



海岸河口工程研究论丛

浮泥形成和运动特性 及其应对措施

庞启秀 著

FORMATION AND MOTION CHARACTERISTICS OF
FLUID MUD AND COUNTER MEASUREMENTS



人民交通出版社
China Communications Press



海岸河口工程研究论丛

X/03
20144

浮泥形成和运动特性 及其应对措施

庞启秀 著

FORMATION AND MOTION CHARACTERISTICS OF
FLUID MUD AND COUNTER MEASUREMENTS



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书依据大量的浮泥现场观测资料并结合室内的浮泥多个试验,深化研究了浮泥的形成原因、基本特性和运动机理,进而定性定量地分析了两种典型边界条件下的浮泥形成和消失过程,在此基础上研究了两种浮泥应对措施即利用浮泥作为水深的适航水深技术和减少高含沙水体进入航道的潜堤工程。其中大量的浮泥数据特别是珍贵的浮泥现场测量数据可为浮泥研究提供第一手的资料,而拟合出的多个浮泥计算式可用于浮泥定量分析和数学模型研究。

本书可供海岸河口工程研究人员使用,也可供相关院校师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

浮泥形成和运动特性及其应对措施 / 庞启秀著

· 一 北京:人民交通出版社,2013.12

ISBN 978-7-114-10743-6

I. ①浮… II. ①庞… III. ①浮泥-形成-研究②浮泥-特性-研究 IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 190073 号

海岸河口工程研究论丛

书 名:浮泥形成和运动特性及其应对措施

著 作 者:庞启秀

责任编辑:韩亚楠 崔 建

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:720×960 1/16

印 张:8

字 数:135 千

版 次:2013 年 12 月 第 1 版

印 次:2013 年 12 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-10743-6

定 价:32.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

序

海岸、河口是陆海相互作用的集中地带,自然资源丰富,是经济发达、人口集居之地。以我国为例,我国大陆海岸线北起辽宁省的鸭绿江口,南至广西的北仑河口,全长 18000km;我国海岸带有大大小小的入海河流 1500 余条,入海河流径流量占全国河川径流总量的 69.8%,其中流域面积广、径流大的河流主要有长江、黄河、珠江、钱塘江、瓯江等。海岸河口地区居住着全国 40% 左右的人口,创造了全国 60% 左右的国民生产总值,长三角、珠三角、环渤海等海岸河口地区是我国经济最为发达的地区,是我国的经济引擎。

人类在海岸河口地区从事经济开发的生产活动涉及很多的海岸河口工程,如建设港口、开挖航道、修建防波堤、围海造陆、保护滩涂、治理河口、建设人工岛、修建跨(河)海大桥、建造滨海火电厂和核电厂等为了使其经济、合理、可行,必须要对环境水动力泥沙条件有一详细的了解、研究和论证。人类与海岸河口工程打交道是永恒的主题和使命。

交通运输部天津水运工程科学研究所海岸河口工程研究中心的前身是天津港回淤研究站,是专门从事海岸河口工程水动力泥沙研究的专业研究队伍,致力于为港口航道(水运工程)建设和其他海岸河口工程等提供优质的技术咨询服务。多年来,海岸河口工程研究中心科研人员的足迹遍布我国大江南北及亚洲的印尼、马来西亚、菲律宾、缅甸、越南、柬埔寨、伊朗和非洲的几内亚等国家,研究范围基本覆盖了我国海岸线上大中型港口及各种海岸河口工程及亚洲、非洲一些国家的海岸河口工程,承担了许多国家重大科技攻关项目和 863 项目,多项成果达到国际

先进水平和国际领先水平并获国家及省部级科技进步奖。海岸河口工程研究中心对淤泥质海岸泥沙运动规律、粉沙质海岸泥沙运动规律和沙质海岸泥沙运动规律有深刻的认识,在淤泥质海岸适航水深应用技术、水动力泥沙模拟技术、悬沙及浅滩出露面积卫星遥感分析技术等方面无论在理论上还是在实践经验上均有很高的水平和独到的见解。中心的一代代专家们为大型的复杂的项目上给出正确的技术论证和指导,使经优化论证的工程方案得以实施,如珠江口伶仃洋航道选线研究、上海洋山港选址及方案论证研究、河北黄骅港的治理研究、江苏如东辐射沙洲西太阳沙人工岛可行性及建设方案论证、瓯江口温州浅滩围涂工程可行性研究、港珠澳大桥对珠江口港口航道影响研究论证、天津港各阶段建设回淤研究、田湾核电站取排水工程研究等,事实证明这些工程是成功的。在积累的成熟技术基础上,主编了《淤泥质海港适航水深应用技术规范》、《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程》、《海港水文规范》泥沙章节,参编《海港总体设计规范》和《核电厂海工构筑物设计规范》等。

本论丛是交通运输部天津水运工程科学研究所海岸河口工程研究中心老一辈少一辈专家学者多年来的水动力泥沙理论研究成果、实用技术和实践经验的总结,内容丰富、水平先进、科学性强、技术实用、经验珍贵,涵盖了水动力泥沙理论研究,物理数学模型试验模拟技术研究,水沙研究新技术、水运工程建设、河口治理、人工岛开发建设实例介绍等海岸河口工程研究的方方面面,对从事本行业的技术人员学习和拓展思路具有很好的参考价值,是海岸河口工程研究领域的宝贵财富。

本人在交通运输部天津水运工程科学研究院工作 20 年(1990—2009),曾经是海岸河口工程研究中心的一员,我深得老一代专家的指导,同辈人的鼓励和青年人的支持,我深得严谨治学、求真务实氛围的熏陶,留恋之情与日俱增。今天,非常乐见同事们把他们丰富的研究成果、实践经验、成功的工程范例著书发表,分享给广大读者。相信本论丛的

出版将会进一步丰富海岸河口水动力泥沙学科内容,对提高水动力泥沙研究水平、促使海岸河口工程研究再上新台阶有推动作用。希望海岸河口工程研究中心的专家们有更多的成果出版发行,使本论丛的内容越来越丰富,也使广大读者能大受裨益。

交通运输部科技司司长

赵有明

2012年11月

前 言

我国许多淤泥质海港存在较为严重的泥沙回淤,甚至在台风或寒潮作用下还会产生强淤并以浮泥形式存在。浮泥是淤泥质海岸、河口细颗粒泥沙运动出现的特有现象,对于航道维护和环境问题都有着重要影响。针对浮泥,前人已经开展了大量的研究,但浮泥一直是泥沙研究中的难点,主要是缺少大量可靠的现场观测和室内试验数据,导致对现场的一些浮泥现象尚难以给出全面的解析。

基于前人的优秀研究成果,本书依据多年积累的浮泥现场观测资料,并结合试验室的浮泥起动和流动水槽试验、浮泥流变试验和静水密实试验等,深化研究了浮泥的形成原因、基本特性和运动机理,进而综合考虑浮泥密实、起动冲刷,定性、定量地分析了现场环抱式港池及连接航道(台电煤港)和开敞式航道(连云港外航道)的浮泥形成和消失过程。在此基础上,研究了两种浮泥应对措施,即利用浮泥作为水深的适航水深技术和减小浮泥进入航道的潜堤工程,特别是适航水深技术在国内多个港口得以成功应用,取得了巨大的经济效益和显著的社会效益。另外,拟合出了长期自然密实淤泥质边滩密度垂线分布、浮泥流变参数、浮泥起动、淤泥质边滩临界起动剖面、浮泥垂线输移、浮泥冲刷系数、潜堤高程等多个计算式,可用于淤泥质海岸港口浮泥定量分析和数学模型研究,并为减淤整治工程设计提供参考;而大量的浮泥数据特别是珍贵的浮泥现场测量数据也可为相关研究提供第一手的资料。

特别感谢交通运输部天津水运工程科学研究院的张瑞波工程师,和我一起完成了本书中的多个浮泥试验和部分现场观测工作。天津大学

白玉川教授,交通运输部天津水运工程科学研究院的蒋睢耀、张华庆、杨华、杨树森、孙连成、韩西军、李孟国、闫新兴等人都曾经多次指导过我开展的浮泥科研项目,贾志博、韩志远、肖辉、陈纯、刘涛、温春鹏等人都曾直接参与过浮泥试验,天津水运工程勘察设计院的多名同志则参加了部分现场测量工作。本书凝聚了他们的汗水和智慧,特此致谢!

受作者水平所限,书中欠妥和错误之处在所难免,真诚欢迎读者批评指正。

庞启秀

2013年8月1日

Contents 目录

1 绪论	1
1.1 背景	1
1.2 浮泥形成、运动和应对措施研究进展	2
1.3 主要研究内容	11
2 浮泥形成和分布特征	12
2.1 浮泥形成过程和机理	12
2.2 浮泥的形成条件	27
2.3 浮泥厚度平面分布和密度垂线分布特征	33
2.4 小结	34
3 浮泥流变特性研究	36
3.1 流变模型	36
3.2 流变试验	37
3.3 流变试验结果	41
3.4 宾汉屈服应力与临界起动切应力的关系	45
3.5 小结	46
4 浮泥界面失稳和泥沙起动研究	47
4.1 浮泥界面稳定性研究进展	47
4.2 浮泥界面失稳(泥沙起动)试验	51
4.3 小结	62
5 浮泥整体运动特性研究	63
5.1 浮泥垂向输移和冲刷	63
5.2 浮泥流动特性	68
5.3 浮泥密实	74
5.4 现场浮泥运动现象的解析	77

5.5 小结 85

6 浮泥应对措施——潜堤 86

6.1 潜堤研究概况 86

6.2 已建潜堤减淤工程的效果和机理分析 87

6.3 试验设计和开展 92

6.4 试验结果分析 94

6.5 潜堤高程的推荐值 98

6.6 小结 98

7 浮泥应对措施——适航水深技术 99

7.1 适航水深的概念 99

7.2 适航水深技术的研究与应用 100

7.3 适航水深现场测量 105

7.4 适航水深应用时的注意问题 109

7.5 尚需解决的问题 109

7.6 小结 110

参考文献 111

1 绪 论

1.1 背 景

我国有众多大中型的淤泥质海港,如天津港、连云港、上海港、宁波港、汕头港、广州港、深圳港和珠海港等,其中有些港口泥沙回淤严重,维护疏浚量大,给港口企业带来较大的经济压力,甚至有些港口在台风或寒潮作用下还会产生骤淤碍航现象,给船舶的正常通航带来困难。这些淤泥质港口的回淤物主要由粘性细颗粒泥沙组成,密实缓慢,淤泥重度垂线分布不均匀,由表向下逐渐增大,表层重度较小的淤泥具有类似于水的流动特性,称为浮泥。浮泥是淤泥质海岸、河口细颗粒泥沙运动出现的特有现象,对于航道维护和环境问题都有着重要影响。

浮泥是泥沙研究的一个难点。从对浮泥的研究成果看,目前对于浮泥形成和运动规律已有一定的认识,主要是细颗粒泥沙悬扬后,随水流运移到航道或掩护区后发生落淤,进而密实成浮泥,或者海床表层淤泥软化并在水平方向发生流动后聚集在一起而形成浮泥。但由于缺乏大量可靠的数据,特别是缺乏能跟动力条件紧密联系的有关浮泥形成与运动过程的实测数据,导致难以解析现场中的一些浮泥现象,因此需要依据现场实测资料,并结合室内试验来综合研究浮泥的形成条件、浮泥基本特性和运动机理,进而解析浮泥运动过程,并为浮泥应对措施的研究提供基础。另外,现有的研究成果也不能为数学模型提供所需要的一些参数,导致目前的数学模型还不能很好地模拟浮泥运动。因此研究浮泥的形成和运动机理将有助于提高对泥沙的认识水平,在学术上将具有重要的意义。

当港池、航道水深不能满足通航要求时,为了保障安全,通常做法就是将这部分回淤泥沙挖走,这将花费大量的资金,给港口企业产生较大的经济压力,还可能因抛泥而造成对环境的二次污染;而且由于上层回淤物主要为浮泥,单位体积内的含沙数量少,导致维护疏浚效率较低,若强行将其挖除,挖泥船将不得不“消耗大量能源而造成严重的环境污染”,同时也将降低港池泊位的利用率。因此迫切需要掌握淤泥质港口的浮泥形成与运动特性,并在此基础上提出浮泥应对措施,减小进入港池航道的浮

泥数量,或者充分利用部分浮泥而减小维护疏浚量。这也符合《2006—2020 年国家科技发展纲要》“坚持节能优先,降低能耗”的发展思路,“促进交通运输向节能、环保和更加安全的方向发展”。另外,浮泥问题也是一些新开挖航道(如连云港徐圩港区航道)设计所关心的重要问题,因为泥沙回淤预报时是否考虑浮泥以及浮泥存、流状态将对预报结果产生较大差异。因此浮泥研究具有十分重要的意义。

综上所述,无论是从工程整治减淤措施角度,还是从学术角度,都迫切需要开展浮泥的运动机理研究。目前,随着港口管理部门和工程建设部门对浮泥重视程度的提高,浮泥研究正成为细颗粒泥沙研究中的一个热点。同时,由于试验设备精度的提高和现场观测手段的丰富,使得全面解释浮泥的形成条件、基本特性和运动机理,并提出浮泥应对措施成为可能。

1.2 浮泥形成、运动和应对措施研究进展

1.2.1 浮泥的定义和形成

浮泥的定义,主要以含沙量或密度为判别参数,并结合流变特性进行界定,即以流变模型由牛顿流体转为宾汉流体时为浮泥的下限,当浮泥的流动性明显消失,流变参数随浮泥重度的增大而明显加大时为浮泥的上限。另外,还有学者^[1]综合考虑流变特性、平衡坡度、絮凝结构、界面波等因素来确定浮泥的界限。但不同学者采用的标准不同,为便于描述,按浮泥是否流动作为划分依据,将其简单划分为流动型和相对稳定型浮泥两大类。

一是流动型浮泥,文献[2]认为悬沙浓度介于 $3 \sim 30 \text{ kg/m}^3$ 时,絮凝沉速达到最大(为 $1 \sim 10 \text{ mm/s}$),当悬沙浓度进一步增加时沉速却迅速减小,在浓度为 $50 \sim 100 \text{ kg/m}^3$ 时,沉速变得很小(趋于0),此时粘度远大于纯水的粘度,但尚可以流动。文献[3]认为当粘性泥沙浓度超过凝聚点(Gelling Point) ($10 \sim 100 \text{ kg/m}^3$) 时,称为浮泥。其表现出明显的非牛顿体,或稳定或以层流方式流动,而且其动力与上层水流关系不大。因此这些文献中定义能够流动的浮泥密度为 $1030 \sim 1060 \text{ kg/m}^3$,粘度较小。

二是相对稳定型浮泥,当浓度大于 $50 \sim 100 \text{ kg/m}^3$ (转化为密度 $1030 \sim 1060 \text{ kg/m}^3$) 时,粘度已经足够大到阻止其发生流动,尽管其可沿足够陡的斜坡向下以蠕动的粘性流运动^[2];更多的文献界定的浮泥对应的含沙浓度要远大于 100 kg/m^3 ,综合国内外的成果^[1,4~8] 界定浮泥密度为 $1030 \sim 1250 \text{ kg/m}^3$ 。特别地,国内研究人员定义的浮泥大多为相对稳定状态。

针对浮泥的形成原因,已取得了较为一致的认识^[5,8~13],浮泥的形成主要为细

颗粒泥沙悬扬后,随水流运移到航道或掩护区而落淤,粘性土悬沙在沉降过程中,由于絮凝作用,使得泥沙颗粒形成絮凝颗粒,到一定浓度后絮凝颗粒聚集成蜂窝状高含沙絮团结构,并与上层水体间出现清晰界面,当浓度大到足以改变流变特性时,悬浮物将变成浮泥;或者海床表层淤泥软化后在水平方向发生流动后聚集在一起,或者具有一定坡度的海滩、航槽边坡或峡谷坡面上的泥沙在大风浪作用下起动后形成高含沙水体,然后在重力作用下向坡脚运移汇聚而形成浮泥。

1.2.2 浮泥运动特性研究

淤泥质海岸如连云港航道、台电煤港等存在台风强淤现象,强淤发生后回淤物是否以浮泥状态存在,浮泥是否会消失,而消失过程中的主要运动形态是密实还是随水流运动而流失等问题尚不清楚。航道浮泥形成后的运动形式,根据文献研究成果和著者多年来在这方面的现场观测及室内试验结果,认为按浮泥运动形式及对应的动力条件可分解成两种:

(1)在重力分力、水动力综合作用下以浮泥流形式沿底床斜坡运动,或者在水动力如波浪或水流作用下起动、悬扬并以悬移质随水流运动;

(2)浮泥留在港池航道中,在重力作用下逐渐密实沉降。

当然在第一种运动方式中也会同时伴随着发生密实。

浮泥在波浪作用下的运动试验研究较多,如研究波浪作用下的浮泥起动输移^[14~17]、浮泥与波浪相互作用^[18~20]、波浪在浮泥床面上的衰减^[21~26]等。但在以潮流为主要动力的地区,浮泥的流失主要是由水流造成的。如深圳港大铲湾港区和广州港南沙港区,港池局部长期存在较厚的浮泥,但航道中的水流速度较大,多次测量都没有发现浮泥^[27~29];再如连云港外航道,2007年台风“韦帕”产生了0.5m厚的浮泥,但3周后再次测量发现浮泥已经消失^[30];另外,长江口深水航道也存在浮泥生成与消失的现象。针对水流作用下的浮泥起动或运移已有大量的研究成果^[1,2,31~39],但许多现场的浮泥运动现象还是难以解释,因此尚需要依据现场观测资料,结合室内试验和这些成果,综合研究浮泥在水流作用下的运动,进而解析浮泥现象。

浮泥流变试验是研究浮泥运动的一个重要手段,正如文献[2]所指出的,浮泥流变特性的测定是否合理对浮泥输运预测的影响比水动力的影响还大。浮泥为非牛顿流体,流变特性是浮泥的基本特性之一,是表征浮泥细颗粒泥沙之间多重物理—化学内聚力和斥力的综合特性参数。淤泥粘性、剪切应力等流变参数与淤泥的粒径、重度、粘性土含量、含水量(或含沙量)及其环境中所含的离子种类与数量有关。针对浮泥流变特性的研究国内外开展了大量的研究^[40~48],建立了多种流变模型。但由于问题的复杂性,迄今为止,缺乏深入的研究和统一的认识。因此,有

必要开展浮泥的流变试验,测量得到某些浮泥参数,并与浮泥起动试验结果对比分析,进而为浮泥运动机理的理论分析研究提供科学依据。

1.2.3 淤泥质港口浮泥应对措施研究

解决淤泥质港口泥沙淤积问题主要有两种途径:一是减小进入港池航道的泥沙数量;二是针对已经回淤在港池航道中的泥沙,采取更加低碳环保(减小能源消耗)的措施来消除其对航行安全的影响。

针对已经淤积在航道的淤泥,目前最好的解决措施之一是适航水深。港口水深测量通常采用高频测深仪,其反射面为水—淤泥的交界面,经大量实测资料证实这一反射面淤泥重度约为 10.3kN/m^3 ,因此,作为港口通航使用依据的图载水深是指当地理论基面至重度 10.3kN/m^3 淤泥面的距离。而所谓的适航水深,则是原高频测深仪所测水深加上其反射面以下能确保船舶安全航行与停泊作业的小重度回淤层下界面之厚度。目前国内正式、公开应用适航水深的港口,有天津港、国华台山电厂煤港、连云港、深圳港大铲湾港区、广州港南沙港区、深圳港西部港区和珠海电厂煤港 7 个港口或港区,本文著者曾经通过试验研究确定了后 6 个港口的适航水深淤泥重度值^[49~54]。

但适航水深技术的应用,只是起到缓解浮泥给通航造成的压力、延长维护疏浚周期的作用,并不能从根本上解决港口存在的浮泥危害,港方仍需进行维护性疏浚。针对适航水深技术尚需要迫切解决的是如何减缓浮泥的密实速度,延长使用周期。

另一种解决浮泥问题的思路是借助工程整治措施,即采取工程措施降低浮泥量,如日本的熊本港和印尼的 Semen Tuban 港^[55]均采用潜堤来降低淤积量。但由于目前浮泥的形成及运动机理尚不清楚,而物理模型和数学模型难以模拟浮泥的运动情况,导致工程措施难以设计、实施,这也是国内外针对浮泥的整治工程措施相对较少的一个重要原因。随着研究手段的丰富和试验设备的精度提高,以及有关浮泥现场观测资料的积累,有必要在掌握浮泥的形成和运动机理的基础上,开展潜堤研究,特别是其关键参数——潜堤高程的确定,从而为有关工程措施的设计提供科学依据。

综上,有关浮泥形成与运动的数据,特别是与动力条件相匹配的浮泥现场观测资料的匮乏是浮泥研究水平提升的主要瓶颈。浮泥研究应侧重于现场观测及对资料的分析,因此本文将主要依据著者多年来的现场实测和收集的浮泥资料来开展研究。但同时由于现场资料反映出的都是现场多种因素综合作用下的浮泥变化情况,因此还需要结合流变试验、浮泥起动试验等室内试验来进一步分解各因素的影响,以期更好地了解浮泥运动机理,并在此基础上研究浮泥应对措施。

1.2.4 大风浪期间含沙量及风后浮泥现场观测技术研究

港池航道中的浮泥主要来源于风浪作用下再悬浮的滩面泥沙,而浮泥也会逐渐密实或在波浪潮流作用下再悬浮、运移。因此应注重在大风浪期间开展水文观测和风后淤泥物质组成、厚度、密度等现场观测,进而研究滩面上的含沙量与波高、流速响应关系以及骤淤发生后航槽内的泥沙运动形式。相比于无风天或小风浪情况,大风天测量对仪器设备、测量技术的要求更高,同时,仪器率定模式可能有所不同,室内率定的可靠性也尚需现场验证。另外,骤淤发生后航道内的浮泥运动观测工作目前开展的相对较少,迫切需要对观测方法、时间安排等进行研究。

1) 大风浪期间含沙量观测

(1) 测量仪器

台风或寒潮期间,大风往往会持续多日并且产生较大波浪。为了保障安全,人员和船舶需要进港避浪。因此,大风浪期间的含沙量观测需要采用自容式测沙仪。常用的有光学和声学两类。光学测沙仪是利用光的穿透能力及反向散射、衍射原理,将信号转化为光电流,通过建立光电流与含沙量间的关系来测量含沙量,常用的仪器主要有 OBS 浊度仪、LISST、RBR 浊度仪和 ALEC ATU75W 浊度仪等;声学测沙仪,如 ADCP、AQUAScat 等,利用其声反向散射信号,经过标定计算出水体含沙量。使用声学测沙仪除受水生物污垢影响较小外,还可测量得到非侵入式的含沙浓度剖面,减小仪器对周边水体环境(包括含沙量)的影响,将光学仪器的单点测量变为浓度剖面,将有助于人们更好地认识泥沙运动。但声学方法估算悬移质浓度也有较大的局限:一是因为无法区分浓度还是颗粒粒径分布发生变化,导致将粒径分布的变化将会被误解为浓度发生变化;二是 ADCP 限定适用的最大颗粒粒径,超出粒径范围后误差增大,同时转换计算必须考虑声波在水体中的传输损失,标定较复杂,精度需分析。而 OBS 等光学类浊度仪以其简便、不易损坏、功耗低、后处理软件支撑等多方面的优点,在大风浪期间的连续自动观测中得到了更为广泛的应用。

(2) 仪器的率定

①率定的基本过程。对于仪器设备,首要的就是率定。浊度仪输出的是 NTU 或 Counts 值,因而需要通过率定,将浊度值转化为单位为 kg/m^3 的泥沙浓度值。率定时采用现场采集的海水和泥沙。从海水开始做起,然后向海水中逐渐添加泥沙,每加一次泥沙后将其搅拌均匀,测出仪器的浊度值,完成后用量筒取出 1000mL 的水样,采用两层滤纸进行过滤,并进行三次洗盐,完成后叠好再进行烘干,最后利用万分之一天平称重。测量浊度值按照预设的含沙量 $0\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $0.1\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $0.2\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $0.4\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $0.6\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $0.8\text{kg}/\text{m}^3$ ……来做,直到仪器最大量程为止。称出纸沙质量

后,算出相应的含沙量,从而得出含沙量与浊度值的率定曲线。

②率定模式的对比。对于光学仪器,浊度值与含沙量并不完全呈线性关系,如 kineke 认为,OBS 散射接收强度对泥沙浓度和泥沙粒径较为敏感,在含沙量小于 10kg/m^3 时,两者近似呈线性关系,含沙量在 1.0kg/m^3 以下时,线性相关度更高。因此,绘制率定曲线时,划分为大、小两种含沙量进行。以连云港徐圩海域大风天现场观测仪器的率定为例。在含沙量小于 1.0kg/m^3 时,RBR、ALEC ATU75W、OBS-3A自容式浊度仪均表现出良好的线性关系,如图 1-1 所示;在大含沙量时虽然 RBR、ALEC ATU75W 也表现出线性关系,但关系式的系数与小含沙量时略微不同,OBS-3A 则表现为非线性线关系(见图 1-2)。

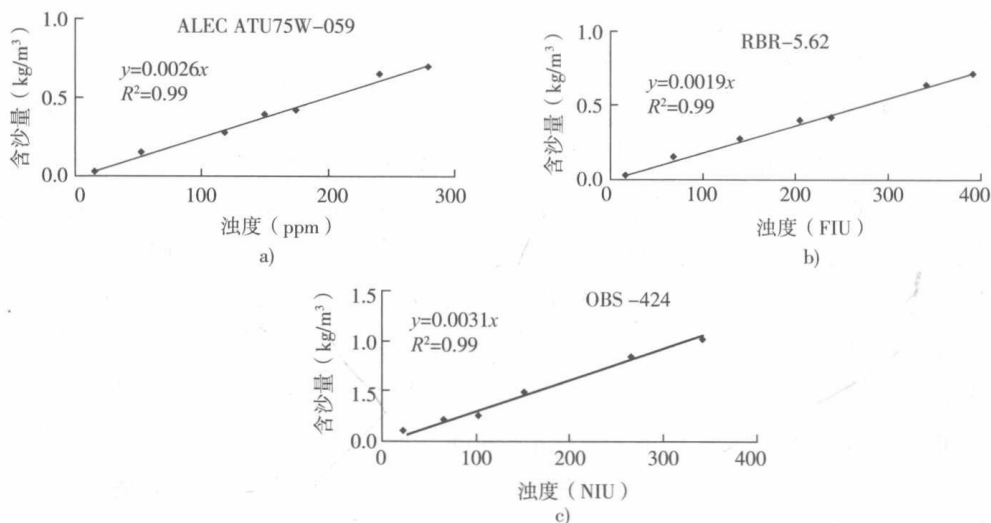


图 1-1 小含沙量时浊度与含沙量关系率定曲线

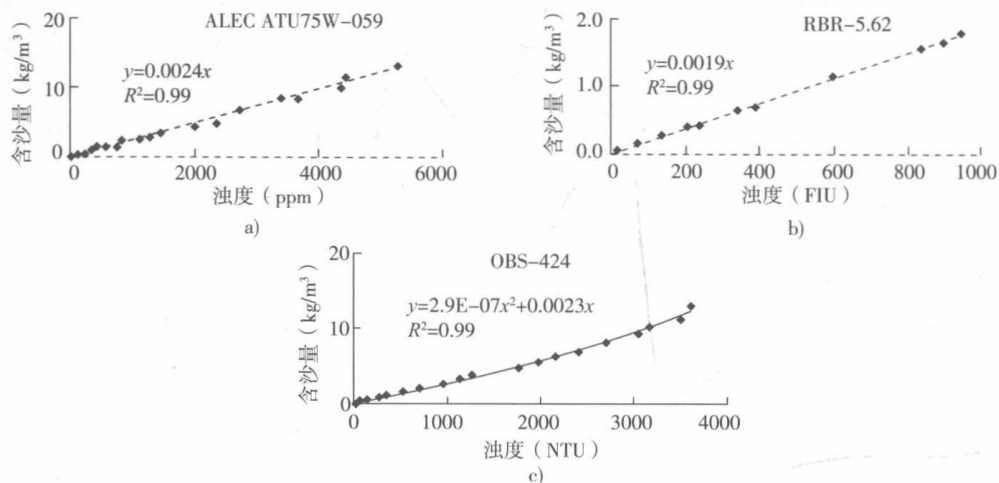


图 1-2 大含沙量时浊度与含沙量关系率定曲线

③现场率定与室内率定的验证。为了检验室内率定的可靠性,需要在现场对仪器进行率定。但是在小风天或无风天时现场含沙量一般较小,而大风天测量船又无法出海,因此现场率定可选在大风过后即刻开展,采用不同深度的含沙量来进行率定。在连云港徐圩海区曾于7~8级大风过后进行过现场率定,深度分为3层,即0.2H、0.5H、0.8H层,将每台仪器放到每一层进行测量,并同步在每层中用3个取水器取水样,作为率定水样,此次率定的最大含沙量为0.6kg/m³。为了更好地对比分析现场率定结果与室内率定结果,将现场率定的数据放到室内率定的关系线上,如图1-3所示。可知,在含沙量小于1.0kg/m³情况下,现场率定结果与室内率定结果吻合较好,因此OBS、RBR等浊度仪可以在室内率定,但前提是室内率定采用的样品应是现场采集的悬浮泥沙。

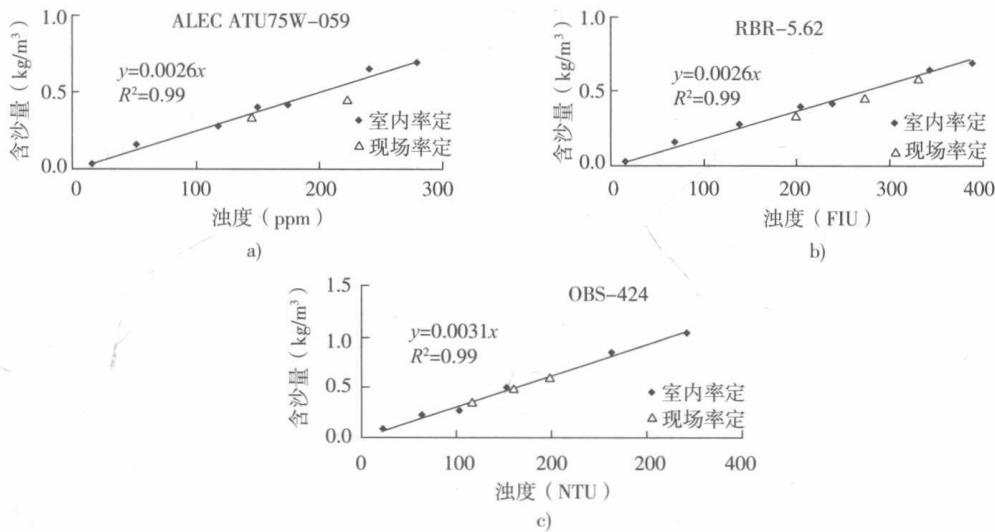


图 1-3 浊度仪现场率定与原室内率定结果对比

(3) 仪器的安装

①安装过程。大风浪期间的水文观测大多采用座底观测方式,每一测站都有仪器架和浮漂,仪器架有多种形式,常用的主要是三脚架,如图1-4所示,底盘采用带孔(便于仪器架的下放,并减小浮力)的钢板,可以有效地防止三脚架沉入淤泥层中;底宽大、高度低将有利于仪器架的整体稳定,因此距底1.5m处的OBS可固定在与底架牢固相连的单杆上,这样就可有效减小仪器架的高度,经现场实践证明,相比于高度为1.5m以上的仪器架(顶部可直接放置OBS),其稳定性显著提高。在连云港海域开展的多次大风期间的观测,每个观测点均采用3个自容式浊度仪,分别于表层水下0.5m(或1.0m)、泥面以上0.5m、泥面以上1.5m布设。先将自容式浊度仪(以及其他测流、浪的仪器)固定在仪器架上,并在仪器架的底部