

南海区台风风暴潮时空分布特征

张海燕

(国家海洋局南海预报中心, 广东 广州 510300)

摘要: 利用1950—2011年间286次台风风暴潮过程中的最大风暴增水资料, 统计分析了南海区风暴潮的时空分布特征, 并结合热带气旋活动背景及沿岸海岸地形对相应的特征进行理解。结果表明: 在空间分布上, 粤西和珠江口岸段的风暴潮最为频发, 且粤西的风暴潮最严重, 特别是雷州半岛东岸; 在季节分布上, 7—9月风暴潮最为频发, 且盛夏7—8月最为严重; 在年际变化上, 南海区风暴潮存在3~4 a及8 a左右的周期振荡; 在长期变化趋势上, 南海区风暴潮有频次略微减少, 而平均强度增强的趋势, 特别是较严重风暴潮过程趋于频发。

关键词: 风暴潮; 南海; 时空分布; 热带气旋

中图分类号: P731.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2019)06-0001-08

1 引言

风暴潮是指由热带气旋(台风或飓风)、温带气旋、寒潮或强冷空气大风等强烈大气扰动引起的、发生在沿海地区的局地海面异常升高(或降低)现象。国内外学者较多按照诱发风暴潮的大气扰动特性, 将风暴潮分为台风风暴潮和温带风暴潮两大类^[1]。

风暴来临时, 沿岸发生较大风暴增水, 若赶上天文高潮, 往往会使其影响所及海域水位暴涨, 浸溢陆地, 酿成严重潮灾。风暴潮灾居海洋灾害之首位。南海是我国三大边缘海之一, 北接华南大陆岸段, 其海岸线曲折绵长, 是台风风暴潮灾重灾区。据统计, 每年4—12月南海北部沿岸均有可能发生台风风暴潮过程, 主要影响时段集中在7—9月, 给沿岸省区造成巨大的经济损失和人员伤亡。如2017年有6个热带气旋登陆华南沿岸, 造成南海区风暴潮灾害次数偏多。广东省是2017年全国风暴潮灾害最严重的省(自治区、直辖市), 直接经济损失53.61亿元, 受灾人口171.46万人, 受灾农田 $1.376 \times 10^4 \text{ km}^2$, 受灾水产养殖面积 $2.442 \times 10^4 \text{ km}^2$,

损毁海岸工程776.01 km, 损坏船只358艘; 广西壮族自治区也因灾造成直接经济损失0.02亿元^[2]。因此, 很有必要了解南海区台风风暴潮的时空分布特征及其长期变化规律, 并提高对风暴潮的中长期预测能力, 以深入推进防灾减灾能力建设。

许多学者都针对我国南海区历史台风风暴潮开展过研究工作。马经广等^[3]以2003年为个例出发, 结合历史资料, 总结了广东沿海台风增水及风暴高潮位的基本特点。王红心等^[4]、董剑希等^[5]通过对历史风暴增水资料的统计分析, 分别总结了海南岛、广东省沿岸的风暴潮特征。甘申东等^[6]总结了近20 a我国南海台风风暴潮灾害的发生规律, 指出台风风暴潮的发生和热带气旋登陆地点、登陆强度及热带气旋路径有密切关系; 他们还系统总结了风暴潮灾害损失发生规律、灾害特征、灾害成因及强度影响因素等。这些研究成果从不同侧面反映了南海台风风暴潮的特征, 对做好防潮减灾工作具有重要的现实意义。本文将利用1950—2011年间南海区286次台风风暴潮过程中南海北部沿岸25个验潮站的最大风暴增水记录, 对南海区台风风暴潮的时空分布特征进行统计分析, 并结合登陆华南热

收稿日期: 2018-11-13; 修回日期: 2019-05-22。

基金项目: 国家重点研发计划重点专项(2016YFC1401503)。

作者简介: 张海燕(1989-), 女, 工程师, 博士, 主要从事海洋气象气候预报及季风气象学研究。E-mail: 441003513@qq.com

带气旋的活动背景及沿岸海岸地形对相应的特征进行分析理解。

2 资料与方法

根据历史上有实测潮位资料的南海区台风风暴潮过程,本文选取了南海北部沿岸 25 个验潮站的最大风暴增水数据,所选验潮站包括粤东岸段 6 个站(东溪口、妈屿、汕头、海门、汕尾、港口),珠江口岸段 8 个站(赤湾、泗盛围、广州浮标厂、黄埔、南沙、横门、灯笼山、黄金),粤西岸段 6 个站(黄冲、闸坡、北津、湛江、南渡、硃州),广西岸段 1 个站(北海)以及海南岸段 4 个站(三亚、秀英、海口、东方)。这些验潮站所处位置代表性良好(见图 1),所有验潮站资料年限均在 35 a 以上(见表 1)。

关于风暴潮强度的分级,国内目前尚未统一标准^[7]。风暴增水的大小是风暴潮强度分级比较合适的指标^[8]。参考郭洪寿^[9]的建议,本文依据风暴潮产生的增水量值大小将风暴潮强度划分为 7 个等级,分别为:0 级轻风暴潮、1 级小风暴潮、2 级一般风暴潮、3 级较大风暴潮、4 级大风风暴潮、5 级特大风暴潮和 6 级罕见特大风暴潮,具体划分见表 2。参照此分级标准,本文分别统计了南海区 25 个验潮站不同等

级风暴潮的发生频次。统计各岸段风暴潮发生频次时,若同一岸段的两个及其以上验潮站的风暴潮增水值由同一个热带气旋引起,则只计该岸段发生 1 次风暴潮,相应风暴潮强度按其中最大风暴潮增水量值统计。

本文所用的热带气旋登陆信息取自中国气象局整编的《台风年鉴》(1949—1988 年)和《热带气旋年鉴》(1989 年及其之后),包括登陆时间、登陆地点、登陆次数、登陆时中心气压、登陆时最大风速/风力等信息,资料长度从 1949—2016 年。

本文将在广东省、广西壮族自治区、海南省、香港及澳门特别行政区登陆且登陆时中心最大风速达到 10.8 m/s 的热带气旋规定为登陆华南热带气旋,登陆华南热带气旋又分为粤东(潮州-惠州)、珠江口(深圳-珠海以及香港、澳门特别行政区)、粤西(江门-湛江)、广西及海南岸段登陆热带气旋。若登陆点跨岸段,则以东部岸段统计。统计某一岸段登陆热带气旋频次时,若同一个热带气旋多次登陆同一岸段则只统计 1 次(以首次登陆所在月份作统计),统计登陆热带气旋强度时,以热带气旋首次登陆统计岸段时中心最大风力表征。分类统计不同热带气旋等级的登陆频次时,统一采用 2006 年国家标准化管理委员会批准发布的《热带气旋等级》国

表 1 所选 25 个验潮站的风暴潮资料年限

站名	资料年限	站名	资料年限	站名	资料年限
东溪口	1953—2011 年	黄埔	1950—2011 年	南渡	1955—2011 年
妈屿	1954—2011 年	南沙	1952—2011 年	硃州	1959—2011 年
汕头	1953—2011 年	横门	1952—2011 年	北海	1965—2011 年
海门	1954—2011 年	灯笼山	1958—2011 年	三亚	1964—2011 年
汕尾	1955—2011 年	黄金	1964—2011 年	秀英	1959—2011 年
港口	1974—2011 年	黄冲	1958—2011 年	海口	1950—2011 年
赤湾	1964—2011 年	闸坡	1957—2011 年	东方	1955—2011 年
泗盛围	1964—2011 年	北津	1954—2011 年		
广州浮标厂	1950—2011 年	湛江	1950—2011 年		

表 2 风暴潮强度等级划分表(引自文献[9])

等级	0	1	2	3	4	5	6
名称	轻风暴潮	小风暴潮	一般风暴潮	较大风暴潮	大风风暴潮	特大风暴潮	罕见特大风暴潮
增水值/cm	30~50	51~100	101~150	151~200	201~300	301~450	450 以上

家标准,按照登陆时中心最大风速大小,将登陆热带气旋分为6类:热带低压(Tropical Depression, TD,中心最大风速10.8~17.1 m/s,6~7级)、热带风暴(Tropical Storm, TS,中心最大风速17.2~24.4 m/s,8~9级)、强热带风暴(Severe Tropical Storm, STS,中心最大风速24.5~32.6 m/s,10~11级)、台风(Typhoon, TY,中心最大风速32.7~41.4 m/s,12~13级)、强台风(Severe Typhoon, STY,中心最大风速41.5~50.9 m/s,14~15级)和超强台风(Super Typhoon, Super TY,中心最大风速 ≥ 51.0 m/s,16级以上)。

3 南海区风暴潮空间分布特征

3.1 风暴潮频次分布特征

根据南海北部沿岸25个验潮站的历史风暴增水值记录,本文统计了1950—2011年间各站发生风暴潮的总频次(见图1)。所录风暴潮频次最多的3个验潮站分别为黄埔站(165次,平均2.7次/a)、湛江站(139次,平均2.2次/a)以及闸坡站(128次,平均2.1次/a)。

图2统计了1950—2011年华南各岸段不同等级风暴潮发生频次(风暴潮级别划分标准详见表2)。南海区风暴潮发生地点以粤西和珠江口岸段最为频繁,它们的风暴潮总频次分别为198、191次,平均约为3次/a;其次是海南和粤东岸段,频次分别为133和121次,平均约为2次/a;广西岸段的风暴

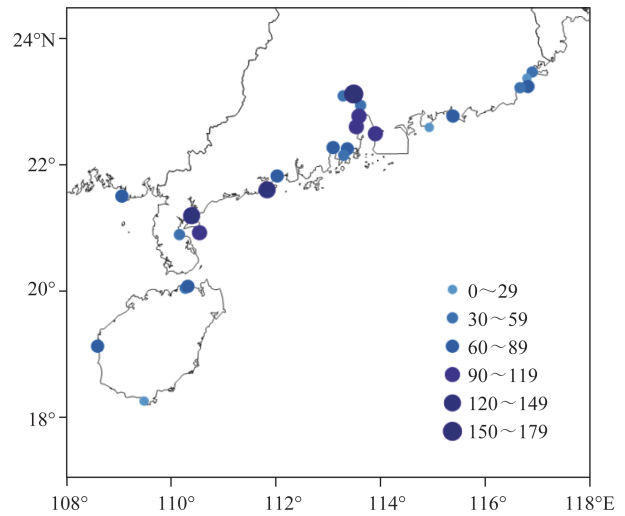


图1 1950—2011年华南沿岸各验潮站所录风暴潮频次示意图(单位:次)

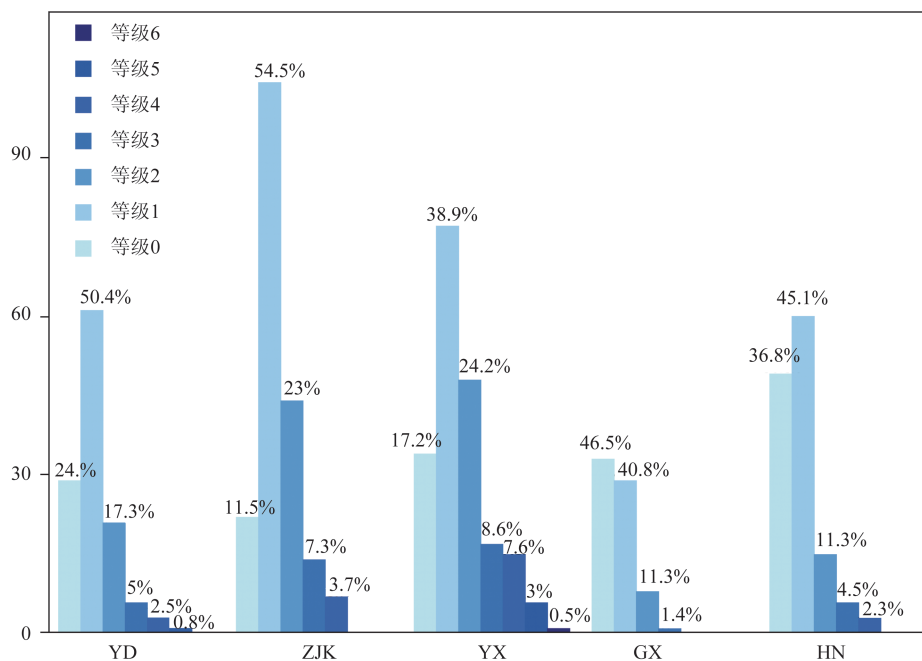


图2 1950—2011年华南各岸段不同等级风暴潮发生频次

(单位:次,柱形图上方标记为该频次占相应岸段总频次的百分比。YD:粤东岸段,ZJK:珠江口岸段,YX:粤西岸段,GX:广西岸段,HN:海南岸段)

潮频次最少,仅有71次,平均约为1次/a。

经普查,南海区历史风暴潮过程基本上是由热带气旋正面登陆华南沿岸所致。因此,南海区风暴潮频次的空间分布特征必然与登陆华南热带气旋活动密切相关。由图3华南沿岸热带气旋的登陆频次分布可见,登陆地点以海南和粤西岸段最为频繁,总登陆频次分别为134、132次,平均约2次/a;其次是粤东岸段,登陆频次为63次,平均约1次/a;然后是珠江口岸段,频次为45次,平均约0.7次/a;广西岸段的登陆频次最少,仅为28次,平均约0.4次/a。因此,受热带气旋频繁直接登陆影响,粤西岸段是风暴潮最频发区(见图2)。此外,虽然在珠江口岸段正面登陆的热带气旋明显偏少(见图3),但该岸段也是风暴潮频发区,其频发程度与粤西岸段接近(见图2)。这与珠江口有利的地理位置密切相关,且其海岸地形呈喇叭状,趋近粤东、粤西、甚至海南岸段登陆的热带气旋均有可能引起珠江口的潮水堆积。特别是热带气旋趋向珠江口以西岸段移动时,随着气旋由远及近,珠江口附近局地风向大致从东北转为东南,考虑广东省大致呈东北东-西南西走向的海岸线,珠江口局地吹东南风时,向岸风分

量较大,更容易将海水吹向海岸,从而形成风暴增水。另外,由图3可见粤东岸段热带气旋登陆频次较海南岸段偏少,但风暴潮频次与其相差不大(见图2)。这也是受广东省海岸地形与热带气旋风场结构配合的有利影响,且由于汕头港和拓林湾地形呈漏斗状,许多在其西面登陆的热带气旋均能引起其风暴潮增水^[10];而由于所选验潮站较为稀少,海南岸段风暴潮频次可能较实际情况略偏少。

3.2 风暴潮强度分布特征

由图2分析可得,在各等级风暴潮中,除广西以外的其他岸段均以1级小风暴潮所占比例最高,比重分别在39%~55%之间。且这些岸段均发生过4级及其以上等级的风暴潮(风暴增水超过200 cm),其中此类风暴潮比例最高的是粤西岸段,占该岸段风暴潮总频次的11.1%;其次是珠江口和粤东,比重分别为3.7%、3.3%;海南岸段的比重为2.3%。

华南各岸段历史最大风暴增水记录(见表3)也能从侧面反映风暴潮强度的空间分布差异。其中粤西南渡站的历史极值为594 cm,达到6级罕见特大风暴潮等级;粤东妈屿站的历史极值为314 cm,

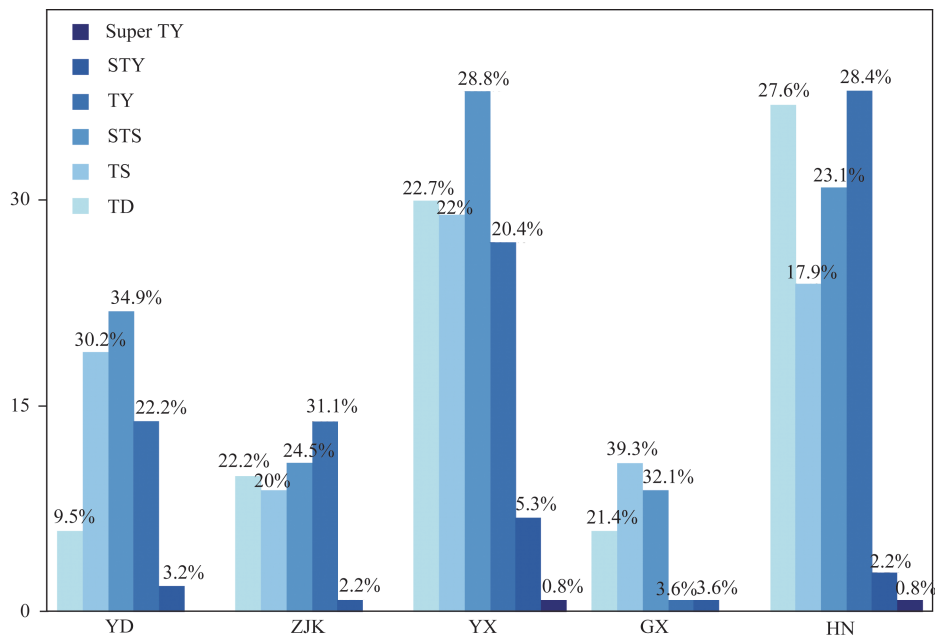


图3 1949—2016年华南各岸段不同等级热带气旋登陆频次

(单位:次,柱形图上方标记为该频次占相应岸段总频次的百分比。YD:粤东岸段,ZJK:珠江口岸段,YX:粤西岸段,GX:广西岸段,HN:海南岸段)

表3 1950—2011年华南各岸段历史最大增水记录及其影响热带气旋情况

岸段	历史最大增水值/cm	出现站点	出现时间/(年-月-日)	热带气旋编号	登陆强度	登陆点
粤东	314	妈屿	1969-7-28	6903	台风	广东揭阳
珠江口	262	泗盛围	1964-9-5	6415	台风	广东珠海
粤西	594	南渡	1980-7-22	8007	台风	广东湛江
广西	152	北海	1954-8-30	5413	台风	广东湛江
海南	252	海口	1973-8-26	7311	强热带风暴	海南文昌

达到5级特大风暴潮等级;珠江口和海南岸段的最大增水启示分别为262 cm、252 cm,达到4级大风风暴潮等级。且由表可见,各岸段的历史风暴增水极值主要是由台风正面登陆相应岸段所导致。

因此,也可以结合登陆热带气旋的活动来理解风暴潮强度的空间分布特征。由图3对华南各岸段热带气旋登陆强度进行分析可知,珠江口和海南岸段的整体登陆强度最强,它们均以台风等级的比例最大,且其台风及其以上等级热带气旋的比重较其他岸段明显偏多,达31%~34%;粤东和粤西岸段的强度次之,两者均以强热带风暴等级比例最大,其台风及其以上等级热带气旋的比重在25%~27%之间;广西岸段的登陆强度最弱,以热带风暴等级登陆比例最大,该岸段台风及其以上等级热带气旋的比重仅为7.2%。因此,粤西岸段作为风暴潮最严重区(见图2),除了与其正面登陆热带气旋的强度有关外,还受其他因素的影响,特别是其特殊的地理位置。粤西雷州半岛多喇叭口地形,与海南岛向东突出的尖角围成特殊的口袋状海湾,此地形使海水容易大量堆积,极易发生较严重风暴潮,如1980年7月22日在湛江徐闻沿海登陆的8007号强台风,给雷州半岛南渡站带来594 cm的最大风暴增水(见表3),是我国有验潮记录以来最严重的一次风暴潮灾害。此外,虽然海南岸段台风及其以上等级热带气旋的登陆比重较大(见图3),但其风暴潮严重程度稍低(见图2)。一方面,这与海南岸段风暴潮资料较为缺乏有关。本文只收集到海南北部、西部和南部沿岸4个验潮站(见图1)的历史风暴增水资料,但热带气旋最集中的登陆点却出现在海南岛东北部文昌至东南部万宁沿岸一带,验潮站位置与热带气旋集中登陆点并不一致,因此统计所得的风暴潮严

重程度稍低。另一方面,海南岛海岸地形与热带气旋风场结构的配合,也不太利于较强风暴增水的发生^[4]。

4 南海区风暴潮时间分布特征

据统计,1950—2011年南海北部沿岸共发生风暴潮286场。其中,1级小风暴潮的发生频次最多,占41.2%;其次是2级一般风暴潮,占28%;0级轻风暴潮、3级较大风暴潮和4级大风风暴潮的比重明显减小,各在8%~11%之间;5级特大风暴潮所占比例为2.4%;6级罕见特大风暴潮的比重仅为0.3%。

4.1 月际分布特征

南海区风暴潮发生时间为4—11月,最早出现在4月中旬末,为0801号台风“浣熊”引起;最晚出现在11月底12月初,为7427号台风“Irma”引起。由图4风暴潮发生频次的月际分布特征可见,7—9月南海区风暴潮最为频发,占全年总频次的72%;其次是6月和10月,各占10%~12%;然后是5月和11月,各占3%左右;4月的发生频率最低,比重不足1%。在5—11月份,均有4级及其以上等级风暴潮(风暴增水超过200 cm)发生。盛夏7—8月,此类风暴潮的比重最大,各占相应月份总频数的13%~14%;其次是秋季10—11月,比重各为11.1%;5—6月、9月的比重均为10%左右。

简而言之,7—9月是南海区风暴潮频发期,且盛夏7—8月份风暴潮的强度更强。这很大程度上是由登陆华南热带气旋的分布特征(图略)所决定:全年70%左右的热带气旋登陆发现在7—9月,明显多于其他月份;秋季9—10月份登陆强度达到台风

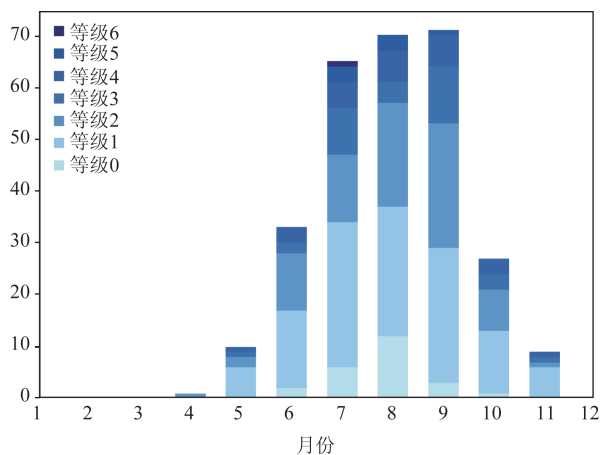


图4 1950—2011年南海台风风暴潮发生频次月际分布特征(单位:次)

及其以上等级热带气旋的比重最大,达到33%~35%,其次是7月,所占比例为28.9%。

4.2 年际变化特征

1950—2011年间,南海北部沿岸风暴潮频次的气候平均值为4.6次/a,其标准偏差为2.1次,具有显著的年际变化特征(见图5)。图6a给出了登陆热带气旋频次的年际变化曲线,平均每年有5.2个热带气旋在华南沿岸登陆,其标准偏差为2.1个,与上述风暴潮频次的总体统计特征比较吻合。但在一些具体年份,风暴潮频次与登陆热带气旋频次存在较大出入。图7给出了两者的差值序列,差值小于0说明该年份有未达到热带低压等级的热带气旋登

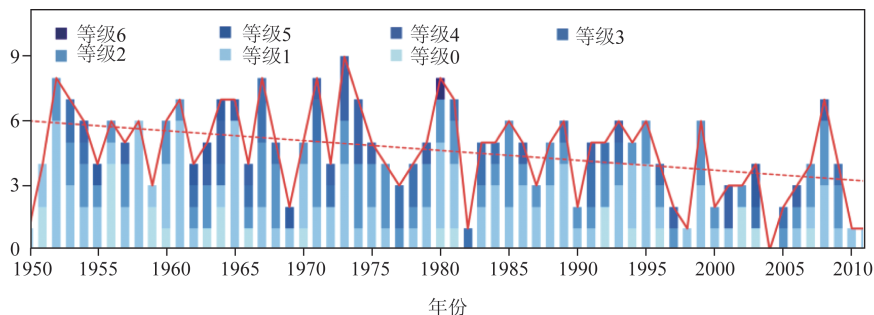
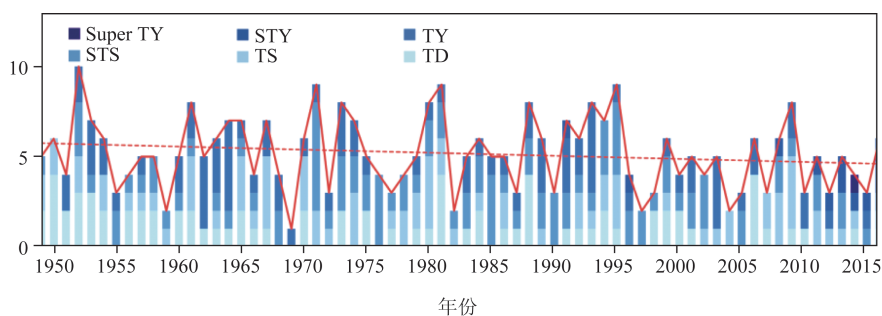
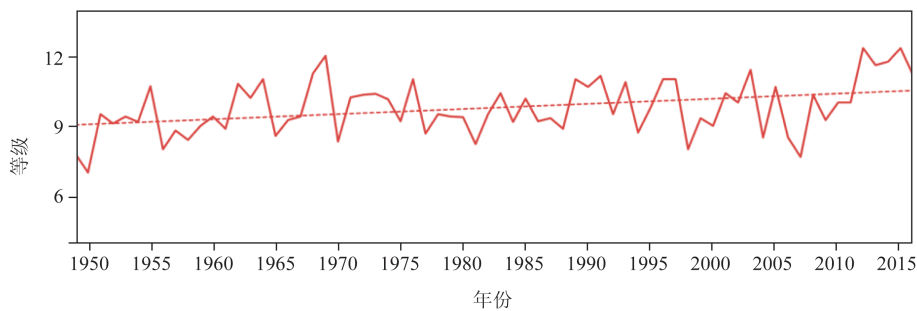


图5 1950—2011年南海风暴潮频次的年际变化序列



a. 频次(单位:个)



b. 强度

图6 1949—2016年登陆华南热带气旋年际变化序列

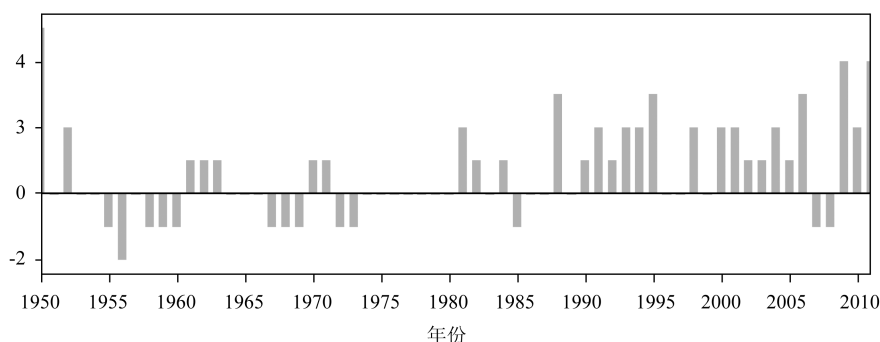


图7 1950—2011年登陆华南热带气旋频次与南海区风暴潮频次的差值序列

陆或在华南岸段以外的热带气旋登陆引起了30 cm以上风暴增水,差值大于0则说明该年份存在未收集到热带气旋登陆过程风暴增水资料的情况。由图可见,第一种情况相对较少,主要集中在1955—1973年间;而风暴潮资料缺乏的情况主要出现在1980年以后,不少年份缺乏实测数据的风暴潮过程多达3~4次。因此,仅根据历史风暴潮资料可能无法较为准确地反映南海风暴潮的长期变化规律,下文主要结合登陆华南热带气旋的长时间序列分析南海风暴潮的变化特征。

由图6a可见,登陆华南热带气旋频次存在显著的年际差异,登陆频数最多可达10个(1952年),最少的仅为1个(1969年)。小波分析的结果显示(见图8),登陆热带气旋频次有3~4 a的周期振荡,这种振荡在20世纪60年代中期至80年代尤为明显;同时,它还存在8 a左右的主周期。此外,近68 a来登陆热带气旋频次有略微减少的趋势,平均减少速度为0.17个/10 a(见图6a)。在各等级热带气旋中,热带低压等级登陆频次减少起主要贡献,平均减少速度为0.18个/10 a;台风等级登陆频次也有一定的减少趋势,平均减少速度为0.1个/10 a;而强台风等级登陆频次则有缓慢增加的线性趋势,平均增加速度为0.1个/10 a。综合来看,登陆华南热带气旋的年平均强度呈现出较显著的增强趋势,登陆时热带气旋中心最大风力平均每10 a增大0.22级(见图6b)。这与前人的研究结果一致^[11]。

因此,根据登陆华南热带气旋的上述变化规律可以推测,南海区风暴潮有3~4 a及8 a左右的年际振荡,且有略微减少的趋势。基于南海区风暴潮年频次序列的统计结果大体验证了这种推测(图略),

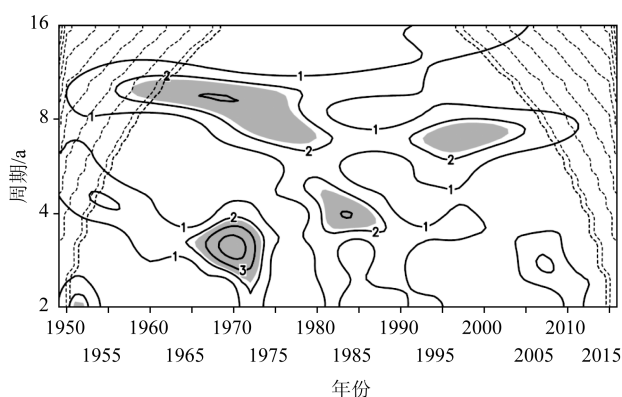


图8 登陆华南热带气旋年频次的小波能量谱(填色区域表示超过90%信度检验)

只是由于后期风暴增水资料缺测的情况增多,所录风暴潮频次偏少,基于增水资料反映的风暴潮持续减少趋势(平均减少速度为0.46次/10 a)有所夸大。此外,从登陆华南热带气旋持续增强的现象可以推测,南海区风暴潮有增强的趋势,特别是严重风暴潮过程趋于频发。

5 结论与讨论

本文利用南海北部沿岸25个验潮站较长时间序列的历史风暴增水资料及近60 a以上的热带气旋资料,统计分析了南海区台风风暴潮的时空分布特征,并结合热带气旋活动及沿岸海岸地形对相应的特征进行理解。所得主要结论如下:

(1)在风暴潮频次的空间分布上,粤西和珠江口是风暴潮最为频发的岸段,年频数均达到3次左右,前者主要受热带气旋频繁正面登陆影响,后者

与其自身有利的地理位置及海岸地形密不可分;海南和粤东岸段的风暴潮频次也相对较多,广西岸段的频次最少。黄埔、湛江和闸坡分别是各岸段中所录风暴潮发生次数最多的3个验潮站;

(2)在风暴潮强度的空间分布上,粤西岸段是风暴潮最严重区,其4级及其以上等级风暴潮比重最大,特别是海岸地形呈特殊口袋状的雷州半岛东岸;其次是珠江口和粤东,再次为海南岸段;

(3)在时间分布上,7—9月南海区风暴潮最为频发,其频次之和约占全年总数的70%;且盛夏7—8月份4级及其以上等级风暴潮的比重最大,较其它月份的风暴潮更严重;

(4)在年际时间尺度上,南海区风暴潮频次存在3~4 a及8 a左右的周期振荡;在长期变化趋势上,根据登陆华南热带气旋的变化规律可推测出:南海区风暴潮有频次略微减少,而平均强度增强的趋势,特别是较严重风暴潮过程趋于频发。

本文所选取的验潮站空间分布不均匀,珠江口岸段最为密集,海南和广西较为稀疏。对验潮站较为稀少的岸段,所得结论仅供参考。

参考文献:

- [1] 杨华庭, 田素珍. 中国海洋灾害四十年资料汇编(1949~1990)[M]. 北京: 海洋出版社, 1993.
- [2] 国家海洋局. 2017年中国海洋灾害公报[EB/OL]. (2018-04-23). http://gc.mnr.gov.cn/201806/t20180619_1798021.html.
- [3] 马经广, 胡建华. 2003年广东风暴潮分析和预报总结[J]. 海洋预报, 2004, 21(2): 78-85.
- [4] 王红心, 陆惠祥, 余晓军, 等. 海南岛沿岸风暴潮特征分析[J]. 海洋预报, 1998, 15(2): 34-42.
- [5] 董剑希, 李涛, 侯京明, 等. 广东省风暴潮时空分布特征及重点城市风暴潮风险研究[J]. 海洋学报, 2014, 36(3): 83-93.
- [6] 甘申东, 章卫胜, 宗虎城, 等. 我国南海沿海台风风暴潮灾害分析及减灾对策[J]. 水利水运工程学报, 2012, (6): 51-58.
- [7] 石先武, 刘钦政, 王宇星. 风暴潮灾害等级划分标准及适用性分析[J]. 自然灾害学报, 2015, 24(3): 161-168.
- [8] Xu H Z, Zhang K Q, Shen J, et al. Storm surge simulation along the U. S. East and Gulf Coasts using a multi-scale numerical model approach[J]. Ocean Dynamics, 2010, 60(6): 1597-1619.
- [9] 郭洪寿. 我国潮灾灾度评估初探[J]. 南京大学学报, 1991, (5): 18-22.
- [10] 蔡文恬. 汕头沿海风暴潮的特征[J]. 科技传播, 2013, (6): 113.
- [11] 许向春, 于玉斌, 赵大军. 登陆中国不同强度热带气旋的变化特征[J]. 热带气象学报, 2009, 25(6): 667-674.

Spatio-temporal distribution of typhoon storm surge along the South China Sea coast

Zhang Hai-yan

(South China Sea Marine Forecasting Center of State Oceanic Administration, Guangzhou 510300 China)

Abstract: The South China Sea (SCS) suffers from the frequent disasters of typhoon storm surges. Using the statistics of 286 typhoon storm surge events occurred during 1950 to 2011, this paper analyzed the spatio-temporal distribution of typhoon storm surge along the SCS coast, and explained the results combining tropical cyclone activities with coastal topography. The results indicate that the coastal segments with most frequent occurrence of storm surges are the west Guangdong coast and the Pearl River Estuary, and the west Guangdong coast is affected more seriously by storm surge. The SCS storm surges occur most frequently during July to September and the intensity of storm surges occurred in July and August are stronger. On the inter-annual time scale, the SCS storm surge possesses oscillations with periods of 3~4 years and 8 years. Besides, the frequency of the storm surge displays a linear trend of decrease, while its intensity displays a trend of increase.

Key words: storm surge; South China Sea; spatio-temporal distribution; tropical cyclone