



多因素限制下淮河入海水道 淮安东船闸布置方案优化*

熊瑞¹, 江涛¹, 于忠涛¹, 罗衍庆², 范红霞³

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007; 2. 淮安市港航事业发展中心, 江苏 淮安 223000;
3. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210024)

摘要: 针对淮安东船闸布置空间受限、建设运行环境复杂等问题, 利用数学模型结合物理模型的研究手段, 在统筹考虑航道货运量、船闸建设对灌溉总渠和淮河入海水道行洪和堤防稳定影响、通航水流条件等多方面因素后, 对淮安东船闸的平面布置进行了研究。结果表明: 船闸上游隔流堤需采用均匀透空形式, 透空率为67%, 下游隔流堤需采用渐变透空形式, 透空率8%~25%, 且上游口门区宽度增加至112.5 m后, 通航水流条件满足要求; 主、辅导航墙结构采用空箱结构+塑性混凝土连墙防渗结构, 可有效减少对行洪面积的占用, 在上、下游分别采用疏浚10.3万、36.0万 m³的行洪补偿措施后, 可基本消除船闸建设对总渠和入海水道行洪的影响。研究成果可为类似船闸的平面布置方案和安全运行提供借鉴与参考。

关键词: 淮河入海水道; 淮安东船闸; 隔流堤; 行洪补偿; 通航水流条件

中图分类号: U641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2026)01-0156-08

Optimization of layout plan for Huai'an East Ship Lock in the Huaihe River estuary under multiple factor constraints

XIONG Rui¹, JIANG Tao¹, YU Zhongtao¹, LUO Yanqing², FAN Hongxia³

(1. CCCC Water Transport Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China;

2. Huaian Port and Navigation Business Development Centre, Huaian 223000, China;

3. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China)

Abstract: To address the constraints of limited space and the complex construction and operational environment at Huai'an East Ship Lock, the study on its layout is conducted using mathematical and physical modeling. The research comprehensively considered multiple factors, including traffic capacity, the impact on flood and embankment stability of the general channel for irrigation and the Huaihe River estuary waterway, as well as navigation flow conditions. The results show that the upstream separation levee should adopt a uniform porous structure with 67% porosity, while the downstream separation levee requires a gradual transition porous structure with 8%–25% porosity. Moreover, after the width of the upstream entrance area is increased to 112.5 m, the navigation water flow conditions meet the requirements. The main and auxiliary navigation walls adopt an empty box structure and a plastic concrete diaphragm wall anti-seepage structure, which can effectively reduce the occupation of flood discharge area. After dredging 103,000 and 360,000 m³ of flood discharge compensation measures in the upstream and downstream respectively, the impact of ship lock construction on the flood discharge of the main channel and the sea channel can be basically eliminated. The research results can provide reference and guidance for the layout and safe operation of similar ship locks.

Keywords: Huaihe River estuary waterway; Huai'an East Ship Lock; separation levee; flood discharge compensation; navigation flow condition

收稿日期: 2025-05-12 录用日期: 2025-07-11

*基金项目: 国家重点研发计划课题(2023YFC3206104); 南京水利科学研究院基金项目(Y225008)

作者简介: 熊瑞(1980—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事水运工程项目设计与建设工作。

船闸是航道工程重要节点,其布置需考虑多方面的因素,主要有船闸通过能力、船闸布置空间、通航水流条件、建设运行对周边设施的影响、工程占地与投资、施工方案的可行性、运行管理便利性等^[1-3]。前人针对位于高水头库区、弯曲狭窄段、潮汐河口的船闸以及复线船闸的平面布置及优化展开了研究^[4-7],通常采用整体水工物理模型试验或数学模型计算的方法,论证布置方案的合理性。韩巍巍等^[8]结合前期研究结论,论证蔺家坝一、二线轴线中心距;王勤振等^[9]分析处于狭窄区域内的一线船闸扩容改造的平面布置;袁和平^[10]通过方案比选,提出在受到既有建筑物制约的情况下,万年闸复线船闸闸位布置方案。随着船舶的大型化以及船闸等级提升、规模扩大,其布置空间往往受到限制,且建设运行条件日趋复杂,引航道及口门区水流条件难以满足规范要求也是限制船闸布置的主要因素。

此外,大规模船闸建设引起的工程影响也是水利部门关注的重点。区别于同一条河流上下游之间的船闸,淮安东船闸布置在入海水道南岸,连接上游灌溉总渠、京航运河水系和下游淮河入海水道水系,建设环境复杂,制约因素众多。本文以淮安东

船闸为例,采用数学模型与物理模型结合的方法,分析其建设条件,并对船闸的平面布置提出优化措施,研究成果旨在为多因素限制下新建船闸的平面方案布置和安全运行提供借鉴与参考。

1 建设条件

淮河入海水道二期配套通航工程是沟通黄海与淮河中上游的重要通道,其规划航道等级为Ⅱ级。淮安东船闸是淮河入海水道二期配套通航工程的重要组成部分,处于淮安枢纽下游,其建设环境十分复杂,淮安枢纽现状见图1。船闸上游为京杭大运河和苏北灌溉总渠,且紧邻运东分水闸。苏北灌溉总渠具有防洪、排涝、输水、航运、发电等功能,设计行洪流量 $800\text{ m}^3/\text{s}$ 。运东分水闸是灌溉总渠二级控制工程,设计灌溉流量 $250\text{ m}^3/\text{s}$,泄洪流量 $800\text{ m}^3/\text{s}$ 。船闸下游为淮河入海水道,分一期和二期实施,一期工程设计排洪流量 $2\,270\text{ m}^3/\text{s}$,使洪泽湖防洪标准达到100 a一遇;二期工程在现状一期工程基础上扩挖河道,加固堤防,局部堤防适当退建,扩建二河、淮安、滨海、海口枢纽建筑物,设计排洪流量达 $7\,000\text{ m}^3/\text{s}$,使洪泽湖防洪标准达到300 a一遇。



图1 淮安枢纽现状

Fig. 1 Current situation of Huai'an Hub

淮安东船闸周边水闸、涵闸、桥梁等水利交通工程密布，船闸的建设需考虑对周边设施正常运行的影响。此外，淮安东船闸主体初定靠近入海水道南堤布置与入海水道南侧滩地上，需破开入海水道南侧大堤，需考虑防洪线的封闭和堤防稳定与安全。此外，淮安东船闸连接上游灌溉总渠、京航运河水系和下游淮河入海水道水系，可供布置空间十分有限，船闸的建设会占用一定的行洪面积，也需考虑对淮河入海水道与苏北灌溉总渠行洪能力的影响。淮安东船闸上游口门区临近运东分水闸，下游位于入海水道南侧滩地，上、下游通航水流条件在总渠与入海水道行洪时如何保证也需深入研究。

2 初拟布置方案

淮安东船闸建设等级为Ⅱ级，设计代表船型为2 000吨级单船(67.6 m×13.8 m×3.0 m，船长×型宽×吃水)、120~150 TEU 集装箱船(88.0 m×15.8 m×3.0 m)及1顶2×2 000 t 顶推船(182.0 m×16.2 m×2.6 m)。根据闸位比选，淮安东船闸推荐闸位位于淮安枢纽下游入海水道南岸，若并排布置双线船闸，闸室尺度230 m×34 m×5 m，两闸墙间距31 m^[11]，对行洪河道的占用较大，且

需退堤的长度较长，因此推荐采用单线船闸的方案，根据预测运量需求和通过能力分析，确定闸室有效尺度为300 m×34 m×5 m。综合考虑船闸直线段布置要求，上游引航道与淮安枢纽一期的衔接，尽量少占用入海水道行洪水域，不破坏运东分水闸等水利设施的前提下，初拟布置方案见图2。

淮安东船闸由上、下闸首及闸室，上、下游引航道及下游待闸锚地组成，上、下闸首顺轴线方向长49、46 m。船闸主体和上、下游引航道沿入海水道南侧大堤堤脚布置，上闸首位于淮安枢纽下游约1.3 km，上游引航道与京杭运河北侧航道和灌溉总渠上游航道通过反曲线连接，与京杭运河南北侧航道连接受地形条件限制，转弯半径不能满足4倍设计船队长度的要求，考虑现状运营船舶中顶推船队占比较少，且顶推船队可选择从盐河、宿连航道等其他航线绕行，因此转弯半径取4倍单船长度，为360 m。考虑船闸上游口门区右侧临近运东分水闸，运东分水闸行洪时，口门区水流条件较差，上、下游停泊段均布置在入海水道侧，上游设计最高通航水位10.63 m，对应灌溉总渠行洪800 m³/s，设计最低通航水位8.33 m；下游设计最高通航水位10.13 m，对应入海水道泄洪流量4 308 m³/s；设计最低通航水位2.33 m。



图2 淮安东船闸初拟平面布置(单位:m)

Fig.2 Layout plan of Huai'an East Ship Lock(unit:m)

3 总平面布置优化措施

3.1 船闸上、下游隔流堤优化设计

淮安东船闸上游临近运东分水闸，若不布置

隔流堤，灌溉总渠行洪时在口门区靠近运东分水闸侧形成强劲横流，是制约安全通航的主要因素。在上游设计最高通航水位10.63 m 对应灌溉总渠

流量 $800 \text{ m}^3/\text{s}$ 条件下,最大横流超 0.60 m/s 。开展了物理模型试验研究,结果表明:若采用封闭的4档80 m长墩板式隔流堤,最大横流位于堤头,为 0.58 m/s ,仍超规范要求。对隔流堤的形式、长度、透空率进行了多方案比选,提出采用1个导流墩+3档均匀透空墩板式的组合隔流堤的结构形式,墩中心距20 m,墩顶高程11.13 m,底高程3.63 m,墩之间采用挂板连接,底高程8.33 m,隔流板透空率为67%,上游隔流堤示意图3。在采用导流墩+透空墩板式组合隔流堤的形式后,最大横流可降低至 0.49 m/s ,且横流超 0.30 m/s 范围为 $55 \text{ m} \times 20 \text{ m}$,口门区的水流条件基本可满足船舶通航要求。

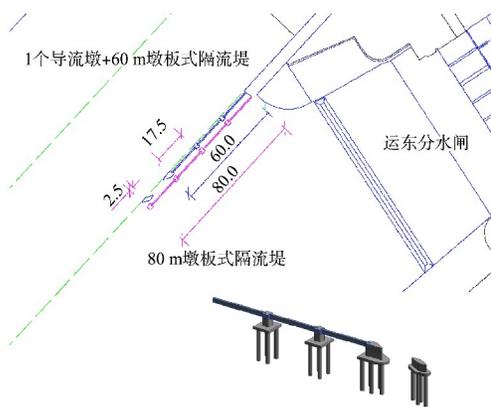


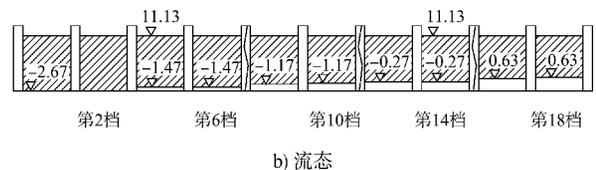
图3 淮安东船闸上游隔流堤设计(单位:m)
Fig. 3 Design of upstream separation levee of Huai'an East Ship Lock (unit: m)

淮安东船闸下游左侧为入海水道,若不布置隔流堤,行洪时下游停泊段与制动段通航横流强劲,初步拟采用15档300 m长不透空隔流堤。模型试验结果表明:300 m长隔流堤仅掩护停泊段,在停泊段和制动段形成大范围回流,整体流态较差,且口门区局部横向流速较大,影响船舶安全通航,需延长3档隔流堤,掩护整个停泊段和2/3制动段,并采用透空式结构。针对透空位置、透空率开展多组试验方案比选,建议采用底部渐变透空式隔流堤,对自末端向上16档隔流堤进行渐变透空,透空率为8%~25%,下游隔流堤示意图4a)。采用渐变隔流堤透空结构后,制动段和停泊段的大范围回流消失,流态平顺,仅在隔流堤

上端局部形成小范围回流,且回流强度微弱,回流引起的横流仅为 0.10 m/s ,在最高通航水位下能满足船舶安全通航的要求,流态示意图4b)。



a) 隔流堤



b) 流态

图4 淮安东船闸下游隔流堤设计及流态
Fig. 4 Flow pattern and design of downstream separation levee of Huai'an East Ship Lock

3.2 船闸上游引航道、口门区平面布置调整

船闸采用曲线进闸、直线出闸的过闸方式,上、下游停泊段均布置在入海水道侧。根据JTJ 305—2025《船闸总体设计规范》^[12],单线船闸不对称型引航道宽度 B_0 按下式计算:

$$B_0 \geq b_c + b_{c1} + \Delta b_1 + \Delta b_2 \quad (1)$$

式中: b_c 为设计或兼顾船型的最大宽度; b_{c1} 为一侧等候过闸船舶的总宽度,待闸区船舶的排档与闸室排档一致时,也可取闸室宽度; Δb_1 为出闸船舶与等候船舶之间的富余宽度,可取 $\Delta b_1 \geq b_c$; Δb_2 为出闸船舶与岸之间的富余宽度,可取 $\Delta b_2 \geq b_c$ 。

经计算,引航道最小宽度为72.1 m,取75 m。按JTJ 305—2025《船闸总体设计规范》,主要考虑口门区内船舶为单向通航,口门区可通航水域较停泊段增加了1~2倍船宽,可按不小于引航道宽度设计。物理模型试验结果表明,上游口门区最大横流为 $0.40 \sim 0.50 \text{ m/s}$,按JTJ 305—2025《船闸总体设计规范》要求,口门区的宽度宜在最小宽度

B_1 的基础上增加 $1.0b_c$ ；即口门区的宽度不应小于 91 m，与原规范 1.5 倍引航道宽度 (112.5 m) 相差不大，因此上游口门区最小宽度仍按 112.5 m 设计。

考虑淮扬路高架桥跨过上游导航调顺段，预留 33.3 m 桥区段，上游导航调顺段总长为 228.3 m。制动段长度可取设计或兼顾船型长度的 1~3 倍，当口门区纵向流速小于 0.50 m/s 时，宜取 1 倍船长，淮安东船闸上游口门区最大纵向流速约 0.50 m/s，

上游布置空间有限，制动段按 1 倍顶推船队设计为 182 m，口门区按 2.5 倍船队船长设计为 455 m。因上游口门区位于交汇河处，船舶密度较大考虑利用停泊段外临近船闸侧长 437 m 设置预调区，用于过闸船舶临时停靠，航道宽度按停靠单列船舶考虑，且采用护岸与墩组合布置形式。根据模型试验成果预调区停泊水域宽度范围内横流速小于 0.15 m/s，也满足规范要求。淮安东船闸上游平面布置优化方案见图 5。



图 5 淮安东船闸上游平面布置优化方案(单位:m)

Fig. 5 Optimization plan of upstream layout of Huai'an East Ship Lock(unit:m)

3.3 主、辅导航墙结构优化

船闸的建设需破开入海水道堤防，为形成封闭防洪圈，工程后入海水道侧防洪体系走向为：总渠管理处堤防、新建船闸北侧堤防、上闸首、闸室南侧堤防、下闸首南侧堤防、入海水道南堤。总渠侧船闸防洪体系走向为：运东泄水闸、总渠北堤，总渠和入海水道两侧防洪线布置见图 6。在不降低原有防洪标准的要求下，上游北侧需还建总长 825 m 防洪大堤，上闸首下游入海水道南堤需培高，长度为 1 556 m；按现有防洪标准，上游新建与南侧加固堤防顶高为 15.13 m，下闸首下游堤顶增设 1.2 m 挡浪墙。灌溉总渠南堤需加固长

度为 600 m，堤顶高程与现状堤顶高程基本一致，大堤北侧边坡维持现状，临入海水道侧边坡设计坡比为 1:3。

上游主导航墙靠船段起到兼顾新建堤防的作用，在考虑整体抗滑、抗倾、抗浮稳定性后，推荐采用空箱结构+塑性混凝土连墙防渗结构，并对上游新建空箱堤防(兼做导航墙和靠船段)的空箱宽度和底板宽度及厚度进行优化，以减小对河道行洪面积的占用。上、下游右岸辅导航墙距离现有大堤较近，为减少对现有建筑物及大堤的影响，考虑采用前排地连墙+后排罐注桩承台式结构，结构示意图 7。



图 6 淮安东船闸防洪线
Fig. 6 Flood control line of Huai'an East Ship Lock

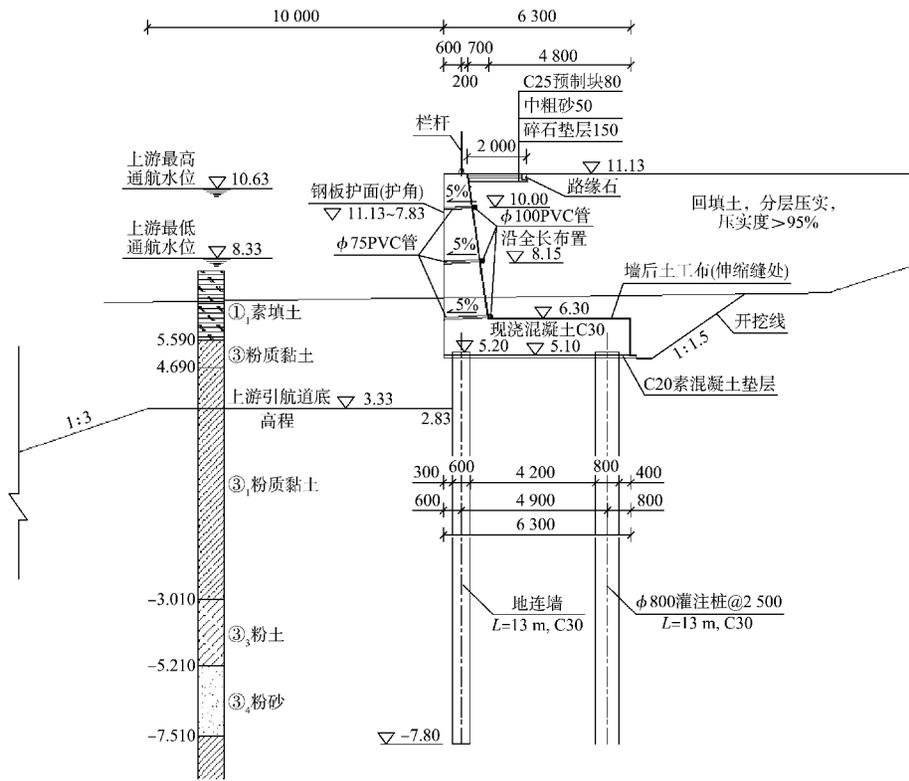
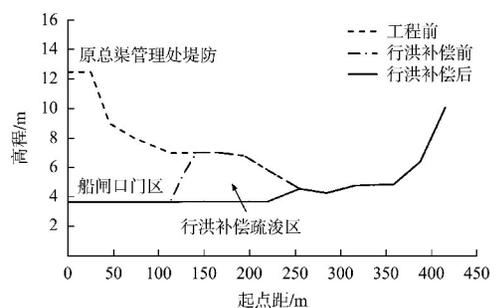


图 7 前排地连墙+后排罐注桩承台式结构(尺寸:mm;高程:m)
Fig. 7 Structure of combination between front-row ground-connecting wall and rear-row tank pile bearing platform (dimension:mm;elevation:m)

3.4 船闸上、下游行洪补偿措施

尽管淮安东船闸布置时已考虑尽可能减少对行洪的影响,且隔流堤已采用透空结构,但船闸的建设仍改变了河道边界,占用了部分河道行洪面积,船闸上、下游典型断面见图 8。船闸上游以航道和引航道的开挖、浚深为主,工程后灌溉总渠行洪断面有所扩大。下游闸室位于入海水道南岸滩地,船闸建成后总阻水面积比约 5%,需考虑淮安东船闸建设对灌溉总渠和入海水道行洪的影

响,以确定行洪补偿范围。



a) 上游

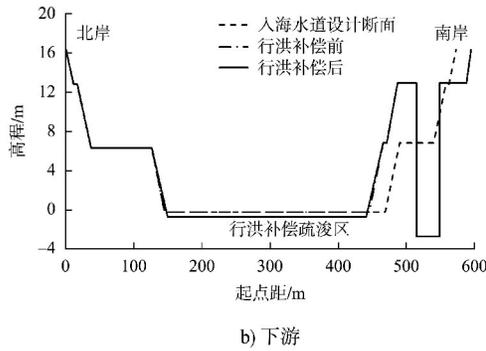
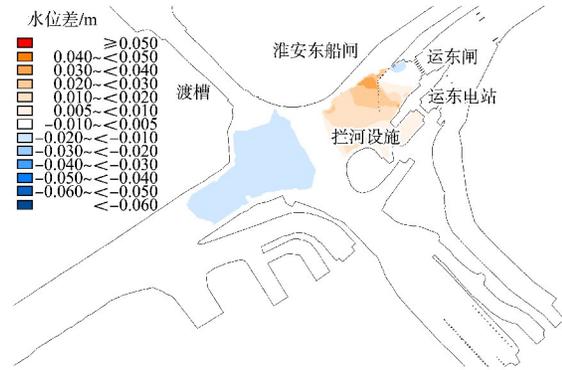


图8 淮安东船闸上下游典型断面
Fig. 8 Typical cross-sections in upstream and downstream of Huai'an East Ship Lock

船闸上游虽然行洪断面有所扩大，但淮安东船闸的建设改变了灌溉总渠左侧河道边界，且船闸主体工程、导流、隔流建筑物、运东分水闸前拦河警示设施的建设仍会造成水位壅高，在校核行洪流量 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 条件下，船闸和拦河警示设施的建设引起的最大水位壅高为 0.035 m ，位于导流墩与防撞设施上游，其中船闸工程引起的水位壅高为 0.029 m ，拦河警示设施 0.006 m ，且水位壅高 0.010 m 的影响范围约 300 m ，灌溉总渠和运河交叉处水位及上游水位下降，工程前后水位差见图 9a)。为降低水位壅高，建议在运东分水闸前采用疏浚的行洪补偿措施，疏浚范围为 $370\text{ m}\times 160\text{ m}$ ，底高程 3.68 m ，总疏浚量 10.3 万 m^3 ，疏浚后仅在导流墩与拦河防撞墩上游小范围水位轻微壅高，且左右岸与河道中心处水位与工程前相比没有变化，不会对总渠行洪造成不利影响，疏浚措施实施后水位差见图 9b)。模型试验研究成果也表明：运东分水闸前疏浚措施实施后，主流向右侧偏移，船闸上游口门区通航水流条件得到进一步改善，最大横流可降低至 0.40 m/s 。

淮安东船闸工程建设占用了入海水道部分行洪断面，造成地涵以下 3.5 km 长河道水位壅高， 300 a 一遇流量 $7\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 条件下，河道水位最大抬升 0.016 m 。通过采取河道长距离疏浚的补偿措施，以消除工程建设引起的水位壅高。经疏浚范

围与底高程的比选，在疏浚范围 $2\,700\text{ m}\times 260\text{ m}$ 、开挖深度 0.5 m 、总方量约 36 万 m^3 的行洪补偿措施下，淮安枢纽地涵处水位与工程建设前基本一致，疏浚范围见图 10。



a) 船闸和拦河警示设施建设



b) 行洪补偿措施实施后

图9 淮安东船闸上游工程前后水位变化
Fig. 9 Water level variation before and after the construction of Huai'an East Ship Lock

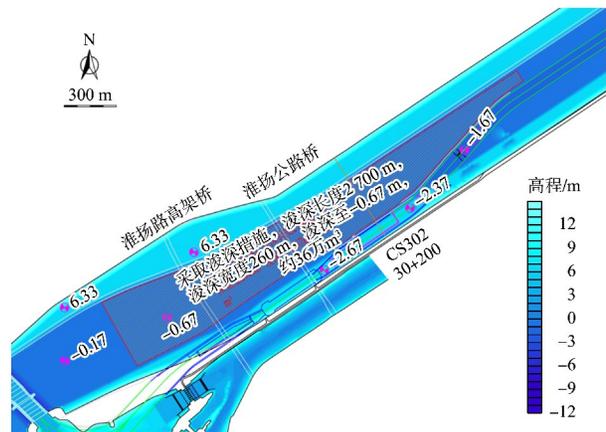


图10 淮安东船闸下游疏浚范围
Fig. 10 Dredging area downstream of Huai'an East Ship Lock

4 结论

1) 随着船舶的大型化以及船闸规模和等级提升,船闸的建设需考虑布置空间有限、船舶通航安全、对河道行洪和堤防稳定的影响等多种制约因素。

2) 在通航水流条件难以满足规范要求时,可通过采用透空隔流堤、增加口门区宽度等措施保障通航安全。

3) 在船闸布置空间受限条件下,可通过设置预调区以提高船舶过闸效率,并通过优化船闸导航墙结构,降低对堤防稳定和行洪的影响。

4) 根据地形条件,结合通航水流条件试验论证,可采用疏浚的行洪补偿措施消除船闸建设对河道行洪的影响。

参考文献:

- [1] 叶青,姜兴良.西津水利枢纽二线船闸总体布置方案[J].水运工程,2024(12):172-178.
YE Q,JIANG X L.General layout scheme of second-line ship lock of Xijin hydro-junction project [J].Port & waterway engineering,2024(12):172-178.
- [2] 赵铭.漯河船闸选址及平面布置研究[J].中国水运,2023(21):57-59.
ZHAO M.Study on site selection and layout of Luohe Ship Lock[J].China water transport,2023(21):57-59.
- [3] 华华,曲红玲.新江海河船闸平面布置及方案优化[J].水运工程,2023(11):114-119,172.
HUA H,QU H L.General layout and scheme optimization of new Jianghaihe ship lock[J].Port & waterway engineering,2023(11):114-119,172.
- [4] 肖钦,赵凯,范红霞,等.复杂河道边界条件下新建船闸布置方案及运行方式[J].水运工程,2023(9):93-100.
XIAO Q,ZHAO K,FAN H X,et al.Layout and operation of new navigation lock under complicated river condition[J].Port & waterway engineering,2023(9):93-100.
- [5] 刘志敏,李志成.湘祁二线船闸平面布置方案及设计优化创新[J].水运工程,2023(1):137-142.
LIU Z M,LI Z C.Layout plan and optimal design innovation of Xiangqi second-line ship lock [J].Port & waterway engineering,2023(1):137-142.
- [6] 普晓刚,李民,郝媛媛,等.狭窄连续弯道河段航电枢纽平面布置原则探讨[J].长江科学院院报,2012,29(6):16-21.
PU X G,LI M,HAO Y Y,et al.Principles of the layout of navigation-power junction in continuous narrow meandering river[J].Journal of Yangtze River Scientific Research Institute,2012,29(6):16-21.
- [7] 董明,付长生.淮安四线船闸引航道平面布置方案研究[J].中国水运,2024(5):58-60.
DONG M,FU C S.General layout of approach channel of Huai'an forth-line ship lock[J].China water transport,2024(5):58-60.
- [8] 韩巍巍,汤建宏,张黎明.蔺家坝复线船闸闸位布置[J].水运工程,2014(4):133-137.
HAN W W,TANG J H,ZHANG L M.General layout for second-line ship lock of Linjiaba hydro-junction [J].Port & waterway engineering,2014(4):133-137.
- [9] 王勤振,邹永超,汤建宏.某扩容改造船闸工程闸位平面布置[J].水运工程,2017(12):179-184.
WANG Q Z,ZOU Y C,TANG J H.General layout of lock position of a ship lock expansion and renovation engineering [J].Port & waterway engineering,2017(12):179-184.
- [10] 袁和平.京杭运河万年闸复线船闸平面布置方案[J].水运工程,2019(5):135-140.
YUAN H P.General layout of second-line ship lock of Wannian navigation junction of Beijing-Hangzhou Canal [J].Port & waterway engineering,2019(5):135-140.
- [11] 江涛,罗业辉,董霞,等.淮河入海水道二期配套通航工程淮安东船闸布置方案[J].水运工程,2021(11):142-147.
JIANG T,LUO Y H,DONG X,et al.General layout of Huai'an East Ship Lock of the Huaihe River sea-entering channel phase II supporting navigation projects [J].Port & waterway engineering,2021(11):142-147.
- [12] 船闸总体设计规范:JTJ 305—2025[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2025.
Code for master design of shiplocks: JTJ 305-2025 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2025.

(本文编辑 赵娟)