# 前伸式双叶片污水泵设计和通过能力试验

王 准，施卫东，蒋小平
（江苏大学 流体机械工程技术研究中心，江苏 镇江 212013）

**摘 要**：阐述了前伸式双叶片污水泵运行效率高、振动小、噪音低、运行平稳、固体通过能力好，特别是纤维性固体的通过能力好等特点，分析了该泵叶轮结构特点，提出了叶轮水力设计方法，通过实例说明其设计过程，并对设计的前伸式双叶片污水泵进行了试验验证．指出前伸式双叶片污水泵具有良好的综合性能的原因在于：采用叶片式结构，具有与普通叶片泵相当的效率；采用2叶片叶轮，减少流道的拥堵，提高了固体颗粒的通过能力；叶片大幅度前伸，对于少叶片数的泵来说，只要设计得当，不会引起进口排挤，有利于大大提高抗缠绕能力．

**关键词**：污水泵；前伸式双叶片；叶片进口；水力设计；通过能力；抗缠绕
**中图分类号**：TP301 **文献标志码**：A **文章编号**：1005－6254(2008)03－0026－04

# Design and passage capacity experiment of forward extended double blades sewage pump

*WANG Zhun, SHI Wei-dong, JIANG Xiao-ping*
(Technical and Research Center of Fluid Machinery Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

**Abstract**: As a new type of sewage pump, the advantages of forward-extended double blades sewage pumps were introduced, the configuration of the impellers was analyzed, and the method of hydraulic design was given. A design example was shown. The experiment results of pump's performance, passage capacity and anti-winding ability show that the forward-extended double blades pump can run with better stability and stronger anti-winding ability. The reason for its better performance was that two blades can provide larger flow passage which results in better passage capacity and the forward-extended blades can improve the anti-winding ability without blocking the inlet passage.

**Key words**: sewage pump; forward extended double blades; blade inlet; hydraulic design; passage capacity; anti-winding

常见的叶片式污水泵，根据其工作原理的不同可分为如下几种：开式和半开式、单流道和双流道式、旋流式、螺旋离心式以及和一般叶片泵差不多的少叶片数（为2或3）的污水泵．上述污水泵因其工作原理的不同而显示出不同的特点，适合于不同的使用场所，其具体的特点和应用场所可以参考文献[1]．这些污水泵都有一定的输送污水的能力，但也存在一些不足，如流道式、螺旋离心式污水泵虽然具有较好的通过能力和较高的运行效率，却有运转平稳性不好的缺点，其噪音和振动相对较大；旋流式污水泵通过能力强，运行效率却很低；由一般清水泵加宽流道而成的污水泵虽然运行效率相对较高，其通过性能特别是抗缠绕性能却比其它结构的污水泵要差．为了克服现有污水泵存在的问题，设计了前伸式双叶片污水泵，该型污水泵运行效率高、通过性能好，运行平稳．

**收稿日期**：2007－12－03
**基金项目**：江苏省"333高层次人才培养工程"项目；安徽省科技攻关项目(06022025)
**作者简介**：王 准(1969—)，男，湖南衡阳人，博士研究生，工程师(wzabs@tom.com)，主要从事流体机械的研究．
施卫东(1964—)，男，江苏南通人，研究员，博士生导师(wdshi@ujs.edu.cn)，主要从事流体机械理论及工程技术的研究．

## 1　前伸式双叶片污水泵的特点

前伸式双叶片污水泵叶轮轴面图如图1所示，与其他污水泵相比，有以下一些特点：①叶轮为2叶片，叶片向进口边延伸较多，特别是后盖板流线更为突出. 流道进口处中心轮毂较一般叶轮轮毂小；②叶轮为半开式；③螺旋离心泵是将离心泵叶片螺旋向前延伸，延伸度大，且前盖板流线延伸比后盖板多；而前伸式双叶片泵叶片前伸度不如螺旋离心泵大，且叶片后盖板流线比前盖板流线延伸要多.

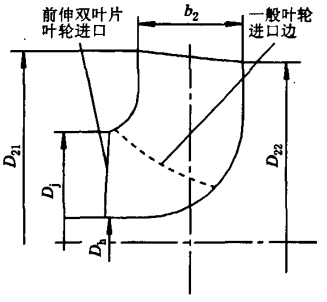



图1　叶轮轴面示意图

Fig. 1　Axial section of impeller

## 2　前伸式双叶片污水泵的水力设计

为了提高叶轮的通过能力，叶轮为2叶片，但是由于叶片数相对较少，滑移系数会比普通叶轮要大得多，因此在轴面图确定时，应与一般叶片泵有区别，而叶片进口边的前伸，只要设计得当，一般不会对效率产生影响. 这里按如下设计：

1）根据速度系数法[1]，叶轮进口当量直径

$$D_0 = K_0\sqrt[3]{\frac{Q}{n}}$$

式中 $Q$ 为泵的流量，$m^3/s$；$n$ 为泵的转速，r/min. 由于叶片前伸，叶轮进口可以取得比一般叶轮进口大一些，推荐 $K_0 = 4.0 \sim 5.0$. 而叶轮进口直径 $D_j = \sqrt{D_0^2 + D_h^2}$.

2）叶轮出口直径 $D_2$

由于叶轮为2叶片，对液体的作用较多叶片叶轮大为减弱，滑移系数大大增加，其出口直径应在一般离心泵的基础上稍微加大，用速度系数法，计算公式为[1]

$$D_2 = K_{D2}\sqrt[3]{\frac{Q}{n}}$$

式中 $K_{D2} = (9.6 \sim 10.4)\left(\frac{n_s}{100}\right)^{-1/2}$，其中 $n_s$ 为比转速.

3）叶轮出口宽度 $b_2$

考虑到要有一定的通过能力，由于叶片数较少，$b_2$ 应比一般离心泵叶轮要大. 推荐的计算公式为[1]

$$b_2 = K_{b2}\sqrt[3]{\frac{Q}{n}}$$

式中 $K_{b2} = K_s\left(\frac{n_s}{100}\right)^{5/6}$，而 $K_s = 0.9 \sim 1.5$，比转速大的取小值，比转速小的取大值.

4）叶片包角 $\theta$ 为有利叶片做功，叶片包角宜取 $280° \sim 350°$ 之间[2-7]. 要注意的是，前盖板流线和后盖板流线包角应有区别，后盖板流线包角一般应比前盖板流线包角大 $80° \sim 120°$，以免叶片在进口处重叠太多，以至流道在进口处显得拥堵.

5）叶片进口边和进出口安放角的确定

如果叶片过于前伸，叶轮进口段排挤就会较大，这要进一步加大叶轮进口直径，螺旋离心泵就是这样. 如果前伸不够多，就和一般的离心泵没什么区别，达不到设计的目的. 确定了叶片进口边后可计算叶片的进口安放角. 对后盖板流线，取冲角 $\Delta\alpha = 3° \sim 5°$、前盖板流线宜取 $\Delta\alpha = 5° \sim 10°$，有利于型线变化均匀. 叶片出口安放角在少叶片大包角时，可根据一般离心泵的设计经验来取 $\beta_{2b} = 20° \sim 30°$，对于中高比转速可以取，对于低比转速可以取 $\beta_{2b} = 30° \sim 40°$.

6）蜗壳的设计对前伸式2叶片污水泵而言，蜗壳的设计与一般蜗壳应有区别. 首先，基圆直径 $D_3$ 与 $D_2$ 之间应有较大的间隙. 这样做有2个好处，①便于大颗粒和长纤维顺利通过；② 由于2叶片结构叶轮流道对液体的作用减弱，尾流区加大，叶轮出口流场的不均匀性大于一般离心泵，加大基圆直径有利于蜗壳内流动的均匀，从而提高泵的效率. 这里推荐 $D_3 = (1.08 \sim 1.25)D_2$.

其次，由于叶片宽度的加大，导致叶轮出口流速相对减少，喉部面积宜加大10% ~ 20%.

## 3　设计实例和性能试验结果

1）设计参数：流量 $Q = 150\ m^3/h$，扬程 $H = 8$ m，转速 $n = 1\,450$ r/min，比转速 $n_s = 227$.

2）设计计算的结果：盖板处出口直径 $D_{21} = 220$ mm，后盖板出口直径 $D_{22} = 198$ mm，进口处轮毂直

径 $d_h$ = 27.5 mm，$D_0$ = 120 mm，$b_2$ = 56 mm，后盖板包角取340°，前盖板包角取225° 蜗壳基圆直径 $D_3$ = 236 mm，隔舌角 $\alpha$ = 20°，第八断面面积 $A$ = 11 500 mm$^2$，出口直径为 $\phi$150 mm.

设计后叶轮的三维图如图2所示.

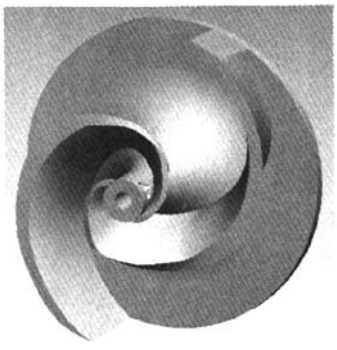


图2 叶轮三维图

Fig. 2 3D picture of impeller

从图2可以看出，在叶片数为2时，选取适当的叶片包角，叶片较大幅度地前伸，不会在进口处导致堵塞.

3)性能试验结果：该泵在试验台上进行了测试，其性能曲线如图3所示.

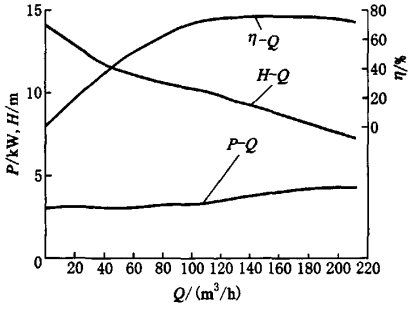



图3 泵的性能曲线

Fig. 3 Performance curve of pump

由试验结果可以看出，该泵在设计点效率达到76.3%，该值很接近一般清水泵的效率，其高效区宽，功率曲线平坦.

## 4 通过能力试验与分析

通过能力是检验污水泵性能的一个指标，试验分两个方面进行，其一为球形颗粒的通过能力，方法为在进水段加直径分别为25，35，45 mm的塑料球，进入叶轮后均能顺利排出；其二为抗缠绕能力的试验，方法为在进水段加宽度为4 mm左右、长度分别为100，150 mm的塑料纤维，每次投入的纤维数量分别为20，40根，试验时均未见有缠绕.

该泵安装于自来水厂沉淀池排列行车上运行，运行平稳，运转6个月未见其发生堵塞现象，且其振动与噪音比改造前有明显改善. 而此前使用单流道污水泵时，一般每两个月就要因叶轮被纤维缠绕、堵塞而检修，前伸式双叶片污水泵由于采取了2叶片结构，流道宽，因此球形颗粒容易通过. 而抗缠绕能力的提高主要原因在于叶片前伸，一方面叶片前伸可以稍微提高叶轮进口处中心的压力，使固体纤维在叶片进口处向叶轮外缘流动而不至流挂，另一方面，由于叶轮叶片进口边与叶轮前后盖板的夹角发生变化，和一般叶轮有显著的区别，如图4前伸式双叶片叶轮叶片进口边与后盖板夹角为钝角，而这在一般叶轮则为锐角，纤维流到这一个地方时，锐角容易形成流挂，而钝角不易形成流挂，因此前伸式双叶片表现更好的抗缠绕能力.

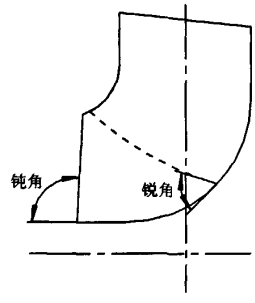



图4 前伸式双叶片叶轮叶片进口边与后盖板夹角和一般叶轮的区别

Fig. 4 Difference between difference between forward-extended double blades impeller and other impeller

## 5 结 论

前伸式双叶片污水泵是一种新型的污水泵，试验表明其运行效率较高，振动小，噪音低，运行平稳，固体通过能力特别是纤维性固体的通过能力好. 其良好的综合性能在于：

1)前伸式双叶片污水泵采用叶片式结构，经过精心设计，可以具有与普通叶片泵相当的效率；

2)采用2叶片，可减少流道的拥堵，有利于提高固体颗粒的通过能力；

3)叶片大幅度前伸，对于叶片数少的泵来说，如果设计得当，不会引起进口排挤而导致泵效率的

降低，有利于提高泵的抗缠绕能力.

## 参考文献(References)


[1] 关醒凡. 现代泵技术手册[M]. 北京：宇航出版社，1995：193－202.

[2] 王　准，施卫东，蒋小平，等. 蜗旋前伸式双叶片污水泵流场分析与性能预测[J]. 中国机械工程，2006，17(S0)：7－9.
WANG Zhun, SHI Wei-dong, JIANG Xiao-ping, et al. Study on the flow within the impeller of vortex forward-extended double blade sewage pump and prediction of its performance[J]. *China mechanical Engineering*, 2006, 17(S0):7－9. (in Chinese)

[3] 王春林，李婷婷，马庆勇，等. 叶片式渣浆泵叶轮中浆体浓度分布数值模拟[J]. 排灌机械，2007，25(2)：16－18.
WANG Chun-ling, LI Ting-ting, MA Qing-yong, et al. Numerical simulation of the slurry concentration through the impeller of the slurry pump[J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2007, 25(2):16－18. (in Chinese)

[4] Jaikrishnan R K, John M S, Mark P W. Investigations of particle velocities in a slurry pump using PIV: Part 1, The tongue and adjacent channel flow[J]. *Journal of Energy Resources Technology*, 2004(1): 126－271.

[5] 施卫东. 污水泵水力设计综述[J]. 流体机械，1997(8)：22－25.
SHI Wei-dong. Review of sewage pump design[J]. *Fluid Machinery*, 1997(8):22－25. (in Chinese)

[6] 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 Min-gao, LIU Hou-ling, 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)

[7] Gandhi B K, Singh S N, Seshadri V. Performance characteristics of centrifugal slurry pumps[J]. *Fluid Engineering*, 2001, 123(7):271－280.


(责任编辑　贾国方)

(上接第21页)


[2] 陈庆光，吴墒峰，吴玉林，等. 轴流式水轮机内部空化流动的数值模拟[J]. 工程热物理学报，2006，27(5)：769－771.
CHEN Qing-guang, WU Shang-feng, WU Yu-lin, et al. Numerical prediction of cavitation flow in a kaplan turbine[J]. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2006, 27(5): 769－771. (in Chinese)

[3] 陈庆光，吴玉林，刘树红，等. 轴流式水轮机全流道内非定常空化湍流的数值模拟[J]. 机械工程学报，2006，42(6)：211－216.
CHEN Qing-guang, WU Yu-lin, LIU Shu-hong, et al. Numerical simulation of unsteady cavitating turbulent flow in the whole flow passage of a kaplan turbine[J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2006, 42(6): 211－216. (in Chinese)

[4] 卢　池，陈次昌，杨昌明，等. 低比转速离心泵内部流场的数值模拟[J]. 排灌机械，2005，23(6)：6－9.
LU Chi, CHEN Ci-chang, YANG Chang-ming, et al. Numerical simulation of flow field in low-specific-speed centrifugal pump[J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2005, 23(6):6－9. (in Chinese)

[5] 朱荣生，付　强，李维斌. 低比转数离心泵叶轮内汽蚀两相流三维数值模拟[J]. 农业机械学报，2006，37(5)：75－79.
ZHU Rong-sheng, FU Qiang, LI Wei-bin. Numerical simulation of 3D two-phase cavitation flow in impeller of the low specific speed centrifugal pump[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2006, 37(5):75－79. (in Chinese)

[6] Guleren K M, Pinarbasi A. Numerical simulation of the stalled flow within a vaned centrifugal pump[J]. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science* (S0954－4062), 2004, 218(4), 425－435.

[7] Brennen C E. Multifrequency instability of cavitating inducers[J]. *ASME Journal of Fluids Engineering* (S0098－2202), 2007, 129(6): 731－736.

[8] Singhal A K, Athavale M M, Li H Y, et al. Mathematical basis and validation of the full cavitation model[J]. *Journal of Fluids Engineering* (S0098－2202), 2002, 124(3): 617－624.

[9] Fortes-Patella R, Coutier-Delgosha O, Perrin J, et al. Numerical model to predict unsteady cavitating flow behavior in inducer blade cascades[J]. *Journal of Fluids Engineering* (S0098－2202), 2007, 129(2): 128－135.


(责任编辑　张文涛)