

用于预测浚后羽流扩散和沉积物分布的射流疏浚 快速评估工具

Kirichek, Alex ; Cronin, Katherine; de Wit, Lynyrd

Publication date

2020

Document Version

Final published version

Published in

China dredging

Citation (APA)

Kirichek, A., Cronin, K., & de Wit, L. (2020). 用于预测浚后羽流扩散和沉积物分布的射流疏浚 快速评估工具. *China dredging*, 3(49), 32-37.

Important note

To cite this publication, please use the final published version (if applicable).
Please check the document version above.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

疏浚创建新生态
Dredging Create New Ecology



微信号：中国疏浚
www.chda.org



中国疏浚协会
CHINA DREDGING ASSOCIATION



中国疏浚

CHINA DREDGING

特别策划 SPECIAL PLANNING

水面无人测量技术在疏浚行业的应用探索

Application of Unmanned Surface Survey Technology in Dredging Industry

武汉大学海洋测绘课课题研究成果概述

Overview of Research Achievements of Marine Surveying and Mapping Technology in Wuhan University

2020
NO.03
总第398期/006-69

Published By
China Dredging Association

编印单位
中国疏浚协会

Submitted By
Member Institutions and Associated Companies
and Academic Institutions

发送单位
各会员单位及关联企事业单位(所)

Printed By
Urban Printing Factory (Beijing) Printing
Technology Co., Ltd.

印刷单位
都市印工场(北京)印务科技有限公司

Date of Printing
August 20, 2020

印刷日期
2020年08月20日

Print Run
1100册

印数
1100册

来源：一航局一公司承建的港珠澳大桥西岛工程

准印证号：京内准准字 Y720-L0025 号 内部资料，免费交流

中国疏浚

CHINA DREDGING

(6期/年)

2020年第3期

(总第49期)

内部发行

主办单位：中国疏浚协会

支持单位：中交天津航道局有限公司

编委会主任：王海怀

副主任：周静波 顾明 高伟

委员：(按姓氏笔画排序)

王世峰 王柏欢 王毅

毛元平 朱连宇 李海军

肖乾 张晴波 林懿翀

金国亮 钟文炜 胥昌荣

侯晓明 钱献国 徐德贵

凌云 康学增 随守信

游斌 葛新兴 霍胜勇

主编：高伟

副主编：胡保安 李素江 陈晓敏

责任编辑：王华原 韩晓喆 陈琦

杨帆 纪泽明

编辑出版发行：《中国疏浚》编辑部

地址：北京市朝阳区西坝河西里

28号英特公寓C2-603室

卷首语 Preface

凝聚智能化海洋勘测的中国力量 / 李春江

Unite China's Power of Intelligent Marine Survey and Prospection 01

特别策划 Special Planning

智能化海洋勘测技术发展意义重大

Significance of the Development of Intelligent Marine Survey and Prospection Technology 05

水面无人测量技术在疏浚行业的应用探索 / 唐祥力

Application of Unmanned Surface Survey Technology in Dredging Industry 06

武汉大学海洋测绘课程研究成果概述 / 赵建虎等

Overview of Research Achievements of Marine Surveying and Mapping Technology in Wuhan University 11

国产化水下勘测设备在疏浚及智能无人平台应用 / 么彬

Application of Domestic Underwater Survey Equipment in Dredging and Intelligent Unmanned Platform 18

海事测绘 + 疏浚智能化应用场景 / 王同成

Maritime Surveying and Mapping + Dredging Intelligent Application Scenarios 21

水下机器人应用技术

——以深之蓝水下机器人为例 / 张红良等

A View on Unmanned Underwater Vehicle Application —Illustrated by the Case of Unmanned Underwater Vehicle of Deepinfar 26

国际视野 International Perspective

用于预测淤后羽流扩散和沉积物分布的射流疏浚快速评估工具

/A. Kirichek 等

Water Injection Dredging Quick-Assessment Tools for

Predicting the Plume Dispersion and Sediment Distribution

After Dredging Processes 32

世界陷入沙荒了吗? /叶清华

The World is Hungry for Sand? 38

学术论坛 Academic Forum

围海造陆工程对渤海湾三维水动力场的影响 / 肖勇

Impact of Land Reclamation on the Three-Dimensional Hydrodynamic Field in Bohai Bay 41

防污帘在疏浚、吹填工程中的应用 / 赵亚洲等

Application of Anti-Fouling Curtains in Dredging and Project Reclamation 48

关于近海砂质离岸人工岛围埝施工工艺优化探讨 / 李泽慧

Discussion on the Optimized Construction Technology of Sand-Cofferdam of Offshore Artificial Sand-Island 52

400方绞吸挖泥船绞刀转速与桥梁横移速度匹配研究 / 靳海强等

Research on the Matching of Rotation Speed of Cutter and Transversal Speed of Bridge Frame in 400m³ CSD 56

环保疏浚淤泥脱水固化过程中除杂系统的优化研究 / 沈鑫涛等

Optimization of Impurity Removal System in the Process of Dewatering and Solidification of Environment-Friendly Dredged Sediments 60

绞吸船在超设计挖深作业时设备安全校核 / 王晨

Equipment Safety Check of Cutter Suction Dredger During Over Design Excavation 65

无人机航空摄影测量在疏浚吹填工程地形测量中的应用与高程分析 / 江振飞等

Research on Lightweight of Original Terrain Model in Water Conservancy Dredging BIM Management Platform 70

关于长江口吹填工程沉降、流失的计量与分析 / 王晓萌

The Measurement and Analysis of Settlement and Loss for Land Reclamation in the Yangtze River 76

Durand公式在中粗砂管道输送条件下的应用 / 袁超哲等

Application of Durand Formula in Medium Coarse Sand Pipeline Transportation Conditions 82

长江深水航道整治工程丁坝地基变形监测及影响规律 / 徐东晓等

Monitoring of Deformation of Spur Dam Foundation and Influence Law of Yangtze River Deep-Water Channel Improvement Project 86

绞吸挖泥船绞刀载荷分析软件研制 / 苏召斌等

The Development of the Load Analysis Software for the Cutter of Cutter Suction Dredger 91

大事记 Milestones

中国疏浚行业 2020年第二季度大事记

95

征稿启事 Notice of Inviting Contributions

为做好编辑工作，中国疏浚协会秘书处向广大会员单位长期征稿。稿件一经录用即付稿酬。其版权归中国疏浚协会所有并有权在所属微信公众号和网站等转载使用。

征稿要求：文章条理清晰、简明严谨、资料数据正确可靠。稿件通过电子邮箱发送。除论文外，稿件字数一般为2000-2500字。来稿以Word录入排版。来稿须附作者(或第一作者)简介，即作者姓名、毕业院校、单位职务、单位联系电话(电子邮箱)和作者正装两寸彩色照片一张。来稿可附图片2-3张并有文字说明。

论文除上述要求外，必须有中英文摘要和关键词；计量单位和符号等一律使用国际通用标准或国家标准法定计量单位；文中引用参考文献应依照先后顺序用阿拉伯数字加方括号在右上角标出，并在文末尾按标注顺序给出引用参考文献的作者名、引用文献名、出版单位以及出版日期。论文字数一般为3000-5000字，由作者单位推荐至中国疏浚协会秘书处并出具推荐信(不含约稿)。推荐信必须由作者单位技术总负责人签署同意推荐的意见。论文作者对文章内容的真实性、可靠性和学术性等负全责。论文收到后，中国疏浚协会秘书处指定专家负责审核。

Dear readers of China Dredging:

In the column *International Perspective* of last issue, we announced in advance that we will bring you two articles from the *Deltares* in this issue. Now we are very happy to present these two articles to you.

The first article introduces an application case of numerical simulation, a rapid evaluation tool for the prediction of post-dredging plume diffusion and jet dredging of sediment distribution. The author of the article, Dr. Kirichek, works at both the *Deltares* and Delft University of Technology. This article introduces the current scientific research in the Netherlands on the prediction and control of plume diffusion. Now the researcher is still working on improving the model to achieve fusion at different scales. The other author of the article, Dr. de Wit, used to work in the Dredging Engineering Department of Delft University of Technology in the field of model development. Now he continues to develop this model at *Deltares* to make it suitable for engineering applications.

The second article was edited and compiled by Dr. Qinghua Ye. It introduced the huge demand for construction sand in the world and the harm caused by excessive mining of underwater sand in various countries under this demand. This article is believed to be also able to evoke the thinking of colleagues in China's dredging industry.

各位亲爱的《中国疏浚》期刊的读者朋友们，

在上一期的“国际视野”栏目中，我们为为大家介绍了两篇文章为各位呈现的文章。现在很高兴的将这两篇文章为各位呈现。

第一篇文章为大家介绍一款数值模拟应用，用于预测淤后羽流扩散和沉积物分布的射流疏浚快速评估工具。文章的作者 Kirichek 博士同时在三角洲研究院和代尔夫特理工大学任职，这篇文章介绍了目前荷兰在羽流扩散的预测和管控上的研究工作，现在科研人员仍在改进模型以实现不同尺度的融合。文章的另一作者 de Wit 博士过去在代尔夫特理工大学疏浚工程系进行模型的开发工作，现在在三角洲研究院继续开发这一模型以便其应用于工程应用。

第二篇文章则由叶清华博士编辑汇总，介绍了现在世界对建筑用沙的巨大需求，以及在这一需求下各国正在进行的下水沙子开采所造成的危害。相信这篇文章也能引发中国疏浚届各位同行的思考。

作者简介:

Sape Miedema, 荷兰代尔夫特理工大学，海洋与疏浚工程系，系主任。

用于预测淤后羽流扩散和沉积物分布的射流疏浚快速评估工具

Water Injection Dredging Quick-Assessment Tools for Predicting the Plume Dispersion and Sediment Distribution After Dredging Processes

A. Kirichek^{1,2}, K. Cronin¹, L. de Wit¹

摘要: 射流疏浚 (Water Injection Dredging, 简称 WID) 已成功应用于港口和航道中的沉积物移除。这种疏浚方法基于通过安装在射流挖泥船上泵加压注水的方式使上层沉积物层流化。流化的沉积物可以通过重力或自然洋流来输送。

建模、现场和实验室测量工具的最新进展使股东能够对港口和航道中的射流疏浚进行设计，优化和监控。本文将展示可用建模工具的功能，这些建模工具可以有效地用于评估出于维护目的的备选疏浚策略。特别值得一提的是，我们将展示中场和远场建模方法如何能够用于预测射流疏浚后的沉积物羽流动力学和沉积物分布，从而帮助确定实行射流疏浚的最佳条件。

Abstract

Water Injection Dredging (WID) has been successfully applied for removing sediment deposits in ports and waterways. This dredging method is based on the fluidization of the top sediment layer by pressurized injection of water by a pump that is installed on a WID vessel. The fluidized sediment can be transported by means of gravity or natural currents.

Recent developments in modelling, in-situ and laboratory measurement tools has enabled stakeholders to design, optimize and monitor WID in ports and waterways. In this work, we will demonstrate the capabilities of available modelling tools which can be efficiently used to evaluate alternative dredging strategies for maintenance. In particular, we will show how a mid-field and far-field modelling approach can be applied for predicting sediment plume dynamics and sediment distribution after WID, thus helping to determine the optimum conditions under which to perform WID.

1 引言

长期以来，射流疏浚 (Water Injection Dredging, 简称 WID) 一直是港口维护疏浚作业的一部分。这种类型的疏浚主要用于带有泥床的港口和航道，但是在疏浚行业中，在粗泥沙中使用射流疏浚的实例也同样为人们所知。射流过程的原理是基于使用射流使沉积物流化 (见图 1)。使

用的射流喷嘴越多，进入泥床的可能水量就越大。由于相对较低的压力射流，因此避免了细质沉积物在整个水柱中发生二次悬浮。取而代之的是，射流在泥床上产生了水-沉积物的混合物。射流疏浚发生后将形成流化泥层，其密度低于泥床沉积物，但高于周围水的密度。在自然流体力学过程的影响下，这种所谓的异重流会在水中扩散。根

据沉积物的性质和施工参数, 流化泥层的厚度以及由此产生的异重流会在0.25米至3米之间变化。当进入港口和航道的低能区域时, 流化的泥层会随着时间而沉降并固结。总的来说, 射流疏浚已成为港口维护中更流行的疏浚方法, 因为与标准维护策略相比, 射流疏浚在经济、施工和生态方面似乎具有很强的竞争力。



图1 射流疏浚略图 (摘自 Sigwald et al., 2015)

近年来, 人们开发出了各种工具来优化射流疏浚过程, 以及更好地预测射流疏浚期间的沉积物羽流运动。通常, 根据模型的规模, 将疏浚工程使用的数值工具分为三类: 近场模型, 中场模型和远场模型。在本文中, 射流周围形成动态羽流的区域称为近场。在射流疏浚区域 (大约 1 km) 中形成被动羽流时, 我们将该区域称为中场。最后, 对于超出射流疏浚区域的更大区域, 例如整个港口或河口区域 (>> 1 公里), 被称为远场。

本文的结构如下: 首先, 我们会介绍一种基于 Delft3D 的建模工具, 该工具可用于在河口地区进行射流疏浚处理后对沉积物分布的远场预测。然后, 我们将展示一些 IDV 和 TUDflow3d 模型, 用于估算射流疏浚后沉积物的羽流扩散, 沉降和固结的应用实例。最后, 我们将演示一些已经进行过的实验室实验的示例, 这些示例将有助于更好地了解射流疏浚过程中的近场影响。并且我们将对射流疏浚与航道水深之间的联系进行讨论。

2 射流疏浚的远场建模

港口中的泥沙动力, 特别是泥的淤积, 对负责港口和入口航道维护人员而言十分重要。淤积量决定了要维持航行深度需要进行的疏浚的频率和数量。为了理解系统中的沉积物动力情况, 特别是悬浮泥层和流体泥浆的传输过程, 必须在一系列的时间尺度和空间尺度下进行分析。为了计算莱茵河默兹河三角洲港口区域的泥浆动力情况, 本文使用 Delft3D 进行了远场建模。

荷兰三角洲学院的开源软件 Delft3D 是一个灵活的集

成建模框架, 可以在数天至数十年的时间范围内对二维和三维的洋流、波浪、沉积物的传输和形态 (以及疏浚和弃置) 进行模拟。沉积物传输模块包括悬浮和泥床/总负荷传输过程, 用于任意数量的内聚和非内聚沉积物颗粒级。它可以跟踪记录泥床的组成, 以建立地层记录。悬浮载荷的求解方程连接到流体动力学模块的 2D 或 3D 对流扩散求解方程, 重要的是对于液体-泥浆模拟而言, 也能产生密度反馈。

为此, 本文建立了整个莱茵河默兹河口的 Delft3D 模型, 并模拟了包括淤积效应在内调整一个目的流体动力条件。然后使用该流体动力学模型来推动沉积物传输模型。模型包括了背景沉积物浓度, 并使用了三种沉积物颗粒级来代表较粗和较细颗粒级的适当范围。一旦模型获得了有关不同港口内泥沙传输和泥沙沉积的自然动力学数据 (通过对测量和模拟的挖泥量进行分析确定), 就可以进行一系列射流疏浚测试, 例如模拟射流疏浚的羽流被输送的位置, 不同港口的回流量以及整个水柱中发生的混合量。该模型还可用于研究沉积物沉积区的最佳位置, 以获取射流疏浚的高密度羽流。

图 2 和图 3 显示的案例说明了如何使用远场建模来研究在潮汐周期不同阶段进行射流疏浚的影响。射流疏浚在黑色矩形区域内进行。色彩指示的是港口区域内悬浮泥沙浓度 (SSC) 的分布。射流疏浚的持续时间为 8 小时, 生产率为 500 kg/s 。在 2 次模拟过程中, 射流疏浚在高水位 (HW) 之前一小时和低位 (LW) 之前一小时启动。两次模拟的结果分别在图 2 和图 3 中显示。

在高水位之前一小时启动的模拟和低位之前一小时的启动模拟的对比中, 羽流扩散方式明显不同。图 2 显示, 羽流主要随潮汐向海的方向扩散。对于射流疏浚而言这是最好的条件, 因为这样一来, 悬浮的沉积物将在海上进行射流疏浚的区域重新迁移。但是大约六个小时后, 水流会发生转向, 羽流将被推向陆地的方向。

图 3 显示了模拟中的初始羽流扩散, 其中在沉积物恰好在低水位之前释放。在模拟的前两个小时中, 羽流的扩散类似于刚好在高水位前进行射流疏浚的实验。然而, 在四到八小时这个时段, 羽流主要向陆地方向扩散。当流向逆转后, 羽流开始向海的方向扩散。此外, 由于洋流受到主要向陆地方向的淡水作用, 航道中发生了向陆地方向持续扩散。

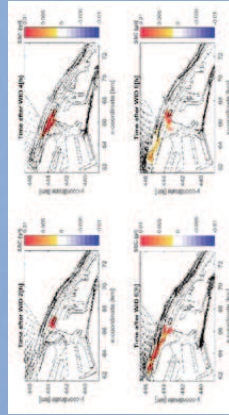


图 2 近泥层羽流的水平扩散

射流疏浚在高水位之前 1 小时开始, 产能为 500 kg/s

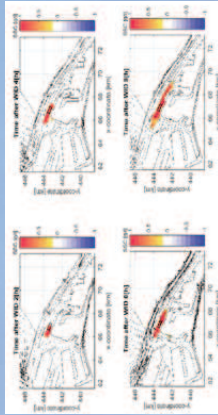


图 3 近泥层羽流的水平扩散

射流疏浚在低水位之前 1 小时开始, 产能为 500 kg/s

远场建模显示了射流疏浚期间流体动力条件的重要性。这些知识有助于选择用于港口和航道泥层的最有效的射流疏浚策略。

3 射流疏浚的中场建模

中场建模采用了 IDV 和 TUDflow3d 模型。拉格朗日 IDV 法使我们能够使用活动的参考系来追踪流化层流沿着用户定义的轨迹的进展。该模型的主要特征是估算射流疏浚后流化泥层的沉降足迹。此外, IDV 模型还能确定流化泥层的厚度和密度 (或沉积物浓度), 并将这些参数与立柱和泥床边坡中的流体动力学联系起来。上一节显示, 在正确的流体动力学条件下进行射流疏浚有助于提高射流疏浚的效率。将现实的水深测量纳入考量对于优化射流疏浚也很重要。为了使流化泥层具有相等的初始动量, 该泥层将沿向下的边坡流动, 而非非沿着平坦的泥床流动。通常, IDV 建模的结果可用于对射流疏浚进行更好的规划。

图 4 和图 5 展示了 IDV 模型用于射流疏浚的效用示例。在这两张图中, 右图显示了沉积物浓度的分布和沿着边坡流化层的高度。右图显示了流化泥层的流速。图 4 显示了沿 1:20 边坡进行射流疏浚的模拟情况, 图 5 显示了在平坦

泥床上进行射流疏浚的结果。由此可以看出, 由于重力作用, 流化泥层沿 1:20 边坡流动的距离比在平坦泥床上的流动距离更远。此外, 由于快速移动的流化层与斜坡上的周边水柱之间的剪切力更大, 因此沿斜坡水柱中的沉积物比平坦床中的沉积物更多。

考虑到流速 (图 4 和图 5 的右图), 流化层会在短时间内加速, 但在平坦泥层的情况下, 它随后会严重减速。沿着 1:20 的边坡, 流化层的加速度在水柱中, 水平速度在水最大, 在此大部分沉积物都悬浮在水柱中。水平速度在更深上的梯度很大, 这导致剪切力增加, 从而让混合更严重。

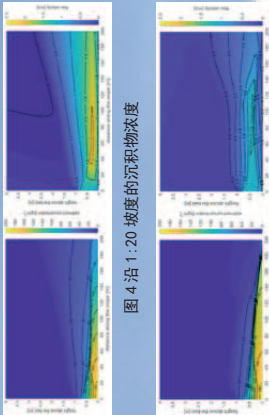


图 4 沿 1:20 坡度的沉积物浓度

图 5 平坦泥床上的沉积物浓度

图 6 显示了 IDV 模型模拟的沉积物足迹。在此模拟中, 射流疏浚过程从 x0 开始。如图 6 所示, 流化泥层向着与射流疏浚船的反方向移动。在此模拟期间, 模型域沿 x 轴移动并随着空间中的泥沙一起移动。它将沿着淤泥路径沉积下来的沉积物数量进行跟踪记录, 并对沿着泥床移动于淤泥的移动速度进行估算。在此, x1 和 x_max 表示流化泥层的最大空间分布。

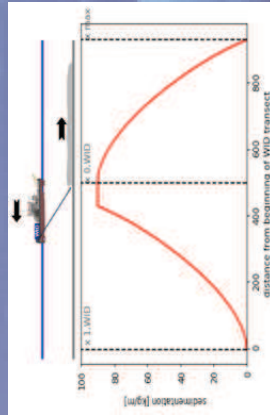


图 6 射流疏浚后 x0 处的沉积物足迹

射流疏浚后, 流化泥层的固结也可以用 1DV 模型估算。图 7 显示了流化泥层固结过程中 1DV 模型与实测数据的比较。该模型的输出结果是作为时间函数的泥浆密度, 可以将其与标准的多波束数据相关联, 该数据通常可以提供水-泥接口数据 (参见图 8)。

垂直密度分布如图 7 的右图所示。测量可以通过不同的到场测量工具 (Kirichek and Rutgers, 2019; Kirichek et al., 2020) 进行, 在这种情况下, 密度可通过 DensX 工具来测量。在此可以观察到, 测得的密度分布与 1DV 建模非常相似。

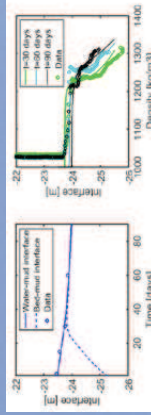


图 7 估算射流疏浚后流化泥层的固结。

左图显示了水-流化泥浆界面以及流化泥浆-固结泥床界面的变化情况, 右图显示了水-泥垂直柱中的密度模型预测 (实线) 和现场测量数据 (符号)。

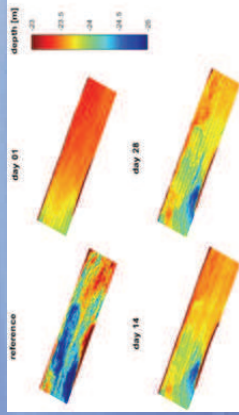


图 8 多波束测量显示的射流疏浚 (前的水-泥交接面参考), 射流疏浚期间 (第 1 天) 和射流疏浚后 (第 14 天, 第 26 天) 射流疏浚密度驱动的羽流也可以通过 CFD 模型 TUDflow3D (De Wit 2019) 进行模拟。起初开发 TUDflow3D 是用于以实际比例对把吸式挖泥船溢流流进行精确的近场模拟。它也已用于 MFE (质量流挖掘) 羽流, 深海采矿尾矿羽流和盐度驱动的密度流。TUDflow3D 可以对复杂情况下的 1DV 模型进行补充, 因为在复杂情况下 1DV 模型的简化会使其难以应用。TUDflow3D 是完全 3D 模型, 在所有三个维度 (不仅在垂直方向) 上都考虑了可

变密度, 并通过精确的 LES (大涡模拟) 法获取了非静水压力和湍流的结果。

图 9 显示了建模异重流的瞬时快照。在 LES 网格上的单个湍流旋涡和湍流清晰可见。图 10 给出了时间平均速度和悬浮沉积物浓度 (SSC) 曲线与实测曲线的比较结果。在此对获取湍流的不同方式进行了对比。除了 LES 以外, 本文还测试了雷诺平均纳维-斯托克斯方程 (RANS) 和在泥床附近湍流粘度降低的 RANS。本文在 CFD LES 模型中很好地获取了垂直洋流的 SSC 分布图和异重流的层厚, 并且在近处处泥床速度进行小幅高估的情况下, 很好地获取了速度分布图。

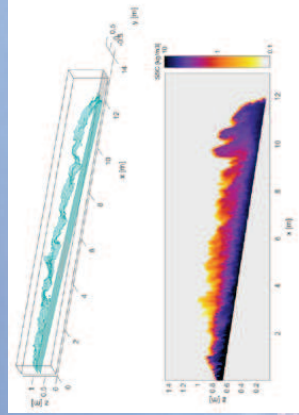


图 9 油流 3D 轮廓的瞬时 LES 快照 (上) 和通过油流中心的 2DV 切片处的 SSC (下)

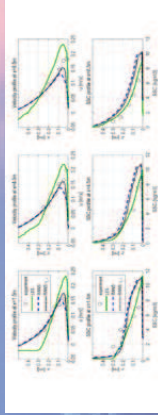


图 10 在 3 种不同湍流设置下, 建模的时间平均速度和 SSC 分布图的比较

(LES; 混合长度和在泥床附近湍流粘度降低的混合长度), 以及 Parker 等人 1987 年的测量结果

图 11 给出了 TUDflow3D 用于射流疏浚的一个应用示例。在此 CFD 运行中, 射流疏浚沿着一条 300m 轨道连续进行了 6 次的作业。此 CFD 模型使用港口口的实际测深。产生的射流疏浚羽流显示为棕色, 测深显示为灰色表面。在此图的时刻, 射流疏浚刚刚沿着 300m 长的黑色虚线轨迹

完成了 6 次作业。在此案例中, 射流疏浚羽流在重力的作用下顺倾斜泥床流下。水深测量的俯视图如图 12 所示。

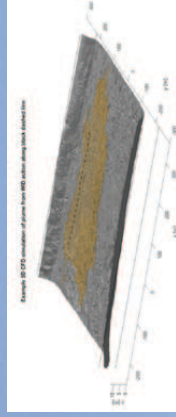


图 11 TUDflow3d 模拟的示例: 沿黑色虚线射流疏浚作业的羽状分布

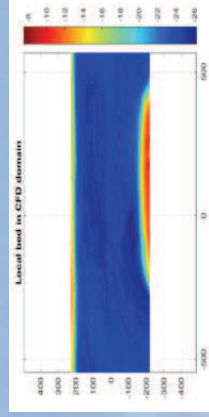


图 12 TUDflow3d 模拟示例: 在 CFD 域中执行的水深测量

图 13 显示了在横向受限情况下将 TUDflow3d 用于射流疏浚的另一个示例。此模拟采用了以下初始条件: 初始射流淤层厚度为 0.5m, 200kg/m³ 和 2m/s 流入速度 (带来的流量为 200kg/s)。该示例显示了距射流疏浚不同距离的模拟垂直速度分布和密度分布。该模型还可以根据射流疏浚异重流计算出沉降足迹。

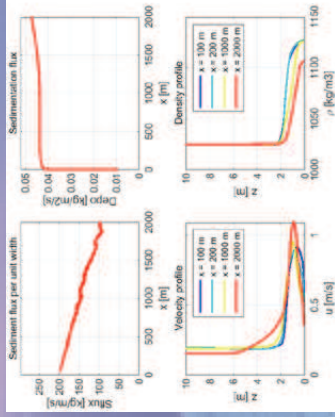


图 13 TUDflow3d 模拟示例: 横向受限情况下的射流疏浚

4 射流疏浚的近场和中场实验室试验

在过去几十年中, 实验室水槽试验已被频繁地用于射流疏浚。它的主要目标之一是确定最佳的施工参数, 以证明有泥层的港口和航道中的射流疏浚是高效的, 例如, 为了能够控制射流疏浚过程的平移方向和射流挖泥船的速度, 必须仔细管理射流疏浚循环, 喷嘴的数量和大小以及泥浆性质相关的承压。如果对施工参数的界定不准确可能会导致分稀释, 产生湍流或不受控制的二次悬浮, 从而导致低效的射流疏浚过程。进行实验室试验 (例如图 14 中所示的实验) 有助于找到最合适的施工参数而且还有助于了解射流疏浚背后的物理过程。所获得的知识可用于日常射流疏浚作业中, 并可作为远场模型和中场模型的输入参数。这些模型是为了优化有泥层的港口和航道中的射流疏浚而开发的。例如, 图 15 显示了射流疏浚造成的泥层的时间序列, 该泥层通过水槽中的射流水沿平坦泥床运输。现代测量技术使我们能够测量射流疏浚造成泥层的物理特性, 例如羽流速度, 泥浆的流变性 (参见 Shakesel et al., 2019), 射流疏浚造成泥浆层的密度和高度以及施工参数 (例如泵压, 射流挖泥船的速度, 射流与泥床之间的距离等) 的影响。



图 14 进行实验室试验以优化施工并了解射流疏浚的物理原理

5 射流疏浚造成的港口和航道淤泥区的适航水深问题

有泥层的港口和航道中的射流疏浚可以大大减少适航水深。射流疏浚造成的泥层厚度将影响通过标准多波束测量测得的水深。在这种情况下, 国际航运协会 (PIANC) 的航海底部方法可以解决此问题。根据国际航运协会的说法, “航海底部是指底部的物理特性达到临界极限的水平, 超过该极限后, 与船舶龙骨的接触会对可控制性和操纵性造成损害或不可接受的影响” (PIANC, 2014 年)。通常, 密度和阻

屈服力被用作底质的物理特征 (Kirichek et al., 2018)。密度和屈服力的临界极限通常分别为 $1200\text{kg}/\text{m}^3$ 和 100Pa 。这样得出的结果是, 当沉积物的密度值低于 $1200\text{kg}/\text{m}^3$ (或屈服力值低于 100Pa) 时的深度可以被认为是通航的, 因此可以包括在通航水深的设计中。

图 16 显示了射流疏浚后在含有泥浆层的港口中应用国际航运协会的海底密度和屈服力的测量结果。标准的多波束回声测深表明水深为 23.95m (水 - 泥水位)。但是, 射流疏浚造成的泥浆密度相对较低 ($<1200\text{kg}/\text{m}^3$), 强度较弱 ($<100\text{Pa}$)。因此, 可以应用航海底部方法。无论采用基于密度的 ($1200\text{kg}/\text{m}^3$) 的适航标准还是基于屈服力的 (100Pa) 适航标准, 都额外增加了 2m 的可通航水深。

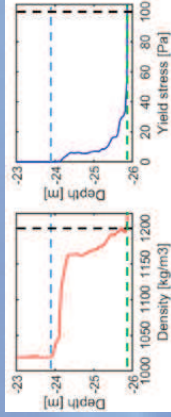


图 16 在射流疏浚之后应用航海底部方法的示例
与基于多波束的标准航行标准相比, 基于密度 ($1200\text{kg}/\text{m}^3$) 或基于屈服力 (100Pa) 的标准可为通航水深增加 2m

结论

本文着重于结合了监控、数值建模和实验室实验获得的见解。该研究着重于流体泥浆的特性, 但也包括了由此产生的沉积物羽流。两种机制都很重要, 而且取决于流体动力学条件。一个射流疏浚试点证明射流疏浚可有效地流化泥浆沉积物, 试点提供了射流疏浚后对泥浆特性高质量的定量和定性监测。此信息用于微调挖泥船羽流特性的近场 3D CFD 模型。射流疏浚羽流层厚度和射流疏浚

作者简介:

A. Kirichek 荷兰三角洲学院 (Deltares) 生态系统与沉积动力学系, 荷兰代尔夫特理工大学土木工程与地球科学学院

水利工程学系。

K. Cronin 荷兰三角洲学院 (Deltares) 生态系统与沉积动力学系。

L. de Wit 荷兰三角洲学院 (Deltares) 生态系统与沉积动力学系。

产量估算值用作输入远场模型。远场模型用于确定射流疏浚羽流在不同潮汐和排放条件下的传播方向, 有多少沉积回港口, 以及有多少随着逐渐而被冲出海洋。该模型还用于测试不同的弃置低点以减少回流。通过结合现场测量, 流体泥浆特性的实验室实验以及最新的建模方法, 不仅获得了射流疏浚用作维护型疏浚策略的最佳方法的新见解, 而且还在这些技术的发展过程中降低了港口的成本。

参考文献:

- Kirichek A, Chassagne C, Winterwerp H, Vellinga I. (2018). How navigable are fluid mud layers? Terra et Aqua 151: 6-18.
- Kirichek A, Rutgers R. (2019). Waterinjection dredging and fluid mud trapping pilot in the Port of Rotterdam. Proceedings for CEDA Dredging Days, Rotterdam, the Netherlands.
- Kirichek A, Shakkeel A, Chassagne C. (2020) Using in situ density and strength measurements for sediment maintenance in ports and waterways. J. Soils Sediments, 20: 2546-2552.
- Parker G, Garcia M, Fukushima Y, Yu W. (1987) Experiments on turbidity currents over an erodible bed. Journal of Hydraulic Research, 25:1, 123-147.
- PIANC (2014). Harbour Approach Channels - Design Guidelines, Report 121, PIANC, Brussels.
- Shakkeel A, Kirichek A, Chassagne C. (2019) Rheological analysis of mud from Port of Hamburg, Germany. J Soils Sediments 19: 1-10.
- Sigwald R, Ledoux S, Spencer K. (2015), Water Injection Dredging Guidance document.
- Wit L. de (2019). 3D CFD modelling of hopper sedimentation. Proceedings for CEDA Dredging Days, Rotterdam, the Netherlands.

世界陷入沙荒了吗?!

The World is Hungry for Sand?!

叶清华

我们为什么需要沙子?

世界人口不断增长, 并越来越多地聚集于城市。因此, 建筑和基础设施行业对优质沙的需求最高。《科学》(Science) 杂志中, 美欧科学家的报告称, 2017 年每年处理近 300 亿吨沙子和碎石, 用于基础设施和土地开垦。据《经济学人》杂志估算, 2011 年至 2015 年间, 仅在中国就建造了 3200 万套住房和 450 万公里的道路。

在高度发展的城市建设过程中, 道路、混凝土等基础设施建造需要大量的沙, 玻璃的大量使用, 电子产品生产和页岩气采气过程中填压等等相关工业发展同样需要大量沙子和碎石。为满足这些需要, 每年需要采集或疏浚沙石量高达数十亿吨。通常批评者认为, 这些采沙的过程会对生态系统有很大影响, 对抗洪安全也有影响。而且, 另一个重要原因是气候变化导致海平面上升沿海侵蚀, 也需要更多的沙子来抵御海岸侵蚀的威胁, 导致全球对沙子需求增加。

为何沙成为稀缺资源?

尽管沙漠覆盖了地球上三分之一以上的陆地表面, 但由风驱动产生的沙漠沙土并不适用于建筑。这种沙子性状不均匀, 无法提供足够的结构间咬合力。

同样, 需求的空间不均匀性也使对沙子的需求更高。某些地区能提供的总沙量可能有限。或者, 工程项目可能距离沙源太远, 并非所有国家都有自己的沙储备。但是, 所有国家确实都需要沙子。如果要可持续地采沙, 就必须在国际上解决这个问题。因此, 地质地貌服务、研究以及水利, 海岸管理在这里可以发挥重要作用。

沙源枯竭导致的问题: 犯罪, 安全, 生态

2018 年, 在《科学》杂志上, 德国一体化生物多样性

研究中心的 Aurora Torres 与其同事 Jodi Brandt, Kristen Lear 和 Jianhua Liu 共同发表了“沙源枯竭带来迫在眉睫的悲剧”。作者们认为, 现在沙的匮乏是“一个新兴的问题, 同时这个问题会带来重大社会政治、经济和环境后果。”

由于沙石资源匮乏, 而市场需要变大, 采沙变得野蛮, 不理性, 甚至导致重大犯罪。因为开采量巨大, 大部分采沙仍不受管制, 而且监管和执行成本过高。在此情况下, 资源开发者争相最大限度地采沙而未考虑社会或生态后果。即使对采沙进行管理, 但沙的来源广泛, 沙源也容易接近, 以至于非法开采和贸易很普遍。在印度, 犯罪团伙无计划地盗采河沙, 改变河流走向, 破坏了水产养殖栖息地, 并摧毁了湖泊和湿地。2016 年, 《欧洲犯罪学杂志》发表了由 Aunshul Rege 和 Anita Lavorgna 撰写的“环境有组织犯罪”研究报告, 其中详细介绍了“印度和意大利有组织犯罪集团进行的非法土沙开采活动”。在某些情况下, 最终那些试图阻止掠夺的有良知的人们会被失踪或被谋杀。根据印度最高法院的说法, “速度惊人的无限制采沙”对鱼类、水生生物和鸟类意味着巨大的“灾难”。

在东南亚, 新加坡用于建造海陆的大量沙石进口引发了与印度尼西亚、马来西亚、越南和柬埔寨等国之间的国际争端。新加坡是世界上最大的沙子进口国, 每年使用大型舰队疏浚海底数百万吨的沙子, 破坏海洋栖息地, 并整体消灭了 20 多个岛屿, 这些沙子用于西海连地, 新加坡的土地面积每年扩大超过一百万平方米。印尼, 马来西亚和越南现已禁止或限制向新加坡出口沙石, 尽管犯罪团伙仍从这些地区开采沙石。

在柬埔寨, 疏浚对红树林、海草床、河流、河口和海底地貌造成威胁。研究人员将采沙与濒临灭绝物种的减少