

“十二五”国家重点图书出版规划项目
交通运输建设科技丛书·水运基础设施建设与维护

Application Technology Study on
Navigation Hydraulics of Navigational Junction

航运枢纽通航水力学 应用技术研究



李 焱 郑宝友 著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

“十二五”国家重点图书出版规划项目

交通运输建设科技丛书·水运基础设施建设与养护

Application Technology Study on Navigation Hydraulics
of Navigational Junction

航运枢纽通航水力学应用技术研究

李 焱 郑宝友 著



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书以航运枢纽工程为依托,重点从船闸及引航道布置与通航水流条件关系的角度研究通航建筑物布置问题,提出通航水流条件的改善措施和引航道的布置原则;从升船机中间渠道尺度与通航条件关系的角度研究并提出升船机中间渠道的参考尺度及确定原则。研究既有经验总结,也有一定的理论创新。

本书内容丰富、论述兼备,有大量的典型工程案例,可供从事水利与航运枢纽通航水力学专业的设计和科研人员使用参考,也可供相关专业的大专院校师生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

航运枢纽通航水力学应用技术研究 / 李焱, 郑宝友
著. —北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.6
ISBN 978-7-114-12201-9

I. ①航… II. ①李… ②郑… III. ①水利枢纽—水
力学—研究 IV. ①TV135.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 079653 号

“十二五”国家重点图书出版规划项目

交通运输建设科技丛书·水运基础设施建设与养护

书 名: 航运枢纽通航水力学应用技术研究

著 作 者: 李 焱 郑宝友

责任编辑: 曲 乐 黎小东

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 11

字 数: 255 千

版 次: 2015 年 6 月 第 1 版

印 次: 2015 年 6 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12201-9

定 价: 50.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

交通运输建设科技丛书编审委员会

主 任：庞 松

副主任：洪晓枫 袁 鹏

委 员：郑代珍 林 强 付光琼 石宝林 张劲泉 赵之忠
费维军 关昌余 张华庆 蒋树屏 沙爱民 郑健龙
唐伯明 孙立军 王 炜 张喜刚 吴 澎 韩 敏

总 序

近年来，交通运输行业认真贯彻落实党中央、国务院“稳增长、促改革、调结构、惠民生”的决策部署，重点改革力度加大，结构调整积极推进，交通运输科技攻关不断取得突破，促进了交通运输持续快速健康发展。目前，我国公路总里程、港口吞吐能力、全社会完成的公路客货运量、水路货运量和周转量等多项指标均居世界第一。交通运输事业的快速发展不仅在应对国际金融危机、保持经济平稳较快发展等方面发挥了重要作用，而且为改善民生、促进社会和谐做出了积极贡献。

长期以来，部党组始终把科技创新作为推进交通运输发展的重要动力，坚持科技工作面向需求，面向世界，面向未来，加大科技投入，强化科技管理，推进产学研相结合，开展重大科技研发和创新能力建设，取得了显著成效。通过广大科技工作者的不懈努力，在多年冻土、沙漠等特殊地质地区公路建设技术，特大跨径桥梁建设技术，特长隧道建设技术，深水航道整治技术和离岸深水筑港技术等方面取得重大突破和创新，获得了一系列具有国际领先水平的重大科技成果，显著提升了行业自主创新能力，有力支撑了重大工程建设，培养和造就了一批高素质的科技人才，为交通运输科学发展奠定了坚实基础。同时，部积极探索科技成果推广的新途径，通过实施科技示范工程，开展材料节约与循环利用专项行动计划，发布科技成果推广目录等多种方式，推动了科技成果更多更快地向现实生产力转化，营造了交通运输发展主动依靠科技创新，科技创新服务交通发展的良好氛围。

组织出版《交通运输建设科技丛书》，是深入实施创新驱动战略和科技强交战略，推进科技成果公开，加强科技成果推广应用的又一重要举措。该丛书分为公路基础设施建设与养护、水运基础设施建设与养护、安全与应急保障、运输服务和绿色交通等领域，将汇集交通运输建设科技项目研究形成的具有较高学术和应用价值的优秀专著。丛书的逐年出版和不断丰富，有助于集中展示和推广交通运输建设重大科技成果，传承科技创新文化，并促进高层次的技术交流、学术传播和专业人才培养。

今后一段时期是加快推进“四个交通”发展的关键时期，深入实施科技强交战略和创新驱动战略，是一项关系全局的基础性、引领性工程。希望广大交通运输科技工作者进一步解放思想、开拓创新，求真务实、奋发进取，以科技创新的新成效推动交通运输科学发展，为加快实现交通运输现代化而努力奋斗！

王君顺

2014年7月28日

前 言

我国内河航运事业历史悠久,2400 多年前,举世闻名的京杭大运河就已开始建设,作为沟通北南的水运大通道,至今仍在经济和社会发展中起着重要作用。我国也是在河流上最早建设通航建筑物的国家之一,早在公元 11 世纪就已建有简易船闸。新中国成立后,通航工程建设及水力模拟技术得到快速提高,尤其是葛洲坝水利枢纽船闸的兴建,把我国通航建筑物的建设推向世界先进行列。

进入 21 世纪以来,随着“西部大开发”以及“西电东送”战略的实施,水利水电及水运交通基础设施得到进一步发展,同时加大科技投入,为各项重大工程建设提供了有力技术支撑,践行了科学发展观思想。在这十余年来,交通运输部天津水运工程科学研究所原水工研究室承担了多项西部交通建设科技项目,本书结合相关项目的专题研究,对航运枢纽通航水力学中两个关键技术问题“船闸及引航道布置与通航水流条件”和“升船机中间渠道尺度及通航条件”进行了论述,得到了一些具有工程参考价值的研究成果。

在“船闸及引航道布置与通航水流条件的研究”篇章中,分析总结了船闸及引航道布置对通航水流条件的影响,提出了引航道与河流主航道夹角限值的建议值以及改善通航水流条件工程措施的一些基本原则。在“升船机中间渠道尺度及通航条件研究”篇章中,以龙滩和构皮滩水利枢纽多级升船机设中间渠道的通航建筑物为依托,对中间渠道的尺度及通航条件进行了系统研究,在解决依托工程技术问题的基础上,提出了升船机中间渠道的参考尺度及确定原则。

本书不仅详细论述了研究方法、技术路线和研究成果,同时也提供了一些行之有效的改善通航条件的技术措施,故可供从事水利与航运枢纽通航水力学专业的设计和科研人员及大专院校师生参阅。

本书的研究成果主要是通过模型试验得到的,所得到的结论和认识还有待于工程实践的验证。限于作者的水平 and 经验,本书的错误和疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。本书的编写和出版,得到各级领导和同事们的大力支持和帮助,在此谨向他们表示衷心的感谢。

作 者

2015 年 3 月 20 日于天津

目 录

第 1 篇 船闸及引航道布置与通航水流条件的研究

第 1 章 国内外研究概况	003
1.1 国内研究概况	003
1.2 国外研究概况	006
本章参考文献	007
第 2 章 三峡工程引航道布置对通航水流条件的影响研究	008
2.1 三峡工程通航建筑物概况	008
2.2 模型概况及试验条件	009
2.3 三峡工程上游坝区河势演变及水流结构分析	011
2.4 三峡工程上游引航道布置对通航水流条件影响试验研究	015
2.5 三峡工程下游引航道通航水流条件试验研究	021
2.6 主要结论和认识	024
本章参考文献	025
第 3 章 那吉航运枢纽船闸凸凹岸布置对通航水流条件的影响研究	027
3.1 工程概况	027
3.2 枢纽河段自然条件和水流特征	027
3.3 那吉枢纽总体布置原则	028
3.4 试验内容及方法	028
3.5 模型概况和试验条件	029
3.6 左岸船闸方案通航水流条件试验	030
3.7 右岸船闸方案布置及通航水流条件试验	032
3.8 船闸布置在弯道凸凹岸附近的航行条件分析	036
3.9 那吉枢纽左、右岸船闸布置方案比较	036
3.10 主要结论和认识	037
本章参考文献	038
第 4 章 山区河流引航道与河流主航道夹角的研究	039
4.1 引航道与主航道水流夹角形成条件分析	039
4.2 概化物理模型试验方案的选取	041
4.3 模型概况和试验条件	042
4.4 船闸布置在弯道凸岸时产生的水流夹角试验	044
4.5 引航道与河道斜向布置时的夹角试验	048

4.6 主要结论和认识	051
本章参考文献	052
第5章 通航水流条件改善措施的研究	053
5.1 船闸凸岸布置时改善措施的概化模型试验	053
5.2 泄水闸门不同开启方式对下游通航水流条件影响试验	057
5.3 导航墙开孔对通航水流条件影响试验	060
5.4 其他改善措施研究与实践	066
5.5 主要结论和认识	067
本章参考文献	068
第6章 多线船闸引航道及口门区通航水流条件数学模型研究	070
6.1 工程概况	070
6.2 船闸运行方式和计算条件	072
6.3 通航标准	073
6.4 二维非恒定流数学模型建立	073
6.5 数学模型验证	075
6.6 计算成果及分析	077
6.7 主要结论和认识	081
本章参考文献	082

第2篇 升船机中间渠道尺度及通航条件研究

第1章 中间渠道(含渡槽)工程实践及研究现状	087
1.1 工程实践概况	087
1.2 研究概况	091
1.3 小结	092
本章参考文献	093
第2章 升船机中间渠道双向运转方式和航速分析	095
2.1 基本原则	095
2.2 运转方式分析	095
2.3 中间渠道内船舶航速分析计算	097
2.4 船舶过坝时间和双向通过能力	099
2.5 算例——以龙滩两级升船机中间渠道为例	099
2.6 小结	101
本章参考文献	101
第3章 升船机中间渠道航行水力特性及尺度试验研究	103
3.1 龙滩升船机中间渠道通航条件试验研究	103
3.2 IV、V级升船机中间渠道双线尺度与航行水力特性系列试验研究	116
3.3 双线中间渠道尺度分析及参考尺度	129
3.4 升船机船厢出入水中间渠道内水力特性试验	133

3.5 构皮滩升船机中间渠道通航隧洞和渡槽的通航条件试验研究	139
3.6 升船机中间渠道尺度的确定原则	148
3.7 小结	149
本章参考文献	149
第4章 船舶进出船厢水力特性试验及船厢尺度的研究	151
4.1 试验条件	151
4.2 模型概况	152
4.3 水力参量的测量	152
4.4 试验成果及分析	153
4.5 承船厢有效尺度分析	156
4.6 承船厢尺度的确定原则	159
4.7 小结	159
本章参考文献	160
索引	161

第1篇 船闸及引航道布置与通航 水流条件的研究

船闸及引航道布置与通航水流条件是船闸建设中的一项关键技术,不仅影响航运枢纽的总体布置和投资,还影响船舶安全通畅过闸和船闸的通过能力。同时两者之间又相互影响,船闸和引航道布置是否合理,直接影响通航水流条件的优劣,反之,因通航水流条件恶劣而影响船舶(队)安全过闸时,必须采取一定的工程措施或调整船闸与引航道的布置予以改善。通航水流条件的基本概念为“在通航期内,满足船舶(队)在正常操作条件下安全通畅过闸要求,对船闸引航道、口门区及连接段的流速、流态及其分布范围的限制条件”,主要包括引航道内纵、横向流速和波浪的限值,口门区及连接段纵、横向流速、回流流速以及波浪和泡漩等的限值。

影响船闸在枢纽总体布置中的因素错综复杂,必须根据工程所处的地形、地质、水文、航道、施工要求等具体条件以及其他建筑物的形式、尺寸和布置进行综合考虑,以寻求各建筑物之间合理的布置。船闸引航道口门区是过闸船舶(队)进出引航道的咽喉,受枢纽泄洪及地形边界条件的影响,容易形成斜向水流,并产生横流、回流和分离型小漩涡,使航行船舶(队)产生横移和扭转,影响航行安全,甚至造成碍航或断航,严重时会出现失控,以至发生海事事故,这在我国已建的航运枢纽中已有经验教训。如湖南五强溪和陵津滩枢纽、长江葛洲坝大江船闸等。

(1)湖南五强溪枢纽位于沅水中部,距常德 130km,于 1986 年开工,1995 年 2 月开始通航。由于船闸布置在泄水闸和电站之间,下泄水流斜向冲入口门区及连接段航道,横流、波浪都很大,坝下通航水流条件很差。五强溪枢纽设计通航流量为 $10000\text{m}^3/\text{s}$,但当流量达到 $4250\text{m}^3/\text{s}$ 时,船舶(队)就已不能过闸。

(2)湖南陵津滩枢纽也位于沅水,枢纽以发电为主,兼顾防洪、航运。由于船闸下游引航道口门区外连接段航道中心线与水流夹角达 40° ,中、洪水期纵向流速与横向流速很大,纵向流速达到 $2.4\sim 3.0\text{m/s}$,横向流速达到 1.5m/s ,船舶(队)根本无法通过连接段。

(3)长江葛洲坝水利枢纽大江一号船闸位于枢纽右侧,设计通航流量为 $35000\text{m}^3/\text{s}$,由于

下游 390m 长的导航墙未能对口门区及连接段航道起到有效隔流作用,加之下游口门区外连接段位于弯道凹岸,二江泄水闸下泄水流与航道夹角约 30° ,航道内存在较强斜流,实测最大横向流速达 0.64m/s ,致使大江一号船闸的通航流量限于 $20000\text{m}^3/\text{s}$ 以下,影响葛洲坝枢纽航运效益的充分发挥。

国内外工程技术和科技人员对船闸总体布置及通航水流条件进行过大量研究,研究手段包括水工物理模型结合遥控自航船模试验、数学模型计算、实船试验、现场观测等,取得了丰富的研究成果,一些成果已为相关标准和规范采用,但尽管如此,由于不同船闸工程的建设条件千差万异,新的问题也不断提出,研究工作仍在持续。

本篇的撰写基础资料为“八五”国家重点科技项目之子题“三峡工程坝区通航水流条件与通航建筑物布置优化研究(85-16-02-01-02)”、西部交通建设科技项目“西江水运主通道通航枢纽建设关键技术研究(2001 328 000 64)”之专题“那吉航运枢纽关键技术研究”、西部交通建设科技项目“内河航道通航条件关键技术研究(三期)(2006-328-000-71)”之专题“山区河流通航建筑物引航道与河流主航道夹角的研究”和项目“长洲水利枢纽三线四线船闸工程灌泄水对引航道和口门区的影响数学模型研究”的主要研究成果以及相关技术文献。

第1章 国内外研究概况

1.1 国内研究概况

在船闸引航道口门区和连接段内产生斜向水流、回流等不良流态的情况主要有以下几种:

(1)河道水流流向与引航道中心线呈一定夹角,夹角越大,斜流角度也越大;

(2)河道水流受引航道内静水的顶托,产生顺时针或逆时针的回流,流速越大,回流强度也越大;

(3)上游导航墙的分流作用,使得口门区一定范围内产生斜流;

(4)在下游引航道口门区,由于河道相对变宽,水流向口门区内扩散,产生斜流和回流。

通常衡量斜流(V)对船舶(队)航行的影响时,将其分解为平行于航线的纵向流速 V_y 和垂直于航线的横向流速 V_x ,其中 $V_y = V \cdot \cos\alpha$, $V_x = V \cdot \sin\alpha$,式中, α 为斜流流向与航线的夹角。纵向流速 V_y 与航线方向一致,可以增加或减小船舶(队)的对岸航速,并影响舵效,一般要求上行船舶(队)的航速大于纵向流速。横向流速 V_x 与航线方向垂直,对船舶(队)产生横向推力 P_x 和横向漂移,横向推力 P_x 与 V_x^2 成正比,当沿船体长度方向的横流不均匀时,对船舶(队)产生扭矩 M ,使船体转动。这些表现,也即通常所谓的斜流效应。

陈永奎^[1-3]对引航道口门区斜流效应进行了研究,指出船舶(队)在斜流区进出引航道过程中,为保持航向,需用船舵来克服横流引起的横移和转动,用舵的效果将使船舶(队)减速并产生横移,因此,船舶(队)总横移即为横流产生的横移与船舵产生的横移之和,同时提出了横移速度 V_x^* 及横移距离 Δb 的计算公式。

对于均匀斜流场的航行船舶(队),其横移速度及横移距离的计算公式为:

$$V_x^* = \frac{B}{A}(1 - e^{-At})V_x \quad (1-1-1)$$

$$\Delta b = \frac{B}{A}\left(t + \frac{1}{A}e^{-At}\right)V_x \quad (1-1-2)$$

或

$$\Delta b = V^* t = \frac{V^* S}{(V_y - V_s)} \quad (1-1-3)$$

式中: V_x^* ——横向漂移速度(m/s);

Δb ——横移距离(m);

A 、 B ——常量系数,与船体质量、附加质量及作用船体上的流体质量及三者相应的质流量有关;

t ——水流作用于船体的时间(s);

e ——自然对数的底;

V_x ——横向流速(m/s);
 V_y ——纵向流速(m/s);
 V_s ——船舶(队)的静水航速(m/s);
 S ——船舶(队)航行距离(m)。

对于船舶在非均匀斜流场和用船舵条件下的横移速度,可以看成均匀横向流速对应的横移速度 $\bar{V}_x^*$ 和舵分力对应的横移速度 V_{Ex}^* 两部分组成,则得到漂移速度 V_x^* 及横移距离 Δb 的计算公式为:

$$V_x^* = \bar{V}_x \pm V_{Ex}^* = \frac{B}{A}(1 - e^{-At})\bar{V}_x \pm \frac{1}{2b_s}(\Delta V_x)^2 \cdot t \quad (1-1-4)$$

$$\Delta b = \frac{B}{A}\left(t + \frac{1}{A}e^{-At}\right)\bar{V}_x \pm \frac{1}{2b_s}(\Delta V_x)^2 \cdot t^2 \quad (1-1-5)$$

式中: V_x^* ——横移速度(m/s);

Δb ——横移距离(m);

$\bar{V}_x$ ——均匀横向流速 $\bar{V}_x$ 相应的横移速度(m/s);

V_{Ex}^* ——船舵分力对应的横移速度(m/s);

A 、 B ——常量系数,与船体质量、附加质量及作用船体上的流体质量及三者相应的质流量有关;

t ——水流作用于船体的时间(s);

e ——自然对数的底;

$\bar{V}_x$ ——作用于船体上的横向流速 V_x 沿船长方向的线平均值(m/s);

ΔV_x ——作用于船体上的最大横向流速 $V_{x\max}$ 与线平均值 $\bar{V}_x$ 之差(m/s);

b_s ——船舶(队)的宽度(m)。

对于上述两式的第2项,当 V_{Ex}^* 与 V_x^* 同向时取正号,反向时取负号。

在淮安水利枢纽实船试验^[4]中,整理得到一顶 $4 \times 300t$ 船队和一拖 11~13 驳 50~100t 拖带船队的横移速度 V_x^* 与横向流速 V_x 的线性关系式为:

$$V_x^* = 1.316(V_x - C) \quad (1-1-6)$$

式中: V_x^* ——横向漂移速度(m/s);

V_x ——横向流速(m/s);

C ——常数,对于顶推船队取 0.09,对于拖带船队取 0.07。

张仲南^[5]采用概化物理模型和船模,进行了一顶四驳 300t 双列船队进入引航道的试验,根据试验资料统计,得到公式:

$$V_x^* = 1.515V_x - 0.197 \quad (1-1-7)$$

式中: V_x^* ——横向漂移速度(m/s);

V_x ——横向流速(m/s)。

李一兵等^[6]统计了三峡工程三组通航船队模型的相关试验资料,得到横移速度 V_x^* 与横向流速 V_x 的线性关系式分别为:

三驳船队(2640HP 推轮+3×1000t 甲板驳):

$$V_x^* = 1.533V_x - 0.020 \quad (1-1-8)$$

六驳船队(2640HP 推轮+6×1000t 甲板驳):

$$V_x^* = 1.490V_x - 0.033 \quad (1-1-9)$$

九驳船队(2640HP 推轮+9×1000t 甲板驳):

$$V_x^* = 1.375V_x - 0.043 \quad (1-1-10)$$

式中: V_x^* ——横向漂移速度(m/s);

V_x ——横向流速(m/s)。

从上述船舶(队)横移速度和横向流速的关系式可以看出,横移速度与横向流速成正比;对于大型船队而言,由于吨位和惯性较大,抗横流能力较强,横流对其产生的横移也相对小,小型船队则反之。

为保证船舶(队)安全通畅进出引航道,引航道口门宽度应大于船舶(队)的横移距离。当口门区横流越大,口门宽度也应越大,虽然提高航速,可以增强船舶(队)抵抗横流的能力,但也会增加引航道的长度。事实上,受工程具体条件限制,引航道长度和口门宽度会受到一定的限制,故也必须对通航水流条件进行一定的限制,提出合理的技术标准,对此,国内外学者进行了大量的研究。

我国结合京杭运河船闸,以及长江、西江、右江、嘉陵江、红水河、松花江等河流的渠化工程,对船闸布置以及通航水流条件进行了大量研究。最早在 20 世纪 50 年代京杭运河船闸建设中,通过试验得到通航水流的限制条件为:引航道口门处的纵向流速不大于 2.0~2.5m/s,横向流速不大于 0.2~0.3m/s,回流流速不大于 0.4m/s,引航道轴线与水流流向夹角不大于 20°。几十年来的运用表明,当横向流速较大时,航行就困难。70 年代对葛洲坝船闸通航水流条件进行了大量的模型和实船试验,规定了流速限值和范围,即:大江、三江船闸上游引航道口门外 500m 航道范围内纵向流速不大于 2.0m/s,横向流速不大于 0.3m/s,回流流速不大于 0.4m/s;大江下游引航道口门区的纵向流速不大于 2.5~3.0m/s,横向流速同上游;同时根据研究成果,对大江、三江上游引航道口门区以上的南津关航道进行了整治,以减弱泡漩、拓宽剪刀水,使下行船队能沿右岸进入大江船闸上游引航道,沿左岸进入三江上游引航道,三江船闸引航道多年运用表明,南津关航道整治达到了改善通航水流的预期效果,当口门区流速流态符合限值标准时,船队就能安全航行,但下游引航道口门区中心线与水流流向夹角偏大,给船队进出口门带来困难^[4]。

20 世纪 80 年代,在编制《船闸设计规范》过程中,对船闸口门区通航水流条件,进行了较全面的研究,包括淮安船闸、七里垄船闸、石盘滩船闸的实船试验以及系列水工和船模试验等。在 1987 年颁布的《船闸设计规范(试行)》中,提出了口门区水面最大流速限值。在国家“七五”“八五”期间^[7-8],结合三峡工程通航水流条件技术标准和总体布置,围绕着枢纽泄洪、电站调峰及船闸灌泄水,对引航道、口门区和连接段的通航水流条件,航行条件和口门区斜流效应等,进行了大量的研究,提出了相应的通航水流条件和航行标准。

21 世纪伊始,随着我国西部大开发战略的实施和航运事业的发展,设计和科研人员结合新建工程,又进行了大量的通航水流条件研究。如交通运输部天津水运工程科学研究所对那吉、株洲、大源渡、大顶子山、依兰、贵港、桂平、龙滩等枢纽工程通航水流条件进行了研究;四川省交通厅交通勘察设计院在《嘉陵江航运梯级开发关键技术研究》^[9]项目中,对引航道布置、引航墙的结构形式与引航道的水流条件的关系进行了研究;珠江水利委员会科学研究所对飞来峡水利枢纽上下游引航道通航水流条件进行了试验研究^[10]。在对《内河通航标准》的修订过程中,对引航道口门区外连接段航道通航水流条件进行了专题研究^[11-12],提出了连接段

的通航水流条件限值的初步意见:对于 I ~ IV 船闸,纵向流速小于或等于 2.5m/s,横向流速小于或等于 0.40m/s;当连接段回流长度接近船舶(队)长度时,回流流速小于或等于 0.3m/s。在交通运输部西部交通建设科技项目“内河航道通航条件关键技术研究(一期)”中对此又进行了进一步的研究,细化了 III ~ IV 船闸纵、横向流速的限制建议值:III、IV、IV 船闸口门外连接段的纵向流速分别小于或等于 2.6m/s、2.5m/s 和 2.4m/s,横向流速分别小于或等于 0.45m/s、0.4m/s 和 0.35m/s。周华兴等^[13-14]通过国内多个航运枢纽工程模型试验成果,分析探讨了通航水流条件限值在实际应用中的一些问题。我国现行标准规范对渠化工程枢纽总体布置、船闸引航道、口门区及连接段的通航水流条件进行了相关的技术规定^[15-18]。

1.2 国外研究概况

欧美地区的大部分河流在 20 世纪 30 年代已相继渠化,因而,在船闸布置及通航水流条件领域的研究开展较早。

苏联《船闸设计规范》(1966 年版)规定,航道上最大纵向流速,对于 I、II 级水道(相应船舶吨级 5000t、3000t)不应大于 2.0m/s,对于 III、IV 级水道(相应船舶吨级 2000t、1000t)不应大于 1.5m/s。各级水道引航道入口断面处,垂直于航道轴线横向流速不大于 0.25m/s,引航道口门区的横向流速则不大于 0.4m/s;同时还规定,进入引航道的自航船及顶推船队,受水流和风力作用下产生的扭力矩,不应大于船舶(队)舵效所能克服的扭力矩。1980 年 1 月,苏联又颁布了新的挡土墙、船闸、过鱼及护鱼建筑物设计规范,新规范中对船闸引航道及与水库或河流相连区段内的允许流速做了规定,见表 1-1-1。对比新老规范,新规范的规定更为详细,因船舶(队)性能的提高,一些允许值也有所提高,但对于一些大型船闸的总体布置及通航水流条件仍建议通过水工模型试验来确定。

苏联通航水流条件限制值

表 1-1-1

航 道	纵横向流速允许值(m/s)			
	引航道内		引航道与水库或河流相连区段内	
	纵向流速	横向流速	纵向流速	横向流速
超干线及干线	1.0	0.25	2.5	0.4
地方及地方小河	0.8	0.25	2.0	0.4

美国船闸的通航水流条件主要依靠船模航行试验来判断。美国哥伦比亚河和斯内克河的通航建筑物要求下游引航道最大纵向流速小于 1.8m/s;俄亥俄河上的贝利维利船闸下游引航道口门处纵向流速 2.28m/s、横向流速 0.3m/s、回流流速 0.5m/s,对船队进出口门尚无较大影响。对于船闸灌泄水时的非恒定流对通航的影响,美国曾在俄亥俄河上的麦克阿尔派恩船闸进行了研究,并提出了改善措施,如增大渠道宽度和水深,增设调节池,使灌水时的一半流量来自调节池,采取这些措施后,引航道内波高减小,航行条件得到改善。

西德联邦水工研究所的有关试验表明,口门区横向流速控制在 0.3m/s 左右时,对船舶航行影响不大。20 世纪 50 年代,西德卡尔斯洛工学院水动力学试验室针对船闸灌泄水问题进行试验和原型观测,研究了渠道断面变化对水面波动叠加和反射的影响,以及波高、波速、比降

等波要素与船闸输水流量及流量增率的关系,同时还研究了双船闸运行方式对船舶航行与停泊的影响。西德学者 Parten-Seky 认为,对排水量 1240t 的船舶,允许水面比降为 1.3‰; Hans-Werner、Parten-Seky 教授提出船闸灌泄水产生的非恒定流在引航道中产生的水面比降应不大于 0.4‰。

本章参考文献

- [1] 陈永奎.斜流效应的分析计算[J].长江科学院院报,1996(3):1-5.
- [2] 陈永奎,王列,杨淳,等.三峡工程船闸上游引航道口门区斜流特性研究[J].长江科学院院报,1999(2):1-6.
- [3] 须清华,张瑞凯.通航建筑物应用基础研究[M].北京:中国水利水电出版社,1999.
- [4] 涂启明.船闸通航水流条件研究[R].北京:交通部三峡工程航运办公室,1987.
- [5] 张仲南.从船模航行情况试论引航道口门区允许流速[R].南京:南京水利科学研究所,1982.
- [6] 李一兵,王育林.三峡工程船闸引航道口门区水流条件标准试验研究报告[R].天津:天津水运工程科学研究所,1990.
- [7] 交通部三峡工程航运办公室.长江三峡工程泥沙和航运关键技术研究成果汇编[R].北京:交通部三峡工程航运办公室,1991.
- [8] 交通部三峡工程航运办公室.长江三峡工程泥沙和航运问题研究成果汇编[R].北京:交通部三峡工程航运办公室,1999.
- [9] 四川省交通厅交通勘察设计研究院.嘉陵江航运梯级开发关键技术研究—引航道建筑物关键技术研究[R].成都:四川省交通厅交通勘察设计研究院,2006.
- [10] 周佩玲,吴树锋,谢宇峰.飞来峡水利枢纽通航水力学试验研究[J].人民珠江,1998(3):19-22.
- [11] 李一兵.船闸引航道口门外连接段航道通航水流条件专题研究报告[R].天津:天津水运工程科学研究所,1992.
- [12] 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(3):179-184.
- [13] 周华兴,郑宝友,李金合.船闸引航道口门区水流条件限值的探讨[J].水运工程,2002(1):38-42.
- [14] 周华兴,郑宝友.再论《船闸引航道口门区水流条件限值的探讨》[J].水运工程,2005(8):49-52.
- [15] 中华人民共和国行业标准.JTS 182-1—2009 渠化工程枢纽总体设计规范[S].北京:人民交通出版社,2009.
- [16] 中华人民共和国行业标准.JTJ 305—2001 船闸总体设计规范[S].北京:人民交通出版社,2001.
- [17] 中华人民共和国国家标准.GB 50139—2004 内河通航标准[S].北京:中国计划出版社,2004.
- [18] 中华人民共和国行业标准.JTJ 306—2001 船闸输水系统设计规范[S].北京:人民交通出版社,2001.