

# 基于叶轮出口叶片间面积的潜水泵性能分析

刘在伦, 许 霞

(兰州理工大学 流体动力与控制学院, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 根据潜水泵导流器与叶轮的特性曲线方程, 确定了最佳工况点。根据面积比原理, 对不同的叶片出口安放角进行了分析; 在井用潜水泵上, 将同一个导流器与不同的叶轮组合并进行了试验。结果表明, 叶片出口安放角不同, 泵性能曲线将发生变化; 只要保持面积比不变, 同一个导流器与不同的叶轮组合, 同样可以得到一种高效率的泵。将最佳工况点的测试结果与计算结果所作的对比分析表明, 扬程、流量的相对误差均小于 0.06, 两者基本吻合。分析试验的结果为增加泵的规格并扩大使用范围提供了新的途径。

**关键词:** 潜水泵; 导流器; 叶轮; 面积比; 工况点

中图分类号: TH 311 文献标志码: A 文章编号: 1005-6254(2008)05-0030-04

## Analysis on performance of submersible pumps based on different impeller outlet areas

LIU Zai-lun XUX ia

(Department of Hydraulic Machinery and Fluid Power Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou Gansu 730050 China)

**Abstract** According to curve equations of diffuser and impeller in submersible pump, the best condition point is determined. Based on the areas ratio principle, the different impeller outlet blade angles are analyzed and experiments with the same diffuser coupling different impellers are carried out. The experimental results show that pump performance curve will change with different impeller blade angles under a constant throat areas ratio, a pump with high efficiency can also be obtained for the submersible pump with one diffuser coupling with different impellers. By analyzing and comparing the calculated results with the testing points of best condition, the relative errors of head and flow are less than 0.06 and both are consistent well.

**Key words** submersible pump diffuser coupling impellers areas ratio condition points

在泵的设计中, 叶轮在很大程度上决定了泵的结构形式和性能。叶轮出口参数对泵性能有重要影响, 同时注意到高效率的泵不但要求高效的叶轮, 而且还需要与叶轮良好匹配的导流器。如果导流器不匹配, 不但降低泵的效率, 而且还会在一定程度上影响泵性能的稳定。

20世纪50年代, 安德森曾指出叶轮出口面积与导流器进口面积之比是泵性能的决定性因素<sup>[1]</sup>。

他的研究成果进一步推广和发展了面积比计算。1960年沃斯特提出导流器自由漩涡特性相等于叶轮中的流动特性, 沃斯特建议, 泵的最佳效率点的流量取决于叶轮的扬程——流量特性曲线与导流器的特性曲线的交点<sup>[2]</sup>。本研究的目的是提出适应于潜水泵的类似于安德森—沃斯特的性能预测方法, 对同一个导流器配不同叶轮进行最佳工况点的验证计算和试验, 并保持导流器喉部面积与叶轮出口叶片

收稿日期: 2008-04-17

作者简介: 刘在伦(1961—), 男, 甘肃兰州人, 副教授(lizl88@sina.com), 主要从事水力机械测试技术的研究。

许霞(1980—), 女, 甘肃金昌人, 硕士研究生(x205205@126.com), 主要从事流体内部流场分析及模拟的研究。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

间面积的比值不变, 研究不同叶轮出口叶片间面积对潜水泵性能的影响.

## 1 潜水泵运行工况点的确定

根据叶轮特性曲线方程与导流器特性曲线方程, 可以求得潜水泵的运行工况点.

叶轮特性方程为

$$H_t = \frac{u_2}{g} \left( \sigma u_2 - \frac{Q_t}{D_2 \pi b_2 \phi_2} \cot \beta_2 \right) \quad (1)$$

式中  $u_2$  为叶轮出口圆周速度,  $\text{m/s}$ ;  $\sigma$  为滑移系数,  $\sigma = \frac{u_2 - \Delta u_2}{u_2} = 1 - \frac{\pi}{z} \sin \beta_2$ ;  $D_2$  为叶轮出口外径,  $\text{m}$ ;  $b_2$  为叶轮叶片出口宽度,  $\text{m}$ ;  $\phi_2$  为叶轮出口排挤系数;  $\beta_2$  为叶轮叶片出口角,  $(^\circ)$ .

导流器特性方程为

$$H_t = \frac{2 \sqrt{A_3} D_2}{\ln(1 + 2 \sqrt{A_3}/D_2)} \frac{Q_t u_2}{g A_3} \quad (2)$$

式中  $A_3$  为两导叶之间的导叶入口喉部面积,  $\text{m}^2$ .

将方程 (1) 和 (2) 联立求解得:

$$\varphi = \frac{\sigma}{\cot \beta_2 + \frac{2 \pi b_2 \phi_2}{\sqrt{A_3} \ln(1 + 2 \sqrt{A_3}/D_2)}} \quad (3)$$

$$\psi = \frac{2 \pi b_2 \phi_2 \sigma}{2 \pi b_2 \phi_2 + \sqrt{A_3} \cot \beta_2 \ln(1 + 2 \sqrt{A_3}/D_2)} \quad (4)$$

两特性的交点就是最佳匹配工况点. 式中  $\psi$  为

扬程系数,  $\psi = \frac{H_t}{u_2^2/g}$ ;  $\varphi$  为流量系数,  $\varphi = \frac{v_{in2}}{u_2}$ .

从式 (3) 和 (4) 可知: 改变叶轮的出口几何参数或导叶入口几何参数, 水泵的运行工况点均发生变化. 叶轮、导流器特性的匹配工况点如图 1 所示<sup>[3]</sup>.

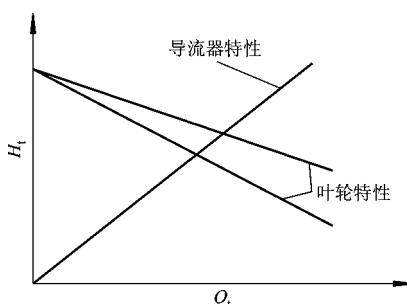


图 1 叶轮、导流器特性的匹配

## 2 叶轮出口叶片间面积与导流器喉部面积

根据泵的面积比原理<sup>[4,5]</sup>, 面积比  $Y$  可按下式计算:

$$Y = 0.95 D_2 \pi b_2 \sin \beta_2 / A_{th} \quad (5)$$

式中  $A_{th}$  为导流器喉部面积,  $\text{m}^2$ .

上式中的 0.95 是考虑到了叶片排挤系数使面积减小的因素.

### 2.1 叶轮出口叶片间的面积

$$A_2 = 0.95 D_2 \pi b_2 \sin \beta_2 \quad (6)$$

式中  $\beta_2$  为叶轮出口叶片安放角,  $(^\circ)$ .

### 2.2 叶片出口角

本研究只考虑叶轮出口叶片安放角  $\beta_2$  对出口面积的影响, 叶片出口角对泵性能的影响如图 2 所示<sup>[3]</sup>, 其中  $(\beta_2)_1 > (\beta_2)_2$ .

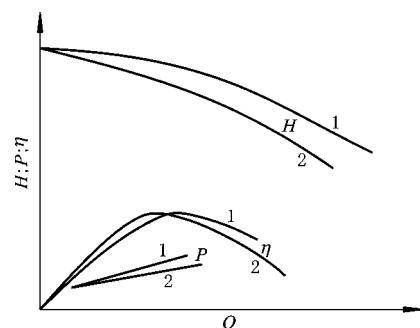


图 2 叶片出口角对泵性能的影响

Fig. 2 Impact on impeller blade angle of placement to performance of submersible pumps

### 2.3 导流器喉部面积

$$A_{th} = 2\pi r_3 b_3 \phi_3 \sin \beta_{a3} \quad (7)$$

式中  $\phi_3$  为导流器进口叶片的排挤系数;  $\beta_{a3}$  为导流器叶片的进口安放角,  $(^\circ)$ .

## 3 测试装置与结果分析

为了研究面积比对泵性能的影响, 用井用潜水泵做试验, 在一个导流器上分别匹配两种叶轮, 在兰州理工大学开式试验台上试验, 试验时电动机不变, 只更换泵. 为了保证吸入区不发生汽蚀和漩涡, 最下级叶轮有足够的潜没深度. 采用电测法测量潜水电动机的输入功率, 潜水电动机效率按铭牌上的效率估算.

试验是在 2500J125—48 型潜水泵上进行的,

在保持面积比系数不变的条件下, 又设计了一个叶轮, 将此叶轮装在 250QJ125 型潜水泵的导流器上进行试验, 目的是得到另一种 250QJ80—60 型潜水泵, 即两种潜水泵的导流器是通用的。两种泵在设计点实测值见表 1, 性能测试曲线见图 3<sup>[6]</sup>。

表 1 两种泵在设计点实测值

Tab 1 True trial results of two kinds of pumps in design point

水泵型号	$q_v / (\text{m}^3/\text{h})$	$H / \text{m}$	$P / \text{kW}$	$\eta / \%$
250QJ125—48	125.5	49.6	24.3	69.9
250QJ80—60	79.8	60.3	18.6	70.3

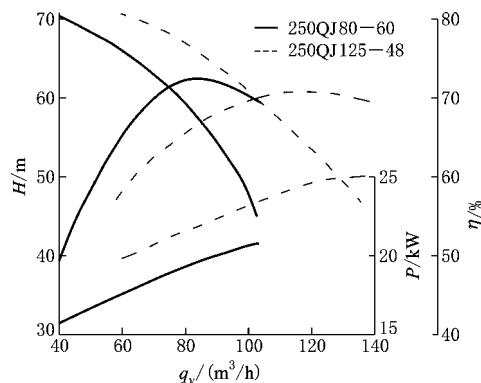


图 3 水泵性能试验曲线

Fig. 3 Trial curve of performance of pumps

从实验的曲线可以看出, 更换叶轮后, 曲线平移了, 最高效率点的位置发生了变化, 但泵的设计点效率保持不变。从表 1 和图 3 可以看出, 在导流器几何形状不变的情况下, 保持面积比不变, 同样可得到一种高效率的泵。实验结果为扩大泵的规格和使用范围寻找出一种新的途径。

为了保证试验数据可靠性, 在试验结束后, 对叶轮出口叶片间面积与导流器喉部面积进行了实测, 叶轮出口叶片间面积和导流器喉部面积确定方法如图 4 和图 5 所示<sup>[7]</sup>, 实测结果如表 2 所示。

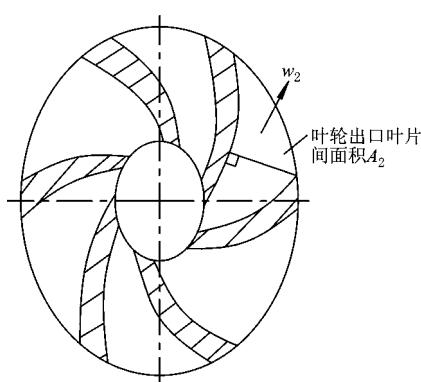


图 4 叶轮出口叶片间面积示意图

Fig. 4 Signal picture of impeller outlet areas

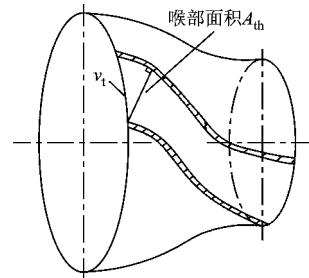


图 5 导流器喉部面积示意图

Fig. 5 Signal picture of diffuser coupling throat areas

表 2 叶轮出口叶片间面积和导流器喉部面积实测值

Tab 2 True trial results of impeller outlet areas and diffuser coupling throat areas

水泵型号	$A_2 / \text{mm}^2$	$A_{\text{th}} / \text{mm}^2$	$Y$
250QJ125—48	4 944.8	4 302	1 149.4
250QJ80—60	4 953.0	4 302	1 151.3

## 4 最佳工况点的验证计算

根据潜水泵设计计算<sup>[8]</sup>, 确定了的叶轮和导流器流道几何参数与转速, 以及水力效率与容积效率的估算值, 将上述值代入式(1)和式(2)并联立方程组, 来确定计算所得的最佳工况点的流量和扬程。

通过计算得最佳工况点扬程和流量:

$$H_1 = 49.42 \text{ m}, Q_1 = 132.53 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_{\Pi} = 59.78 \text{ m}, Q_{\Pi} = 82.95 \text{ m}^3/\text{h}$$

从图 3 得到如下最佳工况点的有关数据:

$$H_1 = 49.60 \text{ m}, Q_1 = 125.50 \text{ m}^3/\text{h}, \eta_1 = 69.86\%$$

$$H_{\Pi} = 60.30 \text{ m}, Q_{\Pi} = 79.83 \text{ m}^3/\text{h}, \eta_{\Pi} = 70.34\%$$

与计算所得的最佳工况点相比, 其相对误差为:

扬程相对误差:

$$\Delta H_1 = \left| \frac{(H_1)_{\text{算}} - H_1}{H_1} \right| \times 100\% = 0.36\%$$

$$\Delta H_{\Pi} = \left| \frac{(H_{\Pi})_{\text{算}} - H_{\Pi}}{H_{\Pi}} \right| \times 100\% = 0.86\%$$

流量相对误差:

$$\Delta Q_1 = \left| \frac{(Q_1)_{\text{算}} - Q_1}{Q_1} \right| \times 100\% = 5.60\%$$

$$\Delta Q_{\Pi} = \left| \frac{(Q_{\Pi})_{\text{算}} - Q_{\Pi}}{Q_{\Pi}} \right| \times 100\% = 3.91\%$$

计算所得的最佳工况点与试验所得的最佳工况点基本吻合, 误差很小。

## 5 结 论

1) 求解导流器的特性曲线和叶轮的特性曲线的联立方程式, 可得泵的运行工况点, 并以此来选取

不同的导流器与叶轮的组合;

2) 同一个导流器与不同的叶轮组合, 只要保持面积比不变, 同样可以得到一种高效率的泵。试验证明了该方法的正确性。用此种方法可扩大泵的规格和使用范围。

### 参考文献 (References)

- [ 1 ] Anderson H H. Mine pumps [ J]. *Journal of Mining Society*, 1984 ( 6): 34– 38
- [ 2 ] 郭自杰. 蜗壳面积比原理讨论 [ J]. 排灌机械, 1989, 7 ( 2): 1– 4  
GUO Zi-jie Discussion on the principle of scroll area ratio [ J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 1989, 7 ( 2): 1– 4. ( in Chinese)
- [ 3 ] 关醒凡. 现代泵技术手册 [ M]. 北京: 宇航出版社, 1995 84– 86
- [ 4 ] 袁寿其, 曹武林, 陈次昌, 等. 面积比原理和泵的性能 [ J]. 农业机械学报, 1993, 24( 2): 36– 40  
YUAN Shou-qi, CAO Wu-ling, CHEN Ci-chang, et al Area ratio principle and pump performance [ J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 1993, 24( 2): 36– 40. ( in Chinese)
- [ 5 ] 杨军虎, 张人会, 王春龙, 等. 计算离心泵面积比和蜗壳面积的方法 [ J]. 机械工程学报, 2006, 42( 9): 67– 70
- [ 6 ] 刘在伦, 齐学义, 郑小荣. 叶轮出口叶片间面积对潜水泵性能的影响 [ J]. 甘肃工业大学学报, 2002, 28( 2): 62– 64
- [ 7 ] LIU Zai-lun, QI Xue-yi, ZHENG Xiao-rong. Exports of impeller outlet are area ratio performance of submersible pumps [ J]. *Journal of Gansu University of Technology*, 2002, 28( 2): 62– 64. ( in Chinese)
- [ 8 ] 刘在伦, 梁森, 魏清顺. 基于面积比原理的水泵设计方法 [ J]. 农业机械学报, 2007, 38( 6): 196– 198  
LIU Zai-lun, LIANG Seng, WEI Qing-shun. Design of pumps based on the principle of area ratio [ J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2007, 38 ( 6): 196– 198. ( in Chinese)
- [ 9 ] Kehler J D H, Dijkers R T H, van Esch B P M, et al Experimental and theoretical study of the flow in the volute of a low specific-speed pump [ J]. *Fluid Dynamics Research*, 2001, 28( 4): 267– 280

(责任编辑 张文涛)

(上接第 26页)

- [ 2 ] Khayat R E. A three-dimensional boundary element approach to confined free-surface flow as applied to die casting [ J]. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 1998, 22( 2): 83– 102
- [ 3 ] Cheon-Woo Park, Sang-Joon Lee. Free end effects on the nearwake flow structure behind a finite circular cylinder [ J]. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2000, 88( 2/3): 231– 246
- [ 4 ] Robertson I, Shewin S J, Graham J M R. Comparison of wall boundary conditions for numerical viscous free surface flow simulation [ J]. *Journal of Fluids and Structures*, 2004, 19( 4): 525– 542
- [ 5 ] Layton A T. An efficient numerical method for the two-fluid stokes equations with a moving immersed boundary [ J]. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 2008, 197( 25– 28): 2147– 2155
- [ 6 ] 关醒凡. 现代泵技术手册 [ M]. 北京: 宇航出版社, 1995
- [ 7 ] 贾国方. 泵试验用汽蚀筒容积的选取 [ J]. 排灌机械, 1988, 6( 4): 53– 54  
JIA Guo-fang. Cubage selection of water-tank of pump test-bed [ J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 1988, 6( 4): 53– 54. ( in Chinese)
- [ 8 ] 贾国方. 泵试验用汽蚀筒的设计研究 [ J]. 排灌机械, 1996, 14( 3): 55– 56  
JIA Guo-fang. Design of water-tank in pump examination [ J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 1996, 14( 3): 55– 56. ( in Chinese)
- [ 9 ] 陈为博, 杨敏. 带有自由表面紊流流场的数值模拟 [ J]. 水利水电技术, 2004, 35( 9): 67– 69  
CHEN Wei-bo, YANG Min. Numerical simulation of free surface turbulence flow [ J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2004, 35 ( 9): 67– 69. ( in Chinese)
- [ 10 ] 施卫东, 张启华, 陆伟刚. 新型井泵水力设计及内部流动的数值模拟 [ J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2006, 27( 6): 528– 531  
SHI Wei-dong, ZHANG Qi-hua, LU Wei-gang. Hydraulic design of new type deep well pump and its flow calculation [ J]. *Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition*, 2006, 27 ( 6): 528– 531. ( in Chinese)

(责任编辑 张文涛)