

· 综 合 ·



淤泥质和粉沙质海岸分类标准研究*

刘红¹, 马兴华¹, 张华¹, 刘春嵘²

(1. 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120;

2. 厦门理工学院 土木工程与建筑学院, 福建 厦门 361024)

摘要: 在海岸性质分类标准研究成果的基础上, 根据黏粒含量 15%~25% 泥沙水力特性试验成果, 引入黏粒含量作为间接、量化指标开展淤泥质和粉沙质海岸分类标准深化研究。分析表明, 中值粒径大于 0.10 mm、黏粒含量几乎等于 0% 的海岸属于沙质海岸; 中值粒径介于 0.03~0.10 mm、黏粒含量小于 10% 的海岸属于粉沙质海岸; 中值粒径小于 0.03 mm、黏粒含量大于等于 25% 的海岸属于淤泥质海岸, 黏粒含量介于 10%~25% 的海岸定名为淤泥质与粉沙质过渡区海岸。研究成果为国内外淤泥质海岸研究在海岸工程的应用上提供了新的研究实例。

关键词: 淤泥质海岸; 粉沙质海岸; 海岸性质; 分类标准; 黏粒含量; 水力特性

中图分类号: P 642.13⁺3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)08-0001-06

Classification criteria of muddy and silty coasts

LIU Hong¹, MA Xing-hua¹, ZHANG Hua¹, LIU Chun-rong²

(1. Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China;

2. Faculty of Civil Engineering & Architecture, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China)

Abstract: Based on the previous research on the classification criteria of different coasts, we carry out an in-depth research on the classification criteria of muddy and silty coasts according to the hydraulic experiment of sediment with clay content between 15% and 25%. It is shown that coasts with median diameter greater than 0.10 mm and clay content no better than 0% are defined as the sandy coast. The coasts with median diameter between 0.03 mm and 0.10 mm and clay content less than 10% are defined as the silty coasts. The coasts with median diameter less than 0.03 mm and clay content greater than or equal to 25% are defined as the muddy coasts, and that clay content ranging from 10% to 25% are defined as transition zone between muddy and silty coasts. The results provide a new case study for the application of the domestic and foreign research on the coastal engineering of the muddy coast.

Keywords: muddy coast; silty coast; coast property; classification criteria; clay content; hydraulic characteristics

不同海岸性质的泥沙运动特性和回淤规律明显不同, 合理确定海岸性质是沿海港口航道规划和建设的关键技术问题之一, 而海岸性质分类标准是确定海岸性质的依据。

海岸性质的分类研究是地貌学研究的范畴,

从海岸的物质组成角度, 地貌学上可将海岸划分为基岩海岸、沙质海岸、粉沙淤泥质海岸^[1]。淤泥质和粉沙质海岸性质的研究是随着 20 世纪 80 年代以来黄骅港建港条件的深入研究而不断深化。黄骅港航道开挖后出现了骤淤现象, 一种介于沙质

收稿日期: 2016-03-23

*基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)课题(2012AA112509)

作者简介: 刘红(1978—), 男, 博士, 高级工程师, 从事河口海岸水动力和工程泥沙研究。

和淤泥质之间的海岸引起了港口、航道工程界的高度重视,其岸滩物质主要由粉沙组成,在浪、流作用下极易起动、运移,沉降后很快密实,形成难以开挖的“铁板砂”,港池、航道的骤淤问题成为制约粉沙质海岸港口发展的瓶颈,并造成了巨大的经济损失^[2]。经过10多年的研究,工程界对粉沙的泥沙运动特性及其淤积规律有了较为清晰的认识,港航工程界将粉沙淤泥质海岸细分为粉沙质海岸和淤泥质海岸。从海岸工程角度,海岸类型有基岩海岸、沙质海岸、淤泥质海岸和粉沙质海岸^[3]。

《海港水文规范》(1998年)^[4]根据底质中值粒径 d_{50} 将海岸划分为淤泥质海岸($d_{50} < 0.03$ mm)、粉沙质海岸(0.03 mm $\leq d_{50} \leq 0.1$ mm)、沙质海岸($d_{50} > 0.1$ mm)3种。工程实践表明,中值粒径接近但黏粒含量不同的海岸表现出完全不同的泥沙水力特性、泥沙运动特征和淤积规律。因此,采用单一的中值粒径指标作为海岸性质分类标准尚有不足,有待改进和完善。

连云港港徐圩港区航道邻近灌河口沙嘴,处于淤泥质海岸和粉沙质海岸的过渡地段,周边沉积环境复杂,该区域属于何种海岸性质,曾在业界存在重大争议和疑虑。2007—2010年,在连云港港30万吨级航道一期工程研究和设计阶段,对淤泥质和粉沙质海岸分类标准进行了改进^[5],克服了1998年《海港水文规范》单纯按中值粒径分类的缺陷,实现了海岸性质分类标准的完善,为连云港港30万吨级航道一期工程的立项解决了海岸性质这一关系航道稳定的关键技术问题^[6],并被纳入新修订的《海港水文规范》^[7]。2012年10月

连云港区25万吨级航道正式建成,2013年8月徐圩港区10万吨级航道完工。航道运行情况表明,航道回淤物为淤泥和浮泥,大风天实质性回淤厚度不超过0.3 m,证实了徐圩海域属于淤泥质海岸的科学论断和海岸性质分类标准的科学性。

由于缺乏黏粒含量15%~25%的泥沙水力特性成果,第一阶段分类标准尚无法准确划分黏粒含量15%~25%底质的海岸性质。根据黏性推断应属于淤泥质海岸,由于缺少此类底质类型的实际案例,其泥沙运动特性和回淤规律有待进一步验证。

2012—2014年开展了第2阶段深化研究,根据黏粒含量15%~25%的泥沙水力特性试验成果对海岸性质分类标准进行了优化和调整,实现海岸性质分类标准的完善,研究成果已纳入863成果^[8-9]。

1 泥沙水力特性试验研究

由于泥沙的沉降和固结特性是海岸性质分类标准划分的重要指标,本研究重点开展黏粒含量15%~25%泥沙静水沉降、固结试验,满足海岸性质分类标准深化研究的需要。

1.1 泥样配置

由于难以取得自然条件下黏粒含量15%~25%的泥沙样,本次研究采用徐圩海域淤泥样和灌河口沙嘴的沙样分别按照一定质量比例配制成黏粒含量15%、20%、25%的混合干样各40 kg,配置好的样品随机采集3个泥沙样品,采用激光粒度仪进行泥沙级配分析,配置的泥样能够满足黏粒含量15%~25%的泥沙水力特性试验研究的需要(表1)。

表1 泥样配置前后泥沙级配特征

项目	中值粒径/mm	<0.005 mm 黏粒含量/%	0.005~0.075 mm 粉粒含量/%	>0.075 mm 沙粒含量/%	沙样与淤泥样 质量配比
徐圩海域淤泥样	0.009	37.8	46.0	16.2	
灌河口沙嘴沙样	0.089	3.4	31.8	64.8	
混合样A(黏粒含量25%)	0.043~0.046(0.044)	24.4~25.1(24.7)	41.4~41.8(41.6)	33.4~34.2(33.7)	0.55:1
混合样B(黏粒含量20%)	0.060~0.062(0.061)	19.2~9.4(19.2)	39.9~41.4(40.1)	40.4~40.9(40.6)	1.35:1
混合样C(黏粒含量15%)	0.067~0.072(0.069)	15.5~15.9(15.6)	37.1~39.7(38.6)	44.4~47.4(45.8)	2.2:1

注:括号内数值为3个样品平均值。

1.2 试验过程

采用直径为 150 mm、高 3 m 的有机玻璃沉降筒对 3 组混合样开展静水密实试验^[10]。采用含盐度 25‰ 的盐水配置试验泥浆, 泥浆的初始密度 ρ_0 为 1 050 kg/m³。实验水温在 29~31 ℃, 在这一水温范围内, 含盐度 25‰ 盐水的密度 ρ_w 约为 1 015 kg/m³。

用泥浆泵将配置好的泥浆抽到沉降筒中, 当泥面高度升至 3 m 时, 停止注泥, 并观察絮凝、分选现象, 记录泥水界面变化情况。在沉降开始时, 泥水界面比较模糊, 由于粗颗粒的沙下沉速度快, 很

快沉积到沉降筒底部, 与上层泥浆形成明显的分界面, 大约 10 min 后, 就能观察到明显的泥水界面。在实验开始的一段时间, 泥水界面的高度下降得非常快, 试验过程中每隔 5 min 记录一次泥水界面的位置。随着时间的增长, 泥水界面的下降速度变得越来越缓慢, 记录的间隔时间逐渐增大。1 个月后, 泥水界面的位置已基本没有太大变化, 本次试验共记录 45 d 内泥水界面变化(图 1)。沉降固结后的泥沙有一个分层界面, 分层界面上是粒径较小的泥, 分层界面下是粒径较大的沙。

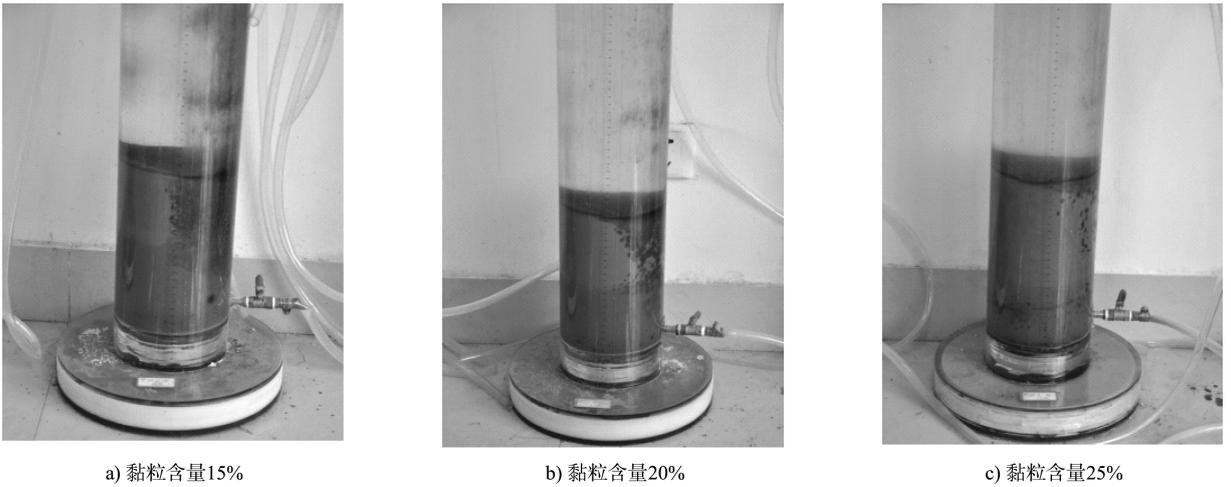


图 1 沉降筒中 45 d 后的泥沙状态

1.3 试验结果

Imai^[11] 将淤泥的沉降固结在时间上分为絮凝阶段、沉降阶段和固结阶段, 在空间上分为絮凝区、沉降区和固结区(图 2)。絮凝阶段泥水界面比较模糊; 沉降阶段泥水界面变得清晰, 且具有稳定的下降速度; 固结阶段泥水界面下降速度迅速减少。

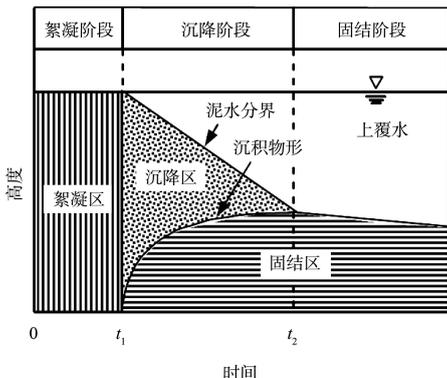


图 2 淤泥沉降固结模式^[11]

1) 沉降特性。

试验结果显示, 泥水界面变化最快的时间在 1 d 之内, 其中前 6 h 泥水界面高度随时间的变化较快, 6 h 以后变化较为缓慢(图 3)。

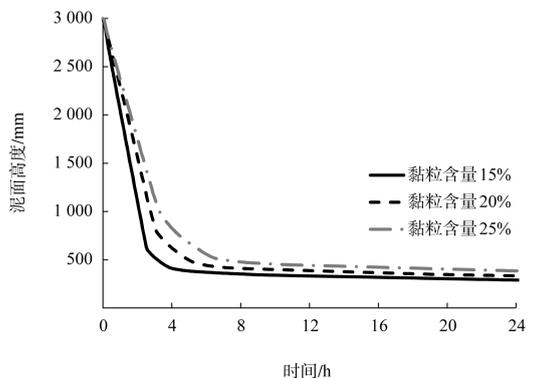


图 3 不同泥样泥水界面高度随时间的变化曲线

黏粒含量 15%、20%、25% 的泥样沉降固结试验过程中均产生了不同程度的分选沉降现象。黏

粒含量低的泥沙，沙粒和黏粒很难形成颗粒团一起沉降，因此，粗颗粒部分从泥沙中分离出来后，以单颗粒形式迅速沉降到底部；随着黏性颗粒含量的增大，颗粒之间的粘结力增强，分选现象减弱。根据试验结束后泥沙颗分成果分析(图4)，泥沙中值粒径随着深度的增加而增大，沙、泥之间分界明显。沉降试验开始后，3种泥沙样品中 >0.03 mm 的粗颗粒组分以单颗粒的形式迅速沉降到底部并固结，分选沉降后的泥沙中值粒径在 0.08~0.09 mm，黏粒含量在 4% 以内，沉降筒内厚度为 7~10 cm，表现出沙的性质。泥沙样品中 <0.03 mm 的细颗粒组分主要以絮团形式沉降，最上层泥沙的中值粒径大约在 0.005~0.007 mm，黏粒含量在 41%~50%，沉降筒内厚度在 10~14 cm，表现出淤泥性质。3种试验样中，黏粒含量为 15% 的泥沙样分选程度高，黏粒含量为 20% 的泥沙样分选程度其次，黏粒含量为 25% 的泥沙样分选程度较低。

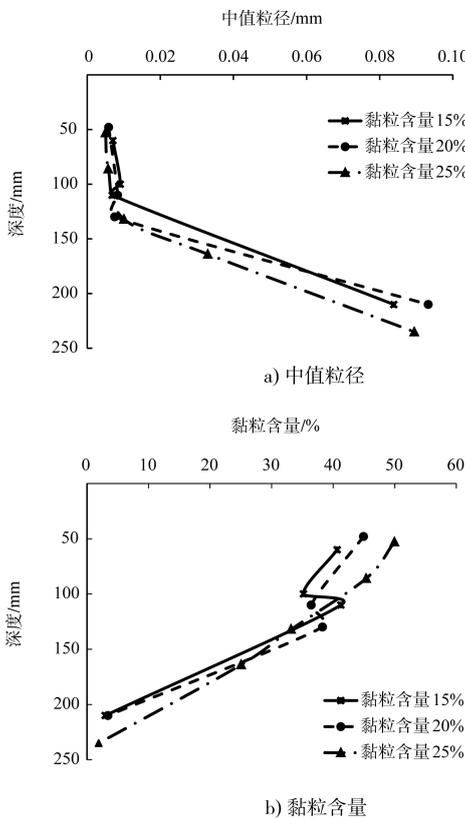


图4 试验结束后中值粒径和黏粒含量随深度变化

较快，当密度达到一定值时，泥样密度增加越来越缓慢，黏粒含量为 15%、20% 和 25% 的泥样沉降后密度达到 1 250 kg/m³ 的时间分别为 3.5、7 和 11 h；密度达到 1 400 kg/m³ 的时间分别为 30、121 和 131 h。泥样的密度随着泥层深度的增加而增大，表层泥样的密度大约为 1 200 kg/m³，表层泥沙中值粒径在 0.005~0.007 mm；而底层泥样的密度可达 1 800 kg/m³ 左右，底层泥沙中值粒径在 0.08~0.09 mm (图 5 和图 6, 表 2)。分析表明，泥沙黏粒含量越低，泥沙分选现象越明显，所能达到的最大密度越大，固结所需要的时间也越短。

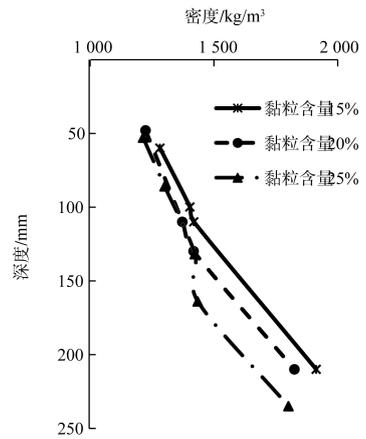


图5 密度随深度变化

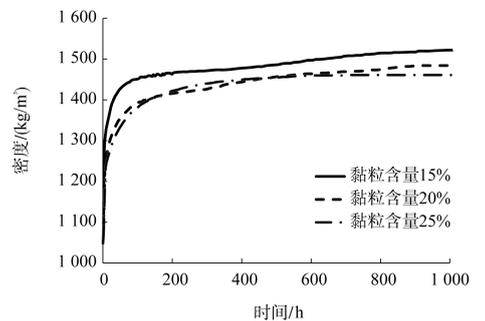


图6 密度随时间的变化曲线

3) 沉降、固结特性比较。

天津港淤泥、连云港外航道泥沙、徐圩航道泥沙沉降后密度达到 1 250 kg/m³ 的时间分别为 7、14 和 9 d^[12-13]。黄骅港泥沙沉降后密度达到 1 250 kg/m³ 的时间仅需几个小时。分析表明，黏粒含量 15%~25% 的泥沙沉降、固结特性与典型的淤泥质海岸、粉沙质海岸有所不同：

2) 固结特性。

在沉降固结的初始阶段，泥样密度增加速度

表 2 徐圩海域与灌河口沙嘴淤泥质和粉沙质海岸过渡区泥沙水力特性试验结果

中值 粒径/ mm	≤0.005 mm 的黏粒 含量/%	静水 沉速/ (cm/s)	泥沙 分选 程度	密实时间/h							
				密实至 1 050 kg/m ³	密实至 1 200 kg/m ³	密实至 1 250 kg/m ³	密实至 1 300 kg/m ³	密实至 1 350 kg/m ³	密实至 1 400 kg/m ³	密实至 1 450 kg/m ³	密实至 1 500 kg/m ³
0.069	15	0.026(絮凝沉速) 0.511(单颗粒沉速)	高	0(3 m 筒)	2.7	3.5	5.4	15	30	96	638
0.061	20	0.020(絮凝沉速) 0.393(单颗粒沉速)	较高	0(3 m 筒)	4.6	7.0	20.0	46	121	440	
0.044	25	0.017(絮凝沉速) 0.209(单颗粒沉速)	较低	0(3 m 筒)	5.9	11.0	30.0	64	131	409	

①黏粒含量 15%~25% 的 3 组泥样在沉降试验过程中均出现了分选沉降现象。

②黏粒含量 15%~25% 的泥沙密实至 1 250 kg/m³ 的时间明显短于典型淤泥质海岸, 但长于典型粉沙质海岸。

③黏粒含量 15%~25% 的泥沙沉降固结后下层黏粒含量普遍不足 10%、密度达到 1 800 kg/m³ 以上, 具有粉沙的沉降、固结特性, 上层黏粒含量普遍超过 30%、密度不超过 1 450 kg/m³, 具有淤泥的沉降、固结特性。

2 海岸性质分类标准

徐圩港区航道底质黏粒含量 34.4%~39.4%, 泥沙沉降后密度达到 1 250 kg/m³ 的时间为 9 d, 与

典型的淤泥质海岸相当, 无明显的分选沉降现象。本次研究表明, 中值粒径小于 0.03 mm、黏粒含量 15%~25% 的泥沙的沉降固结特性既不同于典型的淤泥质海岸, 也不同于典型的粉沙质海岸, 而将其作为淤泥质与粉沙质过渡区海岸更为合理。

综合前期研究成果, 提出淤泥质与粉沙质过渡区海岸这一新的海岸类型, 并对海岸性质分类标准进行了优化、调整, 实现海岸性质分类标准的完善: 将黏粒含量 25% 作为淤泥质海岸和淤泥质与粉沙质过渡区海岸的分界指标, 黏粒含量 10% 作为粉沙质海岸和淤泥质与粉沙质过渡区海岸的分界指标, 底质中值粒径按 2013 年《海港水文规范》^[7] 进行修正(表 3)。

表 3 海岸性质分类标准

海岸 性质	颗粒间 粘结力	水力特性		粒径特征		泥沙 运动 形式	含沙量	悬沙粒 径垂向 分布	输沙 动力
		沉降特性	固结特性	中值粒 径 d_{50}	<0.005 mm 的黏粒含量				
淤泥质 海岸	大	各层均匀沉降, 静水沉速一般为 0.05 cm/s, 有絮凝	固结速度较缓, 密度增加到 1 300 kg/m ³ 一般需要 10 余 d	≤0.03 mm	≥25%	以悬移质为主, 均匀悬浮	1) 正常天气含沙量低, 大风天近底层可达数公斤 2) 垂线分布表层低、底部高, 有时出现泥跃层	较均匀	潮流为主
淤泥质与 粉沙质过 渡区海岸	较小	存在明显的分选现象	介于淤泥质海岸与粉沙质海岸之间	≤0.03 mm	10%~25%	以悬移质为主	介于淤泥质海岸与粉沙质海岸之间	上细下粗	潮流为主
粉沙质 海岸	很小	可发生分选沉积现象, 静水沉速一般大于 0.1 cm/s	固结速度较快, 密度增加到 1 300 kg/m ³ 一般只需要 10 余 h, 甚至无固结过程	0.03~ 0.10 mm	<10%	兼具悬移质、推移质, 递变悬浮	1) 正常天气含沙量低, 大风天近底层高达数十公斤 2) 垂线分布斜线形为主, 风天常出现底部高浓度层	上细下粗, 存在垂向分异	波生流、潮流
沙质海岸	无			>0.10 mm	≈0%	推移质			波生流为主

1) 中值粒径大于 0.10 mm、黏粒含量几乎等于 0% 的海岸划分为沙质海岸;

2) 中值粒径介于 0.03~0.10 mm、黏粒含量小于 10% 的海岸划分为粉沙质海岸;

3) 中值粒径小于 0.03 mm、黏粒含量大于等于 25% 的海岸划分为淤泥质海岸;

4) 中值粒径小于 0.03 mm、黏粒含量介于 10%~25% 的海岸定名为淤泥质与粉沙质过渡区海岸;

5) 对于中值粒径小于 0.03 mm、黏粒含量小于 10% 的海岸, 根据推断应更接近于粉沙质海岸。

3 结语

1) 中值粒径小于 0.03 mm、黏粒含量 15%~25% 的泥沙在沉降固结时存在明显的分选现象, 沉降固结后下层黏粒含量普遍不足 10%、密度达到 $1\ 800\text{ kg/m}^3$ 以上, 底层泥沙中值粒径在 0.08~0.09 mm, 具有粉沙的沉降、固结特性; 上层黏粒含量普遍超过 30%、密度不超过 $1\ 450\text{ kg/m}^3$, 表层泥沙中值粒径在 0.005~0.007 mm, 具有淤泥的沉降、固结特性, 既不同于典型的淤泥质海岸, 也不同于典型的粉沙质海岸, 将其作为淤泥质与粉沙质过渡区海岸更为合理。

2) 综合本次和前期研究成果, 并结合黄骅港粉沙质研究成果, 对海岸性质分类标准进行优化、调整: 引入黏粒含量作为间接、量化指标对海岸性质分类标准进行优化完善: 中值粒径大于 0.10 mm、黏粒含量几乎等于 0% 的海岸属于沙质海岸; 中值粒径介于 0.03~0.10 mm、黏粒含量小于 10% 的海岸属于粉沙质海岸; 中值粒径小于 0.03 mm、黏粒含量大于等于 25% 的海岸属于淤泥质海岸, 黏粒含量介于 10%~25% 的海岸定名为淤泥质与粉沙质过渡区海岸。

3) 对于中值粒径小于 0.03 mm、黏粒含量小于 10% 的海岸, 尚缺乏研究数据, 但根据泥沙黏粒含量推断, 海岸性质可列入粉沙质海岸。

参考文献:

- [1] 陈吉余, 王宝灿, 虞志英, 等. 中国海岸发育过程和演变规律[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1989.
- [2] 侯志强, 杨华. 黄骅港外航道骤淤分析[J]. 水道港口, 2004, 25(4): 213-215.
- [3] 严恺, 梁其荀. 海港工程[M]. 北京: 海洋出版社, 1996.
- [4] JTJ 213—1998 海港水文规范[S].
- [5] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 华东师范大学河口海岸研究所. 连云港海床及岸滩稳定性研究[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2009.
- [6] 张华, 马兴华, 顾勇, 等. 连云港徐圩海域海岸性质研究[J]. 水运工程, 2011(4): 33-39.
- [7] JTS 145-2—2013 海港水文规范[S].
- [8] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司. 开敞海域淤泥质浅滩深挖槽航道总体设计关键技术研究[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2014.
- [9] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 连云港港 30 万吨级航道建设指挥部, 连云港港口集团有限公司, 等. 连云港深水航道岸滩稳定性及回淤研究与实践[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2015.
- [10] 厦门理工学院. 淤泥质和粉沙质海岸过渡区泥沙水力特性试验[R]. 厦门: 厦门理工学院, 2014.
- [11] IMAI G. Settling behavior of clay suspension[J]. Soils and Foundations, 1980, 20(2): 61-77.
- [12] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司. 连云港港 30 万吨级航道二期工程海床和岸滩稳定性研究报告[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2012.
- [13] 交通运输部天津水运工程科学研究所. 连云港徐圩港区航道泥沙水力特性试验研究报告[R]. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究所, 2009.

(本文编辑 郭雪珍)