

# 基于 UG/Grip 的低比转速离心泵 叶轮数字化造型原理

严俊峰, 陈 炜

(西安航天动力研究所, 陕西 西安 710100)

**摘 要:** 运用 UG/Grip 技术对低比转速叶轮进行三维造型设计, 获得了一种先进的低比转速叶轮参数化设计方法, 从而能够及时、直观地考察叶片的水力特性和机械特性。同时可采用交互方式对叶轮设计参数进行修改, 增强了叶轮计算机辅助设计系统的交互设计能力, 有利于提高叶轮设计质量。

**关键词:** 低比转速; 叶轮; 三维造型; UG/Grip

**中图分类号:** V434. 212

**文献标识码:** A

**文章编号:** (2006) 04-0006-05

## Principle of digital modelling for low-specific-speed centrifugal pump impeller based on UG/Grip

Yan Junfeng, Chen Wei

(Xi'an Aerospace Propulsion Institute, Xi'an 710100, China)

**Abstract:** In this paper, an advanced method of parameterized design for low specific speed impeller was established during the procedure of the 3D design of a low specific speed blade by means of UG/Open Grip technique. This method can make the check of the hydraulic and mechanical design qualities of the blades quicker and easier. At the same time, the parameters may be modified in manner of the interactive operation. It had strengthened the interactive design function of the CAD system. The method is plastically useful for improving the design quality of impellers.

**Key words:** low specific speed; impeller; 3D design; UG/Grip

收稿日期: 2005-10-10; 修回日期: 2005-11-04。

作者简介: 严俊峰 (1980—), 男, 硕士, 研究领域为涡轮泵技术。

## 1 引言

叶轮是影响离心泵性能的核心零件,其叶片空间形状的确定在设计过程中是最重要的环节。泵叶片是复杂的空间曲面体,其设计和制造过程复杂。为了获得性能优良的叶型,传统的方法是先根据模型换算法或速度系数法计算出流道、叶片轴面截线及木模截线,然后根据图纸制成模型,并在试验台上反复试验,最终得出符合要求的叶型。显然,这一过程费时费力,而且制造精度较差。随着计算技术及计算机技术的发展,对泵叶型进行计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工程(CAE)及计算机辅助制造(CAM)已成为解决这一问题最有效的途径。而产品的三维造型技术将是其中的关键问题。

目前一些高端三维造型软件如Solidworks、UG、Pro/E等的造型功能非常优秀,使用这些高端软件来实现水泵叶片CAD/CAM是一条捷径。Open Grip是UG提供的二次开发工具,以子程序方式实现系统交互操作。提供用户化和增强标准的UNIGRAPHICS系统功能。本文采用UG的二次开发工具UG/Open Grip,对低比转速离心泵叶片三维造型进行研究。

## 2 泵叶片三维造型

### 2.1 低比转速泵叶片的型线

在低比转速叶轮中,广泛使用圆柱形叶片。圆柱形叶片在轴面投影图上狭长,在进口边上各点安放角差异较小,因而扭曲程度很低。因此当把低比转速叶轮叶片制成圆柱形后仍能保证合理的进口冲角,从而便于发挥圆柱形叶片造型简单、成本低廉的优点。

设计圆柱形叶片最重要的内容是要在与叶轮轴心垂直的平面内绘制叶片工作面及背面的投影。圆柱形叶片的型线是一条由进口安放角 $\beta_1$ 逐渐变化到出口安放角 $\beta_2$ 的曲线。经过国内外水泵工作者的多年研究,目前常用的圆柱形叶片的型线有等变角螺旋线圆柱形叶片、渐开线圆柱形叶片、单圆弧圆柱形叶片、双圆弧圆柱形叶片等。单圆弧法与双圆弧法作图简单,但是难于改变叶

片长度,叶片角 $\beta$ 沿着叶片长度的变化也是跳跃的,因此难于获得合理的叶间流道形状<sup>[3]</sup>。这里考虑到一般情形,采用逐点绘型法来描绘叶片的叶型。逐点绘型法是由C·普弗莱德雷尔提出的。它依据的是假设在 $r_1 \sim r_2$ 的区间,角 $\beta$ 随半径 $r$ 而变,而且根据每一给定的 $r$ 和 $\beta$ 来求极角 $\theta$ <sup>[3]</sup>。

考察微元直角三角形 $PP'T$ (图1),有:

$$\overline{PT} = r d\theta$$

$$\overline{PT} = \overline{P'T} / \tan \beta$$

式中, $\overline{P'T}$ 为半径 $r$ 的无穷小增量 $dr$ 。由两式相等得:

$$dr / (r d\theta) = \tan \beta \quad (1)$$

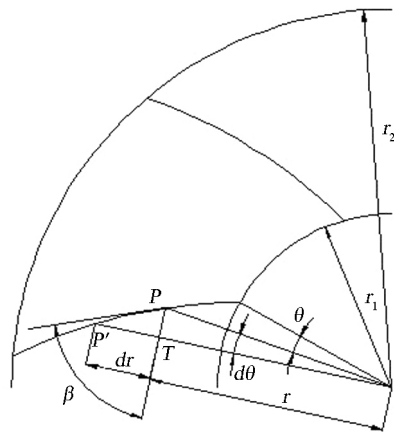


图1 叶型示意图

Fig.1 Schematic of an impeller

当 $\beta$ 为常数时,即为渐开线叶型;当 $\beta$ 依 $\theta$ 作线性变化时,即为变角对数螺旋线叶型。

当 $\beta$ 依 $\theta$ 不是线性变化时,则应采用逐点绘型法进行叶片绘型。为此,将公式(1)在 $r_1 \sim r$ 区间积分并乘以 $180/\pi$ ,得:

$$\theta = \frac{180}{\pi} \int_{r_1}^r \frac{dr}{r \tan \beta} \quad (2)$$

式中,在 $r_1 \sim r_2$ 区间的积分是以表格形式进行的,其中取有限增量 $\Delta r$ 。

此外,还可采用保角变换法确定叶片形状,

它在叶片绘型方面给予设计人员以极大的自由度。保角变换法常用于双曲率叶片, 而低比转速叶片常采用单曲率叶片, 因此应用较少。

## 2.2 叶轮轴面投影图的优化

对于含分流叶片的低比转速叶轮而言, 通常分流叶片起始处的宽度是已知值, 因此在轴面投影图中只需考虑圆弧段。在图2中, 根据参考文献[4], 得到  $R_1$ 、 $R_2$  及  $R_3$  的优化初始值 ( $n_s < 500$ ):

$$\begin{aligned}\frac{R_1}{D_2} &= 0.05_2 + 0.46 \times \frac{500 - n_s}{585} \\ \frac{R_2}{b_2} &= 0.5 + 1.5 \times \frac{210 - n_s}{190} (n_s < 210) \\ \frac{R_2}{b_2} &= 0.5 (n_s \geq 210) \\ \frac{R_3}{2D_j + b_2} &= 0.03 + 1.5 \times \frac{500 - n_s}{1600}\end{aligned}$$

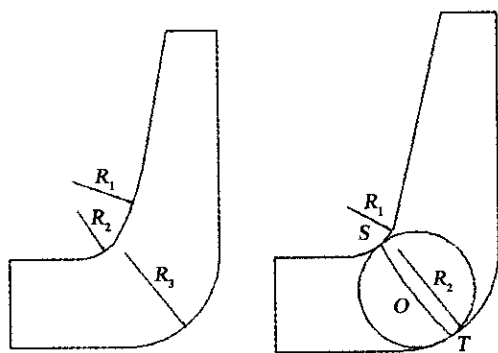


图2 叶轮轮廓 (1)

图3 叶轮轮廓 (2)

Fig.2 Impeller contour(1) Fig.3 Impeller contour(2)

对于低比转速叶轮, 前盖板常采用单圆弧结构形式, 如图3所示。  $R_1$  和  $R_2$  的优化初始值如下:

$$\begin{aligned}\frac{R_1}{b_2} &= 0.5 + 1.5 \times \frac{210 - n_s}{190} \\ \frac{R_2}{2D_j + b_2} &= 0.03 + 1.5 \times \frac{500 - n_s}{1600}\end{aligned}$$

在叶片轴面投影图的优化过程中, 首先由半径初始值和已知叶轮参数, 绘制轴面投影图。然后在已知长叶片进口半径  $r_1$  的情形下, 通过改变进口边中点的轴向位置, 形成一系列内切圆, 使其与前后盖板的圆弧段相交于  $S$ 、 $T$ , 并实时计算出  $SOT$  的长度, 即进口边的宽度  $b'_1$ 。若  $b'_1 > b_1$ ,

则减小  $R_1$  并增大  $R_2$ , 反之则相反。当  $b_1$  与  $b'_1$  的相对误差满足精度要求时, 即可获得叶轮的轴面投影图。  $R_1$  ( $R_2$ ) 的增量大小决定了进口边宽度  $b_1$  与  $b'_1$  的近似程度。对于工程应用而言, 取盖板圆弧半径增量为0.1已经足以满足工程精度了。

## 2.3 叶片体的形成

UG是近年发展起来的功能强大的三维造型软件, 在流体机械工程领域有着广泛的应用。在UG交互环境下绘制通用叶轮是比较困难的, 而利用UG/Open Grip, 便可以方便地实现对各型叶轮的造型。Open Grip是UG提供的二次开发工具, 以子程序方式实现系统交互操作, 并提供用户化和增强标准的UNIGRAPHICS系统功能。提供变量、数组、声明; 字符串操作输入输出; 文件操作; 算术运算符程序调用; 循环语言等。利用Grip语言, 对于不同规格的叶轮给出相应的数据文件, 即可自动生成实体, 便于实现叶轮的快速实体造型。将UG/Open Grip应用于低比转速叶轮的三维实体造型属于开创性的工作, 对帮助设计人员认识叶片的特征, 完善叶片性能有重要意义。

在叶片的造型过程中, 首先应确定叶轮的主要造型方法, 如叶片加厚方式及加厚规律、短叶片厚度的定义方式、开式或闭式叶轮的选择等, 如图4所示。在Numeca等CFD软件中, 需要读取大量的叶型工作面、背面及叶尖等数据, 以便生成结构化网格, 这也可以在造型过程中体现。此时, 叶型数据存放于当前目录下。确定了叶轮的造型方法后应读取叶片的结构设计参数, 如图5、图6所示。根据已知结构设计参数绘制叶轮的轴面投影图并对其进行旋转, 以形成包含前后盖板的实体。然后采用逐点绘型法 (特例即为渐开线叶型及变角对数螺线叶型) 绘制叶片在后盖板上的投影, 通过拉伸此投影形成长叶片体。在确定进口边的形状后, 旋转进口边, 形成“进口边体”。将长叶片体与前盖板及“进口边体”进行“减运算”得到包含进口边的长叶片体。在确定了一个长叶片实体模型后, 读取长叶片数, 然后通过圆周阵列的方式进行多叶片复制。若叶轮中包含分流叶片, 其造型方法与长叶片的相似, 只是没有对进口边“体”进行“减运算”的过程。最后便可得到一组围绕着叶轮轴线, 在圆周方向均匀排列的

叶片实体模型,如图7所示。

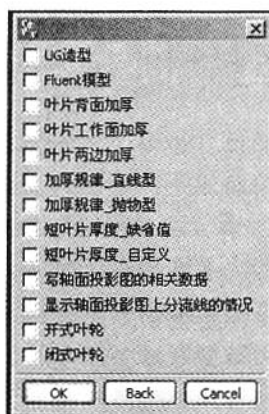


图4 叶轮的造型参数

Fig.4 Modeling parameters of an impeller



图5 叶轮的设计参数(1)

Fig.5. Design parameters of an impeller(1)

在构造叶轮的叶片时,有两个关键点:第一个关键点是如何生成及处理叶片在后盖板上的投影。当用逐点绘型法绘出叶型后,考虑到叶片进口边在后盖板上的投影半径小于叶片的进口半径(如图8所示),应适当向轴心线方向延长叶片在后盖板上的投影,以便打磨进口边;第二个关键点是对轴面投影进行适当的延伸。在进行“交运算”、“并运算”及“补运算”时,为了使实体间能够顺利进行布尔运算,要求布尔运算后各实体不能处于临界状态,这就需要在轴面投影图上将叶片进口边沿切向方向向进口边进行适当延伸,在垂直于叶轮轴心线的平面上对出口边沿切向方向向出口边进行适当延伸。图9为叶轮的几何造型过程流程图。



图6 叶片的设计参数(2)

Fig.6 Design parameters of an impeller(2)



图7 叶轮(去掉前盖板)

Fig.7. Impeller

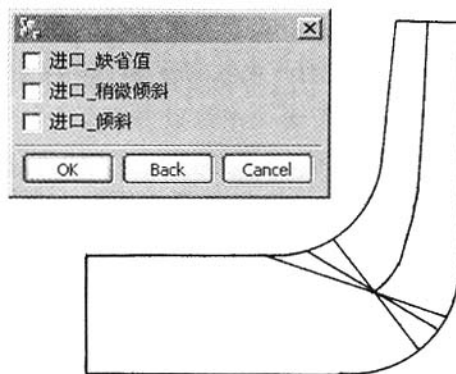


图8 叶轮进口

Fig.8 Entrance of an impeller

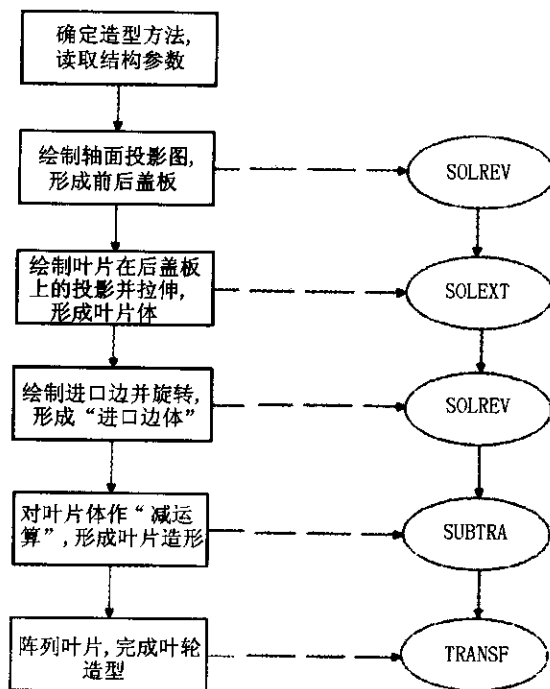


图9 叶轮几何造型过程流程图

Fig.9 Flow chart of geometric modeling

### 3 结论

三维实体建模是一个设计创新的过程。通过UG/Open Grip二次开发工具的使用,实现了低比转速叶轮的参数化编程,使叶轮在曲面造型上很方便、灵活、实用。

(下转第20页)

## 5 结 论

本次过氧化氢催化分解单组元发动机试验获得了成功, 试验初步考核了 90% 浓度过氧化氢的催化分解特性、催化剂性能以及其与发动机分解室的匹配性。

试验结果表明, 发动机性能稳定, 试车过程中未发现性能下降情况。过氧化氢催化分解发动机分解室结构设计合理, 催化剂连续工作寿命长, 过氧化氢、分解室、催化剂三者匹配性良好, 标志着过氧化氢催化分解发动机技术又向前迈进了一步, 为我国航天器推进系统的无毒化提供了技术支持。

### 参考文献:

- [1] M Ventura, P Mullens. The Use of Hydrogen Peroxide for Propulsion and Power[R]. AIAA99-2880.
- [2] V Sadow. HP-Based Green Rocket Propellants[C]. The First International Conference on Green Propellants for Space Propulsion.
- [3] Zhang Rongjun, Xu Junmin, Li Fuyun, Ling Qiancheng, Yang Baoqing. A Study of Thrust Chamber Technology Using Hydrogen Peroxide[C]. 55th International Astronautical Congress 2004-Vancouver, Canada. IAC-04-IAF-S.3.02.
- [4] Trisha R Beutien, Stephen D Heister, John J Rusek, Scott Meyer. CORDIERITE-BASED CATALYTIC BEDS FOR 98% HYDROGEN PEROXIDE[R]. AIAA 2002-3853.
- [5] 毛根旺. 大型液体火箭发动机的最新发展[J]. 推进技术. 1995, 1.
- [6] 周汉申. 单组元催化分解发动机喷注器的设计与研究[J]. 上海航天, 1993, 1.
- [7] 周汉申, 王玺. 肼及肼-硝酸肼-水发动机催化剂床的设计与研究[J]. 上海航天, 1994, 5.
- [8] 林革, 凌前程, 李福云. 过氧化氢推力室技术研究[J]. 火箭推进, 2005, 3.

(编辑: 王建喜)

\*\*\*\*\*

(上接第 9 页)

在进行叶轮 CFD 分析时, 可以根据分析结果对叶轮的参数进行修正, 很快的实现三维模型的更新, 从而获得性能优秀的叶轮结构; 在叶轮设计、生产过程中, 尤其是仅有叶轮结构尺寸变化时, 只需改变相应的参数, 即可方便地生成系列化的产品, 极大地减少了一个新产品的的设计周期。

通过 UG/Grip 对低比转速叶轮进行三维造型, 生成的叶片实体在屏幕上可以旋转、放大等, 从而可以帮助设计人员及时直观地在三维空间中多方位的观察叶片的实体。从而能够方便地考察叶片的水力性能, 即: 叶片表面型线是否光滑连接, 叶片弯曲程度与安放角变化是否均匀, 包角大小是否符合要求; 考察叶片的工艺性能, 如需数控机床加工时, 叶片的装夹性能以及走刀特性等。

综上所述, 将 UG/Grip 技术引入流体机械中的叶轮设计领域, 将帮助设计师及时地评价已经设计好的叶轮叶片, 完善设计, 从而将叶轮的水力

设计提高到一个新的水平, 这正是 UG 这一软件在流体机械中的强大生命力的体现。

### 参考文献:

- [1] 王庆林. UG/OpenGRIP 实用编程基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [2] 杨方飞, 阎楚良, 林洪义[J]. 水泵叶片三维造型原理与工程应用. 农业机械学报, 2003, 34 (1).
- [3] 严俊峰, 陈炜. 基于遗传算法的低比转速高速泵优化设计[J]. 火箭推进, 2006, 32 (3).
- [4] A T Troskolanski, S.tazarkiewicz. 叶片泵计算与结构[M]. 北京: 机械工业出版社, 1981.
- [5] 潘中永, 曹卫东, 李红, 等. 叶轮轴面控制参数的优化[J]. 流体机械, 2002, 9.

(编辑: 马 杰)