

【制造技术】

喷淋泵诱导轮内部流动的数值分析^{*}

冀春俊, 宋风强, 甄咏鹏

(大连理工大学 能源与动力学院, 辽宁 大连 116023)

摘要: 结合喷淋泵实例, 使用 CFD 商业软件 Numeca 对变螺距诱导轮几何建模、网格划分、边界设定等, 进行其内部流场数值模拟计算和分析, 给出了变螺距诱导轮内部速度和压力的分布情况, 得到其内部流场的主要特征。

关键词: 诱导轮; 变螺距; 数值模拟; 喷淋泵

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2010)03-0071-04

安全壳喷淋泵是百万千瓦核电站的关键泵之一, 也是核电站中的一个安全卫士。当核电站安全壳内出现失水事故和蒸汽管道破裂, 安全壳内温度升高, 喷淋系统投入工作, 降低安全壳内温度, 保证核电站的安全运行, 这就对喷淋泵的汽蚀性能提出了更高的要求。提高泵的汽蚀性能有很多方法, 通常在泵进口前安置诱导轮是提高泵机组汽蚀性能的主要方法之一^[1]。变螺距诱导轮本身就能够避免汽蚀的产生, 同时可以提供足够的能量给泵的主叶轮。本文中借助计算流体力学专业软件 NUMECA, 采用高速并行计算技术, 对诱导轮内部流场进行数值模拟和流场分析, 给出了变螺距诱导轮内部速度和压力的分布情况, 为提高离心泵整级效率和汽蚀性能提供一些有益的参考。此项目的成功完成, 将为设计人员提供有力的理论依据, 使我国具备设计制造核二级泵的能力, 将极大地推动我国核工业的发展。

的三维、黏性、可压缩流动。采用非稳态 Navier-Stokes 方程的简化一方程模型 Spalart-Allmaras 进行定常计算^[2], 利用全通道技术、完全多重网格和隐式残差广顺技术来加速收敛。多重网格层数等于 3, 选择 CFL 数为 3。在最细网格上计算迭代 5 000 步或残差等于 10^{-6} 时, 计算结束。

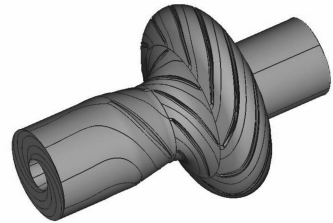


图1 喷淋泵首级模型

1 物理模型

图1是喷淋泵首级模型, 包括诱导轮、叶轮和导流壳。由于原诱导轮测绘的数据不准确, 存在很严重的问题, 如诱导轮出口的压力不但没有升高, 反而出现了负压, 导致主叶轮进口轮缘处出现汽蚀, 且诱导轮的结构复杂, 所以本课题没有基于原设计进行结构改进, 而是进行了全新设计, 模型见图2。

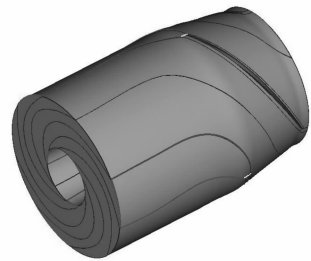


图2 诱导轮

2 计算方法、网格及边界条件

2.1 数值方法

本文中采用 CFD 计算软件 NUMECA 来分析喷淋泵内

* 收稿日期: 2009-12-10

基金项目: 喷淋泵诱导轮及导流壳内部流动数值模拟及优化。

作者简介: 冀春俊(1962—), 男, 博士, 教授, 主要从事叶轮机械气体动力学研究。

2.2 计算网格

在 AutoGrid5 中生成诱导轮、叶轮及导流壳网格,再在 IGG 中实现网格的连接,网格连接面采用转子冻结法进行转静子连接,连接在一起的全通道网格数为 13 690 322,采用高性能并行机计算。

2.3 边界条件

工作介质为水。边界条件进口给定总温、总压以及来流方向;出口给定质量流量。壁面给定无滑移边界条件,所有转动壁面给定转速,其余壁面转速为零。

3 计算结果及分析

3.1 诱导轮叶片的压力分布

从图 3 和图 4 可以看出从诱导轮进口到出口压力逐渐升高及从轮毂到轮缘径向增加,这显示了诱导轮提高进口压力的特点。诱导轮叶片上的压力最低点位于吸力面叶片进口轮缘上,这是因为进口水流的相对速度最大,而叶片还没有对水做功,导致此处的压力比较低,显然,这是最容易发生汽蚀的地方,这一点也与理论分析相吻合^[3]。当诱导轮产生汽蚀时,首先会在半径比较大的轮缘进口产生气泡,本文中设计的变螺距诱导轮的子午流道是锥形的,这有助于将气泡压缩在轮缘局部区域,以利于提高泵的抗汽蚀性能。因此,诱导轮可以在一定程度的汽蚀状态下工作,对其性能无严重的影响。

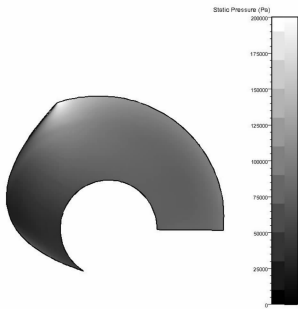


图 3 诱导轮压力面静压分布

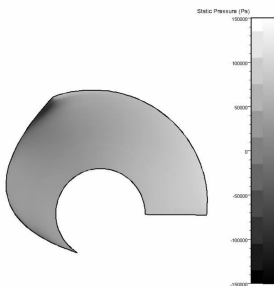


图 4 诱导轮吸力面静压分布

图 5 和图 6 是诱导轮叶片上的总压分布,总压与静压分布类似,沿叶片从进口到出口压力逐渐增加,径向方向

压力梯度更为规律。总压的变化可以说明能量的变化,总压升高说明流体在这个区域中不断获得能量。可以看出,沿诱导轮叶片,总压逐渐升高,这就表明工质的能量是增加的,从而为主叶轮进口提供足够的能量,以消除汽蚀和保证喷淋泵的安全运行。可以看出压力面的相应位置上的总压均比吸力面上的总压高,这符合工质做功的原理。

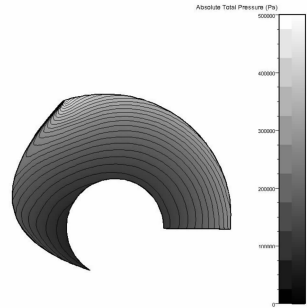


图 5 诱导轮压力面总压分布

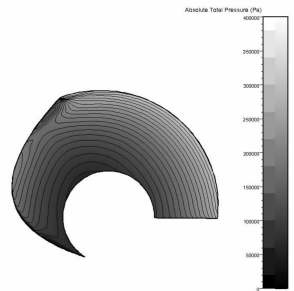


图 6 诱导轮吸力面总压分布

3.2 诱导轮出口周向压力和速度的分布

从图 9 和图 10 可以看出,无论是压力还是速度都沿着径向增加,梯度分布特征非常明显。压力周向分布比较复杂,这是因为出口边沿轴向布置,造成了低压区,而出口流道为高压区,叶片为 3 片,就显示出了低压与高压的交错分布。诱导轮出口平均总压为 110 000 Pa,比进口总压提高了 5 万多帕,这就提高了主叶轮进口的工质能量,改善了泵的汽蚀特性。

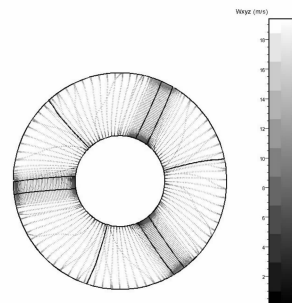


图 7 诱导轮出口相对速度周向分布

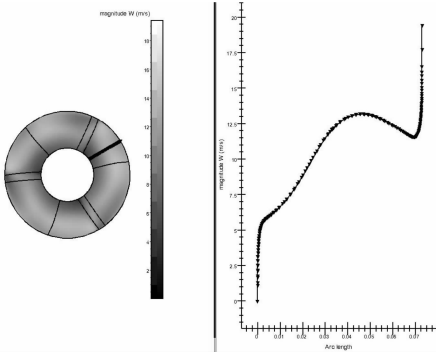


图8 诱导轮出口相对速度周向及径向分布

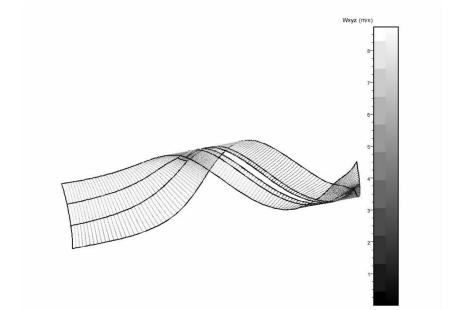


图11 靠近轮毂 B2B 流面的相对速度分布

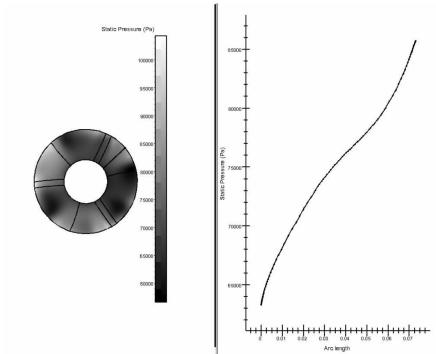


图9 诱导轮出口静压周向及径向分布

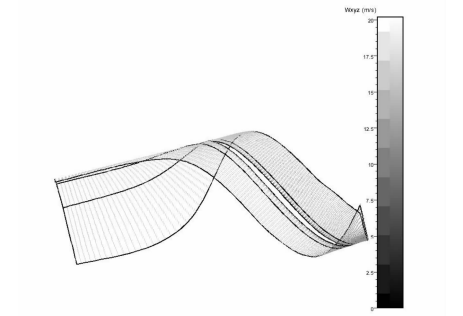


图12 中间流面 B2B 流面的相对速度分布

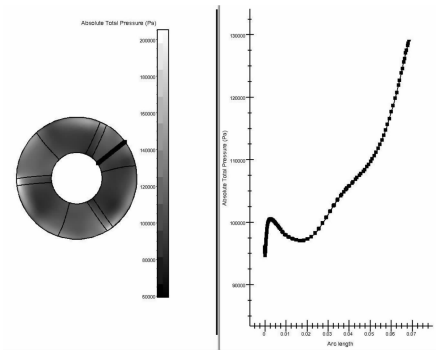


图10 诱导轮出口总压周向及径向分布

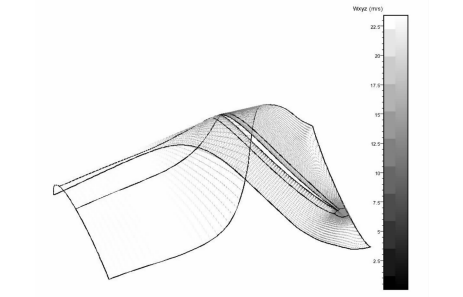


图13 靠近轮缘 B2B 流面的相对速度分布

3.3 诱导轮 B2B 截面压力和速度分布

从图 11 中可以看出,诱导轮内部流动顺畅,没有出现脱流现象,靠近叶片吸力边前缘处的相对速度较大,尤其是靠近轮缘处叶片吸力边前缘,这个区域最容易发生汽蚀;同时叶片尾缘处的部分区域的相对速度也较大。从图 12 中也可以看出,除叶片吸力边头部区域外,静压从诱导轮进口到叶片尾部是增加的,压力边相应位置上的压力明显高于吸力边;从叶片的尾部到诱导轮出口部分静压会有所减少,所以诱导轮和叶轮之间的距离不能过大,实验研究表明,该距离越小越好,当 x/D (x 代表诱导轮出口边到主叶轮叶片进口间就轴向距离; D 表示主叶轮进口直径) 大于 0.4 时,泵的抗汽蚀性能明显变坏^[4]。

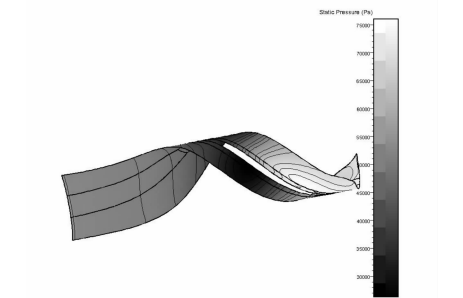


图14 靠近轮毂 B2B 流面的相对速度分布

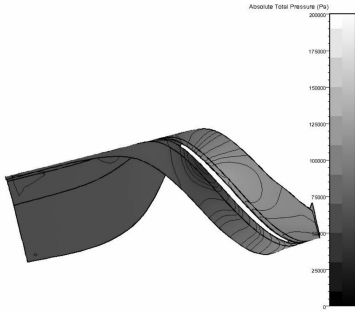


图 15 中间流面 B2B 流面的相对速度分布

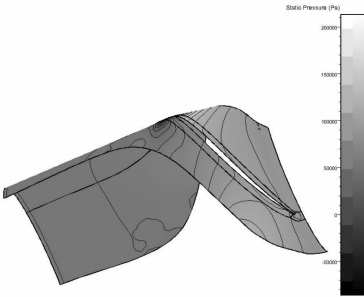


图 16 靠近轮缘 B2B 流面的相对速度分布

- 1) 基于 CFD 技术采用 NUMECA 软件对变螺距诱导轮内部流场的数值模拟和分析是可行的。
- 2) 本文中设计的变螺距诱导轮提高了主叶轮进口工质的能量,消除了主叶轮轮缘进口的汽蚀。
- 3) 内部流场分析表明,诱导轮叶片尾缘到出口的压力会有一定的下降,所以诱导轮和主叶轮之间的距离不能太大。
- 4) 诱导轮的作用不仅限于保证汽蚀余量,还对整体性能有着至关重要的影响,诱导轮设计的好可以使扬程和效率得到大大提高。
- 5) 通过对诱导轮内部流场的数值模拟和分析,验证了设计的合理性,对提高离心泵的汽蚀特性有一定的参考作用。

参考文献:

- [1] 孙建,孔繁余. 变螺距诱导轮的设计步骤及参数选择[J]. 流体机械,2006,34(4):19-22.
- [2] FINE™ user manual. FINE™ version7.1[M]. Numeca international, 2005: 16-47.
- [3] 孔繁余,吕毅,黄建军,等. 变螺距诱导轮流场的数值模拟[J]. 农业机械学报,2007(10):45-48.
- [4] 关醒凡. 泵的理论与设计[M]. 北京:机械工业出版社,1987.

4 结论

通过对变螺距诱导轮的数值模拟,可以得出以下

(责任编辑 周江川)

结论:

我国制导兵器技术研究进展

制导兵器可泛指各类用于军事目的并具有制导功能的飞行器,涉及在大气层内飞行,攻击中、近程战术目标,并且具有制导大回路闭环控制各类导弹、制导炸弹等的相关技术群。制导兵器技术群包括:总体、气动布局与弹道、发射与推进、导航与导引、制导与控制等多项技术。主要进展如下:

(1) 系统工程原理、系统分析方法、总体试验评估方法、作战模拟与效能分析、系统优化设计、计算机辅助设计或辅助工程等技术已广泛应用于制导兵器总体设计;SINS/卫星定位组合制导技术、光纤制导技术、毫米波制导技术取得重大突破,已达到实用化水平。

(2) 在气动布局研究方面,气动增程设计、旋转弹布局与特性研究、喷流控制、多尾翼布局、旋转尾翼设计和非圆截面弹身设计等方面积累了一定的经验。

(3) 在固体火箭发动机设计方面,具有较好的技术基础,激光驾束制导和半主动导引头技术已经成熟,并应用于多个制导兵器型号,在电视/红外图像制导方面也开展了大量工作,有一定的研究基础。

(4) 在制导控制系统设计方面,鲁棒控制、变结构控制、BTT控制、角约束制导律等均取得了一定的理论研究成果,并在工程中得到一定的应用。

(5) 在国内常规武器平台上发展了新的制导兵器系列产品,初步形成了末制导炮弹、炮射导弹、制导炸弹和制导火箭的系列化;反坦克导弹和空地导弹也增加了新的品种。

(6) 制导与控制技术的前沿研究领域主要包括:惯性敏感与探测技术、寻的器技术、制导控制理论及应用、制导体制与制导方式、制导控制系统设计、信息融合与信息处理技术、弹载计算机技术、制导控制系统试验验证技术等。

(摘自中国兵工学会编著《2008-2009 兵器科学技术学科发展报告》)