

# 珠江河网1822号台风“山竹”期间风暴增水模拟及特性分析

刘士诚<sup>1,2</sup>, 陈永平<sup>1,2</sup>, 谭亚<sup>1,2</sup>, 于茜倩<sup>1,2</sup>, 马经广<sup>3</sup>

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098; 3. 广东省水文局, 广东 广州 510150)

**摘要:** 基于ADCIRC模式和Holland台风模型, 建立精细化珠江口风暴潮数学模型。针对2018年台风“山竹”在该区域的灾难性影响, 模拟其在珠江河网引起的风暴增水过程, 并着重分析了八大口门水道增水的时空分布特征和成因。结果表明: 珠江口外海最大增水和2 m以上增水整体由外海向口门、东南向西北增大, 最大增水范围为0.5~3.0 m; 八大口门水道均出现超2.3 m的风暴增水, 且在虎门、蕉门、洪奇门、横门、磨刀门等口门及水道出现超百年一遇增水; 2 m以上增水历时0~5 h以上, 由口门向西北干流递增; 最大增水出现时间由口门向西北干流为台风登陆前2 h至登陆后10 h不等; 河道口门走势和台风期径流对河网增水影响显著, 在河网风暴潮预报和工程设计中应给予考虑。

**关键词:** 珠江河网; 台风; 风暴潮; 风暴增水; 台风期径流; 口门走势

**中图分类号:** P731.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2021)02-0012-09

## 1 引言

台风风暴潮来势猛、强度大且破坏力强<sup>[1]</sup>。珠江口为我国超警戒风暴潮发生最频繁的区域之一<sup>[2]</sup>。据中国海洋灾害公报数据<sup>[3]</sup>, 2015—2018年间, 珠江三角洲地区风暴潮造成的直接经济损失占全国的28%, 因此研究珠江口河网风暴增水过程对该区域的发展和防灾减灾具有重要意义。

针对珠江口风暴潮和风暴增水, 国内外诸多学者通过数值模拟和实测资料做过研究和探讨。甘雨鸣等<sup>[4]</sup>、于斌等<sup>[5]</sup>和王燕妮等<sup>[6]</sup>建立了覆盖伶仃洋和狮子洋的珠江口风暴潮模型, 发现伶仃洋最大增水整体为沿外海向口门依次递增。谢洋<sup>[7]</sup>和Yin等<sup>[8]</sup>建立了覆盖伶仃洋和磨刀门口门的风暴潮模型, 研究认为海平面上升对近岸浅水区域的增水影响较大。张露等<sup>[9]</sup>基于分辨率300 m的珠江口风暴潮耦合模型, 对热带气旋“Nida”(妮姐)进行模拟预报。徐婉明等<sup>[10]</sup>基于MIKE21建立了覆盖深圳沿海区域

的风暴潮模型, 对台风“黑格比”期间深圳沿岸最高潮位进行了研究。基于广州浮标厂实测潮位资料, 冯伟忠等<sup>[11]</sup>认为珠江口风暴潮位大小与台风要素和天文潮时段等密切相关。王永信等<sup>[12]</sup>和史键辉等<sup>[13]</sup>选取1957—1996年虎门水道站点实测潮位资料, 研究发现半数台风增水在虎门水道沿程递增。陈文想<sup>[14]</sup>基于横门水道2008—2018年实测站点资料, 发现横门增水整体沿河道上溯递减。

上述学者针对广东沿海、伶仃洋和黄茅海等较大尺度地区风暴过程的模拟以及横门水道、浮标厂等单河道和单站点的历史实测风暴潮资料分析成果丰硕, 而对于在超强台风作用下洪奇门水道、磨刀门水道和崖门水道等珠江河网地区的风暴增水缺乏精细化模拟与时空分布特征研究。

实测资料显示, 台风“山竹”引起珠江口多个站点超百年一遇风暴潮位, 在中大和黄埔等站点为历史最高潮位(见表1)。针对台风“山竹”在河网地区产生的显著影响, 本文利用成熟的ADCIRC

收稿日期: 2020-07-21; 修回日期: 2020-09-26。

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC0405400); 国家自然科学基金面上项目(52071129)。

作者简介: 刘士诚(1996-), 男, 硕士在读, 主要从事海岸防灾减灾研究。E-mail: sc-liu@hhu.edu.cn

通讯作者: 谭亚(1970-), 女, 副教授, 硕士, 主要从事海岸防灾减灾研究。E-mail: tanyachina@yeah.net

表1 山竹台风期间珠江口部分站点增水及潮位资料

站名	时间(北京时, 下同)	最高潮位/m	最大过程增水/m	警戒潮位/m	最高潮位重现期	历史实测最高潮位/m
泗盛围	16日18:10	3.23	2.86	1.80	超百年一遇	3.08
大盛	16日17:50	2.98	2.11	/	超百年一遇	2.88
黄埔	16日19:00	3.07	2.67	1.90	超百年一遇	2.86
中大	16日19:35	3.28	2.79	1.50	超百年一遇	2.81
南沙	16日17:50	3.19	2.84	1.90	超百年一遇	3.13
横门	16日17:55	3.29	2.96	2.00	超百年一遇	3.02
竹银	16日18:50	2.70	2.46	1.90	超百年一遇	2.63
灯笼山	16日16:40	2.77	2.50	2.00	超百年一遇	2.94
三灶	16日16:05	3.37	3.23	1.80	超百年一遇	3.23
黄金	16日16:25	2.86	2.62	1.80	超百年一遇	2.71
石咀	16日21:35	2.70	2.70	1.60	超百年一遇	2.53

注:引自广东省水文局2018年第425期水情简报

(The ADvanced CIRCulation model) 风暴潮模型对台风“山竹”进行模拟,对珠江口河网的风暴增水分布特征和引起河网强增水的成因进行分析,以期为珠江口主要河网防御风暴潮灾害提供参考依据。

## 2 台风“山竹”概况

1822号台风“山竹”于2018年9月7日20点在西太平洋生成,随后逐渐增强为超强台风,16日17时以强台风形式登陆广东台山海宴镇。登陆时中心最大风力14级,中心最低气压955 hPa<sup>[15]</sup>(见表2)。

根据前人对珠江口台风的研究和实测资料发现<sup>[15-16]</sup>,在风场强度方面,台风“山竹”明显强于台风

“天兔”、“黑格比”和“天鸽”,表现为强度大、移速快和历时长等特点(见表3)。该台风在赤湾站引起的最大风暴增水明显高于另外3场台风<sup>[17-18]</sup>,登陆前超强台风级别持续96 h,气压最低值达910 hPa,最大移动风速超过35 km/h。珠江口位于台风路径右侧,且在喇叭口地形的汇聚作用下,在实测站点引起的最大增水达3.37 m,为超百年一遇增水<sup>[6]</sup>。

## 3 数值模拟

### 3.1 模型介绍及建立

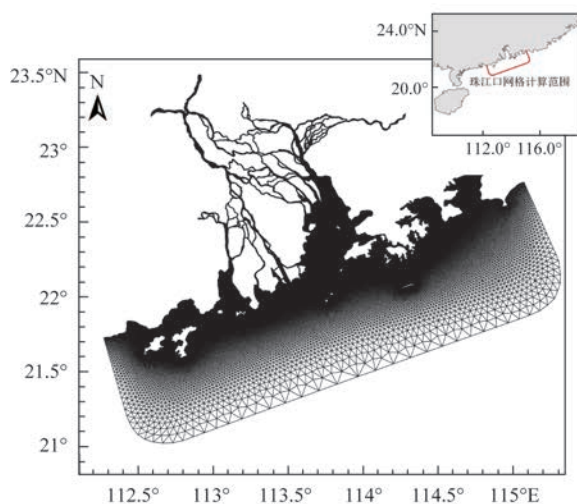
本文基于ADCIRC模式,结合Holland台风模

表2 台风“山竹”简况

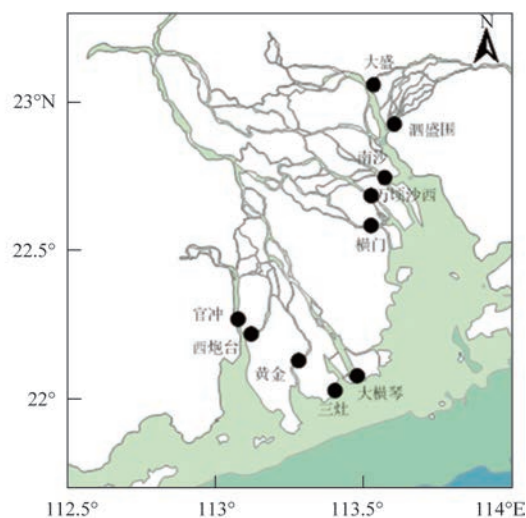
时间	中心位置		中心气压 /hPa	移动风速 /(km/h)	最大风速 /(m/s)	台风类型
	经度/°E	纬度/°N				
9月7日20时	165.3	12.9	1 000	20	18	热带风暴
9月9日02时	157.1	14.8	982	38	28	强热带风暴
9月9日08时	155.2	14.9	975	30	33	台风
9月10日20时	144.3	14.1	950	24	45	强台风
9月11日08时	141.2	14.0	935	25	52	超强台风
9月15日09时	120.5	18.1	940	25	50	强台风
9月16日20时	111.6	22.0	965	30	38	台风
9月17日04时	109.4	22.6	980	27	30	强热带风暴
9月17日07时	108.8	22.8	990	20	23	热带风暴
9月17日14时	107.3	23.7	998	20	16	热带低压

表3 21世纪珠江口主要台风对比分析

台风(编号)	时间	中心最低气压 /hPa	中心最大风速 /(m/s)	最大移动风速 /(km/h)	12级大风持续 时间/h	最大7级风圈 半径/km	赤湾站最大 增水/m
“黑格比”(200814)	2008年9月	935	50	30	71	500	1.52
“天兔”(201319)	2013年9月	915	60	25	80	—	0.65
“天鸽”(201713)	2017年8月	940	48	30	26	280	1.86
“山竹”(201822)	2018年9月	910	65	38	187	600	2.38



a. 模型网格划分



b. 验证站点分布

图1 模型网格划分和验证站点分布

型,在珠江口区域建立精细化珠江口风暴潮数学模型。模型计算范围为 $112.2^{\circ}\sim 115.4^{\circ}\text{E}$ , $21^{\circ}\sim 23.5^{\circ}\text{N}$ ,模型采用非结构三角网格,并对河网区域进行局部加密,网格空间尺寸最大为12 000 m,最小尺寸为20 m,整个计算域网格数345 664个,节点数190 973个。

珠江口风暴潮数学模型采用ETOPO1水深数据,风场和气压场由Holland台风模型计算得到,外海开边界由南中国海天文潮-风暴潮耦合模型提供<sup>[19]</sup>,上游径流边界为高要和石角等水文站点台风期间实测流量。模型计算时间段为2018年9月15日00时至17日22时,计算步长为3 s。

### 3.2 模型验证

本模型利用1822号台风“山竹”引起的风暴增水进行风暴潮模型验证。验证数据主要包括南沙、大横琴、大盛和西炮台等站点的逐时增水数据。从

表4可以看出,增水模拟效果较好,最大增水相对误差低于15%,模拟的相位误差在2 h以内。

## 4 风暴增水特征及影响分析

考虑到台风“山竹”引起风暴增水的特殊性,利用精细化珠江口风暴潮模型对台风“山竹”引起的风暴增水过程进行模拟,对区域内增水最大值和特征增水量级历时等进行统计,同时选取珠江河网特征水道和站点,着重研究珠江河网风暴增水的时空分布特征,此外对台风期径流和水道口门走势等因素对风暴增水的影响进行初步研究。

### 4.1 珠江口风暴增水分布特征分析

根据1822号台风期间风暴增水的模拟结果,统计珠江口区域风暴增水的最大值和最大值出现时间等,得到珠江河网的最大增水时空分布(见图2)。

表4 风暴增水情况验证表

站点	实际最大增水/m	模拟最大增水/m	相对误差/%	实际最大增水时刻	模拟最大增水时刻	绝对误差/h
泗盛围	2.83	3.11	10	16日19时	16日19时	0
大盛	2.74	3.12	14	16日20时	16日19时	1
万顷沙西	3.03	2.74	10	16日18时	16日18时	0
南沙	2.97	3.19	8	16日18时	16日18时	0
横门	3.01	2.81	6	16日18时	16日18时	0
大横琴	2.45	2.68	9	16日16时	16日16时	0
三灶	3.22	2.96	8	16日17时	16日15时	2
黄金	2.68	2.62	2	16日17时	16日16时	1
西炮台	2.41	2.71	12	16日20时	16日18时	2
官冲	2.43	2.50	3	16日21时	16日19时	2

台风“山竹”为珠江口西向登陆,珠江河网长时间处于向岸风影响,同时受珠江口喇叭地形和台风期上游径流影响,珠江河网产生较大增水。

从图2a可以看出,在台风“山竹”期间,珠江口风暴增水自口门外向口门处、东南向西北逐渐增大,与甘雨鸣等<sup>[4-6]</sup>结论一致。珠江口门外增水等级为Ⅰ—Ⅴ级(见图2c和表5),量级为0.5~3.0 m,与柳龙生等<sup>[20]</sup>分析一致,最大增水出现时间整体为登陆前后2 h以内(见图2b),外海区域Ⅱ级(增水>2 m)增水历时为0~4 h(见图2d)。

受外海风暴潮和上游径流顶托的影响,珠江河网最大增水和最大增水等级呈收缩状分布,上游干流和下游口门普遍较大,中游支流偏小,上下游整体超过2 m,最大增水等级均在Ⅱ级及以上。河网中最大增水出现时间和Ⅱ级增水历时整体自下游口门向上游干流逐渐滞后和增大,最大增水出现时间自口门至干流为台风登陆前2 h至登陆后6 h不等,Ⅱ级增水历时自口门至上游干流为2~5 h以上。

## 4.2 珠江河网风暴增水分析

为明确“山竹”台风期间珠江河网增水时空分布特征,本文选取珠江河网中下段,即八大口门及对应河网,包含:虎门水道、蕉门水道、洪奇门水道、横门水道、磨刀门水道、鸡鸣门水道、虎跳门水道和崖门水道,在不同水道选取30个特征点(见图3a)。通过对上述特征点最大增水量级和Ⅱ级增水历时等特征的分析,给出珠江河网中下段风暴增水的时空分布特征。

从图2a和表6可以看出,台风“山竹”在珠江河

网产生的风暴增水表现为明显的区域差异性。最大增水方面,虎门水道、蕉门水道和磨刀门水道为沿程增长再衰减的趋势,与王永信等<sup>[12-13]</sup>结论基本一致,其余水道整体为沿程衰减;最大增水出现时间方面,除磨刀门水道和鸡鸣门水道,其余水道内部最大增水出现时间整体滞后于登陆时间,且滞后程度与增水上溯距离呈正相关。

虎门水道处于伶仃洋湾顶,风向与河道走势基本平行(见图3b),且伶仃洋喇叭口地形对增水的汇聚作用显著,同时受东江等上游径流的顶托作用,该水道风暴增水普遍在2.8 m以上,均为Ⅰ级特大风暴增水,A3—A4站点为超百年一遇增水<sup>[6,21]</sup>,水道最大增水出现时间为登陆后1~5 h,Ⅱ级增水历时普遍超过3 h。

受龙穴岛和横门岛等岛屿的遮蔽作用,蕉门水道、洪奇门水道和横门水道3条水道的增水较虎门水道减小,整体增水超过2.0 m,增水等级不低于Ⅱ级,其中B1—B3段、C2—C4段和D1站点均出现超百年一遇增水<sup>[6,21]</sup>,除C4站点,其余河段Ⅱ级增水历时均不低于3 h,3个水道中上段受河道分叉和滩地密布等地形影响,使得B3—B4段和C3—C4段增水衰减显著,3条水道最大增水出现时间整体为台风登陆后4 h以内。

磨刀门水道作为珠江口最主要的泄洪通道,受上游径流的影响显著,且风向与水道走势接近平行(见图3b),使得该河道最大增水整体超过2.3 m,为Ⅰ—Ⅱ级风暴增水。E2站风暴增水达到超百年一遇<sup>[6,21]</sup>,除E5站点,其余河段最大增水出现时间为台风登陆前后1 h,河段Ⅱ级增水历时均不低于2 h。

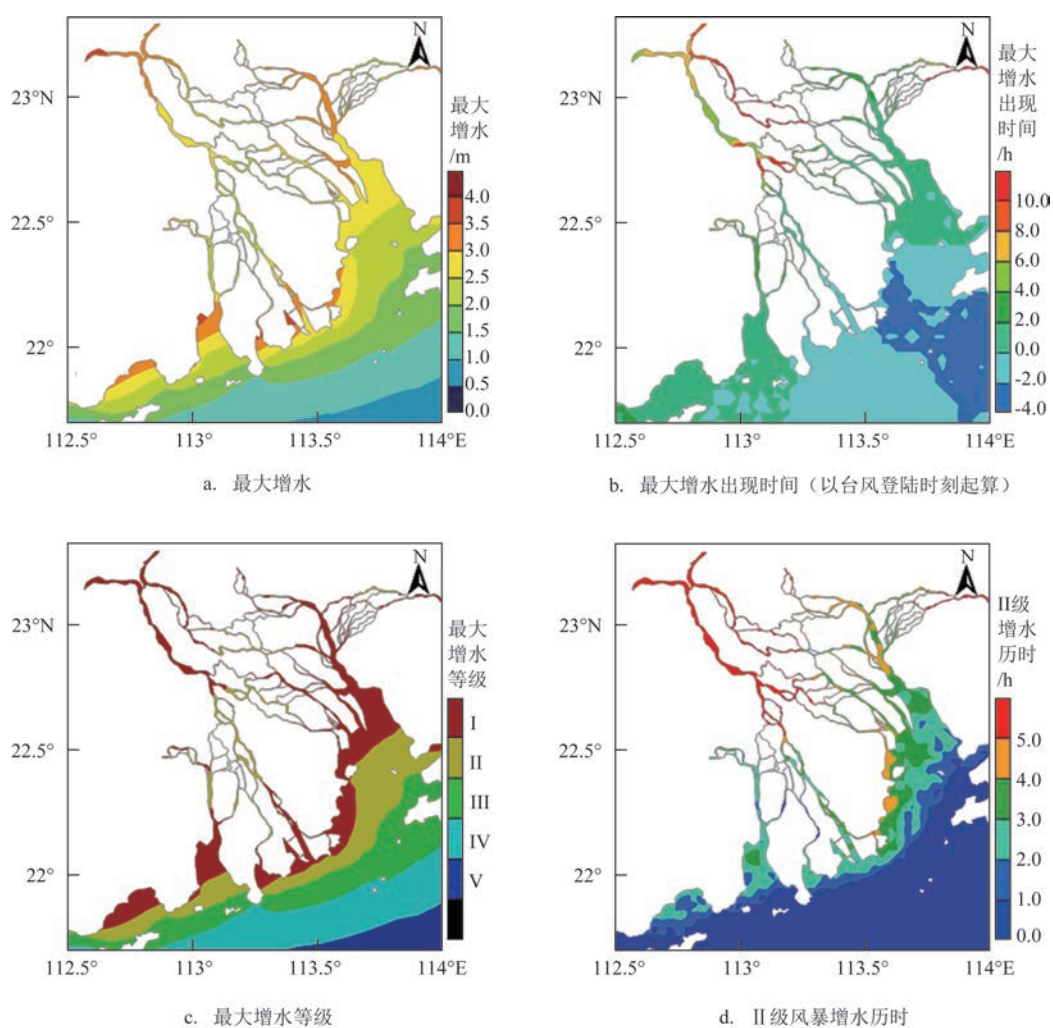


图2 珠江口风暴增水时空分布

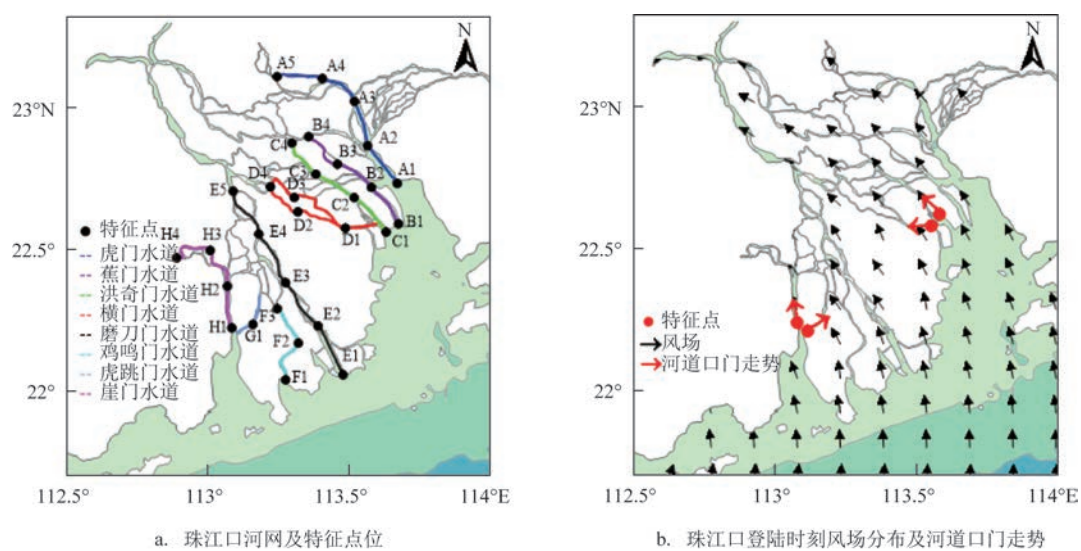


图3 珠江河网及登陆时刻风场分布(注:水道对应实际口门的主河道,非严格按照相应河道地理区间划分)

鸡鸣门水道增水受口门地形和水道弯曲走势的影响,最大增水量级变化较大,变化范围为1.89~3.48 m,风暴增水等级不低于Ⅲ级,F1站点最大增水最大,达到超百年一遇增水<sup>[6,21]</sup>,且Ⅱ级增水历时达3 h,其余站点均低于1 h,最大增水出现时间为台风登陆前后2 h以内。

受黄茅海喇叭地形对增水的汇聚作用的影响,虎跳门水道和崖门水道增水整体高于2.3 m,增水等级不低于Ⅱ级,但虎跳门口门宽度较小,且风向与

河道走势接近垂直(见图3b),增水上溯能力较弱,G1站点Ⅱ级增水历时仅为1 h。崖门水道水深较大,风向与河道走势接近平行(图3b),增水沿程衰减较小,同时受上游径流顶冲作用,增水上溯能力减弱,最大增水出现时间为台风登陆后4 h以内。

#### 4.3 水道口门走势对河网风暴增水影响分析

台风“山竹”期间较强降雨引起上游较大径流,对水位顶托作用明显,迫使河道水位处于汛期高水

表5 风暴增水等级划分标准<sup>[2]</sup>

等级	I (特大)	II (大)	III (较大)	IV (中等)	V (一般)
增水值/m	≥2.51	2.01~2.51	1.51~2.00	1.01~1.50	0.50~1.00

表6 珠江河网特征站点增水分布特征

水道	特征站点	最大增水/m	最大增水等级	最大增水出现时间/h (以台风登陆时刻起算)	Ⅱ级增水历时/h
虎门水道	A1	2.94	I	1	3
	A2	3.02	I	2	4
	A3	3.24	I	2	4
	A4	3.41	I	3	4
	A5	2.83	I	4	5
蕉门水道	B1	2.78	I	1	4
	B2	3.13	I	1	3
	B3	3.43	I	1	4
	B4	2.44	II	3	3
洪奇门水道	C1	2.83	I	0	4
	C2	2.71	I	1	4
	C3	2.80	I	2	4
	C4	2.03	II	3	1
横门水道	D1	2.70	I	1	4
	D2	2.36	II	2	4
	D3	2.25	II	3	5
	D4	2.35	II	4	27
磨刀门水道	E1	2.59	I	-1	2
	E2	3.03	I	-1	3
	E3	2.51	I	0	3
	E4	2.38	II	1	5
	E5	2.48	II	12	27
鸡鸣门水道	F1	3.48	I	-1	3
	F2	1.89	III	1	0
	F3	1.99	III	2	0
虎跳门水道	G1	2.31	II	2	1
崖门水道	H1	2.63	I	1	2
	H2	2.39	II	3	2
	H3	2.46	II	4	2
	H4	2.71	I	4	2

位。考虑到西江和北江为珠江口主要径流入口,且磨刀门水道、蕉门水道和横门水道为珠江河网3个主要泄洪通道,因此选取上述水道研究上游径流对风暴增水的影响。通过对比有无径流的增水特征发现(见表7),上游径流对增水影响显著,表现为明显的区域差异性。站点越靠近上游,径流对水位顶托作用越显著,Ⅱ级增水历时越长:D4和E5站点上游径流对增水影响分别达到1.42 m和1.58 m,两点Ⅱ级增水历时增加超过20 h;上游径流与河道上溯增水的顶冲作用,使D3—D4段最大风暴增水出现时间较无径流工况提前1~2 h;E5站点最大增水出现时间滞后可能与台风期降雨产汇流引起洪峰的滞后效应有关。

针对水道口门走势与风向的相对夹角对风暴

增水的影响,选取相邻且风速差异较小的水道口门进行对比,如洪奇门水道与横门水道对比,虎跳门水道与崖门水道对比。统计4个口门走势、口门特征点风速、风向和增水等结果(见表8和图3b),发现风向和河道走势对河道增水存在影响。对比洪奇门水道与横门水道发现,横门水道口门站点风速大于洪奇门水道,但横门水道口门走势与风向夹角差值较大,使得横门水道站点增水较洪奇门水道口门站点低0.05 m。对比虎跳门水道与崖门水道发现,崖门水道口门站点风速大于虎跳门水道口门站点,且崖门水道口门走势与风向夹角较小,使得口门走势方向风应力分量较大,引起增水量级较大,相应上溯能力较强,崖门水道口门特征站点增水明显大于虎跳门水道口门特征站点,增水量级相差0.32 m。

表7 径流影响下部分河网特征站点增水分布

水道	特征站点	最大增水/m		最大增水出现时间/h (以台风登陆时刻起算)		Ⅱ级增水历时/h	
		考虑径流	无径流	考虑径流	无径流	考虑径流	无径流
蕉门水道	B1	2.78	2.60	1	0	4	4
	B2	3.13	2.92	1	1	3	3
	B3	3.43	3.22	1	1	4	4
	B4	2.44	1.85	3	3	3	0
横门水道	D1	2.70	2.33	1	1.0	4	3
	D2	2.36	1.54	2	2.0	4	0
	D3	2.25	1.12	3	4.0	5	0
	D4	2.35	0.93	4	6.0	27	0
磨刀门水道	E1	2.59	2.40	-1	-1.0	2	2
	E2	3.03	2.78	-1	-1.0	3	3
	E3	2.51	1.86	0	0.0	3	0
	E4	2.38	1.27	1	1.0	5	0
	E5	2.48	0.90	12	6.0	27	0

表8 部分口门走势特征与增水关系

站点区域	口门走势/°	口门风向/°	绝对方向差值/°	口门风速/(m/s)	口门增水/m
洪奇门水道	312.30	298.87	13.43	26.23	2.76
横门水道	265.38	301.64	36.26	27.02	2.71
虎跳门水道	65.53	307.49	118.04	32.55	2.31
崖门水道	342.59	305.93	36.66	33.71	2.63

注:正北方向为0°或360°,正东方向为90°

## 5 结论

本文利用珠江口精细化风暴潮模型,模拟了1822号台风“山竹”在珠江河口引起的增水过程,模拟最大增水相对误差小于15%,时间误差小于2 h。根据模拟结果,分析了珠江河口本次台风过程的最高风暴增水时空分布,初步探究了台风期径流和口门走势对风暴增水的影响。结果表明:

(1)台风“山竹”期间,增水整体呈现由口外向口门、东南向西北沿程增大的趋势,最大增水出现在台风登陆前后2 h以内,增水范围0.5~3.0 m,增水等级为I—V级,且II级增水历时在0~4 h。

(2)在大范围风场、喇叭口地形和上游径流的影响下,最大增水在珠江河口整体呈收缩状分布。八大口门水道均出现2.3 m以上增水,除虎跳门水道和崖门水道外,其余口门水道均出现超百年一遇增水。

(3)河口II级增水(增水>2 m)历时与最大增水出现时间变化趋势基本一致,分别为由口门向西北干流逐渐增加和滞后。虎门水道、蕉门水道和横门水道全河道II级增水历时不低于3 h,除磨刀门水道和鸡鸣门水道外,其余6大口门水道最大增水出现时间均不早于台风登陆时刻。

(4)水道口门走势和风向的相对夹角对珠江河口风暴增水量级存在影响,台风期上游径流对珠江河口风暴增水量级、增水历时和最大增水出现时间均影响显著,上述因素在河道风暴潮研究中应给予考虑。

### 参考文献:

- [1] 牛海燕. 中国沿海台风灾害风险评估研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2012.
- [2] 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.
- [3] 自然资源部. 中国海洋灾害公报[R/OL]. (2021-03-04). <http://www.mnr.gov.cn/sj/sjfw/hy/gbagg/zghyzhgb/>.
- [4] 甘雨鸣, 闫英, 冯伟忠. 珠江口台风增水对热带气旋参数改变的反响[J]. 热带海洋, 1994, 13(1): 9-16.
- [5] 于斌, 林少奕, 王永信, 等. 风暴潮沿珠江河道上溯运动的数值模拟[J]. 海洋学报, 2001, 23(4): 17-24.
- [6] 王燕妮, 吕晓凤, 郝嘉凌, 等. 珠江口沿岸极值增水的空间分布[J]. 海洋预报, 2017, 34(5): 74-82.
- [7] 谢洋. 海平面上升对珠江口风暴潮增水和波浪的影响研究[D]. 南京: 东南大学, 2015.
- [8] Yin K, Xu S D, Huang W R, et al. Effects of sea level rise and typhoon intensity on storm surge and waves in Pearl River Estuary[J]. Ocean Engineering, 2017, 136: 80-93.
- [9] 张露, 傅赐福, 董剑希, 等. 台风“妮姐”风暴潮与近岸浪的数值模拟与预报[J]. 海洋预报, 2018, 35(2): 27-35.
- [10] 徐婉明, 邓伟铸, 赵明利, 等. 深圳0814号台风风暴潮数值模拟及最高潮位特征分析[J]. 海洋预报, 2020, 37(1): 11-17.
- [11] 冯伟忠, 张娟, 游大伟, 等. 被高估的“海平面上升对珠江口风暴潮灾害评估影响”的原因探析[J]. 热带地理, 2013, 33(5): 640-645.
- [12] 王永信, 史键辉, 于斌, 等. 台风风暴潮沿珠江河道上溯分析[J]. 海洋通报, 1998, 17(5): 10-16.
- [13] 史键辉, 王永信, 于斌, 等. 珠江口纵深的风暴潮和增水特征[J]. 海洋预报, 2000, 17(4): 47-51.
- [14] 陈文想. 2008—2018年强台风对珠江口—横门及其上游的增水影响分析[J]. 广东水利水电, 2019(5): 28-31.
- [15] 中国气象局上海台风研究所. CMA最佳路径数据集[EB/OL]. (2021-02-23). [http://tcdata.typhoon.org.cn/zjljsjj\\_zlhq.html](http://tcdata.typhoon.org.cn/zjljsjj_zlhq.html).
- [16] 李杰, 于福江, 李洋, 等. 珠江口地区台风风暴潮的数值模拟试验[J]. 海洋预报, 2009, 26(2): 1-6.
- [17] 刘秋兴, 傅赐福, 李明杰, 等. “天鸽”台风风暴潮预报及数值研究[J]. 海洋预报, 2018, 35(1): 29-36.
- [18] 聂宇华, 汤超莲, 程泽梅. 21世纪末珠江口深圳最高潮位重现期值预估[J]. 热带地理, 2016, 36(6): 901-905.
- [19] 邵佳爱, 张长宽, 张君伦. 广东省台风风暴潮数值预报模式研究[C]//第十四届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集. 呼和浩特: 中国海洋学会, 2009.
- [20] 柳龙生, 吕心艳, 高栓柱. 2018年西北太平洋和南海台风活动概述[J]. 海洋气象学报, 2019, 39(2): 1-12.
- [21] 李阔, 李国胜. 珠江三角洲地区风暴潮重现期及增水与环境要素的关系[J]. 地理科学进展, 2010, 29(4): 433-438.

## Storm surge simulation and characteristic analysis during typhoon “Mangkhut” 2018 in the Pearl River Estuary

LIU Shi-cheng<sup>1,2</sup>, CHEN Yong-ping<sup>1,2</sup>, TAN Ya<sup>1,2</sup>, YU Qian-qian<sup>1,2</sup>, MA Jing-guang<sup>3</sup>

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098 China; 2. College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098 China; 3. Hydrological Bureau of Guangdong Province, Guangzhou 510150 China)

**Abstract:** A high-resolution numerical model of storm surge for the Pearl River Estuary (PRE) is established based on the ADCIRC model and the Holland typhoon model. The process of storm surge, in the PRE caused by the typhoon “Mangkhut” (No.1822) is simulated in this study, and the temporal and spatial distribution characteristics of the water level set-up in the eight gates and channels of the estuary and corresponding causes are analyzed. The results show that largest water level set-up increases in the landward direction with the range of 0.50~3.0 m in the estuary during this typhoon period. The duration of water level set-up above 2 m also increases from the open sea to the estuary, i.e. from southeast to northwest in the PRE. The water level set-up exceeding 2.3 m occurs in all the eight gates and channels, which results in the extreme high water level with return period large than 100 years in the Humen Channel, the Jiaomen Channel and the Hongqi Channel, the Hengmen Channel, the Modao Channel and the Jimingmen Channel. The duration of water level set-up above 2 m is between 0 and 5 hours increasing from southeast to northwest in the PRE. The maximum water level set-up occurs from 2 hours before the typhoon landing to 10 hours after the typhoon landing from southeast to northwest in the PRE. The influence of channel trend and runoff during typhoon period on water level set-up in the PRE is significant, which should be considered in the storm surge forecast and engineering design of the PRE.

**Key words:** Pearl River Estuary; typhoon; storm surge; water level set-up; runoff; channel trend