

物体运动速度对空化噪声的影响*

黄景泉

(西北工业大学, 1992年4月2日收到)

摘 要

本文对物体空化噪声与运动速度之间的相互关系进行了分析, 结果表明, 空化噪声对运动速度存在着极值。

关键词 空化 空化噪声 极值

空化噪声常常成为水下运动物体速度的一种制约。本文将分析二者之间的相互关系, 以便利用。

一、无界流体中空泡溃灭阶段的噪声

在参考文献[1]中, 作者曾导出了理想、不可压、无界流体中, 单个空泡溃灭阶段的噪声, 其表达式如下:

$$p(R, r) = \frac{\sigma}{r} \left[\left(\frac{R_0}{R} \right)^2 - 3 \right] + \frac{p_\infty - p_v}{r} \left\{ \frac{4R}{3} \left[\left(\frac{R_0}{R} \right)^3 - 1 \right] - \frac{R_0^3}{R^2} \right\} - \frac{p_1}{(1-\gamma)r} \left\{ \frac{4R}{3} \left[\left(\frac{R_0}{R} \right)^3 - \left(\frac{R_0}{R} \right)^{3\gamma} \right] - \frac{R_0^3}{R^2} + \frac{\gamma R_0^{3\gamma}}{R^{(3\gamma-1)}} \right\} \quad (1.1)$$

其中 $p(R, r)$ 为空泡溃灭至半径 R 时, 由空泡中心计起径向距离 r 处的噪声声压, p_∞ 为未受扰动处液体压力, $p_v = p_v(T)$ 为空泡内蒸汽压力, $\sigma = \sigma(T)$ 为液体表面张力, γ 为空气绝热系数, p_1 为溃灭初始时刻的泡内空气压力, R_0 为溃灭初始时刻的空泡半径, T 为液体温度。

由式(1.1)可见, 对于给定的 R_0, R, p_1, γ, T (从而 p_v 和 σ) 径向距离 r , 有

$$p = ap_\infty + b \quad (1.2)$$

其中, a, b 均为常数, 且 a 为正值。

式(1.2)表明, 在无界流体中, 单个空泡

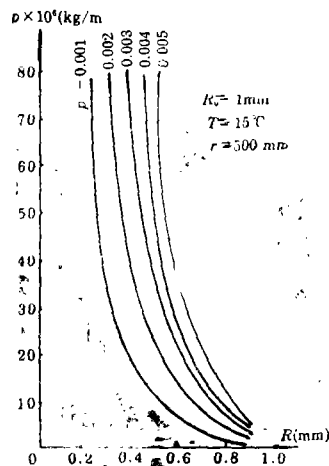


图1 不同 p_∞ 下, 空泡的溃灭噪声

* 钱伟长推荐

的溃灭噪声声压 p 与未受扰动处液体压力 p_∞ 呈正变关系(参见图1)。即随着 p_∞ 的逐步减小, 单个空泡噪声声压 p 的值将相应逐步减小。

二、绕流场中空泡溃灭阶段的噪声

在绕流场中, 空泡所在的液体局部压力场将受到物体的干扰而发生改变。设来流速度为 v_∞ , 来流压力为 p_a , 物体减压系数为 ξ , 液体密度为 ρ , 则空泡实际所感受的未扰动压力为

$$p_\infty = p_a - \frac{1}{2} \rho \xi v^2 \quad (2.1)$$

这就是说, 在绕流场中, 单个空泡溃灭阶段的噪声声压与 $p_\infty = \left(p_a - \frac{1}{2} \rho \xi v^2 \right)$ 呈正变关系。给定来流压力 p_a , 随着物体运动速度 v_∞ 的逐步增大 (p_∞ 相应减小), 单个空泡溃灭阶段的噪声声压将逐步减小。换言之, 在绕流场中, 单个空泡溃灭阶段的噪声声压值 p 与 v_∞ 呈反变关系。这是 v_∞ 对空气噪声的第一种影响。

在实际中, 物体的空化现象总是以空化区(即群体空泡)的形式出现。对于既定的被绕流物体, 其减压系数 ξ 值是恒定不变的。满足

$$K = \frac{p_a - p_v}{\frac{1}{2} \rho v^2} \leq \xi \quad (2.2)$$

的区域即为物体的空化区域(参见图2)。空化区域的大小表征着物体产生空泡数量的多少。

如果以 N 表示物体所产生的空泡个数, 则空化区域愈大, N 值也将愈大。

由式(2.2)可见, 随着 v_∞ 的不断增大, K 值将不断减小, 空化区的面积将逐步增大, 从而 N 值亦将逐步增大。即 v_∞ 与空泡数量 N 呈正变关系。显然, 空泡数量 N 愈大, 群体空泡溃灭噪声的总声压 P 亦将愈为强烈。这是 v_∞ 对空化噪声的第二种影响。

综上所述, 物体的运动速度 v_∞ 将对空化噪声产生作用相反的两种影响。随着 v_∞ 的不断增大, 一方面单个空泡的溃灭噪声声压将逐步减小; 另一方面, 参与溃灭的空泡数量又将不断增多, 使总的噪声声压又有所增强, 两种作用相反的影响相互制约, 使得 v_∞ 与空化噪声之间呈现出复杂的相互关系。

给定来流压力 p_a , 在 v_∞ 逐步增大的初期, 由于流动空化数 K 值依赖于 v_∞^2 , 而空化区面积又与 K^2 有关, 第二种影响将占根主导地位。因而, 随着 v_∞ 的增大, 群体空化噪声声压 P 将相应地逐步增大。

继续增大 v_∞ 的值, 在上述两种相反影响配合恰当之处, 群体空泡噪声声压将出现极值。此后, 第一种影响将占据主导地位, 因而随着 v_∞ 的继续增长, 噪声声压 P 反而逐步减小。

由图2可见, 当 v_∞ 增大到某一程度后 (K 值接近于零), 此时整个物体表面完全为空泡所

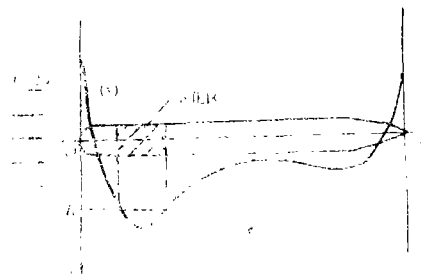


图2 物体表面空化区示意图

包围，空化区已无从再行增大，第二种影响不复存在，群体空化噪声声压 P 将按照第一种影响的制约，随着 v_∞ 的增大而迅速单调下降。

上述变化规律可示意于图3之上。

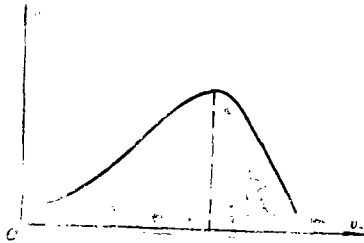


图3 $P \sim v_\infty$ 示意图

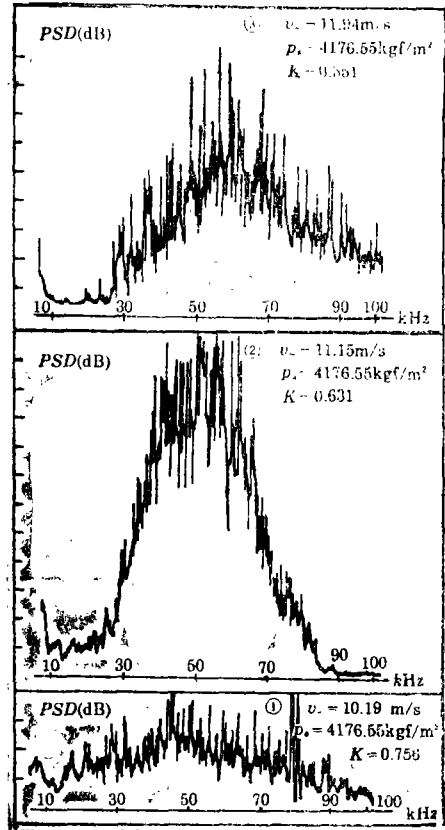


图4 某回转体的空化噪声测量结果

三、实验结果

作者在西北工业大学水洞中，对某回转体模型进行了空化噪声的测试^[2]，结果见图4。

由图4可见，当来流压力 P_∞ 保持恒定，改变来流速度时，随着 v_∞ 的逐步增大，群体空化噪声由逐步增大继而转为逐步减小，大约在 v_∞ 等于11.5m/s处达到极值。实验结果与所得结论一致。

参 考 文 献

- [1] 黄景泉，空泡起始和溃灭阶段的噪声，应用数学和力学，11(8)(1990)，725—729。
- [2] 黄景泉等，空化噪声的实验研究，水动力学研究与进展，3(4)(1988)，8—15。

Influences of Body Speed on Cavitation Noise

Huang Jing-chuan

(Northwestern Polytechnical University, Xi'an)

Abstract

The present paper analyzes the relationship between the body speed and the cavitation noise. The results indicate that there is the limiting value of cavitation noise.

Key words cavitation, cavitation noise, limiting value