

福建宁德海洋工程风暴潮灾害风险特征参数分析

曾银东^{1,2,3}

(1. 福建省海洋预报台, 福建 福州 350003; 2. 中国海洋大学海洋与大气学院, 山东 青岛 266071;
3. 福建省卫星海洋遥感与通讯工程研究中心, 福建 福州 350003)

摘要: 宁德地区是我国受风暴潮影响较为严重的区域之一, 同时也是宁德核电站等众多沿海大型工程所在地。鉴于该区域特殊的地理位置和海洋灾害的严重性, 以宁德核电站为中心, 对该区域所面临风暴潮风险的特征参数进行全面、综合的定量评估, 包括潮汐特征、平均海平面变化、台风和风暴潮基本特征, 特别是可能最大风暴潮的计算。研究表明, 该区域 10% 超越频率的天文潮高、低潮位分别为 355、-341 cm; 平均海平面变化速率为 0.162 cm/a; 千年一遇的台风中心气压约为 895 hPa, 该气压时的最大台风风速半径为 40 km。在进行大量敏感性实验的基础上, 对台风移速、移向和风暴增水/减水的关系, 以及增水和减水的差异进行了详细的研究, 得出: 台风增水主要是由移向在 305° 左右 (295° ~ 315°)、路过核电站下方 (核电站以南) 的台风引起, 且增水随台风移速增大而增大; 可能最大台风风暴增水由路径经过核电厂址南 40 km 的台风 (移向 295°、移速 28 km/h) 引起, 最大台风增水值为 526.8 cm; 对于可能最大台风减水而言, 最有利于台风风暴减水的移向在 355° ~ 360° 和 0° ~ 15° 之间, 其中可能最大台风减水为 -301.9 cm, 由移向 5°、移速 30 km/h、路径经过核电厂址南 30 km (0.75 台风最大风速半径) 的台风引起。

关键词: 海洋水文学; 宁德核电站; 风暴潮; 灾害风险; 可能最大

DOI: 10.3969/j.issn.2095-4972.2017.04.005

中图分类号: P731

文献标识码: A

文章编号: 2095-4972(2017)04-0500-12

我国是世界上海洋灾害最严重、最频发的国家之一^[1]。2001 ~ 2016 年间, 海洋灾害给我国造成的直接经济损失超过了 2 010 亿元, 死亡 (含失踪) 达 2 580 人, 其中风暴潮 (含近岸浪) 灾害造成的直接经济损失居首位^[2]。台风和强温带天气过程是造成风暴潮灾害的主要天气系统, 每年均会给沿海地区造成灾害。风暴潮灾害成灾频率高、致灾强度大, 在我国从南至北均有发生, 尤以浙江、福建、广东沿海为重^[3]。一次严重风暴潮来袭, 沿海动辄转移数十万、甚至上百万居民, 大量房屋、农田、水产养殖被淹、海塘堤防损毁, 直接经济损失可达百亿元^[4]。

我国沿海地区人口密集, 区域建设迅猛, 一大批核电、油气、石化、交通等沿海大型工程快速增长。但是, 随着全球气候变暖, 极端天气频发, 沿海地区经济发展存在对海洋灾害风险考虑不足、防范措施不够、防御能力降低等日益突出问题, 一旦发生重大海洋灾害, 其后果将十分严重。因此, 开展我国沿海地

区海洋工程海洋灾害风险分析, 提升沿海大型工程防灾、抗灾能力, 减轻海洋灾害风险, 任务迫切、意义重大。近年来, 随着海洋观测能力的不断提高, 海洋灾害风险的数值模拟和计算能力的不断提升, 开展沿海地区海洋灾害风险分析有了强有力的科学理论基础和手段。

福建地处我国东南沿海, 经台湾岛北上或经巴士海峡进入南海的台风都将影响福建, 因此在沿海 11 个省市中, 福建的风暴潮灾害次数最多^[5]。其中, 宁德地区又是福建受风暴潮灾害影响较为严重的区域, 建国以来登陆我国大陆最强的台风 0608 号“桑美”就在宁德地区登陆。2013 年宁德地区还经历了达到红色风暴潮预警级别的 2 次台风 (1312 号“潭美”和 1323 号“菲特”) 风暴潮过程。宁德地区建有包括宁德核电站 (图 1) 在内的众多沿海大型工程, 这些工程面临严重的来自海洋的威胁, 特别是台风风暴潮。对海洋工程面临的风暴潮灾害风险特征参

收稿日期: 2017-05-27

基金项目: 中国海洋工程咨询协会资助项目; 国家科技支撑计划资助项目 (2013BAB04B00)

作者简介: 曾银东 (1978 ~), 男, 在职博士, 高工; E-mail: zydzyd100@163.com

数进行分析是一项十分重要的研究工作.

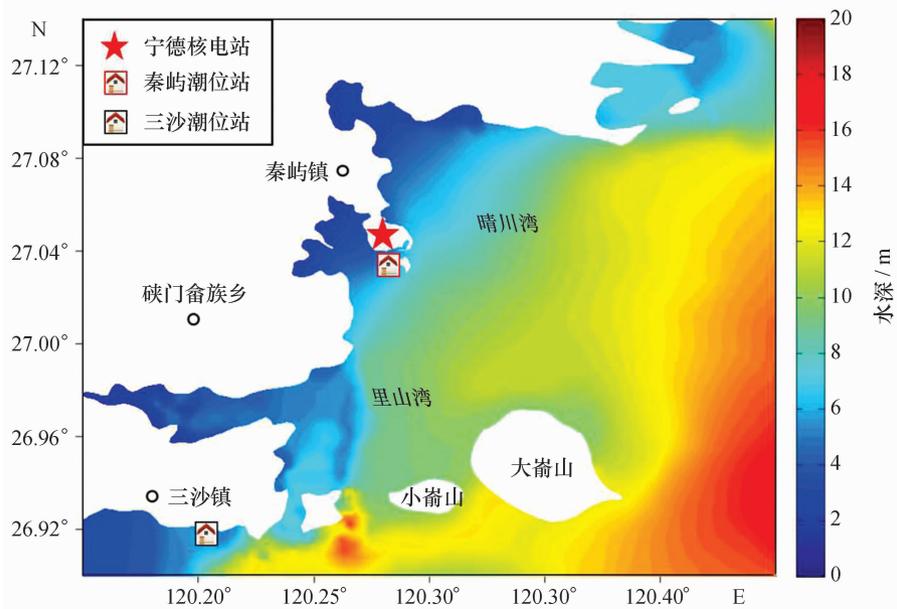


图1 宁德周边海域水深分布以及宁德核电站、海洋观测站位置

Fig. 1 Topography of the coastal region of Ningde, the locations of NNPP and the tide gauge stations

在以往的文献中,针对不同地区的特性和不同地区面临的台风规律,对于不同风暴潮风险特征参数的选取,对大型工程面临的风暴潮灾害风险进行了大量的研究.例如,顾裕兵等(2010)通过分析 58a 间影响秦山核电厂的热带气旋资料,揭示了影响秦山核电厂热带气旋的时空分布特征及运行规律,并采用统计分析或公式计算等多种方法计算了核安全可能最大热带气旋参数设计值^[6].尹庆江(1995)计算了镇海可能最大台风增水,文中按 3 种类型的 13 条台风路径分别进行了计算,并对产生可能最大风暴潮的假想登陆台风进行了不同移速的计算,由此确定了镇海的可能最大台风增水值^[7].张敏(2015)模拟了 1409 号超强台风“威马逊”和 1415 号台风“海鸥”的风暴潮过程,并通过数值试验,定量的研究了台风移动方向和移动速度对湛江市沿海风暴潮的影响,分析了 1409 号和 1415 号台风产生的风暴潮相差较大的原因^[8].王庆业(2013)数值模拟了 0713 号和 0716 号超强台风风暴潮过程^[9].董剑希(2008)在沙埕验潮站连续 50a(1956~2005 年)的台风过程增水资料以及西北太平洋 57a 的台风资料,采用皮尔逊 III 统计法和数值法分别计算了沙埕港的百年一遇台风风暴潮和百年一遇最大台风风暴潮,并得到了产生这两种台风增水的台风路径及强度等台风参数,研究了福建省沙埕港风暴潮状况^[10].董剑希(2016)分析了 20 世纪 50 年代以来福建省 7 个有代表性验潮站的近 700 站次台风风暴潮过程,利

用建立的风暴潮评价指标,研究了福建省风暴潮的时空分布特征^[5].李克先(2001)以沙埕港历史台风风暴潮实测资料为依据,分析了影响增水的主要因素和沙埕港台风风暴潮特征^[11].

但是,以往的研究中,还没有针对该区域大型工程的风暴潮风险特征参数的综合分析,特别是该区域针对大型工程的可能最大台风风暴潮特征参数的定量评估.此外,以往针对该区域的风暴潮风险特征参数分析的研究中存在以下不足:①不同路径的台风对风暴潮增水/减水的定量影响评估;②风暴潮增水和减水特征参数的异同研究.因此,本研究在大量数值实验的基础上,以宁德核电站为重点研究对象,对该区域所面临的风暴潮风险的特征参数进行全面、综合的定量评估,包括潮汐特征、平均海平面变化、台风和风暴潮基本特征,特别是可能最大风暴潮的计算.通过这些全面综合的分析研究,可以全面了解该区域风暴潮灾害的基本特征,旨在提高该区域沿海大型工程应对风暴潮灾害的能力.本研究结合对该区域历史台风路径特征的分析,进一步给出该区域不同重现期下的台风中心气压和最大风速半径,特别是在大量数值实验的基础上,着重研究了台风移速、移向与增水/减水的关系,揭示台风移动方向和移动速度对宁德区域风暴潮增水/减水的影响,特别是对增水和减水影响的差异,在此基础上,进一步给出该区域风暴潮增水和减水情景下可能最大风暴潮的特征参数,以提高宁德地区沿海大型工程应

对风暴潮灾害的能力,并且为今后开展相关分析研究工作提供技术方法和有益参考.

1 材料与方法

科学防御风暴潮灾害是滨海重要大型工程设计(如核电厂厂址设计)中不可或缺的一个重要考虑环节,在开展这些大型工程面临的海洋灾害风险分析时,需按照一定的工程设计标准进行建设,本研究主要参考核电站在设计及复核时所用到的标准,具体分析如下:

潮汐分析采用文献[12]推荐的方法进行计算;可能最大风暴潮(PMSS和-PMSS)是滨海核电厂厂址设计基准洪水(DBF)及取水口高程的一个重要组成部分,其计算参照文献[13]推荐方法进行计算;可能最大热带气旋(PMTC)相关参数的确定方法采用文献[14]推荐方法进行计算选取.

1.1 潮汐特征分析

宁德周边海域潮汐属正规半日潮类型,最大潮差 6.9 m,平均潮差 4.0 m. 海域潮波运动形式为驻波性质,为正规半日潮流区,垂线平均最大流速为

83 cm/s^[15].

本研究采用秦屿潮位站资料进行分析(图 1),对 10% 超越概率天文高潮位、19a 天文高(低)潮位进行推算. 由于秦屿潮位站缺乏长期潮位观测数据,因此,本研究选用潮位站连续一整年逐时的潮位资料进行调和,并由此根据 19a 天文潮预报得出最高潮位、最低潮位为 373、-350 cm,10% 超越频率的天文潮高、低潮位分别为 355、-341 cm. 此外,该站基准面为 85 高程下 356 cm,依此换算年平均海平面为 25 cm(1985 国家高程基准).

1.2 平均海平面变化分析

鉴于秦屿潮位站缺乏长期观测数据,本研究利用与研究区域潮汐性质相近且具有长期潮位观测资料的三沙潮位站(图 1)进行平均海平面变化分析. 通过对该站 1973~2012 年共 40a 的逐时潮位资料分析得出:该站年平均海平面的变化速率为 0.162 cm/a,并由此值推算当地未来 60a 的相对海平面变化,得到的变化幅度为 9.7 cm(图 2).

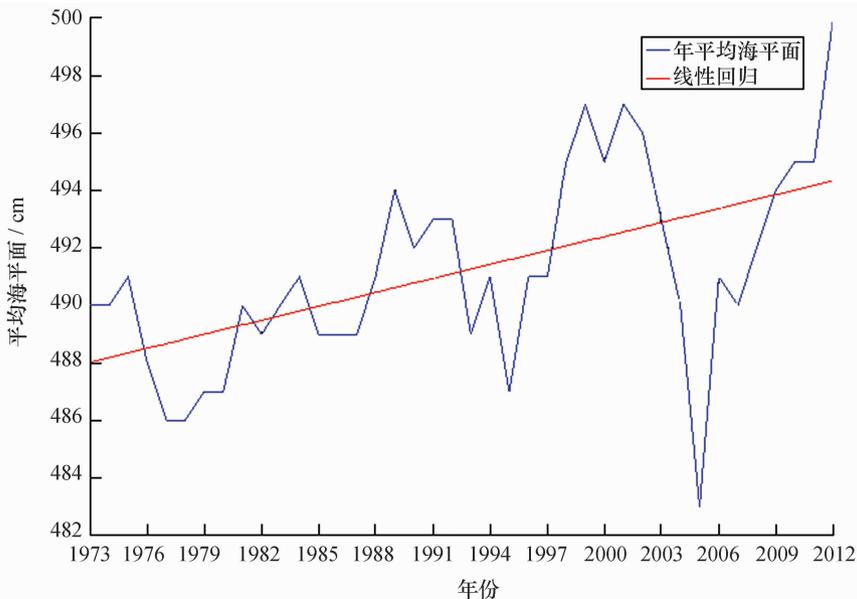


图 2 1973~2012 年三沙站年平均海平面变化
Fig. 2 Yearly mean sea level changes during 1973~2012

1.3 台风和风暴潮基本特征分析

在登陆福建沿海的台风中,大部分对宁德周边沿海造成影响. 据分析^[16],登陆福建沿海的台风路径主要有以下 4 种类型:①在西北太平洋生成后经过台湾岛以北登陆福建省的台风,这种台风因登陆前没有受到台湾岛地形阻碍,往往造成严重灾害,如在宁德福鼎沙埕镇登陆的 1312 号台风“菲特”;②

在西北太平洋生成后先在台湾岛登陆,后再次登陆福建省的台风,这类台风路径强度、移速多变,影响时间长,范围广,如在宁德霞浦县登陆的 0908 号台风“莫拉克”;③在菲律宾以东洋面生成后进入台湾海峡登陆福建省的台风,这类台风因登陆前没有受到台湾岛地形阻碍,登陆后对福建沿海产生较大影响,如在福州福清市登陆的 0102 号台风“飞燕”;

④ 在南海生成的台风经台湾海峡登陆福建省,这类台风形成时间短,移动速度快,虽强度不大,但防范不可忽视,如在泉州晋江市登陆的 1010 号台风“莫兰蒂”。

根据台风年鉴资料统计得出,2006~2016 年间影响宁德核电的主要台风有 15 个,这些台风多在闽北-浙南一带登陆,登陆风力为 12 级的台风多达 11 个。其中,0608 号台风“桑美”为 50a 来登陆福建最强的台风,于 2006 年 8 月 10 日 17 时 25 分在浙闽交界处的温州苍南县登陆,中心附近风力 17 级以上,瞬时最大风速 75.8 m/s,距“桑美”登陆地点约 20 km 的宁德核电厂址测得最大风速 64.2 m/s,平均风速 53.4 m/s。

2 结果与讨论

可能最大风暴潮(PMSS)的计算,需要合理地确定可能最大热带气旋(PMTC)的有关参数。本研究基于成熟的变网格台风风暴潮数值模型进行台风风暴潮过程计算,为保证数值模拟结果的科学性,本研究在对 2006 年之前共 14 次有代表性的台风风暴潮过程进行模拟计算的基础上,对 2006~2013 年的典型台风风暴潮过程进行进一步的模拟计算,计算得到最大风暴潮相对误差在 8% 以内,从模拟的

结果可以看出,所使用的变网格台风风暴潮模型对新近发生的典型风暴潮过程具有较好的刻画能力,所使用的台风风暴潮模型是可靠的,可以满足本研究的要求。

2.1 热带气旋(风场)模型

对于台风风场的确定,在已知或预报的台风路径和台风要素的基础上,利用经验公式或理论模型分别对静止旋转风场和移行风场进行独立计算,再将计算结果叠加得到完整的台风分布信息。对于静止旋转风场的计算,可直接利用风速经验公式确定或通过气压分布推算得到。因此,将气压分布模型、静止台风风速模型和移行风速模型合理的组合即可构建台风风场模型。本研究采用国家海洋环境预报中心研发的业务化台风气压场和风场模式。

2.2 概率论法推算台风中心气压(P_0)

长江口以南计算的可能最大温带风暴潮均低于可能最大台风风暴潮^[17],因此,本研究以台风风暴潮计算可能最大风暴潮。为确定 PMTC 参数,利用中国气象局出版的 1949~2013 年台风年鉴共 64a 台风资料,统计以宁德核电厂址为中心,300 km 为半径的所有经过该范围内的台风(图 3a)。

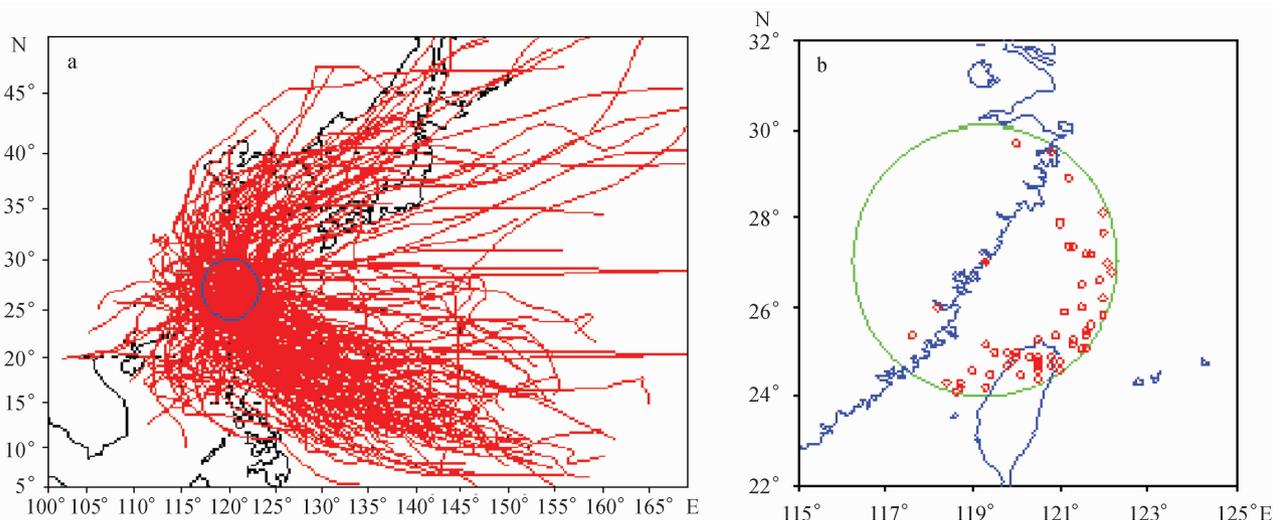


图 3 1949~2013 年经过选定区域的历史台风路径和逐年最低气压台风位置

Fig. 3 Historical tracks of the typhoons passing through the region represented by the circles and typhoon center locations with the lowest pressure every year during 1949~2013

a. 历史台风路径;b. 逐年最低气压台风位置,以宁德核电区为中心,圆半径为 300 km

本研究对该半径内的台风进行逐年台风中心气压分析,得到共 64a 逐年台风最低气压序列,距核电厂址 300 km 范围内气压最低时的台风空间位置见图 3b。如果当年没有热带气旋进入该区域,则该年

热带气旋取为进入该区域热带气旋系列中的最大值^[17],因此没有热带气旋影响的年份如 1979、1983 等取最大值 997 hPa。利用皮尔逊 III 型极值分布曲线(图 4),计算确定 2、10、20、50、100、200、1 000a 一遇

等不同重现期下的宁德核电厂址处的台风中心气压,分别为 957.0、932.8、922.9、916.0、909.5、901.2、895.2 hPa. 由此可得 1 000a 一遇的台风中心

气压为 895.2 hPa, 因此, 本研究以 895 hPa 作为 PMTC 的中心气压值.

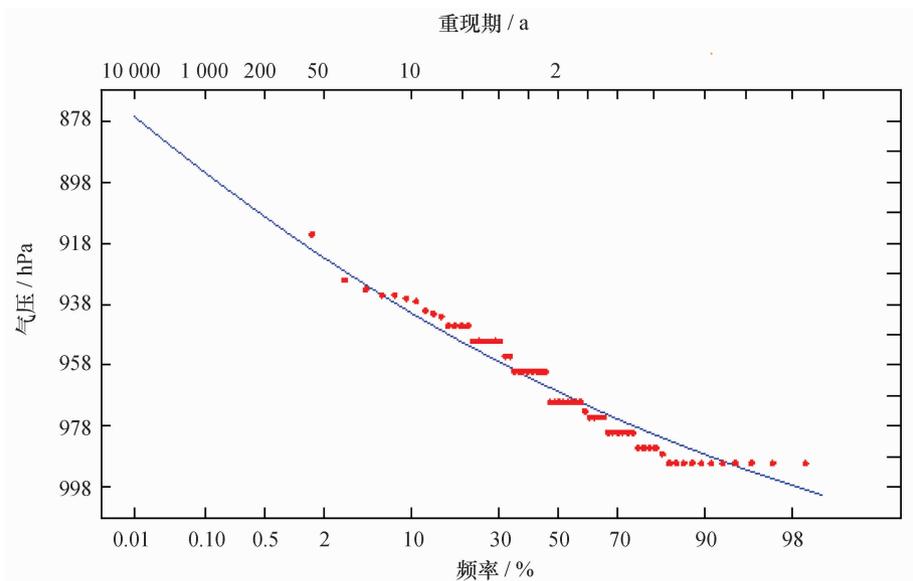


图 4 皮尔逊 III 型计算出的宁德核电区处不同重现期下的气压变化曲线图

Fig. 4 Pressure variation at different return periods calculated by Pearson III curve in Ningde coastal areas

2.3 台风最大风速半径

本研究首先在对 15a 间 (1960 ~ 1974 年) 美国西北太平洋飞机探测台风资料的 173 个样本进行分析的基础上确定研究区域的 PMSS 计算中 PMTC 的台风最大风速半径为 40 km, 因此, 在本研究的 PMSS 计算中 PMTC 的台风最大风速半径确定为 40 km, 该值是合理偏保守的.

2.4 台风移速、移向

为了研究移速、移向和风暴增水/减水的关系, 本研究进行了大量的敏感性试验: 取台风中心气压低于 975 hPa 的台风移速在移向 240° 至 (顺时针) 15° (移向指台风的去向) 范围内, 设计了对台风移速的敏感性试验, 每 10° 为一个方向共 15 个方向, 每一方向选取了距离宁德核电区上下各台风最大风速半径的距离 ($R = 40$ km) 的两条路径, 每条路径采用 10、15、20、25、30、35 km/h 共 6 种移速进行计算, 本研究总共对 180 组台风参数进行了风暴潮过程模拟计算.

以上敏感性试验结果表明: ① 对于台风增水而言 (图 5a), 移向在 $240^\circ \sim 360^\circ$ 的范围内, 距离宁德核电区下方 R (即 $-R$) 的台风引起的风暴增水明显高于距离上方为 R 的台风, 但是移向在 $0^\circ \sim 15^\circ$ 的范围内, 情况正好相反; ② 在移速 10 ~ 35 km/h 的范围内, 中心经过宁德核电区下方的台风引起的增水随台风移速增大而增大, 严重的增水值由移向为

305° 、经过核电站上方的台风引起. 总之, 台风增水主要是由移向在 305° 左右 ($295^\circ \sim 315^\circ$) 且路过核电站下方 (核电站以南) 的台风引起, 且增水随台风移速增大而增大.

对于台风减水而言, 敏感性实验结果表明 (图 5b): 跟台风增水相反, 移向在 $240^\circ \sim 360^\circ$ 的范围内, 经过核电站下方的台风引起的减水显著小于经过核电站上方的台风; 并且与台风增水不同的是, 台风减水对于移速而言不如台风增水敏感, 最大减水发生在移向为 355° 左右和 $5^\circ \sim 15^\circ$ 之间, 但是一个 (移向 355° 左右) 是由中心路过核电站上方的台风引起, 而另外一个移向 ($5^\circ \sim 15^\circ$) 引起的严重减水是由中心经过核电站下方的台风引起的. 对于严重减水情况下 (移向为 355° 和 $5^\circ \sim 15^\circ$), 减水基本上随台风移速增大而增大, 但是对于其他的台风移向却没有表现出这个趋势.

通过以上的分析可以看出: 产生严重台风增水的台风移向发生在 295° 至 315° 之间, 而且在此范围内增水随台风移速增大而增大. 为了进一步确定计算可能最大风暴潮 (PMSS) 的 PMTC 参数中的移速值, 本研究取 1949 ~ 2013 年经过选定区域 (以宁德核电区为中心, 300 km 为半径的圆) 的台风移速进行统计, 并根据前后 2 个时次的台风位置中心点时刻的中心气压 (前后 2 个时次的台风中心气压的平均值) 小于 975 hPa 的移速点进行统计分析 (表 1).

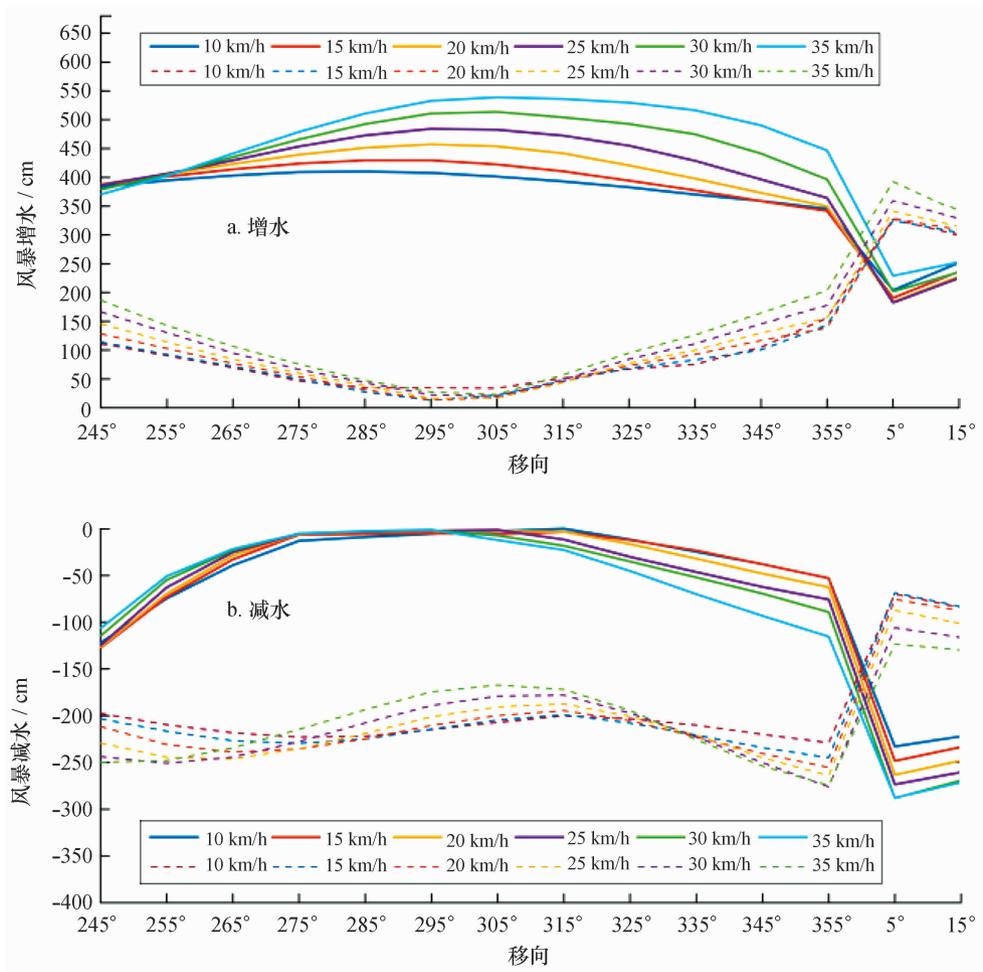


图5 可能最大台风增水和减水台风移速试验数值计算结果

Fig.5 Numerical calculation results of positive and negative probable maximum storm surges (PMSS) forced by the typhoons in different movement speeds

其中实线是距离宁德核电下方路径为 -R 的结果,虚线是上方路径为 R 的结果(R=40 km)

由此得到,统计范围内的台风移速平均值为 18.84 km/h,最大移速值为 36.70 km/h,本研究取上述两

值的平均值 27.77 km/h(取整为 28 km/h)作为计算可能最大风暴潮(PMSS)的 PMTC 参数中的移速值.

表1 台风移向发生在 290°至 320°之间的移速统计

Tab.1 Statistics of typhoon movement speeds occurred in typhoon movement directions from 290° to 320°

移速角度	台风号	中心气压 /hPa	移速 /km · h ⁻¹	移向	移速角度	台风号	中心气压 /hPa	移速 /km · h ⁻¹	移向
290° ~ 300°	0513	945.0	16.2	290.1°	300° ~ 310°	9417	955.0	16.1	305.1°
	6911	953.0	21.6	290.1°		0509	950.0	16.1	305.2°
	9012	960.0	5.4	290.2°		0713	937.5	22.5	305.3°
	6906	966.5	26.6	290.4°		1211	970.0	15.9	305.6°
	0008	970.0	15.6	290.9°		0808	972.5	18.8	306.2°
	7123	945.0	19.9	291.8°		0813	947.5	12.5	306.2°
	0608	917.5	23.4	293.3°		5310	940.0	24.7	306.8°
	0608	970.0	23.3	293.4°		0509	960.0	12.3	307.1°
	6312	936.5	9.2	293.8°		0604	975.0	21.3	307.6°
0608	915.0	22.0	294.9°	5901	974.0	21.1	307.8°		

续表 1

移速角度	台风号	中心气压 /hPa	移速 /km · h ⁻¹	移向	移速角度	台风号	中心气压 /hPa	移速 /km · h ⁻¹	移向
300° ~ 310°	6007	940.0	13.0	295.3°	310° ~ 320°	7504	970.0	27.1	308.0°
	7504	975.0	21.6	295.4°		9711	965.0	33.1	308.0°
	6615	940.5	12.9	295.6°		5822	970.0	14.8	308.7°
	9711	960.0	29.4	296.2°		0216	960.0	14.8	308.7°
	0604	975.0	16.8	296.2°		0414	950.0	23.5	309.2°
	7123	950.0	20.6	296.7°		0709	965.0	8.8	309.4°
	6615	961.5	20.4	297.0°		0808	965.0	17.5	309.4°
	9418	965.0	24.5	297.0°		6312	942.5	8.7	309.7°
	9418	957.5	28.5	297.1°		9711	975.0	25.5	310.8°
	7209	963.5	20.3	297.1°		0713	965.0	19.7	311.2°
	9608	965.0	19.2	298.9°		5622	970.0	22.5	311.2°
	5901	969.0	19.2	298.9°		0010	962.5	22.4	311.3°
	0908	970.0	7.7	298.9°		6312	955.0	11.2	311.6°
	9406	975.0	25.4	300.7°		9015	960.0	19.5	311.6°
	8506	968.0	17.6	301.8°		0716	965.0	11.2	311.6°
	6126	947.5	21.1	301.8°		8506	965.0	11.1	312.1°
	5305	965.0	27.8	302.2°		9417	950.0	27.2	312.9°
	6615	936.0	13.8	302.4°		9015	950.0	21.1	314.7°
	9417	952.5	13.7	302.6°		0509	950.0	21.0	314.9°
	9714	972.5	24.0	302.7°		1211	962.5	18.4	314.9°
	5310	971.5	13.6	303.1°		5822	957.5	23.5	315.1°
	5310	950.0	23.6	303.4°		0908	970.0	12.5	317.8°
	0505	975.0	10.0	303.8°		5822	942.5	17.5	317.9°
	6312	970.5	10.0	303.8°		8506	968.0	12.4	318.2°
	9406	960.0	36.7	303.8°		7209	950.0	14.9	318.3°
	5904	973.0	26.3	304.3°		6404	965.5	14.9	318.4°
	6906	963.0	26.3	304.3°		7910	952.5	14.8	318.5°
0519	957.5	16.4	304.4°	1211	962.5	12.4	318.5°		
9430	947.5	16.3	304.7°	8506	970.0	14.8	318.6°		
0513	960.0	22.6	305.0°	0515	957.5	24.6	318.8°		
7209	937.0	21.2	307.8°						

为了获取计算可能最大风暴潮(-PMSS)的 PMTC 参数中的移速值,结合以上敏感性实验结果(产生严重台风减水的台风移向在 355°左右和 5°~15°之间),本研究取 1949~2013 年经过宁德核电区的台风移速进行统计,并根据前后 2 个时次的台风位置中心点时刻的中心气压(前后 2 个时次的台风

中心气压的平均值)小于 975 hPa 的移速点统计获得了下表(表 2).由表得到,统计范围内的移速平均值为 17.88 km/h,最大移速值为 40.9 km/h,本研究取上述两值的平均值 29.39 km/h(取整为 30 km/h)作为计算可能最大风暴潮(-PMSS)的 PMTC 参数中的移速值.

表 2 台风移向发生在 355° 左右和 $5^\circ \sim 15^\circ$ 之间的移速统计Table 2 Statistics of typhoon movement speeds occurred in typhoon movement directions of around 355° and in the range of $5^\circ \sim 15^\circ$

台风号	中心气压 /hPa	移速 /km·h ⁻¹	移向	台风号	中心气压 /hPa	移速 /km·h ⁻¹	移向
6104	975.0	31.9	350.9°	1105	975.0	18.6	5.1°
8209	975.0	14.9	353.5°	1209	972.5	16.8	5.8°
9414	960.0	16.8	354.3°	0102	970.0	26.2	7.4°
0813	965.0	16.8	354.3°	0102	975.0	31.9	9.0°
8707	970.0	24.1	356.1°	9430	955.0	15.2	12.7°
8605	970.0	40.9	5.0°	0505	960.0	7.6	12.8°

2.5 \pm PMSS 计算

从以上的分析可以得出可能最大风暴潮各台风参数为:千年一遇的台风中心气压约为 895 hPa,该气压时的最大风速半径为 40 km;敏感性试验得出产生严重台风增水的台风移向发生在 $295^\circ \sim 315^\circ$ 之间,且台风中心经过核电站下方(以南),统计范围内的台风平均移速平均值为 18.84 km/h,最大移速值为 36.70 km/h;产生严重台风减水的台风移向在 355° 左右和 $5^\circ \sim 15^\circ$ 之间,统计范围内的移速平

均值为 17.88 km/h,最大移速值为 40.90 km/h.

为了得到由准确台风路径引起的可能最大台风增水值(PMSS),本研究在上述大量敏感性实验的基础上,又额外设计了以下加密实验:取 6 个台风移向(290° 、 295° 、 300° 、 305° 、 310° 、 315°)、移速 28 km/h、19 条路径(距核电厂址距离为 $\pm 2.25R$ 、 $\pm 2.00R$ 、 $\pm 1.75R$ 、 $\pm 1.50R$ 、 $\pm 1.25R$ 、 $\pm R$ 、 $\pm 0.75R$ 、 $\pm 0.50R$ 、 $\pm 0.25R$),总共 114 条可能最大台风(PMTC)路径,其台风路径分别见图 6.

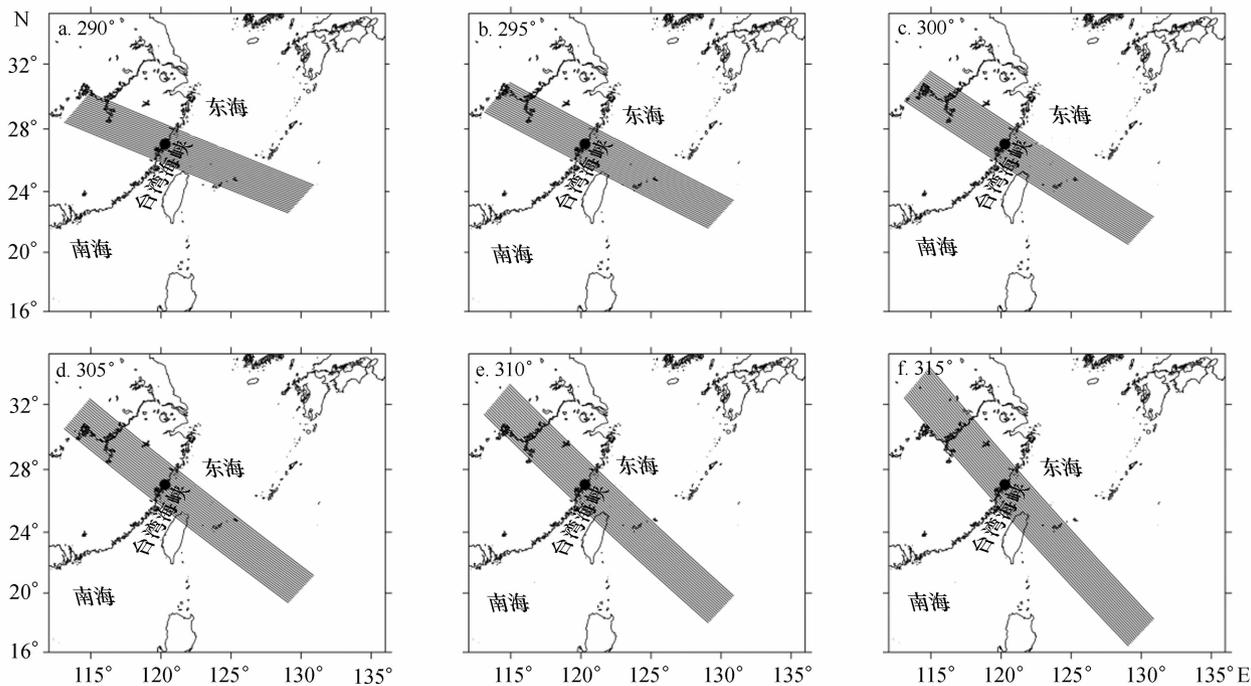


图 6 计算的 PMTC 路径(移速 28 km/h)

Fig. 6 Calculated tracks of PMTC (the movement speed is 28 km/h)

同样的,为了得到由准确台风路径引起的可能最大台风减水值(-PMSS),本研究设计了以下额外的加密实验:取 5 个台风移向(355° 、 360° 、 5° 、 10° 和 15°)、移速 30 km/h、19 条路径(距核厂址距离为

$\pm 2.25R$ 、 $\pm 2.00R$ 、 $\pm 1.75R$ 、 $\pm 1.50R$ 、 $\pm 1.25R$ 、 $\pm R$ 、 $\pm 0.75R$ 、 $\pm 0.50R$ 、 $\pm 0.25R$),总共 95(5×19) 条可能最大热带气旋(PMTC)路径,其台风路径图分别见图 7.

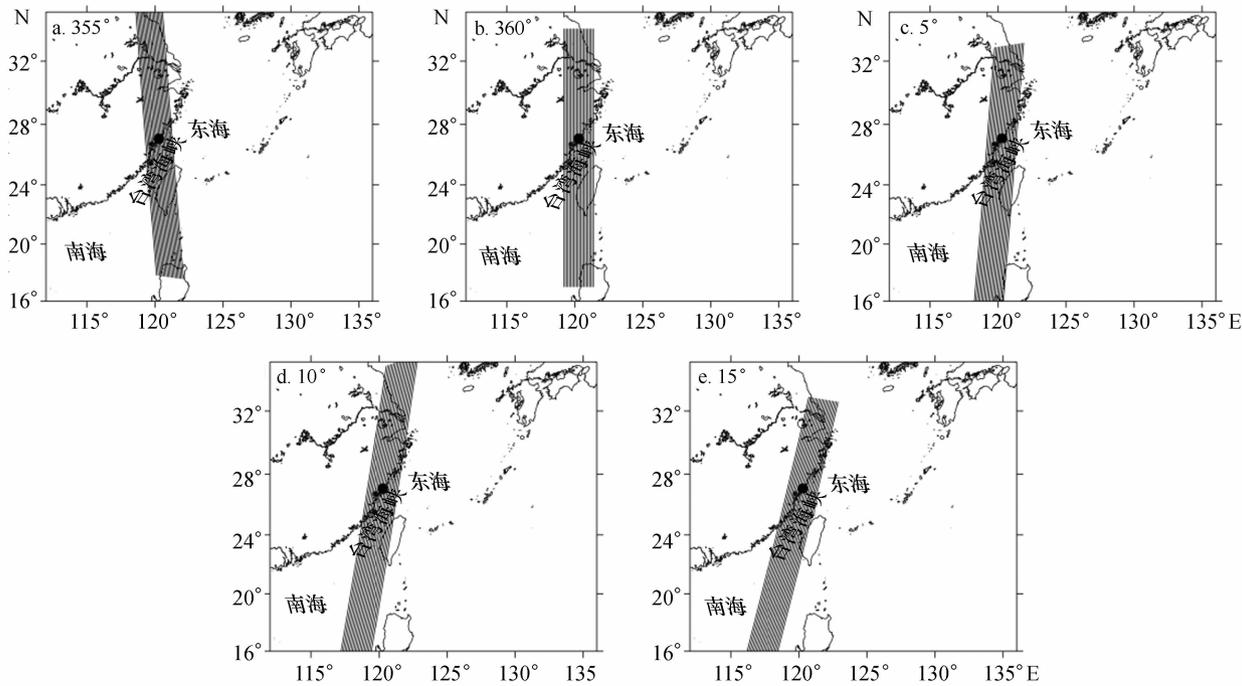


图 7 计算的 -PMTC 路径(移速 30 km/h)

Fig. 7 Calculated tracks of -PMTC (the movement speed is 30 km/h)

可能最大台风增水(PMSS)的加密数值实验结果见图 8a. 从图中可以看出:路径经过核电站以南

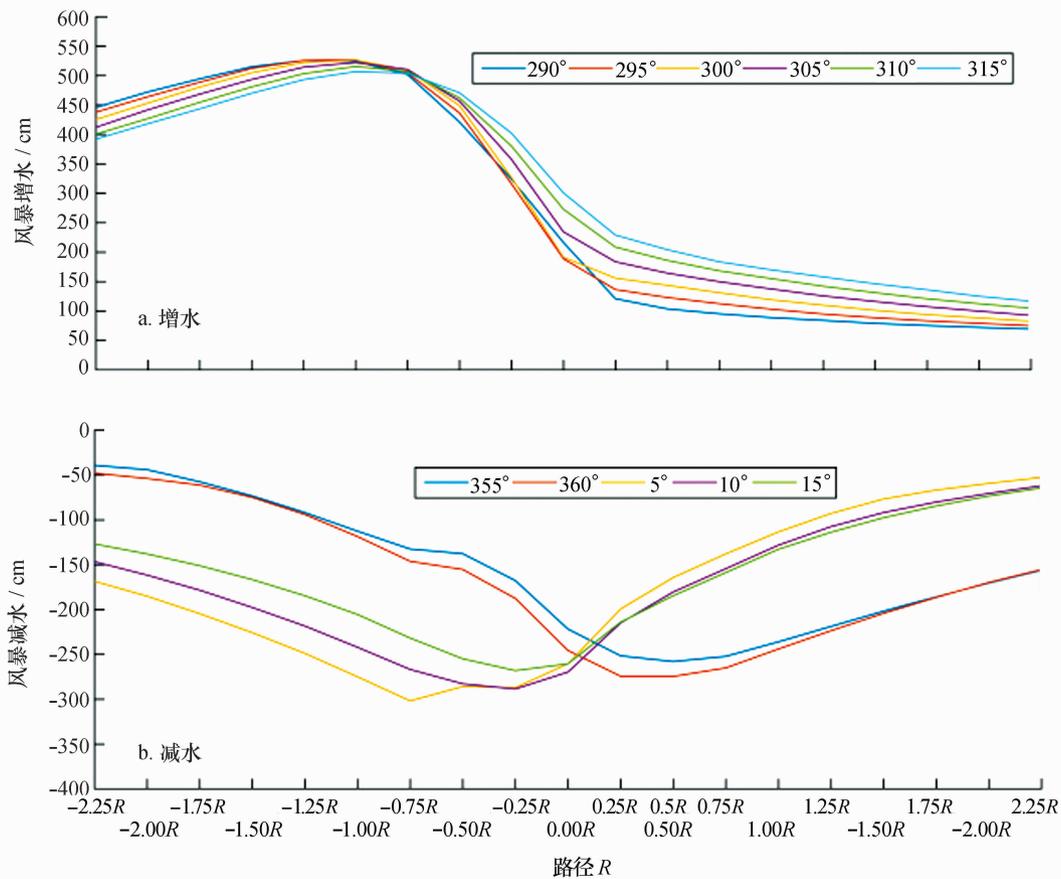


图 8 可能最大台风增水和减水数值计算结果

Fig. 8 Positive and negative probable maximum storm surges.

a 中 $R=40$ km, 移速为 28 km/h; b 中 $R=40$ km, 移速为 30 km/h

的台风引起的增水高于路径经过核电站以北的台风;从总体上来说在此移向范围内,台风增水随移向的变化不如随距离核电站距离的变化显著;可能最大台风增水并不是由中心路过核电站的台风引起,而是由路径经过核电站址南 40 km(即 $-R$)的台风(移向 295° 、移速 28 km/h)引起,最大台风增水值为 526.8 cm. 可能最大台风增水过程曲线见图 9a;对

同一个路径而言,台风增水在核电站以北(即 R 为正值)的变化率明显低于距离核电站以南的变化率,台风增水在 $-R$ (或 $-0.75R$;取决于不同的路径)至 $0.00R$ (或 $0.25R$)之间快速降低,因此,由图中看出,距离在核电站 $-1.25R \sim -0.75R$ 之间的台风最有利于风暴增水.

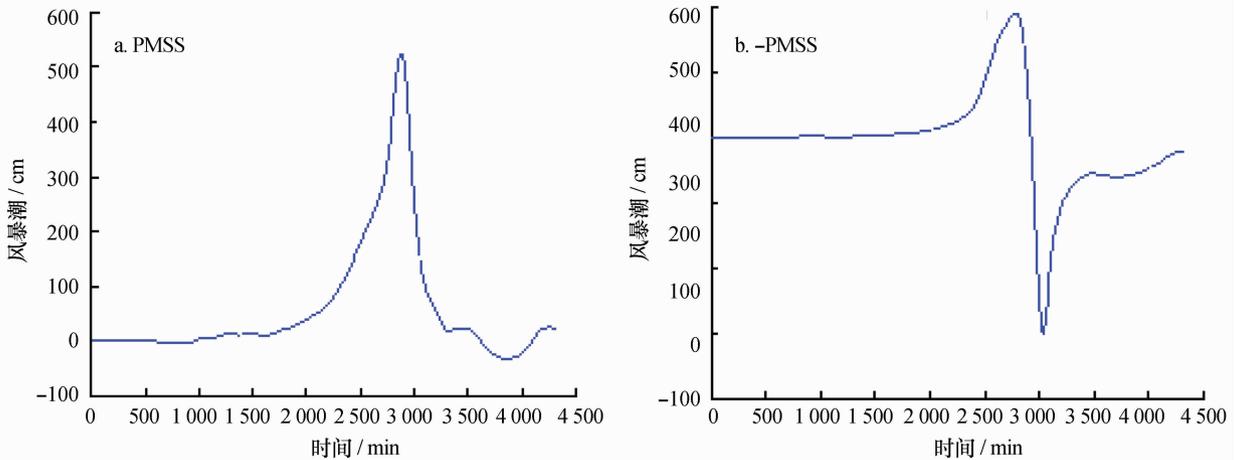


图9 台风 PMSS 和 -PMSS 过程曲线

Fig. 9 Curves of typhoon PMSS and -PMSS

可能最大台风减水(-PMSS)的加密数值实验结果见图 8b,可以看出,由于路径在 355° 到 360° 和 $0^\circ \sim 15^\circ$ 区间,对于宁德地区的海岸线来说是不同的, $355^\circ \sim 360^\circ$ 区间的台风基本上东南来向的,而 $0^\circ \sim 15^\circ$ 却是西南来向的,因此,对风暴减水的规律也是不同的. 对于移向在 $355^\circ \sim 360^\circ$ 之间的台风,引起的最大风暴减水发生在距离核电区 $0.25R$ 和 $0.50R$ 处,而对于移向为 5° 、 10° 和 15° 的台风引起的最大风暴减水分别发生在距离核电区 $-0.75R$ 、 $-0.50R$ 和 $-0.25R$ 处. 总之,大致上说,最大风暴减水发生在距离核电区 $-0.75R$ 到 $0.50R$ 之间,其中可能最大台风减水为 -301.9 cm,由移向为 5° 、移速为 30 km/h、路径经过核电站址南 30 km(0.75 台风最大风速半径)的台风引起. 可能最大台风减水过程曲线见图 9b.

3 结论

本研究以宁德地区为研究区域,对宁德核电工程等沿海大型工程面临的风暴潮灾害风险特征参数进行了分析研究,主要包括 10% 超越天文高潮位等潮汐特征、平均海平面变化、台风以及可能最大潮特征参数.

研究表明,研究核心区 10% 超越频率的天

文潮高、低潮位分别为 355、 -341 cm;三沙潮位站 1973 ~ 2012 年间,平均海平面的变化速率为 0.162 cm/a;登陆福建的台风路径大致分为 4 种:在西北太平洋生成后经过台湾岛以北登陆福建省的台风、在西北太平洋生成后首先在台湾岛登陆,再次登陆福建省的台风、在菲律宾以东洋面生成后进入台湾海峡登陆福建省的台风以及在南海生成的台风经台湾海峡登陆福建省;0608 号“桑美”台风登陆期间,研究核心区观测到的最大风速值为 64.2 m/s,平均风速为 53.4 m/s.

本研究对可能最大风暴潮各特征参数进行了较为详细的计算. 计算结果表明:千年一遇的台风中心气压约为 895 hPa,该气压时的最大台风风速半径为 40 km;本研究进行了大量的敏感性实验的基础上,对台风移速、移向和风暴增水/减水的关系进行了详细的研究,得出如下结论:

(1) 台风增水主要是由移向在 305° 左右(295° 至 315°)、路过核电站下方(核电站以南)的台风引起,且增水随台风移速增大而增大,距离核电站 $-1.25R$ 到 $-0.75R$ 之间的台风最有利于风暴增水;可能最大台风风暴增水并不是由中心路过核电站的台风引起,而是由路径经过核电站址南 40 km(即

- R 的台风(移向 295° 、移速 28 km/h)引起,最大台风增水值为 526.8 cm .

(2)对于可能最大台风减水而言,最有利于台风风暴减水的移向在 $355^\circ \sim 360^\circ$ 和 $0^\circ \sim 15^\circ$ 区间,注意到,对于宁德地区的海岸线而言,这 2 个范围是有所不同的, $355^\circ \sim 360^\circ$ 区间的台风基本上东南来向的,而 $0^\circ \sim 15^\circ$ 却是西南来向的;大致上说,最大风暴减水发生在距离核电区 $-0.75R \sim 0.50R$ 之间,

其中可能最大台风减水为 -301.9 cm ,由移向 5° 、移速 30 km/h 、路径经过核电厂址南 30 km (0.75 台风最大风速半径)的台风引起.

宁德核电站所处的海岸特征在中国沿岸,特别是闽浙沿岸具有典型性,本研究关于台风移向和移速对风暴增水和减水的不同影响可能对其他沿岸的相关研究具有重要的参考意义.

参考文献:

- [1] 李德亮,刘宪斌. 2005~2014年中国主要海洋灾害的危害及防治对策[J]. 海洋信息,2015(4):37-42.
- [2] 国家海洋局. 中国海洋灾害公报(2001~2016年)[EB/OL]. [2017-05-26]. <http://www.coi.gov.cn/gongbao/zaihai/>.
- [3] 杨良华. 我国沿海风暴潮[J]. 中国海洋平台,1998(3):25-27.
- [4] 乐肯堂. 我国风暴潮灾害及防灾减灾战略[J]. 海洋预报,2002,19(1):9-15.
- [5] 董剑希,李涛,侯京明. 福建省风暴潮时空分布特征分析[J]. 海洋通报,2016,35(3):331-339.
- [6] 顾裕兵,赵鑫,黄君宝,等. 影响秦山核电厂热带气旋特征及核安全可能最大热带气旋参数设计值计算[J]. 浙江水利科技,2010,167(1):41-48.
- [7] 尹庆江,王喜年,吴少华. 镇海可能最大台风增水的计算[J]. 海洋学报,1995,17(6):21-27.
- [8] 张敏,陈钰祥,赵雪,等. 台风移动方向和速度对湛江市沿海风暴潮影响的数值分析[J]. 海洋预报,2015,32(5):45-52.
- [9] 王庆业,陈钰祥,郭玉臣,等. 宁德海域风暴潮数值模拟研究[J]. 海洋预报,2013,30(5):31-36.
- [10] 董剑希,仇天宇,付祥,等. 于福江福建省沙埕港百年一遇台风风暴潮的计算[J]. 海洋通报,2008,27(1):9-16.
- [11] 李克先,陈新加. 沙埕港台风风暴潮特征分析[J]. 水文,2001,21(s1):60-61.
- [12] 交通部第一航务工程勘察设计院. JTJ 213-98 海港水位规范[S]. 北京:人民交通出版社. 1998.
- [13] 国家核安全局. HAD101/09 滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定[S]. 北京:中国法制出版社,1990.
- [14] 国家核安全局. HAD101/11 核电厂安全导则汇编-核电厂设计基准热带气[S]. 北京:中国法制出版社,1991.
- [15] 国家海洋局第三海洋研究所. 宁德核电项目海域使用论证报告书[R]. 厦门:国家海洋局第三海洋研究所,2000.
- [16] 张文舟,胡建宇,商少平,等. 福建沿海风暴潮特征的分析[J]. 海洋通报,2004,23(3):12-19.
- [17] 国家海洋局海洋咨询中心. 沿海大型工程海洋灾害风险排查技术规程[R]. 北京:国家海洋局海洋咨询中心,2017.

Risk characteristics of storm surge hazards on marine project in Ningde, Fujian Province

ZENG Yin-dong^{1,2,3}

(1. Marine Forecasting Center of Fujian Province, Fuzhou 350003, China; 2. College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266071, China; 3. Fujian Engineering Research Center of Satellite Ocean Remote Sensing and Communication, Fuzhou 350003, China)

Abstract: Ningde is one of the regions that face serious storm surge hazards, where major marine projects including the Ningde nuclear power plant (NNPP) are located. Considering the specific geographical location and serious marine hazards, this study aims to provide a comprehensively quantitative assessment on the risk characteristics of storm surge centered on the site of NNPP, including tides, Mean Sea Level (MSL) change, fundamental characteristics of typhoons and storm surges, and particularly the Probable Maximum Storm Surge (PMSS). The results show that the highest and lowest astronomical tidal level exceeding 10% of tidal sea levels are over 355 cm and -341 cm below the MSL in this region, respectively. The variability of MSL, based on the tide gauge observations for last 60 years is about 0.162 cm/a . The air pressure at the typhoon center with return period of 1 000 years is 895 hPa , and the corresponding radius of the maximum weed speed is 40 km . A large number of numerical experiments have

been carried out in this study for the impact of movement directions and typhoon speeds on the storm surges and the difference between positive and negative storm surges forced by typhoons. Model results show that positive storm surges have mainly caused by the typhoons with movement directions around 305° ($295^\circ \sim 315^\circ$) and passing through the south of the NNPP and the surge goes up with stronger typhoon wind speed. The maximum storm surge is 526.8cm, which is induced by the typhoon in direction of 295° and the speed of 28km/h as well as by the track of passing through the point 40km to the south of NNPP. For minus storm surges, the typhoons in movement directions of $355^\circ \sim 360^\circ$ and $0^\circ \sim 15^\circ$ provide the largest probability of the sea level decreasing. Among them, the minus PMSS is -301.9cm, which is induced by the typhoon in the movement direction of 5° and the movement speed of 30km/h with the track of passing through the point 30 km to the south of NNPP.

Key words: marine hydrography; Ningde nuclear power plant (NNPP); storm surge; hazard risk; probable maximum

DOI:10.3969/J. ISSN.2095-4972.2017.04.005

(责任编辑:杜俊民)