



天津港深水化及二港岛建设水沙环境研究

孙连成, 张娜, 庞启秀, 赵会民

(交通运输部天津水运工程科学研究所 工程泥沙交通行业重点实验室, 天津 300456)

摘要: 根据天津市城市总体规划和产业布局, 结合天津港 30 万吨级航道及东疆第二港岛的建设, 基于多年实测水文泥沙等资料, 采用现场观测、演变分析、物理模型和数学模型等多种手段, 对港口深水化及港岛工程实施后的水流泥沙运动特征及产生的环境效应问题进行了综合性试验研究, 其成果为工程的建设提供了科学依据。

关键词: 天津港; 深水化; 东疆港岛; 水沙环境; 试验研究

中图分类号: TV 131.6

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)07-0023-05

On hydrodynamic and sediment environment of constructing deepwater port and second artificial island in Tianjin port

SUN Lian-cheng, ZHANG Na, PANG Qi-xiu, ZHAO Hui-min

(Key Laboratory of Engineering Sediment of Ministry of Communications, Tianjin Research Institute of Water Transport Engineering, Ministry of Communications, Tianjin 300456, China)

Abstract: On the basis of Tianjin city overall urban planning and industrial layout, we plan to construct the 300 000 ton waterway of Tianjin port and the second artificial island. The experimental research on the movement characteristics of flow and sediment and the environmental effects after implementation of the deepwater port and artificial island project is carried out by the field observation, variety, evolution analysis, as well as physical model and mathematical model. The results provide a scientific basis for the construction of the project.

Key words: Tianjin port; deepwater channel; artificial island of Dongjiang; hydrodynamic and sediment environment; experimental research

我国在淤泥质浅滩上规划和建设的海港众多, 如天津港、连云港、厦门港、深圳港、珠海港和广州港等, 其中许多港口普遍滩浅坡缓, 随着船舶逐步向大型化发展, 船舶吃水深度也呈增加趋势, 要求港池航道的水深也就越来越大。港口深水化建设和离岸港岛建港是两大趋势, 也是我国水运建设需要解决的最迫切的问题, 其中天津港最具代表性。天津港位于渤海湾西部(图1), 该海域岸坡平缓、水浅, 其底质泥沙颗粒很细, 属于典型的淤泥质海岸。泥沙淤积问题曾经是天津港发展的制约因素, 但近年来随着深水化、专

业化战略的实施, 天津港得以快速发展。目前, 天津港 30 万吨级深水复式航道正在建设中, 其航道由主航道和两侧万吨级航道共同组成复式航道。同时, 天津港也在不断加快进行港口扩建的步伐, 天津港南北防波堤延伸工程、东疆港区、北港池等工程也相继建设完成并投入使用。另外, 天津港南、北两侧海域也进行了大规模的围海造陆, 天津港南部海域的临港工业区已投入使用, 临港产业区和南港工业区的建设初具规模; 天津港北部的信息产业创新基地、中心渔港、北塘港区等也在逐步建成并投入使用。规划的东疆第二人工

收稿日期: 2013-11-07

作者简介: 孙连成(1953—), 男, 研究员, 主要从事港口航道工程泥沙研究。

港岛,位于天津港港区陆域的东北部,北临永定新河口南治导线,南临天津新港主航道;与东疆港区东岸隔水相望,东临渤海湾海域。拟围填陆域约 41.3 km^2 ,岛内水域面积 15.9 km^2 。北端与东疆港区陆域相连,东至海域等深线约 -5.5 m 处,东西宽约 3 km ,南北长约 13 km 。

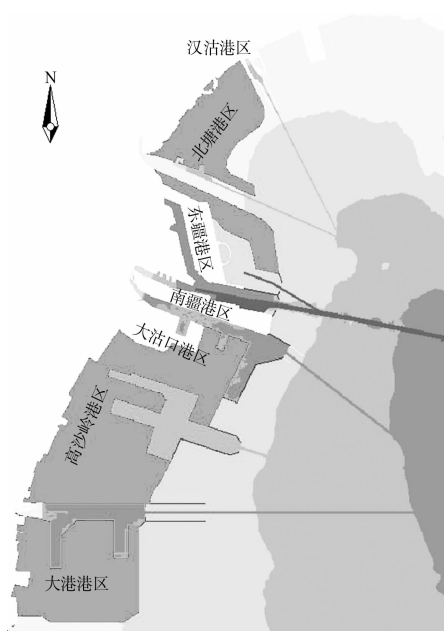


图1 天津港口布置

由此可见,天津港不仅进行着深水化建设(30万吨级港池、航道),而且还进行着人工港岛建设,代表着港口发展的两大趋势。随着天津港的水深不断增加、面积逐步扩大、周边浅滩日趋减小,天津港的水沙运动特征在不断变化。研究其环境水沙运动特征,既是港口深水化建设自身的需要,也是认识港口深水化建设和港岛建港这个关键问题的需要,从而为其它类似港口的深水化建设提供参考。

1 港区水沙环境

1) 本海区属不规则半日潮,每个潮汐日有两次高潮和两次低潮,两次高潮高度相差不大,但两次低潮的高度相差较明显。

2) 本海区的波浪是以风浪为主,波浪主要集中在 $NE \sim E \sim SE$ 方向。 NE 的波浪最强,其次为 E 向。

3) 该海域潮流基本属于往复流性质^[3]。在大沽沙航道以北,涨落潮流总体呈 $NW \sim SE$ 向运动,流向较为集中;在大沽口港区附近,涨落潮流向 $102^\circ \sim 290^\circ$,基本与大沽沙航道平行;在大沽口港区以南至大港海域,位于 -2 m 等深线水域,涨落潮呈 $SW \sim NE$ 的沿岸运动,到 -5 m 等深线以外,涨、落潮流基本呈东西向的向岸离岸运动,且流向相对集中。涨潮流速大于落潮流速,海区流速呈外海大于近岸的规律,且各季基本一致。流速在垂向上根据地点不同、潮型不同,垂线流速分布各有差异,大致呈涨潮表层最大、底层最小,而落潮中层最大、向底层减小的趋势。

4) 通过多年含沙量实测资料分析表明,该海区含沙量呈逐年减少的趋势。由于近岸围海工程的建设,掩护了岸滩泥沙的运移,大大降低了海区的水体含沙量,改善了海区的水质环境。水体含沙量的垂线分布是呈上小下大的变化趋势;航道纵向含沙量的分布是口门段含沙量最大,向内或向外均逐渐减少,呈单峰形状。海区含沙量的纵向(由岸向海)分布呈由大到小的趋势;横向分布呈两头大、中间小的趋势,即从北部的汉沽港区向南逐渐减小,到大港港区及南部(独流减河口附近)含沙量又有所增加。各季含沙量的变化,主要是受气候的影响,夏季为无风季,风浪较弱,含沙量较低;秋、春两季,受寒潮的影响风浪增强,含沙量有所增大;到冬三月,风浪较强,含沙量较大。

5) 通过多年实测数据对比来看^[3],该海区底质泥沙有粗化现象。该海区表层沉积以黏土质粉砂为主,平均中值粒径为 $0.0048 \sim 0.012\text{ mm}$,底质泥沙分布规律横向上是两头粗中间细,即汉沽港区和港岛附近底质略粗,中间相对较细,天津港航道南侧粗于北侧,汉沽港区粗于大港港区的特点;纵向上从岸向海呈由粗到细的趋势。底质泥沙的变化与气候的变化有着密切的关系,在风浪较强的季节滩面泥沙较粗,而在小风浪季节则较细。

6) 海河口由于常年基本不泄洪,没有沙源补

给, 浅滩在向岸大风浪的作用下逐年侵蚀, 所以出现冲刷后退现象; 由于蓟运河口和独流减河口每年受径流和潮流的作用, 泥沙相对活跃, 因而出现淤积现象。

7) 由于本海区外来泥沙缺乏, 加之近岸围海造陆工程的建设, 使海区水体含沙量不断降低, 海区的水质环境得到改善, 有利于港口和航道工程的发展。

2 研究方法

为研究港口深水化建设水沙运动和环境效应, 以天津港的 30 万吨级航道建设和二港岛建设为例, 综合采用现场观测、物理模型和数学模型等多种手段, 研究港口深水化条件下的水流运动特征、泥沙运动及港池航道泥沙回淤特征, 以及港岛建设对水沙环境的影响等。

2.1 数学模型模拟

针对本专题研究问题采用潮流泥沙数学模型对工程前后潮流场以及地形冲淤变化进行模拟。在淤泥质海滩上, 促使岸滩演变的基本动力过程是“波浪掀沙、潮流输沙”, 它与岸滩演变、港口回淤、航道淤积、闸下淤积等许多问题有关。因此为了合理模拟岸滩变化过程, 必须对造成岸滩演变的水动力过程如波浪、潮流等进行合理的模拟。本研究所采用的数学模型主要包括波浪模型、潮流模型以及泥沙模型^[1], 3 个模型计算工作流程见图 2。

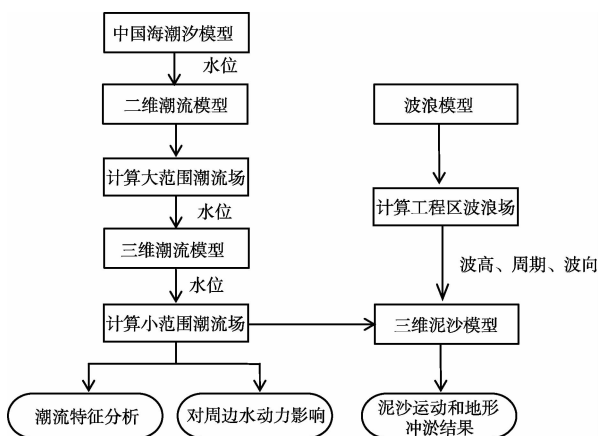


图 2 波浪、潮流、泥沙数学模型计算流程

2.2 物理模型试验

原型范围: 北至永定新河河口以北的北塘港区, 南至临港工业区最南端, 西起海河船闸以西 4 km, 东至天津港主航道里程 36 + 0 附近, 南北方向约 25 km, 东西方向约 40 km 左右。模型周围还应布置相应的供水循环、生潮设备。综合该海域以往的潮流资料, 本模型的布置方向为 300° ~ 120°。为准确模拟该海域天然情况下的潮流运动, 除主生潮端外, 还在模型的北端布置可逆泵生潮, 以模拟该区域的潮流运动。

本模型为浑水定床淤积模型^[2], 应以泥沙的沉降相似为主 (表 1)。同时还应考虑下列条件: 1) 工程区域范围及试验场地的大小、试验设备供给能力、测量精度; 2) 模型水流应满足流态相似, 研究区域内的水深不宜小于 3 cm; 3) 模型应满足阻力相似, 并同时考虑摩阻损失不能太大; 4) 应有能满足泥沙沉降和起动力相似要求的模型沙。

表 1 潮流泥沙整体模型试验参数

运动	比尺名称	表达式	比尺	
			计算值	采用值
潮流	水平比尺	λ_l	700	700
	垂直比尺	λ_h	100	100
	变率	$\eta = \lambda_l / \lambda_h$	7	7
潮流运动相似	流速比尺	$\lambda_u = \lambda_v = \lambda_h^{1/2}$	10	10
	潮流时间比尺	$\lambda_t = \lambda_l / \lambda_h^{1/2}$	70	70
	潮量比尺	$\lambda_w = \lambda_l^2 \times \lambda_h$	4.9×10^7	4.9×10^7
	糙率比尺	$\lambda_n = \lambda_h^{2/3} / \lambda_l^{1/2}$	0.81	0.81
泥沙运动相似	流量比尺	$\lambda_q = \lambda_l \times \lambda_h^{2/3}$	7.0×10^5	7.0×10^5
	沉速比尺	$\lambda_w = \lambda_h^{1/2} / \lambda_l$	1.43	1.43
	干密度比尺	$\lambda_{\gamma_s} = \rho_{op} / \rho_{om}$	0.94	0.94
含沙量比尺	含沙量比尺	$\lambda_s = \lambda_{\rho_s} / \lambda_{\rho_s - \rho}$	0.50	0.42
	冲淤时间比尺	$\lambda_{t_s} = \lambda_l \frac{\lambda_l}{\lambda_s}$	132	241

3 基本成果

1) 采用现场观测、演变分析、物理模型和数学模型等多种手段, 综合研究了天津港现状、远期规划和二港岛方案时的潮流特征 (图 3), 研究了各方案的泥沙回淤规律以及二港岛建设后对周围环境的影响, 在此基础上提出了泥沙减淤措施。给出了天津港深水化后航道内的含沙量平面分布特征。航道内含沙量平面分布特征: 明显表现出口门外大于

港内，而港内含沙量沿程逐渐减小，特别是经历口门段的环流区域后，港内中段的含沙量仅剩为口门外含沙量的50%~60%，至港池最内端后含沙量变得很小，仅为口门外含沙量的10%~20%。给出了内航道含沙量沿程分布关系式^[4]：

$$S = S_0(1 - L/L_0)^{1.73} \quad (1)$$

式中： S 为内航道计算点的含沙量 (kg/m^3)； S_0 为口门处的含沙量 (kg/m^3)； L_0 为口门处的航道里程，即口门至港内最里端的距离 (m)； L 为计算点至口门的距离 (m)。

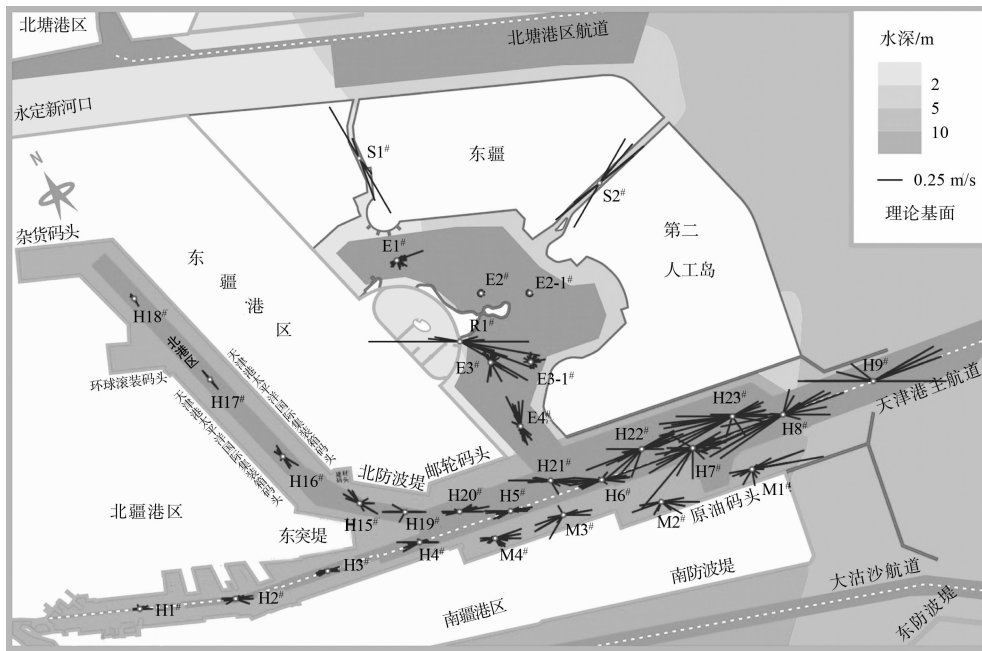


图3 水流运动模拟试验

2) 提出了天津港深水化条件下的泥沙淤积分布规律^[4]。天津港近10 a来未曾进行过全港性的泥沙回淤规律研究工作，而这段时间来港口发展迅速，港池航道不断开挖建设为深水航道，周边浅滩不断被围垦开发利用，因此也就不清楚港口目前状态下的泥沙回淤规律。模型试验得出天津港深水化条件下的泥沙回淤规律如下：口门区段淤积最大，向港内淤积逐渐减小，向外航道也逐渐减小；环流区域的淤积强度是水流平顺区域的2~4倍；主航道大于南、北两侧航道（复式航道），而且北侧航道略大于南侧航道；港内泥沙淤积存在重新分布现象，深水区的淤积明显大于相邻的浅水区；全港年淤积量为800万 m^3 左右。

3) 针对天津港深水化条件下的淤积分布特征，从泥沙来源角度考虑，可开展如下减淤措施：主要包括配合港口发展规划减小自口门进入港内的悬浮泥沙，开挖港内浅滩减小中转水域，并采

用环保疏浚方法减小疏浚对周围水域的影响等；从港池航道的泥沙淤积分布特征方面，主要包括结合远期规划特别是二港岛的建设，开挖口门处浅滩来改善口门流态，对局部重淤积区特别是主航道口门区段利用适航水深技术、扰动疏浚技术等来减小维护疏浚量，口门段深水泊位则通过增加备淤深度、设置集泥坑等来减小维护疏浚对泊位利用率的影响。

天津港虽然是在淤泥质浅滩上人工开挖出的港口，但经过几十年的建设，今日的天津港已经成为深水化的主枢纽港。口门航道横流对船舶影响不大，航行条件较好；泥沙淤积基本属于“轻淤积港”，很大水域甚至属于“微淤积型”，虽然口门区段泥沙淤积相对较大，但采取一些工程措施能够保证深水化条件下的港口水深的维持。二港岛建设和周边港区的建设，会使泥沙环境不断改善、泥沙淤积程度将进一步减轻。

4) 第二港岛工程实施后,对周边海域整体潮流场影响有限,只是在工程局部流速流向发生变化,影响范围主要集中在临港工业区至北塘港区之间。天津港口门至第二港岛主水道段流速增加,增加幅度在0.26 m/s以内。第二港岛东侧为流速减小区域,流速减小最大区域为天津港北防波堤外侧,最大流速减小幅度约0.59 m/s,潮段平均流速减幅在0.30 m/s以内,往外海方向流速减小趋势逐渐变小。第二港岛北侧为流速增加区域,最大流速增加幅度为0.22 m/s,潮段平均流速增幅为0.12 m/s。钻石岛口门局部流速略有变化,西侧靠近永定新河口的口门流速略有增加,靠近外海东侧2口门流速略有减小,变化幅度在0.03 m/s以内。

5) 第二港岛建设对工程区域波浪场影响有限,影响范围主要集中在天津港至北塘港区之间。天津港港池内,由于工程后航道的拓宽,使得航道的拓宽段波高有一定的增大,增大幅度在0.15 m以内;北塘港区由于受到工程区域岸线外推的影响,波高相应有所衰减,在波影区衰减幅度最大,减小幅度在0.60 m以内;工程方案内部水域,由于处在工程掩护区域内,波高相对较小;其余区域波高变化相对较小。

6) 工程实施后,第二港岛对天津港内水体交换产生有利影响,30 d内水体交换率增加6%,而对滨海旅游区钻石岛内水体交换产生不利影响,但影响很有限,相同时间水体交换率下降约1%。

7) 第二港岛工程建设对地形变化影响只限于工程附近。在天津港北防波堤以北和二港岛东边界之间、天津港南疆东边界局部、二港岛北侧取泥区以及钻石岛外侧呈淤积趋势,其中取泥区淤积最重,最大淤厚可以达到3.5 m;在北防波堤堤根拐角处最大淤积厚度接近1.0 m;在人工岛外侧

东北转角位置、取泥区东侧,局部会出现冲刷,最大冲深约0.45 m;海洋特别保护区内地形基本没有变化。

4 结论

1) 天津港在港口深水化建设条件下,水流垂直梯度较大,港内含沙量沿程(远离口门)逐渐减小;泥沙回淤强度以口门环流区域最大,向里逐渐减小,环流区域的淤积强度是水流平顺区域的2~4倍。

2) 在深水化过程中,港内各水域水深不同,则港内泥沙淤积存在重新分布现象,深水区的淤积明显大于相邻的浅水区,口门区段淤积最大,向港内淤积逐渐减小;在复式航道中则表现出主航道大于南、北两侧浅航道而且北侧航道略大于南侧航道;全港年淤积量为800万 m^3 左右。

3) 第二人工港岛的建设对整体海域的影响有限,影响范围主要集中在工程附近11~13 km,对临港经济区、南港工业区、中心渔港以及海洋特别保护区基本没有影响。随着二港岛和周边港区的建设,海域泥沙环境将不断改善,港池及外航道的泥沙淤积程度将进一步减轻。

参考文献:

- [1] JST T 231-2—2010 海岸河口潮流泥沙模拟技术规程[S].
- [2] JTJ 213—1998 海港水文规范[S].
- [3] 孙连成,张娜,陈纯.淤泥质海岸天津港泥沙研究[M].北京:海洋出版社,2010.
- [4] 孙连成,庞启秀,张娜,等.港口深水化建设水沙运动与环境效应研究[R].天津:交通运输部天津水运工程科学研究所,2013.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第11页)

参考文献:

- [1] 过镇海.钢筋混凝土原理和分析[M].北京:北京清华大学出版社,2003.
- [2] 孙晰雯.水运工程钢筋混凝土结构实体保护层的作用分析[J].中国水运,2012(12):230-231.

- [3] 李俊毅,梁萌,卢秀敏,等.对水运工程钢筋混凝土结构实体保护层作用的认识[J].水运工程,2006(4):10-13.
- [4] JTS 257—2008 水运工程质量检验标准[S].
- [5] JTS 202—2011 水运工程混凝土施工规范[S].

(本文编辑 郭雪珍)