

裕溪一线船闸扩容改造工程总平面布置分析

李艳¹, 张跃东¹, 高柱²

(1. 中设设计集团股份有限公司, 江苏南京 210014; 2. 南通大学交通与土木工程学院, 江苏南通 226019)

摘要:通过对裕溪一线船闸扩容改造工程建设规模及平面布置制约和影响因素的分析, 预测各水平年过闸货运量及船舶通过量, 明确工程的建设规模、闸位布置和总体布置方案。建立二维水动力学模型, 在多种工况下模拟裕溪节制闸和船闸上游引航道及口门区通航水流条件, 并据此调整闸门上流口门区及连接段局部线路走向, 提出疏浚两个反弯段北侧、扩大过水断面、降低流速等保证航行安全的对策措施。经综合分析确定的船闸建设规模、闸位布置和总平面布置较好地协调了多方矛盾, 原址重建方案可行。

关键词:合裕线航道; 裕溪船闸; 建设规模; 平面布置

中图分类号:TV691; U641.2+1 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2020)03-0055-06

General layout analysis of expansion and reconstruction project of Yuxi First Line Shiplock//LI Yan¹, ZHANG Yuedong¹, GAO Zhu²(1. China Design Group Co., Ltd., Nanjing 210014, China; 2. School of Transportation and Civil Engineering, Nantong University, Nantong 226019, China)

Abstract: Based on the analysis of the restricting and influencing factors for the construction scale and plane layout of the Yuxi Shiplock expansion and reconstruction project, the annual freight volume and the ship throughput were forecasted and the construction scale, the lock position and the general layout of the project were determined. A two-dimensional hydrodynamic model was established to simulate the navigation flow conditions of the approach channel and the entrance area in the upstream of the regulating sluice and the Yuxi Shiplock under various operating conditions. According to the calculation results, the local route alignment of the upstream entrance area and the connecting section is adjusted. Countermeasures reducing the flow velocity and ensuring the navigation safety are proposed, including dredging at the north side of the two curved sections, enlarging the cross-section of the water flow, reducing the flow velocity. The construction scale, lock position and general plane layout of the ship lock determined by comprehensive analysis are well coordinated with many contradictions. The research result shows that the in-situ reconstruction scheme is feasible and the design idea can be referred to similar projects.

Key words: Heyu Channel; Yuxi Shiplock; construction scale; plane layout

近年来,中央作出了加强我国内河航运建设,促进内河航运快速发展、协调发展、绿色发展的重大发展战略决策^[1],首次将内河航运发展摆在社会经济发展的重要位置,不仅充分肯定了内河水运为国民经济发展作出的贡献,也为内河航运的发展指明了新的发展方向。2014年国务院出台了“依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见”,内河水运被提升至新的高度,将迎来黄金发展的10年^[2]。水运具有运能大、污染小、效能高、占地少等优势,在综合运输体系中属资源节约型、环境友好型的运输方式,在煤炭、矿建材料、水泥、矿石、油品等大宗货物运输中起着不可替代的作用。为适应运输需求的快速增长,船闸及航道的能力必须适时增长。船闸是航道

的“咽喉”,船闸通过能力的提高仍是关键^[3]。

合裕线航道是合肥经济圈通往长江的唯一水上通道,是全国内河高等级航道布局“两横一纵两网十八线”中的一线,是安徽省高等级航道发展规划中“一纵两横五千二十一线”中“一纵”,也是江淮运河的重要组成部分^[4]。合裕线航道由南淝河、巢湖、裕溪河3段组成,全长约138 km。裕溪河航道长62.1 km,采用限制性航道Ⅱ级标准整治。合裕线航道沿线设置巢湖闸和裕溪闸两处枢纽。裕溪闸枢纽位于合裕线航道裕溪口,裕溪河入长江口门处,距离长江约3 km,是控制巢湖流域防洪、排涝及引水灌溉的综合性枢纽。裕溪一线船闸规模为195 m×14.4 m×2.5 m(闸室有效长度×口门宽度×门槛水深,下同),

基金项目:南通市科技计划(JC2018143)

作者简介:李艳(1982—),女,高级工程师,硕士,主要从事水运工程设计及咨询工作。E-mail:16389227@qq.com

通信作者:高柱(1978—),男,副教授,博士,主要从事交通工程及水利工程研究。E-mail:zhu.gao@outlook.com

1969年建成;裕溪复线船闸规模为200 m×23 m×4.5 m,2012年底建成。

随着江淮运河、合裕线航道整治工程的全线启动,以及腹地经济的发展,作为主要入江通道,合裕线承担的货运量逐年增加。经过货运量预测,2020年、2030年、2040年和2050年裕溪船闸过闸货运量将分别达到4500万t、7800万t、8800万t和9600万t。现有裕溪复线船闸最大单向货物通过能力约为1682万t,目前已接近饱和,不能满足未来运量的增长需求^[5]。现有裕溪一线船闸已运行40余年,船闸闸室墙为简易墩式结构,闸墙抗撞性能差,损伤较严重,横拉门设备陈旧,运转件维修率高,船闸结构已不堪重负^[6]。

为满足江淮运河打通后新增过境货运量以及未来合裕线航道沿线生成货运量的需求,解决航运瓶颈,尽早发挥航运效益,同时为确保安全通航,适应船舶大型化的发展,裕溪一线船闸亟需扩容改造。本文拟结合合裕线航道航运现状与规划,综合考虑工程周边建设环境状况,分析裕溪一线船闸扩容改造工程总体布置要求及相关限制条件,并在此基础上研究船闸建设规模及工程总平面布置方案,以满足船闸发挥航运效益、保证船舶通航安全需求、实现节约用地与减少施工对周边构筑物影响的目标。

1 建设规模分析

1.1 运量预测

根据航道功能定位、沿线产业布局、资源分布开发、区域交通运输体系发展规划等,合裕线航道未来将承担其辐射区域内外交换货运量和江淮运河过境货运量。

本次预测采用多种方法预测合裕线的运输需求。其中,对合裕线沿线区域内外交换货运量预测采用区域航道货运需求与社会经济指标的回归分析法,同时对沿线港口规划成果进行综合分析,两种方法进行互相校核;对江淮运河过境货运量采用“4阶段”法,并与腹地主要货类的运输需求(产销运平衡)进行互相校核。航道货种分析采用产销运平衡法,集装箱预测采用生成系数法。裕溪船闸的过闸货运量预测在合裕线航道运量预测的基础上,通过对流量、流向的分析得到,主要为江淮运河过境运量及合肥地区、合裕线沿线与长江沿线的物资交换量(表1)。

2020年及之前,过闸船舶的上下行装载率延续目前的发展趋势,上下行装载率分别为80%和60%;考虑到随着江淮运河的开通,皖北淮河沿线及河南地区的矿产资源、粮食等大宗物资南运至长三角地区,合裕线航道货流主流向将会发生扭转,下行

运量将超过上行运量,成为航道货流主流向;相应其船舶装载率也会有所变化。预计2030年以后,下行船舶装载率达到72%,上行船舶装载率达到66%,上下行船舶的平均装载率为69%,超过现有的发展水平。裕溪船闸船舶通过量预测见表2。

表1 裕溪船闸过闸货运量预测

年份	万 t		
	合计	上行	下行
2020年	4500	2600	1900
2025年	6700	3200	3500
2030年	7800	3800	4000
2040年	8800	4200	4600
2050年	9600	4600	5000

表2 裕溪船闸船舶通过量预测

年份	万 t		
	合计	上行	下行
2020年	6315	3250	3065
2025年	9923	4923	5000
2030年	11313	5758	5556
2040年	12753	6364	6389
2050年	13914	6970	6944

1.2 设计船型

根据通达性和适应性原则以及未来发展,考虑发展大吨位船舶以及运输船型中顶推船队发展的特点,结合营运组织分析,根据JTS 180-2—2011《运河通航标准》、2012年第69号公告的《长江水系过闸运输船舶标准化船型主尺度系列》和GB 38030-2—2019《京杭运河、淮河水系过闸运输船舶标准化船型主尺度系列》确定设计船型(表3)。

表3 设计船型

船型分类	船型	船长/m	船宽/m	设计吃水/m
设计代表船型	2000t 货船	68~73	13.8	3.3~3.5
	1500t 货船	58~60	13.0	3.2~3.4
	1000t 货船	53~55	11.0	3.0~3.2
兼顾船型	100 TEU 集装箱船	74~76	13.8	3.3~3.5
	1 拖6×1000t 拖带船队	357	10.8	2.5
	2000~3000t 货船	82~88	15.0	2.8~3.5
	1 顶2×2000 顶推船队	160	15.8	2.6~2.9
	500t 货船	44~45	8.8	2.0~2.3
	60 TEU 集装箱船	49~60	11.0	3.0~3.4
	200 TEU 集装箱船	85~60	15.0	2.8~3.5

1.3 闸室有效宽度选择

根据不同船型尺寸,纵向分为2列和3列不同组合工况计算闸室有效宽度(表4)。

表4 不同船型组合的闸室有效宽度

列数	船舶组合	闸室有效宽度/m
3	1列1500t 货船+	>34
	1列1000t 货船+1列500t 货船	
3	3列1000t 货船	34
3	2列1000t 货船+1列500t 货船	34
2	2列2000t 货船	34
2	2列1000t 货船	23
2	1列1000t 货船+1列500t 货船	23

根据 JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》^[7] 第 3.1.8 条, 闸室有效宽度在 23 m、34 m 这 2 种可能中选择。

1.4 闸室有效长度与门槛水深

闸室有效长度越长, 一次过闸平均吨位越大, 船闸的通过能力也越大, 根据船舶排列列数的不同, 选择 230 m、280 m 这 2 种不同长度的进行分析。

按照 2000 t 级货船最大吃水 $T=(3.3 \sim 3.5) \text{ m}$, 计算得门槛水深 $H \geq 5.6 \text{ m}$ 。本船闸门槛水深取为 5.6 m。

1.5 船闸建设规模

根据裕溪船闸预测运量和满足设计船型组合一次过闸的需求, 并考虑作为沿江口门要兼顾大吨位船舶进出的要求, 参照内河船闸的设计经验^[8], 拟定 2 种建设规模, 分别为 $280 \text{ m} \times 34 \text{ m} \times 5.6 \text{ m}$ 和 $230 \text{ m} \times 23 \text{ m} \times 5.6 \text{ m}$ 双线。根据通过能力计算(表 5), 这 2 种规模的通过能力均满足裕溪一线船闸设计水平年 2040 年通航需求^[9]。

表 5 不同规模船闸的一次过闸平均吨位 t

船闸规模	2020 年	2025 年	2030 年	2040 年	2050 年
$280 \text{ m} \times 34 \text{ m} \times 5.6 \text{ m}$	12 180	12 190	12 200	12 210	12 220
$230 \text{ m} \times 23 \text{ m} \times 5.6 \text{ m}$	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000

2 平面布置的制约因素

平面布置的主要制约因素有: ①裕溪一线船闸左岸为无为长江 1 级大堤(图 1), 紧邻船闸, 右岸为水利节制闸及节制闸管理区, 二者之间的最近距离仅为 75 m, 隔流滩区域狭小。应充分考虑工程建设对大堤和节制闸的影响^[10]; ②受上、下游铁路桥及裕溪节制闸的影响, 裕溪一线船闸扩容改造工程航道中心线无法做大的调整, 可以布置闸位的最长直线段长度约为 1 250 m, 船闸建设场地的局限极大制约了船闸的布置^[11]; ③船闸上、下游分别存在鸠

江区雍镇一水厂、二水厂及其取水口, 根据环保规定, 各取水口上下游 1 km 水域范围为一级水源保护区, 1 ~ 2 km 的水域范围为二级水源保护区; ④裕溪一线船闸扩容改造工程作为枢纽防洪封闭圈的组成部分, 闸位布置时需要考虑对现有防洪设施的影响以及工程建成后防洪体系的恢复与封闭。



图 1 裕溪枢纽及周边相邻设施

3 平面布置方案

3.1 建设规模确定

从可行性来说, 建设一座 $280 \text{ m} \times 34 \text{ m} \times 5.6 \text{ m}$ 船闸与 $230 \text{ m} \times 23 \text{ m} \times 5.6 \text{ m}$ 双线船闸均是可行的, 总平面布置分别见图 2 和图 3。

经比较, 两种布置方案中, 同时建设双线规模为 $230 \text{ m} \times 23 \text{ m} \times 5.6 \text{ m}$ 的船闸造价大于建设单线规模为 $280 \text{ m} \times 34 \text{ m} \times 5.6 \text{ m}$ 的船闸。从征地拆迁、工程

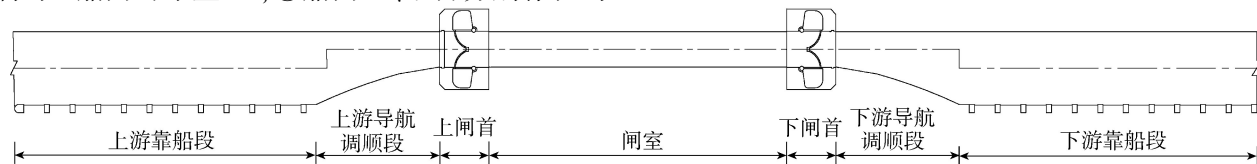


图 2 $280 \text{ m} \times 34 \text{ m} \times 5.6 \text{ m}$ 船闸总平面布置

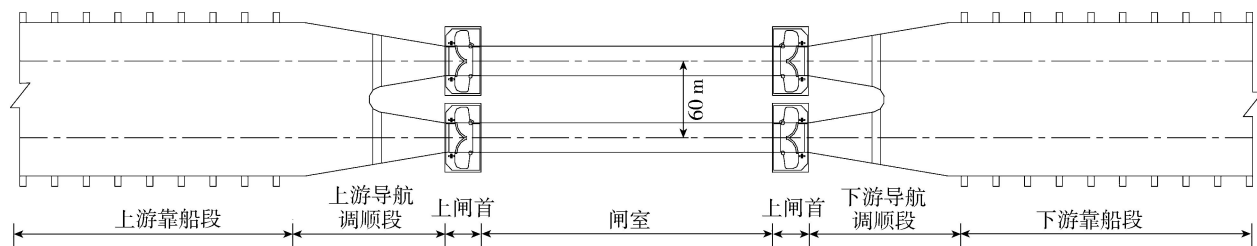


图 3 $230 \text{ m} \times 23 \text{ m} \times 5.6 \text{ m}$ 双线船闸总平面布置

建设、运行调度的难易程度以及船舶大型化发展的趋势等方面综合考虑,推荐裕溪一线船闸扩容改造工程船闸规模为 $280\text{ m} \times 34\text{ m} \times 5.6\text{ m}$ 。

3.2 闸位布置方案

裕溪闸水利枢纽位于长江左岸,裕溪河入长江口上游 3 km 处,两侧为无为大堤。现有裕溪一、复线船闸分别位于裕溪节制闸的左侧和右侧,两线船闸中心距约 400 m ,顺流向中心线交角约 6° 。跨闸公路桥(X016)在一线闸处从闸室顶部跨越,经节制闸顶部道路,从复线船闸上游导航墙顶部跨越。

根据前面对平面布置制约影响因素的分析,结合现场实际情况,从征地拆迁、通航水流条件、施工难度、工程投资及对周边水利设施的影响^[12]等多方面对闸位进行比选,最终拟定方案为:拆除上、下游取水口,并在原位拆除老闸改建新闸,改建裕溪一线船闸中心线与裕溪复线船闸中心线平行,中心距 425.3 m ,与裕溪节制闸中心线夹角 $5^\circ 45'$,节制闸中心线处闸墩中点距离裕溪一线船闸 225.5 m ,改建船闸上闸首上游面距离老闸上闸首下游面约 93.8 m 。上下游均采用“曲线进闸、直线出闸”的方式^[13],上、下游靠船段布置在船闸右岸。

3.3 总体布置

3.3.1 引航道直线段设计底宽

裕溪一线船闸进出闸方式均为“曲线进闸、直线出闸”的不对称式^[14],根据《船闸总体设计规范》第 5.5.2.1 条^[7],单线船闸不对称型引航道宽度 B_0 按下式计算:

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

式中: b_c 为设计最大船舶、船队的宽度,取 2000 t 货船宽 13.8 m ; b_{c1} 为一侧等候过闸船舶、船队的总宽度,取 3 艘 1000 t 货船总宽度 33.0 m ; b_1 为船舶、船队之间的富裕宽度,取 2000 t 货船宽 13.8 m ; b_2 为船舶、船队与岸之间的富裕宽度,取 $0.5 \times 13.8\text{ m} = 6.9\text{ m}$ 。

经计算,引航道宽度 $B_0 = 67.5\text{ m}$,最终取 70 m 。

3.3.2 引航道直线段长度

根据 JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》

5.5.1.2 条^[7],当曲线导航墙具备导航调顺功能时,可采用“曲线进闸、直线出闸”方式过闸,引航道直线段长度 L 应大于等于导航段长度与停泊段长度之和,即:

$$L \geq l_1 + l_3 \quad (2)$$

其中

$$l_1 = 1.5L_c$$

式中: l_1 为导航段长度; L_c 为最大设计船型长度,取 76 m ; l_3 为停泊段长度。经计算,导航段长度不应小于 114 m ,这里取 120 m ; l_3 应满足一次过闸所有船舶的停靠, l_3 不可小于闸室有效长度,这里取 $l_3 = 290\text{ m}$ 。故引航道直线段长度 $L = 120\text{ m} + 290\text{ m} = 410\text{ m}$ 。

3.3.3 口门区弯道最小弯曲半径

弯道最小弯曲半径 R 须满足 $R \geq 4L_c$,在引航道口门区和连接段考虑到水流、风浪等的影响,其最小弯曲半径应加大一个 L_c ,最终确定 $R = 5L_c = 380\text{ m}$ 。

3.3.4 引航道平面布置

上、下游引航道平面布置采用不对称式,上、下游引航道宽均为 70 m ,直线段长度均为 410 m ,其中靠船段长度均为 290 m 。靠船墩前沿线距离船闸中心线 35 m ,船舶进出闸方式上、下游均为“曲进直出”。

上、下游主导航墙均布置在右岸,船闸中心线方向投影长度均为 120 m ,由斜率为 $1:6$ 的直线段和半径为 500 m 的圆弧段组成,直线段靠近闸首侧长度为 40 m ;辅导航墙平行于船闸中心线布置,在左岸长度为 120 m ,在端部以 25 m 的半径转向防洪大堤侧与大堤衔接。

县道 X016 跨拟建裕溪一线船闸,拟建 X016 跨闸公路桥在原线位附近一孔跨越上游引航道,桥梁纵轴线与船闸中心线交点距离上闸首上游面 87.8 m ,与船闸中心线夹角为 $83^\circ 28'$,工程总体布置见图 4。

3.4 数值模拟分析及布置优化

3.4.1 水动力数值模拟

上游引航道口门区位于弯道段,距离裕溪节制闸较近,行洪期间口门处存在横流和回流区,特别当行洪流量较大时,口门段水流流态较紊乱,易对船舶航行安全造成影响。因此,通过建立二维水流数学

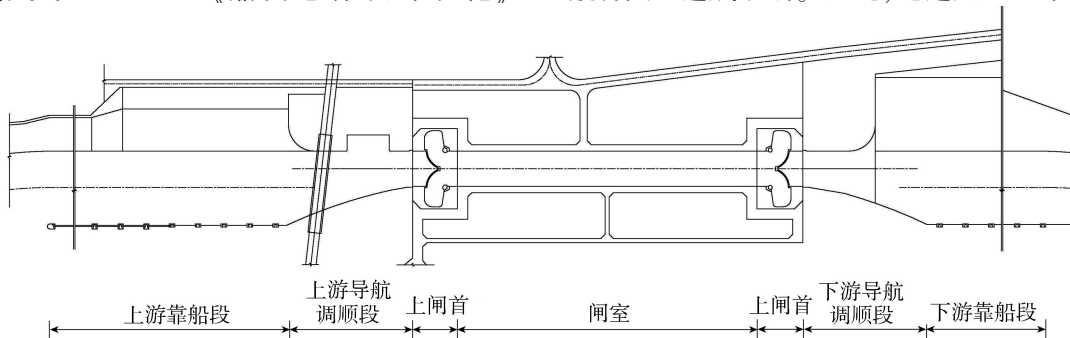


图 4 裕溪一线船闸扩容改造工程最终总平面布置

模型,模拟计算裕溪节制闸各运行工况下船闸上游引航道及口门区通航水流条件。

基于裕溪一线船闸扩容改造工程布置以及工程河段地形,二维水动力数学模型计算范围选取为淮南线铁路桥—裕溪节制闸河段,全长约 1.4 km。模型基于非结构化三角形网格建立,网格节点数为 24 811,三角单元数为 48 503,相邻网格节点最大间距为 5 m,最小间距为 3 m。模型计算域地形见图 5。水流模型上游边界为上游航道进口断面,采用流量边界;水流模型下游边界分别为裕溪一线扩建船闸、裕溪节制闸、裕溪复线船闸,采用水位边界。

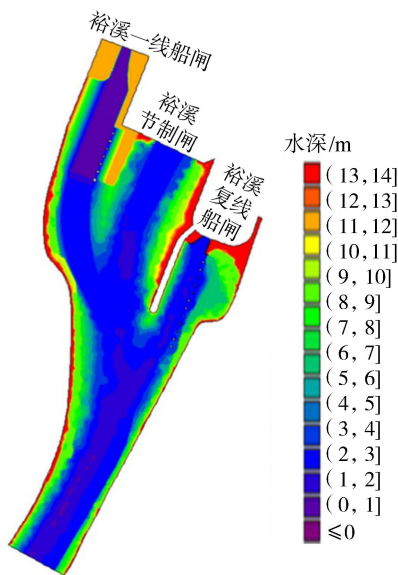


图5 上游引航道及口门区地形

共选取裕溪节制闸 4 种典型设计水位组合作为计算工况,见表 6。

计算结果表明:①各工况下口门区航道内纵向流速最大值为 0.94 m/s,满足《船闸总体设计规范》中口门区水面纵向流速不大于 2.0 m/s 的要求;②各工况下口门区回流最大强度为 0.27 m/s,均满足《船闸总体设计规范》中口门区回流流速不大于 0.4 m/s 的要求;③工况 4 口门区航道内横向流速最大值为 0.34 m/s(图 6),不满足规范要求,需要进行方案优化,采取一定的工程措施以改善口门区通航水流条件;④计算所得水流流向与航道走向夹角相对较大,最大夹角可达 36°。

3.4.2 布置优化

根据该计算结果,基于原始方案,节制闸设计

表 6 上游引航道及口门区数学模型计算工况

工况编号	工况	节制闸设计流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	裕溪一线船闸灌水流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	裕溪复线船闸灌水流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	节制闸闸上 水位/m
1	节制闸设计 20 年一遇泄流	1 170	0	0	11.8
2	节制闸恶劣放水,复线船闸灌水	600	0	130	8.5
3	节制闸恶劣放水	600	0	0	8.5
4	节制闸引水	450	0	0	7.5

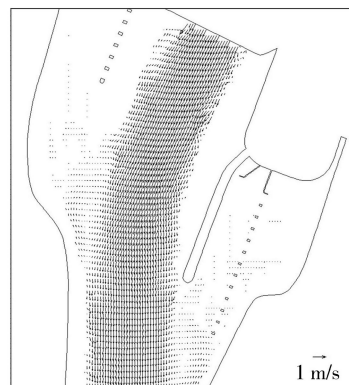


图 6 优化前工况 4 流场分布

20 年一遇泄流工况、节制闸恶劣放水以及裕溪复线船闸灌水共同作用工况、节制闸引水工况下船闸上游口门区航道内局部水域横向流速不满足《船闸总体设计规范》要求。拟通过对裕溪一线船闸上游口门区及连接段航道进行局部调整,使航道走向尽量顺河道水流主方向,减小航道内水流流向与航道走向的夹角,使原始方案计算结果中不满足规范要求的口门区航道段横流得到改善。并在两个反弯段北侧进行疏浚至航道设计底高程 2.21 m,以扩大过水横断面,降低流速,保证航行安全,疏浚范围见图 7。经计算,优化方案实施后,工况 1~4 对应的口门区航道内横向流速最大值分别为 0.29 m/s、0.29 m/s、0.25 m/s、0.30 m/s,均满足《船闸总体设计规范》中口门区水面横向流速不大于 0.3 m/s 的要求(图 8),优化后的引航道平面布置方案安全可靠。

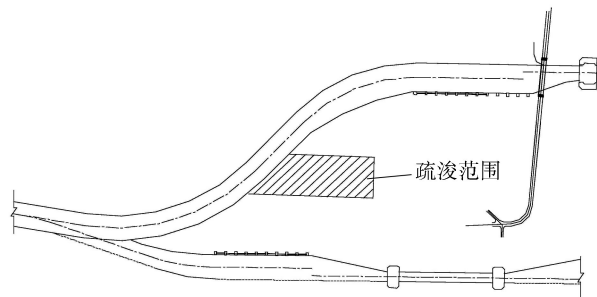


图 7 上游引航道及口门区局部优化示意图

4 结 语

a. 裕溪一线船闸是合裕线航道的入江口门,建设规模采用 280 m × 34 m × 5.6 m,与现有复线船闸联合调度,可满足水平年 2050 年船闸的单向过闸货

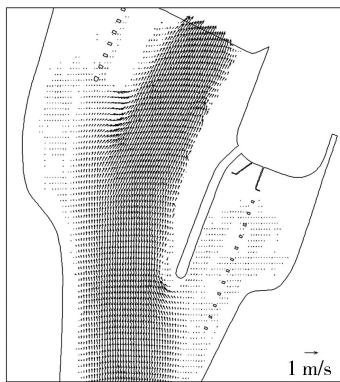


图8 布置优化后工况4流场分布

运量需求。船闸扩容工程的建设将大大减少过闸船舶的待闸时间,加快船舶大型化发展,降低运输成本,提高航运效益,使水资源得到综合利用。

b. 针对裕溪闸枢纽现状,裕溪一线船闸扩容改造工程建设制约和影响的因素众多,经综合分析确定的船闸建设规模、闸位布置、总平面布置,较好地协调了多方矛盾,原址重建方案可行。

c. 水流条件对船闸通航效率、通航安全影响很大,特别是在可供建设空间狭小的情况下,相关设计参数和方案应进行充分论证,必要时采取数值模拟或模型试验等手段进行分析,优化平面布置,确保设计方案科学合理。本次设计上游引航道口门区与主航道转角较大,在原始方案基础上,通过调整口门区及连接段航道轴线布置以减小与水流夹角并疏浚口门区航道右侧局部水域以扩大过流面积减小流速的方式,可减小横流流速,提高通航效率,保障通航安全。

参考文献:

[1] 贾大山,纪永波,焦芳芳. 抓住新时期发展机遇,加快内河航道基础设施建设[J]. 中国水运,2019(2):9-12. (JIA Dashan,JI Yongbo,JIAO Fangfang. Take advantage of new development opportunities to accelerate inland waterway infrastructure construction [J]. China Water Transport,2019(2):9-12. (in Chinese))

[2] 焦芳芳,纪永波. 发展适应长江经济带的内河运输[J]. 水运管理,2016,38(8):9-12. (JIAO Fangfang,JI Yongbo. Develop inland river shipping to adapt to yangtze river economic zone [J]. Shipping Management,2016,38(8):9-12. (in Chinese))

[3] 吴澎,罗少桢. 京杭运河的船闸设计研究[J]. 水运工程,2006(10):137-144. (WU Peng, LUO Shaozhen. Study on the design of locks of the Beijing-Hangzhou Canal[J]. Port & Waterway Engineering,2006(10):137-144. (in Chinese))

[4] 李立柱,王良琼. 建设江淮运河构筑南北水运主通道[J]. 中国水运,2009(9):6-7. (LI Lizhu, WANG Liangqiong. Construction of the Yangtze River and Huai Canal to construct the North-South Water Transport

Channel[J]. China Water Transport,2009(9):6-7. (in Chinese))

[5] 张跃东,李艳,华华,等. 合裕线裕溪一线船闸扩容改造工程可行性研究报告[R]. 南京:中设设计集团股份有限公司,2017.

[6] 李家俊. 合裕线航道船闸扩容改造的必要性分析[J]. 中国水运(下半月),2016,16(9):56-57. (LI Jiajun. Analysis on the necessity of expansion and reconstruction of ship lock in Heyu Line [J]. China Water Transport, 2016,16(9):56-57. (in Chinese))

[7] 中华人民共和国交通部. 船闸总体设计规范:JTJ 305—2001[S]. 北京:人民交通出版社,2001.

[8] 廖鹏. 内河船闸通过能力研究进展[J]. 水利水运工程学报,2009,9(3):34-39. (LIAO Peng. The research progress on inland waterway lock capacity [J]. Hydro-Science and Engineering, 2009, 9(3): 34-39. (in Chinese))

[9] 张德春,徐得潜. 裕溪船闸通过量相关影响因素分析[J]. 工程与建设,2008(5):588-590. (ZHANG Dechun, XU Deqian. Analysis of influencing factors of Yuxi Shiplock volume [J]. Engineering Construction, 2008(5):588-590. (in Chinese))

[10] 张跃东,陈稚娟. 淮河出海航道高良涧扩容船闸平面布置难点及对策[J]. 中国水运(下半月),2014,14(2):302-303. (ZHANG Yuedong, CHEN Zhijuan. Difficulties and countermeasures in layout of ship lock in Gaoliangjian expansion channel of Huaihe River [J]. China Water Transport,2014,14(2):302-303. (in Chinese))

[11] 周华兴. 双线船闸共用引航道时输水系统出口布置形式的探讨[J]. 水利水电科技进展,1992,12(1):80-86. (ZHOU Huaxing. Discussion on outlet layout of water conveyance system when two-lane lock is used as approach channel [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,1992,12(1):80-86. (in Chinese))

[12] 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 Heping. Plan for layout of multi-track lock of Beijing-Hangzhou Canal [J]. Port & Waterway Engineering, 2019(5): 135-140. (in Chinese))

[13] 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. (HU Hao, WANG Chongyu, SHU Shi. Layout and improvement measures of the expanded lock gate area under complicated conditions [J]. Port & Waterway Engineering,2019(3):103-109. (in Chinese))

[14] 季永兴. 不对称布置的泵闸枢纽工程水流问题分析[J]. 水利水电科技进展,1999,19(1):27-30. (JI Yongxing. Analysis of current problems in unsymmetrical layout of combined sluice-pumping station project [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 1999,19(1):27-30. (in Chinese))

(收稿日期:2020-02-24 编辑:郑孝宇)