

单振子双腔体压电薄膜泵的研究

张德君, 程光明, 杨志刚, 曾平

(吉林大学机械科学与工程学院, 130025, 长春)

摘要: 利用雕刻技术,以有机玻璃为原材料,加工制作了一种可双向工作的单振子双腔体压电薄膜泵,并对该结构压电泵的工作原理进行了阐述.通过对单振子双腔体压电薄膜泵的输出流量和压力的测试,得出在输入 100 V 正弦交流信号时,它的最佳工作频率为 20 Hz,输出流量为 785 mL/min,输出压力为 14 kPa,表明单振子双腔体压电泵在低频工作时,其输出流量优于单振子单腔体压电泵,而且能够提高机械转化效率,工作过程无脉动现象.

关键词: 压电薄膜泵;双腔体;单振子

中图分类号: TH38 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2007)03-0380-03

Experimental Research on Double-Chambered Piezoelectric Pump with Single-Actuator

Zhang Dejun, Cheng Guangming, Yang Zhigang, Zeng Ping

(College of Mechanical Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China)

对压电薄膜泵的研究可追溯到 20 世纪 70 年代,根据腔体数目的不同,可分为单腔体和多腔体等多种结构^[1].目前,所研究的有阀压电泵大都是单腔体压电泵,其输出性能不够理想,只能满足特定条件下的使用要求^[2].因此,本文根据木风箱工作原理对单腔体压电泵进行了改进,制作了性能较为理想的单振子双腔体压电泵.

1 单振子双腔体压电泵的工作原理

1.1 活塞式木风箱

活塞式鼓风机木风箱是在现代鼓风机发明以前最先进的鼓风器具^[3],而现代鼓风机的发明是在木风箱的基础上产生的.如图 1 所示,木风箱主要由拉杆、通风口和只能向内开闭的活门组成.当木风箱工作时,如果把拉杆向左推动,右侧的空腔增大,气压下降,箱外的气体便压开右端通风口的活门 2 流入到箱内,而左侧的空腔减小,气压增大,气体就压开通风口的活门 4 冲入通风管,由吹风口吹出.当把拉杆向右拉动时,左侧的空腔增大,气压下降,箱外气体便压开左端通风口的活门 3 流入到箱内,而右侧的空腔减小,气压增大,气体就压开通风管的活门 5

冲入通风管,由吹风口吹出.由于无论是推还是拉,都有气体吹出,因此实现了木风箱的双向工作,提高了工作效率和排风能力.

1.2 单振子双腔体压电泵

根据木风箱双向工作的原理,设计了单振子双腔体压电薄膜泵,其结构简图如图 2 所示.

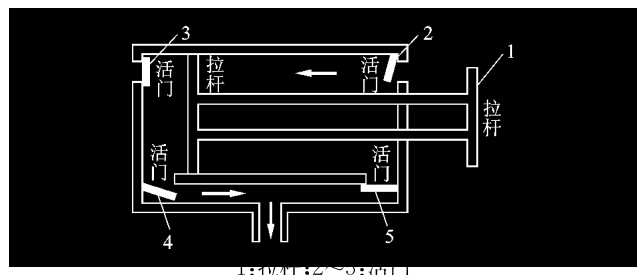
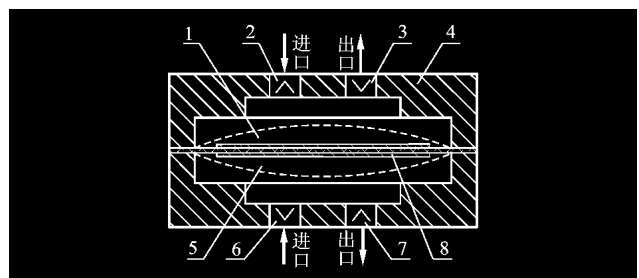


图 1 木风箱结构简图



1:单腔体 A;2、3、6、7:单向阀;4:泵体;5:腔体 B;8:压电振子

图 2 双腔体压电泵结构简图

当仅把压电泵的一侧进口放入水中时,即为单腔体压电泵,设泵的腔体 A 工作,腔体 B 空载,工作初始状态时压电振子处于向上振动的最大振幅位置.压电振子在正弦交流信号的激励下向下运动,并达到向下振动的最大振幅位置,在这个过程中,泵腔的有效体积增大,进口单向阀 2 逐渐打开,出口单向阀 3 逐渐关闭,水沿进口流入泵腔,实现了泵的吸水过程.当泵吸水过程完成后,压电振子向上运动直到振动到最大振幅位置,在这个过程中,泵腔有效体积减小,进口单向阀 2 逐渐关闭,出口单向阀 3 逐渐打开,水沿出口流出,实现了泵的排水过程,如此周而复始,就形成了压电泵的连续泵水工作.由单腔体压电泵的工作过程可以看出,单腔体压电泵在一个工作周期内,完成一次吸水和一次排水过程,前半个工作周期吸水,后半个工作周期排水,由于工作时水的脉动较大,因此工作效率较低.

把图 2 所示压电泵的上、下进口同时放入水中,就是一个可双向工作的单振子双腔体压电泵.对该种结构泵的工作过程进行重复分析可知:单振子双腔体压电泵在一个周期内可同时完成 2 次吸水、排水的工作过程,所以工作时没有脉动,提高了工作效率.

1.3 压电振子变形量及输出压力

压电泵的输出性能与压电振子的机械性能和几何参数有直接的关系,对于圆形压电陶瓷-金属复合膜压电振子,可采用其中心点的变形量和压力来表征泵的输出能力.当压电振子工作频率远低于其谐振频率且空载时,压电振子中心点的变形量为

$$\delta = \gamma \frac{3}{8} d_{31} \frac{d^2}{t^2} U \quad (1)$$

式中: γ 表示与压电薄膜和金属薄膜尺寸、性能相关的量纲为一的系数; d_{31} 为压电常数; d 为压电薄膜直径; t 为压电薄膜厚度; U 为工作电压.

采用交流信号激励时,每个交流信号周期双向变形引起的泵腔体积变化为

$$\Delta V = 2 \frac{\pi d^2}{8} \delta = \frac{3\gamma\pi}{32} d_{31} \frac{d^4}{t^2} U \quad (2)$$

当输出压力为 0 时,压电泵的输出流量为

$$Q(U, f) = \gamma_1 \Delta V f = \frac{3\gamma_1\gamma\pi}{32} d_{31} \frac{d^4}{t^2} U f \quad (3)$$

式中: γ_1 为阀的效率系数,取决于阀片的开度、阀片与压电振子间的相位角.

同时,压电振子产生的压力可表示为

$$p(U) = \frac{12\pi Y_{11}^D d_{31}}{4.5\pi Y_{11}^D g_{31} d_{31} + 1} \frac{t}{d^2} U \quad (4)$$

式中: Y_{11}^D 为压电振子的弹性模量; g_{31} 为压电电压常数.

当压电泵在压电振子处于共振状态时,理论上其输出性能最好,但压电振子的共振频率较高(试验用压电振子的共振频率在 1 500 Hz 左右),因此所研究的泵为被动阀压电泵.当工作频率升高时,阀片响应将滞后于压电振子的变化,使压电泵的工作频率受到阀片响应频率的限制.另外,压电泵工作中的固流耦合也影响压电泵的工作频率,这些因素均使得目前所研究的压电泵不能在压电振子共振状态下工作.

2 试验测试

2.1 泵的输出流量和压力的测试

在出口零压力的条件下,对泵的输出流量测试应保持压电泵的出水口同储水槽的水面在同一个平面上.如图 1 所示的单腔体 A、B 工作以及双腔体 A 和 B 同时工作时,测试了它的输出流量与频率,结果如图 3、图 4 所示.

由于输出压力是在出口零流量条件下测试的,而工作腔内流体不流动,会导致腔内流体温度过高,使压电片迅速老化,这对压电泵输出性能影响极大,因此试验中只测试了当压电泵输出流量最大时的输出压力值.

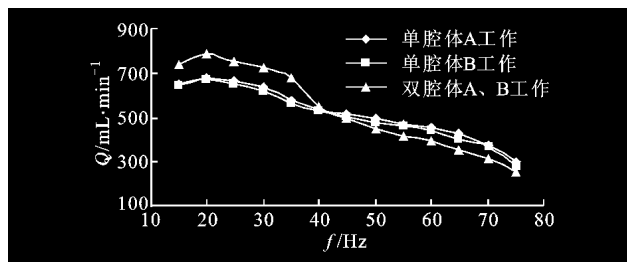


图 3 单、双腔体压电泵输出流量对比曲线

2.2 试验结果分析

由图 3 可看出,在 $f=40$ Hz 之前,双腔体压电泵的输出流量明显高于单腔体压电泵,而 $f=40$ Hz 之后的输出流量稍低于单腔体压电泵,主要原因为:双腔体压电泵在工作过程中是一腔吸水、另一腔排水交替进行的,这就使得排水工作腔对吸水工作腔产生背压,并且背压直接作用在压电振子上,降低了振子的振幅,使得工作时腔内产生的负压降低.因此,当工作频率增大时,双腔体压电泵的输出流量反而不如单腔体压电泵.由试验数据可看出,虽然低频工作时双腔体压电泵的输出流量明显高于单腔体压电泵,但并不是单腔体压电泵输出流量的 2 倍.由于

无论双腔体压电泵还是单腔体压电泵都是利用同一个压电振子工作的,因此在相同条件下振子的输出功率是一定的,采用双腔体压电泵是因为提高了压电振子的机械转化效率而获得了较好的输出性能.同时试验中发现,采用单腔体压电泵工作时脉动现象剧烈,而双腔体压电泵输出流量比较平缓,没有脉动现象,这是由于双腔体压电泵在一个工作周期内完成了二次吸排水的工作,整个周期内都有流体均匀输出,因此没有脉动现象.单腔体压电泵在一个工作周期内只完成一次吸排水工作,其中半个周期是吸水过程,另半个周期是排水过程,因此单腔体压电泵工作时脉动现象剧烈.

如图4所示,压电泵的输出流量与电压近似成线性关系,这是因为在相同频率的交流电信号激励下,电压越大,压电振子的变形就越大,而泵腔体积变化量越大,压电泵的输出流量也就越大.

在固定条件下($U=100\text{ V}$, $f=20\text{ Hz}$)对压电泵出口零流量时的输出压力进行了测试,双腔体泵工作时对A、B腔同时测压力,得到的压力值均为12 kPa.在A、B腔出口水流合为一处测得的压力值为14 kPa.作为单腔体压电泵工作时,测得的压力值为15 kPa.可以看出,双腔体压电泵和单腔体压电

泵的输出压力基本一致,没有提高.

3 结 论

(1)单振子双腔体压电泵能够提高泵的机械转化效率,明显降低泵在工作过程中的脉动,但不能提高泵的输出压力.

(2)随着电压的提高,压电泵的输出性能也相应地提高,二者之间近似为线性关系,且最佳输出流量对应的频率不受电压的影响.

(3)所制作的单振子双腔体压电泵样机在100 V正弦信号驱动下,最佳工作频率为20 Hz,输出流量为785 mL/min,输出压力为14 kPa,工作过程中无脉动、无噪声.

参考文献:

- [1] 阚君武,杨志刚,程光明. 压电泵的现状与发展[J]. 光学精密工程, 2002, 10(6): 619-625.
Kan Junwu, Yang Zhigang, Cheng Guangming. Status and development of piezoelectric micro-pump[J]. Optics and Precision Engineering, 2002, 10(6): 619-625.
- [2] 阚君武,杨志刚,刘品宽,等. 两腔体串连压电驱动微型泵的输出特性[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2004, 36(10): 1347-1350.
Kan Junwu, Yang Zhigang, Liu Pinkuan, et al. Performance of a double-chamber serial piezoelectric micro-pump[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2004, 36(10): 1347-1350.
- [3] 杨宽. 中国古代冶铁技术发展史[M]. 上海: 上海人民出版社, 1982: 149-153.

(编辑 管咏梅)

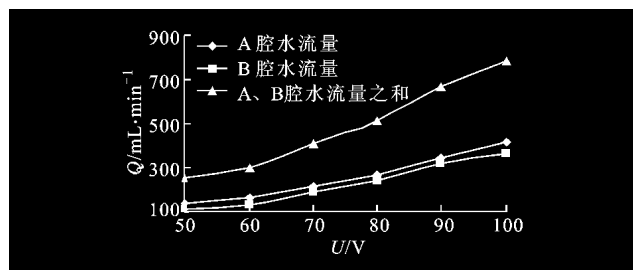


图4 电压对压电泵输出流量的影响曲线