混输泵半螺旋型吸入室流场的三维模拟分析

马希金，秦　霞
（兰州理工大学流体动力与控制学院，甘肃　兰州　730050）

摘　要：吸入室的形状决定了混输泵的压缩级进口的速度分布，对混输泵的性能有一定的影响。利用先进的三维模拟计算软件STAR-CD软件，对所设计的半螺旋型吸入室的三维模型进行了模拟计算，得到了吸入室的三维模拟结果图。并通过分析模拟的结果，对半螺旋型吸入室的设计做出了一些改进。

关键词：混输泵；半螺旋型吸入室；内部流场；三维模拟
中图分类号：TQ051.21　　文献标识码：A　　文章编号：1005-6254（2005）05-0011-04

0　引言

吸入室的作用应是保证液流均匀进入叶轮，减小损失，提高泵的效率和抗汽蚀性能，而对混输泵，还有气液不分离、混合均匀地进入压缩级的要求[1]。吸入室分为直锥形吸入室、环形吸入室和半螺旋形吸入室三种，其中以半螺旋形吸入室的设计及计算比较复杂[2]。在设计计算半螺旋形吸入室的过程中，为保证各断面之间流道圆滑，面积均匀变化，各断面的面积大小和形状往往要经过多次修改。为了节省时间，提高开发周期的效率，在这里利用了Pro/E进行建模后，再利用STAR-CD软件对半螺旋形吸入室流场进行模拟计算，并对其进行分析，找出其中的不合理处，有针对性的进行修改。

1　STAR-CD软件功能简介

STAR-CD软件采用基于完全非结构化网格和有限体积方法的核心结算器，具有丰富的物理模型，较少的内存占用、良好的稳定性、易用性和众多的二次开发接口。软件独特的全自动六面体、四面体非结构化网格技术，满足了用户对复杂网格处理的需求。它是一个高度集成化的软件包，集成了建模、求解与后处理所必需的各种工具。它将在各种网格类型上解算的各种物理模型融于一体；对不同类型的应用提供经过裁剪的解算过程；包含了不断更新与扩展的各种最新物理模型，较强的灵活性及众多的用户程序接口[3]。它主要适合：定常与非定常流动；层流与湍流（最新的湍流模型）；不可压流与可压缩流，包括跨音与超音；对流、传导与辐射传热，包括固体内导热、太阳辐射，透明固体辐射及可穿透介质中辐射的传播；多流体流动；欧拉及拉格朗日多相流（稀密相气固、气液、固液、液夜系统）。

STAR-CD软件使用单一、高效的解算器求解流动。它适用于所有的流动情况与物理现象。解算器与最新的时间空间离散格式相结合，在复杂的CFD应用方面具有强大的能力。

2　模型的建立

2.1 三维几何模型的建立

选择目前三维建模比较流行的Pro/E软件来建模。建立好的三维模型如图1所示。

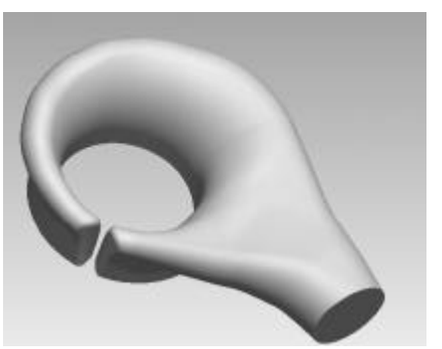


图1　半螺旋形吸入室模型图

模型建好以后，为了使计算的结果与实际

基金项目：甘肃省科技攻关项目（KG954-3-11）
作者简介：马希金（1958-），男，山西夏县人，研究员，主要从事流体机械的教学、科研与产品开发。

万方数据

的更加接近，把吸入室与叶轮和导轮[4]联合起来进行网格的划分与计算，这样计算得到的结果会更接近流体实际流动的情况。

2.2 网格的划分

网格划分在 Icem 中完成。在 Icem 中，可以根据计算的需要，在不通的部分划分不同大小的网格。因为隔舌部分变化幅度较大且对流场影响也大，所以在隔舌部分网格的划分更为密集。入口和出口分为两部分网格划分。划分完网格后如图 2 所示。在图 2 中已把吸入室与动叶和静叶连接在了一起。一共划分了 183 109 个网格。

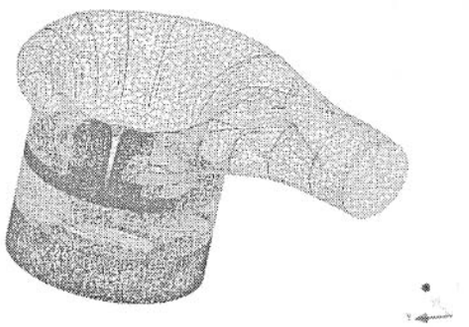


图2　划分完网格后的吸入室与叶轮

3　数值计算

取流量为 113.435 m^3/h，效率为 32.85 %的工况点的数据作为计算数据[5]。叶轮的转数为 2 900 r/min，进口流速为 4 m/s。

3.1 计算模型的选择

本数值模拟仅考虑使用清水作为介质进行的模拟计算。取吸入室的最小截面来判断其雷诺数的大小，从而判定在吸入室中是否为紊流运动。经过计算[6]得出隔舌处的雷诺数为 Re=47 144，该值远大于临界雷诺数，因此应该选择紊流模型来计算。同时在吸入室中也要考虑漩涡的产生及影响，所以湍流计算采用 RNG k-e 模型。采用 RNG k-e 模型有以下的优点：①RNG k-e 模型在 e 方程中加了一个条件，有效改善了精度。②考虑了湍流漩涡，提高了在这方面的精度。③RNG 理论为湍流Prandtl数提供了一个解析公式，然而在标准 k-e 模型中是由用户提供的。④标准的 k-e 模型是一种高雷诺数的模型，RNG 理论提供了一个考虑低雷诺数流动粘性的解析公式。这些公式的效用依靠正确的对待近壁区域。

速度—压力耦合计算采用simple算法，最大残差取 0.001。近壁面处理采用 Standard Wall Function，以考虑边界层的影响。

3.2 边界条件

吸入室进口为稳态、均相的。沿吸入室入口的轴向为速度入口方向。导叶出口保持静压不变的压力出口。吸入室壁面和叶片的表面均设为无滑移边界条件。边界条件的设定在一定程度上可加速解的收敛。

4　数值模拟的结果及分析

以前的研究中，吸入室考虑的大多是二维状态下的流场分布，在这里，从三维的角度对吸入室流场进行分析。

4.1 吸入室的速度流场分析

在半螺旋形吸入室中，在接近第 8 断面处，过流断面的面积变化比较急剧，所以在接近第 8 断面附近产生了一个很明显的低速区，范围大致在第 8 断面和第 7 断面之间。在流量不变的情况下，符合截面面积增大，速度降低的原则，基本符合设计要求，速度分布如图 3 所示。

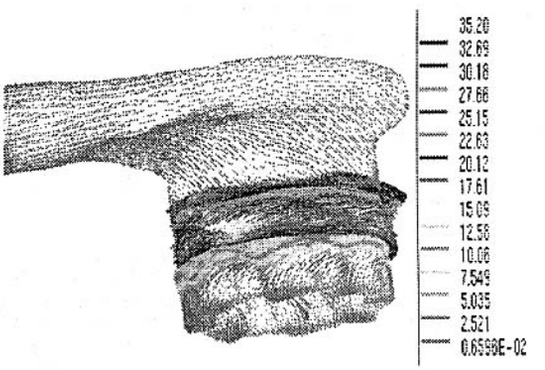


图3　吸入室八个截面上的速度分布图

除了要考虑八个截面上的速度以外，最主要的是要考虑半螺旋型吸入室的隔舌处的速度分布，在隔舌处的模拟结果如图 4 所示。

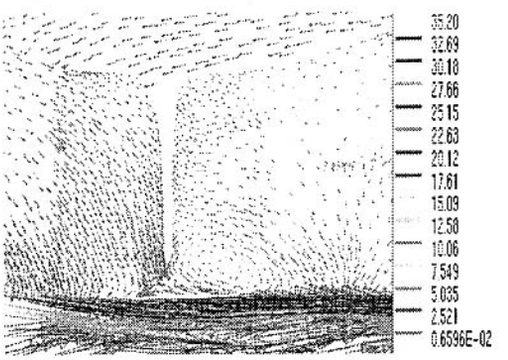


图4　隔舌处的速度图

万方数据

可以看到，在隔舌处有很明显的漩涡出现，这将造成能量的损耗。在此处产生漩涡，主要的原因就是流体在流动的过程中，受到隔舌的阻挡，与隔舌壁面发生撞击而产生的。另外，由于吸入室出口处与动叶轮相连，受到动叶轮旋转速度的影响，在吸入室出口处的流体的速度就发生了剧烈的变化，而且导致在隔舌处有比较明显的漩涡产生，这就造成了能量的损失。

还可以从切片图中观察隔舌处的速度和漩涡的情况，模拟结果如图5 所示。

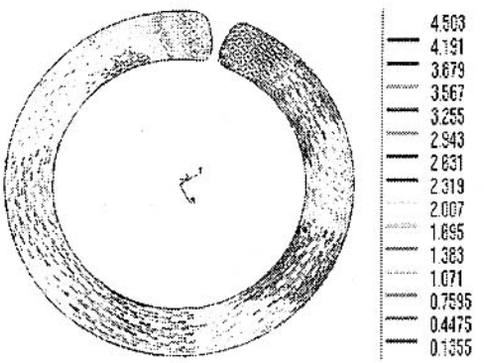


图5　吸入室速度的切片图

在图5中动叶轮的转动方向为顺时针的。从图中可以看到，吸入室中的速度大部分区域都是均匀变化的，只有在靠近吸入室入口侧的隔舌处的速度发生了比较剧烈的变化。局部放大如图6所示。

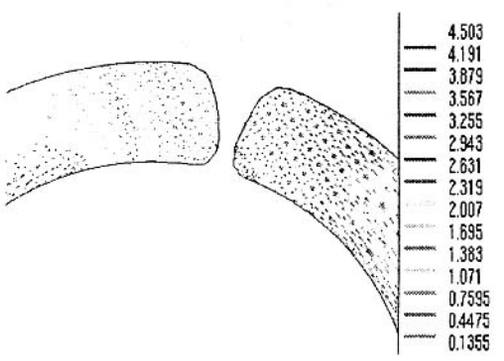


图6　吸入室隔舌处速度的局部放大图

仔细观察隔舌处的速度图，不难发现，在隔舌处出现了明显的漩涡，这与之前观察到的结果相吻合。对隔舌进行进一步放大，观察到隔舌内的漩涡旋转的方向是逆时针的。在设计中要尽量避免漩涡的出现，有漩涡必然会造成能量的损耗。因此，根据图6可以在下次优化改进中，增大隔舌处的圆弧过渡的弧度，可能有利于减少此处的漩涡。

4.2 吸入室的压力场分析

从图7中可以看到，在隔舌处静压的变化比较明显，也比较剧烈。另外在吸入室入口侧的静压变化也比较明显。在其它部位压力变化还是比较均匀的。这从图8的静压压力等高线图上也可以看出。

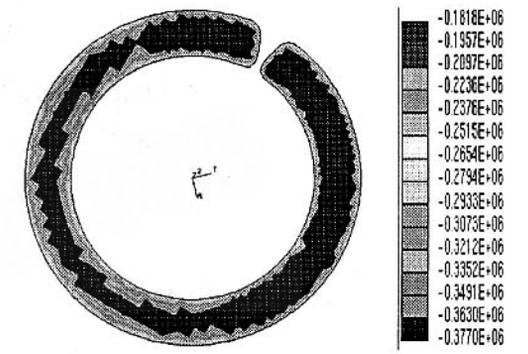


图7　吸入室静压切片图

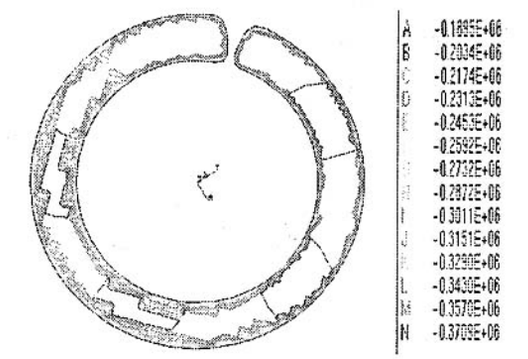


图8　静压的等高线图

5　结论

通过对半螺旋型吸入室的三维模拟，可以得到以下一些结论：

1）在吸入室中，速度和压力变化最剧烈的部分在隔舌的位置。在其它部位，速度与压力的变化都比较顺畅。

2）为了减小隔舌处能量的损失，应该考虑适当的增大隔舌处的圆角弧度，有利于流体在隔舌处的光滑过渡，减小流体在此处的能量损失。

3）对吸入室进行单相流的三维模拟，其结果可以为多相流模拟提供一定的参考。例如，速度的分布情况以及压力的分布情况等。

4）下一步的模拟就是模拟半螺旋型吸入室

万方数据

内部气液两相流的流动情况。从而对其内部的气液流动情况做出估计，找到其中的规律，对半螺旋型吸入室的设计做出指导。

参考文献：

[1] 马希金，陈山，齐学义. 100-YQH 油气混输泵的研制及试实验研究[J]. 排灌机械，2002(3)：3~5.

[2] 高章发，庞伟. 半螺旋形吸入室的设计和计算[J]. 排灌机械，2001(5)：6~7.

[3] 孙庆宽，王硕. STAR-CD 软件在家用空调产品开发中的应用[J]. 家电科技，2004(4)：56~60.

[4] 王宏亮. 轴流式油气混输泵单个压缩级叶轮流场 CFD 模拟分析[J]. [兰州理工大学 硕士学位论文]. 兰州：兰州理工大学，2005.2.

[5] 马希金，郭俊杰，吴蓓. CFD 法设计轴流式油气混输泵初探[J]. 流体机械，2004(7)：15~18.

[6] 关醒凡. 现代泵技术手册[M]. 北京：宇航出版社，1998：278~279.

Three-dimensional Simulation and Analysis of the Half-helix Suction Chamber for Multiphase Pump

MA Xi-jin, QIN Xia

(Fluied power and control college, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: The shape of the suction chamber decides the inlet velocity distribution of the compression grade in the multiphase pump, and affects the performance of the multiphase pump to a degree. By the advanced three-dimensional modeling software STAR-CD, the three-dimensional model of the half-helix suction chamber is simulated, and the three dimensional modeling results of the suction chamber is obtained. Through analyse the result, some improvement is given about the design of the half-helix suction chamber.

Key words: Multiphase pump; The half-helix suction chamber; Interior flow field; The three-dimensionalsimulation

山东名流集团企业简介

山东名流实业集团有限公司坐落于最适合人类居住的城市——威海市羊亭工业区，是威海市工业明星企业，山东省优秀民营企业，并连续多年被评为“重合同、守信用”企业。

集团公司注册资本 6800 万元，总资产 1.5 亿元，职工 600 余人（其中工程技术人员 80 余人），占地面积 9 万平方米。公司具有精良的加工设备和国际先进的生产流水线装备，是技术力量雄厚、检测手段先进的现代化企业。

集团公司具有 30 年生产水泵的历史，以泵业为龙头下辖：威海名流金井泵业有限公司（中韩合资）、威海名流数控机床有限公司、威海名流铸造有限公司、威海名流机械刀片有限公司、威海名流房地产开发有限公司五个子公司。主要生产经营各种潜水泵、污水泵、工业泵、电机、数控机床、铸件、机械刀片等系列产品。

集团公司还与江苏大学合作成立流体研究所威海分所，引进清华大学水利设计软件及电机设计软件，具有自行开发各类较高技术含量水泵的能力。此外，公司还引人 ERP 管理系统，使整个生产实行动态软件化管理，从而建立了一流的质量管理体系，并于 2001 年通过 ISO9001-2000 质量管理体系认证。

公司生产的各类产品性能稳定、质量可靠，各系列产品均获得国家质检总局颁发的工业产品生产许可证和进出口产品许可证，畅销全国各地，远销欧洲、非洲、韩国和东南亚等国家或地区，并以周到的服务、良好的信誉、一流的品质，赢得了国内外用户的一致好评。公司热情欢迎各界人士光临指导，并期待各种形式的业务合作。

万方数据