

# 新型无堵塞自吸污水泵的设计\*

赵佰通, 叶斌斌, 陶仁和, 曹国纬, 吴 飞

(浙江省机电设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310002)

**摘要:**针对 ZW 系列自吸排污泵存在易堵塞叶片和耐磨板不易更换的问题,进行了改进设计。简述了新型无堵塞自吸污水泵的特点和设计思想,分析了该泵的结构特点,提出了该泵的水力设计和结构设计方法,并研究了前置供水通道仓、转子部件以及回流孔对自吸污水泵的影响。最后,设计试制了新型无堵塞自吸污水泵的样机,并对其进行了试验。研究表明,新型自吸排污泵具有无堵塞性能好、自吸时间短、耐磨性强、可靠性高、使用维修方便等特点,泵的性能曲线符合设计要求,达到了预期设计目标,为今后相关工作提供了有益的参考。

**关键词:**无堵塞;自吸污水泵;水力设计;结构设计

中图分类号:TH311; TH317; TU992.25

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2012)07-0806-04

## Design of new non-clogging self-priming sewage pump

ZHAO Bai-tong, YE Bin-bin, TAO Ren-he, CAO Guo-wei, WU Fei

(Zhejiang Institute of Mechanical & Electrical Engineering Co., Ltd., Hangzhou 310002, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of easy clogging blade and uneasy replacing wear plate for the ZW series self-priming sewage pump, improved design was carried out. The features and design concepts of new non-clogging self-priming sewage pump were introduced. The configuration of the pump was analyzed and the method of hydraulic and structural design was given. The influences of the front water supply channel warehouse, rotor component and circumfluence hole on self-priming sewage pump were studied. The prototype of new non-clogging self-priming sewage pump was designed and trial-manufactured, and the test verification of prototype was carried out. The results show that the pump has the advantages of good non-clogging performance, short self-priming time, strong wear resistance, high reliability, easy to use and maintenance, etc. The pump performance curve accords with the design requirement. The design target is reached and an useful reference for future related work is provided.

**Key words:** non-clogging; self-priming sewage pump; hydraulic design; structural design

## 0 引 言

随着国民经济的快速发展,特别是在倡导绿色环保的今天,自吸污水泵应用场合越来越多,广泛应用于市政排污工程、轻工、造纸、纺织、食品、化工、电力等行业和领域的纤维、浆料和混合悬浮物等介质的输送<sup>[1]</sup>。目前,市面上现有产品中主要以 ZW 系列自吸式无堵塞排污泵为主,由于其结构原始,存在易堵塞叶片,耐磨板不易更换等缺陷,不利于长期的使用和日常

的维护<sup>[2]</sup>。

笔者与某厂合作,成功研制了 P 系列新型无堵塞自吸污水泵。与传统的 ZW 系列自吸排污泵进行比较,本研究从新型无堵塞自吸污水泵的设计与结构方面进行比较和探讨,为今后设计者提供参考。

## 1 结构特点及工作原理

### 1.1 结构特点

新型无堵塞自吸污水泵具有无堵塞性能好、自吸时间短、耐磨性强、可靠性高、使用维修方便等特点。它主

收稿日期:2012-01-16

基金项目:温州市科技计划资助项目(H20100103)

作者简介:赵佰通(1983-),男,浙江台州人,主要从事水泵及测试台设计方面的研究。E-mail:btong1699@163.com

要由进水短管、前盖、耐磨板、叶轮、机械密封、轴、轴承体、泵体、出水短管等组成。泵的结构图如图1所示。

与ZW系列自吸排污泵相比,新型自吸污水泵的具体结构特点如下:

(1) 叶轮为半开式双叶片叶轮,较好地解决了堵塞问题,可以大大提高颗粒、纤维的通过能力。

(2) 机械密封采用独特的油浸式外装结构,使其长期处于油室内运行,密封性能更加可靠;其材料采用新型硬质耐腐的碳化钨材料,使用寿命长。

(3) 在前盖与叶轮间设置了前置供水通道仓,只需取下前盖,即可进行杂物的清除和更换耐磨板。

(4) 开创性的转子部件可调节设计,适当调整叶轮与耐磨板之间的间隙,其适用性和使用寿命有了极大的提高。

(5) 回流孔为反冲式螺旋形圆孔的结构形式,其回流能力强,气液分离效果好,自吸时间短。

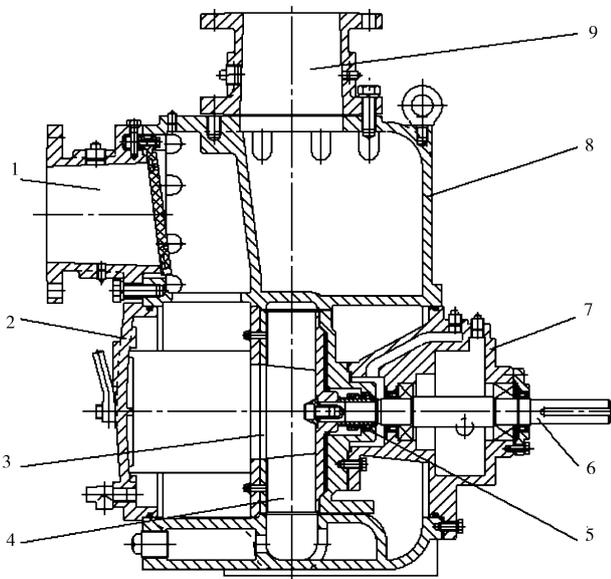


图1 泵的结构图

1—进水短管;2—前盖;3—耐磨板;4—叶轮;5—机械密封;6—轴;7—轴承体;8—泵体;9—出水短管

## 1.2 工作原理

泵体内设有储液腔,并通过其上方的回流孔和下方的循环孔与泵工作腔相通,构成泵的轴向回流外混式系统。泵停止工作后,泵内腔已储有一定容积的液体。当泵启动时,泵内的储液在叶轮的作用下,夹带着空气被向上抛出,液体通过气液分离管的网格回流到工作腔,气体被排出泵外,使泵内形成一定的真空度,起到自吸的作用<sup>[3]</sup>。

## 2 自吸污水泵的设计

### 2.1 水力设计

水力设计主要是叶轮及蜗壳的水力设计。

#### 2.1.1 叶轮水力设计

为了提高叶轮的通过能力,叶轮为2叶片半开式叶轮,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,应与一般叶片泵有所区别。这里按如下步骤进行设计:

(1) 根据速度系数法<sup>[4]</sup>,叶轮进口当量直径为:

$$D_0 = K_0 (Q/n)^{1/3} \quad (1)$$

式中:  $Q$ —泵的流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $n$ —泵的转速,  $\text{r}/\text{min}$ ;  $K_0$ —进口速度系数。

为兼顾泵的效率与汽蚀性能,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) 叶轮外径  $D_2$ 。

由于叶轮为2个叶片,对液体的作用相比多叶片叶轮大为减弱,滑移系数大大增加,其叶轮外径应在一般离心泵的基础上稍微加大,本研究采用速度系数法,计算公式为:

$$D_2 = K_{D2} (Q/n)^{1/3} \quad (2)$$

其中:

$$K_{D2} = (9.6 \sim 10.4) (n_s/100)^{-1/2}$$

式中:  $n_s$ —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。本研究推荐的计算公式为:

$$b_2 = K_{b2} (Q/n)^{1/3} \quad (3)$$

其中:  $K_{b2} = K_s (n_s/100)^{5/6}$ ,  $K_s = 0.9 \sim 1.5$ , 比转速大的取小值,比转速小的取大值。

(4) 叶片出口安放角  $\beta_2$ 。

叶片出口安放角可根据一般离心泵的设计经验来取,对于中高比转速  $\beta_2 = 20^\circ \sim 30^\circ$ , 低比转速  $\beta_2 = 30^\circ \sim 40^\circ$ 。

#### 2.1.2 蜗壳水力设计

对于2叶片的自吸污水泵而言,蜗壳的设计与一般蜗壳应有区别。首先,蜗壳基圆直径  $D_3$  与叶轮外径  $D_2$  之间应有较大的间隙。这样做有两个好处:①便于大颗粒和长纤维顺利通过;②由于2个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<sup>[5-6]</sup>。

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%。

(1) 蜗壳第 8 端面尺寸  $F_8$  为:

$$F_8 = Q/V_3 \tag{4}$$

式中: $V_3$ —蜗壳断面的平均速度,  $V_3 = K_3\sqrt{2gH}$ , m/s;  
 $K_3$ —速度系数,  $K_3 = 0.38 \sim 0.48$ 。

其他断面面积按等分计算。

(2) 蜗壳基圆直径  $D_3$ 。

为达到自吸以及便于大颗粒悬浮物通过的目的,隔舌基圆  $D_3$ (单位:mm)按下式计算:

$$D_3 = D_2 + S \tag{5}$$

式中: $S$ —常数,取 8 mm ~ 15 mm,小泵取小值,大泵取大值。

即叶轮外径与隔舌之间至少保证 4 mm 间隙。

(3) 蜗壳进口宽度  $b_3$ (单位:mm):

$$b_3 = b_2 + C \tag{6}$$

式中: $C$ —常数,取 5 mm ~ 10mm,小泵取小值,大泵取大值。

(4) 蜗壳出口断面面积  $F_0$ 。

为满足气液分离的要求,蜗壳出口与泵进口之间设有气液分离室,故蜗壳出口与泵出口是断开的。为使液体动能最大程度地转化为液体势能,减少阻力损失,蜗壳的出口面积可按下式计算<sup>[7-8]</sup>:

$$F_0 = (1.2 \sim 1.45) F_8 \tag{7}$$

该面积的大小对泵的自吸性能(即自吸时间)有一定的影响,应合理选取。

### 2.2 结构设计

新型自吸污水泵的结构设计主要包括前置供水通道仓、转子部件及回流孔等<sup>[9-10]</sup>。

(1) 前置供水通道仓。

由于自吸污水泵长期用于市政污水和工业废水的处理工程等恶劣环境,要经常进行杂物的清除和耐磨板的更换,以减少叶轮的磨损,延长泵的使用寿命。新型自吸污水泵在前盖与叶轮间设置了前置供水通道仓,只需取下前盖,方便快捷地进行杂物的清除和耐磨板的更换;而 ZW 系列自吸排污泵需要拆卸整个泵机组,既耗时又繁琐。

(2) 转子部件。

由于实际运行过程中耐磨板的磨损,导致了耐磨板与叶轮之间的间隙增大,本研究设计了开创性的转子部件,调整泵体与轴承体连接处的螺钉,便可调节叶轮与耐磨板之间的间隙,使得其适用性和使用寿命有了极大地提高。转子部件采用后拉出结构,维修及排障方便,只需普通工具就可快速完成日常维护,省时省力。

(3) 回流孔。

回流孔的形状一般为随蜗壳走向的长方形孔,但是这种回流孔结构存在容易堵塞和自吸时间长的缺陷。因此,新型自吸污水泵的回流孔形状采用反冲式螺旋形圆孔,其回流能力强,气液分离效果好,自吸时间短。

回流孔面积一般用当量圆孔面积计算,其计算公式为<sup>[11]</sup>:

$$d = k(Q/n)^{1/3} \tag{8}$$

式中: $k$ —常数,取 1 ~ 1.5; $d$ —截流断面的直径,mm;  
 $Q$ —泵的设计流量,  $m^3/s$ ;  $n$ —泵的转速,  $r/min$ 。

回流孔的面积大,则经回流孔流向蜗壳的液体多,自吸时间短,但最大自吸高度、泵效率和扬程均会降低。回流孔的面积有一个最佳值,试验证明,回流孔面积达到这个最佳值时,自吸时间最短。否则,即使再加大回流孔面积,不但达不到减少自吸时间的效果,而且会减少最大自吸高度,泵效率和扬程也相应降低。

试验结果表明,回流孔的位置布置在从隔舌起沿叶轮旋转方向的  $190^\circ \sim 220^\circ$  范围内能取得较好的自吸性能。因此,回流孔的进口处位于蜗壳底部位置,可使液体最快地流入到蜗壳中。

回流孔的位置离隔舌越近,自吸时间越长,这是因为隔舌与蜗壳出口离得很近,当叶轮旋转后,其外缘有一层白色气水混合物,此气水混合物与叶轮一起旋转,当经过隔舌时,大部分被隔舌刮出并从蜗壳出口溢出,因此在蜗壳出口附近自下而上存在很多气水混合物。假如回流孔在此附近,则回流的液体中夹带着许多气体,增加了排气的难度,延长了排气的时间<sup>[12]</sup>。

总之,回流孔形状、面积大小及位置的分布对于自吸性能和泵效率都有影响,在设计的时候要尽量兼顾自吸性能和效率,把回流孔对自吸污水泵的影响降到最低程度。

## 3 设计实例和性能试验

### 3.1 设计实例

设计参数:流量  $Q = 400 m^3/h$ ,扬程  $H = 20 m$ ,转速  $n = 1450 r/min$ ,功率  $P = 55 kW$ ,效率  $\eta = 55\%$ ,自吸时间  $t = 100 s/5 m$ ,比转速  $n_s = 187$ 。

本研究根据上述设计参数进行了叶轮设计,得到其计算结果,并应用辅助设计软件进行叶轮绘型,其外形尺寸图如图 2 所示。

之后,本研究进行叶轮模具制作、叶轮铸造和动平衡试验,并加工成形成为叶轮样品,叶轮实物图如图 3 所示。

### 3.2 性能试验

自吸污水泵的性能试验包括自吸性能和水力性能

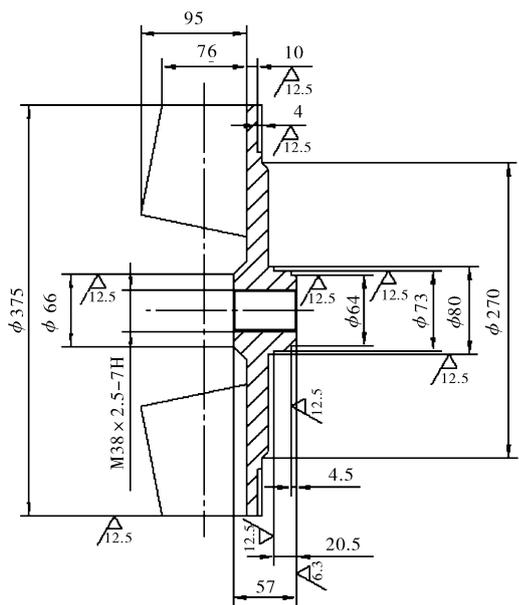


图 2 叶轮尺寸图



图 3 叶轮实物图

两个方面。样机 P8—480/20 在浙江省泵阀产品质量检验中心的泵试验台上进行了测试(样机编号:委 SB201003004-1,试验介质为常温清水),试验所得泵性能曲线如图 4 所示,自吸性能如表 1 所示。

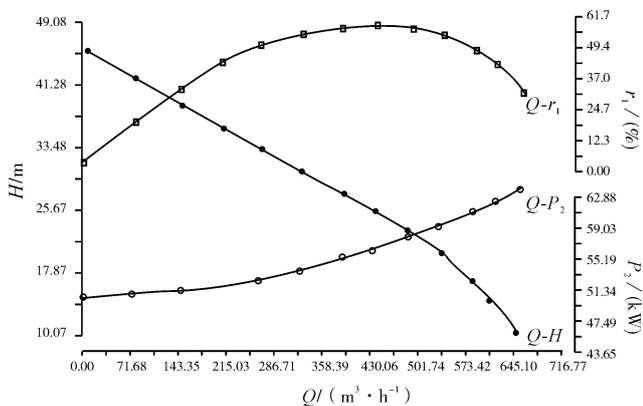


图 4 泵的性能曲线

从性能曲线图 4 中可以看出,整个曲线呈平稳下降,扬程曲线上没有出现驼峰,泵达到设计要求且高效区范围很宽,功率曲线满足设计要求。由表 1 可以看出,在自吸高度  $h = 5 \text{ m}$  时,自吸时间能达到 50 s,比行业标准 JB/T 7256—94 规定的自吸时间至少减少了

50%,自吸性能非常好。

表 1 实测的自吸性能

自吸高度 $h / \text{m}$	自吸时间 $t / \text{s}$
3	26
4	37
5	50
6	76

## 4 结束语

新型无堵塞自吸污水泵具有无堵塞性能好、自吸时间短、耐磨性强、可靠性高、使用维修方便等特点,其广泛应用于市政污水和工业废水的处理工程,以及各类废水分级处理和集中处理系统。

本研究研制的样机 P8—480/20 自吸污水泵的性能达到了设计要求,自吸性能非常好,由于该泵的回流孔采用反冲式螺旋形圆孔,回流能力强,气液分离效果好,从而使得自吸时间短。泵的总结构、前置供水通道仓、转子部件及回流孔的设计完全满足污水输送的要求。

随着污水和废水处理的场合越来越多,特别是在倡导绿色环保的今天,新型无堵塞自吸污水泵的开发十分重要的现实意义。

## 参考文献 (References):

- [1] 陈继涛. ZW 系列自吸式无堵塞排污泵[J]. 渔业现代化, 1997 (4): 11-12.
- [2] 姚 晓. 无堵塞自吸污水泵: 中国, 200620038857. 3 [P]. 2007-07-18.
- [3] 吕智军, 兰才有, 王福军. 自吸泵研究现状及发展趋势[J]. 排灌机械, 2005, 23(3): 1-5.
- [4] 关醒凡. 现代泵技术手册[M]. 北京: 宇航出版社, 1995.
- [5] 黄经国. 污水泵叶轮设计与性能特点漫谈[J]. 水泵技术, 2003 (2): 17-21.
- [6] 王 淮, 施卫东, 蒋小平. 前伸式双叶片污水泵设计和通过能力试验[J]. 排灌机械, 2008, 26(3): 26-29.
- [7] 黄新华. 自吸式塑料离心泵的设计研究[J]. 水泵技术, 2002 (6): 26-29.
- [8] 王东升. 卸船机自吸泵优化改造[J]. 港口科技, 2011 (2): 28-31.
- [9] 崔 明, 王灿星. 纸浆泵数值模拟进展[J]. 轻工机械, 2011, 29(1): 112-115.
- [10] 蒙建楼. 水泵故障诊断及原因分析处理[J]. 机电技术, 2011(6): 69-71.
- [11] 张 兴. 回流孔对自吸泵的影响[J]. 通用机械, 2004 (6): 41, 46.
- [12] 曲昌平. 水泵上的回流孔: 中国, 201020529553. 3 [P]. 2011-06-01.

[编辑: 张 翔]