风险分析

4.2.1 台风影响广西的日期统计特征

1961—2018 年, 影响广西的台风均发生在 4—12 月间, 最早发生在 4 月 17 日 (2008 年), 最晚发生在 12 月 1 日 (1974 年), 相差 227 d, 时间跨度较大。计算得到平均影响日期为 8 月 14 日, 标准差为 41.67 d, 变异系数为 $0.18 < 0.2$, 表明影响广西的台风影响日期较为集中。影响日期的 0.25 分位数为 7 月 17 日, 0.75 分位数为 9 月 11 日, 台风对广西的影响主要集中在该时间段内。

4.2.2 台风影响时间分布概型及风险阈值确定

图 2a 给出了 1961—2018 年台风影响日期的频率分布直方图。从图中可以看出, 影响日期的频率分布近似正态分布。估计台风影响日期序列的理论分布, 得到最可能的理论分布为正态分布, 数学期望为 226.436 (日序), 标准差为 41.674。利用 KS 检验方法对其进行检验, 显著性概率值为 $0.546 > 0.1$, 因此, 在 0.1 的置信水平下, 不能拒绝原假设, 即

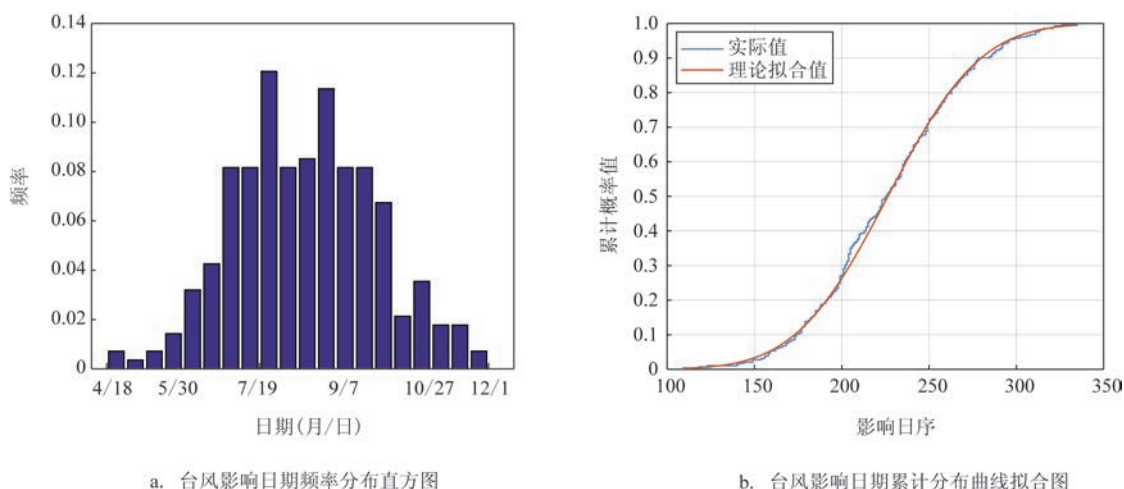


图2 广西台风影响日期频率与概率分布图

该影响日期序列服从均值为 226.436, 标准差为 41.674 的正态分布。图 2b 为影响日期的累计经验分布图和正态分布累计分布图。图中可以看到, 正态分布曲线能够很好地拟合经验分布曲线, 因此利用该正态分布模型来估计台风极端早与极端晚事件阈值是合理的。

根据正态分布模型计算出相应的不同 $F(x)$ 分位值的日期 $F^{-1}(x)$, 即各个等级风险阈值, 得到的结果见表 2。

在表 2 中, 我们同样利用了信息扩散方法确定 $F(x)$ 的各个阈值日期。结果可以发现, 二者确定的阈值日期大体一致, 相差最大为 3 d。由于正态分布模型能够很好地拟合影响日期的累计经验分布, 因此我们依旧选取正态分布模型来确定各个分位阈

值的日期。我们将早于 $F(x) = 0.1$ 分位阈值(6月 21 日)的台风影响事件定义为极端早事件, 将晚于 $F(x) = 0.9$ 分位阈值(10月 6 日)的台风影响事件定义为极端晚事件; 将早于 $F(x) = 0.25$ (7月 17 日)的定义为偏早事件, 晚于 $F(x) = 0.75$ (9月 11 日)的定义为偏晚事件。其中, 1961—2018 年共发生了 27 次极早事件, 分别发生在 1961 年、1962 年、1965 年、1970 年、1971 年、1972 年、1974 年、1975 年、1985 年、1986 年、1987 年、1989 年、1990 年、1991 年、1994 年、1999 年、2000 年、2008 年、2012 年、2013 年、2015 年和 2018 年; 发生了 28 次极晚事件, 分别发生在 1965 年、1967 年、1970 年、1972 年、1973 年、1974 年、1975 年、1978 年、1981 年、1982 年、1983 年、1985 年、1986 年、1988 年、1990 年、1993 年、1995 年、2003 年、2005 年、2009 年、2012 年、2013 年和 2017 年。偏早事件发生了 71 次, 偏晚事件发生了 74 次。我们将发生极早事件的年份称为极端早年, 发生极晚事件的年份称为极端晚年, 同时发现共有 9 a 同时发生了极早和极晚事件(见表 3), 使得这几年的台风影响时长比其他年份显著拉长, 受台风影响造成损失的风险比其他年份大。

4.2.3 早/晚事件趋势风险分析

根据不同年代的早/晚事件的变化趋势, 研究 1961—2018 年极端早/晚台风对广西影响的风险变化。图 3 给出了不同年代的早/晚事件平均发生率的变化规律。从图中可以看出, 各个年代早事件和晚事件平均发生率并不一致。在早事件中, 极早事

表 2 影响广西的台风影响日期不同风险水平阈值
(1961—2018 年)

$F(x)$	正态分布模型确定的 影响日期阈值	信息扩散方法确定的 影响日期阈值
0.01	5月9日	5月6日
0.05	6月6日	6月9日
0.10	6月21日	6月24日
0.25	7月17日	7月18日
0.50	8月13日	8月14日
0.75	9月11日	9月13日
0.90	10月6日	10月9日
0.95	10月21日	10月24日
0.99	11月19日	11月18日

表3 极端早和极端晚事件同时出现的年份

发生年份	极早台风个例	极晚台风个例
1970	7005(6月22日)	7039(10月17日)
1972	7205(6月4日)	7233(11月8日)
1974	7405(6月8日)、7406(6月13日)	7432(10月13日)、7433(10月20日)、 7434(10月26日)、7439(12月1日)
1975	7503(6月17日)	7525(10月23日)
1985	8505(6月20日)	8530(10月22日)
1986	8604(5月20日)	8624(10月19日)
1990	9005(5月19日)、9006(6月17日)	9033(11月17日)
2012	1206(6月17日)	1224(10月28日)
2013	1303(6月15日)、1305(6月22日)	1334(11月10日)

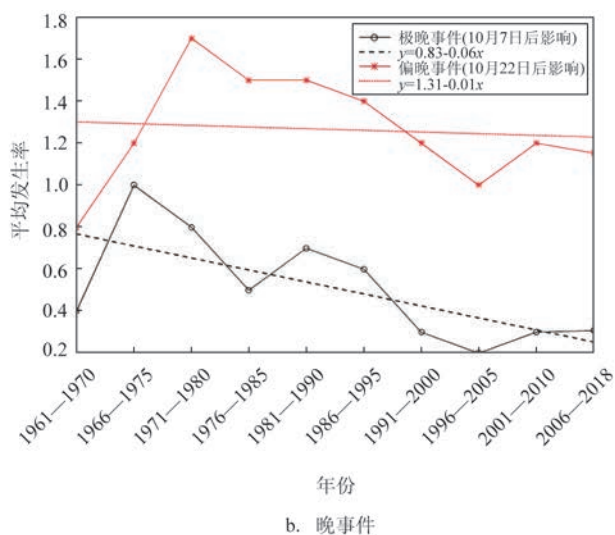
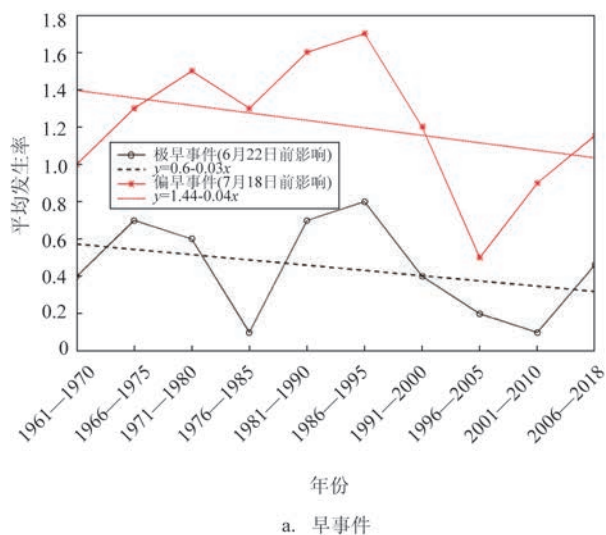


图3 台风早/晚事件不同年代平均发生率变化曲线图

件平均发生率的年代变化规律为先上升后下降,接着上升,在1986—1995年达到最大值0.8,然后下降,在2001—2010年达到最小值0.1,之后继续上升;晚事件中,极晚事件平均发生率的年代变化规律为先上升,后下降,在1996—2005年达到最小值0.2,之后又呈上升的趋势。分析极早事件与极晚事件的年代平均发生率相关系数,发现二者的相关系数为0.699,通过了显著性水平 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验,表明二者的变化规律较为一致,当一个年代的极早事件偏多时,这个年代的极晚事件也会相应偏多,反之亦然;分析偏早事件与偏晚事件年代的年代平均发生率相关系数,二者的相关系数为0.787,同样通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验。因此,早事件与晚事件具有年代一致性,当一个年代的早事件偏多(少)时,那么这个年代的晚事件会有很大的可能偏

多(少)。

4.2.4 极早和极晚事件演变趋势的R/S分析

从图3的线性趋势可以发现,极早和极晚事件的平均发生率整体呈下降趋势。利用R/S方法对其未来的演变趋势进行分析,结果发现,极早事件的 H 指数为0.657, R_i 为0.244;极晚事件的 H 指数为0.731, R_i 为0.377。因此可以得出,事件序列在未来一段时间可能将继续维持过去的变化趋势,极早和极晚事件平均发生率在未来增长的可能性不大。

4.3 影响台风大风风险分析

4.3.1 影响台风的最大风速统计特征

在进行影响台风大风风险分析前,我们发现有两个台风个例的最大风速值为0,它们的过程累计最大雨量满足 ≥ 50 mm,符合影响广西的台风条件,

但是对于最大风速而言,这两个样本属于异常值,因此我们予以剔除。

分析发现,1961—2018年影响广西的台风最大风速平均值为23.721 m/s,标准差为11.029 m/s,变异系数为 $0.46 > 0.2$,数据点较为分散。其中,最大值为72 m/s(2014年),最小值为9 m/s(1961年、1967年、1968年、1969年、1970年和1979年),最大值与最小值相差较大。选取每年影响广西台风最大风速的最大值,记为最大风速年极大值。除2004年外,广西在1961—2018年均遭受台风大风的影响,此年间的最大风速年极大值的平均值为36.596 m/s,说明广西每年很可能都会遭受一场最大风速达到36.596 m/s的台风侵扰,标准差为10.901 m/s,变异系数为 $0.30 > 0.2$,数据点也较为分散,但分散程度相对较低。

4.3.2 台风极端大风风险阈值确定

通过对影响广西的台风最大风速序列进行概率分布估计,发现拟合最接近的理论分布为伽马分布,但在利用KS方法的检验后,未能通过显著性检验。因此,正如前文提到的,对未能较好拟合理论分布的最大风速序列,我们将采用信息扩散方法对其进行概率分布估计。

最大风速序列的最小值为9 m/s,最大值为72 m/s,为了使得概率分布足够连续,将选取足够密集的点作为论域点,因此设置步长为0.1,选取论域为: $U = \{u_1, u_2, \dots, u_{630}, u_{631}\} = \{9, 9.1, \dots, 71.9, 72\}$ 。

通过式(3)将所有样本点的信息扩散到论域 U 上,并最终计算出分布概率 $P(X < x) = F(x)$,这里的 x 将是论域 U 中的每一个点。图4给出了累计经验分布图和经信息扩散方法确定的累计概率分布图。从图中可以看到两条曲线非常接近,信息扩散确定的累计概率曲线能够较好地拟合累计经验分布曲线,经信息扩散方法确定的概率分布是合理的。

经信息扩散方法确定各 $F(x)$,并得出不同阈值的最大风速 $F^{-1}(x)$,即台风大风的各个风险等级,结果见表4。

4.3.3 影响广西的台风极端大风风险历史演变趋势

表4中, $F(x) = 0.9$ 的阈值为39.7 m/s,因此我们将影响广西的最大风速 ≥ 39 m/s的台风定义为极端大风事件,当一年中出现了极端大风事件,则称该

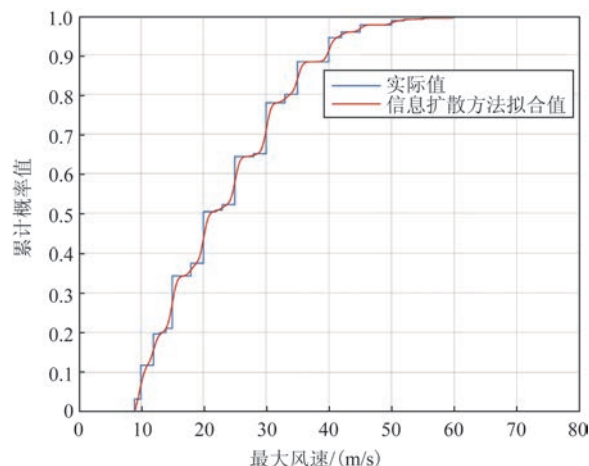


图4 影响广西的台风最大风速累计概率分布拟合图

表4 影响广西台风的最大风速不同风险水平阈值

$F(x)$	$F^{-1}(x)/(m/s)$
0.75	30.5
0.9	39.7
0.95	42.1
0.99	54.5

年为极端大风年。1961—2018年总共出现了33个极端大风个例,占有台风个例的11.79%;共有26 a为极端大风年,占有年份的44.83%,其中1963年、1973年、1982年、2003年、2012年、2013年和2014年分别出现了两个极端大风个例。

接下来,利用信息扩散方法,计算不同年代影响广西的台风最大风速 ≥ 39 m/s和 ≥ 42 m/s的超越概率,研究它们的演变趋势(见图5)。

从图5中可以看出,影响广西的台风最大风速 ≥ 39 m/s的概率随着年代的变化呈现出先减少后增加的趋势,但总体而言,1961—2018年影响广西的台风最大风速 ≥ 39 m/s的概率呈现增加的趋势,特别在2006—2018年的超越概率达到了最大值0.167;影响广西的台风最大风速 ≥ 42 m/s的概率同样随着年代的变化呈现出先减少后增加的趋势,但从总体的线性趋势看,超越概率呈增加的趋势,并且该回归曲线的斜率高于 ≥ 39 m/s的概率回归曲线,增长趋势更加明显,在2006—2018年,其超越概率同样达到了最大值0.115。因此可以得出,近年来影响广西的台风最大风速达到极端大风及以上级别的概

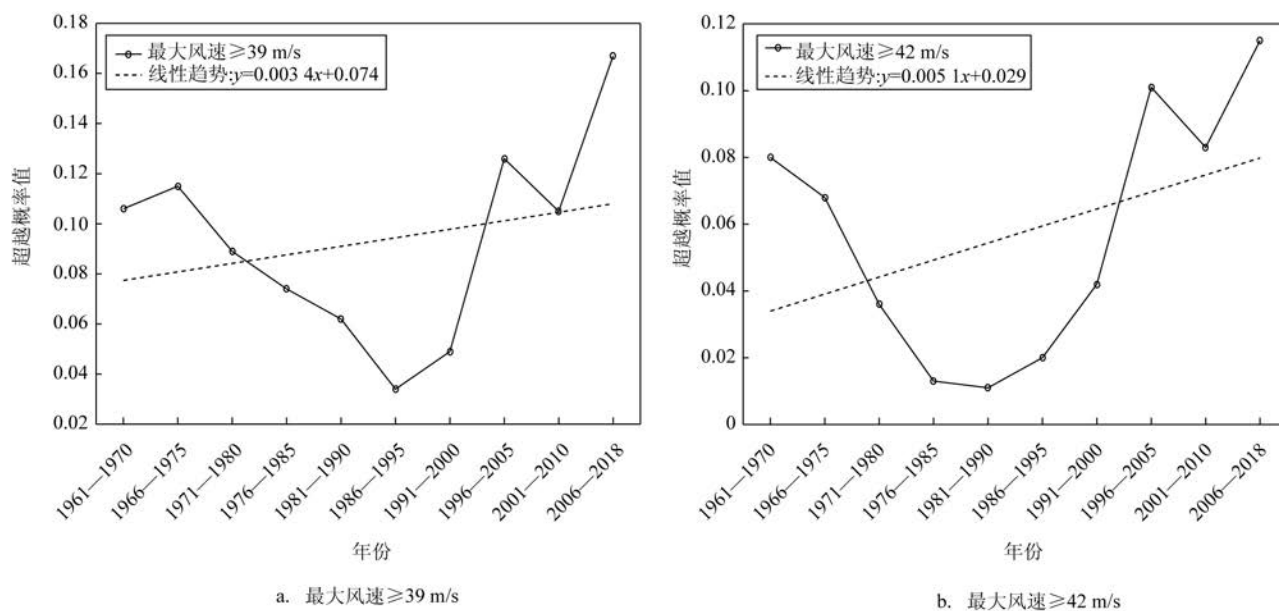


图5 影响广西的极端大风不同年代概率变化图

率大大增加,极端大风风险增加。

4.3.4 影响广西的台风极端大风风险未来演变趋势 R/S 分析

对各个年代影响广西的台风最大风速 ≥ 39 m/s 的概率变化进行 R/S 分析,计算得到 $H = 0.735$, $R_i = 0.384$,表明在未来影响广西的台风最大风速 ≥ 39 m/s 的概率将可能继续增长。

接着,对各个年代的台风最大风速 ≥ 42 m/s 的概率变化进行 R/S 分析,计算得到 $H = 0.917$, $R_i = 0.785$,表明在未来,影响广西的台风最大风速 ≥ 42 m/s 的概率将可能继续增长。

4.4 影响台风大雨风险分析

4.4.1 影响台风的累计过程最大降雨量统计特征

根据 282 个影响广西的台风累计过程最大降雨量,计算它们的统计特征。累计过程最大降雨量平均值为 202.054 mm,标准差为 140.082 mm,变异系数为 0.69,远远大于 0.2,数据点极为分散。数据序列的下四分位数为 92 mm,表明有 75% 的台风给广西带来的累积过程最大雨量大于 92 mm。带来过程降雨量最少的是 7439 号台风 (12.6 mm),台风最大风速达到 30 m/s;过程降雨量最多的是 9411 号台风 (772.4 mm),台风最大风速仅为 15 m/s。计算得到的最大风速序列与过程降雨量序列的相关系数仅为 0.177,但是通过了 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验。因

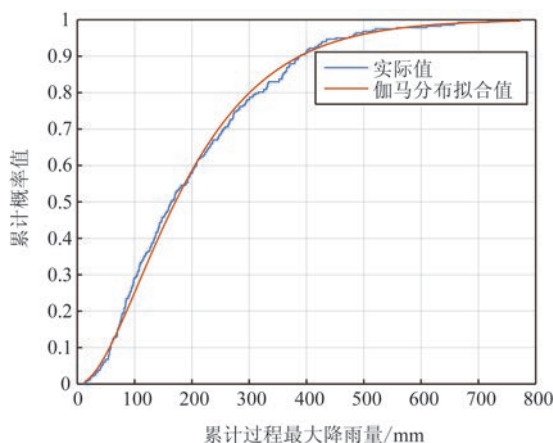


图6 影响广西的台风累计过程最大降雨量累积概率分布拟合图

此,总体来说台风大风往往会带来大雨,但也存在“风声大,雨点小”的情况,台风大风和大雨的关系机制还需要进一步研究。

4.4.2 台风极端大雨风险阈值确定

对过程最大雨量序列估计得到最接近的理论分布函数为伽马分布,采用极大似然估计方法估计其参数,得到参数 $a = 2.104$, $b = 96.023$;利用 KS 检验方法进行检验,结果 P 值为 0.627,远大于 0.1,那么在显著性水平 $\alpha = 0.1$ 下不能拒绝原假设,过程最大雨量序列服从伽马分布,即 $X_{\text{雨}} \sim \text{Ga}(a, b)$ 。同样,我们绘制了经验累计分布曲线和伽马累计分布曲

表5 影响广西的过程最大降雨量不同风险水平阈值

$F(x)$	伽马分布模型确定的 阈值/mm	信息扩散方法确定的 阈值/mm
0.75	271.2	279.6
0.90	388.3	390.2
0.95	471.6	460.5
0.99	656.4	663.2

表6 1961—2018年既是极端大风又是极端大雨的
台风事件

台风编号	最大风速 (m/s)	累计过程最大 降雨量/mm
1523	52	427
1311	42	405.2
1214	40	664.5
1121	42	414.8
8219	40	421.4

线(见图6),可以发现,实际值与理论拟合值非常接近,因此利用伽马分布来描述过程最大雨量并估计其风险阈值是合理的。

接着,我们根据过程最大降水量服从的伽马分布模型,计算出不同阈值 $F(x)$ 的过程最大降水量 $F^{-1}(x)$,结果见表5。从表5可以发现,伽马分布模型确定的各个风险阈值与信息扩散方法确定的相差不大,而伽马分布模型属于连续的概率分布模

型,对于风险阈值确定的效果更好,因此我们选择伽马分布模型来确定各个风险阈值的降雨量。

4.4.3 影响广西的台风极端大雨风险历史演变趋势

我们将台风带来过程最大降雨量 ≥ 388 mm的事件称为极端大雨事件,若该年出现了极端大雨事件,则称该年为极端大雨年。1961—2018年,共出现了28次极端大雨事件,占有台风事件的9.93%;共有25 a为极端大雨年,占有年份的43.10%,年份比重占比较大,其中1974年、1994年和2002年出现了两次极端大雨事件。在这28次极端大雨事件中,有5次事件既是极端大雨事件,又是极端大风事件(见表6),因此,这5次台风事件给广西带来的综合致灾风险极高,造成的损失也较为严重。例如1311号台风“尤特”导致广西12人死亡,农作物大面积受灾,直接经济损失12.82亿元。同时也可以发现,其中4次事件发生在近10 a,这也从侧面反映了近年来影响广西的台风极端灾害风险加大。

由于过程最大降雨量在 $F(x) = 0.75$ 的阈值为271.2 mm,因此我们将累计过程最大降雨量 ≥ 271 mm的台风事件称为普通大雨事件。利用信息扩散方法,计算不同年代的普通大雨事件和极端大雨事件的发生概率,探讨1961—2018年广西大雨的风险变化,结果见图7。

从图7可以看出,影响广西的台风过程最大降雨量 ≥ 271 mm的概率随着年代的变化整体呈上升趋势,2001—2010年间超越概率达到最大值0.408,

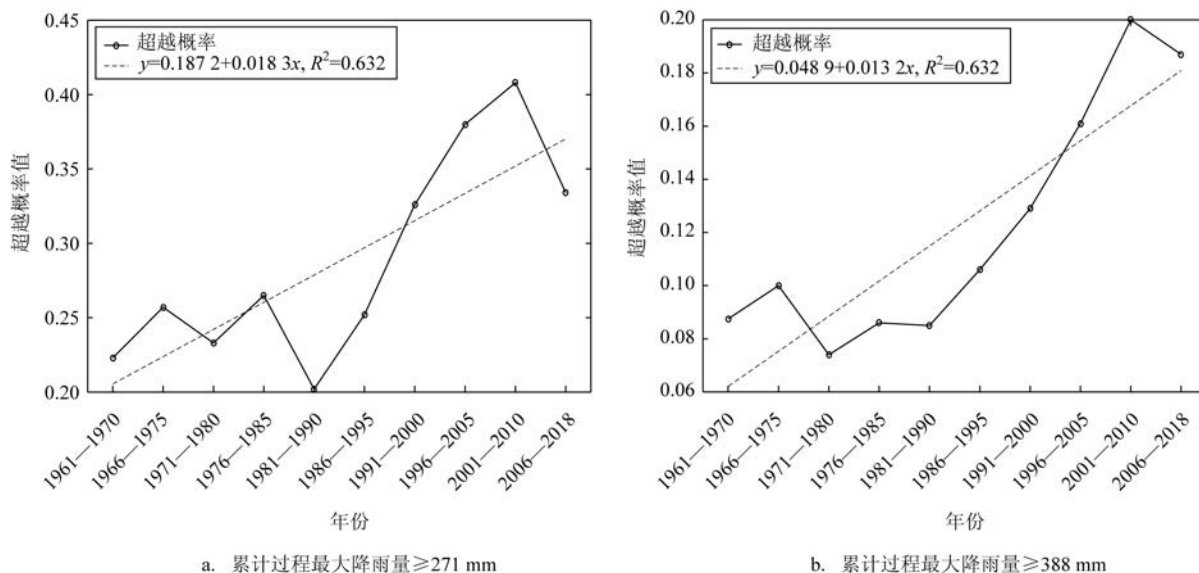


图7 影响广西的台风大雨事件年代概率变化图

但2006—2018年超越概率出现下降趋势;影响广西的台风过程最大降雨量 ≥ 388 mm的概率随年代的变化呈现上升的趋势,同样在2001—2010年超越概率达到了最大值0.2,之后出现下降趋势。接着对普通大雨事件和极端大雨事件的发生概率进行趋势性检验,普通大雨事件超越概率序列的统计量 $Z = 2.326$, P 值为0.02;极端大雨事件超越概率序列的统计量 $Z = 2.504$, P 值为0.01。二者均通过了 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验,存在显著的上升趋势,而极端大雨事件超越概率的上升趋势更大。因此,近段时间以来,影响广西的大雨事件概率呈现上升趋势,特别是极端大雨事件概率上升趋势更为明显,广西的大雨风险加大。

4.4.4 影响广西的台风大雨风险未来演变趋势R/S分析

在了解影响广西的台风过程最大降雨量 ≥ 271 mm和 ≥ 388 mm的超越概率历史趋势后,利用R/S分析方法研究其在未来的演变趋势。通过计算得到极端大雨超越概率的 $H = 0.992$, $R_i = 0.997$,表明在未来存在强持续性,未来发生极端大雨事件的概率将持续增长;普通大雨超越概率的 $H = 0.970$, $R_i = 0.918$,同样在未来存在强的持续性,未来大雨事件概率将持续增长。

5 结论与讨论

探究了影响广西的台风与强致灾台风的演变趋势,以概率分布模型为基础确定了台风影响时间和风雨极端事件的风险阈值,分析极端事件的变化规律,采用重标度极差分析方法对未来台风灾害事件的发展趋势做了初步分析,得到以下结论:

(1)1961—2018年影响广西的台风频数呈下降趋势,但近年来强致灾台风频数具有较为显著的增长趋势;在R/S分析下,未来影响广西台风频数将可能继续减少,而强致灾台风频数将继续增加。

(2)影响广西台风日期服从正态分布,极早与极晚台风事件具有年代一致性,不同年代影响日期风险阈值并未发生太多变化,极早与极晚台风事件平均发生率随着年代的变化均呈现出下降趋势;在R/S分析下,未来的极早与极晚台风事件平均发生率将可能维持历史趋势。

(3)采用信息扩散方法确定台风大风风险阈值,过去58 a间极端大风的发生概率呈现先下降后增加的变化规律,总体为增长趋势,近年来极端大风的发生概率达到最大;在R/S分析下,极端大风事件的概率变化将会维持历史趋势,可能会继续增长。

(4)影响广西的台风累计过程最大雨量服从伽马分布,过去58 a影响广西的普通大雨和极端大雨事件发生概率均有显著的上升趋势;在R/S分析下,未来广西台风大雨的演变趋势将维持历史演变趋势,大雨事件发生概率可能继续增大。

针对上述分析结果,可见近年来影响广西的台风频数呈下降趋势,但是极端台风的风险与以前相比增加不少,极早和极晚事件的平均发生率下降表明台风影响日期可能会更加集中,然而极端大风和极端大雨的事件概率却在近年来显著增大。R/S分析也表明未来的防台形势更加严峻,因此需时刻关注极端台风的变化规律,制定相应防范极端台风的政策措施,达到降低风险的效果。

参考文献:

- [1] Houghton J T, Ding Y, Griggs D J. Climate change 2001: the scientific basis[M]. UK: Cambridge University Press, 2001.
- [2] Pielke Jr R A, Landsea C, Mayfield M, et al. Hurricanes and global warming[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2005, 86(11): 1571-1576.
- [3] 罗亚丽. 极端天气和气候事件的变化[J]. 气候变化研究进展, 2012, 8(2): 90-98.
- [4] 杨萍, 侯威, 封国林. 基于去趋势波动分析方法确定极端事件阈值[J]. 物理学报, 2008, 57(8): 5333-5342.
- [5] 薛联青, 刘晓群, 宋佳佳, 等. 基于百分位法确定流域极端事件阈值[J]. 水力发电学报, 2013, 32(5): 26-29.
- [6] 王志福, 钱永甫. 中国极端降水事件的频数和强度特征[J]. 水科学进展, 2009, 20(1): 1-9.
- [7] 杨志刚, 建军, 洪建昌. 1961—2010年西藏极端降水事件时空分布特征[J]. 高原气象, 2014, 33(1): 37-42.
- [8] 董伟, 刘海峰, 朱玉祥. 吉林省夏季极端降水事件特征分析[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(4): 69-75.
- [9] 侯威, 章大全, 周云, 等. 一种确定极端事件阈值的新方法: 随机重排去趋势波动分析方法[J]. 物理学报, 2011, 60(10): 109202.
- [10] 杨秋珍, 徐明, 田展. 台风影响极端事件风险分析[J]. 大气科学研究与应用, 2015(1): 1-17.
- [11] 陆晓婕, 董昌明, 李刚. 1951—2015年进入东海的台风频数及登陆点的变化[J]. 大气科学学报, 2018, 41(4): 433-440.

- [12] 陈德花, 张玲, 张伟, 等. “莫兰蒂”台风致灾大风的结构特征及成因[J]. 大气科学学报, 2018, 41(5): 692-701.
- [13] 黄小燕, 史旭明, 刘苏东, 等. 模糊神经网络方法在热带气旋强度预报中的应用研究[J]. 高原气象, 2009, 28(6): 1408-1413.
- [14] 廖菲, 李文婷, 张子然, 等. 1949—2017年南海海域热带气旋强度和路径快速变化统计特征[J]. 海洋学报, 2019, 41(9): 126-135.
- [15] 张倩影, 钟少波, 黄全义. 基于模糊C均值的广东省登陆热带气旋路径分类研究[J]. 灾害学, 2015, 30(4): 187-193.
- [16] 王海龙, 吴新桥, 黄增浩, 等. 超强台风“威马逊”登陆期间近地层风速变化特征分析[J]. 热带气象学报, 2018, 34(3): 297-304.
- [17] 端义宏, 陈联寿, 梁建茵, 等. 台风登陆前后异常变化的研究进展[J]. 气象学报, 2014, 72(5): 969-986.
- [18] 陆逸, 朱伟军, 任福民, 等. 1980—2014年中国台风大风和台风极端大风的变化[J]. 气候变化研究进展, 2016, 12(5): 413-421.
- [19] 黄崇福, 刘新立, 周国贤, 等. 以历史灾情资料为依据的农业自然灾害风险评估方法[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(2): 4-12.
- [20] Liu H X, Zhang D L. Analysis and prediction of hazard risks caused by tropical cyclones in Southern China with fuzzy mathematical and grey models[J]. Applied Mathematical Modelling, 2012, 36(2): 626-637.
- [21] Kendall M G. Rank correlation methods[M]. 4th ed. London: Charles Griffin & Company Limited, 1970.
- [22] Hurst H E. Long-term storage capacity of reservoirs[J]. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 1951, 116(1): 770-799.
- [23] 金保明. Kendall与R/S分析法在降雨特性分析中的应用[J]. 水力发电, 2014, 40(7): 26-28.
- [24] 吴鸿亮, 唐德善. 基于R/S分析法的黑河调水及近期治理效果分析[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(8): 27-30.
- [25] 罗小莉, 姚才, 谭金凯. 登陆华南台风的频数及强度变化特征分析[J]. 海洋预报, 2018, 35(4): 58-67.

Risk analysis of the extreme disaster risk caused by typhoon affecting Guangxi

LU Yao-jian, LIU He-xiang, LI Guang-tao

(1. Nanning Normal University School of Mathematics and Statistics, Nanning 53029 China; 2. Guangxi Beibu Gulf Marine Disaster Key Laboratory, Qinzhou 535000 China)

Abstract: The risk threshold of each variable of extreme typhoon disaster that affects Guangxi is determined by probability distribution, and the evolution trend of extreme typhoon risk is discussed using trend test and R/S analysis method. The results show that the typhoon frequency reveals a decreasing trend from year 1961 to 2018. However, the frequency of strong typhoon that causes sever disasters is increasing, which may continue to increase in the future. The impact date of typhoon accords with a normal distribution, and the incidence of extremely early event and extremely late event are strongly correlated. The variation trend is relatively consistent, and both of them show a downward trend with the change of age, which may continue to decline in the future.; The frequency of extreme wind event with the maximum wind speed greater than or equal to 39 m/s is overall increasing, which may continue to increase in the future. The cumulative maximum precipitation caused by typhoon that affects Guangxi shows a gamma distribution. The probability of extreme precipitation with the maximum value greater than or equal to 388 mm is constantly increasing between year 1961 and 2018, which may continue to increase in the future.

Key words: Guangxi; extreme typhoon; risk threshold; trend test; R/S analysis