



# 长三角地区限制性航道断面尺度确定方法探讨

陈虹, 赵东华

(中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120)

**摘要:** 目前行驶在长江三角洲限制性航道上的船型与GB 50139—2004《内河通航标准》所列的设计船型尺度有一定的差别, 交通运输部规划的集装箱船型在GB 50139—2004《内河通航标准》中没有列入, 限制性航道尺度确定只有规范最小取值没有计算公式, 但在实际应用过程中, 航道尺度与船型尺度是直接相关的。结合相关航道设计经验, 探讨如何根据设计船型尺度合理确定限制性航道设计尺度的方法。

**关键词:** 内河限制性航道; 航道尺度; 设计底宽; 设计水深

中图分类号: U 61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)12-0064-04

## Investigation on determination of restricted channel scales' cross section in the Yangtze River delta region

CHEN Hong, ZHAO Dong-hua

(Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

**Abstract:** Currently, ships sailing in the restricted channel of the Yangtze River Delta have differences with ship scale listed in *Standards of Inland Navigation* (GB 50139—2004). The container ship scale planned by the Ministry of Transport doesn't include in *Standards of Inland Navigation*. Restricted channel scales are determined only by regulating the minimum value but have no formula. Actually, waterway scales are directly related to ship scales. This paper explores the way of determining reasonably the restricted channel design scales according to design ship scales based on related experience of channel design.

**Key words:** inland restricted channel; channel scale; design bottom width; design depth

我国长江三角洲水网地区是限制性航道主要分布的区域, 也是经济比较发达的平原河网地区, 水上运输繁忙, 船舶流量大。“十二五”期间新一轮航道整治工程已全面推进, 其中限制性航道断面尺度的确定将直接影响航道整治项目的工程投资和前期征地拆迁的规模, 航道断面尺度合理确定成为内河航道整治工程设计的核心要素之一。本文结合相关航道设计经验, 就航道设计宽度(航道设计底宽)和航道设计水深进行探讨和研究, 并提出相关建议。

### 1 限制性航道底宽确定的探讨

#### 1.1 探讨起因

长江三角洲区域众多内河航道, 往往因航道

面宽受到限制, 比较狭窄, 属于限制性航道。但限制性航道底宽的确定, 在GB 50139—2004《内河通航标准》<sup>[1]</sup>(以下简称内河通航标准)中没有计算公式, 只有规范最小取值。实际上长江三角洲区域的限制性航道有各自不同的特点, 将来随着长三角内河集装箱运输的推广, 集装箱船型尺度与内河通航标准代表船型尺度相差较大, 这就形成了设计船型与内河通航标准中的代表船型不一致的矛盾。“十一五”期间, 在上海内河航道整治工程中, 航道底宽的确定往往参照内河通航标准中天然和渠化河流航道宽度计算公式(附录A), 并结合水务要求综合确定。如果航道面宽不受限制, 航道底宽如此确定就没有问题, 至少航道底宽大于内河通航标准限制性航道的最小

收稿日期: 2012-10-10

作者简介: 陈虹(1963—), 女, 教授级高级工程师, 从事内河航道、港口方面的规划、研究和设计工作。

值, 而一旦航道面宽受到限制, 尤其是在城镇地带, 征地拆迁难度非常大, 航道底宽的合理确定就成为航道整治项目的关键所在。为此, 有必要对限制性航道底宽尺度进行研究。

## 1.2 限制性航道宽度确定的研究

### 1.2.1 天然和渠化河流航道尺度的确定

内河通航标准给出了天然和渠化河流航道宽度的计算方法(附录A), 其中直线段双线航道宽度计算公式如下:

$$B_2 = B_{Fd} + B_{Fu} + d_1 + d_2 + c \quad (1)$$

式中:  $B_2$ 为直线段双线航道宽度;  $B_{Fd}$ 为下行船舶航迹线宽度( $B_{sd} + L_d \sin \beta$ );  $B_{Fu}$ 为上行船舶航迹

线宽度( $B_{su} + L_u \sin \beta$ );  $d_1 + d_2 + c$ 为各项安全距离之和;  $L_d, L_u$ 为下、上行单船最大长度;  $B_{sd}, B_{su}$ 为下、上行单船最大宽度;  $\beta$ 为航行漂角, I ~ V级航道可取 $3^\circ$ , VI ~ VII级航道可取 $2^\circ$ 。

### 1.2.2 限制性航道尺度的确定

内河通航标准给出表3.0.3“限制性航道尺度”, 明确各等级限制性航道直线段双线底宽不得小于表3.0.3所列数值。

### 1.2.3 两类不同航道尺度的差别

根据内河通航标准对两类不同航道的相关规定, 以最常用的III ~ VI级天然和渠化河流航道及限制性航道的尺度为例进行对比, 如表1所示。

表1 航道底宽对比

航道等级	代表船型尺度/(m × m × m)		直线段双线航道宽度(底宽)/m	
	天然和渠化河流航道	限制性航道	天然和渠化河流航道	限制性航道
III级	货船85.0 × 10.8 × 2.0 船队160 × 10.8 × 2.0	货船80.0 × 10.8 × 2.0 船队160 × 10.8 × 2.0	60	45
IV级	货船67.5 × 10.8 × 1.6 船队111 × 10.8 × 1.6	货船45.0 × 7.3 × 1.9 船队108 × 9.2 × 1.9	50	40
V级	货船55.0 × 8.6 × 1.3 船队91.0 × 9.2 × 1.3	货船36.70 × 7.3 × 1.9 船队82.0 × 8.0 × 1.9	40	35
VI级	货船45.0 × 5.5 × 1.0	货船28.0 × 5.5 × 1.5	30	20

从1表可以看出: 对于相同的航道等级, 天然和渠化河流航道宽度与限制性航道底宽在取值上存在较大的差距。根据内河通航标准提供的计算方法进行验算, 可以得出天然和渠化河流航道列表中的航道宽度取值与附录A公式计算结果基本一致, 而限制性航道底宽取值比计算值要小, 可见限制性航道的底宽尺度不是直接用附录A公式计算得出。

### 1.2.4 影响航道底宽的因素分析

从船舶航行的角度, 分析影响天然和渠化河流航道宽度与限制性航道底宽的尺度, 不外乎下列3个因素: 1) 船舶尺度; 2) 船舶航行漂角; 3) 船舶航行需要的各项安全距离。

船舶的尺度, 一旦设计船舶确定, 船舶的宽度、长度和吃水就确定; 航行漂角和船舶的各项安全距离成为影响航道底宽的2个重要因素。

针对天然和渠化河流, 船舶的航行漂角, 附录A分2档取值: I ~ V级航道可取 $3^\circ$ , VI ~ VII级

航道可取 $2^\circ$ ; 船舶各项安全距离根据船舶的运营组织取值, 船队取0.5 ~ 0.6倍上行和下行船舶航迹线宽度, 货船取0.67 ~ 0.80倍上行和下行船舶航迹线宽度。

针对限制性航道, 内河通航标准表3.0.3限制性航道尺度尽管没有明确用公式计算, 实际上考虑了限制性航道的特点: 1) 是航道面宽狭窄、航道边线明确; 2) 是航道水流比较平顺、流速小, 基本没有横流。对照影响航道尺度因素分析可知, 行驶在限制性航道上船舶航行漂角比天然航道易控制而变小, 船舶航行的各项安全距离之和也比天然航道小, 最后综合确定限制性航道尺度最小值, 但内河通航标准对航行漂角和船舶的各项安全距离究竟考虑了多少没有明确说明。

为便于对比, 本文用内河通航标准附录A计算航道宽度的公式反算限制性航道航行漂角和各项安全距离之和。由于无法同时反推: 2个可变因素, 将航行漂角作为反推的可变因素, 各项安全

距离之和的倍数按一个固定值作为参考(本文中,天然和渠化河流航道及限制性航道的取值

相同,船队取0.6倍,货船取0.7倍),只对航行漂角进行对比,比较结果如表2所示。

表2 航行漂角对比

航道等级	代表船型尺度/(m × m × m)		航行漂角/(°)	
	天然和渠化河流航道	限制性航道	天然和渠化河流航道	限制性航道
Ⅲ级	货船85.0 × 10.8 × 2.0	货船80.0 × 10.8 × 2.0	3	1.2(船队控制)
	船队160 × 10.8 × 2.0	船队160 × 10.8 × 2.0		
Ⅳ级	货船67.5 × 10.8 × 1.6	船45.0 × 7.3 × 1.9	3	1.7(船队控制)
	船队111 × 10.8 × 1.6	船队108 × 9.2 × 1.9		
Ⅴ级	货船55.0 × 8.6 × 1.3	货船36.70 × 7.3 × 1.9	3	2.0(船队控制)
	船队91.0 × 9.2 × 1.3	船队82.0 × 8.0 × 1.9		
Ⅵ级	货船45.0 × 5.5 × 1.0	货船28.0 × 5.5 × 1.5	2	0.2(货船控制)
	船队188 × 7.0 × 1.0	船队298 × 5.5 × 1.5		

从表2对比结果知:用附录A公式计算时,限制性航道的航行漂角取值比天然和渠化河流航道小。据此,限制性航道的尺度实际上可以参照天然和渠化河流航道宽度计算公式,只是如何确定合理的航行漂角问题。

### 1.2.5 限制性航道底宽计算方法探讨

为符合长江三角洲地区限制性内河航道不同的特点,适应各地区不同的设计代表船型,就限制性航道底宽尺度提出如下建议:限制性航道底宽,建议用附录A的公式计算,但结合表2的分析以及长江三角洲地区限制性航道的特点,建议限制性航道底宽计算中航行漂角的取值如表3所示。

表3 限制性航道船舶或船队航行漂角 $\beta$ 取值

航道等级	航行漂角/(°)
Ⅲ	2~1.5
Ⅳ	
Ⅴ	
Ⅵ	1.5~1

注:航道条件允许时取大值。

船舶各项安全距离采用天然和渠化河流航道的取值范围,航道条件允许取大值,困难航段可取小值。为了同时满足内河通航标准强制性条文的规定,航道底宽计算值小于内河通航标准最小值,仍需按照内河通航标准表3.0.3条规定值取,反之,可按照计算值取用。

## 2 限制性航道设计水深确定探讨

### 2.1 探讨缘由

关于限制性航道设计水深,GB 50139<sup>[1]</sup>中也没有计算公式,同样只有规范最小取值。内河通

航标准中给定的设计水深最小值不完全适应长江三角洲地区不同航道特点(如有的航道为宽浅型,有的是窄深型),也不适应各类设计船型,尤其是吃水明显增大的规划集装箱船航行的需求,为此,有必要对限制性航道设计水深进一步研究。

### 2.2 限制性航道设计水深确定的研究

比较限制性航道的设计水深与天然和渠化河流航道设计水深,限制性航道的设计水深明显偏大,这是限制性航道特点所决定:航道两岸受城镇、堤防等限制,航道相对狭窄,断面系数小。在确定这类航道尺度时,除了和天然航道一样满足船舶航行需要的平面尺度外,还考虑了船舶的航行阻力,用增加航道水深的方法来增加断面系数,以减小船舶航行阻力。

根据参考文献[2],限制性航道船舶阻力 $R_n = k_n R_\infty$ ,  $k_n$ 为限制性航道船舶阻力换算系数, $k_n = \{n/[n - (1 + 0.2\delta^2 v^2)]\}^{2.25}$ ,  $R_\infty$ 为船舶在无限宽深水域航行的阻力, $n$ 为断面系数, $\delta$ 为船舶方形系数, $v$ 为船舶航速。取内河船舶经济航速 $v = 8 \sim 11$  km/h,长三角常规的船舶方形系数 $\delta = 0.8$ ,得出断面系数 $n$ 与船舶阻力换算系数 $k_n$ 的关系曲线(图1)。

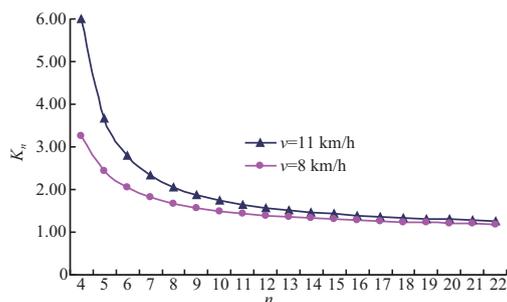


图1 船舶阻力换算系数与断面系数的关系曲线

从图1中可以看出, 航行阻力随着断面系数的增加而逐渐减小: 断面系数 $n < 6$ 时, 航行阻力明显;  $6 \leq n \leq 10$ 时, 航行阻力随着断面系数 $n$ 增大呈明显的下降趋势, 体现限制性航道的特点; 当 $10 \leq n \leq 14$ 时, 断面系数 $n$ 增值对航道阻力的影响减缓; 当 $14 \leq n \leq 20$ 时, 断面系数 $n$ 增值对阻力减小影响已不明显, 航道断面体现天然航道特点;  $n \geq 20$ 时, 航行阻力不是以断面系数 $n$ 来控制。

在长江三角洲地区, 限制性航道的面宽因区域条件限制或水务的要求发生较大变化, 有的区域面宽受已建城镇的限制而狭窄, 有的区域航道面宽本身条件较好而宽阔, 所以航道设计水深考虑船舶航行阻力时, 要从断面系数 $n$ 与航道水深和船舶吃水之比 $H/T$ 同步结合考虑。从国内外航行阻力的研究成果表明: 如速度一定, 航行阻力同时与 $H/T$ 和断面系数 $n$ 成反比, 但 $H/T$ 与 $n$ 之间成正比关系, 从中可以推断出:  $n$ 增大 $H/T$ 减小(航道变成宽浅型), 或者 $n$ 减小 $H/T$ 增大(航道变成深窄型), 航行阻力保持在一定的水平, 船舶航行经济性可以得到保障。为此, 要合理确定 $H/T$ 取值, 同时与 $n$ 取值相关才比较合理。

### 2.3 航道设计水深计算建议

查阅国外资料: 德国通过试验研究认为, 在保证船舶、船队 $8 \sim 11$  km/h的经济航速下,  $H/T$ 不应小于1.6, 断面系数不应小于7; 1990版的GBJ 139—1990《内河通航标准》条文说明, 当航道断面系数为7、航道水深与船舶吃水比 $H/T$ 小于1.5~1.6时, 航行阻力急剧增加, 为减小船舶航行阻力,  $H/T$ 不宜小于1.5; GB 50139—2004《内河通航标准》培训讲义<sup>[3]</sup>, 提到2004版内河通航标准修正后的限制性航道断面系数为6~8,  $H/T$ 为1.6~1.3, 是考虑到目前在这些航道上的船舶流量大, 航速低, 可以满足现阶段船舶通航的基本要求。

根据国内外研究成果, 限制性航道满足船舶经济航行要求, 航道的断面系数、以及航道设计水深与船舶吃水之比宜分别为 $n=6$ ,  $H/T=1.6$ ; 如航道逐渐变宽, 断面系数变大, 同样满足船舶经济航行要求时,  $H/T$ 可以取小。从图1可以看出,  $n$ 值变化从限制性航道到天然航道是一个连续的过程, 根据GB 50139—2004《内河通航标准》所列天然和渠化河流航道水深的取值和代表

船型吃水,  $H-T$ 为0.2~0.5 m, 转化到 $H/T$ 基本为1.15~1.2。当 $n$ 比较大时, 属于天然航道特性,  $n$ 与 $H/T$ 取值就参照天然航道取值。

通过上述分析, 建议限制性航道设计水深取值, 根据航道断面系数 $n$ 值来选取 $H/T$ 的比值。从 $n=6$ (限制性航道最小值)~ $n=20$ (天然航道特性)的跨度,  $H/T$ 反向从1.6(限制性航道)~1.15(天然航道)进行逐段内插, 可得表4所示结果。

表4  $H/T$ 取值

航道断面系数 $n$	$H/T$ 比值
6~7	1.6~1.5
7~10	1.5~1.4
10~14	1.4~1.25
14~20	1.25~1.15

为了同时满足内河通航标准强制性条文的要求, 如设计水深计算值小于内河通航标准最小值, 限制性航道仍需按照内河通航标准表3.0.3条规定值取用, 反之, 可以按照计算值取用。

### 3 结语

限制性航道的设计尺度直接关系到航道整治工程的投资、船舶经济航行及通航安全等多个方面, 航道尺度确定一直是讨论和争议的话题, 也是主管部门、业主和专家非常关心的问题。据了解苏、浙一带已整治的航道尺度, 与上海有一定的差别, 双线航道的设计底宽和水深基本上按照国标最小值作为航道设计尺度, 而上海航道整治设计尺度参照天然和渠化河流航道公式计算后, 结合水务要求综合取值, 尺度大于限制性航道最小值。长江三角洲地区的“十二五”内河航道整治工程已全面开展, 本文结合以往工程设计的一些经验和体会, 提出的对限制性航道的设计底宽、设计水深等计算或确定的相关建议, 供同行们参考和讨论。

### 参考文献:

- [1] GB 50139—2004 内河通航标准[S].
- [2] 周华兴, 郑宝友. 关于深水、浅水与限制性航道界定的探讨[J]. 水运工程, 2006(1): 53-58.
- [3] GB 50139—2004 内河通航标准培训讲义和调研资料[S].

(本文编辑 郭雪珍)