

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2017.05.011

开通闸条件下船闸安全运行试验

朱瑞虎^{1,2}, 吴 腾^{1,2}, 丁 坚^{1,2}

(1. 河海大学海岸灾害及防护教育部重点实验室, 江苏 南京 210098;
2. 河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 采用物理模型试验对船闸开通闸的安全运行条件进行研究, 给出不同上下游潮位差条件下闸室及引航道区域的水流流态、流速和启闭机受力规律, 并根据试验结果建立不同潮位差与最大纵向流速的关系式, 提出开通闸安全运行条件的确定方法。该方法以上下游潮位差为控制条件, 以流态、最大横向流速、最大纵向流速、最大启闭机受力作为船闸开通闸安全运行的判别指标, 综合确定开通闸安全运行的潮位差条件; 焦港船闸的实例应用表明, 其开通闸运行安全条件为上下游潮位差处于-0.37~0.39 m 之间。

关键词: 船闸; 开通闸; 物理模型试验; 流态; 闸门启闭力; 流速; 焦港船闸

中图分类号: U641.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2017)05-0445-06

Experimental study on the safe operation of ship lock running as an open channel

ZHU Ruihu^{1,2}, WU Teng^{1,2}, DING Jian^{1,2}

(1. Key Laboratory of Coastal Disaster and Defence, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. College of Harbour, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In this paper, physical modelling tests are performed to study the safe operation of the ship lock running as an open channel, in which the flow regime, flow velocity and hoist force at different tide levels of the upstream and downstream are modelled for the lock chamber and approach channel region. Based on the test results, the relationship between tide level difference and the maximum longitudinal velocity is established. Moreover, a method is proposed to determine the safe operation conditions of the open ship lock, in which the tide level difference between the upstream and downstream is taken as the control condition, and the flow regime, the maximum transverse flow velocity, the maximum longitudinal flow velocity and the maximum hoist force are taken as judging indexes. The tide level difference is thus determined for the safe operation of the ship lock by combining all these judging indexes. The case study for the Jiaogang ship lock shows that, a tide level difference of -0.37 m to 0.39 m between upstream and downstream is requested to ensure its safe operation.

Key words: ship lock; ship lock running as an open channel; physical model test; flow regime; hoist force of the lock gate; flow velocity; Jiaogang ship lock

船闸是抬高潮位、改善航道通航条件的重要工程,其运行原理是通过控制上下游闸门的开关时间,改变闸室的潮位,使闸室潮位与上游或下游相同,进而船舶能通过闸室进入上游或下游。通常船闸在运行过程中,上下游闸门仅开启一座。在此状态下船闸上下游水体不连通,水体不会直接流向下游,闸室和引航道的流速也较小。在船闸的常规运行过程中,闸室的灌水、泄水、闸门的开启、关闭均需要较长时间,导致船舶通过船闸的总时间较长,降低了船闸的效率。对于感潮河段,河道潮位受涨落潮影响,具有周期性变化规律,感潮河段的船闸上下游潮位可能呈现相平的情况。由船闸的运行原理可知,当这种状态持续的时间较长时,可以同时开启上下游闸门,使船舶直接从上游运行到下游,或者从下游运行到上游^[1-3],这种上下游闸门全开状

态称之为开通闸。船闸开通闸时,船舶可以直接通航,极大降低了船舶的过闸时间,提高了船舶的过闸效率。但开通闸也会存在一定的风险,如:当下游潮位变化较为迅速时,开通闸过程中下游潮位下降较多,使闸室和引航道纵向流速和回流过大,导致船舶事故发生^[4];当上下游潮位差较大时,闸门也有可能存在难以关闭的危险。许多学者对开通闸安全运行条件进行了研究^[5-6],给出了开通闸安全运行的条件,但并未系统给出开通闸安全运行条件的确定方法,也未涉及横向流速。笔者以焦港船闸为原型对开通闸过程中的安全条件进行定量分析,提出开通闸安全运行条件的确定方法,并以焦港船闸为例研究三角门船闸开通闸安全运行的临界条件。

1 模型建立与验证

1.1 工程概况

焦港船闸位于南通市境内,船闸节制闸以下航道属感潮河段。受长江潮汐影响,潮位具有明显的潮位特征,潮型为不规则半日潮,根据闸下水文站 1950—2006 年潮位资料统计,年最高潮位 4.3 m(1965 年 7 月 30 日),年最低潮位-0.78 m(1963 年 1 月 20 日)^[7]。

1.2 模型设计

为保证上下游不同潮位差条件下船闸闸室和引航道水流流态相似,采用正态物理模型进行模拟。根据物理模型试验的试验场地条件、最小水深以及水流雷诺数约束条件,综合选取水平比尺为 25^[8-9]。根据模型相似律,可以得到其他的比尺条件。垂向比尺 $\lambda_H=25$,流速比尺 $\lambda_u=5$,糙率比尺 $\lambda=1.71$,流量比尺 $\lambda_Q=3\,125$,时间比尺 $\lambda_t=5$,受力比尺 $\lambda_F=15\,625$ 。

1.3 模型范围与测点布置

试验模型范围为上引航道、上闸首、闸室、下闸首和下引航道,模型长 30 m。试验布置 2 个闸门启闭机力测试点,1 号和 2 号测点分别位于下闸首左、右闸门启闭机推拉杆上,采用应变式力学传感器连接动态采集仪进行测试。图 1 为试验流速测点布置,试验布置 2 个测流点、3 个测流断面:1 号测点位于闸室中,2 号测点位于下游喇叭口附近,1~3 号测流断面位于下引航道,每个测流断面布置 5 个测点,各点流速采用旋桨式流速仪测定^[10-12];在极低流速状态下,在水面放置流标,分别记录流标运行的距离与时间,通过计算得到流速。上下游潮位采用尾门控制,自动跟踪上下游潮位,沿程布置自动潮位测针。试验过程中上闸门始终保持开启,进行下闸门的启闭试验,模拟下闸门开启过程和关闭过程中启闭机的受力、闸室和引航道的流速和流态。

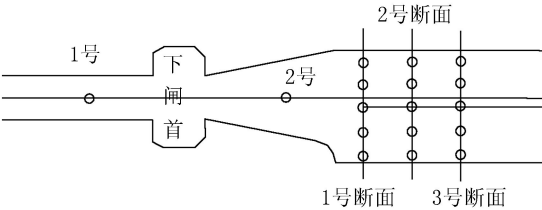


图 1 流速测点分布
Fig. 1 Measuring points distribution of flow velocity

1.4 模型验证

为了保证模型流速与原形相似,开展开、关闸门时的水流验证试验。根据实测资料验证不同条件下闸室的 1 号测点和下闸首喇叭口处 2 号测点的流速。

1.4.1 开闸门时流速验证

验证条件:闸室潮位 2.4 m,下游潮位 2.7 m,逐渐开启下游闸门,测量开闸门过程 1 号测点和 2 号测点流速随时间的变化,验证结果如图 2 所示。由图 2 可知,初始阶段开闸门时,由于闸门开度较小,进入到闸室内

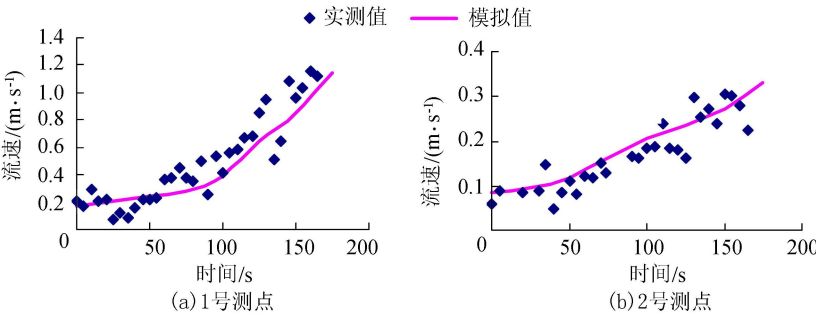


图 2 开闸门时流速验证
Fig. 2 Verification of flow velocity at the time of opening ship lock

的流量较小,故上下游的流速均较小;随着闸门开度的逐渐增大,通过闸门的流量也逐渐增大,故 1 号测点和 2 号测点的流速逐渐增大,在流速-时间曲线上表现为逐渐增大的趋势。图 2 中的模拟值与实测值较为接近,说明该模型能模拟闸门开启时的水流变化规律。

1.4.2 关闸门时流速验证

闸室潮位 2.48 m,下游潮位 2.59 m,关闭下游闸门,测量定点流速,验证结果如图 3 所示。由于下游潮位高,水流由下游流向闸室。初始状态为闸门全开,在该水头差下流量最大,故测点的流速达到最大;关门时,相当于减小了进口口门宽度,流速减小,故流量也随之减小,到闸门关闭时流速已趋近于零,模拟值与实测值较为接近,能满足模拟精度。

1.4.3 启闭机受力验证

图 4 为开闸门和关闸门条件下启闭机受力的验证,可看出启闭机受力实测值和模拟值较为接近,因此本文建立的物理模型能满足启闭机的受力相似^[13-16]。

2 开通闸安全运行试验

2.1 试验条件

为研究开通闸的水流条件,上游分别选定高(3.71 m)、中(1.64 m)、低(0.96 m)3 组潮位,下游选取典型的洪水年潮位过程作为试验条件。根据文献[7]的资料,1999 年为典型的洪水年,该年中最高潮位在洪季 7 月 3 日(洪水年洪水期大潮),为 3.59 m;最低潮位在中水期 4 月 6 日(洪水年洪水期中潮),为-0.88 m。将上述两天的潮位过程作为下游的控制条件。

2.2 引航道流态与最大横向流速

流态是判别航道通航条件的重要指标。为分析下游涨落潮过程对开通闸的影响,开展不同条件下的流态试验研究,表 1 为典型条件下闸室和引航道流态。由表 1 可以看出,不同潮位条件下开闸门、关闸门时流态基本相同,开门过程和关门过程对流态影响不大。相对而言,上下游的潮位差对闸室和引航道的流态影响较大(上下游潮位差用 Δz 表示,为上游潮位减去下游潮位)。当上游潮位小于下游潮位时, Δz 为负值,水流由下引航道流向闸室,此时引航道和闸室内的流态均较为稳定,无回流产生,利于船舶通航。当上游潮位大于下游潮位时, Δz 为正值,水流由闸室流向下引航道,在喇叭口附近均会产生回流,不利于船舶通航,仅在 Δz 小于 0.4 m 时流态较为平顺。

2.3 闸室和引航道最大流速

- a. 上游高潮位时闸室和引航道最大流速。上游潮位 3.71 m 时,各测点中 1 号测点开关门时流速最大。 $\Delta z=1$ m 时,1 号测点开门时最大流速为 2.12 m/s,关门时最大流速为 2.37 m/s; $\Delta z=-1$ m 时,1 号测点关门时最大流速为 2.44 m/s,其他测点流速均小于 2 m/s。
- b. 上游中潮位时闸室和引航道最大流速。上游潮位 1.64 m 时,1~3 号测流断面流速呈逐渐减小趋势,其中 1 号测点流速最大。洪水年洪水期大潮涨潮时, Δz 为 0.8 m、-0.6 m、-1.2 m 时 1 号测点流速大于 2 m/s;洪水期大潮落潮时,潮差-0.6 m、-1.2 m 时 1 号测点流速大于 2 m/s;洪水年中水大潮涨潮时, $\Delta z=1$ m 时 1 号测点开门时流速为 2.14 m/s,超过 2 m/s,不利于船舶的运行。

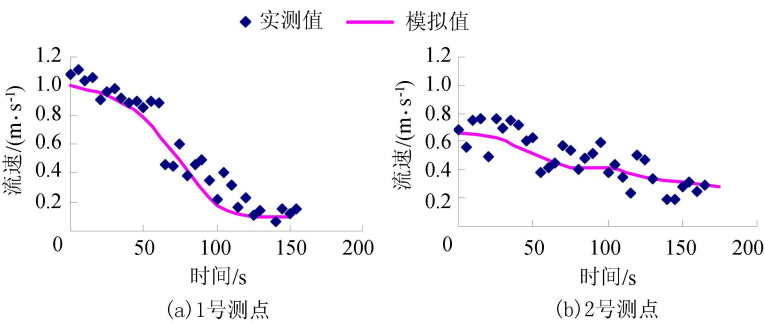


图 3 关闸门时流速验证
Fig.3 Verification of flow velocity at the time of closing ship lock

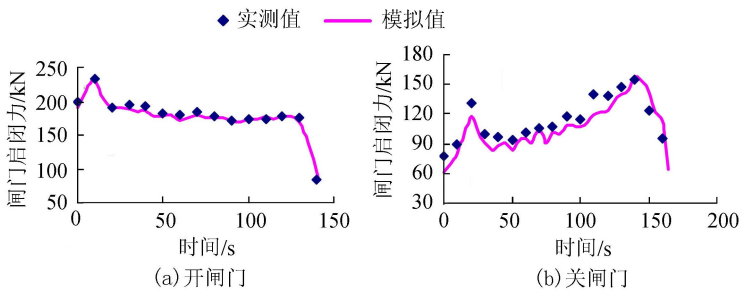


图 4 启闭机受力验证
Fig.4 Verification of the hoist force

表1 洪水年洪水期大潮涨潮时段引航道流态

Table 1 Flow pattern of the approach channel during spring tide in flood period of flood year

上游 潮位/ m	Δz / m	横向最大 流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	开门过程	关门过程	上游 潮位/ m	Δz / m	横向最大 流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	开门过程	关门过程
3.71	0.8	0.37	主流波动、有回流	主流波动、有回流	3.71	0.8	0.39	主流波动、有回流	主流波动、有回流
	0.5	0.27	主流波动小、有回流	主流波动小、有回流		0.5	0.29	主流波动小、有回流	主流波动小、有回流
	0.3	0.15	水流平稳	水流平稳		0.3	0.14	水流平稳	主流平顺
1.64	0.6	0.30	喇叭口附近有回流	喇叭口附近有回流	1.64	0.6	0.31	喇叭口附近有回流	喇叭口附近有回流
	0.4	0.23	喇叭口附近有回流	喇叭口附近有回流		0.4	0.23	喇叭口附近有回流	喇叭口附近有回流
	0.3	0.13	水流平稳	水流平稳		0.3	0.13	水流平稳	水流平稳
	-0.4	0.11	水流平稳、无回流	水流平稳、无回流		-0.4	0.12	水流平稳	主流平顺
	-0.6	0.15	水流平稳、无回流	水流平稳、无回流		-0.6	0.16	水流平稳	水流平顺
0.96	-0.3	0.10	水流平顺	水流平顺	0.96	-0.3	0.11	水流平顺	水流平顺
	-0.5	0.13	水流平顺	水流平顺		-0.5	0.13	水流平顺	水流平顺
	-0.8	0.17	水流平顺	水流平顺		-0.8	0.18	水流平顺	水流平顺

c. 上游低潮位时闸室和引航道最大流速。上游潮位 0.96 m 时测量各测点的最大流速,试验 Δz 范围为 $-1.0\sim 0$ m。 $\Delta z=-1$ m 时 1 号测点开关门最大流速均大于 2 m/s,不利于船舶航行; Δz 为 -0.3 m、 -0.4 m、 -0.5 m 时测点最大流速均小于 2 m/s。

2.4 启闭机最大受力分析

研究对象启闭机的设计最大受力为 300 kN,当试验得到的启闭机受力大于该值时,表明启闭机处于不安全状态。表 2 为不同条件下启闭机最大受力。由表 2 可看出,上游潮位为 3.71 m、 $\Delta z=0.8$ m 时,涨潮时段和落潮时段启闭机最大受力均超过 300 kN,不利于开通闸;当上游潮位比下游潮位高 0.5 m 时,开关门启闭机最大受力均未超过 300 kN。上游潮位控制 1.64 m、 $\Delta z=0.4$ m 时涨落潮条件下开关门受力均未超过极限值,当 $\Delta z=0.6$ m 时关门条件下启闭机受力大于 300 kN,超过设计极限值。上游潮位 0.96 m 时,洪水年长江洪水期大潮涨落潮时, $\Delta z=-0.7$ m 开门时启闭机最大受力分别为 311 kN 和 380 kN,超过设计值,不宜进行开关门, $\Delta z=-0.5$ m 时闸门启闭机受力均小于 300 kN。洪水年中水期大潮涨落潮时段 Δz 在 $-0.4\sim 0.4$ m 间闸门启闭机受力均小于 300 kN。

表2 不同条件下启闭机最大受力

Table 2 The maximum hoist forces in different conditions

上游潮位/m	Δz/m	启闭机最大受力/kN	控制条件	上游潮位/m	Δz/m	启闭机最大受力/kN	控制条件
3.71	0.8	300	洪水年洪水期	1.64	0.8	325	洪水中水期中水期 大潮涨潮时段
	0.5	255	大潮涨潮时段		0.6	269	
	0.8	310	洪水年洪水期		0.4	235	
	0.5	266	大潮落潮时段		0.8	325	洪水中水期中水期 大潮落潮时段
1.64	0.6	302	洪水年洪水期 大潮涨潮时段		0.6	295	
	0.4	240			0.4	247	
	-0.4	256		0.96	0.6	270	洪水中水期中水期 大潮涨潮时段
	-0.8	335			0.4	225	
	0.6	316	-0.4		246		
	0.4	228	-0.6		302	洪水中水期中水期 大潮落潮时段	
	-0.4	251	0.6	305			
	-0.8	340	0.4	238			
0.96	-0.5	272	洪水年洪水期	-0.4	240	洪水中水期中水期 大潮落潮时段	
	-0.7	311	大潮涨潮时段	-0.6	305		
	-0.5	283	洪水年洪水期				
	-0.7	380	大潮落潮时段				

3 开通闸安全运行条件的确定

3.1 开通闸安全运行条件的确定方法

船闸开通闸过程中,船闸功能完全类似于航道,故需要满足一般航道的水流条件:流态、流速的限制。此外,闸门关闭过程中启闭机要满足最大受力的限制,因此可以采用闸室和引航道流态条件、流速最大值控制

条件以及启闭机最大受力控制条件作为确定三角门船闸开通闸安全运行的判别条件。综合 3 组判别条件的结果,即可得到开通闸的安全运行条件。

3.2 焦港船闸安全运行条件的确定

3.2.1 流态条件及横向流速

采用下闸首附近上下游潮位差 Δz 作为判别焦港船闸的安全运行的条件。根据表 1 可知: Δz 小于 0.4 m 时闸室和引航道流态较为平顺,不产生回流。

JTT 305—2001《船闸总体设计规范》^[17]要求引航道内横向流速不宜大于 0.3 m/s,考虑开通闸过程中其他因素的影响,本文取安全折减系数 $\eta=0.8$,则允许的最大横向流速为

$$v_{\max} = \eta v = 0.24 \text{ m/s}$$

(1)

式中: v ——实测横向流速。

由表 1 可知, Δz 小于 0.4 m 时最大横向流速能满足通航要求。综合考虑流态条件和流速条件:

$$\Delta z < 0.4 \text{ m}$$

(2)

3.2.2 流速条件

开通闸过程中船舶可直接从下游运行到上游,也可直接从上游运行到下游,此时船闸的闸室和引航道体现一般航道的功能,所以最大流速的控制与航道内的要求相同,根据规范要求,引航道内纵向最大流速不宜大于 2 m/s。同样考虑 $\eta=0.8$,则允许的最大纵向流速为

$$U_{\max} = \eta U = 0.8 \times 2 = 1.6 \text{ m/s}$$

(3)

式中: U ——实测纵向流速。

图 5 为上游潮位 1.64 m 时洪水年洪水期大潮落潮时最大纵向流速随 Δz 的变化,由图 5 可知开关门时 Δz 绝对值越大则流速越大,最大纵向流速与逆向潮位差、正向潮位差的关系分别为

$$U_{\max} = -2.33\Delta z^2 - 5.01\Delta z - 0.03 \leq 1.6$$

(4)

$$U_{\max} = 6.33\Delta z^2 - 2.33\Delta z + 1.19 \leq 1.6$$

(5)

分别求解式(4)和式(5),可得逆向、正向开关门时的临界潮位差。

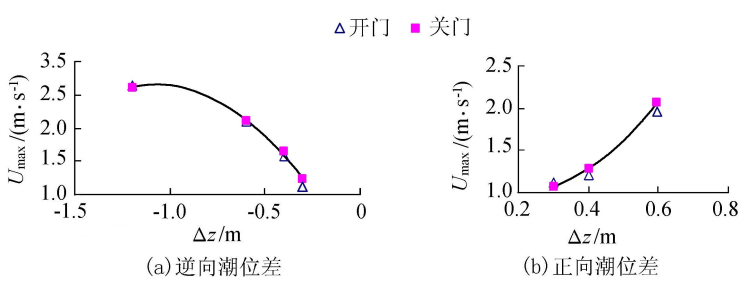


图 5 上游潮位 1.64 m 时洪水年洪水期大潮落潮最大流速

Fig.5 The maximum flow velocity of the spring tide ebb during flood period in flood year at a headwater level of 1.64 m

同理,可以得到其他条件下 Δz 与流速的关系式。综合试验结果,可以得到焦港船闸开通闸的安全条件为 $-0.37 \text{ m} < \Delta z < 0.39 \text{ m}$ 。

3.2.3 启闭机受力条件

由表 2 可知不同条件下,涨落潮时段潮差在 $-0.4 \sim 0.4 \text{ m}$ 间闸门启闭机受力均小于 300 kN,则由受力限制指标得到的临界潮位条件为 $-0.4 \text{ m} < \Delta z < 0.4 \text{ m}$ 。

综上,可以得到焦港船闸开通闸运行安全条件为 $-0.37 \text{ m} < \Delta z < 0.39 \text{ m}$ 。

4 结 论

a. 船闸开通闸安全运行条件研究宜采用正态物理模型试验,试验过程中应重点关注闸门附近的水流流态、最大纵向流速和闸门启闭机受力。

b. 可采用物理模型试验的结果建立潮位差与最大纵向流速的关系,并根据规范中最大流速的要求,求解得到满足水流要求的安全运行条件。

c. 采用流态条件、流速最大值控制条件以及启闭机受力最大值控制条件作为确定船闸开通闸安全运行

条件的方法是合理的。

d. 焦港船闸的安全运行条件为上下游潮位差处于 $-0.37 \sim 0.39 \text{ m}$ 之间。

参考文献:

- [1] 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. (QU Jianjun. Utilizing the tide to open lock and improve shiplock capacity[J]. Port & Waterway Engineering, 2001(1): 37-38. (in Chinese))
- [2] 钮新强, 童迪. 三峡船闸关键技术研究[J]. 水力发电学报, 2009, 28(6): 36-42. (NIU Xinqiang, TONG Di. Research on the key technologies of Three Gorges shiplocks[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2009, 28(6): 36-42. (in Chinese))
- [3] 刘洪波, 韩平. 闸门水力特性综述[J]. 南水北调与水利科技, 2005(2): 56-58. (LIU Hongbo, HAN Ping. Summarization of hydraulic characteristic of the sluice gate[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2005(2): 56-58. (in Chinese))
- [4] 张燎军, 傅作新, 张贵寿. 闸墙变位对三峡人字门安全运行影响研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2000, 28(4): 97-100. (ZHANG Liaojun, FU Zuoxin, ZHANG Guishou. Effect of lock-wall deformation on the performance of the miter gates of the Three Gorges Project [J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2000, 28(4): 97-100. (in Chinese))
- [5] 吴腾, 蔡守军, 丁坚, 等. 感潮河段三角门船闸启闭机受力试验分析[J]. 水运工程, 2014(1): 146-152. (WU Teng, CAI Shoujun, DING Jian, et al. Experimental study on force of sluice gate hoist for tidal reach[J]. Port & Waterway Engineering, 2014(1): 146-152. (in Chinese))
- [6] 丁坚, 宋荔钦. 焦港船闸开通闸通航水力条件研究[J]. 水道港口, 2014, 35(6): 613-617. (DING Jian, SONG Liqin. Study on hydraulic condition of Jiaogang ship lock at the time of locks opening[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2014, 35(6): 613-617. (in Chinese))
- [7] 吴腾, 朱瑞虎, 丁坚. 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. (WU Teng, ZHU Ruihu, DING Jian. Experimental study on critical conditions of Jiaogang ship lock running as an open channel[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2014, 35(3): 247-253. (in Chinese))
- [8] 伍志元, 蒋昌波, 陈杰, 等. 泄水闸开启方式对通航水流条件的影响[J]. 水利水电科技进展, 2016, 36(3): 73-82. (WU Zhiyuan, JIANG Changbo, CHEN Jie, et al. Influence of sluice gate opening mode on navigation flow condition [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2016, 36(3): 73-82. (in Chinese))
- [9] 于守兵, 王万战, 余欣. 基于非结构网格的三维浅水模型[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2011, 39(2): 195-200. (YU Shoubing, WANG Wanzhan, YU Xin. 3-D shallow water model based on unstructured grids [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2011, 39(2): 195-200. (in Chinese))
- [10] 马小雪, 杨军, 曾春芬, 等. 江苏沿海四港感潮河段非汛期水沙运动特点初探[J]. 人民长江, 2014, 45(19): 9-12. (MA Xiaoxue, YANG Jun, ZENG Chunfen, et al. Preliminary study on flow and sediment transport characteristic of tidal reaches of four coastal channels in Jiangsu Province in non-flood period[J]. Yangtze River, 2014, 45(19): 9-12. (in Chinese))
- [11] 姜楚, 赵建钧, 辜晋德. 青田水利枢纽通航水流条件试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2014(2): 74-80. (JIANG Chu, ZHAO Jianjun, GU Jinde. Experimental studies on flow condition for navigation of Qingtian Hydroproject located at Oujiang River [J]. Hydro-Science and Engineering, 2014(2): 74-80. (in Chinese))
- [12] SEO I W, CHEONG T S. Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1998, 124(1): 25-32.
- [13] 魏文炜. 三峡永久船闸重点启闭设备设计研究[J]. 机械工程学报, 2001, 37(12): 79-82. (WEI Wenwei. The design of the major foist equipment of the TGP's permanent shiplocks [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2001, 37(12): 79-82. (in Chinese))
- [14] 龚瑜, 陆倩, 严飞, 等. 新洋港闸下港道适宜断面与平衡流量[J]. 水利水电科技进展, 2015, 35(4): 59-64. (GONG Yu, LU Qian, YAN Fei, et al. Study on appropriate section and balanced flow of channel downstream the Xinyanggang Sluice [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2015, 35(4): 59-64. (in Chinese))
- [15] 冒刘燕, 余向阳, 成虎. 基于维修事件信息的船闸可靠性分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2017, 45(2): 175-181. (MAO Liuyan, YU Xiangyang, CHANG Hu. Waterway lock reliability analysis based on maintenance event information [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2017, 45(2): 175-181. (in Chinese))
- [16] 李一兵, 江诗群, 李富萍. 船闸引航道口门外连接段通航水流条件标准[J]. 水道港口, 2004, 25(4): 179-184. (LI Yibing, JIANG Shiqun, LI Fuping. On standard of flow conditions for navigation in transitional reach outside entrance [J]. Journal of Waterway and Harbour, 2004, 25(4): 179-184. (in Chinese))
- [17] 中交水运规划设计院. 船闸总体设计规范: JTJ 305—2001[S]. 海口: 南海出版社, 2001.