



国内外海港航道宽度设计方法对比

肖鑫, 卢昭

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 介绍了我国《海港总平面设计规范》、国际航运协会组织编写的《进港航道设计导则》(2014)、西班牙港口局主编的《西班牙港口设计规范》、日本航运标准委员会主编的《日本航道设计规范》中关于航道宽度的计算方法及相关规定。对比分析了在不同横流、横风、航速情况下典型的集装箱船和油轮的单向、双向航道宽度计算结果, 得出了一些有益的结论。

关键词: 航道宽带; 设计方法; 对比

中图分类号: U 611

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)10-0162-07

Comparison of the calculation method of channel width between domestic and abroad

XIAO Xin, LU Zhao

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: The concepts and detailed design of channel width of *Design Code of General Layout for Sea Ports* (China), *Harbor Approach Channels Design Guidelines* (PIANC, 2014), *Spanish Recommendation for Maritime Works of Spain* (Spain), *New design standards for the ports and harbor* (Japan) are introduced. Along with the comparisons of channel width of the one-way and two-way channel of typical container ship and VLCC by different cross flow, wind and ship speed, some useful conclusions are drawn.

Keywords: channel width; design method; comparison

随着国家走出去战略的实施, 港口工程项目的国际化趋势也日益显著, 对国外规范的理解日趋紧迫, 为了更好地了解航道宽度设计的最新理念, 本文介绍 JTS 165—2013《海港总平面设计规范》(简称中国规范)、国际航运协会《进港航道设计导则(2014)》(简称 PIANC 导则)、ROM, 3.1-99《西班牙港口设计规范》(简称西班牙规范)、《日本航道设计规范》(简称日本规范)中关于航道宽度的计算方法及公式, 对比分析了不同工况下典型的集装箱船和油轮航道宽度的计算结果, 对航道宽度设计提出了一些建议。

1 航道宽度设计方法

1.1 中国规范

中国规范中航道通航宽度由航迹带宽度、船舶间富裕宽度(船舶间距)和船舶与航道底边间的富

裕宽度(船岸间距)组成。其中航迹带宽度由船舶尺度和考虑横风、横流影响的船舶漂移倍数 n 以及风、流压偏角 γ 值计算得出。船舶间富裕宽度取船舶宽度。船舶与航道底边间的富裕宽度由船舶分类和航速确定^[1]。

1.2 PIANC 导则关于双向航道宽度规定

PIANC 导则航道的总宽由航迹带宽度、船岸间距和船舶间距组成^[2]。

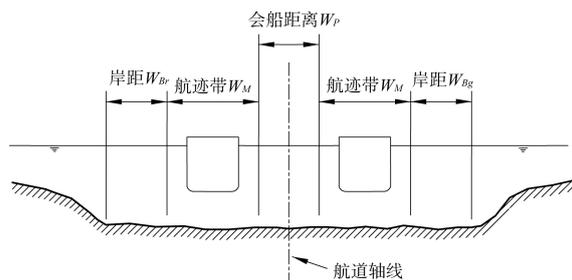


图1 PIANC 双向航道宽度计算

1) 基本操纵带宽度。

基本操纵带宽度 W_{BM} 是设计船舶在很有利的环境和驾驶条件下安全航行所需的宽度^[3](表 1)。

表 1 基本操纵带宽度

船舶操纵状况	基本操纵带 W_{BM}
良好	1.3B
中等	1.5B
较差	1.8B

注: B 为船舶宽度。

2) 附加宽度。

基本操纵带 W_{BM} 加上附加宽度 W_i (考虑风、流等影响) 即为航迹带(操纵带)宽度 W_M , 附加宽度取值见表 2。

表 2 航道直线段的附加宽度

考虑因素	指标	船速	暴露于开敞水域的外航道	有掩护水域的内航道
船速	快 > 12 kn		0.1B	0.1B
	中 > 8 ~ 12 kn		0.0	0.0
	慢 5 ~ 8 kn		0.0	0.0
盛行的横风	温和 ≤ 15 (≤ 4 级) kn	所有	0.0	0.0
		快	0.3B	
		中	0.4B	0.4B
	中等 > 15 ~ 33 kn (> 4 ~ 7 级)	慢	0.5B	0.5B
		快	0.6B	
剧烈 > 33 ~ 48 kn (> 7 ~ 9 级)	中	0.8B	0.8B	
	慢	1.0B	1.0B	
	快	0.7B		
盛行的纵向流	可忽略 < 0.2 kn	所有	0.0	0.0
		快	0.1B	
		中	0.2B	0.1B
	低速 0.2 ~ 0.5 kn	慢	0.3B	0.2B
		快	0.5B	
	中速 > 0.5 ~ 1.5 kn	中	0.7B	0.5B
慢		1.0B	0.8B	
快		0.7B		
高速 > 1.5 ~ 2.0 kn	中	1.0B		
	慢	1.3B		
	快	0.7B		
盛行的纵向流	低速 ≤ 1.5 kn	所有	0.0	0.0
		快	0.0	
		中	0.1B	0.1B
	中速 1.5 ~ 3.0 kn	慢	0.2B	0.2B
		快	0.1B	
高速 > 3.0 kn	中	0.2B	0.2B	
	慢	0.4B	0.4B	

续表 2

考虑因素	指标	船速	暴露于开敞水域的外航道	有掩护水域的内航道
有效波高 H_s 和波长 λ	$H_s \leq 1\text{ m}$ 和 $\lambda \leq L$	所有的	0.0	0.0
		快	≈ 2.0B	
		中	≈ 1.0B	
	$3\text{ m} > H_s > 1\text{ m}$ 和 $\lambda = L$	慢	≈ 0.5B	
		快	≈ 3.0B	
$H_s > 3\text{ m}$ 和 $\lambda > L$	中	≈ 2.2B		
	慢	≈ 1.5B		
航标	优良有海上交通管制		0.0	0.0
		良好	0.1B	0.1B
		中等偶而视线不佳	0.2B	0.2B
		中等时常视线不佳	≥ 0.5B	≥ 0.5B
航道底质	水深 ≥ 1.5T		0.0	0.0
		光滑和柔软	0.1B	0.1B
		光滑或倾斜及坚硬	0.1B	0.1B
		粗糙坚硬	0.2B	0.2B
航道水深	≥ 1.5T		0.0	≥ 1.5T, 0.0
		1.5T ~ 1.25T	0.1B	< 1.5T ~ 1.15T, 0.2B
货物危险等级	< 1.25T	低	0.0	
		中	~ 0.5B	
		高	~ 1.0B	

3) 船间距。

船-船间距 W_p 的选取见表 3。其中应使用通行的最大船舶的宽度, 不论它是否为设计船型。给出的值是按照双向航行、相遇会船考虑的。如果船舶以相对低速超越时, 两船相互作用的可能性更大, 因此船-船间距应增加 50%。会船密度按表 4 确定, 考虑的船舶不包括游艇、渔船等小船。

表 3 双向航道的船-船间距

考虑因素	指标	船-船间距 W_p 无掩护的外航道	有掩护水域的内航道
船速	快速 > 12 kn	2.0B	
	中速 8 ~ 12 kn	1.6B	1.4B
	慢速 5 ~ 8 kn	1.2B	1.0B
交会遭遇密度	较小	0.0	0.0
	中等	0.2B	0.2B
	较大	0.5B	0.4B

表4 会船密度分类

分级	会船密度/(艘/h)
较小	0~1.0
中级	>1.0~3.0
较大	>3.0

4) 船-岸间距。

船-岸间距的定义是当艘船靠近航迹带边缘时,为克服岸壁效应的最小距离。船-岸间距选取主要与岸壁的形式有关,具体取值见表5。

表5 船-岸间距

地形	船速	船-岸间距(W_{br} 或 W_{Bg})	
		无掩护的外海航道	有掩护水域的内航道
缓斜坡边缘 (小于等于1:10)	快	0.2B	0.2B
	中	0.1B	0.1B
	慢	0.0B	0.0B
斜坡状航道边缘、浅滩	快	0.7B	0.7B
	中	0.5B	0.5B
	慢	0.3B	0.3B
陡峭坚硬堤岸 或建筑物	快	1.3B	1.3B
	中	1.0B	1.0B
	慢	0.5B	0.5B

货物危险性根据以下定义:毒性、爆炸性、污染性、燃烧性、腐蚀性。货物危险性分类见表6。

表6 货物危险性分类

危险等级	货种
低	干散货、件杂货、集装箱、旅客、杂货、货运拖车
中	散装油品
高	航空酒精、液化石油气、液化天然气、各种化学制品

1.3 西班牙规范关于双向航道宽度规定

航道由船宽、船舶基本操作宽度、船舶间富裕宽度、船舶与航道底边间的富裕宽度等组成。单线和双线航道通航宽度可分别按式(1)和式(2)计算^[4]。

$$W = B + b_d + 2(b_e + b_r + b_b) + (rh_{sm} + rh_{sd})_i + (rh_{sm} + rh_{sd})_d \quad (1)$$

$$W = 2[B + b_d + 2(b_e + b_r + b_b)] + b_s + (rh_{sm} + rh_{sd})_i + (rh_{sm} + rh_{sd})_d \quad (2)$$

式中: b_d 为船舶基本操作宽度; b_e 为考虑定位误差的附加宽度; b_r 为考虑船舶操作性能的附加宽度, $b_r = (1.5 - E_{max}) b_{no}$,其中 E_{max} 为最大允许危险值,当 E_{max} 取0.5时, b_{no} 可以参考表7。操作性能分类参考表8; b_b 为考虑航标误差的附加宽度; b_s 为船船间距; $(rh_{sm} + rh_{sd})_i$ 、 $(rh_{sm} + rh_{sd})_d$ 为左右

两侧的船岸间距,推荐取值见表9。船船间距外航道与内航道分别考虑,见表10。

表7 b_{no} 取值

操作性能	b_{no}	
	$h/T \leq 1.2$	$h/T \geq 1.6$
低	0.3B	0.2B
中	0.2B	0.15B
高	0.1B	0.1B

表8 操作性能分类

操作性能	货种
低	出现故障及老旧船舶
中	油船、散货船、LNG、集装箱船、多用途船舶和客船
高	军舰、驳船、滚装船、小船

表9 船岸间距

缓坡(坡陡 $\leq 1/3$)	硬质、陡峭边坡(坡陡 $\geq 1/2$)或建筑		
航速 ≥ 6 m/s	0.7B	航速 ≥ 6 m/s	1.4B
4 m/s \leq 航速 ≤ 6 m/s	0.5B	4 m/s \leq 航速 ≤ 6 m/s	1.0B
航速 ≤ 4 m/s	0.3B	航速 ≤ 4 m/s	0.6B

表10 船船间距

航道	船速/(m/s)			交会遭遇密度/(艘/h)		
	≥ 6	4~6	≤ 4	0~1	1~3	>3
外航道	2.0B	1.6B	1.2B	0	0.2B	0.5B
内航道		1.4B	1.0B	0	0.2B	0.4B

关于流速的附加宽度计算,西班牙规范规定如下:

$$b_d = L_{pp} \cdot \sin\beta \quad (3)$$

考虑风的影响:

$$\beta = \arcsin \frac{K_v C_v v_{sr} \sin\alpha_{vr}}{v_r} \quad (4)$$

$$C_v = \left(\frac{A_{LV}}{A_{LC}} \right)^{0.5} \quad (5)$$

式中: K_v 为船型参数; A_{LV} 为船舶纵向受风面积; V_{LC} 为船舶纵向中心投影淹没面积; v_{sr} 为风速; v_r 为船舶航速; α_{vr} 为风压偏角。

考虑流的影响:

$$\beta = \arctan \frac{v_c \sin\alpha_{cv}}{v + v_c \cos\alpha_{cv}} \quad (6)$$

式中: v_c 为绝对流速; v 为船舶航速; α_{cv} 为流压偏角。

1.4 日本规范关于双向航道宽度规定

航道通航宽度按照船舶基本操作宽度、船舶间富裕宽度之和乘以安全系数计算。单线和双线

航道通航宽度可按式(9)计算^[5]。

$$W = (W_{BM} + W_{IF}) C_{SF} \quad (7)$$

$$W_{BM} = A(W_{WF} + W_{CF} + W_{YF} + W_{DD}) \quad (8)$$

$$W_{IF} = aW_{BA} + bW_{PA} + cW_{OV} \quad (9)$$

式中: C_{SF} 为安全系数; W_{BM} 为船舶基本操作宽度; W_{WF} 为考虑风影响下的附加宽度; W_{CF} 为考虑流影响下的附加宽度; W_{YF} 为考虑艏摇影响下的附加宽度; W_{DD} 为考虑偏移航道中心探测误差的附加宽度; W_{BA} 为船岸间距; W_{PA} 为船船相向行驶间距; W_{OV} 为

超船间距; a 、 b 、 c 为系数, 单向航道 $a=1$ 、 $b=0$ 、 $c=0$; 双向航道 $a=2$ 、 $b=1$ 、 $c=0$; 四向航道 $a=4$ 、 $b=1$ 、 $c=2$ 。

$$W_{WF} + W_{CF} = L_{oa} \sin\beta + B \cos\beta \quad (10)$$

式中: L_{oa} 为船舶总长; B 为船宽。

$$\beta = \beta_1 + \beta_2 \quad (11)$$

式中: β_1 为风压偏角; β_2 为流压偏角。

日本规范需先通过表 11 计算安全评估分数, 再通过表 12 中查出安全系数 C_{SF} 。

表 11 安全评估

安全评估分数	航速 U	船型					通行密度	船间距 SI	不定因素	
低	$U < 7.5 \text{ kn}$	0	散货船	一般货船	集装箱船	...	0	$10L_{oa} \leq SI$	0	
中	$7.5 \text{ kn} \leq U$	0	客船	...			1	$6L_{oa} \leq SI < 10L_{oa}$	2	
高	$12.5 \text{ kn} \leq U$	1	油船	LPG	LNG	化学品运输船	...	3	$4L_{oa} \leq SI < 6L_{oa}$	5

表 12 安全系数

安全评估分数	安全系数
0~2	1.0
3~6	1.1
7~9	1.2
10~12	1.3

表 13 各规范航道宽度计算时考虑的影响因素

影响因素	PIANC 导则	日本规范	西班牙规范	中国规范
航速	√	√	√	√
横风	√	√	√	√
横流	√	√	√	√
顺流	√			
波浪	√			
导助航设施	√	√		
底面	√			
水深	√			
货物危险性	√	√	√	√
内航道或外航道	√		√	
交通密度	√	√	√	
水深吃水比	√		√	
拖轮			√	
艏摇		√		
漂移		√		
边坡形式	√	√	√	

1.5 航道宽度不同计算方法对比分析

船舶在航道内航行时, 在没有风、浪、水流等外界干扰的条件下, 船舶在手工控制下扫出一条超过船宽的航迹带^[1]。在航道设计中, 航迹带宽度被广泛使用, 中国规范、PIANC 导则、西班牙规范、日本规范均规定航道的总宽由航迹带宽度、船岸间距和船船间距组成。但不同的是中国规范把风和流的影响因素联合考虑, 通过风速和流速, 根据经验表格查出漂移倍数和风流压偏角来计算航迹带宽度, 其他 3 个规范均单独考虑风速和流速的影响, 然后进行叠加。西班牙规范和日本规范中航迹带宽度概念涵盖的范围更广, 其中西班牙规范考虑了拖轮造成的影响; 日本规范中航迹带宽度考虑了艏摇的影响以及行驶时偏移航道中心的误差。日本规范中指出, 在实际操船过程中, 可以通过 3 种方式来探测这种误差: 通过肉眼和雷达观察浮标探测偏移, 通过 GPS 或 DGPS 探测偏移。相比较雷达观测法误差较小, 下面的比较计算中采用雷达观测法。为了更直观地比较各规范的异同点, 请参考表 13 各规范影响因素统计。

另外, 各国规范对危险性的规定标准各不相同, 其中中国规范的危险性规定是按照船型和船速联合考虑的, PIANC 导则只按照船型进行分类, 西班牙规范按照船舶吃水比和船速联合考虑, 日本规范按照船速、船型、通行密度联合考虑。

2 航道宽度对比

2.1 典型集装箱不同横流、横风、航速情况下航道宽度比较

各国规定的方法不尽相同, 很难做出一个全面的对比, 以下假定一些特定工况来加以比较,

以便得到一些趋势性结论。风、流、航速是影响航道宽度设计的重要因素，下面分别对这3个因素进行对比研究。取5.9万吨级集装箱船(船舶总长288.3 m，垂线间长273 m，船宽32.3 m，吃水13.3 m，方形系数0.67)，分别计算直线段外航道的宽度，船舶交汇密度为中等。

典型集装箱在不同横流流速情况下航道宽度比较见图2。典型集装箱在不同横风风速情况下航道宽度比较见图3。典型集装箱在不同航速情况下航道宽度比较见图4。

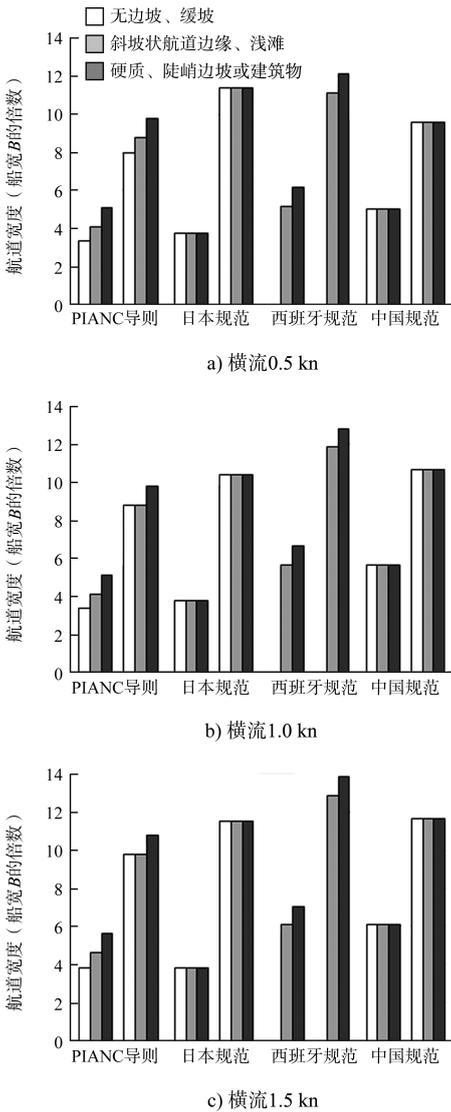
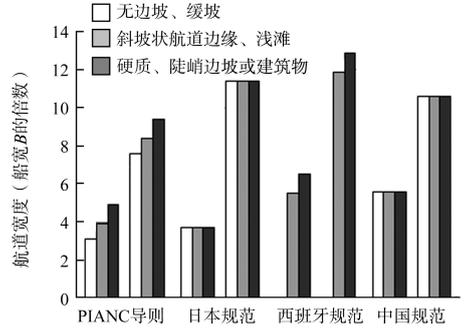
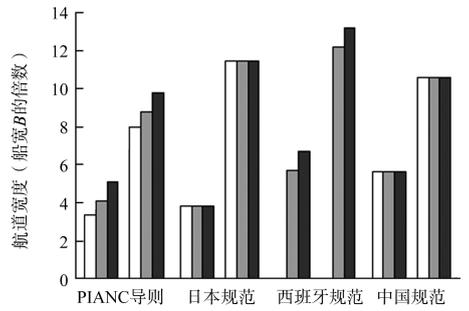


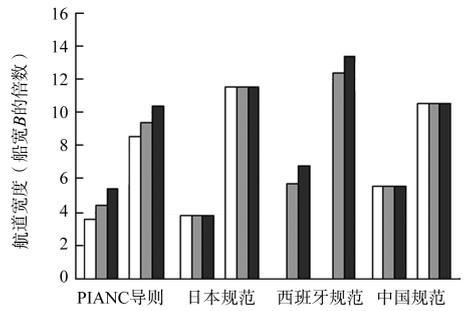
图2 航速10 kn、横风10 m/s(90°)情况下, 3种横流流速的航道宽度对比



a) 横风4级

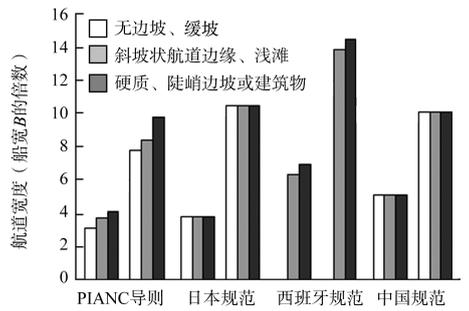


b) 横风6级

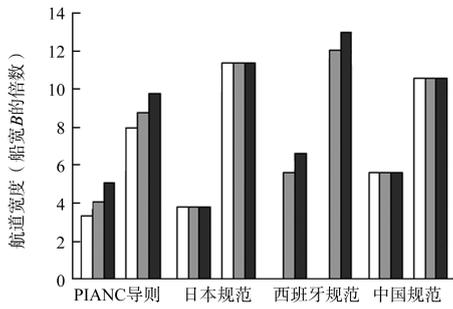


c) 横风7级

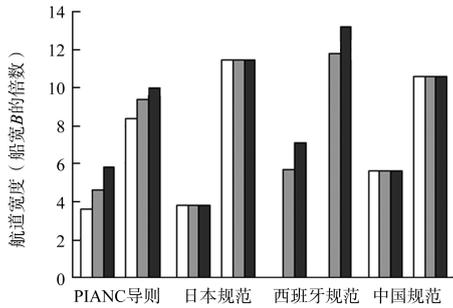
图3 航速10 kn、横流1 kn(90°)情况下, 3种横风风速的航道宽度对比



a) 航速5 kn



b) 航速 10 kn



c) 航速 14 kn

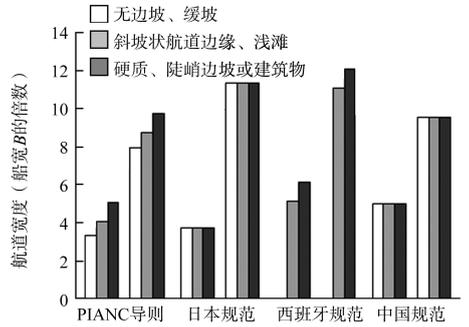
图 4 横风 10 m/s (90°)、横流 1 kn (90°) 情况下, 3 种航速的航道宽度对比

从上面的图表可以看出, 我国现行的《海港总平面设计规范》中对于集装箱航道设计宽度与国外取值基本相当。我国规范航道边坡情况统一考虑, 下面只分析斜坡状航道边缘、浅滩的情况。双向航道宽度设计时, PIANC 导则设计宽度最小, 西班牙规范最大。相比其他规范, 不同横风情况下, 日本规范单向航道取值最小, 中国规范单向航道取值偏大。

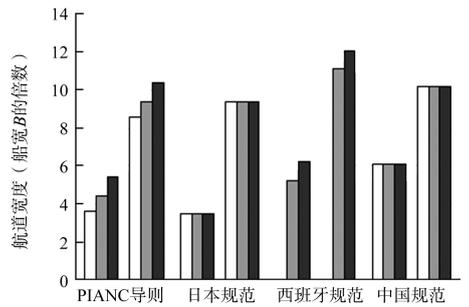
2.2 典型油轮在不同横流、横风、航速情况下航道宽度比较

已知条件: 直线段外航道, 双向通航, 混合交通。航道外水深/航道内水深=0.8。取 28 万吨级油轮 (船舶总长 333 m, 垂线间长 316 m, 船宽 60 m, 吃水 20.4 m, 方形系数 0.794 1), 船舶交汇密度为中等, 分别计算直线段外航道的宽度。

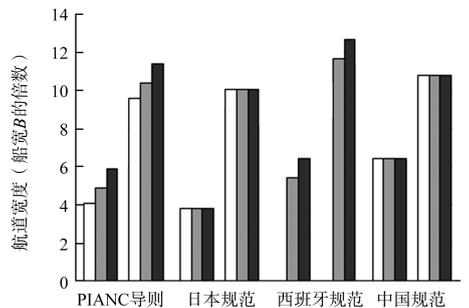
不同情况下, 3 种横流流速的航道宽度见图 5~7。



a) 横流 0.5 kn

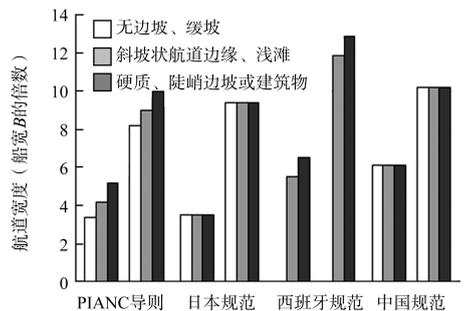


b) 横流 1.0 kn



c) 横流 1.5 kn

图 5 航速 10 kn、横风 10 m/s (90°) 情况下, 3 种横流流速的航道宽度对比



a) 横风 4级

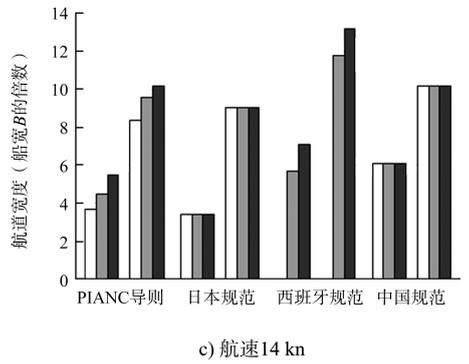
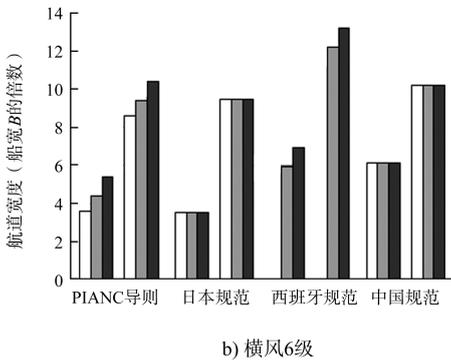


图7 横风 10 m/s(90°)、横流 1 kn(90°) 情况下, 3 种航速的航道宽度对比

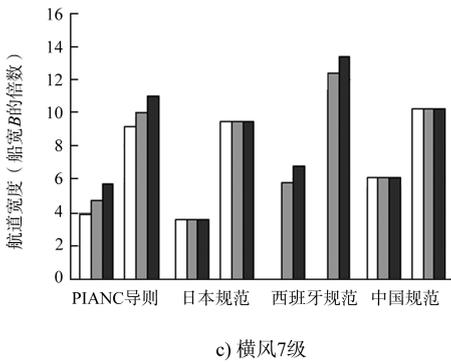
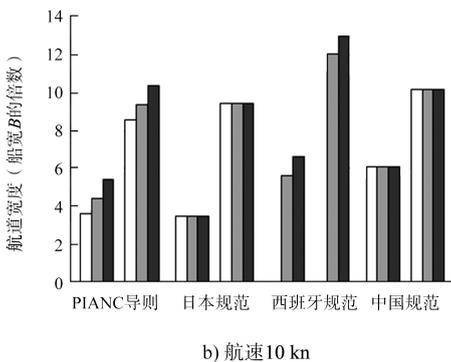
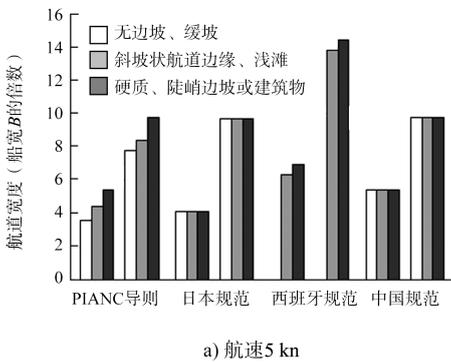


图6 航速 10 kn、横流 1 kn(90°) 情况下, 3 种横风风速的航道宽度对比



我国现行的《海港总平面设计规范》对于油轮航道设计宽度与国外取值基本相当。对于单向航道，日本规范取值最小，不同横风情况下，我国航道设计值偏大。对于双向航道，中国航道设计宽度与国外取值基本相当，在不同横风和航速的情况下，西班牙规范取值偏大。不同横风情况下，日本规范单向航道取值最小，中国规范单向航道取值偏大。

3 结论

1) 在航道设计中，航迹带宽度被广泛使用，中国规范、PIANC 导则、西班牙规范、日本规范均规定航道的总宽由航迹带宽度、船岸间距和船船间距组成。但不同的是中国规范把风和流的影响因素联合考虑，通过风速和流速，根据经验表格查出漂移倍数和风流压偏角来计算航迹带宽度，其他 3 个规范均单独考虑风速和流速的影响，后进行叠加。

2) 对集装箱及油轮采用典型船进行了不同工况的对比计算，我国现行的《海港总平面设计规范》对于集装箱航道设计宽度总体上看差别不大；我国规范结果在自然环境较好的情况下，航道设计宽度基本与其他规范相当，但是在复杂条件下，尤其是风速或航速较大的情况下，建议宽度进行适当的增加。

(下转第 173 页)