



# 赣江新干船闸建设规模论证研究

于钦民<sup>1</sup>, 张顺顺<sup>2</sup>, 宋景霞<sup>3</sup>, 商剑平<sup>3</sup>

(1. 江西省港航管理局, 江西 南昌330006; 2. 江西省航务勘察设计院, 江西 南昌330008;  
3. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

**摘要:** 从系统分析赣江货物运量和船型现状入手, 预测了未来各规划水平年的过闸货运量和过闸船型组合情况; 采用船舶过闸排挡模拟方案, 合理论证了新干船闸的平面尺度、建设规模与分期建设方案; 为赣江新干船闸的建设提供了科学的决策依据。

**关键词:** 赣江新干船闸; 建设规模; 计算机仿真

**中图分类号:** U 612.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-4972(2012)11-0139-06

## Construction scale of Xingan ship lock on Ganjiang river

YU Qin-min<sup>1</sup>, ZHANG Shun-shun<sup>2</sup>, SONG Jing-xia<sup>3</sup>, SHANG Jian-ping<sup>3</sup>

(1. Jiangxi Provincial Administrative Bureau for Port and Harbor, Nanchang 330006, China; 2. Jiangxi Provincial Investigation and Design Institute for Navigation, Nanchang 330008, China; 3. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

**Abstract:** This paper predicts lockage cargo volume and ship type combination of the planning level years on basis of the analysis of Ganjiang's lockage cargo and ship type. Based on lock arrangement computer-simulation, this paper researches the effective dimensions of lock, construction scale and construction stages, which provide a scientific basis for decision making of Xingan lock's construction.

**Key words:** Xingan ship lock on Ganjiang river; construction scale; computer simulation

赣江是长江重要的一级支流, 由南向北纵贯整个江西省, 被列入国家高等级航道网, 是国家综合运输体系的重要组成部分, 地位十分重要。新干船闸是赣江上的重要梯级之一, 位于江西省吉安市新干县三湖镇上游约 1.5 km 处, 上距峡江水利枢纽约 56 km, 是一座以航运为主、兼顾发电等综合利用功能的船闸工程。在国家“十二五”期内河高等级航道建设规划中, 新干航电枢纽被列为江西省内河航运重点建设工程<sup>[1]</sup>。

赣江新干船闸建设规模的科学论证是开展赣江新干船闸建设工作的基本前提, 是重中之重。

本文从系统分析赣江货物运量和船型现状入手, 预测了未来各规划水平年的过闸货运量和过闸船型组合情况; 采用船舶过闸排挡模拟方案,

合理论证了新干船闸的平面尺度、建设规模与分期建设方案; 为赣江新干船闸(图1)的建设提供了科学的决策依据。

## 1 新干船闸过闸货物量预测<sup>[1]</sup>

### 1.1 赣江货运量发展现状

近年来, 由于赣江航道各段等级不同, 航道不能贯通, 导致赣江通航能力大大降低。公路、铁路的高速发展, 赣江水上货物运输的发展受到严重制约, 运输量增长缓慢, 在流域交通经济中的比重逐年下降, 货物运输也局限在木材、砂石、水泥、石油、化肥、饲料、粮食等有限的物资上。

2005年, 赣江全江完成水路货物运输 8 660 万 t; 2009年完成 10 226 万 t; 2010年高速发展到 14 833

**收稿日期:** 2012-09-11

**作者简介:** 于钦民(1959—), 男, 高级工程师, 从事港口与航道工程管理。

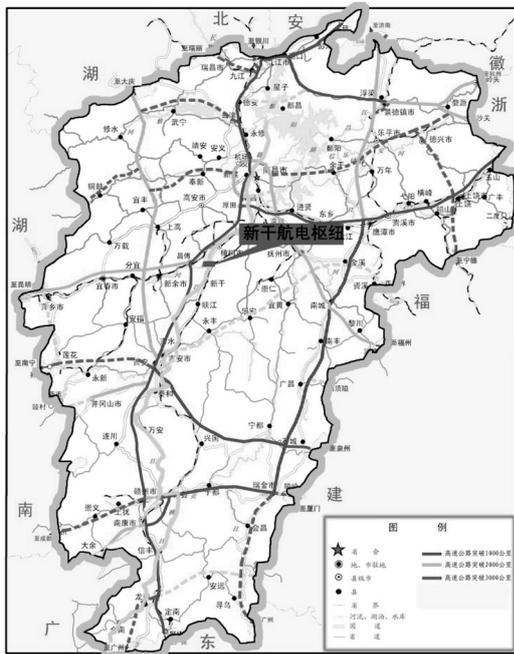


图1 新干船闸区位优势

万t, 其中上水4 379万t, 下水10 453万t; “十一五”以来赣江货运量年均增长速度11.4%。2005年、2009年、2010年通过新干断面的货物运输量分别为175万t, 228万t和357万t。2010年货运量见表1。

### 1.2 新干船闸过闸货运量发展预测

腹地内工业基础相对薄弱, 优势产业集群尚未形成, 第一产业仍然占有较大比重。在水路运输上表现为矿建材料、石油及制品、煤炭、水泥、木材和其他类货物等原材料在运输总量中占有主导地位, 在赣江完成的水路货运量中, 占总运量的90.9%。

矿建材料是目前通过新干断面的主要货种, 由于受长江采砂的限制, 从2000年起矿建材料运量增长迅速, 且有逐步向上游延伸的趋势; 煤炭主要服务于腹地内的华能井冈山电厂、赣州电厂、新钢集团以及赣江沿岸建设冶炼工业基地; 矿石

表1 2010年赣江全江及通过新干断面货物运输量

位置	上下水	总计	液体货	干散货			件杂货	集装箱箱量
				煤炭	矿建材料	其它		
赣江	合计	14 833	165	234	9 378	1 248	3 808	12
	上水	4 379	103	206	1 786	191	2 093	6
	下水	10 454	62	28	7 592	1 057	1 715	6
新干船闸断面	合计	357	1	5	265	50	36	0
	上水	60	1	5	40	5	9	0
	下水	297	0	0	225	45	27	0

主要供应新钢集团, 2010年该公司矿石总需求量1 220万t; 腹地水泥用灰岩储量丰富, 主要分布在赣州市的余都、兴国、瑞金等地, 水泥年产量达700万t, 除满足本地消耗外, 部分运往赣江下游, 外运量约为500万t; 腹地是江西省农业大区和经济作物主产区, 粮食、化肥运输量较大; 腹地内石油资源匮乏, 所需石油制品均需从外地调入; 江西林业历来是江苏、浙江、上海、山东、广东等沿海发达地区的商品木材、人造板、家具等林产

品的供应基地。因此随着赣江航道的不断提升, 内河运输优势将逐步得到体现, 原本需要通过公路、铁路运输的货物, 未来将向内河转移。

通过对腹地主要货物的产运销情况进行分析, 预测新干船闸各水平年过坝运量, 2020年预测货运量为560万t, 其中上行货运量385万t; 2030年预测货运量1 800万t, 其中上行货运量1 320万t; 2040年预测货运量3 200万t, 其中上行货运量2 000万t。新干船闸各水平年过坝运量预测见表2。

表2 新干船闸各水平年过坝运量预测

年份	上下行	过坝运输总量	干散货				液体货 石油、天然气及制品	件杂货
			煤炭	矿建材料	矿石	其他货物		
							煤炭	
2020	合计	560	150	140	180	20	50	
	上行	385	150	10	180	20	25	
	下行	175	0	130	0	0	25	
2030	合计	1 800	650	400	400	140	130	
	上行	1 320	650	50	400	140	50	
	下行	480	0	350	0	0	80	
2040	合计	3 200	1 050	900	400	300	300	
	上行	2 000	1 050	100	400	300	100	
	下行	1 200	0	800	0	0	200	

注: 装箱货种主要是件杂货。

## 2 新干船闸过闸船型及组合预测<sup>[1]</sup>

### 2.1 船舶发展现状

目前赣江内河货运船舶的主要运输方式有机动船、分节驳顶推船队和少量机动驳顶推船队, 几乎没有拖带船队; 客船全部为机动船, 主要是库区等风景区的旅游船、渡船和少量短途客船; 赣江及支流仍有少量木质船和挂桨机船; 赣江上船舶标准化比较低。

根据2000—2010年江西省实际拥有船舶资料分析, 船舶的大型化趋势较为明显, 船舶的平均吨位由2003年的144 t上升到2010年的464 t, 见表3。从船舶吨级来看, 目前主要以500~3 000吨级船舶为主, 大型船舶呈现增长趋势, 尤其是大于500吨级的船舶载质量占全省船舶总载质量的94.77%。

表3 江西省船舶拥有量变化情况

年份	艘次/次	载质量/t	平均载质量/t
2003	4 544	653 619	144
2005	5 539	1 119 795	202
2009	4 170	1 922 370	461
2010	4 217	1 957 942	464
2011	4 162	2 086 279	501

### 2.2 过闸船型及船型组合预测

根据江西省内河船型标准化发展纲要, 到2020年将淘汰27.7%的非标船型, 将新增34.6%的标准船型, 使船舶标准化率达到80%。

根据新干枢纽规划, 该枢纽地处Ⅲ级航道区域, 设计通航船舶为1 000吨级, 根据远期发展和丰水期的影响部分考虑1 000吨级以上的船舶。综合预测本项目过闸船舶主尺度系列见表4。

表4 新干船闸普通货船船型主尺度系列

吨位级别/t	船长×船宽/m	比例/%	平均载质量/t
300	30×5.8	10	260
	40×6.5	20	
	42×7.8	70	
500	46×8.8	30	500
	50×9.8	60	
	56×10.8	10	
1 000	58×11.2	35	1 005
	65×12.0	50	
	70×12.8	15	
2 000	72×14.0	30	2 150
	76×14.2	40	
	80×14.8	30	

预测2020年、2030年和2040年的新干枢纽运输船舶不同吨位艘次组成比例见表5。

表5 新干枢纽过坝船型组合预测 %

船舶级别/t	2020年	2030年	2040年
300	20	16	10
500	70	60	60
1 000	8	20	20
2 000	2	4	10

## 3 船舶过闸排挡模拟<sup>[2-3]</sup>

由于船舶尺度的离散性和船舶到闸的随机性, 对于不同的闸室尺度, 船舶组成与平均船舶过闸吨位和过闸时间之间不存在解析解, 只能通过模拟试验得到统计意义上的定量关系。

### 3.1 闸室与船舶的抽象

将闸室视为一个大的矩形, 将船舶视为小矩形, 将船舶放入闸室的过程看作是用小矩形填充大矩形的过程, 算法见图2。

用 $Vessel_i$ 代表第 $i$ 艘船舶, 它的长宽分别是 $Vessel_i.Length$ 和 $Vessel_i.width$ , 在闸室中的坐标为 $(Vessel_i.X, Vessel_i.Y)$ , 并用 $Lock_i.Length$ 表示第 $i$ 个船闸的设计闸室长度, 并用 $Lock_i.Width$ 表示第 $i$ 个船闸的设计闸室宽度。

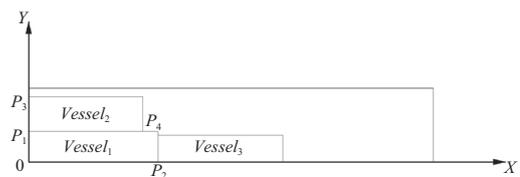


图2 二维装箱算法

### 3.2 船舶能否放入闸室的约束条件

船舶是否能够放入闸室, 需要满足下面的条件:

1) 小矩形的边界不能超出大矩形的边界。

$Vessel_i.X \geq 0$  且  $Vessel_i.Y \geq 0$  且  $Vessel_i.X + Vessel_i.Length \leq Lock_i.Length$  且  $Vessel_i.Y + Vessel_i.Width \leq Lock_i.Width$ 。

2) 小矩形之间不互相重叠。

$Vessel_j$  是闸室中已排船舶  $Vessel_i$  外的任意一艘船舶, 判断  $Vessel_i$  能否放入闸室的约束条件如下:

$Vessel_i.X + Vessel_i.Length \leq Vessel_j.X$  或

$$Vessel_i.X \geq Vessel_j.X + Vessel_j.Length \text{ 或}$$

$$Vessel_i.Y + Vessel_i.Width \leq Vessel_j.Y \text{ 或}$$

$$Vessel_i.Y \geq Vessel_j.Y + Vessel_j.Width$$

### 3.3 可排点概念

在闸室排挡中，引入了一个可排点的重要概念，它是可以为下一艘船舶安排的位置，可排点由已存在于闸室中的船舶决定。当存在多个可排

点时，它们组成可排点集合，经过排序后形成可排点队列。可排点队列的排序原则：对于任意两可排点 $P_i$ 和 $P_j$ ，若 $P_i$ 的横坐标小于 $P_j$ 的横坐标，则 $P_i$ 排在 $P_j$ 的前面，若两点横坐标相同，则看纵坐标，小的排在前面。

### 3.4 船舶在闸室内排挡算法

船舶在闸室内排挡算法见图3。

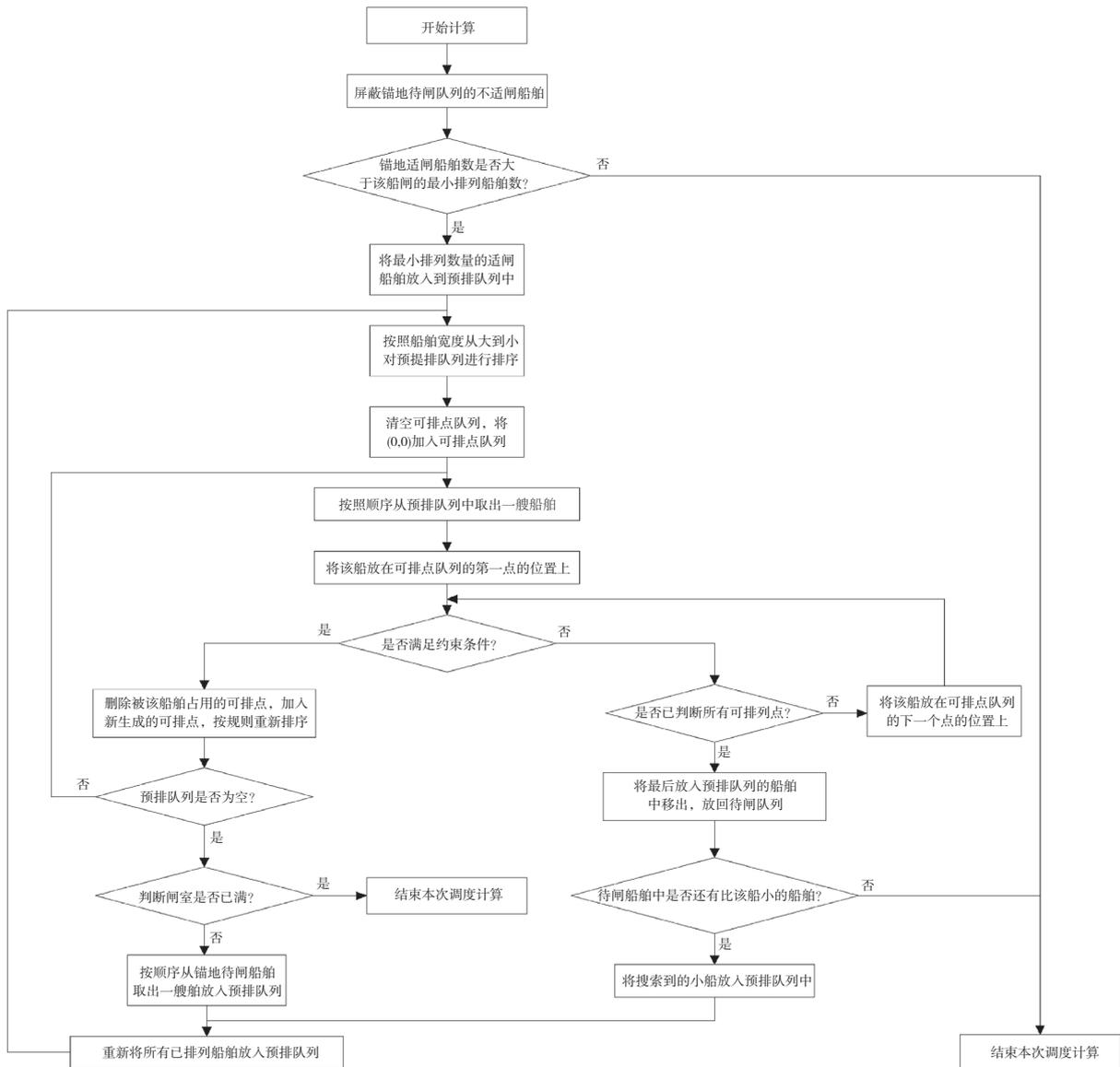


图3 船舶过闸排挡算法

### 3.5 仿真实验结果

船闸闸室宽度一般是标准船型宽度的倍数，新干线船闸的闸室宽度方案取23 m。在仿真实验中，拟定闸室长度为180 m，200 m，230 m

和260 m，共4个闸室长度方案。

本次研究建立了船舶过闸的排挡仿真模型，编制了仿真程序，采用上述船舶组成预测和拟定的几个闸室尺度方案，开展了模拟实验研究，模

拟结果见表6和表7。

表6 一次平均过闸载质量 t

船闸有效长度/m	2020年	2030年	2040年
180	3 064.340	3 195.860	3 302.140
200	3 598.960	3 744.100	3 829.880
230	4 121.740	4 342.290	4 513.540
260	4 815.400	5 056.980	5 232.980

表7 每闸次平均船舶数量 艘

船闸有效长度/m	2020年	2030年	2040年
180	5.860	5.095	4.455
200	6.850	5.987	5.193
230	7.868	6.879	6.042
260	9.167	8.029	7.029

#### 4 新干船闸通过能力计算与建设规模的论证研究

上文通过船舶过闸的排挡模拟试验, 得出了一次平均过闸载质量和每闸次平均船舶数量, 通过计算一次过闸时间, 进而计算出各闸室尺寸方案的通过能力。

##### 4.1 双向一次过闸时间计算

对于运输繁忙的船闸, 根据统计资料船闸均为双向过闸方式运行, 偶尔出现单向过闸情况, 其闸次数占总过闸次数的比例一般也不超过5%, 因此计算中按双向过闸计算。根据JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》<sup>[4]</sup>, 双向过闸时间为:

$$T_2=4t_1+2t'_2+2t_3+2t'_4+4t_5 \quad (1)$$

式中:  $T_2$ 为上、下行各一次的双向过闸时间; $t_1$ 为闸门开启或关闭的时间(min), 本项目取4 min; $t'_2$ 为双向第一个船舶从停靠段驶入闸室所需的时间(min); 设船舶在引航道停泊段按闸室排列方式停靠, 停泊段长度与闸室长度相同, 船舶停靠位置至在闸室内的停泊位置的距离 $L=180$  m+闸室长度, 船舶进闸速度取1.0 m/s。 $t'_2=L/1.0/60$ ;  $t_3$ 为闸室灌泄水采用了集中输水工艺, 灌泄水时间为8 min;  $t'_4$ 为第一个船舶出闸所需的时间(min);

出闸距离取 $L=180$  m+闸室长度, 考虑按直线出闸计算, 出闸速度取为1.4 m/s,  $t'_4=L/1.4/60$ ;  $t_5$ 为船舶、船队进闸或出闸时间间隔(min); 相邻船舶间隔取2 min, 则 $t_5=(m-1) \times 2$ ,  $m$ 为平均每闸次的船舶数量。

##### 4.2 船闸通过能力计算

根据JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》<sup>[4]</sup>, 船闸日平均过闸次数 $n$ 按下式计算:

$$n = \frac{\tau \times 60}{T} \quad (2)$$

式中:  $\tau$ 为日工作小时, 规范推荐取值20~22 h, 取22 h;  $T$ 为一次过闸时间; 年通航天数, 应减去检修、气候、水位等影响通航的天数。考虑10 a左右一次大修的影响因素, 平均每年检修期按8 d计算; 考虑气候及水流条件影响, 假设每年停航22 d, 船闸年通航天数取为 $N=335$  d。

考虑到预测的过闸船舶煤炭、矿石等散货船居多, 所以装载系数取0.92。

运量不均衡系数是船闸服务水平的间接反映。对于运输比较繁忙的船闸, 据统计资料运量不均衡系数一般在1.1~1.2, 本次计算各水平年运量不均衡系数值均取为1.1。

根据JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》<sup>[4]</sup>, 年单向货运量为:

$$P_2 = \frac{1}{2}(n - n_0) \frac{NG\alpha}{\beta} \quad (3)$$

式中:  $P_2$ 为单向年过闸客、货物通过量(t);  $n$ 为日平均单向过闸次数(次);  $n_0$ 为日非货运船舶过闸次数(次), 根据三峡船闸的统计, 非货运船舶所占比例很小, 从分析成果可见, 各方案船闸面积最大利用率未超过0.75, 非货运船舶可插档排列, 取 $n_0=0$ ;  $G$ 为一次过闸平均载质量(t);  $\alpha$ 为船舶装载系数;  $\beta$ 为运量不均衡系数;  $N$ 为年通航天数(d)。计算的船闸通过能力见表8。

表8 船闸通过能力计算

船闸有效长度/m	2020年			2030年			2040年		
	上下一次运行时间/min	单向年通过载质量/万t	单向年通过货物量/万t	上下一次运行时间/min	单向年通过载质量/万t	单向年通过货物量/万t	上下一次运行时间/min	单向年通过载质量/万t	单向年通过货物量/万t
180	91.4	1 347.1	1 239.3	85.3	1 505.6	1 385.1	80.2	1 655.0	1 522.6
200	100.5	1 439.3	1 324.2	93.6	1 607.9	1 286.3	87.3	1 764.5	1 623.3
230	110.4	1 501.2	1 381.1	102.5	1 703.7	1 362.9	95.8	1 894.8	1 743.2
260	122.5	1 580.5	1 454.0	113.4	1 793.0	1 434.4	105.4	1 996.4	1 836.6

### 5 结论

1) 通过对腹地主要货物的产运销情况进行分析, 预测出新干船闸2020年、2030年、2040年上行过闸运输货物量分别为385万t, 1 320万t和2 000万t。

2) 闸室尺度为23m × 230m的建设方案在2020年、2030年和2040年的单向通过能力分别为1 381.1万t, 1 362.9万t和1 743.2万t。

3) 通过预测的新干船闸各水平年过闸货物量和各闸室方案的通过能力的对比分析, 推荐闸室尺度为23m × 230m的建设方案。该建设方案能够满足2020年和2030年的过闸货物需求, 并建议预留一线船闸, 届时双线船闸能够满足2040年的过

闸货物需求。

### 参考文献:

[1] 中交水运规划设计院有限公司. 江西赣江新干航电枢纽工程可行性研究报告[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2011.

[2] 商剑平, 吴澎. 基于计算机仿真的船闸联合调度方案研究[J]. 水运工程: 2011(9):199-204.

[3] 刘云峰, 齐欢. 二维优化编排启发式算法及其在三峡永久船闸调度决策系统中的应用[J]. 计算机与现代化, 2002(1):1-3.

[4] JTJ 305—2001船闸总体设计规范 [S].

( 本文编辑 武亚庆 )

~~~~~  
( 上接第126页 )

对图5中曲线进行拟合, 得出避让区容量与航道通过能力增率的关系服从对数正态分布, 关系式如下:

$$y = y_0 + \frac{A}{4\pi^2 \omega x} e^{\frac{(-\ln \frac{x}{x_c})^2}{2\omega^2}} \quad (1)$$

式中:  $y$ 为航道通过能力增率;  $x$ 为避让区容量。 $y_0, A, \omega, x_c$ 等系数见表1。

表1 各参数值及拟合优度 $R^2$

| $AWT/AST$ | $y_0$ | $A$     | $\omega$ | $x_c$ | $R^2$ |
|-----------|-------|---------|----------|-------|-------|
| 0.3       | 43.37 | -74.15  | 0.75     | 1.27  | 0.99  |
| 0.4       | 52.11 | -121.26 | 0.88     | 1.29  | 0.99  |
| 0.5       | 57.62 | -136.36 | 0.93     | 1.42  | 0.99  |
| 0.6       | 59.39 | -154.96 | 1.03     | 1.52  | 0.99  |

由图5可见, 设置避让区会大幅度地提高航道通过能力, 提高程度随容量的增大而增大, 如:  $AWT/AST=0.6$ , 容量为2和10时航道通过能力分别提高30.49%和58.37%。

### 4 结论

1) 在航道中设置避让区可以有效地提高航道通过能力, 并且当港口服务水平为0.5 ~ 0.6时, 提高效果最佳;

2) 从航道通过能力的提高效果来看, 避让区应尽量靠近航道中点设置;

3) 避让区容量与航道通过能力增率的关系服从对数正态分布。

### 参考文献:

[1] 宁双林. 单线航道通过能力仿真研究[J]. 水道港口, 2008(3):166-169.

[2] Port development—a handbook for planners in developing countries[C]// Secretariat. United Nations Conference on Trade and Development. New York: United Nations, 1985.

[3] 郭子坚, 王文渊, 唐国磊, 等. 基于港口服务水平的沿海港口航道通过能力[J]. 中国港湾建设, 2010 (S1):46-48.

[4] Gong I Y, Kim Y G, Lee C M, et al. Development of harbor capability assessment simulation system by the application of fuzzy algorithm[C]//Proceeding of MARSIM'96, Denmark: 161-167.

[5] 季则舟, 胡世津. 海运船舶现状和发展趋势及对我国港口建设的影响[J]. 交通建设与管理, 2008(12): 51-56.

[6] 宋向群, 张静, 郭子坚, 等. 通航历时对沿海散货港区航道通过能力的影响分析 [J]. 港工技术, 2010, 47(2): 18-20.

[7] 宋向群, 张培培, 唐国磊, 等. 正规半日潮的潮型数及平均潮差对港口航道通过能力的影响[J]. 中国水运, 2011, 11(7): 70-72.

[8] 陈琦, 郭子坚, 宋向群, 等. 船舶进出港的安全时距对散货港口服务水平的影响[J]. 港工技术, 2011, 48(6): 19-22.

( 本文编辑 郭雪珍 )