排灌机械工程学报
Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering
2020 年 4 月 Apr. 2020 | 第 38 卷 第 4 期 Vol.38 No.4

翼型间隙空化数值模拟的湍流模型比较分析


陆于衡

陆于衡[1],冉红娟[1*],史天蛟[2],刘永[1],钱信如[1]
(1. 上海交通大学核科学与工程学院,上海 200240; 2. 中国核动力研究设计院,四川 成都 610213)

摘要: 为了比较不同湍流模型对间隙泄漏空化计算的影响及间隙泄漏空化的流动特性,利用CFD方法对一侧有间隙的翼型绕流流动进行分析.选取具有不同攻角和间隙的翼型作为研究对象,并利用3种常用的湍流模型,结合修正后的空化模型,对翼型间隙泄漏涡引起的空化进行计算.计算结果表明:修正密度的RNG $k-\varepsilon$ 模型对间隙泄漏空化的形态预测及泄漏涡附近主流方向速度分布的预测更为准确;受壁面条件和翼型尾迹的影响,泄漏涡所在位置的主流方向速度在间隙为10 mm时具有较大值.小间隙条件下,翼型间隙内侧的剪切空化更为强烈,翼型上方的泄漏空化距翼型上表面更远.间隙增大至10 mm时,较高的涡中心速度使泄漏涡空化发展距离更远、溃灭更慢.翼型叶顶的圆角对间隙流动有一定的引导作用,使间隙内侧及其附近的速度分布更为均匀,并对空化的发生位置产生影响.

关键词: 空化;间隙;湍流模型;泄漏涡;数值模拟
中图分类号: O353.4 **文献标志码**: A **文章编号**: 1674-8530(2020)04-0353-07
Doi:10.3969/j.issn.1674-8530.18.0250

陆于衡, 冉红娟, 史天蛟,等. 翼型间隙空化数值模拟的湍流模型比较分析[J]. 排灌机械工程学报, 2020, 38(4):353-359.

LU Yuheng, RAN Hongjuan, SHI Tianjiao, et al. Comparison and analysis of turbulence models for numerical simulation of cavitation flow in hydrofoil with gap[J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering(JDIME), 2020, 38(4):353-359.(in Chinese)

Comparison and analysis of turbulence models for numerical simulation of cavitation flow in hydrofoil with gap

LU Yuheng[1], *RAN Hongjuan*[1*], *SHI Tianjiao*[2], *LIU Yong*[1], *QIAN Xinru*[1]
(1. School of Nuclear Science and Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China; 2. Nuclear Power Institute of China, Chengdu, Sichuan 610213, China)

Abstract: The CFD method was used to analyze the flow around a hydrofoil with a gap to compare the effects of different turbulence models on the calculation of clearance leakage cavitation and the flow characteristics. Hydrofoils with different angles of attack and clearances were selected and three commonly used turbulence models were chosen to calculate the cavitation caused by clearance leakage vortex. The results show that the density correction method RNG $k-\varepsilon$ model is more accurate in predicting the shape of leakage cavitation and the velocity distribution in the main direction near the leakage vortex. Under the influence of wall conditions and airfoil wake, the velocity in the main direction at the location of leakage vortex has a larger value when the gap is 10 mm. For a small clearance, the shear cavitation inside the airfoil clearance is stronger, and the leakage cavitation above the airfoil is farther

收稿日期: 2018-11-28; **修回日期**: 2019-02-27; **网络出版时间**: 2020-04-17
网络出版地址: http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20200416.1806.002.html
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51406170)
第一作者简介: 陆于衡(1991—),男,江苏扬州人,硕士研究生(lyh5221135@sjtu.edu.cn),主要从事水力机械的数值模拟研究.
通信作者简介: 冉红娟(1982—),女,河北保定人,助理研究员,博士(juan@sjtu.edu.cn),主要从事非定常流动的试验和数值模拟研究.

from the upper surface of the airfoil. When the clearance is increased to 10 mm, the vortex is allowed to develop for a longer distance and collapse more slowly. The fillet of the airfoil tip can guide the clearance flow to a certain extent, which makes the velocity distribution inside and near the clearance more uniform. The fillet can also have an effect on the location where the cavitation occurs.

Key words: cavitation; gap; turbulence model; leakage vortex; numerical simulation

间隙泄漏空化现象常见于旋转水力机械,其叶片两侧的压差会使转轮与泵壳的间隙中产生空化.这类流动的湍流特性很强,将导致水力机械产生振动、噪声,从而影响效率.许多学者对间隙空化及相关流动进行了试验研究.早期 RAINS[1] 对压缩机间隙流动进行了研究.覃大清等[2] 比较了轴流式水轮机中间隙空化和翼型片状、云状空化的差异.BOULON 等[3] 通过试验对翼型叶片顶部空化进行了研究,分析了不同间隙尺寸及壁面对空化的影响.张德胜等[4] 通过流场可视化研究,发现轴流泵叶顶区域是空化最严重的区域.HIGASHI 等[5]、DREYER 等[6] 利用流场可视化方法对间隙泄漏流动进行了研究,获得了流动及流场几何参数对间隙泄漏空化形态的影响.

由于空化试验对流速和设备要求较高,因此数值模拟成为重要的研究方法.WATANABE 等[7] 根据二维间隙空化的研究,对间隙涡空化的模型进行了修正.赵宇[8]、郭嫱[9] 均根据间隙泄漏空化的特性,对空化模型进行了优化.CHENG 等[10] 利用 SST-CC 湍流模型和涡识别空化模型对翼型的间隙空化进行计算,并讨论了空化对间隙泄露涡产生的影响.

目前,对于翼型间隙泄漏空化的机理已有一些数值模拟研究,但针对不同湍流模型对计算影响的分析还比较少.文中对比 3 种不同湍流模型模拟间隙空化流动时的结果,并利用修正密度的 RNG $k-\varepsilon$ 湍流模型对一定间隙的空化流动进行非定常数值计算,并分析翼型几何特征对间隙泄漏空化特性的影响.

1 数学模型

1.1 控制方程及湍流模型

对于采用了均相流假设的两相流动,涡黏模型的 N-S 方程可表示为

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t}+\frac{\partial \rho_m}{\partial x_j}=0\ , \tag{1}$$

$$\frac{\partial(\rho_m u_i)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho_m u_i u_j)}{\partial x_j}=-\frac{\partial p}{\partial x_i}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left[(\mu_m+\mu_t)\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)\right]\ , \tag{2}$$

式中:ρ_m 和 μ_m 分别为混合相的密度和动力黏度;μ_t 为涡黏模型假设引出的湍流黏度.

目前广泛应用于计算的 $k-\varepsilon$ 方程和 $k-\omega$ 方程中,其湍流黏度的表达式分别为

$$\mu_t=C_\mu\rho\frac{k^2}{\varepsilon}\ , \tag{3}$$

$$\mu_t=\rho\frac{k}{\omega}\ . \tag{4}$$

GIRIMAJI 等[11] 由 $k-\varepsilon$ 模型发展了 PANS 模型,近几年来,该湍流模型得到了较好的发展. PANS 模型中定义了未求解湍动能、耗散率与总湍动能、耗散率的比值 f_k 和 f_ε,并对耗散率输运方程中的耗散系数进行了修正,使 f_k 和 f_ε 可以对湍动能与耗散率的输运方程产生影响.PANS 模型中 f_k 和 f_ε 分别定义为

$$f_k=\frac{k_u}{k}, \tag{5}$$

$$f_\varepsilon=\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon}; \tag{6}$$

其湍动能与耗散率的输运方程分别为

$$\frac{\partial k_u}{\partial t}+\frac{\partial(k_u\overline{u_j})}{\partial x_j}=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(v+\frac{v_u}{\sigma_{ku}}\right)\frac{\partial k_u}{\partial x_j}\right]+P_u-\varepsilon_u\ , \tag{7}$$

$$\frac{\partial \varepsilon_u}{\partial t}+\frac{\partial(\varepsilon_u\overline{u_j})}{\partial x_j}=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(v+\frac{v_u}{\sigma_{\varepsilon u}}\right)\frac{\partial \varepsilon_u}{\partial x_j}\right]+C_{\varepsilon 1}P_u\frac{\varepsilon_u}{k_u}-C_{\varepsilon 2}^*\frac{\varepsilon_u^2}{k_u}, \tag{8}$$

式中:

$$C_{\varepsilon 2}^*=C_{\varepsilon 1}+\frac{f_k}{f_\varepsilon}(C_{\varepsilon 2}-C_{\varepsilon 1})\ , \tag{9}$$

$$\sigma_{ku}=\sigma_k\frac{f_k^2}{f_\varepsilon},\sigma_{\varepsilon u}=\sigma_\varepsilon\frac{f_k^2}{f_\varepsilon}, \tag{10}$$

其中,σ_k,σ_ε,$C_{\varepsilon 1}$ 和 $C_{\varepsilon 2}$ 均为标准 $k-\varepsilon$ 模型中的系数.

考虑到空化流动的可压缩性,COUTIER-DELGOSHA 等[12-13] 通过在涡黏模型的湍流黏度表达式中增加 1 个关于密度的函数,对 RNG $k-\varepsilon$ 模型

进行了修正，获得了修正密度（density correction method）的 RNG $k-\varepsilon$ 模型（以下简称“DCM RNG $k-\varepsilon$模型”）.该模型中，湍流黏度 μ_{DCM}和密度修正函数 $f(n)$分别如式（11），（12）所示，即

$$\mu_{\mathrm{DCM}}=\mu_{\mathrm{t}} f(n)\ , \tag{11}$$

$$f(n)=\frac{\rho_{\mathrm{v}}+\alpha_{\mathrm{l}}^{n}(\rho_{\mathrm{l}}-\rho_{\mathrm{v}})}{\rho_{\mathrm{v}}+\alpha_{\mathrm{l}}(\rho_{\mathrm{l}}-\rho_{\mathrm{v}})}\ , \tag{12}$$

式中：ρ_{v} 和 ρ_{l} 分别为气相和液相的密度；α_{l} 为液相体积分数.

1.2　空化模型

文中计算采用 Zwart 空化模型.它是一种由R-P方程推导发展而来，并得到广泛使用的空化模型.最终得到的蒸发率、凝结率公式分别为

$$\dot{m}_{\mathrm{e}}^{+}=F_{\mathrm{vap}}\frac{3r_{\mathrm{nuc}}(1-\alpha_{\mathrm{v}})\rho_{\mathrm{v}}}{R_{\mathrm{b}}}\sqrt{\frac{2}{3}\frac{p_{\mathrm{v}}-p}{\rho_{\mathrm{l}}}}\ ,\ p<p_{\mathrm{v}}\ , \tag{13}$$

$$\dot{m}_{\mathrm{c}}^{-}=F_{\mathrm{cond}}\frac{3\alpha_{\mathrm{v}}\rho_{\mathrm{v}}}{R_{\mathrm{b}}}\sqrt{\frac{2}{3}\frac{p-p_{\mathrm{v}}}{\rho_{\mathrm{l}}}}\ ,\ p>p_{\mathrm{v}}\ , \tag{14}$$

式中：R_{b} 为空泡半径，$R_{\mathrm{b}}=1\ \mu\mathrm{m}$；$r_{\mathrm{nuc}}$为水中气核密度，$r_{\mathrm{nuc}}=5.0\times10^{-4}$；$F_{\mathrm{vap}}$为蒸发系数，$F_{\mathrm{vap}}=50$；$F_{\mathrm{cond}}$为凝结系数，$F_{\mathrm{cond}}=0.01$.

2　数值计算

为了分析不同湍流模型在模拟间隙泄漏涡空化时的预测能力，文中对不同间隙攻角的翼型流动进行计算，选取 DCM RNG $k-\varepsilon$，PANS 和 SST $k-\omega$ 这 3 种湍流模型进行对比.翼型 NACA0009，弦长 100 mm，在翼型接近间隙一侧的边缘，有半径 1 mm 的圆角.流道截面接近正方形，长度 150 mm，并设置 3°，5°，7°，10°共 4 个攻角，2，10，15 mm 共 3 个间隙.图 1 为计算模型示意图.为方便后续分析，在流场区域中建立坐标系，其中坐标原点位于翼型旋转线与壁面的交点.

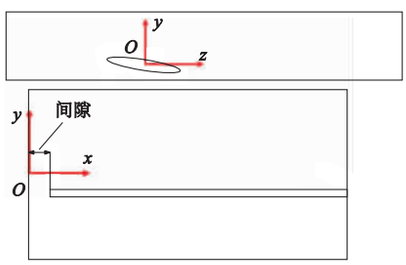


图 1　计算模型示意图
Fig.1　Model for calculation

计算区域的网格均采用六面体结构化网格，并进行了无关性验证.验证选取翼型前后缘上方的压力差 Δp 为监测参数.监测点示意图和无关性验证结果如图 2 所示，监测点距间隙侧壁面 20 mm.由图 2b 可见，当网格数 N 达到 450 万后，监测值已较为稳定.考虑到计算的准确度和计算资源，选取 600 万的网格进行计算.近壁面网格如图 3 所示.$k-\varepsilon$，$k-\omega$ 型湍流模型的表面 y^{+}分别为 30~80 和 1~10.

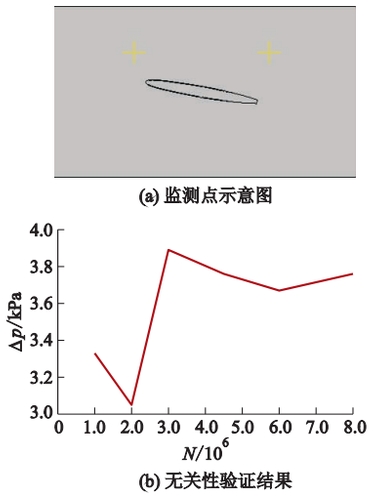


图 2　网格无关性验证
Fig.2　Check of mesh independence

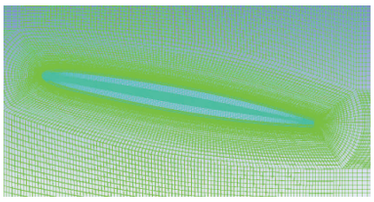


图 3　计算网格示意图
Fig.3　Local mesh for hydrofoil

水的物性取 25 ℃，饱和压力取 3 174 Pa.进口采用 10 m/s 的速度条件，出口压力设为 100 kPa，选用光滑无滑移壁面，参考压力为 0，设置收敛精度为 10^{-5}.根据文献[14-15]，PANS 模型中湍动能比例取 0.6，DCM-RNG 模型中 n 取 10，选用 Zwart 空化模型进行计算，并根据文献[9]将空化模型中凝结系数修正为 0.001，以提高其空化预测能力.

3　计算结果分析

3.1　不同间隙条件下气相体积分数分析

将上述计算结果与文献[6]中的试验结果进行对比.图 4，5 分别为攻角 $\alpha=10°$，间隙 $d=2$，10 mm 时，流场中气相体积分数 $\varphi>0.1$ 的区域图.



(a) PANS模型 (b) DCM RNG $k-\varepsilon$模型 (c) SST $k-\omega$模型 (d) 文献[6]试验

图4 间隙为2 mm时,不同湍流模型计算的空化形态与试验结果对比
Fig.4 Comparison between calculation and experiment at a gap width of 2 mm



(a) PANS模型 (b) DCM RNG $k-\varepsilon$模型 (c) SST $k-\omega$模型 (d) 文献[6]试验

图5 间隙为10 mm时,不同湍流模型计算的空化形态与试验结果对比
Fig.5 Comparison between calculation and experiment at a gap width of 10 mm

由不同间隙空化形态的对比图可知,间隙为2 mm时,3种模型均能对间隙空化的形态进行一定的预测,其中DCM RNG $k-\varepsilon$模型计算得到的空化带长度与试验结果最为接近.但空化涡带直径过大,由PANS模型和SST $k-\omega$模型计算得到的结果中空化涡带的长度明显短于试验结果.3种模型均能准确预测空化的起始点及空化与翼型的角度和空化涡带向下游发展的趋势,但仍有一定偏差.DCM RNG $k-\varepsilon$模型计算得到的泄漏涡的气相体积分数较PANS有较明显的提高,说明利用密度函数对湍流黏度进行修正能在一定程度上提高模型的空化预测能力.由结果可见,当间隙较大时,空化带与翼型表面较为接近,此时翼型空化可沿主流方向发展得更远.

3.2 不同攻角、间隙主流方向速度对比

翼型压力面和吸力面之间的压差会导致间隙间形成剪切流动,这些流动在达到翼型上面时会形成涡旋流动,局部低压引发了间隙内的附着空化和随主流发展的空化.为分析不同的翼型攻角和翼型间隙对间隙空化的影响,文中结合不同的翼型攻角和间隙尺寸,将距翼型中心1个弦长的涡中心处的主流方向速度与文献[6]中的数据进行对比,截面位置如图6所示.

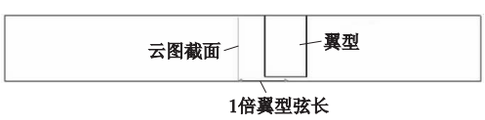


图6 涡中心速度观测截面示意图
Fig.6 Observation plane for vortex center velocity

涡中心取观测截面处平面流线因涡旋流动所形成圆环的中心,如图7所示.在不同攻角、间隙尺寸条件下,计算距翼型中心1个弦长的间隙泄漏涡中心主流方向速度,并与文献[6]中的试验结果进行对比,如图8所示,其中 v_m 为主流方向速度.

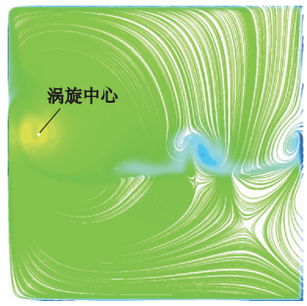


图7 涡旋中心示意图
Fig.7 Location of vortex

计算结果中泄漏涡中心速度随间隙尺寸变化的趋势与试验结果基本吻合,在间隙约10 mm处可取得最大值.在速度预测上,各模型的误差整体比较稳定,主要分布在0.5~1.0 m/s,其中DCM RNG $k-\varepsilon$模型的整体预测结果更准确.

图9,10分别为间隙为10,2 mm时,用不同湍流模型计算所得间隙周围轴向速度云图和文献[6]中试验测得的主流方向速度 v_m 云图的对比图,其中 $y=0$ 处为翼型转动中心所在位置.从图9可见,间隙为10 mm时,模型能较准确地得到涡的形态和中心轴向速度.间隙较大时,泄漏涡位置较低,与翼型后缘脱落的尾迹存在相互影响.此外,从图9,10中可见涡中心与流道壁面间存在较大的速度梯度.间隙为2 mm时,计算对泄漏涡的形态预测有所偏差,对涡中心的速度预测过高,且压力梯度较小,如图10所示.小间隙条件下,泄漏涡距翼型上表面更远,且不易受到翼型后缘尾迹的影响,但泄漏涡距间隙壁面更近,壁面条件会对涡产生更大影响.在上述间隙条件下,产生的泄漏涡中心速度较主流速度

更低，不易产生空化，因而小间隙时，翼型上方的空化区域较短，空化更早溃灭.结合试验和计算图，发现在翼型后方，泄漏涡的中心位置偏离间隙，说明间隙间的剪切流动在到达翼型吸力面后存在向翼型吸力面侧的流动，并促进了间隙泄漏涡的形成.

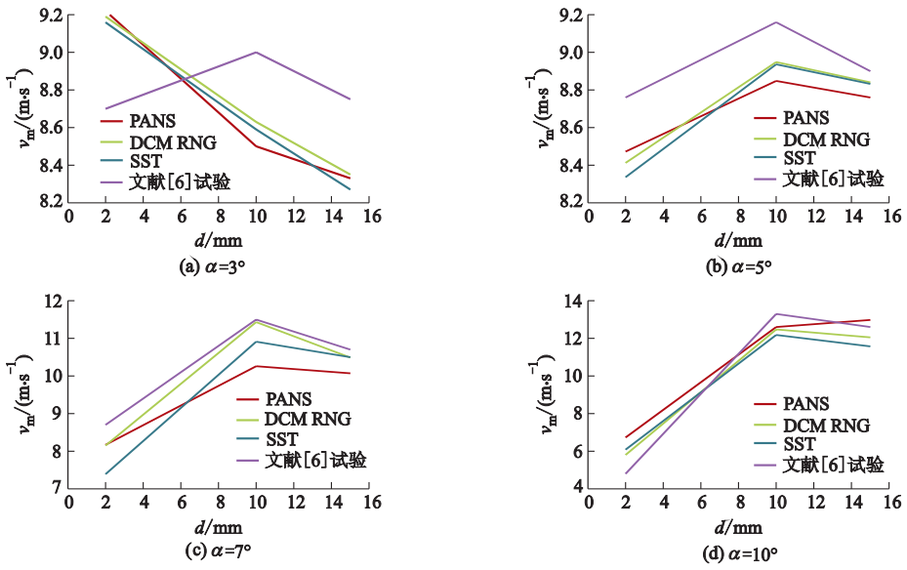


图 8　主流方向速度随间隙尺寸变化示意图
Fig.8　Mainstream velocity varying with clearance

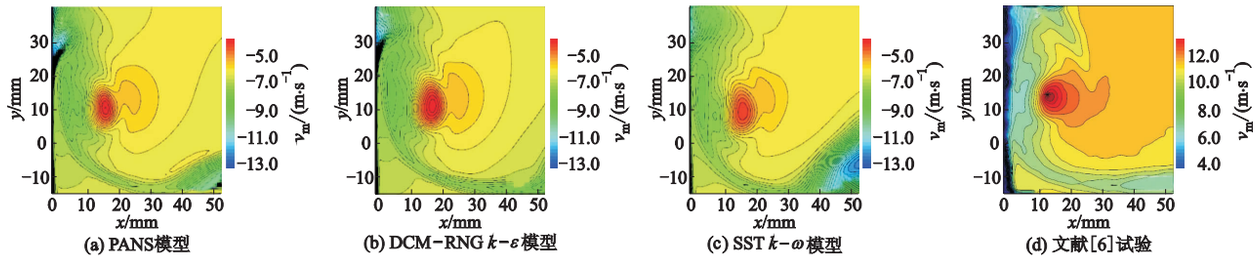


图 9　间隙为 10 mm 时，截面处主流方向速度云图
Fig.9　Velocity contour at a gap of 10 mm

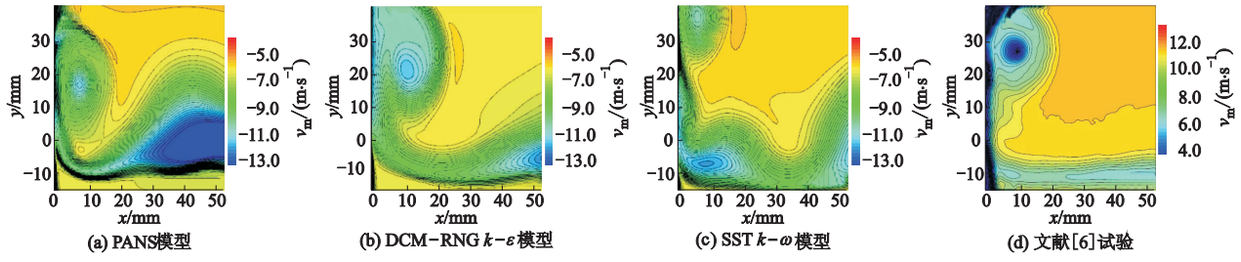


图 10　间隙为 2 mm 时，截面处主流方向速度云图
Fig.10　Velocity contour at a gap of 2 mm

3.3　间隙空化非定常特性分析

综合考虑 3 种湍流模型的预测能力及其所需计算资源，选择 DCM RNG 湍流模型对间隙为 10 mm、翼型攻角为 10°的流动区域进行非定常计算.入口和出口条件分别选用流速和静压，采用光滑壁面条件；时间步长设置为 0.000 5 s，以无空化模型结果作为初始条件.

图 11 为气相体积分数 $\varphi>0.1$ 的流场区域等值面图，图中 t_0 为选取的空化初生时刻.从图中可见，该类空化具有较强的非定常特性.在翼型前缘上方存在附着于翼型表面的片状空化.不同的间隙尺寸对泄漏引起的空化形态影响很大.小间隙条件

下,更为强烈的剪切流动将导致泄漏涡空化距翼型上表面更远,间隙空化更为强烈,发生位置更接近翼型前缘.间隙为 10 mm 时,泄漏空化向下游发展较远,表明在该间隙尺寸条件下,翼型上方由泄漏流动和主流交混所引起的涡旋流动较为稳定.

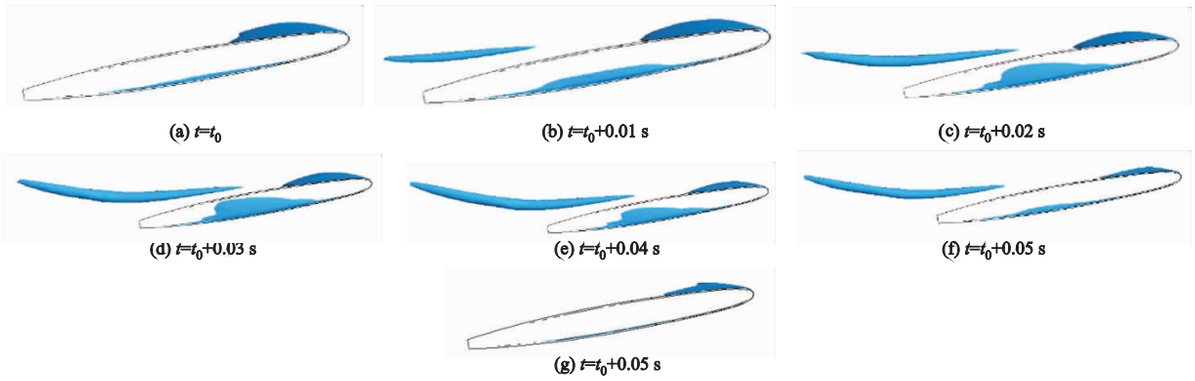


图 11 间隙为 10 mm 时,间隙泄漏空化随时间发展图
Fig.11 Leakage cavitation development at a gap of 10 mm

图 12 为 z 轴方向上距原点 0.4 倍弦长处间隙的局部矢量图,其中 v 为流体速度.从图中可见,泄漏流动在与主流交混后形成了流速较快的涡旋流动,造成该处压力下降较为明显,从而引发空化.翼型压力面处的圆角附近也有较快的速度,而在无圆角的翼型间隙内侧,流动速度的差异更明显.这表明圆角可以减小间隙附近区域流动的突变,引导压力面的流体经间隙向翼型上方流动,使空化发生位置向翼型的吸力面偏移.

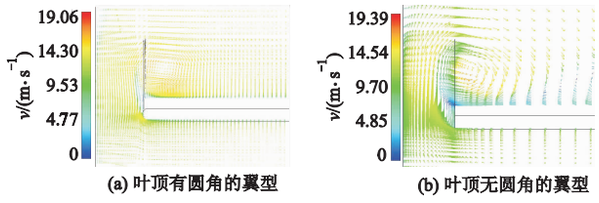


图 12 距原点 0.4 倍翼型弦长处间隙局部矢量图
Fig.12 Local vector contour near gap at 0.4 times airfoil chord length from origin

4 结 论

文中利用近年几种应用较广泛的湍流模型,结合经过修正的空化模型,对不同尺寸间隙的翼型绕流流动进行了数值计算,并将计算结果与文献中高速摄像的试验图像和数据进行了对比.研究结果表明:

1) 采用经密度修正的 RNG $k-\varepsilon$ 模型计算间隙泄漏空化流场的结果更为准确.该模型计算所得的流场速度数值与文献结果吻合度更高.密度修正提高了模型对空化的预测能力,计算得到的空化区域更接近实际情形.

2) 不同间隙大小会对间隙泄漏空化的位置、维持时间造成明显的影响.小间隙条件下,间隙内附着空化的发生位置更靠近翼型前缘,泄漏涡引起的空化偏离翼型更远,且溃灭更早.

3) 间隙泄漏空化的发生与泄漏流动以及主流交汇产生的涡旋流动密切相关,涡旋产生的局部低压促进了空化的初生和发展.翼型压力面的圆角可以减小局部流动的突变,促进泄漏流动的发生.

参考文献(References)

[1] RAINS D A. Tip clearance flows in axial flow compressors and pumps[D]. Pasadena, USA: California Institute of Technology, 1954

[2] 覃大清,韩秀丽,刘斌,等.轴流式水轮机间隙空化与翼型空化差别浅谈[J]. 大电机技术,2012(2):34-37.
QIN Daqing, HAN Xiuli, LIU Bin, et al. Research on differences between clearance cavitation and airfoil cavitation in axial flow turbine[J]. Large electric machine and hydraulic turbine, 2012(2):34-37.(in Chinese)

[3] BOULON O, CALLENAERE M, FRANC J P, et al. An experimental insight into the effect of confinement on tip vortex cavitation of an elliptical hydrofoil[J]. Journal of fluid mechanics, 2000, 390:1-23.

[4] 张德胜,石磊,陈健,等. 轴流泵叶轮叶顶区空化特性试验分析[J].浙江大学学报(工学版), 2016, 50(8):1585-1592.
ZHANG Desheng, SHI Lei, CHEN Jian, et al. Experimental analysis on characteristic of cavitation in tip region of axial flow pump impeller[J]. Journal of

Zhejiang University (engineering science), 2016, 50(8):1585-1592. (in Chinese)

[5] HIGASHI S, YOSHIDA Y, TSUJIMOTO Y. Tipleakage vortex cavitation from the tip clearance of a single hydrofoil[J]. JSME international journal series B, 2001, 45(3): 662-671.

[6] DREYER M. Mind The gap: tip leakage vortex dynamics and cavitation in axial turbines[D]. Lausanne, Switzerland: Federal Institute of Technology in Lausanne, 2015.

[7] WATANABE S, SEKI H, HIGASHI S, et al. Modeling of 2-D leakage jet cavitation as a basic study of tip leakage vortex cavitation[J]. Journal of fluids engineering, 2001, 123(1): 50.

[8] 赵宇. 叶顶间隙旋涡空化数值计算模型与流动机理研究[D]. 北京:北京理工大学, 2016.

[9] 郭嫱. 叶顶间隙泄漏涡流及空化流场特性研究[D]. 北京:中国农业大学,2017.

[10] CHENG Huaiyu, LONG Xinping, LIANG Yunzhi, et al. URANS simulations of the tip-leakage cavitating flow with verification and validation procedures[J]. Journal of hydrodynamics, 2018(3):531-534.

[11] GIRIMAJI S S. Partially-averaged Navier-Stokes model for turbulence: a Reynolds-averaged Navier-Stokes to direct numerical simulation bridging method[J]. Journal of applied mechanics, 2006, 73(3):413.

[12] COUTIER-DELGOSHA O, RÉGIANE F P, REBOUD J L. Evaluation of the turbulence model influence on the numerical simulation of unsteady cavitation[J]. Journal of fluids engineering, 2008, 125(1):38-45.

[13] COUTIER-DELGOSHA O, REBOUD J L, DELANNOY Y. Numerical simulation of the unsteady behaviour of cavitating flows[J]. International journal for numerical methods in fluids, 2003, 42(5):519-530.

[14] 胡常莉,王国玉,黄彪, 等. 修正的 PANS 模型在云状空化流动计算中的应用评价[J]. 北京理工大学学报, 2014, 34(7):680-684.
HU Changli, WANG Guoyu, HUANG Biao, et al. Evaluation of modified partially-averaged Navier-Stokes turbulence model for computations of cloud turbubence cavitating flows[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2014, 34(7):680-684. (in Chinese)

[15] SEO J, LELES. Numerical investigation of cloud cavitation and cavitation noise on a hydrofoil section[C]// IEEE International Conference on Healthcare Informatics, Imaging & Systems Biology. IEEE, 2009.

(责任编辑　顾艳)

《排灌机械工程学报》首届青年编委会增补委员名单

为了广泛吸纳青年学者参与办刊,不断壮大刊物的专家队伍,近日,根据 2020 年年初编委会会议决议,《排灌机械工程学报》对首届青年编委会进行了增补。本着公平、公开、公正的基本原则,经过个人申请、编辑部审核、专家讨论、主编审定等程序,现决定公布王文全等 20 名增补委员。

增补委员名单如下:(按姓氏笔画为序)

王文全(昆明理工大学)
孙怀卫(华中科技大学)
孙晓强(江苏大学)
李正贵(西华大学)
李仙岳(内蒙古农业大学)
李智国(西北农林科技大学)
张　磊(华北电力大学(保定))
张凌凯(新疆农业大学)
陈　建(中国农业大学)
范军亮(西北农林科技大学)
周　岭(江苏大学)
周　领(河海大学)
周　毅(南京理工大学)
胡永光(江苏大学)
俞晓东(河海大学)
郭文成(华中科技大学)
唐　忠(江苏大学)
黄　彪(北京理工大学)
韩　伟(兰州理工大学)
韩启彪(中国农业科学院)

(编辑部)