



系泊船舶在横浪作用下 撞击能量计算参数 C_m 取值研究

陈际丰¹, 魏林², 李雪野¹, 牛恩宗¹

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007; 2. 辽宁大连市港口与口岸局, 辽宁 大连 116001)

摘要: 船舶附加水体质量系数 C_m 的取值对计算系泊船舶在横浪作用下的撞击能量具有十分重要的影响, 目前国内外相关文献对该参数取值差异较大, 且国内水运行业规范的参数取值偏小, 给结构安全带来一定隐患。经过对取值规定的比较, 并参照计算公式、结合工程实例分析计算结果, 得知国内现行规范 C_m 的取值明显小于国内外相关规范和研究报告的取值。建议 20 万吨级以上船舶增大 C_m 取值为 1.7~2.0。

关键词: 横浪; 撞击能量; 船舶附加水体质量系数

中图分类号: P 753

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)02-0163-05

Value of calculation coefficient of mooring ship with impact energy in beam sea

CHEN Ji-feng¹, WEI Lin², LI Xue-ye¹, NIU En-zong¹

(1. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China; 2. Port of Dalian Authority, Dalian 116001, China)

Abstract: The value of C_m , the coefficient of hydrodynamic mass, has an important influence on the calculation of the impact energy of mooring ship in the beam sea. At present, there is a great difference among the values of C_m in current relative domestic and oversea documents, and the coefficient value in domestic water transportation industry standards is smaller, which is a hidden danger of building structures. Compared with the regulations on this value, and analyzing the results by referring to formulae and combining the engineering project, we know that the value of C_m in domestic current standards is obviously less than that appeared in other domestic and foreign codes and research reports. It is suggested that C_m for ships larger than 200 000 DWT should be increased to the value between 1.7 and 2.0.

Keywords: beam sea; impact energy; additional water mass coefficient of ship

水运工程设计中确定系泊船舶在横浪作用下的撞击能量主要有 4 种方法^[1], 分别为动力学方法、统计学方法、物理模型试验方法、数学模型方法, 其中动力学方法是惯用的方法, 至今仍应用最为广泛。

动力学方法计算系泊船舶在横浪作用下的撞击能量基本表达式为^[5]

$$E=0.5Mv^2 \quad (1)$$

式中: E 为撞击能量(kJ); M 为船舶排水量(t), 按与船舶计算装载度相应的排水量计算; v 为船舶碰

撞护舷瞬间的速度(m/s), 按照靠岸允许的撞击速度或系泊船舶在横浪作用下的法向撞击速度确定。

后来随着考虑因素的不断增加, 基本表达式演变为

$$E=0.5C_m M v^2 C_e C_s C_c \quad (2)$$

式中: C_m 为船舶附加水体质量系数; C_e 为偏心系数, $C_e=1/[1+(l_0/r)^2]$; l_0 为从与系船码头平行测定的接触点至船舶重心的距离(m); C_s 为柔性系数, 一般取 1.0; C_c 为泊位形状系数, 一般取 1.0。

由于相关文献及设计人员对 C_m 取值差异较大,

收稿日期: 2011-08-29

作者简介: 陈际丰(1977—), 男, 高级工程师, 从事港口航道工程设计研究。

本文主要针对 C_m 的取值参考国内外相关资料作以比较分析,并提出取值建议,供相关人员参考。

1 参考文献中对 C_m 取值的规定

1.1 标准、规范中的 C_m 取值

我国《港口工程设计规范(1987 版)》^[2]中对 C_m 取值作出如下规定,空载船舶 1.1,半载船舶 1.3,满载船舶 1.5。

《港口工程荷载规范(1998 版)》^[3]中按照不同吨级船舶对 C_m 取值做出不同规定,空载船舶 1.05~1.15,半载船舶 1.2~1.3,满载船舶 1.4~1.6。

《港口工程荷载规范(2010 版)》^[4]中规定

$$C_m=\alpha_m+\beta_m [D^2/(Bd)] \tag{3}$$

式中: α_m , β_m 为码头结构形式影响系数。对于墩式码头, $\alpha_m=1.04$, $\beta_m=0.90$; 对于岸壁式码头, $\alpha_m=1.00$, $\beta_m=1.69$ 。 D 为与船舶计算装载度相对应的平均吃水(m); B 为船舶宽度(m); d 为码头前沿水深(m)。

文献 [5] 中规定

$$C_m=1+\pi D^2 L \rho_w / (2M) \tag{4}$$

式中: L 为船舶长度; ρ_w 为水的密度。

《海工建筑物》^[6]中规定假想质量系数 $C_m=1+2D/B$; 在没有更可靠资料的情况下,建议采用 1.3~1.8 之间的数值作为有效动能公式中的 C_m 值。

1.2 规范背景材料及专题研究论文中的 C_m 取值

《码头防冲设备设计》^[7]提出美国海军土木工程试验所曾用约 70 艘 2 000~20 000 t 船舶进行测验,结果证明 Costa 公式 $C_m=1+2D/B$ 大致符合实际情况。

《系泊大型油轮撞击力》^[8]指出日本港湾技术研究所对系泊中的大型油轮在风、浪、流作用下的撞击力进行过深入研究,包括至少 6 艘 20 万 DWT 以上大型船舶的实船观测、物理模型试验、理论分析等。研究结论是:对于系泊中船舶摇摆运动的船舶附加水体质量系数大致为 1.7~2.0。

《规则波作用下系泊船舶撞击能量综合分析与建议的计算》^[9]提出 C_m 范围为 1.1~1.5。

《港口工程技术规范 荷载编制说明》^[10]指出南科院有关试验结果 C_m 为 1.1~1.5。永井氏对 256 000 排水吨油轮进行试验,换算得 C_m 在 1.7~3.7。Raichlen F.对小型船舶进行试验,同样方法换算得 C_m 在 1.10~1.30。

1.3 行业协会编写的专题研究报告中的 C_m 取值

文献[1]提出在设计中若无充分的理由, C_m 值的选用范围宜为 1.5~1.8。前者相应于富裕水深很大的情况,后者相应于富裕水深很小的情况。

文献[1]中附录 2.1 对附加质量系数 C_m 的若干公式和给值进行了评述,见表 1。

表 1 《碰垫系统设计》对 C_m 的若干公式和给值评述

作者	年份	公式(数据成果)	数据来源	船型(原型)	公式不足
Grim	1955	$1.30+1.8D/B$	汉堡船模试验池		未反映富裕水深影响
Vasco Costa	1964	$1.0+2.0D/B$	船模试验		未反映船模加速和减速中黏性力的不同影响
Saurin	1963	$d>1.5D$, 1.3~1.8	苏格兰某港 70 次靠船观测	16 000~50 000 t 油轮	原型和模型成果相差较大
	1963	$d=1.1D$ 时, 3.5 $d=1.15D$ 时, 2.0 $d=1.03D$ 时, 2.2	1:60 船模试验	32 000 t 油轮	
	Rupert	1976	$d>1.3D$, $0.9+1.5D/B$	不莱梅港 30 000 t 集装箱船	
Giraudet	1966	$1.2+0.12D/(d-D)$ $d=1.07D$ 时, 2.91 $d=1.4D$ 时, 1.5	1:50 的船模试验	47 300 t 油轮	富裕水深较大时,结果偏低
Blok 和 Dekker	1979	碰垫刚度 10 000~20 000kN/m, 靠岸速度大于 0.2 m/s, 2.0~2.3; 动量定理推算,为 3.8(离散度很小)	1:75 的船模试验	225 000 t 油轮	船型、水深单一,无法引用;两种方法差异较大
Stelson 等	1955	$1+(\pi D^2 L \rho_w)/(4M)$	没入长条容器中的富裕水深较大、平面尺度较小的物体		未反映富裕水深影响,整体淹没与实船不符
法国某港原型试验	1968	$d>1.5D$, 1.4~1.7	某港 200 艘次柔性靠船桩(透空结构)靠船,其中 105+37 次数据	70 000~130 000 t 油轮	
Ueda	1981	不同碰垫、富裕水深、靠岸速度时, 1.6~2.3	日本外海 350 次观测	大型油轮	
	修正 Stelson	$1+(\pi D^2 L \rho_w)/(2M)$ $d=1.17D$ 时, 2.2 $d=2.64D$ 时, 1.3			

文献[11]提出

$$C_m=1+\pi D^2 L \rho_w / (2M) \tag{5}$$

或

$$C_m=1+2D/B \tag{6}$$

建议取值 $d=1.5D$ 时, $C_m=1.5$; $d=1.1D$ 时, $C_m=1.8$ (可内插)。

1.4 护舷样本中的 C_m 取值

国内某护舷厂商护舷样本中提出

$$C_m=1+\pi D^2 L \rho_w / (2M) \tag{7}$$

或

$$C_m=1+\pi D^2 L \rho_w / (4M) \tag{8}$$

并指出对于一般货船可取 1.59, 对于矿石船可取 1.31~1.54, 对于油轮可取 1.35~1.67, 但对于

透空式码头, 可取 1.0。

国内另外一家护舷厂商护舷样本中提出

$$C_m=1+\pi D^2 L \rho_w / (4M) \tag{9}$$

国外某护舷厂商护舷样本中提出

$$C_m=1+\pi D^2 L \rho_w / (4M) \tag{10}$$

或

$$C_m=1+2D/B \tag{11}$$

2 对参考文献中 C_m 取值规定的分析

2.1 C_m 取值主要结论对比

文献[1-11]中直接规定 C_m 取值范围的情况见表 2。

表 2 各参考文献 C_m 取值规定对比

文献	作者	取值	船型
[1]	建议	1.5~1.8	
	Saurin	$d>1.5D$, 1.3~1.8	16 000~50 000 t 油轮实船观测
		$d=1.1D$ 时, 3.5	
		$d=1.15D$ 时, 2.0	32 000 t 油轮船模试验
	Giraudet	$d=1.03D$ 时, 2.20	
		$d=1.07D$ 时, 2.91	47 300 t 油轮船模试验
	Blok 和 Dekker	$d=1.4D$ 时, 1.50	
	原型观测	船模试验 2.0~2.3 理论推算, 为 3.8	225 000 t 油轮船模试验
	Ueda	$d>1.5D$, 1.4~1.7	70 000~130 000 t 油轮实船观测
	Ueda 修正	1.6~2.3	大型油轮外海实船 350 次观测
		$d=1.17D$ 时, 2.2 $d=2.64D$ 时, 1.3	
[2]		1.1~1.5	
[3]		1.05~1.60	
[6]		1.3~1.8	
[7]		1.7~2.0	
[8]		1.7~2.0	
[9]		1.1~1.5	
[10]		大型油轮 1.7~3.7, 小型船舶 1.10~1.30	
[11]		$d=1.5D$, $C_m=1.5$; $d=1.1D$, $C_m=1.8$ (可内插)	

以某 30 万吨级墩式原油码头为例, 油轮压载吃水 11.0 m, 满载吃水 22.5 m, 型宽 58 m, 在设计高水位情况下码头前沿水深 31 m, 应用文献[1-11]中各公式计算 C_m 所得结果见表 3。

4 工程实例对比

文献[2,4]的主要不同在于(d/D)的方次不同, 如果取同样的平方方次, 分别采用公式计算和物理模型试验, 在波高 $H_{4\%}=2.0$ m (或 $H_{1\%}=2.38$ m), $L=94.96$ m, $d=31.05$ m, $B=68$ m 的条件下, C_m 的取值见表 4, 3 个大型深水泊位系泊船舶在横浪作用下的有效撞击能量对比见表 5^[12]。

表 3 各 C_m 计算公式计算结果对比

文献及样本	作者	公式	压载	满载
[1]	Grim	$1.30+1.8D/B$	1.57	1.93
	Vasco			
	Costa	$1.0+2.0D/B$	1.30	1.70
	Rupert	$d>1.3D$, $0.9+1.5D/B$	1.13	1.43
	Giraudet	$1.2+0.12D/(d-D)$	1.27	1.51
	Stelson 等	$1+(\pi D^2 L \rho_w)/(4M)$	1.21	1.37
	Ueda	$1+(\pi D^2 L \rho_w)/(2M)$	1.41	1.75
[4]		$\alpha_m+\beta_m[D^2/B_d]$	1.10	1.29
[5]		$1+(\pi D^2 L \rho_w)/(2M)$	1.41	1.75
[6]		$1.0+2.0D/B$	1.30	1.70
[7]		$1.0+2.0D/B$	1.30	1.70
[11]		$1+\pi D^2 L \rho_w / (2M)$	1.41	1.75
		$1+2D/B$	1.30	1.70
护舷样本		各种不同公式	1.21~1.75	

表 4 不同规范、不同载量的 C_m 取值

项目名称	压载	半载	满载
港口工程设计规范 (1987 版)	1.1	1.3	1.5
港口工程荷载规范 (1998 版)	1.15	1.3	1.6
けい留中の大型タンカーの衝突力 (调整系数)	1.7	1.9	2.0

由表 5 可以看出, 在 C_m 取 1.7~2.0 的情况下 (同时计算波高取 $H_{1\%}$)^[12], 计算结果与物理模型试验的结果十分接近。

3 对增大 C_m 取值的建议

船舶附加水体质量系数 C_m 的确定十分复杂,

表 5 不同方法获得的船舶有效撞击能量结果对比表

载量	参数	大连港 45 万吨级原油码头/kJ	大连港 20 万吨级矿石码头/kJ	大连港 20×10 ⁴ m ³ LNG 码头/kJ
压载	87 规范公式	4 857.13	2 548.92	2 511.07
	98 规范公式	8 970.42	4 381.92	4 820.92
	物模试验	11 760.00	6 429.00	4 873.00
	调整系数 C_m	11 044.06	5 795.69	5 709.63
半载	87 规范公式	4 436.91	2 726.85	2 150.00
	98 规范公式	6 399.75	4 093.30	3 372.95
	物模试验	11 640.00	7 025.00	5 112.00
	调整系数 C_m	9 540.79	5 863.60	4 265.13
满载	87 规范公式	3 749.05		2 054.59
	98 规范公式	4 448.26		3 015.71
	物模试验	10 590.00		4 909.00
	调整系数 C_m	6 849.85		4 030.49

需要开展大量现场观测和试验研究工作。参考国内外文献, 鉴于文献[8]中做了包括大型油轮在内的系泊状态下的大量实船观测、物理模型试验、理论分析, 且与物理模型试验的结果十分接近, 可作为确定 C_m 取值的主要参考依据。建议在无相关数模或物模资料的情况下, 200 000DWT 以上船舶 C_m 取值范围为 1.7~2.0, 小型船舶压载取小值, 大型船舶满载取大值。

4 结语

系泊船舶在横浪作用下撞击能量计算应考虑船舶附加水体质量系数 C_m 的影响, C_m 的确定十分复杂。经过大量数据对比, 国内相关规范中 C_m 取值明显小于国内外其他参考文献, 建议 200 000 DWT 以上船舶增大 C_m 取值到 1.7~2.0。

参考文献:

[1] Langeveld J M. 碰垫系统设计[M]. 交通部水运工程科技情报网, 译. 比利时: 国际航运会议常设协会专题国际委员会, 1988.

[2] 李景奎, 仇佰强. 港口工程设计规范 (1987)[M]. 北京: 人民交通出版社, 1988.

[3] JTJ 215—1998. 港口工程荷载规范[S].

[4] JTS 144-1—2010 港口工程荷载规范[S].

[5] Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in JAPAN [S].Japan:The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan,2002.

[6] BS 6349 海工建筑物[S].

[7] 赵今声.码头防冲设备设计[M].北京:人民交通出版社, 1974.

[8] 上田茂.けい留中の大型タンカーの衝突力[R].东京:港湾技术研究所,1980.

[9] 高明.规则波作用下系泊船舶撞击能量综合分析和建议的计算[R].南京:南京水利科学研究院,1990.

[10] 荷载规范编写组.港口工程技术规范 荷载编制说明[R].北京:中交水运规划设计院,1975.

[11] Lacey P. Guidelines for the Design of Fenders Systems[M]. Belgium:International Navigation Assoceation,2002.

[12] 陈际丰, 刘强, 牛恩宗. 波浪作用下船舶撞击力计算参数的选择[J]. 水运工程, 2007(11):6-8,44.

(本文编辑 武亚庆)

《水运工程》优秀论文评选

评委点评:

船舶附加水体影响系数 C_m 是计算在横浪作用下系泊船舶有效撞击能量的重要参数,其取值大小对撞击能量的计算结果影响较大,进而影响到码头结构设计的安全性。由于 C_m 的确定十分复杂,国内外同行对此做了大量的现场观测和试验研究工作,并且提出了各自的 C_m 取值。文章以此为论题,综合分析了我1987版、1998版、现行规范及国外主要研究机构的成果,并以某工程实例为例,对各个 C_m 计算公式计算结果进行分析对比,得出我国相关规范的取值明显偏小。

本文选题合理、逻辑清晰、资料和内容全面翔实、论述充分准确、可信度高,提出的建议在一定程度上补充了现行规范的不足,对海港大型码头的设计有很好的参考意义。

丁七成

2014年12月



评委简历:

丁七成,男,工程技术应用研究员,山东省交通规划设计院副总工程师。

多年来从事沿海及内河港口、航道,公路桥梁的设计工作,主持参加了几十个工程项目的设计、研究,获优秀工程设计奖、咨询成果奖6项,交流及发表论文10余篇。

· 消 息 ·

港珠澳大桥青州航道桥封顶

2015年1月8日,港珠澳大桥青州航道桥主塔封顶。163 m、近50层楼高的主塔成港珠澳大桥第一高塔。这标志着青州航道桥主体工程转入了斜拉桥主梁施工和斜拉索挂索施工的新阶段。

承建青州航道桥的二公局项目经理文德安介绍说,港珠澳大桥主体桥梁工程共有青州航道桥、江海直达船航道桥、九洲航道桥3座通航孔桥。其中,靠近香港侧的青州航道桥为双塔双索面钢箱梁斜拉桥,桥跨布置110+236+458+236+110=1 150 m,最大跨度达458 m,主塔高度达163 m,是港珠澳大桥桥跨最大、主塔最高的通航孔桥,建成后将成为“中国结”主题造型。

青州航道桥为三大通航孔桥中唯一采用现浇混凝土施工的通航孔桥。为更好满足超级工程的施工需求,二公局在伶仃洋上建设了一个相当于15.7个篮球场面积的外海施工平台,这在国内尚属首例。

(摘编自《交通建设新闻网》)