



引江济淮东淝河船闸施工技术

尚 龙, 俞 玮

(中交第二航务工程局第四工程有限公司, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 针对引江济淮东淝河船闸四面临水、建设条件复杂、船闸闸室墙一次成型等问题, 进行水文与地质情况分析, 并进行降水井的试验井对比试验, 确定了深基坑降水方案与监测方法。结合已有船闸闸室墙钢筋安装和人字门安装方法, 分析其存在的问题, 提出船闸闸室墙钢筋整体预制与安装、人字门精细制作与精确定位等施工技术。研究成果保证东淝河复线船闸得以顺利建成, 提升了船闸建设安全与质量, 闸室墙钢筋预制安装工艺在船闸闸室墙工程的应用进一步丰富和提升了改扩建船闸施工的方法和品质。

关键词: 船闸; 深基坑; 降水与监测; 闸室墙钢筋; 人字门安装

中图分类号: U641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)01-0220-06

Construction technology of Dongfei River ship lock for diversion of Yangtze River to Huaihe River

SHANG Long, YU Wei

(No. 4 Engineering Co., Ltd. of CCCC Second Harbour Engineering Co., Ltd., Wuhu 241000, China)

Abstract: In response to the problems of water facing all sides of the Dongfeihe River lock from the Yangtze River to Huaihe River, complex construction conditions, and one-time formation of the lock chamber wall, this paper analyzes hydrological and geological conditions, and conducts a comparative test of the dewatering well to determine the deep foundation pit dewatering plan and monitoring method. Based on the existing installation methods of steel bar for lock chamber wall and miter gate, this paper analyzes the existing problems, and puts forward some construction techniques, such as integral prefabrication and installation of steel bar for lock chamber wall, fine fabrication and precise positioning of miter gate. The research results made the construction of Dongfei River double line ship lock successfully and improved the safety and quality of ship lock construction. The application of the steel prefabrication technology in the lock chamber wall project further enriches and improves the construction methods and quality of the reconstruction and expansion of ship lock.

Keywords: ship lock; deep foundation pit; precipitation and monitoring; reinforcement of lock chamber wall; installation of miter gate

引江济淮工程是国务院确定的 172 项重大水利工程之一, 自南向北分为引江济巢、江淮沟通、江水北送 3 段。新建东淝河船闸位于原老东淝河船闸附近, 是引江济淮安徽段八大枢纽的“凤尾”工程, 引长江进淮河的最后一道结构物, 工程距淮河口约 2 500 m。设计最大通航等级为 2 000 吨级船舶, 在既有船闸附近增建复线船闸, 其闸室

有效尺度 280 m×23 m×5.2 m(长×宽×门槛水深), 设计通过能力 3 351 万 t^[1]。

1 施工重难点

1) 船闸左距节制闸中心线 113.87 m、右距现有船闸中心线 70 m, 上下游为东淝河航道, 四面临水, 基坑最大开挖深度约 20 m, 节制闸侧东淝

收稿日期: 2023-05-15

作者简介: 尚龙 (1985—), 男, 高级工程师, 研究方向为大型桥梁及船闸施工。

河与深基坑之间间距仅 15 m。在常水位时, 基坑与两河水头差为 12 m, 船闸主体区域主要为粉土和砂性土, 地质条件差, 极有可能发生渗漏或水涌, 如何保证基坑处于干施工作业环境是基坑截渗和降水施工的重点。基坑开挖完成后暴露时间约 20 个月, 需经历 2 个汛期, 高水头差及复杂地质条件下边坡易失稳滑塌, 如何保证开挖边坡稳定也是基坑施工中需要解决的难点^[2]。

2) 船闸闸室墙采用钢筋整节段预制安装+移动龙门桁架+整体钢模板+双布料系统一次成型工艺, 闸室墙钢筋首次采用整体胎架预制、现场整节段安装工艺, 如何保证变截面钢筋预制和安装

精度是闸墙施工的难点。

3) 船闸闸门采用人字门, 针对人字门空间桁架结构特点, 提出桁架与门叶整体制作、分块运输并分节安装工艺, 提升闸门安装功效和质量。

2 总体施工方案

船闸基坑开挖前, 复测原地面高程, 放出开挖边线, 根据既定截渗与支护方案, 采用铣槽机与抓斗配合完成素混凝土地连墙施工, 同步实施闸室底板支护钻孔桩和水泥搅拌桩, 基坑放坡开挖至一定深度后, 在马道位置采用打井设备进行降水井施工, 见图 1。

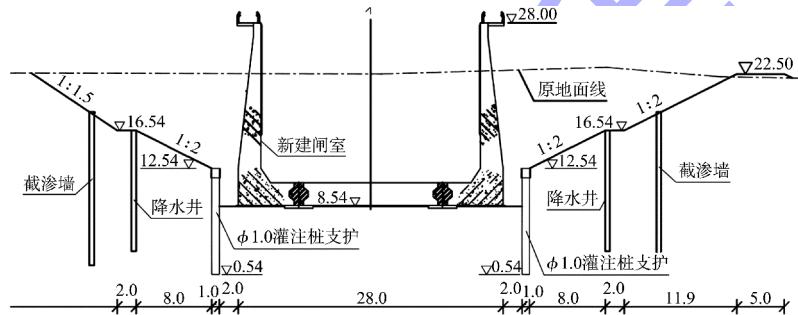


图 1 船闸基坑截渗与支护断面布置 (单位: m)

降水井施工完成后, 启用降水系统, 继续放坡开挖基坑, 过程中做好坡面防护, 分层分阶段开挖至闸室底板后进行基槽验收; 浇筑垫层混凝土, 安装底板钢筋, 立模浇筑底板混凝土, 同步进行上下闸首底板开挖和底板混凝土施工, 底板施工 3~5 段后, 进行闸室倒角施工; 根据其进度, 及时展开闸室墙钢筋预制安装施工, 并进行移动龙门架的安装, 上下闸首分节施工廊道和边墩, 龙门架与大块模板拼装完成后进行验收; 合格后对称、跳仓浇筑闸室墙混凝土, 闸室墙与闸首边墩完成后, 进行墙后土方回填; 具备闸门安装条件后, 闸门进场并分节安装, 完成后对闸室、边墩及闸门等进行无水验收; 满足要求后, 通水进行调试, 最终完成船闸通水验收^[3]。

3 施工关键技术

3.1 深井降水与边坡防护

东淝河船闸除设计阶段已考虑截渗墙和支护

桩, 在基坑开挖前, 需重点解决降水和坡面防护, 工程主要含水层为粉土和粉砂, 次要含水层为下部强、中风化砂岩。降水除受地层特殊性影响外, 还受围护止水效果影响, 降水设计难以一次完成, 需要通过多次试验确定^[4]。

本工程降水目的一是降低下部砂层及基岩裂隙水水位, 保证边坡及开挖安全; 二是疏干开挖底板附近砂层及裂隙间的地下水, 方便基坑内干作业施工。

3.1.1 深井降水和监测

采用 Visual ModFlow 软件建立地下水三维渗流数值模型, 初步确定布井方案。根据其结果, 水位降至开挖底面附近高程 8 m 左右时, 基坑总涌水量约 5 120 m³/d, 主要考虑为截渗墙渗漏及下部基岩补给。由于降水井后期抽水能力有限, 需适当加密布置, 建议边坡按 30 m 间距布置降水井, 坑内暂按有效影响面积 500 m² 布置疏干井。

结合水文地质及现场环境条件进行降水井抽

水试验, 主要目的一是对比降水井进入强、中风化岩层的降水能力差异, 确定施工深度; 二是对比不同管径降水井出水量差异, 确定成井管径及施工工艺; 三是根据抽水井与观测井水位变化情况推断水文地质参数, 为降水方案提供参考^[5]。

试验选用 4 口降水井, 分别采用直径 360、500 mm 的无砂管, 同种管径分别布置 2 种深度的降水井; 另外布置 1 口观测井(采用小管径浅井)。

降水井采用 30 m 等边菱形布置, 观测井位于试验井中间。

试验采用稳定流方法进行, 同时结合非稳定流法计算要求进行观测。试验过程: 第 1 组 SY₁、SY₄ 抽水; 第 2 组 SY₃、SY₄ 抽水, 观测井 GC₁ 观测持续时间 12 h。绘制分析同一管径不同井深、同一井深不同管径的降深-时间(*s-t*)曲线与流量-时间(*Q-t*)曲线, 见图 2、3。SY₂ 用于比较抽水流量与观测井降深。

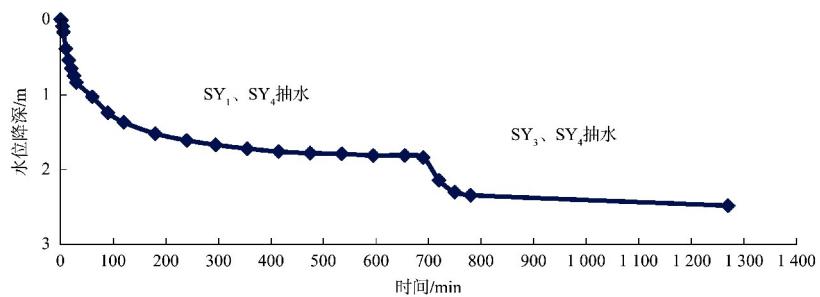


图 2 观测井 GC₁ 水位降深-时间曲线

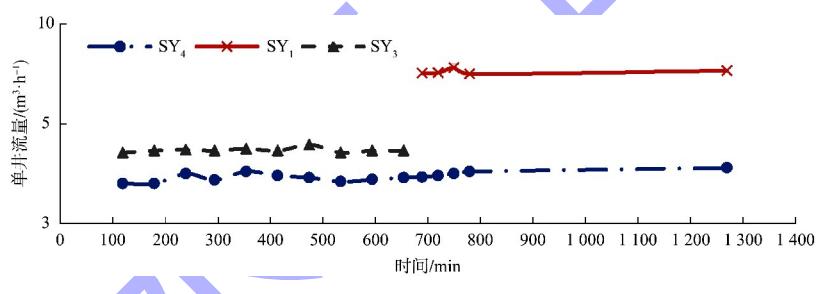


图 3 单井流量-时间曲线

试验结论: 1) 场地地下水的初始水位在 5.54~7.67 m, 受场地施工影响该值偏小, 可按勘察高值计算。2) 现场实测单井最大涌水量约 168 m³/d, 根据前期计算, 基坑总涌水量约 5 120 m³/d, 至少需要布置 31 口井。考虑后期降水井出水能力减小, 同时适当考虑部分井淤堵, 增加至 38 口井。基坑两侧长各 580 m, 则按 30 m 间距布置降水井。3) 试验中大孔径深井 SY₃ 抽水时水量最大, 观测井水位降深也最大, 可见大孔径与井深是降水井出水能力的主要影响因素。故采用 500 mm 孔径及进入强风化岩层的降水井结构。

降水前做好周围主要结构物沉降与位移的观

测点布设, 降水期间严格按频率做好围堰堤顶、边坡及节制闸、老船闸等构造物的观测, 确保基坑降水不产生其他影响^[6-7]。深井降水施工运营期间, 在观测井内采用新型抗干扰型深井测量仪进行地下水位监测, 实时上传地下水位信息至云平台并通过手机查看, 智能化自动开启或关闭抽水泵, 避免人为因素导致长时间开启烧坏水泵或抽水不及时导致基坑渗水, 保证基坑地下水位稳定且处于干燥无水环境。

3.1.2 边坡防护

常规坡面防护采用喷射混凝土或植物纤维毯护坡, 两种方法优缺点对比见表 1。

表1 两种防护方法优缺点对比

防护方法	施工难易程度	质量	环保	成本
喷射混凝土	需配套设置锚杆及钢筋网片, 工艺复杂, 功效慢	薄层混凝土易开裂脱落、粉土砂土透水性较大, 易水土流失形成背后脱空, 冬季施工时掺入速凝剂无法快速初凝形成整体护坡面	施工浪费多, 易造成其他土体污染, 室外拌和容易产生扬尘, 污染空气	高
植物纤维毯	质量轻, 人工铺设, 无需机械, 功效快, 铺设完成即可发挥护坡、固土作用。后期基坑坡面清表后进行回填	生态防护和美化兼顾, 既能防水固坡、降噪减尘, 又能四季常青, 不会对坡面形成叠加荷载, 下雨既能防冲刷又能促进植物生长	工厂化生产, 运输过程中不带土, 施工不会产生弃土渣及废气, 时间长易降解	低

综合考虑后期基坑回填及施工进度等问题, 基坑坡面防护采用植物纤维毯草帘护坡。植物纤维毯由5层结构组成, 从下至上分别为定型网、天然植物纤维(秸秆与椰棕纤维)、草灌混合种子及辅料、专用纸、定型网, 草种选用紫穗槐、天蓝苜蓿、金沸草组合等。

具体的工艺为边坡刷坡、平整坡面→坡面人工播撒草种→铺设、固定纤维毯→喷播草种混合液→铺垫覆盖物→养护。

3.2 船闸闸室墙施工

3.2.1 闸室钢筋预制安装

闸室墙标准段长18 m, 墙身高15.11 m; 钢筋为两层钢筋网, 竖向主筋为 $\phi 20 @ 200$ mm, 加强筋为 $\phi 22 @ 200$ mm, 与竖向主筋间隔布置, 水平主筋为 $\phi 12 @ 150$ mm, 两者形成100 mm(水平)×150 mm(竖向)的钢筋网片。闸室墙施工采用一次成型工艺, 钢筋需一次安装完成。

传统的闸室墙钢筋采用搭设双排脚手架作业平台或设置钢筋内架作为定位操作平台的方法进行逐根安装, 再绑扎完成, 自身抗倾覆能力差, 现场作业安全风险高; 钢筋接高的安装精度控制难度大, 钢筋间距及钢筋保护层厚度合格率较低; 每段闸室墙钢筋安装完成后需拆卸脚手架, 在下一段重新搭设, 施工功效较低。

为提高闸室墙钢筋的安装精度和施工功效, 使闸室钢筋施工更安全, 闸室墙钢筋采用节段预制安装工艺, 即根据闸室墙尺寸、钢筋大小及间距, 设计一种既能定位竖向钢筋也可定位水平钢筋的钢筋预制胎架。钢筋预制时, 将下层和上层钢筋先后分别安放至对应的定位槽口中, 最后在上下层钢筋之间焊接型钢($\angle 75 \times 8$)进行连接, 完成整段闸室墙钢筋预制, 吊装前拆卸可调撑杆顶部的销轴及上层横梁即可, 钢筋预制胎架见图4。

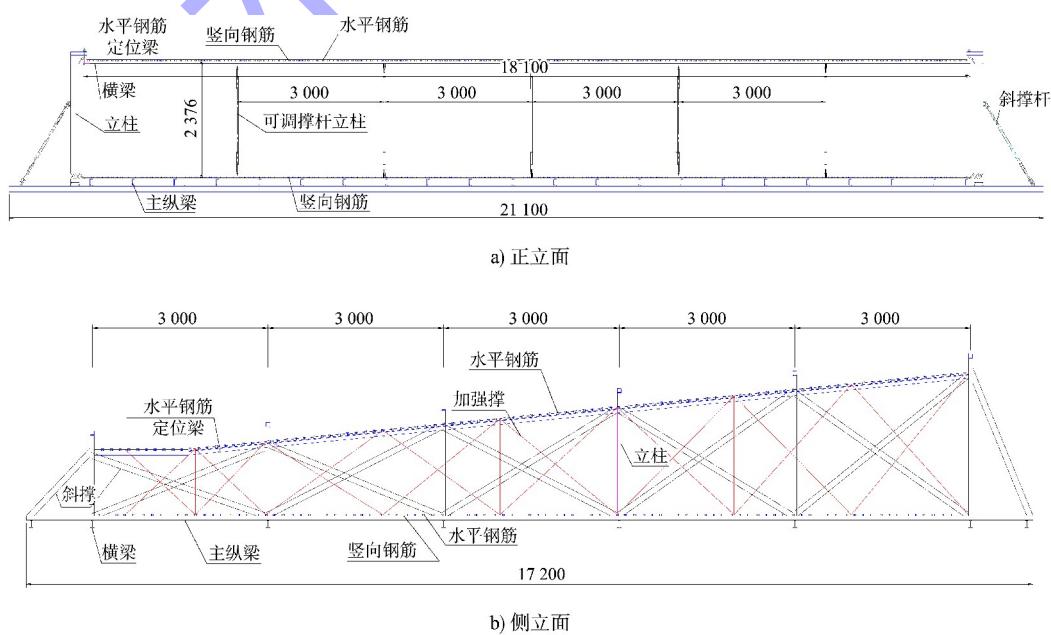


图4 闸室墙钢筋同槽整节段预制钢胎架布置(单位: mm)

预制过程中,通过定位板使闸室墙钢筋精确定位,功效提高。现场对接安装时,直接采用汽车吊或履带吊整体起吊,然后由水平转垂直,操作人员在闸室墙倒角位置将主筋接头位置对接(套筒连接)即可,功效高,人员不需高空作业,钢筋安装工作在交接面即可完成。闸室墙钢筋安装完成后,单侧闸室墙在迎土侧设置3根缆风绳。

3.2.2 闸室墙施工

闸室墙采用电动自行式移动龙门架实施,配置4台行走电机。主梁为三主梁贝雷架结构,采用单排3列箱型结构钢支腿,主梁上设置单梁桁车和手拉葫芦配合模板安拆。

闸室墙身均采用定型大块整体钢模,模板对拉杆采用 $\phi 25$ 精轧螺纹钢。

闸室墙混凝土抗渗等级为P4,采用一次浇筑成型工艺,混凝土初凝时间310 min,终凝时间505 min,坍落度(180 ± 20)mm。施工时两台汽车泵对称分层布料浇筑,分层振捣。

3.3 船闸三角门安装

东淝河船闸为Ⅱ级船闸,双向水头,采用钢制弧形三角闸门,门体结构包括面板、顶底片刚架、空间联系刚架、端柱、浮箱和工作桥等。上闸首门体尺寸为 $R12.225\text{ m}\times 70^\circ \times 15.26\text{ m}$,下闸首门体尺寸为 $R12.225\text{ m}\times 70^\circ \times 14.00\text{ m}$ 。

3.3.1 场内分段与制造要求

闸门与桁架在厂内采用分段制造工艺,上下闸首闸门分上、中上、中下、下4节及上闸首端柱(含顶底枢支座);上下闸首桁架厂内制造分成左上侧、右上侧、左下侧、右下侧各4片,共计16大片;其余杆件为小部件或散件现场拼装。

门叶应在胎架上整体制作,解体前应做好分段标识,各分段门叶上应焊接桁架管,防止运输及吊装变形。闸门桁架系相关管件拼装前应按要求对两端进行封闭并气密检查。

3.3.2 现场安装

闸门分节安装顺序为:承轴台预埋件→底槛预埋件→底枢预埋件→顶枢预埋件→浇筑→底枢装置→顶枢装置→端柱→下节门叶→下部桁架→中节门叶→上节门叶→上部桁架→焊接→闸门中

缝止水座→工作桥→闸门防护板→焊接→防腐→止水及附件安装→联合调试^[8]。

现场安装控制的要点主要是承轴台旋转中心确定、端柱的顶底枢同轴度、两中缝支承止水垂直度、桁架与闸门端柱的焊接质量、浮箱的密闭试验和止水的安装6大部分^[9]。

首先布置总拼装支承台,在门体底止水座板底部分的不同角度和位置设置6个钢支承台,浮箱纵隔板处设2个支承点。根据厂内制作的工艺分段,选择100 t汽车吊(主吊)和25 t汽车吊(辅助)进行由下至上分层安装。吊装闸首左内侧、下左片桁架至左侧设置的支承台上(门库侧),按大样就位,端柱部位与端柱连接,闸门端用型钢45°支撑牢靠,保证垂直度,同方法吊装闸首左外侧。拼装空间杆系(图5),用三维仪或用线锤检查左右下片的垂直度,并检查外形几何尺寸,符合要求后,进行加强定位焊焊接。焊接完成后进行焊缝检测以及液压系统、闸门的无水调试和验收,合格后,进行闸门通水试验、运行并验收。



图5 人字门现场安装

4 结语

东淝河船闸深基坑自2019年7月开挖出第1块闸室底板至2021年2月船闸主体结构完成,船闸底板施工均处于干施工作业环境,未发生涌水、涌砂等突发情况,结果表明,船闸降水方案设计合理可行,采用智能化的监测系统确保了整个降水系统处于实时可控状态,坡面采用植物纤维毯防护保持了坡面稳定。闸室墙钢筋采用胎架整节段预制,提高了质量和功效,降低了高空作业风险。

参考文献:

- [1] 李夫仲, 边锋, 邵永清, 等. 引江济淮工程东淝河船闸施工图设计[R]. 合肥: 安徽省交通勘测设计院有限公司, 2018.
- [2] 周千凯, 周丁. 大源渡二线船闸防渗体系施工质量控制[J]. 水运工程, 2019(3): 136-140.
- [3] 刘峰, 章少兰, 黄珑. 适用于水上施工的船闸闸首结构与施工方法[J]. 水运工程, 2020(3): 169-173.
- [4] 中交第二航务工程局有限公司. 船闸工程施工规范: JTS 218—2014[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2014.

(上接第 172 页)

参考文献:

- [1] 马奕. 全国航道管理和养护经费现状及需求分析[J]. 水运管理, 2013, 35(11): 39-42.
- [2] 石晨, 马奕, 刘垒, 等. 新形势下长江干线航道养护计划管理对策分析[J]. 中国水运, 2021(9): 45-46.
- [3] 王耀惠, 张国旭, 叶秦. “十三五”航道筹融资探讨[J]. 交通财会, 2016(4): 8-14, 21.
- [4] 中共中央, 国务院. 国家综合立体交通网规划纲要[A]. 北京: 中共中央, 2021.

(上接第 219 页)

- [8] 陈海彬, 武立伟, 苏幼坡. 钢管灌浆套筒连接受拉性能的试验研究[J]. 世界地震工程, 2016, 32(2): 18-24.
- [9] 刘良林, 肖建庄. 钢筋套筒灌浆连接研究进展[J]. 建筑结构学报, 2023, 44(1): 235-247.
- [10] 张壮南, 李姗姗, 柳旭东, 等. 装配式剪力墙浆锚连接的受力性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2019, 40(2): 189-197.
- [11] 赵培. 约束浆锚钢筋搭接连接试验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
- [12] 姜洪斌, 张海顺, 刘文清, 等. 预制混凝土结构插入式预留孔灌浆钢筋锚固性能[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2011, 43(4): 28-31, 36.

- [5] 束荣. 船闸施工中深井降水施工技术分析[J]. 中国水运(上半月), 2019(11): 93-94.
- [6] 郝文宇, 徐红, 李维. 键为船闸安全监测与施工[J]. 水运工程, 2021(12): 89-93.
- [7] 汪映红, 姜兴良. 船闸扩建工程的施工导流标准和围堰方案[J]. 水运工程, 2019(4): 214-218.
- [8] 耿新林. 船闸闸门吊装工艺的研究与应用[J]. 中国港湾建设, 2022, 42(1): 68-71.
- [9] 吴晓春. 浅析三角门船闸闸门安装调整工艺[J]. 中国水运(学术版), 2007, 7(9): 48-49.

(本文编辑 王传瑜)

- [5] 交通运输部. 水运“十四五”发展规划[A]. 北京: 交通运输部, 2021.
- [6] 长江口航道管理局. 关于长江口航道养护管理和资金投入相关情况的报告[R]. 上海: 长江口航道管理局, 2022.
- [7] 魏东. 《中华人民共和国航道法》解读[J]. 中国海事, 2015(2): 33-36.
- [8] 交通运输部. 《航道养护管理规定》解读[J]. 现代交通技术, 2021, 18(1): 60.

(本文编辑 王璁)

- [13] 李战利. 一种预制装配整体式剪力墙: CN202021990098. 7[P]. 2021-05-28.
- [14] CHEN Y, ZHANG Q, FENG J, et al. Experimental study on shear resistance of precast RC shear walls with novel bundled connections [J]. Journal of earthquake and tsunami, 2019, 13(3/4): 661-672.
- [15] 刘钊, 卓为顶, 冯健. 预制拼装桥墩芯形樺接头构造与施工方法: 201610554362. 4[P]. 2016-12-07.
- [16] 中国建筑科学研究院. 混凝土结构设计规范: GB/50010—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.

(本文编辑 王传瑜)