



台州头门港进港航道试挖槽回淤分析

徐海, 李前钟, 黄建华

(浙江省水利河口研究院 (浙江省海洋规划设计研究院), 浙江 杭州 310020)

摘要: 通过对台州头门港进港航道试挖槽开挖后历次水下地形和断面监测资料进行分析, 得出试挖槽回淤特征, 并探讨回淤机理。结果表明: 13 个月的监测期内, 试挖槽经历了自然缓慢回淤→骤淤冲刷交替→自然缓慢冲刷的发育过程, 最终达到动态平衡稳定, 试挖槽平均水深基本满足 11.7 m 的设计通航水深要求。正常天气条件下, 悬沙落淤是试挖槽的主要回淤形式; 大风天气条件下, 台风的风浪掀沙作用使试挖槽发生骤淤, 槽内发育浮泥层, 寒潮的作用微弱。

关键词: 进港航道; 试挖槽; 回淤监测; 骤淤

中图分类号: U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)03-0109-05

Siltation in trial excavated channel of approach channel of Toumen Port, Taizhou

XU Hai, LI Qianzhong, HUANG Jianhua

(Zhejiang Institute of Hydraulics and Estuary (Zhejiang Institute of Marine Planning and Design),

Hangzhou 310020, China)

Abstract: Upon the analysis of the monitoring data on underwater topography and cross-sections after the trial excavated channel of the approach channel of Toumen Port in Taizhou, we obtain the siltation characteristics of the trial excavated channel and discuss the siltation mechanism. The results show that during the monitoring period of 13 months, the trial excavated channel experiences the development process of natural and slow back-silting to alternating sudden silting and scouring to natural and slow scouring, and finally reaches a dynamic equilibrium and remains stable. The average water depth of the trial excavated channel meets the design navigation water depth requirements of 11.7 m. Under normal weather conditions, suspended sediment deposition is the main form of siltation in the trial excavated channel. Under strong wind conditions, the sediment-lifting effect of typhoons causes sudden siltation in the trial excavated channel, and a floating mud layer develops in the channel; the cold-air outbreak has a weak effect.

Keywords: approach channel; trial excavated channel; siltation monitoring; sudden siltation

台州头门港区位于头门岛南部, 配套进港航道外海航段—头门岛走向为 $105^{\circ} \sim 285^{\circ}$, 头门岛前沿航段走向为 $100^{\circ} \sim 280^{\circ}$ 。为满足港区二期工程的建设运营, 须对进港航道进行疏浚, 而航道疏浚伴随的回淤问题是该类工程的关键。已有

的工程实践是在航道疏浚前进行局部试挖, 对试挖槽进行回淤监测研究, 如南通吕四港进港航道、杭州湾深水航道、温州大小门岛港区进港航道等^[1-3]。为了解头门港航道疏浚后的回淤情况, 于 2019—2020 年组织实施了航道试挖槽工程及其回

收稿日期: 2022-06-15

作者简介: 徐海 (1981—), 男, 硕士, 工程师, 从事海洋水文、海洋地质研究。

淤监测, 本文根据试挖槽完工后一个完整水文年内回淤监测成果, 对试挖槽的回淤特征进行分析, 并尝试对回淤机理进行初步探讨, 以期为航道后续的设计、疏浚、防淤等工程提供参考。

1 工程概况

1.1 试挖槽概况

试挖槽工程布置于头门岛前沿进港航道, 沿航道中心线布置, 设计通航水深 11.7 m。试挖槽长 600 m, 底宽 162 m, 纵向边坡 1:30, 横向边坡 1:10, 设计底高程 11.7 m(当地理论最低潮面)。头门港进港航道试挖槽及取样点布置见图 1。

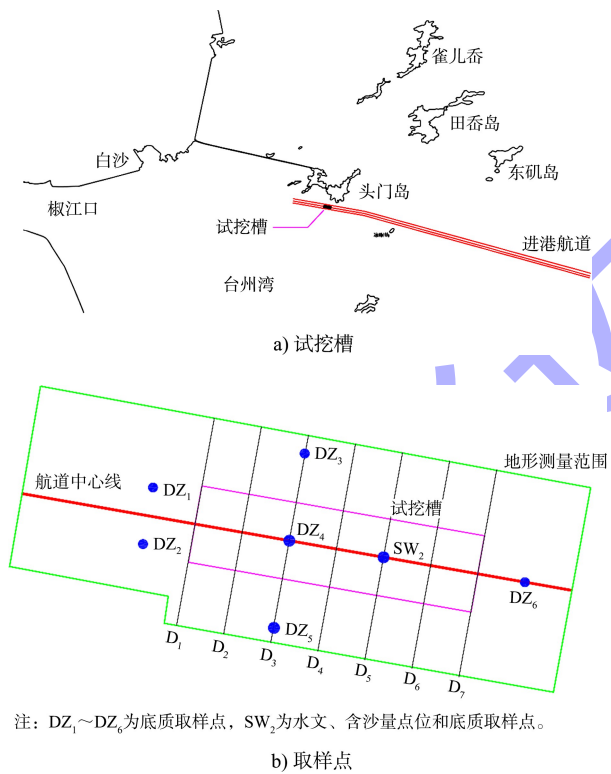


图 1 头门港进港航道试挖槽及取样点布置

1.2 回淤监测

试挖槽完工后, 随即进入一整年的回淤监测, 内容包括水下地形和固定断面测量、定点水文测验、表层沉积物取样及定点含沙量观测。水下地形测量范围、固定断面位置和各水文泥沙观测点位见图 1。水下地形测量在试挖槽完工后及完工后 3 个月、6 个月、1 年, 共计 4 次; 固定断面测量自试挖槽完工后开始, 完工后 1 个月内每半月 1 次, 以后每月 1 次, 持续至完工后 1 年, 2020 年初因疫情而中断 2 次, 故在监测期满 1 个月后再加测 1 次, 共计 14 次。

1.3 水文泥沙环境

试挖槽回淤监测期间的定点水文测验、表层沉积物取样及定点表层含沙量观测结果见表 1、2。可以看出, 试挖槽海域潮流为往复流, 最大涨、落潮流速分别为 1.15、0.87 m/s, 大潮涨、落潮平均流速分别为 0.58、0.44 m/s, 小潮涨、落潮平均流速分别为 0.37、0.34 m/s; 大潮流速大于小潮流速, 涨潮流速大于落潮流速, 涨、落潮主流向呈 W—E 向。平均含沙量在 0.028~0.284 kg/m³, 大潮含沙量大于小潮, 涨潮含沙量大于落潮。大、小潮悬沙中值粒径 d_{50} 分别为 11、6 μm , 大潮略粗于小潮, 粒径上属于细颗粒的极细粉砂和细粉砂。试挖槽槽内和槽外的表层沉积物主要成分均为粉砂, 占比 67.0%~78.7%; 其次为黏土, 占比 16.8%~30.7%; 砂含量最少, 占比 1.1%~7.6%。沉积物类型属于黏土质粉砂, 底质中值粒径 7~17 μm , 粒径上也属于细颗粒的极细粉砂和细粉砂。

表 1 试挖槽水文泥沙特征值

潮态	最大流速		平均流速				平均含沙量/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)		悬沙 $d_{50}/\mu\text{m}$	
			大潮		小潮					
	流速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	流向/($^{\circ}$)	流速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	流向/($^{\circ}$)	流速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	流向/($^{\circ}$)	大潮	小潮	大潮	小潮
涨潮	1.15	263	0.58	268	0.37	265	0.284	0.029	11	6
落潮	0.87	101	0.44	99	0.34	100	0.151	0.028		

表2 表层沉积物组成和中值粒径

时间	取样点	砂/%	粉砂/%	黏土/%	$d_{50}/\mu\text{m}$
2019年 6月	DZ ₁	6.9	71.4	21.7	13
	DZ ₂	5.1	76.0	18.9	15
	DZ ₃	5.1	73.7	21.2	12
	DZ ₄	3.6	71.7	24.7	9
	DZ ₅	4.5	78.7	16.8	17
	DZ ₆	5.0	76.3	18.7	14
	SW ₂	7.6	74.7	17.7	17
2019年 8月	DZ ₁	3.0	68.9	28.1	8
	DZ ₂	1.1	68.8	30.1	7
	DZ ₃	2.3	67.0	30.7	7
	DZ ₄	3.4	70.4	26.2	9
	DZ ₅	2.3	70.1	27.6	8
	DZ ₆	2.0	72.0	26.0	9
	SW ₂	2.9	70.4	26.7	9
2020年 1月	DZ ₁	4.4	70.0	25.6	9
	DZ ₂	1.3	71.8	26.9	8
	DZ ₃	2.3	72.1	25.6	8
	DZ ₄	3.6	70.9	25.5	9
	DZ ₅	2.3	72.3	25.4	9
	DZ ₆	4.1	72.1	23.8	10
	SW ₂	1.2	72.1	26.7	8

2 试挖槽回淤分析

2.1 试挖槽水深变化

选取试挖槽内 D4 断面为代表,其断面高程变化见图 2a),试挖槽的平均水深变化见 2b)。试挖槽完工时,槽内平均水深 13.54 m,完工后 1 个月内,试挖槽处于自然回淤的态势,断面高程逐渐缓慢抬升,槽内平均水深由完工时的 13.54 m 逐渐淤浅至 13.09 m,回淤强度 0.45 m/月;完工后 1~2 个月,先受超强台风“利奇马”过境影响,槽内发生骤淤,平均水深骤减,骤淤幅度达 4.86m,其后随着槽内回淤浮泥的沉积密实和潮流的自然冲刷运移作用,槽内平均水深由骤淤时的 8.23 m 加深至 10.72 m,冲刷幅度 2.49 m;完工后 2~4 个月,先受台风“塔巴”过境影响,槽内再次骤淤,幅度 1.08 m,其后随着槽内回淤浮泥的沉积密实和潮流的自然冲刷运移,槽内平均水深由 9.8 m 加深至 10.98 m,冲刷幅度 1.18 m;从完工后 1~4 个月,经历 2 次台风的骤淤和冲刷交替,试挖槽平均水深由 13.09 m 淤浅至 10.98 m,

回淤幅度 2.11 m,回淤强度 0.70 m/月;完工后 4~13 个月,期间有冲有淤,但冲淤幅度不大,断面高程较为稳定,槽内平均水深稳定维持在 10.98~11.62 m,水深最大变化幅度仅 0.64 m,完工后 13 个月相较于完工后 4 个月总体趋势为微量冲刷,冲刷幅度 0.61 m,冲刷速率仅 0.07 m/月。完工后 13 个月,试挖槽回淤幅度为 1.95 m,回淤强度 0.15 m/月,回淤后的平均水深 11.59 m 基本满足 11.7 m 的设计通航水深要求。

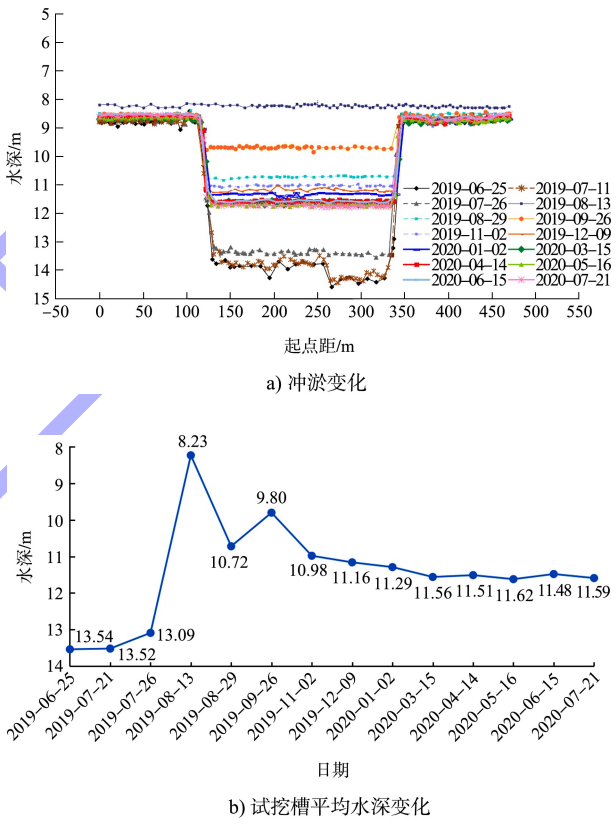
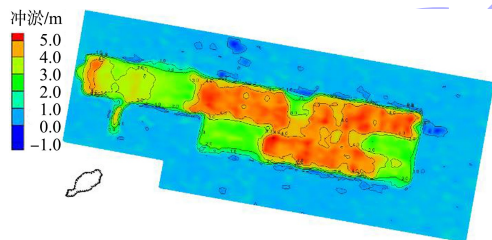


图2 D4断面冲淤变及试挖槽平均水深变化

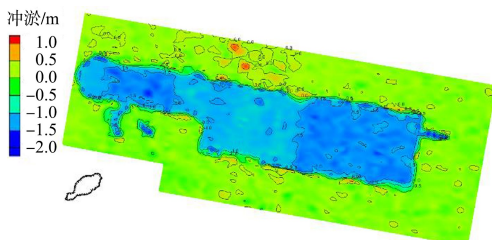
综上,在完工后的 13 个月内,试挖槽经历了自然缓慢回淤→骤淤冲刷交替→自然缓慢冲刷的动态变化过程,最终达到动态平衡稳定。试挖槽完工后的 1 个月内,试挖槽在正常天气条件下自然缓慢回淤,回淤强度 0.45 m/月;完工后 1~4 个月,经历 2 次台风的影响,试挖槽处于快速冲淤调整期,骤淤和冲刷交替,冲淤幅度较大,总体回淤幅度为 2.11 m,回淤强度 0.70 m/月;完工后 4~13 个月,试挖槽总体自然缓慢冲刷,冲刷速率仅 0.07 m/月。

2.2 试挖槽回淤特征

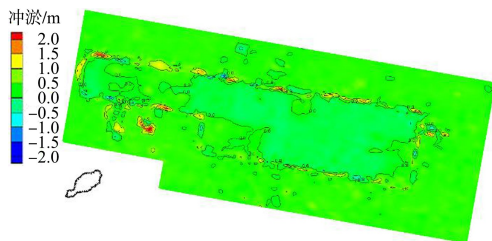
监测期内试挖槽平面冲淤分布见图 3、表 3。可以看出,试挖槽完工后至完工后 3 个月,槽内和槽外海床均显著普遍回淤,槽内回淤幅度大部分在 4 m 以上,局部 2~4 m,槽外回淤幅度则小于 1 m,3 个月内回淤总量约 67 万 m³,完工后 3 个月的回淤强度 1.25 m/月。试挖槽完工后 3~6 个月,槽内普遍冲刷,冲刷幅度介于 1~2 m,槽外普遍淤积,淤积幅度小于 0.5 m,3 个月内总体冲刷量约 30 万 m³,完工后 6 个月的回淤强度 0.38 m/月。试挖槽完工后 6 个月至 1 年,槽内普遍冲刷,冲刷幅度小于 0.5 m,槽外普遍淤积,淤积幅度小于 0.5 m,6 个月内总体微弱冲刷,冲刷量约 3 万 m³。试挖槽完工后至完工后 1 年,槽内和槽外均普遍回淤,槽内回淤幅度较大,回淤幅度大部介于 2~3 m,局部 1~2 m,槽外淤积幅度小于 1 m,1 年内总回淤量约 34 万 m³,回淤强度 0.17 m/月;可见,随着时间推移,试挖槽的回淤强度显著下降,试挖槽底床逐渐趋于稳定状态。



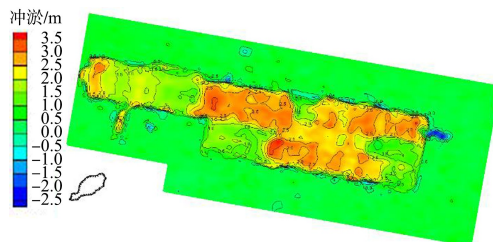
a) 完工后至完工后3个月



b) 完工后3~6个月



c) 完工后6个月至1年



d) 完工后至完工后1年

注:冲刷为负,淤积为正。

图 3 试挖槽平面冲淤分布

表 3 试挖槽完工后不同时期的回淤特征

时段	回淤量/ 万 m ³	试挖槽平均 水深/m	回淤 幅度/m	回淤强度/ (m·月 ⁻¹)
完工后	-	13.54	-	-
完工后 3 个月	67	9.80	3.74	1.25
完工后 6 个月	37	11.29	2.25	0.38
完工后 1 年	34	11.48	2.06	0.17

注:表中回淤量、回淤幅度、回淤强度均为与试挖槽完工时对比所得。

3 试挖槽回淤机理探讨

3.1 正常天气条件下的回淤机理

正常天气条件下,试挖槽水域的主要动力是潮流作用,水域泥沙主要是细颗粒的海域来沙,在试挖槽开挖前,在长期的潮流动力作用下,底床冲淤有限,海床较为稳定^[4];在试挖槽开挖后,底床形成局部负地形,潮流流经槽内时流速减小,挟沙力减弱,所挟带的泥沙部分沉降落淤。根据正常天气条件下槽内和槽外底床表层沉积物的取样结果,其中值粒径在 7~17 μm,与悬沙中值粒径(6~11 μm)很接近,粒级上均属于细颗粒的极细粉砂和细粉砂,这说明正常天气条件下,试挖槽的回淤主要以悬沙落淤为主,这也是试挖槽的主要回淤形式。

3.2 大风天气条件下的回淤机理

3.2.1 台风天气的回淤机理

回淤监测期间影响试挖槽水域的台风有“利奇马”和“塔巴”,“利奇马”属超强台风,登陆点距试挖槽仅约 50 km,影响相当显著;“塔巴”属台风级,未登陆,影响相对较弱。在试挖槽内定点表层含沙量观测期间(2019-08-01—2019-09-30),台风过境前的正常天气下,表层含沙量仅为 0.003~

0.088 kg/m³, 而2次台风过境时, 风浪掀沙作用使底床泥沙大量悬浮运移, 含沙量显著上升(图4), 最高分别达4.79和0.193 kg/m³; 当台风远离后, 含沙量又迅速降低至正常天气时的量级, 说明台风的风浪掀沙作用所悬扬的悬沙大部分再次沉积落淤, “利奇马”和“塔巴”过境后试挖槽分别骤淤了4.86和1.08 m。根据杨辉等^[5]对深槽骤淤条件的研究, 认为深槽骤淤的基本条件有: 1) 丰富的细颗粒物来源; 2) 迅速衰减的动力条件; 3) 存在明显的负地形。而试挖槽水域均同时具备这3个条件, 试挖槽所在台州湾水域粗颗粒沙含量极少, 有较为丰富的细颗粒物海域来沙, 夏季台风浪将外海沉积的细颗粒泥沙起动悬浮, 涨潮流的输移搬运将其带至近岸的浅滩边滩沉积, 所沉积的泥沙在台风的浪掀沙作用下再悬浮, 形成高含沙量水体, 台风过境后水动力迅速衰减, 水体挟沙力迅速降低使得水体悬沙落淤沉积, 在底床形成不稳定的浮泥层。浮泥层的临界冲刷流速为0.25 m/s, 明显低于新淤黏性土的临界冲刷流速(0.5 m/s), 其密度须达1.25 t/m³时才失去流动性, 这个过程一般需要40~50 d^[6], 在这段时间内, 若遇较强的水动力, 浮泥层大部分泥沙很容易再悬浮和运移, 最终落淤并形成淤泥的并不多。台风“利奇马”和“塔巴”过境后试挖槽回淤所形成的浮泥层, 经自然密实和潮流的冲刷运移, 槽内平均水深分别冲刷了2.49 m和1.18 m。可见, 台风对试挖槽的回淤影响比较显著, 主要是以骤淤的形式出现; 台风过境前后, 试挖槽主要经历了骤淤→逐渐冲刷→趋向稳定的动态发育过程。

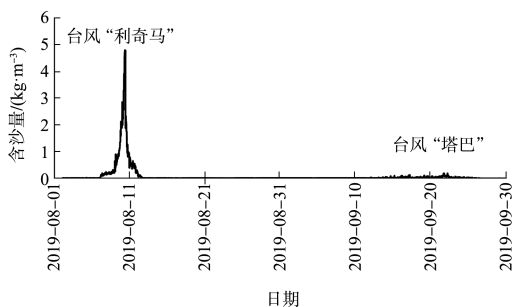


图4 表层含沙量变化过程线

3.2.2 寒潮天气的回淤机理

试挖槽完工后4—13个月(2019年11月—2020年7月), 虽经历数次冬季寒潮, 但槽内平均水深稳定维持在10.98~11.62 m, 水深最大变化幅度仅0.64 m, 槽内底床较为稳定, 可见寒潮对试挖槽回淤的影响微弱。

4 结语

1) 试挖槽完工后的13个月内, 试挖槽经历了自然缓慢回淤→骤淤冲刷交替→缓慢冲刷的变化过程, 最终达到动态平衡稳定状态; 完工13个月后, 试挖槽总回淤幅度1.95 m, 回淤强度0.15 m/月, 其平均水深基本满足11.7 m的设计通航水深要求。

2) 正常天气条件下, 试挖槽回淤主要以悬沙落淤为主, 为试挖槽回淤的主要形式, 但回淤幅度有限。在正常天气条件下, 试挖槽完工后1个月内, 试挖槽自然缓慢回淤, 回淤幅度0.45 m, 回淤强度0.45 m/月; 完工后4—13个月期间, 试挖槽自然缓慢冲刷, 冲刷幅度0.61 m, 冲刷速率仅0.07 m/月。

3) 大风天气条件下, 台风对试挖槽回淤影响显著, 寒潮的作用微弱。完工后1—4个月期间, 2次台风的风浪掀沙作用使试挖槽内发生骤淤, 骤淤幅度分别为4.86和1.08 m, 淤强和台风的等级和运动路径等有关。骤淤以浮泥层出现, 台风过境后, 随着浮泥层的沉积密实和潮流的冲刷运移, 最终留下成为淤泥的并不多; 完工后1—4个月期间, 经过2次台风的骤淤和冲刷交替, 试挖槽回淤幅度2.11 m, 回淤强度0.70 m/月。

4) 头门港海域易受台风影响, 航道疏浚开挖后出现骤淤的可能性较大, 建议台风过境前后加强航槽水下地形监测, 以了解航槽骤淤情况。另外, 试挖槽的回淤和航道全部开挖疏浚后的回淤定有不同特征及相应机理, 待航道全部开挖疏浚后应继续加强水下地形定期监测, 对回淤机理进行跟踪研究, 为进港航道的安全运营提供技术保障。

(下转第182页)