

基于 E-ACE 材料膜型驱动器的驱动特性研究^{*}

朱 骏, 朱喜林, 惠安峰, 鄂世举, 高春甫
(浙江师范大学 工学院, 浙江 金华 321004)

摘要: 为了更深入地了解 E-ACE 材料膜型驱动器驱动特性的规律, 根据驱动规律研制了一种膜型驱动器模型, 通过实验研究了影响基于 E-ACE 材料膜型驱动器驱动特性的主要因素, 重点对薄膜预拉伸和驱动电压两种主要影响因素进行了较为深入地研究。研究表明, 薄膜预拉伸和驱动电压对膜型驱动器的驱动特性都有比较明显的影响, 对膜型驱动器而言, 要产生较大的驱动位移和驱动力, 需要合适的预拉伸和驱动电压, 而掌握它们之间的规律对膜型驱动器的制作及应用具有很重要的意义。

关键词: E-ACE; 膜型驱动器; 驱动特性; 预拉伸

中图分类号: TH145

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)01-0026-03

Research on driver features based on E-ACE membrane-type actuator

ZHU Jun, ZHU Xi-lin, HUI An-feng, E Shi-ju, GAO Chun-fu
(Engineering College, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

Abstract: In order to understand more about the law of driver features E-ACE material of membrane-type actuator, according to the law of drive, a membrane-type actuator model was developed. By the experiment, the main factor that impacts on driver features of membrane-type actuator based on E-ACE was studied. Focus on the film pre-stretch and the two main factors drive voltage for a more in-depth was studied. The result shows that the pre-stretch and drive voltage have relatively large impact on the driver features of membrane-type actuator. For the membrane-type actuator, it is to have a greater displacement and drive force. It requires an appropriate pre-stretch and drive voltage. To master the law between them is very important for production and application of membrane-type actuator.

Key words: electric-acrylic elastomer(E-ACE); membrane-type actuator; driver features; pre-stretch

0 引 言

E-ACE (Electric-Acrylic Elastomer) 材料是在 Acrylic 弹性体材料基质的上下表面渗入、屈从电极材料(如碳或石墨等)而形成的、基于麦克斯韦效应的一种新型智能材料, 是新型电致活性聚合物(EAPs)的一种。其响应的形式可以有弯曲、收缩或膨胀等, 从而可以实现驱动、紧固、传感等功能^[1-5]。

该类材料具有和生物肌肉类似的许多优良特性, 从而可以取代传统材料被大量应用于柔性机器人、医疗、仿生机械等领域。还由于其本身具有重量轻、能耗低、价格便宜等优点, 用其生产的各种驱动器可以应用于微型机器人、微泵、微阀门等微型机械领域^[6-10]。

E-ACE 材料本身是一种比较柔软的薄膜, 所以用其制成的膜型驱动器由两柔顺电极及夹在其间的聚合物薄膜组成, 然后再将其固定在用绝缘塑料板组成的刚性骨架上。其驱动原理是在电极上施加一个电压差, 引起聚合物薄膜在厚度上收缩, 在面积上延展, 如图 1 所示。依据麦克斯韦力, E-ACE 材料在 Z 方向被挤压, Z 方向的力为:

$$P_z = \varepsilon_r \varepsilon_0 E^2 = \varepsilon_r \varepsilon_0 (V/t)^2$$

式中: P_z —在 Z 方向上的力, ε_r —相对介电常数, ε_0 —为自由空间的介电常数, E —为施加的电场, V —施加的电压, t —薄膜的厚度^[11]。

本研究通过实验研究影响 E-ACE 材料膜型驱动器驱动特性的主要因素, 目的是更深地了解 E-ACE 材料膜型驱动器驱动特性的规律, 为其以后在实际生产

应用方面奠定基础。

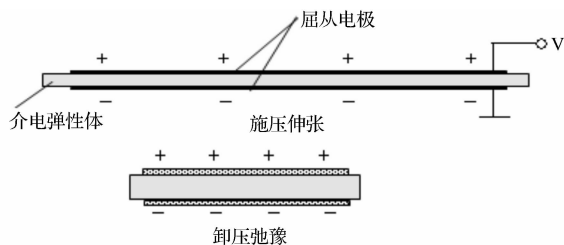


图1 介电弹性体工作机理图

1 实验装置

1.1 实验材料

实验材料包括丙烯酸聚合物、导电橡胶、石墨粉及相关材料。

1.2 实验设备及仪器

实验设备包括 WWL-LSG31 精密线性高压大功率直流稳压稳流电源、CCD 激光位移传感器 LK-G 系列、万用表、保护电阻、引出电极（铜片）、绝缘胶布、绝缘塑料板、绝缘底座、数码相机等一系列实验相关配套器材。

1.3 实验装置构成

将丙烯酸聚合物薄膜预拉伸一定比例后粘在用绝缘塑料板构成的刚性骨架上,再将准备好的圆形塑料电极模板分别粘在预拉伸好的薄膜正反两表面,然后将中央圆形部分涂上电极材料,再用条状铜片作为引出电极分别粘在两表面,最后将绝缘刚性骨架一端固定在绝缘底座上,并与高压直流电源相连。

在实验中将数码相机固定在三角架上,以记录实验现象,用基于 B 样条小波的图像边缘提取技术对采集的图像进行处理,测量出激活区边界在加压前后的移动距离,该距离即可看做膜型驱动器的变形量。实验过程中将电压慢慢加至实验方案设定的或者要求的值为止。

2 驱动特性

对于膜型驱动器而言,其驱动特性表现为其固定柔性薄膜的刚性骨架的驱动特性。而对于理想的膜型驱动器而言,其刚性骨架的驱动特性又表现为薄膜上涂有电极的激活区的驱动特性。而激活区的驱动特性又主要受驱动电压和预拉伸两因素的影响。

2.1 驱动电压对 E-ACE 膜型驱动器驱动特性的影响

驱动电压是影响膜型驱动器驱动特性最大的一个影响因素。不论在什么条件下,驱动器的形变都随着驱动电压的增大而增大,也就是说二者呈正变关系。

(1) 激活区面积应变与驱动电压的关系。激活区的面积应变受驱动电压的影响比较大,激活区的面积应变随着驱动电压的增大而呈非线性增大,而且随着驱动电压的增大其非线性越来越明显,如图 2 所示。在实际的驱动过程中,当其曲线斜率超过某一值时,笔者认为该驱动器进入失稳状态,在失稳状态下驱动器不能正常工作。

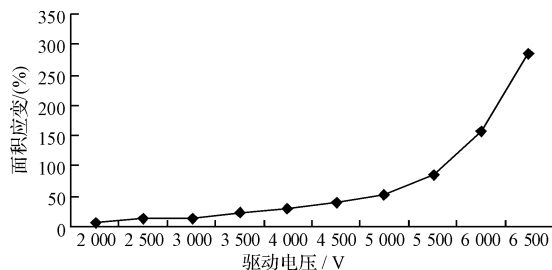


图2 激活区面积应变与驱动电压关系图

(2) 蠕变特性。激活区的面积应变在驱动电压稳定在某一直值不变的情况下会产生一定的变形,如图 3 所示,这是由于该薄膜是一种粘弹性材料,具有一定的时间依赖性,这种特性就是该材料的蠕变特性。蠕变特性对该材料在驱动器的应用方面具有一定的影响,所以在某些精度要求比较高的驱动器制作方面需要考虑其蠕变特性引起的误差。

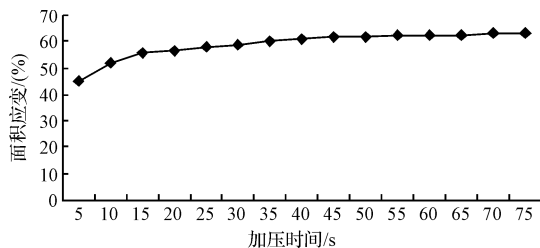


图3 蠕变特性曲线

(3) 滞环特性。激活区的面积应变随着驱动电压的增大不断增大,相反,其面积应变随着驱动电压的减小不断减小,在这个循环过程中会出现滞环,而且此滞环是不闭合的,如图 4 所示。这是由于当驱动电压降到初始值时,激活区的面积应变由于薄膜的时间依赖性而不能回到初始位置。

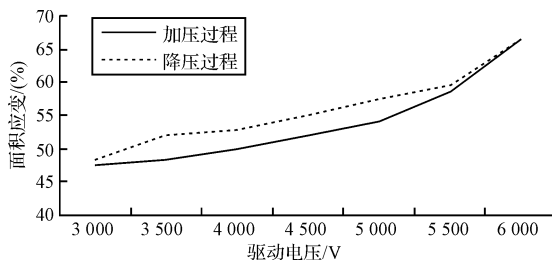


图4 滞环特性曲线

2.2 薄膜预拉伸量对 E-ACE 膜型驱动器驱动特性的影响

(1) 单轴预拉伸对 E-ACE 膜型驱动器驱动特性的影响。单轴预拉伸对激活区产生的面积应变影响比较小,总体上的趋势是面积应变随着驱动电压的增大先是增大,然后减小,如图 5 所示。而且激活区的形状呈椭圆形,其在预拉伸方向上应变比较小,在没有预拉伸方向上应变相对比较大,如图 6 所示。这是由于在没有预拉伸方向上比预拉伸方向上激活区的应变空间更大一些(弹性体薄膜在保持超弹性的基础上其总应变是有限的)。对膜型驱动器驱动位移要求比较小时可以采用单轴预拉伸的条件。

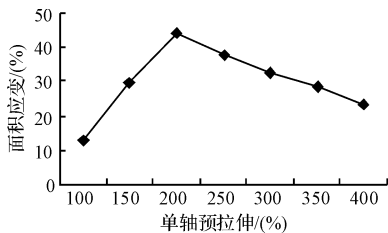


图 5 面积应变与单轴预拉伸关系曲线图

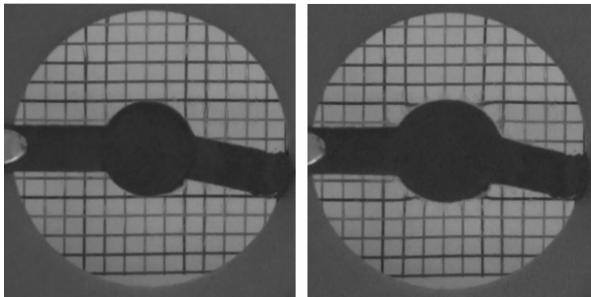


图 6 单轴预拉伸下薄膜变形图

(2) 双轴预拉伸对 E-ACE 膜型驱动器驱动特性的影响。双轴预拉伸对激活区产生的面积应变影响比较大,但总体上的趋势还是面积应变随着驱动电压的增大先是增大,然后减小,如图 7 所示。激活区的形状整体呈圆形,对膜型驱动器驱动位移要求比较大时可以采用双轴预拉伸的条件。

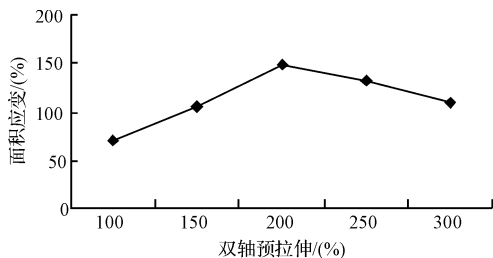


图 7 面积应变与双轴预拉伸关系曲线图

3 结束语

(1) 固定柔性薄膜的刚性骨架的驱动特性(即膜型驱动器的驱动特性)与激活区的驱动特性在理论上是完全一致的,但在实际的膜型驱动器中,由于各种误差的存在,使得二者之间的驱动特性有一定的误差产生。在实际应用过程中可以根据具体的驱动要求进行设计;

(2) 由于在一定的预拉伸条件下,激活区面积应变会出现拐点,所以膜型驱动器要获得最大的驱动形变,薄膜需要合适的预应变,而不是预应变越大越好。这一点需要在膜型驱动器的设计中引起重视。

参考文献(References):

- [1] 陈娟,赵翠清. 电场活化聚合物的实验研究[J]. 高分子材料科学与工程, 2007, 23(4): 250-253.
- [2] 戴丰加,祁新梅. 基于绝缘弹胶物的驱动传感研究现状评述[J]. 材料科学与工程学报, 2008, 26(1): 156-160.
- [3] 赵翠清. 电场活化聚合物的破坏机理分析[J]. 重庆工学院学报, 2007, 21(1): 25-28.
- [4] 冯敏亮,吕新生,李刚. 电场活化聚合物材料力学性能模型的建立[J]. 轻工机械, 2007(5): 132-136.
- [5] 唐华平,姜永正. 人工肌肉 IPMC 电致动响应特性及其模型[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2009(1): 46-52.
- [6] BAR-COHEN Y. Electroactive Polymer(EAP) Actuators as Artificial Muscles[M]. USA: The International Society for Optical Engineering, 2004.
- [7] PLANTE J S, DUBOWSKY S. Large-scale failure modes of dielectric elastomer actuators[J]. **International Journal of Solids and Structures**, 2006, 43(25-26): 7727-7751.
- [8] CARPI F, CHIARELLI P, MAZZOLDI A, et al. Electromechanical characterisation of dielectric elastomer planar actuators: comparative evaluation of different electrode materials and different counter loads[J]. **Sensors and Actuators A**, 2003, 107(3): 85-95.
- [9] CARPI F, ROSSI D D. Dielectric elastomer cylindrical actuators: electromechanical modelling and experimental evaluation[J]. **Materials Science and Engineering C**, 2004(24): 555-562.
- [10] DICKINSON M H, FARLEY C T, FULL R J, et al. How Animals Move: An Integrative View[J]. **Science**, 2000, 288(4): 100-106.
- [11] DUBOIS P. Microactuators based on ion implanted dielectric electroactive polymer(EAP) membranes[J]. **Sensors and Actuators**, 2006(130-131): 147-154.

[编辑:张翔]