

# 超低比转速离心屏蔽泵的试验研究

上海新沪电机厂有限公司 (上海 201318) 孙振龙 王者文  
兰州理工大学 (甘肃 730050) 范宗霖

**【摘要】** 在超低比转速范围内,对圆盘打孔叶轮离心屏蔽泵进行了试验研究,简介几套圆盘打孔叶轮实测方案。比较超低比转速离心泵的性能,分析造成这种差别的原因。

**【关键词】** 超低比转速离心泵 圆盘打孔叶轮

## 一、前言

离心屏蔽泵具有流量范围大、流量和压力稳定,转速较高及结构紧凑,操作方便可靠和维护费用低廉的优点。但离心屏蔽泵尤其是超低比转速离心泵( $n_s < 20$ )<sup>[1]</sup>有其自身的缺点,如其叶轮直径增大,出口宽度变小,使制造高质量叶轮的难度增大。泵效率显著下降,且流量—扬程曲线容易出现驼峰,流量—功率曲线明显攀升,有原动机过载的可能。

鉴于此,国内外许多学者进行了大量试验和研究<sup>[2,3]</sup>,针对低比转速离心屏蔽泵的设计提出了许多有效的方法,诸如:加大流量设计法、消除驼峰的技术、无过载理论、短叶片偏置设计、面积比原理和叶轮的优

化设计等。这些方法都或多或少地传递这样一种信息,即常规离心泵的设计原理与方法用于低比转速离心泵的设计是不合适的,这类泵应该有适合自身特性的特有设计理论和方法。

在超低比转速的范围内,切线泵、旋喷泵、旋涡泵是比较成熟的泵型<sup>[4]</sup>,也是前人采用非常规设计方法在低比转速离心泵上应用的范例。

早在20世纪60年代初,原沈阳水泵研究所所长张传布先生就大胆地提出变设计叶轮片为设计叶轮流道的设计思想。在总结前人经验的基础上,采用圆盘打孔叶轮(如图1)这一非常规设计方法,并得到一些有益的经验。

0~4MPa的压力表。阀门的打压试漏严格按照国家有关技术标准进行,保证维修过的的阀门有效使用。

技术规范如下:①阀门的试验与检验严格执行ZBJ16006—1990。②壳体试验压力为38℃时公称压力的1.5倍。③高压密封试验和高压上密封试验为38℃时公称压力的1.1倍。④低压密封试验和低压上密封试验公称压力为0.5~0.7MPa。

## 六、效益分析

这种维修设备的出现使截止阀的维修效率提高了,且节约了生产成本。经过返修后的阀门打压合格,按照工艺要求内壁做防腐处理,表面刷防锈油漆,以旧换新重新使用。在保证3个月不泄漏的情况下,按照市场上低于

同类型号新阀门40%价格单独核算,有了这一套设备使生产下线的截止阀维修后上线率达到95%以上。这种以旧换新,先试用再付维修费用的方式树立了良好信誉。

## 七、结束语

截止阀维修专用设备的出现,充分体现了节能降耗、修旧利废的创新意识。这些设备还在不断改进和向更宽的领域扩展,如对机封面、活塞压缩机阀座等方面。如果对研磨台纹路、研磨膏及研磨速度等因素进行改变,即可以适用于设备部件密封平面的修复。可以说它的出现不仅仅便利了部分设备密封面的维修,也给同行业密封面的维修提供了一种解决思路。GM

(收稿日期:2007/08/02)

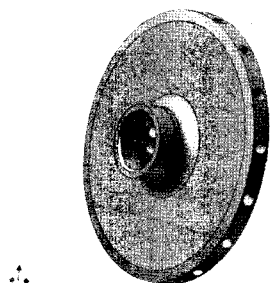


图1 圆盘打孔叶轮的外形图

## 二、超低比转速离心屏蔽泵的试验研究

### 1. 圆盘打孔叶轮设计方案的比较

此泵的设计参数为流量  $Q = 3.2\text{m}^3/\text{h}$ , 扬程  $H = 20\text{m}$ , 转速  $n = 1480\text{r}/\text{min}$ , 比转速  $n_s = 17$ , 圆盘打孔叶轮是由8组圆孔组成(如图2), 每组圆孔由一个径向和两个斜向圆孔构成, 叶轮出口处每个圆孔上均加工内螺纹。试验共分以下7项试验方案进行。

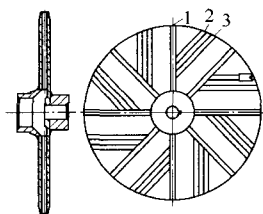


图2 圆盘打孔叶轮的几何形状

1. 1号孔 2. 2号孔 3. 3号孔

- 1) 方案1 1号圆孔全开, 2、3号圆孔采用螺塞密封。
- 2) 方案2 2号圆孔全开, 3号圆孔用螺塞密封。
- 3) 方案3 1、2、3号圆孔全开。
- 4) 方案4 1、3号圆孔全开, 2号圆孔采用螺塞密封。
- 5) 方案5 2、3号圆孔全开, 1号圆孔采用螺塞密封。
- 6) 方案6 3号圆孔全开, 1、2号圆孔采用螺塞密封。
- 7) 方案7 2号圆孔全开, 1、3号圆孔采用螺塞密封。

试验用 KQL40/250—7.5/2 泵装置, 叶轮从吸入口看为逆时针方向旋转。所有用于试验的圆盘打孔叶轮外径  $D_2$  与圆盘的厚度  $B_2$  尺寸与 KQL40/250—7.5/2 泵叶轮相同。

以方案1为样板, 将方案1、2、3和4为一组, 方案1、5、6和7为另一组, 把它们性能曲线绘制两组曲线(如图3、图4)。在同流量点下, 经过比较发现第一组  $Q-H$  曲线中, 扬程以方案3—方案4—方案2—方案1的次序依次降低,  $Q-\eta$  曲线中方案2和方案4几乎重合, 以方案3—方案4—方案2—方案1的次序依次降低,  $Q-P_a$  曲线中方案1、2和3几乎重合, 方案4偏高些。在第二组  $Q-H$  曲线中, 扬程以方案5—方案1—方案7—方案6的次序依次降低,  $Q-\eta$  曲线中方案5和方案1几乎重合, 方案6和方案7几乎重合, 以方案5—方案1—方案6—方案7的次序依次降低,  $Q-P_a$  曲线中方案1、5和6几乎重合, 方案7偏高些。

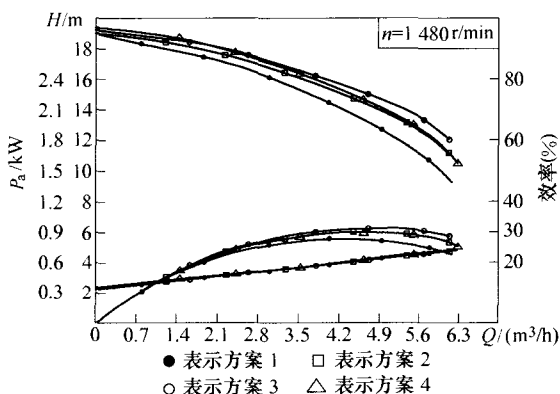


图3 方案1、2、3和4泵的性能曲线

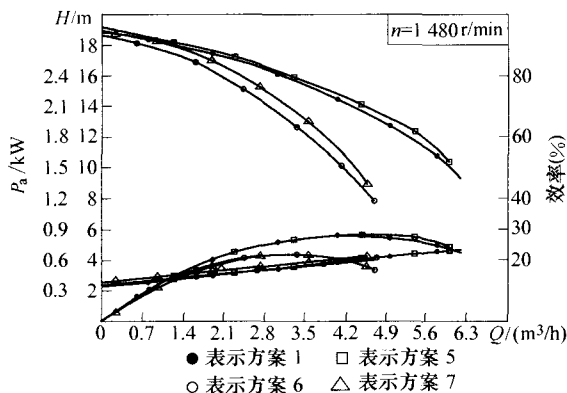


图4 方案1、5、6和7泵的性能曲线

### 2. 圆盘打孔叶轮16孔方案的比较

上述7种方案都没有满足  $Q = 3.2\text{m}^3/\text{h}$  和  $H = 20\text{m}$  的设计参数。方案1在  $Q = 3.2\text{m}^3/\text{h}$  时  $H = 15.8\text{m}$ , 远远没有达到设计要求。通过比较第一组性能曲线看到随着通流孔数的增加, 扬程和效率均有增加的趋势。从泵基本方程式的理论分析上看  $Q-H$  曲线的变化也符合上

述趋势。故采用在方案1的基础上将主流孔数增加一倍的方案(如图5),16孔方案与方案1相比,相当叶轮出口面积  $F_2$  增加了一倍。

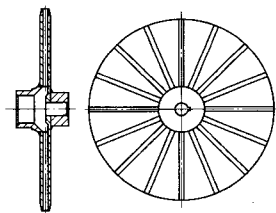


图5 16孔圆盘打孔叶轮的几何形状

把方案1、方案3和16孔方案的性能曲线绘制一组曲线(如图6)。上述3种方案叶轮的外径均相同,仅开孔方式和开孔数量有差异。从方案1和方案3看,主流孔数相同,随着方案3的副主流孔数的增加, $Q-H$ 曲线和 $Q-\eta$ 曲线均有明显的提高。16孔方案是主流孔增加一倍,其 $Q-H$ 曲线变为其切线近乎水平的形式, $Q-\eta$ 曲线随着流量增加其效率一路攀升,呈现出其高效区宽的特点,最高效率高达39%。

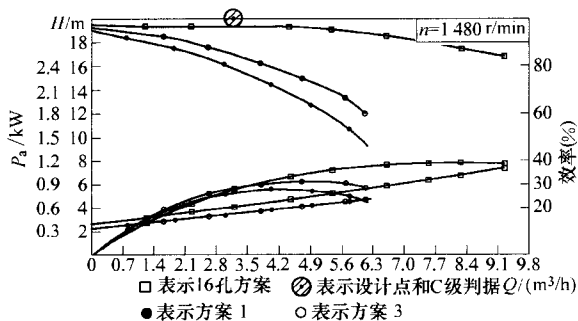


图6 方案1、3和16孔方案的性能曲线

16孔方案的 $Q-P_a$ 曲线与方案1、3相比有一定的增加,由于 $Q-\eta$ 曲线随着流量增加其效率明显提高且呈现出其高效区宽的特点,故 $Q-P_a$ 曲线变化趋势同方案1、方案3,在 $Q=9.2\text{m}^3/\text{h}$ (是设计点流量的3倍)时, $P_a=1.1\text{kW}$ 。16孔方案的C级判别值为1.21,符合设计要求。

### 3. 圆盘打孔叶轮16孔提速方案

将16孔方案中的转速由1480r/min提高到2960r/min,经试验得到其性能曲线(如图7)。设计参数在 $n=1480\text{r}/\text{min}$ 时 $Q=3.2\text{m}^3/\text{h}$ , $H=20\text{m}$ ,用比例定律换算到 $n=2960\text{r}/\text{min}$ , $Q=6.4\text{m}^3/\text{h}$ 和 $H=80\text{m}$ 。把 $Q=6.4\text{m}^3/\text{h}$ 和 $H=80\text{m}$ 的换算值同提速试验性能曲线(如图7)对应实测值是相符的,且对应点的效率值

基本相同。C级判别值为11.74,符合设计要求。

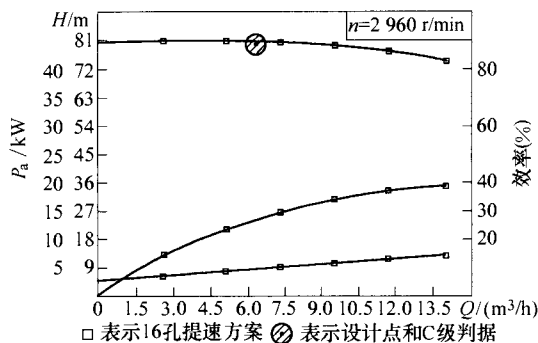


图7 16孔提速方案的性能曲线

### 4. 圆盘打孔叶轮与常规叶轮方案的比较

将16孔提速方案与同设计参数的常规叶轮(共用KQL40/250-7.5/2泵装置)同台的试验性能曲线比较(如图8),看到 $Q-H$ 曲线二者均满足 $Q=6.4\text{m}^3/\text{h}$ 和 $H=80\text{m}$ 的设计参数,其中常规叶轮的C级判别值为12.99,16孔提速方案的C级判别值为11.74。 $Q-\eta$ 曲线中圆盘打孔叶轮效率平均高于常规叶轮1%, $Q-P_a$ 曲线中圆盘打孔叶轮的轴功率低于常规叶轮。在汽蚀方面,常规叶轮同圆盘打孔叶轮相比过早地发生汽蚀现象,可见圆盘打孔叶轮在性能和气蚀两方面都明显优于常规叶轮。

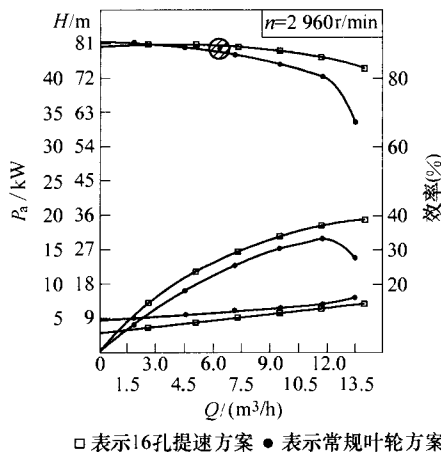


图8 16孔圆盘打孔叶轮与常规叶轮的性能曲线

## 三、超低比转速离心屏蔽泵的实验结果的讨论

为什么圆盘打孔叶轮的性能优于常规叶轮?有以下原因。

1) 液体进入叶轮流道至离开叶轮流道时,液体运动的绝对速度圆周分量  $v_u$  的变化是确定液体通过叶轮

时所获取能量的主要因素,从泵的基本方程式的推导看并不涉及叶轮内流动状态,也就是说对泵叶轮流道的形式并没有什么限制条件。所以圆盘打孔叶轮的设想并不违反动量矩泵的基本原理。

2) 常规离心泵叶轮一般是由6个截面为矩形的弯曲扩散流道构成,而圆盘打孔泵叶轮则是由多条等截面直圆管所组成的。叶轮流道内由于液体惯性引起滑移的轴向旋涡将影响叶轮进出口绝对速度圆周分速度的大小,也就是影响到泵的扬程,即滑移现象。轴向旋涡的影响是随着叶片数的增多而减小的。比较两种叶轮,就有理由认为圆盘打孔泵叶轮就相当于叶片数很多的叶轮,它的直圆管流道相对来说是一个狭长流道,极大地限制了轴向旋涡的发展和影响。

3) 液体从叶轮进口到出口的流动过程中,从叶轮的流道中得到能量,同时也要消耗一部分能量,这就是叶轮的水力损失。这种损失在流量相同的情况下就与叶轮流道的形状、长短和过水断面的水力要素有关。常规离心泵叶轮流道是一个弯曲的扩散流道,过水断面基本是矩形或菱形断面,其水力半径比圆断面大,意味着摩擦面积大,此外这种断面有四个死角,在死角内将产生旋涡,缩小有效过流面积。弯曲的扩散流道将伴随着扩压损失。而圆盘打孔叶轮的流道是钻削的圆形直管,圆形断面的湿周最小,液流在圆管中流过没有速度能向压能的转换过程,因此其本身的水力损失较小。

4) 前面已说明,所有试验的圆盘打孔叶轮都是共用KQL40/250—7.5/2的泵体,这里就有一个叶轮与泵体匹配的问题。一台泵效率不仅仅是由叶轮一方所决定的,特别是对低比转速,它的效率首先取决于叶轮的圆盘摩擦损失和叶轮出口及泵体内的损失。从圆盘打孔叶轮内流出的液体是没有减速的射流,它的出口速度远远大于泵体内液体的流速,这种在泵体内动量交换会产生较大的水力损失。所以应当根据圆盘打孔叶轮的出流特点设计适合的压水室。

5) 在对上述7套圆盘打孔叶轮方案的比较中似乎可以得出:方案3(即1、2和3号圆孔全开)是最佳的,方案6(即3号圆孔全开,1、2号圆孔用螺塞密封)和方案7(即2号圆孔全开,1、3号圆孔用螺塞密封)是最差的结论。但“1、2、3号圆孔全开性能是最佳的”的说法还是值得商讨的。方案1(即1号圆孔全

开,2、3号圆孔用螺塞密封)应该是最佳的,其实测数据比较所以不是最佳的,关键是忽略了叶轮的出口面积,二者的出口面积不同。如果将方案1中的1号圆孔直径加大或提高圆孔数,因为出口流速降下来了,其性能肯定会变好,16孔方案也充分说明了这一点。

6) 方案3不应当是最佳的理由如下:①1、2和3孔的流量不同。因为液体在流通时本能的沿阻力最小的通道流动,1孔是沿半径方向布置的通道,没有转弯,而且通过圆盘回转中心,与所受离心力的作用线重合。而2、3孔的通道有转弯,且不与离心力的作用线重合。所以水力阻力比1孔大。所以说1孔是主流道,2、3孔是辅助流道,2、3孔的开通实际上是降低了1孔出口的流速,从而大大降低了出口处的撞击损失。这也是似乎方案3(即1、2和3号圆孔全开)是最佳的原因。②1、2和3孔全开时(3孔径相同)三孔的流量不同,有 $q_1 > q_2 > q_3$ 关系,则有出口速度 $v_1 > v_2 > v_3$ ,同样出口绝对速度也有如上关系。试想一个旋转圆盘圆周上的24个孔出流的速度大小与方向不相同,则沿叶轮圆周的液流是不均匀的,效率是否会高的。

#### 四、结论

1) 从试验结果的对比分析来看,圆盘打孔叶轮用于超低比转速离心泵是一种可行的形式。

2) 16孔方案是最佳的也是最易加工制造的,且遵守比例定律。优于常规叶轮,特别适用单件小批量的生产。

3) 圆盘打孔叶轮表现出的高效区范围宽的特性,是一个值得注意的现象。

4) 研究和设计与圆盘打孔叶轮相适应的泵体,泵的效率将会得到较大的提高。

#### 参考文献

- [1] 何希杰,等.低比转速离心泵范围的界定[J].流体机械,2000,28(11).
- [2] 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.
- [3] 袁寿其.低比速离心泵理论与设计[M].北京:机械工业出版社,2001.
- [4] 范宗霖,等.切线泵的试验研究[J].水泵技术,2002(1). GM (收稿日期:2007/12/17)