

离心泵叶轮及导叶的三维实体造型研究

杨军虎, 张学静

(兰州理工大学 流体动力与控制学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 通过运行实例对多级导叶式离心泵叶轮与导叶的水力模型图绘制、三维实体造型的过程、方法作了详细的介绍, 这项工作对提高叶轮、导叶的设计质量和效率具有实际意义, 同时也为 Gambit 应用于离心泵过流部件提供了建模的理论依据。

关键词: 离心泵; 叶轮; 导叶; 三维造型

中图分类号: TH311 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0366(2004)03-0102-04

Research on 3D Solid Modeling of Centrifugal Pump of Impeller and Guide Blade

YANG Jun-hu, ZHANG Xue-jing

(College of Fluid Power and Control Engineering, Lanzhou Univ. of Sci. and Tech., Lanzhou 730050, China)

Abstract: The modeling process and method of hydraulic modeling drawing and 3D solid modeling are introduced in detail by giving an example. This research work shows that it helps to improve the design quality and to save the design time of the impeller and guide blades. And also, it will help to master Gambit on fluid machinery.

Key words: centrifugal pump; impeller; guide blade; three-dimensional modeling

随着计算机技术的迅速发展,数值模拟成为研究离心泵内部流动的主要方法之一。20世纪70年代末,流体力学的另一分支学科——计算流体力学CFD形成,它是以实体模型为对象,计算机为工具,面对流动现象的控制方程,利用数值模拟的方法得到流动现象的数值解或近似解的应用性科学^[1],所以实体模型的建立是CFD开始计算的前提。我们以多级导叶式清水离心泵为例,通过对叶轮与导叶的设计理论的分析,提出了如何由模型参数实现结构设计的方法。并将特征造型技术应用于设计方法中,建立起叶轮与导叶设计的动态模拟机制。

参数(流量、比转数、扬程及转速、汽蚀余量、效率等)来确定叶轮的设计参数。根据叶轮的设计过程,取叶轮的一系列参数——叶轮进口直径、叶片进口直径,叶轮轮毂直径、叶片进口宽度、叶片进口角、叶轮出口直径、叶轮出口宽度、叶片出口角、叶片数、叶片包角等作为叶轮的主要水力设计参数^[2]。

以MD40-6.3多级清水离心泵叶轮为例,其参数如表1、表2:

表1 MD40-6.3 多级清水离心泵叶轮性能参数

流量 $Q/m^3 \cdot h^{-1}$	扬程 H/m	转速 $n/r \cdot \min^{-1}$	轴功率 P_a/kW	效率 $\eta\%$	汽蚀余量 $NPSHR/m$
6.30	25.00	2950.00	0.95	45.00	2.00

表2 MD40-6.3 多级清水离心泵叶轮设计几何参数

进口直径 D_j/mm	轮毂直径 d_h/mm	出口直径 D_2/mm	出口宽度 b_e/mm	出口角度 $\beta/(^\circ)$	叶片数 Z	叶片包角 $\Phi/(^\circ)$
55.00	39.80	138.00	5.15	28.00	5.00	127.00

1 叶轮模型的建立

1.1 叶轮主要参数的确定

离心泵的叶轮为径流式叶轮。它是由前、后盖板和盖板之间的叶片组成。其设计是根据泵的性能

收稿日期:2004-01-02

基金项目:兰州理工大学特色学科梯队基金“流体机械内部流场及性能”项目(GS08-B52-062)

根据叶轮的设计方法可以得到图 1 所示的水力模型图。

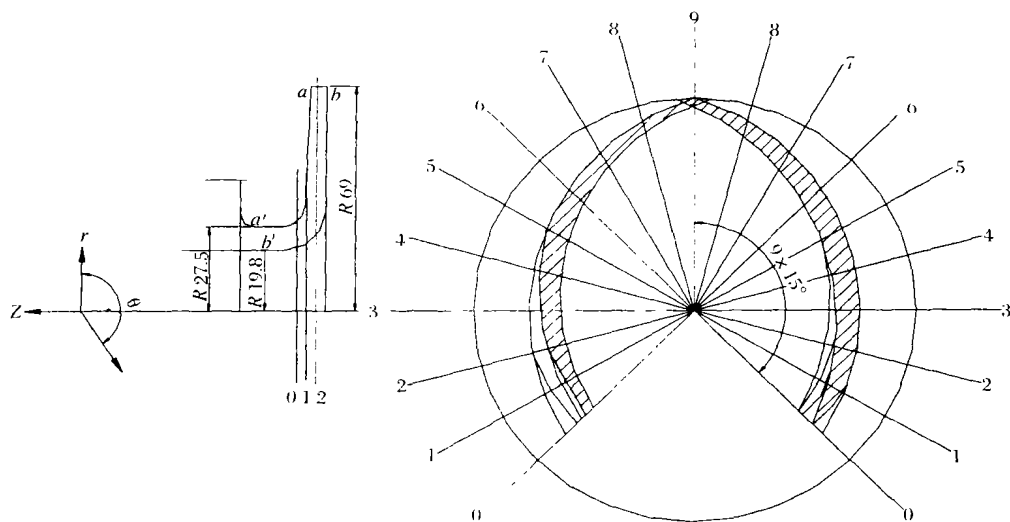


图 1 叶轮水力模型

1.2 实体造型的一般方法

实体造型的目的是完整、无二义地表示物体。造型时常用如下 3 种方法表示物体:①用实体边界表示实体的方法(Boundary Representation)简称 Brep 表示法^[3];②实体几何造型表示法(Constructive Solid Geometry),简称 CSG 表示法。其基本思想是:用简单实体的各种有序的“加”和“减”,通过布尔运算——并、差、交来表示复杂的实体,也即 Gambit 里的 top-down 表示法;③无二义性而又常用的扫描表示法,其基本思想是将“实体”的点取出,作为一个“区域集”,然后形成线,继而形成面,最后生成体。即 Gambit 里称到的 bottom-up 方式^[4]。目前大部分实体造型软件通常以其中一种方法作为基本方法,混合采用其他方法来构成系统。

1.3 叶轮模型的建立

三维模型的建立,是个复杂而细致的过程,需要大量的原始数据的准确输入,以便准确反映设计意图,为进一步的 CFD 计算提供精确模型。

叶轮作为一种结构、形状较为复杂的零件,建模时,需要混合采用多种方法来构成形体。首先将整个叶轮分解为多个特征,即前面讲到的 top-down 方式。通过特征之间的布尔运算逐步得到完整准确的实体。在每一特征之内,需要采用 bottom-up 方式造型,即首先取得点的数据,然后由这些点,根据 Gambit 造型命令逐步生成线,由线生成面,再生成体,完成每一步的特征造型。通常将零件最主要或者最大的部分作为基本特征,以搭积木的方式,在基

本特征的基础上,通过添加、去除和求交等布尔运算得到整个实体模型。构造三维实体模型的一般过程是由点生成线,再生成面,最后生成体,由简单的实体模型拼合成形状复杂的实体零件模型。

叶轮的造型是这样完成的:整个形体采用柱坐标系来建模。根据水力模型的参数,叶片由 10 个轴面把包角等分为 9 份。把叶轮的轴线定为 Z 轴,圆周方向为 θ 角,叶片上点到原点的距离定为 r 轴(参见图 1)。由水力模型上叶片点的参数值,可由 bottom-up 方式绘出基本特征图。

接着在基本特征的基础上进行特征的添加,对轮毂部分,根据轮毂的外径值及轮毂与叶片光滑相切等条件,利用获取到的参数值可绘出轮毂的特征图,用布尔命令把轮毂特征图与叶轮基本特征图相加,可添加到基本特征图上。布尔相加的操作可避免交接面处为 2 个面,从而不会影响 gambit 之后的网格划分。

最后,在基本特征的基础上继续添加前、后盖板。根据盖板的外径及厚度值获取参数,再利用前盖板与轮毂交接处相切的条件,利用 Gambit 的制图命令可绘制前后盖板特征图。为防止交接面处为两个面,仍要用到布尔加命令,使其添加到基本特征图上,从而完成整个叶轮的造型设计(图 2 所示的叶轮特征图)。

由于 Gambit 的修改功能很弱,一部分造型出错,会使整个造型前功尽弃,所以造型前要经过仔细的整体规划,形成切实可行的方案后方可开始造型。

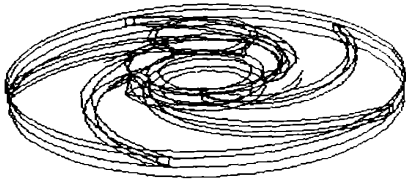


图2 叶轮特征

2 导叶模型的建立

2.1 导叶主要参数的确定

径向式导叶的流道由正导叶、环形空间(转弯部分)及反导叶组成。导叶的设计同叶轮一样,也是在已知泵的性能参数(流量、比转数、扬程及转速)及叶轮出口参数(出口宽度、叶轮外径、叶轮出口处液流绝对速度与圆周方向的夹角)的条件下确定导叶的设计参数。根据导叶的设计过程,取导叶基圆直径及导叶的一系列参数——进口宽度、导叶进出安放

角、叶片厚度、扩散角、出口宽度、叶片数、外径及反导叶的一系列参数——进口安放角、进口宽度、进口直径、叶片厚度、叶片数、出口安放角、出口直径等作为导叶的主要水力设计参数。

以 MD40-6.3 多级清水离心泵为例,导叶的参数如表 3。

表3 MD40-6.3 多级清水离心泵导叶设计几何参数

直径 D_3 /mm	宽度 b_3 /mm	高度 H 或 a_3 /mm
141.0	8.5	8.5

根据导叶参数确定的方法可绘出导叶的水力模型图如图 3。

2.2 导叶的实体造型

同叶轮一样,导叶建模时,仍然需要混合采用多种方法来构成形体。首先也是将整个导叶分解为多个特征,通过特征之间的布尔运算逐步得到完整的实体。在每一特征内,需要采用 bottom-up

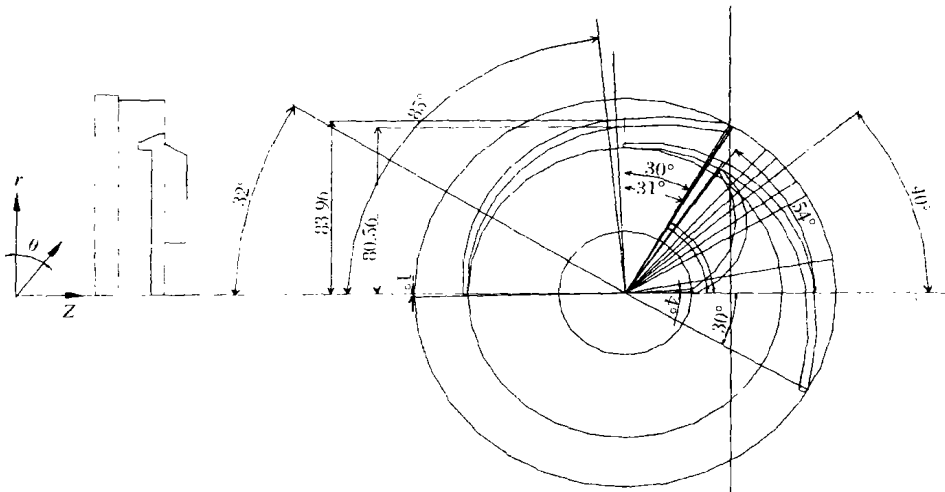


图3 导叶水力模型

方式完成每一步的特征造型。

导叶的造型是这样完成的:整个形体也要采用柱坐标系来建模。把导叶的轴线定为 Z 轴,圆周方向为 θ 角,导叶上点到原点的距离定为 r 轴(参见图 3)。首先生成导叶的基本特征。根据水力模型参数即导叶内径及内径主板厚度绘制出导叶的基本特征。接着在基本特征的基础上进行特征的添加,对正导叶部分:根据水力模型图的参数,先生成正导叶的螺旋线部分,由两段圆弧光滑相切的条件,从模型图上取得初始点、切点、终点的坐标值,输入到 *gambit*,再生成圆弧线,进而生成面。根据水力模型图上导叶侧面的数据,取得多组变半径的数据(以保证图形的准确性)生成侧面。把正导叶所有面封闭

起来,进而生成正导叶实体(如图 4)。

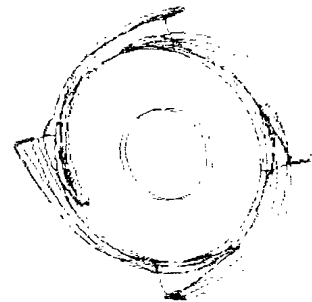


图4 正导叶细部特征

最后,在基本特征的基础上添加反导叶。反导叶的平面图上,由两段圆弧组成,利用 *bottom-up* 方式,取出 3 个特征点,由这些点生成线,继而生面。

同样步骤生成侧面,封闭所有面,最终形成反导叶实体(如图5所示)。

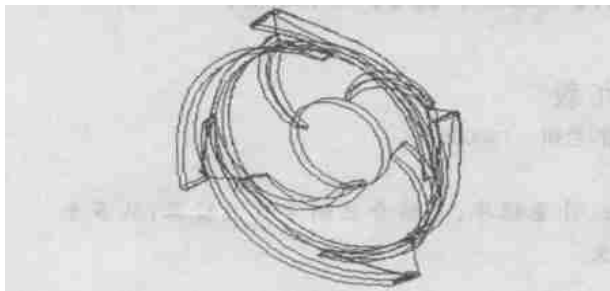


图5 反导叶细部特征

3 叶轮、导叶实体模型的生成

把叶轮、导叶的网格输入到 Fluent 里,利用 Fluent 里的参数化造型技术,设置灯光及渲染,可得相应的叶轮、导叶实体模型(如图6、图7所示)。



图6 叶轮三维实体

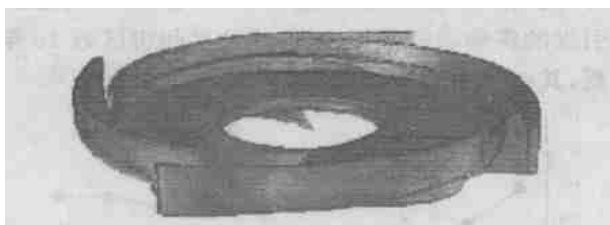


图7 导叶三维实例

4 讨论

由叶轮与导叶的造型过程可以看出,零件的造

型步骤是先分析零件,将其分解为若干子特征,并确定基本特征,然后在基本特征的基础上采用拼合或复合操作逐个添加各个子特征以组合生成局部模型,直至最后产生零件模型。

在进行叶轮与导叶的各部子特征造型时,首先仍要形成对模型的整体规划,是采用柱坐标系还是采用迪卡尔坐标系,是生成实体还是生成虚体,虽然 Gambit 可以实现高级绘图,但其修改功能非常弱,如果没有合理的规划,建模过程中多次的重复和反复就有可能使你无法完成建模。另外, Gambit 对网格的划分要求非常严格,如果体生成的不正确,或者是不满足 Gambit 的制图要求,则无法生成网格^[5]。如两种体交接面处要注意使用布尔命令,使其交接面处只生成一个面。关于实体与虚体的区别,一些复杂的图形生成体时,有可能一次无法生成实体,虚体可以弥补这个缺陷,但生成的虚体有可能连接处会出现问题,这些在网格划分时都会遇到阻碍,所以建议最好生成实体。

参考文献:

- [1] 孙永平.轴流式油气混输泵单个压缩级的流场计算[D].兰州:兰州理工大学图书馆,2003.10-13.
- [2] 关醒凡.泵的理论与设计[M].北京:机械工业出版社,1987.185-256.
- [3] 陈田.基于参数化特征造型的水泵导叶 CAD 系统研制[J].四川大学学报,2000,11(6):32-36.
- [4] Inoue Y, Kimura S, Ono H, *et al.* Some Performance Predictions for Volute-type Mixed-flow Pump Using CFD[J]. The 7th Asian International Conference on Fluid Machinery, Fukuoka, Japan, 2003, 10:7-10.
- [5] Tamm and Stoffel. Analysis of a Standard Pump in Reverse Operation Using CFD[J]. 20th LAHR Hydraulic Machinery and System, Lausanne, Switzerland, 2002, 10:20-23.

作者简介:

杨军虎,(1962-)男,陕西省蒲城人,1982年毕业于甘肃工业大学流体机械及工程专业,现任兰州理工大学流体机械及动力工程学院教授。