

# 下水式钢丝绳卷扬垂直提升 升船机水力特性研究综述

王敬鹏<sup>1,2</sup>, 胡亚安<sup>1</sup>, 李中华<sup>1</sup>

(1. 南京水利科学研究院 通航建筑物建设技术交通行业重点实验室, 江苏 南京 210029; 2. 河海大学, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 下水式升船机可适应较大的水位变幅及较快的水位变率. 我国中西部地区河流具有水量及水位随季节变化大、河势狭窄等特点, 因此下水式升船机有较广阔的应用前景. 主要针对岩滩、构皮滩升船机的研究成果, 首先总结了下水式钢丝绳卷扬垂直提升升船机的特点、运行方式、船厢出入水过程中所涉及到的水动力特性; 其次, 概述了船厢出入水过程中船厢内以及船池内水体的波动特性, 以及前人所进行的理论分析及公式推导; 最后, 综述了船厢出入水时, 前人关于船厢附加水动力荷载产生机理的探讨以及为降低附加水动力荷载而采取的工程措施及其效果, 总结了相关的经验公式. 此外, 提出了下一阶段需要研究的重点问题, 如船厢出入水过程升船机水动力特性规律性的研究; 数值模拟计算研究; 结合物理模型, 深入探讨船厢受力、船厢运行平稳性以及提升系统荷载的变化特性等.

**关键词:** 钢丝绳卷扬提升; 下水式升船机; 水力特性; 综述

**中图分类号:** U642

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-640X(2013)03-0083-09

船闸和升船机是通航建筑物的两大类型, 与船闸相比, 升船机在水头超过 50 m 的枢纽通航以及节约水资源方面具有明显优势, 是高坝通航的主要型式. 升船机有多种分类方式<sup>[1-2]</sup>, 依据运行原理的不同, 升船机分为垂直、斜面与水坡 3 种, 其中垂直升船机代表了目前升船机的发展方向. 垂直升船机依据驱动方式的不同, 又分为钢丝绳卷扬垂直提升、齿轮齿条爬升及水力浮动式. 在钢丝绳卷扬垂直提升升船机中, 又有全平衡(船厢不入水)和部分平衡(船厢入水式)两种类型. 国外的垂直升船机一般应用于运河通航, 水位变幅小, 所以全部采用全平衡式; 而在我国, 由于中西部地区河流水量及水位随季节变化大, 枢纽通航受电站调峰、泄洪影响大, 升船机型式的选择需要适应较大水位变幅及较快水位变率. 下水式升船机其船厢直接进入水中(通常是与下游航道联通的水域), 可根据下游航道水位变化随机简便地寻找适当的减速点和准确的停位点减速停机, 比较适合我国通航发展的需要, 因而具有广阔的应用前景.

20 世纪 90 年代, 我国率先对首座现代化的升船机——红水河岩滩下水式升船机(过船吨位 250 t)开展研究, 为下水式升船机的研究和建设积累了宝贵的经验; 随后, 又开展了规模更大的乌江构皮滩第一级和第三级下水式升船机(过船吨位 500 t)的研究, 取得了一些规律性的成果. 本文依托岩滩、构皮滩第一、三级下水式升船机的研究成果<sup>[3-4]</sup>, 对下水式钢丝绳卷扬垂直提升升船机的水力特性进行了总结, 并提出了今后的研究方向及重点.

## 1 下水式钢丝绳卷扬提升升船机特点及运行过程中的水力学问题

### 1.1 下水式钢丝绳卷扬提升升船机特点

通过与不下水式升船机进行对比, 并结合前人研究成果表明, 下水式升船机主要具备以下 3 方面特点.

收稿日期: 2013-02-20

作者简介: 王敬鹏(1982-), 男, 河南鹤壁人, 硕士研究生, 主要从事通航水力学研究. E-mail: aben-jingpeng@163.com

(1) 结构形式简单,运行效率高,且对多泥沙河流通航有一定的便利性<sup>[1,5-6]</sup>.图1为钢丝绳卷扬提升部分平衡式垂直升船机总布置图.由图1可见,下水式省去了相应的设备,节省了工程量,同时由于船厢不必与闸首对接,省去了顶紧、密封机构等部分辅助设备,减少了运行程序,提高了运行可靠性,缩短了船舶过坝时间,提高了通过能力.

(2) 相比不下水升船机,其安全性能大幅提高<sup>[1,7-8]</sup>.由于船厢下水过程实际上相当于失水过程,驱动机构按适应这种工况进行设计,所以即使承船厢中水漏空也不会招致失控事故,如岩滩升船机,采用部分平衡,即使发生承船厢内水体全部漏光,对主提升系统来说,其提升载荷比出入水过程受到的最大载荷 1 573 t 还要小,不会对安全问题造成影响;同时,承船厢主要由提升绳悬吊,支撑刚度较大,升船机悬吊系统的动静态特性较好,且平衡重中转矩平衡重所占比例较大,主机安全制动系统具有很大的制动能力,对保障升船机安全运行更为有利.

(3) 由于主提升系统采用部分平衡,且需双向受载,下水式升船机面临提升功率过大,主提升系统布置困难等技术难题<sup>[1-2,5,9-10]</sup>.红水河岩滩升船机过船吨位为 1×250 t,电机总功率为 4×335 kW,三峡过船吨位为 1×3 000 t(客轮),相当于岩滩升船机的 12 倍,电机总功率只有 8×315 kW;乌江构皮滩第一级及第三级下水式升船机,船厢有效尺寸 59 m×11.7 m×2.5 m,船厢结构、设备加厢内水体总重约 3 250 t,提升电机功率为 8×355 kW,超过三峡升船机的提升功率,不下水与下水升船机代表性工程主要参数见表 1.

表 1 不下水式、下水式升船机代表性工程主要参数对比

Tab. 1 Comparison between full balanced and chamber-launching of ship lift's major parameters

型 式	升船机	河 流	提升高度/ m	船厢有效尺寸 (长/ m×宽/ m×水深/ m)	载船吨位/ t	船厢及载水 总重/ t	电机总功率/ kW
不下水式	水 口	闽 江	59	114×12×2.5	2×500	5 500	4×160
	三 峡	长 江	113	120×18×3.5	1×3 000(客轮)	15 500	8×315
下水式	岩 滩	红水河	68.5	40×10.8×1.8	1×250	1 430	4×335
	构皮滩 (第一、三级)	乌 江	50/79	59×12×2.5	1×500	3 250	8×355

## 1.2 下水式升船机主要水力学问题

当船厢出入限制性船池水域时,挤压池内水体,引起水面壅高或降低,并在水面比降作用下,在船厢附近产生绕流,带动船厢在船池内摆动,影响船厢内船舶的停泊安全;船池内水体波动传递到引航道内,对靠船墩处待闸船舶的停泊安全也产生一定影响.同时,在船厢出入水过程中,船厢会受到水体的吸附力、浮托力等附加荷载,致使船厢受力复杂,对结构设计提出更高要求;另一方面,由于附加荷载的增大,要求更大的电机出力,增加工程投资,对项目可行性也会带来一定影响.船厢出入水过程见图 2,所带来的水力学问题见图 3.

根据前人研究成果,影响船厢出入水过程水动力学特性的因素主要有:船厢体型、船池尺寸、出入水速度以及引航道尺度等.为确保升船机的安全有效运行,必须对上述因素进行优化.

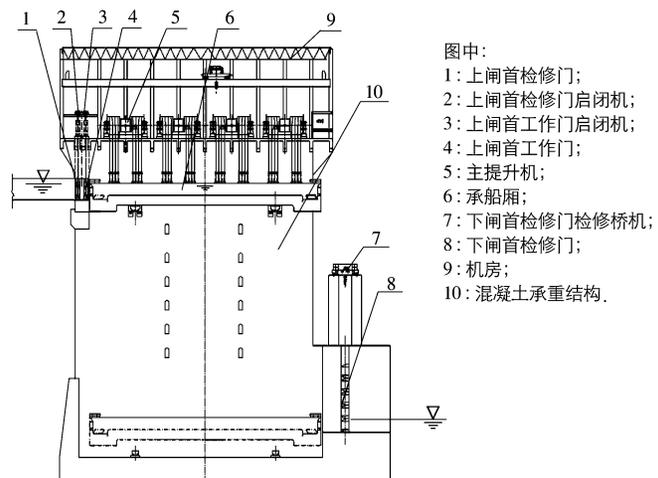


图 1 钢丝绳卷扬提升部分平衡式垂直升船机总布置

Fig. 1 Layout of wirerope-hosting chamber-launching vertical ship lift

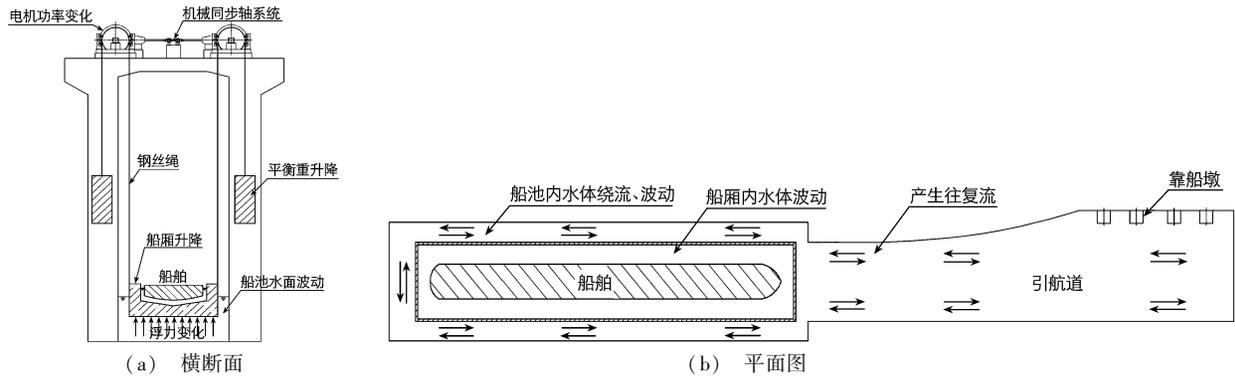


图2 下水式升船机船厢出入水过程

Fig. 2 Processes of the ship lift's chamber sinking into or going out of water

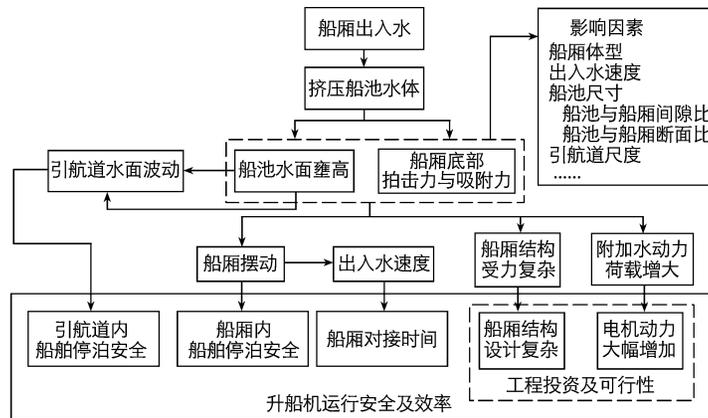


图3 下水式升船机船厢出入水过程主要水力学问题

Fig. 3 Hydraulic problems of chamber-launching ship lift during chamber sinking into or going out of water

## 2 下水式升船机水力特性研究

### 2.1 船厢运行方式研究

船厢运行方式主要通过运行速度曲线进行控制,不下水式升船机的运行速度曲线一般采用3段式(见图4),包括3个阶段:第1阶段为启动加速过程,承船厢运行速度由零加速至最大;第2阶段为正常运行过程,保持匀速运行;第3阶段为减速对接过程。

已建成的岩滩升船机其船厢在空气中运行速度为0.19 m/s,水中运行速度为0.03 m/s,加速度和减速度均取0.01 m/s<sup>2</sup>(加速度取±0.01 m/s<sup>2</sup>)。包纲鉴等<sup>[3]</sup>通过物理模型试验对设计的运行方式进行验证性研究,发现升船机水力特性良好。在工程原型调试过程中<sup>[7]</sup>,发现由于各种阻力的影响,船厢很难做到匀速入水,则将入水速度由匀速改为变速,从2.2 m/min降为1.4 m/min,尽可能平滑减速;同时,为了减少承船厢入水瞬间的拍击力,要求在入水前就开始进行变速。经实践验证,入水效果良好。

胡亚安等<sup>[4]</sup>依托乌江构皮滩升船机的研究,在0.016~0.036 m/s流速间,设置7个出/入水速度进行试验,结合船厢型式设计等,提出船厢出入水的合理速度范围及控制方法:船厢出水速度为0.026~0.030 m/s;船厢入水过程,船厢底部梁系以0.030 m/s速度入水,并在船厢底板接触水面前将船厢速度进一步降低到0.016~0.020 m/s(见图5)。

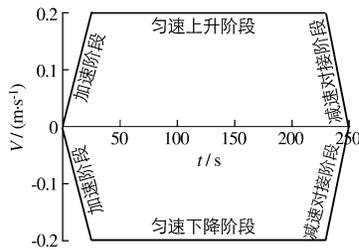


图4 不下水式升船机(水口)船厢运行速度曲线  
Fig.4 Velocity curves of the full balanced ship lift (Shuikou ship lift)

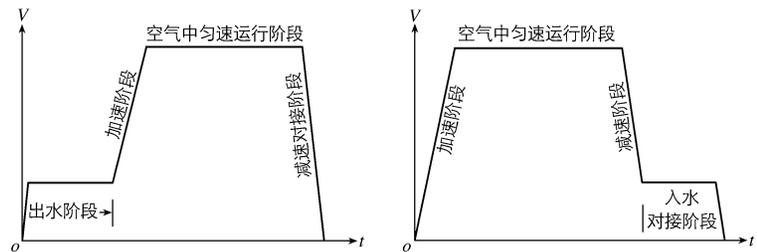


图5 乌江构皮滩下水式升船机船厢运行速度曲线  
Fig.5 Velocity curves of the chamber-launching ship lift of Goupitan

2.2 船厢出入水过程中船厢内水体的水力特性

船厢为一装满水体的大型结构,升船机在各种运行工况下,厢内水体动态特性对升船机的安全运行都会起到关键作用.包纲鉴等<sup>[3]</sup>初步研究了下水式升船机在正常运行方式下的船厢水力特性,认为船厢按正常运行速度曲线运行时,厢内水体虽然有一定波动,但所形成的最大偏心率也仅约5‰,对升船机各系统不会构成明显影响,且卷扬钢丝绳受力较均匀;厢内不同水深及不同平衡重配置对厢内水体动态特性无明显影响,而当船厢内载有船舶时,由于船舶的阻挡和稳波作用,水体动态特性更稳定.

船厢出入船池时,船厢内船舶停泊条件是检验升船机出入水过程船厢运行是否平稳的重要指标,胡亚安等<sup>[4]</sup>依托乌江构皮滩升船机模型试验对船厢内船舶系缆力做了详细研究,认为船厢上升出水,出水速度对船厢内船舶的横向系缆力影响较小,但对纵向系缆力影响较大,出水越快,纵向系缆力越大,且显著大于同等规模船厢不下水式升船机<sup>[11]</sup>(比如思林升船机)在空气中正常运行时的系缆力值;船厢下降入水,入水速度对船厢内船舶横向系缆力影响较小,对纵向系缆力影响较大,但当速度降到一定值后,对纵向系缆力的影响不再明显,但仍略大于一般船厢不下水式升船机(比如思林升船机)在空气中运行时的系缆力,其规律见图6和7.

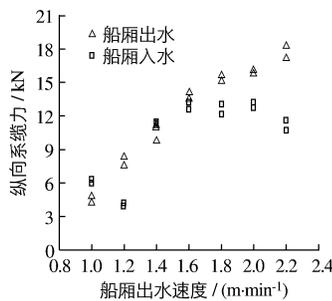


图6 下水式升船机船厢出入水船舶最大纵向系缆力  
Fig.6 Ship chamber's maximum longitudinal mooring force of the chamber-launching ship lift during chamber sinking into or going out of water

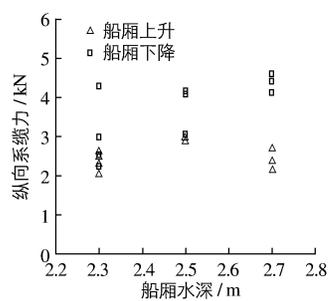


图7 思林升船机正常升、降过程船厢最大纵向系缆力  
Fig.7 Maximum longitudinal mooring force of Silin ship lift's chamber under normal operation condition

胡亚安等<sup>[4]</sup>还研究了船厢在运行状况下的波动特性,认为船厢入水时,船厢内水位最大波动主要发生在船厢入水停止后;船厢出水时,船厢最大波动主要发生在启动初期,而船厢运行速度对船厢内水面波动幅值影响较小,其规律见图8和9.

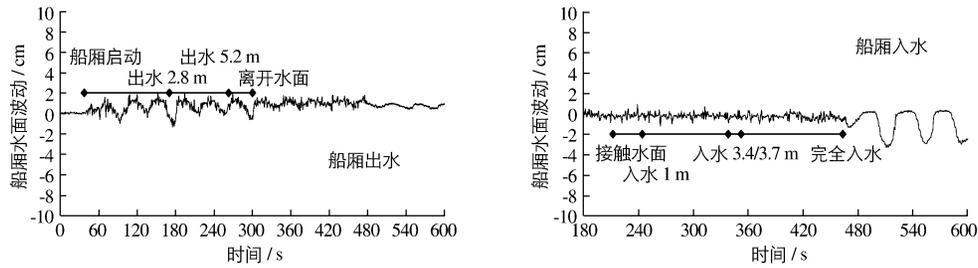


图8 船厢出入水厢内水体波动特性

Fig. 8 Wave fluctuation in the ship chamber during ship chamber sinking into or going out of water

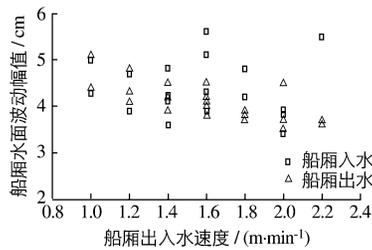


图9 船厢出入水速度与船厢内最大水面波动关系

Fig. 9 Relationship between maximum wave fluctuation in the ship chamber and velocity of the ship chamber sinking into or going out of water

### 2.3 船厢出入水过程中船池水体水力特性

船厢出入船池,导致船池内水体波动.船厢入水过程,船池内水体典型波动变化过程如图10所示.

包纲鉴等<sup>[3]</sup>通过模型试验分析了影响船池内水面波动的因素,认为船池内水面雍高与降低主要与船厢出入水速度、船池与下游连接段的断面面积有关,而水面波动的趋势是从船池封闭端逐渐向渠道方向减弱,当船厢以0.03 m/s的速度出入水时,船池内水面有一定波动,且出水比入水时水面降落明显,抬高下游水位,使得船池出口的过水断面面积有所增加,有利于船池内水体的调整.

包纲鉴等<sup>[12]</sup>从水力学原理出发,分析出船厢入水时船池水面升降的关系式:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{VC - \omega \frac{1}{\sqrt{1 + \xi}} \sqrt{2g\Delta h}}{\Omega - C} \quad (1)$$

式中: $\Omega$ 为船池室面积; $C$ 为承船厢水面面积; $\omega$ 为船池室出口过流断面面积; $V$ 为船厢入水速度; $\Delta h$ 为船池室水面升降值; $\xi$ 为与船池室、厢体形状、出水口的边界条件密切相关的参数,可通过试验研究求得.

根据式(1),分析出船池内水面最大雍高公式 $\Delta h_{\max} = (1 + \xi) \frac{v^2 C^2}{2g\omega^2}$ ,认为减小 $\Delta h_{\max}$ 最有效的措施是尽可能增加船池出流面积<sup>[12]</sup>.

胡亚安等<sup>[4]</sup>通过试验分析,认为在船厢型式、船池尺寸确定的情况下,船池内水面雍高和降低的幅度与船厢出入水方式密切相关.当船厢上升出水时,船池内水位下降值与船厢出水速度基本呈线性关系,船厢出水速度越快,船池内水面降低幅值越大,而水面雍高值较小,且受船厢出入水速度影响较小,其规律见图11(a);船厢下降入水时,船池内水面雍高值与船厢入水速度基本呈线性增长关系,船厢入水速度越快,船池内

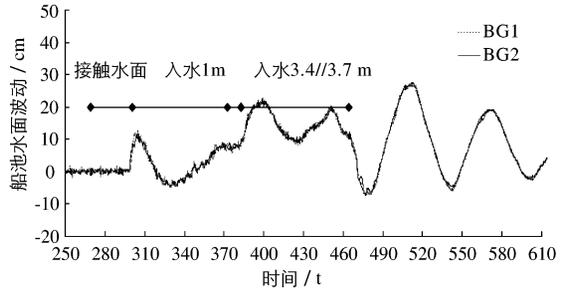


图10 船厢入水过程船池水体波动特性

Fig. 10 Wave fluctuation in the ship chamber pool during chamber sinking into water

水面雍高越大,而船池内水面下降值随船厢入水速度增大呈周期性变化,其规律见图 11(b).

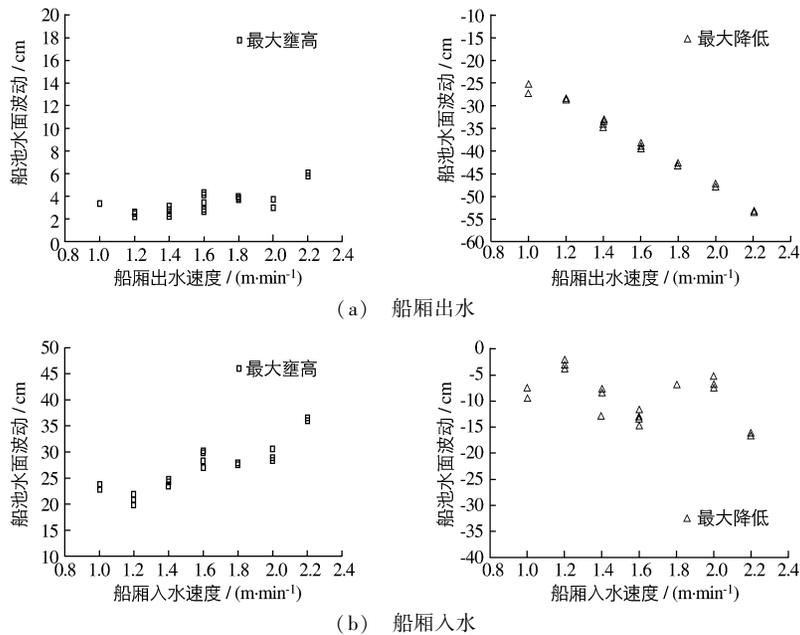


图 11 船厢出入水速度与船池水面波动关系

Fig. 11 Relationship between wave fluctuation in the ship chamber pool and velocity of chamber sinking into and going out water

## 2.4 船厢出入水时船厢所受附加荷载

承船厢出入水时受到的附加荷载(即浮托力、吸附力等)的大小,直接影响平衡重配置、主提升机零件强度计算及主机电动机容量大小,减小承船厢出入水时的附加荷载对主机强度设计与电机容量选择颇为有利<sup>[13]</sup>,为减小船厢附加荷载,前人进行了一些研究.

在相同的出入水速度下,减小船厢所受附加荷载的措施主要是优化船厢外形,乌江构皮滩第一、三级下水式升船机船厢横断面见图 12.

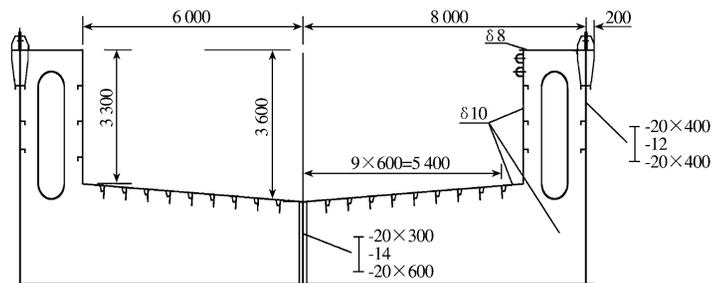


图 12 乌江构皮滩第一、三级下水式升船机船厢横断面(单位: mm)

Fig. 12 Ship chamber's cross section of the Goupitan first and third step chamber-launching ship lift (unit: mm)

岩滩升船机承船厢在设计中,主纵梁采用单腹板结构,主横梁水平段采用不等高结构,梁中至两端呈直线变化,两侧端的内侧及水平段、顶面设计成 U 型,在保证强度的条件下,尽可能减小主纵梁与主横梁下翼缘宽度;同时,在主纵梁、主横梁及小纵梁上开补(排)气孔,以降低船厢出入水时附加荷载的影响<sup>[13]</sup>.

包纲鉴等<sup>[3]</sup>通过试验验证了岩滩升船机船厢设计的合理性,发现船厢在出入水过程中无明显的拍击力和吸附力,也没有发现气泡的形成和排放,验证了船厢底部轮廓、通气孔尺寸布置的合理性;同时,在对岩滩升船机的原型观测<sup>[13]</sup>中发现,船厢出入水过程中升船机运行平稳,厢内水体波动很小,主机钢丝绳受力较均

匀,这些都充分说明了优化船厢底部型式对降低船厢附加荷载的有效性。

胡亚安等<sup>[4]</sup>通过构皮滩升船机模型试验,分析了钢丝绳受力变化曲线,如船厢出水过程提升荷载典型变化曲线(图13),分离出船厢在出入水过程中所受到的附加荷载,同时,分析了船厢开孔面积对附加荷载的影响,认为:(1)当船厢上的开孔面积增大到一定程度后,开孔对船厢浮托力的影响已不明显,船厢梁系翼缘单位面积受到的浮托力随船厢入水速度增加而增大,其规律见图14;(2)当船厢开孔面积增大到一定程度时,船厢开孔面积对降低船厢吸附力的效果也十分有限,此时的吸附力主要是受水的表面张力和船厢底部梁系翼缘的绕流阻力影响,此值的大小主要与船厢的运行速度有关,其规律见图15。

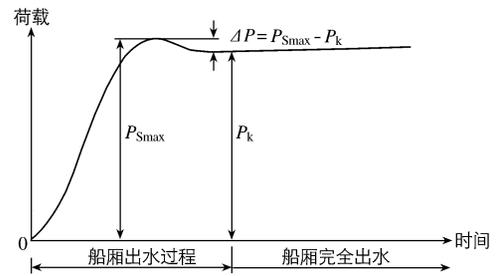


图13 船厢出水过程提升荷载变化曲线

Fig.13 Loading curve during chamber going out of water

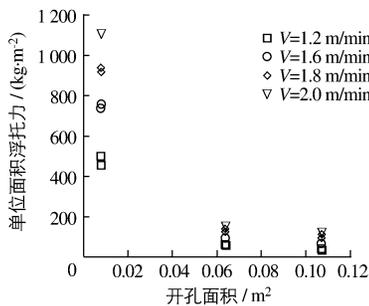


图14 单位面积浮托力与船厢开孔面积关系

Fig.14 Relationship between buoyancy per unit area and area of hole in the chamber

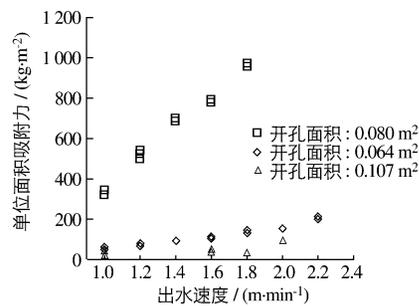


图15 单位面积吸附力与船厢出水速度关系

Fig.15 Relationship between adsorption force per unit area and velocity of chamber going out of water

胡亚安等<sup>[4]</sup>通过对构皮滩升船机试验实测数据的统计分析,首次建立船厢出入水过程附加水动力荷载精确计算方法,为下水式升船机最大提升力提供理论依据,其关系式为:

$$\sigma_c = 20 \times \ln(1.03 \times V_c) \tag{2}$$

式中: $\sigma_c$  为单位面积吸附力、上托力( $t/m^2$ ); $V_c$  为船厢速度( $m/min$ )。

### 2.5 船厢出入水过程中间渠道内水力特性

2007年李焱等<sup>[14]</sup>通过物理模型试验,介绍了在船厢出入水过程中,中间渠道内水流的波动形态及水力特性,分析了相应水力要素的变化规律,认为:(1)船厢出入水中间渠道内的水力特性属于浅水长波,在其未反射之前具有引航道的水力特性;当长度较小时,波动来回反射时,具有船闸集中输水时闸室的水力特性;同时还具有中间渠道振荡波特性的;浅水长波在传播的过程中,在某一时间段也伴随短波现象。(2)船厢出入水速度、渠道宽度和水深变化,对中间渠道水力要素和船舶系缆力均产生较大影响;出入水速度降低,渠道宽度和水深增大,对渠道内的水力条件和航行条件具有很大改善。(3)渠道水深的计算除考虑船舶吃水和富裕水深外,还应考虑船厢出入水造成的水位降低,可取波高的一半。

## 3 结 语

下水式钢丝绳卷扬垂直提升升船机水力特性研究的主要结论如下:

(1)下水式升船机水力学问题突出:船厢出入水过程挤压船池水体,一方面水流对船厢底部产生吸附力和拍击力,影响厢内船舶安全及升船机提升系统运行稳定性;另一方面船池水面波动亦对引航道水流条件产生不利影响。

(2)从升船机运行安全角度出发,初步提出了船厢出入水阶段速度控制标准,即船厢出水速度为 $0.026 \sim 0.030 \text{ m/s}$ ,船厢入水过程,船厢底部梁系以 $0.030 \text{ m/s}$ 速度入水,并在船厢底板接触水面前将船厢速度进一步降低到 $0.016 \sim 0.020 \text{ m/s}$ .

(3)优化船厢结构型式可有效降低船厢出入水引起的附加水动力荷载.

鉴于国内外下水式升船机应用实例较少,且目前研究主要结合具体工程,认为尚需对船厢出入水过程水力特性开展规律性的研究,系统研究船厢体型、船池体型、船厢与船池间隙比、船池出口面积、出入水速度、引航道型式等因素对船厢附加水动力荷载及船池波动幅值的影响;同时应加强数值模拟计算研究,研究船厢出入水过程船厢底部及船池流态变化;结合物理模型,深入探讨船厢受力、船厢运行平稳性、提升系统荷载变化特性等.

### 参 考 文 献:

- [1] 钮新强, 宋维邦. 船闸与升船机设计[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007: 268-270, 368-371. (NIU Xin-qiang, SONG Wei-bang. Ship lock and ship lift design[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2007: 268-270, 368-371. (in Chinese))
- [2] 胡亚安. 水力浮动式升船机应用基础研究[D]. 南京: 南京水利科学研究院, 2011. (HU Ya-an. Basic research and application of hydro-floating ship lift[D]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2011. (in Chinese))
- [3] 包纲鉴, 陈锦珍, 暴兴汉, 等. 广西岩滩升船机整体模型试验研究总报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 1996. (BAO Gang-jian, CHEN Jin-zhen, BAO Xing-han, et al. Report on the integral physical model test of Goupitan ship lift in Guangxi[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 1996. (in Chinese))
- [4] 胡亚安, 李中华. 构皮滩1:10船厢下水式升船机水动力学及运行安全研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2012. (HU Ya-an, LI Zhong-hua. Hydrodynamics and operation security research on the 1:10 chamber-launching ship lift of Goupitan hydropower station in Wujiang River[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2012. (in Chinese))
- [5] 孙鸿秉. 岩滩升船机结构布置及其特点[J]. 红水河, 1998, 17(3): 18-21, 29. (SUN Hong-bing. Expounding the structure layout and characteristics of Yantan ship lift[J]. Hongshui River, 1998, 17(3): 18-21, 29. (in Chinese))
- [6] 董博文. 下水式升船机电力拖动系统及驱动功率的优化选择[J]. 人民长江, 1996, 27(9): 10-12. (DONG Bo-wen. The optimized selection of the electric drive system and driving power for chamber-launching ship lift [J]. Yangze River, 1996, 27(9): 10-12. (in Chinese))
- [7] 孙鸿秉, 初曰亭. 岩滩垂直升船机技术研究及可靠性分析[J]. 水力发电, 2001(1): 32-36. (SUN Hong-bing, CHU Yue-ting. Discussions on the technical progress of the vertical ship elevator in Yantan Hydropower Project and its reliability[J]. Water Power, 2001(1): 32-36. (in Chinese))
- [8] 陆景孝. 钢丝绳卷扬平衡重式垂直升船机若干设计问题探讨[J]. 红水河, 1999, 18(4): 13-14, 30. (LU Jing-xiao. Discussions on the design of the wire-rope-hoisting balance type vertical ship lift[J]. Hongshui River, 1999, 18(4): 13-14, 30. (in Chinese))
- [9] 黄素新. 岩滩水电站 $1 \times 250\text{t}$ 级垂直升船机总体设计[J]. 红水河, 1999, 18(4): 5-12, 29. (HUANG Su-xin. General design of the  $1 \times 250\text{t}$  vertical ship lift of Yantan hydropower station [J]. Hongshui River, 1999, 18(4): 5-12, 29. (in Chinese))
- [10] 中华人民共和国交通运输部. 中国水运建设60年—建设技术卷[M]. 北京: 人民交通出版社, 2011: 507-535. (Ministry of Transport of the People's Republic of China. China port and waterway construction in the past 60 years—Construction technology volume[M]. Beijing: China Communications Press, 2011: 507-535. (in Chinese))
- [11] 胡亚安, 李中华. 乌江思林水电站垂直升船机1:10全整体物理模型试验研究报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2010. (HU Ya-an, LI Zhong-hua. Report on the 1:10 vertical ship lift integral physical model test of Silin hydropower station [R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2010. (in Chinese))
- [12] 包纲鉴, 陈锦珍. 卷扬垂直升船机水动力学一些问题的探讨[J]. 水利水运科学研究, 1998(4): 397-403. (BAO Gang-jian, CHEN Jin-zhen. Probe into hydrodynamics problems of hoisting vertical ship lift [J]. Journal of Nanjing Hydraulic Research Institute, 1998(4): 397-403. (in Chinese))

- [13] 宾仕勋. 岩滩升船机承船厢结构布置及参数选择[J]. 红水河, 1999, 18(4): 70-72, 89. (BIN Shi-xun. Structure layout and parameter selection of the ship chamber of the Yantan ship lift[J]. Hongshui River, 1999, 18(4): 70-72, 89. (in Chinese))
- [14] 李焱, 刘红华, 迟杰, 等. 升船机船厢出入水中间渠道内水力特性试验[J]. 水道港口, 2007, 28(1): 38-43. (LI Yan, LIU Hong-hua, CHI Jie, et al. Study on hydraulic characteristics for ship chamber falling and rising from water in the intermediate channel[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2007, 28(1): 38-43. (in Chinese))

## Review of hydraulic characteristics of the wirerope-hoisting chamber-launching vertical ship lift

WANG Jing-peng<sup>1,2</sup>, HU Ya-an<sup>1</sup>, LI Zhong-hua<sup>1</sup>

- (1. *Key Laboratory Navigation Structures, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;*  
2. *Hohai University, Nanjing 210098, China*)

**Abstract:** The chamber-launching ship lift can adapt to the larger water level range and the faster variable rate of water level. The rivers in central and western region in China have the characteristics of larger changes in water yield and water level with the seasons and straitness of the river regime, thus the chamber-launching ship lift has broad application prospect. Based on the researchs of Yantan and Goupitan ship lift, the paper summarizes the wirerope-hoisting chamber-launching vertical ship lift's characteristics, operation mode and hydrodynamic characteristics in process of the ship chamber sinking into or going out of water. And then, the paper gives a brief account of water fluctuation characteristics in the ship chamber and the ship chamber pool, and expounds the former's theoretical analysis and formula derivation; moreover, the paper sums up the mechanism of the ship chamber's additional load when the ship chamber sinking into or going out of water and some engineering measures to reduce the additional load, and introduces some related empirical formulae. In addition, the paper points out the focus of research in the next phase: the systematism and continuity of the hydrodynamic characteristics should be paid more attention to; the method of numerical simulation also should be strengthen; and a thorough investigation into the ship chamber stress, ship chamber operational safety and variation characteristics of the hoisting system in combination with model tests should be carried out.

**Key words:** wire rope-hoisting; chamber-launching ship lift; hydraulic characteristics; summarization