



海岸河口工程研究论丛

黄骅港

回淤研究 (2001—2007年)

侯志强 杨 华 苗士勇 张书庄 著

STUDY ON THE SILTATION
OF THE HUANGHUA PORT



人民交通出版社
China Communications Press



海岸河口工程研究论丛

黄骅港回淤研究

(2001—2007年)

侯志强 杨 华 苗士勇 张书庄 著

STUDY ON THE SILTATION
OF THE HUANGHUA PORT



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书是《海岸河口工程研究论丛》中的一本,主要内容包括粉沙质海岸界定及来源、自然条件、泥沙水力特性、泥沙运移特性、外航道骤淤量及原因分析、黄骅港外航道淤积的统计预报、外航道淤积量计算、整治工程的确定、波浪潮流泥沙数值模拟计算、黄骅港航道减淤整治措施的研究手段、黄骅港整治工程、黄骅港整治工程效果、黄骅港整治工程方案评价、结论共 14 部分。

本书可供海岸河口工程研究人员使用,也可供相关院校在校学生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄骅港回淤研究 / 侯志强等著.——北京:人民交通出版社, 2013. 1

ISBN 978-7-114-10225-7

I. ①黄… II. ①侯… III. ①港湾—回淤—研究—黄
骅市 IV. ①TV148

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 291254 号

海岸河口工程研究论丛

书 名:黄骅港回淤研究(2001—2007 年)

著 作 者:侯志强 杨 华 苗士勇 张书庄

责任编辑:龙晓伟 赵瑞琴

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门内外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpress.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:12.25

字 数:199 千

版 次:2013 年 4 月 第 1 版

印 次:2013 年 4 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-10225-7

定 价:52.00 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% 左右的国民经济产值,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到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院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 年),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

Handwritten signature in black ink, reading '赵义中' (Zhao Yizhong).

2012 年 11 月

前 言

黄骅港位于渤海湾西南隅,大口河入海口北岸,西距沧州市约 90km、黄骅市约 45km,北距天津港 112km,东距龙口港约 280km,是我国西煤东运第二通道下海的专业港。始建于 1997 年,至 2002 年建成第一期工程,并试营运。建成初期,在大浪袭击下,外航道多次发生严重骤淤,并出现大范围疏浚土难挖段,使港口营运和建设面临困难,蒙受巨大经济损失。为了解决黄骅港一期建设中航道严重回淤问题,多家科研及设计单位开展了黄骅港泥沙淤积机理及整治方案研究,对于黄骅港航道回淤及其治理的研究至今仍未停止。

本书总结了从黄骅港一期建设开始至黄骅港整治工程结束这一时期(2001—2007 年)的相关研究及成果,提供了粉沙质海岸航道回淤及整治研究的思路和方法,可为粉沙质海岸开辟航道的有关研究所借鉴。

本书第 1 章论述了粉沙质海岸的界定和来源;第 2 章简要介绍了黄骅港海域的自然条件;第 3、4 章论述了粉沙质泥沙基本水力特性和运动特性;第 5 章分析了黄骅港外航道泥沙骤淤的原因;第 6 章应用统计预报模型预测了黄骅港不同重现期的年淤积量和骤淤量,提供了一种统计模型的预报方法;第 7 章对航道淤积计算的理论公式进行了推导,并计算不同重现期的骤淤;第 8 章根据骤淤和年淤积的计算结果论述了满足不同整治效果防沙堤所需的长度和高度;第 9 章建立了波浪、潮流、泥沙数学模型论述了不同防沙堤布局下的不同重现期的淤积及减淤效果;第 10 章总结黄骅港航道减淤措施研究的方法;第 11 章介绍了黄骅港实施的整治工程;第 12、13 章从实测、理论分析、模型计算等多个角度论述了黄骅港整治工程之后淤积、水流、底质等各项指标的变化,并评价了整治方案;第 14 章总结了自黄骅港一期建设开始至黄骅港整治工程期间研究

的主要结论。

本书在编写过程中,曹祖德研究员给予了大量帮助,在此表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限,加之近年来对黄骅港泥沙问题有了进一步深入研究,书中内容不免有谬误和不当之处,敬请读者不吝赐教。

作 者

2013 年 4 月于天津塘沽

目 录

1	粉沙质海岸界定及来源	1
1.1	粉沙质海岸的界定	1
1.2	黄骅港海岸的成因	3
2	自然条件	5
2.1	地理位置	5
2.2	风况	7
2.3	潮汐	10
2.4	潮流	10
2.5	波浪	11
2.6	底质	13
2.7	含沙量	15
3	泥沙水力特性	20
3.1	试验设备	20
3.2	泥沙起动	24
3.3	泥沙沉降	26
3.4	泥沙沉积	29
3.5	水体挟沙力	29
4	泥沙运移特性	31
4.1	悬移质	31
4.2	推移质	34
4.3	底部高浓度含沙水层	34
4.4	推悬比	35
	参考文献	36
5	外航道骤淤量及原因分析	38
5.1	黄骅港外航道的骤淤状况	38

5.2	外航道泥沙淤积原因分析	39
6	黄骅港外航道淤积的统计预报	41
6.1	外航道淤积计算公式	41
6.2	外航道淤积统计特性	45
7	外航道淤积量计算	58
7.1	资料整理	58
7.2	骤淤量沿程分布	62
7.3	年总淤积量沿程分布	68
	参考文献	69
8	整治方案的确定	70
8.1	意见汇总	70
8.2	整治尺度确定	71
8.3	整治方案的确定	78
	参考文献	82
9	波浪潮流泥沙数值模拟计算	83
9.1	黄骅港海域泥沙运动及航道回淤的数学模型	83
9.2	几次大风天气过程黄骅港外航道回淤计算	88
9.3	关于黄骅港泥沙运动及其航道回淤的讨论	95
9.4	防沙堤掩护范围不同时外航道 25 年一遇骤淤量估算	97
9.5	推荐整治方案回淤量计算	106
9.6	本章小结	116
10	黄骅港航道减淤整治措施的研究手段	117
10.1	现场测验	117
10.2	数值模拟	120
10.3	物理模型	122
10.4	遥感分析	122
11	黄骅港整治工程	123
12	黄骅港整治工程效果	126
12.1	减淤效果	126
12.2	回淤土可挖性及淤积重心变化	135

12.3	通航水深的改善	146
12.4	本章结论	155
13	黄骅港整治工程方案评价	157
13.1	问题的提出	157
13.2	整治工程后沿堤流与离岸流情况	157
13.3	口门局部流场情况	172
13.4	整治后黄骅港运营的变化	179
13.5	本章结论	181
	参考文献	181
14	结语	182
14.1	研究结论	182
14.2	研究启示	183

1 粉沙质海岸界定及来源

1.1 粉沙质海岸的界定

1.1.1 海岸型态

海岸工程中通常将海岸分为:基岩海岸、砂(砾)质海岸、淤泥质海岸和生物海岸四类,其中砂(砾)质海岸和淤泥质海岸统称平原海岸。

对港航工程建设而言,感兴趣的是泥质海床和砂质海床,这类海岸底质的可挖性好,易满足建港、辟航要求,但床质有一定活动性,港口、航道易发生淤积,对港航工程建设造成一定困难。

对于泥沙动床的平原海岸,以往以泥沙粒径为标准,早期将它分为泥质海岸和沙质海岸。当泥沙中值粒径 $d_{50} < 0.05\text{mm}$ 时为泥质海岸;当 $d_{50} > 0.05\text{mm}$ 时为沙质海岸。后来又进一步将海岸泥沙中值粒径 $d_{50} < 0.03\text{mm}$ 的海岸定义为淤泥质海岸; $d_{50} > 0.1\text{mm}$ 的海岸称为沙质海岸;而泥沙中值粒径介于 $0.03 \sim 0.1\text{mm}$ 之间的海岸暂时无定名,但港航工程界常用粉沙质海岸来称呼这种海岸。

粉沙质海岸是以往海港工程建设不敢涉足的海区,因为该海区泥沙的活动性大,建港后航道极易发生骤淤。近年来,由于我国经济的飞速发展,不少粉沙质海岸地区也相继提出了建港辟航的要求,有些工程已经付诸实施。

我国漫长的海岸线上,散落分布着不少粉沙质海岸段,如辽东、冀北、冀东南、鲁北、苏北等地。科学定义和正确地划分泥沙海岸类型是研究海岸泥沙运动的基础。港航工程界定义和划分海岸类型时,是根据泥沙的物质成分、粒径组成、运移型态及其对港航工程冲淤影响等多种因素综合分析而定。动床泥沙海岸分为以下三种类型:

(1) 淤泥质海岸:淤泥质海岸主要由江河携带入海的大量细颗粒泥沙,在波浪和潮流作用下输运沉积所形成,故大多分布在大河入海处的三角地带,称为平原型淤泥质海岸;另一部分由沿岸流搬运的细颗粒泥沙,在隐蔽的海湾堆积形成,称为港湾型淤泥质海岸。淤泥质海岸的主要特征为:滩面物质以粘性细颗粒泥沙为主,泥沙中值粒径很小($d_{50} < 0.031\text{mm}$),岸线平直,滩面宽阔坦缓,岸滩坡度在 $1/2000 \sim$

1/500,波浪掀沙、潮流输沙是造成岸滩演变的主要过程,泥沙运移型态以悬移质为主,在沙源充沛、絮凝条件成熟的地区,也会出现“浮泥”现象。

(2)粉沙质海岸:泥沙平均中值粒径 d_{50} 介于 $0.031 \sim 0.125\text{mm}$ 之间,泥沙起动流速小,沉降速度较大,海洋动力减弱后容易沉降,在海水中基本上不存在絮凝现象,引起泥沙运动的海洋动力是波浪和潮流的共同作用。泥沙运移型态十分复杂,既有悬移质,又有推移质,底部还有高浓度含沙水体层,泥沙活跃,在大风浪作用下,海床易发生大冲大淤,对海岸工程和港口航道构成极大威胁。但必须注意的是,在粉沙质海岸上,极细颗粒和有机成分的存在,对泥沙运动影响极大, 0.031mm 以下的泥质颗粒成分越多,有机成分越高,该海岸的泥沙运动特性越接近于淤泥质海岸的泥沙运动,因此粉沙质海岸的床面泥沙粒径应同时符合以下两个条件:

$$\begin{aligned} 0.031\text{mm} < d_{50} < 0.125\text{mm} \\ d_{40} > 0.031\text{mm} \end{aligned}$$

(3)沙质海岸:滩面物质以松散无粘性沙为主,泥沙颗粒较粗($d_{50} < 0.125\text{mm}$),岸滩坡度较陡,一般大于 1/500,从高潮线到低潮线泥沙颗粒逐渐变细,坡面逐渐变缓。引起泥沙运动的动力主要是波浪,滩面泥沙运动可分为破波带和近岸带两个区域。破波带内有纵向沿岸输沙和横向泥沙运动,泥沙运动型态既有悬移质,又有推移质。近岸带的泥沙运动型态则以推移质为主。

为了定义和确定海岸类型,需要在海滩上底质采样和室内分析,采样的范围:在垂直岸线方向宜从 0m 等深线到外海 -18m 等深线,在平行岸线的方向宜以工程为中心向两侧伸展 15km 左右,采样点距离以 1~1.5km 为宜,取样深度可根据海床冲淤变化速率大小选取,对于基本冲淤平衡的海岸取 1.5~2.0m 柱状样即可。

1.1.2 海岸分类及泥沙分类的关系

港航工程界将泥沙海岸分为淤泥质海岸、粉沙质海岸和沙质海岸,泥沙分类中将泥沙分为粘土、粉沙和沙三类,也有不同领域内的不同专门用语,二者虽有相同处,但概念不一样,不可混淆,也不能等同。

在泥沙中,目前我们常用两种分类法,一种是地学中根据泥沙塑限、液限等指标将泥沙按颗粒大小分为粘土、粉沙和沙三大类,其中有的还进一步细分为 13 类。另一种是工程泥沙界根据泥沙水动力物性(沉降、起动和输移)按有无絮凝将泥沙分为粘性沙和非粘性沙两类,并采用不同的研究方法。絮凝的分界线约为 $0.01 \sim 0.03\text{mm}$ 。泥沙分类见表 1.1-1。

海岸类型与泥沙分类对照表

表 1.1-1

海 岸 类 型	粒径范围(mm)	细分类	分 类	按粘性分类
沙质海岸 $d_{50} > 0.125\text{mm}$	1.00 ~ 2.00	极粗沙	沙 (0.062 ~ 2.00)	非粘性沙
	0.50 ~ 1.10	粗沙		
	0.25 ~ 0.50	中沙		
	0.125 ~ 0.25	细沙		
粉沙质海岸 $0.031\text{mm} \leq d_{50} \leq 0.125\text{mm}$	0.062 ~ 0.125	极细沙		
	0.031 ~ 0.062	粗粉沙		
淤泥质海岸 $d_{50} < 0.031\text{mm}$	0.016 ~ 0.031	中粉沙	粉沙 (0.004 ~ 0.062)	粘性沙
	0.008 ~ 0.016	细粉沙		
	0.004 ~ 0.008	极细粉沙		
	0.002 ~ 0.004	粗粘土	粘土 (0.00024 ~ 0.004)	
	0.001 ~ 0.0002	中粘土		
	0.0005 ~ 0.0010	细粘土		
	0.00024 ~ 0.0005	极细粘土		

港航工程界将海岸分类的泥沙中值粒径定义在 0.031mm 和 0.125mm。海床平均中值粒径小于 0.031mm 的海岸称为淤泥质海岸,相当于第一种泥沙分类中的粉沙以上的泥沙,也相当于按粘性分类中的粘性沙;海床平均中值粒径大于 0.125mm的海岸称为沙质海岸,相当于第一种泥沙分类中的细沙以下的泥沙,也相当于按粘性分类中的非粘性沙;海床平均中值粒径在 0.031 ~ 0.125mm 之间的海岸称为粉沙质海岸,这类海岸的泥沙中值粒径当于第一种泥沙分类中的粗粉沙和极细沙,也相当于按粘性分类中的非粘性沙(表 1.1-1)。

由表 1.1-1 知,海岸分类于泥沙分类既有相同处,也有不同之处,不能用泥沙分类来定义海岸类型,也不能用海岸定义来概括泥沙类型。不同工程需要和不同科学特点提出不同分类方法,有其自身的要求,不一定非统一不可。

1.2 黄骅港海岸的成因

大口河海岸是旧黄河河口遭废弃后,经 800 年左右的侵蚀、后退及破坏,才成今日之面貌。河口废弃破坏有两种情况:一是在弱潮海岸(平均潮差 < 2m),海岸废弃破坏的主要动力是波浪,其演变规律经历“青年期”、“壮年期”和“老年期”等阶段,最终破坏作用终止。这是遵照波浪动力及其泥沙运动规律产生的破坏演变过程;二是在强潮或潮汐作用较强(包括部分中等潮情况)的地区,废弃破坏的主

要动力是潮流,改造破坏的最终结果是形成喇叭状河口及其口内外放射状沙脊堆积体,这是按照潮汐作用活动的规律,产生的地形结果。大口河海岸平均潮差 $>2\text{m}$,冬季又受波浪作用的重要影响,故大口河海岸的废弃侵蚀破坏受潮汐和波浪的双重作用,其地貌特点为:(1)有残留堡岛及半珠状堡岛链出现;(2)形成大片近岸或内陆架侵蚀残留浅滩;(3)大口河水道呈喇叭形状, $-2 \sim -10\text{m}$ 等深线呈锯齿状,即水下有许多(潮流)侵蚀的沟脊。这些特点表明,大口河的废弃破坏,主要是波浪作用的结果,但潮流的侵蚀及搬运泥沙和对地形塑造的作用也不可忽视。这些特点表明:大口河海岸的废弃破坏,已进入“老年期”,即海岸已渐趋于稳定。破坏的最终结果是在口外形成大面积以粉沙为主的残留浅滩。大口河 -5m 以浅的浅滩区,均可视为具有(侵蚀后退)残留浅滩性质,它主要是波浪作用的产物,以粉沙物质为主,厚度不大($<0.5\text{m}$),沉积地质学称它们为“沙蓆”,即像一张“沙蓆”似的平铺于海底。大口河的粉沙质泥沙就是这样形成的。

2 自然条件

2.1 地理位置

黄骅港位于渤海湾西南隅,大口河入海口北岸,西距沧州市约 90km、黄骅市约 45km,北距天津港 112km,东距龙口港约 280km,是我国西煤东运第二通道下海的专业港(图 2.1-1)。2001—2003 年港口航道平面如图 2.1-2 所示。



图 2.1-1 黄骅港地理位置示意图

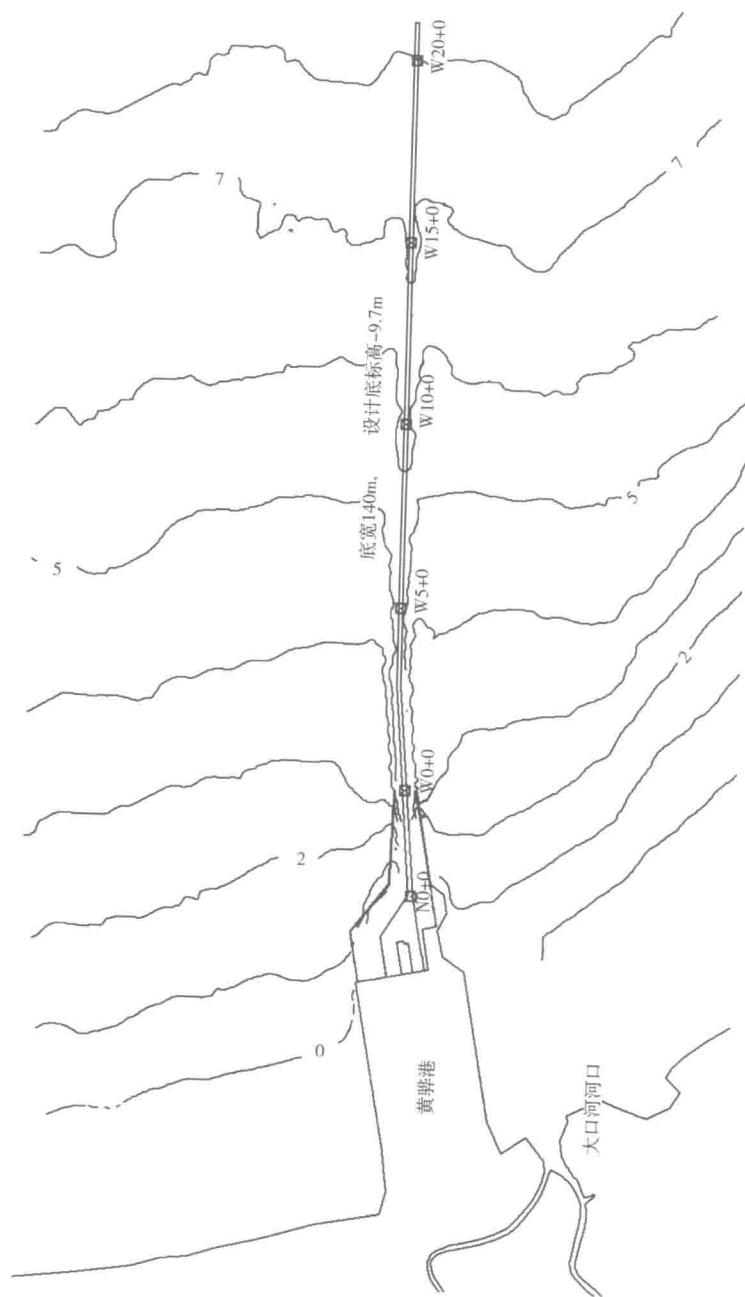


图2.1-2 黄骅港港口航道平面示意图 (2001—2003年)