

# 喷水推进轴流泵抗空化设计及数值仿真研究

李冯杰, 赵 鲲, 蒲汲君

中国空气动力研究与发展中心 气动噪声控制重点实验室, 四川 绵阳 621000

## 摘要

对于高航速的水下航行器, 目前大部分喷水推进轴流泵都存在空化情况严重的现象, 空化严重时会在轴流泵叶片表面引起强烈的噪声, 因此本文对适用于高航速的水下航行器的轴流泵喷水推进系统展开了深入研究。为了提高喷水推进系统在高速工况下的抗空化性能, 从提高泵前汽蚀余量的角度出发, 采用双级喷水推进轴流泵的构型, 进行了双级泵的设计, 并利用数值仿真软件对双级泵的抗空化能力进行校核。对比单级轴流泵与双级轴流泵的推进性能与抗空化能力, 得出了采用双级轴流泵的方式能够提高水下航行器的喷水推进性能和抗空化能力。

## 双级泵设计方法

### 1) 前级辅泵叶轮进出口速度三角形

前级辅泵与二级涡轮配合, 转速与扬程较低, 设计情况与一般单级轴流水泵无区别, 进出口速度三角形如下图所示。

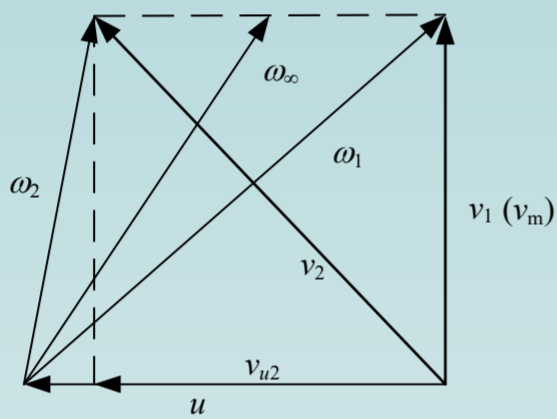


图2 前级辅泵进出口速度三角形

图2中,  $v$  为叶轮上流体绝对速度,  $\omega$  为叶轮上流体相对于叶轮的相对速度,  $u$  为叶轮的周向速度即牵连速度; 下标1表示进口参数, 2表示出口参数;  $\omega_\infty$  表示进出口相对速度的几何平均值;  $v_{u2}$  表示出口速度  $v_2$  在周向方向的分量; 而前级辅泵进口速度  $v_1$  在周向方向上的分量为0。由图2可以得到进出口各速度之间关系式:

$$\begin{cases} \vec{v}_1 = \vec{u} + \vec{\omega}_1 \\ \vec{v}_2 = \vec{u} + \vec{\omega}_2 \\ \vec{\omega}_\infty = (\vec{\omega}_1 + \vec{\omega}_2) / 2 \end{cases} \quad \begin{cases} v_{u2} = \frac{H_1 g}{u} \\ v_2 = \sqrt{v_m^2 + v_{u2}^2} \end{cases}$$

### 2) 后级主泵叶轮进出口速度三角形

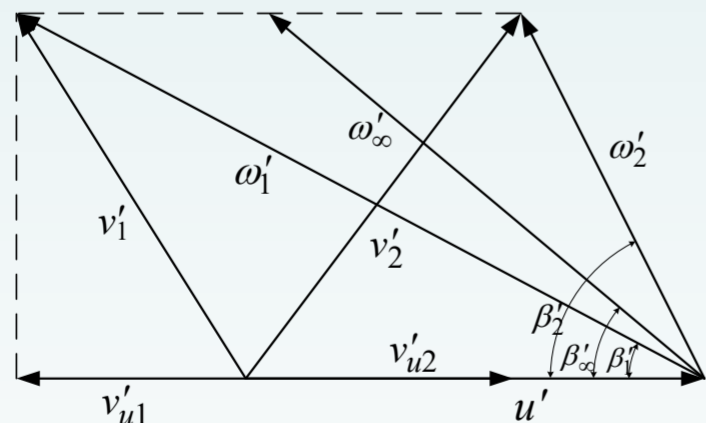


图3 后级主泵进出口速度三角形

由于后级泵旋转方向与前级泵相反, 因此后级泵圆周速度与前级泵圆周速度方向相反, 后级主泵的叶轮进出口速度三角形如图3所示。得到进出口各速度之间关系式:

$$\begin{cases} \vec{v}'_1 = \vec{u}' + \vec{\omega}'_1 \\ \vec{v}'_2 = \vec{u}' + \vec{\omega}'_2 \\ \vec{\omega}'_\infty = (\vec{\omega}'_1 + \vec{\omega}'_2) / 2 \end{cases} \quad \begin{cases} v'_{u2} = v'_{u1} + \frac{H'_1 g}{u'} \\ v'_2 = \sqrt{v_m^2 + (v'_{u2})^2} \end{cases}$$

$$\omega'_\infty = \sqrt{v_m^2 + \left(u' + \frac{v'_{u1} - v'_{u2}}{2}\right)^2} \quad \beta'_\infty = \arctan\left(\frac{v_m}{u' + \frac{v'_{u1} - v'_{u2}}{2}}\right)$$

## 双级喷水推进系统组成原理

双级喷水推进系统主要由双级泵与双级对转涡轮机构成, 双级泵中前级泵为辅泵承担一小部分扬程分配, 由二级涡轮提供动力; 后级泵为主泵承担大部分扬程分配, 由一级涡轮提供动力。

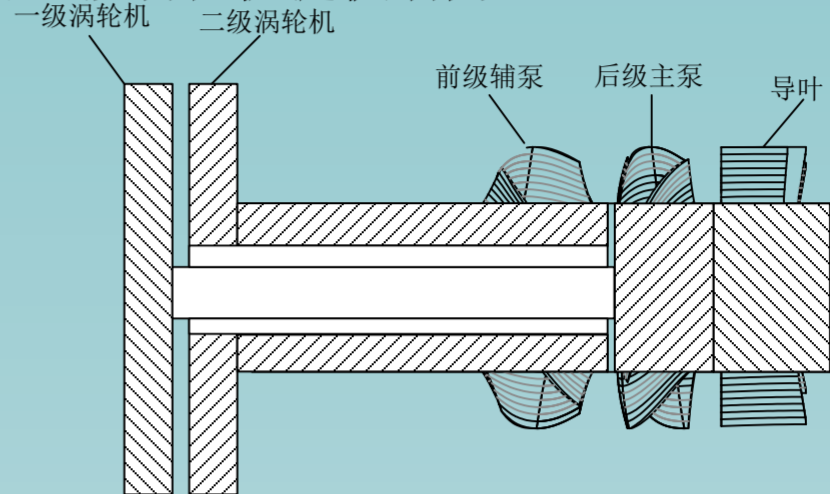


图1 双级泵设计原理示意图

## 单级泵与双级泵设计结果对比

表1 双级泵与单级泵设计参数

	双级泵		单级泵
	前级辅泵	后级主泵	单级泵
扬程(m)	40	95	135
转速(rpm)	8000	10000	11200
叶片数	6	7	7
叶轮效率	88.78%	88.08%	88.82%

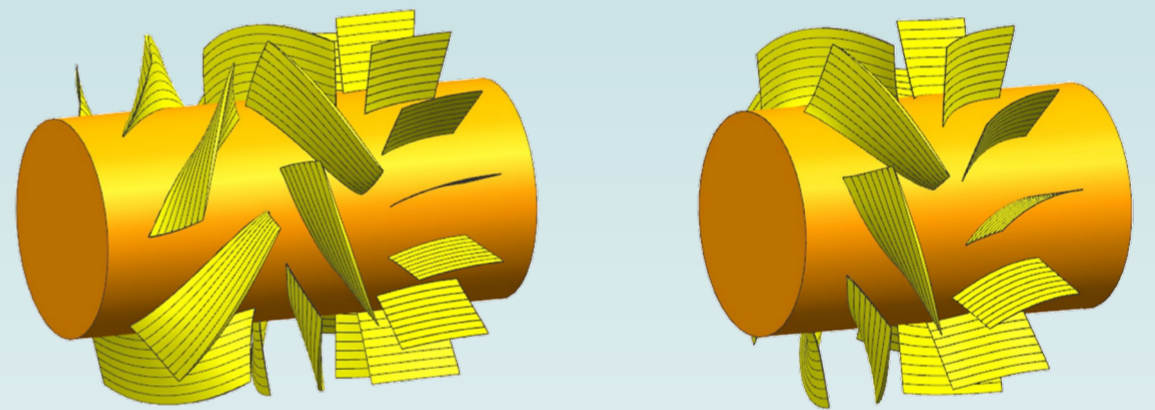


图4 双级泵与单级泵设计结果三维图

表2 双级泵与单级泵CFD仿真结果

类型	参数	CFD仿真结果	理论设计值
双级泵	前级泵扬程(m)	40.35	40
	前级泵效率	87.07%	87.78%
	后级泵扬程(m)	91.31	95
	后级泵效率	86.11%	88.08%
单级泵	总扬程(m)	112.48	135
	叶轮水力效率	83.32%	88.82%

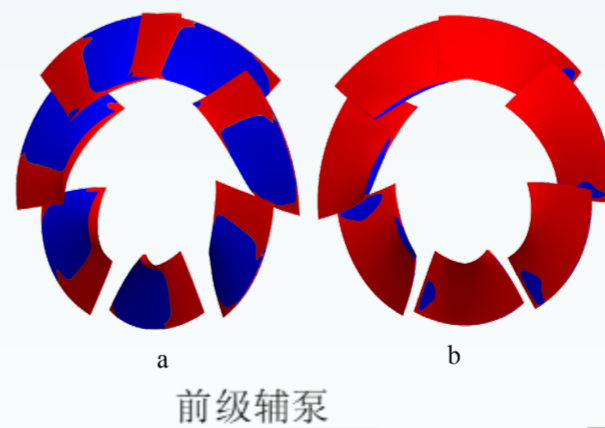


图5 单级泵吸力面(左)与压力面(右)空化示意图

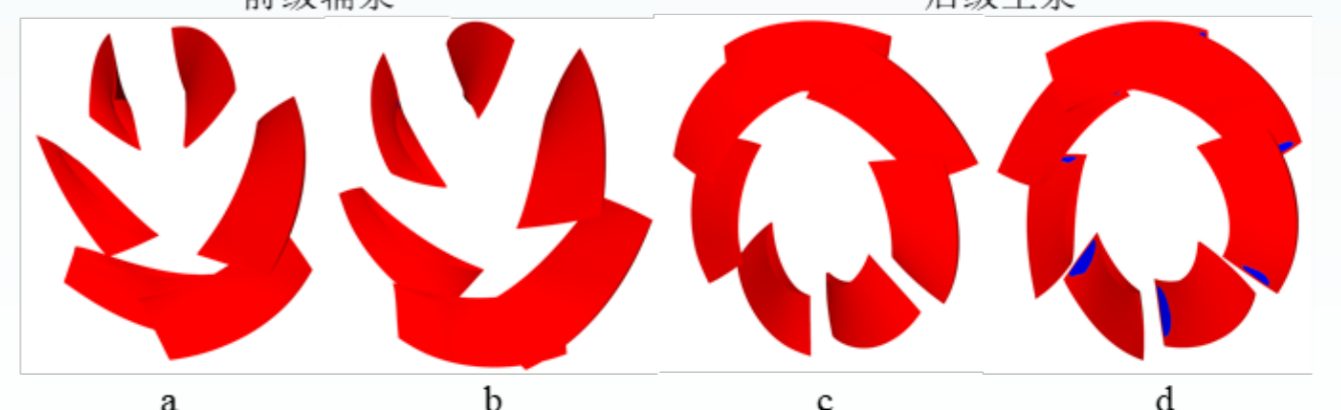


图6 双级泵叶片表面空化示意图