

马鞍山长江公铁大桥桥墩布置水动力影响试验研究

赵维阳¹, 胡 勇¹, 朱玉德², 张 胡¹

(1. 中铁大桥勘测设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430056; 2. 交通运输部天津水运工程科学研究所, 天津市 300456)

摘 要: 桥梁建设在一定范围内会造成工程局部河段水动力条件的改变, 对通航条件会带来一定的影响。以马鞍山长江公铁大桥为例, 利用建立的物理模型, 研究了工程河段水流运动特性, 并重点分析了桥区河段的流速、流向及汉道分流比等变化情况, 模拟建桥后对工程河段水动力条件的影响。研究表明: 推荐桥跨布置方案实施后, 在各级流量条件下, 桥区河段桥轴线上游水位有所壅高、流速略有减小, 下游流速略有增加, 桥位下游近岸流速有所增加, 但幅度不大, 对本河段内汉道分流比影响幅度均在 0.3% 以内, 左岸侧下游的郑蒲港港区流速基本未变, 建桥不会引起桥区河段水流条件发生明显改变, 对通航水流条件影响较小。

关键词: 桥墩; 水动力; 通航条件; 模型试验; 影响

中图分类号: U442.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)03-0068-04

0 引言

马鞍山长江公铁大桥位于长江下游马鞍山河段, 上距芜湖长江大桥约 24.0 km, 下距马鞍山长江公路大桥约 2.3 km, 是具有巢马城际铁路 + 城市轨道交通 + 市政功能的综合性交通工程。工程河段水动力条件及桥墩布置对洲滩、汉道变化, 以及下游已建大桥通航条件的影响等问题均需要深入研究。本文通过多种水文条件研究大桥附近的水动力特性, 从流速、流向和汉道分流比等水动力特性进行深入研究, 进而科学合理布置桥墩及通航孔, 最大限度减小对通航条件的影响。

1 工程概况及水文条件

1.1 工程概况

马鞍山长江公铁大桥采用双层公铁合建方案, 上层为双向六车道城市快速路, 下层为四线铁路, 分别跨越长江左汉主航道(江心洲水道)及长江右汉(太平府水道), 公铁合建段总长约 8.6 km, 跨长江主航道桥梁桥型方案为主跨 $2 \times 1\,120\text{ m}$ 三塔斜拉桥方案, 跨长江右汉桥梁桥型方案为主跨 392 m 斜拉桥方案。

1.2 河道概况

长江马鞍山河段上起东西梁山, 下至慈姆山, 全长约 36 km。河道走向为西南—东北向, 河道平面形

态两端束窄, 中间放宽, 最窄处河宽 1.1 km, 中间最宽段达 8.0 km, 顺直分汉河型^[1]。

马鞍山河段上接陈家洲汉道段, 下接新济洲河段, 河段内自上而下有江心洲、小黄洲两个主要汉道。其中, 大桥所在的江心洲河段汉道主、支汉分流格局稳定。江心洲汉道左汉为主汉(江心洲水道), 长约 22 km, 宽约 2 km, 外形顺直, 有牛屯河、姥下河、太阳河等支流汇入(见图 1)。历史上, 左汉内主流摆动, 两侧滩槽交替变化。江心洲右汉为支汉(太平府水道), 长约 24 km, 宽约 0.6 km, 有姑溪河自右岸汇入, 右汉口门以内有彭兴洲属二级分汉。

江心洲汉道左汉主流经小黄洲洲头过渡到小黄洲汉道右汉, 过渡段从左至右急剧转折, 形成上下两个近 90°急弯。小黄洲汉道右汉顺直, 为主汉(马鞍山水道), 长约 6.5 km, 宽约 1.5 km; 左汉微弯为支汉, 长约 7.5 km, 宽约 0.8 km。小黄洲汉道与下游新济洲汉道之间的单一河段即小黄洲汉道汇流段, 长约 4.5 km。

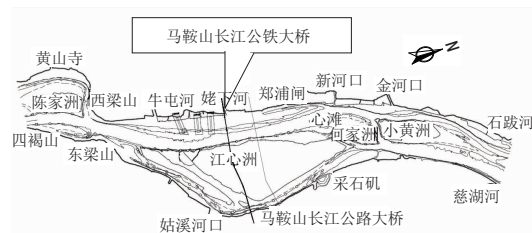


图 1 工程河段河势图

1.3 水文条件

马鞍山河段处于长江下游的感潮区内, 但不在潮流界内, 影响该河段的主要动力为径流。根据大通水

收稿日期: 2022-04-12

作者简介: 赵维阳(1980—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事河床演变及桥渡设计方面研究工作。

文站资料统计分析,一年当中,最大流量一般出现在7—8月份,最小流量一般在1—2月份。径流在年内分配不均匀,5—10月为汛期。三峡水库蓄水前,其径流量占年径流总量的70.72%,沙量占87.92%。三峡水库蓄水后,其径流量占年径流总量的67.43%,沙量占78.42%。这表明汛期水量、沙量比较集中,沙量集中程度大于水量。

长江水体含沙量与流量有关。三峡蓄水前,大通水文站多年平均含沙量约为 0.468 kg/m^3 ,而洪季为 0.582 kg/m^3 。三峡蓄水后,多年平均含沙量约为 0.159 kg/m^3 ,而洪季约为 0.184 kg/m^3 。

2 物理模型

2.1 模型概况

物理模型进口设在东西梁山附近,出口设在大胜关,全长约56 km(研究区域模型布置见图2),根据实测河床地形按平面比尺500和垂直比尺125、变率为4.0缩制而成^[2]。进口流量控制选用电磁流量计控制模型入流,出口水位选用远程控制的自动翻板门进行调节。根据最新的实测地形及水文资料对模型水面线、断面流速分布及汉道分流比等进行了验证,验证结果满足有关规程、规范要求。

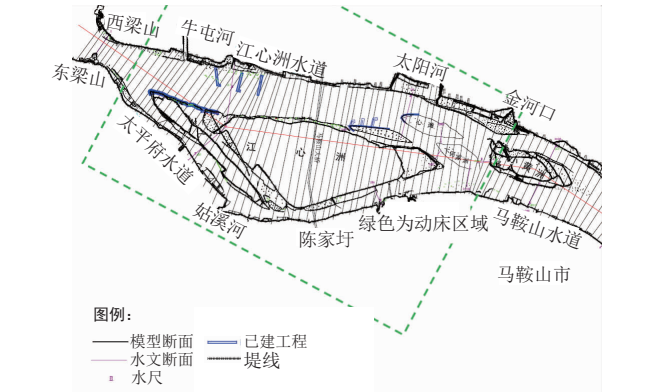


图2 研究区域模型布置图

2.2 试验工况

为了研究马鞍山长江公铁大桥实施后的水动力特性,结合以前研究经验^[3-8],在前期河床演变分析和水文分析等研究的基础上^[2],选用6个试验水文条件(见表1)进行研究。

3 对工程河段水动力条件的影响

3.1 建桥前后流速、流向变化

3.1.1 流速变化

工程建设前后,三峡蓄水后多年平均流量、20 a一遇流量条件下,桥区河段表面流速、流向变化见图3、图4。

表1 模型试验水文条件

序号	试验流量(大通站)/($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	标准	尾门水位(1985国家高程基准)/m
1	105 000	300 a一遇流量	10.6
2	94 400	100 a一遇流量	10.1
3	82 700	20 a一遇流量	9.23
4	71 600	接近防洪设计流量	8.62
5	45 000	造床(平滩)流量	6.34
6	28 500	三峡蓄水后多年平均流量	4.80

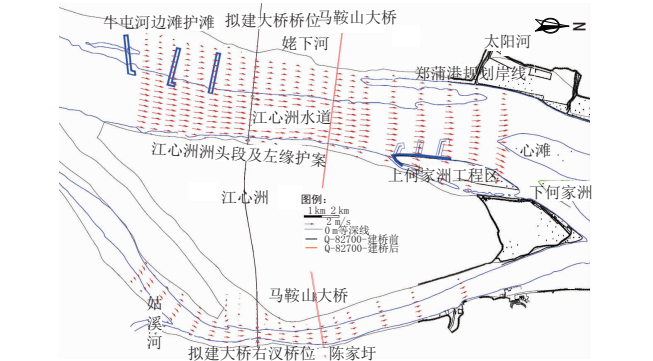


图3 工程建设前后桥区河段表面流速变化图(流量82 700 m³/s)

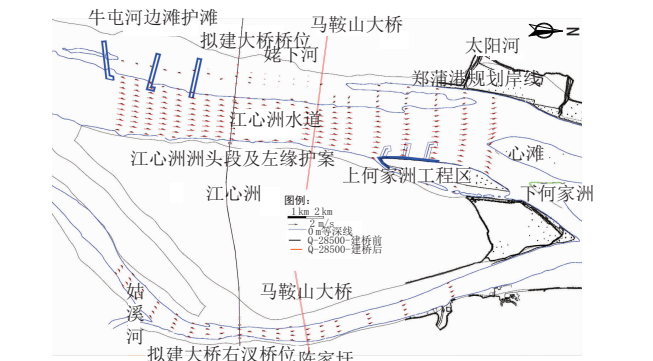


图4 工程建设前后桥区河段表面流速变化图(流量28 500 m³/s)

图4表明,在20 a一遇流量下(82 700 m³/s),左汉内,建桥前,桥轴线上游1 600 m范围内最大表面流速为2.40~2.45 m/s,桥轴线下游800 m范围内最大表面流速为2.35~2.40 m/s。建桥后,桥轴线上游1 600 m范围内最大表面流速为2.30~2.35 m/s,桥轴线下游800 m范围内最大表面流速为2.40~2.45 m/s。

右汉内,建桥前,桥轴线上游1 600 m范围内最大表面流速为1.40~1.44 m/s,桥轴线下游800 m范围内最大表面流速为1.34~1.40 m/s。建桥后,桥轴线上游1 600 m范围内最大表面流速为1.50~1.77 m/s,桥轴线下游800 m范围内最大表面流速为1.50~1.58 m/s。

试验研究表明,建桥前后桥区河段表面流速随

着流量的增大而增大。建桥前后,表面流速除大小有所变化外,桥区河段主流位置及表面流速分布基本没有变化。

3.1.2 流向变化

图3表明,通航期内(设计最低通航流量),左汉航道范围内特征点水流流向与桥轴线法向最大交角变化为 2° ,右汉桥墩不涉水。图4表明,通航期内(设计最高通航流量),左汉航道范围内特征点水流流向与桥轴线法向最大交角变化为 1° ,右汉航道范围内水流流向与桥轴线法向交角基本不变。

图3和图4表明,同流量条件下,左汉水流流向与桥轴线法向交角略小于右汉。随着流量增大,右汉水流流向与桥轴线法向交角变化不大,左汉则变小。建桥前,主通航孔范围内水流较为平顺,水流流向与桥轴线法向交角均小于 5° 。建桥后,北主墩位于深槽主流区附近,桥墩附近交角变化较大,主通航孔内水流流向与桥轴线法向交角均小于 3° 。

总体来看,大桥建设对航道内水流条件的影响较小。

3.2 建桥前后汉道分流比变化

工程河段为复杂多分汉河段,其中,江心洲洲体较为高大,当流量在 $82\,700\text{ m}^3/\text{s}$ 以上时,滩面开始陆续过流;江心洲尾部左侧上何家洲、下何家洲、江心洲等滩体相对较矮,当流量在 $45\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,滩面开始陆续过流,其中上何家洲间与江心洲间汉道分流比较小。江心洲右汉、心滩左汉、心滩与上何家洲间汉道分流比变化的试验成果见表2(断面位置见图5)。

表2 建桥前后各汉道分流比变化

流量 / ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	江心洲右汉 (2#R)		心洲左汉 (2#LL)		心滩与上何家 洲间(2#LR)	
	建桥前	建桥后	建桥前	建桥后	建桥前	建桥后
28 500	10.4	10.4	60.7	60.5	28.4	28.6
45 000	12.3	12.4	54.3	54.0	29.2	29.5
82 700	13.6	13.6				

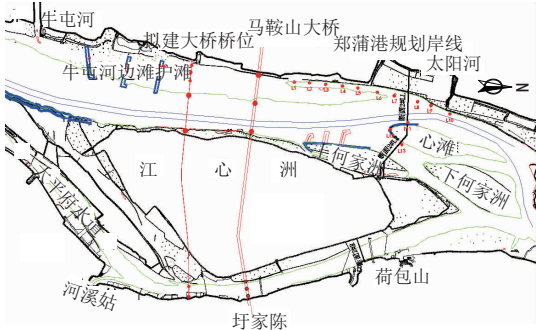


图5 分流比测流断面及郑蒲港港区、心滩头部流速测点位置图

试验研究表明,建桥前后江心洲两汉分流比没有明显变化。桥区下游心滩左汉(主航道)枯水分流比基本不变,中水分流比略减小,幅度较小,心滩与上何家洲间汉道枯水分流不变,中水略有增加,总体上建桥对河段内汉道分流比的影响幅度均在 0.3% 以内。

3.3 建桥前后近岸流速变化

建桥前后桥址上、下游近岸流速变化统计见表3。表3统计结果表明,左岸(主汉左缘)近岸流速增加最大约 0.03 m/s ,右岸(支汉右缘)近岸流速最大增值约 0.03 m/s 。江心洲在大洪水时淹没,在 $71\,600\text{ m}^3/\text{s}$ 江心洲右缘近岸流速增幅约 0.04 m/s ,左缘近岸流速增幅最大约 0.06 m/s 。

表3 建桥前后桥址上、下游近岸流速变化

单位: m/s

距离	北岸($105\,000\text{ m}^3/\text{s}$)	江心洲左缘($71\,600\text{ m}^3/\text{s}$)	江心洲右缘($71\,600\text{ m}^3/\text{s}$)	南岸($105\,000\text{ m}^3/\text{s}$)
1 600	0.00	0.00	0.00	0.00
1 200	0.00	0.00	0.00	0.00
1 000	0.00	0.00	0.00	-0.01
800	-0.01	0.01	0.00	-0.01
600	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02
400	-0.02	-0.03	-0.02	-0.02
200	-0.03	-0.04	-0.03	-0.03
桥位(下游 30 m)	0.03	0.06	0.04	0.03
-200	0.02	0.06	0.03	0.03
-400	0.02	0.05	0.02	0.02
-600	0.02	0.03	0.01	0.02
-800	0.01	0.02	0.01	0.01
-1 000	0.01	0.01	0.00	0.01
-1 600	0.00	0.00	0.00	0.01
-2 400	0.00	0.00	0.00	0.00

试验研究表明,桥轴线位置近岸流速增幅最大,流速增幅随上游来流增加而增大。在中洪水期,江心洲左缘近岸流速大于江心洲右缘及河段左、右岸。建桥后,桥位上游一定范围内近岸流速减小,桥位下游河段近岸流速有所增加。

3.4 建桥前后郑蒲港港区及心滩头部流速变化

郑蒲港港区位于拟建桥下游左岸 5~10 km 区域,试验于港区选取 L1~L10 共 10 测点对建桥前后流速进行观测,分析建桥前后港区流速变化情况。

表 4 表明,由于港区距离桥轴线较远、枯水主墩对河道阻水较小,工程后中枯水期港区测点流速基

本未变。中洪水流量下(45 000 m³/s、82 700 m³/s),江心洲水道左岸太阳河口上游测点流速最大变幅 0.01 m/s,太阳河口下游测点流速没有变化。

试验于心滩头部左、中、右各选取 1 测点对建桥前后流速进行观测,分析建桥前后心滩附近流速变化情况。

表 5 表明,工程前后枯水期,心滩周围流速变化不大。中洪水流量(45 000 m³/s)下,心滩滩头及左缘侧测点流速基本不变,右侧测点流速有所增加,最大增幅 0.01 m/s。洪水流量(82 700 m³/s)下,心滩过流,滩面区域流速有约 0.01 m/s 的变幅。

表 4 建桥前后港区各测点流速统计 单位:m/s

测点	28 500			45 000			82 700		
	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值
L1	0.15	0.15	0.00	0.19	0.19	0.00	0.45	0.44	-0.01
L2	0.34	0.34	0.00	0.49	0.48	-0.01	0.75	0.75	0.00
L3	0.33	0.33	0.00	0.43	0.43	0.00	0.72	0.72	0.00
L4	0.24	0.24	0.00	0.35	0.39	0.00	0.65	0.65	0.00
L5	0.27	0.27	0.00	0.35	0.38	-0.01	0.60	0.60	0.00
L6	0.30	0.30	0.00	0.42	0.42	0.00	0.81	0.81	0.00
L7	0.41	0.41	0.00	0.51	0.51	0.00	0.88	0.88	0.00
L8	0.78	0.78	0.00	1.00	1.00	0.00	1.29	1.29	0.00
L9	1.08	1.08	0.00	1.40	1.40	0.00	1.63	1.63	0.00
L10	0.99	0.99	0.00	1.28	1.28	0.00	1.52	1.52	0.00

表 5 建桥前后心滩头部各测点流速统计 单位:m/s

测点	28 500			45 000			82 700		
	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值
L11	0.75	0.75	0.00	0.91	0.91	0.00	1.20	1.19	-0.01
L12	0.98	0.98	0.00	1.02	1.02	0.00	1.30	1.30	0.00
L13	0.52	0.52	0.00	0.94	0.95	0.01	1.02	1.03	0.01

3.5 对水流动力轴线的影

建桥后,河道水流动力轴线有所偏移,其中左汊水流动力轴线略向右偏,右汊水流动力轴线有所左偏。表 6 给出了不同流量级下建桥后水流动力轴线最大偏移距离。由表 6 可以看出,桥墩的修建对河道水流动力轴线影响不大,左汊水流动力轴线最大偏幅为 62 m,右汊水流动力轴线最大偏幅为 55 m。

3.6 建桥后水动力影响范围分析

建桥对桥区河段水动力的影响范围枯水期小,洪水期大;桥轴线上游影响范围小,下游影响范围大。在 300 a 一遇流量(10 400 m³/s)条件下,左汊上游影响范围约为 1 300 m,下游影响范围约为 2 950 m;右汊上游影响范围约为 1 500 m,下游影响范围约为 3 450 m,说明大桥建设对下游水流的影响范围大致

表 6 江心洲建桥后水流动力轴线偏移最大幅度统计 单位:m

工况	左汊水流动力轴线 偏离距离	右汊水流动力轴线 偏离距离
300 a 一遇日最大流量 (105 000 m ³ /s)	-62	+55
100 a 一遇日最大流量 (94 400 m ³ /s)	-54	+46
平滩流量(45 000 m ³ /s)	-51	0
多年平均枯水流量 (28 500 m ³ /s)	-47	0

注:左偏为“+”,右偏为“-”。

为 3.4 km。

4 结 语

采用物理模型试验对大桥建设前后的水动力条件进行了试验研究和分析,对比分析了建桥前后流

(下转第 101 页)

(5)漕宝路跨铁路主桥采用(95+95)m钢箱梁T构桥式,采用临时索塔进行转体辅助施工,在施工过程是独塔斜拉桥体系^[4-5]。

桥梁配重约1 900 t,精确称配重难度大,拉索根数多(48根),张拉力及张拉顺序影响大,斜拉索的控制需考虑其对结构内力及变位的影响。临时索塔及斜拉索布置如图7所示。

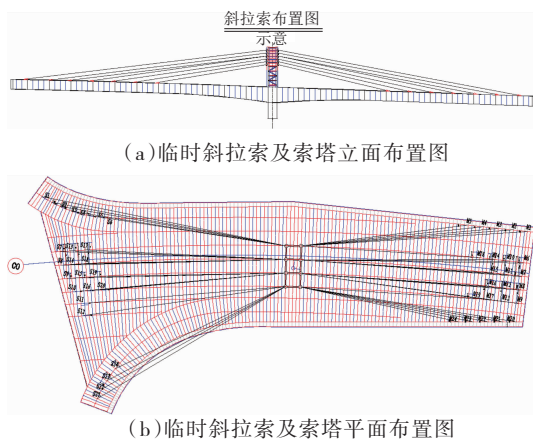


图7 临时索塔及斜拉索布置图

(6)转体施工跨越多条铁路,天窗时间短,安全风险大。

综上所述,根据漕宝路转体桥的特点,如何在转体前精确地称、配重,转体过程中姿态的控制,成桥时达到设计所确定的线形及内力状态是本桥成功实

施的关键。因此,在施工过程中必须采取有效的控制措施,通过在过程中对桥梁状态的实时监视和调整,保证施工过程的安全和成桥时达到设计目标。

6 结语

我国已完成的转体桥梁很多,但类似于漕宝路桥这种宽度极宽、平面变化极大(宽度桥梁宽度40.5~99.3 m)、断面布置(匝道与主线高差大)极其异形的大吨位、大纵坡(6%)的连续梁转体,实属罕见。漕宝路建成后,将成为世界上跨多条高铁线路的整幅转体最宽的桥梁。该桥转体的实施难度极高,转体桥跨高铁施工需夜间天窗点施工,精准度要求高,安全风险高,目前国内外类似工程项目极少,可为类似工程提供有益的参考。

参考文献:

- [1] 上海市漕宝路快速路新建工程I标段施工图[Z].武汉:中铁第四勘察设计院集团有限公司,2021.
- [2] 张联燕.桥梁转体施工[M].北京:人民交通出版社,2003.
- [3] 徐春东,胡洲,关俊锋,等.跨线铁路转体桥施工技术发展综述[J].华东交通大学学报,2021,38(6):54-60.
- [4] 杨海鹏,徐松,朱利明,等.我国转体斜拉桥发展综述[J].现代交通技术,2017,14(6):34-39.
- [5] 曾甲华.不对称转体施工钢箱梁独塔斜拉桥合理转体平衡状态构思与实现[J].交通科技,2015(3):8-10.

(上接第71页)

速、汉道分流比及郑蒲港港区及心滩头部等变化情况影响范围。分析结果表明:(1)物理模型试验结果与实测资料吻合良好,结果可信。(2)对工程河段内的表面流速分布、近岸流速、流向及汉道分流比的影响仅限于桥址上、下游较小范围内,对汉道分流比的影响幅度在0.3%以内,对水流条件的影响较小。(3)桥区下游的郑蒲港港区、心滩滩头及左缘侧流速基本不变。(4)对水动力条件的影响不大,其中,对左汉的影响范围为上游约1 300 m、下游约2 950 m,对右汉的影响范围为上游约1 500 m、下游约3 450 m,不会对该河段的航道维护与稳定产生不利影响。

参考文献:

- [1] 天津水运工程勘察设计院有限公司,中铁武汉勘察设计院有限公司.

- 马鞍山长江公铁大桥航道通航条件影响评价报告[R].武汉,2019.
- [2] 交通运输部天津水运工程科学研究所.马鞍山长江公铁大桥物理模型试验研究报告[R].天津,2019.
- [3] 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.
- [4] 陈述,张世钊,赵维阳,等.商合杭铁路芜湖长江大桥通航条件及水动力影响[J].水道港口,2018,39(1):49-54.
- [5] 何侃.航道整治前后大桥通航条件影响的双重评价[J].中国水运,2020(10):117-119.
- [6] 胡勇,赵维阳.常泰长江大桥桥跨布置方案研究[J].桥梁建设,2021,51(1):1-7.
- [7] 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.
- [8] 原贺军.二维水动力分析在桥梁工程航道通航条件影响评价中的应用[J].工程与建设,2021,35(4):660-661.