

趸船在波浪荷载作用下的受力分析

夏 静 余昂焯

(舟山市交通规划设计院, 浙江 舟山 316021)

摘 要 作用在趸船上的荷载主要有波浪力和水流力, 一般情况下, 水流力影响较小, 波浪力影响较大。在假定趸船为静止不动状态时, 计算得出的波浪力非常大, 与实际锚系布置不符, 本文通过不同的方法计算波浪作用在趸船上的荷载, 结合实际使用经验进行对比分析, 选择较为合理的计算方法, 可供理论研究和工程设计参考应用。

关键词 趸船 波浪荷载 锚系计算

中图分类号: U661

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2021)10-0001-04

1 浮码头适用性

浙江沿海地区浮码头基本由趸船、趸船的锚系和支撑设施、活动引桥组成。因趸船随水位作垂直升降, 作为码头面的趸船甲板面与水面的高差基本不变。在水位变化较大的区域, 浮码头基本固定的干舷高度方便船舶的靠泊和人员的上下。此外浮码头造价较低, 趸船及相应设施拆装便捷, 施工对周边环境的影响较小, 多应用于渔业码头和客货码头。但趸船受波浪影响较大, 因此适用于河港或掩护条件较好的海港地区(见图1)。

2 浮趸船受力分析

作用在趸船上的荷载主要有波浪力和水流力, 由于趸船干舷高度低, 受风面积小, 因此趸船受风荷载极小, 基本可忽略不计。作用在趸船上的水流力计算可参考作用于船舶上的水流力计算。由于浮码头应尽量避免受横流、斜向流或涡流的作用, 一般浮码头前沿线布置与流向基本一致。当流向与趸船前沿线方向一致时, 水流作用面积为 $A_s=BT$, B 和 T 分别为趸船的宽度和吃水。趸船宽度相比长度较小, 而且吃水也不大, 因此在一般的水流条件作用下, 受水流力影响不大。且水流力计算可参考《港口工程荷载规范》(JTS144-1-2010)“附录 F 作用于船舶上的水流力”, 其计算较为明确, 不存在争议。^[1]

而波浪力为周期性作用, 其作用在趸船上的力目前没有明确的公式进行计算, 若将趸船看成是固定的结构, 波浪横向作用于趸船时, 趸船将引起波浪的局部反射, 趸船正面的干涉波高 H_0 既大于原始波高 H , 又小于波浪遇直立墙发生完全反射时的立波波高 $2H$, 因此需先计算趸船吃水 T 范围内的局部反射波高 H_r :

$$H_r=K_r H$$

K_r ——为局部反射系数:

$$K_r = \sqrt{1 - \frac{sh \frac{2\pi}{L} (d-T) sh \frac{2\pi}{L} (2d-T)}{sh \frac{2\pi}{L} (\eta+d) sh \frac{2\pi}{L} (\eta+d)}}$$

L ——波长 (m);

d ——水深 (m);

η ——原始波波峰面在静水面以上的高度 (m);

$$\eta = \frac{H}{2} + h_0$$

h_0 ——原始波浪中心线对静水面的超高值:

$$h_0 = \frac{\pi H^2}{4L} \operatorname{cth} \frac{2\pi d}{L}$$

而干涉波高:

$$H_0 = 2H_r + (H - H_r) = H + H_r$$

再将趸船视作直立墙绘制波压力图形(见图2), 计算阴影范围内的波浪总力。

当波浪斜向作用于趸船时, 可按修正系数对其进行修正, 修正公式为 $K_p = (1 + \cos^0.5 \theta)/2$ 。

但上述计算是基于趸船为静止不动的结构计算的。本文根据有关部门的模型试验研究结果, 对趸船锚系的动力计算进行分析, 从而对比两者之间的不同。^[2]

3 工程实例分析

3.1 平面布置

浮码头位于浙江省舟山地区, 码头前沿线位于 -13m 等深线。由两座 $50 \times 12\text{m}$ 的趸船组成, 趸船与趸船之间采用钢过桥相连, 内外锚与趸船前沿线夹角 30° 。

3.2 计算水位

设计高水位: 2.00m (高潮累计频率 10%)。

3.3 设计波浪

$H_{1\%} = 1.65\text{m}$, $L = 60\text{m}$, $T = 7\text{m}$, 波浪与趸船夹角 45° 。

3.4 设计风速

9级风 ($V = 24.4\text{m/s}$)。

3.5 设计流速

$V = 1.2\text{m/s}$ 。

4 锚链受力计算

4.1 风和流的作用力计算

当风、流与趸船前沿线方向一致时, 根据《港口工程荷载规范》(JTS144-1-2010)“附录 E 作用在船舶上的风荷载”“附录 F 作用在船舶上的水流力”, 风和流共同作用下的合力为 $F_r = 11.02\text{kN}$, 方向为与趸船前沿方向一致。可见风、流对趸船影响相对较小。



图1 趸船现场照片

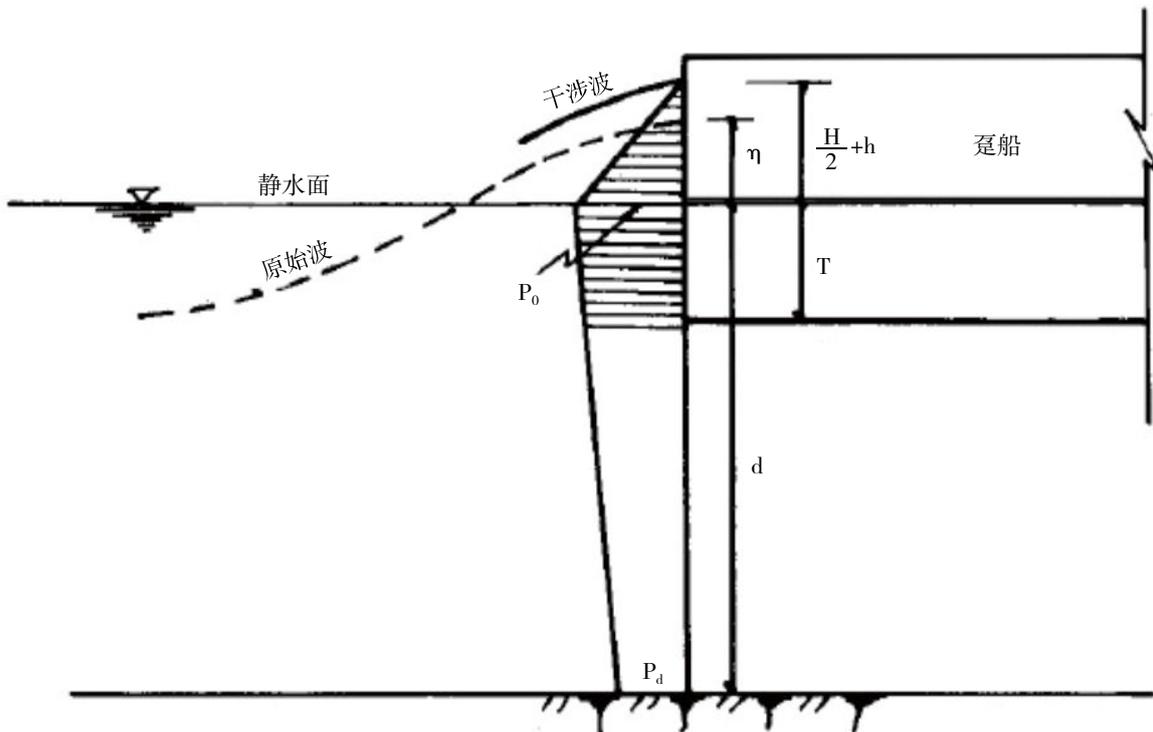


图2 趸船波浪力计算图示

4.2 波浪力计算

4.2.1 假设趸船静止不动

当 $H_{1\%}=1.65\text{m}$ 横向作用于趸船时, 经计算, 趸船干涉波高为 $H_d=2.66\text{m}$, 令 $H_d=2H'$, 即 $H'=1.33\text{m}$, 把干涉波看成由假想的进行波 ($H'=1.33\text{m}$) 完全反射形成的立波, 于是经计算后, 位于水深 15m 处的压力强度 $P_d=5.4\text{kPa}$; 静水面处的压力强度 $P_0=13.9\text{kPa}$; 压力为0的位置位于静水面以上 1.43m 。

根据上述压强分布, 计算在趸船型深范围内, 趸船单宽受到的波浪力为 27.3kN/m 。当波浪 45° 作用于趸船时, 应乘以修正系数 K_p 。

$K_p=(1+\cos^{0.5}\theta)/2=0.92$ 。修正后, 趸船单宽受到的波浪

力为 25.1kN/m 。

整个趸船受到的波浪力为:

$$25.1 \times (50 \times \sin 30^\circ + 12 \times \sin 60^\circ) = 889\text{kN}$$

趸船横向分力 F_x 由钢撑杆承担, 锚链主要承担沿趸船方向的分力 F_y , $F_y=889 \times \sin 60^\circ=770\text{kN}$ 。

风作用在趸船上的力 $F_{yw}=3.5\text{kN}$; 流作用在趸船上的力 $F_{yc}=7.5\text{kN}$, 沿趸船前沿方向的合力 $F_y=781\text{kN}$ 。

因此每根锚链的水平拉力为 $T=\frac{781}{2\sin 60^\circ}=451\text{kN}$, 锚链导链孔处拉力为 $F=454\text{kN}$ 。

根据《码头结构设计规范》(JTS167-2018), 附录U 锚链及锚的计算, 在锚抓力系数 $\eta=2.2$ 的情况下, 根据

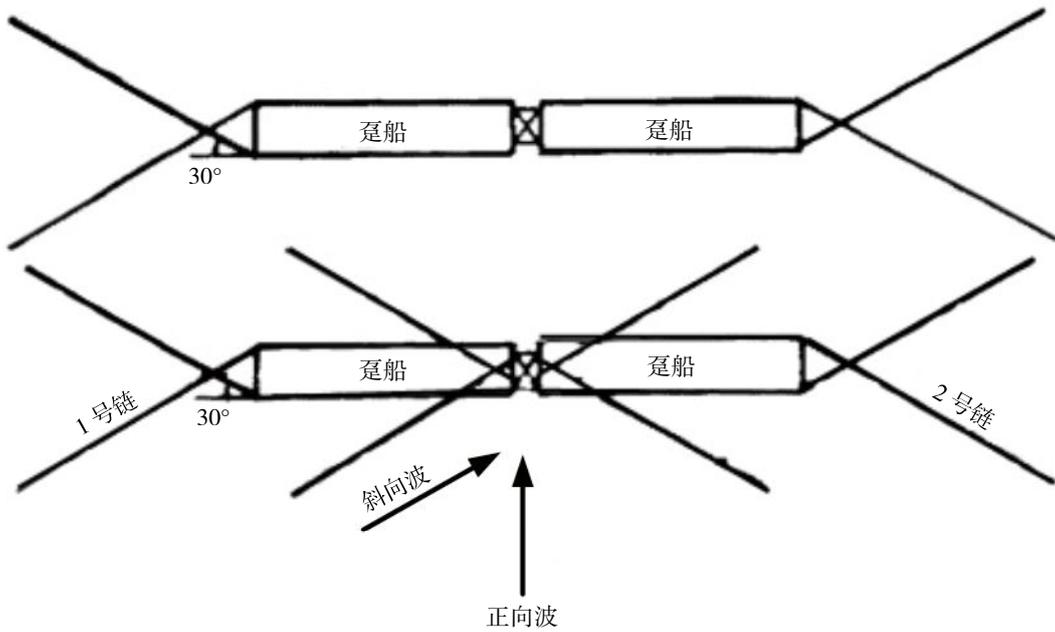


图3 锚链布置示意图

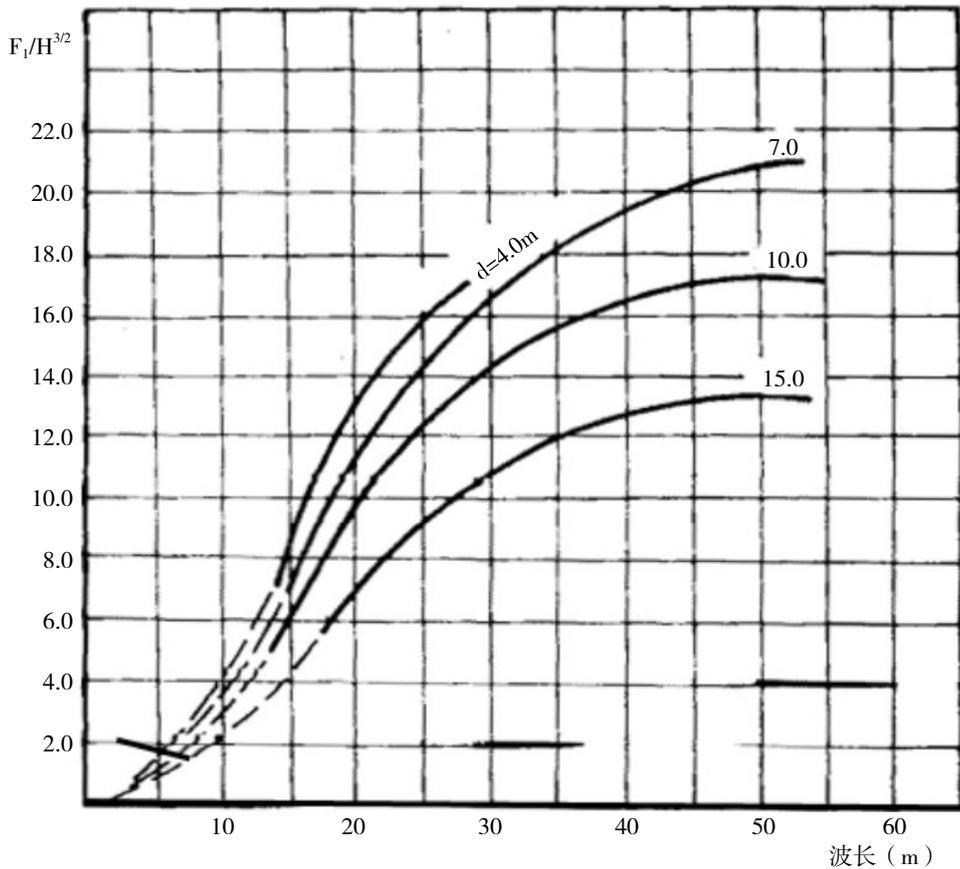


图4 斜向波(45°)作用下1号链的平均拉力图

$G \geq 100T/\eta$ ，锚重可达20t，但实际上，海港趸船所用锚重一般为5t左右。^[3]

有上述计算可知，在假设趸船静止不动的情况下，趸船受波浪力较大，锚的重量远远超过海港趸船实际锚重，因此上述计算严重偏离实际情况，存在较大误差。

4.2.2 模型试验

波浪是周期性作用的荷载，由于趸船惯性力的影响，若用静力计算存在较大误差。基于以上情况，国内研究部门进行了模型试验。

试验中趸船的船长30m、船宽6m、型深2.5m、吃水1.2m。

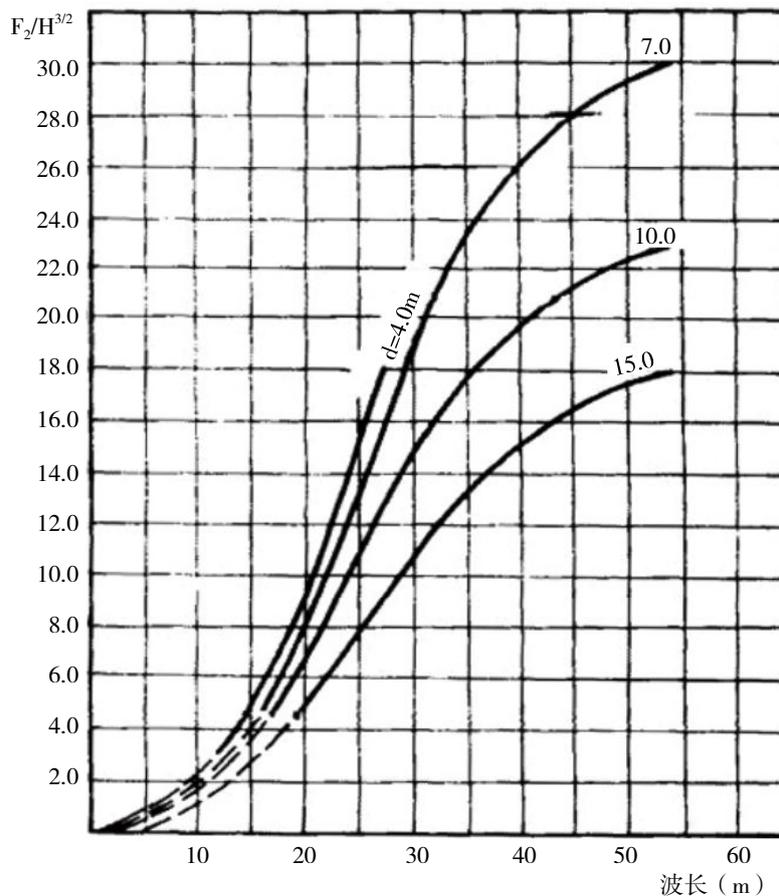


图5 斜向波(45°)作用下2号链的平均拉力图

每两节趸船以副链相连组成一个码头,内外锚链与码头线成30°的夹角交叉布置。通过采用不同水深、不同波高、不同波陡进行试验(见图3)。

斜向波作用于下,受力锚链可以1、2号链为代表,锚链拉力受波长影响较大。1、2号锚链相应的平均拉力可在图4和图5上查得,最大拉力可近似取值为 $F=1.4\bar{F}$ 。

通过《海港工程设计手册》查得:1号链平均拉力 $F_1=27.6\text{kN}$;2号链平均拉力 $F_2=38.2\text{kN}$ 。

因此最大拉力 $F=1.4 \times 38.2=53.4\text{kN}$ 。

上述经验公式的局限性主要在于只有一种趸船尺寸(30×6m),而浙江沿海港口目前所用趸船主要尺寸为50×12m,因此在波浪45°作用下,根据垂直投影面积来进行换算。

$$F' = \frac{F \left(\frac{50}{\sqrt{2}} + \frac{12}{\sqrt{2}} \right)}{\left(\frac{30}{\sqrt{2}} + \frac{6}{\sqrt{2}} \right)} = 92\text{kN}$$

由动力计算得出的锚链拉力仅为92kN,考虑风和流的作用,锚链拉力取100kN,在锚抓力系数 $\eta=2.2$ 的情况下,根据 $G \geq 100T/\eta$,锚重为4.55t,如表1所示。

表1 不同计算方式结果对比

	趸船静止不动	模型试验
锚链拉力(kN)	454	100
锚重(t)	20	4.55

相较于静力计算得到的锚链拉力,通过模型试验计算

出来的结果大幅减小,且通过模型计算得出的锚重为4.55t。根据浙江舟山地区浮码头使用经验,5t锚一般可满足使用要求,因此动力计算得出的结果与实际比较吻合。^[4]

5 结语

波浪作用较为复杂,若是单纯将趸船视为静止不动的结构,则计算结果会很大,而通过模型试验计算得到的结果与实际使用情况较为接近。但目前模型试验局限性也较大,不能很好地代表其他不同尺寸的趸船的实际受力情况,需要进一步的试验来确定。

波浪是浙江沿海地区趸船所受的主要控制性荷载,为了减小波浪对趸船的影响,应将码头建设在波浪掩护条件较好的区域,同时应尽量避免侧向波浪。浙江是受台风影响较大的区域,趸船在设计时需要考虑台风的影响,做好相应抗台设施。

参考文献:

- [1] 交通运输部.港口工程荷载规范(JTS144-1-2010)[S].2010.
- [2] 交通部第一航务工程勘察设计院编.港口工程设计手册[M].北京:人民交通出版社,1997.
- [3] 俞聿修.斜向和多向不规则波作用于直墙堤上的波浪荷载[D].辽宁:大连理工大学,2011.
- [4] 李本霞.多向随机波作用在直立堤上的波浪力[D].辽宁:大连理工大学,2004.