

新型电致活化材料—介电弹性体的驱动特性研究*

欧阳杰, 胡意立

(浙江师范大学 工学院, 浙江 金华 321004)

摘要:为解决微型致动器、人造肌肉、仿生机器人等新型科技研究领域短缺问题,将电活性聚合物材料—介电弹性体应用于新型驱动器研究中,开展了对弹性体材料驱动特性的相关分析。通过实验研究了影响 E-ACE 材料激活区(电极涂层区域)面积应变的主要因素,以寻找激活区面积应变和这些影响因素之间的关系,进而根据它们之间的关系确定能获得所需激活区面积应变的合适条件。实验结果显示:不论单轴预拉伸还是双轴的均匀与非均匀预拉伸,对激活区面积应变影响的总趋势都是随着拉伸量的增大先增大后减小。而激活区面积应变随着外加电压的增加而增大,随着激活区与窗口半径比的增大而减小。通过分析实验结果发现,寻找合适的条件对激活区产生所需的面积应变很重要。

关键词:介电弹性体;电活性聚合物材料;驱动器;实验研究

中图分类号: TH14

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)10-1203-03

Investigation on driver characteristics of dielectric elastomer

OUYANG Jie, HU Yi-li

(Engineering College, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

Abstract: In order to solve the problems of shortage in new technology area, such as actuator, artificial muscle, bio-robot etc., the electroactive polymeric materials -electric-acrylic elastomer was investigated. The analysis of the driver characteristics of dielectric elastomer was done. Through experiments, the main factors of affecting E-ACE material active zone (electrode coating regional) area strain were researched. The relationships between active zone area strain and these influencing factors were found out. Thereby appropriate conditions which can get required active zone area strain were determined according to relationships between them. The results show that: whether uniaxial pre-stretching or the uniform and non-uniform biaxial pre-stretching, the general trend of the effects of the active zone area strain are increased first and then decreased with the amount of stretching increases. The active zone area strain is increased with increasing applied voltage, reduced with the active zone and the window radius ratio increasing. By analyzing the experimental results, it shows that search for suitable conditions on the active zone to generate the required area strain is very important.

Key words: electric-acrylic elastomer; dielectric elastomer material; drive; testing

0 引 言

电活性聚合物的种类包括:导电橡胶、离子交换膜金属复合材料、凝胶体、纳米管及介电弹性体等。其中介电弹性体被认为是最具前景的一类材料,其中以丙烯酸弹性体和硅树脂弹性体最具有代表性。此种介电弹性体既可正向使用,其特性柔软、质量轻,被称为人造肌肉^[1],在未来新一代柔性致动器、传感器领域极

富应用潜力,例如可用于微小型机械、机器人,尤其是仿生机器人的柔性电致动。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。还由于其具有重量轻、能耗低、价格便宜等优点可以应用于微型六腿机器人、微泵、微阀门等微型机械领域。

目前,对介电弹性体材料的研究主要集中在驱动领域,但是我国在该领域开展的研究很少。本研究主

收稿日期: 2011-03-22

基金项目: 浙江省大学生科技创新活动计划资助项目(2010R404036)

作者简介: 欧阳杰(1991-),男,安徽巢湖人,主要从事机械设计制造及其自动化方面的研究. E-mail: 489611437@qq.com

要探讨新型电致活化材料—介电弹性体的驱动特性。

1 致动原理

介电弹性体的变形主要是由电极在电场中产生的静电力(即麦克斯韦力)产生的。上下表面受到外部压力作用,介电弹性体是在丙烯酸或硅树脂等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电活性聚合物材料。由此,介电弹性体的发电原理可简化为如图 1 所示,即可看作可变电容装置^[2-3]。在伸展状态下(大电容)电荷注入到介电弹性体薄膜电极上。当在外力作用下紧缩弛豫时(小电容),弹性体材料的弹性应力抵抗电场力,提高了电能。从微观上看,厚度增加时,由于异性电荷被推离,同性电荷被压缩靠近,提高了电荷电压。可见,当外力作用在具有预加电压的介电弹性体上使其变形时,通过电容的改变即可发电,变形越大,发电能力越强。而介电弹性体的发电过程即为介电弹性体的伸展与弛豫的交替过程。

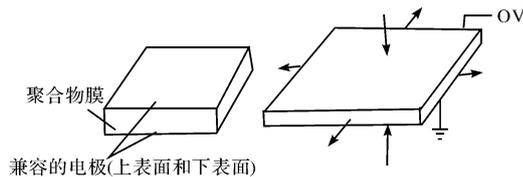


图 1 介电弹性体致动器的工作原理

2 介电弹性体发电的研究进展及应用前景

介电弹性体制作的致动器,应用在蛇形机器人中(如图 2 所示),可提高该种机器人的技巧和灵活度,同时还可以降低制作成本,以及简化机器人的复杂度。再者,可以提高蛇形机器人的集中度,减少能量的消耗。这将是未来机器人研究中不可缺少的一部分,将是机器人优化的重要一步^[4-6]。

介电弹性体制作的致动器可以用于扑翼飞行器(如图 3 所示)的制造。该种飞行器可以在复杂的环境中悬停缓慢的飞行,控制简单,和常规推进电源系统相比,该机器有着更好的稳定性和可控性,而且发出的噪音很小,外观符合自然风格,具有很强的隐蔽性,可以应用于军事、航空等。另外介电体材料也可用于机翼设计和运动车辆配置,动力和控制拍打机制和驱动材料。



图 2 蛇形机器人

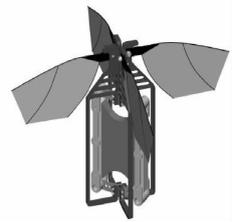


图 3 扑翼飞行器

3 实验过程

3.1 实验材料与实验设备及仪器

实验材料:丙烯酸膜、石墨粉、硅胶、硅油、正庚烷。实验设备及仪器: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、数码相机等等一系列实验相关配套器材。

3.2 实验装置构成

本研究将丙烯酸聚合物薄膜预拉伸一定比例后粘在绝缘塑料板上,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,最后将绝缘塑料板固定在绝缘底座上,并与高压直流电源相连(实验装置如图 4 所示)。



图 4 实验装置

在实验中本研究将数码相机固定在三角架上,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,然后再利用 CAD 软件本身自带的面积计算功能计算出激活区域在变形前后的面积,从而再比较精确的计算出面积应变。实验过程中将电压慢慢加至薄膜崩溃或者出现明显皱褶为止,用摄像机记录下整个变化过程,便于以后处理数据。薄膜通电前后的变形图如图 5 所示。

3.3 实验结果与分析

3.3.1 不同预拉伸与面积应变的关系

预拉伸分单轴预拉伸和双轴预拉伸,单轴预拉伸

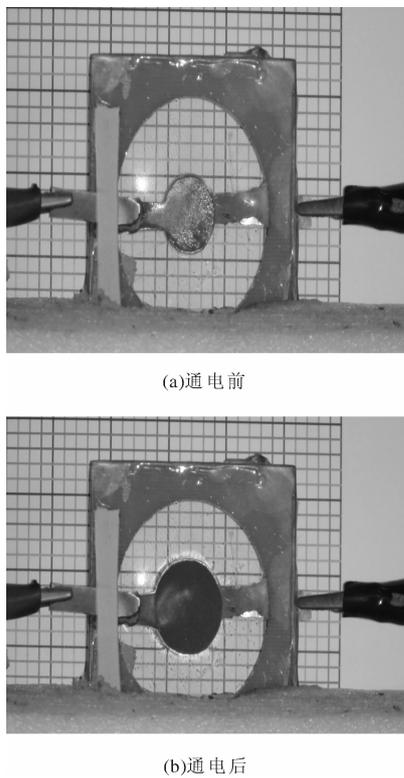


图 5 材料通电前后的变形图

指在一条直线上将薄膜进行一定比例的预拉伸,比如 100% 的单轴预拉伸是指将薄膜在某一方向上的长度拉伸到原来的 2 倍。而双轴预拉伸指在互相垂直的两条直线方向上将薄膜进行一定比例的预拉伸。

3.3.2 单轴预拉伸对面积应变的影响

单轴预拉伸产生的面积应变比较小,但在一定预拉伸范围内,总体上的趋势是面积应变随着预拉伸量的增大先增大,随后会减小,说明激活区的面积应变在变化过程中有拐点,如图 6 所示。即激活区在没有预拉伸的方向上比预拉伸方向上变化更大一些,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潜力更大一些(弹性体薄膜在保持超弹性的基础上其总应变是有限度的),所以其在没有预应变的方向上变化更大一些。

3.3.3 双轴预拉伸对面积应变的影响

双轴预拉伸又分为均匀双轴预拉伸和非均匀双轴预拉伸。均匀双轴预拉伸指在两个方向上的预拉伸量相同,反之,非均匀预拉伸指在两个方向上的预拉伸量不同。

首先,本研究考虑均匀预拉伸对激活区面积应变的影响。激活区面积应变的大小是随着预拉伸的增大还是先增大,后来又慢慢减小,即在变化过程中存在拐点,如图 6 所示,并且根据实验数据可以确定激活区的面积应变出现拐点的位置在预拉伸为 200% 的时候。

激活区的面积应变之所以会出现拐点是源于薄膜本身的应变是有限的,当其应变超过其极限值时薄膜就会破裂,所以当其预应变达到某一值时必然会出现最大面积应变,即会出现拐点。

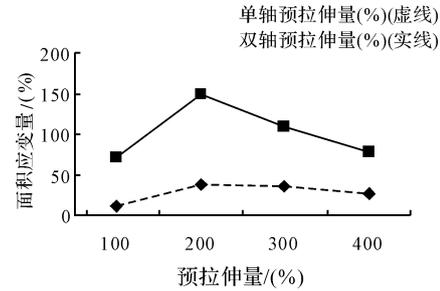


图 6 单轴预拉伸和双轴预拉伸对面积应变的影响

3.3.4 外加电压与面积应变的关系

外加电压对激活区面积应变的影响是很大的,总体是激活区的面积应变随着外加电压的增大而增大,薄膜在预拉伸为一定值时其激活区面积应变随着外加电压的变化情况如图 7 所示。从图中可以看出激活区面积应变的非线性变化随着外加电压的增大越来越明显。出现这种现象的原因是薄膜不是完全理想的弹性体,并非理想的不可压缩,而且随着应变的增大薄膜的各向异性也越明显,导致麦克斯韦力与薄膜内应力之间的不平衡,使得激活区面积应变产生了明显的非线性变化,最后还会导致薄膜表面出现皱褶甚至破裂。

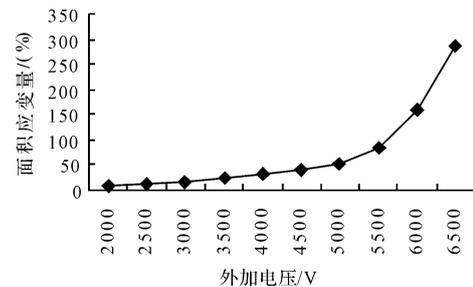


图 7 外加电压对面积应变的影响

3.3.5 激活区与窗口半径比与面积应变的关系

激活区与窗口半径比对激活区面积应变的影响也比较大,二者比例越小,激活区的面积应变越大,如图 8 所示。这是由于二者比例越小,非激活区的面积相对越大,其内部储存的能量也越大,产生的应力也就越大,所以激活区越容易被非激活区拉伸,拉伸也越充分,故其面积应变也就越大。从图中可以看出,当二者的比例小于 1:8,即 0.125 时,非激活区的面积可以看做无限大,二者比例对激活区面积应变影响很小,可以忽略不计,进而可以近似认为二者的比例对其没有影响。

(下转第 1221 页)

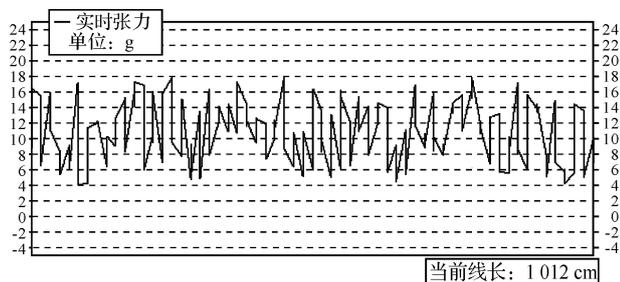


图 9 常规 PID 控制在 10 r/s 时张力曲线

性能也无明显变化。

5 结束语

该系统利用单片机基于自调整模糊 PID 算法实现了对光纤缠绕过程的张力控制。实际生产过程表明该控制器具有较快的反应速度和动态精度,且有较强的鲁棒性,使得在绕制光纤时的光纤张力得到了精确、有效的控制,这对于改善环的品质以及提高光纤产品的性能有重要意义,同时表明自调整模糊 PID 算法在其他小张力控制过程中具有较强的工程实用性。

参考文献 (References):

[1] ANDRE S,STEPHEN L. Development of an aut-mated fiber

optic winding machine for gyro-scope production[J]. **Robotics and computer Integrated Manufacturing**, 2001 (17): 223-231.

[2] 王志明,龚振邦,袁晶,等. 基于模糊 PID 位置控制的气伺服系统[J]. **机电工程**, 2009, 26(10): 93-95.

[3] HUNG J Y, WHITE H V. Precision wining of fiber optic filament[J]. **IEEE Transaction on Industrial Electronics**, 1992, 39(3): 258-267.

[4] 董千里,史耀耀,周云端,等. 基于模糊自整定 PID 的布带缠绕机张力控制算法的研究[J]. **现代制造工程**, 2006 (12): 103-105.

[5] 陶永华, **新型 PID 控制及其应用**[M]. 北京:机械工业出版社, 2006.

[6] 张巍. 在线自调整模糊 PID 控制器的设计[J]. **自动化仪表**, 2000, 9(3): 5-9.

[7] DRIANKOV D, HELLENDORRN H, REINFRANK M. An Introduction to Fuzzy Control[M]. New York: Springer-Verlag, 2006.

[8] YUAN You-xin, YANG Jie, GAN Wei, et al. Rewinder's s tension cont rol system based on fuzzy logic control algorithm [J]. **China Pulp & Paper**, 2006(25): 212-234.

[9] 赵庆海,贾中华. 模糊自适应 PID 控制在张力控制中的应用[J]. **包装工程**, 2008, 1(5): 11-15.

[10] 梁燕华,金鸿章,李东松. 基于修正因子模糊 PID 控制在升力鳍系统中的应用[J]. **控制与决策**, 2008, 23(10): 1139-1143. [编辑:李辉]

(上接第 1205 页)

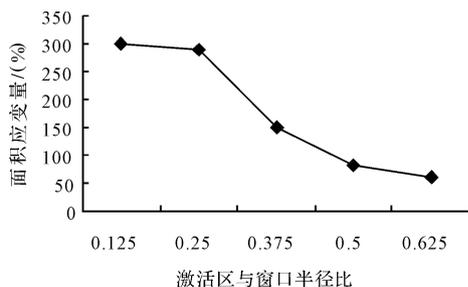


图 8 激活区与窗口半径比对面积应变的影响

4 结束语

不论薄膜是单轴预拉伸还是双轴的均匀与非均匀预拉伸,对激活区面积应变的影响的总趋势都是类似的,随着拉伸量的增大,先增大后减小,即存在拐点,进而说明薄膜在外加电压的作用下要产生最大的应变需要合适的预拉伸,而不是预拉伸越大越好。在本研究中,通过实验可以发现,激活区与窗口半径比在一定比例范围内对面积应变的影响比较大,当二者比例小于某一值时其对面积应变的影响很小,可以忽略不计。所以薄膜要获得最大的面积应变,激活区与窗口半径

的比例应尽可能的小。

参考文献 (References):

[1] 赵翠清,陈娟,郭新梅,等. 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] 魏源远,冯志华,刘永斌,等. 介电弹性体致动器及其应变响应研究[J]. **功能材料与器件学报**, 2006, 12(6): 501-504.

[3] 唐彬,温中泉,温志渝,等. 基于振动式发电机的微型驻极体研究[J]. **传感技术学报**, 2008, 21(2): 305-309.

[4] 黄伟生,丛羽奇,林保平,等. 聚氨酯弹性体电致伸缩性能研究[J]. **聚氨酯工业**, 2006, 21(3): 18-21.

[5] DICKINSON M H, FARLEY C T, FULL R J, et al. How animals move; an integrative view [J]. **Science**, 2000, 288 (546): 100-106.

[6] DUBOIS P. Microactuators based on ion implanted dielectric electroactive polymer (EAP) membranes [J]. **Sensors and Actuators A: Physical**, 2006, 130-131(1): 147-154. [编辑:张翔]