# 1991～2013年发生在西沙永兴岛的台风风暴潮统计特征分析

梁海萍，梁海燕，陈海南，陈道严
（国家海洋局海口海洋环境监测中心站，海南 海口 570100）

**摘要**：利用1991～2013年西沙海洋站实测的潮位、气压、风资料，统计分析发生在西沙永兴岛的台风风暴潮特征. 统计结果为以后的台风风暴潮增水预报工作提供一定借鉴. 统计分析发现：发生在永兴岛的台风风暴潮过程年最大增水值基本在34cm处上下波动，最高预警级别仅为蓝色；最大增水有明显的年际变化特征，预计接下来10a左右发生在永兴岛的台风风暴增水值大体逐年递减；最大增水若与极大天文潮相叠加，在永兴岛可能出现灾害性高潮位；年最大增水有明显的季节特征，在夏季最强，其次为秋季，冬季和春季最弱；台风中心经过时由负压引起的增水较为明显，单峰型、双峰型和振荡型的增水曲线形态均有出现；影响西沙永兴岛的热带气旋的年最大风速年际与季节性变化是导致永兴岛台风风暴潮特征的主要成因之一.

**关键词**：海洋气象学；风暴增水；统计分析；年际；季节；最大风速
**DOI**：10.3969/J. ISSN. 2095-4972. 2017. 02. 011
**中图分类号**：P732 **文献标识码**：A **文章编号**：2095-4972(2017)02-0243-06

风暴潮是一种来自海上的灾害性自然现象. 通常指由台风和温带气旋等灾害性天气系统所导致的海水异常升降，并与天文潮相叠加. 若这种叠加正好赶上天文潮高潮阶段，则往往会导致其所影响的海域水位暴涨，乃至海水侵入内陆、酿成巨灾[1]. 风暴潮灾害发生时，往往挟狂风恶浪，以排山倒海之势猛扑海岸，使滨海地区潮水暴涨，甚至冲毁或漫过海堤、江堤，吞噬城镇、村庄、码头、工厂，淹没耕地，造成特别严重的人员伤亡和财产损失. 随着沿海城乡工农业的发展和沿海基础设施的增加，每次风暴潮的直接和间接损失有加重的趋势，风暴潮造成的灾害已经成为影响我国沿海各省最严重的海洋灾害.

关于台风风暴潮已有不少统计研究及数值分析结果. 马林芳等(2010)收集了22个台风风暴潮过程逐时实测潮位资料，分析坎门站增水特征[2]. 吕翠兰等(2014)分析三种不同路径台风造成的增水特点[3]. 王晶等(2014) 对台风风暴潮过程中最高潮位和最大增水数据进行统计和分析，得到了浙江沿海地区风暴潮增水和高潮位的时空分布特征[4]. 于福江等(2002)建立了一个覆盖东海的双重嵌套网格高分辨率台风风暴潮数值预报模式[5]，刘金芳等(2002)研究了东南沿海连云港到汕头之间的各港口台风增水特点，得出了东南沿海各港口的增水特征[6]，李文欢等(2010)开发了海口市风暴潮高风险区增水淹没图信息系统[7]. 姜兆敏等(2004) 研究发现浅水效应对增水水位起主要作用，非线性效应对增水的作用取决于波幅与水深比值的量阶[8].

三沙市孤悬海外，由于其特殊的地理位置，每年受热带气旋的影响频繁，给当地经济和人民群众生命、财产安全带来了巨大的威胁. 历年来学者对影响西沙永兴岛的自然灾害研究甚少，只是对台风、台风浪做了相关的研究，鉴于永兴岛四面环海的特殊地形，学者大多直接忽略了台风风暴潮对其产生的影响. 根据西沙海洋站提供的实测资料发现，在1992年第04号台风发生期间，西沙验潮井监测到81.2 cm的风暴增水，这就带来了思考：台风风暴潮对四面环海的西沙永兴岛所带来的灾害是否真的可以直接被忽视？本研究带着这个疑问对影响永兴岛的台风风暴潮进行相关的探究，从而为以后的台风风暴潮增水预报工作提供一定借鉴，同时对海南省防灾

**收稿日期**：2016-05-23
**基金项目**：海南省科技兴海专项资助项目(XH201425)；国家海洋局南海分局海洋科学技术局长基金资助项目(1666)
**作者简介**：梁海萍(1987～)，女，助理工程师；E-mail：liangpinggai@163.com

减灾工作具有重要的指导意义.

## 1 资料来源及处理方法

使用的资料来自于西沙海洋站(16°8′N,112°3′E)实测的潮位、气压、风资料和国家海洋局南海预报中心编制的天文潮资料,选取资料长度为 1991 ~ 2013 年. 采用线性、对数、多项式拟合、滑动平均等回归分析法、相关系数显著性检验法对相关资料进行进一步处理,处理后的资料用图表的方式显示,从而进一步探究影响西沙永兴岛的台风风暴潮增水年际变化、季节性变化规律.

## 2 结果与讨论

### 2.1 影响西沙永兴岛的台风风暴潮统计特征

2.1.1 台风风暴潮最大增水的年际变化规律 本研究定义西沙海洋站在热带气旋活动期间观测到 7 级及 7 级以上的风速过程称为热带气旋影响过程,统计到了 1991 ~ 2013 年期间影响西沙永兴岛的过程为 79 次. 采用实测潮位与正常预报潮位的代数差来计算风暴增水值,统计每年所有热带气旋过程中的最大风暴增水,结果发现:近 23a 来发生在西沙永兴岛的台风风暴潮最大增水的最大值为 81 cm,最小值为 0 cm(表 1).

**表 1 1991 ~ 2013 年发生在永兴岛的台风风暴潮最大增水分布表**

Tab. 1 Highest typhoon surge occurred in Yongxing Island in 1991 ~ 2013

| 年份 | 增水/cm | 年份 | 增水/cm |
|---|---|---|---|
| 1991 | 29 | 2003 | 25 |
| 1992 | 81 | 2004 | 0 |
| 1993 | 19 | 2005 | 18 |
| 1994 | 29 | 2006 | 38 |
| 1995 | 58 | 2007 | 39 |
| 1996 | 40 | 2008 | 43 |
| 1997 | 15 | 2009 | 36 |
| 1998 | 25 | 2010 | 71 |
| 1999 | 21 | 2011 | 36 |
| 2000 | 22 | 2012 | 32 |
| 2001 | 21 | 2013 | 62 |
| 2002 | 13 | | |

异常度用 $Z$ 表示,$Z = Y - Y_C$,其中 $Y$ 表示年最大增水值,$Y_C = (1/n)\sum Y_i$,$n = 23$,$\sum Y_i = 773$,表示年最大增水平均值,为 34 cm,定义:$Z \geqslant 0$ 为增水强度大年,$Z < 0$ 为增水强度小年,对 1991 ~ 2013 年发生在西沙永兴岛的最大增水作了异常度处理,发现增水强度大年有 10 个,强度小年有 13 个(图 1). 1991 ~ 2013 年期间发生在永兴岛的台风风暴潮过程年最大增水平均值为 34 cm,如果按照风暴潮警报发布标准[9],在永兴岛发生的台风风暴潮最高预警级别仅为蓝色,且只在 1992、2010 年达到预警级别.

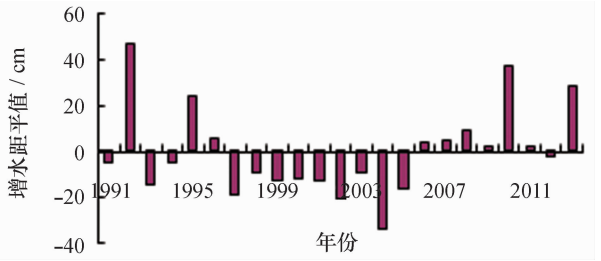


图 1 发生在永兴岛的台风风暴最大增水距平图

Fig. 1 Maximum water anomaly of storms occurred at Yongxing Island

将表 1 中的最大增水值与年份进行线性、对数、多项式等回归分析,分析发现六阶多项式拟合效果最好,相关系数为 0.414,并通过 $\alpha = 0.05$ 显著性检验. 从回归分析结果可以看出,发生在永兴岛的最大台风风暴增水值有明显的年际变化特征:20 世纪 90 年代起最大台风风暴增水随年份递减,21 世纪最初 10a 内最大风暴增水值随年份逐渐递增,最大风暴增水变化周期为 20a 左右;2013 年最大风暴增水成为过去 10a 中的最大值,预计接下来 10a 左右发生在永兴岛的台风最大增水值大体逐年递减(图 2).

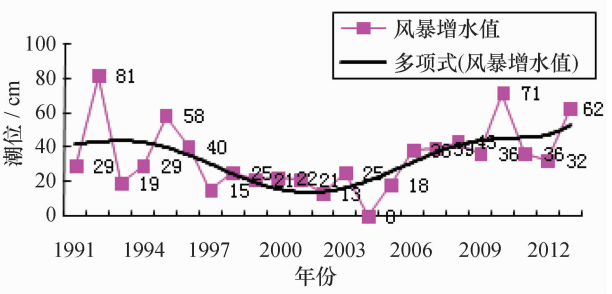


图 2 发生在永兴岛的台风风暴潮最大增水趋势预测

Fig. 2 Trend forecast for the highest typhoon surge at Yongxing Island

2.1.2 永兴岛台风风暴潮最大增水的季节性变化规律 统计出 1991 ~ 2013 年期间所有热带气旋过程中的年最大风暴增水过程,确定其发生的月份,分析发生在西沙永兴岛的台风风暴增水的季节性变化

规律(表 2).

**表 2　1991 ~2013 年发生在永兴岛的台风风暴潮年最大增水按月份分布**

Tab. 2　Annual maximum typhoon surge monthly distribution in Yongxing Island in 1991 ~2013

| 月份 | 频数/次 |
|---|---|
| 1 ~4 | 2 |
| 5 | 0 |
| 6 | 3 |
| 7 | 6 |
| 8 | 4 |
| 9 | 2 |
| 10 | 4 |
| 11 | 2 |
| 12 | 0 |

通过对 23 次最大风暴增水过程的统计发现,69.6% 的过程出现在 7 ~10 月份,其中 7、8、10 月占的比率很大,为 60.8% ,其中最盛月份为 7 月;12 月至次年 5 月份过程出现的概率最低,仅为 8.7% ;由此可以看出,发生在西沙永兴岛的台风风暴增水在夏季最强,其次为秋季,冬季和春季最弱. 对西沙永兴岛而言,防范最大风暴增水的时间段为 7 ~10 月.

2.1.3　台风风暴潮高潮位情况　台风经过区域,则往往会导致其所影响的海域水位暴涨,最大增水若正好赶上天文潮高潮阶段,潮位甚至超过警戒潮位. 由于西沙群岛四面环海的特殊地理位置以及历史资料的缺失,目前为止还未核定其警戒潮位. 本研究对 1991 ~2013 年的台风风暴潮高潮位做了相关的统计,同时对达到预警级别的典型风暴过程(分别为 9204 号、1002 号台风,移动路径见图 3)做综合分析(图 4 ~6).

2.1.4　9204 号“Chuck”　9204 号台风是 1992 年登陆我国的第一个台风,具有范围广、强度大、风雨维持时间长的特点[10]. 受其影响,海南省出现了严重的风雨灾害,同时引起了海南省及广西沿海显著的风暴增水,广西几个测站出现了超过当地警戒水位的高潮位.

9204 号台风于 6 月 27 日 12 时前后经过永兴岛,经过时风力为 12 级,中心气压为 965 hPa. 西沙站监测到的增水特征从图 5 增水曲线可以看出,呈现明显的单峰值特征,在 27 日 22 时增水达到 81.2 cm 的最高值. 实测潮位与天文潮位在台风经过之前波动周期基本一致,为 12 ~13 h,在台风经过永兴岛期间,实测潮位有明显的增大. 此次西沙站监测到的最大增水发生在天文潮从最低潮位缓慢增高的阶段,最大增水没有赶上天文潮的高潮阶段,所以出现最大增水时监测到的高潮位不高.

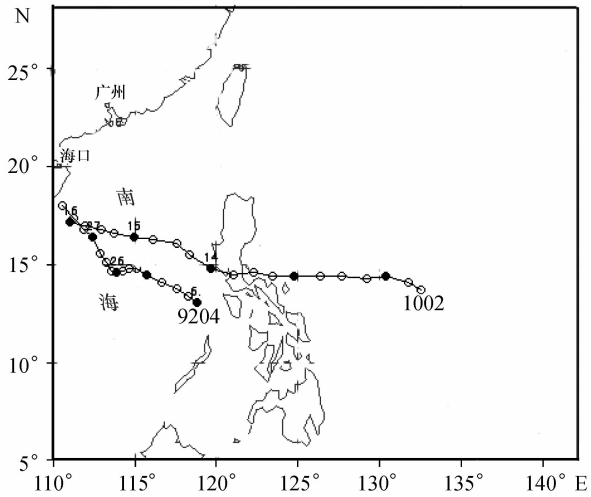


图 3　典型风暴过程的台风路径

Fig. 3　Typhoon tracks in typical storm process

2.1.5　1002 号“康森”　1002 号台风“康森”16 日 19:50 在三亚市亚龙湾登陆,登陆时中心最大风力 12 级. 台风“康森”造成海南省 8 个市县 68 个乡镇受灾,受灾人口 572 326 人,受灾农作物面积 $7.76 \times 10^3$ $hm^2$,直接经济损失约为 $2.4 \times 10^8$CNY. 其中西沙群岛风力达到 12 级以上,损失较大,台风共造成 2 人死亡.

1002 号台风于 7 月 16 日 01 时前后经过永兴岛,经过时风力为 12 级,中心气压为 975 hPa. 西沙站监测到的增水特征从图 6 增水曲线可以看出,台风在经过永兴岛时增水达到最高值. 此次西沙站监测到的最大增水发生在天文潮从最低潮位缓慢增高的阶段,最大增水没有赶上天文潮的高潮阶段,所以出现最大增水时监测到的潮位不高.

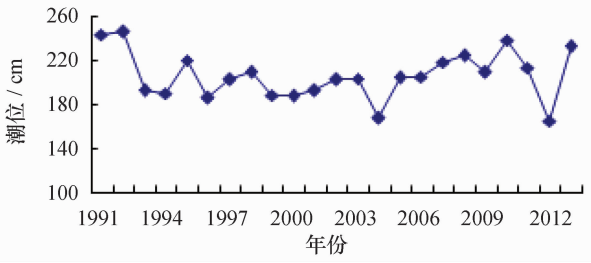


图 4　1991 ~2013 年发生在永兴岛的台风风暴潮高潮位

Fig. 4　High tide level by typhoon storm surge at Yongxing Island in 1991 ~2013

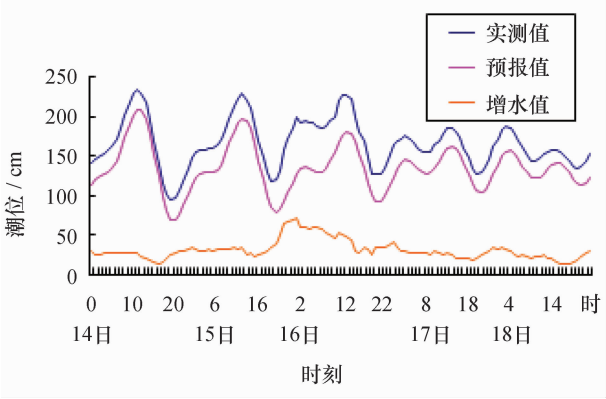


图 5 9204 号台风在永兴岛增水与潮位特征

Fig. 5 Typhoon surge and tidal characteristics of 9204 at Yongxing Island

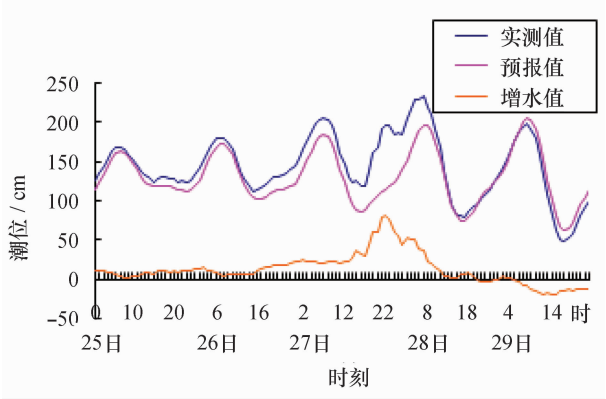


图 6 1002 号台风在永兴岛增水与潮位特征

Fig. 6 Typhoon surge and tidal characteristics of 1002 at Yongxing Island

从 9204 号、1002 号这两个典型台风过程可发现,这两个台风在西沙站发生最大增水时,均没遇到天文潮高潮阶段,所以潮位不高,如果按这样的增水量与极大天文潮相叠加,有可能也会发生灾害性高潮位.

2.1.6 气压对风暴潮增水的影响 从 1991 ~ 2013 年期间影响西沙永兴岛的 79 次台风过程中选取 27 次典型台风风暴潮过程进行分析. 典型台风风暴潮过程定义为:① 台风中心经过西沙附近海域,测站的气压记录有明显的漏斗型气压下降曲线;② 风暴增水≥30 cm 的过程. 经过筛选,引起典型台风风暴潮过程的台风有:9204“Chuck”、9508“Lois”、9514“Ryan”、9606“Frankie”、0508“天鹰”、0518“达维”、0601“珍珠”、0616“象神”、0715“利奇马”、0801“浣熊”、0814“黑格比”、0816“米克拉”、0916“凯萨娜”、1002“康森”、1003“灿都”、1005“蒲公英”、1108“洛坦”、1117“纳沙”、1118“海棠”、1119“尼格”、1223“山神”、1306“温比亚”、1309“飞燕”、1310“山竹”、1311“尤特”、1321“蝴蝶”、1325“百合”.

分析发现:台风中心经过时由负压引起的增水较为明显,台风中心经过西沙永兴岛附近时、测站气压迅速下降时、增水出现峰值,单峰型、双峰型和振荡型的增水曲线形态均有出现(图 7 ~ 9).

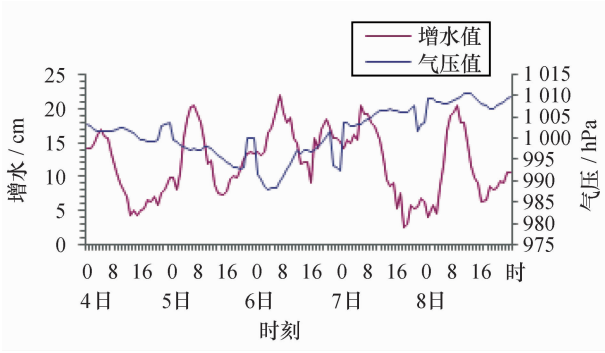


图 7 1310 号风暴潮过程气压与增水图

Fig. 7 Pressure of storm surge process and surge elevation of 1310

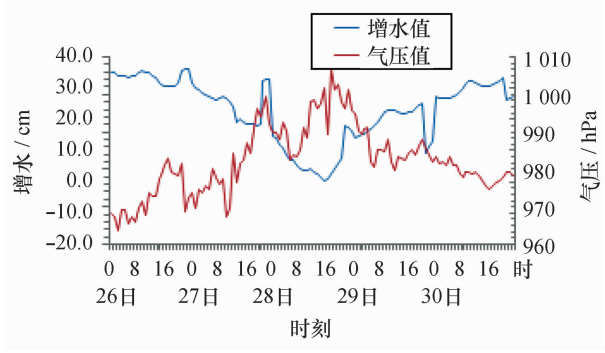


图 8 0916 号风暴潮过程气压与增水图

Fig. 8 Pressure of storm surge process and surge elevation of 0916

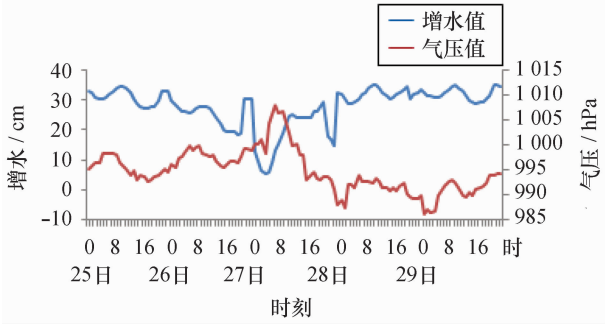


图 9 1223 号风暴潮过程气压与增水图

Fig. 9 Pressure of storm surge process and surge elevation of 1223

## 2.2 影响西沙永兴岛的台风风暴潮特征成因分析

台风风暴增水过程受热带气旋强度、移动路径、气压及地理位置影响,热带气旋强度用西沙站监测

到的最大风速值来代表,本研究重点探究影响西沙永兴岛的风年际与季节性变化是否为导致永兴岛台风风暴潮特征的主要成因之一,统计 1991 ~2013 年热带气旋过程时西沙站监测到的年最大风资料,分析其规律.

2.2.1　年际变化规律成因分析　同最大增水资料一样对最大风速资料进行四阶多项式拟合,所得相关系数为 0.45,并通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验(图 10). 从上述回归分析结果可以看出,发生在永兴岛的热带气旋过程最大风速值有明显的年际变化特征:20 世纪 90 年代起最大风速随年份递减,21 世纪最初 10a 内最大风速值随年份逐渐递增,最大风速值变化周期为 20a 左右,与发生在永兴岛的最大台风风暴增水年际变化规律基本一致;对最大增水与最大风速资料进行线性拟合,拟合结果为:最大增水与最大风速呈正相关关系,相关系数为 0.39,通过 $\alpha = 0.1$ 的显著性检验(图 11). 由以上分析可见,影响西沙永兴岛的风年际变化规律是导致永兴岛台风风暴潮年际变化特征的主要成因之一.

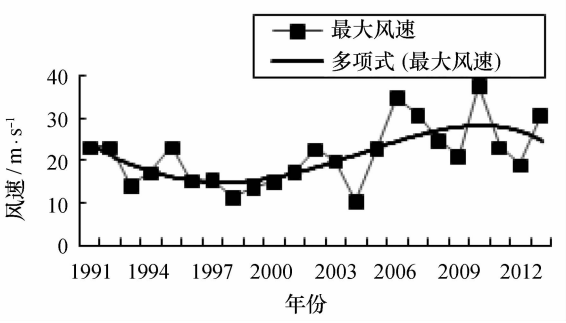


图 10　发生在永兴岛的最大风速趋势预测

Fig. 10　Maximum wind speed by trend forecast at Yongxing Island

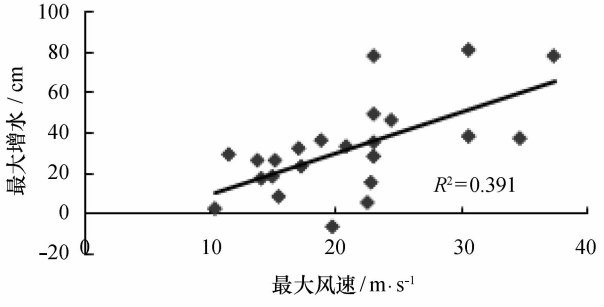


图 11　发生在永兴岛的最大增水与风速的线性关系

Fig. 11　Linear relationship of Maximum surge occurred and wind speed at YongxingIsland

同时统计分析发现 1991 ~ 2013 年中,除了 1993 ~1995 年、2000 ~2001 年、2005 年与 2013 年这 7a 外,其他所有年份的最大增水与最大风速均在同一热带气旋过程中发生. 这 7a 中,有 5a 发生在最大风速与最大增水随年份递减阶段,可见热带气旋过程中最大风速值越小,增水受其他因素影响的概率就越大,在此过程中产生年最大增水的可能性越低.

2.2.2　季节性变化规律成因分析　统计 1991 ~2013 年期间所有热带气旋过程中年最大风速,确定其发生的月份,分析发生在西沙永兴岛的热带气旋过程最大风速的季节性变化规律,有些热带气旋过程是跨越 2 个月份的,如 9915 号、0103 号、0715 号热带气旋,但仍以第一个月为主统计结果见表 3.

**表 3　1991 ~2013 年发生在永兴岛的热带气旋过程年最大风速按月份分布**

Tab. 3　Annual maximum wind velocity monthly distribution of tropical cyclone during 1991 ~2013 in the Yongxing Island

| 月份 | 频数/次 |
|---|---|
| 1 ~4 | 2 |
| 5 | 0 |
| 6 | 3 |
| 7 | 5 |
| 8 | 3 |
| 9 | 5 |
| 10 | 4 |
| 11 | 1 |
| 12 | 0 |

通过对近 23a 热带气旋年最大风速统计发现,73.9% 的过程出现在 7 ~10 月份,其中最盛月份为 7、9 月,为 43.5%;47.8% 的过程出现在 6 ~ 8 月份,43.5% 的过程出现在 9 ~11 月;12 月至次年 5 月份过程出现的概率最低,仅为 8.7%;由此可以看出,发生在西沙永兴岛的热带气旋过程年最大风速在夏季最强,其次是秋季,冬季和春季最弱,与西沙永兴岛年最大增水季节性变化规律大体一致. 由以上分析可见,影响西沙永兴岛的风季节性变化规律是导致永兴岛台风风暴潮季节性变化特征的主要成因之一.

影响西沙永兴岛的热带气旋的年最大风速年际与季节性变化是导致永兴岛台风风暴潮特征的主要成因之一,该结论与万弘超(2009)研究结果"影响风暴增水的主要因素是风、气压"基本一致[11].

影响永兴岛台风风暴潮特征的因素还有很多,特别是西沙永兴岛不利于海水辐聚、辐散的海岸线,四面环海同时又被西沙其他岛屿遮挡,与中沙群岛

毗邻的特殊且复杂的地理位置产生的局部海水震荡. 热带气旋的移动路径、移动速度及南海涡旋也是影响永兴岛台风风暴潮特征的因素之一.

## 3 结论

(1)1991 ~2013 年发生在永兴岛的台风风暴潮过程年最大增水值基本在 34 cm 处上下波动,最高预警级别仅为蓝色;最大增水有明显的年际变化特征,预计接下来 10a 左右发生在永兴岛的台风风暴增水值大体逐年递减.

(2)1991 ~2013 年发生在永兴岛的台风风暴潮过程年最大增水有明显的季节性特征:年最大增水在夏季最强,其次为秋季,冬季和春季最弱.

(3)发生在西沙永兴岛的最大增水若与极大天文潮相叠加,有可能会发生灾害性高潮位.

(4)台风中心经过时由负压引起的增水较为明显,台风中心经过西沙永兴岛附近时、测站气压迅速下降时、增水出现峰值,单峰型、双峰型和振荡型的增水曲线形态均有出现.

(5)影响西沙永兴岛的热带气旋的年最大风速年际与季节性变化是导致永兴岛台风风暴潮特征的主要成因之一.

**参考文献:**

[1] 冯士筰,李凤岐,李少菁. 海洋科学导论[M]. 北京:高等教育出版社,1999.
[2] 马林芳,卢益炳,韩小燕. 坎门站台风风暴潮特征分析[J]. 海洋预报,2010,27(6):29-34.
[3] 吕翠兰,卢小鹏,舒志光. 镇江站强风暴潮增水特征分析[J]. 海洋预报,2014,31(3):86-89.
[4] 王晶,卢美,丁骏. 浙江沿海台风风暴潮时空分布特征分析[J]. 海洋预报,2010,27(3):16-22.
[5] 于福江,张占海. 一个东海嵌套网格台风风暴潮数值预报模式的研制与应用[J]. 海洋学报,2002,24(4):23-33.
[6] 刘金芳,郝培章,俞慕耕,等. 东南沿海台风风暴潮特点及其变化规律[J]. 海洋学报,2002,19(1):81-88.
[7] 李文欢,朱万里,石海英,等. 海口市风暴潮高风险区增水淹没图信息系统[J]. 海洋预报,2010,27(6):72-77.
[8] 姜兆敏,王如云,黄金城. 风暴潮与天文潮非线性相互作用的理论分析[J]. 河海大学学报:自然科学版,2004,32(4):447-450.
[9] 国家海洋环境预报中心. 风暴潮预报技术指南[Z]. 北京:国家海洋环境预报中心,2011.
[10] 张保明,吴少华. 9204 号台风风暴潮的预报[J]. 海洋预报,1992,9(4):64-68.
[11] 万弘超,李训强, 窦红刚,等. 海口港风暴潮特征分析[J]. 海洋预报,2009,26(2):69-77.

# Statistical characteristic of the tropical storm surge in Yongxing of Xisha islands in 1991 ~2013

LIANG Hai-ping, LIANG Hai-yan, CHEN Hai-nan, CHEN Dao-yan
(Haikou Marine Environment Monitoring Station, SOA, Haikou 570100, China)

**Abstract**: With data of tide, air pressure and wind at Xihsa station in 1991 ~2013 the features of typhoon storm at Yongxing Island were statistically analysis for the information of typhoon surge forecasting. It is found that the largest fluctuation of typhoon storm surge is at 34cm basically. The highest level of warning is the blue scale. The strongest surge occurs in the summer, followed by autumn, winter and spring. If the highest surge occurs with great astronomical tide, severe high water level might occur at Yongxing Island. Surge has obvious seasonal characteristic, the strongest is in the autumn, followed by summer, winter and spring. Surging is much clearly caused by the negative pressure when the typhoon passed with occurrence of unimodal, bimodal or oscillation mode. The maximum interannual wind speed and the seasonal change of tropical cyclone are the most important characteristics of typhoon storm surge affecting Yongxing Island.

**Key words**: marine meteorology; storm surge; statistical analysis; annual; season; maximum wind speed
**DOI**: 10. 3969/J. ISSN. 2095-4972. 2017. 02. 011

(责任编辑:杜俊民)