

螺旋桨模型空化噪声测量中 若干问题的试验研究

陈韵芬 史鸣观 钱德兴

(中国船舶科学研究中心)

本文主要介绍在空泡水筒研究模型空化噪声时,水听器安装方式,压力和水中空气含量对噪声测量的影响。

通过对两种不同安装方式的噪声测量比较,指出水听器在安装时必须避免设备振动的直接传递,以便得到比较低的背景噪声。

另外,螺旋桨试验从噪声测量角度而言应在定压下进行空泡模拟,以便减小压力变化所带来的影响和修正。试验证实水中自由气体含量不仅影响螺旋桨的空泡起始,而且对螺旋桨的空泡噪声频谱有很重要的影响。指出监视试验段水中自由气体含量变化的必要性,并对监测方法作了介绍。

一、引言

螺旋桨噪声是舰船辐射噪声的主要声源之一。当螺旋桨旋转时,桨在叶梢和叶片表面产生低压或负压区,当超过某一速度时就会形成局部真空和不稳定涡空穴,而出现空泡。当这些空泡或自身崩溃,或在桨叶上崩溃时就会引起很强的噪声,通常螺旋桨空泡所具有的声功率有1瓦至10瓦的量级^[1]。这对潜艇来讲是尤为重要的问题,为此,许多国家都很重视这方面的研究。

目前,空泡水筒是研究模型空化噪声的主要设备。1976年,国际空泡委员会曾给世界上53个机构发出一份征询意见表,就空化噪声研究的兴趣、设备以及测量等各种问题进行广泛调查,并在第十五届ITTC上提出噪声检测程序的建议^[2],以便在设备之间对所测的噪声进行比较。近两年来,国内有些单位也开始对这方面的工作发生兴趣,例如上海交通大学发表了有关文章^[3]。

多年来,我们已经利用水筒研究螺旋桨

模型流体动力性能时开展模型噪声测量工作,以此评价螺旋桨的噪声性能,相对比较各种螺旋桨方案的好坏,并结合空泡图象的观察,检测空泡初始以及研究各种类型空泡的噪声特点。但是,在测量中还存在某些问题值得探讨和解决。为此,在原有工作的基础上结合国际空泡委员会提出的建议,我们对空泡水筒螺旋桨模型空泡噪声测量中的问题做了进一步的试验研究。这里主要介绍螺旋桨模型在水筒测量噪声时,有关水听器的安装方式以及压力和水中空气含量对噪声测量影响等方面的试验结果。

二、水筒噪声测量和问题提出

水筒可以模拟空泡现象,对研究空泡噪声有利。然而,在水筒空化噪声测量中,还有一些问题需要加以探讨和解决。本试验研究工作主要是针对下列问题进行的。

1. 水听器的安装方式

对水筒测量来讲,水听器的安装是一个重要问题。第十五届ITTC的文件中,根据对

各国测量的调查，把水听器的测量位置归成两类：第一类是水听器嵌平安安装在模型船体表面或筒壁上；第二类是水听器安装在静水区域内，例如悬挂在水筒有机玻璃窗上的注水箱内等。我所水筒噪声测量对，水听器通常采用下列四种安装形式：

(1) 水听器安装在圆柱腔内。圆柱腔固定在筒壁盖板上，其中一底面为铜膜与筒壁齐平。铜膜有小孔，便于进水和排气。噪声信号传递则通过铜膜到达水听器。

(2) 水听器悬挂在筒体外注水箱内。注水箱装在水筒的一块有机玻璃窗外，内壁贴有橡皮。为了避免设备振动的直接传递，我们将注水箱作了进一步改进，使它与窗盖板之间变成用橡皮的软连接。噪声信号则通过有机玻璃窗到达水听器。

(3) 水听器接收端伸入水筒内。其支柄则固定在筒壁的窗盖板上。为了减少水听器在流场内所受的水流冲击，同时避免湍流边界层压力脉动所产生的假声，水听器外加导流罩。

(4) 安装在模型船尾上。

在上述四种方式中，第一、二种是我们常用的安装方式，为此我们对两种方式的优劣进行试验比较。

2. 水中含气量对噪声测量的影响

水中自由气体含量也是影响噪声测量的关键问题。流体中的气泡可起到气核的作用，它不仅影响螺旋桨的空泡起始，而且当气泡大量出现时，一方面会缓冲空泡的崩溃，降低声辐射；另一方面会使介质自身的声学特性发生变化，对声辐射起到屏蔽、吸收作用，从而改变水筒试验段的声学特性，影响水听器检测的噪声数值及频谱分布。因此，监测水中自由气体含量变化，对提高螺旋桨空化噪声的测量精度是很重要的，尤其是对各模型方案进行对比试验时更为必要。

3. 压力对噪声测量的影响

噪声测量中，还有一个问题就是压力对

噪声的影响。根据相似定理，螺旋桨模型空泡试验时要满足

$$\begin{cases} \lambda_{PS} = \lambda_{Pm} \\ \sigma_S = \sigma_m \end{cases}$$

式中 λ_{PS} 、 σ_S ——实桨进速系数和空泡数；

λ_{Pm} 、 σ_m ——模型桨进速系数和空泡数。

在水筒上为要获得需要的空泡数，可以通过改变压力，或者改变速度，再或两者并用来实现。一般则是采用保持水速不变而改变压力，从而改变来流空泡数的方法。这种改变压力的方法对噪声测量将会产生影响，是应该考虑的问题。

三、试验设备和方法

试验主要是在工作截面 600×600 毫米的 03C 水筒上进行的。水筒的有效工作长度为 2800 毫米。水筒内的压力可在 -1 大气压范围内变化。水速的变化范围是 0—5 米/秒左右。水中相对含气量是用 Vanslyke 方法测定的。模型和试验条件如下：

模型螺旋桨直径 $D = 240$ 毫米；

叶数 $Z = 4$ ；

水速 $V_P = 2.5$ 米/秒；

空泡数 $\sigma = \frac{P_0 - P_V}{\frac{1}{2} \rho V_P^2} = 5.8, 16, 21, 27$ ；

进速系数 $\lambda_P = \frac{V_P}{nD} = 0.74 \sim 0.38$ ；

相对含气量 $\alpha/\alpha_S = 0.12 \sim 1.2$ 左右。

试验总布置图见图 1。

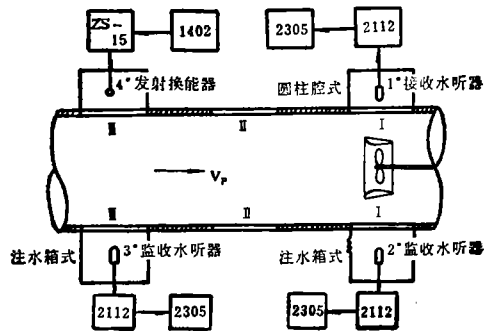


图 1 试验布置图

两种不同接收方式的水听器则是安装在水筒两侧对准螺旋桨盘面位置的 I 号观察窗。1 号水听器安装在柱腔内，2 号水听器悬挂在注水箱与筒体盖板之间，并用橡皮实行软连接，以避免设备振动的直接传递（见图2）。

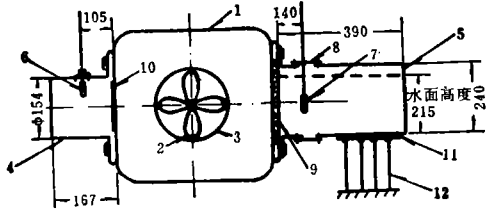


图2 螺旋桨噪声测量水听器布置

空气含量变化的噪声监视是布置在螺旋桨来流上游的 III 号观察位置，以避免螺旋桨尾流对监视的影响。水筒一侧的 III 位置用以布设发射换能器，而在其对面的 III 位置则布置接收水听器；水听器采用注水箱悬挂式接收，见图3。

监视装置的发射信号源采用 B&K-1402 型白噪声发生器。为了保证有足够的激励，白噪声信号经过 ZS-15 型功率放大器加到 4

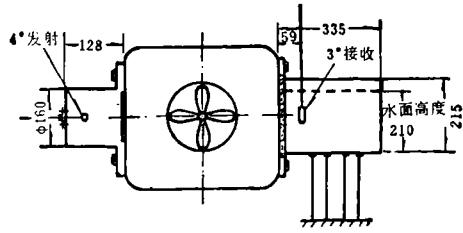


图3 空气含量变化监视布置

号发射换能器上。其目的是使 3 号监视水听器接收到的监视信号能大于该水听器在同一位置所接收到的螺旋桨噪声信号，以起到真正的监视作用。

四、试验结果

试验的结果表示在图4—11上。

1. 两种不同安装方式的水听器的结果对比

图4—5表示两种不同方式接收的背景噪声，图6—9表示接收螺旋桨噪声的情况。

由图4和图5可知，在 $\sigma=5.8$ 时，对 1.25KC 以下的频率而言，悬挂式比柱腔式

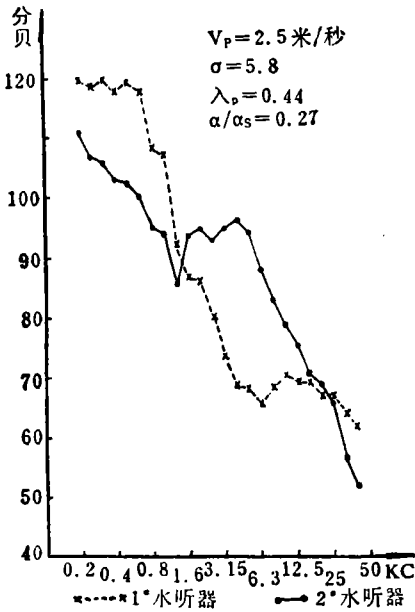


图4 两种不同安装方式的水听器所接收的背景噪声谱

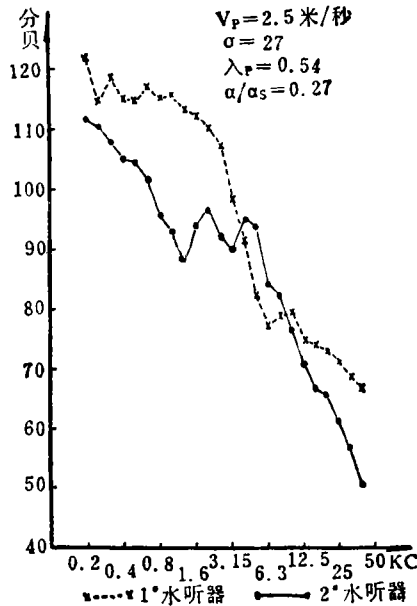


图5 两种不同安装方式的水听器所接收的背景噪声谱

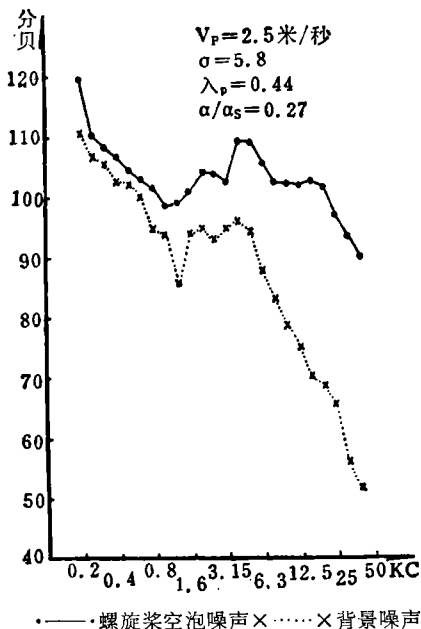


图6 2号水听器接收噪声谱

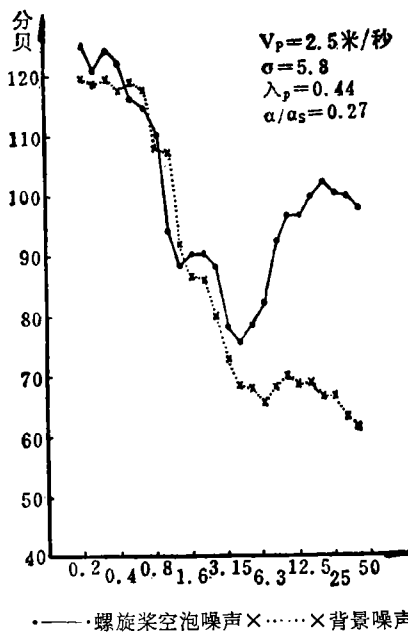


图7 1号水听器接收噪声谱

低5~20db; 在 $\sigma=27$ 时, 对3.15KC以下的频率而言, 可低5~20db以上。图6和图7说明, 在一般空化情况下, 采用悬挂式安装方式, 可以从背景噪声中分辨出1KC以上的螺旋桨噪声。而柱腔式安装, 则仅能从背景噪声中分辨出2.5KC以上频率的螺旋桨噪声。因此, 采用注水箱悬挂式可以提高分析空化噪声的频率下限。

利用悬挂式测量的噪声频谱, 在4—5KC附近有峰值出现(见图6)。根据我们使用的注水箱, 可粗略地从下式估计其特征频率:

$$f = \frac{C}{2} \left[\left(\frac{n_x}{l_x} \right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y} \right)^2 + \left(\frac{n_z + \frac{1}{2}}{l_z} \right)^2 \right]^{1/2} \quad [6]$$

$$n_x, n_y, n_z = 0, 1, 2, \dots$$

按 $l_x=0.39$ 米, $l_y=0.30$ 米, $l_z=0.24$ 米; 取 $C=1500$ 米/秒对 $n_x=n_y=n_z=1$, 其一阶特征频率 $f=5.65$ KC, 与试验情况较为接近。

2. 含气量变化的试验结果

根据空泡观察和试验结果, 证明含气量变化不仅影响螺旋桨的空泡起始, 而且影响空泡噪声频谱。图8—9表明水筒内不同压力

下含气量 α/α_s 变化对螺旋桨空化噪声频谱的影响。水筒压力越低, 含气量变化对噪声的影响就越大。图8表明, 当 $\sigma=5.8$ (水筒内压力为-0.8大气压), 这时水筒内压力较低, 含气量 α/α_s 增加时使频谱的高频部分下降。当 $\alpha/\alpha_s=0.79$ 时, 在2.5KC—40KC频段内下降很大, 达7db—40db左右。由图9可知, 当 $\sigma=27$ (水筒内压力为-0.09大气压), 这时水筒内的压力接近大气压, 其变化不很大, 从而证明了试验中对含气量监测的必要性。

频谱的高频部分下降, 其原因是:

1) 水筒内所测的相对含气量 α/α_s 是指总气体和不溶于水的自由气体。原来溶于液体中的气体, 由于降压或过饱和, 已以扩散的方式通过界面逸到存在于水里的气核中, 并扩张成为可见空泡。另外由于降压, 原来存在于水中的气核也会膨胀到肉眼可见的程度^[7]。因此, 当相对含气量 α/α_s 大时, 水中就会有大量气泡出现。根据空泡的声学特性, 水中大量气泡的出现将缓冲空泡的崩溃, 影响频谱的高频部分^[8]。

2) 由于水中许多气泡的存在, 使介质本

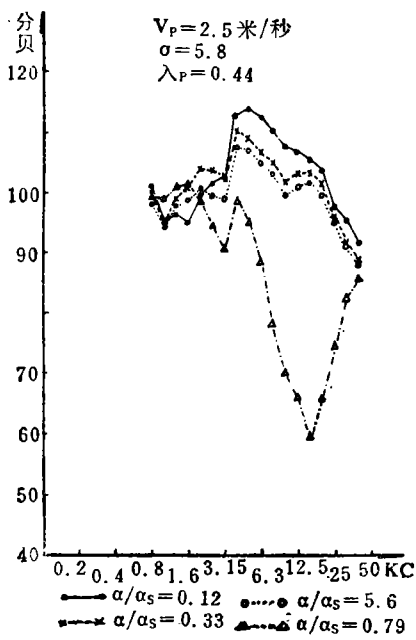


图8 不同含气量下的螺旋桨空泡噪声

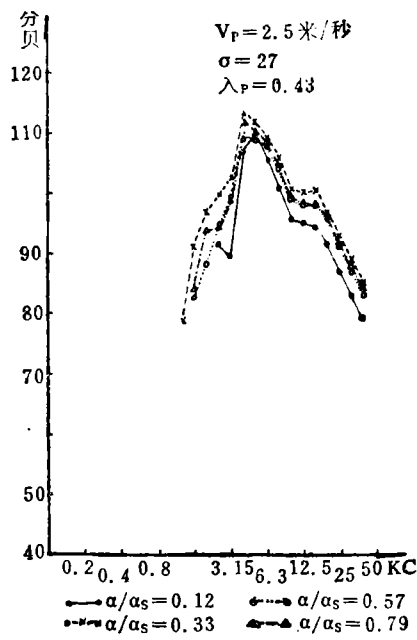


图9 不同含气量下的螺旋桨空泡噪声

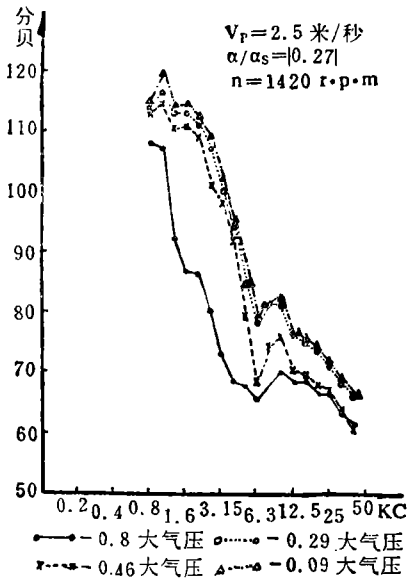


图10 工作段压力变化对背景噪声影响

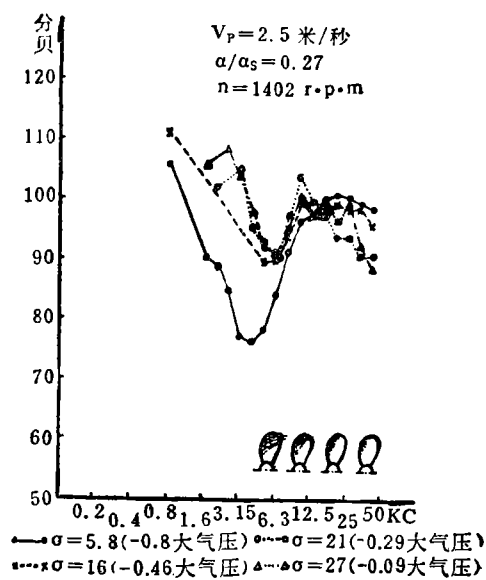


图11 工作段压力变化对螺旋桨噪声影响

身的声学特性发生变化，而对声波的辐射起到屏蔽、吸收作用^[9]。

3. 压力变化对噪声测量的影响

图10—11表示工作段压力变化对背景噪声以及螺旋桨空化噪声的影响。由图10可知，背景噪声谱基本上随压力的增加而增加。当

压力从-0.8大气压增加到-0.46大气压时，在1—5KC内相差较大，可达20db左右。当压力从-0.46大气压增加到-0.29大气压时，频谱相差3—5db左右。当压力从-0.29大气压增加到-0.09大气压时，变化就很小，整个频段仅差1—2db。安装螺旋桨模型后，

保持同样的 V_p 和转速 n ,改变压力所测得的空泡噪声谱见图11。这时由于压力改变,使空泡数改变,桨叶上的空化现象不同,从而使空化噪声谱发生变化。由图11可以看到,当压力为 -0.8 大气压,对 12.5KC 以下的频段其噪声最低,对 12.5KC 以上的频段其噪声最高。当压力增加、空泡数变大后,频谱较为接近。而对 12.5KC 以上的高频,基本上随压力的增加和空泡现象的变弱而减小。但是,当压力从 -0.29 大气压变化到 -0.09 大气压时,虽然观察到的空泡现象变弱,然而高频反而增加。这可解释为:改变压力会遇到所谓的反常深度效应,即潜艇深度越大,其高频噪声反而增高。其原因是增加压力会使空泡崩溃加快,从而增加噪声能量。

五、结 论

1. 利用水筒研究空化噪声频谱的下限,会受设备背景噪声和设备效应(驻波和混响)的限制。为了减小设备振动对接收水听器的影响,水听器与设备之间应采取减振措施,以防止或减小设备振动的直接传递。在进行螺旋桨空化噪声试验时,可以采用注水箱悬挂式安装,这种方式可以获得比较低的背景噪声,使噪声分析频率的下限降低,这对螺旋桨噪声测量和研究都较为有利。

2. 水中含气量不仅影响螺旋桨的空泡起始,而且影响噪声测量。因此,在水筒内进行噪声试验时,必须进行监视,以便获知水中自由气体含量变化时所产生的试验段声学特性的变化,进一步提高试验的准确性,尤其是在各方案做对比试验时更为需要。根据第十五届 ITTC 提出的建议,要求试验所得的监测频谱偏差不超过 5db 。若有较大的

变化,则说明自由气体含量的变化已影响噪声测量数值,必须重做试验。在声场校准,背景噪声和螺旋桨噪声测量时,其试验段的声学特性应不相上下,并应以零压即大气压力下的监测频谱作为标准来考虑偏差。对 03C 水筒而言,在相对含气量低于 0.35 时进行噪声试验比较好,并可满足规定的偏差要求。

3. 监视所使用的发射换能器和接收水听器,应该布置在来流上游区的水筒两侧的相对两块盖板上,以避免螺旋桨尾流和设备排除气泡时的影响。宽带源激励发射器在试验中不但应该保持激励不变,而且必须具有足够的发射功率。接收水听器所接收到的声级应超过该水听器在同一位置所接收的螺旋桨噪声,以真正起到监视作用。

4. 从噪声测量角度而言,模型试验时工作段的压力应保持不变,这样可以减小因设备压力变化所带来的影响;同时也可减少水中自由气体含量的变化,从而使数据比较稳定。

参 考 文 献

- [1] 船舶螺旋桨噪声译文集(一), 702所, 1980
- [2] Proceeding of 15th ITTC, 1978, p320—326, 351—357.
- [3] 螺旋桨模型空泡噪声试验研究等, 上海交大, 1980
- [4] Experimental Investigations of cavitation Dynamics and Cavitation Noise. Göranbark and Willem B Vam Berlekom 1979
- [5] 螺旋桨脉动压力线状谱和噪声线状谱之间的关系, 朱锡清等
- [6] 振动与声, [美]P. M. 莫尔斯著, 南大《振动与声》翻译组。
- [7] 上海交大科技“船舶制造专刊(2)”, 1978
- [8] Donald Ross “Mechanics of Underwater Noise.” 1976.
- [9] 声学基础讲义, 哈尔滨船舶工程学院编