

文章编号 1004-924X(2006)04-0001-04

# 整体开启阀与悬臂梁阀压电泵性能研究

孙晓锋<sup>1,2</sup>, 杨志强<sup>3</sup>, 刘晓论<sup>1</sup>, 李欣欣<sup>1</sup>, 林敬国<sup>1</sup>

(1. 吉林大学 机械工程与自动化学院, 吉林 长春 130025;

2. 吉林化工学院机械和电子工程系, 吉林 吉林 132022; 3. 东北师范大学 吉林 长春 130022 )

**摘要:** 设计了两种形式的被动截止薄膜阀—整体开启阀与悬臂梁阀, 对两种形式阀的过流特性进行了理论分析, 并应用两种形式的阀体制成了双腔串联压电泵的样机, 对样机的实验测试表明, 整体开启阀压电泵的自吸能力和输出流量都要好于悬臂梁阀压电泵。在 200 V 交流电压驱动下, 前者的最大自吸高度和输出流量分别为 430 mm 水柱和 972 ml/min, 而后者为 410 mm 水柱和 480 ml/min。

**关键词:** 压电泵; 双腔串联; 被动截止阀

**中图分类号:** TN384; TH38 **文献标识码:** A

## Performance research on piezoelectric pumps based on holistic opening valve and cantilever valve

SUN Xiao-feng<sup>1,2</sup>, YANG Zhi-qiang<sup>3</sup>, LIU Xiao-lun<sup>1</sup>, LI Xin-xin<sup>1</sup>, LIN Jing-guo<sup>1</sup>

(1. *College of Mechanical Engineering and automatization, Jilin University, Changchun 130022, China;*

2. *Department of Machinery and Electricity Engineering, Jilin Institute of Chemical Technology, Jilin 132022, China;* 3. *Northeast Normal University, Changchun 130022, China* )

**Abstract:** The flow performance characteristics of two check valves, holistic opening valve and the cantilever valve, were investigated. The prototype of piezoelectric pump with double series-wound chambers was manufactured in two form valves. The experimental results show that the self-suck ability and output flux of the piezoelectric pump with holistic opening valve are better than the piezoelectric pump with cantilever valve. With the alternating current of 200 V, the maximum self-suck height of the formers is 430 mm water column (the pressure is about 43 kPa), and the maximum output flux is 972 ml/min, the counterpart value of the latter piezoelectric pump is 410 water column and 480 ml/min, respectively.

**Key words:** piezoelectric pump; double series-wound chambers; passive check valve

## 1 引言

作为微流动系统的核心部件,压电泵具有体积小、结构简单、无电磁干扰、易于操作等优点,在化学分析、医疗器械、小型部件清洗、粘接剂喷涂以及汽车发动机燃料供给等方面均可应用。但压电泵的输出能力较低、稳定性差、灌泵困难仍是困扰研究者的难题。本文作者在几年的研究中发现,压电泵的性能除了与泵腔的多少、腔体高度有着密切的关系外,阀体的结构也有着十分重要的影响。目前已经对压电阀、热激励阀、静电激励阀、磁激励阀、记忆合金阀、电磁/静电激励阀等多种原理的阀结构进行了研究,不同的阀结构在不同的微流体驱动中得到应用<sup>[1-4]</sup>。本文设计了两种结构的薄膜阀,通过对两种形式薄膜阀压电泵的性能分析比较,寻求阀体结构对泵性能产生的影响。

## 2 被动截止阀的工作原理与过流特性

整体开启阀和悬臂梁阀统称被动截止阀。被动截止阀的工作原理是由于驱动器(压电振子)的往复振动,引起泵腔容积的变化,使阀体两端产生压力差,从而自动实现开启和关闭,达到单向截止的作用。目前所研制的被动截止阀,最佳工作频率已由过去的几赫兹、几十赫兹到现在的几百赫兹,在很大程度上促进了压电泵性能的提高。图 1 就是几种形式的被动截止阀。其中  $a_1$ 、 $a_2$  为悬臂梁阀, $b_1$ 、 $b_2$  为整体开启阀。

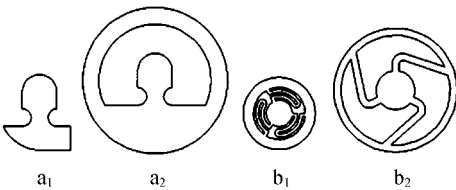


图 1 几种不同结构形式的薄膜阀

Fig. 1 Membrane valves of different shapes

### 2.1 悬臂梁阀的过流特性

有关介绍悬臂梁阀<sup>[5-8]</sup>工作特性的文献很多,目前所查到的有关压电泵的文献,也多是以悬臂梁阀作为截止阀进行的结构设计,由文献<sup>[7]</sup>可

知,通过悬臂梁阀矩形缝隙的瞬时流量为:

$$Q = C \frac{\Delta p r^2 l^3}{E h^3} \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}}, \quad (1)$$

$C$  为流量系数; $\Delta p$  为缝隙两侧的压差; $r$  为阀片出入口半径; $l$  为阀的臂长; $E$  为阀片的杨氏模量; $h$  为阀片的厚度; $\rho$  为液体密度。

### 2.2 整体开启阀的过流特性

整体开启阀<sup>[9]</sup>工作模型可以看成简支固定的圆形板,同悬臂梁阀相比,整体开启阀整体受力比较均匀,因此截止性能较好。当阀体两侧存在压差时阀片打开,流体通过阀周围缝隙通过。将阀的过流间隙等效为圆柱形缝隙,则瞬时流量为:

$$Q = C S_0 \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}}, \quad (2)$$

式中: $S_0$  为过流面积(近似取  $S_0 = 2\pi r y_{\max}$ ,  $r$  为阀进出口半径, $y_{\max}$  为圆形阀中心最大挠度)

由于简支固定,所以有:

$$y_{\max} = \frac{(5 + \mu) \Delta p R^2}{64(1 + \mu) D}, \quad (3)$$

式中: $\mu$  为泊松系数, $R$  为阀片半径, $D$  是抗弯刚度,为  $D = \frac{E h^3}{12(1 - \mu^2)}$ ,取  $\mu = 0.3$ ,得到通过整体开启阀的瞬时流量为:

$$Q = 4.37 C \frac{\Delta p r R^2}{E h^3} \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}}, \quad (4)$$

通过以上的理论分析可知,不论是哪一种薄膜阀,通过阀的瞬时流量都与阀厚度的三次方成反比,因此,减小薄膜阀的厚度,可在一定程度上提高压电泵的输出流量。

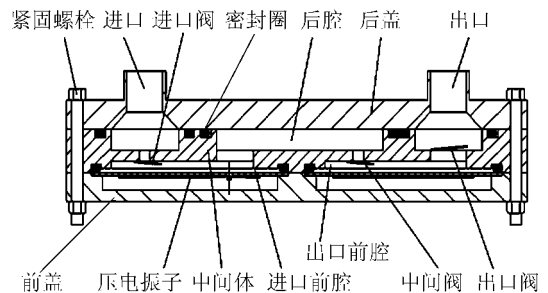


图 2 双腔串联三阀压电泵结构示意图

Fig. 2 Structural schematics of three-valved piezoelectric pump with double series-wound chambers

### 3 两种结构形式阀体的压电泵性能比较

分别采用以上两种形式的阀体,制成双腔串联压电泵样机,结构如图2所示。在交流电压200 V的情况下,以水为介质对泵的性能进行试验测试。图3是对压电泵进行的自吸性测试。对压电泵而言,泵的自吸性是指在泵腔干燥(仅有空气存在)情况下自我灌泵的性能。它是由压电振子往复振动,使泵腔体内的空气不断被排出并产生内外压差,使液体进入腔内。自吸能力的好坏常用泵自吸液体的高度多少来衡量,它也是衡量泵性能的一项重要指标。一般说来,泵的自吸性能除了受腔体高度的影响外,主要受阀体截止性能的影响。由于整体开启阀整体受力比较均匀,因此截止性能较好,使整体开启阀泵的整体自吸能力好于悬臂梁阀泵。

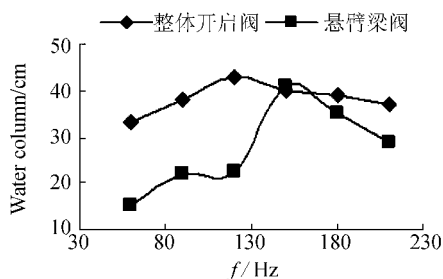


图3 自吸能力比较

Fig. 3 Comparison of self-suction capabilities

图4是两种形式阀体泵的流量输出曲线。由理论分析可知,通过整体开启阀的流体截面可以看成圆柱形截面,这使整个出流面积要远远大于悬臂梁阀的矩形截面,因此整体开启阀泵的输出流量要远远好于悬臂梁阀泵。通过实验测试,整体开启阀泵的最大输出流量可达972 ml/min,而悬臂梁阀泵的最大输出流量仅为480 ml/min。

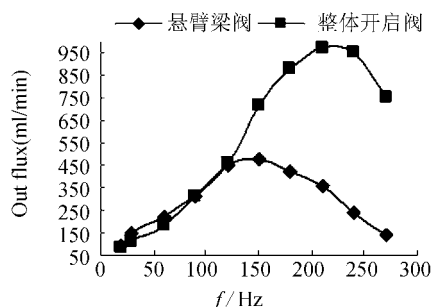


图4 输出流量比较

Fig. 4 Comparison of output flow rates

### 4 结论

(1)不同结构形式的薄膜阀对压电泵的输出性能有很大影响,通过对悬臂梁阀与整体开启阀过流特性的理论分析可知,减小阀片的厚度可达到增加输出流量的目的。

(2)分别由悬臂梁阀与整体开启阀加工成双腔串联泵的样机,通过试验测试发现,无论是自吸性能还是输出流量,后者均好于前者。

### 参考文献:

- [1] GERLACH T, WURMUS H. Working principle and performance of the dynamic micropump [J]. *Sensors and Actuators A*, 1995, 50: 135-140.
- [2] 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 J W, YANG ZH G, CHENG G M. Research on piezoelectric pump and its development [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002, 10 (6): 619-625. (in Chinese)
- [3] 白韶红. 微型阀和微型泵的原理与应用 [J]. *传感器世界*, 2004, 18 (3): 29-32.  
BAI SH H. The principle and application for microvalve and micropump [J]. *Sensor World*, 2004, 18 (3): 29-32. (in Chinese)
- [4] 李勇, 周兆英, 叶雄英. 微型阀和微型泵进展 [J]. *仪器仪表学报*, 1996, 17(1): 56-60.  
LI Y, ZHOU ZH Y, YE X Y. An overview of research on microvalves and micropumps [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 1996, 17(1): 56-60. (in Chinese)
- [5] 尹执中, 徐宁, 庞江涛, 等. 热驱动微型泵的实验研究 [J]. *功能材料与器件学报*, 2000, 6 (2): 65-70.

- YIN ZH ZH, XU N, PANG J T, *et al.* Experimental study on thermal actuated micropump[J]. *Journal of Material and Devices*, 2000, 6 (2): 65-70. (in Chinese)
- [6] 尹执中, 庞江涛, 胡桅林, 等. 悬臂梁式微型阀[J]. *仪表技术与传感器*, 2000, (3): 38-43.  
YIN ZH ZH, PENG J T, HU W L, *et al.* Cantilever microvalve[J]. *Instrument Technique and Sensor*, 2000, (3): 38-43. (in Chinese)
- [7] 阚君武, 吴一辉, 杨志刚, 等. 悬臂梁微型阀特性研究[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2005, 37(2): 190-193.  
KAN J W, WU Y H, YANG ZH G, *et al.* Study on the performance of micro-cantilever valve[J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2005, 37(2): 190-193. (in Chinese)
- [8] 程光明, 刘国君, 杨志刚, 等. 基于悬臂梁阀的微型压电泵的实验研究[J]. *机械科学与技术*, 2005, 24(10): 1181-1183.  
CHENG G M, LIU G J, YANG ZH G, *et al.* Experimental research on piezoelectric micro-pump using cantilever check valve[J]. *Mechanical Science and Technology*, 2005, 24(10): 1181-1183. (in Chinese)
- [9] 杨树臣, 程光明, 刘国君, 等. 微型压电泵系统的设计研究[J]. *光学 精密工程*, 2005, 13(3): 319-322.  
YANG SH CH, CHENG G M, LIU G J, *et al.* Design of piezoelectric micro-pump[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2005, 13(3): 319-322. (in Chinese)
- [10] 曾平, 程光明, 刘九龙, 等. 双腔薄膜阀压电泵的试验研究[J]. *光学 精密工程*, 2005, 13(3): 311-316.  
ZENG P, CHENG G M, LIU J L, *et al.* Experimental research on double-chambered piezoelectric pump with membrane valves[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2005, 13(3): 311-316. (in Chinese)

作者简介: 孙晓峰(1974—), 男, 吉林公主岭人, 吉林大学机械设计及理论专业博士研究生, 研究方向为压电驱动及理论。  
sxflxm@126.com.