

长江三峡、葛洲坝水利枢纽 通航建筑物总体布置研究

主 编 / 梁应辰 副主编 / 涂启明 魏京昌



人民交通出版社

长江三峡、葛洲坝水利枢纽 通航建筑物总体布置研究

主 编 / 梁应辰 副主编 / 涂启明 魏京昌



人民交通出版社

内 容 提 要

本书介绍了长江三峡水利枢纽通航标准、通航建筑物总体布置、坝区河势和泥沙淤积与防治及冲沙设施、通航水流条件与措施,高水头船闸、升船机方案、引航道尺度及布置,通航设施、施工通航等的研究;葛洲坝水利枢纽通航建筑物总体设计,1号、2号、3号船闸设计及运用,泥沙和通航水流条件,南津关航道整治,两坝通航建筑物联合运转等。

本书可供从事航运、水利、水电工程设计、科研、管理人员及有关高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

长江三峡、葛洲坝水利枢纽通航建筑物总体布置研究/
梁应辰主编. —北京:人民交通出版社,2003.1
ISBN 7-114-04540-9

I.长... II.梁... III.①水利枢纽,三峡—通航
建筑物—布局—总体规划—研究②水利枢纽,葛洲坝水
库—通航建筑物—布局—总体规划—研究 IV.U64

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第104847号

长江三峡、葛洲坝水利枢纽 通航建筑物总体布置研究

主 编 梁应辰

副主编 涂启明

魏京昌

责任校对:尹 静 责任印制:张 恺

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号 010-64299025)

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷有限公司印刷

开本:787×1092 1/16 印张:23.5 字数:595千

2003年7月 第1版

2003年7月 第1版 第1次印刷

印数:001—500册 定价:85.00元

ISBN 7-114-04540-9

目 录

总论	1
----	---

长江三峡水利枢纽

前言	5
三峡水利枢纽通航标准研究	6
三峡水利枢纽船闸方案研究	18
三峡水利枢纽升船机方案研究	48
三峡水利枢纽通航建筑物总体布置研究	62
三峡水利枢纽通航建筑物上引航道布置方案研究	76
三峡水利枢纽通航建筑物引航道布置建议方案研究	79
三峡水利枢纽冲沙工程研究	103
三峡水利枢纽施工期通航方案研究	134
三峡水利枢纽坝区航运配套设施建设	158
三峡和葛洲坝水利枢纽船队(舶)过坝联合运行研究	168
三峡水利枢纽工程航运泥沙防治问题	192
三峡水利枢纽通航建筑物布置大事记	195

长江葛洲坝水利枢纽

前言	211
葛洲坝水利枢纽通航建筑物设计及其主要经验和教训	213
葛洲坝水利枢纽大江航道船闸总体设计和运用	249
葛洲坝水利枢纽 2 号船闸设计	282
葛洲坝水利枢纽 3 号船闸设计	299
葛洲坝水利枢纽三江航道防淤减淤措施的试验研究	319
葛洲坝水利枢纽三江航道船闸运用期泥沙冲淤规律初析	331
葛洲坝水利枢纽 3 号船闸的运行	339
充分发挥葛洲坝水利枢纽两线三闸的优势	344
葛洲坝水利枢纽通航建筑物工程大事记	350
后记	372

总 论

梁应辰
(院 士)

葛洲坝水利枢纽开创了我国高水头大中型通航水利枢纽通航建筑物建设的新纪元。

葛洲坝水利枢纽是三峡水利枢纽的航运梯级。周恩来总理在葛洲坝水利枢纽兴建之初,就以其伟大政治家的远见指出:葛洲坝工程是三峡工程的实战准备。

葛洲坝水利枢纽通航建筑物建设基本是成功的:1981年以来三江2号和3号船闸及其引航道等投产20余年运行基本正常;1990年大江1号船闸及其引航道等投产后,除因下游引航道部分工程未完汛期大流量期间受影响外,中枯水期间运行也基本是正常的。但葛洲坝水利枢纽建设也存在严重的缺点,要深入吸取教训,既要为葛洲坝水利枢纽建设存在的缺点进行补救,更要为三峡水利枢纽通航建筑物建设提供经验。当然,也包括吸取教训在内,教训吸取了也是经验。

葛洲坝水利枢纽通航建筑物建设的经验和教训是丰富的,多方面的,包括总体布置、输水系统、水工结构、闸阀门金属结构及其启闭机械和电气等。但是,其中最关键的还是总体布置方面,受地形等影响,解决山区和丘陵地区通航枢纽的通航水流条件等有极大的难度,特别是在多沙河流河段,同时解决碍航泥沙淤积和通航水流条件就更困难。葛洲坝水利枢纽建设就是在丘陵地区多沙河流的长江干流上建设大型通航枢纽的,它的经验和教训因此也是非常宝贵的。

科研是解决重大关键技术问题的钥匙和手段。葛洲坝水利枢纽建设中,特别是如何解决航运与碍航泥沙淤积问题的总体布置方面,主要依靠了科技攻关,依靠了在科研和设计中的创新活动。

三峡水利枢纽通航建筑物建设充分利用了葛洲坝水利枢纽通航建筑物建设中的经验和教训,结合三峡工程特点,组织进行了大量的科学试验、研究、分析和论证,聘请了各方面与航运建设有关专业的专家,进行了咨询和审查,使三峡工程建设特别是总体布置方面的很多技术问题得以解决或找出了解决的方向,并使我们通航建筑物总体布置的技术水平更上了一层楼。

西部大开发是党和国家伟大的战略部署。西部大开发特别是开发大西南给予了内河航运突出的机遇和任务。长江和珠江的上游干流及一些大支流位于大西南山区,矿藏丰富,竹木繁盛,可以形成大宗货源,但其产品不利远程陆运。大西南河流水量充沛,但山区河流落差较大,山路崎岖,水流湍急,作为大宗货运,开展大中型船队(舶)运输也有困难。国内外经验证明:如果采用梯级开发,水运的优越性将十分明显。开发大西南交通方面重点是资源性大运量物资的运输。大西南山多水多,这是内河航运运输的基本条件和优势。通过高坝通航,内河航运固有的优势,几乎可以全部发挥和体现出来,包括:运输量大、运距长、占地少、投资省、环境影响少、运价低等,在水资源综合利用条件下水运大有用武之地。因此,三峡和葛洲坝水利枢纽通

航建筑物总体布置和其他方面研究就显得极为突出和重要。作为参加了葛洲坝和三峡水利枢纽通航建筑物建设的交通部门科研、规划、设计、施工和航运方面的人员有责任研究总结工作中的经验和教训,为建设三峡工程和开发大西南有关通航枢纽贡献自己的力量。

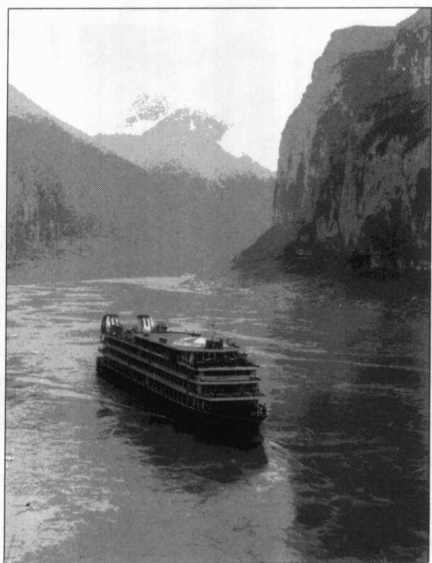
三峡工程正在兴建,葛洲坝工程大江部分尚有引航道部分工程未完。因此,本书包括的只能是两个枢纽兴建和运行过程中一个阶段的研究和论证内容。又由于我们技术水平和掌握的材料有限,错误和缺点在所难免,诚恳欢迎提出批评和指正。

梁应辰

2002年8月30日

长 江 三 峡

水利枢纽



前 言

梁应辰
(院 士)

根据七届全国人大五次会议通过的《关于兴建长江三峡工程的决议》，航运被确定为三峡水利枢纽三大效益中的第三大效益。但很多了解三峡工程的水利专家认为，航运中的重大技术问题在三峡工程中难度却是最大的，数量上相对也最多，我们认为这种论断是有道理的，因为三峡工程航运建设中的一些重大技术问题在国内外通航建筑物建设中尚未碰到过。

三峡水利枢纽通航建筑物建设中的最重大关键技术问题与葛洲坝水利枢纽相同，仍然是泥沙淤积碍航问题。泥沙淤积严重影响通航水流条件，从而影响建坝通航并涉及到三峡工程通航建筑物总体布置的各个方面，对此，本书较全面地分别进行了论述，并较充分地吸取了葛洲坝工程建设的经验和教训，其中坝区冲沙工程由于一些原因，尚未完成科研和设计工作，当然也还没有按照初步设计和单项技术设计审查意见进行必要的工程措施，作为当前泥沙淤积碍航关键技术问题的重中之重，特专门另文进行了论证。

三峡水利枢纽坝区地形、地质、水文地质、水文和泥沙等自然条件异常复杂，三峡水利枢纽通航建筑物特别是永久船闸的技术要求条件极高。因此，从枢纽设计开始起，船闸方案研究比较工作就非常突出并引起各方重视了。

三峡水利枢纽永久船闸位于坝区左侧。1984年起和1986~1988年三峡工程重新论证期间船闸方案研究曾做过两类方案：连续四级、五级布置方案和分散二级、三级布置方案。两类方案从总体布置主要是船闸线路和布置、解决碍航泥沙淤积、通航水流条件和运行条件，输水系统重点是阀门水力学、闸室输水系统和泄水方案，水工结构重点是各闸首、闸室衬砌结构，高陡边坡开挖稳定及其支护和排水，船闸金属结构及启闭机械和电气等，都做了比较长期、全面的研究和论证，并分别做了大量卓有成效的科研试验工作，取得了丰硕的成果。1992年初为初步设计审查做准备，作为先期专题审查之一，经过技术讨论会初选采用了双线连续五级船闸方案，尔后，并为初步设计审查最终选定。但是，作为方案研究，两类方案是各有其自己的优势和特点的。双线分散三级船闸方案取得的科研和设计成果是非常丰富和宝贵的，一方面为双线连续五级船闸方案吸取并优化设计，另一方面在条件类似的水利枢纽通航建筑物建设中也可作为重要的参考和利用。

葛洲坝水利枢纽是三峡水利枢纽的航运梯级。从航运角度看，三峡和葛洲坝水利枢纽实际是一个枢纽的两个部分，两坝的过坝运输组织、运行调度和管理是一个不可分开的整体，枢纽的运行管理范围最终将从三峡水利枢纽坝上庙河锚地到葛洲坝水利枢纽坝下艾家河锚地。考虑到当前三峡工程坝区建设的(投资范围)实际条件，本书研究的重点是从上游庙河到莲沱的38km范围，莲沱以下及上下游航道有关问题只能做重点简要论述。

航运配套设施是通航建筑物的重要组成部分，三峡工程施工期通航极为必要和重要，两者与三峡工程通航建筑物总体布置的关系至为密切，因此都纳入本书中分别进行研究。

三峡水利枢纽通航标准研究

涂启明

(教授级高级工程师)

一、概述

为配合三峡水利枢纽可行性研究、论证和设计。从 1983 年 5 月国家组织审查《长江三峡水利枢纽工程可行性研究报告》(正常蓄水位 150m 方案)之后,我们就开始组织对三峡水利枢纽通航标准研究。研究采用调查、现场考察、收集国内外资料、原型观测、实船模拟实验、模型试验、电子模拟试验、综合分析论证等。通航标准要求达到船舶、船队航行过闸安全、通畅、快捷、有利于提高航运效益和社会效益。研究成果——《三峡工程通航标准》由交通部三峡工程航运领导小组办公室先后于 1987 年 2 月 19 日(供可行性论证阶段工作用)和 1992 年 4 月 23 日(供设计和科研试验用)印发。对规范三峡水利枢纽通航建筑物可行性论证、设计和科研工作起到了积极作用。

二、船型船队选择

从重庆九龙坡至武汉间通过三峡水利枢纽的船型船队,关系到三峡水利枢纽通航建筑物的通过能力和三峡工程的航运效益。选择其标准规模尺度要考虑船队标准尺度与通航建筑物尺度相适应,达到通过能力最大,渝汉间航道尺度和通航条件,万吨级船队渝汉直达保证率高和三峡工程航运效益最好。按照确定的三峡工程正常蓄水位 175—145—155m 方案,三峡工程建成后,渝汉间航道尚存在库尾铜罗峡、黄草峡;两坝间水田角、喜滩、石牌、葛洲坝三江和大江航道下口门;宜昌下游昌门溪、芦家河等万吨级船队通航的卡关条件。为研究万吨级船队渝汉直达通航可行性和通航保证率,先后于 1986 年 3 月和 1988 年 8 月、1990 年 5 月和 6 月在葛洲坝船闸和石牌弯道(图 1),喜滩(图 2),铜罗峡(图 3)进行了万吨级船队实船模拟试验。成果表明,通过整治,万吨级船队通过铜罗峡、黄草峡的流量可达 $15\ 000\text{m}^3/\text{s}$,两坝间通航流量可达 $20\ 000\text{m}^3/\text{s}$,昌门溪通航流量可达 $30\ 000\text{m}^3/\text{s}$,芦家河通过整治可实现万吨级船队顺利通航。万吨级船队渝汉直达通航保证率 50%,经综合分析论证,选择 5 种万吨级船队和 1 种干支直达 3 000t 船队为三峡水利枢纽过坝船队(表 1),在汛期可将 6 000t 船队重新编成万吨级船队过闸,即可不降低船闸通过能力。

三峡水利枢纽设计过坝船型船队

表 1

序 号	船队组成 (推船 + 驳船)	船队尺度(m) (长 × 宽 × 吃水)
1	1 + 6 × 500t	126 × 32.4 × 2.2
2	1 + 9 × 1 000t	264 × 32.4 × 2.8
3	1 + 9 × 1 500t	248 × 32.4 × 3.0
4	1 + 6 × 2 000t	196 × 32.4 × 3.1
5	1 + 4 × 3 000t	196 × 32.4 × 3.3
6	1 + 4 × 3 000t(油)	219 × 32.4 × 3.3

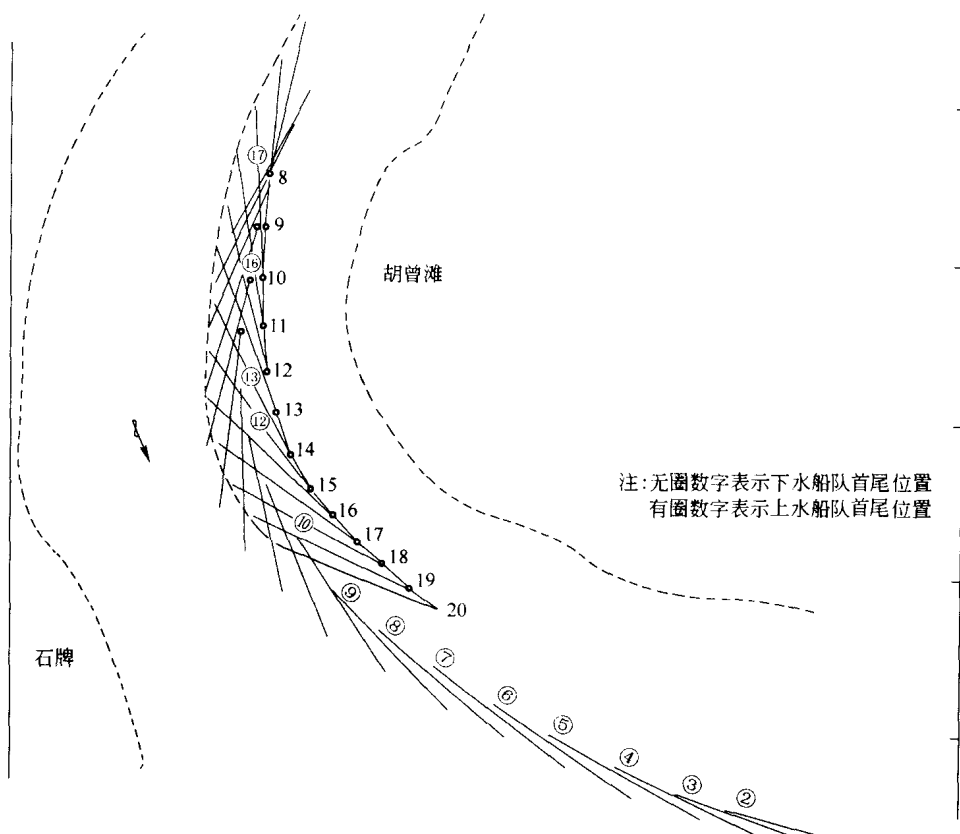


图1 长江 02021+9×1 000t 船队石碑弯道上下水航迹图

三、航道尺度标准研究

航道尺度标准包括航道最小水深、宽度和最小弯曲半径。

(一) 航道最小水深

$$H = T + \Delta H \quad (1)$$

式中: H ——航道最小水深(m);

T ——设计船舶、船队满载吃水(m);

ΔH ——富余水深。指船舶、船队在满载时,静浮状态船底龙骨至航道底最高点的净距离,是保证船舶、船队安全航行,确定航道水深的一项重要指标。包括:

1. 船舶、船队航行下沉量;
2. 波浪引起的船舶、船队摇荡;
3. 航道淤积;
4. 船舶编队引起的吃水增(减)值;
5. 水位、水深测量误差;
6. 施工预留超深;
7. 触底安全富余量。

以上各项最主要是船舶、船队航行下沉量 ΔT 和触底安全富余量两项,即:

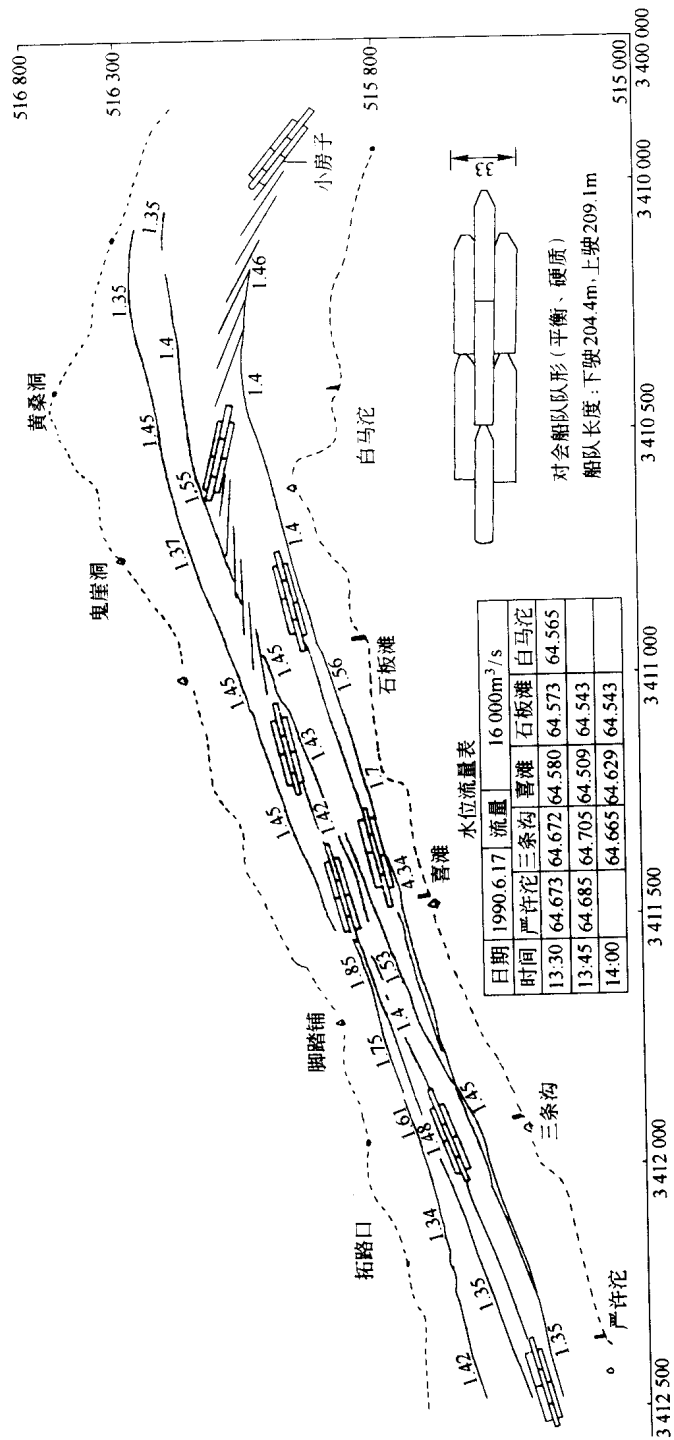


图2 喜滩万吨级航队对会实船模拟试验图

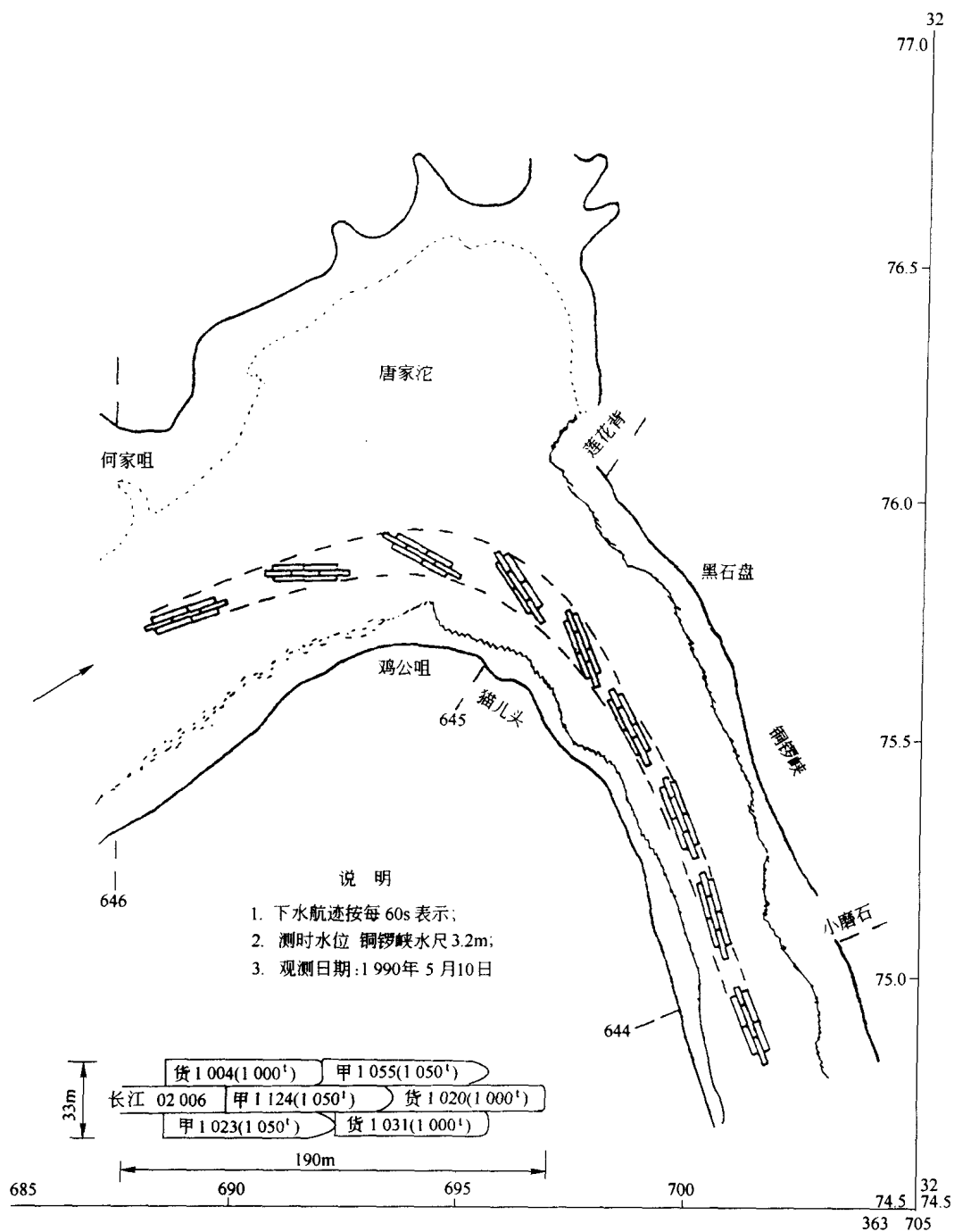


图 3 铜锣峡万吨级船队实船模拟试验图

富余水深 $\Delta T = \text{船舶、船队航行下沉量} + \text{触底安全富余量} \Delta d$ 。据长江和俄罗斯伏尔加河船舶、船队发生搁浅、碰底事故的实测资料,并参考实船试验与模型试验成果,富余水深可采用 0.25 ~ 0.35m。

鉴于三峡工程建成后,渝汉间航道条件,船队吃水 3.3m,采用航道最小水深 3.5m,远景发展到 4.0m。

(二) 航道最小宽度

1. 单线直段航道宽度可按下式计算

$$B_{01} = L_{c1} \sin \beta + b_{c1} \cos \beta + 2\Delta b_{c1} \quad (2)$$

式中: B_{01} ——单线直段航道宽度(m);

L_{c1} ——下行船队长度 264m;

b_{c1} ——下行船队宽度 32.4m;

β ——船队在航行中的漂角,根据实船模拟试验,取 $\beta = 8^\circ$;

Δb_{c1} ——航行船队外舷与航道有效宽度底边线间安全距离,取 $\Delta b_{c1} = 16\text{m}$ 。

按以上各项参数,得单线直段航道宽度 $B_{01} = 100.78\text{m}$,取 $B_{c1} = 100\text{m}$ 。

2. 双线直段航道宽度可按下式计算

$$B_{02} = L_{c1} \sin \beta + b_{c1} \cos \beta + L_{c2} \sin \beta + b_{c2} \cos \beta + \Delta b + 2\Delta b_{c1} \quad (3)$$

式中: L_{c2} 、 b_{c2} ——上行船队的长度和宽度,分别为 264m 和 32.4m;

Δb_c ——两行船队间的安全距离,取 32.4m。

计算得双线直段航道宽度 201.5m,取 200m。

(三) 最小弯曲半径

根据万吨级船队实船模拟试验成果,渝汉间航道的最小弯曲半径应为 $R = 3.8L_c$,即 $R = 3.8 \times 264 = 1003.2\text{m}$,取 1000m。个别弯曲河段,在河道宽度较宽时,如两坝间石碑弯道弯曲半径 780m,由于其航道宽度达 345m,已超过船队长 264m,远大于双线航道宽度,经万吨级船队实船模拟试验表明,在石碑弯道具体条件下,万吨级船队可双向通航(见图 1)。故该道的弯曲半径允许为 800m。

当航道弯曲时,弯航道应加宽,加宽值可按下式确定:

$$\Delta B = \frac{L_c^2}{2R + B_0} \quad (4)$$

当 $R \geq 7L_c$ 时,弯航道可不加宽;

当弯曲中心角 $\geq 35^\circ$ 时,按(4)式确定的 ΔB 还应适当加大。

四、通航建筑物规模与尺度

永久通航建筑物的能力和规模采用与下游葛洲坝船闸能力和规模匹配,即两线航道三座船闸,年单向下水通过货运量 $5000 \times 10^4\text{t}$,客运量 390 万人次。其规模为双线船闸和一线升船机。

船闸有效尺度为 $280 \times 34 \times 5\text{m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 门槛最小水深);

升船机有效尺度为 $120 \times 18 \times 3.5\text{m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 门槛水深)。

五、引航道尺度

引航道是连接上下游航道与船闸的限制性航道,过闸船舶、船队由相对宽阔的动水区进入狭窄的静水引航道,其尺度与船舶、船队安全、通畅、快捷过闸关系密切,是关系到通航建筑物通过能力,发挥航运效益的重大问题。涉及船舶操纵、水力学、工程建筑等边缘学科,采用了实船试验,船舶电子模拟器,参考工程实例,依据《船闸设计规范》,综合分析论证确定。所定尺度是按两线船闸共用引航道,船舶、船队过闸运行所需的最小尺度,当通航建筑物总体布置为改善通航水流条件、防淤、冲淤、清淤等需要加长、加宽、加深时,应在此基础上加长、加宽、加深。

(一)引航道长度

引航道长度包括直线段长度与制动段长度之和,及其总体布置所需要的长度。

1. 引航道直线段长度 L

按《船闸设计规范》引航道直线段长度含导航段、调顺段、停泊段,总长度为:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 \quad (5)$$

式中: L_1 、 L_2 、 L_3 ——分别为导航、调顺、停泊段长度。

(1) 导航段长度 L_1

$$L_1 \geq L_c \quad (6)$$

式中: L_c ——设计最大船队长度,即 $L_1 \geq 264\text{m}$ 。

(2) 调顺段长度 L_2

$$L_2 \geq (1.5 \sim 2.0) L_c \quad (7)$$

(3) 停泊段长度 L_3

$$L_3 \geq L_c \quad (8)$$

为论证调顺段长度,于1986年3月27日至30日在长江葛洲坝三江航道2号船闸进行万吨级船队过闸实船试验,试验采用 $1+9 \times 1000\text{t}$ 、 $1+6 \times 1000\text{t}$ 两种顶推船队,按曲线进闸和曲线出闸两种运行方式进行过闸试验。试验结果为,调顺段长为, $1+9 \times 1000\text{t}$ 船队下水曲线进闸(图4), $l_2 = 564\text{m} = 2.13L_c$, 曲线出闸 $l_2 = 576\text{m} = 2.18L_c$, $1+6 \times 1000\text{t}$ 船队下水曲线出闸(图5), $l_2 = 325\text{m} = 1.66L_c$, 曲线出闸 $l_2 = 384 = 1.96L_c$ (图6)。表明, L_c 愈长,调顺船队愈困难,需

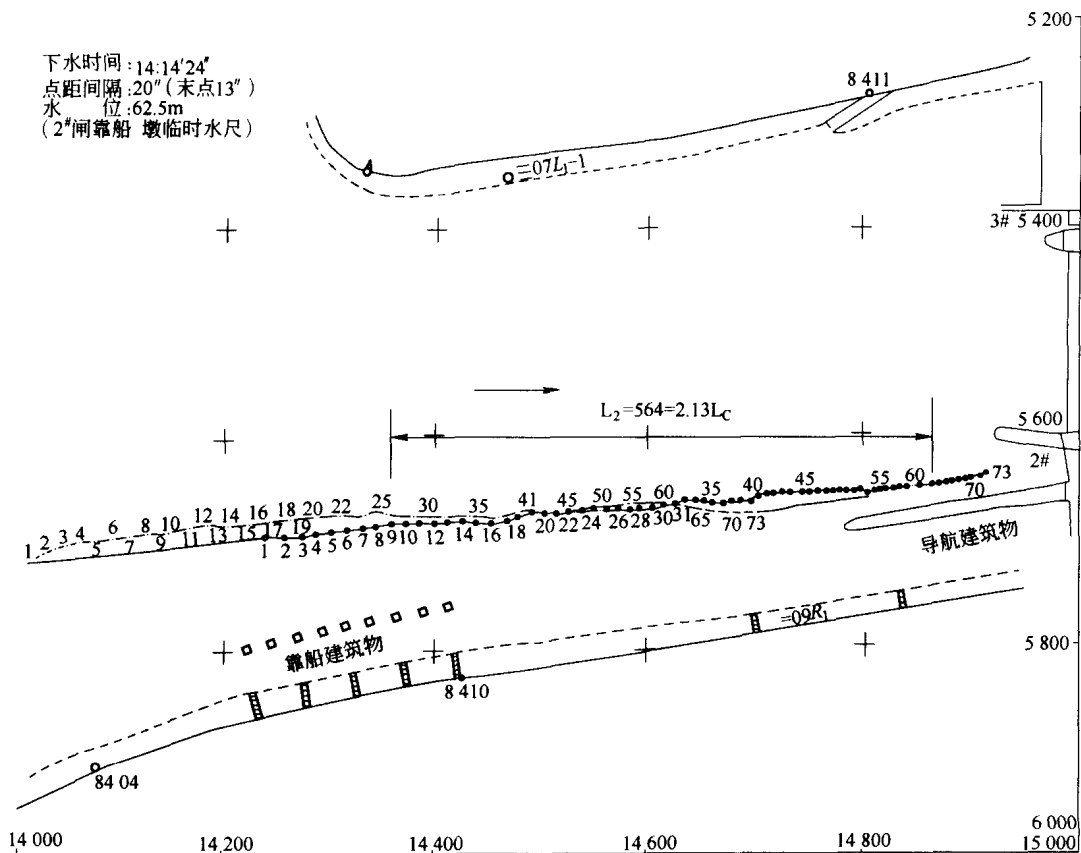


图4 $1+9 \times 1000\text{t}$ 船队下水曲线进闸

要的调顺段愈长。

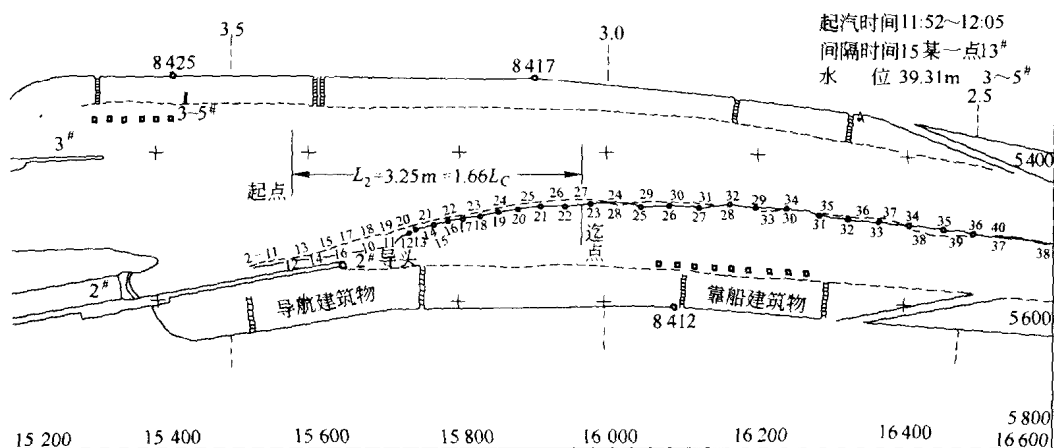


图5 长江 02021+6×1 000t 船队下水曲线出闸航迹图

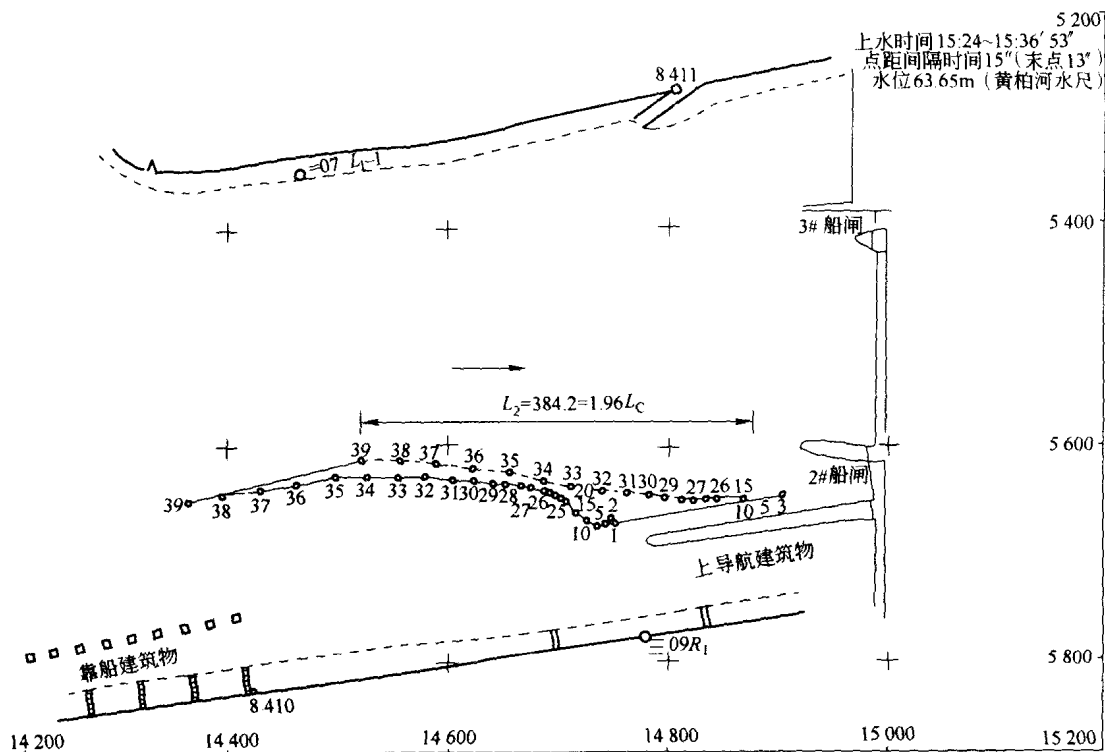


图6 长江 02021+6×1 000t 船队上水曲线出闸航迹图

试验表明,由于2号船闸下游引航道直线段长度仅650m 仅及万吨船队长264m 的2.46倍,船队从下游进闸显得很困难,只得采取先系首缆调顺船位的方法(图7),调顺船位多用了17min,而长196m 的1+6×1000t 船队, $L = 3.32L_c$ 。船队同样从下游很顺利调顺船位进闸,无需先系首缆。这表明,调顺段长与船队长比值不同的两种船队进闸的难度和时间就不同,达到《船闸设计规范》规定的,即 $L = (1.5 \sim 2.0)L_c$,进闸就顺利,时间就短,达不到要求的,进闸就困难,所需时间就长,对通过能力影响甚大。这次试验的调顺段长为 $L_2 = (1.66 \sim 2.18)L_c$,与

《船闸设计规范》 $L_2 \geq (1.5 \sim 2.0) L_c$ 相近。

永久船闸引航道直线段长度,按试验:



图7 一顶 $9 \times 1000t$ 船队先带头缆调顺船队的困难情景

$L = L_1 + L_2 + L_3 \geq (3.66 \sim 4.18) L_c$, 鉴于所用船队长 264m, 是万吨级船队中最长的, 故采用直线段长度 $L = 3.5 L_c = 924m$, 取 $L = 930m$ 。

2. 制动段长度 L_4

制动段长度是船舶、船队以正常航速克服口门区允许的流速安全进入引航口门停车(含倒车)制动滑行到停泊段所需的最小距离, 与船舶性能、每 hP 拖载量、口门区流速流态等因素有关。1 + $9 \times 1000t$ 万吨级船队在葛洲坝三江上游引航道试验, 船队常规操作, 从通过上游口门区(当时流速仅 0.4m/s 左右)进口门, 船队航速由 $V_A = 3.11m/s$ 改变至 $V_A = 1.0m/s$ 的滑行距离 $S = 803.4m$, 与船队长的比值为 3.04, 经分析 L_4 不得小于设计船队长的 3.2 倍, 即 $L_4 = 3.2 L_c = 844.8m$, 取 $L_4 = 850m$, 其中有一个 L_c 与停泊段重合。因船队由下游进口门为逆流, 故制动段距离可短些, 经分析采用 $L'_4 = 2 L_c = 528m$, 取 530m。

引航道的最小长度为直线段与制动段长度之和, 扣去制动段与停泊段 $1.0 L_c$ 重合段长, 则引航道最小长度:

上游: $\geq 1516m$, 取 $\geq 1500m$;

下游: $\geq 1194m$, 取 ≥ 1200 。

当布置需要延长引航道时, 可在最小尺长度的基础上根据布置要求延长。

升船机引航道制动段包含在船闸引航道之内, 无需另设。

3. 导航建筑物和靠船建筑物长度

(1) 导航建筑物长度

导航建筑物位于导航段, 又是单向过闸靠船建筑物, 其长度为一个设计最大船队长, 即