



双桥枢纽船闸工作闸门选型和设计

罗业辉, 黄承兵, 关炎培

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 针对双桥枢纽船闸存在开通闸需求且需与新江海河船闸联合调度的问题, 在分析国内升卧门式闸门运营情况及本闸开通闸条件的基础上, 工作闸门采用三角闸门和升卧门两种方案, 从平面布置、运营维护、船闸通过能力、工程量及造价等方面进行技术经济比较。结果表明: 升卧门造价低, 但过闸效率低, 适宜于水位差较小, 货运不繁忙, 闸门不需要频繁启闭的船闸; 三角闸门适应性强, 与新江海河船闸通过能力匹配、启闭机运行可靠、运营维护方便, 适宜作为推荐门型, 可为船闸闸门选型及建设方案评估提供参考。

关键词: 开通闸需求; 联合调度; 三角闸门; 升卧式闸门; 过闸效率; 闸门选型

中图分类号: U 641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)04-0143-06

Selection and design of service gate of Shuangqiao hub's ship lock

LUO Yehui, HUANG Chengbing, GUAN Yanpei

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: Regarding the problem that the ship lock of the Shuangqiao hub has the opening lock demand and needs to be jointly dispatched with that of the Xinjianghai River, this study takes the triangular gate and the lift gate as the service gate separately upon the analysis of the operation of domestic lift gates and the opening conditions of the lock. It compares the two schemes from the aspects of the plane layout, operation and maintenance, the navigation capacity of the lock, the quantities, and the costs in terms of technologies and economy. The results show that in the case of the lift gate, the cost is low, but the gate passing efficiency is low; hence, the lift gate is suitable for ship locks with a small water level difference, less heavy freight, and infrequent opening and closing of gates. The triangular gate, in contrast, has strong adaptability and can match the passing capacity of the ship lock of the Xinjianghai River, featuring reliable hoist operation and convenient operation and maintenance. Therefore, it can be generally recommended. The research result can provide a reference for the selection of a ship lock's gate and the evaluation of the construction scheme.

Keywords: opening lock demand; joint dispatching; triangle gate; lift gate; gate passing efficiency; gate selection

1 工程概况

通海港区—通州湾港区疏港航道北连通州湾港区, 南至通海港区, 由新江海河、通吕运河和东灶新河3部分组成, 航道整治长度33.9 km, 按Ⅲ级航道标准建设, 改建双桥枢纽1座, 新建新江海船闸1座, 两闸相距约16 km, 见图1。疏港航道的建设对发挥南通沿海枢纽的引领作用和江海联动优势, 构建区域现代化综合交通运输体系

具有重要的作用。

双桥枢纽由双桥船闸和节制闸两部分组成^[1]: 双桥船闸建设规模为200 m×23 m×4.5 m(闸室长×口门宽×槛上水深), 设计最大船舶吨级为1 000 t, 正、反向最大设计水头分别为2.31 m和-1.13 m; 双桥节制闸等别为Ⅱ等, 共3孔布置, 总净宽16 m, 正向(九吕—通启)流量143 m³/s, 反向(通启—九吕)流量95 m³/s。

收稿日期: 2022-07-06

作者简介: 罗业辉(1975—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事水运工程设计和研究工作。



图 1 双桥枢纽地理位置

2 门型方案

船闸闸门种类繁多, 门型方案的确定不仅跟闸门自身的结构有关, 还跟整个船闸的建设规模、造价成本和维护管理经验等有关^[2]。根据船闸设计规范规定, 对于承受双向水头的双桥船闸工作闸门可选择的门型有三角闸门、横拉闸门、升降式平面闸门等, 横拉闸门适用于静水条件, 启闭无法满足要求, 因此本文仅对升降式平面闸门和三角闸门进行技术方案研究。

2.1 升降式平面闸门

船闸上下闸首各安装一扇升卧式平板闸门, 其主要由门体结构、支承系统、止水系统、吊座及锁定装置组成。门体结构采用实腹式变截面主梁, 闸门门体外形尺寸为 $22.94 \text{ m} \times 7.89 \text{ m} \times 1.8 \text{ m}$ (宽×高×厚), 闸门面板设在迎水面。承受水压侧的主轨道自上而下成直轨、弧轨和斜轨段, 主轨对侧的反轨皆为直轨, 闸门吊点位于门下(靠近下

主梁)面板上游侧。闸门采用双吊点卷扬式启闭机提升, 闸门先直升一段, 然后闸门顶部向下游转动, 至闸门全开时, 闸门呈水平状卧于闸首的上部, 闸门总体布置见图 2。

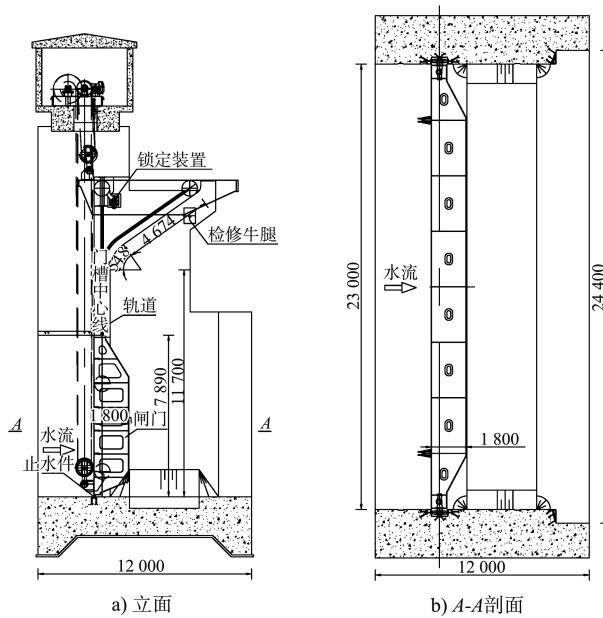


图 2 升降式平面闸门总体布置 (单位: mm)

升卧门适用于水位差较小、闸门宽度有限、船舶通过量小、不需要频繁启闭或有常年开通闸需求的船闸, 其可承受双向水头, 但需保证通航净高。采用升卧门的弊端在于其闸门启闭时间过

长, 导致船闸通过能力显著偏低, 因此需研究提升启门速度。表1整理了国内部分已建船闸采用升卧门或提升门的启闭机设计参数。

表1 部分已建船闸采用升卧门或提升门的启闭机参数

船闸名称	船闸规模/ (m×m×m)	船闸 等级	启闭机型号	闸门 门型	起门力/ (kN·台)	起门 高度/m	起门速度/ (m·min ⁻¹)	电动机 功率/kW	建设 日期/年
丹金船闸 (常州)	180×23×4.0	Ⅲ	QH-2×630-18 弧形闸门启闭机	升卧门	630×2	16.6	1.60	2×22.0	2012
丹金闸枢纽 (常州)	135×16×2.8	V	QP-2×250-14 平面闸门启闭机	升卧门	250×2	14.0	2.52	2×11.0	2002
张福河船闸 (淮安)	167×14×2.5	准Ⅲ	QH-2×400-15 弧形闸门启闭机	升卧门	400×2	15.0	1.38	18.5	2014
新坝船闸 (杭州)	200×12×2.5	Ⅳ	QPQ型 平面闸门启闭机	提升门	150×2	12.0	3.80	2×11.0	2006
双桥套闸 (南通)	140×12(16)×3.1	V	QHC-2×225-10 弧形闸门启闭机	升卧门	225×2	10.0	2.40	22.0	2004

表1来看, 采用升卧门的船闸启闭机选型大多沿用水闸的定型产品。而船闸启闭机的使用频率高于水闸, 启闭的速度也更快, 且船闸为集中控制, 现场无人值守, 可靠性要求更高, 船闸对启闭机各项性能指标的要求高于水闸。通常情况下, 当船闸孔口宽度不大, 闸门质量小, 双吊点同步要求不高时, 一般采用QP(平板门启闭机)系列固定卷扬式启闭机, 启门速度1.00~2.50 m/min, 例如常州的丹金闸枢纽(2.52 m/min); 部分小口门宽度船闸也尝试调整动滑轮倍率、增加平衡重等非标设计提升启门速度, 例如杭州的三堡、新坝船闸及宁波的姚江船闸(3.80 m/min); 当船闸孔口宽度较大, 闸门质量大, 或双边同步精度要求高时, 为防止动滑轮组乱绳和双边不同步引起的闸门卡阻和偏斜运行风险, 一般采用QH(弧门启闭机)系列钢丝绳直拉式启闭机, 启门速度0.80~1.50 m/min, 例如常州的丹金船闸(1.60 m/min)以及淮安的张福河船闸(1.38 m/min); 部分小口门宽度套闸也通过非标设计提升启门速度, 例如南通的双桥套

闸(2.40 m/min)。

综上, 如闸门采用升卧门方案, 闸门启闭机宜采用QH型, 适用于大跨度及双侧吊点同步精度高的要求, 但因闸门自身重力大, 启闭速度提升困难, 宜按规范取值1.50 m/s, 本工程扬程达14 m, 闸门开启时间约11 min。

2.2 三角闸门

上下闸首各安装两扇三角门, 闸门由门体结构、支承系统、止水系统、润滑系统、防护系统等组成。上、下游均采用空间钢架+面板系结构, 上、下闸首工作闸门孔口尺寸分别为23 m×7.89 m(宽×高)和23 m×8.11 m, 闸门中心夹角70°, 从全关至全开闸门旋转68.5°, 全关时中缝止水中心至闸门旋转中心连线与两扇闸门旋转中心连线的夹角20°。网架管件采用圆形管材, 空间节点采用空心球节点。闸门在最低通航水位以下设置浮箱以平衡门体自身重力。在一定水级差条件下, 根据需要稍开门缝充水, 缩短闸室充水时段。闸门总体布置见图3。

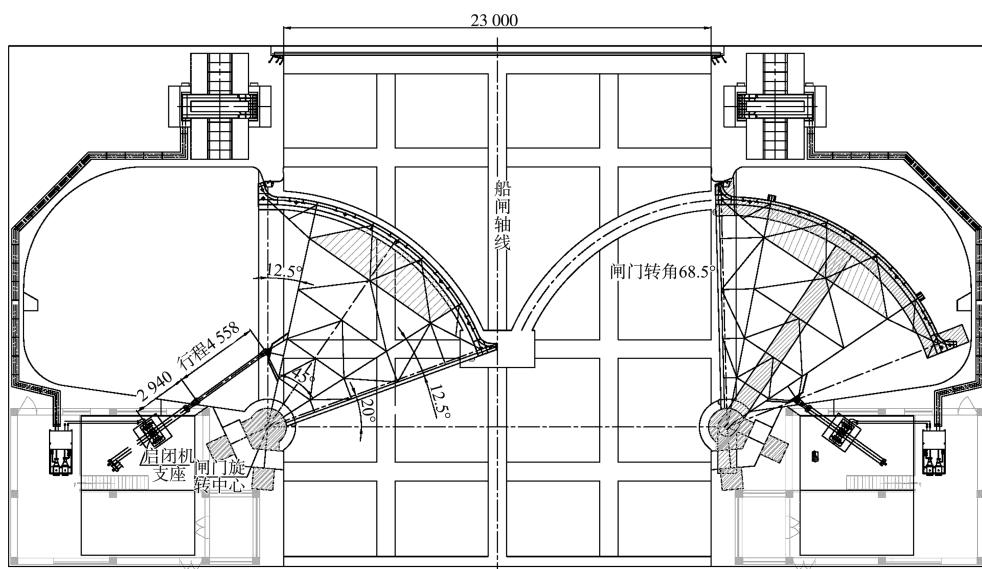


图3 三角闸门总体布置 (单位: mm)

3 门型比选

3.1 平面布置

拟建双桥枢纽位于川姜镇境内,闸址处河面宽度约70 m,两岸房屋密集。因此,尽量利用现有河道集中布置,减少征地拆迁是船闸总平面布置中需重点考虑的因素。三角门方案的闸首需布置门

库,闸首尺度较大,上、下闸首均长28.00 m、宽53.40 m,两闸中心线相距36.82 m,船闸和节制闸管理区平面布置空间较小,见图4。

升卧门方案的闸首尺度小,上下闸首均长12.00 m、宽28.00 m,两闸中心距可缩减为30.32 m,船闸和节制闸管理区平面布置空间相对较大,见图5。

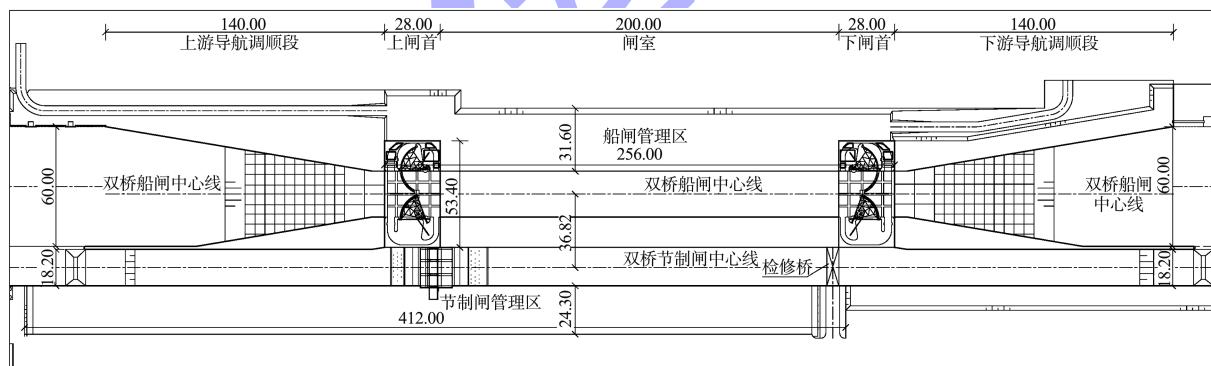


图4 三角闸门方案平面布置 (单位: m)

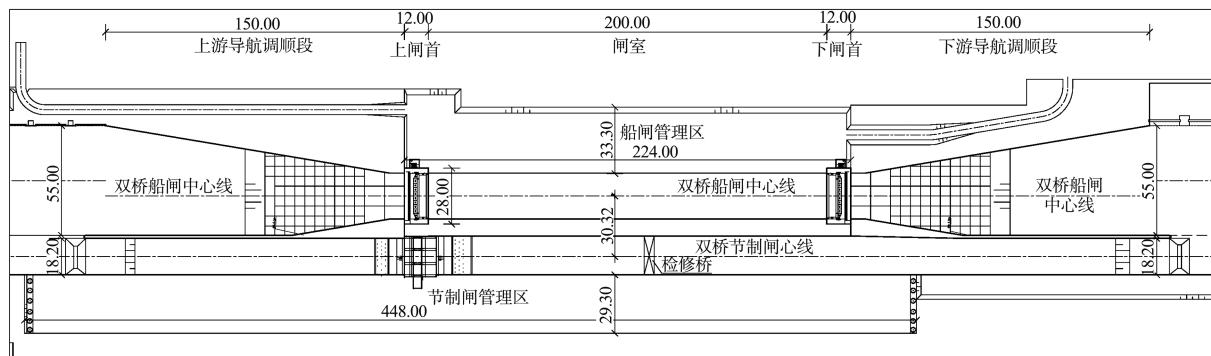


图5 升卧门方案平面布置 (单位: m)

3.2 运营操作及维护

三角闸门方案: 启闭力小, 闸门启闭行程 4.56 m, 启闭时间约 3 min。门体为静定空间网架结构, 支承约束条件较好。安装或检修期, 门体重力由底枢承担, 闸门重力矩由顶、底支铰约束; 运行期, 闸门承受的水压力由网架、支臂传递到

顶、底支铰上; 门叶布置有浮箱, 其产生的浮力矩可部分抵消门叶产生的重力矩, 运行轻便。且三角闸门可在一定水级差下, 利用闸门中、边缝充水以缩短充水时段, 运行效率高^[3]。在 10 a 一个大修周期中基本可实现免维护, 经济可靠, 方便管理。各门型运行操作及后期维护管理比较见表 2。

表 2 各门型运行操作及后期维护管理比较

方案	启闭机械型式	能否动水启闭及开通闸	闸门运行轨迹	闸门启闭力/kN	工作行程/m	闸门启闭时间/min	锁定限位装置	易损部位	受损原因	维护频率/a
三角门方案	液压式	能	圆弧	350	4.56	3	无	防撞体系	船舶撞击	10
升卧门方案	卷扬式	能	曲线	2×630	14.00	11	有	钢丝绳	锈蚀	2~3

升卧门方案: 启闭力大, 闸门启闭行程 14.00 m, 运动缓慢, 以启闭机提升速度 1.50 m/s 计算, 闸门开启时间达 11 min。闸门启闭对双吊点同步要求高, 本闸过闸货运量大, 闸门启闭频繁, 采用卷扬式启闭机, 且闸门支承在滚轮上, 钢丝绳松弛或者轨道磨损使两侧轨道高差超标, 容易造成闸门跑偏或卡阻, 维护周期为 2~3 a。此外, 由于未设输水廊道, 在较高水位差工况时, 船闸只能门底输水, 闸室内水流条件差, 运行时间受限。目前 23 m 升卧门船闸国内实例少, 门体结构长期处于闸首高位, 且自重力较大, 为保证下方通航船舶的安全, 结构及运转件需要考虑较大安全系数^[4]。

3.3 通过能力分析

3.3.1 开通闸时间分析

双桥枢纽闸址以北属于九吕区, 常水位 2.2 m, 以南属于通启区, 常水位 1.8 m, 两区常水位相差 0.4 m。在不同水位季节, 船闸上下游将出现零水位差情况, 该过程中可利用上下游平水时段将上下游闸门同时开启, 船舶直接通行, 可显著提高船闸通过能力^[5-6]。我国已有数例开通闸运行的成功经验, 如江阴船闸、南通船闸等, 但大多停留在经验管理的水平上, 容易受人员变动、气候、水文条件等因素影响, 安全性不稳定。吴腾等^[7]分别对南通和焦港等三角门船闸开通闸运行条件进行研究, 提出静止水位差处于-0.35~0.37 m 时

可以进行开通闸运行。结合原双桥套闸调度运行经验, 拟定本工程开通闸运行条件为: 1) 上下游水头差在 0.3 m 以内; 2) 上游九吕片区水位不高于下游通启西片区控制水位。图 6^[8]统计了 1978—2017 年双桥闸上下游水头差≤0.3 m, 且双桥闸以北水位<2.0 m 时发生的天数情况。

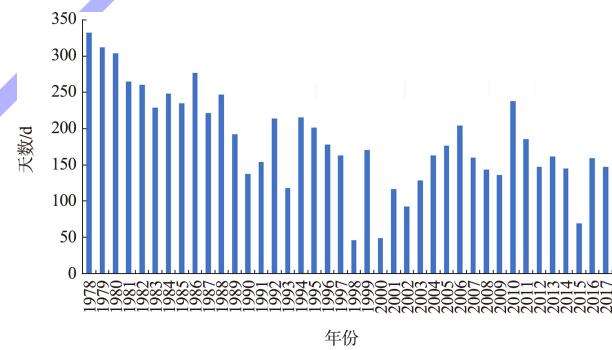


图 6 双桥闸历年闸上水位<2.0 m, 且上下游水位差≤0.3 m 的天数

由图 6 可知, 1978—2017 年平均平水天数为 183 d, 考虑到与下游新江海河船闸联合调度及管理安全等因素, 开通闸时间按每年 6 个月, 每天 10 h 考虑。

3.3.2 船闸通过能力计算

船闸通过能力计算根据 JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》^[9]中的相关公式和规定, 其中闸门启闭时间参考类似规模船闸的设计经验确定, 对比新江海河船闸通过能力计算成果^[10], 两座船闸通过能力计算结果见表 3。

表 3 2045 年新江海河与双桥船闸通过能力预测

船闸	闸门方案	正常运行期单向年过闸能力/万 t	开通闸期单向年过闸货运量/万 t	单向年过闸能力/万 t	开通闸时长	不开通闸时日平均闸次/次
新江海河船闸	-	2 284	395	2 679	2 h/d	40.00
双桥船闸	三角门方案	1 689	870	2 559	6 个月/a, 10 h/d	39.22
	升卧门方案	1 109	870	1 979		25.76

注: 上述正常运行期统计数据中已扣除开通闸时间。

由表 3 可知, 双桥船闸采用三角门方案时, 两闸单向年过闸能力相当, 且日平均闸次基本相等, 而升卧门方案年过闸能力明显偏低。从船闸通过能力匹配、双闸联合调度角度考虑, 双桥船闸采用三角门方案更为合理。需要注意的是, 由于两闸开通闸时长与时段均有差异, 未来营运期还需统筹调度, 控制开通闸期间两闸间船舶流量, 避免航道梗塞。

3.4 工程造价

双桥船闸各门型方案主要结构造价对比见表 4。如表 4 所示, 升卧门方案平面布置虽更加紧凑, 闸首及金属结构造价也较低, 但对于货运繁忙的船闸来说, 运行可靠性不高, 通行效率较低, 且相对于整体工程造价而言, 节省约 1 900 万元, 占工程总投资的 4.0%, 但通过能力降低了 23%, 每万吨通过能力的单位工程投资更高。因此, 从提高船闸通过能力、方便运营维护以及与新江海河船闸联合调度的角度考虑, 推荐采用三角门方案。

表 4 双桥船闸各门型方案主要结构工程量及造价对比

结构	三角门方案		升卧门方案	
	工程量	造价/万元	工程量	造价/万元
上闸首	8 391 m ³	1 094	4 000 m ³	610
下闸首	7 612 m ³	980	3 800 m ³	575
闸阀门	460 t		200 t	
运转件	182 t	1 650	20 t	700
预埋件	71 t		65.4 t	
启闭机		420		320
小计		4 144		2 205

4 结语

1) 大跨度升卧式闸门提升速度慢导致过闸效率低, 适宜于水位差小, 常年有开通闸需求且货运不繁忙, 闸门不需要频繁启闭的船闸。

2) 对三角闸门和升卧式闸门两种门型方案从平面布置、运营操作及维护、船闸通过能力、工

程造价进行技术经济比较, 从过闸通行效率、开通闸的适应性、启闭系统可靠性、运营维护便利性以及与新江海河船闸联合调度等角度考虑, 推荐采用三角门方案。

3) 随着通吕运河水利枢纽的试运行, 设计引长江水入通吕运河流量 100 m³/s, 未来九吕片区的常水位将有所抬高, 闸址处高低水位差将呈变大的趋势, 考虑与新江海河船闸的联合调度, 双桥船闸开通闸的时间及时机在营运期还有待进一步研究。

参考文献:

- 吴澎, 于忠涛, 罗业辉, 等. 通海港区-通州湾港区疏港航道整治工程双桥枢纽工程初步设计报告 [R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2021.
- 邢述炳. 承受双向水头船闸门型设计比选 [J]. 中国水运(下半月), 2017, 17(10): 84-86.
- 陈仁连. 裕溪河复线船闸工作闸门门型选择与设计 [J]. 江淮水利科技, 2010(4): 12-13.
- 李树海, 赵月桂, 陶书东. 大跨度升卧式闸门在船闸上的应用 [J]. 水运工程, 2013(8): 152-155.
- 陆俊. 长三角感潮河段通闸新途径的探讨 [J]. 水道港口, 2006, 27(4): 249-252.
- 瞿剑钧. 利用潮汐开放通闸提高船闸通过能力 [J]. 水运工程, 2001(1): 37-38.
- 吴腾, 朱瑞虎, 丁坚, 等. 三角门船闸开通闸运行条件试验研究 [J]. 水道港口, 2014, 35(3): 247-253.
- 翟高勇, 李燕, 蔡敏, 等. 新江海河航道整治工程取消双桥梯级影响分析报告 [R]. 南京: 江苏省水利工程科技咨询股份有限公司, 中设设计集团股份有限公司, 2019.
- 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, 2001.
- 陆飞, 张跃东, 杨一奇, 等. 通海港区—通州湾港区疏港航道整治工程可行性研究报告 [R]. 南京: 中设设计集团股份有限公司, 2020.

(本文编辑 赵娟)