

摘要

本文将曲面造型与数值计算有机的结合在一起应用到离心泵叶轮的设计中。采用二维造型得到计算区域，通过对离心泵叶轮内部流场的数值计算与分析，得到较好的离心泵叶轮。

本文主要对离心泵叶轮的计算公式进行研究，并对离心泵叶轮的尺寸进行计算。建立了一个叶轮轴面投影图，为叶轮的绘型做准备。选择一种适合的绘型方法，完成离心泵叶轮的绘型。最后再利用 PRO/E 软件建立离心泵叶轮的三维实体模型,即完成了在 PRO/E 中的三维建模。

为了方便流场数值的模拟分析，使用 Gambit软件对所得的三维模型进行划分网格，运用fluent软件做出边界条件并计算，再使用 fluent软件对所设计的离心泵叶轮内三维流场进行了数值模拟，并对计算结果进行了分析。而后采用基于标准 $k - \epsilon$ 湍流模型来求解，在非结构化网格中，采用基于有限元的有限体积法对方程进行离散，用压力校正法进行数值求解。利用湍流模拟结果，分析了离心泵叶轮进口边位置对泵性能的影响。由于采用了多种求解方法和多重网格加速收敛技术，因而 fluent能达到最佳的收敛速度和求解精度。

本文结合实例和经验，通过对离心泵叶轮 CFD 计算结果的分析，说明所设计的叶轮是成功的。

关键词：离心泵叶轮；PRO/E；三维建模；数值模拟；计算流体动力学(CFD)

Based on PRO / E centrifugal impeller three-dimensional modeling and numerical simulation

Abstract

This article will surface modeling and numerical computation applied to the organic combination of centrifugal pump design. Be calculated using two-dimensional modeling area, through the centrifugal pump impeller Numerical calculation and analysis, get a better pump impeller.

In this paper, the formula for centrifugal pump impeller to study, and calculated the size of centrifugal pump impeller. The establishment of a leaf axle plane projection, the drawing of the impeller to prepare. Select the drawing of a suitable method to complete the drawing of centrifugal pump impeller. Finally, using PRO / E software to establish the three-dimensional model centrifugal pump impeller, which was completed in PRO / E in the three-dimensional modeling.

In order to facilitate numerical simulation analysis, the use of proceeds Gambit software mesh three-dimensional model, using fluent software to make the boundary conditions and calculate, and then use software designed for fluent centrifugal pump impeller flow field is numerically simulation and calculation results are analyzed.

Then based on the standard k- ϵ turbulence model to solve, in the unstructured grid finite element based finite volume method to discretize the equations using the numerical solution of the pressure correction method. Turbulence simulation using the results of analysis of a centrifugal pump impeller inlet side of the pump performance of the location. As a result of a variety of multi-grid solution method and the accelerating convergence technology, which can achieve the best fluent convergence speed and solution accuracy.

In this paper, examples and experience, through the centrifugal pump impeller CFD analysis results, indicating that the impeller is successful.

Keywords: centrifugal pump impeller; PRO / E; three-dimensional modeling; numerical simulation; computational fluid dynamics (CFD)

目 录

基于 PRO/E 离心泵叶轮三维建模及流场数值模拟分析

第一章 绪论

1.1 论文研究的背景：

泵广泛应用于国民经济的各个部门，它的技术性能对各相关行业影响巨大，长期以来采用“手工设计—样机生产—样机测试—设计修改”的生产路线，其不仅研制开发费用高，而且周期很长。随着近年来 CAD/CAM 的技术应用于我国的水泵行业，使得水泵行业整体设计、制造水平有了很大的提高。但与国外发达国家相比，仍存在很大的差距。虽然国内外有许多科研院所进行水泵 CAD/CAM 系统的开发，有的已经达到比较成熟的阶段。但与国内统属流体机械范畴的其它行业，如水轮机、压缩机、航空发动机等相比，水泵行业无论在技术储备、装备水平，还是新产品研发能力等方面还较落后^[1]。

同时，离心泵又是一种耗能设施。建国以来，我国建起了数万座泵站，据全国调查资料表明：泵站用电约占全国总用电量的 15%~20%，耗电量巨大是可想而知的。然而我国建成的绝大多数泵站，因容量偏大，运行效率低，能源浪费十分严重，装置效率普遍低于 50% 远低于水利部颁布规定的 55% 无用功率达泵站装机容量 30%~50%。早期离心泵叶轮的设计主要是先计算，然后再二维建模。随着科学的发展，近几年来，逆向工程在各个领域都有较好的发展，也就更促进了离心泵叶轮三维建模以及流场数值模拟分析的结果。

1.2 论文研究的意义：

叶轮是将来自原动机的能量传递给液体的零件，是一台泵的心脏^[2]。离心泵叶轮水力性能是决定离心泵性能的主要因素。叶轮的结构一般由前盖板、后盖板、叶片和轮毂所组成。而叶轮叶片的模具一直以来都是按二维坐标数据进行设计制造^[3]。对于空间扭曲叶片，传统的木模截线法都是由手工修造出木模型线，因此带来周期长、误差大等缺点。尤其在新产品研制阶段，由于这些缺点可能使得许多设计好的方案被舍弃^[4]。随着计算机技术与制造技术的飞速发展，用先进的 CAD/CAM/CAE 系统来代替传统的制作方法已成为现实^[5]。目前三维实体造型软件已发展得比较成熟，基于三维软件来建模设计将减少周期长、误差大缺点，更是设计的趋势。利用虚拟技术开发新产品费用低、周期短。随

着计算机图形学、可视化技术、软件工程、硬件设计及控制工程的迅速发展，虚拟现实技术应用于离心泵的设计与模拟也越来越受到广泛地关注。随着科学的发展，1980年始欧美国家许多学校及工业界开始注意逆向工程这块领域，1990年初期包括台湾在内，各国学术界团队大量投入逆向工程的研究并发表成果。逆向工程与一般的设计制造过程相反，是先有实物后有模型。仿形加工就是一种典型的逆向工程应用。目前，逆向工程的应用已从单纯的技巧性手工操作，发展到采用先进的计算机及测量设备，进行设计、分析、制造等活动，如获取修模后的模具形状、分析实物模型、基于现有产品的创新设计、快速仿形制造等。但是专门对流体机械的数字化设计与制造方面的系统研究甚少，关于这方面的文献报道也非常少。

1.3 论文相关研究的国内外现状

1.3.1 论文相关研究的国内现状

目前国内外离心泵叶轮设计的主要方法包括基于相似理论的相似换算法和基于统计规律的速度系数法^[7]。算法又称模型换算法，这种方法的核心即根据设计泵的比转速选择性能良好的模型泵，计算尺寸系数，由此得出设计泵的各个尺寸^[8]。这种设计方法原理简单，设计出的离心泵性能较好，是离心泵设计最普遍的方法之一。但是，利用这种方法设计出的离心泵很难超过模型泵的性能，而且当模型泵与实型泵的尺寸相差太大时，会产生尺寸效应，泵的流量、扬程以及效率等都会与相似换算值产生较大的差异^[9]。速度系数法建立在统计的基础上，反映泵的一般工作情况，设计中涉及大量的参数，各种不同的参数组合也可以达到相同的性能，再考虑到其中许多参数的取值范围很大，而且一些参数对泵性能的影响又互相矛盾，因此，按照这种方法确定叶轮参数存在较大的随意性，一般会导致设计工况与最佳工况不一致^[10]。

由此可以看出，相似换算法和速度系数法都要求设计人员有较丰富的实践经验，同时，由于二者都建立在相似理论的基础上，因此都受到了现有模型和系数的限制，不利于新叶轮的开发^[11]。随着计算机技术和叶轮内部流动研究的发展，离心泵叶轮设计得到了重大突破，基于三维设计方法已经被初步应用，其中最具代表性的就是吴仲华提出的基于两类相对流面的通用理论，这是一种准三维的方法。这个理论的基本思想是在流场中取多个相对流面，相对流面分

为流面和流面，通过在两类相对流面之间的迭代计算求得三维流动的流线，从而确定空间流场。这样三维计算问题便转化为两类相对流面上的二维计算问题，降低了对计算能力的要求^[12]。在工程中实际应用时，常将流面简化为相邻叶片间的中心流面，而流面则简化为一组由流面上的轴面流线形成的回转面，这种简化的计算称为准三维流动计算。在这个基础上，发展了一系列准三维设计方法^[13]。

1.3.2 论文相关研究的国外现状

传统的基于经验和一元理论的设计方法还要和大量的模型试验相结合，其一般过程是：首先根据一元理论和经验进行初步水力设计，然后进行样机试制，再对样机进行性能测试，如果性能达不到设计要求，则修改设计，再重复以上步骤，直到性能满足设计要求为止^[14]。在传统的泵的研制过程中，一个成功的水力设计模型往往要经过反复多次样机试制、性能测试和修改设计才能完成，因此其缺点是设计周期长、成本高^[15]。随着计算技术的飞速发展，复杂流动问题的模拟计算也迅速发展，大量的商用 CFD 软件不断的涌现，并被应用于离心泵内三维流场分析研究，国外研究机构 and 大型的泵生产企业运用商用 CFD 软件对泵内流场进行分析，使离心泵三维流场分布及泵内流动情况可视，对泵的性能进行预测，以“数值仿真试验”代替或减少样品泵的试验^[16]。相比较而言，由于逆向工程获得的数据存在较大误差，本文还是选用传统的设计方法。

1.4 离心泵叶轮的发展趋势

1.4.1 基于 CFD 分析的离心泵叶轮设计

随着逆向工程的发展以及它在各个领域的应用，使用逆向工程来辅助设计也日渐成熟^[17]。离心泵叶轮内部流动的研究主要有两个方面，一是流动测试，二是数值模拟^[18]。一般来说，离心泵叶轮内的流动是三维的湍流流动。叶轮的旋转和表面曲率效应以及随之而来的哥氏力和离心力，使叶轮内的流动极其复杂，并常伴有流动分离、二次流和尾迹流等。由于离心泵特殊的几何结构及复杂的内部流动，目前对内部流动的实验测量技术提出了更苛刻的要求。在离心泵叶轮设计过程中，以往的方法周期长、成本高，逆向工程的应用可以省去复杂的计算过程且更直观的做出三维模拟建模，然后再基于 CFD 的方法下，就是

正反问题相互迭代的方法^[19]。根据初步设计出的离心泵叶轮，进行三维湍流计算，根据计算结果，修正某些几何边界，再进行流动计算，采用人机对话，反复迭代，会得出性能优良，即高效率，并满足汽蚀条件及其它要求的离心泵。这种设计方法实际上是对叶片进行空间造型和修型，然后进行三维湍流计算，根据计算得到的流场，判别设计叶片的好坏^[20]。

1.4.2 离心泵数值计算的发展

叶轮是离心泵内部的一个关键过流部件，其设计的好坏将直接影响到整个离心泵的性能，目前，随着计算机水平和 CFD 技术的不断提高，对叶轮内部流场进行数值计算、模拟已成为可能，而且对叶轮内部的流动分析和研究有利于提高离心泵的效率，改善离心泵性能，对于我国泵行业的发展具有非常重要的意义。在目前流体机械研究领域，用于分析和认识流体机械内部流动理论的研究方法主要有三种：理论分析、实验研究和数值模拟。理论分析是最早也是最基本的方法，它能深入的认识到现象的本质规律，同时也是实验研究和数值模拟分析的基础。由于流体机械内部流动十分复杂，各种因素的相互作用使得理论分析不能顾及到全部因素，因而单靠理论分析的方法对流体机械内部流动进行研究远远不能满足工业工程的需要。因此实验研究成为早期研究流体机械内部流动的另一种重要方法。实验研究通过对产品模型进行测试分析，能综合考虑到影响流动的各种因素，结果客观可靠。但实验研究面临着设计周期长、投资大，数据精度和可靠性受测试仪器和环境的制约和影响，对流场的整体分析能力和细微流动机构的分析能力有限。与实验研究不同，数值模拟 (CFD 技术) 是近些年发展出的一种崭新、强大而有效的研究工具，因其投资小、研究周期短和精度易于提高等特点，迅速成为一种研究流体机械内部流动的有效方法，已广泛应用于各种流体机械内部流动的研究中，成为改进和优化叶轮设计的一个重要手段。

由于理论分析与实验研究在研究复杂流动时存在很多困难，随着计算机技术的迅速发展，数值模拟正逐步成为研究叶轮内部流场的主流研究方法。而将数值模拟与理论分析和实验研究有机的结合在一起就成为现阶段最为理想、最为有效的研究方式。随着流体机械设计理论的发展，数值模拟使得人们对流体机械过流部件内部的流动分析和模拟更加准确和可靠，使得设计人员求解流体

机械叶轮内部的复杂三维粘性流动成为可能。

近年来随着计算流体力学(CFD)技术的发展,离心泵叶轮内紊流计算也得到了长足的发展,而且随着大型商业软件的出现,我国在叶轮内部流动数值模拟方面也正在一步步接近世界水平,这也为设计研究人员研发新的叶轮、修改旧的叶轮提供了强有力的支持,对提高泵的各项性能给予理论支持。

1.5 本文主要工作

综合上述分析,本文以 PRO/E 作为生成叶片三维建模的方法,用 CFD 为其提供数值模拟分析方法,建立一种正反问题相互迭代的优化设计方法。具体工作主要有一下几个方面:

- 1.依据速度系数法求解离心泵基本参数,在得到泵的基本参数后,利用 PRO/E 生成三维实体造型,得到离心泵叶轮流场计算的模型;
- 2.对离心泵叶轮内部流动进行理论分析,在非结构化网格中对其的控制方程进行离散,并将边界条件进行转化;
- 3.熟悉计算流体力学(CFD)商用软件—CFX,在设计工况下对原型离心泵叶轮内的流动进行数值计算,并对其计算结果进行了分析。同时根据相关资料对计算结果进行对比分析,判定所设计离心泵叶轮的好坏;

第二章 离心泵叶轮的计算及叶片绘型

2.1 叶轮各部分尺寸的计算

设计离心泵的叶轮，第一步就需要把叶轮的轴面投影图绘制出来，而要绘制轴面投影图，就必须先计算出叶轮各部分的尺寸。这里必须知道的尺寸有叶轮的颈部直径 D_n 及叶轮的轮毂直径 d_h ，叶轮外径 D_2 以及叶轮的出口宽度 b_2 。计算这些尺寸最好有统一的公式，所以下面我将列出求叶轮线性尺寸的公式。

一、 计算叶轮线性尺寸的公式

利用设计流量 Q 、转速 n 以及比转数 n_s 计算各部分尺寸的公式设计水泵时，给定的设计参数有 Q 及 H ，而后可以根据 Q 和 H 选定 n ，并且计算出比转数 n_s ，故设计叶轮前已知 Q 、 H 、 n 及 n_s 。现利用其中的 Q 、 H 、 n 及 n_s 来计算线性尺寸。本文选用 $Q=10 \text{ m}^3/\text{h}$ 流量，汽蚀余量 1.5 米， $H=10$ 扬程，允许吸程 8.5 米，配套功率 550w，转速 2800r/min 效率 68%。。

泵的单位流量公式为：

$$Q_1 = \frac{Q}{nD^3}$$

单位流量对于相似水泵工况相似时（这里可以取设计工况为相似工况）是一常数，而对于另外一组相似水泵则是另外一个常数，故我们知道实际上单位流量 Q_1 是水泵比转数 n_s 的函数：

$$Q_1 = f(n_s)$$

从单位流量的公式我们可以求出泵的任意部分线性尺寸 D 的公式：

$$D = \frac{1}{\sqrt[3]{Q_1}} \sqrt[3]{\frac{Q}{n}}$$

如令 $\frac{1}{\sqrt[3]{Q_1}} = K$ ，则上式有：

$$D = K \sqrt[3]{\frac{Q}{n}} \quad (2-1)$$

从上面推导可知，K 与比转数有关，另外，对于线性尺寸，K 当然也不同，于是

求叶轮颈部当量直径 D_0 时，就有 $D_0 = K_0 \sqrt[3]{\frac{Q}{n}}$ ； $K_0 = f_{K0}(n_s)$

求叶轮出口宽度 b_2 时，就有 $b_2 = K_b \sqrt[3]{\frac{Q}{n}}$ ； $K_b = f_{Kb}(n_s)$

求叶轮外径 D_2 时，就有 $D_2 = K_2 \sqrt[3]{\frac{Q}{n}}$ ； $K_2 = f_{K2}(n_s)$

$$D=C \frac{\sqrt{2gH}}{n}$$

(2-2)

如求叶轮出口直径 D_2 ，则有 $D_2 = C_2 \frac{\sqrt{2gH}}{n}$ ； $C_2 = f_{c2}(n_s)$

如求叶轮出口宽度 b_2 时。则有 $b_2 = C_b \frac{\sqrt{2gH}}{n}$ ； $C_b = f_{cb}(n_s)$ 。

计算叶轮的各部分尺寸时，用公式（2-1）或公式（2-2）都是一样的，但不管用哪个计算，要具体计算，就需知道系数K 或系数 C。

二、 求颈部当量直径 D_0

叶轮的轮毂直径 d_h 是根据轴的强度和结构形式决定的，如求得颈部当量直径 D_0 ，则有了 d_h ，就可求出颈部直径 D_n ：

$$D_n = \sqrt{D_0^2 + d_h^2}$$

(2-3)

关于叶轮颈部当量直径与汽蚀性能的关系，对于汽蚀性能的第一临界值来讲，系数 $K_0=4.0\sim 4.5$ 最好，对于汽蚀性能的第二临界值来讲，系数 $K_0=5.0\sim 5.5$ 最好，现在从水力损失最小来求 K。

要求叶轮内水力损失最小，就应使叶轮进口出相对速度 W_1 小。 W_1 小则进口损失小及叶轮内摩擦阻力损失小。根据进口速度三角形：

$$W_1^2 = V_1^2 + U_1^2$$

(2-4)

式中 $U_1 = \frac{n}{60} D_1$ 式中 D_1 是轴面液流中间流线进入叶片处得直径，如以叶轮颈部直径 D_n 来表示 D_1 ，则 K_1 是系数，此系数与叶片进口边的形状及位置有关，故 K_1 与比转数 n_s 有关， K_1 的数值约为： $K_1=0.77 \sim 1.0$ 比转数越大，则 K_1 越小。

叶轮颈部处得绝对速度 V_n ，如果进口处速度环量 $\Gamma_1=0$ ，则有 $V_n = \frac{4Q}{D_n^2 - d_h^2}$

而叶轮叶片进口边的前得绝对速度 V_0 则为： $V_0 = K_2 V_n$

式中 K_2 是修正系数，修正叶片进口边前过流断面面积与颈部过流断面面积不相等及过流断面上流速分布不均匀的系数，因此， K_2 与叶轮形状有关，因而 K_2 也是与比转数 n_s 有关，的系数。对于一般水泵叶轮来讲，

$$K_2=0.9 \sim 1.0$$

比转数 n_s 越小，则 K_2 应越小。

$$V_1 = \frac{K_2 4Q}{D_n^2 - d_h^2} \quad (2-5)$$

将公式 (2-5) 及 (2-6) 带人 (2-4) 中，则有：

$$W_1^5 = \frac{1}{60} K_1^2 D_n^2 n^2 \frac{K_2^2 4^2 Q^2}{D_n^2 - d_h^2} \quad (2-7)$$

于是得到： $D_0 = K_0 \sqrt[3]{\frac{Q}{n}} = 5 \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 60}{2800}} = 3m。$

三、叶轮出口直径 D_2

求叶轮出口直径 D_2 时也从提高水泵效率的观点出发。在水泵中压出室中流速极高，故在压出室中的压力损失很大。为了提高水力效率，应尽量减少压出室进口处的流速，也就是要尽量减少叶轮出口处的液体的绝对速度。叶轮出口处的绝对速度 V_2 与直径 D_2 的关系和 V_2 与出口圆周速度 U_2 的关系是一样的， V_2 与 U_2 的关系可从叶轮出口速度三角形中找到。

$$\text{叶轮外径的公式 } D_2 = K_2 \sqrt[3]{\frac{Q}{n}} = 1 \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 60}{2800}} = 0.6m$$

四、计算叶轮出口宽度 b_2

叶轮出口宽度 b_2 应等于：

$$b_2 = C_b \sqrt[3]{\frac{2gH}{n}} \quad n_s = \frac{3.65n\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}} = \frac{3.65 \frac{2800}{60} \sqrt{10}}{10^{\frac{3}{4}}} = 95.78$$

$$C_b = 1.30 \frac{n_s}{100}^{\frac{1}{2}} = 1.30 \frac{95.78}{100}^{\frac{1}{2}} = 1.22$$

$$b_2 = 1.22 \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 9.8 \cdot 10 \cdot 60}{2800}} = 2.5m$$

2.2 叶轮轴面投影图的绘制

设计叶片泵叶轮，首先就是计算各部分的尺寸，然后进行轴面投影图的绘制。

一、用设计参数 Q 、 H 及 H_{gr} 决定转速 n

决定转速 n 首先要考虑到设计出的泵要满足泵的容许吸入高度的要求。

$$C = \frac{5.62n\sqrt{Q}}{h_a^{\frac{3}{4}}} = \frac{5.62 \frac{2800}{60} \sqrt{10}}{1.5^{\frac{3}{4}}} = 612$$

设计一般的泵叶轮， $C=800 \sim 900$ ，如要 C 再高，则要采取提高汽蚀性能的措施，这对于提高水泵的效率是有矛盾的，如果设计高汽蚀性能的叶轮，则 C 可达到 $1100 \sim 1400$ ，如要 C 再高，则就只好增加诱导轮。

用电动机转速系列代入，如 $2950r/min$ 、 $1450 r/min$ 、 $970 r/min$ 等代入，挑选合适的汽蚀比转数，同时就决定了转速 n 。

二、求 n_s 来修改上一步决定的转速或决定水泵的级数 i

1. 将上面的转速 n 代入比转数公式，看 n_s 是否适当

$$n_s = \frac{3.65n\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}} = \frac{3.65 \frac{2800}{60} \sqrt{10}}{10^{\frac{3}{4}}} = 95$$

如果 n_s 不适当，可以根据电动机转速系列降低转速，以求得适当的 n_s ，升高转速是受到汽蚀比转数 C 限制的，故只能降低转数。

2、决定水泵的级数 i

有时水泵扬程较高，用单机泵则比转数 n_s 太低，是水泵效率很低，提高转速又受到汽蚀比转数的限制，这时可以设计多级泵，其级数的选择要先计算出级数 i 与 n_s 的关系：

$$n_s = \frac{3.65n\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}} \cdot \frac{3.65n\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}} i^{\frac{3}{4}}$$

i 不得太大，一般卧式离心泵不要超过8级，最多不得超过12级，本文选8级。

三、 水泵的计算功率 P_d

泵的输入功率 P 为：

$$P = \frac{Q \cdot gH}{1000} \text{ KW} = \frac{10 \cdot 1 \cdot 9.8 \cdot 10}{1000 \cdot 68\%} \text{ KW} = 1.441 \text{ KW}$$

式中泵的效率可以根据已决定的泵的结构形式、泵的比转数和泵流量的大小，参考同类型水泵先估计。泵的计算功率 P_d 等于：

$$P_d = K_1 K_2 P = 1.05 \cdot 1.10 \cdot 1.441 = 1.664 \text{ KW}$$

式中 K_1 为特性曲线偏差系数， $K_1 = 1.05 \sim 1.10$ ，工厂工艺水平高者取小值，低者取大值。 K_2 为流量偏差系数，泵运转时流量可能大于或小于设计工况的流量，流量偏离设计工况的流量后，输入功率也会变化，故系数 $K_2 = 1.10$ 。

四、 计算转子力矩

$$M = \frac{9550 P_d}{n} \text{ N} \cdot \text{M} = \frac{9550 \cdot 1.664}{2800} \text{ N} \cdot \text{M} = 5.68 \text{ N} \cdot \text{M}$$

式中， P_d 的单位为 KW， n 的单位为 r/min。

五、 求轴的最小直径

$$d = \sqrt[3]{\frac{M}{0.2}} \text{ cm} = \sqrt[3]{\frac{5.68 \cdot 100}{0.2 \cdot 5000}} \text{ cm} = 0.75 \text{ cm}$$

式中单位 M 取 $\text{N} \cdot \text{cm}$ ， τ 取 N/cm^2 。许用切应力 因为只考虑扭矩，而其他应力均被忽略，故要降低使用，对 45 号钢 可 $4900 \sim 5000 \text{ N}/\text{cm}^2$ 。

六、根据泵的级数 i ，泵的结构类型，参考类似水泵转子的图纸，绘制出泵的结构草图。

七、计算叶轮各部分的尺寸

叶轮的轮毂直径 d_h 可用下式求得： $d_h = 1.20 \sim 1.25 d_1$

然后再求出叶轮的颈部直径 d_n 、叶轮的出口宽度 b_2 以及叶轮的出口直径 D_2 。

八、找相近比转数叶轮的轴面投影图作为参考，根据计算所得的叶轮线性

尺寸 D_2 、 b_2 、 D_n 及 d_h 以及对汽蚀性能的要求，初步作出叶轮的轴面投影图，如图 2-1 所示。



图 2-1 叶轮轴面投影图

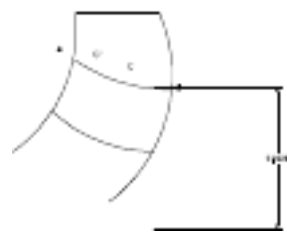


图 2-2 在轴面液流过流断面上分流线

2.3 叶片的绘型

在轴面流动计算中，已经确定了叶轮的轴面投影图。为了确定离心泵叶片的形状，还需计算叶片上各点所在轴面的位置。对应轴面流动计算时采取的方法，叶片绘形也有多种方法。

2.3.1 一元理论叶片绘形方法

运用一元理论设计叶片时，较常使用的有保角变换法，扭曲三角形法，柱形叶片绘形法以及逐点积分法。

2.3.1. 保角变换法

保角变换法的实质是将流面通过保角变换方法展开成圆柱面，在圆柱展开平面上凭借经验绘制流线，再将平面流线转换成流面上的空间流线。由平面流线即可确定各流线上计算点的轴面位置，从而确定叶片的空间形状。保角变换法的优点是可以保证叶形骨线上叶片安放角的合理变化规律。叶片包角也容易控制。

2.3.1. 扭曲三角形法

在叶轮中，作一系列轴面以及垂直于叶轮旋转轴线的平面，这两组平面与空间流面的交线形成了正交网格。这些正交网格线与空间流线形成了一系列曲边三角形。当这些曲边三角形足够小时，可以近似认为它们是平面三角形，扭

曲三角形法正是利用这一点，在平面内凭借经验绘制流线，结合轴面投影图将展开面内的流线转换成空间流线在垂直于旋转轴线的平面内的投影。扭曲三角形方法的优点是可以保证展开平面内的流线长度与空间流线长度比较近似，但包角不易控制，因而进出口边难以保证都在同一轴面内。

2.3.1. 柱形叶片绘形法

这种方法主要适用于比转速比较低，叶片扭曲程度很小的离心泵叶片。柱形叶片绘形方法非常简单，但对于叶轮前盖板位置，叶片安放角与水流角可能差别较大，这样设计的叶片撞击损失较大。

2.3.2 二元理论叶片绘形方法

在运用二元理论计算轴面流线之后，通常使用轴面有势流动二元理论叶片绘形方法。这种方法通过叶片骨线微分方程，给定第一条流线上的速度矩分布规律求出该流线的包角。根据有势流动的假设，沿着叶片轴面截线的速度矩为常数，在其他流线上找到与第一条流线各计算点具有相同速度矩的计算点，连接各流线的同名点即绘制出叶片的轴面截线。这种方法在理论上较严格，但速度矩分布规律的给定依赖于设计者的经验，叶片包角也不易控制。

2.3.3 叶片绘型的具体过程

在二元理论叶片绘形方法中，理论上较严格，但速度矩分布规律的给定依赖于设计者的经验，叶片包角也不易控制。本文主要运用一元理论叶片绘形方法中的方格网保角变换叶片绘型法，此方法也解决了二元理论叶片绘型方法的缺点。在前面已经把轴面投影图画出来了，并且在上面分好流线，下面就可以直接进行叶轮叶片的绘型，即是把叶轮内叶片的形状设计出来。每条轴面流线绘制一个叶片型线，3~5条轴面流线可绘制3~5个叶片型线，把3~5叶片型线拼起来，就可得到一个叶片的形状。

1、在轴面投影图的轴面流线上分点

在流面上分点相当于在流面上做方格网，具体分点法如图2-3所示，

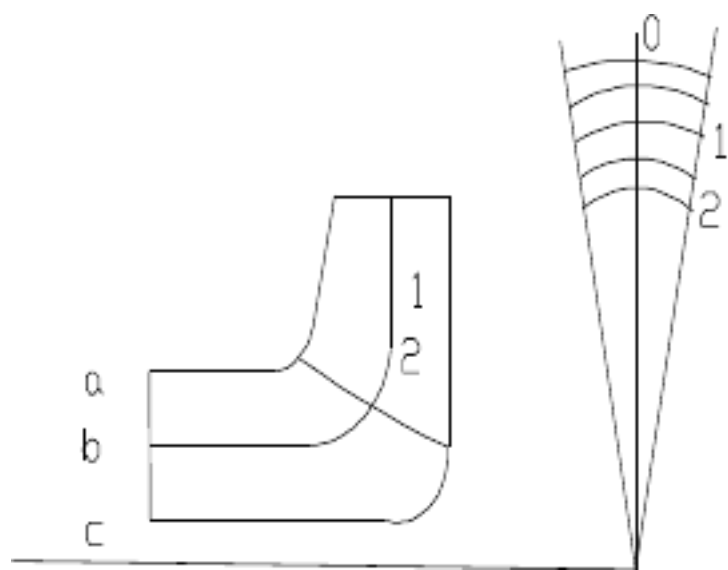


图 2-3 在轴面流线上分点

- 2、修改进口边位置
- 3、做方格网并在方格网上进行叶片绘型
- 4、做轴面截线
- 5、检查叶片与盖板之间的夹角
- 6、决定叶片厚度 S
- 7、检查叶轮中的相对速度与叶片长度 L 的关系曲线以及检查速度矩与叶片长度的关系曲线。
- 8、在轴面截线图上加叶片厚度
- 9、作木模图

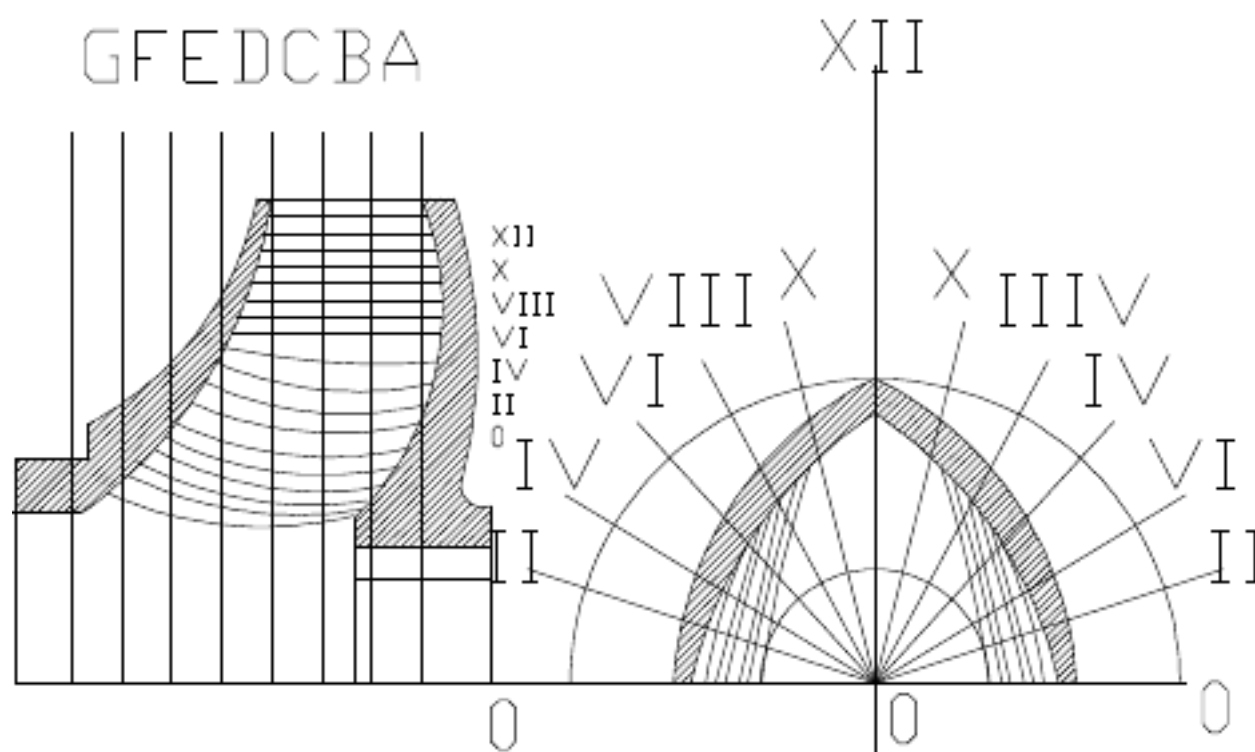


图 2-4叶轮的木模图

2.4 本章小结：

本章主要对离心泵叶轮的计算公式进行研究，并对离心泵叶轮的尺寸进行计算。建立了一个叶轮轴面投影图，为叶轮的绘型做准备。着重讲述了离心泵叶轮的几种绘型方法，选择一种适合的方法，完成离心泵叶轮的绘型。

第三章 基于 PRO/E 离心泵叶轮三维建模及划分网格

3. 数值模拟分析基础

叶轮是离心泵的重要过流部件，叶轮设计的优劣对泵的性能有很大的影响。近几年来，用CFD 对离心泵叶轮内流场计算已成为优化设计结果的重要工具。本文选用PRO/E 进行三维建模，再应用GAMBIT 软件对二维叶轮进行网格划分。

3.2PRO/E 概述

Pro/Engineer 操作软件是美国参数技术公司（PTC）旗下的CAD/CAM/CAE 一体化的三维软件。Pro/Engineer 软件以参数化著称，是参数化技术的最早应用者，在目前的三维造型软件领域中占有着重要地位，Pro/Engineer 作为当今世界机械 CAD/CAE/CAM 领域的新标准而得到业界的认可和推广。是现今主流的 CAD/CAM/CAE 软件之一，特别是在国内产品设计领域占据重要位置。

3.2.1PRO/E的主要特性

PRO/E 第一个提出了参数化设计的概念，并且采用了单一数据库来解决特征的相关性问题。另外，它采用模块化方式，用户可以根据自身的需要进行选择，而不必安装所有模块。PRO/E 的基于特征方式，能够将设计至生产全过程集成到一起，实现并行工程设计。它不但可以应用于工作站，而且也可以应用到单机上。

PRO/E 采用了模块方式，可以分别进行草图绘制、零件制作、装配设计、钣金设计、加工处理等，保证用户可以按照自己的需要进行选择使用。

1. 参数化设计，相对于产品而言，我们可以把它看成几何模型，而无论多么复杂的几何模型，都可以分解成有限数量的构成特征，而每一种构成特征，都可以用有限的参数完全约束，这就是参数化的基本概念。

2. 基于特征建模

Pro/E 是基于特征的实体模型化系统，工程设计人员采用具有智能特性的基于特征的功能去生成模型，如腔、壳、倒角及圆角，您可以随意勾画草图，轻易改变模型。这一功能特性给工程设计者提供了在设计上从未有过的简易和灵活。

3. 单一数据库（全相关）

Pro/Engineer是建立在统一基层上的数据库上，不象一些传统的CAD/CAM系统建立在多个数据库上。所谓单一数据库，就是工程中的资料全部来自一个库，使得每一个独立用户在为一件产品造型而工作，不管他是哪一个部门的。换言之，在整个设计过程的任何一处发生改动，亦可以前后反应在整个设计过程的相关环节上。例如，一旦工程详图有改变，NC（数控）工具路径也会自动更新；组装工程图如有任何变动，也完全同样反应在整个三维模型上。这种独特的数据结构与工程设计的完整的结合，使得一件产品的设计结合起来。这一优点，使得设计更优化，成品质量更高，产品能更好地推向市场，价格也更便宜。

3.2.2 PRO/E的功能

Pro/Engineer 功能如下：

1. 特征驱动（例如：凸台、槽、倒角、腔、壳等）；
2. 参数化（参数=尺寸、图样中的特征、载荷、边界条件等）；
3. 通过零件的特征值之间，载荷/边界条件与特征参数之间（如表面积等）的关系来进行设计。
4. 支持大型、复杂组合件的设计(规则排列的系列组件，交替排列，Pro / PROGRAM 的各种能用零件设计的程序化方法等)。
5. 贯穿所有应用的完全相关性(任何一个地方的变动都将引起与之有关的每个地方变动)。其它辅助模块将进一步提高扩展 Pro / ENGINEER的基本功能。

基于以上优点，本文选用PRO/E进行三维建模。

3.2. 基于PRO/E 离心泵叶轮的三维建模

在泵研究与制造领域中CAD 技术得到了广泛应用，并从二维绘图发展到三维设计。三维实体模型能进行装配，检查其干涉情况，进行机构的运动分析、有限元分析以及流场流动的校核，并预测其产品性能等。如今三维建模主要的软件有Pro/Engineer UG 、SolidWorks、 MDT 、CATIA 。汪永志、李安虎、陈次昌、黄明星等人分别使用 PRO/E 、 MDT 、 SolidWorks、 CATIA 对离心泵的叶轮、过流部件和蜗壳进行了三维设计，但至今尚未看到关于多级离心泵整体三维造型的文献，因此本文通过Pro/Enginee的实体三维造型方法对多级离心泵进行了三维建模和装配设计。

- 1、 (1)拉伸得到圆柱；
- (2)做出圆弧曲线旋转即得到叶轮颈部；
- (3)描绘出叶片绘制如图3-1

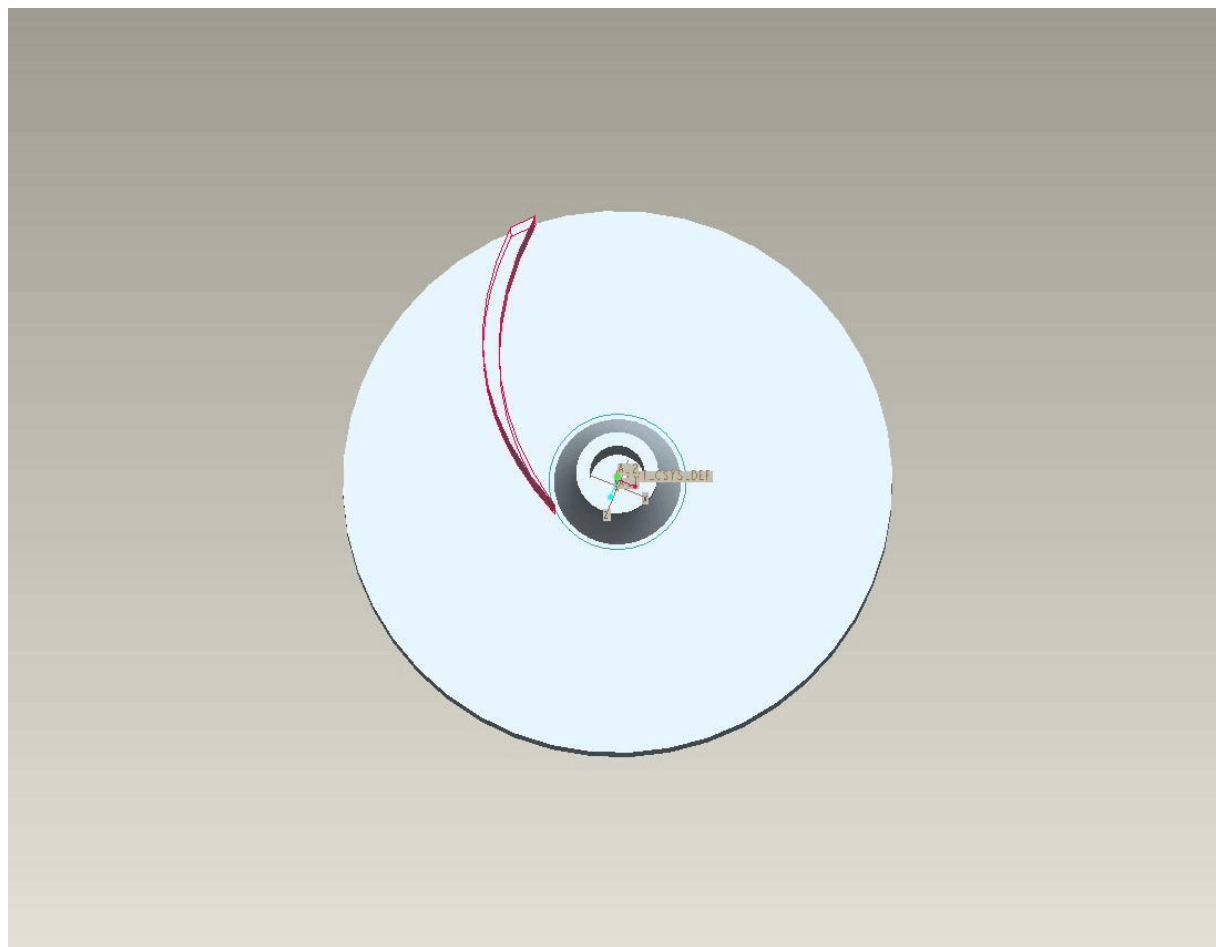


图3-1 叶片的描绘

- 2、 阵列后拉伸即得到叶片如图3-2

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/376005035215011000>