



海岸河口工程研究论丛

港航工程

泥沙淤积计算手册

曹祖德 侯志强 张书庄 著

HANDBOOK OF SILTATION CALCULATION
IN PORT AND CHANNEL ENGINEERING



人民交通出版社
China Communications Press



海岸河口工程研究论丛

港航工程 泥沙淤积计算手册

曹祖德 侯志强 张书庄 著

HANDBOOK OF SILTATION CALCULATION
IN PORT AND CHANNEL ENGINEERING



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》之一。港航工程泥沙问题,是影响工程建设的关键技术问题之一。作者结合工程实践,将多年的相关研究成果汇总成本手册。全书共分两篇:第1篇为基本公式,共收入22条,概括港航工程泥沙问题主要方面的基本计算公式;第2篇为主要参考文献和资料,除了编入与基本公式直接有关的论文和研究报告外,还选编一些与工程泥沙理论计算有关的基本概念的资料,这对深入掌握工程泥沙理论计算大有裨益。

本书可供港航工程建设、管理人员参考,也可供相关专业师生选用。

图书在版编目(CIP)数据

港航工程泥沙淤积计算手册/曹祖德,侯志强,张书庄著. —北京:人民交通出版社,2014.3
ISBN 978-7-114-10227-1

I. ①港… II. ①曹… ②侯… ③张… III. ①港口工程—泥沙淤积—工程计算—技术手册②航道工程—泥沙淤积—工程计算—技术手册 IV. ①U6-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 291222 号

海岸河口工程研究论丛

书 名:港航工程泥沙淤积计算手册

著 作 者:曹祖德 侯志强 张书庄

责任编辑:尤晓暉 郭红蕊 潘艳霞

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:20.75

字 数:390千

版 次:2014年3月 第1版

印 次:2014年3月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-10227-1

定 价:45.00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

A handwritten signature in black ink, appearing to read '赵义中' (Zhao Yizhong), written in a cursive style.

2012年11月

前 言

在泥沙运动的海岸上修建港口、航道、取排水和围填造陆等海岸工程时,泥沙问题是影响工程建设的关键技术问题之一,从工程选址、施工到竣工、运营各阶段,泥沙问题始终需要考虑,而工程建设又会影
响海岸泥沙运动和冲淤变化,因此,港航工程泥沙问题成为海岸泥沙问题中的重要分支,备受人们关注,并被深入研究。

研究工程泥沙问题的方法可归纳为三大类,一是理论研究,二是数值模拟,三是物模试验。这三种方法各有长短、相互支持;其结果相互验证、互相补充,若强调一种方法或否定另一种方法都是不可取的。

理论研究是以现场实测水文、泥沙、地形资料为基础,以泥沙运动理论为指导,分析泥沙沉降和起悬机理,建立海床冲淤计算公式,以计算港航工程实施过程竣工后的泥沙冲淤情况。

数值模拟是以水、沙运动微分方程和近似计算数值方法为基础,利用计算机和信息处理技术,通过离散化处理和快速计算,得出计算水域的水、沙场和地形冲淤,为工程建设提供泥沙冲淤情况。

物模试验是以相似准则为基础,选择模拟物质,建立比尺模型,利用先进测量仪器设备,在模型中复演天然情况下工程建设引起的各种泥沙问题。

上述三种方法按其各自的科学内涵和特点,已逐步发展成独立的专门学科,并按其自身规律逐渐趋于完善。

工程泥沙理论计算的优点是简便实用,易于掌握。其精度取决于参数的选择,至于公式中有关系数的确定,也和数值模拟、物理模型一样,应由现场实测资料来验证。作者在工作中曾多次应用理论计算解决实际工程泥沙问题,均取得良好效果。

为了满足工程计算需要,现将作者有关研究成果汇总成本手册。该手册分两部分:第1篇是基本公式;第2篇是主要参考文献和资料。

第1篇共收入22条,概括港航工程泥沙问题主要方面的基本计算公式,为了便于应用,各条只列出基本公式和计算步骤,不介绍理论推导。由于公式较多,各处出现的参数、系数、符号可能不一致,因此,各条均独立成章,并赋予参数、系数和符号以相应的内涵,避免误解,便于应用。

第2篇除了编入与基本公式直接有关的论文和研究报告外,还选编了一些与工程泥沙理论计算有关的基本概念的资料,如海岸界定、粉沙质海岸特点、往复流作用下泥沙悬浮及沉降、海岸泥沙运动特点、海岸冲淤演变特征等资料,这对于深入掌握工程泥沙理论计算大有裨益。

在该手册整编过程中,交通部天津水运工程科学研究院海岸河口室的张书庄、赵洪波、肖辉以及上海河口海岸研究中心的孔令双等人提供了有关验证计算资料,交通部天津水运工程科学研究院海岸河口室李华为手册整编进行辛勤劳动,作者对此深表谢意!

本书仓促成册,错误在所难免,如发现有不妥之处,敬请不吝赐教。

目 录

第1篇 基本公式

1 基础公式	3
1.1 波、流作用下的水体挟沙力和平衡含沙量	3
1.2 波、流共同作用下的泥沙起动流速、起动剪切力、 起动波高和起动水深	5
1.3 悬移质含沙量沿垂线分布	7
1.4 波、流作用下的推移质输沙率	11
2 海床冲淤演变	13
2.1 利用水文全潮测验资料预测海床冲淤趋势	13
2.2 海床冲淤演变预报	16
3 港口航道淤积	21
3.1 利用风况资料预测港口淤积	21
3.2 淤泥质开敞航道淤积计算和浮泥分析	22
4 开敞航道淤积	25
4.1 利用试挖坑淤积资料推算开敞航道淤积	25
4.2 粉沙质海岸开敞航道淤积计算	27
5 内航道和边滩淤积	32
5.1 内航道淤积计算	32
5.2 双堤掩护下内航道淤积和边滩演变预测	33
5.3 曲折双堤掩护下内航道淤积作边滩演变预测	38
5.4 环抱式港池的纳潮淤积	44
6 环抱式和挖入式港池淤积	46
6.1 环抱式港池内淤强分布	46
6.2 内航道连接环抱港池的淤积计算	47
6.3 环抱式港内取水的淤积计算	48
6.4 环抱式港内淤积和边滩演变计算	49

6.5 挖入式港池的纳潮淤积	53
7 顺岸式港池淤积	55
8 开敞式港池淤积	57
8.1 开敞式港池的淤积计算	57
8.2 利用试挖坑淤积资料预测开敞式港池的淤积	57

第2篇 主要参考文献和资料

粉沙质海岸的界定及其泥沙运动特点	63
往复流作用下的粉砂的起悬和沉降过程	70
波浪作用下床沙的悬浮上扬过程及工程应用	81
波、流共存时的床面剪切力	87
波、流共存时的床面剪切力和泥沙运动	94
波、流共同作用下的泥沙起动	102
波、流共存时的水体挟沙力	112
波浪、潮流共同作用下的推移质输沙计算	120
粉沙质海岸的工程泥沙问题	129
海岸泥沙运动特点和若干工程泥沙问题的初步探讨	148
海岸泥沙冲淤机理和海床冲淤演变计算	159
海岸泥沙运动特点和海床冲淤分析计算	170
利用水文测验资料预测海床冲淤演变趋势	183
海床冲淤演变预报	190
根据有效风能计算港口航道淤积	199
利用风况预报航道淤积的公式的比较	204
淤泥质海岸开敞航道的回淤计算	212
淤泥质海岸外航道淤积计算	222
粉沙质海岸泥沙运动和淤积分析计算	234
黄骅港外航道骤淤计算	245
粉沙质海岸泥沙运动推悬比的确定	257
内航道淤积计算	265
环抱式与挖入式港池的纳潮淤积计算	284
环抱式港池的淤积计算	292

开敞式港池和试挖坑的淤积计算·····	303
环抱式港内港用水域淤积和浅滩淤积演变·····	310
环抱式港内取水的淤积计算·····	317

第 1 篇



基 本 公 式



1 基础公式

1.1 波、流作用下的水体挟沙力和平衡含沙量

由于床面剪切力做功引起泥沙上悬与重力功的平衡,导出水体挟沙力,考虑环境泥沙影响,提出平衡含沙量概念,本条适用于各类海岸。

(1) 基本公式

$$S = \alpha \gamma \frac{(u_c + \beta u_w)^3}{gh\omega} \quad (1-1-1)$$

式中: γ ——水体重度, $\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$;

u_c ——水流速度,潮流中则为潮段平均流速 (m/s);

u_w ——波浪底部最大水平速度 (m/s);

g ——重力加速度, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$;

h ——水深 (m);

ω ——沉降速度。

β ——波浪摩阻系数 f_w 与水流摩阻系数 f_c 之比 f_w/f_c 的函数,不同海岸有不同的 β 值,一般取 $\beta = 0.64$;

α ——系数不同海岸有不同的取值,应通过现场实测资料确定。

公式(1-1-1)适用于各类海岸,但在淤泥质海岸上,不论泥沙粗细,最终均呈絮凝沉降, ω 为常数, $\omega \approx 0.0005 \text{ m/s}$,因此淤泥质海岸上的水体挟沙力简化为:

$$S_* = \alpha \gamma \frac{(u_c + \beta u_w)^2}{gh} \quad (1-1-2)$$

公式(1-1-2)中系数应由实测资料确定。

在掩护良好、波浪作用较小的平静水域中,水体挟沙力主要由水流确定,则式(1-1-2)又可进一步简化为:

$$S_* = \alpha \gamma \frac{u_c^2}{gh} \quad (1-1-3)$$

(2) 符号含义和参数的确定

① ω : 泥沙沉降速度,不同海岸上因泥沙粒径不同和黏土含量不同,有不同

ω 值,一般情况下,可通过现场资料分析或泥沙沉降试验确定,在缺乏资料时,淤泥质海岸可取 $\omega = 0.0005 \text{ m/s}$,沙质和粉沙质海岸的 ω 可根据泥沙中值粒径查阅有关泥沙规范和手册确定,粉沙质海岸的 $\omega = 0.0006 \sim 0.0012 \text{ m/s}$,沙质海岸的 $\omega > 0.0012 \text{ m/s}$ 。

② u_c :水流速度,在潮流中可分别取涨、落潮段平均流速或全潮段平均流速,不同流速下整理出来的挟沙力数据会有不同的 α 值,且数据分散性和精度也有不同。

③ u_w :波浪底部最大水平速度,可由下式确定。

$$u_w = \frac{\pi H}{T \sinh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)} \quad (1-1-4)$$

式中: H ——为波高;

T ——波周期;

h ——水深;

L ——波长。

(3) 应用实例

[例 1-1-1] ①挟沙力与平衡含沙量。上述各式均指水体挟沙能力,当环境泥沙不同时,实际水体含沙量将与水体挟沙力有一定差别。平衡含沙量就是以挟沙力为基础,指环境泥沙的影响与当地平衡水深相适应的含沙量。

平衡含沙量有沉降型和起悬型两种类型,当外界环境泥沙含量大于水体挟沙力而进入某水域时,泥沙沉降,水体含沙量降低,但仍大于水体挟沙力,这就属于沉降型平衡含沙量。当环境含沙量小于挟沙力而进入某水域时,则泥沙上悬含沙量增加,但仍小于挟沙力,这就是起悬型平衡含沙量。

上海国际航运中心洋山深水港区大小洋山港区曾利用多年实测水文资料整理得该海区的平均水体挟沙力和平衡含沙量,如图 1-1-1 所示。

由图 1-1-1 可知,洋山港区的沉降型平衡含沙量 S_f 、起悬型平衡含沙量 S_e 和平均挟沙力 S_* 分别为:

$$S_f = \alpha_f \gamma \frac{u^2}{gh}, \alpha_f = 0.28$$

$$S_e = \alpha_e \gamma \frac{u^2}{gh}, \alpha_e = 0.20$$

$$S_* = \alpha_s \gamma \frac{u^2}{gh}, \alpha_s = 0.24$$

②利用水文全潮实测资料推算特征含沙量。因为水文全潮测验时通常为无风浪或小风浪季节,利用本文公式即可由下式推算出不同风浪时的特征含沙量。

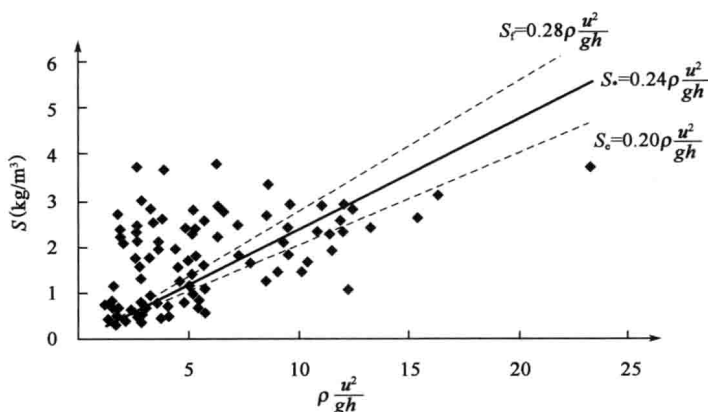


图 1-1-1 洋山港区含沙量关系图

$$S_t = S_0 \left(1 + \beta \frac{u_w}{u_c} \right)^m \quad (1-1-5)$$

式中: S_t ——不同特征风浪下的含沙量;

S_0 ——全潮测验所得平均含沙量;

u_w ——不同特征波浪时的底部最大水平速度;

u_c ——全潮水文测验时的平均流速;

m ——不同海岸取不同值,淤泥质海岸, $m=2$; 粉沙质海岸, $m=3$ 。

由上式可推算出年平均或不同特征波时的含沙量。

1.2 波、流共同作用下的泥沙起动流速、起动剪切力、起动波高和起动水深

利用大量实测和试验值,绘成类似 shields 曲线,由此得出波、流共同作用下的泥沙起动流速、起动剪切力,并导出起动波高和起动水深,其计算公式均以泥沙粒径为主要参数变量,便于工程实际应用。

(1) 基本公式

根据 $Re_d = \frac{d_{50}}{4\nu} \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} g d_{50}}$ 的大小,将泥沙分为两个区段。

①当 $Re_d < 3.2$ 时,即 $d_{50} < 0.217\text{mm}$ (层流边界层)

起动流速:

$$u_e = 0.173d_{50}^{-0.04} \quad (1-1-6)$$

起动剪切力:

$$\tau_e = 0.009d_{50}^{-0.08} \quad (1-1-7)$$

起动波高:

$$H = \frac{T \sinh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)}{\pi} \sqrt{0.029d^{-0.08} - u_e^2} \quad (1-1-8)$$

起动水深:

$$h = \frac{L}{2\pi} \operatorname{arcsch} \left[\frac{\pi H}{T \sqrt{0.029d^{-0.08} - u_e^2}} \right] \quad (1-1-9)$$

②当 $Re_d \geq 3.2$ 时, 即 $d_{50} \geq 0.217\text{mm}$ (紊流边界层)

起动流速:

$$u_e = 16.425d_{50}^{0.5} \quad (1-1-10)$$

起动剪切力:

$$\tau_e = 82.5d_{50} \quad (1-1-11)$$

起动波高:

$$H = \frac{T \sinh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)}{\pi} \sqrt{270d - u_e^2} \quad (1-1-12)$$

起动水深:

$$h = \frac{L}{2\pi} \operatorname{arcsch} \left[\frac{\pi H}{T \sqrt{270d - u_e^2}} \right] \quad (1-1-13)$$

(2) 符号含义和参数的确定

① d_{50} : 泥沙中值粒径, 由当地实测资料确定, 但需注意, 在各计算公式中, d_{50} 均以米(m)为计算单位。

② ρ_s : 泥沙密度, $\rho_s = 2650\text{kg/m}^3$ 。

③ ρ : 水密度, $\rho = 1000\text{kg/m}^3$ 。

④ T : 波周期(s)。

⑤ L : 波长(m)。

⑥ H : 为波高(m)。

⑦ u : 天然水流速度(m/s)。