

# 压电式喷射点胶阀位移放大机构的优化设计

杜江 陶巍

(厦门大学机电工程系, 福建 厦门 361005)

**摘要:**采用有限元软件 ANSYS 对叠堆式压电陶瓷以及放大机构性能特性进行分析,研究了叠堆式压电陶瓷 0~200 V 电压下的伸长特性;建立了放大机构的参数化模型,重点分析了放大机构位移输出特性,讨论了影响输出位移大小的各个结构参数。研究表明,三角块长度  $L_0$  和压电陶瓷间距  $t$  对放大机构输出位移影响较大,是放大机构的主要参数。为点胶阀位移放大机构结构设计和优化提供了参考。

**关键词:** ANSYS 软件; 喷射点胶阀; 压电陶瓷; 放大机构

**中图分类号:** TG494 TN721 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-4801(2011)04-078-04

流体点胶技术是微电子封装中的一项关键技术,这项技术正逐渐从以往接触式针头点胶的方式,转化为能高度自动化操作的无接触喷射点胶方式。典型的喷射点胶技术有机械式和压电式,机械式是基于电气动的原理,结构一般较复杂;而压电式则是利用了压电陶瓷的电致伸缩性,具有体积小、分辨率高和频响高等优点,并且无噪声。然而,压电式中应用的压电陶瓷驱动器输出位移范围较小,即使是层叠式压电陶瓷驱动器一般也只有几微米至几十微米的输出位移,因而在实际应用中,常常需要将压电陶瓷驱动器的输出位移进行放大<sup>[1]</sup>。压电式喷射点胶技术中,位移放大机构是压电式喷射点胶阀的重要结构,放大机构性能直接决定了喷射流体性质和胶点优良性,要喷射高黏度流体材料,并且胶点一致性良好,则需要压电喷射点胶阀放大机构输出位移足够大。由于实验研究成本高且周期长,本文利用有限元软件 ANSYS 分析压电喷射点胶阀位移放大机构的位移输出特性,讨论影响阀杆输出位移的相关因素,为以后相关设计和研究打下基础。

## 1 压电喷射点胶阀结构

目前,典型的压电式喷射点胶阀如图 1 所示,流体处于相对较高的压力下,然后打开喷嘴,这样一束流体就从喷嘴流出,然后关闭喷嘴,切断流体,这一束流体获得的动量可以使其以一定速度喷出。该装置的动力源是堆叠式压电陶瓷,它与一个杠杆放大机构配合使用,结构简单,并可以实现精确快速的阀门开启和关闭动作<sup>[1]</sup>。

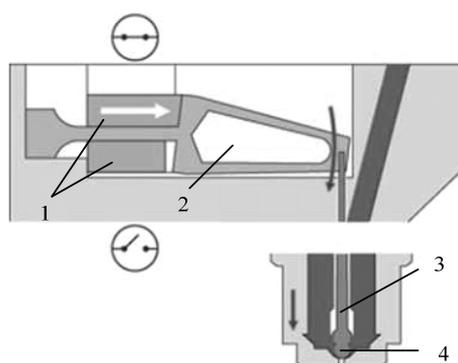


图 1 Picodot 压电式喷射点胶阀  
1.压电陶瓷; 2.三角块; 3.阀杆; 4.密封球

图 1 中放大结构部分有两块压电陶瓷致动器,由三角块通过拉紧螺栓进行预紧。当点胶阀通电时,上方的压电陶瓷受到恒定电压作用而伸长,下方压电陶瓷则受到方波电压信号作用以一定频率伸缩,此时,三角块顶点则以相同频率近似做小弧度的摆动,由此带动阀杆上下运动,实现点胶阀的开关动作。根据资料,阀杆上下运动的行程大小与喷射流体材料性质和喷射胶点的优良性都有关系,喷射较高黏度的流体材料时,阀杆需要有足够大的行程(压电式喷射点胶阀行程与流体粘度关系如表 1 所示),如果阀杆行程过小则将会导致胶体补充不足而影响喷射胶点的连续性和一致性<sup>[2]</sup>。因此,放大机构是影响压电喷射点胶阀喷射性能的重要结构,有必要对压电点胶阀放大机构工作性能进行分析研究。

表 1 压电式喷射点胶阀行程与流体粘度关系

点胶阀型号	阀杆行程/ $\mu\text{m}$	粘度范围/cps
774LV-020 (低粘度)	45	1~1000
774MV-100 (中粘度)	165	50~200000
774HV-020 (高粘度)	320	1000~500000

作者简介:杜江(1986-),男,硕士研究生,主要从事微纳机电系统(MEMS/NEMS)方面研究。

## 2 有限元分析模型

### 2.1 堆叠式压电陶瓷

本文研究对象是由单片构成的堆叠式压电陶瓷,如图2所示,该压电陶瓷由陶瓷片构成,每片长、宽、高分别为10 mm、10 mm、0.8 mm的长方体,粘结层的厚度为0.1 mm,堆叠式压电陶瓷总长为30 mm,0 V/200 V电压条件下伸长量为35  $\mu\text{m}$ 。

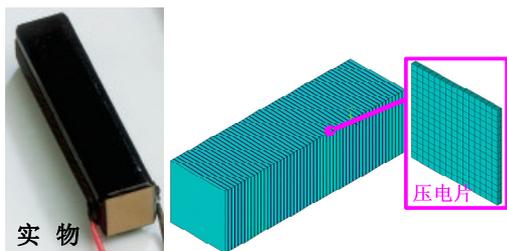


图2 叠堆式压电陶瓷有限元模型

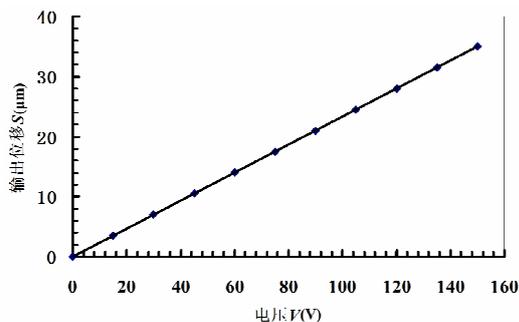


图3 压电陶瓷输出位移  $S$  与驱动电压  $V$  关系曲线

对堆叠式压电陶瓷底面施加固定约束,每个陶瓷片施加电压载荷,电压从0~200 V 等距变化,然后求解,最后通过后处理工具查看结果<sup>[3]</sup>。图3为压电陶瓷驱动电压与输出位移关系曲线,当驱动电压从0 V 逐渐增大到200 V 时,压电陶瓷输出位移与电压近似成线性关系在电压为200 V 时,输出位移达到最大值35  $\mu\text{m}$ 。

### 2.2 放大机构

根据图1所示简化结构创建放大机构三维实体模型。然后划分网格后得到放大机构有限元模型见图4。对有限元模型实施约束和载荷,压电陶瓷1施加电压载荷,压电陶瓷2固定不动,拉紧螺栓施加预紧力,然后求解,最后通过后处理工具查看结果,观察三角块顶点  $X$  轴方向位移  $S$ ,以及放大机构整体应力分布。

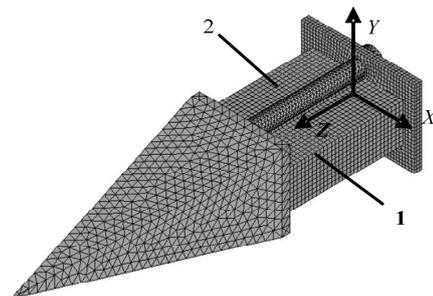


图4 放大机构有限元模型

1.压电陶瓷; 2.压电陶瓷

## 3 放大位移影响因素分析

压电陶瓷伸长量与放大机构输出位移大小有直接关系,可以想象,压电陶瓷伸长量大时输出位移也会相应地增大。但一般压电陶瓷伸长量为其总长的1%~2%<sup>[4]</sup>,增大压电陶瓷伸长量必须选用更长的叠堆式压电陶瓷,此时放大机构尺寸也会增大,使得点胶阀变得庞大。因此,以下主要从结构上分析点胶阀阀杆行程位移影响因素。其中,压电陶瓷尺寸前面已经确定,即  $L=30\text{ mm}$ ,  $W=10\text{ mm}$ ,因此,放大机构放大位移主要跟其它结构尺寸相关。根据分析可知,放大机构常常会有位移损失,通常是由于构件的弹性变形造成,结构中螺栓会产生弯曲和拉伸变形<sup>[4~5]</sup>,故螺栓参数也会影响放大位移,因此,与放大位移相关的因素有:三角块长  $L_0$ 、陶瓷间距  $t$ 、螺栓直径  $D$ 、螺栓预紧力  $F_0$ 。ANSYS 仿真分析时,初步设定放大机构各参数:  $F_0=500\text{ N}$ ,  $D=3\text{ mm}$ ,  $L_0=35\text{ mm}$ ,  $t=10\text{ mm}$ ,  $U=200\text{ V}$ 。然后,分别对各个影响因素进行单独讨论,具体内容如下。

#### (1) 螺栓预紧力 $F_0$

分析过程中,预紧力  $F_0$  从300 N 增大到1000 N,放大位移  $S$  先增大然后减小,波动值仅8  $\mu\text{m}$ ,当  $F_0=600\text{ N}$  时输出位移达到最大值210  $\mu\text{m}$ ,放大机构输出位移变化趋势如图5所示。分析其中原因:  $F_0 < 600\text{ N}$  时,由于螺栓对压电陶瓷预紧不足,当压电陶瓷1伸长的同时,它会沿  $X$  轴方向发生倾斜,致使螺栓弯曲度变小,减小了放大机构输出位移;  $F_0 > 600\text{ N}$  时,由于拉紧螺栓时压电陶瓷会产生收缩变形,压电陶瓷实际伸长量小于

空载时伸长量,故最终放大机构输出位移减小。

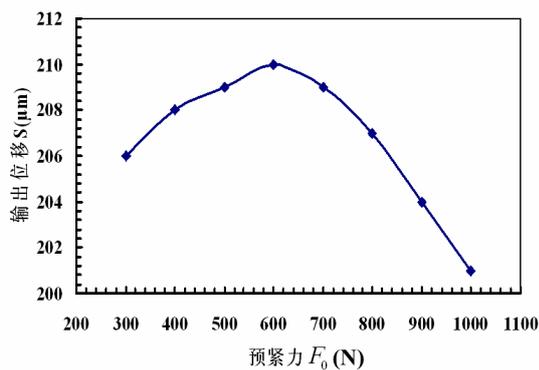


图5 输出位移  $S$  与螺栓预紧力  $F_0$  关系曲线

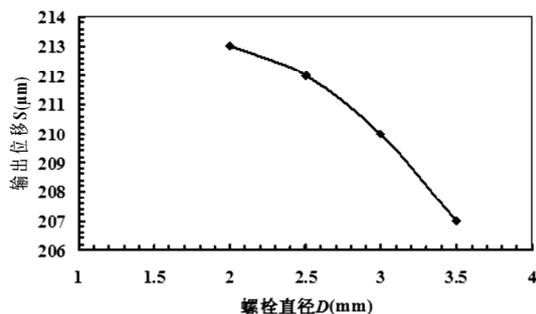


图6 输出位移  $S$  与螺栓直径  $D$  关系曲线

### (2) 螺栓直径 $D$

根据初步分析,螺栓直径的大小决定了螺栓弯曲和拉伸变形量的大小,直径较小的螺栓变形量大,压电陶瓷伸长方向受到的阻力小,并且更容易发生弯曲变形,使得放大机构在  $X$  方向的摆动范围增大,最终输出位移  $S$  增大。ANSYS 仿真分析中,设置螺栓直径按每隔 0.5 mm,从 2 mm 到 3.5 mm 之间变化,最后放大机构输出位移变化如图 6 所示,其与前面所述相符,螺栓直径增大时,输出位移减小。实际结构中,应当根据结构选择直径较小的螺栓,使得螺栓更容易发生拉伸和弯曲变形。

### (3) 三角块长 $L_0$

根据杠杆放大原理,三角块  $L_0$  长度与放大机构输出位移关系密切,  $L_0$  越长则放大机构在  $X$  轴方向的摆动位移越大。ANSYS 分析过程中,将  $L_0$  按 5mm 间隔从 30 mm 增大到 50 mm,根据图 7 所示,输出位移近似直线上升,而且其变化值较大。可以断定,三角块长度  $L_0$  是影响放大机构输出位移的重要参数之一,增大  $L_0$  可使得输出位移显著

增加;然而,增大  $L_0$  会增加点胶阀的总体长度,使得机构显得庞大。

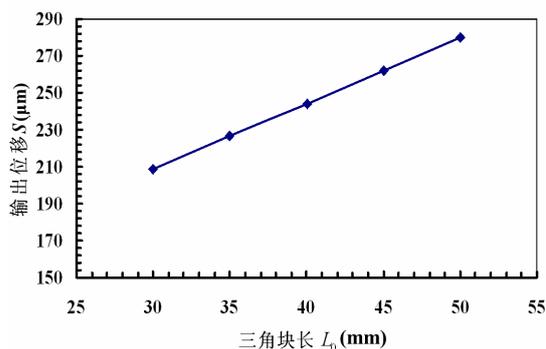


图7 输出位移  $S$  与三角块长  $L_0$  关系曲线

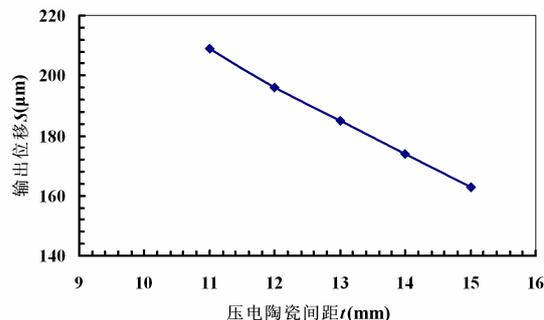


图8 输出位移  $S$  与压电陶瓷间距  $t$  关系曲线

### (4) 压电陶瓷间距 $t$

杠杆放大原理中,另外一个影响放大位移的重要参数是压电陶瓷间距  $t$ 。因此,ANSYS 分析中设置陶瓷间距  $t$  从 11 mm 到 15 mm 变化,最后放大机构输出位移如图 8 所示,输出位移随间距  $t$  增大而减小,而且变化值也较大。从此可知,通过减小压电陶瓷间距  $t$ ,可以较大幅度地增大放大机构输出位移。

根据以上分析,三角块长度  $L_0$ 、压电陶瓷间距  $t$ 、螺栓预紧力  $F_0$  和螺栓直径  $D$  都会对放大机构输出位移产生不同程度的影响,其中,  $L_0$  和  $t$  是影响输出位移最重要的两个参数。由于不同粘度的液体,压电式喷射点胶阀阀杆行程大小不同,因此,可以通过调整以上参数,得到适合液体喷射的放大机构行程位移。图 9 是当压电陶瓷施加电压  $U=200$  V 时,放大机构  $X$  轴方向位移云图。其中  $F=600$  N,  $D=2$  mm,  $L_0=45$  mm,  $t=11$  mm,此时,最终  $X$  方向位移为  $S=283$   $\mu\text{m}$ ,其放大位移已经超过了中粘度喷射阀行程位移。(下转第 99 页)

统中具有典型意义的课题。采用 GPRS/CDMA 无线通信方式相对于其它通信方式在高速公路配电系统这种特殊场合具有独特的优势,是一种应用前景广阔的配电自动化方案。随着

GPRS/CDMA 无线通信技术的不断发展、完善以及将来 3G 技术的发展,无线通信技术将在高速公路配电自动化系统扮演越来越重要的角色。

#### 参考文献

- [1] 叶世勋.现代电网控制与信息化[M].中国水利水电出版社, 2005.
- [2] 唐海军.基于 GPRS 的配电网馈线自动化模式的探讨[J].电力系统自动化,2006(30):104-106.
- [3] 刘峰,潘永湘,毛芳仁.基于 GPRS 配电网自动化通信系统终端的设计与工程实现[J].电力自动化设备, 2005,25(1):54-57.
- [4] 李惠宇,罗小莉,于盛林.一种基于 GPRS 的配电自动化系统方案[J].电力系统自动化.2003(24):63-65.
- [5] 姚冰心,卢素霞.基于 GPRS 的电力 SCADA 系统安全功能设计.电力系统通信[J],2004(8):5-7.

(上接第 80 页)

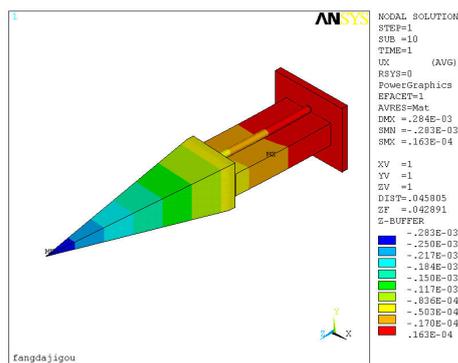


图9 放大机构 X 轴方向位移云图

## 4 结论

#### 参考文献:

- [1] Alec J. Babiarz. Advances in jetting small dots of high viscosity fluids for electronic and semi-conductor packaging[J]. Global SMT & Packaging, 2006: 10-17.
- [2] SHU XiaYun, ZHANG HhongHai, LIU HuaYong, et al. Experimental study on high viscosity fluid micro-droplet jetting System[J]. Technological Sciences, 2010, 53(1): 182-187.
- [3] 张朝晖. ANSYS 12.0 结构分析工程应用实例解析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [4] 杨志刚, 刘登云, 吴丽萍, 等. 应用于压电叠堆泵的微小位移放大机构[J]. 光学精密工程, 2007, 15(6): 884-887.
- 郑伟智, 辛洪兵. 微小位移放大机构位移损失分析[J]. 机械设计, 2003, 20(08): 25-26.

本文介绍了压电式喷射点胶阀放大机构工作原理,初步分析了影响放大机构放大位移的相关因素,并利用 ANSYS 软件耦合场分析功能对放大机构进行了仿真分析:

(1) 建立了叠堆式压电陶瓷和放大机构有限元模型;

(2) 通过 ANSYS 压电分析模块分析叠堆式压电陶瓷在 200V 工作电压下伸长量为 35  $\mu\text{m}$ ;

(3) 通过静力学方法对放大机构放大位移相关影响因素进行了分析,发现三角块长度  $L_0$  以及压电陶瓷间距  $t$  是影响输出位移的主要因素;并确定最终优化参数,使得放大位移达到 283  $\mu\text{m}$ 。