



# 高水头船闸大型船舶导航墙停泊条件研究

邹静<sup>1</sup>, 张勇<sup>1</sup>, 马希钦<sup>2</sup>, 刘火箭<sup>3</sup>, 张绪进<sup>2</sup>

(1. 长江三峡通航管理局, 湖北 宜昌 443002; 2. 重庆交通大学, 重庆 400016;  
3. 长江水利委员会长江科学院, 湖北 武汉 430019)

**摘要:** 高水头船闸导航墙水流条件复杂, 大型船舶在导航墙待闸存在船舶靠泊和系缆设施安全等问题。以葛洲坝二号船闸导航墙停泊条件研究为例, 通过模型试验、系缆力测试等技术方法, 分析不同工作水头下船闸充泄水、船闸人字门启闭过程中上、下游导航墙不同停泊位置的船舶停泊条件及其变化规律, 提出船舶系缆力超过设计值的对策措施。研究表明: 上游导航墙停泊条件良好, 船舶系缆力较低; 下游导航墙受船闸泄水影响大, 且与船闸工作水头密切相关, 停泊条件较差, 采取优化船闸阀门运行及泄水工艺、避开船闸泄水影响范围、增加船舶系缆数量等措施, 可起到降低单个系缆柱船舶系缆力的作用, 下游导航墙系缆设施及船舶停泊条件预期满足要求。

**关键词:** 高水头船闸; 导航墙; 大型船舶; 停泊条件; 系缆力测试

中图分类号: U653.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)07-0179-06

## Mooring conditions of navigation walls of large ships in high head locks

ZOU Jing<sup>1</sup>, ZHANG Yong<sup>1</sup>, MA Xiqin<sup>2</sup>, LIU Huojian<sup>3</sup>, ZHANG Xujin<sup>2</sup>

(1. Three Gorges Navigation Authority, Yichang 443002, China; 2. Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400016, China;  
3. Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan 430019, China)

**Abstract:** The flow condition at the navigation wall of high-lift lock is complicated, and there are some problems such as berthing and safety of mooring facilities for large ships. Taking the berthing conditions of the navigation wall of Gezhouba No. 2 ship lock as an example, this paper analyzes the water filling and discharging of the ship lock under different working heads through model test and mooring force test, studies the berthing conditions and change laws of ships in different berthing positions of the upstream and downstream navigation walls during the opening and closing of the lock herringbone gate, and puts forward countermeasures for ship mooring force exceeding the design value. The results show that the mooring conditions of the upstream navigation wall are good and the mooring force of the ship is low. The downstream navigation wall is greatly affected by the discharge of lock water and is closely related to the working head of lock water, and the berthing conditions are poor. Measures such as optimizing the operation of lock valve and discharge process, avoiding the influence range of the lock water discharge, and increasing the number of ship mooring lines can be taken to reduce the mooring force of a single mooring post. The mooring facilities and the berthing conditions of the downstream navigation wall are expected to meet the requirements.

**Keywords:** high head lock; navigation wall; large ships; anchorage conditions; mooring force test

船闸是国家高等级航道组网建设的重要设施及关键节点, 高水头船闸及其拦河闸坝的壅水作

用可大大增加上游航道水深, 显著改善航道的航行条件, 对水运事业发展具有重要的促进作用。

收稿日期: 2023-11-14

作者简介: 邹静 (1988—), 女, 硕士, 工程师, 从事枢纽通航管理工作。

随着2003年6月三峡船闸建成,三峡—葛洲坝梯级枢纽联合运行后,长江中上游航运发展迅速,2011年提前19年达到1亿t/a的过坝设计运量,2022年过坝运量已接近1.6亿t,长江黄金水道在长江经济带国家战略中的地位和作用更为突出。随着船舶过坝需求的不断增长,过闸船舶积压逐步成为常态。

船舶大型化<sup>[1-2]</sup>、标准化<sup>[3-4]</sup>发展为过坝船舶的交通组织创新、提高船闸通过能力提出了更大的挑战。齐俊麟<sup>[5]</sup>通过分析船闸运行原理、船闸通过能力指标以及不同过闸模式等,探讨单级船闸与连续多级船闸在单向运行时提升通过能力的方法;蔡述忠等<sup>[6]</sup>提出三峡船闸一闸室待闸时船舶进闸的时机选择方式;胡亚安等<sup>[7]</sup>提出大长宽比船舶同步移泊技术,大型船舶的停泊安全是制约进一步挖潜三峡船闸通过能力的关键问题;齐俊麟等<sup>[8]</sup>提出船舶在导航墙处按虚拟闸室进行编组靠泊,可大大缩短船舶进闸时间,提高船闸通过能力。

导航墙区域水流条件复杂,不同的输水系统及泄水方式、水位落差、停泊位置、船舶尺度等均影响导航墙的船舶停泊条件。结合葛洲坝二号船闸导航墙停泊条件水力学测试与数值计算以及现场水力学及船舶系缆力测试研究实践,分析研判导航墙船舶停泊条件的影响因素及相应的对策措施,保障导航墙系缆设施及船舶的靠泊安全。

## 1 工程概述

葛洲坝二号船闸位于通航条件最好的三江航道,在葛洲坝枢纽通航中发挥了重要作用,2022年运行超5000闸次、通过船舶逾2万艘次、通过货物6000余万t。二号船闸输水系统包括进水口、输水廊道、输水阀门、出水口及消能设施等,两条主输水廊道布置在闸首边墩和两侧闸墙内;上游分散式进水口布置在导航墙内,直接从引航道内正向取水。下游左支分散式泄水廊道横穿三江冲沙闸,布置在冲沙闸护坦上;右支泄水廊道垂

直水流方向布置在下闸首下游航道底部。

二号船闸上下游均设有导航设施,上游导航墙布置在上引航道右侧,总长193m,上游靠船墩共布置9个,全长200m,顶部设固定式系船柱;下游导航墙位于下游引航道右侧,全长240m,下游靠船墩共布置9个,全长200m,顶部设固定式系船柱。

基于黄建九等<sup>[9]</sup>对葛洲坝二号船闸充水过程中上游流速、流向原型观测成果,船舶在二号船闸上游导航墙待闸时,受导航墙区域水流条件的影响,可能存在船舶靠泊安全和系缆设施安全等问题。因此,开展高水头船闸导航墙停泊条件研究,提出船舶系缆力超过设计值的对策措施十分必要。

## 2 非恒定流流速模型试验

### 2.1 二号船闸上游引航道导航墙段

针对二号船闸上游引航道导航段开展非恒定流流速模型试验。葛洲坝坝前水位66m,下游庙嘴水位39m,船闸充水时,进水阀门开启时间5min28s,充水历时10min53s,实测最大流量 $Q_{\max} = 786 \sim 802 \text{ m}^3/\text{s}$ 。船闸充水过程中流量对比见图1。

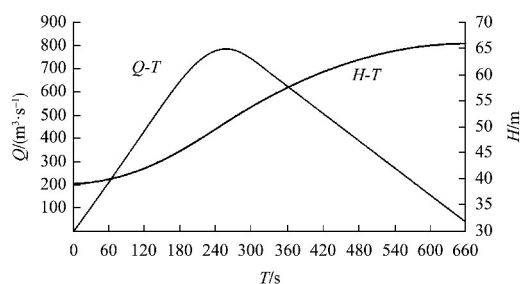
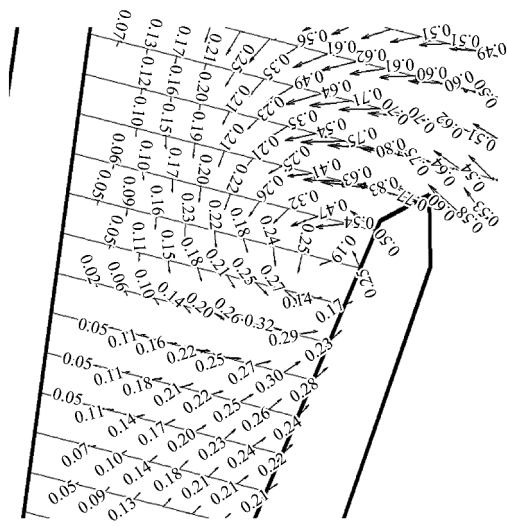


图1 葛洲坝二号船闸充水过程模拟对比

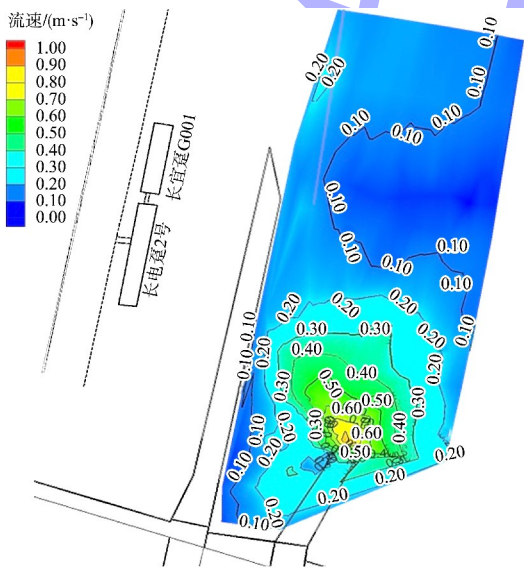
二号船闸上游导航段非恒定流流速模型试验表明:模型实测在三江航道坝上400~200m范围内流速为0.10~0.20m/s,最大流速约0.30m/s;在坝上200m范围即上游右侧导墙端部至上闸首之间,流速保持在0.20~0.60m/s。因吸流作用产生立轴环流的影响范围可扩大至整个二号船闸口门约50m宽的水域,涡漩中心直径约3~5m,涡漩流速约为0.40~0.80m/s,最大瞬时流速达

0.83 m/s,说明流速大小、分布与流态变化等与原型观测成果基本一致。

通过非恒定流流速模型试验,葛洲坝二号船闸上引航道导航段导致水流条件发生变化的影响因素是船闸充水。船闸充水时受进水口吸流作用影响,上游左侧闸墙进水口附近形成较明显的涡漩水流,最大流速为0.66 m/s,该水流条件对上游导航墙处船舶安全停泊影响较小。船闸上游充水最大流量时导航段流速见图2。



a) 导航段附近流场



b) 导航段附近流速等值线

图2 船闸上游充水最大流量时导航段流速

## 2.2 二号船闸下游引航道导航段

二号船闸下引航道导航段同样采用非恒定流

流速模型试验。葛洲坝三江下游庙嘴最低通航水位39 m,上游水位66 m,最大运行水位差27 m。船闸泄水时,阀门开启时间为5 min、泄水时间13 min,实测最大下泄流量 $Q_{max} \approx 660 \text{ m}^3/\text{s}$ 。船闸泄水过程中流量对比见图3。

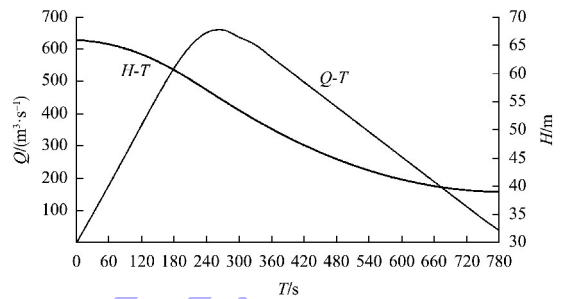


图3 葛洲坝二号船闸泄水过程模拟对比

二号船闸下游导航段非恒定流流速模型试验结果表明:

1) 船闸泄水3 min时,阀门逐步开启,2倍船宽范围内流速有所变化,导航段靠近闸首处流速为0.28~0.46 m/s,导航段中部流速0.15~0.35 m/s,导航段末端流速为0.16~0.50 m/s,导航墙末端伴随强度较小的回流,流速约0.10 m/s。

2) 船闸泄水6 min时,阀门开启完成,2倍船宽范围内流速变化较大,导航段靠近闸首处流速为0.46~0.57 m/s,导航段中部流速0.27~0.66 m/s,导航段末端流速为0.48~1.13 m/s,导航墙末端伴随强度较小的回流,流速约0.25 m/s。

3) 船闸泄水9 min时,阀门逐步关闭,2倍船宽范围内流速变化较大,导航段靠近闸首处产生强度较小的回流,回流流速为0.10 m/s,导航段中部流速0.23~0.30 m/s,导航段末端仍然有较大的纵流流速,约0.44~0.90 m/s,导航墙末端伴随强度较小的回流,流速约0.25 m/s。

4) 船闸泄水12 min时,阀门关闭,2倍船宽范围内流速变化较大,导航段靠近闸首处产生强度较小的回流,流速为0.10 m/s,导航段中后部流速0.91~1.13 m/s,导航段末端仍然有较大的纵流流速,约0.47~0.87 m/s,导航墙末端伴随强度



较小的回流，流速约 0.20 m/s。具体泄水时间与水流流速情况见图 4~7。

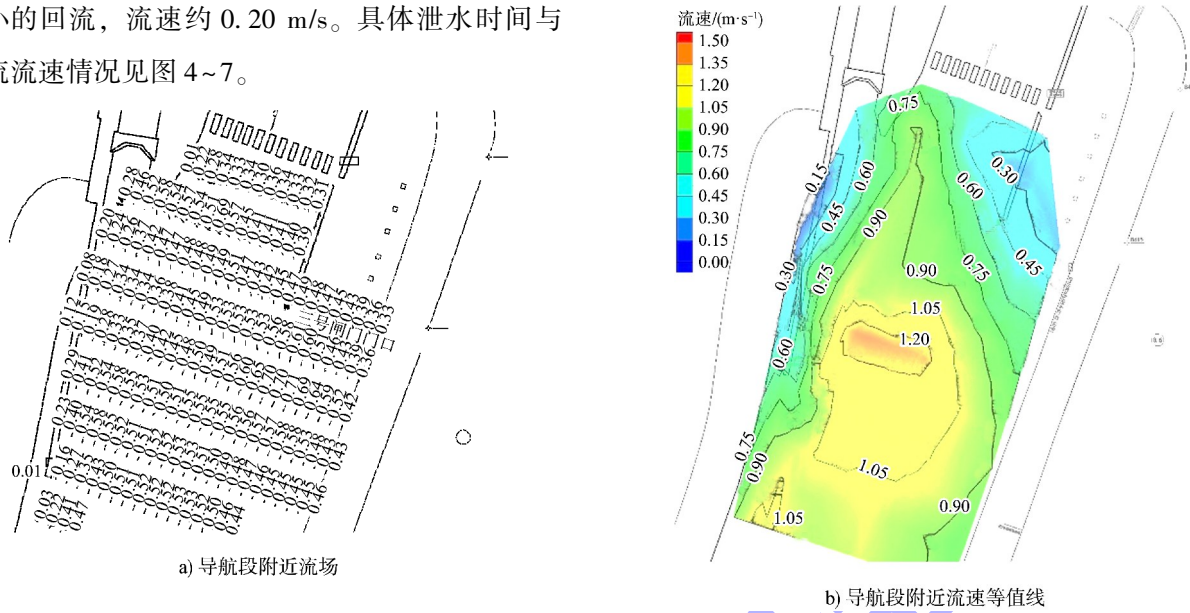


图 5 船闸泄水 6 min 时导航段流速

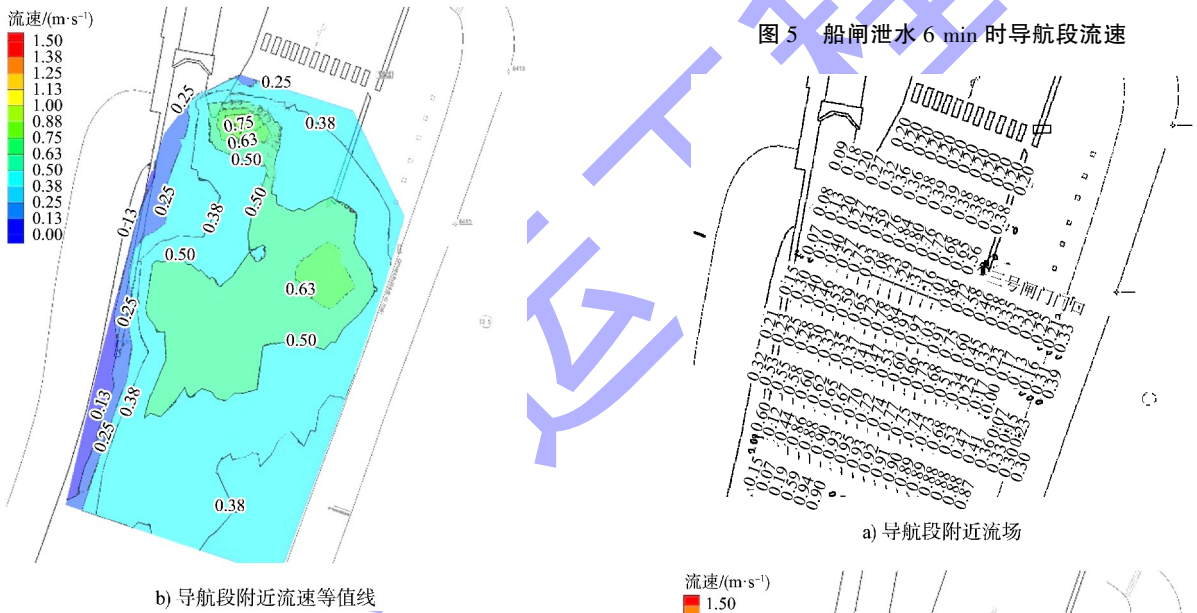


图 4 船闸泄水 3 min 时导航段流速

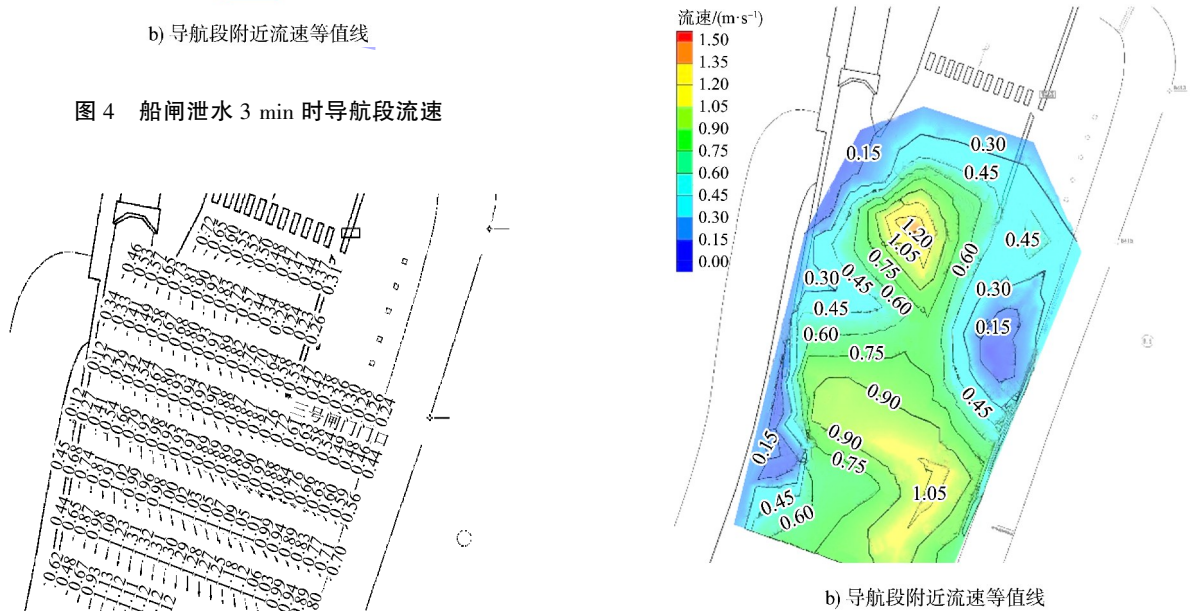
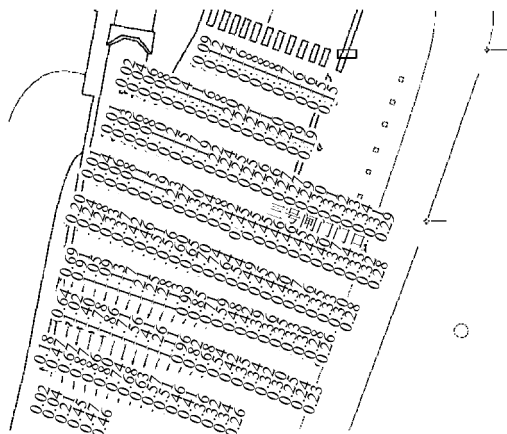
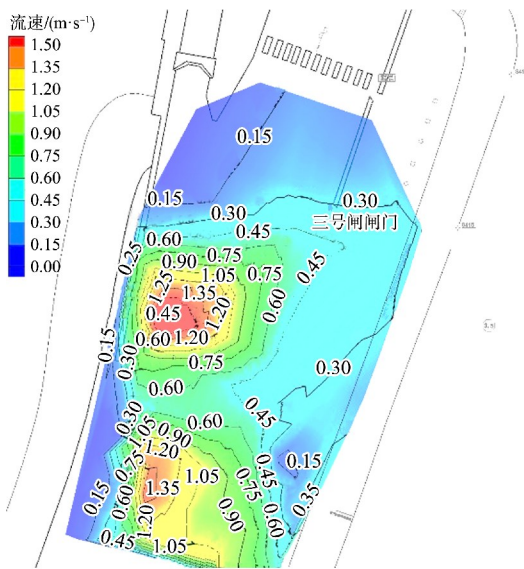


图 6 船闸泄水 9 min 时导航段流速



a) 导航段附近流场



b) 导航段附近流速等值线

图 7 船闸泄水 12 min 时导航段流速

通过分析可知, 船闸下游导航段受船闸泄水影响大, 且与船闸工作水头密切相关, 6 000 吨级大吨位船舶采用并排挂靠方式停泊于导航墙(船首平禁停线), 上游导航墙停泊条件较好, 下游导航墙停泊条件不佳, 存在一定安全风险, 需进行系缆力测试验证系船设施是否满足实际需求。

### 3 系缆力现场测试

#### 3.1 测试时间及内容

测试时间选择汛期 7 月份开展。测试内容包括: 1) 正常双边充水以及充水齐平人字们开启过程中上导航墙区域流态及待闸船舶系缆力。2) 正常双边泄水以及泄水齐平人字们开启过程中下导航墙区域流态及待闸船舶系缆力。

#### 3.2 测试方法

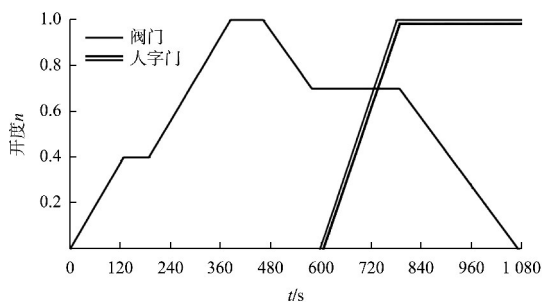
在每根缆绳上串联 1 个电阻应变拉力传感器, 传感器所反映的应变通过应变仪放大后输入计算机内进行采集。传感器与导航墙系船柱端采用约  $\phi 20$  mm 钢丝绳连接, 传感器与船上系船柱端采用约  $\phi 60$  mm 白棕绳连接(船方自由缆绳)。

#### 3.3 现场测试条件

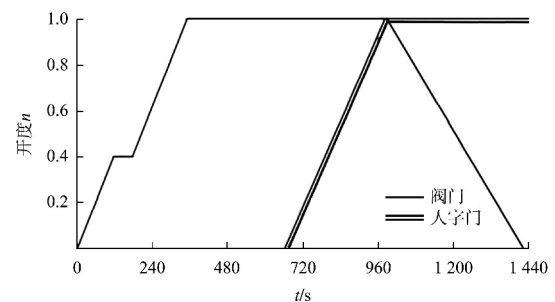
测试选用的试验船舶为 6 000 吨级货轮(大长宽比干散货船), 测试分 2 d 进行。具体测试条件和船舶基本情况见表 1, 具体二号船闸阀门运行工艺见图 8。

表 1 船闸测试条件

工况	测试时间	船型	测试船舶	停泊位置	船舶阀门运行工艺
1	2020-07-22	6 000 吨级货轮	1	上游导墙、船首平禁停线	双边充水
2	2020-07-24		2	下游导墙、船首平禁停线	双边泄水



a) 工况1



b) 工况2

图 8 船闸阀门运行工艺

### 3.4 测试判别标准

通过考虑船舶系缆绳索可承受的极限拉力以及一定的安全系数，计算出船舶允许缆绳拉力值，可作为船舶停泊条件的标准。二号船闸固定系船柱的设计拉力值为：龛内  $15 \times 9.8 \text{ kN}$ 、闸顶  $25 \times 9.8 \text{ kN}$ 。测试过程中，试验船舶不出现断缆和自身系船柱损坏，且最大系缆力小于系船柱设计拉力，即作为导航墙停泊条件的安全指标。

### 3.5 测试结果分析

测试数据表明，工况1测试未出现断缆，船首最大系缆力  $38.5 \text{ kN}$ ，船尾最大系缆力  $51.9 \text{ kN}$ ，

最大系缆力出现在船闸充水工况下。工况2测试未出现断缆，船首最大系缆力  $44.9 \text{ kN}$ ，船尾最大系缆力  $30.2 \text{ kN}$ ，最大系缆力出现在船闸人字门开门过程中。两种工况最大系缆力均出现在船尾，且小于墙顶固定系船柱设计拉力  $25 \times 9.8 \text{ kN}$ 。导航墙处待闸船舶最大系缆力基本出现在船闸充水和人字门开启过程中。因此采用推荐的严于规范要求控制惯性超高降的闸阀门运行工艺(惯性超高降控制约  $0.1 \text{ m}$ )，对改善导航墙待闸条件有利。

每组试验的闸室水位流量过程线及船舶系缆力过程线见图9、10，试验过程中各主要指标见表2。

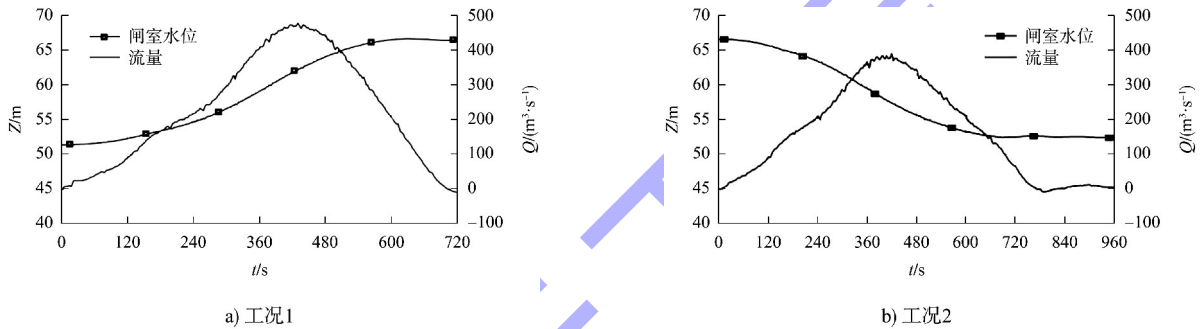


图9 闸室水位流量过程线

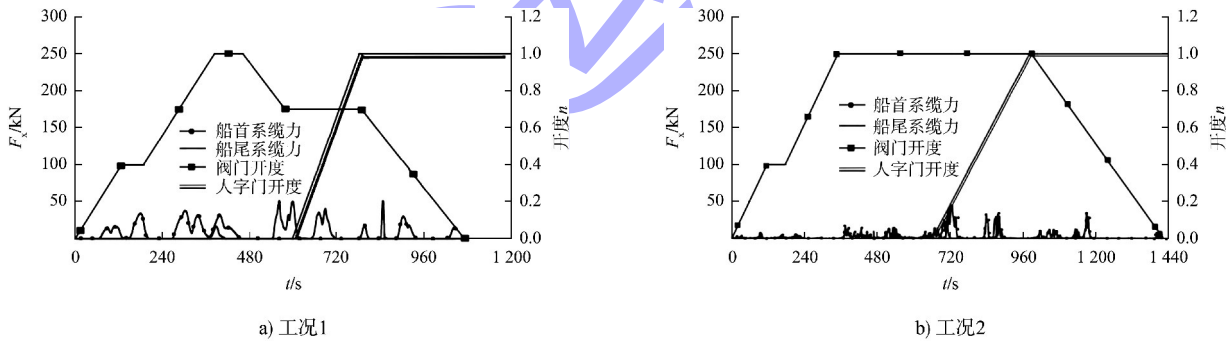


图10 船舶系缆力过程线

表2 导航墙停泊条件观测主要指标

工况	水位组合/m	水头/m	流量峰值/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	充泄水过程		人字门开门过程	
				船首/kN	船尾/kN	船首/kN	船尾/kN
1	66.66~51.36	15.30	479	38.5	51.9	31.1	51.8
2	66.62~52.42	14.20	391	16.2	12.8	44.9	30.2

## 4 结论

1) 模型试验和数值计算表明：导航墙段停泊条件受船闸运行水头、船舶吨位、停泊方式、停泊区水深、流速、水面比降、流态等多因素综合影响。上游导航墙停泊条件良好，船舶系缆力较

低；下游导航墙受船闸泄水影响大，且与船闸工作水头密切相关，停泊条件较差，相近吨位与船型的船舶，以相同方式停泊于相同的泊位，其系缆力大小随船闸运行水头增大而增大。

(下转第216页)