

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2018.05.002

张胡, 杜德军, 夏云峰, 等. 沪通长江大桥墩位布设适应性分析[J]. 水利水运工程学报, 2018(5): 8-13. (ZHANG Hu, DU Dejun, XIA Yunfeng, et al. Comprehensive analysis of adaptability of pier layout of Shanghai-Nantong Yangtze River Bridge[J]. Hydro-Science and Engineering, 2018(5): 8-13. (in Chinese))

沪通长江大桥墩位布设适应性分析

张 胡¹, 杜德军², 夏云峰², 闫杰超¹

(1. 中铁大桥勘测设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430050; 2. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: 为深入研究沪通长江大桥墩布设合理性, 分析拟建桥梁对 12.5 m 深水航道以及船舶通航等的影响, 通过物理模型试验从水动力变化、河床冲淤变化、桥址河段通航条件等方面分析拟建桥梁墩位布设的适应性, 并对现有的桥位方案和主桥各通航孔向南平移 200 m 的方案进行了比选分析。同时, 于 2010 年 4 月和 7 月进行了桥区河段枯季大、小潮, 洪季大、小潮船筏走行线的现场测量。研究表明, 在桥位方案确定的情况下, 现有墩位方案稍优, 能满足实际航行需要。研究结果可为后续大桥建设提供一定的理论指导与技术支持。

关 键 词: 12.5 m 深水通航; 沪通长江大桥; 桥位比选; 航迹线

中图分类号: U442.4; TV 143 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2018)05-0008-06

作为长三角地区沿海铁路大通道的重要控制性工程, 沪通长江大桥的修建将有利于南通融入上海经济圈和吸收上海自贸区的“溢出效益”。工程区域位于长江江苏段, 上下游有福姜沙、通州沙等长江南京以下 12.5 m 深水航道重要整治河段^[1], 加之工程区域径流与潮流条件复杂, 大大增加了沪通长江大桥的修建难度。为了确定沪通长江大桥的修建位置, 杜德军等^[2]分析了十二圩桥位、十三圩桥位和西界港桥位的岸线变化、河相关系与等高线等变化, 最终确定了十三圩桥位方案。高宗余等^[3]通过分析桥墩对河道航道、行洪等的影响, 研究了沪通长江大桥的总体设计。裴金林等^[4]从对深水航道的影响与通航要求研究了沪通长江大桥的桥墩布置方案。杜德军等^[5]通过物理模型试验研究了沪通长江大桥桥墩布设后的水动力特性变化, 分析指出流速、单宽流量等在南侧主通航孔处增加明显, 以及南主墩处可能出现较大的局部冲刷。张朝阳等^[6]通过分析实测潮流资料发现落潮流速是浏海沙水道的造床动力, 且最大流速落潮出现在 29 号主墩附近。

综上所述可知, 目前研究主要集中在沪通长江大桥对工程区域水沙动力变化以及对河床演变的影响, 并未就桥墩布设对 12.5 m 深水航道及船行安全的影响作系统研究; 同时, 上述研究发现, 大桥修建后水流对南侧主墩的作用较大, 且施工期间出现南侧围堰受水流冲击而偏移的现象。为探讨桥墩布设的合理性, 在桥位已确定的情况下, 提出了主桥各通航孔向南平移 200 m 的探索性方案, 以此对比分析对工程区河床冲淤、通航条件和实测航迹线等方面的影响, 为沪通长江大桥的桥跨及墩位布设提供更充分的技术依据。

1 河道概况

工程上游为福姜沙河段, 范围为江阴至十二圩, 属于多级分汊河段。福姜沙左右两汊发展较为稳定, 左汊为顺直主汊, 右汊福南水道为鹅头型弯道, 两汊分流比约 80% : 20%。福姜沙左汊往下游, 双涧沙、民主沙

收稿日期: 2018-01-08

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2016YFC0402107); 江苏省水利科技项目(2015004)

作者简介: 张 胡(1981—), 男, 湖南怀化人, 高级工程师, 硕士, 主要从事桥渡水文设计方面的研究。

E-mail: zhangh@brdi.com.cn

又将其分成两汉,左汉的如皋中汉为支汉,分流比为30%,浏海沙水道上段为主汉,分流比为70%。两汉水流汇合后的长江主流经主槽九龙港至十二圩段南侧。浏海沙水道下段左侧已连为一体成为长江上第三大岛的长青沙、泓北沙及横港沙,北侧为天生港水道,主要有华能电厂、亚华、蛟龙和韩通重工等码头。右岸九龙港下沿岸为沙钢码头、奔辉码头等^[6](见图1)。

通州沙河段全长约40 km,上起十二圩,下至徐六泾,中间放宽,最宽约9 km,上下游进出口相对较窄,为暗沙型多分汉河道。其进口段又被通州沙分为东、西水道,上游浏海沙水道贴南岸九龙港-十二圩的主流经南通水道逐步北移过渡到南通姚港至任港一带,紧贴左岸顺通州沙东水道下泄。随着通州沙西水道整治工程和深水航道整治工程的实施,东水道落潮时分流比约为90%,往下游则逐渐减小至75%^[7]。

2 工程基本情况

拟建沪通长江大桥桥位上距江阴长江公路大桥约45 km,下距苏通长江公路大桥约40 km(见图1),位于长江澄通河段南通水道上段,北接南通、南连张家港,横跨天生港水道、横港沙和南通水道。该河段为12.5 m深水航道主要整治河段,已建有通州沙整治工程、狼山沙整治工程及福姜沙整治工程。同时,随着深水航道一期工程的竣工,大型进江海轮进入,使得该区域通航环境日益复杂。沪通大桥采用公铁合建,上层为六车道公路,下层为四线铁路,总长11.3 km。主航道桥拟采用主跨为1 092 m的两塔五跨斜拉桥方案。正桥钢梁范围总长5.86 km。

2.1 墩位布设原则

在大桥桥位确定情况下,为了减小建桥对通航、防洪等方面的影响,根据《内河通航标准》、《通航海轮桥梁通航标准》和《长江江苏段船舶定线制规定》中的有关规定,大桥孔跨布置主要从以下几方面考虑:①大桥墩位布设不得对防洪和河势造成明显不利影响;②桥墩布设不得影响周边涉水工程和设施正常运行;③大桥孔跨的结构和经济因素;④桥梁通航孔应采用大跨度桥型方案,以满足包括12.5 m深水航道在内的多线通航要求;⑤满足深水航道发展需求。

2.2 大桥主航道桥跨度的确定

根据相关资料,桥位附近12.5 m等深线槽宽分别为1986年1 702 m,1992年2 014 m,1999年2 063 m,2004年2 015 m,2006年1 859 m,2009年1 472 m,2010年1 831 m(见图2)。大桥孔跨的结构和经济因素制约了桥跨不能太大。根据主航道通航要求以及主要满足12.5 m深水航道通航要求,在主跨通航净宽900 m的情况下,结合南科院的水文计算成果^[8]、天科院的通航净空尺度论证^[9],以及长江航道院的航道条件及桥墩布置方案等研究成果^[4],从工程河段12.5 m深槽变化可知,多年来桥址附近12.5 m深槽宽度一般为1.4~2.1 km,水深条件较好,其宽度和深度达到海轮深水航道通航要求,设计的通航孔宽度为2 300 m,能覆盖历年的12.5 m线范围。近年来,随周边整治工程相继实施,浏海沙水道和南通主槽基本稳定,主流摆幅较小,工程河段深槽及深泓走势基本上保持现有格局,不会有大的变化。现有1 092 m主跨方案的主墩基本覆盖近年来12.5 m深槽的变化范围,墩位布设适应

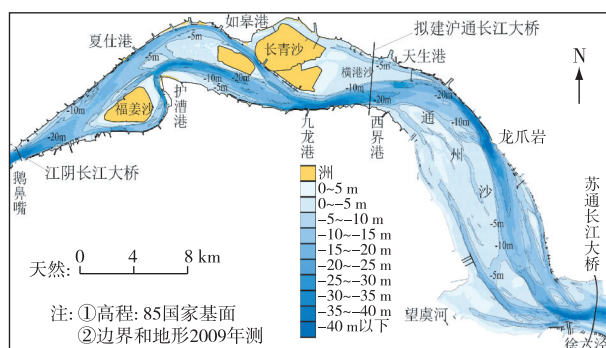


图1 澄通河段河势

Fig. 1 River regime of Chengtong reach of Yangtze River

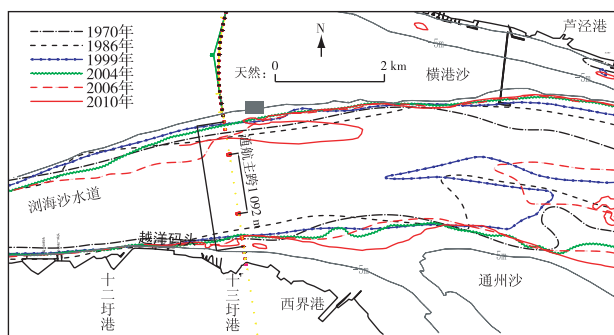


图2 1970—2010年工程河段12.5 m线比较

Fig. 2 Comparison of 12.5 m isoline of project reach from 1970 to 2010

桥址河段近年来河床的演变。综上所述,确定其桥跨布置为 142 m + 462 m + 1 092 m + 462 m + 142 m,总通航跨度为2 300 m。

3 墩位布设适应性分析

3.1 从水动力条件分析墩位布设适应性

3.1.1 建桥后水动力变化分析 研究表明,建桥引起的近岸高、低潮位最大壅水小于 0.05 m,各站潮位过程没有明显变化,对潮位的影响范围为拟建桥址上游约 3 km,下游约 2 km,建桥对长江行洪、排涝影响较小;建桥后断面流速分布和各汉道的分流比没有明显变化;由于桥墩对水流的挤压作用和桥墩扰流,桥位附近河床冲刷,南通水道主槽冲刷幅度较大,主槽两侧冲刷相对较小,滩槽格局没有发生改变,建桥对河势没有明显影响。

根据物理模型试验结果,建桥后桥位断面表面涨、落潮最大流速及其流向统计见表 1,断面落潮最大流速分布见图 3。

表 1 桥位断面表面涨、落潮最大流速及其流向

Tab. 1 Maximum velocities and directions of ebb tide along cross section of bridge site

潮流	水文条件	最大流速/(m·s ⁻¹)			流向/°		
		北辅助通航孔	主通航孔	南辅助通航孔	北辅助通航孔	主通航孔	南辅助通航孔
涨潮流	枯季大潮	1.46	1.73	1.75	4	-4	-10
	平均流量大潮	1.32	1.49	1.52	2	-7	-10
	97 风暴潮	1.32	1.66	1.71	1	-5	-9
	300 年一遇水文条件	0.24	0.49	1.35	2	-4	-8
落潮流	枯季大潮	1.41	1.87	1.89	-5	1	6
	97 风暴潮	1.83	2.78	2.76	-5	2	6
	98 洪水大潮	1.91	3.01	3.14	-4	2	6
	100 年一遇水文条件	2.26	3.60	3.70	-4	2	8
	300 年一遇水文条件	2.47	3.88	3.99	-4	2	9

由图 3 和表 1 可见,涨潮最大流速 1.75 m/s(枯季大潮)出现在主通航孔南侧。主通航孔左侧、中部和右侧的涨潮偏角为偏北 4°~7°。最大落潮流速 4.09 m/s(300 年一遇水文条件)出现在主通航孔南侧。南辅助通航孔、主通航孔右侧、中部、左侧和北辅助通航孔落潮偏角为偏南 8°,偏南 6°,偏南 2°,偏北 2°。

研究表明,建桥后由于桥墩具有一定导流作用,主通航孔的涨、落潮水流流向与桥轴线法向的夹角由 8°减小到 5°以内;主通航孔中流速增加 0.10~0.20 m/s。98 大洪水条件下,桥位断面处最大流速约 3 m/s,不会对建桥和航运产生较大影响,但若出现 100 年一遇以上洪水,落潮流速可达到 4.0 m/s 左右,这对大桥的运行和施工可能产生一定的影响。

由于南主墩位于南侧深槽附近,且研究表明其附近落潮流速较大,这对主墩设计和施工提出很高要求,在桥梁跨度难以增加的情况下,建议主墩南移以避开主流区。

3.1.2 工程区域河床演变特性 如图 2 所示,沪通长江大桥横跨横港沙。1970—1980 年,横港沙下段右缘受冲刷向北后退约 2 km,沙尾和外边坡呈总体后退趋势;1980—1990 年,沙尾及边坡后退速度逐渐减缓并呈

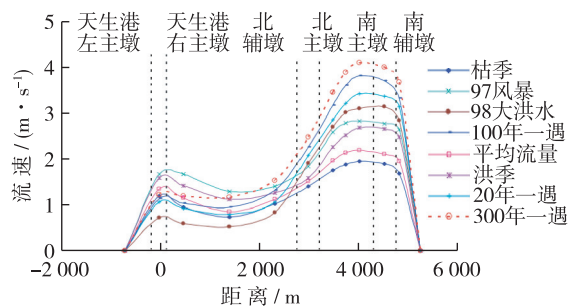


图 3 建桥后桥位断面各水文条件下流速分布

Fig. 3 Velocity distribution of cross section of bridge site under different hydrological condotions

现稳定趋势。同时,由于横港沙尾及外边坡受冲后退,导致横港沙左边滩向北淤长,桥位下方冲刷趋势减慢;自1990年以来,横港沙平面形态、高程基本稳定,总体变化较小。

3.2 从动床模型试验结果分析墩位布设适应性

根据前期的研究,设计和研究单位将设计桥型方案的主桥各通航孔向南平移约200 m。动床物理模型对主墩南移前以及南移200 m的方案进行研究。

3.2.1 现有墩位布置下建桥后河床冲淤试验 图4(a)为工程实施后引起的横港沙冲淤变化(仅限于桥位附近)。建桥后,横港沙沙体以淤积为主,淤厚约0.2 m;由于桥墩局部冲刷坑的存在,桥位附近横港沙天生港侧和南通水道侧的边坡出现冲刷,建议桥位附近横港沙右侧边坡进行防护。建桥后桥位附近河床冲刷,南通水道冲刷大于0.2 m的范围在上游约600 m,下游3 000 m内;主副通航孔中间冲深2 m左右;其中南主辅墩局部冲刷坑最大达26 m左右;下游邻近桥位的局部水域有所淤积,受上游大量泥沙下泄影响,平常水沙年一般淤厚约0.2~0.5 m,百年一遇水文年和3个水文年淤厚最大可超过1.0 m;除桥位附近南通水道-10和-15 m深槽局部有所扩大外,-10和-15 m深槽总体变化不大,工程前后深槽走势基本不变。由于南侧固定边界的约束,桥位南侧主槽未见南移但略有下切。

桥位断面上由于桥墩冲刷后,12.5 m槽向南北两侧发展,槽宽增加至2 330 m左右(见表2),桥梁建设后的12.5 m槽宽满足长江口深水航道12.5 m上延的水深和航宽要求。

3.2.2 主墩南移后河床冲淤试验 图4(b)为百年一遇水沙年条件下,建桥工程引起的河床冲淤变化。主墩南移后的试验结果表明,横港沙沙体以及北侧边坡的冲淤变化与现有墩位方案实施后的冲淤变化基本一致。由图可见,主墩南移对地形的影响限于桥位附近。桥墩冲刷坑随墩位南移后位置有所变动,南侧-10 m线有向南发展趋势,另外,桥位下游冲刷区也有偏南发展的趋势,通州沙头部附近冲刷会略有增加。

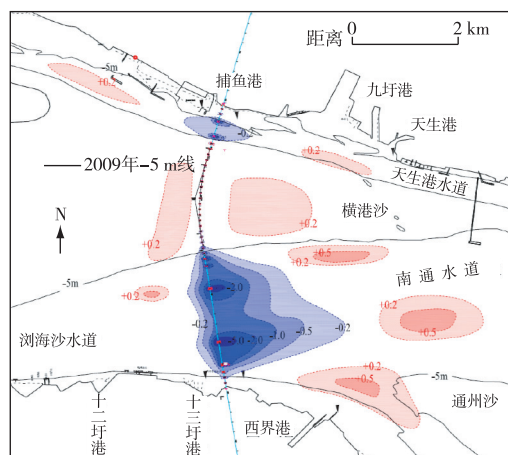
总的来说,主墩南移后,南侧主流区呈南移趋势,桥位下游冲刷区也有偏南发展的趋势,拟建桥梁下游深水航道所在的偏北区域呈淤积态势,不利于深水航道水深的维护。同时,通州沙头部冲刷将有所加强,不利于现有航道上下平顺连接。

表2 建桥前后桥位断面12.5 m等深线槽宽

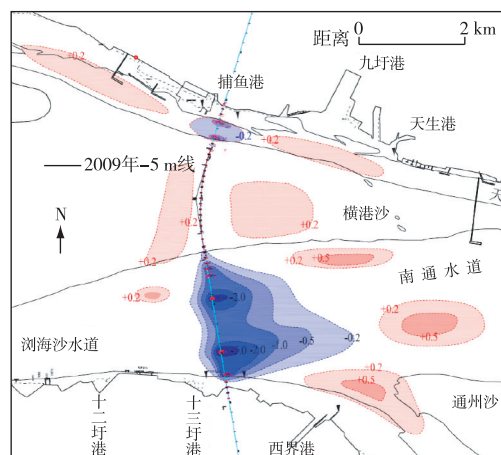
Tab.2 Width of channel of 12.5 m isoline before and after bridge construction

水文条件	m				
	2009年现状 槽宽	无桥试验后 槽宽	变化	有桥试验后 槽宽	变化
平常水沙年	1 473	1 751	278	2 258	785
百年一遇水文年	1 473	1 787	314	2 319	846
3个水文年	1 473	1 790	317	2 332	859

注:槽宽指统计断面上12.5 m线宽度;变化指12.5 m试验后的宽度减去现状条件下的宽度。



(a) 推荐墩位方案河床冲淤变化



(b) 墩位南移200 m方案河床冲淤变化

图4 沪通长江大桥推荐墩位及墩位南移方案实施后河床冲淤变化

Fig.4 Comparison of riverbed scouring & silting changes of recommended piers and piers moving 200 m southward of Hutong bridge

3.3 桥址河段通航条件和实测航迹线

中铁大桥勘测设计院有限公司分别于 2010 年 4 月和 2010 年 7 月进行了桥区河段枯季大、小潮,洪季大、小潮实测船筏走行线测量(见图 5)。结果表明,桥址区域南通水道主航道内船舶航行各行其道,航线顺直,上、下行航迹线范围在 700 m 以内,实际航行情况与定线制规定相符合。除洪季小潮部分小型船舶上水较为分散位于北辅助通航孔内,其他情况下上下行航道均位于主通航孔内。

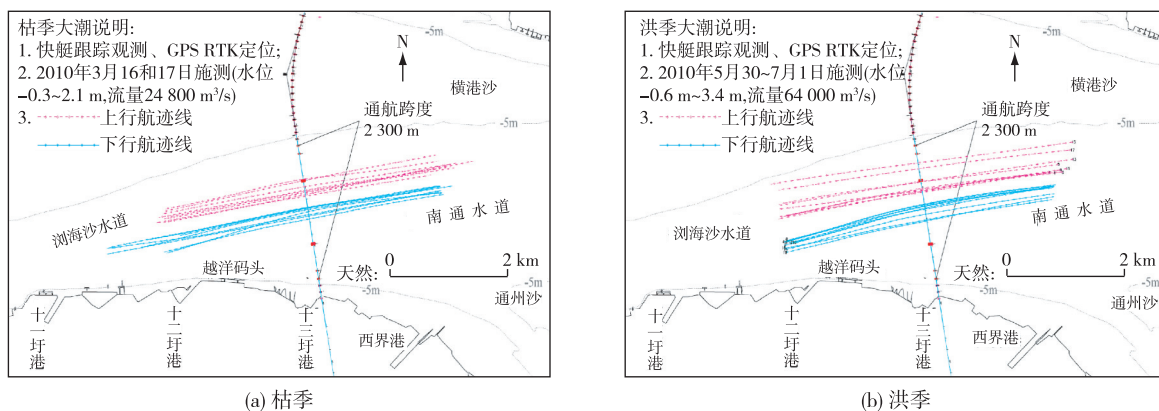


图 5 枯季大潮和洪季大潮船筏走行线

Fig. 5 Ship track lines during spring tide in dry and flood seasons

桥区习惯性航路位于南通水道中偏北位置,从桥区上游经过拟建桥梁后由南向北过渡。按照现墩位布设方案,拟建桥梁的通航孔布置基本符合现行的习惯性航路,不需对桥址河段航标进行大的调整,如在现有墩位布设方案基础上将各通航孔向南平移,北主墩将进入大型船舶上水航路中。为了适应南移后的通航孔布置,需将桥区上下游一定范围内的航标向南调整,而桥位河段航道处于由南向北的过渡段内。船舶经过桥梁后需向北行驶,因此航标南调后将导致船舶航行由南向北过渡时弯曲半径更小,会增加船舶航行的难度。目前习惯性航道位于主孔偏北,建桥后桥址处航道向南调整的幅度较小。墩位南移,海轮航道走主桥孔,现行航道向南调整幅度较大,与上下游航道连接不顺。

4 结 语

基于 12.5 m 深水航道发展、桥址河段通航条件和实测航迹线等方面需求,分析了沪通长江大桥桥墩布设的适应性,得出如下结论:

(1)通过河段近年来 12.5 m 等深线演变特性分析,得出大桥跨度基本包络历年 12.5 m 等深线,工程河段深槽及深泓走势基本保持现有格局,不会有大的变化。同时,分析了不同水文条件下大桥冲淤及流速分布,发现南主墩附近落潮流速较大,这对主墩设计和施工提出很高的要求,在难以增加桥梁跨度的情况下,建议主墩南移以避开主流区。

(2)分析主墩南移 200 m 的方案及实际航迹线发现,主墩南移后,南侧主流区有南移趋势,桥位下游冲刷区也有偏南发展的趋势,拟建桥梁下游深水航道所在的偏北区域呈淤积态势,不利于维护深水航道水深。主墩南移方案不利于深水航道水深维护和现有航道上下游平顺连接,建议拟建桥梁采用现桥墩布设方案。

参 考 文 献:

- [1] 杜德军,夏云峰,吴道文,等. 通州沙和白茆沙 12.5 m 深水航道整治方案试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2013(5): 1-9. (DU Dejun, XIA Yunfeng, WU Daowen, et al. Experimental studies on 12.5 m deep waterway regulation of Tongzhou shoal and Baimao shoal[J]. Hydro-Science and Engineering, 2013(5): 1-9. (in Chinese))
- [2] 杜德军,张胡,夏云峰,等. 沪通长江大桥工程河段河床演变及桥位比选[J]. 人民长江, 2014, 45(7): 52-56. (DU

- Dejun, ZHANG Hu, XIA Yunfeng, et al. Riverbed evolution and bridge site selection of Hutong Yangtze River Bridge[J]. Yangtze River, 2014, 45(7): 52-56. (in Chinese))
- [3] 高宗余, 梅新咏, 徐伟, 等. 沪通长江大桥总体设计[J]. 桥梁建设, 2015, 45(6): 1-6. (GAO Zongyu, MEI Xinyong, XU Wei, et al. Overall design of Hutong Changjiang River Bridge[J]. Bridge Construction, 2015, 45(6): 1-6. (in Chinese))
- [4] 裴金林, 李靓亮, 赵维阳, 等. 沪通铁路长江大桥工程河段航道条件及桥墩布置方案[J]. 水运工程, 2012(3): 108-114. (PEI Jinlin, LI Liangliang, ZHAO Weiyang, et al. Shanghai-Nantong railway bridge channel condition and bridge pier arrangement[J]. Port and Waterway Engineering, 2012(3): 108-114. (in Chinese))
- [5] 杜德军, 夏云峰, 闻云呈, 等. 沪通长江大桥桥墩布设水动力特性试验研究[J]. 水道港口, 2016, 37(1): 12-17. (DU Dejun, XIA Yunfeng, WEN Yuncheng, et al. Experimental study on hydrodynamic characteristics of layout of piers of Shanghai—Nantong Yangtze River Bridge[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2016, 37(1): 12-17. (in Chinese))
- [6] 张朝阳, 田洁, 李伯昌, 等. 沪通铁路长江大桥跨江断面水文特征分析[J]. 人民长江, 2017, 48(增刊1): 89-93. (ZHANG Chaoyang, TIAN Jie, LI Bochang, et al. Analysis of hydrological characteristics in section of Shanghai-Nantong Yangtze River bridge[J]. Yangtze River, 2017, 48(Suppl): 89-93. (in Chinese))
- [7] 王金华, 闻云呈, 章卫胜. 不同水文条件下通州沙河段沿程分流分沙特征[J]. 水利水运工程学报, 2017(3): 1-7. (WANG Jinhua, WEN Yuncheng, ZHANG Weisheng. Water-sediment diversion ratio along Tongzhousha shoal reach under different hydrological conditions[J]. Hydro-Science and Engineering, 2017(3): 1-7. (in Chinese))
- [8] 夏云峰, 杜德军, 吴道文, 等. 上海至南通铁路长江大桥墩位布设深化研究报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2010. (XIA Yunfeng, DU Dejun, WU Daowen, et al. The research report of the pier design of Shanghai-Nantong railway Yangtze River Bridge[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2010. (in Chinese))
- [9] 李一兵, 黎国森, 朱玉德, 等. 上海至南通长江铁路大桥通航安全论证[R]. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究所, 2010. (LI Yibing, LI Guoseng, ZHU Yude, et al. Navigation safety demonstration of Shanghai-Nantong railway Yangtze River Bridge[R]. Tianjin: Tianjin Research Institute of Water Transport Engineering, MOT, 2010. (in Chinese))

Comprehensive analysis of adaptability of pier layout of Shanghai-Nantong Yangtze River Bridge

ZHANG Hu¹, DU Dejun², XIA Yunfeng², YAN Jiechao¹

(1. China Railway Major Bridge Reconnaissance & Design Institute Co., Ltd., Wuhan 430050, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: In order to further study the rationality of the pier layout of the Shanghai-Nantong Yangtze River Bridge, some analyses of the influences of the planned bridge on 12.5 m deep-water channel and ship navigation are carried out in this paper. Through the physical model tests, the adaptability and rationality of the pier layout of the proposed bridge are analyzed from the aspects of the hydrodynamic force changes, the riverbed scouring and silting changes, the navigable conditions of the river section at the bridge site, etc.. Comparison of the existing bridge site scheme with the scheme of navigable holes of the main bridge moving 200 m southward is also made in this study. The boat track lines in the river section at the bridge site were measured in the period of the spring tides and the neap tides coming respectively in the dry season and flood reason in April and July, 2010. The research and analysis results show that the existing pier scheme is slightly better when the bridge site scheme is determined, because it can meet the requirements of the actual navigation. And the research results can provide certain theoretical guidance and technical support for the bridge construction in the future.

Key words: 12.5 m deep-water channel; Shanghai-Nantong Yangtze River Bridge; comparison and selection scheme for bridge site; track line