

长窄渡槽内船舶船行波分布影响因素研究 以及经验波高公式拟合

徐玮

(苏交科集团股份有限公司, 江苏 南京 210019)

摘要: 为了对直立式护岸下渡槽的船行波进行数值模拟, 本文以淮安枢纽二期工程中的长窄渡槽为研究对象, 通过数值计算和模拟, 从不同吃水和不同速度对船行波的作用等方面, 对不同工况下的行波进行了较为细致的分析。通过对标准波高的计算, 运用多元线性回归法对其进行了检验, 得出了渡槽内船舶行驶形成行波波高的计算公式; 结果表明, 该方法具有良好的计算准确率, 能够准确地反映实际的波高的分布。

关键词: 直立式护岸; 渡槽航段; 船行波; 三维数值模拟

中图分类号: U17.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2023) 03—0112—03

1 前言

随着船舶大型化、通过频率的密集化, 我国的内河运输出现了明显的船行波问题。特别是在某些束窄的河道(如渡槽、船闸引航道、天然束窄区), 船行波造成的水流扰动问题尤为突出。大尺度船行波会造成船头倾斜, 影响过往船舶的正常航行, 恶化航道两岸码头待泊船舶泊稳, 甚至出现淘刷水流, 破坏两侧护岸的稳定性。

从 18 世纪后期开始, Kelvin 提出了船舶在航行时会出现两种不同的波形, 这两种波形重叠后的波峰是不同的。该歧线是一条直线(形成歧线), 歧线和船只的行驶路线的夹角是开尔文角, 并且是(19~22°)的相对固定值。图 1 中给出了开尔文角度的图表。Wilson 对巴拿马 12 种船舶的大量航行波资料进行了分析, 发现船行波具有典型的平面传播和分布特征, 最大波高随着时间的推移而不断变化, 在空间上呈现出显著的三维特征。Raven 将叠加波的最大波高定义为在一系列波段中, 相邻波峰与谷峰的最大高程差异, 并将波峰与谷间的时间历史确定为半周期。

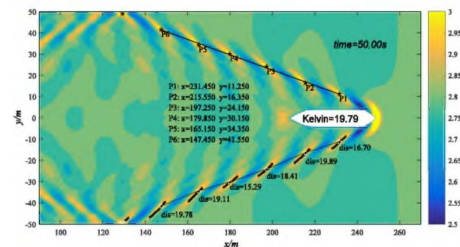


图 1 开尔文角示意图

2 三维模型建立

2.1 船型选择及船舶模型建立

连申线的航道是按照《内河通航标准》和《京杭运河、淮河水系过闸运输船舶标准船型主尺度系列》的要求, 以 58×11.0×3.1(船长×宽×吃水)的 1000 t 级货物船为典型船型。

2.2 渡槽三维模型及计算工况

二期的渡槽全长 293.4 米, 宽度 71 米。

计算工况模拟船舶由北至南行驶, 水流流速取最不利工况(最高通航水位下, 流速 250 立方米/秒), 水位取 2.41m。

对辽东湾海冰变化预测研究 [J]. 海洋与湖沼, 2018, 49(4): 725-733.

基金项目: 广东海洋大学科研启动经费资助项目《基于海冰冰情分析的北极航线通航性研究》

(060302132106); 广东海洋大学科研启动经费资助项目《岸基雷达的港口群溢油协同监测技术》(060302132009); 广东省自然科学基金(编号: 2022A1515011603)

3 三维模型计算结果分析

3.1 船行波发展过程

分析图 2 中船行波发展过程可知：

(1) 船行进时，船头部分挤压、推排船前方的水域，使其产生拱形阻塞，使其与船身的开尔文角相反地向后移动。

(2) 船舶航行波峰发生在船头正面，沿船舶倾斜方向移动时，波峰和波谷交替趋势显著的。

(3) 在前四个波段中，船舶与渡槽相互之间基本无互相影响。从第五个波段开始，船行波受到渡槽上反射波影响，波峰长度增大，且波的形态开始混乱。

(4) 船舶首航波的大小和高度都明显高于尾部的航行波。在船头推进时，波浪的强度逐步衰减，波浪的干涉和衍射作用使波浪能衰减，从而使波浪的大小有所下降。

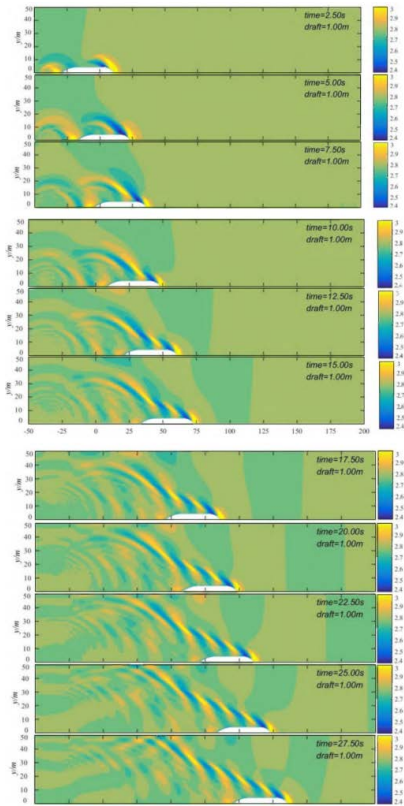


图 2 1000 吨级货船在直立式岸壁渡槽中船行波发展过程

3.2 不同吃水对船行波的影响

在 5.0 米 / 秒的速度下，设计了四个不同的工作条件：0.75 米，1.0 米，1.25 米，1.5 米。在每一工作状态下航行 45 秒时的航行波形如附图 3 所示。且分析可知：

(1) 当船的吃水深度越高，排水量越大，船头的滞洪区和船行波的大小也就越小。

(2) 当船体的吃水深度增大时，波谷高度也随之

降低。

(3) 四种工作条件下的波浪循环和波长都是相同的。结果表明，在不同的水深下，船舶航行波的波动时间和波长几乎没有明显的变化。

(4) 四种情况下，开尔文角度的求得数值在 19.11~21.94°，都在理论上，从开尔文角度来看，该方法是比较准确的。

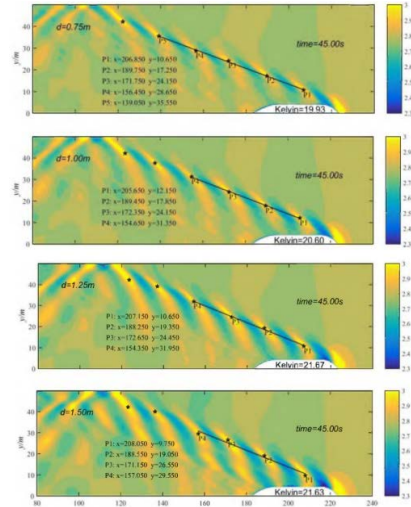


图 3 不同吃水工况下船行波分布示意图

3.3 不同航速对船行波的影响

建立了两个比较实验，研究了在 0.9 m 的吃水深 5.20m/s 和 5.70m/s 下的船舶航行波的变化。和当 1.40 米的吃水深度为 5.20 米 / 秒和 5.70 米 / 秒时，船舶的航行波形的变化规律。在附图 4 和 5 中示出了该计算的结果，并从该分析中可以看出：

(1) 船舶航行波形随速度的变化而变化。当速度增加时，在同一区域，歧点间隔增加，数目减少。

(2) 从理论上可以看出，船舶航行波的波长与速度成正相关，且随航行速度的增加而增加。

(3) 四种情况下，开尔文角度在 20.20~21.94° 的数值中都处于理论上的范围，从开尔文角度来看，该方法是比较准确的。

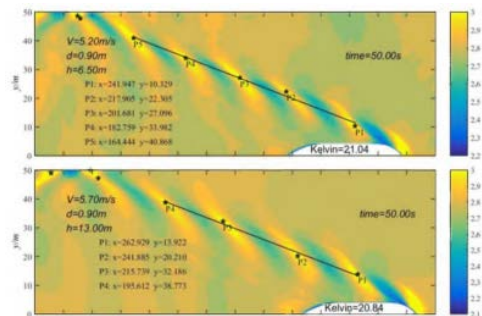


图 4 吃水深度为 0.9m 时航速对船行波分布的影响

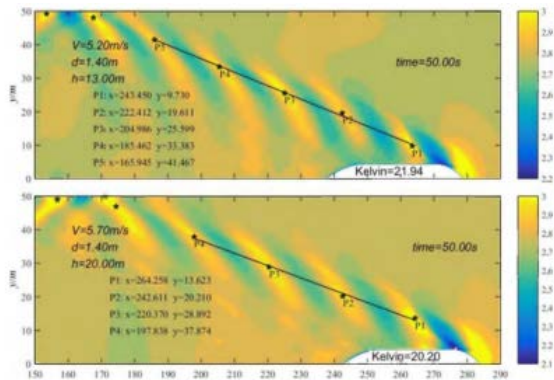


图5 吃水深度为1.4m时航速对船行波分布的影响

4 实例工程波高拟合计算公式

根据本文仿真试验计算的262组计算数据,对《内河航道工程设计规范(J12229-2012)》附录C中的波高计算公式进行回归分析,迭代求解相关系数。计算公式如下:

$$\frac{H_c}{h} = \alpha \left(\frac{S_0 - B/2}{h} \right)^{\beta_1} \left(\frac{V}{\sqrt{gh}} \right)^{\beta_2} \left(\frac{d}{h} \right)^{\beta_3} \quad \text{式(1)}$$

式中, h 为船行波等效波高; h 为渡槽水深; S_0 为船舶航迹线与直立式岸壁的距离; V 为船舶航速; g 为重力加速度; d 为船舶吃水深度; α 、 β_1 、 β_2 、 β_3 均为待定求解系数。

根据本文计算结果,对式(1)进行待定系数求解,得到滨海枢纽二期渡槽波高计算公式:

$$\frac{H_c}{h} = 0.35 \left(\frac{S_0 - B/2}{h} \right)^{-0.22} \left(\frac{V}{\sqrt{gh}} \right)^{1.85} \left(\frac{d}{h} \right)^{0.44} \quad \text{式(2)}$$

通过对262套计算值和数值模拟计算的计算值进行比较和比较,在这些计算点(86个运算点的精确性在图6中示出),可以看出,262个计算值最大的错误是0.32米,最小的是0.03米,而平均值是0.03米;统计资料中,统计错误率低于10%的资料共227个,约86.6%;而统计错误率在15%以下的资料,则有240个,约为91.6%;三维数值模拟结果与模拟结果的关系为0.963;由此可以看出,文中所提出的用回归分析方法进行的计算结果具有良好的预报准确率,能够真实地反映实际的地震波高。

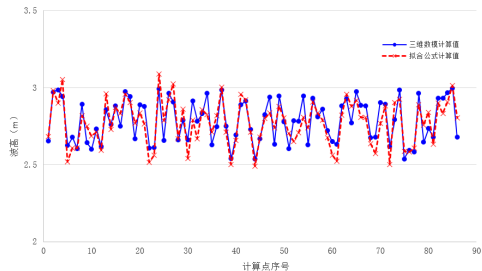


图6 拟合公式波高计算结果精度分析

5 结论

利用三维数值模拟的方式,对滨海枢纽二期渡槽中的水波进行了分析,得出了如下的结果:

(1) 船舶航行波峰发生在船头正面,沿船舶倾斜方向移动时,波峰和波谷交替发生的特点非常显著。结果表明,船舶航行波的二维和三维特征是显著的。

(2) 船头进水深度加大,船头壅水范围和船行波的大小也会单调地增加。而在不同的情况下,水深对波浪的周期和波长几乎没有任何的关系。

(3) 船舶航行波的波段与速度成比例关系,而歧点数与速度成反比关系。

(4) 运用多元线性回归法对标准波高的求解进行了检验,得出了在船行波波高的计算公式,并经过了检验;公式计算精度较高,能够准确地反映实际的波浪高的分布。

参考文献:

- [1] 张嵩云,黄黎辉.船行波对港口的影响[J].水运工程,2018(6):150-153.
- [2] 陈星,徐雪松.船行波对系泊船的影响因素[J].水运工程,2018(2):25-28.

