

# 基于 UG/GRIP 的叶轮轴面 流道的计算机辅助设计

严俊峰

(西安航天动力研究所, 陕西 西安 710100)

**摘 要:** 运用 UG/GRIP 技术对叶轮的轴面流道进行参数化造型及校核, 获得了一种先进的叶轮轴面流道参数化设计方法, 从而能够及时、直观地考察叶片的工作特性。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, 有利于提高叶轮的设计质量。该方法不仅适用于泵的叶轮, 对于涡轮及压气机的叶轮等也同样适用。

**关键词:** 轴面流道; UG/GRIP; 造型; 内切圆; 过流面积

**中图分类号:** V434\*.21

**文献标识码:** A

**文章编号:** (2010) 02-0032-04

## The CAD of axis flow-path of impeller based on UG/GRIP

Yan Junfeng

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

**Abstract:** In this paper, an advanced method of parameterized design for an axis flow-path of a impeller is established during the procedure of the modeling and checking of an axis flow-path by means of UG/GRIP technology. This method will assist designers to check the aerodynamic qualities of the impeller immediately and directly. At the same time, the parameters can be modified in manner of the interactive operation. It will strengthen the interactive design function of the CAD system. The method is practically useful for improving the design quality of impeller. This method also can be used in the design of the turbine and compressor.

**Key words:** axis flow-path; UG/GRIP; modeling; inscribed circle; cross section area

收稿日期: 2009-08-04; 修回日期: 2009-11-06。

作者简介: 严俊峰 (1980—), 男, 工程师, 研究领域为发动机涡轮泵。

## 0 引言

在传统的叶轮水力设计中, 第一步就需要把叶轮的轴面投影图绘制出来<sup>[1]</sup>, 第二步是按一定的理论进行叶片设计。由此可以看出, 在叶轮的设计过程中, 轴面流道的绘制及校核(即检查轴面过流断面的变化情况)是其中重要的一环。

传统的轴面流道的绘制及校核一直采用手工的被动办法, 即首先参考相近比转速的叶轮或者根据经验确定叶轮轴面流道的轮廓, 然后再绘制内切圆, 最后检查过流断面的面积。整个过程要经历反复的计算, 修改, 直至最终结果令人满意为止。上述设计操作过程工作量大、工效低。另外由于人的主观意识的存在, 随之带来一些问题, 诸如: 计算精度低, 存在一定的随意性, 人工绘图中线形绘制不规范等等, 无法适应科技发展的需要<sup>[2]</sup>。

为了在方案设计阶段对不同的设计方案进行对比, 并对叶轮进行优化设计, 需要对子午面轮廓进行参数化, 形成知识工程。

目前一些基于行为建模技术的高端三维造型软件, 如 UG、Pro/E、Solidworks 等的造型分析功能非常优秀, 使用这些高端软件来实现叶轮轴面流道的绘制及校核是一条捷径。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, 并提供用户化和增强标准的 UNIGRAPHICS 系统功能<sup>[3]</sup>。将 UG/Open GRIP 应用于叶轮轴面流道的参数化造型及校核属于开创性的工作, 对帮助设计人员缩短工作时间, 提高工作效率, 认识叶轮的特征, 完善叶轮性能等有重要意义<sup>[4]</sup>。至于水力设计的第二步—叶片造型, 可采用准三元理论进行设计。由于这一部分工作目前已有许多文献做了详细的论述<sup>[5]</sup>, 本文不再赘述。

## 1 轴面流道的参数化造型

在参数化造型技术方面, 一是根据用户自定义的轮毂、轮盖形状, 校核过流断面面积的造型法; 二是根据给定的过流断面面积分布规律进行

轮毂或轮盖造型的造型法。本文采用第一种轴面流道造型方法, 并对第二种造型方法进行适当的说明。

考虑一般情形, 取轮毂半径、颈部当量半径、轮毂倾角、颈部倾角、前盖板出口半径、后盖板出口半径、前盖板倾角、后盖板倾角、出口宽度、前盖板圆弧半径、后盖板圆弧半径、轴向长度等 12 个造型参数, 定义(典型的)叶轮轴面流道轮廓, 如图 1 所示。其中, 轴线定义为 X 轴, 过后盖板与叶片出口边交点做垂直于轴线的直线, 并将其定义为 Y 轴, X 轴与 Y 轴的交点定义为坐标原点 O。按图 1 的定义方法, 自定义多线段与轴线的角度具有方向性。

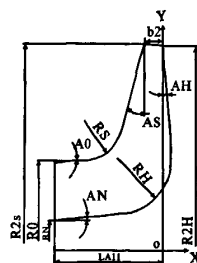


图 1 参数定义

Fig.1 Definition of parameters

## 2 轴面流道的校核

所谓轴面流道的校核, 就是校核轴面流道过流断面面积的分布规律。其中, 求轮毂与轮盖间的内切圆是其中最主要的步骤。

### 2.1 数据准备

考虑一般情形, 设轮毂与轮盖均为一条 B 样条曲线, 以保证其 C<sup>1</sup> 连续。将图 1 中的轮毂线及轮盖线(多线段)拟合为一条样条曲线, 所对应的 Grip 命令为: SPLINE/APPROX, ...。

为了便于数字化编程, 需要对轮毂及轮盖 B 样条曲线进行离散化。由于需要截弯取直, 即用许多微小的直线段近似代替样条曲线, 因此, 需要生成满足足够精度的点集。在 UG/Grip 语言中, 可以按等弦长、等参数、等弧长等方法生成点集。这里选择等参数方法对样条曲线进行分

点, 对应的 Grip 命令为: CPSET/EPARAM, ...。分点数越大, 计算及校核的精度就越高, 当然数据量也就越大。

## 2.2 内切圆的绘制

设 2 条通用的 B-样条曲线上的点为 PD(1), PD(2), ... PD(Max) 和 PU(1), PU(2), ... PU(Max), 然后可利用简单的几何学原理作出其内切圆, 主要的步骤如下:

(1) 设置循环变量  $i=1$ 。

(2) 过轮毂线上 PD( $i$ ) 和 PD( $i+1$ ) 做直线 LD, 以近似代替轮毂曲线, 并过 PD( $i$ ) 做轮毂线 LD 的法线 L1。

(3) 设置循环变量  $j=1$ 。

(4) 过轮盖线上 PU( $j$ ) 和 PU( $j+1$ ) 做直线 LU, 以近似代替轮盖曲线, 从而得到 LU 与 LD 的交点 P1。

(5) 过 P1 做 LU 与 LD 的角平分线 L2, 从而得到 L2 与 L1 的交点 Po( $i$ )。

(6) 利用 Grip 中的分析功能语句 DISTF, 计算 Po1 与 LU 的最小距离, 设为 Dist1。

(7) 将  $j$  替换为  $j+1$ ,  $j+1$  替换为  $j+2$ , 重复第 4-6 步骤, 得到 Po( $i$ ) 及 Dist2。同理, 将  $j+1$  替换为  $j+2$ ,  $j+2$  替换为  $j+3$ , 重复第 4-6 步骤, 得到 Dist3。

(8) 比较 Dist1、Dist2 及 Dist3 的大小。若  $\text{Dist2} \geq \text{Dist1}$  且  $\text{Dist2} > \text{Dist3}$  或者  $\text{Dist2} > \text{Dist1}$  且  $\text{Dist2} \geq \text{Dist3}$ , 则第  $i$  步循环结束。然后, 以 Po( $i$ ) 为圆心, 做与直线 LD 相切的圆, 此圆即为过轮毂曲线上第  $i$  点的内切圆。

(9) 将  $i$  替换为  $i+1$ , 重复第 3-8 步骤, 直到轮毂线上每个点的内切圆均绘制完成为止, 即  $i = \text{Max}$ 。

上述操作过程示意图如图 2 所示, 生成的内切圆如图 3 所示。

由上述作图过程可以看出, 为了使该作图过程能够顺利进行, 要求绘制内切圆的 2 条原始曲线具有 C' 连续性, 且曲率的变化要适度, 即不能出现尖点或陡然转弯。

在实际的编程过程中, 需要考虑到生成内切圆的通用性 (即轮毂及轮盖形状任意)、轮毂及

轮盖角度的变化、轮毂及轮盖出口不在同一个内切圆上的终止条件等, 以实现对任意 2 条曲线进行绘制内切圆的操作。

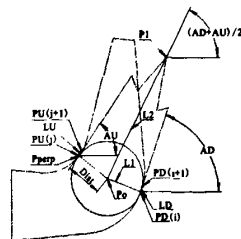


图 2 生成内切圆的过程

Fig.2 Formation process of an inscribed circle

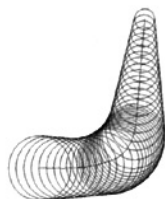


图 3 内切圆的分布

Fig.3 Inscribed circles distributions

## 2.3 轴面流道的校核

在内切圆的绘制中, 过 Po 做轮盖线上直线 LU 的垂足 Pperp。已知 Pperp, Po( $i$ ), PD( $i$ ) 三点后, 按轴面液流过流断面的经验作图法 [6] 做出过轮毂曲线上第  $i$  点的等势线, 利用 Grip 内嵌的分析功能语句 &LENGTH (...), 计算出该等势线的长度后, 即可方便地得出轴面液流过流断面的面积。Po( $i$ ) 的连线即为流道中线。典型的等势线、等势线长度及过流断面面积沿流道中线的分布等分别如图 4、图 5 及图 6 所示。

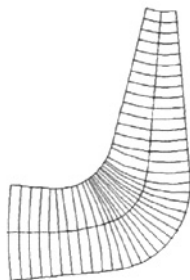


图 4 等势线的分布

Fig.4 Equipotential lines distributions

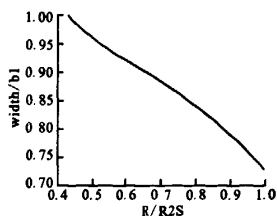


图 5 等势线长度的分布

Fig.5 Length distribution of equipotential lines

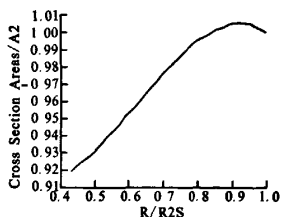


图 6 过流面积的分布

Fig.6 Cross section areas distribution

获得叶轮过流断面面积  $A$  的分布规律后, 可对其进行直观地判断。然后根据轴面流速的定义

$$V_m = \frac{Q_v}{A}, \text{ 即可判断叶轮的轴面流速是否符合设计要求。}$$

若不满足设计要求, 可方便地交互式修改轴面流道造型参数, 获得过流断面面积及轴面流速的分布规律, 直到满足设计要求为止。

可以看出, 上述造型及校核方法具有通用性。因此, 适用于检查泵叶轮、涡轮及压气机叶轮等的过流面积的分布规律, 也适用于需要求(任意) 2 条曲线间内切圆的情形。

此外还可以看出, 对于轴面流道的第二种造型方法, 可通过求一系列满足过流断面面积分布规律的内切圆的外包络线获得。求外包络线时, 需要判断轮毂或轮盖曲线的光滑性, 即导数连续性, 这里不再进行详细讨论。

### 3 结论

取轮毂半径、颈部半径、前盖板出口半径、后盖板出口半径、前盖板倾角、后盖板倾角、出口宽度等 12 个造型参数, 定义叶轮轴面流道轮廓。运用 UG/Open GRIP 技术对叶轮轴面流道进行造型及校核, 采用交互方式对造型参数进行修改, 从而能够及时、直观地考察叶轮过流断面面积的分布规律, 进而判断叶轮的轴面流速是否符合设计要求等。通过 UG/Open GRIP 二次开发工具的使用, 实现了叶轮轴面流道的参数化造型, 增强了叶轮计算机辅助设计系统的交互设计能力, 在实现叶轮的优化设计, 统一设计流程规范, 形成知识工程, 提高叶轮设计质量等方面具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] 查森编. 叶片泵原理及水力设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998: 22-26, 103-110.
- [2] 严俊峰, 陈炜. 基于 UG/Grp 的低比转速离心泵叶轮数字化造型原理[J]. 火箭推进, 2006, 32(4): 6-9.
- [3] 王庆林. UG/OpenGRIP 实用编程基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [4] 罗兴琦, 陈乃祥, 林汝长, 等. 混流式转轮的准三维设计. 水利学报[J], 1996(10): 18-21.
- [5] 高忠信. 混流式叶轮准三维 S2 有限元设计方法. 水利学报[J], 1992(4): 63-69.
- [6] 关醒凡. 现代泵技术手册 [M]. 北京: 宇航出版社, 1995: 15-16, 203-204.
- [7] 黄智勇, 李昌矣, 黄红. 高工况涡轮泵轴系状态对工作可靠性的影响[J]. 火箭推进, 2007, 33(1): 32-36.
- [8] 郭维, 白东安. 超低比转速离心泵内流场计算及分析[J]. 火箭推进, 2007, 33(2): 26-31.

(编辑: 王建喜)