

Comparative analysis of the coincidence degree between the measured data of sediment siltation in excavated harbor basin, the physical model test results and the standard formula calculation results

Xiaofu Ji¹ Xin Yu¹ Zuo Wei²

1. Dandong Lingang Group Co., Ltd., Dandong, Liaoning, 118300, China

2. Dalian Ocean University, Dalian, Liaoning, 116000, China

Abstract

As a commonly used layout form in coastal ports, the excavated in-type harbor basin has many advantages, such as making full use of shoreline resources, having good sheltering conditions, and reducing siltation. Dandong Port is located in the northeastern part of the Liaodong Peninsula, on the west bank of the Yalu River estuary, separated from Xin Island of the DPRK by a strip of water. It is an international trade port at the northern end of China's mainland coastline. A total of four excavated in-type harbor basins are arranged in the port area, with Miaogou Harbor Basin and Donggou No.1-3 Harbor Basins arranged from north to south in sequence. Based on the three-year measured sediment siltation data of Donggou No.1 Harbor Basin, combined with the physical model tests and hydrological observations in the port area, this paper analyzes the sediment siltation in the excavated in-type harbor basin and verifies the applicability of the standard formula in this harbor basin. Through comparing the measured data, analyzing the results of the physical model tests and the calculation results of the standard formula, although there are certain differences in the siltation volume and siltation intensity, the differences are not large. Under the condition of strictly controlling the hydrological data, the results are relatively close to the actual situation.

Keywords

digging type; Harbor pool; Sediment; Back silting; Annual siltation strength

挖入式港池泥沙回淤实测数据与物理模型试验成果、规范公式计算结果符合程度对比分析

季筱夫¹ 于鑫¹ 魏左²

1. 丹东临港集团有限公司, 中国·辽宁 丹东 118300

2. 大连海洋大学, 中国·辽宁 大连 116000

摘要

挖入式港池作为沿海港口常用的布置形式, 有着充分利用岸线资源、掩护条件好、减少淤积等诸多优点。丹东港位于辽东半岛东北部, 鸭绿江入海口西岸, 与朝鲜半岛一水之隔, 是我国大陆海岸线北端的国际贸易商港。港区共布置4个挖入式港池, 由北向南依次布置庙沟港池和东沟1~3号港池。本文以东沟1号港池3年实测泥沙回淤数据, 结合港区物理模型试验、水文观测, 分析挖入式港池泥沙回淤, 验证规范公式在本港池的适用性。通过实测数据对比、分析物理模型试验成果和规范公式计算结果, 其回淤量和回淤强度虽有一定差别, 但相差不大, 在严格控制水文数据情况下, 其成果比较贴近实际情况。

关键词

挖入式; 港池; 泥沙; 回淤; 年淤强

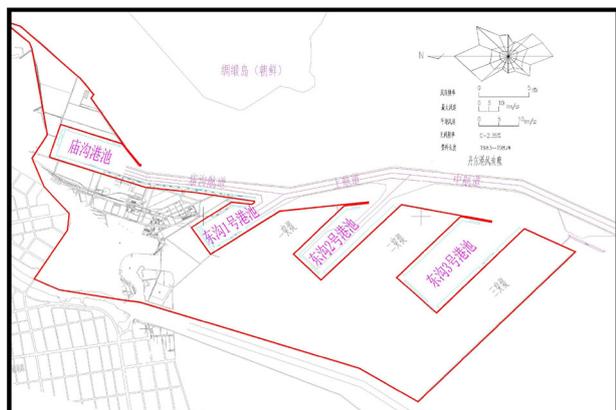
1 引言

丹东港位于辽东半岛东北部, 鸭绿江入海口西岸, 与

朝鲜半岛一水之隔, 是我国大陆海岸线北端的国际贸易商港。港区共布置4个挖入式港池, 由北向南依次布置庙沟港池和东沟1~3号港池。本文研究的东沟1号港池位于庙沟港池和东沟2号港池之间, 港池宽度800米, 纵向长度1100米, 水域面积约1.10平方公里, 港池设计底高程-12.50米(庙沟零点, 下同)。港池内规划布置3万~10万吨级泊位, 码头结构均为高桩透空式结构形式。本文以东沟1号港池3

【作者简介】季筱夫(1990-), 男, 中国辽宁丹东人, 本科, 工程师, 从事港口与航道工程、施工管理、规划建设研究。

年实测泥沙回淤数据,结合港区物理模型试验、水文观测,验证规范公式在本港池的适用性,对港区规划、建设、维护等工作具有指导意义。



港池规划布置图

2 港区水文数据

2.1 潮汐

鸭绿江口潮汐为正规半日潮,以太阴半日分潮,昼夜两涨两落,每潮次相隔12小时24分。根据1982—1998年大东港区验潮站资料统计得到的潮位特征值如下:

- 最高潮位 8.20m (1997年8月21日)
- 最低潮位 -0.82m (1987年2月3日)
- 平均高潮位 5.74m
- 平均中潮位 3.52m
- 平均低潮位 1.15m
- 最大潮差 7.60m (1997年8月)
- 平均潮差 4.51m
- 平均涨潮历时 6h10min
- 平均落潮历时 6h15min

2.2 潮流

大东港区水域为强潮海湾,涨落潮主流集中于主槽。涨潮流向N-NNE,落潮流向SSW-S,基本上呈往复流,属规则半日潮流。涨落潮流主要集中在凹岸,凹岸流速大于凸岸流速。涨潮时,中泓潮位高于两侧,水面呈凸形,沟槽流速大于滩面;落潮时,中泓潮位低于两侧,水面呈凹形,沟槽流速大于两侧^[1]。

2.3 泥沙

大东港主要的泥沙来源为鸭绿江西水道,水体含沙量的变化与潮汐和风浪作用密切相关。受航道两侧滩地泥沙影响,近岸大东港区已建泊位区水域全潮平均含沙量稍大,一般在 $0.1\sim 0.3\text{kg/m}^3$,向外海含沙量较小,按照长江委长江口水文水资源勘测局《丹东港大东港区5万~20万吨级出海航道整治工程水文测验技术报告》(2010年),东沟1号

港池口门附近含沙量见表1:

表1 平均含沙量统计表(单位: kg/m^3)

潮位	全潮平均含沙量	涨潮最大含沙量	落潮最大含沙量
大潮	0.105	0.145	0.129
中潮	0.143	0.139	0.141
小潮	0.028	0.04	0.034

悬沙平均中值粒径在 $0.0090\sim 0.0258\text{mm}$ 之间,东沟1号港池口门附近中值粒径见表2:

表2 悬移质颗粒中值粒径特征值统计(单位: mm)

中值粒径 d_{50}			
大潮	中潮	小潮	平均
0.0098	0.0088	0.0086	0.0091

2.4 风况

据大东港区观测站1983—1987年资料统计:年常风向为N,频率为11%;次常风向为NE、S,频率为9%。强风向为SSE,最大风速为 21m/s 。年平均风速为 3.9m/s 。风力 > 6 级的年平均日数约11.8d。

台风平均每年1.4次,最多一年3次(1960、1973年),受影响时间集中在7月至8月上旬。台风影响时,陆上风力6~7级,海上风力7~8级,台风中心附近最大风速 $27\sim 28\text{m/s}$,多为SE风^[2]。

2.5 波浪

大东港区波浪观测站(1975年、1982年及1983年)实测波浪资料统计结果显示,该海区以风浪为主,涌浪较少,最大单个波高1.1m,波向SE(1983年7月14日),常波向SE,频率9.4%,无浪频率59.4%。

3 物理模型试验成果

丹东港物理模型试验委托南京水利科学研究院开展,于2011年6月出版了《丹东港港区和航道总体规划物理模型试验研究》报告。

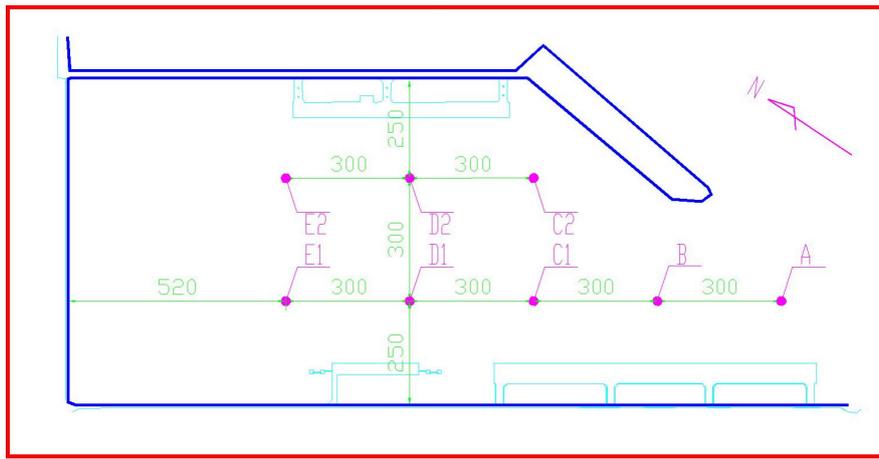
模型水平比尺1:900,垂直比尺1:150,模型上边界自西水道上口,其上通过扭曲水道延伸至浪头港,下边界位于口外 $-20\sim -23\text{m}$ 等深线附近,模型包括整个西水道(大东水道)以及西南水道在内,同时模型中包括了整个绸缎岛以及朝鲜一侧的鸭绿江中水道。物理模型在采用近年的水文泥沙资料验证的基础上进行了丹东港大东港区海域流场和泥沙淤积试验。港池和航道淤积物理模型试验过程中考虑正常水文条件下常年淤积,也模拟了将来可能产生的大风骤淤对港池和航道的影响^[3]。

物理模型试验结果表明,东沟1号港池最大淤积厚度 0.89m ,出现在口门附近,自口门向港池末端淤积厚度逐步减小至 0.10m ,口门附近平均淤积厚度约为 $0.60\sim 0.70\text{m}$ 。整个港池年平均淤强约为 0.51m/a ,常年淤积量为 35万 m^3 ;一次大风过程港池平均淤强约为 0.18m/次 ,淤积量为 12万 m^3 ^[4]。

4 泥沙淤积实测统计情况

为了准确计算东沟1号港池泥沙淤积情况，收集了自2014年东沟1号港池疏浚完成至2017年共计4年5次的水深测量资料，测图单位均为丹东东方港口测绘工程事务所，测图时间分别为2014年3月27日、2014年12月5日、2015年11月16日、2016年4月23日和2017年11月21日，均采用单波束测量。

为了掌握东沟1号港池内各区域淤积强度情况，结合港池规划情况，共布设8个点位进行统计计算，各点位布设情况见下图：



淤强分析点位布置图

通过连续4年5次水深测量数据，各分析点位淤积强度见表3：

通过表3可以看出，位于口门位置的A点、B点淤强高于其他点位，位于口门防波堤掩护下的D2点和E2点低于同断面的D1点和E1点，位于港池湾底的E1点和E2点淤强低于D1点和D2点，其回淤强度分布基本与物理模型试验成果吻合，而年淤强略高于物理模型试验成果^[5]。

采用东沟1号港池水域水深测量数据，计算年回淤量和平均淤强情况见表4：

通过表4计算，年回淤量40万方左右，年平均淤强0.84m/a，年回淤量和年平均淤强均略高于模型试验成果。

表3 点位淤强计算表

点位	历年测点水深 (m)					计算年淤强 (m/a)		
	2014 3.27	2014 12.5	2015 11.16	2016 4.23	2017 11.21	2014.3.27-2014.12.5	2014.12.5-2015.11.16	2016.4.23-2017.11.21
A	-	12.39	10.71	12.72	10.43	-	1.80	1.46
B	-	12.51	11.51	12.65	10.73	-	1.07	1.22
C1	12.13	11.03	10.42	12.75	11.13	1.62	0.65	1.03
C2	12.68	12.12	11.51	10.83	10.01	0.82	0.65	0.52
D1	13.71	13.11	12.24	11.84	10.31	0.88	0.93	0.97
D2	13.22	12.21	11.43	11.01	10.01	1.49	0.83	0.64
E1	13.78	13.33	12.91	12.55	11.32	0.66	0.45	0.78
E2	11.63	10.81	10.32	10.11	9.02	1.21	0.52	0.69

表4 年回淤量及年平均淤强计算表

测图时间	平均水深 (m)	回淤厚度 (m)	计算时段 (d)	年回淤量 (方)	年均淤强 (m/a)	备注
2014.3.27	12.85	0.55	248	386272.10	0.81	
2014.12.5	12.3					
2014.12.5	12.3	0.8	341	408618.42	0.86	
2015.11.16	11.5					
2016.4.23	11.83	1.34	573	407316.98	0.85	
2017.11.21	10.49					

5 规范公式计算情况

《港口与航道水文规范》(JTS145-2015)附录U提供了挖入式港池回淤量计算公式,根据U.0.3式:

$$p_2 = \frac{k_0 \omega S t}{\gamma_0} \left[1 - \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^3 \right] e^{\left[\frac{1}{2} \left(\frac{A}{A_0} \right)^{\frac{1}{2}} \right]}$$

p_2 : 港池底面的淤积强度 (m);

k_0 : 经验系数,可取0.14~0.17,本次取0.17;

ω : 细颗粒泥沙的絮凝沉降速度 (m/s),本次取 0.05×10^{-2} (m/s);

S : 相应于口门处平均水深 d_1 范围内水域的含沙量 (kg/m^3);根据长江委长江口水文水资源勘测局《丹东港大东港区5~20万吨级出海航道整治工程水文测验技术报告》(2010年),取B点含沙量计算,即 $S=0.141 \text{ kg}/\text{m}^3$;

t : 取1年期计算,即 $t=365 \times 24 \times 60 \times 60=3.1536 \times 10^7$ (s);

r_0 : $r_0=1750 D_{50}^{0.183}$, $D_{50}=0.0091$ (mm), $r_0=739$ (kg/m^3);

d_1 : 按照U.0.14.1条, d_1 取港口口门半径为 R 范围内浅滩水域的平均水深, R 为涨潮流的平均流速与涨潮流的历时的乘积,根据长江委长江口水文水资源勘测局《丹东港大东港区5~20万吨级出海航道整治工程水文测验技术报告》(2010年),一港池口门处流速 $0.55 \text{ m}/\text{s}$,涨潮流历时 $6 \text{ h}10 \text{ min}$,即取 $R=0.55 \times (6 \times 60 \times 60 + 10 \times 60) = 12210$ (m) = 12.21 (Km),根据海图计算,取平均潮位下 $d_1=2.52$ (m);

d_2 : 取平均潮位下港池开挖后的水深,即 $d_2=3.52+12.85=16.37$ (m);

A : 取港池内水下浅滩的水域面积,取 $A=0.43$ (Km^2);

A_0 : 取港池内水域总面积,取 $A_0=1.10$ (Km^2);

表 5

参数	K_0	ω (cm/s)	S (kg/m^3)	T (a)	γ_0 (kg/m^3)	d_1 (m)	d_2 (m)	A (km^2)	A_0 (km^2)	P_2 (m)
数据	0.17	0.05	0.141	1	739	2.52	16.37	0.43	1.10	0.73

规范公式计算结果,介于物理模型试验和实测计算结果之间,接近于实测计算结果。

6 对比分析

通过数据对比可知,规范公式和物理模型试验成果均具有良好的符合性,物理模型试验成果偏低,规范公式计算结果次之,但均接近实测计算结果,分析成果偏差原因主要有:

①西水道开通使鸭绿江流域流场发生变化。西水道开通后,其过水量逐年递增,2009年西水道刚开通时,西水道底宽仅为47米,底标高-0.7米,目前西水道最小断面底宽达100米以上,底标高加深2米以上,物理模型试验采用西水道设计断面进行模型设计,与实际存在一定差别,西水道断面的增大,可能会产生实际回淤量增大;

②规划港池没有全部建成,各港池的疏沙量分配与模型试验存在差别。丹东港共规划4个挖入式港池,目前按设计规模建成的港池仅有东沟1号港池和东沟2号港池,庙沟港池和东沟3号港池均没有按照设计规模建成,没有建成的港池无法分配疏沙,可能会增大先期建成港池的回淤量;

③物理模型试验采用港池未形成的观测数据,通过验证分析方式确定模型设计,与历史河床演变存在差别,可能

会影响成果出现偏差。

7 结语

水域规划布置作为港口总体规划不可分割的一部分,泥沙淤积直接影响水域规划布置的合理性。分析泥沙淤积的手段主要有物理模型试验和规范公式计算,通过东沟1号港池多年实测数据计算泥沙回淤量,对比、分析物理模型试验成果和规范公式计算结果,其回淤量和回淤强度虽有一定差别,但相差不大,在严格控制水文数据情况下,其成果比较贴近实际情况。

参考文献

- [1] 南京水利科学研究院 《丹东港港区和航道总体规划物理模型试验研究》(2011年6月);
- [2] JTS145-2015 《港口与航道水文规范》;
- [3] 长江委长江口水文水资源勘测局 《丹东港大东港区5~20万吨级出海航道整治工程水文测验技术报告》(2010年);
- [4] 交通运输部东海航海保障中心上海海图中心 《大东港区(一)》图号11112、《大东港区(二)》图号11113;
- [5] 丹东东方港口测绘工程事务所 《东沟1号港池水深检测图》(2014.3.27、2014.12.5、2015.11.16、2016.4.23、2017.11.21);