



船闸两闸轴线距离的计算分析

王炜正, 刘江林

(中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430071)

摘要: 针对改扩建船闸工程合理确定两闸轴线距离的问题, 对现行规范相关条款、研究现状进行分析, 并采用理论结合实际的方法, 在考虑两闸轴线距离影响因素的基础上, 结合工程经验和已有工程的研究结果, 提出“确定两闸轴线距离”的分析流程为确定闸位、初拟间距、调整间距和分析复核, 并提出相应的计算公式。选取具有代表性的 3 个船闸工程对上述分析流程和相应的计算公式进行应用。结果表明, 提出的技术路线和计算公式合理可行。

关键词: 复线船闸; 轴线距离; 计算公式

中图分类号: U 641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)02-0103-06

Calculation and analysis of axial distance between two ship locks

WANG Wei-zheng, LIU Jiang-lin

(CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd., Wuhan 430071, China)

Abstract: Focusing on the issue of reasonably determining the axial distance between two ship locks in a reconstruction and expansion project, this paper analyzes the relevant clauses in the current code and the research status. Then, the paper puts forward an analysis process of determining lock sites, deciding the initially proposed spacing, adjusting the spacing, and analyzing and reviewing the spacing to determine the axial distance between two ship locks. For this purpose, it adopts the method of combining theory with practice, takes into account factors influencing the axial distance between two ship locks, and combines engineering experience with the research results of existing projects. Furthermore, it proposes the corresponding calculation formula. Finally, the paper selects three representative ship lock projects and applies the above analysis process and corresponding calculation formula to them. The results show that the proposed technical route and calculation formula are reasonable and feasible.

Keywords: double-line ship lock; axial distance; calculation formula

近年来内河水运发展迅猛。“十三五”期间, III 级及以上航道里程由 1.2 万 km 增加至 1.4 万 km, 增长率达 19.1%; 内河货运量和货物周转量由 35.72 亿 t、1.41 万亿 t·km 分别增长至 39.13 亿 t、1.63 万亿 t·km, 增长率分别为 9.55%、15.69%^[1]。

水运货运量的高速增长使船闸通过能力日趋饱和, 以世界上通过能力最大的内河船闸群——西江干线长洲枢纽船闸群为例, 其三、四线船闸于 2015 年建成投入使用, 单向设计通过能力 1.36 亿 t, 而

2021 年末其全年累计过货量突破 1.52 亿 t。

已有通航建筑物的扩能升级是提高货运通过能力、满足通航需求的重要举措^[2], 而改扩建船闸工程具有边界条件复杂、场地受限等特点, 极大增加了船闸平面布置方案的难度。船闸轴线的位置选取是平面布置方案的重难点之一, 因此总结两闸轴线距离研究经验, 研究确定两闸轴线距离的技术路线和计算方法, 可为已有枢纽上改扩建船闸工程设计、新建枢纽船闸工程预留复线船闸方案提供借鉴。

收稿日期: 2022-05-11

作者简介: 王炜正(1975—), 男, 教授级高工, 从事水运工程勘察设计。

1 规范及现状

1.1 规范规定

JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》^[3]对闸址选择、两闸轴线距离的确定均有相关条款,主要包括以下 5 个因素,即“与已建、拟建建筑物的关系”“水流条件”“泥沙淤积”“引航道衔接”和“施工不影响已有船闸安全运行”。

1.2 研究现状

国内目前建成的具有通航功能的船闸 500 余座,众多枢纽船闸的扩能升级工程的设计、实施中,关于两闸轴线距离的确定积累了丰富的工程经验和研究成果。

根据对船闸平面布置相关工程案例和研究文献的分析,确定闸轴线距离的方法可总结为 4 类:原则论述、断面分析、工程经验和关键因素分析。

1) 原则论述适合在前期方案论证阶段使用,如张辉等^[4]对飞来峡水利枢纽新建船闸平面布置方案的研究;邹开明等^[5]对湘江大源渡枢纽、西江桂平和贵港枢纽复线船闸的平面布置研究。

2) 断面分析适合在初步设计阶段方案设计和比选中使用,如田利勇^[6]对大治河西枢纽复线船闸工程总体布置研究;黄圣平等^[7]对近尾洲复线船闸总平面布置方案研究。

3) 工程经验适合在前期阶段、在某一地区有大量类似工程时,结合其他方法一起使用,如韩巍巍等^[8]对蔺家坝复线船闸闸位分析;李华勇等^[9]对万安枢纽复线船闸平面布置方案研究。

4) 关键因素分析适用于有明显的控制性因素的改扩建工程中,可在初步设计阶段或结合其他方法一起使用。彭哲等^[10]在湘祁复线船闸轴线布置方案研究中,从山体位置(避免开挖山体)角度,确定两闸轴线距离不应大于 80 m;从隔流堤不应侵占一线闸引航道角度,确定两闸轴线距离不应小于 70 m;最后经方案比选,推荐 80 m 闸轴线距离的方案。

目前确定两闸轴线距离的方法除断面分析外,均为定性分析,存在一定的局限性。因此有必要

深入分析确定两闸轴线距离的流程,确定影响两闸轴线距离的因素,提出定量分析两闸轴线距离的计算公式。

2 轴线距离

2.1 分析流程

结合已有关于两闸轴线距离确定方法的研究,提出确定船闸轴线距离的流程见图 1。

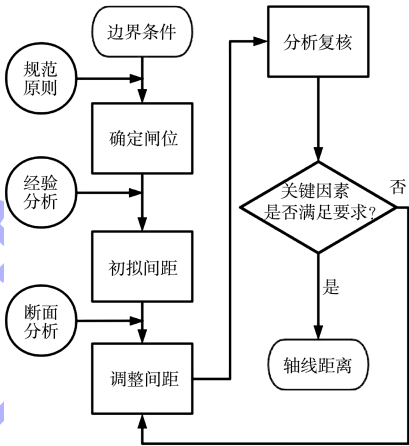


图 1 确定两闸轴线的流程

2.2 计算公式

1) 根据工程实际的条件,选取主要因素,结合《船闸总体设计规范》的强制性要求或布置原则,确定船闸位置。闸位选取应考虑:①船闸与已建和拟建的建构筑物的相互影响;②枢纽下泄水流对船闸通航条件的影响;③泥沙淤积对船闸通航条件的影响。

2) 初拟间距。结合经验分析,在满足新建船闸结构尺度要求、施工通航和保障一线闸结构安全等前提下,初步提出两闸轴线距离的合理数值 L_1 , 公式为:

$$L_1 = B_1 + B_2 + \Delta B \tag{1}$$

式中: L_1 为初拟的两闸轴线距离; B_1 为已有(一线)船闸宽度最大值的一半,取 0.5 倍上闸首、下闸首、闸室宽度中的最大值; B_2 为拟建(复线)船闸宽度最大值,取 0.5 倍上闸首、下闸首、闸室宽度的最大值; ΔB 为两闸间施工距离,含基坑放坡开挖所需距离和确保一线闸结构安全的富余距

离。结合地质条件和允许开挖的坡比, 取 $(1.0 \sim 2.5)d+5 \sim 10$ m, 其中 d 为基坑开挖深度。

3) 调整间距。结合断面分析, 根据支护结构方案、船闸平面布置及预留一线闸升级空间, 调整两闸轴线距离为 L_2 , 公式为:

$$L_2=L_1-B_3-B_4+B_5$$
 (2)

式中: L_2 为调整后的两闸轴线距离; B_3 为支护结构减小的距离; B_4 为错位布置减小的距离; B_5 为已有(一线)闸升级改造增加的距离。

4) 分析复核。根据场地条件的限制, 如上下游桥梁通航孔位置、跨闸交通桥纵坡、防洪堤等, 通过复核关键因素所要求的两闸轴线距离是否满足要求, 得到最终两闸轴线的距离。

3 工程实例

3.1 新夏港船闸

3.1.1 工程概况

新夏港船闸按双线单级 1 000 吨级(Ⅲ级)船闸建设, 最大设计船型 1 顶 $2 \times 1\,000$ 吨级船队, 船闸有效尺度为 $180\text{ m} \times 23\text{ m} \times 4\text{ m}$ (长 \times 宽 \times 槛上水深), 新夏港船闸见图 2^[11]。



图 2 新夏港船闸现状

3.1.2 确定闸位

新夏港河船闸是锡澄运河的入江口门船闸, 整治后的锡澄运河将由新夏港河入长江, 与之配套的船闸只能布置在新夏港河上。受新夏港河及江阴城区地形限制, 船闸闸位选择在新夏港河水利套闸附近^[12]。

3.1.3 初拟间距

本工程为一次新建, 初拟两闸轴线距离为 L_1 。根据断面分析, 控制断面为船闸闸首处, 经计算

闸首宽度为 55 m, 因此取 $B_1=B_2=27.5$ m; 由于为一次建设双线船闸, 故 $\Delta B=0$ 、 $L_1=55.0$ m, 双线船闸并排布置见图 3。

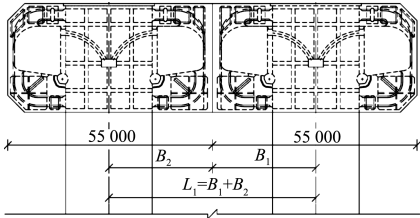


图 3 双线船闸并排布置轴线间距 (单位: mm)

3.1.4 调整间距

本工程为一次新建双线船闸, 两闸轴线距离中 $B_3=0$ 、 $B_5=0$ 。

两线船闸主体结构上下错开 28.8 m(闸首纵向长度)布置, 两线船闸主体结构(闸首、闸室)紧邻布置。

口门宽度 $B_0=23$ m, $B_4=16$ m、 $L_2=39$ m, 双线船闸错位布置见图 4。

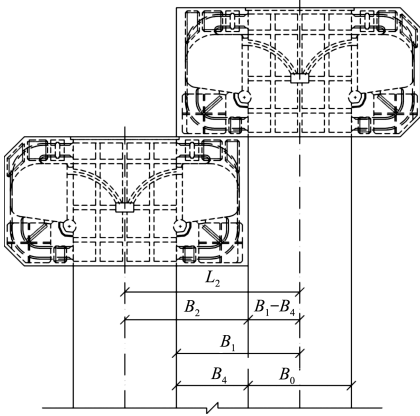


图 4 双线船闸错位布置轴线间距

3.1.5 分析复核

上下游引航道采用共用航道的布置方式可满足进出闸要求, 不存在其他制约两闸轴线距离的因素, 因此轴线距离拟定为 39 m。

3.2 北江濠湴枢纽复线船闸

3.2.1 工程概况

濠湴枢纽位于北江中上游、乌石镇韶关发电厂上游约 1.5 km, 枢纽下游约 400 m 为现状乌石北江特大桥。枢纽从左自右依次布置有土坝、厂房安装间、厂房主机间、泄水闸、一线船闸、船

闸门库段、右岸连接坝段^[13-15]。

濠湴枢纽复线船闸位于一线船闸右岸，为 1 000 吨级单线单级船闸，其有效尺度为 220 m×23 m×4.5 m。濠湴枢纽复线船闸现状见图 5。



图 5 濠湴枢纽复线船闸现状

3.2.2 确定闸位

左岸分布有大量厂房及电站宿舍楼，征地拆迁工程量大；右岸河段地形顺直、稳定、开阔，且基岩主要为灰岩，地质条件较好；广乐高速公路乌石北江特大桥通航孔预留在右岸，因此复线船闸闸址拟选在右岸，与一线船闸同岸布置。

3.2.3 初拟间距

本工程为扩建复线船闸工程，初拟两闸轴线距离为 L_1 。

上闸首与一线闸上闸首齐平布置，两闸轴线控制断面为闸首处，一线、复线船闸闸首宽度分别为 32、51 m， $B_1=16.0$ m、 $B_2=25.5$ m。

根据计算， ΔB 为 32.2~78.1 m。由于工程地质条件较好，地面 10 m 深度以下为中风化岩层，结合地质勘察揭露岩层、经验开挖坡比及岸坡稳定计算，中风化岩开挖坡比采用 1:0.5、黏土采用 1:2， $\Delta B=47.365$ m。故 $L_1=88.865$ m，轴线间距及各参数数值见图 6。

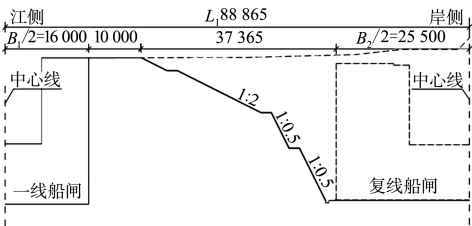


图 6 濠湴枢纽船闸基坑开挖断面(无支护) (单位: mm)

3.2.4 调整间距

濠湴枢纽复线船闸为在一线闸右岸扩建复线

船闸，为保证施工期枢纽防洪安全、基坑干地开挖需要、兼顾施工期保通措施和便于一线船闸升级改造，在两闸之间设置双排桩地连墙围堰兼作支护结构，可减少两闸轴线距离 7.365 m，即 $B_3=7.365$ m。双线船闸上闸首齐平布置， $B_4=0$ 。双排桩地连墙围堰可兼做一线闸改造的基坑支护结构， B_5 可取 0。两闸轴线间距 L_2 调整为 81.5 m，轴线间距及各参数数值见图 7。

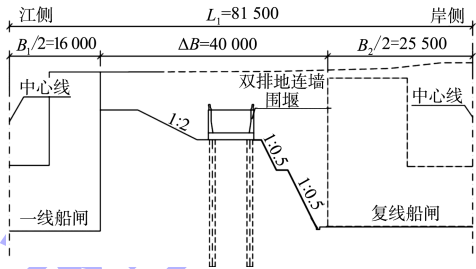


图 7 濠湴枢纽船闸基坑开挖断面(设置支护) (单位: mm)

3.2.5 间距复核

一线闸改造升级(闸首长、宽由 32、32 m 变为 51.0、41.6 m)后，可采用共用引航道的布置方式，经计算引航道宽度为 89.6 m，结合隔流堤布置需要，采用 95.0 m。

两闸轴线间距为 81.5 m 时，引航道布置、船闸主体结构布置均可满足要求，一线船闸升级改造后引航道平面布置及宽度见图 8。

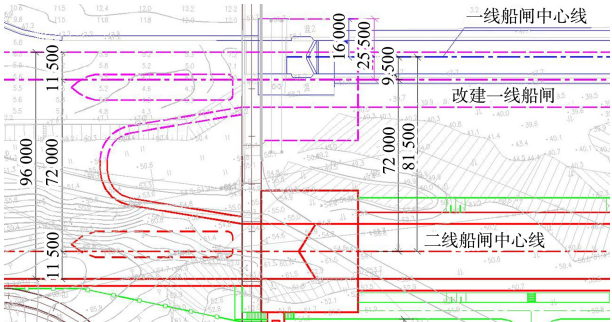


图 8 濠湴一线船闸升级改造后轴线 (单位: mm)

3.3 临淮岗复线船闸

3.3.1 工程概况

临淮岗水利枢纽工程位于淮河干流中游，为 I 等大(1)型工程，洪水标准为 100 a 一遇，校核洪水标准为 1 000 a 一遇。临淮岗枢纽由北至南依

次为浅孔闸、临淮岗景区、深孔闸、临淮岗(一线)船闸、城西湖蓄洪堤、城西湖船闸^[16-17], 枢纽现状见图 9。



图 9 枢纽现状

3.3.2 确定闸位

复线船闸闸位与一线船闸同岸布置, 复线船闸布置于一线闸左侧或右侧, 具有便于联合调度管理的优势, 但从地质条件、水流条件、桥梁方案等对比分析, 复线船闸布置于一线闸右侧更优。

3.3.3 初拟间距

根据断面分析, 最宽处为复线船闸下闸首断面, 取 $B_1=12.4\text{m}$ 、 $B_2=21.9\text{m}$; 场区为黏性土层, 结合工程经验、场区及岸坡稳定计算, 坡比采用 1:2, $\Delta B=60.70\text{m}$ 。故 $L_1=95\text{m}$, 初拟轴线间距及各部分数值见图 10。

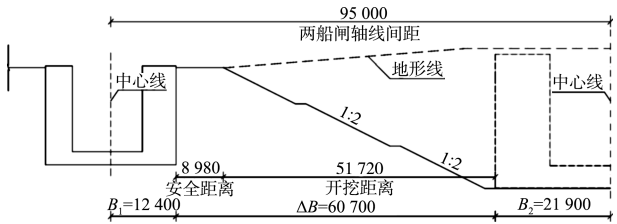


图 10 临淮岗复线船闸初拟间距 (单位: mm)

3.3.4 调整间距

两闸轴线间距 95 m 时, 下闸首处不需设置垂直支护结构, 故 $B_3=0$; 复线船闸与一线船闸下闸首上游端面齐平布置, 故 $B_4=0$; 一线闸升级改造时, 拟向左侧拓宽, 故 $B_5=0$ 。综上, $L_2=L_1=95\text{m}$ 。

3.3.5 间距复核

现状临淮岗一线船闸为Ⅳ级(500 吨级), 跨闸交通桥通航净高 7 m, 新建复线船闸为Ⅱ级(2 000 吨级), 跨闸交通桥通航净高要求为 10 m, 且由于桥梁跨度增加、桥梁结构高度增大, 因此复线船闸跨闸交通桥面高程高于一线闸桥面高程约 3.5 m, 因此两闸轴线间距应满足桥梁纵坡衔接的要求。

经路桥专业的设计要求, 路线最高点位于复线船闸右侧 10 m 处、最低点(一线闸衔接点)位于一线闸右侧 10 m 处。两点之间采用 -3.6% 纵坡段, 长度 100 m(最小长度要求), 由 20 m(最小衔接长度要求)衔接段与现状高程连接。综合分析可知, 两闸最小轴线间距为 120 m。两闸最小轴线间距见图 11。

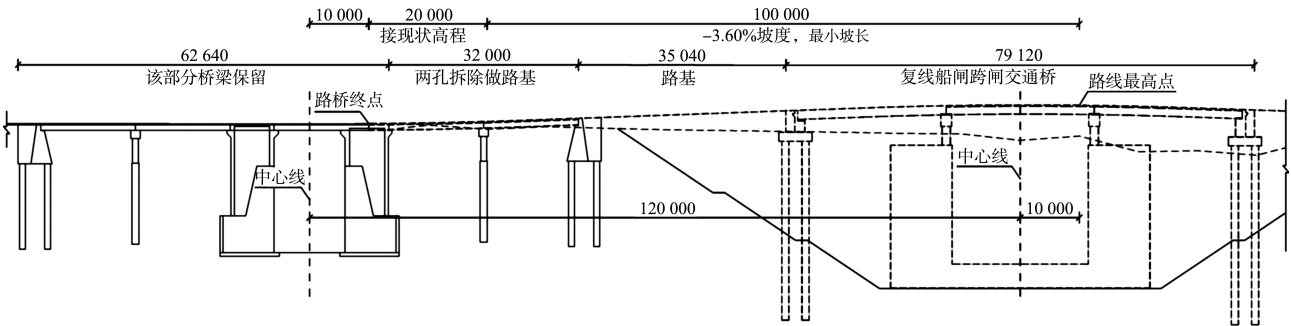


图 11 临淮岗复线船闸两闸轴线间距复核 (单位: mm)

4 结语

1) 确定两闸轴线距离的技术路线为: 确定闸位、初拟间距、调整间距、间距复核, 并提出相应的计算公式, 对船闸工程中复线船闸闸位的选

择、两闸轴线间距的确定及研究具有较强的指导意义。

2) 本文选取 3 个具有代表性的工程案例, 验证了本文技术路线的可行性和计算公式的正确性。

3)根据技术路线及计算公式拟定的间距值,还应结合物模、经济比选进行轴线间距和平面布置方案的优化。

参考文献:

[1] 交通运输部.2020 年交通运输行业发展统计公报[R].北京:交通运输部,2021.

[2] 胡浩,王崇宇,舒适.复杂条件下扩建船闸口门区布置及改善措施[J].水运工程,2019(3):103-109,120.

[3] 中交水运规划设计院.船闸总体设计规范 JTJ 305—2001[S].北京:人民交通出版社,2002.

[4] 张辉,蒋正国,李俊娜,等.飞来峡水利枢纽新建船闸平面布置方案[J].水运工程,2013(6):89-93.

[5] 邹开明,普晓刚.航电枢纽二线船闸扩建工程平面布置原则探讨[J].湖南交通科技,2015,41(3):141-145.

[6] 田利勇.大治河西枢纽二线船闸工程总体布置[J].水运工程,2020(4):120-124.

[7] 黄圣平,邹开明,阳波,等.近尾洲二线船闸总平面布置方案探讨[J].湖南交通科技,2021,47(2):149-153.

[8] 韩巍巍,汤建宏,张黎明.蔺家坝复线船闸闸位布置研

究[J].水运工程,2014(4):133-137.

[9] 李华勇,杜军,王志鹏.万安枢纽二线船闸平面布置方案[J].水运工程,2021(11):159-164.

[10] 彭哲,段元振,黄圣平,等.湘祁二线船闸闸轴线布置方案[J].中国水运(下半月),2019,19(7):143-144.

[11] 陈恩旺,吴立志,李社平.江阴新夏港船闸平面布置及结构优化[J].水运工程,2018(8):65-70,75.

[12] 刘震宇,唐杰文.新夏港船闸设计优化[J].港工技术,2018,55(1):19-21.

[13] 王平,刘江林,陈恩旺,等.广东北江濠里枢纽二线船闸新型水工结构应用[J].水运工程,2018(8):71-75.

[14] 刘江林,宋文涛,徐军辉,等.广东北江濠里枢纽二线船闸工程 BIM 解决方案[J].水运工程,2018(8):135-139,149.

[15] 邓伟,阮健.简析复线船闸轴线间距的确定方法[J].港工技术,2021,58(3):11-14.

[16] 徐军辉,王平,刘长波.临淮岗复线船闸设计最低通航水位分析[J].水运工程,2020(6):137-141.

[17] 孙腾飞.临淮岗复线船闸轴线位置分析[J].中国水运,2020(4):112-115. (本文编辑 王璁)

2)完善工程方案的水流动力轴线在南通水道和通州沙东水道进口处都有一定的程度的向东北偏移。而在龙爪岩以下河段,完善工程和本底方案水流动力轴线位置基本重叠。

3)完善工程方案导致通州沙东水道断面的洪季落潮分流比减小 1.07%,而通州沙西水道相应增加,其它断面分流比变化不大。

4)完善工程方案大幅度减小涨潮越堤流量,通州沙堤线上的涨潮越堤流量减少 58%。新开沙串沟处和新开沙—裤子港沙之间串沟的越堤落潮量减小 13.8%。

参考文献:

[1] 沈淇,吴华林,刘高峰,等.长江南京以下 12.5 m 深水航道一期工程通州沙河段齿坝方案研究[J].水运工程,2013(4):1-6.

[2] 刘高峰,贾晓,吴华林,等.长江南京以下 12.5 m 深水航道一期工程整治效果多水文条件物模研究[J].水运工程,2013(11):87-94.

[3] 闻云呈,夏云峰,王晓俊,等.非均匀非平衡输沙数学模型在长江南京以下深水航道整治一期工程中的运用[J].水运工程,2013(5):1-10.

[4] 曹民雄,应翰海,钱明霞.长江南京以下 12.5 m 深水航道建设工程的主要技术问题与研究成果[J].水运工程,2015(2):26-35.

[5] 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.

[6] 刘高峰,贾晓,吴华林,等.长江南京以下 12.5 m 深水航道一期工程整治物模试验效果[J].水运工程,2013(5):9-14.

[7] 余文畴,栾华龙.长江下游澄通河段通州沙汉道演变新特征[J].长江科学院院报,2020,37(12):1-7. (本文编辑 赵娟)