

双旋桨流传感器的试验

于克哲

(国家海洋局海洋技术研究所)

在海洋调查研究中,“双旋桨矢量测量海流计”技术先进。其主要优点是:传感器具有良好的余弦响应特性;传感器直接感应流的两个正交分量;测量结果便于计算机进行各种数据处理。

一、传感器的实验室试验

1. 旋桨的“风洞”试验

传感器重要的特殊的性能是对流迎角的余弦响应。最初的试验是在自行建造的简易“风洞”中进行的。“风洞”用风扇作风源;用围布、导流筒、木板导流;经铁丝网和蜂窝网整流,然后作用在传感器上。

每次测试前,用测得的传感器最大转速和零转速,来确定旋桨对“平行”风的零度迎角和 90° 迎角,然后,从零度迎角开始,每 10° 一个测点,测量双旋桨的余弦响应。3种尺寸旋桨的感应如图1所示。

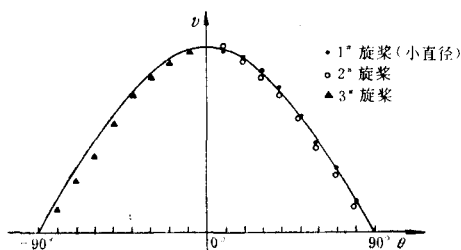


图1 “风洞”感应曲线

从试验中可以看出:①双旋桨对风的角度感应呈余弦响应,但普遍比理想余弦曲线偏低。②旋桨在正、负 60° 迎角时偏离理想曲线最大。③小直径旋桨比大直径旋桨更接近理想

余弦曲线。

因为“风洞”比较简陋,后来我们在动水槽中进行了类似的试验。

2. 旋桨的动水槽试验

动水槽是根据埋没式射流原理设计的,它用水泵推动水体循环流动。导流口的直径为400mm,供试验使用的水槽容积为 $1000 \times 1000 \times 1000$ mm,均匀区为 400×700 mm。水流进出口都有整形疏导装置,以保持提供定常流。用皮托管测试导流口处的流速波动小于1%或1cm/s。水槽提供的流场,比简易“风洞”提供的风场相对平稳,在一个测点上所测得的一组旋桨转动数据几乎不变。动水槽中推动水流的电机,控制其转速时,可得到更平稳的流场。通常流速的波动,大致是电网波动引起的。

流场与传感器断面直径比约5:1;导流口与传感器的断面直径比约2:1。传感器在水槽轴向上较大移动时,测量值有些变化,远离导流口处,测得的感应值稍低。当在水槽径向上少许移动传感器,测值不变。

在动水槽里进行了多种试验,包括不同旋桨构造,不同桨间距,在水槽不同位置放置传感器,有、无框架,不同流速等。试验除了检验水槽性能以外,还进行了大量的传感器性能比较,其中较好的结果如图2,3所示。

试验结果表明:①一对旋桨从轴向看去,叶片相互填补空间时响应最好;一旦位置错动时,误差加大。也就是说,一根轴上的旋桨对在轴向正投影面积越大,余弦响应越好。②象“风洞”试验那样, 60° 迎角和大角度迎角时,

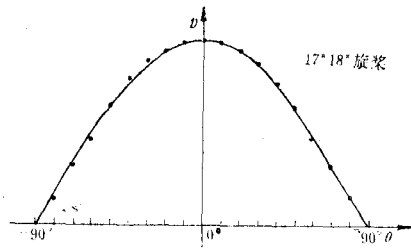


图2 17° 18'旋桨余弦响应

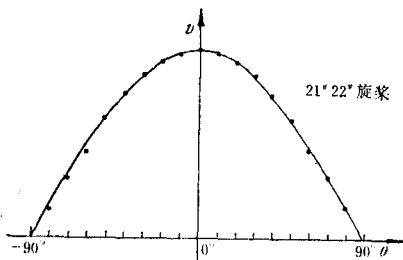


图3 21° 22'旋桨余弦响应

负误差较大,说明此时感应不足。③旋桨对的间距要适当,过大、过小都使余弦响应变差。④一只单旋桨的迎角响应偏离标准余弦曲线更远,它大约是一条 $\frac{1}{2}(\cos\theta + \cos^2\theta)$ 曲线。⑤旋桨叶片面积越大越好。改进的双旋桨余弦响应与标准余弦曲线比较接近,均方根误差在2%左右。⑥转换电路采取温度补偿措施后,双旋桨传感器不受工作环境、温度的影响。

双旋桨传感器在实验室试验中所反映出来的规律,完全有可能使它的余弦响应曲线离标准余弦曲线的均方根误差 $< 1\%$ 。这需要进一步改进旋桨设计;研制耐海水腐蚀的轴承。

二、传感器的动态特性

一般旋桨式极坐标型海流计,旋桨受尾翼控制,直接对准流速方向,叶片具有螺旋面,在任意半径 r 上的小的叶片单元上,流的迎角都是相同的。正交的两分量双旋桨矢量测量海流计的叶片单元迎角是随机的,而且,分量传感器相对流场的位置固定时,叶片不同半径 r 上的小的面积单元对流的迎角还是半径 r 的函数。当 r 较大时,流体对旋桨产生的动力矩变大,旋桨在不同的流迎角时,较容易转动。试

验中也可以看出,半径较大的旋桨比半径较小的旋桨转动性能好;叶片面积较大比叶片面积较小的转动性能好。至于“风洞”试验中出现的现象,我们认为风扇的中心风力强,边缘风力弱,风对小旋桨作用充分,大直径旋桨外缘得不到足够的风力作用,反而因质量加大,影响了小角度迎角的转动。动水槽横断面上的水流速度相对均匀,而且不会有旋进流。

双旋桨的定常流响应特性由两个方面决定:在海流流向与旋桨轴夹角不变的情况下,旋桨转速与流速之间的关系特性及流速恒定时的转速与上述夹角之间的关系特性,通常假设上述特性独立存在;可用下面关系式表达:

$$V = S(V) H(\theta)$$

式中, V 是流速, θ 是水流入射角,因此流速的轴向分量为 $V \cdot \cos\theta$ 。在理想情况下, $S(V) = KV$, $H(\theta) = \cos\theta$ 。已经发表过的有关各式旋桨海流传感器的试验表明,当流速大到足以克服轴承摩擦力时,这类传感器的响应特性一般为线性,低流速和启动流速主要取决于轴承的质量和叶片的投影面积。在近海表测流中,大多数旋桨都有较好的线性响应特性。

迎角的速度响应特性却与不同的设计参数有密切的关系,如叶片的形状和数量、旋桨螺距角,以及装在同一轴上的旋桨个数等。

试验可以证实以下几点:①如果 $H(\theta) = 1$,当水流入射角为 30° 左右时, H 稍有增大;当入射角增加时, $H < \cos\theta$,在 θ 很小时, H 几乎与 θ 无关。②在 θ 为 45° 以上时,其响应特性明显地产生负偏差,而在 60° 迎角时,偏差最大。在 60° 迎角时,因旋桨螺旋角为 30° ,有一瞬时一张叶片恰好与流平行,其他叶片受力也不充足,所以应适当增加叶片面积来克服瞬时的局部“死点”。③小螺距旋桨响应特性与 $\cos\theta$ 曲线十分接近;叶片展弦比及其数目对特性的影响主要取决于叶片的正投影总面积,该面积越大, $H(\theta)$ 越接近 $\cos\theta$ 曲线。④在同一轴上安装两个旋桨,并仔细选择叶片的尺寸和形状,可以使 $H(\theta)$ 与 $\cos\theta$ 之间的偏差很小,有待进一步改进。