



京杭运河台儿庄三线船闸通过能力及闸室尺度

袁和平, 刘春泽, 张婧姝

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 船闸通过能力的确定应充分考虑货运量及船舶发展要求, 以避免成为制约内河航运发展的瓶颈。通过对台儿庄船闸过闸货运量增长和船型现状及发展趋势的分析与预测, 基于计算机模拟技术, 获得设计水平年船闸一次过闸平均吨位和平均船舶艘次以及闸室利用率, 分别计算京杭运河拟建台儿庄三线船闸采用不同闸室尺度时的通过能力, 并复核已建船闸的通过能力, 最后通过分析货运量预测值、船型发展及船闸节水等条件, 选择科学、合理的船闸闸室尺度。

关键词: 京杭运河; 船闸; 一次过闸平均吨位; 船闸通过能力; 闸室尺度

中图分类号: U 641.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)10-0169-05

The capacity and chamber dimension of Tai'erzhuang third-lane lock on Beijing-Hangzhou Grand Canal

YUAN He-ping, LIU Chun-ze, ZHANG Jing-shu

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

Abstract: When we determine the lock capacity, the transportation demand and the vessel development need to be taken into consideration to avoid ship lock becoming a bottleneck of the development of waterway transportation. After analyzing and predicting the increase of the throughput of Tai'erzhuang lock, the current status and the tendency of vessel dimensions, three main indicators of a lock of the design target year are acquired by computer simulation method, which are the average total tonnages of passing vessels per lockage, average number of passing vessels per lockage and occupancy rate of chamber. Those indicators can be used for calculating the capacities of the planned Tai'erzhuang third-lane lock under different chamber dimensions, and checking the capacity of the running lock at Tai'erzhuang. In the end, the reasonable or suitable chamber dimensions from different options are chosen according to the simulation results and considering conditions such as predicted throughput of lock, vessel development and water-saving when lock operating.

Keywords: Beijing-Hangzhou Grand Canal; ship lock; average total tonnages of passing vessels per lockage; lock capacity; chamber dimension

船闸通过能力一定程度上影响着航道的整体通过能力。船闸作为永久性建筑物, 一旦建成难以改建或扩建, 其设计应充分考虑货运量及船舶发展要求, 才能避免成为制约内河航运发展的瓶颈。

随着国家高等级航道网建设的不断完善和区域间经济交流的快速发展, 京杭运河山东段货运

量逐年增加, 其中台儿庄梯级 2013 年过闸货物下行量达 4 840 万 t, 已经超过现有双线船闸设计单向通过能力, 根据运量预测, 2040 年台儿庄梯级断面下行货运量将达到 8 500 万 t, 需要建设三线船闸以满足腹地经济发展的需求。作为国家内河重要高等级航道上的新建通航建筑物, 其通过能力的论证和闸室尺度的选择尤为重要。

收稿日期: 2016-06-16

作者简介: 袁和平 (1980—), 男, 硕士, 高级工程师, 注册土木工程师 (港航), 从事港口航道工程设计研究工作。

1 过闸船型的现状分析与预测

随着京杭运河航道条件的逐步完善及规模经济的内在驱动,近年来京杭运河山东段船舶大型化发展迅速,尤其是千吨级以上船舶增速明显,船舶平均载质量已由2000年的133 t/艘增长至2014年的902 t/艘,1 000 t载质量以上船舶占比约25%,最大单船已接近3 000 t。台儿庄一、二线船闸现状过闸船型艘次比例见表1。

表1 船闸现状过闸船型艘次比

吨级	艘次比/%
300吨级及以下(100~400)	0.8
500吨级(401~750)	45.8
1 000吨级(751~1 250)	36.2
1 500吨级(1 251~1 750)	11.7
2 000吨级(1 751~2 500)	5.4
2 000吨级及以上(>2 500)	0.0

注:2014年数据,过闸船舶平均载质量为902 t。

未来,随着京杭运河济宁至徐州段航道III级升II级工程等一系列航道升级改造工程的实施,船舶将加速大型化,船舶的大型化发展对船闸的尺度规模提出了新的要求。

根据船型现状及发展趋势,结合京杭运河标准船型尺度,预测设计水平年过闸船型艘次比例及尺度见表2。

表2 设计水平年过闸船型艘次比例及尺度

吨级/t	2040年艘次比/%	总长/m	型宽/m
300吨级及以下(100~400)	0.19		
500吨级(401~750)	10.53	42~45	8.8
500吨级集装箱(401~750)	0.42	45~49	10
1 000吨级(751~1 250)	35.69	47~58	11
1 000吨级集装箱(751~1 250)	1.43	60~63和65~68	13和13.8
1 500吨级(1 251~1 750)	12.99	57~63	13
2 000吨级(1 751~2 500)	23.20	63~68	13.8
2 000吨级及以上(>2500)	8.35		
1拖8×1 000	1.40	223.7~251.7	22
1顶2×1 000	3.48	119.4~133.4	11
1顶2×2 000	2.32	152.7~174.5	15.8

注:平均载质量为1 450 t。与1拖8×1 000 t、1顶2×1 000 t、1顶2×2 000 t相应的比例以船队为单位计算。由于闸室尺寸的限制,在进入闸室时,1拖8×1 000 t船队假设需解编为2列1拖4×1 000 t船队并排进入闸室。

2 船闸通过能力计算

2.1 船闸尺度的拟定

船闸闸室宽度一般是标准船型宽度的倍数^[1]。考虑未来船型尺度发展以及船舶组合的变化,京杭运河台儿庄三线船闸分别考虑闸室34 m宽的方案以及与原二线船闸尺寸相同、闸室23 m宽的方案,并将280 m×34 m方案和230 m×23 m方案进行比较。其中,当闸室宽度为34 m时,最大可允许2艘2 000吨级货船、或2艘2 000~3 000吨级驳船、以及2艘100 TEU集装箱船并排进入闸室;当闸室尺寸为23 m时,最大可允许2艘型宽为11 m的1 000吨级货船、或2艘1 000吨级驳船并排进入闸室。

2.2 船闸一次过闸平均吨位

基于计算机模拟技术,构建船舶过闸排挡模型,对船舶过闸进行随机排挡,以取代传统的手工排挡。船舶过闸随机排挡模型采用了二维装箱算法。为了形象和直观,二维装箱算法需对闸室和船舶进行抽象:将闸室视为一个大的矩形,将船舶视为小矩形,因此将船舶放入闸室的过程看作是用小矩形填充大矩形的过程。在船舶条件允许的情况下,尽可能用船舶装满闸室。装箱算法见图1^[2]。

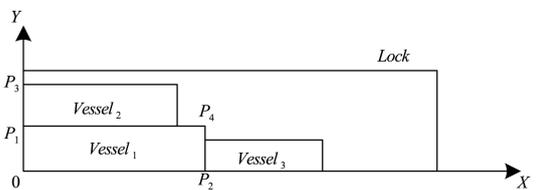


图1 装箱算法

$Vessel_i$ 代表第*i*艘船舶,它的长宽分别是 $Vessel_i.Length$ 和 $Vessel_i.Width$,船舶*i*在闸室中的左下角坐标为 $(Vessel_i.X, Vessel_i.Y)$ 。 $Vessel_j$ 表示闸室中已排船舶 $Vessel_i$ 外的任意一艘船舶。并用 $Lock.Length$ 表示船闸允许排放船队的有效长度,用 $Lock.Width$ 表示船闸允许排放船队的有效宽度。

船舶 $Vessel_i$ 能否放入闸室,需要同时满足下面的条件:

- 1) 小矩形的边界不能超出大矩形的边界。

$$\begin{cases} Vessel_i \cdot X \geq 0 \\ Vessel_i \cdot Y \geq 0 \\ Vessel_i \cdot X + Vessel_i \cdot Length \leq Lock \cdot Length \\ Vessel_i \cdot Y + Vessel_i \cdot Width \leq Lock \cdot Width \end{cases} \quad (1)$$

2) 小矩形之间不互相重叠。

$$\begin{cases} Vessel_i \cdot X + Vessel_j \cdot Length \leq Vessel_j \cdot X \\ \text{或 } Vessel_j \cdot X + Vessel_i \cdot Length \leq Vessel_i \cdot X \\ \text{或 } Vessel_i \cdot Y + Vessel_j \cdot Width \leq Vessel_j \cdot Y \\ \text{或 } Vessel_j \cdot Y + Vessel_i \cdot Width \leq Vessel_i \cdot Y \end{cases} \quad (2)$$

模型在满足输入的船型和比例的前提下, 充分考虑了过闸来船在尺度和载质量等方面的动态性、随机性。并经过大量、反复的模拟试验和统计分析, 获得一闸次过闸平均吨位、一次过闸平均船舶艘次以及闸室利用率。

对拟定的 2 种闸室尺寸方案, 采用预测的设计水平年 2040 年的过闸船型及组合进行试验,

以及对于 230 m×23 m 闸室尺寸方案, 预测的过闸船型组合中仅型宽小于 11.0 m 的船舶通过该船闸的情况进行试验, 共进行 3 组试验。结果见表 3。

表 3 一次过闸平均载质量、闸室平均利用率和一闸次平均船舶数

闸室尺度/ (m×m)	设计水平年	一次过闸 船舶平均 载质量/t	闸室平 均利用 率/%	一闸次 平均船 舶数
280×34	2040 年	11 429	71.50	7.42
	2040 年 (全部船型随机通过)	5 717	64.80	3.83
230×23	2040 年 (仅通过 11.0 m 以下宽度船型)	6 753	88.58	6.18

2.3 船舶一次过闸时间分析

根据 JTJ 305—2001 《船闸总体设计规范》^[3] 对船舶通过不同闸室方案的一次过闸时间进行计算, 并将计算过程列于表 4。

表 4 一次过闸时间计算

闸室尺度/ (m×m)	闸门开启 时间 t_1 /min	进闸航行 距离/m	进闸航速平 均值/(m/s)	进闸时间 (单向) t_2 /min	进闸时间 (双向) t_2' /min	闸室灌泄水 时间 t_3 /min	出闸(单向) 航行距离/m	出闸(双向) 航行距离/m
280×34	3.5	510	0.8	10.6	10.6	10	310	510
230×23	2.5	460	0.8	9.6	9.6	7	270	460
出闸航速平 均值/(m/s)	出闸时间 (单向) t_4 /min	出闸时间 (双向) t_4' /min	进闸或出闸 间隔时间 t_5 /min	单向一次过闸时间/min $T_1 = 4t_1 + t_2 + 2t_3 + t_4 + 2t_5$	双向一次过闸时间/min $T_2 = 4t_1 + 2t_2' + 2t_3 + 2t_4' + 4t_5$	一次过闸时间/min $T = 0.2T_1 + 0.8(T_2/2)$		
1	5.2	8.5	9.6	69.1	110.7	58.1		
1	4.5	7.7	5.7	49.6	81.6	42.6		
			7.8	53.6	89.7	46.6		

其中, 单向或双向进闸航行距离均为船舶自船闸上、下游引航道停靠地至闸室停泊位置的间距; 单向出闸航行距离为船舶、船队的船尾自闸室内停泊位置至闸门外侧边缘的间距; 双向出闸航行距离为船舶自闸室停泊位置至船闸上、下游引航道停靠地的间距。船舶进、出闸速度采用台儿庄船闸船舶进、出闸速度实船观测平均值。

由于该航段船舶通过量大, 船闸在饱和状态下运行, 开闸次数频繁, 目前船闸双向过闸比例占 90% 左右, 考虑到未来台儿庄船闸整体能力将提升, 过闸的不均匀性可能增加, 在计算时该比例取为 80%。

2.4 日平均过闸次数 n

结合已建船闸的实际运行情况, 考虑每天三班制, 扣除交接班等时间, 取船闸日工作小时数 $\tau = 23$ h。

对于 280 m×34 m 闸室尺度方案, $n = \tau \times 60 / T = 23.8$ 次; 对于 230 m×23 m 闸室尺度方案(全部船型随机通过), $n = \tau \times 60 / T = 32.4$ 次。对于 230 m×23 m 闸室尺度方案(仅通过 11.0 m 以下宽度船型), $n = \tau \times 60 / T = 29.6$ 次。

2.5 年通航天数 N

年通航天数为全年日历天数减去停航天数, 停航因素主要包括检修、事故、洪枯水及气象影响等, 扣除上述因素导致的船闸停航天数, 并

结合台儿庄已建船闸现状实际年通航天数情况,船闸年通航总天数按 338 d 计算。

2.6 船舶装载系数 α 和运量不均衡系数 β

α 与货物种类、流向和批量有关,考虑京杭运河货运量下行基本满载甚至超载,且货种以煤炭、矿建材料为主,同时考虑近年来除煤炭、矿

建材外,其它货种的比例在不断上升,取 $\alpha=0.9$ 。

β 的确定则根据资料统计,取 $\beta=1.2$ 。

2.7 通过能力计算

船闸通过能力计算成果见表 5。对于 230 m×23 m 闸室尺度方案,分别计算随机通过设计水平年全部船型和仅通过 11.0 m 以下型宽船型时的通过能力。

表 5 船闸通过能力计算

闸室尺度/ (m×m)	船闸年通航 天数 N/d	船闸日工作 时间 τ/h	船舶装载 系数 α	货物运量 不均衡系数 β	一次过闸 平均吨位 G/t	一次过闸 时间 T/\min	
280×34	338	23	0.9	1.2	11 429	58.1	
230×23	338	23	0.9	1.2	5 717 (全部船 型随机通过)	6 753 (仅通过 11.0 m 以下宽度船型)	42.6 44.6
船闸日平均过闸 次数 $n=\tau \times 60/T$	昼夜内非货运船舶过闸次数 n_0 (基本无客运船舶过闸)	船闸单向年过闸船舶总载质量/万 t $P_1=1/2nNG$		船闸单向年过闸货运量/万 t $P_2=1/2 \times (n-n_0) NG\alpha\beta$			
23.8	0	4 590		3 450			
32.4	29.6	0	3 130 (全部船 型随机通过)	3 380 (仅通过 11.0 m 以下宽度船型)	2 350 (全部船 型随机通过)	2 540 (仅通过小于 11.0m 宽度船型)	

3 通过能力计算结论及分析

若采用 280 m×34 m 闸室尺度,设计水平年船闸年单向通过能力为 3 450 万 t。

若采用 230 m×23 m 闸室尺度,设计水平年随机通过全部船型时,船闸年单向通过能力为 2 350 万 t;仅通过 11.0 m 以下宽度船型时,船闸年单向通过能力为 2 540 万 t。

当采用 230 m×23 m 闸室尺度,由于远期船舶大型化发展趋势明显,尤其 2040 年大于 11.0 m 船宽的大吨位船舶比例显著增大时,采用此种闸室尺度船闸的闸室利用率较低,仅为 64.80%,设计水平年船闸单向通过能力仅为 2 350 万 t。

若采用 280 m×34 m 闸室尺度,并将大于 11.0 m 船宽的船舶调度至 280 m×34 m 闸室的船闸通过,现有 230 m×23 m 闸室尺度的船闸仅通过小于 11.0 m 船宽的船舶,现有船闸的闸室利用率可提高至 88.58%,通过能力可提高至 2 540 万 t。

4 船闸尺度选择

1) 拟建台儿庄三线船闸工程 2040 年预测单向过闸货运量已达 8 500 万 t,考虑已建双线船闸 5100 万 t 的单向通过能力,三线船闸需分担 3 400 万 t 的单向过闸货运量。若采用 280 m×34 m

的闸室尺度,年单向通过能力为 3 450 万 t,能够满足预测设计水平年过闸货运量要求;若三线船闸仍采用 230 m×23 m 的闸室尺度,船闸通过能力将不能满足货运量的发展。

2) 预测到 2040 年台儿庄三线船闸需完成 3 400 万 t 的年单向过闸货运量,采用 280 m×34 m 的闸室尺度,每年需完成 7 933 个闸次过闸;若采用 230 m×23 m 的闸室尺度,每年需完成 15 860 个闸次过闸。船闸平均运行水头约为 4 m,同样完成 3 400 万 t 过闸货运量,采用 230 m×23 m 闸室尺度时船闸年耗水量会增加 3 932 万 m^3 ,耗水量增加 13%。

3) 船闸建设规模应考虑长远发展需要,台儿庄船闸位于京杭运河山东段下游的咽喉位置,受各种外界条件的限制,闸址处已不具备空间再布置新的船闸,为航运发展做长远考虑,选择通过能力较大的闸室尺度是适宜的。

4) 船闸规模要结合船舶大型化的发展趋势,现有 230 m×23 m 的闸室只能纵向停靠 3 艘 15.8 m 宽的船舶,船舶过闸时闸室利用率较低,对水资源造成了一定的浪费。若采用 280 m×34 m 的闸室尺度,通过调度手段对不同尺度过闸船舶进行灵活分类和组合,将过闸船舶合理分配至现有和新

建的两种不同尺度闸室, 提高闸室利用率和通过能力, 减小船舶过闸时对水资源消耗。

综上所述, 台儿庄三线船闸闸室有效平面尺度拟定为 280 m×34 m(长×宽)。

5 结语

船型尺度的变化是导致船闸通过能力发生变化的重要因素, 预测合理的设计水平年船型尺度对准确计算船闸通过能力和合理确定船闸建设规模至关重要。

确定船闸建设规模时不仅要考虑货运量预测值、船型发展等因素, 还需要结合远期新建船闸的空间布置和建设代价等条件, 在水资源缺乏的

地区, 还需要考虑船闸节水等条件, 科学、合理地选择船闸闸室尺度。

同一梯级枢纽建设双线或多线船闸, 当采用不同的闸室尺度时, 应考虑通过必要的联合调度手段, 合理组合过闸船型, 能一定程度提高双线或多线船闸的整体通过能力, 使航运效益最大化发挥。

参考文献:

- [1] GB 50139—2014 内河通航标准[S].
- [2] 商剑平, 吴澎, 唐颖. 基于计算机仿真的船闸联合调度方案研究[J]. 水运工程, 2011(9): 199-204.
- [3] JTJ 305—2001 船闸总体设计规范[S].

(本文编辑 武亚庆)

(上接第 156 页)

8 结论

1) 确定一个高效合理的疏浚策略和方法对于提高疏浚生产能力、确定施工设备和工期、降低工程费用至关重要。

2) 对于疏浚量大、抛泥运距大的疏浚工程, 疏浚设备应优先选用自航耙吸式疏浚船。

3) 制定疏浚策略应关注相关的环评要求。

4) 疏浚费用可从燃油费、人员费、维护维修费、管理费、不可预见费、承包商利润、调遣费等几大方面来估算。

参考文献:

- [1] Han W, Arjen L, Roderik H, et al. Simandou iron ore project channel siltation study [R]. Netherlands: Deltares, 2015.
- [2] 曹鏊. 航道疏浚[M]. 北京: 人民交通出版社, 1985: 97-114.
- [3] Chris C, Christina M, Li Xin-guo, et al. Dredging and dredge disposal management plan [R]. Beijing: China Harbor, 2016.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第 168 页)

3) 建议对于资料不全的涉外工程, 初步测算单向航道宽度可取 4~6 倍船宽; 初步测算双向航道宽度可取 9~11 倍船宽。

4) 针对国外规范的使用, 建议在航道设计时首先要遵循安全原则, 因为各国规范均是符合本国国情、经过大量实验研究得出的合理准则; 其次要符合当地的习惯; 若可以和业主协商, 建议通过具体工况选择国际通用且对设计方有利的规范。

参考文献:

- [1] JTS 165—2013 海港总体设计规范[S].
- [2] 吴澎. 深水航道设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [3] PIANC. Harbour approach channels design guidelines[M]. Belgium: PIANC, 2014.
- [4] ROM. Maritime Works Recommendations. Puertos del Estado, Madrid, Spain[S].
- [5] Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan (2007)[S].

(本文编辑 武亚庆)