

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20222553

# 强潮作用下深圳河口水动力特性及治理对策

刘国珍<sup>1,2</sup>, 刘佳琪<sup>3</sup>, 吴 尧<sup>1,2,3</sup>, 袁 菲<sup>1,2</sup>

(1. 珠江水利委员会珠江水利科学研究院, 广东 广州 510610; 2. 水利部珠江河口治理与保护重点实验室, 广东 广州 510610; 3. 河海大学港口海岸与近岸工程学院, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 研究深圳河口在强潮作用下的水动力特性对深圳河口治理具有重要的指导意义, 为此, 采用物理模型模拟的方式, 选取枯季大小潮和台风“天鸽”作为边界条件, 分析了强潮作用下深圳河口的水动力特性。结果表明, 深圳河口主槽涨落潮动力明显优于中滩, 涨潮期间, 从下游至南北槽分叉口过流断面束窄, 流速呈增大趋势; 枯水大、小潮涨潮动力基本相当, 枯季大潮落潮动力强于枯季小潮; 低水位期间, 河口大面积露滩, 几乎只有南槽过流, 河床形态是影响河口流态的主导因素; 风暴潮期间, 河口整体水动力强, 中滩流速明显大于枯季; 由于风暴潮增水效应, 河口水位高, 滩面归槽流态不明显, 中滩红树林对涨落潮流态影响大。根据水动力特性和行洪需求, 提出了深圳河口生态固滩和主槽扩宽的治理对策。

**关键词:** 深圳河口; 强潮; 主槽; 中滩; 水动力特性

**中图分类号:** TV83

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-7709(2023)07-0032-04

## 1 概况

深圳湾为半封闭海湾, 位于伶仃水域, 潮汐动力强, 属于潮控区, 上游承接深圳河来流, 下游与珠江口伶仃洋相通, 吞吐伶仃洋潮水。以东角头至对岸白泥为界将深圳湾分为外湾和内湾, 外湾潮强水深, 内湾地形宽浅, 其中深圳河出口至尖鼻咀段为河口冲积区, 拦门沙发育为中滩, 将河口主槽分为南槽和北槽。北槽地势高, 0 m 等高线不贯通, 南槽-2 m 等高线从深圳河延伸至深圳湾外。过去, 深圳河最大的问题是行洪安全和环境<sup>[1]</sup>, 深港双方成立联合治理深圳河工作小组<sup>[2]</sup>开展整治工作, 在深圳河干流共开展了四期治理<sup>[3]</sup>, 初步探讨深圳河口<sup>[4]</sup>情况, 提出清淤策略、红树林整治等河口综合整治建议<sup>[5]</sup>, 鉴于深圳与香港两地管控策略不同, 深圳河口还涉及到海域管理、红树林保护、环境生态等部门, 一直未有工程落地, 致使在该方面的研究投入不足<sup>[5]</sup>。现有研究成果主要是服务于城市泄洪安全<sup>[6]</sup>、河道清淤<sup>[7]</sup>和生态保护<sup>[8]</sup>, 而关于深圳河口水域的水动

力研究相对较少, 深度不够, 缺乏针对性。为此, 本文采用物理模型模拟的方式分析了枯季天文大小潮、台风风暴作用下深圳河口的水动力特性, 以期为下阶段深圳河口治理、红树林保护提供参考。

## 2 试验模型

### 2.1 模型范围及比尺

深圳河湾整体物理模型包含深圳河干流和内湾水域, 上边界为莲塘河与平原河交汇处, 下边界至深圳湾大桥附近, 包含 8 条支流流量汇入口, 模拟原型长 20.2 km、宽 9.8 km, 模型平面比尺为 1:300, 垂直比尺为 1:50, 变率为 6, 保证了模型水流处于阻力平方区。其他比尺见表 1, 模型范围及布置见图 1。

表 1 物理模型比尺

Tab. 1 Physical model scale

项目	比尺名称	取值	项目	比尺名称	取值
水流	流速比尺	7.07	流量比尺		106 066
比尺	时间比尺	42.43	潮量比尺		4 500 000

模型上游通过变频器频率变化调节水泵功率, 实现流量连续变化, 控制径流过程; 下游采用

**收稿日期:** 2022-12-07, **修回日期:** 2023-01-24

**基金项目:** 国家自然科学基金青年基金项目(42006157); 广州市科技计划项目(202002030468); 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室“一带一路”水与可持续发展科技基金(2020492111); 中国水利水电科学研究院水利部泥沙科学与北方河流治理重点实验室开放研究基金(IWHR-SEDI-202105)

**作者简介:** 刘国珍(1983-), 男, 高级工程师, 研究方向为河口规划、水力学与河流动力学, E-mail: 153341027@qq.com

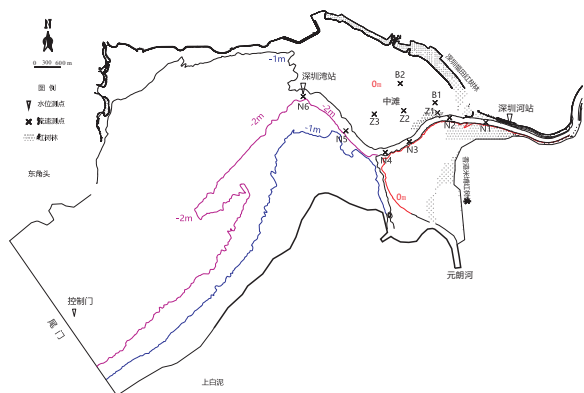


图 1 研究水域水系及物理模型平面布置图

Fig. 1 Water system of study area and physical model layout plan

双向水泵抽、排水流进出模型调控水位变化,实现外海潮位过程模拟。

## 2.2 水文分析及试验设计

2017 年 1 月 6 日为枯水小潮,潮位过程见图 2(a),深圳河站最高潮位 0.83 m,最低潮位 -0.90 m,最大潮差 1.73 m;深圳湾站潮差 1.75 m,潮差略大于深圳河站。2017 年 1 月 13 日为枯水大潮,深圳河站最高潮位 1.80 m,最低潮位 -1.00 m,最大潮差 2.80 m;深圳湾站潮差 2.93 m,潮差大于深圳河站。

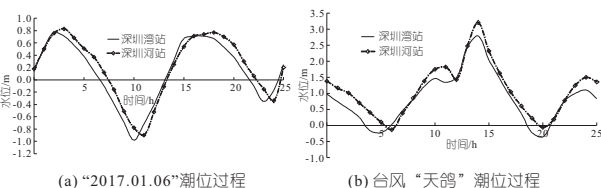


图 2 “2017.01.06”潮位过程和台风“天鸽”潮位过程

Fig. 2 “2017.1.06” tidal level process and typhoon “Hato” tidal level process

2017 年 8 月 23 日为洪季大潮,发生超强台风“天鸽”,潮位过程见图 2(b)。深圳河站最高潮位达到 3.21 m,最低潮位 -0.13 m,最大潮差 3.34 m,实测数据显示只有 6:00(潮位 -0.13 m)、20:00(潮位 -0.06 m)两个时刻潮位低于 0 m。“天鸽”发生当天,珠江口多个潮位站创历史极值,深圳湾站大涨时间段为 5:00~14:00,涨潮持续 9 h 之久,最大潮差达到 3.15 m;其中,在 10:00 点达到涨潮的第一个极值 1.46 m,短暂转为落潮,其后在下游风暴潮动力作用下开始由落转涨,直至达到本次涨潮的最大值 2.79 m。深圳湾站潮差较深圳河站小 0.19 m,与枯季天文大、小潮潮差规律相反。

为研究深圳河口在枯水小潮、枯水大潮和台风风暴潮期间的水动力特性,枯水小潮选取 2017 年 1 月 6 日 0:00~7 日 0:00 作为边界条件,枯水大

潮选取 2017 年 1 月 13 日 0:00~14 日 0:00 作为边界条件,台风风暴潮选取 2017 年 8 月 23 日 0:00~24 日 0:00“天鸽”台风为代表。

在深圳河口共布置 11 个流速测点,其中南槽从深圳河口向下游布置 6 个测点,中滩布置 3 个,北槽布置 2 个,见图 1。

## 2.3 水动力验证

采用 2017 年 1 月 13 日 0:00~14 日 0:00 枯期大潮实测水位和流速资料进行模型验证,水位验证结果见图 3,流速验证结果见图 4。由图 3、4 可知,水位、流速过程均较好地模拟了实测水动力过程,符合《水运工程模拟试验技术规范》<sup>[9]</sup>,满足模型精度要求。

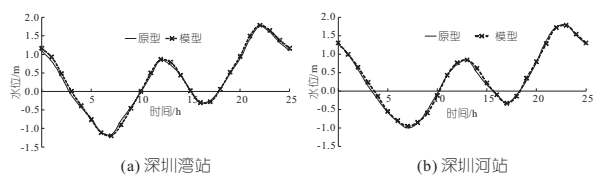


图 3 “2017.01.13”深圳湾站、深圳河站潮位过程验证成果

Fig. 3 Validation of “2017.01.13” Shenzhenwan and Shenzhenhe tidal level process

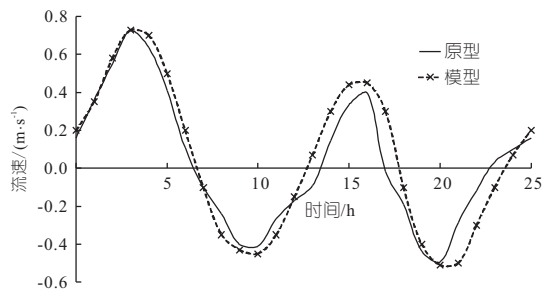


图 4 “2017.01.13” N1 流速过程验证成果

Fig. 4 Validation of “2017.01.13” N1 flow direction

## 3 试验结果分析

### 3.1 流态

(1)深圳河口枯水小潮流态。主流基本集中在主槽,水流顺南北槽偏转,南槽流态较为平顺。涨急时刻深圳湾中滩涨潮流势明显小于主槽,动力较弱且流态较为散乱;落急时刻,河口水位低,落潮流主要集中在南槽下泄,落潮中后期,中滩、北槽大面积露滩。

(2)深圳河口枯水大潮流态。涨急时刻中滩水深较浅,滩槽动力分布差异较大,中滩涨潮流在上溯过程中向两侧偏转,汇入南北槽。落急时刻,红树林对落潮流有分流、导流作用,左侧落潮主流进入南槽,流势较强且流态平顺,右侧落潮流通过北槽和中滩下泄,由于受到中滩红树林的遮蔽影响,遮蔽水域下游落潮流势较弱,同时,落潮后期,浅滩两侧落潮流向主槽偏转,随着水位的降低逐

渐露滩。

(3)“天鸽”台风流态。天鸽台风期间,深圳湾外侧的伶仃洋潮动力强,涨潮流从外向内灌水,推高深圳河口水位,深圳河口涨落潮流动力强,除6:00、20:00两个低潮位外,深圳河口水位持续高于0 m,涨落急期间,中滩和南北槽河床形态对表层流态的影响不明显,中滩红树林对河口流态影响大。涨潮时,中滩偏北侧水流绕过红树林与北槽涨潮流汇合;中滩偏南侧涨潮流经红树林南端挑流后汇入南槽水域,该水域南槽涨潮流向与主槽交角大,外海涨潮流直冲香港侧米埔红树林保护区,转向后通过米埔红树林与中滩红树林之间的南槽上溯。落潮时,在中滩红树林导流作用下,深圳河落潮流通过红树林两侧下泄,落急时段,中滩落潮流没有明显向主槽偏转,在红树林下游呈扇面扩散,落潮整体流势强。

综上可知,枯季大小潮水流条件下,涨潮初期,落潮后期,深圳河口水位较低,涨潮流有明显的归槽现象,风暴潮期间整体流态均匀。

### 3.2 流速分布

流速试验结果见表2。由表2可知,对于枯水小潮,涨落潮动力差异较小,南槽涨落急流速分布区间为0.38~0.70 m/s,浅滩流速为0.18~0.36 m/s,北槽流速为0.35~0.43 m/s。枯水大潮,主槽落急流速普遍大于涨急流速,南槽涨急流速为0.34~0.69 m/s,落急流速为0.66~0.98 m/s;中滩涨急流速为0.18~0.26 m/s,落急流速为0.29~0.49 m/s;北槽涨急流速为0.38~0.39 m/s,落急流速为0.47~0.56 m/s。“天鸽”台风暴潮期间,主槽落潮动力明显强于涨潮动力,除N3、N5流速较小外,南槽其他水域落急流速不小于0.90 m/s,深圳河出海口附近深槽落急流速达到1.32 m/s,涨急流速为0.51~0.74 m/s;中滩

表2 河口滩槽最大流速

Tab. 2 Statistics of maximum flow velocity in falling tide  
m/s

测点	枯水小潮		枯水大潮		“天鸽”台风	
	涨潮	落潮	涨潮	落潮	涨潮	落潮
N1	0.52	0.44	0.49	0.72	0.65	1.32
N2	0.64	0.58	0.69	0.74	0.74	1.27
N3	0.54	0.58	0.58	0.66	0.51	0.42
N4	0.58	0.54	0.54	0.66	0.60	0.98
N5	0.48	0.70	0.50	0.98	0.52	0.46
N6	0.38	0.54	0.34	0.74	0.57	0.90
Z1	0.22	0.36	0.26	0.49	0.48	0.90
Z2	0.18	0.26	0.18	0.31	0.42	0.43
Z3	0.24	0.24	0.26	0.29	0.46	0.50
B1	0.37	0.43	0.39	0.56	0.50	0.83
B2	0.35	0.41	0.38	0.47	0.45	0.72

涨急流速为0.42~0.48 m/s,落急流速为0.43~0.90 m/s;北槽涨急流速为0.45~0.50 m/s,落急流速为0.72~0.83 m/s。“天鸽”台风期间,赤湾最高潮位创建站以来的历史极值,深圳湾内维持在较高水位,涨落潮流在河口通过主槽和中滩全断面上溯、下泄,涨落潮流无明显的归槽现象,浅滩涨落急流速均超过0.42 m/s。由于滩面水位高,中滩水流横跨南槽直接进入香港侧南滩水域,N3、N5水流方向与主槽走向的交角达到40°~60°。流速分布表明,枯水大潮涨急流速略大于枯水小潮,但枯水大潮落急流速明显大于小潮;“天鸽”期间,涨落急流速总体上大于枯水大、小潮。

### 3.3 滩槽动力格局

深圳河口滩槽动力差异大,水动力特性与潮位、滩槽分布、植被有直接关系。南槽是涨落潮流的主通道,动力强;北槽承接部分涨落潮流,但0 m线未贯通,易露滩,动力条件比南槽弱;中滩动力条件最弱,在红树林遮蔽水域局部存在回流,滩面出露、淹没时间短,滩、槽之间有明显的水流交换,滩面泥沙随水流进行输移。

深圳河在出海口水域呈现倒坡降,北槽0 m线不贯通,低潮位期间只能通过南槽排洪,中滩南侧段,南槽0 m深槽宽度130~220 m,-1 m深槽宽85~170 m;深圳河站断面,0 m深槽宽150 m,-1 m深槽宽110 m。南槽0 m深槽宽度与深圳河站相比,波动阈值介于[-20,70],断面最宽位置0 m深槽放宽率为2.19%;南槽-1 m深槽宽度与深圳河站相比,波动阈值介于[-25,60],最宽位置放宽率1.88%。可见,在径潮动力的共同作用下,深圳出海口水域的主槽与深圳河深度联动,低潮位期间过流宽度基本在同一水平线上,放宽率小。

## 4 治理对策

### 4.1 河口动力与上游防洪的关系

鉴于防洪安全仍为深圳河的主要问题<sup>[10]</sup>,结合枯季和风暴潮期间深圳河口的水动力特性,分析有利于行洪安全的河口治理对策。深圳河一~四期治理工程均在深圳河干流,河口上游河道宽度从治理前的25~80 m扩宽为80~210 m,泄洪流量从600 m<sup>3</sup>/s提升至2 100 m<sup>3</sup>/s,过流能力得到有效提升<sup>[1]</sup>。

深圳河作为潮汐河口的入海河流,出海口水位随外海不断变化,外海低潮位期间径、潮水位差

大,为排洪的最佳时段。上述研究表明,落潮后期,河口、河道均向下游方向输水;初涨期间,涨潮动力弱,落潮动力强,海水顶托作用不明显,河口流态表现为滩涨槽落,河道净泄量为正。

中滩将深圳河口分为南北槽,像“瓶塞”堵在深圳河泄洪通道上;中滩下游水域,水深增大,0、-1 m 等高线扩宽,容积增大,河口滩槽水动力特性和过流能力直接影响到深圳河的泄洪安全,河口局部过流断面较窄,甚至成为制约深圳河泄洪的卡口,泄洪期间如遭遇外海强潮作用,南槽泄洪能力进一步受限。

#### 4.2 治理对策

根据河口水动力特性研究,落潮后期至初涨,深圳河洪水只能通过南槽下泄,建议扩宽主槽,提升低水位期间主槽过流能力,减轻上游行洪压力。

河口主槽两侧滩面较浅,滩面泥沙易随归槽水流搬运至主槽,影响主槽稳定,不利于维护。在潮汐动力作用下,高潮位期间,滩面淹没,低潮位露滩,适宜潮间带植被生长,采用植被生态固滩方式,减弱中滩动力,减少滩面泥沙的搬运,增强主槽径潮动力,通过自然动力维护主槽基本稳定,但应控制植被的生长边界,防止无序生长影响到河口的治理效果。

### 5 结论

- 主槽动力明显大于中滩;风暴潮期间涨落潮流势均很强。
- 落潮后期至初涨,仅有南槽进行涨落潮流

的吞吐,深圳河口及深圳湾内湾近乎是深圳河的延伸,深圳河口呈现出河流属性。

c. 本文研究中未系统开展强潮作用下泥沙输移研究,无法从滩槽推移质输移和交换的角度为河口治理提供量化建议,未来需进一步深入研究。

#### 参考文献:

- [1] 兰建洪,吴小明. 深圳河治理工程回顾评价及未来治理方向探讨[J]. 广东水利水电,2015(12):40-43.
- [2] 兰建洪,姚丽娟. 深港联合治理深圳河工程的合作及启示[J]. 水利水电技术,2015,46(2):64-69.
- [3] 林素彬. 深圳河治理工程规划思路及效益分析[J]. 水利水电技术,2015,46(2):74-78.
- [4] 肖潇,陈旭,徐维葳,等. 深圳河口水动力模拟研究[J]. 人民长江,2018,49(增刊2):294-295,307.
- [5] 吴小明,高时友,吴门伍. 深圳河河口历史成因分析及综合整治建议[J]. 水利水电技术,2015,46(2):87-91.
- [6] 吴尧,高时友,吴小明,等. 深圳河感潮河段洪水特性变化及成因分析[J]. 水文,2021,41(2):75-79,85.
- [7] 冯志勇,吴门伍,吴小明,等. 深圳河近期回淤特征及回淤机理研究[J]. 武汉大学学报(工学版),2020,53(11):941-949.
- [8] 段余杰,吴门伍,胡小冬,等. 深圳河湾生态环境及保护对策分析[J]. 人民珠江,2017,38(1):79-82.
- [9] 中华人民共和国交通运输部. 水运工程模拟试验技术规范:JTS/T231-2021[S]. 北京:人民交通出版社,2021.
- [10] 吴门伍,严黎,高时友,等. 深圳河“8·29”特大暴雨及高水位成因分析[J]. 人民长江,2021,52(8):92-97.

## Hydrodynamic Characteristics of Shenzhen Estuary Under Strong Tide and Its Countermeasures

LIU Guo-zhen<sup>1,2</sup>, LIU Jia-qi<sup>3</sup>, WU Yao<sup>1,2,3</sup>, YUAN Fei<sup>1,2</sup>

(1. Pearl River Resource Researchs Institute, Guangzhou 510610, China; 2. Key Laboratory of the Pearl River Estuary Regulation and Protection of Ministry of Water Resources, Guangzhou 510610, China; 3. Collge of Harbour, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** It has great guiding significance of studying the hydrodynamic distribution strong tide for Shenzhen River estuary management. The physical model of Shenzhen River was established to analyze the hydrodynamic distribution characteristics of beach and trough and the neap tide. The spring tide in dry season and typhoon "Hato" were selected as the boundary conditions in tidal optimal estuary. The results show that the tidal power of the main trough of the Shenzhen Estuary is obviously better than that of the middle beach, the flow velocity tends to increase from the downstream to Shenzhen River for the discharge section is narrower in upstream during rising tidal, the power of spring tide and ebb tide in dry season is basically the same, the power of spring tide in dry season is stronger than that of ebb tide, the estuary flow pattern is mostly affected by riverbed morphology during the low water level with a large area of open beach which made the south trough flow only. During the storm surge, the hydrodynamic force of the estuary is strong, the flow velocity of the middle beach is significantly greater than that of the dry season, the middle beach water is not flowing back to the trough for the high water level and the mangroves in the middle beach has a great influence on the flow pattern. According to the hydrodynamic characteristics and flood discharge requirements, the countermeasures for ecological beach consolidation and main channel widening in Shenzhen Estuary were put forward.

**Key words:** Shenzhen estuary; strong tide; trough; beach; hydrodynamic characteristics