



鸭绿江界河公路大桥建设期 桥区河段淤积原因分析

王建军

(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: 基于多年实测地形资料, 同时结合上游来水来沙情况, 对鸭绿江界河公路大桥建设期桥区河段河床出现较大幅度冲淤变化的原因进行分析。研究表明: 2010 年 3 月—2010 年 9 月, 径流来流量较大, 河段总体冲刷明显, 河床呈现明显的右侧凸岸边滩冲刷, 左侧凹岸深槽淤积的特点, 大桥施工期淤积量较大的主要原因是前期冲刷量大、河床自动恢复平衡的结果。施工期内施工栈桥、运输栈桥等设施密集桩群对 2010 年大水后的回淤有明显的促进作用。

关键词: 鸭绿江界河公路大桥; 河床冲淤变化; 桥区河段; 施工期

中图分类号: U 448. 14

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)05-0098-07

Cause of siltation in bridge navigable waters during construction of Yalu river highway bridge

WANG Jian-jun

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

Abstract: Based on the measured topographic data for many years, and combining with conditions of water and sediment upstream of the Yalu river, this paper analyzes the cause of large erosion and deposition on the riverbed of highway bridge waters in the period of bridge construction. The results show that from March 2010 to September 2010, the runoff is larger and the riverbed erosion is obvious, which is featured with erosion at the right side of the protruding shore beach and deposition at the left side of the concave bank deep grooves. The main reason for the large erosion during construction of the bridge is the strong erosion at the early stage and automatic re-balance of the riverbed. During the bridge construction, the dense pile groups of the construction trestle and transport facilities promote greatly the backsiltation after the flood in 2010.

Keywords: Yalu river highway bridge; change of riverbed sediment; bridge navigable water; construction period

为改善中朝两国陆域交通条件, 中朝两国政府决定建设鸭绿江公路大桥, 鸭绿江界河公路大桥桥址位于柳草岛分汉段的下游(丹东港浪头港区下游约 1.5 km 处, 见图 1), 受径流与潮流双重作用。桥梁主跨为 636 m, 边跨为 229 m。2011 年 5 月开始, 大桥施工栈桥、运输栈桥和江中主桥墩开始开工建设。受自然因素和人类活动的影响, 桥区河段的河床存在较大幅度的冲淤变化。特别是在 2010 年 3 月—2012 年 7

月, 河床地形存在先大幅冲刷后大幅淤积的变化特征, 中方一侧运输栈桥因边滩淤积而向河心作了延长, 航道位置也进行了调整, 对桥区河段航道稳定及航行安全造成了一定影响。因此, 对大桥建设期河床出现的较大变形原因及影响因素进行深入研究是十分必要的。本文基于多年实测地形资料, 结合上游来水来沙情况, 分析 2010—2012 年大桥施工期内桥区河段河床剧烈变化的原因。

收稿日期: 2015-12-14

作者简介: 王建军 (1980—), 男, 副研究员, 从事港口航道工程研究工作。

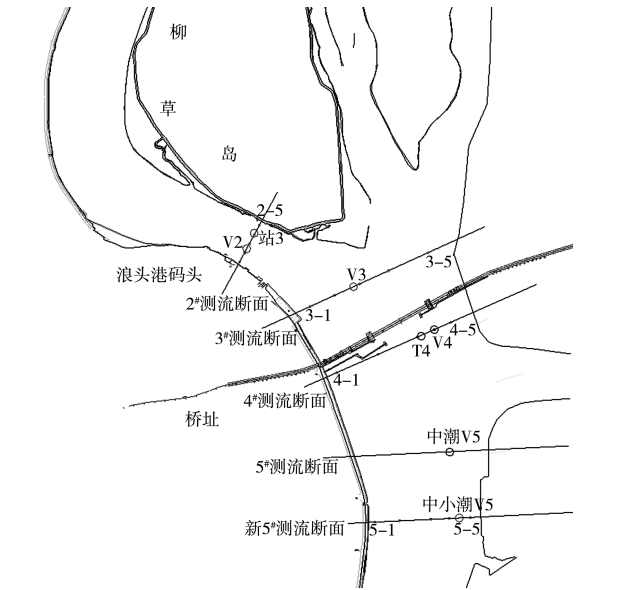


图 1 在建鸭绿江界河公路大桥位置及潮流测站位置

1 研究区域概况

鸭绿江是中朝两国共有共管的界河，发源于长白山主峰南麓，沿中朝边境从北东流向南西，流经吉林省的临江和集安，与浑江汇合后流入辽宁省的宽甸县、丹东市区，于东港市注入黄海^[1]。鸭绿江干流全长 816 km，总流域面积 64 471 km²，其中中国侧流域面积 32 466 km²。辽宁段自浑江口至江海分界线长 241 km，流域面积 16 732 km²，全部在丹东境内。

鸭绿江河口平面形态呈漏斗状，河流纵比降较大，感潮河段较短，潮区界在九连城的马市(暖河汇入口) 附近，距口门 54 km，潮流界在浪头港以上丹东鸭绿江大桥(简称江桥) 附近，距口门 42 km。江桥以上到马市(暖河汇入口) 为河口的河

流段(近口段)，江桥至斗流浦为河口的过渡段(河口段)，斗流浦以下为河口的潮流段(口外海滨段)。

1.1 上游来水来沙

本河段泥沙来源主要为河流携带泥沙，这是河口区悬沙含量、运移趋势、冲淤变化主要控制因素^[2-3]。同时，本河段受潮汐影响。

从鸭绿江干流荒沟水文站(位于江桥上游 23 km) 和支流暖河梨树沟水文站(距江桥上 33 km(暖河内)) 1956—2012 年径流及来沙情况可知：

1) 鸭绿江水沙的年内分配极不均匀，鸭绿江径流主要集中于汛期的 6—9 月，2 月最少，其中 5—10 月占全年的 75% 以上。暖河与鸭绿江干流的交汇处，干流径流量占鸭绿江总径流的 80% 左右，暖河径流量占鸭绿江总径流量的 10%。

2) 暖河梨树沟水文站的最小流量仅 2.5 m³/s，而 2010 年 8 月 21 日测到的最大流量达 12 300 m³/s，两者相差 4 920 倍。干流荒沟水文站最小流量为 30 m³/s，而 1995 年 8 月 8 日测到的最大流量达 28 500 m³/s，两者相差 950 倍。目前，鸭绿江干流已相继建成云峰、渭源、水丰、太平湾等水电站，经水电站水库调节，消减了流域内的洪峰流量，使得鸭绿江径流趋于平均化。鸭绿江干流荒沟水文站与暖河梨树沟水文站的流量之和基本代表了鸭绿江的总流量。

3) 根据荒沟和梨树沟水文站的水文统计，2010 年为鸭绿江大水年，年径流量为 503.51 亿 m³，年输沙量达 381.51 万 t(表 1)。

表 1 荒沟、梨树沟水文站近年径流量和输沙量						
年份	荒沟		梨树沟		总计	
	径流量/亿 m ³	输沙量/万 t	径流量/亿 m ³	输沙量/万 t	径流量/亿 m ³	输沙量/万 t
2002	109.22	8.13	10.02	11.90	119.23	20.03
2003	158.00	5.32	16.87	8.14	174.87	13.46
2004	218.23	20.80	25.23	10.90	243.46	31.70
2005	309.94	26.13	30.46	33.82	340.41	59.95
2006	221.70	96.40	24.66	35.80	246.36	132.20
2007	221.04	37.70	25.70	21.04	246.74	58.74
2008	232.34	8.31	23.67	10.77	256.01	19.08
2009	169.50	3.41	12.09	1.74	181.58	5.15
2010	441.67	263.53	61.84	117.97	503.51	381.51
2011	216.93	10.13	20.91	9.68	237.84	19.82
2012	262.21	23.48	35.21	62.03	297.43	85.51

1.2 潮流及潮汐

1.2.1 潮汐

鸭绿江口外浅海的潮汐属于规则半日潮，平均潮差是 4 m，为强潮河口，鸭绿江口内的潮汐为不规则半日潮。受河道地形和径流诸因素的影响，潮波进入鸭绿江后明显变形，丹东站日潮不等现象突出，潮差从南向北逐渐减小，至丹东站平均潮差已降至 2.41 m，落潮历时大于涨潮历时。上游径流量变化对涨落潮历时的长短也有一定影响，一般表现为：涨潮历时，汛期短，枯水期长；落潮历时，汛期长，枯水期短。

1.2.2 潮流

根据 2013 年 3 月 14 日—3 月 25 日 4 个测站的实测潮流资料（图 1），桥区河段潮流具有如下特点：

1) 潮流表现为往复流，各测站涨、落潮流基本沿河道（或沿岸）流动，大、小潮涨、落潮流向基本一致。

2) 大潮期间，涨潮垂线平均流速大于落潮垂线平均流速；中潮、小潮的涨潮垂线平均流速均小于落潮垂线平均流速。

3) 实测区域潮流流速大潮、中潮、小潮依次递减：涨、落潮平均流速大潮、中、小潮分别为 0.997、0.796、0.641 m/s。

4) 涨潮历时一般在 4~5 h，落潮历时一般在 7~8 h。

1.3 最大浑浊带

根据卫星图片提供的信息，鸭绿江口分布着浑水区。浑水区的上界因潮型和潮汐相位的变化而上下移动，最大浑浊带的上限溯达浪头港^[4-5]，下界在细岛、碧岛和水运岛一带移动。高含沙量区中心在斗流浦。以斗流浦为中心，上至蚊子沟，下至绸缎岛以东的上口河段是涨落潮高流速区。

2 河床演变分析

2.1 河型特征

鸭绿江界河公路大桥河段为感潮河段，汛期主要受上游径流影响，落潮优势流特征明显；枯

季更多受潮流及海向来沙影响。

自上游江桥始至浪头港稍上游的月亮岛（中国），河道顺直，最大河宽约 930 m（月亮岛附近），两岸较为稳定。其下，河道弯曲、分汊，主槽由紧邻的上、下两个弯道河段组成，两弯道间的过渡段较短（图 2）。



图 2 桥区河段河势

上弯道河段为急弯，弯曲半径小，河宽窄，弯顶附近河宽仅约 770 m。位于中方一侧的岸线（凹岸）因堤防工程等控制，较为稳定。受弯道环流和河宽较窄影响，凹岸一侧水深较大，浪头港即位于该河段。

下弯道为缓弯，弯曲半径相对较大，弯顶处河宽约 1 400 m，较上弯道河段明显放宽。同样，受弯道环流和河宽较大的影响，凹岸一侧（朝侧）水深相对较大，但最大水深明显小于上弯道。因弯道效应，下弯道凸岸边滩（中方一侧）较为发育。

在上弯道的凸岸存在柳草岛、东柳草岛两个江岛，在岛间和内陆存在两支汊，其中左侧支汊窄、岛间支汊稍宽，两支汊在东柳草岛岛尾汇合于下弯道弯顶稍上汇入主槽。两支汊为朝鲜内水，分流量不大。在下弯道的弯顶处，有朝鲜支流三桥川入汇。朝鲜一侧的岛岸和陆岸均实施护岸工

程，岸线基本稳定。

可见，本河段的河势是基本稳定的。上弯道的凸岸边滩为洲岛，因朝方实施圈围而较为高大、稳定，弯道主槽水深大，也较为稳定；下弯道相对较宽，其凸岸边滩较发育，但高程相对较低，故易产生变化，主槽较浅，不甚稳定。

2.2 近期河床冲淤变化情况

根据近年来（2008—2013 年）实测地形数据，对大桥施工建设前后上下游河段河床演变情况进行分析。

1) 2008 年 8 月—2010 年 3 月冲淤变化(图 3a))。
在柳草岛右汊出弯段，浪头港码头区域存在约 3 m 左右的淤积，河道左侧存在 1 m 左右的冲刷；水流出弯，在河道展宽处的河道凸岸边滩存在大范围的淤积，淤积幅度大都在 3 m 以内；边滩近岸侧存在小范围顺水流方向的带状冲刷，幅度大多在 1 m 以内。

2) 2010 年 3 月—2010 年 9 月冲淤变化(图 3b))。
浪头港以下中方侧凸岸边滩在大洪水作用下冲刷明显，最大冲刷深度在 5 m 以上；浪头港码头前沿冲深 3~7 m，船厂码头前沿附近冲刷幅度较上下游河段偏小，冲刷幅度在 1 m 左右。与边滩相对的朝鲜岸侧产生了淤积，最大淤积厚度超过 5 m。在 2010 年 3 月—2010 年 9 月间，径流来流量较大，河段总体冲刷明显，河床呈现明显的右侧凸岸边滩冲刷，左侧凹岸深槽淤积的特点。

3) 2010 年 9 月—2012 年 7 月冲淤变化(鸭绿江公路大桥在此期间开工建设)(图 3c))。

自浪头港上游至在建大桥河段的右侧凸岸边滩存在着较大幅度的淤积，最大淤积幅度超过 5 m；在建大桥下游的右岸侧边滩也存在较大范围的淤积，淤积幅度多在 3 m 以内。河段左岸侧基本呈冲刷趋势，除朝鲜侧主桥墩以上河段附近存在着超过 5 m 的冲刷外，冲刷一般在 1~3 m。

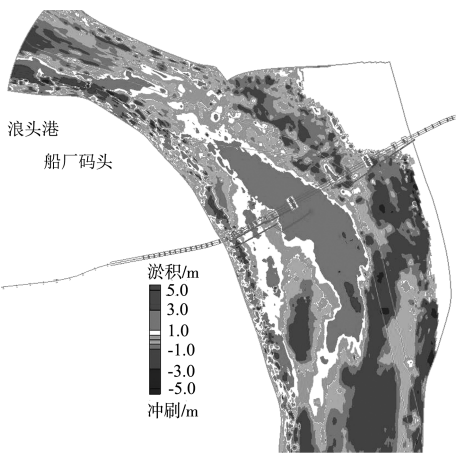
对比图 3b) 和图 3c) 可知：这两个时间段冲淤变化特征基本是相反的。

4) 2012 年 7 月—2013 年 3 月冲淤变化(图 3d))。

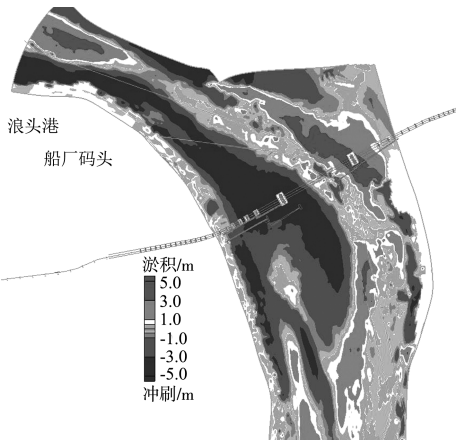
在建大桥右侧凸岸边滩船厂码头附近、施工栈桥头部、桥下边滩中部及边滩外缘深槽处均存在 1 m 左右的淤积，局部淤积幅度接近 3 m；其它区域基本呈冲刷趋势，冲刷幅度基本在 1 m 左右。

5) 2010 年 3 月—2013 年 3 月的冲淤变化(图 3e))。
船厂码头至在建大桥间河段存在小范围的窄幅淤积体（一般淤积幅度 1 m 左右）；上边滩外缘基本呈现冲刷趋势；桥下边滩中部也存在着长度约 440 m、约 100 m 宽的淤积带，一般淤积厚度在 2 m 以内；桥下右侧边滩主槽位置存在宽约 200 m，长约 1.2 km 的淤积带，淤积幅度在 2~6 m；朝方侧主桥墩上下游约 500 m 范围内存在宽约 130 m 左右的淤积带，淤积幅度在 1~2 m。

图 3d)、图 3e) 表明施工期河床发生较大冲淤变化，且在 2010—2013 年 2 个完整的水文年的冲淤特征及部位基本相同。



a) 2008-08—2010-03



b) 2010-03—2010-09

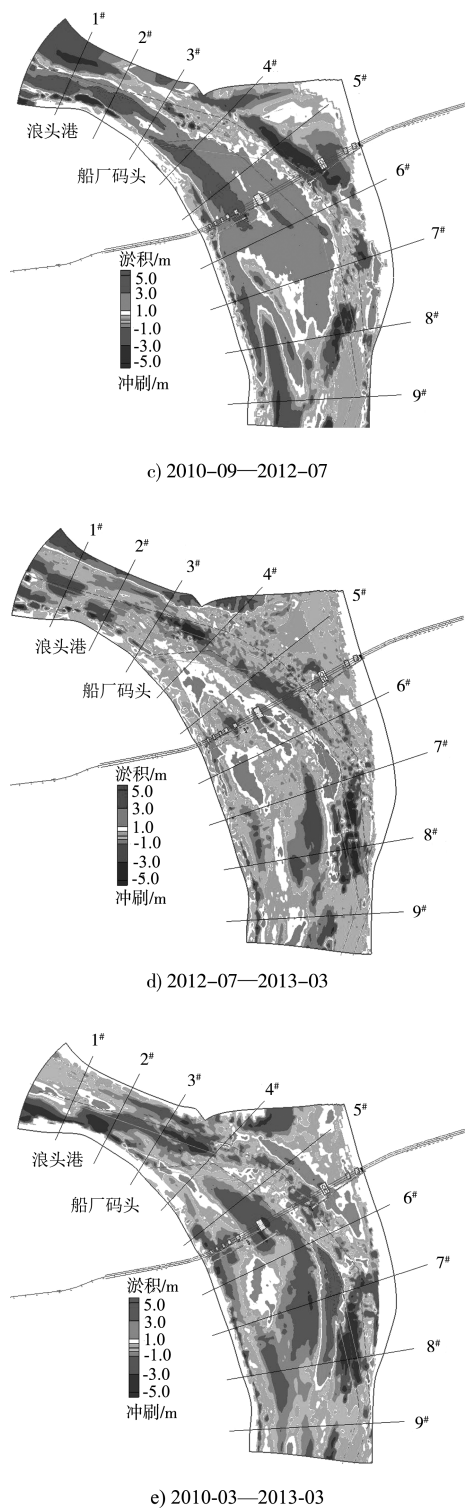


图 3 桥区河段河床冲淤变化

2.3 地形等深线的变化情况

1) 0 m 等深线的变化(图 4a))。

浪头港以下河道凸岸边滩 0 m 等深线年际间变化很大,一般大水年萎缩后退,大水年过后呈现恢复发展态势(2010 年大水年后,9 月份时边

滩 0 m 线几近消失)。2012 年 7 月测图凸岸边滩船厂以下约 600 m 范围内 0 m 等深线在紧贴河道的右岸侧,至 2013 年 3 月向深槽侧扩展,最大扩展约 160 m,基本位于最近几年测图的外缘。

2) -2 m 等深线的变化(图 4b))。

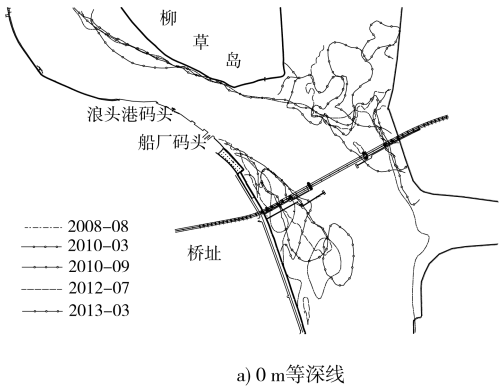
凸岸边滩-2 m 等深线大水年大幅后退,大水年过后逐渐恢复,一般呈现左右摆动的趋势。-2 m 等深线的头部一般在船厂码头附近,船厂码头向下游 500 m 范围内-2 m 线一般在 50 m 左右幅度内左右小幅摆动;桥轴线断面-2 m 等深线左右摆动幅度较大,2010 年 3 月—2010 年 9 月大水冲刷过后,-2 m 线萎缩了近 500 m,至 2012 年 7 月向深槽侧扩展了约 252 m,至 2013 年 3 月向深槽侧又扩展了近 50 m。

3) -5 m 等深线的变化(图 4c))。

2008 年 8 月和 2010 年 3 月测图中,除 2010 年 9 月由于大水冲刷的影响-5 m 等深线大幅萎缩外,其他年份-5 m 等深线在在建大桥的上游河段约 80 m 河宽范围内左右摆动,2013 年 3 月测图和 2010 年 3 月测图-5 m 等深线位置相近;在建大桥的下游 440 ~ 1 000 m 范围内,-5 m 等深线自 2010 年 3 月开始持续向深槽侧扩展,最大展宽约 153 m;凸岸边滩下部 2013 年 3 月测图-5 m 等深线较 2010 年 3 月测图向深槽侧扩展了约 50 m。

4) -8 m 等深线的变化(图 4d))。

-8 m 等深线区域基本上在浪头港码头上下游附近河段,码头附近-8 m 等深线变化不大,主槽内-8 m 等深线有发展的趋势,且向下游的发展更为明显。



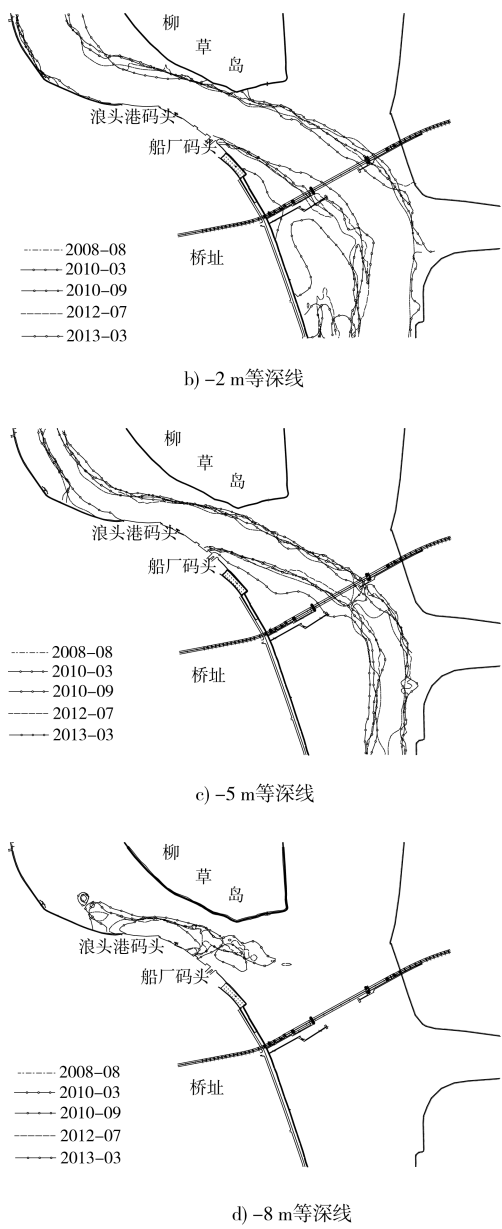


图 4 2008—2013 年等深线变化

2.4 桥区淤积特征

- 1) 2010 年 3 月—2010 年 9 月，径流来流量较大，河段总体冲刷明显，河床呈现明显的右侧凸岸边滩冲刷，左侧凹岸深槽淤积的特点。
- 2) 2010 年 9 月—2012 年 7 月，桥区河段淤积明显，右岸侧凸岸边滩存在大幅淤积，左岸侧基本呈冲刷趋势，与 2010 年 3 月—2010 年 9 月间河床的冲淤变化基本是呈反向的。
- 3) 2012 年 7 月—2013 年 3 月与 2010 年 3 月—2013 年 3 月河床的冲淤特征及部位基本相同。

3 河床冲淤变化原因分析

1) 涉水工程（鸭绿江界河公路大桥施工）。由于鸭绿江是中朝界河，规模性的涉水工程建设管理较为严格，在近期位于研究河段下弯道的在建鸭绿江界河公路大桥外，无其它规模性的涉水工程在建。据大桥建设管理部门提供的资料，施工栈桥及运输栈桥均于 2011 年 5 月建设，大桥江中主桥墩于 2011 年 9 月开工建设。由于桥梁工程施工，特别是采用较为密集桩群的施工栈桥及运输栈桥的存在，对下弯道的凸岸边滩的水流运动影响较大。统计表明：2013 年 3 月实测资料中，大潮涨急时桥墩（建成后实际墩体）所占的断面过水面积约为 6%；目前桥梁施工建设期内，桥轴线断面（包括桥墩、施工栈桥、朝方侧运输栈桥等）所占过水面积总和约为 15.3%，中方侧运输栈桥（桥轴线下游 50~100 m）所占过水面积总和约为 3.5%；将整个施工设施（桥轴线断面+运输栈桥）投影到一个断面，所占过水面积总和约为 17.6 %。由此可见，大桥施工对两侧边滩的阻水效应明显，进而影响桥区河段的河床变形。数学模型计算也表明^[6-8]：大桥的建设（包括施工栈桥等）会造成上下游河段一定幅度的淤积；大桥建设完成（拆除施工栈桥等设施）后，由于阻水明显减弱，会在一定程度上缓解由于大桥建设引起的淤积问题，河床会产生一定的冲刷和恢复调整。

2) 来水来沙条件。海向水沙条件没有根本性的变化。研究河段的径流主要来自鸭绿江干流和其支流——绥河，干流荒沟水文站位于丹东鸭绿江大桥上游 23 km；支流绥河梨树沟水文站距丹东鸭绿江大桥上 33 km。分析收集到的两站水沙资料得知，2010 年是鸭绿江的大水年，最大日均流量达 16 570 m³/s，来自干流的为 9 560 m³/s，来自支流的为 7 000 m³/s；其中 8 月和 9 月为洪峰发生月，两月内的平均流量为 4 363 m³/s。2010 年的年平均流量为 1 596 m³/s，是多年平均流量 750 m³/s 的 2.13 倍。2010 年亦为大沙年，年悬移质输沙总量为 381.51 万 t，年均

含沙量为 0.076 kg/m^3 ，径流含沙量较小，主要集中在汛期。

由上可知，2010 年 9 月测图前后的河床大冲大淤现象主要是 2010 年鸭绿江大水产生的，淤积主要缘于 2010 年洪水冲刷后河床自动恢复平衡。在建大桥施工期内施工栈桥、运输栈桥等设施密集桩群对 2010 年大水后的回淤有明显的促进作用。在建大桥施工期内施工栈桥、运输栈桥等设施密集桩群对正常年份河段内的凸岸边滩的淤积影响明显。

4 结 论

1) 2010 年 3 月—2010 年 9 月，径流来流量较大，河段总体冲刷明显，河床呈现明显的右侧凸岸边滩冲刷，左侧凹岸深槽淤积的特点，大桥施工期淤积量较大的主要原因是前期冲刷量大、河床自动恢复平衡的结果。施工期内施工栈桥、运输栈桥等设施密集桩群对 2010 年大水后的回淤有明显的促进作用。

2) 大桥的建设(包括施工栈桥等)造成上下游河段的淤积，在一定程度上影响了港口、航道功能的正常发挥。为保障正常通航，建设期间须辅

以必要的疏浚维护措施，大桥建设完成(施工栈桥等施工设施拆除)后，会在一定程度上缓解由于大桥建设引起的淤积状况，但在一段时期内仍须采取必要的疏浚维护措施。

参考文献：

[1] 中国海湾志编纂委员会.中国海湾志第十四分册[M].北京: 海洋出版社, 1998.

[2] 王子臣, 冯天琼.鸭绿江流域的水文概况[J].水文, 1983(1): 49-53.

[3] 韩西军, 吴以喜.鸭绿江西水道治理工程[J].水道港口, 2003 (1): 34-38.

[4] 金惜三, 李炎.鸭绿江洪季的河口最大浑浊带[J].东海海洋, 2001(1): 1-10.

[5] 陈炳安, 阎新兴.丹东新港动力地貌调查报告[J].水道港口, 1986(3): 20-27.

[6] 张华庆, 陆永军.河道平面二维泥沙数学模型[J].水道港口, 1993(2): 36-43.

[7] 张华庆, 乐培九, 杨细根.二维泥沙数学模型的改进——模型的建立[J].水道港口, 1996(4): 9-19.

[8] 黄美玲, 张华庆.鸭绿江公路大桥桥区河段平面二维潮流泥沙数学模型研究[J].水道港口, 2014(4): 358-362.

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第 87 页)

5 结 论

1) 燕子窝水道在蓄水初期，为稳定当时较好的滩槽格局，对关键部位进行了守护控制，航道条件也有所改善，但随着三峡水库清水下泄的影响逐渐发展，燕子窝水道仍存在心滩前沿低滩冲刷、右槽发展等不利变化，在已建工程基础上实施后续工程是必要的。

2) 根据治理思路，提出守护燕子窝心滩前沿低滩并适当抑制右槽发展的工程方案，并对结构进行设计。模型试验成果表明，方案实施后，可达到预期效果，且工程稳定性较好。

3) 在结构设计中，主要优化了与已建工程衔接处的处理，加强了局部结构稳定性。

参考文献：

[1] 交通运输部.长江干线航道总体规划纲要[R].北京: 交通运输部, 2009.

[2] 长江航道规划设计研究院.长江中游赤壁至潘家湾河段燕子窝水道航道整治工程工程可行性研究报告[R].武汉: 长江航道规划设计研究院, 2014.

[3] 长江航道规划设计研究院.长江中游赤壁至潘家湾河段燕子窝水道航道整治工程初步设计[R].武汉: 长江航道规划设计研究院, 2014.

[4] 长江航道规划设计研究院.长江中游赤壁至潘家湾河段燕子窝水道航道整治工程施工图设计[R].武汉: 长江航道规划设计研究院, 2015.

(本文编辑 郭雪珍)