



深水沉井施工对航道条件的影响*

李靓亮^{1,2}

(1. 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430063;
2. 中国铁建股份有限公司桥梁工程实验室, 湖北 武汉 430063)

摘要: 针对桥梁建设期间工程河段航道发生不利变化的问题, 以沪苏通长江公铁大桥主墩沉井施工为例, 对比分析施工前、后的实测水文、地形和航道维护量。结果发现深水沉井吸砂作业和沉井引起的河床冲刷是南通水道近期航道淤积和疏浚维护量大幅度增加的直接原因。因此, 应在桥墩结构研究阶段提前考虑施工方案对航道条件的不利影响。

关键词: 桥梁; 深水沉井; 航道条件; 航道维护

中图分类号: U 61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)04-0200-06

Influence of construction of deepwater caisson on channel condition

LI Liang-liang^{1,2}

(1. China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan 430063, China;
2. China Railway Construction Laboratory of Bridge Engineering, Wuhan 430063, China)

Abstract: In response to the adverse changes in the navigation channel of the project section during the bridge construction, we analyze the measured hydrology, topography, and channel maintenance before and after construction based on the construction of the main pier's open caisson of Husutong Yangtze River Highway-Railway Bridge. The results show that caissons sand suction operation and riverbed scour are the direct reasons for the recent waterway siltation and substantial increase of maintenance in the Nantong channel. So, the adverse influence of the construction scheme on the channel shall be considered in advance in the early stage of the pier structure study.

Keywords: bridge; deep water caisson; channel condition; channel maintenance

在水深、流急的江河中修建桥梁, 沉井基础因整体刚度较大而成为受欢迎的一种基础形式^[1], 如已建的南京长江大桥、泰州长江公路大桥、铜陵长江公铁大桥、杨泗港长江大桥, 在建的五峰山长江大桥等均采用沉井基础。沉井施工工艺主要包括: 钢沉井在工厂制造块单元件、起重码头整体拼装、大型浮吊起吊、装驳船运输、沉井定位下沉、填充井壁、上部接高、吸泥下沉至设计高程、封底、施工承台。施工时受工序统筹所限, 体积庞大的沉井在墩址上方的水中要悬浮一定时间。受墩体、水流和底部河床泥沙的共同作用,

在沉井下沉、接高、再下沉、再接高这样多次反复的施工过程中, 沉井底部会形成较大范围的河床冲刷, 即使采取了预防措施, 河床局部冲刷过大的难题仍难以避免, 再加上为保证沉井下沉至设计高程, 吸砂作业是必不可少的。关于深水沉井的局部冲刷机理和防冲措施, 国内外学者进行了大量研究, 如冷魁^[2]、梁发云^[3]等通过室内试验研究了沉井下沉过程中的局部冲刷机理和冲刷形态; 崔一兵^[4]、俞竹青^[5]和卢中一^[6]等结合不同桥梁的沉井基础, 为确保沉井平稳安全着床, 提出对沉井处河床进行预防保护。

收稿日期: 2020-07-10

*基金项目: 中国铁路总公司科研课题(N2018G033); 中国铁建科研课题(2018-B16)

作者简介: 李靓亮(1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁工程水文设计与咨询。

关于大型沉井施工期河床冲刷的已有研究成果的主要出发点是基于基础本身安全稳定性，而针对沉井施工形成的大量弃沙对附近航道的影响仍未引起足够关注和重视，若桥位河段上、下游属易出浅的航段，则施工期形成的大量下泄泥沙可能加速浅段的淤积，从而对航道条件造成明显的不利影响。本文以沪苏通长江公铁大桥沉井施工为例，通过收集沉井施工前、后的水文、水下地形及航道维护等资料，就深水沉井施工对航道条件的影响进行研究。

1 工程概况

沪苏通长江公铁大桥是新建沪通铁路的控制

性工程，主航道桥为(140 m + 462 m + 1 092 m + 462 m + 140 m)钢桁梁斜拉桥，主航道桥总体布置见图1。主航道桥26~31号墩均采用沉井基础。28和29号主墩(桥塔墩)采用倒圆角的矩形沉井基础，沉井顶平面尺寸为86.9 m × 58.7 m，相当于12个篮球场大小，平面布置24个12.8 m × 12.8 m的井孔，沉井总高分别为105 m和115 m，28号主墩沉井基础封底共需灌注水下混凝土6.36万m³，混凝土厚14 m，总质量达30万t。边墩(26、31号)及辅助墩(27、30号)沉井平面尺寸为39.2 m × 26.8 m，26、27号墩沉井高80 m，30、31号墩沉井高84 m，边墩及辅助墩钢沉井高分别为32、38 m。桥墩沉井结构见图2。

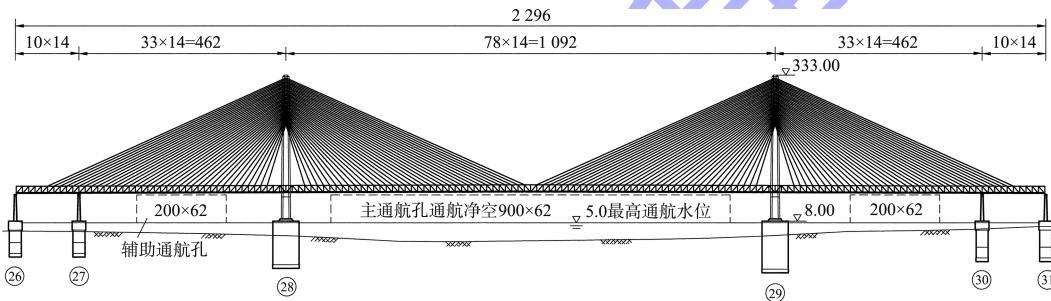


图1 沪苏通长江公铁大桥主航道桥总体布置 (单位: m)

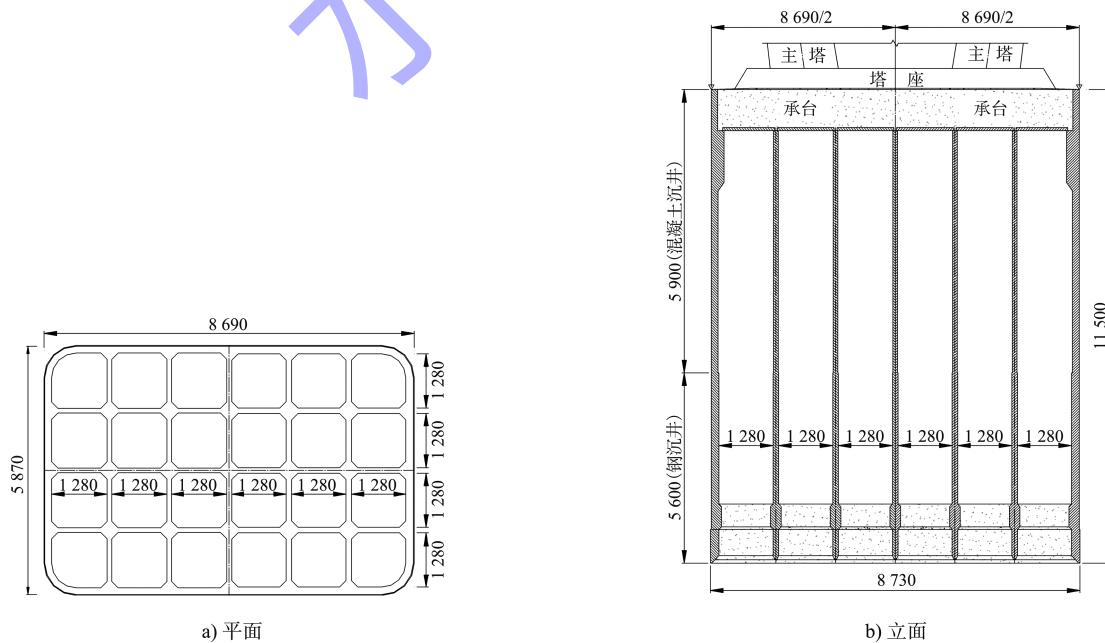


图2 28号和29号主墩沉井结构 (单位: cm)

根据桥位处自然条件,结合总体施工安排,经多种技术方案比选,确定主航道桥沉井施工总体方案为:钢沉井在船坞内制造成形,出坞、浮运至墩位处,快速定位后开始精调着床,灌注井壁混凝土后,分段接高混凝土井壁,分次下沉直至设计高程。大桥深水沉井基础于 2014 年 3 月开始施工,2019 年 9 月 20 日实现全桥合龙。

2 河道概况

沪苏通长江公铁大桥位于长江下游澄通河段南通水道上段,南通水道上起十二圩,下至龙爪岩,

长约 18 km,为一向左弯曲河型(图 3)。水道进口左侧为横港沙,该沙体呈上宽下窄的不规则三角形,将河道分为天生港水道和南通水道,南通水道为长江主流所在,落潮分流比约占 95%。自西界港开始,河道突然放宽,江面宽达 10 km,长江主流自十一圩以下渐转左岸,水道中暗沙纵横,冲淤消长变化频繁,其中通州沙为最大的一个沙体,将该水道一分为二,沿左岸而下的称为通州沙东水道,右汊为通州沙西水道,目前通州沙东水道为主汊和主航道,分流比占 90%以上。



图 3 沪苏通长江公铁大桥工程河段河势

3 沉井施工前航道演变特点

南通水道为多分汊弯曲河道,根据长江河道演变一般规律,水流携带的泥沙易在弯道凸岸侧淤积形成浅滩,通州沙的形成即为弯道环流的产物。多年来,通州沙头部位于弯道的凸岸,一方面上游来沙充足,但又受到越滩水流的冲刷,使通州沙头部外侧常年存在一处不足 10 m(理论最低潮面以下,下同)的暗沙,此暗沙或与通州沙头部相连,或切割成独立心滩,沙体头部时而上提,尾部时而下挫,时而淤积涨大,时而冲刷萎缩,成为限制该段深水航槽宽度的主要因素(图 4)。12.5 m 深槽宽度一般在 700~1 000 m,个别年份深槽内甚至会出现不足 12.5 m 的暗沙。

2003 年以后,横港沙右缘开始逐渐出现不足 12.5 m 的水下暗沙,其原因主要还是与通州沙沙头持续后退密切相关。之后多年的跟踪测图清晰表明,

两者存在明显的冲淤消长关系,以 2005—2006 年为例,右侧的通州沙暗沙后退约 450 m,左侧的横港沙暗沙则向深槽内延伸 200 m 左右;2006—2008 年间,右侧沙体继续后退约 900 m,左侧暗沙则下延约 1.9 km。受两侧沙体的挤压,12.5 m 深槽宽度时宽时窄,并且 2 个暗沙的剧烈演变是一个长期持续性的过程,成为影响航槽稳定性的关键因素,因此南通水道成为长江航道维护管理的重点关注水道之一。

沪苏通长江公铁大桥位于横港沙右缘暗沙与通州沙沙头左侧沙体冲淤消长变化范围内(图 4),该区段为长江深泓自南向北的过渡区间,因来水过程的不同,深泓线呈扇形摆动,时南时北,年际最大摆动幅度可达 240 m。桥址区域暗沙多变,12.5 m 深槽不太稳定,加上江中建设桥墩后,可能会加剧滩槽变化^[7]。

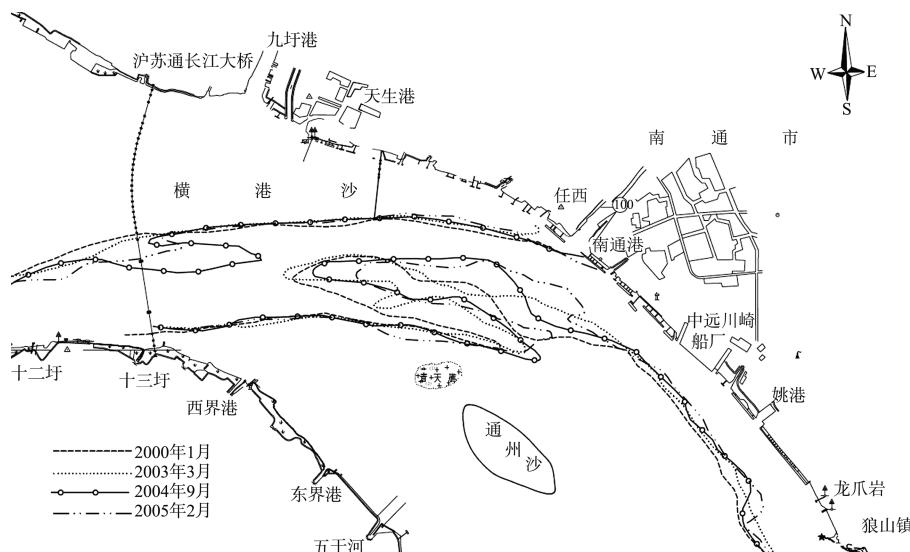


图4 南通水道 12.5 m 等深线变化

4 桥墩施工阶段航道情况

沪苏通长江公铁大桥于2014年3月1日开工建设, 2016年9月完成沉井基础施工。2014年8月进行了少量疏浚(表1), 维护量约10.1万m³。2015、2016年航道内12.5m等深线中断, 航道维护量大幅度增加, 分别为248.7、1 094.3万m³, 维护区段主要位于长江32#红浮附近(图5), 2017年航道维护量明显降低, 约319.4万m³, 比2016年减少70.8%, 且维护区段与2015年和2016年有所不同, 位于任港至姚港对开航道右侧边线附近^[8]。

表1 南通水道近期疏浚维护量

月份	疏浚维护量/万m ³			
	2014年	2015年	2016年	2017年
1	-	27.4	33.9	1.5
2	-	22.3	42.9	8.0
3	-	28.1	11.5	0.0
4	-	14.5	22.2	5.8
5	-	17.1	39.5	44.6
6	-	12.2	107.1	60.6
7	-	0.0	185.8	45.1
8	10.1	45.4	209.4	51.9
9	-	30.8	252.8	53.1
10	-	27.7	59.9	25.4
11	-	4.7	106.2	23.5
12	-	18.6	23.0	-
累计	10.1	248.7	1 094.3	319.4

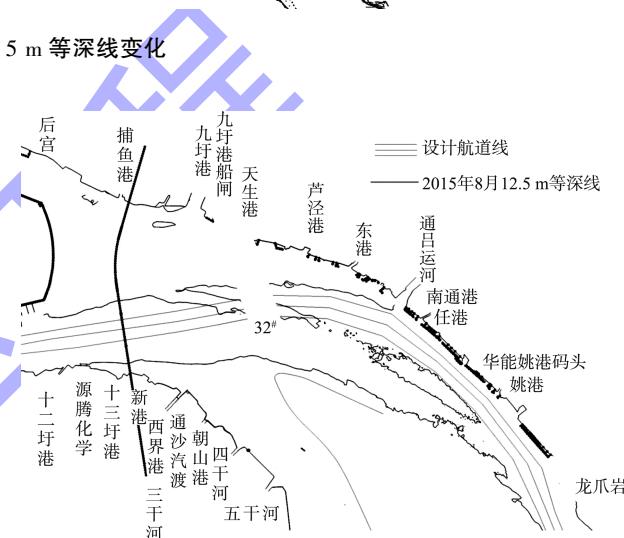


图5 南通水道航道疏浚维护区段与桥梁关系

5 沉井施工对航道的影响

由于南通水道右缘浅滩上水深不足12.5 m, 但大于10.5 m, 对10.5 m航槽畅通影响较小, 所以南通水道10.5 m航道自2005年开通以来至2013年水深条件良好, 未进行维护疏浚。随着长江南京以下12.5 m深水航道一期工程于2014年7月全面建成进入试运行阶段, 航道维护水深提高至12.5 m, 通州沙沙头左侧沙体和横港沙右缘暗沙对12.5 m深水航道的维护影响会逐渐显现, 说明自然条件下, 南通水道12.5 m深水航道是比较敏感的。

此时, 沪苏通长江公铁大桥进入沉井施工阶段, 沉井施工引起墩位局部河床的大幅冲刷, 该部分泥沙在横港沙右缘暗沙区域落淤, 对航道水深造

成明显的不利影响。2015年2月—2016年10月，在建沪苏通长江公铁大桥桥墩下游2 km范围内出现大范围河床降低，降低幅度甚至达10 m以上，其余部位以淤积为主，淤积幅度在1~3 m。深水航道的长江30#~32#红浮段淤积较为明显，幅度2~3 m(图6)。据统计，2016年5—7月，南通水道泥沙冲刷量为290万m³，2016年7—10月冲刷量为413万m³，明显冲刷区域均位于在建沪苏通长江公铁大桥附近区域，而下泄的泥沙都不同程度地在大桥下游放宽段落淤。该段泥沙淤积的原因主要有：1)北侧主桥墩及横港沙上桥墩施工平台的搭设缩窄了桥址断面，主通航孔范围内流速增大，泥沙冲刷下泄，但同时施工平台的架设和

沉井的安放增大了涨潮流的阻力，使大桥施工区域下游水流动力减弱，局部冲刷产生的泥沙在下游缓流区域形成纵向淤积带；2)2个主墩采用沉井结构，按照施工方案，沉井定位后注水下沉着床，须吸泥下沉至稳定深度和预定高程，在此期间，沉井吸起的泥沙直接排弃在长江河道内，为下游放宽淤积带提供了大量泥沙来源。根据大桥施工前的预测资料，29号主墩沉井在着床及下沉过程中，沉井周边的一般河床深度将降至高程-37.5 m，局部甚至可降至高程-75 m，河床最大降低深度达59.9 m，该部分河床降低形成的泥沙量是不容忽视的。29号主墩河床前期预测冲刷线分布见图7。

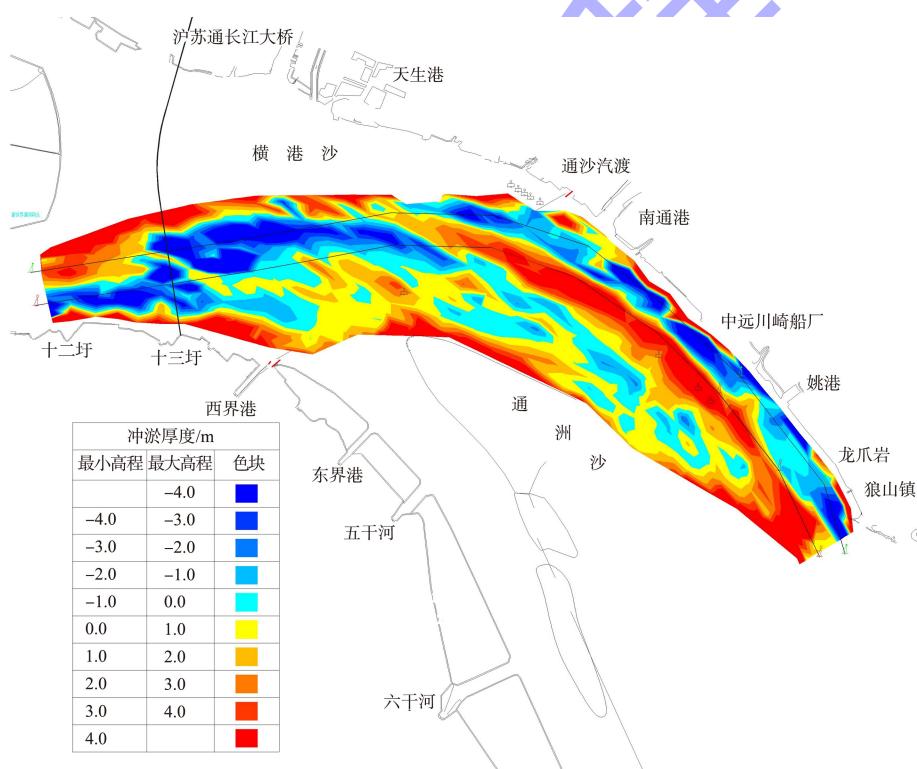


图6 南通水道2015年2月—2016年10月地形冲淤变化

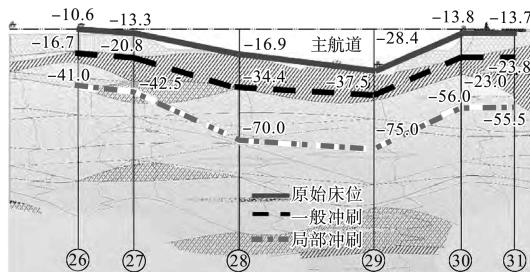


图7 29号主墩河床冲刷线分布(单位:m)

尽管施工先期对29号主墩河床进行了预防性处理，但据实测计算，2014年8月—2016年8月桥墩下游2.30 km×0.25 km宽度范围内河床冲刷泥沙约2 000万m³，施工过程中排放以及桥墩冲刷的大量泥沙在横港沙右缘中部堆积，而后在弯道水流的作用下横跨航槽输移，造成近期南通水道航道淤积量急剧增加，淤积带向深水航道内延

伸，使南通水道自然条件下就比较敏感的 12.5 m 深水航槽大幅度缩窄。为保障深水航道畅通，不得不采取大量疏浚维护措施。2017 年后，随着桥梁主墩施工的逐渐完工，南通水道 12.5 m 航槽逐渐贯通，航道淤积量明显降低，进一步说明大桥深水沉井施工期对航道条件的影响是明显存在的。

6 结语

1) 南通水道航道条件的敏感性和上、下游已建工程的影响，以及沪苏通长江公铁大桥沉井基础施工提供的大量泥沙来源，是航道回淤量急剧增加的直接原因。尽管沉井实施完工后航道条件逐渐改善，但桥墩施工对航道带来的不利影响是不能忽略的，若不加以重视可能会对航运造成影响。

2) 桥梁基础采用深水沉井，不仅要考虑建成后的影响，还要考虑施工期影响。应同步研究施工阶段的影响，提前研究河床预防措施，并慎重处置下沉过程中的弃砂。

3) 以长江干线为例，到 2025 年将建成过江通道约 180 座，2035 年将建成过江通道约 240 座，未来长江干线仍有 72~132 座桥梁要开工建设。桥梁建设不仅要重视通航净空尺度、桥墩和桥跨布置，也要在前期工作中关注桥梁基础施工对航道条件的影响。

参考文献：

- [1] 徐晓炜, 童猛. 浅谈桥梁基础施工技术[J]. 技术与市场, 2017, 24(12): 161, 163.
- [2] 冷魁. 桥墩施工期沉井附近流速变化及对冲刷坑的影响[J]. 武汉水利电力大学学报, 1993(2): 146-153.
- [3] 梁发云, 王琛, 黄茂松, 等. 沉井基础局部冲刷形态的体型影响效应与动态演化[J]. 中国公路学报, 2016, 29(9): 59-67.
- [4] 崔一兵. 沪通长江大桥主航道桥 29 号主墩河床预防护技术[J]. 桥梁建设, 2015, 45(6): 84-88.
- [5] 俞竹青, 杨程生, 高正荣. 阜江北口大桥中塔沉井基础施工期河床预防护试验研究[C]//中国海洋学会海洋工程分会. 第十八届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集(下). 南京: 中国海洋学会海洋工程分会, 2017: 507-515.
- [6] 卢中一, 高正荣. 大型沉井基础的防冲护底试验研究[J]. 中国港湾建设, 2012(3): 29-33.
- [7] 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.
- [8] 贾雨少, 谢婕. 南通水道航道回淤原因分析[J]. 水运工程, 2018(12): 147-154.
- [9] 高正荣, 卢中一, 杨程生. 沪通大桥 29# 主墩沉井基础施工河床预防护试验研究[C]//中国海洋工程学会. 第十七届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集(下). 南京: 中国海洋学会海洋工程分会, 2015: 367-373.

(本文编辑 郭雪珍)

· 消息 ·

浙江玉环海山生态旅游岛项目开工

近日，中交集团投资建设运营的浙江玉环市海山生态旅游岛项目正式开工。该项目由中交疏浚、中交生态投融资、建设、运维，水规院负责规划设计，天航局负责施工。

海山生态旅游岛项目是浙江首个海岛统筹发展试验区和国家级海洋公园重点项目，位于玉环市西侧乐清湾中央，开发范围包括茅埏岛、茅坦岛及周边岛屿，陆域总面积 8.31 km²，总投资 138 亿元，合作周期 25 a。项目建成后，将为玉环建设国家海岛公园、打造东海旅游地标注入强劲动力，推动玉环产业结构升级，有效改善城市形象，提升群众居住质量。