



直立式岸壁折角处泊位长度优化研究

张鹏, 储小欢, 杨国平, 付博新

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 随着船舶大型化的发展, 运用《海港总平面设计规范》中直立式岸壁折角处船长系数计算大型码头泊位长度时, 易造成一定的岸线资源浪费。在原规范制定思路的基础上, 分析和推导了在不同角度、不同船型、不同靠泊状态下直立式岸壁折角处船舶(岸)间距与船舶尺度的关系和规律; 细化了折角处不对称靠泊情况下的船长系数取值。同时, 结合实际操船经验对大型船舶在不同折角情况下的船长系数进行优化和修正, 在保证船舶操船安全的前提下, 适度减少折角处泊位的富裕长度, 达到节约岸线资源的目的。

关键词: 船长系数; 直立式岸壁; 折角; 泊位长度; 富裕长度

中图分类号: U 652.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)04-0069-05

Optimization on berth length for corner of vertical quay wall

ZHANG Peng, CHU Xiao-huan, YANG Guo-ping, FU Bo-xin

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

Abstract: With the development of the large-scale vessel, the corner berth length of vertical quay wall for large-scale terminals will usually cause more occupation of shoreline, when calculating with the vessel-length parameters which is determined by the *Design Code of General Layout for Sea Port*. Based on the idea of original train of thought, the relations and regular pattern are analyzed and derived among the distance between ships or ship and the quay wall, ship dimension, in different angles, ship types and berthing circumstances. In addition, the paper presents vessel length factors in the shoreline corner in the case of asymmetric berthing. Meanwhile, vessel length parameters are optimized and fixed in different shoreline corners, on the basis of maneuverability experience of large-scale vessel. The purpose of this study is to economize the resource of shoreline by moderately reducing the surplus berth length at the shoreline corner, which is in the premise of ensuring the safety of the maneuverability.

Key words: vessel length parameter; vertical quay wall; corner; berth length; surplus berth length

港口岸线是港口建设的基础性资源, 是不可再生的宝贵战略资源。随着港口规模和运输需求的不断扩大, 港口发展面临的土地、水域和岸线等资源约束越来越强, 进一步提高港口岸线资源的利用效率已成为港口实现可持续发展的迫切要求。确保每一寸有限的岸线资源得到有效保护和合理开发, 让优势资源发挥最大效益, 让稀缺资源永续利用, 是建设“资源节约型、环境友好型”

港口的终极目标。

1 研究背景

JTJ 211—1999《海港总平面设计规范》自发布实施以来, 对促进我国港口建设技术进步发挥了重要作用。规范第4.3.8.1款条文规定: 直立式岸壁折角处的泊位长度^[1]按下式计算:

$$L_b = \xi L + \frac{d}{2} \quad (1)$$

收稿日期: 2013-07-04

作者简介: 张鹏(1981—), 男, 硕士, 从事港口航道工程规划与设计工作。

式中： ξ 为船长系数，采用表 1 中的数值； d 为富裕长度，采用表 2 中的数值。

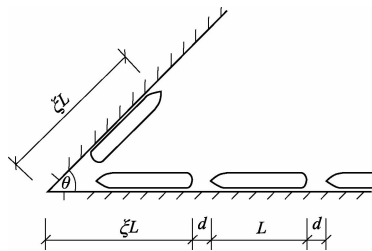


图 1 直立式岸壁折角处的泊位长度

表 1 船长系数 ξ

两直立式岸壁间夹角 $\theta/(^\circ)$	载质量/t	
	$DWT > 5\ 000$	$DWT \leq 5\ 000$
60	1.45	1.55
70	1.35	1.40
90	1.25	1.30
120	1.15	1.20

注：对 1000 吨级以下船舶，折角处的富裕长度可适当减小。

表 2 富裕长度 d

L/m	<40	41~85	86~150	151~200	201~230	>230
d/m	5	8~10	12~15	18~20	22~25	30

此条文规定了有掩护港口当码头布置成折线时，其转角处泊位长度的计算方法，长期以来指导相关工程人员的设计工作，满足了实际需要。

随着我国港口建设迈入新的发展阶段，大型码头建设的数量逐渐增多；同时，随着沿海优良岸线的不断减少，非优良建港条件下建设码头的工程实例逐步增多，其对岸线资源的节约要求和建设成本的控制要求程度均在逐步提升。部分正在规划建设的工程案例反馈，认为随着船舶大型化的发展，对大型船舶 ($DWT > 10$ 万 t) 用此条文确定的泊位长度会导致折角处富裕长度过大，造成宝贵岸线浪费，特别是当折角角度较小时浪费情况更为严重。

鉴于此，本文顺应船舶大型化的发展趋势，拟在原规范制定思路的基础上，对在不同角度、不同船型、不同靠泊状态情况下直立式岸壁折角处船舶间距与船长和船宽的关系和规律进行统计分析和归纳总结，提出相应的优化取值；并结合大型船舶引航员的操船经验，对船舶大型化趋势下的折角富裕长度取值进行研究。

2 研究原理及过程

泊位长度与船长系数 ξ 有直接的关系， ξ 越

大，泊位越长，船舶间距越大，船舶越安全，但同时占用的资源岸线越长，不经济^[2]。另外 ξ 又与船员的操作水平有关，操纵娴熟、操作水平高，船舶安全距离可以相对缩小，相应 ξ 可以取小；反之亦然。因此，船长系数 ξ 是安全性、经济性和船舶操纵三者之间的平衡协调关系。

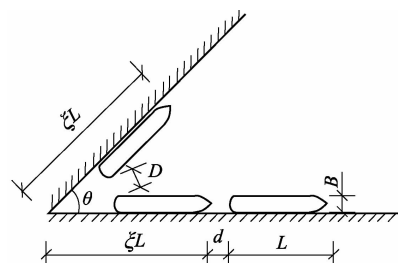
原规范船长系数 ξ 是根据直立式岸壁两侧布置有同等大小的船舶确定的，未考虑两侧船舶布置不同的情况。本研究根据原有规范，对各种船型在典型岸壁角度下的泊位长度加以统计研究，把两侧船舶的布置细化为以下两种情况：1) 两侧布置有同等大小的船舶，此与原规范一致；2) 仅一侧停靠船舶的情况，此为原规范未规定情况。

情况 1) 经过多年的工程实践，使用情况较为良好，中小型船舶的船舶间距基本适应船舶实际运营的安全间距要求。因此，本研究以此作为基础依据，统计出情况 1) 中船舶与船舶之间的安全距离。在不降低此距离标准的情况下推演仅一侧岸壁靠泊船舶情况 2) 下的船长系数取值。

2.1 船舶间距分析（折角处两侧均靠泊船舶）

对折角两侧均靠泊船舶的情况，为了简化研究，做以下假定：1) 考虑最保守情形，船舶在折角处以艏对艏方式停泊；2) 船尾呈半圆形，半圆直径即为船宽；3) 结合实际，船身距码头岸壁按 1 m 考虑。

直立式岸壁折角处的计算尺度见图 2。



注： L 为船长； B 为船宽； θ 为岸壁夹角； ξ 为船长系数； D 为船舶间距。

图 2 直立式岸壁折角处计算尺度

依照现有规范，折角为典型角度 60° ， 90° ， 120° 时，选取统计杂货船、散货船、油船、集装箱船等 4 种常见船型的船舶间距数据，见表 3。

表3 岸壁折角分别为60°, 90°和120°时各船型靠泊尺度关系

船型	船型尺度				岸壁折角/(°)								
	DWT/万t	L/m	B/m	L/B	60			90			120		
					D/m	D/L	D/B	D/m	D/L	D/B	D/m	D/L	D/B
杂货船	1	146	22.0	6.6	33.9	0.23	1.54	28.2	0.19	1.28	23.0	0.16	1.05
	2	166	25.2	6.6	38.5	0.23	1.53	32.1	0.19	1.27	26.2	0.16	1.04
	3	192	27.6	7.0	47.0	0.24	1.70	38.9	0.20	1.41	31.4	0.16	1.14
	4	200	32.2	6.2	44.3	0.22	1.38	37.1	0.19	1.15	30.5	0.15	0.95
散货船	1	135	20.5	6.6	31.0	0.23	1.51	25.8	0.19	1.26	21.1	0.16	1.03
	2	164	25.0	6.6	37.9	0.23	1.52	31.6	0.19	1.26	25.8	0.16	1.03
	3.5	190	30.4	6.3	42.2	0.22	1.39	35.4	0.19	1.16	29.1	0.15	0.96
	5	223	32.3	6.9	54.5	0.24	1.69	45.1	0.20	1.40	36.5	0.16	1.13
	7	228	32.3	7.1	56.7	0.25	1.76	46.9	0.21	1.45	37.8	0.17	1.17
	10	250	43.0	5.8	52.0	0.21	1.21	44.0	0.18	1.02	36.7	0.15	0.85
	15	289	45.0	6.4	66.8	0.23	1.48	55.8	0.19	1.24	45.6	0.16	1.01
	30	339	58.0	5.8	71.6	0.21	1.23	60.4	0.18	1.04	50.3	0.15	0.87
油船	1	141	20.4	6.9	33.9	0.24	1.66	28.0	0.20	1.37	22.7	0.16	1.11
	2	164	26.0	6.3	36.6	0.22	1.41	30.6	0.19	1.18	25.1	0.15	0.97
	3	185	31.5	5.9	38.5	0.21	1.22	34.8	0.19	1.10	27.1	0.15	0.86
	5	229	32.2	7.1	57.3	0.25	1.78	47.3	0.21	1.47	38.1	0.17	1.18
	8	243	42.0	5.8	50.2	0.21	1.20	42.5	0.17	1.01	35.5	0.15	0.85
	10	246	43.0	5.7	50.2	0.20	1.17	42.6	0.17	0.99	35.7	0.15	0.83
	15	274	50.0	5.5	53.3	0.19	1.07	45.5	0.17	0.91	38.5	0.14	0.77
	20	334	60.0	5.6	66.6	0.20	1.11	56.7	0.17	0.95	47.7	0.14	0.80
集装箱船	1	141	22.6	6.2	30.8	0.22	1.36	25.8	0.18	1.14	21.3	0.15	0.94
	2	183	27.6	6.6	42.9	0.23	1.55	35.7	0.20	1.29	29.0	0.16	1.05
	3	241	32.3	7.5	62.6	0.26	1.94	51.5	0.21	1.59	41.1	0.17	1.27
	5	293	32.3	9.1	57.3	0.25	2.66	69.9	0.24	2.16	54.6	0.19	1.69
	7	300	40.3	7.4	50.2	0.21	1.94	54.4	0.21	1.60	51.4	0.17	1.28
	10	346	45.6	7.6	91.7	0.27	2.01	75.3	0.22	1.65	60.0	0.17	1.32
	15	398	56.4	7.1	100.3	0.25	1.78	82.9	0.21	1.47	66.6	0.17	1.18

由表3统计结果可以看出:1)按照原规范计算出的船船间距 D 对于中小船型尚较为合理,但随着船型增大, D 值迅速增大,超出了船舶端部系缆所需的长度,对岸线产生一定程度的浪费。2)对于某一夹角,各种船型的船船间距与船舶尺度的比值集中在一个很小的范围,接近一定值,与吨级大小和船舶货种无明显关系。

船船间距与船长 L 的比值针对不同角度的分布如下:60°时为0.19~0.27(多集中在0.22~0.23),90°时为0.17~0.24(多集中在0.19~0.20),120°时为0.14~0.19(多集中在0.15~0.16),随着夹角的增大船船间距与船长的比值呈减小趋势。

同样,各种船型的船船间距与船宽 B 的比值

针对不同角度的分布如下:60°时为1.07~2.66(多集中在1.21~1.78),90°时为0.91~2.16(多集中在1.14~1.47),120°时为0.77~1.69(多集中在0.85~1.28),随着夹角的增大船船间距与船宽的比值呈减小的趋势。可以看出,船船间距与船长 L 间的规律性要比与船宽 B 的强。

实际上,根据假定的模型,同样可以推求出船船间距 D 与船长 L 、夹角 θ 以及船长系数 ξ 间的关系:

$$D=2\left[\left(\xi-1\right)L\sin\frac{\theta}{2}+\frac{B}{2}\left(\sin\frac{\theta}{2}-\cos\frac{\theta}{2}-1\right)\cos\frac{\theta}{2}\right] \quad (2)$$

有资料统计,各种船型的长度与宽度之比大致见表4。

表4 各类船舶船长与船宽的平均比值^[3]

船型	L/B
杂货船	6.6
散货船	6.1
油轮	5.7
集装箱船	7.7
LNG	6.4

从表3结果统计也可以看出,船长与船宽存在式(3)的关系,且除集装箱船船型较特殊外,其余船型均随着船型增大,船长与船宽的比值有减小趋势。

$$L = 5.5B \sim 7.5B \quad (3)$$

代入式(2),略去小项,得到

$$\frac{D}{L} = 2 \left[(\xi - 1) \sin \frac{\theta}{2} + \frac{(\sin \frac{\theta}{2} - \cos \frac{\theta}{2} - 1)}{11 \sim 15} \right] \quad (4)$$

式(4)表明,船船间距与船长的比值与船长系数 ξ 和夹角 θ 有关。依照现有规范,对于某一夹角有确定的船长系数 ξ 与之对应,得到的船船间距与船长的比值即为一定值,此公式验证了前述统计规律。

2.2 船岸间距分析(折角处仅一侧靠泊船舶)

相似地,根据推导前述公式的思路得到折角处仅一侧靠泊船舶时的船岸间距。

$$\frac{D}{L} = \xi - 1 + \frac{(\sin \theta - \cos \theta - 1)}{11 \sim 15} \quad (5)$$

式(5)表明,船岸间距与船长的比值同样与船长系数 ξ 和夹角 θ 有关。

在船岸间距标准控制在与前述折角两侧均靠泊船舶时船船间距等同的前提下,推算出仅一侧靠泊船舶时的船长系数 ξ (表5)。

表5 仅一侧靠泊船舶时的船长系数 ξ

两直立式岸壁间夹角 $\theta/(^\circ)$	载质量/t	
	DWT>5 000	DWT≤5 000
60	1.30	1.40
70	1.25	1.30
90	1.20	1.25
120	1.13	1.18

综合前述两部分内容分析,对原有规范直立式岸壁折角处船长系数 ξ 细化成果汇总如表6所示。

表6 直立式岸壁折角处船长系数 ξ

两直立式岸壁间夹角 $\theta/(^\circ)$	载质量/t			
	双侧停船		单侧停船	
	DWT>5 000	DWT≤5 000	DWT>5 000	DWT≤5 000
60	1.45	1.55	1.30	1.40
70	1.35	1.40	1.25	1.30
90	1.25	1.30	1.20	1.25
120	1.15	1.20	1.13	1.18

注:对1 000吨级以下船舶,折角处的富裕长度可适当减小。对大型船舶,船长系数可通过操船模拟试验验证确定;对于油轮或其他危险品码头,船长系数可适当加大。

3 船舶大型化趋势下的优化研究

船舶大型化带来的直接变化就是船舶尺度的加大。船长、船宽增大,对应某一角度的船船间距亦随之增大,致使折角处占用的码头岸线加长,此种情况在折角角度小时更甚。

3.1 船舶大型化的优化界定

根据实际工程经验,对于大型船舶在直立式岸壁折角处泊位长度的优化需要满足以下两个基本要求:1)船尾或船首至折角顶点处的距离不小于富裕长度 d ;2)折角处的船船间距不小于最小安全距离 D_0 。

前者是靠泊船舶泊稳系缆的要求,较易满足;后者是为了防止占用码头岸线过长所附加的最小安全距离。

最小安全距离可按以下原则计取:1)根据泊位实际作业要求和常规操船要求,大型船舶(10万t以上)靠泊式船与船之间的绝对距离一般不小于40 m^[4],该宽度一般可满足拖轮操作的水域空间要求。2)结合原规范不同角度情况下船船间距和船长、船宽比值的变化规律,考虑既保证船舶均能安全靠泊、平顺作业,又适度缩减因大型船舶船长较长而引起的较长岸线富裕长度。按拖轮操船所需水域空间,船船间距按1倍船宽左右控制可以满足拖轮操船要求^[4],按照不同的船舶长宽比换算至与船长关系,船船间距确定为0.15L。

综上,根据岸线的实际建设和运营情况,并结合船舶操纵的相关要求,最终确定以10万t船舶作为船长系数优化修正的分界点。其中10万t为非特指船型,主要指船长为250 m左右的各类船型。建议对于船舶吨级小于等于10万t的泊位,按表6规定计算泊位长度;船舶吨级大于10万t,

本研究进行单独论证。大型船舶船间最小安全距离可取 $\max \{0.15L, 40 \text{ m}\}$ 。

3.2 船间距优化 (折角处两侧均靠泊船舶)

根据以上两条要求推求两侧均靠泊船舶时船长系数 ξ 与角度 θ 之间的关系:

$$\xi = 1 + \frac{\left[\frac{0.15}{2} - \frac{\left(\sin \frac{\theta}{2} - \cos \frac{\theta}{2} - 1 \right)}{11 \sim 15} \right]}{\sin \frac{\theta}{2}} \quad (6)$$

各个角度下船长系数 ξ 与折角角度 θ 之间的关系见表7。

表7 船长系数 ξ 与折角角度 θ 之间的关系

$\theta/(\circ)$	ξ		综合
	$L=5.5B$	$L=7.5B$	
60	1.40	1.33	
70	1.33	1.28	1.31
90	1.24	1.20	1.22
120	1.15	1.14	1.15
150	1.11	1.10	1.10

据此,完善优化船长系数 ξ 见表8。

表8 优化后折角处两侧均靠泊船舶时的船长系数 ξ

两直立式岸壁间夹角 $\theta/(\circ)$	载质量/t		
	$DWT > 10$ 万	$5\,000 < DWT \leq 10$ 万	$DWT \leq 5\,000$
60		1.45	1.55
70	1.31	1.35	1.40
90	1.22	1.25	1.30
120	1.15	1.15	1.20
150	1.10	1.10	1.15

为检验修正后的效果,以散货船为例,复核15万t,20万t,30万t共3种船型分别在70°和90°时富裕长度 $(\xi - 1)L$ 与船间距 D 的变化。

由表9可以看出,修正后富裕长度和船间距均有一定幅度的缩减,且随着船型的增大缩减的幅度越大。同时,优化后的船间距亦满足拖轮常规作业的距离要求。

表9 富裕长度 $(\xi - 1)L$ 与船间距 D 优化对比

船型尺度			折角 = 70°						折角 = 90°					
船舶吨级 $DWT/\text{万 t}$	船长 L/m	船宽 B/m	富裕长度 $(\xi - 1)L/\text{m}$			船间距 D/m			富裕长度 $(\xi - 1)L/\text{m}$			船间距 D/m		
			优化前	优化后	差值	优化前	优化后	差值	优化前	优化后	差值	优化前	优化后	差值
15	289	45	101.2	89.6	11.6	58.3	45.1	13.2	72.3	63.6	8.7	55.8	43.5	12.3
20	312	50	109.2	96.7	12.5	61.4	47.0	14.4	78.0	68.6	9.4	58.9	45.7	13.2
30	339	58	118.7	105.1	13.6	62.2	46.7	15.5	84.8	74.6	10.2	60.4	46.1	14.3

3.3 船岸间距优化 (折角处仅一侧靠泊船舶)

对于仅一侧靠泊船舶的情况,同样根据折角处泊位长度优化的两个要求,结合中小型船舶的细化船长系数,完善大型船舶折角处船长系数 ξ 取值(表10)。

表10 大型泊位折角处仅一侧靠泊船舶时船长系数 ξ

两直立式岸壁间夹角 $\theta/(\circ)$	载质量/t		
	$DWT > 10$ 万	$5\,000 < DWT \leq 10$ 万	$DWT \leq 5\,000$
60		1.30	1.40
70	1.19	1.25	1.30
90	1.15	1.20	1.25
120	1.13	1.13	1.18
150	1.10	1.10	1.15

3.4 直立式岸壁折角处船长系数

综合前述细化及优化内容分析,对原规范直立式岸壁折角处船长系数 ξ 做适度修正如(表11)。

对大型船舶,60°折角角度过于狭小,在总平面前期方案阶段,不建议按照此角度布置超过10万t的泊位;若受选址区条件必须布置的,泊位长度船长系数需通过操船模拟予以充分论证后确定。70°折角角度给出的数值仅为理论数值,实际运用中,建议按照5000~10万t的船长系数取值。经操船模拟充分论证后,船长系数可减小到1.31。同时,为了船舶靠离泊和作业的安全,折角处所有5000t以上的船舶原则上均由拖轮辅助靠泊。对于特殊的油轮或者其他危险品码头,船长系数尚应适当加大。(下转第79页)