



# 码头设计流速探析

陈邦杆<sup>1</sup>, 洪广鹏<sup>1</sup>, 胡宗敏<sup>2</sup>

(1. 宁波中交水运设计研究有限公司, 浙江 宁波 315040; 2. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

**摘要:** 由于海港工程规范对码头设计流速没有明确规定, 所以设计对该流速计算取值存在较多分歧。通过对相关设计资料的分析, 探讨设计流速计算的有关参数及取值方法, 并进行案例分析, 供设计参考。

**关键词:** 码头; 流速; 设计

**中图分类号:** U 656.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-4972(2016)02-0076-05

## On designed flow velocity of wharf

CHEN Bang-gan<sup>1</sup>, HONG Guang-peng<sup>1</sup>, HU Zong-min<sup>2</sup>

(1. Ningbo China Communications Water Transportation Design and Research Co., Ltd., Ningbo 315040, China;

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

**Abstract:** Since codes concerning the sea port engineering have no stipulations on the design flow velocity of wharf, there exists many differences for the value-taking in the flow calculation. Based on the analysis of related design data, we probe into the method of value-taking in calculation and related parameters, and carry out corresponding analysis combining with the practical engineering case, hoping to serve as reference for the sea port engineering design.

**Keywords:** wharf; flow velocity; design

对于码头平面布置和水工结构设计, 水流设计流速是非常关键的参考指标, 流速大小、方向直接关系到码头选址、码头轴线定位、单桩稳定性、船舶靠离泊安全等, 但是水流设计流速如何计算和取值在《海港总体设计规范》<sup>[1]</sup>、《海港水文规范》<sup>[2]</sup>和《海港工程设计手册》<sup>[3]</sup>等规范手册上未予以明确。《海港水文规范》的海流章节中, 指出了海流特征值计算方法, 其中9.3.5指出海流可能最大流速可取潮流可能最大流速与风海流可能最大流速的矢量和, 但未说明海流可能最大流速即为码头水流设计流速; 《港口工程荷载规范》13.0.2指出设计流速可采用港口工程结构所

处范围内可能出现的最大平均流速, 也可以根据相应表面流速推算, 但最大平均流速是指码头前沿水域测流点各点实测最大流速的平均值、某测点的流速垂线最大平均值、还是推算的潮流垂线可能最大流速平均值等, 没有给出解释与说明; 其他规范未涉及到设计流速方面。为此, 很多设计人员在水流设计流速取值方面思路与方法不一。设计流速取值过大则结构偏安全, 但造价提高; 过小反之。由于规范未明确, 因此给审查和设计带来了困扰。本文结合相关案例就水流设计流速大小提出取值方法, 并提出限制运营流速概念。

**收稿日期:** 2015-07-21

**作者简介:** 陈邦杆(1981—), 男, 硕士, 高级经济师, 注册咨询工程师, 从事港口经济研究和工程设计。

## 1 码头设计流速取值方法

目前, 水流设计流速取值主要有潮流可能最大流速与余流的合成值、潮流可能最大流速、海流可能最大流速等方法, 设计在确定码头轴线方

位时, 大多根据水文测验分析报告的实测潮流流速流向、潮流可能最大流速、风海流及余流等数据确定。码头设计流速大小计算取值统计见表1。

表1 工程设计流速取值方法

案例	设计流速取值方法	具体取值
舟山某30万吨级油品码头 <sup>[4]</sup>	垂线平均最大可能流速 + 余流流速	实测北向最大流速为151 cm/s/ (0.6H层), 垂线平均最大流速为140 cm/s; 考虑地形影响产生的空间差异, 取垂线平均最大可能流速为160 cm/s, 加上余流20~30 cm/s, 工程设计流速为180~190 cm/s
宁波大榭某10万吨级油品码头 <sup>[5]</sup>	潮流可能最大流速 + 中潮流	实测分层最大涨潮流速为116 cm/s, 垂线平均最大流速为103 cm/s; 潮流可能最大流速为114 cm/s, 实测中潮潮流分解出来的余流(垂线平均)为35 cm/s。设计流速取1.49 m/s
宁波某7万吨级多用途码头 <sup>[6]</sup>	潮流可能最大流速 + 风海流流速	实测码头前沿最大流速为93 cm/s, 垂线平均最大流速为89 cm/s; 潮流可能最大流速为111 cm/s, 实测潮流分解出来的最大余流(垂线平均, 下同)为11 cm/s; 风海流最大流速72 cm/s; 海流可能最大流速183 m/s; 作用在船舶上的水动力按水流速度190 cm/s计
宁波某5万~10万吨级集装箱码头 <sup>[7]</sup>	潮流可能最大流速 + 余流流速	进行了3次测流: 2000年11月实测最大涨潮流速(表层)为141 cm/s, 2001年7月实测最大涨潮流速(表层)为154 cm/s, 2004年3月实测最大涨潮流速(0.8h层)为226 cm/s; 余流大多介于20~40 cm/s, 最大可达44.2 cm/s; 设计流速根据最大可能流速的计算和海域余流值之和, 为235 cm/s
青岛董家口某30万吨级矿石码头		海区涨潮流平均流速40~58 cm/s, 落潮流平均流速32~54 cm/s; 最大涨潮流速67~107 cm/s, 最大落潮流速48~89 cm/s。码头前沿设计流速150 cm/s
宁波象山某5000吨级码头 <sup>[8]</sup>	潮流可能最大流速 + 风海流流速	实测码头前沿最大流速为103 cm/s, 垂线平均最大流速为92 cm/s; 潮流可能最大流速为71 cm/s, 实测潮流分解出来的最大余流(垂线平均, 下同)为20.8 cm/s; 风海流最大流速72 cm/s; 海流可能最大流速143 m/s

通过上述分析可知, 在不同海域设计流速计算取值方法各有不同, 这与设计人员对工程海域的流况认识深度、实测资料收集全面性和经验等有关, 但可以得出结论的是设计流速取值方法没有统一的标准。同时, 考虑到码头结构受力计算的水平方向控制性因素主要为船舶法向靠泊撞击力, 设计流速主要用于船舶系缆力计算, 加上设计流速作用分项系数为1.5, 设计流速取值即使过小也因上述因素综合后, 一般能满足在正常使用极限状态下工作。但取值偏大或偏小将对工程投资产生影响。

## 2 设计流速涉及参数及取值

### 2.1 潮流可能最大流速

潮流观测的垂线层次根据工程水域水深 $d$ 确定:  $d > 10$  m时分6层观测;  $5 \text{ m} \leq d \leq 10$  m时分5层

观测。给出实测分层和垂向平均流速流向表, 再根据实测资料采用准调和调和和分析计算分层和垂向潮流可能最大流速。在设计流速取值时, 一般采用垂向平均潮流可能最大流速作为潮流可能最大流速, 极少考虑船舶吃水和实际水深的相互关系。众所周知, 潮流垂向流速分布一般次表层最大、表层次之、底层最小, 因此采用垂向平均潮流可能最大流速作为潮流可能最大流速将减小设计流速值, 尤其在表中层流速远大于底层流速时, 采用垂向平均流速与采用表中层平均流速作为潮流可能最大流速的流速差值将会体现。

### 2.2 余流

余流是指从实测海流分离出周期性潮流后剩余的流动分量, 通常由风场、海水的温盐和各种流动相互作用的非线性效应等因素引起, 包括风海流、密度流、地转流等。影响余流的因素很多:

从季节性来看,余流主要与风海流有关,如连云港近岸海域余流具有季节性差异,主要表现为余流变化与不同观测期间有关,冬季余流速受风力影响较大,因而其风生余流较夏季大,以东南向为主,在季节中又与观测当天风况有关;从垂直分布来看,余流垂直变化一般自表至底,流速减少,与潮流垂向变化大致保持一致,但局部观测数据出现中层余流最大、表底层余流较小的情况。因此余流大小不确定性影响因素较多,采用时应谨慎。

如宁波大榭某10万吨级油品码头,设计流速采用潮流可能最大流速(垂向平均)与中潮余流(垂向平均)的合成值,潮流观测时状况与余流见表2。

表2 某测点观测时状况与余流计算值 m/s

潮期	观测时状况	实测潮流分离的余流垂向平均流速	根据《海港水文规范》计算的余流流速 $v$
大潮	东到东南风5~6级,海况2~3级	0.20	$0.28 \leq v \leq 0.36$ (风按12 m/s计算)
中潮	南到西南风5级,海况2~3级	0.35	风按10.5 m/s计算, $0.25 \leq v \leq 0.32$
小潮	偏北风4~5级,海况2~3级	0.15	风按6 m/s计算, $0.14 \leq v \leq 0.18$

由于大榭周边无径流影响,不存在密度流现象,考虑到项目位于近岸,认为影响余流大小的因素主要为风海流,这与《海港水文规范》关于近岸海流合成流概念保持一致,即风直接影响余流大小,可认为实测流速分离出来的余流为当时风况下的余流(也可称为风海流)。根据《海港水文规范》附录M近岸海区内风海流估算方法计算余流,两者大小是存在差别的,影响因素主要为观测时风况为大致风况,且为近岸观测点的风况,而风海流是由于季风或盛行风形成大规模洋流,与大范围风况有关,可能是观测时近岸风速较大,远岸大范围平均风速较小;也可能是风海流在近岸受到水下地形影响,流速产生变化等。为此,余流采用规范计算的风海流流速还是采用实测潮流分离出来的余流流速是值得探讨的。

同时,根据《海港总体设计规范》5.4.32,船舶在不考虑风暴系泊情况下,可按大于9级风船舶离泊设计。一般情况下潮流观测时风况均在9级以下,这主要考虑到水文观测安全作业,则实测分离出来的余流流速偏小。这与码头结构按9级风离泊设计是矛盾的。

### 2.3 风海流

风海流指在风作用下而产生的风对海水的应力,包括风对海水的摩擦力和施加在海面迎风面上的压力而形成的一种稳定海流。根据《海港水文规范》,近岸海区内风海流可按以下估算:

$$v_U = KU \quad (1)$$

式中: $v_U$ 为风海流流速; $K$ 为系数,取 $0.024 \leq K \leq 0.030$ ; $U$ 为平均海面上10 m处的10 min平均风速;近岸的风海流流向可近似与等深线方向一致。因此,在码头设计中主要涉及到风海流流向、 $K$ 值取值、风速取值等。

#### 1) 风海流流向。

根据艾克曼漂流理论,由于科氏力影响,无限深海区风海流表层流速最大,流向偏向风向的右方 $45^\circ$ ;随着深度增加,流速逐渐减小,流向逐渐右偏,并构成艾克曼螺旋线(Ekman spiral)。浅海区水深越浅从上层到下层的流速矢量越趋近风矢量方向。

从表面上看,如浙江省夏季偏东南风,上述10万吨级油品码头区等深线为SW-NE走向,规范规定的近岸风海流流向与漂流理论不一致。实际上,风海流是风引起的大范围洋流,码头工程大部分位于近海,离岸在1 km以内,在曲折岸线、岛屿地形及潮流作用下,风海流将逐步改变流向并逐步与等深线方向保持一致。因此设计流速叠加时,可以考虑风海流与潮流可能最大流速方向基本一致。

#### 2) $K$ 值取值。

规范 $K$ 值主要是参照山东浮山湾资料得出的,仅给出了取值界限。但我国港口北至大连港、南至北部湾,横跨纬度较大, $K$ 值应根据不同纬度和风区进行取值,然而规范没有给出指导性取值

方法, 因此在风海流计算中就出现很多版本, 如在宁波-舟山港的某些码头设计审查中就出现有些取值为 0.024, 有些取值为 0.030, 由于在同一港区内, 上述取值就存在一定的随意性。考虑到实测余流流速大多数均小于规范风海流计算流速的情况下, 浙江海域可取下限。

### 3) 风速取值。

风速取值规范也没有相应规定, 因此不同单位取值也各有不同, 有些认为近岸地区水深较浅, 认为在 10 级大风作用下产生的风海流在垂向上的变化很小, 近似看成一致。有些认为《海港总体设计规范》中建议船舶离开码头为大于 9 级风, 即 9 级风况下, 船舶还是靠泊在码头的, 大于 9 级就离泊, 为此风速可取 9 级风。有些<sup>[9]</sup>认为港工建筑物强度和稳定性计算采用 50 a 一遇波高累计频率, 为此风海流也应取 50 a 一遇风速。本文认为应按照《海港总体设计规范》9 级风考虑, 即船舶离泊后不存在水平方向的作用力。

### 4) 风海流流速要考虑分层流速。

风海流流态同潮流, 考虑到水体黏滞性和海床摩阻力等, 也存在分层流速, 流速一般随深度增加逐渐减小, 但在《海港水文规范》的风海流计算公式中未体现, 这就造成了计算出的风海流即为垂向平均流速, 比分层加权平均计算的垂向流速大, 一定程度上偏于保守。

## 2.4 运营限制流速

运营限制流速指满足船舶进出港、靠泊作业、装卸作业和系泊的最大流速, 在《海港总体设计规范》5.4.28.1 关于液化天然气船舶作业标准中对横流、顺流提出来限制流速标准, 但是对散杂货、集装箱、滚装等船舶运营未提出要求。实际上, 船舶在靠离泊和系缆状态下由于大潮形成的大流速造成船舶靠泊中碰撞码头、系泊断缆案例很多, 如 2013 年 6 月 11 日“CAPE MERLIN (莫林)”轮在宁波-舟山港远东 11<sup>#</sup>集装箱泊位受大潮汛急涨流等影响发生断缆事件, 2014 年 12 月 4 日, 宁波某码头集装箱船“阿彦”轮受大风和大潮流的影响发生断缆事件等。这些事件一方面与运营

人员操作失误有关, 也间接反映出在设计过程中未考虑限制流速带来的安全隐患。

在《海港工程设计手册》中对码头前沿允许水流条件是提出要求的, 如靠泊码头允许水流流速、近岸及离岸码头系泊允许水流流速等, 靠泊主要考虑拖轮配备数量和马力, 如 10 万吨级以下船舶靠泊允许流速在 1.6 m/s 以内, 系泊允许流速是随着船舶等级提高而减小, 如 10 万吨级船舶系泊允许顺流 2.2 m/s, 横流 0.75 m/s。但是手册非规范, 仅为指导性意见, 设计在船舶作业标准中不体现码头前沿允许水流流速和流向, 而根据海流可能最大流速等方法推算的设计流速很有可能大于手册的允许流速, 如按设计流速来计算结构荷载, 结构安全系数是满足要求的, 但是该流速对码头作业没有指导意义。对于经验丰富的码头运营商来讲, 可以凭借经验逐步摸索码头作业整个流程下的限制流速, 确定何时靠离泊、何时加缆绳等, 然经验不足的运营商加上较为恶劣的流况, 发生安全事故风险很大。

为此, 建议设计在确定码头作业允许条件时, 适当考虑流况, 结合设计船型普遍性带缆方式、拖轮协助能力等, 提出限制运营流速, 供运营商在实际运营中参考。

## 3 案例

设计流速计算取值主要考虑上述参数, 以下结合宁波-舟山港梅山港区多用途码头工程相关资料进行案例分析。该码头位于梅山岛东南侧海域, 建设规模为 7 万吨级多用途泊位, 设计船型为 7 万吨级集装箱船, 码头前沿停泊水域设计水深为 -15.3 m, 自然水深约 -25 m。工程水域为不规则半日浅海潮流, 往复流特征明显, 涨落潮流主轴方向与等深线走向较为一致, 涨潮流偏东南, 落潮流偏西北, 水文观测时间为 2012 年 6 月, 大潮期间微风, 无持续风向, 海况 2 级; 中潮期间微风, 海况 2 级; 小潮期间, 阵雨, 微风, 海况 3 级。码头前沿 3<sup>#</sup>测点潮流可能最大流速和余流见表 3。

表3 3#测点潮流可能最大流速和余流流速流向

位置	最大流速流向		实测分解余流流速流向	
	流速/(m·s <sup>-1</sup> )	流向/(°)	流速/(m·s <sup>-1</sup> )	流向/(°)
表层	107	233	9.5	228
0.2H	112	230	11.5	220
0.4H	115	227	12.2	220
0.6H	115	227	12.1	217
0.8H	113	226	10.9	212
底层	100	232	10.0	245
垂直平均	111	228	11.1	221

结合上述考虑的因素,设计流速采用不同组合的计算结果见表4。

表4 3#测点设计流速计算

组合	设计流速组合	设计流速/(m·s <sup>-1</sup> )
1	潮流可能最大流速(垂线平均)+余流流速(垂线平均)	1.22
2	潮流可能最大流速(0.6H以上垂线平均)+余流流速(0.6H以上垂线平均)	1.25
3	潮流可能最大流速(垂线平均)+9级风况风海流(系数K为0.024)	1.65
4	潮流可能最大流速(0.6H以上垂线平均)+9级风况下风海流(系数K为0.024,0.6H以上垂线平均)	1.68
5	潮流可能最大流速(垂线平均)+9级风况下风海流(系数K为0.03)	1.79
6	潮流可能最大流速(垂线平均)+10级风况下风海流(系数K为0.024)	1.74
7	潮流可能最大流速(垂线平均)+10级风况下风海流(系数K为0.03)	1.90

分析可知,采用组合1设计流速最小,主要是测流时风况为微风,风海流较小,为此设计流速几乎等于潮流可能最大流速,因此采用组合1不很合适。考虑潮流和风海流垂线层次,建议采用组合4的1.68 m/s为设计流速。同时比较《海港工程设计手册》的系泊码头时允许流速,5万吨级允许流速为1.75 m,基本满足要求。

#### 4 结语

1) 规范没有给出水流设计流速取值具体方

法,导致不同设计人员取值方法不一,设计流速在考虑作用分项系数后,虽能满足结构安全需求,但取值偏大或偏小将对工程投资产生影响。

2) 设计流速主要涉及到潮流可能最大流速、余流和风海流。潮流可能最大流速取值应考虑船舶吃水水深;余流取值应考虑风海流的季节性变化,余流大小不确定性影响因素较多,应谨慎采用;风海流K值取值应考虑不同纬度和风区进行取值,风速取值建议结合规范取9级风。

3) 提出满足船舶进出港、靠泊作业、装卸专业和系泊的运营限制流速概念,建议设计人员在船舶作业标准中考虑码头前沿允许水流流速流向,用于指导码头作业,降低运营风险。并结合宁波-舟山港某码头水域流况,进行案例论证,以供参考。

#### 参考文献:

- [1] JTS165—2013 海港总体设计规范[S].
- [2] JTS 145-2—2013 海港水文规范[S].
- [3] 交通部第一航务航务工程勘察设计院. 海港工程设计手册[M]. 北京:人民交通出版社,2001:336-337.
- [4] 周晓春. 册子岛30万吨级原油码头工程设计方案研究[D]. 南京:河海大学,2006.
- [5] 靳如刚,朱忠余,李立,等. 宁波大树某油品码头可行性研究报告[R]. 上海:中交第三航务工程勘察设计院有限公司,2014.
- [6] 金成法,何琴燕,赖纪海,等. 宁波-舟山港梅山港区某通用泊位多用途码头工程水文测验分析报告[R]. 宁波:宁波市海洋环境监测中心,2008.
- [7] 万宏,胡家顺,潘金霞,等. 宁波港北仑港区某集装箱码头工程[R]. 北京:中交水运规划设计院有限公司,2008.
- [8] 常纪磊,潘金霞,陈邦杆,等. 国电舟山某海上风电场风机陆域组装基地及配套2000吨级专用码头工程[R]. 北京:中交水运规划设计院有限公司,2015.
- [9] 董海军. 重现期法进行近岸海区风生海流计算的应用[J]. 港工技术,2009(2):1-3.

(本文编辑 郭雪珍)