

# 三叶片半开式无堵塞叶轮设计方法研究

朱荣生，曹卫东，李红，潘中永

(江苏大学流体机械工程技术研究中心)

**摘要：**对三叶片半开式无堵塞叶轮的设计方法进行了研究，并对已有的数据进行了科学的统计分析。得到了三叶片半开式无堵塞叶轮参数的统计公式。

**关键词：**三叶片，开式叶轮，设计

**文献标识码：**A      **文章编号：**1005-6254(2002)06-0010-03

## 0 引言

半开式叶轮污水泵的防缠绕性能良好，因此它常用于抽送纸浆和城乡污水等。叶片式污水泵是一种常用的泵，它的叶轮制作技术成熟，性能稳定，高效区宽，效率较高。用传统加工技术加工半开式叶轮，难以保证其精度，叶轮与前盖板之间的配合间隙很难达到设计要求，导致泵的效率降低，这就制约了半开式叶轮污水泵的推广。随着数控车床的普及，制约半开式叶轮污水泵推广的瓶颈已经突破，半开式叶轮污水泵的效率有了较大幅度的提高，甚至接近多叶片闭式叶轮清水泵水平。

作者在开发低浓度纸浆泵产品时，采用了流道较宽的三叶片半开式叶轮，在结构上将与叶轮配合的前泵盖设计成可调式，保证叶轮与前泵盖的间隙能经常处于最优状态。通过优化设计，获得了一些性能较优的泵。本文采用现代统计学方法和理论，对这些性能较好的叶轮进行统计分析，获得的叶轮设计公式对今后的产品开发和进一步研究有一定意义。

## 1 设计理论

三叶片半开式无堵塞叶轮属离心泵范畴。叶片将能量传递给被输送的液体，根据图1和图2得到叶轮对液体作功的能量基本方程式：

$$H_t = \frac{u_2 v_{n2} - u_1 v_{n1}}{g} \quad (1)$$

式中  $H_t$  为泵的理论扬程。

在离心泵中，假设进口无旋，那么(1)式可改写为：

$$H_t = \frac{u_2 v_{n2}}{g} \quad (1a)$$

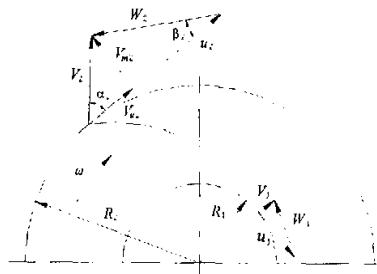


图1

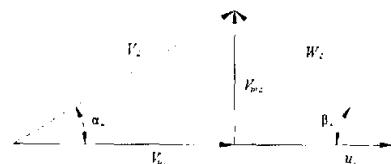


图2 出口速度三角形

叶轮的主要几何参数的计算方法如下：

### 1.1 叶轮外径 $D_2$

假设  $v_{n2} = A \cdot u_2$

$$H_t = (A/g) \cdot u_2^2$$

$$u_2 = \frac{2\pi n D_2}{60}$$

根据以上三式得到

$$D_2 = \frac{60\sqrt{g}}{2\pi\sqrt{A}} \cdot \frac{\sqrt{H_t}}{n} \quad (2)$$

第一作者简介：朱荣生（1964.3-），男，江苏大学流体机械工程技术研究中心，江苏省镇江市（邮编：212013）。

在设计泵时, 已知条件是泵的实际扬程  $H$ , 因泵有限叶片数等因素的影响, 实际扬程  $H = cH_t$  ( $c < 1$ ), 所以有:

$$D_2 = \frac{60\sqrt{cg}}{2\pi\sqrt{A}} \cdot \frac{\sqrt{H}}{n}$$

设  $K_{D2} = \frac{60\sqrt{cg}}{2\pi\sqrt{A}}$ , 那么

$$D_2 = K_{D2} \cdot \frac{\sqrt{H}}{n} \quad (2a)$$

## 1.2 叶轮出口宽度

因为  $v_{u2} = Au_2$ , 所以  $u_2 = \frac{v_{u2}}{A}$ , 则理论扬程的公式还可以写出

$$H_t = \frac{v_{u2}^2}{Ag}$$

根据绝对速度的径向分量  $v_m = \frac{Q}{2\pi D_2 b_2}$  以及速度三角形  $v_{u2} = v_m \operatorname{ctg} \alpha_2$  得到

$$H_t = \frac{v_m^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha_2}{Ag} = \frac{\operatorname{ctg}^2 \alpha_2}{4\pi^2 Ag} \cdot \frac{Q^2}{D_2^2 b_2^2}$$

将公式(2a)代入上式得到

$$H_t = \frac{\operatorname{ctg}^2 \alpha_2}{4\pi^2 Ag K_{D2}^2} \cdot \frac{n^2 Q^2}{H b_2^2}$$

由此推得

$$b_2 = \frac{\operatorname{ctg} \alpha_2}{2\pi K_{D2} \sqrt{Ag}} \cdot \frac{nQ}{H} \quad (3)$$

设  $K_{b2} = \frac{\operatorname{ctg} \alpha_2}{2\pi K_{D2} \sqrt{Ag}}$ , 则

$$b_2 = K_{b2} \frac{nQ}{H} \quad (3a)$$

## 1.3 叶轮进口直径

叶轮进口直径采用参考文献[1]的推荐公式

$$D_0 = k_0 \sqrt{\frac{Q}{n}} \quad (4)$$

## 2 统计分析

统计分析就是根据已知叶轮几何参数的泵的性能数据, 采用科学方法对  $K_{D2}$ 、 $K_{b2}$ 、 $K_0$  取值进行统计计算, 并评估统计公式的可信度, 为下一步产品设计和研究提供依据。依据统计公式设计的泵, 其性能与统计预测肯定有差距, 将新设计出的泵数据再作为统计对象重新对  $K_{D2}$ 、 $K_{b2}$ 、 $K_0$  进行统计计算, 就会获得更精确的统计公式。数据越多, 统计计算所获得的结果就越准确。表 1 为某类型泵的极具代表性的几个型号的数据, 依据这些数据对统计方法进行介绍。

表 1 最优工况参数与几何关系

序号	型号	流量(m <sup>3</sup> /h)	扬程(m)	转速(r/min)	效率(%)	$n_s$	$K_{D2}$	$K_{b2}$
1	ZBJ13D3	326.7	30.5	1480	77.9	125.4	8.22	1.73
2	ZBJ13D4	287.5	38.8	1480	73.2	98.2	9.21	1.89
3	ZBJ13D5	271.5	45.6	1480	71.1	84.5	9.97	1.89
4	ZBJ13D6	457.18	35.53	1480	79.97	129.6	8.17	1.75

## 2.1 叶轮外径的统计公式

$$D_2 = k_{D2} \sqrt{\frac{Q}{n}} \quad (5)$$

假设  $K_{D2} = A \cdot n^b$

线性化上式得到

$$\ln(K_{D2}) = \ln A + b \ln(n_s) \quad (6)$$

令  $y_D = \ln(K_{D2})$ ,  $a = \ln A$ ,  $x_D = \ln(n_s)$

上式简化为

$$y_D = a + bx_D \quad (6a)$$

令

$$l_{xx}^2 = \sum_{i=1}^4 (x_{Di} - \bar{x}_D)^2$$

$$l_{yy}^2 = \sum_{i=1}^4 (y_{Di} - \bar{y}_D)^2$$

$$l_{xy}^2 = \sum_{i=1}^4 (x_{Di} - \bar{x}_D)(y_{Di} - \bar{y}_D)$$

上述各参数的统计计算值列于表 2  
由文献[2]可知

$$b = \frac{l_{xy}}{l_{xx}} = 0.1720$$

$$a_D = \bar{y}_D - b\bar{x}_D = 1.327$$

$$A = e^a = 3.77$$

$$K_{D2} = 3.77 n_s^{0.172}$$

相关性分析:

相应的计算值见表 2, 那么

$$|r| = \left| \frac{l_{xy}}{\sqrt{l_{xx}} \sqrt{l_{yy}}} \right| = 0.916$$

## 2.2 叶轮出口宽度统计公式

$$b_2 = K_{b2} \sqrt{\frac{Q}{n}} \quad (7)$$

令  $K_{b2} = B n_r^c$

对其线性化得到:

$$\ln(K_{b2}) = \ln B + c \ln(n_r)$$

$$\text{令 } y_b = \ln(K_{b2}), a_b = \ln B, x = \ln(n_r)$$

以及

$$l_{xx}^2 = \sum_{i=1}^4 (x_i - \bar{x})^2$$

$$l_{yy}^2 = \sum_{i=1}^4 (y_{bi} - \bar{y}_b)^2$$

$$l_{xy}^2 = \sum_{i=1}^4 (x_i - \bar{x})(y_{bi} - \bar{y}_b)$$

上述各参数的统计计算值列于表 3。

同样由文献[2]可知:

$$c = \frac{l_{xy}}{l_{xx}} = 0.5667$$

$$a_b = \bar{y}_b - c\bar{x} = -2.057$$

$$B = e^{-2.057} = 0.1278$$

$$k_{b2} = 0.1278 n_r^{0.5667}$$

相关系数

$$|r| = \left| \frac{l_{xy}}{\sqrt{l_{xx}} \sqrt{l_{yy}}} \right| = 1.042$$

表 2  $K_{D2}$  统计计算

序号	$x_D$	$\bar{x}_D$	$y_D$	$\bar{y}_D$	$x_{D_i} - \bar{x}_D$	$l_x^2$	$y_{D_i} - \bar{y}_D$	$l_y^2$	$l_{xy}$
1	4.832		2.107		0.152		-0.025		
2	4.587		2.022		-0.093		-0.110		
3	4.437	4.68	2.30	2.132	-0.243	0.1247	0.168	0.0420	0.06074
4	4.864		2.100		-0.184		0.032		

表 3  $K_{b2}$  统计计算

序号	$x$	$\bar{x}$	$y_b$	$\bar{y}_{b2}$	$x_i - \bar{x}$	$l_x^2$	$y_{bi} - \bar{y}_b$	$l_y^2$	$l_{xy}$
1	4.832		0.584		0.213		0.0475		
2	4.587		0.637		-0.032		-0.0415		
3	4.437	4.68	0.637	0.5955	-0.182	0.0795	-0.0415	0.006961	-0.02553
4	4.864		0.560		0.184		-0.0355		

## 2.3 叶轮进口直径 $D_0$

叶轮进口直径  $D_0 = k_0 (\frac{Q}{n})^{\frac{1}{3}}$ ,  $k_0$  取值要考虑介质、泵型等多种因素。对于潜污泵  $k_0$  取 3.5~4.0, 对于纸浆泵  $k_0$  取 4.5~5.5。

新设计出的泵数据又可以作为统计数据, 对统计设计公式进行重新统计修改, 多次反复后, 将会近其遵循的规律。

需要指出的是, 本文的方法仅适用于比转速为 85~132 的泵, 所以在应用时应当加以注意。

## 3 结束语

根据已有的数据对其进行科学的统计分析, 可获得较准确的经验设计公式, 用这些公式指导下一步设计, 将提高设计的准确度减少盲目性。

### 参考文献

- 1 关醒凡. 现代泵设计手册, 北京: 宇航出版社, 1998
- 2 李光久. 应用数理统计, 南京: 东南大学出版社, 1993

## Research on Design Method of Three-Blade Non-Block Unshrouded Impeller

ZHU Rong-sheng, CAO Wei-dong, LI Hong, PAN Zhong-yong

(Research Center of Fluid Machinery Engineering and Technology, Jiangsu University)

**Abstract:** The Design method of unshrouded three-blade non-block impeller is studied to be used to improve the statistic formula. According to the available data of the known pump, better statistic equation is obtained.

**Key words:** Three blade, Unshrouded impeller, Design