

刘呈宇,姚宇,旷敏等.潮流作用下高桩码头后方离岸式导流堤现场示范效果分析研究[J].人民珠江,DOI:10.3969/j.issn.1001-9235.XXXX.XX.001.

潮流作用下高桩码头后方离岸式导流堤现场示范效果分析研究

刘呈宇,姚宇*,旷敏,肖澄璞

(长沙理工大学水利与海洋工程学院,湖南长沙410114)

摘要:首先基于高桩码头后方落淤的物理模型试验,提出了一种挑流型离岸式导流堤装置的减淤设计和选址方案,结果分析表明:码头后方泥沙淤积程度随位置向码头下方桩基靠近而加剧;在落淤最强区布设导流堤后,最强落淤区内平均泥沙淤积减轻约29%;随后在中国东南沿海某高桩码头后方局部水域对该装置的导流及减淤潜力进行现场示范。在导流堤附近进行了详细的流场测量,分析了导流堤作用下码头后方空间流速分布及冲淤潜力,结果分析表明:现场48 h示范期间67%的时段内流速超过装置主尺度130%且冲淤流速至少提升50%,其中处于落潮期间的时间段比涨潮时间段多出28%;与此同时导流堤在43%落潮时段内能够使局部区域达到或超过泥沙起动条件,表明其具有较好的导流与冲淤能力。研究成果为码头后方导流清淤作业提供了技术储备,有利于降低码头运营成本,提高安全运行能力。

关键词:离岸堤;潮汐流;高桩码头;现场示范;冲淤流速

中图分类号:TV52 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-9235(XXXX)XX-0001-10

2 水沙科学与水灾害防治湖南省重点实验室,湖南长沙

410114)

作为一种在海港码头工程中被广泛应用的码头结构形式,高桩梁板式码头具有结构较轻、对软土地基适应性较强等优点,因而在沿海港口建设中具有广泛应用价值。与此同时,高桩码头的存在会改变邻近水域的局部水动力结构^[1-3],码头桩群作为阻水建筑物,排列密集,因而会显著影响桩群之间流场。此外,桩群阻水效应使码头下方桩群内部水流流速降低,进而导致水流挟沙能力减弱,促使泥沙于桩基附近及码头后方落淤^[4],这将导致码头桩基存在严重的泥沙回淤问题。长期累积的回淤不仅增加码头水域的维护成本,还可能改变桩基周围

受力环境,影响码头结构安全与运营效率^[5-7]。针对上述问题,传统治理手段多依赖机械疏浚,虽然能在短期内改善航道水深,但在码头后方狭窄水域存在明显的施工局限性^[8]。为此,相比单纯依赖工程清淤,更有必要从水沙动力调控的角度探索研发一种操作简单、成本较低的减淤技术。

近年来,国内外学者针对导流堤(丁坝)在水利工程中的应用展开了一系列研究。在物理模型试验方面,Jeon等^[9]基于水槽试验采用声学多普勒流速仪(ADV)对丁坝附近的采样点进行了高分辨率测量,研究了非淹没矩形丁坝的三维流动结构和湍流机理,分析了不同相对水深断面湍流特性及马蹄涡、湍动能、雷诺应力的分布,结果表明丁坝周围复杂的三维湍流特性与涡动结构、二次流和剪切层有

基金项目:国家重点研发计划项目(2021YFB2601104);湖南省科技创新计划项目(2022RC3043)

收稿日期:2026-05-10 **修回日期:**2026-06-27

作者简介:刘呈宇(2000—),男,硕士研究生,主要从事近岸水沙动力学研究。

通信作者:姚宇(1982—),男,博士,教授,主要从事近岸水沙动力学等工作。

联系作者:致信rmzj@pearlwater.gov.cn,由期刊转接。

关。高桂景^[10]基于水槽模型试验体系,系统探讨了丁坝结构长度对河道流场特征及能量耗散的影响机制。研究表明:横向水面梯度与坝体长度呈显著正相关性,其空间分布形态随坝长扩展表现出更为陡峭的非均匀特征。但上述物理模型试验仅研究了丁坝在河道工程中的应用。因此,在数值模拟方面,展开了一系列丁坝在海洋工程中的应用研究,高洋洋等^[5]首次采用现场尺度三维数值模型研究了不同布置形式橡胶坝导流堤对高桩码头后方流场的影响,结果表明导流堤能够改变高桩码头后方局部流场,其中挑流式导流堤对码头后方潮流具有较明显的挑流增速作用,能够提高局部区域的水流动力条件。旷敏等^[11]基于实验室尺度的三维数值模拟进一步分析了挑流型导流堤影响下高桩码头后方及下方水域的流动特性,分析了不同堤长和夹角条件下水平流场、涡量、湍动能及海床剪切应力的分布规律。王逸飞等^[12]针对近海水域开展水动力模拟研究,指出潮流作用下工程设施会对近海水域局部水动力条件产生影响。尽管采用物理模型试验和数值模拟仿真的方法是应用最广泛的两类研究手段,但受比尺效应和相似准则限制,无法完全还原天然复杂环境。在现场测量方面,Torres-Freyermuth等^[13]在低能微潮海滩开展了15 m透水丁坝现场试验,分析了其在常浪和风暴条件下的海滩形态响应。Zimmerman等^[14]采用无人机运动恢复结构技术(UAS-SfM)对由开槽丁坝与传统丁坝组成的丁坝群进行了现场监测,评估其对养滩海岸地貌演变的影响。Poff等^[15]以透水丁坝为对象,分析了透水丁坝与岸线演变、沿岸输沙及局部水动力响应之间的关系,指出透水丁坝能够在一定程度上削弱沿岸输沙强度,同时允许部分水流和泥沙通过,从而兼顾岸滩稳定与局部水沙交换。Geßner等^[16]则以德国南部北海Harle潮汐入口处的淹没式导流丁坝为对象,通过对沉积物分布与形态进行研究,分析了长期丁坝工程对潮汐通道地貌和沉积物分布的影响,表明导流丁坝能够改变潮流控制下的沉积分布,并诱发局部冲刷、沉积及沉积物分选。以上现场观测的文献中,并没有研究导流堤(丁坝)作用

下码头后方的流速分布与冲淤潜力。

为弥补上述研究的不足,本文首先基于物理模型试验提出挑流型导流堤装置的设计和选址方案。随后设计研发了示范装置并在中国东南沿海某高桩码头后方局部水域对该装置的导流效果进行48 h现场测试评估。通过现场详细测量导流堤作用下码头后方空间流速分布,对示范装置在潮流作用下的冲淤潜力进行分析验证,研究结果可为码头后方导流型清淤装备的推广应用提供一定的参考示范。

1 物理模型试验下导流堤减淤效果分析

1.1 试验设置

本文以中国东南沿海某高桩梁板式码头后方水域为原型开展物理模型试验(图1a),试验在天津大学港口与海岸工程实验室的循环水槽中进行(图1b),实验水槽长35 m、宽6 m、高0.8 m,造流系统由布设于水槽两端的4台调速水泵及水槽一侧的回流通道组成,可满足制造均匀流的试验条件。其中落潮流向为图1a中自左向右,涨潮流向为自右向左。本试验按弗劳德相似准则,以1:39的几何比尺,1.00:6.24的流速比尺设计物理模型试验,考虑到落潮流速比涨潮流速大,泥沙在落潮条件下更容易发生起动和输移,本文采用均匀流模拟现场的落潮条件,不考虑潮位随时间变化的影响,重点分析最大落潮条件下导流堤对码头后方落淤过程的影响。试验水深44.8 cm,流速为17.9 cm/s,按照相似比尺换算,对应现场水深为17.47 m,落潮流速为1.12 m/s。本试验中所使用的模型沙按沉速相似准则,以1.00:6.24的沉速比尺选取中值粒径为0.11 mm,密度为1 050 kg/m³的丙烯酸塑料模型沙。

为实现沿岸漂沙,本试验结合落潮周期设定造流时长为2 h(对应一个落潮周期的12 h)。试验时,在上游连续、均匀投放模型沙,控制水体含沙量稳定在1.0 g/L左右(现场含沙量为0.768 kg/m³,按1.00:0.76的浓度比尺换算后与现场一致)。水槽入口安装浊度仪对泥沙浓度进行实时监测,根据监测结果动态调控补沙量:浓度偏低时,定时向加沙桶补充模型沙并抽水搅拌,维持入流含沙条件;浓

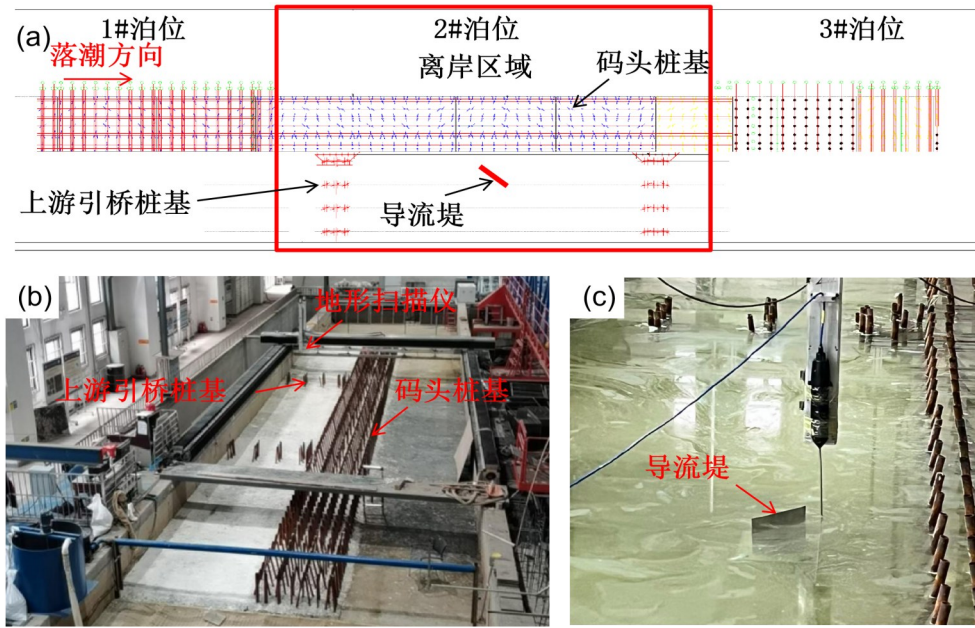


图1 a) 试验布置; b) 高桩码头物理模型; c) 导流堤物理模型

Fig. 1 a) Experimental settings; b) physical model of pile-supported wharf; c) physical model of groin

度超标时即刻停止补沙。造流完成后静置水体3 h, 保证泥沙完全落淤沉降。排水完成后, 操控搭载扫描仪的行车匀速移动并完成整个地形断面的扫描, 测量高程精度达到0.05 mm。

1.2 导流堤对最强落淤区泥沙淤积的影响

为分析导流堤对码头后方最强落淤区泥沙淤积的改善作用, 本文根据单向流(落潮)淤积试验中对6个断面的测量结果(图2)并以此确定本研究导流堤的布放位置, 试验结果表明: 落淤最强区域处于测面3所在位置, 且越靠近码头下方桩基, 落淤越严重。因此本文选取测面3作为典型试验区域, 试验时将上挑式导流堤布放于码头后方落淤最强区域, 选用上挑而不是下挑是因为考虑到堤头挑流效果比堤尾更显著, 而现场实测的落潮潮流流速更大, 且码头侧比岸线侧更需要导流冲淤, 随后对比分析潮流作用下有无导流堤两种工况下的泥沙落淤特征。

图3a和3b对比展示了在有无导流堤条件下, 落潮作用下最强落淤区(测面3, 位于2号泊位中央附近)内泥沙淤积情况: 当码头后方未布设导流堤时(图3a), 测面3所处区域的泥沙落淤现象较为严重。结果显示, 泥沙落淤程度随着床面向码头下方桩基

区靠近而逐渐加剧。这一现象表明码头结构本身对水流的阻挡作用导致了泥沙在该区域的大量沉积, 进而形成了显著的落淤区, 这种落淤不仅影响了码头的正常使用, 还会影响码头桩基基础的稳定性及安全性。当在码头后方布设导流堤后(图3b), 测面3所处区域的泥沙落淤相比于未布设导流堤时整体减轻约29%, 导流堤附近的最强落淤区域相比于未布设导流堤时减轻了约63%, 前者通过导流堤布放(落淤)前后测面3的床面平均高程差相比于导流堤布放前的床面平均高程得到; 后者通过导流堤布放前后落淤最大点床面高程差相比于导流堤布放前该点的床边高程得到。这表明挑流型导流堤在提高导流冲淤流速方面发挥了重要作用, 有效地减少了泥沙在该区域的沉积并为后续现场示范提供了参考。

2 现场示范下导流堤减淤机理分析

为验证可移动式导流堤在真实工程条件下对高桩码头后方局部水动力及减淤效果的实际作用, 本文于2024年8月2日16:00至8月4日16:00, 在东南沿海某高桩梁板式码头后方开展了现场示范测试(图4a)。测试期间正值天文大潮, 潮流动力条

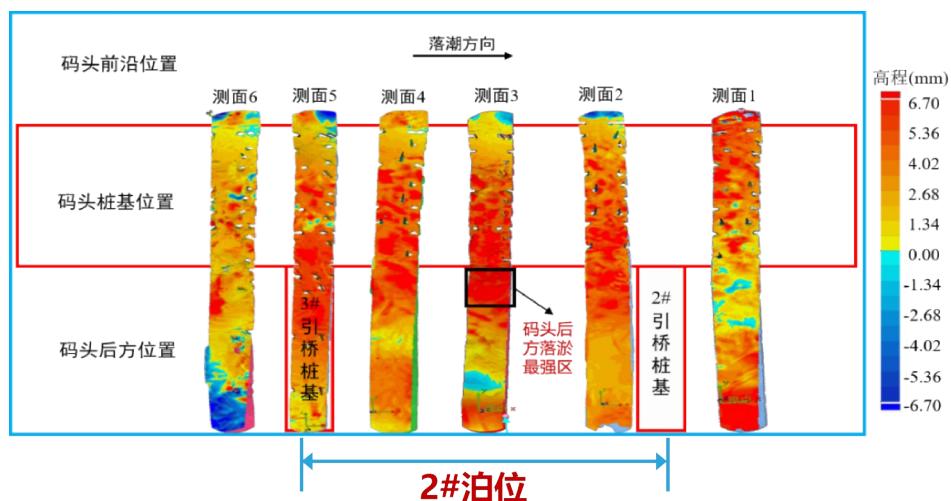
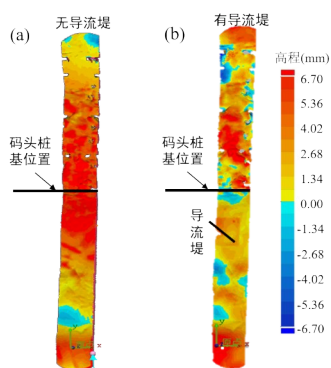


图2 落潮作用下无导流堤时码头附近水域的落淤情况

Fig. 2 Sediment deposition in the basin around the pile-supported wharf under the action of ebb tidal current in the absence of a groin



注:a)无导流堤 b)有导流堤

图3 落潮作用下测面3的落淤情况

Fig. 3 Sediment deposition in the Region 3 under the action of ebb tidal current

件较强,有利于取得设计的测试效果。现场导流装置采用浮体平台-锚链式方案,通过六点锚固固定于目标水域,以兼顾结构稳定性、可移动性及对码头正常作业不干扰(图4b)。装置整体由2个边长为4.5 m的方形浮体平台组成,每个平台均为多个浮块单元与桁架平台外框拼装连接形成的模块化结构(图4c);其中浮块单元主要采用高分子材料制作,浮体上表面设有防滑花纹,四角采用圆弧钝角设计,以提高现场作业安全性和平台耐久性。导流堤堤身主体由聚乙烯遮淤帘构成,并配合浮筒、配重块及连接构件共同形成可移动浮式导流结构,其

中聚乙烯材料具有重量轻、浮力大、耐腐蚀、抗老化和维护需求低等特点,能够较好适应现场潮差变化及复杂水动力条件。

现场流速测点布置见图4d,以中国东南沿海某高桩码头2号泊位后方水域为示范场地,在挑流型导流堤靠码头端共布置7个固定测点(a~g),其中,a点距导流装置33.9 m,g点距导流装置30.4 m,两点与导流装置之间的距离均超过4倍堤长,可以认为上游测点(落潮时为a点,涨潮时为g点)距导流堤足够远其附近流场几乎不受导流堤影响,因此本研究将上游测点采集的流速近似为未布设导流装置前的流速作为参考。每个固定测点通过在海底布置1台多普勒流速剖面仪(ADCP)同步采集固定测点处近水面、中间水深和近海床三个位置的流速数据。同时在导流堤附近额外布置15个移动测点(标号为1~15),在同一测点沿上述3个水深同时布置3个海流计,通过海流计依次移动进行1 h的流速测量,同样得到垂向分布的流速数据;对于所有的测流点,采样间隔为10 min,后续均采用沿岸方向每1 h的垂向平均流速进行分析,因此共得到48个时段的流速数据。同时,在2号点的位置布置了一个潮位计,进行了48 h内潮位变化的测量。

为评价导流堤在现场示范条件下的实际导流

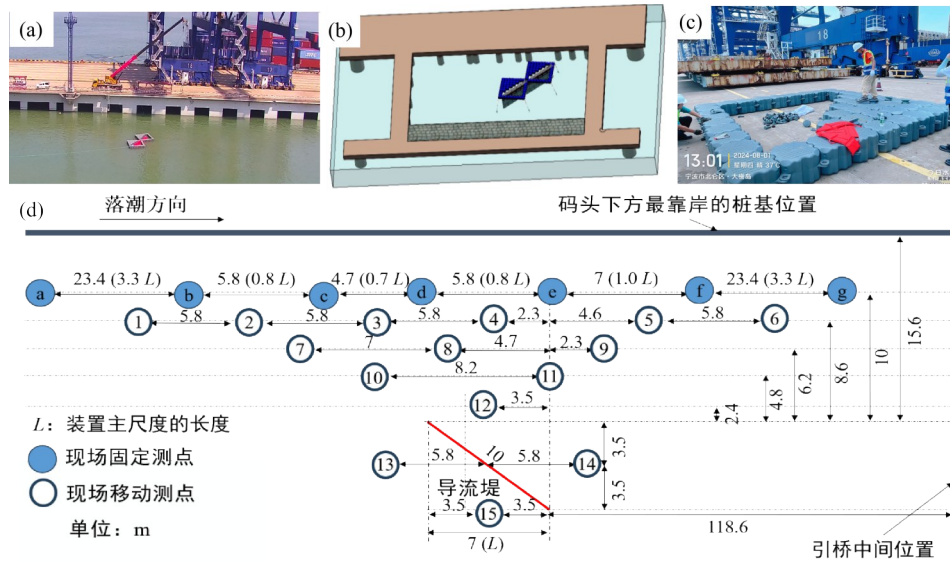


图4 a)导流堤的现场运行;b)导流堤现场布置设计;c)导流堤的现场安装;d)导流堤和测流点的布置

Fig. 4 a) field operation of the groin; b) Field layout design of the groin; c) field installation of the groin; d) locations of the groin and the flow measurements

效果,本研究分别针对固定测点和移动测点设置评价指标。固定测点主要用于判断导流堤的有效作用范围及导流增速效果,因此以有效导流范围是否超过装置主尺度的130%且落淤最强区冲淤流速至少提升50%作为综合判别标准;移动测点主要用于补充分析导流堤附近空间流速分布及导流增速情况,因此以测点处冲淤流速是否提升50%作为判别依据。通过上述两类指标,可综合评估导流堤在现场示范中的导流增速与冲淤潜力。

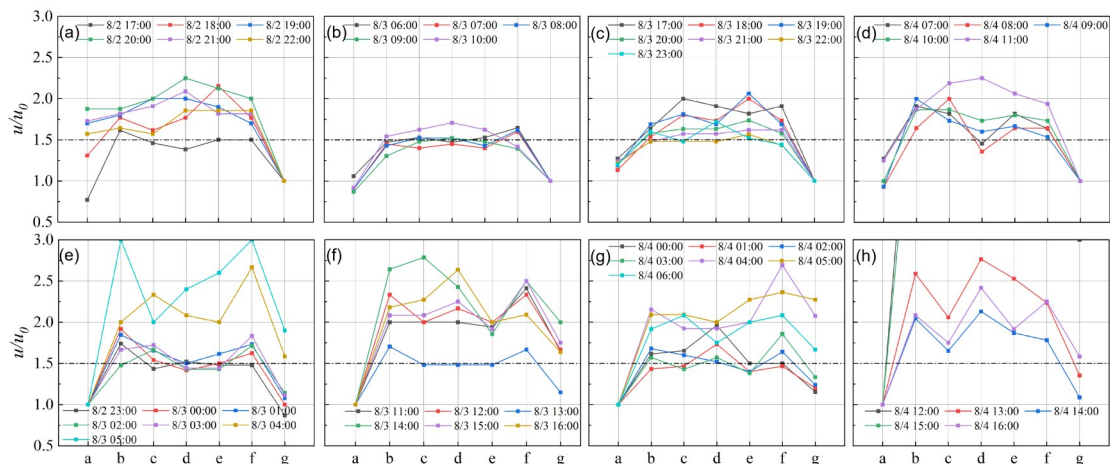
2.1 固定测点的流速特征

图5展示了4个涨落潮周期内固定测点的垂向平均流速分布,每个涨落潮周期内的有效导流范围可超过装置主尺度130%的时间段如下所示:在第1次涨潮期间中(图5a),8月2日18:00—22:00;在第二次涨潮期间中(图5b),8月3日10:00;在第3次涨潮期间中(图5c),8月3日17:00—21:00;在第4次涨潮期间中(图5d),8月4日09:00—11:00;在第一次落潮期间中(图5e),8月3日1:00、4:00—5:00;在第2次落潮期间中(图5f),8月3日11:00—12:00、14:00—16:00;在第3次落潮期间中(图5g),8月4日0:00、2:00、4:00—6:00;在第四次落潮期间中(图5h),8月4日12:00—16:00。

在各个涨落潮期间,冲淤流速最大提速如下所示:在第1次涨潮期间中(图5a),d点在8月2日20:00的冲淤流速最大提高了125%;在第2次涨潮期间中(图5b),d点在8月3日10:00的冲淤流速最大提高了71%;在第3次涨潮期间中(图5c),e点在8月3日19:00的冲淤流速最大提高了106%;在第4次涨潮期间中(图5d),d点在8月4日11:00的冲淤流速最大提高了125%;在第1次落潮期间中(图5e),f点在8月3日5:00的冲淤流速最大提高了200%;在第2次落潮期间中(图5f),c点在8月3日14:00的冲淤流速最大提高了178%;在第3次落潮期间中(图5g),f点在8月4日4:00的冲淤流速最大提高了169%;在第4次落潮期间中(图5h),b点在8月4日12:00的冲淤流速最大提高了486%。

图6展示了48 h潮位变化图中有效导流范围超过装置主尺度的130%且冲淤流速至少提升50%的时间段:在4个涨落潮周期中,由图5分析得出共有32个(占比67%)时间段(标注于图5中)有效导流范围超过装置主尺度的130%同时落淤最强区导流冲淤流速提高50%。而同时满足上述情况的落潮时间段共18个(占比72%)时间段,大于涨潮的14个(占比61%)时间段。因此有利于码头下方落潮冲

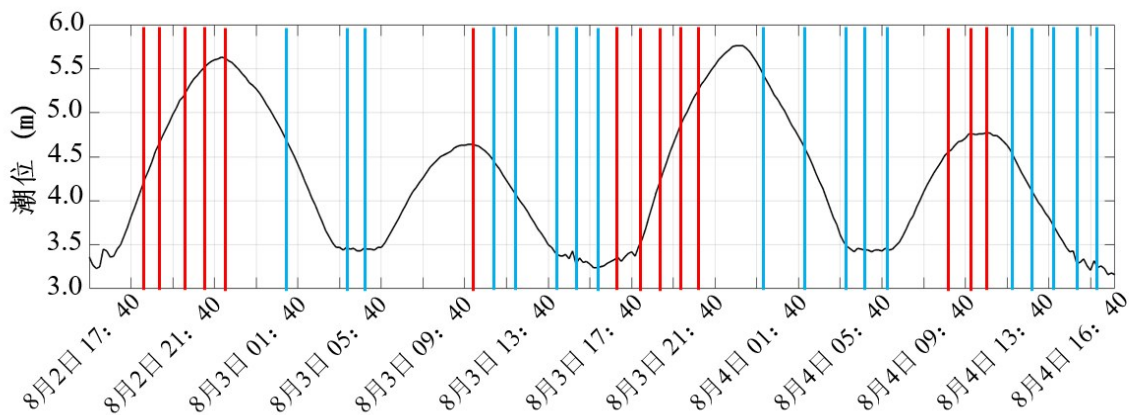
淤的上挑型导流堤设计理念。



注:a~d分别代表第一至四次涨潮,e~h分别代表第一至四次落潮,点划线代表 $u/u_0 = 1.5$; u_0 为最上游固定测点流速,涨潮时为g点,落潮时为a点。

图5 现场示范48 h内4次涨落潮周期固定测点的流速分布

Fig. 5 Velocity distributions at fixed measurement locations during the 48 h field demonstration, covering four flood-ebb tidal cycles



注:红色竖线与蓝色竖线分别代表涨潮期间和落潮期间有效导流范围超过装置主尺度的130%且冲淤流速至少提升50%的时间段。

图6 现场示范48 h内潮位变化

Fig. 6 Tidal level variations during the 48 h field demonstration

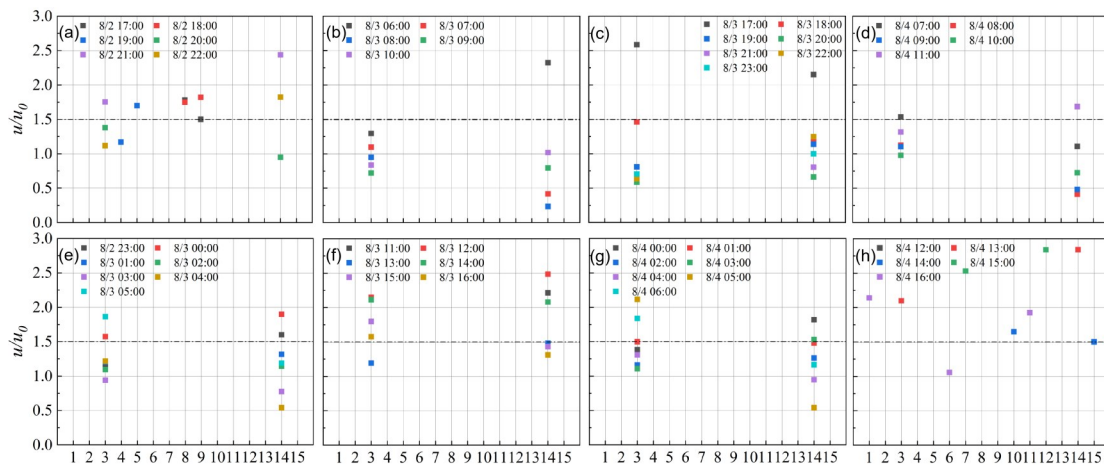
2.2 移动测点的流速特征

图7展示了现场示范验证48 h内移动测点的垂向平均流速分布。结果表明:在第一次涨潮期间(图7a),8号和9号测点在8月2日17:00、18:00,5号测点在19:00,3号在21:00,14号测点在21:00、22:00满足落淤最强区导流冲淤流速提高50%的要求,该期间共有67%的移动测点满足要求。第二次涨潮期间(图7b),仅14号测点在8月3日06:00满足要求,占比为10%。第三次涨潮期间(图7c),3号

和14号测点在8月3日17:00满足要求,占比为14%。第四次涨潮期间(图7d),3号测点在8月4日07:00、14号测点在11:00满足要求,占比为20%。在落潮期间,满足要求的测点数量整体有所增加。第一次落潮期间(图7e),3号测点在8月3日00:00、05:00,14号测点在8月2日23:00和8月3日00:00满足要求,占比为29%。第二次落潮期间(图7f),3号测点在8月3日11:00、12:00及14:00—16:00,14号测点在11:00、12:00和14:00满足要求,占比为

67%。第三次落潮期间(图 7g), 3 号测点在 8 月 4 日 05:00、06:00, 14 号测点在 00:00、03:00 满足要求, 占比为 29%。第四次落潮期间(图 7h), 3 号和 14 号测点在 8 月 4 日 12:00、13:00, 1 号测点在 16:00, 2 号、7 号、12 号和 13 号测点在 15:00, 10 号和 15 号测点在 14:00 满足要求, 占比达到 92%。综上所述, 四个涨落潮期间中, 共有 41 个移动测点在对应的时间

段(占比 41%)能够满足落淤最强区导流冲淤流速提高 50%的要求。由此可见, 导流堤对落淤最强区具有一定的流速提升作用。涨潮期间满足要求的测点平均占比约为 28%, 而落潮期间平均占比约为 54%, 约为涨潮期间的 2 倍, 表明满足码头下方落潮冲淤的上挑型导流堤设计理念。



注: a~d 分别代表第一至四次涨潮, e~h 分别代表第一至四次落潮, 点划线代表 $u/u_0 = 1.5$; u_0 为最上游固定测点流速, 涨潮时为 g 点, 落潮时为 a 点。

图 7 现场示范 48 h 内 4 次涨落潮周期移动测点的流速分布

Fig. 7 Velocity distributions at moving measurement locations during the 48 h field demonstration, covering four flood-ebb tidal cycles

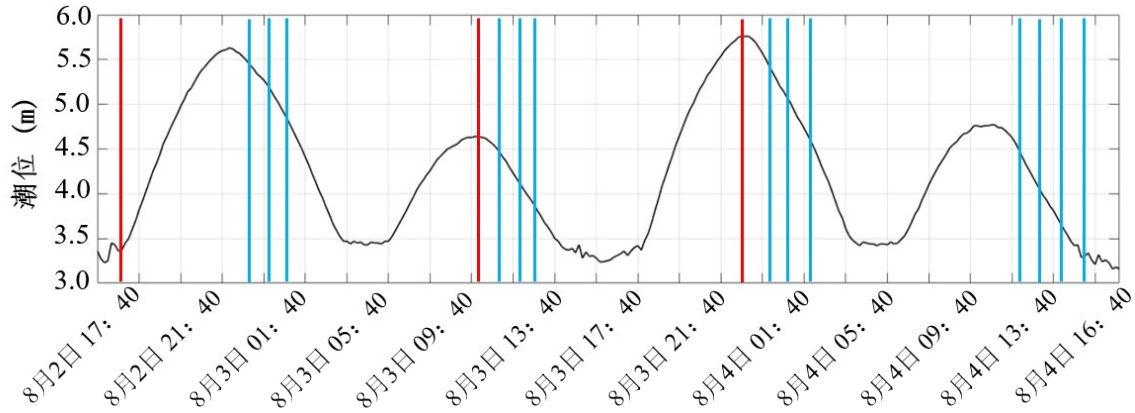
2.3 导流堤潜在减淤效果分析

挑流型导流堤可在堤身后方产生显著的挑流涡, 同时在堤身两侧获得显著的流速提升效果, 特别在近码头的堤身上游端附近提速范围更广, 而流速提升可增强导流堤的潜在导流效果, 泥沙更易启动。因此本文基于泥沙启动临界条件与现场示范测得流速的进行对比分析, 可进一步评估可移动式导流堤在现场示范下的潜在冲淤效果。文献中张玉杭^[18]采用与本试验研究相同的模型沙开展泥沙启动试验, 得到了水深与模型沙临界启动流速的关系曲线。本研究中导流堤装置附近的平均水深为 3.2 m, 按照 1:39 的几何比尺换算成实验室尺度水深为 0.082 m, 根据上述曲线得到该水深下的泥沙临界启动流速约为 0.071 m/s, 再根据 1:6.24 的流速比尺将试验室尺度的泥沙临界启动流速换算

为现场尺度的临界启动流速为 $u_c = 0.443$ m/s。因此, 当现场实测流速大于临界启动流速时, 说明该时段导流堤提升的局部流速具备使泥沙启动的动力条件, 从而产生潜在冲淤效果。现场示范验证中, 流速能满足落淤最强区导流冲淤流速与泥沙启动流速 u_c 比值 > 1 的要求的时间段在 48 h 潮位变化图(图 8)中用竖线表示, 具体如下: 在第一次涨潮期间中(图 9a), 8 月 2 日 17:00; 在第二次涨潮期间中(图 9b), 8 月 3 日 10:00; 在第三次涨潮期间中(图 9c), 8 月 3 日 23:00; 在第一次落潮期间中(图 9e), 8 月 2 日 23:00—8 月 3 日 1:00; 在第二次落潮期间中(图 9f), 8 月 3 日 11:00—13:00; 在第三次落潮期间中(图 9g), 8 月 4 日 0:00—2:00; 在第四次落潮期间中(图 9h), 8 月 4 日 12:00—15:00。总体来说, 落潮期间满足落淤最强区导流冲淤流速与泥沙启动流

速比值 >1 的要求的时间段(13个时段)远大于涨潮期间(3个时段),表明在落潮期间导流堤提升流速效果更强,泥沙更容易达到起动条件并达到潜在冲

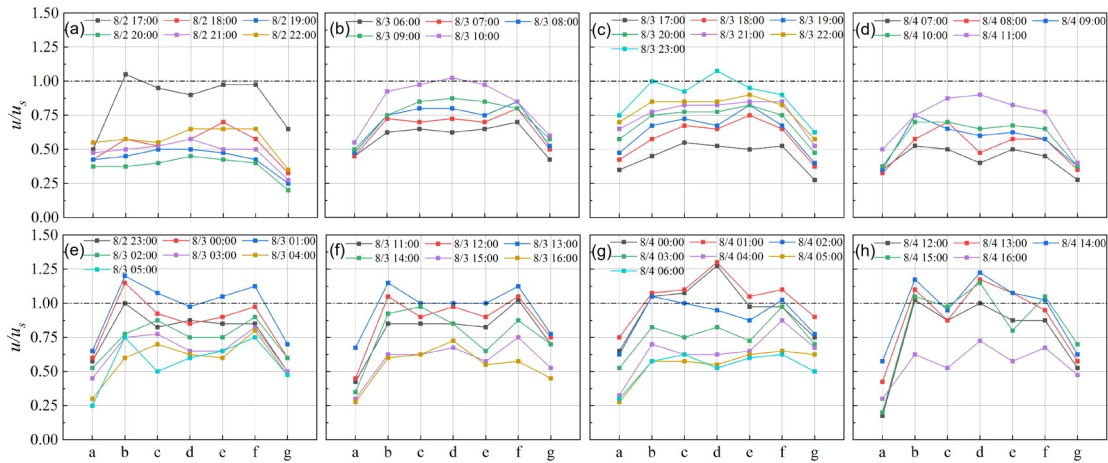
淤效果,该结果再次验证了有利于码头下方落潮冲淤的上挑型导流堤设计理念。



注:红色竖线和蓝色竖线分别代表涨潮期间和落潮期间满足 $u/u_s > 1$ 的时间段, u_s 为泥沙临界起动流速。

图8 现场示范48 h内潮位变化

Fig. 8 Tidal level variations during the 48 h field demonstration



注:a~d分别代表第一至四次涨潮期间,e~h分别代表第一至四次落潮期间,点划线代表 $u/u_s = 1$, u_s 为泥沙临界起动流速。

图9 现场示范48 h内4次涨落潮周期固定测点的流速分布

Fig. 9 Velocity distributions at fixed measurement locations during the 48 h field demonstration, covering four flood-ebb tidal cycles

3 结论

本文以东南沿海某高桩梁板式码头清淤问题为研究对象,通过物理模型试验确定了挑流式导流堤设计及其布设位置,随后研发了码头后方可移动式离岸导流堤示范装置,并对其局部水流特征及潜在减淤效果开展了现场测试,主要结论如下。

a)物理试验结果表明:码头后方最强落淤区位于2号泊位中央附近,且越靠近码头下方泥沙淤积越严重,该结果为导流装置的选址提供了依据;在最强落淤区附近布设挑流型导流堤后,区域内泥沙平均淤积减轻约29%,说明导流堤能够有效改善码头后方的淤积情况。根据物理试验结论并结合实际条件,研发了一种挑流型离岸式导流堤装置,其

具有稳定性较强、对码头结构影响较小、移动和方位调整较为便捷等特点,能够适应码头后方受限水域中的现场布设与示范测试要求。

b)在东南沿海某高桩码头现场示范结果表明:导流堤对码头后方局部空间流速分布具有明显调控作用,并在一定范围内形成较明显的导流增速作用;在48 h的现场示范中,占比67%的时段有效导流范围超过装置主尺度130%且冲淤流速至少提升50%,其中处于落潮期间的时段比涨潮时间段多出28%,说明该布置形式在落潮条件下对码头桩基区域冲淤潜力的提升作用更为显著。

c)基于现场实测流速与泥沙临界起动条件的对比分析表明:导流堤在43%的落潮时段内能够使局部区域达到或超过泥沙起动条件;说明其不仅能够提高局部流速,还具备促进泥沙起动与冲淤的潜力;满足泥沙起动条件的落潮时段比涨潮时段多出333%,进一步表明该导流堤在落潮条件下对码头后方局部水动力冲淤条件的改善作用更为显著。

本文的研究结果可为导流型码头后方清淤作业装置的推广应用积累技术经验。但受限于现场观测周期和码头运营条件的限制,本研究尚未对高桩码头后方实际淤积情况进行测量,相关问题将在后续开展深入研究。

参考文献:

- [1] Zhu Ruihu, Wang Qiming, Zheng Jinhai, et al. Damage detection of foundation pile in high-pile wharf based on statistical high-order moment of dynamic response under regular wave excitation[J]. *Ocean Engineering*, 2023, 283: 115180.
- [2] Jin Zuowen, Zuo Changsheng, Wang Zhizu. Impact of Phase III Project of Maji Mountain Port on sediment siltation in adjacent sea area[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2017, 36(12): 111-118.
- [3] Bai Zhigang, Zang Ying, Yang Wu. Measures for siltation abatement in a wharf considering ships berthing [J]. *Hydro-Science and Engineering*, 2016 (5): 61-69.
- [4] 王春华. 高桩码头桩群对流场及底床影响试验研究[D]. 南京: 南京水利科学研究院, 2010.
Wang Chunhua. Impact of high-pile wharf on flow field and topography [D]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2010. (in Chinese)
- [5] 高洋洋, 朱佳慧, 王立忠, 等. 橡胶坝导流堤对高桩码头后方流场影响分析[J]. *海洋工程*, 2021, 39 (3): 95-108.
Gao Yangyang, Zhu Jiahui, Wang Lizhong, et al. Numerical investigation of the effect of rubber dam diversion dike on the flow field behind the pile-supported wharf [J]. *The Ocean Engineering*, 2021, 39 (3): 95-108. (in Chinese)
- [6] Hanowsky M, Mitchell K N, Kothari K, et al. Optimal scheduling of maintenance dredging in a maritime transportation system[J]. *Maritime Transport Research*, 2024, 6: 100113.
- [7] Symonds A M, Erftemeijer P L, White R E, et al. The influence of flocculation in turbid plumes from mechanical and hydraulic dredging[J]. *Continental Shelf Research*, 2024, 277: 105263.
- [8] 江帅, 蒋基安, 林凤, 等. 大浦口码头清淤试验研究 [J]. *水运工程*, 2012 (12): 101-6.
Jiang Shuai, Jiang Ji'an, Lin Feng, et al. Experimental study on dredging at Dapukou Wharf [J]. *Port & Waterway Engineering*, 2012(12): 101-106. (in Chinese)
- [9] Jeon J, Lee J Y, Kang S. Experimental investigation of three-dimensional flow structure and turbulent flow mechanisms around a nonsubmerged spur dike with a low length-to-depth ratio [J]. *Water Resources Research*, 2018, 54(5): 3530-3556.
- [10] 高桂景. 丁坝水力特性及冲刷机理研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2006.
Gao Guijing. Characteristics and scour mechanism of spur dike [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2006. (in Chinese)
- [11] 旷敏, 姚宇, 许从昊, 等. 导流堤影响下码头后方及下方流动特性数值模拟研究 [J]. *海洋工程*, 2025, 43(2): 124-132.
Kuang Min, Yao Yu, Xu Conghao, et al. Numerical simulation study on flow characteristics behind and beneath a wharf under the influence of diversion dikes [J]. *The Ocean Engineering*, 2025, 43 (2): 124-132. (in Chinese)
- [12] 王逸飞, 王艳红, 杨啸宇, 等. 水系连通工程对近海潮汐水域水动力的影响[J]. *人民珠江*, 2025, 46(1): 78-87.
Wang Yifei, Wang Yanhong, Yang Xiaoyu, et al. Influence of water system connectivity project on hydrodynamics of offshore tidal waters[J]. *Pearl River*, 2025, 46(1): 78-87. (in Chinese)
- [13] Torres-Freyermuth A, Hofman A, Tuz-Pech J C, et al. Design and performance of permeable groins on a low-energy natural beach [J]. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2020, 8 (4): 283-289.
- [14] Zimmerman T, Miller J K. UAS-SfM approach to evaluate the performance of notched groins within a groin field and their impact on the morphological evolution of a beach nourishment [J].

- Coastal Engineering, 2021, 170: 103997.
- [15] Poff M T, Stephen M F, Dean R G, et al. Permeable wood groins: case study on their impact on the coastal system [J]. Journal of Coastal Research, 2003, 33: 131–144.
- [16] Geßner A L, Wollschläger J, Giebel H A, et al. Impact of a submerged stream groyne on morphology and sedimentology on a tidal inlet, Harle, Southern North Sea, Germany[J]. Frontiers in Earth Science, 2024, 12: 1292462.
- [17] Sumi T, Takebayashi H, Sakuma M, et al. Installation and adaptive management of T-shaped and L-shaped spur dikes to control bed deformation and diversify physical environment in rivers [J]. Journal of Hydro-environment Research, 2021, 37: 13–31.
- [18] 张玉杭. 大直径单柱复合筒型海上风电基础局部冲刷及其防护研究 [D]. 天津: 天津大学, 2024.
- Zhang Yuhang. Study on local scour and scour protection for large-diameter mono-column composite bucket foundation of offshore wind turbines [D]. Tianjin: Tianjin University, 2024. (in Chinese)

Field Demonstration of the Flow Diversion Performance of an Offshore Groin behind the Pile-supported Wharf under the Action of Tidal Current

LIU Chengyu¹, YAO Yu^{1*}, KUANG Min¹, XIAO Chengpu¹

(1. School of Hydraulic and Ocean Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China; 2. Key Laboratory of Water-Sediment Sciences and Water Disaster Prevention of Hunan Province, Changsha 410114, China)

Abstract: Based on physical model experiments on sediment deposition behind a pile-supported wharf in a wave basin, this study proposes a sediment dredging design and site selection scheme for an offshore groin. The results show that sediment deposition behind the wharf increases towards the pile foundations beneath the wharf, and the most severe deposition area is located near the central part of the second berth. After the groin is installed in the most severe sediment deposition area, mean sediment deposition is reduced by about 29%, indicating that the groin can enhance the local flow velocity and improve the sediment dredging behind the wharf. Subsequently, a field demonstration is conducted in the basin behind a pile-supported wharf on the southeastern coast of China to evaluate the flow-diversion and sediment dredging potential of the device under realistic tidal current conditions. The offshore groin is designed as a movable flow-diversion structure composed of floating platforms, anchoring chains, diversion curtains, etc., which makes it be deployed fast in the restricted water area behind the wharf. Detailed flow measurements are conducted to examine the spatial distributions of the velocities as well as their dredging potential behind the wharf under the influence of the groin. The results of continuous 48 h field demonstration show that, the effective accelerating region exceeds 130% of the device characteristic length and the scouring-related velocity increases by at least 50% in 67% of the observation periods. The number of effective periods during ebb tide is 28% higher than that during flood tide. The area with enhanced dredging is also found to be more closer to the pile foundations due to the groin's orientation inclined to the wharf. Meanwhile, within 43% of the ebb-tide periods, the presence of the offshore groin enables local flow velocities to reach or exceed the critical velocity for sediment incipient motion, indicating its favorable flow diversion and sediment dredging capability under the tidal forcing. The findings provide a technical basis for the design and deployment of those devices in flow diversion and dredging activity behind the pile-supported wharves, with both benefits of reducing the dredging costs using mechanical equipment and improving the personnel safety with less operation on sea.

Keywords: offshore groin; tidal current; pile-supported wharf; field demonstration; dredging velocity

(责任编辑:高天扬)