



海港航道设计宽度模拟试验研究*

边晓丽^{1,2}, 严庆新^{1,2}, 陈立家^{1,2}

(1. 武汉理工大学航运学院, 湖北 武汉 430063; 2. 湖北省内河航运技术重点实验室, 湖北 武汉 430063)

摘要: 针对现行《海港总平面设计规范》中关于超大型船舶所需航道宽度计算中存在的不足之处, 通过系列模拟试验分析了风、流压偏角等参数对航迹带宽度的影响。基于试验的统计分析, 运用线性回归方法提出航迹带宽度的计算方法, 结合实际工程进行检验, 可为港航工程的设计及维护提供参考。

关键词: 规范; 航道宽度; 超大型船舶; 航道设计; 修正

中图分类号: U 612. 34

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)09-0099-04

Design width of fairways based on simulation tests

BIAN Xiao-li^{1,2}, YAN Qing-xin^{1,2}, CHEN Li-jia^{1,2}

(1. School of Navigation, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China;

2. Key Laboratory of Hubei Inland Shipping Technology, Wuhan 430063, China)

Abstract: The calculation of deficiencies exists in the *Design Code of General Layout for Sea Port* concerning the channel width for the very large vessels required. This paper analyzes the effects of the leeway and the drift angle resulted from current to the width of ship's tracks. A calculation method for the ship's track width based on a series of simulation trials' results using the linear regression method is presented, which had tested by a real project. It may serve as reference for the design and maintenance of the port and shipping engineering.

Key words: code; width of channel; super-large vessel; channel design; amendment

随着船舶大型化、专业化以及高速化的迅猛发展, 迫使船舶在进出港航道时对其通航条件及通航尺度提出更高的设计和适用要求, 实践显示现行的《海港总平面设计规范》JTJ 211—1999 (简称《规范》) 已不能满足超大型船舶的需求, 因此, 为适应我国航运事业蓬勃发展和水上交通事业跨越式发展的需要, 运用全任务船舶操纵模拟器所具有的可重复性操作等优点^[1-3], 针对超大型船舶进出港所需的单向及双向航道宽度标准, 进行系列的模拟试验研究确定航道主要设计参数。此模拟试验对提高船舶航行的安全性、提高航道工程的投资效益、保障沿海大型专业化码头充分发挥作用具有着重要意义。

1 现行《规范》的局限性

《规范》中定义航道有效宽度由航迹带宽度、船舶间富裕宽度和船舶与航道底边间的富裕宽度组成^[4]。在航道较长、自然条件较差和船舶定位困难情况下, 可适当加宽。其单、双向航道的宽度分别按以下公式计算:

$$\text{单向航道: } W=A+2c \quad (1)$$

$$\text{双向航道: } W=2A+b+2c \quad (2)$$

$$A=n(L\sin\gamma+B) \quad (3)$$

式中: W 为航道有效宽度 (m); A 为航迹带宽度 (m); n 为船舶漂移倍数; γ 为风、流压偏角 ($^\circ$); b 为船舶间富裕宽度 (m); B 为设计船宽 (m); L 为设计船长 (m); c 为船舶与航道底边间的富

收稿日期: 2013-04-02

*基金项目: 交通部科技项目 (20063280003-02)

作者简介: 边晓丽 (1965—), 女, 博士, 讲师, 主要从事通航安全与环境安全保障。

裕宽度 (m)。

由式(3)可知:航迹带宽度值由含有设计船舶的船长、船宽、风、流压偏角和船舶漂移倍数参数的经验公式计算获得。实际计算风、流压偏角和船舶漂移倍数等参数时仅取决于拟建航道水域的风、流环境条件参数,明显忽略了船速与船舶操纵性能间的密切关系。同时,现行《规范》对风、流压偏角取值的确定,是由《规范》编制组于1987年对湛江港、秦皇岛港、八所港进行实船观测,并推导出由风、流压偏角和船舶漂移倍数确定的计算航迹带宽度的经验公式。《规范》的编制基础是基于当时和更早期的港口建设条件,相对于目前海港进出的船舶来讲其所针对的船型则较小,适用范围偏小。

2 试验设置

研究采用全任务大型船舶操纵模拟器NT-PRO4000,试验中选用船型有10万DWT集装箱船、15万DWT集装箱船、10万DWT LNG船及15万DWT散装船型等,试验过程中充分考虑风、浪、流及船间相互作用等因素对超大型船舶操纵性的影响,通过进行单一及组合工况下的操纵模拟试验获得试验数据,采用线性回归分析方法获取航迹带宽度计算方法,试验期间为消除人为因素对试验数据所产生的影响,聘请多名高级船长参与模拟操作,且在试验数据统计中取其平均值;同时,为确保船舶航行安全和尽可能与实际航行的相似性,操船期间密切关注风、浪、流、浅水效应、船间效应以及岸壁效应等环境因素对船舶操纵性的影响,保证正确用车、操舵,确保进出港船舶的航行安全。试验由以下几部分组成:1)设置有风无流工况下的960组次试验,其中包括了3种船速(微速进车、前进一、前进二)、7个风舷角及5种风浪组的模拟试验,每种工况分别进行3次模拟,获取其相应的航迹带宽度A后取其平均值,在此基础上再进行最佳操作模拟,并获取此工况下的最佳航迹带宽度,继而确定风压角对航迹带宽度的影响。2)设置无风有流工况下组次试验:工况设置为2种船模、3种船速、7个流压

角、8种流速、每一种工况在进行3次试验的基础上再另加最佳操作模拟试验一次,另外再进行相似前者的工况组合,共计1536组次,从而获得流压角对航迹带宽度的影响。3)横风横流组合工况:4种船模、3种船速、8个流速、5种风浪、每一种工况3次试验外加最佳操作模拟试验一次,共计1920组次试验。4)试验结论。根据满载状态、不同船模、船速和不同横向水流流速,以及不同风速下的操纵试验结果,运用线性回归分析方法给出以流舷偏角、流速、风舷偏角、风速、船速、船长以及船宽等参数为基准的风流压偏角计算公式。

3 试验分析结果

3.1 风流压偏角等参数对航迹带宽度的影响

由表1所示现行《规范》中规定可知,风、流压偏角和船舶漂移倍数的确定取决于拟建航道水域的风、流环境条件,明显忽略了船速与船舶操纵性能间的密切关系^[5-6]。同时还应注意的是自从现行《规范》实施20多年以来,随着船舶不断趋向大型化,船体的长度、宽度不断增加,同时随着造船技术的发展,船舶操纵特性也有很大的改善,实践显示超大型船舶在进出港航道期间,当航道出现局部横风、流较大时,船舶实际受到的风、流压差将明显大于风、流压偏角,因此,当超大型船舶进出港操纵时,可通过适当提高航速减小船舶风、流压偏角的变化。试验中针对此类问题进行相关研究,并对超大型船舶试验数据进行线性回归分析得到结果:风压差角计算如(4)式所示,流压偏角计算如(5)式所示。

$$\alpha = k (v_w/v_s)^{2.77} [\sin q + 0.15 \sin(2q)] \tag{4}$$

$$\sin \beta = (v_c/v_s) \sin Q \tag{5}$$

式中:α为风压偏角(°);v_w为风速(m/s);v_s为船速(m/s);q为风压交角(°);k为风压系数,不同船型的船舶k取值不同,可由试验获取;β为流压偏角(°);v_c为流速(m/s);v_s为船速(m/s);Q为流压交角(°)。

由试验结果分析知:集装箱船及LNG船等大型船舶在风、流作用影响下,以一定的风、流压

偏角在航道内航行时, 风、流压偏角会随风速/船速(和流速/船速)比值的变化而相应改变; 在相同风、流条件作用下, 随着船速的提高其风、流压偏角会相应减小, 航迹带的宽度也会相应减小(图1, 2)。

表1 现行《规范》中满载船舶漂移倍数 n 和风流压偏角 γ
(横风 ≤ 7 级)

横流 $v/(m \cdot s^{-1})$	n	$\gamma(^{\circ})$
$v \leq 0.25$	1.81	3
$0.25 < v \leq 0.50$	1.69	7
$0.50 < v \leq 0.75$	1.59	10
$0.75 < v \leq 1.00$	1.45	14

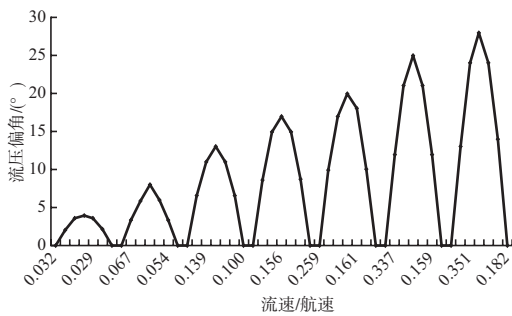


图1 10万吨集装箱船微速进车时, 流压偏角与流速/航速比的关系

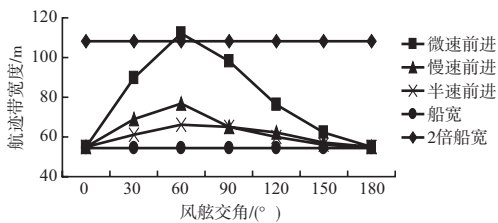


图2 15万吨级集装箱船5级风条件下的航迹带宽度分布

随着航海仿真技术的日益完善, 针对不同设计船型的船舶在不同水域和不同工况进行模拟试验, 获得较为精确的风流压偏角已经成为可能^[1-2]。在此通过对试验数据线性回归分析, 获得试验航迹带宽 A 值的计算公式表示如下:

$$A = \lambda(L \sin \gamma + B) \quad (6)$$

式中: λ 为偏摆系数, $\gamma = \alpha + \beta$; λ 值的大小表示船舶在其运动轨迹轴线上左右偏摆的程度, 其值取决于风、流、船舶操纵性能、驾引人员操作熟练程度以及航道设标状况等因素的影响。试验结果显示: 当风、流作用力影响越大时, 船舶在运动

轨迹轴线上左右偏摆程度也越大; 当船舶操纵性能越佳时船舶在其运动轨迹轴线上左右偏摆的程度也就越小; 驾引人员的操作水平越高, 船舶在运动轨迹轴线上左右偏摆的程度越小; 航道设标状况越好(特别是设置导标的航道)船舶在运动轨迹轴线上的左右偏摆程度越小。 λ 值可按公式 $\lambda = 1 + \lambda_w + \lambda_c$ 计算, 限于篇幅, 在此仅提供集装箱船 λ 值的部分试验回归值如表2中所示, 其中 λ_w 的取值可由有风无流情况下模拟试验获得, λ_c 的取值则可根据有流无风情况下模拟试验获得。

表2 偏摆系数 λ_w 及 λ_c 的试验回归值

蒲氏风级	λ_w	流速 $v/(m \cdot s^{-1})$	λ_c
4	0.04	0.25 ~ 0.5	0.03
5	0.07	0.5 ~ 1.0	0.05
6	0.11	1.0 ~ 1.5	0.10
7	0.15	1.5 ~ 2.0	0.15
8	0.20		

3.2 与现行《规范》比较

试验中为比较现行《规范》与本项目中关于单向航道计算方法之间的差别, 进行了风、流条件相同工况不同船速时航道宽度的影响分析, 计算结果见表3。

比较结果表明: 在船速为8 kn时, 本项目计算方法计算的单向航道宽度大于现行海港总平面设计规范计算的单向航道宽度, 而当船速为12 kn时, 本项目计算方法计算的单向航道宽度与现行海港总平面设计规范计算的单向航道宽度极为接近, 这正符合现有已经投入营运的集装箱航道的实际营运船速为12 kn左右的情况, 说明通过模拟试验方法获得的计算方法符合实际的进出港操纵特点, 从另一个角度说明现行海港总平面设计规范的航道设计方法是可行的, 虽然计算过程中未细化船速对航道宽度的影响, 但按照现行《规范》设计的现有航道, 可通过进出港操纵提高船速、加车助舵、拖轮协助等方法消除原有航道宽度不足的影响。

3.3 试验验证

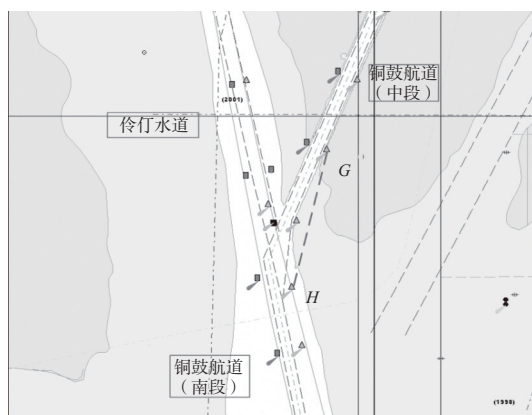
以深圳港10万吨级铜鼓航道为例进行模拟试验: 铜鼓航道位于珠江口伶仃洋的东部, 从铜鼓

表3 单向航道宽度设置值比较

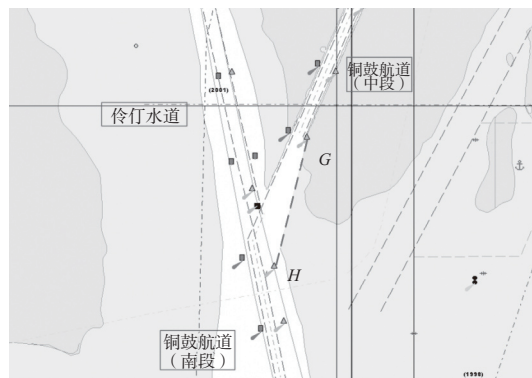
船型	船速/ kn	风、流取值		现行规范计算值		本项目方法计算值	
		横流/(m·s ⁻¹)	横风/级	计算值/m	船宽倍数	计算值/m	船宽倍数
10万吨级集装箱船	8	≤0.5	≤7级	208.0	4.86	219.1	5.12
	12	≤0.5	≤7级	208.0	4.86	202.3	4.73
	8	≤1.0	≤7级	248.0	5.79	271.1	6.33
	12	≤1.0	≤7级	248.0	5.79	235.2	5.50
15万吨级集装箱船	8	≤0.5	≤7级	251.7	5.88	272.2	5.02
	12	≤0.5	≤7级	251.7	4.64	253.7	4.68
	8	≤1.0	≤7级	293.9	6.87	329.5	6.08
	12	≤1.0	≤7级	293.9	5.42	292.8	5.40

岛附近起，至大屿山西北侧海域内，航道呈SSW走向，全长23.7 km，目前的铜鼓航道及公共航道可供10万吨级的集装箱船舶全天候通航，其中铜鼓航道的通航水深为-15.8 m，底高程为-15.8 m，有效宽度为210 m及其边坡比为1:7。

结果显示：现有的航道宽度对于10万吨级集装箱船在6级风时进出港操作有一定困难，建议对大型船舶进出港的条件实施一定的限制。由模拟试验的操船实践结果可知，船舶在主航道内的航速小于10 kn时其保向存在困难，建议船舶在主航道内使用安全航速，推荐10万吨级集装箱船在铜鼓航道内的船速一般为12~14 kn，但在进出铜鼓航道南段交叉口处，考虑到受其他交通流的影响船舶应控制在12 kn以内，对于超大型船舶应限制风力为5级风以下，同时考虑到大型船舶的下沉量，建议将富裕水深取为15%；建议选取铜鼓航道（中段）T3绿浮处点为G、A7绿浮处为点H，将GH连线作为入口航道的右侧边界线，并将水深不足水域进行疏浚，以提高大型船舶在此水域处的通航安全（图3）。



a) 拓宽前



b) 拓宽后

图3 南端口航道拓宽前后对比

4 结论

1) 在航道设计过程中，聘请具有丰富实践经验的航海人员参与船舶操纵模拟试验，获取数据并确定相应的设计主尺度，有利于航道工程建设从设计到实践的衔接，使所设计的航道更加适应航海人员的操纵特点、适应不同船型船舶的操纵特性需求，确保当地水域的水上交通安全，更有效地保护当地海港水域环境。

2) 通过实例检验表明试验结果的精度能满足实际工程应用的要求，可得结论：船速对航迹带宽度的影响是显著的，故在航道设计计算航迹带宽度时应考虑船速对其的影响，同时还应考虑不同风级、流速及代表设计船型的船速对其所需航道宽度的影响。

(下转第128页)