# 离心泵可控包角扭曲叶片绘形新方法

严 敬，周平月，王中洲，潘光玉
（西华大学 能源与环境学院，四川 成都 610039）

**摘 要**：为了进一步提高离心泵的水力性能，提出了一种扭曲叶片设计绘形新方法.这一方法在吸取传统扭曲三角形绘形法某些特点的同时，在保证叶片上相对流线的安放角合理变化的条件下，设计人员能根据需要给定各流线的包角，从而优化了这一几何参数.给出了这一方法的基本原则，即在一个与叶轮轴心线垂直的平面上，根据给定的叶片包角和安放角均匀变化的要求，直接绘形叶片表面相对流线的投影曲线，然后在局部全等的条件下获得曲线的展开图，以检查和修正投影曲线.给出了这一方法的详尽绘形过程.

**关键词**：离心泵；扭曲叶片；绘形；包角；设计
**中图分类号**：TH311 **文献标志码**：A **文章编号**：1005-6254(2008)03-0039-03

# New drawing method for centrifugal impeller distorted blade with adjustable wrapping angle

*YAN Jing, ZHOU Ping-yue, WANG Zhong-zhou, PAN Guang-yu*
(School of Energy and Environment, Xihua University, Chengdu, Sichuan 610039, China)

**Abstract**: In order to improve the hydraulic performance of distorted blades in centrifugal pump, a new method to design and draw this type of blade was presented. The new method contains some traditional features of "distorted triangle" method, and also some new features. While ensuring the reasonable distribution of setting angle along a relative streamline on blade surface, a specific wrapping angle of the streamline is given based on the requirements to optimize the angle. On a plane perpendicular to impeller axis, based on a given wrapping angle and even distribution of setting angles, the projected curve of the streamline lying on blade surface can be plotted. Then, under the condition of localized identity, this curve is inspected and corrected. The detailed blade drawing process is also described.

**Key words**: centrifugal pump; blades; drawing; wrapping angle; design

过大的叶片包角表明了叶片摩擦面积较大，不利于提高叶片泵水力效率[1-3]. 叶片数 $Z$ 和叶片包角 $\phi$ 的乘积与叶轮比转速 $n_s$ 的关系见表1[4].

**表1 $Z\phi$ 与叶轮比转速 $n_s$ 的关系**
**Tab.1 Relationship between $Z\phi$ and specific speed $n_s$**

| $n_s$ | 35~50 | 55~70 | 80~120 | 130~220 | 230~280 |
|---|---|---|---|---|---|
| $Z\phi/360$ | 2.1~2.3 | 1.9~2.1 | 1.7~1.9 | 1.5~1.8 | 1.4~1.65 |

扭曲三角形法是扭曲叶片绘形的一种传统方法.这一方法具有原理清晰、绘形直观的优点[5,6]. 但是在这一方法的使用过程中，设计人员不能事先给定叶片包角，叶片进口边一般不能置于同一轴面内.这些不足严重限制了这一方法的应用.

笔者介绍一种新颖的扭曲叶片绘形方法，这一方法传承了传统的扭曲三角形法的一些优点，同时克服了传统方法的叶片包角不能事先由设计人员给

收稿日期：2007-09-20
基金项目：四川省重点学科项目(SZD6412)
作者简介：严 敬(1947—)，男，江苏苏州人，教授(pgy_3721@163.com)，主要从事泵类机械流场分析及设计新方法的研究.
周平月(1984—)，男，湖南郴州人，硕士研究生(mailtowangtao@sohu.com)，主要从事泵类机械设计新方法的研究.

定,在设计过程中也难以调整这一严重缺陷.

## 1 原理与步骤

在一个与叶轮轴心线垂直的平面图上,根据叶片进、出口边已确定的几何条件,直接绘形相对流线(计算流面与叶片工作面相交所得空间曲线)的平面投影,然后在相对流线的平面展开图上检查修正其光滑性和安放角变化规律.

假设在设计前期已确定了叶轮轴面图,以一元或二元理论划分了中间轴面流线,确定了叶片进口边,如图1;3条计算流线的进、出半径和叶片安放角也都已确定.把一条分布在某一流面上的相对流线投影到轴垂面上时,应注意所有径向尺寸都不变,但叶片安放角会减小.如果流线上一点的叶片安放角为$\beta_y$,这一角度投影到轴垂面后减小为$\beta$,且有[1]

$$\beta = \arctan(\tan\beta_y \sin\varepsilon) \qquad (1)$$

式中$\varepsilon$是轴面图上流线的切线与过讨论点水平线的夹角,见图1.轴面图中3条流线实际代表了3张流面,每张流面上分布着一条相对流线,在各流面上绘形与检查相对流线的过程是相同的.

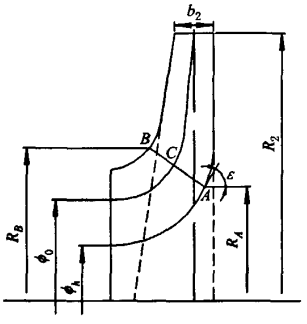



图1 叶片轴面图

Fig.1 Blade meridional projection

在图1上,在一条流线上确定若干个分点.图2中,流线进口点(流线与进口边的交点)的编号为1,流线出口点的编号为11.这些分点仅起相对坐标作用,分点之间的距离不一定等长.量出各分点到叶轮轴心线距离为$r_1, r_2, \cdots, r_{11}$,显然$r_{11}$就是叶轮半径.根据叶轮比转速和已确定的叶片数$Z$,参考表1确定叶片包角$\phi$,并以夹角为$\phi_n = \phi/n$的$n+1$个轴面把$\phi$分成$n$份.这样,这一流面在轴垂面上的投影将分布在两组曲线之间,它们是半径分别为$r_1$, $r_2$, $\cdots$, $r_{11}$的同心圆,过圆心夹角为$\phi_n$的一组射线,后者实际上代表了一组轴面.图3显示了11个轴面.

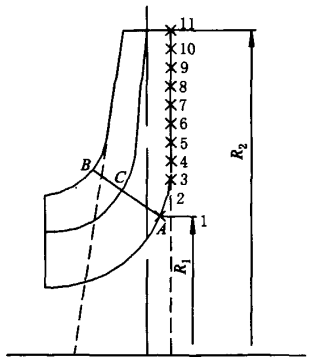



图2 轴面流线分点

Fig.2 Dividing points on meridional streamline

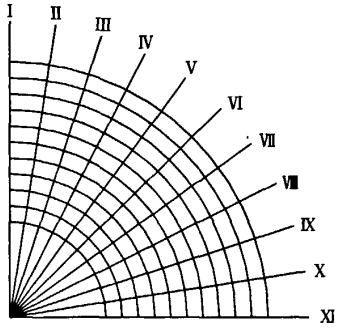



图3 流面的平面投影

Fig.3 Piojected streamsurface on a plane

利用式(1)和已确定的叶片进出口安放角,计算相对流线平面投影的出口安放角$\beta_{\mathrm{I}}$(位于圆$r_{11}$和射线 I 的交点)及进口安放角$\beta_{\mathrm{XI}}$(位于圆$r_1$和射线 XI 的交点).平面投影曲线与其他射线交点处的平面安放角可按一定规律给出,比如,在假定这一角度随包角按线性规律变化且轴面数为11时,从进口到出口各射线处安放角为

$$\beta_n = \frac{\beta_{\mathrm{XI}} - \beta_{\mathrm{I}}}{\phi}\phi_n(n-1) + \beta_{\mathrm{XI}} \qquad (2)$$

$$(n = 1,2,\cdots,11)$$

这样就确定了相对流线在轴垂面上的投影与各射线交点处的平面安放角$\beta_{\mathrm{XI}}, \beta_{\mathrm{X}}, \cdots, \beta_{\mathrm{I}}$.流面上相对流线的平面投影显然位于图3中最大平面曲边四边形内.从出口$A$点作一线段与圆周11夹角为$\beta_{\mathrm{I}}$,交射线 II 于$B$点,再从$B$点作一线段交射线 III 于$C$点,线段与过$B$点圆的切线夹角应为$\beta_{\mathrm{II}}$,等等,见图4.事实上,可以从平面曲线进口、出口两边作线段向中间汇合.但是,这种合拢的结果并不能保证在结合处曲线光滑连续.这表明,在给定几何条件下不存在一条安放角能线性变化的平面曲线.这时,可以把除进

出口轴面外其他初定各点在射线上移动，直到各点分布合理为止. 这样做的实质是在调整平面曲线的部分安放角.

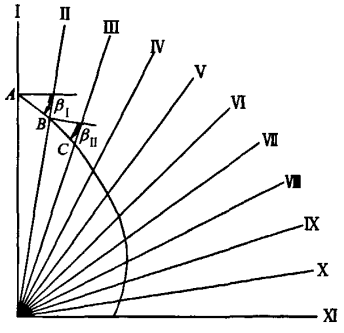



图4　相对流线的平面投影

Fig. 4　Piojected relative streamline on a plane

现将通过所获各点的平面曲线展开以考查这一曲线的光滑性和连续性. 在平面上作一组水平平行线，它们的距离分别为$r_{11}-r_{10}$，$r_{10}-r_9$，$\cdots$，$r_2-r_1$；再作一铅垂线 I 作为出口边定位，并确定 $A$ 点，见图5. 在图4中，量出线段 $AB$ 中点半径 $r_{AB}$ 并计算 $r_{AB}\phi_n$（弧度），在图5中，在铅垂线 I 右方相距 $r_{AB}\phi_n$ 处作铅垂线 II. 图4中 $B$ 点位于圆周10，11之间，按相同的距离在图5中 II 线上确定 $B$ 点. 同样，量出图4中线段 $BC$ 中点半径 $r_{BC}$，计算 $r_{BC}\phi_n$ 得到垂线 II 右边垂线 III，并根据 $C$ 点在圆周9，10之间，可以在展开图的竖线 III 上确定 $C$ 点，等等，最后可以得到展开图上进口点. 可以看到，图5中一组横线和一组竖线都是不等距的，从而实现了平面展开图与原平面曲线局部全等，对应线段长度和角度都不变的目的. 在图5上所获各点应在一光滑曲线上，曲线与水平线夹角变化应均匀. 如果不满足上述要求，可将相应点在图5中的竖线上上下移动（这时，有关铅垂线距离要变化），并在图4的射线上等量移动对应点，直到平面展开曲线符合要求为止. 作者所做的大量试算表明，这种修正可以较快获得结果.

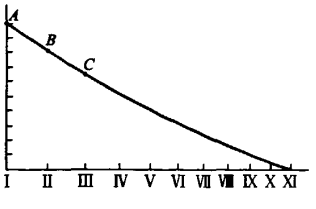



图5　平面相对流线展开图

Fig. 5　Developed planar relative streamline

3条空间曲线应有相同的包角 $\phi$，当然，它们的进口圆周半径是不相等的. 作一条与3条平面投影相对流线进口所在射线有给定夹角的射线，这一射线实际代表了一个位置确定的轴面. 根据射线与3条平面相对流线的交点到圆心的距离在轴面图上不变的原则，可以在叶轮轴面图的3条流线上确定3点，它们的连线就是相应轴面与叶片工作面相交产生的轴面截线. 这样的轴面截线可以作出几条. 按一定规律加厚叶片即可完成叶轮设计.

## 2　结　论

给出了包角可以根据需要给定的扭曲叶片绘形新方法. 这一方法通过局部的全等变换，能获得几条流线上比较理想的相对流线状态，有望进一步改进扭曲叶片的水力性能.

### 参考文献（References）

[1] 严　敬. 低比转速离心泵——原理、参数优化及绘形[M]. 成都：四川科学技术出版社，1998：36－38，154－155.

[2] Mustafa Göcü, Yasar Pancar. Investigation of performance characteristics in a pump impeller with low blade discharge angle[J]. *World Pumps*（S0262－1762），2005(468)：32－40.

[3] 谈明高，刘厚林，袁寿其. 离心泵水力损失的计算[J]. 江苏大学学报：自然科学版，2007，28(5)：405－408.
TAN Ming-gao, LIU Hou-lin, YUAN Shou-qi. Calculation of hydraulic loss in centrifugal pumps[J]. *Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition*, 2007, 28(5): 405－408. (in Chinese)

[4] 陈乃祥，吴玉林. 离心泵[M]. 北京：机械工业出版社，2003：114－115.

[5] Lobanoff V S, Ross R R. *Centrifugal Pumps: Design and Application*[M]. 2nd ed. Houston, Texas: Gulf Publishing Company, 1992: 36－40.

[6] 付　强，朱荣生，李维斌. 扭曲叶片离心泵叶轮内三维湍流数值模拟[J]. 排灌机械，2005，23(3)：14－16.
FU Qiang, ZHU Rong-sheng, LI Wei-bin. Numerical simulation of 3D turbulent flow in the centrifugal pump with twisted-blade[J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2005, 23(3): 14－16. (in Chinese)

（责任编辑　张文涛）