

基于自调整模糊 PID 的光纤张力控制器设计

刘金雷,程 鹏,吴嘉澍*

(江南大学 物联网工程学院,江苏 无锡 214122)

摘要: 光纤管线环绕张力是影响光纤环品质的重要因素。受光纤材料本身光滑、易折以及光纤张力过大会引起传输损耗等因素影响,在光纤环绕过程中光纤张力需要精确稳定在一个极小的张力值上。针对光纤环绕过程的特点,设计出了以 C8051F340 单片机为核心处理器基于自调整模糊 PID 算法的张力控制器,以满足该过程对光纤张力的精确控制要求。实际光纤绕制过程表明,采用自调整模糊 PID 控制算法设计的张力控制器在运行稳定性、控制精度,特别是在系统的鲁棒性方面明显优于传统的 PID 控制器。

关键词: 光纤张力;模糊决策;比例-积分-微分控制;C8051F340

中图分类号: TP273+.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)10-1217-05

Design of tensioncontroller of optical fiber based on self-adjusting fuzzy PID

LIU Jin-lei, CHENG Peng, WU Jia-shu

(Internet of Things, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: The tension when coiling the optical fiber is the main factor in the quality of optical fiber. The fiber material itself is smooth, easily fold and the transmission losses will be caused if the fiber tension over the limit. Therefore, in the process of optical fiber around, the fiber tension need to stable at a very small value. Aiming at the characteristics of optical fiber around process, a new type tensioncontroller was designed, using C8051F340 as the core and based on the self-adjusting fuzzy PID. The requirements of precise control of optical fiber tension were satisfied. The results of the actual control process show that, the self-adjusting fuzzy PID controller performance is better than traditional PID controller in terms of stability and control accuracy, especially the robustness of the system.

Key words: tension of optical fiber; fuzzy decision; proportion-integral-derivative (PID) control; C8051F340

0 引 言

张力控制器是光纤缠绕系统的最重要的部分,其对绕纤过程中的张力进行控制对于保证光纤环的光纤应力稳定最为关键^[1]。由于光纤材料本身及光纤环性能的要求,缠绕过程中光纤张力应稳定在 10 g 左右,且误差精度要求在达到 ± 3 g 以内。光纤张力要求稳定值较小,而对控制精度的要求又较高,在光纤绕制过程中轻微扰动的产生就会导致光纤张力值发生较大振动,因此,这就要求张力控制器光纤张力发生变化时能够迅速地调整光纤放线速度以实现光纤张力的稳定。光纤绕制过程中既有卷绕过程,又有光纤绕制平台的平移过

程,传统的纤维缠绕工业中使用的张力控制系统虽然控制方法简单易于实现,但由于其算法过于简单无法实现对不同工艺过程的控制要求。而现代一些基于模型的控制方法,由于其难于实施、系统的鲁棒性难以保证而不适合在实际张力控制过程中使用^[2]。

本研究中设计一种自整定模糊 PID 张力控制器,该控制器结合了模糊控制灵活而鲁棒性强和 PID 控制精度高的优点^[3],并应用于实际光纤环生产过程中,效果良好。

1 光线缠绕张力控制系统结构

光纤缠绕数控系统分为控制光纤缠绕卷绕的运动

收稿日期:2011-03-18

作者简介:刘金雷(1987-),男,山东临沂人,主要从事嵌入式系统开发与应用方面的研究. E-mail: jinleiliu163@163.com

通信联系人:吴嘉澍,男,高级工程师. E-mail: wjs02@163.com

控制系统和控制光纤缠绕张力的张力控制系统两个部分,两个部分相互独立。其中张力控制系统结构如图 1 所示。

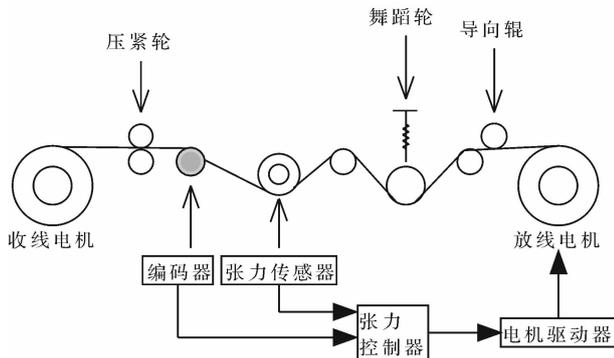


图 1 张力控制系统结构图

该系统包括张力控制器、张力传感器、编码器、放线伺服电机、伺服驱动器以及其他机械结构构成。收线电机以及其他平台电机由 PMAC 运动控制卡作为独立的运动控制系统进行控制。绕线过程中,光纤从放线盘中导出经由导向辊、舞蹈轮、张力传感器、编码器缠绕到收线环盘中。舞蹈轮向光纤施加一定压力,使得光纤张力能够保持在稳定值。光纤缠绕过程中由于收线速度或其他原因导致光纤张力发生变化,张力控制器通过张力传感器采集到张力变化并通过软件算法处理产生控制信号输出给电机驱动器以控制放线电机的转速达到控制张力的目的。

2 张力控制器硬件设计

张力控制器的硬件结构主要由张力传感器信号放大模块电路、A/D 转换模块、串口通信模块以及电机驱动模块组成。系统结构如图 2 所示。

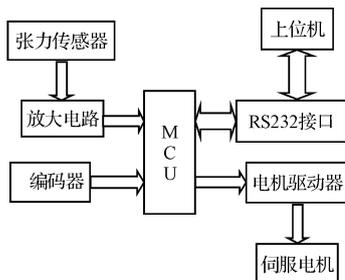


图 2 张力控制器结构图

(1) 微控制器模块。张力控制器以 Silicon Labs 公司的 C8051F310 单片机作为微处理器芯片,C8051F 系列单片机采用 CIP-51 微控制器内核并与 MCS-51 指令集完全兼容。该芯片内部集成了包括 A/D 转换器、UART、定时器等功能部件能够提供张力控制系统所需要大部分的模拟和数字外设。

(2) 张力数据采集电路。张力传感器采用施密特公司生产的 RFS150(E) 张力传感器。张力传感器的

输出信号为毫伏信号,在模数转换之前需要采用信号调理电路将毫伏信号经滤波放大转换为 $0\text{ V} \sim 2.5\text{ V}$ 的电压信号。模拟信号调理电路采用以 AD620 仪表放大器为核心的放大电路加以辅助低通滤波电路组成。传感器信号经滤波放大后输出至 A/D 转换电路,C8051F310 单片机内部集成的 10 位逐次逼近型 AD 转换器同时完成对模拟信号的 A/D 转换。

(3) 电机转速控制电路。该张力控制系统的送线电机选用 Maxon 公司的直流伺服电机 Maxon227681,并选采用苏州均和公司配套伺服电机驱动器,电机驱动器采用 PID 控制算法完成对电机转速的闭环控制。单片机只需要通过发送不同频率的脉冲信号至电机驱动器就可以控制送线电机的转速。

(4) 光纤长度测量模块。在光纤绕制过程中,需要对收线盘中的光纤长度进行测量,图 2 中的编码器就是用于对光纤长度的测量过程。编码器采用光洋电子增量式旋转编码器 TRD-MX,光纤环绕过程带动编码器旋转,编码器同时产生脉冲信号输出,编码器每旋转一周就会信号都会输出 1 000 个脉冲。C8051F310 单片机内部包含可编程计数器/定时器阵列 (PCA),PCA 由一个专用的 16 位计数器/定时器和 5 个 16 位捕获/比较模块组成。每个捕捉/比较模块有其自己的 I/O 线 (CEXn)。编码器的输出信号连接至捕获/比较模块的输入引脚,同时配置 PCA 工作在捕获方式对编码器脉冲信号进行捕获计数。本研究通过对编码器输出脉冲信号的计数并且已知编码器旋转轮的周长,即可以通过计算获得光纤的线长值。

(5) 通信模块。在光纤缠绕过程中,张力控制器还需要根据上位机命令设置周期性的将实时张力值、线长值传输给上位机。普通工业控制计算机大都带有串行接口,C8051F310 单片机内部集成了 UART 通信模块,整个张力控制系统张力控制器与上位机之间的距离较近,因此张力控制器与上位机之间可直接采用串行通信方式进行通信。由于工控机串口为 RS-232 标准电平而单片机输出 UART 信号为 CMOS 电平,必须实现标准信号间的电平转换。MAX232 是 MAXIM 公司推出的符合 RS-232C 通信接口标准的电平转换芯片,使用 MAX232 完成电平转换以实现微处理器与标准 RS-232 接口之间的通信。

3 控制器软件算法设计

传统的工业张力控制普遍采用 PID 算法,但由于在光纤绕制过程中既有卷绕过程,又有光纤绕制平台的平移过程,而且由于绕制光纤环的的半径不同,在相同转速下的收线速度也不相同。因此,在一定工况下整定的 PID 参数无法适应整个绕制过程。模糊 PID 张力控制

器在 PID 算法的基础之上,通过计算当前系统张力误差和误差变化率,利用模糊规则进行模糊推理,查询模糊矩阵表进行 PID 中 3 个参数 K_i, K_p, K_d 的调整^[2]。对于该系统,模糊语言规则和合成推理决定着控制器性能的好坏。但由于控制器设计完成之后,其语言规则和合成推理往往是确定的、不可调整的。对于光纤张力的控制过程,由于张力的要求稳定值很小,引起张力变化的扰动多种多样,这就要求模糊推理过程具有自调整功能,以使其对不同的扰动引起的张力变化均具有良好的控制效果^[4]。常规的二维模糊控制器中输出量取决于输入量 E (误差) 和 EC (误差变化率),按照下式^[5]所示的控制规则,加权系数取为 0.5,即:

$$U = -(E + EC)/2 \quad (1)$$

式中: U, E 和 EC 一相应模糊变量的等级值。

上述二维模糊控制器一旦设计完成,其模糊规则也就被固定了,不能改变。如果在上式中引入可调整因子 α 如下式所示:

$$U = -(\alpha E + (1 - \alpha) EC)/2 \quad (2)$$

这样就可以通过调整 α 的值来调整 E 和 EC 对输出量的加权程度,从而调整了模糊规则。也就是说 E 论域和 EC 论域上的所有等级分别按照加权系数 α 和 $(1 - \alpha)$ 来调整。对于常规的控制过程而言,控制过程的初始阶段系统误差较大,可以通过加大 α 的值来加大误差对于控制输出的贡献以尽快地消除误差。反之,控制过程后期,系统的误差减小,此时控制系统的控制目的就是减小系统的超调加快使系统稳定,这就要求在控制规则中增大误差变化率的权值。显然,单一的 α 值无法满足要求,因此,可以通过引入调整函数使得 α 的值按一定的规律变化以满足不同控制过程的要求。实际上调整函数反映的是调整因子与系统误差的关系,设误差 E 的设定论域为 $[-X, X]$, 则调整函数可用下式表示^[6]:

$$\alpha(E) = \begin{cases} (|E|/X)^N, & |E| < X \\ 1, & |E| \geq X \end{cases} \quad (3)$$

式中: N —反映的是误差对调整因子的影响程度,为了简化计算量这里取 $N = 1$ 。

即:

$$\alpha(E) = \begin{cases} |E|/X, & |E| < X \\ 1, & |E| \geq X \end{cases} \quad (4)$$

本研究采用这种方法产生控制规则,同时也体现了人脑推理过程的连续性、单值性等特点,可以克服单凭经验来选择控制规则的困难,并可避免在控制规则定义中出现的空档或跳变现象^[7]。自调整模糊 PID 控制系统结构图如图 3 所示。

3.1 隶属函数的建立

张力误差 E 的变化范围一般为 ± 20 g,取基本论

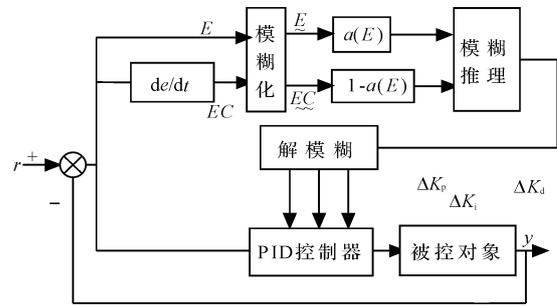


图 3 自调整模糊 PID 结构图

域为 $[-20, 20]$, 误差变化 EC 的变化范围为 ± 10 g, 取基本论域为 $[-10, 10]$, 本研究将系统误差和误差变化定义为模糊集合上的论域 $\{-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5\}$ 。同样设定 $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$ 的模糊集合论域为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, 本研究取隶属度函数为均三角型隶属度函数,为了增加系统的抗干扰能力和稳定性,特别地减小了输入变量模糊语言值 NS、ZO 和 PS 的作用范围。输入/输出变量的隶属函数和模糊语言值如图 4 所示。

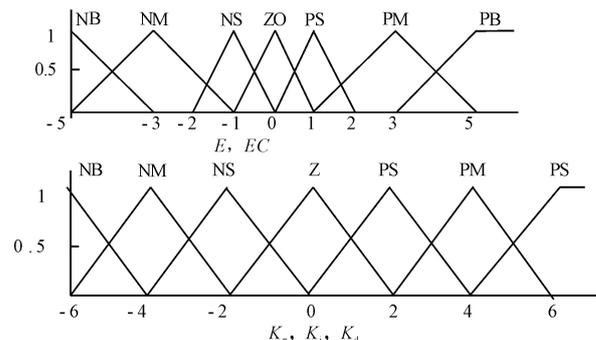


图 4 输入/输出变量隶属度函数

3.2 建立模糊控制表

根据 PID 控制过程的经验,当误差 E 较大时应加大 K_p , 减小 K_i, K_d 以加快系统响应速度,防止出现较大超调;当误差一般大小时应使 K_p 适当减小, K_i, K_d 取适中大小;当误差较小时应减小 K_i 的值适当增加 K_p 的值以增加系统反应速度,并防止系统产生振荡;当误差变化较大时应适当减小微分作用,当误差变化较小时适当增加微分作用^[8]。针对以上规则本研究分别建立 $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$ 的模糊规则表,如表 1~3 所示。

表 1 ΔK_p 隶属度函数表

E	EC						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	NS
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	NB

表 2 ΔK_i 隶属度函数表

E	EC						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	ZO
NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZO	ZO
NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	NM
PM	ZO	ZO	PS	PS	PM	NM	PB
PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB

表 3 ΔK_d 隶属度函数表

E	EC						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS	ZO
NS	ZO	NS	NM	NM	ZO	NS	ZO
ZO	ZO	NS	NS	NS	NS	NS	ZO
PS	ZO						
PM	PB	PS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

$\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$ 的模糊规则表建立后这里采用 Mandani 极小运算模糊推理法,对模糊控制规则进行推理运算,得到模糊关系;然后依据隶属度函数和模糊关系,采用合成推理法^[9]推出控制器的模糊控制量,由于光纤张力很容易受到运行状态的干扰,应考虑隶属度低的变量对输出的影响,本研究利用下式进行加权平均计算,得出模糊控制查询表^[10]:

$$u = \frac{\sum_{i=1}^{13} \mu_u(X_i) \cdot X_i}{\sum_{i=1}^{13} \mu_u(X_i)} \quad (5)$$

在运行过程中控制系统实时监测当前张力误差值,并通过对结果的处理,查表运算完成对 PID 参数的调整,进而通过 PID 算法得到控制输出完成对张力的调整。其工作流程如图 5 所示。

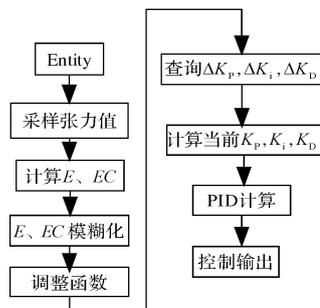


图 5 算法流程图

4 实验结果及分析

该系统已在正常生产过程中正常运行,运行过程稳定,控制效果良好。为验证说明该控制系统在现场运行过程的有效性,本研究选取常规的 PID 控制在不同状态下运行与自调整模糊 PID 的运行状况进行比较。自调整模糊 PID 控制在收线转速为 1 r/s 时及加速到 10 r/s 时从上位机截取的张力监控曲线图如图 6、图 7 所示。常规 PID 控制在收线转速为 1 r/s 时经过优化 PID 参数后得到的张力监控曲线图如图 8 所示,当转速提高到 10 r/s 得到张力监控曲线图如图 9 所示。

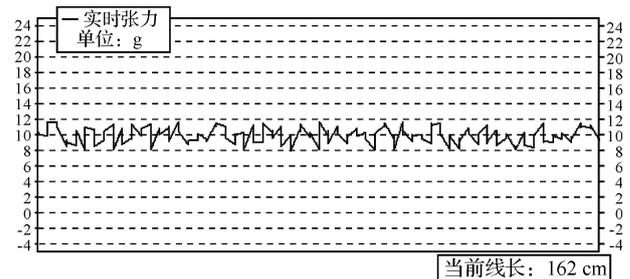


图 6 自调整模糊 PID 控制在 1 r/s 时张力曲线

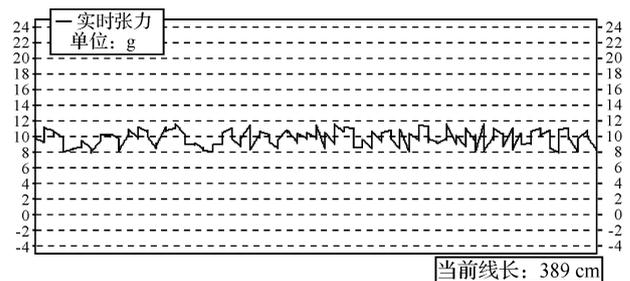


图 7 自调整模糊 PID 控制在 10 r/s 时张力曲线

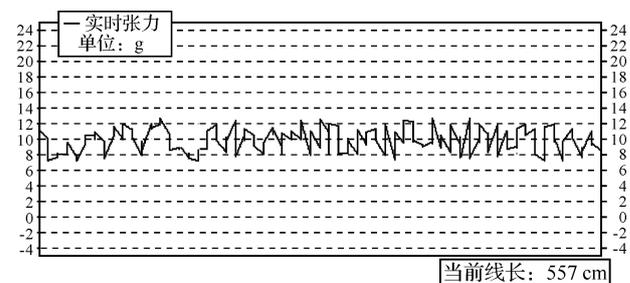


图 8 常规 PID 控制在 1 r/s 时张力曲线

从图 6~9 中可以看出,常规 PID 控制虽然在一定状态下经过人工调整 PID 参数可以使系统达到稳定,控制张力误差在较小范围内,但是当系统运行环境变化时其控制性能出现了明显的恶化,系统出现了振荡,光纤张力值在剧烈抖动。而自调整模糊 PID 控制能够使稳态张力误差稳定在 2 g 以内,具有较强的适应性和鲁棒性,在系统运行环境发生变化的情况下其控制

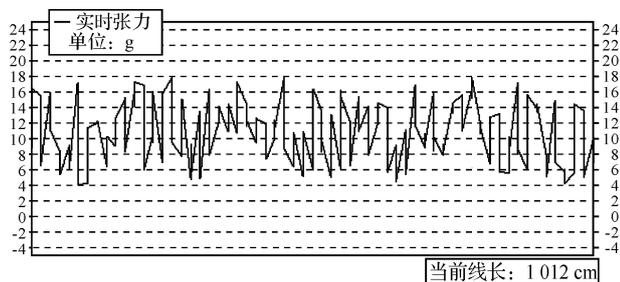


图 9 常规 PID 控制在 10 r/s 时张力曲线

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)

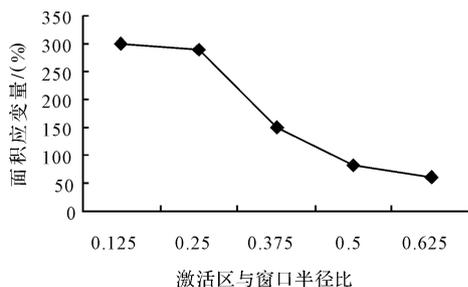


图 8 激活区与窗口半径比对面积应变的影响

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]