



STAR-CCM+在螺旋桨空泡 数值评估中的应用

702所 刘登成

201907

汇报内容提要



目录

1. 背景

2. 数值方法

3. 空泡模型

4. 均流螺旋桨空泡模拟

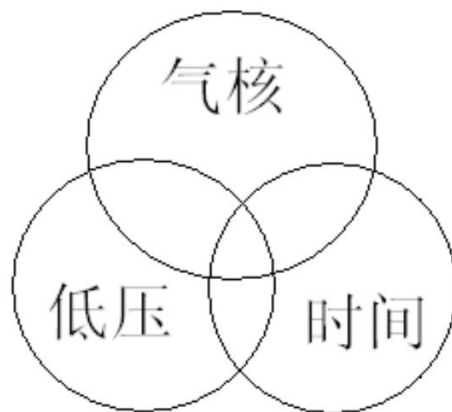
5. 船后螺旋桨空泡模拟

6. 小结

1 背景



- 空化现象：



- 空化特征：非定常、湍流、气液两相流

- 空化利用：减阻、除污...

- 空化危害：水力性能下降、空蚀、噪声...

★需要研究，CFD是重要技术手段之一，STAR-CCM+提供了强有力的技术手段。

2 数值方法



- CFD : 求解NS方程
 - 假设 : 空泡流满足NS方程, 其密度可变
- 需要构造求解密度的方程, 即所谓的空泡模型。

3 空泡模型



空泡模型

(1) 正压状态方程

(2) 斜压输运方程

Kunz

Merkle

Shhy

Singhal

Zwart-Gerber-Belamri

Schnerr-Sauer



3 空泡模型

根据物理概念构形的空泡模型：

Model	Source	$\frac{\partial \alpha \rho_v}{\partial t} + \frac{\partial (\alpha \rho_v u_i)}{\partial x_i} = S = \dot{m}^+ + \dot{m}^-$		
Kunz	$\dot{m}^+$	$\frac{C_d \rho_v}{0.5 \rho_l U_\infty^2 t_\infty}$	$(1 - \alpha)$	$(p_v - p)$
	$\dot{m}^-$	$-\frac{C_p \rho_v}{t_\infty}$	$(1 - \alpha)^2 \alpha$	1
Merkle	$\dot{m}^+$	$\frac{C_d \rho_l}{t_\infty}$	$(1 - \alpha)$	$(p_v - p)$
	$\dot{m}^-$	$-\frac{C_p \rho_l}{t_\infty}$	α	$(p - p_v)$
Shhy	$\dot{m}^+$	$\frac{\rho_l^2}{\rho_v (V_{v,\infty} - V_l)^2 (\rho_l - \rho_v) t_\infty}$	$(1 - \alpha)$	$(p_v - p)$
	$\dot{m}^-$	$-\frac{\rho_l}{(V_{v,\infty} - V_l)^2 (\rho_l - \rho_v) t_\infty}$	α	$(p - p_v)$



3 空泡模型

根据**RP方程**构形的空泡模型：

Model	Source	$\frac{\partial \alpha \rho_v}{\partial t} + \frac{\partial (\alpha \rho_v u_i)}{\partial x_i} = S = \dot{m}^+ + \dot{m}^-$		
Singhal	$\dot{m}^+$	$C_e \frac{\rho_l \rho_v \sqrt{k}}{\rho \sigma}$	$(1 - \alpha - \alpha_g)$	$\sqrt{\frac{2}{3} \frac{p_v - p}{\rho_l}}$
	$\dot{m}^-$	$-C_e \frac{\rho_l \rho_v \sqrt{k}}{\rho \sigma}$	α	$\sqrt{\frac{2}{3} \frac{p - p_v}{\rho_l}}$
Zwart	$\dot{m}^+$	$C_e \frac{3 \alpha_{vac} \rho_v}{R}$	$(1 - \alpha)$	$\sqrt{\frac{2}{3} \frac{p_v - p}{\rho_l}}$
	$\dot{m}^-$	$-C_e \frac{3 \rho_v}{R}$	α	$\sqrt{\frac{2}{3} \frac{p - p_v}{\rho_l}}$
Schnerr	$\dot{m}^+$	$3 \frac{\rho_l \rho_v}{\rho} \sqrt[3]{\frac{4 \pi n}{3}}$	$\alpha^{2/3} (1 - \alpha)^{4/3}$	$\sqrt{\frac{2}{3} \frac{p_v - p}{\rho_l}}$
	$\dot{m}^-$	$-3 \frac{\rho_l \rho_v}{\rho} \sqrt[3]{\frac{4 \pi n}{3}}$	$\alpha^{2/3} (1 - \alpha)^{4/3}$	$\sqrt{\frac{2}{3} \frac{p - p_v}{\rho_l}}$

Singhal 模型中: $p_v = p_{sat} + \frac{0.39}{2} \rho k$



3 空泡模型

根据**RP方程**构形的空泡模型：

$\frac{\partial \alpha \rho_v}{\partial t} + \frac{\partial (\alpha \rho_v u_i)}{\partial x_i} = S = \dot{m}^+ + \dot{m}^-$				
Zwart	物 理 意 义	$S = \rho_v \frac{D\alpha}{Dt}$	$\alpha = n \cdot \frac{4}{3} \pi R^3$	线性化 RP 方程： $\frac{3}{2} \dot{R}^2 = \frac{1}{\rho_l} [(p_v - p)]$
Singhal	连续性 方程	$S = \frac{\rho_v \rho_l}{\rho} \frac{D\alpha}{Dt}$		
Schnerr		$\alpha = \frac{n \cdot \frac{4}{3} \pi R^3}{1 + n \cdot \frac{4}{3} \pi R^3}$		

■ Schnerr & Sauer 空泡模型中气体体积分数 α 在0~1之间；

■ STAR-CCM+中就采用了该空泡模型；

Singhal 模型中： $p_v = p_{sat} + \frac{0.39}{2} \rho k$

$$\text{RP 方程: } R\ddot{R} + \frac{3}{2} \dot{R}^2 = \frac{1}{\rho_l} \left[(p_v - p) + p_{g0} \left(\frac{R_0}{R} \right)^{3k} - \frac{2\sigma}{R} - \frac{4\mu_l \dot{R}}{R} + \frac{1}{4} (v - v_\delta)^2 \right]$$

$$) S = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\alpha \rho u}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\alpha \rho u u_i}{\rho} \right) = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\alpha \rho u}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\alpha \rho u u_i}{\rho} \right)$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/618111063135006136>