

离心泵叶片的三维造型及优化

王宏伟¹, 余学军^{1,2}, 刘小兵¹, 张惟斌¹

(1. 西华大学能源与环境学院, 四川 成都 610039; 2. 湖南湘电长泵汨罗江制泵有限公司, 湖南 汨罗 414400)

摘 要: 利用 NURBS 方法对离心泵叶片进行建模, 建立了离心泵叶片的空间样条曲线, 并应用类流线方法对叶片进行优化, 使叶片在保持原有形状的基础上更为光滑。结果表明, 利用该方法建立的模型, 可以真实完整地反映叶片的形状, 优化后的叶片表面的褶皱和凹凸消失, 为叶片的性能分析、数控加工等工作提供了方便。

关键词: 离心泵叶片; 三维造型; 优化

中图分类号:

文献标识码: A

3D Modeling and Optimization for Blade of Centrifugal Pumps

WANG Hongwei¹, YU Xuejun^{1,2}, LIU Xiaobing¹, ZHANG Weibin¹

(1. School of Energy and Environment Xihua University Chengdu 610039;

2. Hunan XD Miluo Pump Co., Ltd. Miluo 414400 China)

Abstract: The blade of a pump is modeled using NURBS method in this paper. Firstly, spline curves for the blade are built by the method. Then the blade is optimized by using the measure of allied fluid curve which makes the blade more smooth without modifying its original shape. The results show that the model built by this method could truthfully express the blade shape. And the folds of the blade are disappeared after optimization. The model lays a foundation for following analysis and performance forecast.

Key words: blade of centrifugal pump; 3D modeling; optimization

0 引言

离心泵叶片是离心泵能量转换的关键部件。由于叶片的表面是一个非结构化的、空间扭曲的自由曲面, 一直以来, 工程上常采用木模图表达离心泵叶片, 从而对叶片进行加工及放样并控制叶片的加工和测量精度。

随着计算机辅助设计和制造技术的快速发展, 采用木模图表达离心泵叶片的方法已经不能满足现代设计和制造的要求。首先, 无法直接把木模图引入计算机辅助设计和制造系统, 这大大影响了叶片的优化设计和制造; 其次, 直接采用木模图, 其加工出来的三维几何体会出现褶皱或者畸形, 不能保证叶片的光滑; 再次, 无法将应用于加工制造的木模图应用于叶片的流场计算、叶片强度和振动等问题的数值计算^[1-2]。

本文在 UG 三维建模软件平台基础上, 提出了

一种结合木模图数据采集, 同时利用 NURBS(即曲面建模)方法对离心泵叶片进行建模, 并应用类流线方法对叶片进行优化的建模新方法。结果证明, 该方法能很好地设计出符合要求的叶片形状。

1 离心泵叶片三维造型

1.1 离心泵叶片三维造型原理

首先利用 AutoCAD 将某离心泵叶片木模图的二维线条表示出来, 再将其导入 Gambit 中, 并按空间距离叠放, 做出工作面和背面的轮廓线。将 Gambit 中生成的 B 样条曲线导入 UG 软件中, 利用 NURBS 方法对叶片进行初步造型, 根据初步造型所发现的问题, 进一步对叶片进行优化加工, 直至绘制出较为理想的离心泵叶片三维几何模型。

NURBS 方法由 B 样条曲线构造空间曲面。NURBS 模型是用数学表达式构建的曲线和曲面来表现模型的结构, 因此能很好地控制曲面的曲率和

精细程度,从而能够创建更为精确的模型。本文采用的类流线优化方法也是基于该原理,在模型初步生成的基础上做出更多的 B 样条曲线,从而生成更为光滑的模型^[2-3]。

1.2 B 样条曲线及 B 样条曲面的特征

B 样条曲面是 B 样条曲线的扩展,三次 B 样条曲线的每段由其特征多边形的 4 个控制点的位置矢量决定。三次 B 样条曲线的矩阵形式为:

$$N = \frac{1}{6} (u^3, u^2, u, 1) \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_0 \\ B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{bmatrix}$$

式中, $u \in (0, 1)$; B_i 为曲面的控制点 ($i=0, 1, 2, 3$)。

由上式可得三次 B 样条曲线的特征为:(1)端点性质:在节点处具有二阶导数连续;(2)局部性:对一个控制点的修改最多影响 4 个曲线段,而对其他曲线段不产生影响,因此具有局部可修改性;(3)扩展性:每增加特征多边形的 1 个顶点,就相应增加了一段 B 样条曲线,而顶点的增加不影响原有 B 样条曲线,且新增曲线段在与原曲线的连接处具有一阶和二阶导数连续,因此具有扩展的方便性^[3-5]。

B 样条曲面是由特征多面体顶点位置向量决定的,一个双三次 B 样条曲面片由空间的 4×4 个特征点定义。显然,分别在参数、方向上每增加 4 个特征点,则增加一个 B 样条曲面片,并可自然保证其二阶导数连续。

1.3 离心泵叶片三维造型方法

1.3.1 利用木模图绘制叶片曲线

在 AutoCAD 软件中绘制出木模图,通用的木模图在表示叶片时一般都给出等高面上的叶片截线的图形及数据,如图 1 所示。为了方便后期对叶片进行加工,我们同时绘制出叶片的轴面投影图,如图 2 所示。

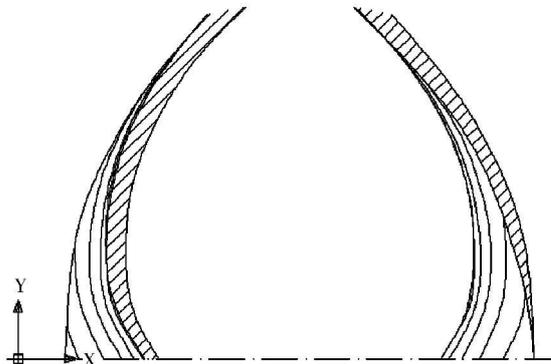


图 1 叶片工作面和背面截线投影图

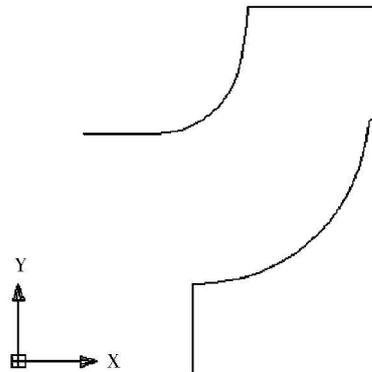


图 2 叶片轴面投影图

1.3.2 在 Gambit 中生成叶片工作面和背面的轮廓线

将 AutoCAD 绘制好的叶片工作面和背面的曲线导入 Gambit 软件,并根据各截面图形对应的空间位置关系生成相应的几何叠加。应用 B 样条曲线分别连接工作面和背面的头部及尾部端点,从而生成叶片的轮廓线,如图 3 所示。

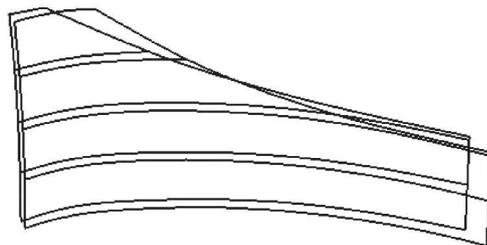


图 3 叶片型线空间布置图

1.3.3 三维叶片的造型

将 Gambit 中已经排好的所有型线导入 UG 绘图软件,应用曲面生成功能,可以生成工作面和背面的初步形状^[3-4],如图 4 所示。

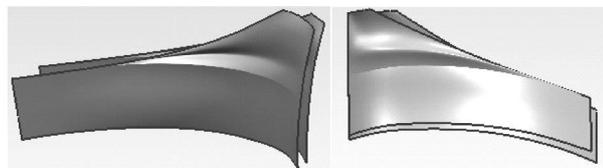


图 4 叶片初次造型

2 离心泵叶片的优化

很明显,叶片的工作面和背面进水一侧存在明显的褶皱和凹凸,因为这一侧的控制线较少,且曲线的曲率较大。这种叶片显然不符合叶片的数控加工和数值分析要求,因此我们考虑对叶片进行优化加工^[4]。

采用类流线法对叶片进行优化造型,主要操作

步骤为:首先确定离心泵叶片的轴线,然后绘制轴截面,再绘制出轴截线,最后按照一元理论绘制出类流线,最终的类流线如图 5所示。

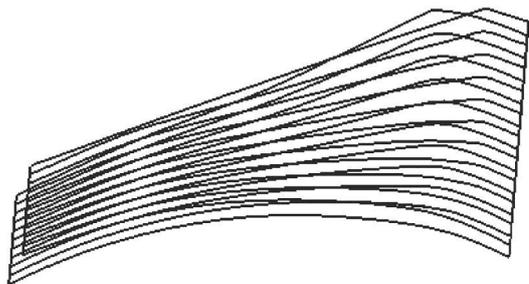


图 5 类流线

有了更多的类流线来控制曲面造型,我们就可以重新生成较为光滑的曲面,如图 6所示。

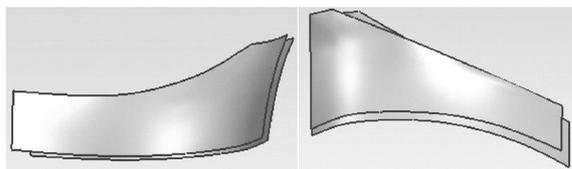


图 6 优化后的叶片

最后通过 UG 软件中自由曲面延展的方法使叶片分别在前盖板和后盖板处相交,用 UG 软件中的相应工具截取多余部分。根据设计要求,将单个叶片绕 Z轴旋转,环形阵列生成 6个叶片,如图 7所示,将离心泵的前盖板和后盖板生成以后用于叶片装配,最终可以得到如图 8所示的离心泵转轮整体模型^[4-5]。



图 7 叶片布置图

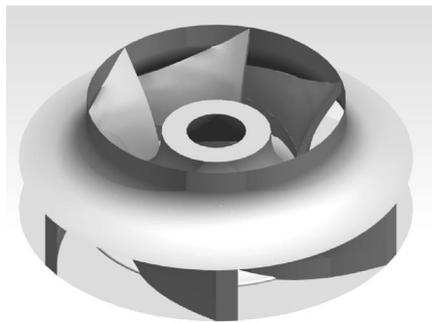


图 8 离心泵转轮模型

3 结论

本文利用 AutoCAD、Gambit和 UG 软件对离心泵叶片的实体建模进行了探讨,讨论了一种优化叶片的方法,即类流线法。优化前的叶片存在明显的褶皱和凹凸,不符合叶片的数控加工和数值分析计算要求,经过类流线方法优化后的叶片模型,可以真实完整地反映叶片的形状,优化后的叶片表面的褶皱和凹凸消失。应用类流线法对叶片进行优化,要合理地选择流线的数量,这样才能使叶片光滑,同时又最大限度地保持木模图的原始数据。该方法非常适合类似旋转机械等扭曲度比较大的叶片的建模,能为叶片的性能分析、数控加工等方面的工作提供很大方便。

参 考 文 献

- [1] 邵国辉,赖喜德. 双吸三元扭曲叶片离心泵的造型 [J]. 农机化研究, 2007(6): 194-196.
- [2] 黄道见,黄程. 离心泵叶轮三维造型 [J]. 农机化研究, 2004(11): 130-131.
- [3] 刘原林,袁寿其. 离心泵水力元件三维实体造型研究 [J]. 水泵技术, 2003(3): 22-23.
- [4] 王福军. 水泵叶轮的计算机三维实体造型研究 [J]. 农业机械学报, 1997(6): 40-44.
- [5] 关醒凡. 泵的理论与设计 [M]. 北京:机械工业出版社, 1987.

(编校:夏书林)