

双流道叶轮三维造型及数控加工制模探讨

■ 泰州泰东泵业有限公司 (江苏 225300) 钱万钧

摘要: 探讨借助CAD/CAM软件三维造型、自动编程和数控加工模具,验证叶轮CAD/CFD辅助水力设计、流场分析和性能预测的优化设计效果;利用MasterCAM软件仿真功能模拟验证数控加工可行性;选择合理的数控加工工艺,确保叶轮模具高质量、高精度,产品经过性能测试验证取得了满意的结果。



技术部长 钱万钧

叶轮是泵的核心零件,利用CAD/CFD技术对叶轮进行优化设计,不仅能够获得一个最佳的设计方案,还可以模拟预测泵的性能和流场细节分析;当然成功的设计需要进行产品验证,由于双流道叶轮内部流道形状复杂,不易直接机加工成形,常用造型模具进行铸造,而传统的手工制模

与图样的要求误差较大,不准确的型线改变了设计的理想流场,造成泵的性能普遍偏低;本文借助CAD/CAM软件进行三维造型、自动编程、数控加工制模,利用MasterCAM软件仿真校验叶轮模具复杂曲面流道的数控加工有效合理性,适当微调和修改数控加工程序避免刀具干涉,提升数控加工程序的精准性和可靠性;制定合理的数控加工工艺,确保数控加工的叶轮模具实现高质量、高精度的要求,使设计与制造无缝衔接。

1. 双流道叶轮优化设计

双流道叶轮应用于输送污

水污物介质环境,不仅希望高效节能,而且要求良好的无堵塞性能,本文采纳行业普遍采用的水力设计优化方法。

(1) 建立设计变量。因双流道泵效率普遍比叶片式离心泵低3%~8%,优化设计的目标之一是提高泵的效率,其次选择合适的叶轮出口宽度 b_2 满足泵的无堵塞性能;方法是建立对泵的流量、扬程和效率有重要影响的设计变量,主要变量有叶轮的进口直径 D_0 、出口直径 D_2 、出口宽度 b_2 、外流道出口安放角 β_2 (见图1、图2),泵体蜗壳的喉部面积 F_3 等,通过约束设计变量使水力

(2) 通过优化K12R6、K10R5及K6R3球头刀加工程序,单片叶片的K12R6、K10R5和K6R3刀具损耗分别降低约67%、80%和20%,刀具损耗大幅降低。

(3) 通过刀具优选试验及程序优化,目前,单片叶片加工时

间降低约15.8%,实现了提高加工效率、降低加工成本的目标。

参考文献:

- [1] 林子皓,熊计,郭智兴,等.高温合金切削刀具的研究现状及进展[J].硬质合金,2013,30(06):351-358.
- [2] 袁亮.GH4169高温合金腐蚀加工

及其对基体性能影响研究[D].南昌:南昌航空航天大学:硕士学位论文,2012.

- [3] 瑞士GF阿奇夏米尔集团.LIECHITI 1400g设备手册[E].瑞士:瑞士GF阿奇夏米尔集团,2015.

MW (收稿日期:20170622)

损失降到最低，谋求最佳的效率和无堵塞性能。

(2) 约束变量函数。双流道泵设计的基本理论和大量实践经验表明，叶轮进口直径 D_0 的取值适当是良好的吸入性能和合理经济流速的保证；出口直径 D_2 取值偏小扬程低，偏大圆盘摩擦损失增加、泵效率降低；出口宽度 b_2 取值主要考虑无堵塞性能，且对泵的性能也有影响；出口安放角 β_2 对泵的流量、扬程、效率和特性曲线的形状有重要影响，如取较大的 β_2 角可增高扬程，且能减小叶轮出口直径 D_2 ，有利于减小圆盘摩擦损失、提高效率，但是过大的 β_2 角容易使得泵的性能特性曲线产生驼峰，增大水力损失、性能不稳定因素，因此 β_2 通常在 $15^\circ \sim 35^\circ$ 的范围内选取；约束变量函数的合理性借助CFD进行数值模拟，且能预测泵的性能、分析内部流场、研究模拟流动细节，查找设计变量缺陷，通过不断微调、对比、改进，建立一组最佳的水力变量目标函数值，使其边界约束条件和性能约束条件最理想。

2. 双流道污水泵叶轮叶片三维造型

(1) 草绘轴面图和平面图上的流道中线。根据优化设计确定的叶轮尺寸参数，如叶轮的进口直径 D_0 、出口直径 D_2 、出口宽度 b_2 及出口安放角 β_2 等图面几何尺寸，在前视图上草绘轴面图（见图1）和平面图上的流道中线。

设计和数控加工提供了可靠的数学模型；平面流道中线通常采用变异的阿基米德螺线 $r=a\theta^m$ 方程创建曲线，采用EXCEL数据转换可以方便快捷地在平面图上做出流道中线（见图2）。

(2) 空间流道中线及内流道。首先采用轴面流道中线旋转建立一个曲面，然后将平面图中的流道中线投影到该曲面上，得到空间流道中线；在曲面里的空间流道中线上分别标记各流道截面对应点，并且在各对应点位置按照面积变化的规律建立相应的截面形状，各点处的截面应保持垂直于空间流道中线轨迹，采用扫描混合命令沿着用户定义的轨迹尽量光滑地形成曲面或实体。

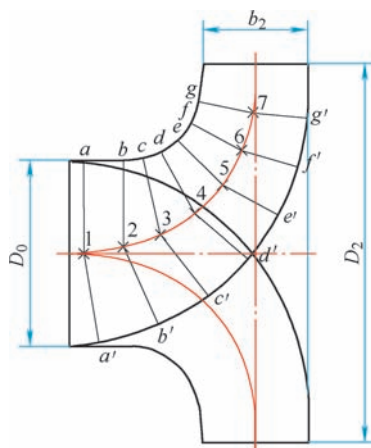


图1 轴面图

体，并使各截面的面积变化符合接近线性变化的规律（见图3）。

一般将前、后盖板的型线向内或外适当偏移，旋转建立曲面来检验内流道是否符合轴面投影，然后微调面积控制曲线直至满足要求为止；完成单个内流道后，通过圆周阵列复制形成 180° 对称的双流道（见图4）。

实践表明，在结构尺寸允许情况下，如果轴面流道中线较长时，采用接近线性的面积变化规律控制曲线，整个流道尤为光滑，且在叶轮进口处流道的重叠部分过渡良好。

(3) 外流道。外流道是双流道叶轮设计的关键之一，因为外流道是叶轮流场能量转换的主要部位，因此外流道的形状对泵的性能有直接的影响；设计时将空

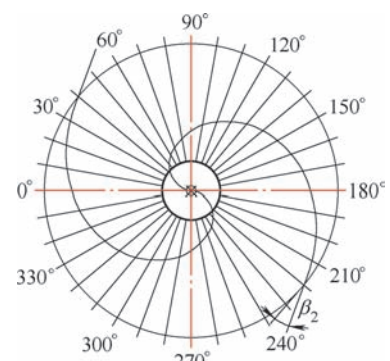


图2 平面图流道中线

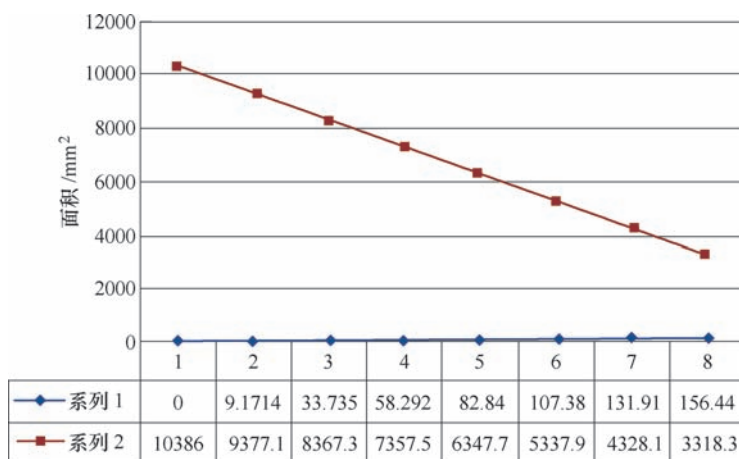
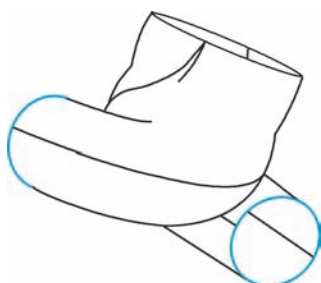
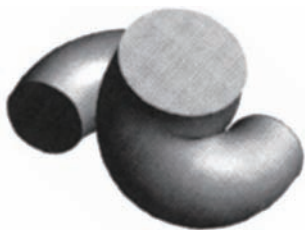


图3 内流道面积控制规律曲线



(a) 三维图



(b) 实物图

图4 内流道

间流道中线适当延长(见图5)，以内流道出口截面作为初始第一截面，延长段作为原始轨迹扫描混合生成外流道，以面积变化规律辅助控制流线，保持内、外流道光滑相切过渡，最后根据叶轮外径 D_2 尺寸将多余部分切除，形成整个双流道(见图6)。

(4) 建立数控加工三维曲面造型。完成叶轮流道的三维造型后，根据形成的内、外流道组合曲面(整个双流道)切割加工模

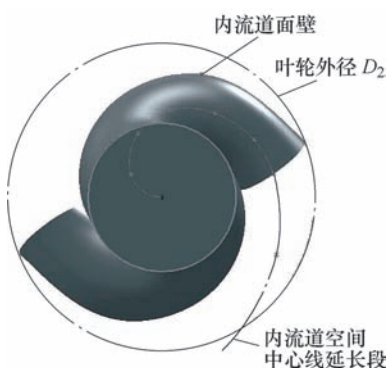


图5 外流道创建示意图

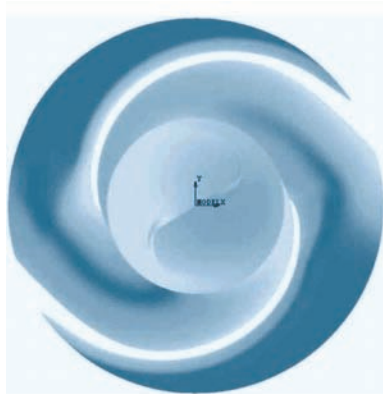


图6 双流道三维曲面造型

具回转体就可以得到叶轮模具造型；同时要分析三维造型曲面，满足符合数控加工的要求、型线结构良好及加工方便等要素。

3. 叶轮模具数控加工

采用MasterCAM软件分析图样和三维曲面模型，规划加工工艺，设置加工参数，生成和模拟校验刀具轨迹，经后置处理生成实用有效的NC代码，将数据输送到数控加工设备进行模具制作，其具体流程和步骤如图7所示。

(1) 模具数控加工工艺分析。

模具材料选择：模具材料选用主要考虑两方面，一方面考虑日常生产中叶轮模具反复使用的特点，模具应有良好的经久耐

磨性，同时还应尽量减轻模具质量；另一方面选用的材料应具有较高的力学性能和良好的机加工性能，因此该模具材料选用牌号为ZL115铸造铝合金。

加工工艺选择：根据叶轮模具为双流道轴对称分布的回转体几何结构，由于加工对象包含三维空间曲面，加工特征在不同的加工平面出现，且内流道封闭环形三维空间曲面无法加工，所以采用整体曲面造型分体曲面加工的方法，即经流道中间曲面(轴面流道中线旋转建立的曲面)将整体空间曲面分成上、下两个曲面组合体(见图8)，加工成形后再组合；不但有利于降低加工难度，减少加工干涉，且方便建立辅助面、对刀点和换刀点位置。本例安排的刀具路线为：①按图样加工回转体基本形状(含端面、外圆及流道中间曲面分型面等)。②粗加工流道部分。③精加工流道部分。④棱角、毛刺清理。

叶轮模具粗加工：粗加工的宗旨是重点考虑快速切除毛坯余

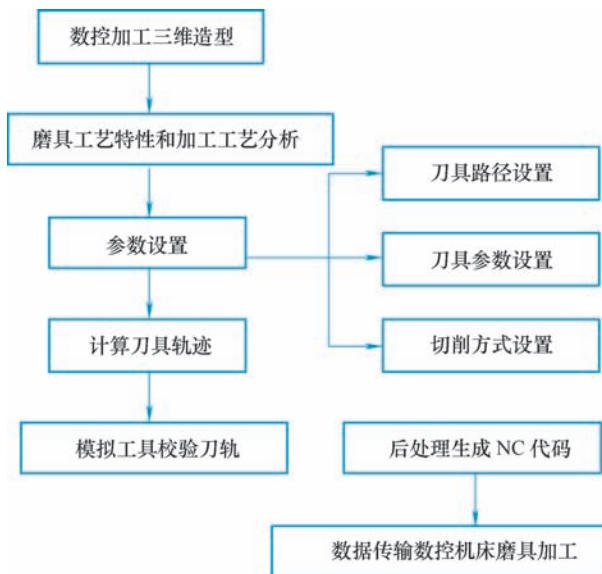


图7 模具数控加工流程

量、提高加工效率，通常选择型腔铣刀进行粗加工，刀具为（本例 $\phi 16R0.6$ ）环形或牛鼻铣刀，且设定较大的切削进给量和尽可能大的背吃刀量；由于叶轮型芯模具已经预处理加工成回转体，选择采用轨迹层切法加工比较合理，而且加工效率较高。

叶轮模具精加工：精加工是为了提高模具型芯曲面加工表面精度，采用增加刀具轨迹密度的方法铣削流道表面，本零件选择（本例 $\phi 6R3$ ）球头铣刀对曲面进行精加工；在加工过程中应尽量避免过切现象，合理选择刀具驱动面、边界约束定义条件，尽量选择较小的刀轴摆角，避免造成过切，如不能完全消除过切，就反复微调参数，把过切量限制在模具允许的精度要求之内。

（2）刀具轨迹验证。利用MasterCAM本身软件仿真功能，通过刀具轨迹仿真模拟整个切削



图8 叶轮型芯模具

加工过程，验证工艺参数、刀具轨迹的合理性，通过刀具轨迹仿真验证具有降低过切、避免干涉和碰撞等现象的功效；验证满意后输出刀具轨迹文件，再进行后置处理形成数控加工NC代码文件。

（3）数控加工代码输入。经MasterCAM后置处理生成的数控加工NC程序文件，可以经RS232通信串口直接输入数控加工中心进行加工，加工前应根据NC程序进行试加工，进一步验证刀具轨迹合理性，针对实际加工中出现的问题进一步微调、修改加工程序，直至程序满意为止。

4. 设计实例及验证效果

本公司新开发的125WL130-13-7.5型立式双流道污水泵，其常规性能指标为流量 $Q=130\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H=13\text{m}$ ，转速 $n=1\,450\text{r}/\text{min}$ ，效率 $\eta=70\%$ 。首先优化设计谋求将效率提升到 $\eta=78\%$ 的指标，接近国标GB/T 13007—2011规定的叶片式离心泵效率 $\eta=79\%$ ；然后采用数控加工制作全套模具（见图8），产品组装后经性能测试中心试验，其额定工况点的性能参数测定值为流量 $Q=130\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 $H=13.3\text{m}$ 、转速 $n=1\,450\text{r}/\text{min}$ ，轴功率 $P=5.88\text{kW}$ ，效率 $\eta=80.1\%$ 。试验数据结果表明，该型泵的效率比叶片式离心泵效率还高出1.1%，保真、高效和节能的效果非常明显。

5. 结语

采用CAD/CFD/CAM技术对泵产品进行优化设计、三维造型和数控加工制模，可以实现设计和开发相互支撑、有机结合和无缝衔接，满足泵产品多样化、水

力择优化和模具精准化设计开发的要求，使产品设计、模具制作精准和快捷实现产品批量转化，是现代设计和制造技术的完美结合，以期泵产品的设计开发抛砖引玉。

参考文献：

- [1] 关醒凡. 现代泵技术手册[M]. 北京：宇航出版社，1995.
- [2] 刘厚林，袁寿其，施卫东. 双流道泵水力设计的研究[J]. 农业工程学报，2005，21（1）：76-78.
- [3] 刘厚林，袁寿其，施卫东，等. 双流道泵叶轮内湍流的数值模拟[J]. 农业工程学报，2002，18（2）：9-12.
- [4] 张静，齐学义，等. 双流道污水泵叶轮内部三维湍流流动的数值模拟[J]. 农业机械学报，2009，40（1）：64-68.
- [5] 姬振营，舒志兵，等. 基于MasterCAM软件的数控加工[J]. 机床与液压，2007，35（7）：84-86.
- [6] 邓树光. 基于MasterCAM的编程实例[J]. CAD/CAM与制造业信息化，2007（12）：80-83.
- [7] 陈乃峰. 探讨MasterCAM加工方式对加工效率的影响[J]. CAD/CAM与制造业信息化，2008（9）：91-92.
- [8] 陈皓辉，刘华明，等. 复杂曲面叶轮CAD/CAM一体化系统开发[J]. 航天制造技术，2003（2），26-29.
- [9] 高凤英. 数控机床编程与操作切削技术[M]. 南京：东南大学出版社，2009.

MW（收稿日期：20170606）