离心式水泵汽蚀 CFD 分析

长春富奥汽车零部件股份有限公司　曹良丹 沈栋平

离心式水泵工作时，常出现流体机械特有的汽蚀现象。它使流道表面受到浸蚀破坏，引发振动，产生噪音；在严重时出现断裂流动，形成流道阻塞，造成水泵性能的下降。本文针对某型号离心水泵在 5000 次冷热冲击耐久试验后叶轮边缘发生汽蚀的现状，基于计算流体动力学（CFD）分析方法对泵进行 CFD 分析，分析汽蚀产生的原因，确定汽蚀产生的位置，并对结构进行优化，为实际水泵性能提高提供指导。

一、前言

离心式水泵工作时，常出现流体机械特有的汽蚀现象。从本质上看，该汽蚀现象是一种流体力学的空化作用，与旋涡有关。它是指流体在运动过程中压力降至其临界压力（一般为饱和蒸汽压）之下时，局部地方的流体发生汽化，产生微小空泡团。该空泡团发育增大至一定程度后，在外部因素的影响（气体溶解、蒸汽凝结等）下溃灭而消失，在局部地方引发水锤作用，其应力可达到数千个大气压，显然这种作用具有破坏性。从宏观上看，汽蚀现象使得流道表面受到浸蚀破坏（一种持续的高频打击破坏），引发振动，产生噪音；在严重时出现断裂流动，形成流道阻塞，造成水泵性能的下降。因此，研究离心水泵的汽蚀问题对提高水泵性能具有重要的指导意义。

本文针对某型号离心水泵在 5000 次冷热冲击耐久试验后叶轮边缘发生汽蚀的现状，基于计算流体动力学（CFD）分析方法对泵进行 CFD 分析，分析汽蚀产生的原因，确定汽蚀产生的位置，并进行一定的结构优化，为实际水泵性能提高提供指导。

二、几何模型

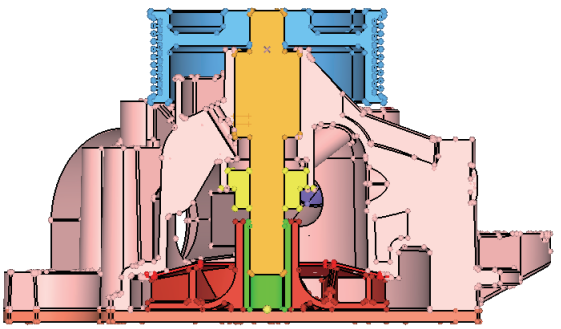

图 1 三维几何模型图

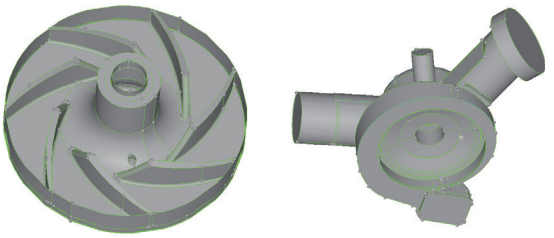

图 2 水泵 CFD 计算流体区域（左：动态区域；右：静态区域）

本文以某型号离心冷却水泵为研究对象，利用 CATIA

软件生成三维几何模型，其剖面图如图 1 所示。通过 HyperMesh 软件布尔运算提取内部计算流体区域，提取的水泵 CFD 计算区域如图 2 所示。

三、有限元计算模型及结果分析

有限元计算模型

本文利用 Hypermesh 软件进行前处理，对图 2 所示 CFD 计算流体区域进行网格剖分，网格总数 425 万左右。网格划分完成后通过 msh 格式导入 FLUENT 软件进行 CFD 分析。

运用 FLUENT 软件设置物理模型与边界条件并进行求解计算，计算工况：流量 400L/min、水泵叶轮转速 4600rpm，水温度 90℃、出口压力（实测）335KPa。采用速度入口 + 压力出口边界条件、并且参考压力设置为 0Pa。有限元计算模型如图 3 所示。

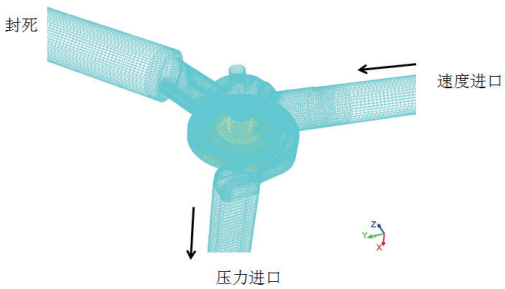

图 3 有限元计算模型图 .

四、计算结果及分析

1、 单向流分析结果

首先采用 MRF 模型进行稳态单相流的流动模拟，获得比较合理的初场。图 4 为水泵壁面压力分布云图，图 5 为叶轮壁面压力分布云图。

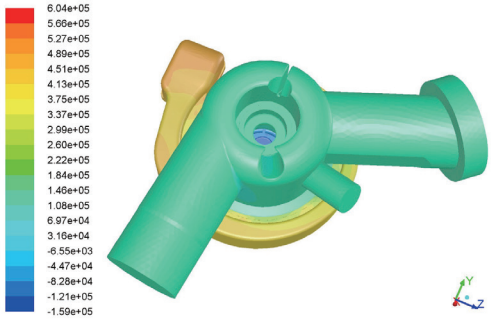

图 4 水泵壁面压力分布云图（单位：Pa）.

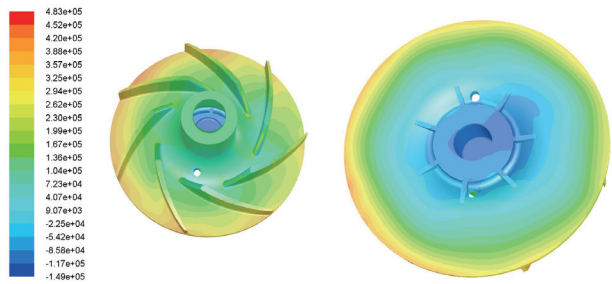

图 5 叶轮壁面压力分布云图（单位：Pa）.

由图 4、图 5 单相流计算结果可知：叶轮背面局部低压较为严重，绝对压力达 −149KPa，远低于水的汽化压力。

2、 多相流分析结果

激活多相流设置、打开汽蚀模型，进行水泵多相流汽蚀模拟。90℃下，水的汽化压力（绝对压力）为 70.117KPa。图 6 为多相流计算叶轮表面气相区分布云图，图 7 为多相流计算叶轮表面压力分布云图，图 8 为叶轮表面气相区分布云图与单相流计算叶轮表面压力云图对比。

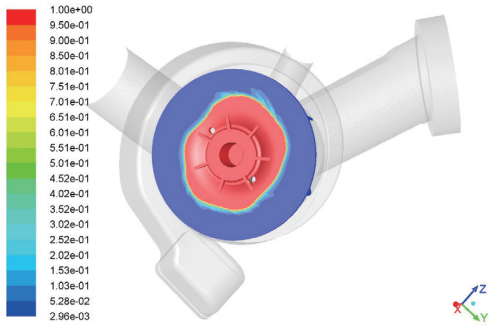

图 6 多相流计算叶轮表面气相区分布云图

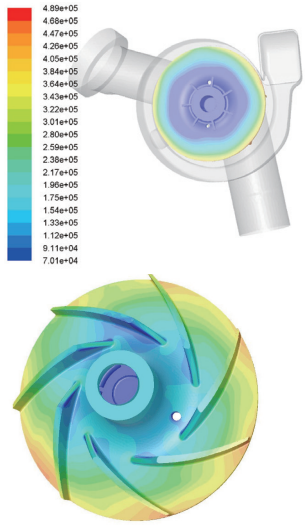

图 7 多相流计算叶轮表面压力分布云图

投稿邮箱 | cadcam@idnovo.com.cn
IMCHINA@idnovo.com.cn

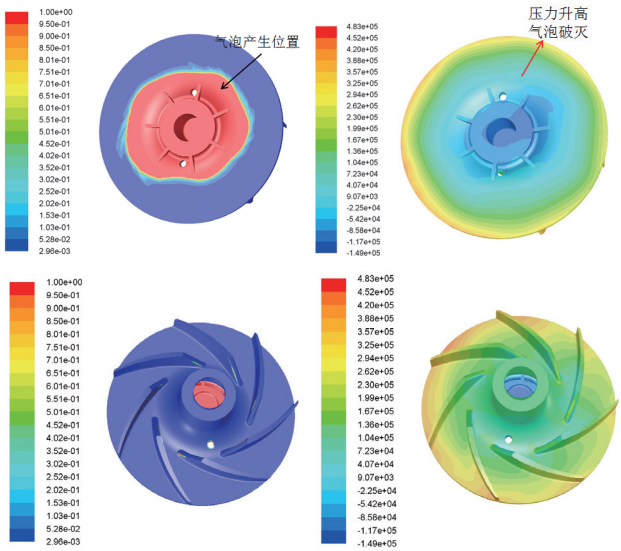

图 8 叶轮表面气相区分布云图与单相流计算叶轮表面压力云图对比

由图 6、图 7、图 8 多相流计算结果可知：单相流计算结果中的压力小于液体汽化压力的区域，是可能发生汽蚀的区域。多相流计算气相区为液体中气泡产生位置，而气泡会随液体流动到高压区才会破灭。因此，实际汽蚀破坏区域理论上位于叶轮四周的高压区域。

3、水泵叶轮结构改进

改进叶轮结构，优化叶轮局部低压区即可提高水泵抗汽蚀性能。改进叶轮局部低压区结构（将低压区填平处理或去掉加强筋并优化圆角过渡区域），重新进行单相流计算。图 9 所示为叶轮改进前后的结构对比图。

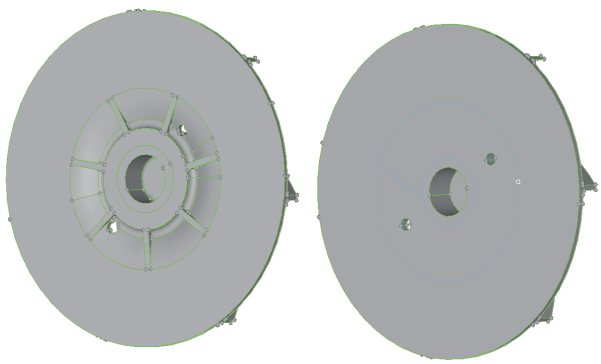

图 9 叶轮局部低压区改进（填平处理）

采用 MRF 模型进行稳态单相流的流动模拟，得到叶轮表面压力分布，与原计算结果进行对比，以判断水泵抗汽蚀性能是否提高。图 10 所示为原计算结果（左）与改进叶轮结构（右）计算结果对比。

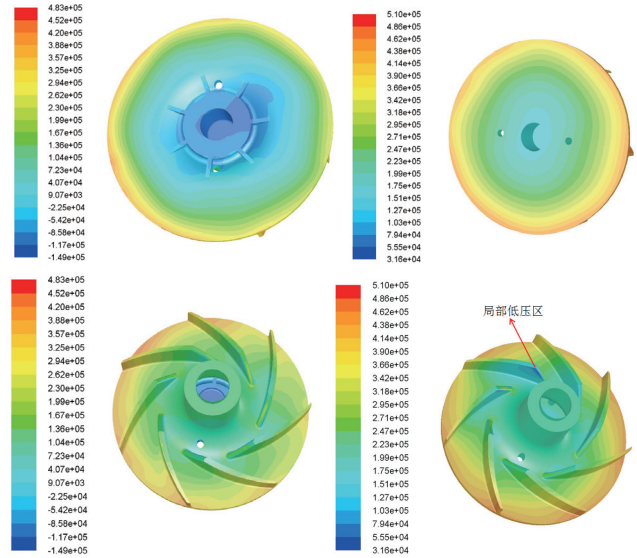

图 10 原计算结果（左）与改进叶轮结构（右）计算结果对比 .

由图 10 可知：叶轮局部结构改进后，叶轮表面绝对最低压力由原来的 −149KPa 提高到 31.6KPa，水泵抗汽蚀能力有所提高。但是绝对最低压（位于叶片上）仍然低于水的汽化压力（70.117KPa），仍有发生汽蚀的风险，可进一步优化结构再进行 CFD 仿真验证。

五、结论

本文针对某型号离心水泵在 5000 次冷热冲击耐久试验后叶轮边缘发生汽蚀的现状，基于计算流体动力学（CFD）分析方法对泵进行 CFD 单相流、多相流耦合分析，分析得到如下结论。

（1）单相流计算结果中压力小于液体汽化压力的区域，是可能发生汽蚀的区域。

（2）多相流计算气相区为液体中气泡产生位置，而气泡会随液体流动到高压区才会破灭。因此，实际汽蚀破坏区域理论上位于叶轮四周的高压区域。

（3）对叶轮进行填平结构改进后，叶轮表面绝对最低压力由原来的 −149KPa 提高到 31.6KPa，水泵抗汽蚀能力有所提高。但绝对最低压力（位于叶片上）仍然低于液体汽化压力（70.117KPa），仍有汽蚀的风险，可进一步优化结构再进行 CFD 仿真验证。