

DOI:10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20222380

茅洲河口主槽治理方案研究

刘国珍^{1,2}, 佟晓蕾^{1,2}, 袁 菲^{1,2}, 吴 尧^{1,2,3}

(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: 空港新城建设侵占了茅洲河口-3 m深槽, 拟开展主槽开挖治理工作。利用珠江河口整体物理模型开展潮流水动力试验和悬移质泥沙试验, 研究治理方案实施1年后的主槽回淤分布。试验结果表明, 研究水域水动力、流态发生变化, 上游治理段接近茅洲河口, 淤积较下游段明显, 平均淤积达0.75 m, 下游末端平均淤积0.53 m; 淤积后, -3 m深槽保持贯通, 全程扩宽率为1.57%, 深泓线靠深圳侧分布, 深泓沿程最小高程为-3.40 m; 断面形态显示主槽右侧淤积大于左侧, 上游淤积大于下游。主槽治理方案对局部河床进行了重塑, 短期内河势将进行较明显的调整, 但-3 m主槽得以维持, 方案总体可行。

关键词: 主槽; 河口治理; 淤积; 水动力

中图分类号: TV83;TV85;U617.5

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)06-0022-04

1 工程概况

深圳空港新城位于茅洲河出海口水域, 是东莞交界区, 位于伶仃洋“三滩两槽”河势格局的东滩水域, 见图1。工程所在水域水情复杂, 河口水沙格局受上游来水来沙、下游潮汐及波浪掀沙等因素影响, 水情随季节、年份不断变化^[1], 陆域的开发, 使岸线向海推进的速度明显大于河口自然延伸发育速度^[2]; 同时, 茅洲河流域持续开展各项流域治理工程^[3,4], 增加了河口区域河床演变的复杂性。目前河口滩槽发育是自然演变与人类活动干扰的综合结果。空港新城的建设, 使得茅洲河口主槽被侵占, -3 m等高线被切断2.7 km, 为保障河口主槽连续贯通, 开展河口主槽治理方案研究, 治理方案全长4.0 km, 上起茅洲河入海口, 下至伶仃洋东滩-4.0 m等高线水域, 上游起点底宽150 m, 下游末端底宽200 m, 主槽底高程开挖至-4.0 m, 沿程两侧边坡坡比均为1:7, 方案平面布置见图2。珠江出海口水域的河口治理, 以理顺岸线、开挖疏浚为主^[5,6], 结合定期监测

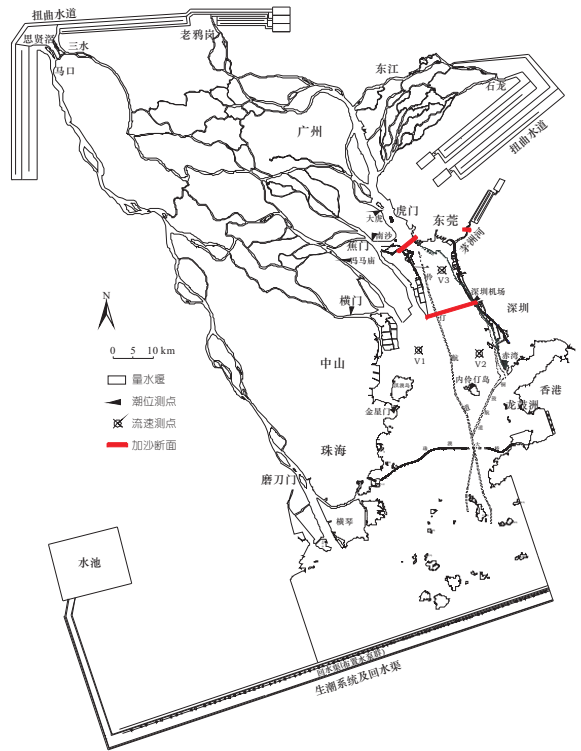


图1 研究水域水系及物理模型平面布置图
Fig.1 Water system of study area and physical model layout plan

收稿日期: 2022-11-11, **修回日期:** 2022-12-07

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

通讯作者: 佟晓蕾(1988-),女,工程师,研究方向为河网水动力、河道及河口治理, E-mail:136975391@qq.com

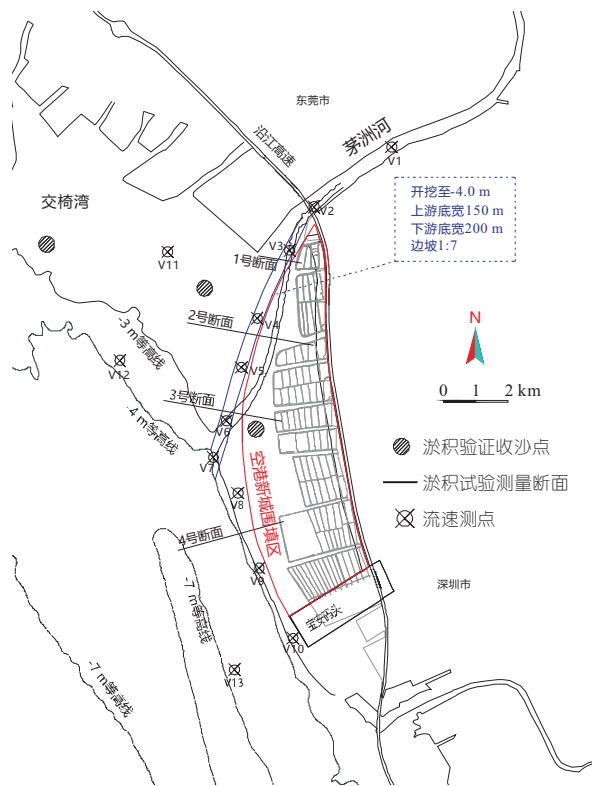


图 2 茅洲河口河势及主槽治理方案

Fig. 2 River regime of Maozhou estuary and deep trough excavation treatment scheme

和清淤工作,维护成本较高。前期研究基于现状水沙动力特性,采用动床潮流泥沙物理模型试验,结合滩槽自生性试验成果提出茅洲河口主槽治理方案^[7]。在此基础上,本文采用清水定床物理模型试验和浑水定床物理模型泥沙试验,研究主槽开挖后河道水动力分布及回淤特性,分析主槽稳定性,旨在为茅洲河口治理提供科学依据。

2 试验模型

2.1 模型建立

采用清水定床试验分析治理方案实施后周边水域的流态、流速、流向等水动力因子的变化;采用浑水定床试验研究开挖后主槽的回淤特性。

试验利用珠江河口物理模型开展研究,模型布置见图 1,平面比尺为 1:700,垂直比尺为 1:100,相应的变率为 7;水流时间比尺为 1:70,验证后的泥沙冲淤时间比尺为 1:559。

2.2 水文条件

泥沙试验采用“997”中水+“012”枯水长序列水文径潮组合作为控制边界,中水、枯水均包含大、中、小潮,“997”中水组合施测时段为 1999 年 7 月 15 日 23:00~7 月 23 日 13:00,时长 182 h;“012”枯水组合施测时段为 2001 年 2 月 7 日

17:00~2 月 15 日 7:00,时长 182 h,一个周期为 364 h,泥沙试验中循环水文边界控制条件。模拟试验采用的径潮组合及径流量见表 1。

表 1 模拟试验采用的径潮水文组合

Tab. 1 Hydrological combination of runoff and tide in simulation test

径流量/(m ³ ·s ⁻¹)	“997”中水大潮	“012”枯水大潮
马口径流量	26 800	5 550
三水径流量	9 220	1 580
老鸦岗径流量	120	0
石龙径流量	1 285	0
茅洲河径流量	500(P=50%)	0

2.3 水动力验证

模型验证选用珠江河口具有代表性的中水和枯水组合,即 1999 年 7 月中水组合和 2001 年 1 月枯水组合。测点布置见图 1,部分典型站点的验证结果见图 3。由图 3 可知,大虎站最高潮位误差为-0.07 m,最低潮位误差-0.04 m,潮差误差-0.03 m,满足允许偏差±0.1 m 的要求;涨、落流速最大误差 0.04 m/s,满足允许偏差±10% 的要求,验证结果误差符合《水运工程模拟试验技术规范(JTS/T 231-2021)》^[8],满足水动力相似试验要求。

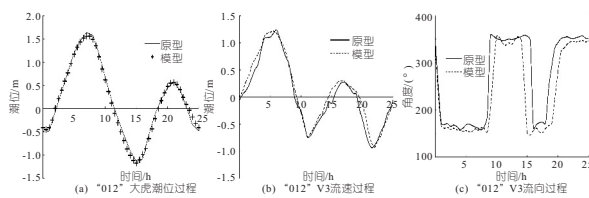


图 3 典型站点的验证结果

Fig. 3 Verification of typical sites

2.4 淤积验证

2.4.1 验证资料

近 10 年来,茅洲河口及伶仃洋水域的开发力度较大,对河床自然演变影响较大,因此模型淤积验证采用 2000、2011 年两次施测的水下地形资料,研究茅洲河口水域总体的冲淤分布,以平均冲淤厚度作为淤积验证的依据。地形变化显示,茅洲河口深圳侧、东莞侧岸滩均以淤积为主,左侧深圳近岸浅滩平均淤积强度为 0.048 m/a,主槽右侧的交椅湾水域平均淤积强度为 0.043 m/a;主槽由于人工维护,基本处于平衡状态。

2.4.2 模型沙

分析水文测验数据可知,茅洲河口水域的悬沙中值粒径在 0.002~0.017 mm 之间^[9],根据河口地区潮流泥沙模拟相似准则,要求模型沙的沉速为 0.028~0.035 cm/s。经筛选,模型选用江苏靖江生产的 300 目的木粉,比重为 1.16 t/m³,

沉速约 0.03 m/s, 起动流速约 0.05~0.07 m/s, 满足试验的要求。

2.4.3 淤积验证

泥沙运动相似验证在现状地形边界条件下进行, 模型淤积验证采用体积法, 选取直径 0.40 m 的圆形, 按固定边界收沙, 量取收沙体积, 计算不同收沙区域的淤积量和淤积厚度, 并与原型数据相比较。茅洲河口周边滩地收沙采样点分布见图 2。

验证结果表明, 左侧滩面原型平均淤强 0.048 m/a, 模型验证平均淤强 0.052 m/a, 误差 8.3%; 右侧滩面原型平均淤强 0.043 m/a, 模型验证平均淤强 0.047 m/a, 误差 9.3%。表明滩地淤积与原型基本相似, 物理模型能较好地复演研究水域的泥沙淤积分布, 可用于该区域的浑水定床泥沙试验研究。

2.5 试验设计

利用经过验证的潮流泥沙物理模型, 开展水流特性及定床淤积试验, 模拟河口治理方案实施后的水动力变化和主槽回淤特性。现状边界条件为现状岸线及河床形态。治理后边界条件为: ①陆域边界。现状岸线+空港新城方案; ②水下地形。现状地形+主槽开挖治理方案。

3 试验结果与分析

3.1 流态

研究水域附近涨潮流态见图 4。由图 4(a)可知, 外海涨潮流上溯至研究水域, 涨潮主流继续以北偏西方向进入交椅湾水域; 深圳侧沿岸流, 在宝安港区的挑流作用下, 近岸浅滩流势较弱, 主槽水域流势较强, 涨潮流通过近岸主槽进入茅洲河。落潮流从交椅湾及伶仃洋东槽进入研究水域, 与茅洲河落潮流交汇, 受伶仃洋落潮流的挤压, 茅洲河落潮流贴岸下泄。由于现状岸线为 20 世纪围

填的养殖塘, 前沿犬牙交错, 在不同水位条件下, 滩面变化不一, 流向受养殖区塘埂和下游宝安港区的挑流影响, 近岸涨落潮流态不稳定, 局部出现挑流及漩涡流态。

治理方案实施后(图 4(b)), 滩槽格局发生变化, 改变了宝安港区和养殖塘凸凹不平的岸线, 新岸线前沿顺接宝安港区, 从茅洲河口至宝安港区之间岸线呈弧形分布, 涨落潮被新岸线向外挤压, 水流沿着新岸线上溯、下泄, 往复流流态平顺。整体上, 落潮流势比涨潮流势强。

3.2 流速

治理方案附近水域流速测点布置见图 2, 流速变化见表 2。试验结果表明, 茅洲河口水域 V1~V3 落急最大流速呈减小趋势, 变幅在 0.03~0.13 m/s; 治理段 V4~V10, V8 测点落急最大流速减小 0.01 m/s, 其余水域落急最大流速均呈增大趋势, 从上游往下, 流速变幅逐渐减小, 变幅在 0.01~0.06 m/s; 西侧交椅湾水域 V11~V12, 距离岸线约 2 km, 落急最大流速增大不超过 0.01 m/s, 工程下游 V13, 近岸水域流速略有减小。

表 2 落急最大流速变化统计

Tab. 2 Statistics of Maximum Flow Velocity in Falling Tide

流速测点	“997”中水大潮				“012”枯水大潮			
	落急流速		落急流向/(°)		落急流速		落急流向/(°)	
	现状	变化值	现状	变化值	现状	变化值	现状	变化值
V1	1.24	-0.03	236.6	0.1	0.40	-0.03	235.2	0.3
V2	1.31	-0.10	233.8	-0.3	0.40	-0.03	234.3	0.5
V3	1.50	-0.13	191.8	1.2	0.55	-0.09	199.4	1.6
V4	0.82	0.06	225.6	-17.6	0.30	0.04	219.6	-9.7
V5	0.76	0.06	247.3	-41.3	0.28	0.03	233.2	-25.7
V6	0.62	0.04	221.2	-33.6	0.27	0.02	208.0	-21.3
V7	0.55	0.04	172.8	-3.5	0.47	0.02	171.6	-1.5
V8	0.36	-0.01	103.9	0.2	0.35	-0.01	104.2	0.1
V9	0.31	0.02	159.2	-2.9	0.34	0.01	160.4	-3.7
V10	0.37	0.01	150.6	1.8	0.40	0.01	151.4	1.8
V11	0.29	0.00	267.5	3.8	0.18	0.00	226.2	15.7
V12	0.43	0.01	183.6	7.0	0.42	0.00	161.7	1.0
V13	0.58	-0.01	161.9	-0.3	0.63	-0.01	162.4	-0.2

注: 落急流速单位为 m/s; 变化值=治理后-现状。

洪枯季流速、流向变化趋势基本相同, 洪季流速变化值较枯季大。工程上游茅洲河口段流速减小, 工程段流向顺着岸线变化发生偏转, 新岸线超出现状 370~700 m, 中段凸出现状岸线较远, 流向偏转大。在岸线外移和主槽开挖的综合作用下, 流速呈增大趋势, 西侧 2 km 以外水域, 流速变化不大。

3.3 泥沙淤积试验成果分析

淤积试验后^{#1}~^{#4}断面淤积形态见图 5, 主槽断面平均淤积结果见表 3。

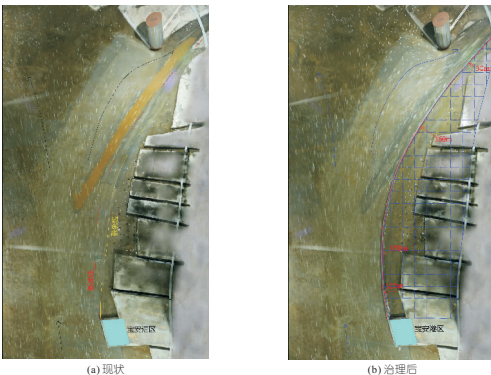


图 4 枯季涨潮流态

Fig. 4 Rising flow pattern in dry season

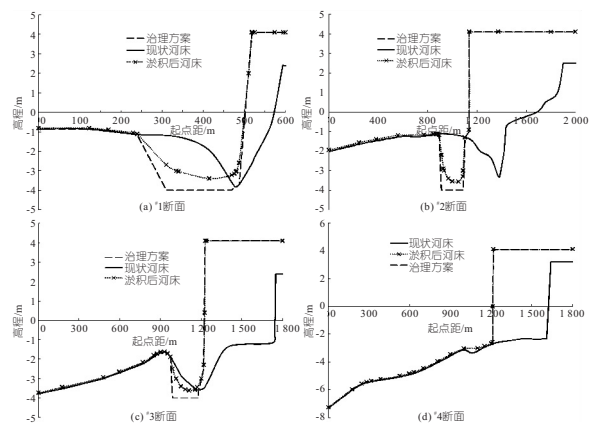


图 5 # 1~# 4 断面淤积前后泥面线

Fig. 5 Comparison of section # 1-# 4 river bed

表 3 主槽平均淤积厚度

Tab. 3 Average sedimentation of deep trough m

断面	平均淤积厚度	淤积后深泓线高程	现状深泓线高程
# 1	0.75	-3.40	-3.80
# 2	0.68	-3.56	-3.30
# 3	0.53	-3.62	-3.60

由图 5、表 3 可知:①# 1 断面。-4 m 深槽底宽 159 m,开挖主槽距离岸线 50~209 m;淤积试验后,平均淤积厚度 0.75 m,-3 m 深槽宽 146 m,距离岸线 37~183 m,主槽最深位置高程 -3.40 m,距离岸线 103 m。②# 2 断面。-4 m 深槽底宽 175 m,开挖主槽距离岸线 50~225 m;淤积试验后,平均淤积厚度 0.68 m,-3 m 深槽宽 155 m,距离岸线 50~205 m,主槽最深位置高程 -3.56 m,距离岸线 88 m。③# 3 断面。-4 m 深槽底宽 190 m,开挖主槽距离岸线 50~240 m;淤积试验后,平均淤积厚度 0.53 m,-3 m 深槽宽 185 m,距离岸线 29~214 m,主槽最深位置高程 -3.62 m,距离岸线 119 m。④# 4 断面位于治理河段下游 900 m,断面呈微淤趋势。

上游 0~600 m、下游 3 100~4 000 m 开挖段,一侧位于现状主槽所在水域,另一侧位于现状东滩 -1~-2 m 浅水区;中间 600~3 100 m 段,新开挖主槽全部位于 -1~-3 m 浅水滩面。试验结果表明,治理方案实施初期,主槽发生明显的淤积现象。与现状相比,由于新开挖的主槽进行了拓宽、挖深,因此治理初期淤积严重。# 1 断面位于茅洲河出海口位置,过流面积扩宽,径流呈扇面扩散,治理后过流面积进一步增大,流速减小,导致水流挟沙力不足,泥沙落淤沉积,主槽发生明显淤积,淤积后深泓线高程 -3.40 m,治理后淤浅 0.60 m,与现状 -3.80 m 相比淤浅 0.40 m。# 2 断面位于治理河段中部,淤积后,深泓线高程 -3.56 m,比现状 -3.30 m 偏深。# 3 断面位于治理工程下

游段,淤积量相对最小,淤积后深泓线高程 -3.62 m,与现状 -3.60 m 基本相当。

3.4 主槽扩宽率

1 断面位于治理工程上游段,# 2 断面位于中间,淤积后,# 1~# 2 断面之间,-3 m 主槽扩宽率为 0.73%。# 3 断面位于下游段,# 1~# 3 断面之间,-3 m 主槽扩宽率为 1.57%,总体扩宽率小,# 2~# 3 断面之间 -3 m 主槽扩宽率为 2.41%,下游段主槽扩宽率相对较大。主槽扩宽率见表 4。

表 4 主槽扩宽率

Tab. 4 Deep trough widening rate

-3 m 深槽宽度/m			扩宽
# 1 断面	# 2 断面	# 3 断面	率/%
146	155		0.73
	155	185	2.41
146		185	1.57

治理设计方案,上游起点主槽宽 150 m,下游终点 200 m,设计扩宽率为 1.25%,淤积后,-3 m 主槽总体扩宽率 1.57%,总体上较为接近。

3.5 合理性分析

现状茅洲河口深槽贴近深圳侧凸出岸线的前端分布,治理方案基于茅洲河涨落潮流特性,遵循水沙动力分布的原则,沿空港新城弧形岸线布置。治理后,涨落潮水流沿新岸线吞吐,开挖段落潮流速度增大,有利于泥沙输移。鉴于深槽左侧滩面围填成陆,局部沙源减少,断面淤积形态显示,开挖初期回淤大,淤积后深泓线靠近左岸,与水动力分布及河势特性相一致;深泓线高程介于 -3~-4 m,总体与现状相近。水动力及淤积试验表明,主槽治理方案与茅洲河口的水沙动力分布、河势格局相适应。

4 结论

a. 潮流泥沙定床试验结果表明,岸线治理后,理顺了现状养殖区、港区不规则的分布形态,涨落潮流顺着新岸线进出茅洲河,流态平顺。工程实施初期回淤量较大,局部河势表现出明显的调整趋势。

b. 深槽宽度及深度总体上得以维持,主槽相对保持稳定,-3 m 等高线贯通,主槽治理方案与区域水沙动力特征基本相适应,方案可行。

参考文献:

[1] 贾淇文,章桂芳,唐世林,等. 2013~2018 年珠江河口伶仃洋水域悬浮泥沙季节性变化分析[J]. 中山大学学报(自然科学版),2021,60(5):59-71.

保护,2020,36(2):1-7.

- [6] 韩礼博,门宝辉.基于组合博弈论法的海河流域水资源承载力评价[J].水电能源科学,2021,39(11):61-64.
- [7] 管新建,刘文康,胡栋.基于 CRITIC 权的污染指数法在清渭河水质评价中的应用[J].水电能源科学,2017,35(8):49-52.

- [8] 张樾樾,曹正旭,张仁杰,等.黄河三角洲生态经济区水资源承载力评价及趋势预测[J].世界地理研究,2022,31(3):549-560.
- [9] 左其亭,姜龙,冯亚坤,等.黄河沿线省区水资源生态足迹时空特征分析[J].灌溉排水学报,2020,39(10):1-8,34.

Evolution of Water and Soil Resources Carrying Capacity in Ningxia Based on DPSIR Model

FAN De-zheng^{1a}, MEI Xue-mei^{1b}, REN Zheng-yan², LI Peng³

(1a. School of Water Conservancy and Civil Engineering; 1b. Geothermal and Ecological Geology Research Center, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Ningxia Soil and Water Conservation Monitoring Station, Yinchuan 750002, China; 3. State Key Laboratory of Eco-hydraulics in Northwest Arid Region of China, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: The paper aims to comprehensively grasp the carrying capacity of water and soil resources in Ningxia, and promotes the coordinated development of water and soil resources in arid and semi-arid areas. An evaluation index system was constructed based on DPSIR model. The CRITIC-entropy weight-TOPSIS was applied to evaluate the carrying capacity of water and soil resources in Ningxia from 2012 to 2019. The obstacle degree model and R/S method were used to explore the influencing factors and predict the future trend. The results showed that from 2012 to 2019, the carrying capacity of water and soil resources in the whole Ningxia region shows an upward trend, but the overall situation is basically overloaded. The carrying capacity in Guyuan City is greatest in the Ningxia region. Based on the obstacle analysis, the driving force subsystem has the strongest restriction on the carrying capacity of water and soil resources in Ningxia. Economic density, natural population growth rate, per capita GDP, grain output per unit of arable land and per capita water resources are the main factors affecting the water and soil resources carrying capacity in Ningxia. According to the R/S method, in the future, the water and soil resources carrying capacity in Ningxia will show an upward trend. Guyuan and Zhongwei have a significant upward trend, while other cities have a weak upward trend.

Key words: water and soil resources carrying capacity; DPSIR model; CRITIC-entropy weight; TOPSIS model; obstacle degree

(上接第 25 页)

- [2] 俞丰华,余顺超,丁晓英.珠江河口近 30 年演变趋势分析[J].人民珠江,2011,32(1):14-17.
- [3] 路文典,刘鹤.茅洲河全流域水环境综合治理方案及创新[J].水资源开发与管理,2022,8(1):34-39.
- [4] 唐颖栋,包晗,邹旭彤,等.茅洲河流域排水系统提升完善的实践与经验[J].中国给水排水,2022,38(10):10-17.
- [5] 水利部珠江水利委员会.珠江河口综合治理规划(2021-2035 年)[A].广州:水利部珠江水利委员会,2022.

- [6] 水利部和粤港澳大湾区建设领导小组.粤港澳大湾区水安全保障规划[A].广州:水利部和粤港澳大湾区建设领导小组,2021.
- [7] 刘国珍,卢陈,吴尧,等.茅洲河口滩槽自生性物理模型试验研究[J].中国农村水利水电,2022(9):95-100.
- [8] 中华人民共和国交通运输部.水运工程模拟试验技术规范[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2021.
- [9] 刘国珍,吴门伍,佟晓蕾.深圳市空港新城动床物理模型试验研究报告[R].广州:珠江水利委员会珠江水利科学研究院,2018.

Study on Deep Trough Treatment Scheme in Maozhou Estuary

LIU Guo-zhen^{1,2}, TONG Xiao-lei^{1,2}, YUAN Fei^{1,2}, WU Yao^{1,2,3}

(1. Department of River & Coastal Engineering, Pearl River Water Resources Research Institute, Guangzhou 510610, China; 2. Key Laboratory of the Pearl River Estuarine Dynamics and Associated Process Regulation, Ministry of Water Resources, Guangzhou 510610, China; 3. College of Harbour, Coastal and Offshore Engineer, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: It was planned to carry out excavation and treatment of the deep trough in Maozhou Estuary for the construction of the new town, which occupied the -3 m deep trough. The Pearl River estuary physical model was used to carry out tide hydrodynamics modeling test and suspended load model test to simulate the siltation distribution of the deep trough after one year of implementation. The test results show that the hydrodynamic characteristics and flow pattern of the study area have changed and the average siltation near the Maozhou Estuary reaching 0.75 m is more serious than that in downstream with 0.53 m, the -3 m deep trough remains connected with the whole widening rate is 1.57% and the thalweg is distributed along the Shenzhen shoreline with the minimum elevation is -3.40 m. The section morphology shows that the siltation on the right side is more serious than the left side and the upstream is more serious than the downstream. The treatment scheme changed the riverbed, the river regime will be significantly adjusted in the short term, but the -3 m deep trough can be maintained. The scheme is generally feasible.

Key words: trough; estuary treatment; sedimentation; hydrodynamic