



提高三峡船闸通过能力的若干措施研究*

谢凯¹, 胡亚安², 周丰³

(1.长江三峡通航管理局, 湖北宜昌 443001; 2.南京水利科学研究院, 江苏南京 210029;
3.中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 三峡水库蓄水通航以来, 通过三峡坝区货运量持续增长, 通过能力已趋于饱和, 而且船舶大型化发展迅速, 目前通过船舶大约一半吃水大于原设计标准。科学合理挖掘船闸的富余水深, 增加过闸船舶吃水、提高船闸的通过量是当前需要解决的重要问题。采取理论与实船测试验证的方法, 对三峡船闸的运行方式和过闸船舶、船舶吃水控制标准计算方法、船舶过闸实船试验、过闸船舶吃水控制标准等进行了系统的研究, 取得了多项创新成果。

关键词: 三峡船闸; 过闸船舶吃水; 控制标准

中图分类号: U 641.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)02-0083-05

Measures to improve Three Gorges' lock capacity

XIE Kai¹, HU Ya-an², ZHOU Feng³

(1. Three Gorges Navigation Administration Bureau, Yichang 443001, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 3. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: After the impoundment and navigation of the Three Gorges reservoir, the volume of freight traffic passing through the Three Gorges dam area continues to grow, and the ability is tending saturated. Moreover, the vessels are getting to a tendency of great size and large tonnage, and nearly 50% of the passing ships' draught exceeds the designed standard. So it is an important matter to excavate under the kneel clearance to raise the passing ships' draught and boost the volume of the passing ships are the today's important problems. Combining the theoretical research with the on-board measurements, we carry out a systemic research on the running of the Three Gorges vessels, computing methods of the control standards about the volume and ship draught, on-board measurements of ships passing the lock and the control standards of the sea gauge, and have achieved several innovative achievements.

Keywords: Three Gorges lock; passing ship draught; controlling standard

1 三峡船闸设计概况

三峡船闸为双线V级连续船闸, 设计上游水位145~175 m(吴淞高程, 以下同), 下游水位62~73.8 m, 根据不同的上下游水位组合, 可采取IV级不补水、V级补水、V级不补水运行方式, 设计最小槛上水深5 m; 设计代表船型(推

轮+驳船)为1+4×3 000 t的万吨级船队, 船舶最大吃水3.3 m。

2 三峡船闸过闸船舶吃水控制标准

2.1 国内外船闸过闸船舶吃水标准

1) 国际航运协会给出的各级船闸门槛水

收稿日期: 2011-06-23

*基金项目: 西部交通建设科技项目(2009328023)

作者简介: 谢凯(1964—), 男, 教授级高工, 从事港口船闸工程专业。

深,考虑了船舶吃水、船舶航行下沉量、龙骨下富裕水深,推移波的影响需另外考虑。这主要是因为船舶过闸时闸室内的推移波既与闸室水深、闸室宽度等闸室条件有关,又与船舶吃水、船宽、航速等船舶条件有关,还与过闸船舶的排挡有关。

2)国内外现行过闸船舶吃水控制标准规定的最小水深吃水比普遍为1.5~1.6,从搜集到的过闸船舶吃水控制标准来看,欧美对船闸槛上水深吃水比的规定一般不小于1.5,其原因主要是欧美等国船闸普遍较窄,船舶过闸时受推移波影响较大,增加水深、增大船闸槛上水深吃水比,可有效控制推移波对过闸船舶的影响。而我国船闸闸室宽度相对较大,推移波影响较小,根据船闸运行的实际情况,在运用中可适当放宽吃水比要求。

2.2 过闸船舶

1) 过闸典型船舶。

选取2009年5月1日—2010年4月30日1 a间通过三峡船闸的船舶进行分析,共通过船舶51 341艘次,其中通过拖船2133艘次,占总量的4.15%,船舶类型主要为长航集团转闸拖轮船队和大功率自航船拖带驳船,船队吃水均在3.20 m以下。将51 341艘次过闸船舶按照船舶基本资料归类为2 948艘,吃水大于3.2 m的船舶总计1 447艘,占总数的49%,主要为散货船、集装箱船、商品滚装车船等。其中,船舶满载吃水3.2~3.5 m占17.83%,3.5~3.8 m占24.66%,4.2~5.2 m占统计资料的16.52%,3.2~4.5 m占总数的83.28%,大于4.5 m占总数的16.72%,船舶设计满载最大吃水5.2 m。根据现有主要船型及有关船型标准,考虑过闸船舶日趋大型化的发展,综合研究确定以确定75 m×12 m×3.8 m(长×宽×吃水,以下同),85 m×14 m×3.4~3.8 m,95 m×16 m×3.8~4.2 m和110 m×18 m×4~4.7 m共4种船型为实船试验典型船舶。

2) 过闸船舶进闸、移泊速度。

为确定实船试验的船舶进闸速度,在三峡船

闸Ⅳ级和Ⅴ级两种工况下,完成测试航速1 036艘次,包括进闸373艘次,移泊208艘次,出闸455艘次。其中:吃水3.8 m以上进闸船舶进闸速度观测36艘次,速度大于1 m/s的船舶2艘,最大值为1.39 m/s(吃水3.8 m),吃水大于3.9 m的船舶进闸速度均在0.8 m/s以内;移泊速度观测42艘次,速度大于0.6 m/s的船舶2艘,最大值为0.67 m/s(吃水3.9 m),吃水大于3.9 m的船舶移泊速度均在0.6 m/s以内;出闸速度观测35艘次,速度大于1 m/s的船舶15艘,最大值为2.09 m/s(吃水4.2 m)。因此确定实船试验进闸航速不大于1.5 m/s,移泊航速不大于1.0 m/s。

2.3 三峡船闸槛上水深

1)对不同上下游水位组合条件下的三峡船闸不同运行方式进行了分析研究,三峡船闸在Ⅳ级不补水运行时,最小槛上水深控制部位在三闸首,与上下游水位有关;Ⅴ级补水运行时,最小槛上水深控制部位在三闸首,与下游水位有关;Ⅴ级不补水运行时,最小槛上水深控制部位在六闸首,与上下游水位有关,主要控制在下游水位。三峡船闸理论上最小槛上水深5 m控制的时间74 d,最小槛上水深5.25 m控制的时间117 d,最小槛上水深5.5 m控制的时间174 d。

2)根据三峡水库运行规定,结合三峡运行方式进行了三峡水库调峰对船闸槛上水深的影响分析,下游水位下降对各闸首槛上水深均有影响,影响值从六闸首至二闸首逐渐减小。不同的闸次间隔时间及不同的计算状态,结果相似。在上游水位167~166 m,船闸Ⅴ级运行;上游水位165~153 m,船闸Ⅴ级补水运行;上游水位146~145 m,船闸Ⅳ级运行,在此范围内影响的控制部位在三闸首,其槛上水深小于下游水位,最低水深达5.32 m。其它时段控制部位在六闸首,最低水深5.5 m。

因此可以根据不同的槛上水深,确定相应的船舶吃水标准,提高船闸的通过量。

2.4 实船试验

1) 船舶下沉量观测研究。

根据船舶的航行特点,通过闸首控制室设置固定测站测量水位波动,船舶与船艏各设置流动测站同步测量航速、船舶下沉、富裕水深等相关参数,综合分析确定船舶的航行下沉量。进行了24艘次,48组次的船舶下沉量实船测试。结合相关模型研究,船舶综合下沉量 δ 主要与闸室过水断面面积 F 、船舶中断面水面以下部分的面积 f ,船舶航速 v 等因素有关,建立了相应的函数关系:

$$\delta = -15.026K^2 + 3.923K + 0.0267 \quad (1)$$

$$K = \frac{v^2}{2gH} \left[\left(\frac{F}{F-f} \right)^2 - 1 \right] \quad (2)$$

式中: δ 为船舶航行综合下沉量(m), H 为闸室水深(m), v 为船舶对水相对航速(m/s), F 为闸室水下横断面面积(m²), f 为船舶水下横断面面积(m²)。

实船试验数据的相关性达0.96,可以通过该公式预测船舶的综合下沉量。

2) 船舶停泊条件观测研究。

采用调水方式,模拟槛上水深5 m, 5.5 m, 工作水头45 m状态下,船舶在闸室内的停泊条件,实测4 500吨级船舶系缆力60~70 kN,最大近80 kN,超过设计允许系缆力的合力60 kN值。船闸五级运行最小水深5.5 m,5 000吨级船舶系缆力90~100 kN,最大近170 kN;7 000吨级船舶高达150~180 kN,最大超过200 kN。4.5 m吃水5 000吨级以上大型船舶闸室停泊系缆力值远超过闸墙及浮式系船柱的设计极限。闸室停泊条件成为吃水控制标准提高的制约因素。

3 三峡船闸过闸船舶吃水控制标准和配套措施

3.1 标准参数的确定

1) 上游水位的确定。

根据《三峡—葛洲坝初期运行期梯级调度规程》,三峡库区水位一般在每年的1月底开始下降,至5月30日前三峡船闸上游水位高于155 m,6月1—10日快速下降至汛限水位145 m,6月10日—9月15日为汛期,维持在145 m运行。汛末提前蓄

水,一般每年9月10日左右起蓄水,并且进行蓄水过程控制,9月底一般不超过156 m。10月底蓄水至最高水位175 m以后保持高水位运行。因此每年10月21日—次年3月31日,共计162 d,坝上水位按166.8 m选取;4月1日—5月31日,共计61 d,坝上水位按155 m选取;6月1日—9月30日,共计122 d,坝上水位按145 m选取;10月1日—10月20日,20 d时间坝上水位按155 m选取。

2) 下游水位。

根据《三峡—葛洲坝初期运行期梯级调度规程》,坝下水位按枯水期62.5 m和汛期63 m。

三峡坝下水位与葛洲坝水位及三峡出库流量有关。三峡坝下水位一般高于葛洲坝坝上水位,其水位差随着三峡出库流量的增大而增加。结合2007—2010年共计1 461 d的实际统计资料,2007—2010年6—9月三峡坝下水位最低分别为65.97 m、65.13 m、65.11 m和65.44 m,均高于64 m。因此,汛期考虑坝下水位按每年6—9月64.00 m选取。枯水期(即每年10月—次年5月)坝下水位考虑按63 m选取。

3) 不触底富裕水深。

在《内河通航标准》^[1]中,对不触底的安全富余量 ΔH 的取值并无明确说明,仅在条文说明中规定“对卵石和岩石质河床富裕水深值应另加0.1~0.2 m”。根据《航道工程手册》^[2]的调查资料,对Ⅰ~Ⅲ级航道船舶不触底安全富裕量一般为0.2 m,由于船闸底部类似卵石和岩石质河床应按硬底质考虑,因此应在此基础上增加0.1~0.2 m,即Ⅰ~Ⅲ级航道船闸的不触底安全富裕量应大于0.3~0.4 m;考虑到本研究已考虑闸室水位波动等因素,三峡船闸过闸船舶的不触底安全富裕量 ΔH 按0.3 m取。

4) 船舶进闸速度。

按有关规定,船舶进闸速度为1.0 m/s,根据现场原型观测,大型船舶的速度基本满足其要求;同时根据船闸前水流观测,回流速度最大0.3 m/s,因此计算船舶进闸相对水流速度取1.3 m/s。

5) 船舶装载纵倾安全富裕。

根据三峡船闸过闸船舶可能存在初始装载纵倾的实际情况,综合海事部门提出的安全管理要求,拟在不触底安全富裕基础上另外增加船舶装载纵倾安全富裕。船舶装载纵倾安全富裕 t 按0.15 m取值。

6) 不同船舶吃水控制标准的运行时间。

根据三峡水库调度计划及上下游水位组合,合理确定了计算三峡船闸槛上水深的上下游水位参数。三峡船闸每年10月20日—次年3月31日,槛上水深可维持不低于6 m;4月1日—5月31日,槛上水深不小于5.125 m;汛期6月1日—9月30日,槛上水深可不小于5.5 m;10月1日—10月20日,槛上水深可不小于5.125 m。因此,分别以最小槛上水深5 m, 5.125 m, 5.5 m和6.0 m共4个档次为提出过闸船舶吃水控制标准。

3.2 通过三峡船闸船舶吃水控制标准

1) 过闸船舶吃水控制标准计算。

$$H=T+\Delta H+\delta+t \quad (3)$$

式中: H 为船闸门槛水深; T 为允许过闸船舶的最大吃水; ΔH 为安全富裕; t 为船舶纵倾; δ 为综合下沉量。

根据(1)和(3)分别计算不同槛上水深时的船舶吃水控制条件,结合闸室停泊条件确定过闸船舶吃水控制标准。

2) 三峡船闸设计最小槛上水深为5 m时。考虑现有过闸的船型最大宽度19.2 m,当槛上水深5 m时,吃水为3.9 m的船舶,最大下沉量0.65 m,安全富裕为0.3 m。同时,实船测试结果表明,吃水4.2 m及以下的典型船舶满足船舶闸室停泊条件。因此设计最小槛上水深情况下,过闸船舶吃水可按3.9 m控制。

3) 槛上水深5.125 m,船舶对水速度1.3 m/s,吃水为4.0 m的船舶,最大下沉量0.66 m,安全富裕为0.315 m,满足不小于0.3 m要求。同时,实船测试结果表明,吃水4.2 m及以下的典型船舶满足船舶闸室停泊条件。因此最小槛上水深5.125 m

时,过闸船舶吃水可按4.0 m控制。

4) 槛上水深5.5 m,船舶对水速度1.3 m/s,吃水为4.3 m的船舶,最大下沉量为0.65 m,安全富裕为0.4 m,大于0.3 m要求。同时,实船测试结果表明,吃水4.3 m典型船舶基本满足船舶闸室停泊条件。因此最小槛上水深5.5 m时,过闸船舶吃水可按4.3 m控制。

5) 槛上水深6.0 m,进出闸速度1.3 m/s情况下,当下沉量为0.72 m时,允许过闸船舶最大吃水可达4.8 m。但是,实船测试结果表明在小富裕水深情况,实载5 000吨级吃水4.5 m大型船舶系缆力普遍超过100 kN,超过闸墙及浮式系船柱的设计极限,威胁到船舶停泊安全及闸室结构的安全,此时安全富裕不能仅仅考虑触底安全富裕,需进一步增加安全富裕量。因此最小槛上水深6 m时,过闸船舶吃水可按4.5 m控制,其实载质量须控制在5 000 t以内。

6) 危险品船舶过闸吃水控制标准。三峡大坝安全关系重大,根据航道管理规范性文件《内河通航标准》^[1]以及《船舶航行富裕水深的规定(试行)》^[3]等都对危险品船舶吃水控制作出了在普通船舶基础上增加富裕水深0.1~0.2 m的要求。因此危险品船舶的吃水标准在普通船舶吃水标准的基础上减小0.1 m。

7) 公布方式。三峡局通过政务网站、通航信息服务电话、航行通告、GPS短信、VHF、长江信息联播等方式对外公布。正常情况下实行定期公布,即每月20日或以前公布下月1—31日之间的船舶吃水控制标准。当水位变化较大,不定期发布吃水控制标准调整信息,及时向相关单位和船舶传递。

8) 政策建议。通过分析三峡船闸过闸船舶吃水标准和三峡船闸通过能力情况,提出了关于通过三峡船闸船舶标准化,长江全线维护水深匹配,完善枢纽交通、水利和电力协调机制,进一步加大船舶诚信管理制度的执行力度,明确三峡船闸下游最低通航水位63 m,开展葛洲坝船闸通航标准研究等建议。

4 结论

1) 根据三峡船闸过闸船舶及船闸运行情况, 三峡船闸的过闸船舶吃水控制标准可以适当提高。

2) 三峡船闸在槛上水深5 m时可通过的船舶控制吃水为3.9 m, 三峡船闸在槛上水深5.125 m时可通过的船舶控制吃水为4.0 m, 在槛上水深5.5 m时可通过的船舶控制吃水为4.3 m, 在槛上水深6.0 m时可通过的船舶控制吃水为4.5 m且实际载质量不大于5 000 t。

3) 三峡船闸过闸船舶吃水控制新标准, 综合分析不触底安全富裕量和船舶停泊条件满足运行

安全要求。

4) 在现有运力条件下按4.2~4.5 m分段控制, 三峡船闸单向可比原标准提高通过量2 160万t; 充分大型化条件下, 按4.2~4.5 m分段控制, 三峡船闸单向可比原标准提高通过量3 230万t。

参考文献:

- [1] GB 50139—2004 内河通航标准[S].
- [2] 周冠伦. 航道工程手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [3] 江苏海事局. 船舶航行富裕水深的规定[R]. 南京: 江苏海事局, 2001.

(本文编辑 武亚庆)

《水运工程》优秀论文评选

评委点评:

三峡工程建设, 航运是三大效益之一。目前, 船闸通过能力已成为制约长江上游航运发展的瓶颈。为适应船舶大型化发展需求, 挖掘船闸潜力, 论文采取理论研究和实船试验验证的方法, 不囿于传统, 突破陈规、大胆探索, 在过闸船舶吃水控制标准、水位确定、富裕水深、进门速度等方面在理论和实践上都取得了创新成果。并归结为措施若干, 指导通航管理, 获得效益十分显著。多年研究演绎成文, 成行业技术进步标杆; 获优秀论文, 实至名归。惟愿继续探索, 措施升华为标准, 在黄金水道建设中发挥更大效益。

何光春

2014年12月

评委简历:



何光春, 教授, 重庆西南水运工程科学研究所所长。

主持研究了多项省、部、市科技项目, 十多项重大工程的设计和数十项重大工程的技术咨询。先后获省部级科技进步奖、优秀设计奖、优秀咨询成果奖、教学成果奖及个人荣誉奖励14个。出版专著3部, 发表论文约50余篇。