

基于液晶引流效应的上板游离态 液晶盒数值计算研究*

王安标, 田 勇, 刘春波, 崔 帆

(河南工业大学 机电工程学院, 郑州 450001)

摘要: 以小分子液晶 Leslie-Ericksen 理论为基础,建立液晶盒上基片游离状态的计算模型,在给出边界初始条件的基础上,运用二阶 Runge-Kutta(龙格-库塔)法与中心差分法对方程组进行时空离散,通过 MATLAB 编写计算程序,调整计算参数得出液晶盒厚度、液晶盒两端所施加电场参数对液晶引流的影响.结果表明:液晶指向矢的大小随液晶盒上下基板所施加电场的交变而交变,并引起液晶引流速度大小交变;随着液晶盒厚度的增加,液晶盒上基片在一个周期内移动的位移也在增加;液晶盒两端所施加电场的占空比基本上不影响液晶盒上基片速度的大小,对液晶盒上基片速度最大值出现的时间点影响很大;通过与实验数据相对比,液晶盒上基片位移数值大小在同一个数量级,运动轨迹比较吻合.

关键词: 液晶引流效应; Leslie-Ericksen 理论; 液晶盒

中图分类号: O373

文献标志码: A

doi: 10.21656/1000-0887.370347

引 言

微流体驱动与控制技术是 MEMS 发展需要攻破的关键技术之一^[1-2].特殊流体驱动日渐成为其研究热点,它是指利用流体的特殊性质实现微流体驱动与控制的驱动方式^[3],液晶引流效应属于其中的一种,它指的是在外加电(磁)场的作用下,由液晶流动与其内部分子指向矢(液晶内部一点附近小区域内所有分子的平均指向)的排列相互作用所引起的现象^[4-5].包括 Leslie-Erickson(L-E)理论、Beris-Edwards 理论以及传统 Doi 与 Marrucci-Greco 势能场的结合理论^[6],是目前液晶领域较为成熟的理论.实验与数值计算中液晶为小分子向列相液晶 5CB^[7],选用 L-E 理论为数值计算的基本理论.液晶盒上基片处于游离状态,所以所计算流体边界条件处于变化中,运用现有流体计算软件无法进行计算,液晶属于黏弹性流体,在液晶引流效应方程组(L-E 理论)中,尤其是运动方程(N-S 方程)含有较多的偏微分项,再加上边界条件处于变化中,在计算过程中必须对方程组进行时空离散化.

在文献[8]中,对方程组进行时空离散,分别采用二阶 Runge-Kutta 法^[9]与中心差分法^[10],为计算方程组提供一种计算方法,由于程序运行时间较长,故仅研究了液晶盒盒厚对上板运动状态随时间的变化,并没有给出电场参数对其影响.为了能够更加充分地发挥液晶驱动的性能,本文在构建计算模型的基础上,求解液晶盒厚度、液晶盒两端所施加电场参数对液晶

* 收稿日期: 2016-11-14; 修订日期: 2017-08-30

作者简介: 王安标(1990—),男,硕士(通讯作者. E-mail: hgdwab@163.com).

引流的影响,为终端的应用设计提供理论基础.本文在优化程序的基础上,还进一步计算了电场参数、液晶盒参数与液晶引流的相关性.

1 基本方程组建立

本研究所建立的计算模型如图 1 所示(上基片游离),基本方程包括连续性方程、动量方程、本构方程、电场引起的外力方程、Frank 自由能密度方程以及角运动方程.

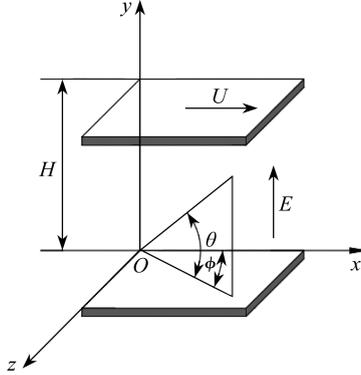


图 1 计算模型

Fig. 1 The computational model

1.1 基本方程

计算的基本方程式包括以下:

1) 连续性方程

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0, \tag{1}$$

式中, \mathbf{v} 是速度.

2) 动量方程

$$\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} = \mathbf{F} + \nabla \cdot (-p\mathbf{I} + \boldsymbol{\tau}), \tag{2}$$

式中, ρ 是密度, t 为时间, p 为压力, \mathbf{I} 为单位矢量, $\boldsymbol{\tau}$ 为偏差应力矢量, 在液晶中施加强度为 \mathbf{E} 的电场, 所引起的电场力 \mathbf{F} 大小为

$$\mathbf{F} = [(\varepsilon_{\perp} \mathbf{E} + \varepsilon_a(\mathbf{n} \cdot \mathbf{E})\mathbf{n}) \cdot \nabla] \mathbf{E}, \tag{3}$$

式中, ε_{\perp} 为液晶垂直于指向矢方向的介电常数, ε_a 为液晶的介电各向异性.

3) 本构方程^[11]

$$\boldsymbol{\tau} = \alpha_1 \mathbf{n} \mathbf{n} \mathbf{n} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{n} + \alpha_2 \mathbf{n} \mathbf{N} + \alpha_3 \mathbf{N} \mathbf{n} + \alpha_4 \mathbf{A} + \alpha_5 \mathbf{n} \mathbf{n} \cdot \mathbf{A} + \alpha_6 \mathbf{A} \cdot \mathbf{n} \mathbf{n} - \frac{\partial F}{\partial \nabla \mathbf{n}} \cdot (\nabla \mathbf{n})^T, \tag{4}$$

式中, $\alpha_i (i = 1, 2, \dots, 6)$ 是 Leslie 黏性系数, \mathbf{n} 是单位指向矢, \mathbf{A} 是变形速度张量, \mathbf{N} 是指向矢与流体相对角速度矢量, F 是液晶自由能密度.

4) Frank 自由能密度方程

$$2F = K_1(\nabla \cdot \mathbf{n})^2 + K_2(\mathbf{n} \cdot \nabla \times \mathbf{n})^2 + K_3|\mathbf{n} \times \nabla \times \mathbf{n}|^2, \tag{5}$$

式中, K_1, K_2, K_3 分别为液晶展曲、扭曲、弯曲弹性系数.

5) 角运动方程

$$\mathbf{n} \times \left\{ \mathbf{G} + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{n}} - \nabla \cdot \left(\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \nabla \mathbf{n}} \right) + \lambda_1 \mathbf{N} + \lambda_2 \mathbf{A} \cdot \mathbf{n} \right\} = \mathbf{0}, \quad (6)$$

式中, \mathbf{G} 为电场作用在指向矢体积力, λ_1, λ_2 为 Leslie 黏性系数线性组合.

1.2 方程组的化简

方程(1)~(6)即为液晶引流效应基本方程组.由于方程组参数较多,故需经过化简后再进行数值计算.通过 MATLAB 的符号数学工具箱可以完成小型方程组的化简.而本研究涉及大型方程组的化简,故选择专业于符号计算的 Maple 软件来完成,Maple 软件的优势在于其强大的符号计算能力^[12].动量方程、角运动方程可以直接计算速度矢量 \mathbf{v} 和指向矢矢量 \mathbf{n} , 可将其作为引流效应最主要的方程,其他方程可作为化简该方程的辅助方程.化简后的方程组为

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial u}{\partial t} = & \alpha_1 \left\{ \frac{\partial}{\partial y} (n_x^2 n_y^2) \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} (n_x n_y^2 n_z) \frac{\partial w}{\partial y} + n_x n_y^2 \left(n_x \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + n_z \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \right\} + \frac{\alpha_4}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \\ & \alpha_2 \frac{\partial}{\partial y} \left(n_y \frac{\partial n_x}{\partial t} \right) + \alpha_3 \frac{\partial}{\partial y} \left(n_x \frac{\partial n_y}{\partial t} \right) - \frac{\alpha_2 - \alpha_5}{2} \left(2n_y \frac{\partial n_y}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial y} + n_y^2 \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \\ & \frac{\alpha_3 + \alpha_6}{2} \left\{ 2n_x \frac{\partial n_x}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} (n_x n_z) \frac{\partial w}{\partial y} + n_x^2 \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + n_x n_z \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right\}, \end{aligned} \quad (7a)$$

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial w}{\partial t} = & \alpha_1 \left\{ \frac{\partial}{\partial y} (n_x n_y^2 n_z) \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} (n_y^2 n_z^2) \frac{\partial w}{\partial y} + n_y^2 n_z \left(n_x \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + n_z \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \right\} + \frac{\alpha_4}{2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \\ & \alpha_2 \frac{\partial}{\partial y} \left(n_y \frac{\partial n_z}{\partial t} \right) + \alpha_3 \frac{\partial}{\partial y} \left(n_z \frac{\partial n_y}{\partial t} \right) - \frac{\alpha_2 - \alpha_5}{2} \left(2n_y \frac{\partial n_y}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial y} + n_y^2 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) + \\ & \frac{\alpha_3 + \alpha_6}{2} \left\{ \frac{\partial}{\partial y} (n_x n_z) \frac{\partial u}{\partial y} + 2n_z \frac{\partial n_z}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial y} + n_x n_z \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + n_z^2 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right\}, \end{aligned} \quad (7b)$$

$$\gamma_1 \frac{\partial n_x}{\partial t} = n_y \left\{ 2(K_3 - K_2) \frac{\partial n_x}{\partial y} \frac{\partial n_y}{\partial y} - \alpha_2 \frac{\partial u}{\partial y} \right\} + \{K_2 + (K_3 - K_2)n_y^2\} \frac{\partial^2 n_x}{\partial y^2}, \quad (7c)$$

$$\begin{aligned} \gamma_1 \frac{\partial n_y}{\partial t} = & n_y \Delta \varepsilon E^2 - \alpha_3 \left(n_x \frac{\partial u}{\partial y} + n_z \frac{\partial w}{\partial y} \right) - (K_3 - K_2) n_y \left\{ \left(\frac{\partial n_x}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial n_y}{\partial y} \right)^2 - \right. \\ & \left. \left(\frac{\partial n_z}{\partial y} \right)^2 \right\} + \{K_1 + (K_3 - K_2)n_y^2\} \frac{\partial^2 n_y}{\partial y^2}, \end{aligned} \quad (7d)$$

$$\gamma_1 \frac{\partial n_z}{\partial t} = n_y \left\{ 2(K_3 - K_2) \frac{\partial n_y}{\partial y} \frac{\partial n_z}{\partial y} - \alpha_2 \frac{\partial w}{\partial y} \right\} + \{K_2 + (K_3 - K_2)n_y^2\} \frac{\partial^2 n_z}{\partial y^2}, \quad (7e)$$

其中, Leslie 黏性系数 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6$ 分别为 $0, -8.6 \times 10^{-2}, -4.0 \times 10^{-3}, 8.9 \times 10^{-2}, 5.9 \times 10^{-2}, -3.1 \times 10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, 弹性系数 K_1, K_2, K_3 分别为 $6.37 \times 10^{-12}, 3.81 \times 10^{-12}, 8.60 \times 10^{-12} \text{ N}$, 介电系数 $\varepsilon_{\perp}, \varepsilon_a$ 分别取 $1.57 \times 10^{-10}, -1 \times 10^{-10} \text{ F/m}$, 液晶密度为 1000 kg/m^3 ^[3].

1.3 初始边界条件设定

液晶引流而产生的剪切力为驱动力,阻力则主要为液晶分子间的摩擦力.假设上板的质量为 m , 上板与液晶的接触面积为 S , 微粒子之间的动摩擦因数为 μ_k , 则上板的运动方程式为

$$m \frac{dU}{dt} = \tau_w S - \text{sgn}(U) \mu_k mg, \quad (8)$$

其中 τ_w 是作用于平板上的切应力,具体表达式为

$$\tau_w = \tau_{yx} \Big|_{y=H}. \quad (9)$$

此外,上平板处于静止状态时,由于液晶流动所产生的剪切力 $\tau_w S$ 小于静止摩擦力 $\mu_s mg$ (μ_s 为静摩擦力因数),所以平板是静止的,此时式(8)不适用.方程组由方程组(7)和方程(8)、(9)组成,静摩擦力因数 $\mu_s = 0.28$,动摩擦因数选择为静摩擦因数的 0.7 倍.

2 计算方法

计算坐标系如图 1 所示,其中液晶盒上、下基片的倾斜角为 θ ,扭转角为 ϕ .在对方程组进行时空离散时,时间间隔选取为 10^{-9} s,空间网格大小为 $\Delta y = H/100$.针对程序编写,主要进行如下 4 步.

2.1 输入常数和计算 n, v 初值

由液晶盒上、下基片的倾斜角 θ 和扭转角 ϕ 按线性分布可计算出液晶盒内部液晶初始指向矢的大小.上、下基片倾斜角都设定为 5° ,上、下基片扭转角都设定为 0° ;将液晶盒沿 y 轴方向等分 100 份,按线性分布计算这 101 个节点处的倾斜角和扭转角大小.

2.2 计算 n, v 对时间、空间的偏导数

首先依 n, v 的旧值运用中心差分法计算 n, v 对 t, y 的一阶、二阶、混合偏导数,并计算 n 对时间 t 的偏导数;其次进行 n 对 t 的偏导数微调;最后计算 v 对时间 t 的偏导数,并保存;将上述 3 步计算两次,作为二阶 Runge-Kutta 法的 K_1, K_2 的值,在计算第二次时, n, v 的旧值用中间值代替.

2.3 计算下一时刻 n, v 值

运用 n, v 对时间、空间的偏导数和 n, v 旧值以及 K_1, K_2 计算 n, v 的新值,并替换旧值.

2.4 以 0.01 s 为单位保存 n, v 值,并对 n, v 作图

判断现在值是否需要输出保存,如果程序计算 1 s,则每隔 0.01 s 保存一个数据便能满足以后作图需求.对于多周期计算,也应 1 s 保存 100 个值.然后判断计算是否结束,若结束,便可以运用所得数据作图.

3 模型的求解结果

图 2(a)所示为厚度 $50 \mu\text{m}$ 的液晶盒,在施加幅值为 5 V、频率为 1 Hz、占空比为 20% 的 6 周期方波时,液晶指向矢 n_x 随液晶盒厚度、时间的三维变化图,从图中可以看出,对液晶盒施加连续方波时,电场存在时液晶盒内部液晶分子由于受电场力作用会向电场方向旋转,在没有电场存在时液晶分子在锚泊作用的驱动下逐渐趋向没有加电场前的指向矢状态;图 2(b)所示为液晶流动速度 v_x 随液晶盒厚度、时间的三维变化图,从图中可以看出,液晶引流速度随着液晶盒上所施加电场的交变而交变,其根本原因为,液晶盒内部液晶分子指向矢随着液晶盒上所施加电场的变化而变化(旋转),导致液晶流动.

分别计算厚度为 50, 80, 100 μm 的液晶盒,其上基片位移如图 3 所示,从图中可以看出,上基片最大速度随着厚度的增大而增大,引流效应在第 3 周期时开始稳定.

分别计算施加占空比为 10%, 20%, 50% 的 6 周期方波,其上基片速度如图 4 所示,从图中可以看出,占空比的大小对液晶盒上基片运动的最大速度影响很小,主要因为占空比在大于 10% 时液晶盒内液晶分子指向矢均已经旋转到最大值,对引流速度影响不大.从图中还可以看出,虽然占空比对速度大小影响不大,但是占空比的大小对液晶盒上基片运动在正方向上速度最大值出现的地方影响很大,这主要是因为,在液晶盒两基板间电场撤销的瞬间,液晶回流所致.

分别计算施加幅值为 5, 10 V 的 6 周期方波, 其上基片速度如图 5 所示, 位移如图 6 所示。从图中可以看出, 最大速度随着添加电场幅值的增大而增大, 而液晶盒上基片在一个周期内移动的位移却在减少, 从图中还可以看出幅值对引流效应稳定时间也有一定影响。

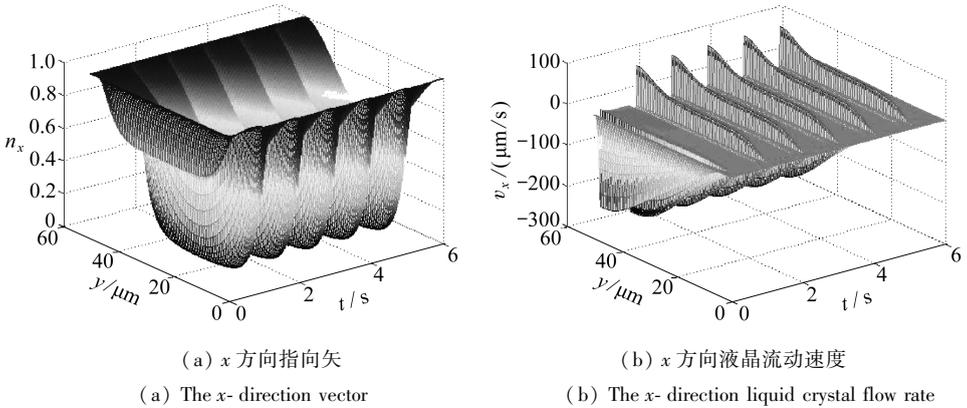


图 2 连续方波下液晶引流效应三维图^[6]

Fig. 2 The 3D map of liquid crystal backflow effect under the continuous square wave^[6]

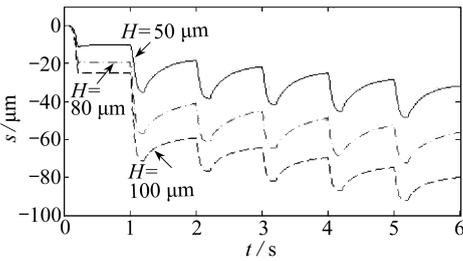


图 3 盒厚度对位移的作用^[6]

Fig. 3 The effect of the box thickness on the displacement^[6]

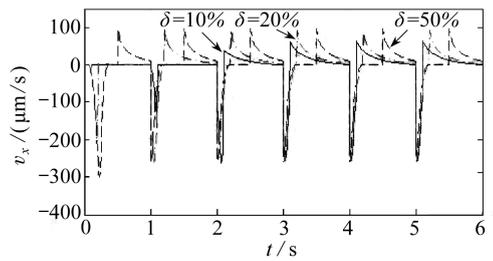


图 4 占空比对速度的作用^[6]

Fig. 4 The effect of the duty ratio on the velocity^[6]

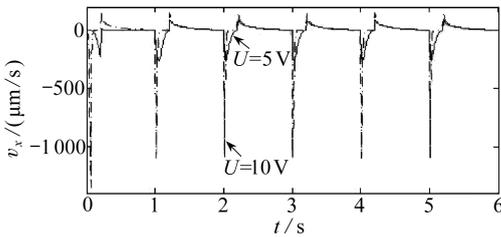


图 5 幅值对速度的作用^[6]

Fig. 5 The effect of the amplitude on the velocity^[6]

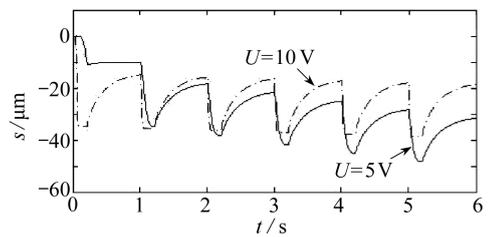


图 6 幅值对位移的作用^[6]

Fig. 6 The effect of the amplitude on the displacement^[6]

4 实验验证

实验主要验证了液晶盒上基片运动状态, 目前市场上的液晶盒主要是用来研究液晶显示性质的, 此类液晶盒上下两基片都处于固定状态, 留有一个小口用于注入液晶, 无法满足本实验验证要求, 因此实验验证第一步就是要设计液晶盒。实验中所设计的液晶盒如图 7(a) 所示, 由配向层、液晶填充材料、间隔粒子和由 ITO 玻璃制作的上、下基片组成, 液晶盒的制作主要包

括液晶盒的配置与清洗、液晶盒基片涂抹配向层、液晶盒基片配向、填充液晶并添加定位粒子等。针对制备成功的液晶盒,在施加电场、温度场的前提下,通过偏光显微镜下观察并录制上基片运动视频。针对某次实验所录制视频,通过 MATLAB 将其按帧数“转化”成大量灰度图,通过比对特征区域标准差来处理上基片运动视频,并绘制上基片运动速度、位移随液晶盒上下基片所施加电压变化的图形,如图 7(b)所示。

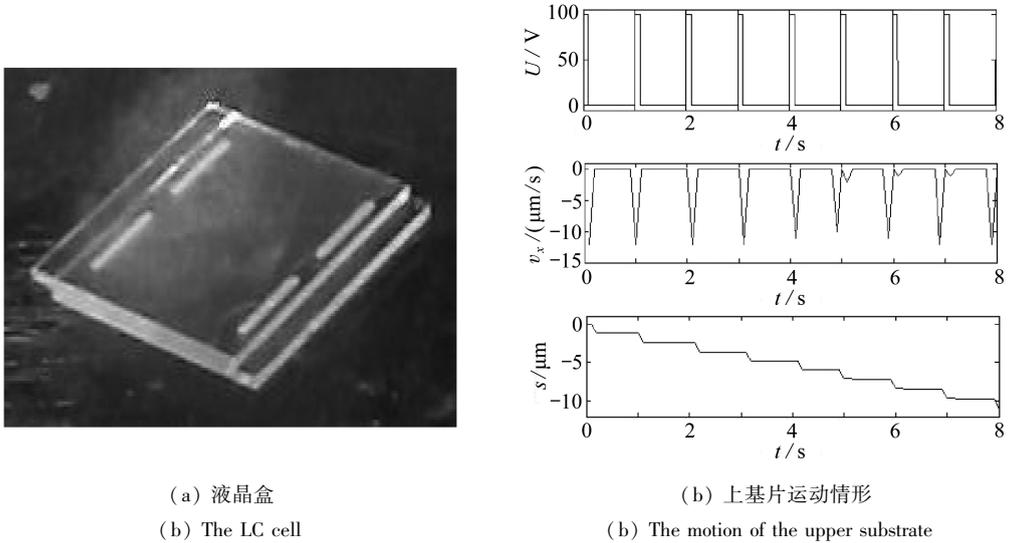


图 7 实验验证

Fig. 7 Experimental verification

5 结 语

为了能够更加充分地发挥液晶驱动的性能,本文在构建计算模型的基础上,求解液晶盒厚度、液晶盒两端所施加电场参数对液晶引流的影响,为最终的应用设计提供理论基础。结果表明: 1) 液晶指向矢的大小随液晶盒上下基板所施加电场的交变而交变,并引起液晶引流速度大小交变; 2) 随着液晶盒厚度的增加,液晶盒上基片在一个周期内移动的位移也在增加; 3) 液晶盒两端所施加电场的占空比基本上不影响液晶盒上基片速度的大小,对液晶盒上基片速度最大值出现的时间点影响很大; 4) 通过与实验数据相对比,液晶盒上基片位移数值大小在同一个数量级,运动轨迹比较吻合。

致谢 本文作者衷心感谢河南工业大学校博科研基金:管道效应对液压系统动态特性的影响研究(32400020)对本文的资助。

参考文献(References):

- [1] 梁斌斌,张龙,王炳雷,等.拟弧长延拓法在静电激励 MEMS 吸合特性研究中的应用[J].应用数学和力学,2015,36(4):386-392.(LIANG Bin-bin, ZHANG Long, WANG Bing-lei, et al. Application of the pseudo-arclength continuation algorithm to investigate the size-dependent pull-in instability of the electrostatically actuated MEMS[J]. *Applied Mathematics and Mechanics*, 2015, 36(4): 386-392.(in Chinese))
- [2] 刘超.激光光热驱动技术与微型光热驱动机构研究[D].博士学位论文.杭州:浙江大学,2010:1-5.(LIU Chao. Study of photothermal actuator technology and the development of micro pho-

- tothermal drive mechanism[D]. PhD Thesis. Hangzhou: Zhejiang University, 2010: 1-5. (in Chinese))
- [3] 刘春波, 田勇, 辻知宏, 等. 基于液晶引流效应的全新微流体驱动方式[J]. 机械工程学报: 2012, **48**(6): 122-129. (LIU Chun-bo, TIAN Yong, TSUJI Tomohiro, et al. New microfluidic driving method based on liquid crystalline backflow effect[J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2012, **48**(6): 122-129. (in Chinese))
- [4] de Gennes P G, Prost J. *The Physics of Liquid Crystals*[M]. 2nd ed. London: Oxford Clarendon Press, 1993.
- [5] 李以贵, 黄远, 颜平, 等. 利用体块 PZT 制备膜片式压电微泵[J]. 光学精密工程, 2016, **24**(5): 1072-1079. (LI Yi-gui, HUANG Yuan, YAN Ping, et al. Fabrication of micro diaphragm piezoelectric pump by using bulk PZT[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2016, **24**(5): 1072-1079. (in Chinese))
- [6] 王安标. 基于液晶引流效应的微流体驱动器研究[D]. 硕士学位论文. 郑州: 河南工业大学, 2015. (WANG An-biao. Study of microfluidic driving based on liquid crystalline backflow effect [D]. Master Thesis. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2015. (in Chinese))
- [7] 李倩, 毕曙光, 赵东旭, 等. 纳米二氧化硅增强液晶复合凝胶[J]. 科学通报, 2016, **61**(19): 2155-2162. (LI Qian, BI Shu-guang, ZHAO Dong-xu, et al. Nano-silica enhanced liquid-crystalline composite gels[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2016, **61**(19): 2155-2162. (in Chinese))
- [8] 王安标, 刘春波. 连续方波电场作用下液晶引流驱动效果数值分析[J]. 应用力学学报, 2014, **31**(4): 654-660. (WANG An-biao, LIU Chun-bo. Numerical analysis of the liquid crystalline backflow driven effect under the continuous square wave electric field[J]. *Chinese Journal of Applied Mechanics*, 2014, **31**(4): 654-660. (in Chinese))
- [9] 王伟吉, 叶金亮, 方成跃. 全隐式龙格库塔法求解点堆动力学方程[J]. 核科学与工程, 2014, **34**(3): 289-295. (WANG Wei-ji, YE Jin-liang, FANG Cheng-yue. The full implicit Runge-Kutta method of solving point reactor kinetics equations[J]. *Nuclear Science and Engineering*, 2014, **34**(3): 289-295. (in Chinese))
- [10] 罗艳, 李鸣, 杨大勇. 微通道内电渗压力混合驱动幂律流体流动模拟[J]. 应用数学和力学, 2016, **37**(4): 373-381. (LUO Yan, LI Ming, YANG Da-yong. Simulation of mixed electroosmotic and pressure-driven flows of power-law fluids in microchannels[J]. *Applied Mathematics and Mechanics*, 2016, **37**(4): 373-381. (in Chinese))
- [11] 韩氏方. 各向异性非牛顿流体连续介质力学——液晶高分子流变学[M]. 北京: 科学出版社, 2008. (HAN Shi-fang. *Continuum Mechanics of Anisotropic Non Newtonian Fluids—Liquid Crystal Polymer Fluid*[M]. Beijing: Science Press, 2008. (in Chinese))
- [12] 张韵华, 王新茂. 符号计算系统 Maple 教程[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2007. (ZHANG Yun-hua, WANG Xin-mao. *A Tutorial to the Symbolic Computation System Maple* [M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2007. (in Chinese))

Numerical Calculation of Liquid Crystal Cells With Free-State Upper Plates Based on the Liquid Crystalline Backflow Effects

WANG An-biao, TIAN Yong, LIU Chun-bo, CUI Fan

(*School of Mechanical and Electrical Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, P.R.China*)

Abstract: Based on the Leslie-Ericksen theory for small molecule liquid crystals, a calculation model was established for liquid crystal cells with free-state upper plates. Under the specified initial boundary conditions, the 2nd-order Runge-Kutta method and the central difference method were applied to conduct spatial-temporal discretization of the equation set. Additionally, a calculation program was compiled on MATLAB. Then, the calculation parameters were adjusted to obtain the influences of the liquid crystal cell thickness and the electric field parameters imposed at 2 ends of the cell on the liquid crystalline backflow. The results indicate that, the size of the liquid crystal director alternates with the alternation of the electric field imposed on the upper and lower plates of the liquid crystal cell. With the increment of the cell thickness, the displacement of the upper plate within a period also increases. The duty ratio of the electric field imposed at 2 ends of the cell has little impact on the upper plate speed, but has large influence on the occurring time point of the maximal upper plate speed. Compared with the experimental data, the calculated displacement values of the upper plate of the liquid crystal cell are of the same orders, and the movement loci are in good agreement.

Key words: liquid crystalline backflow effect; Leslie-Ericksen theory; liquid crystal cell

引用本文/Cite this paper:

王安标, 田勇, 刘春波, 崔帆. 基于液晶引流效应的上板游离态液晶盒数值计算研究[J]. 应用数学和力学, 2017, **38**(11): 1222-1229.

WANG An-biao, TIAN Yong, LIU Chun-bo, CUI Fan. Numerical calculation of liquid crystal cells with free-state upper plates based on the liquid crystalline backflow effects[J]. *Applied Mathematics and Mechanics*, 2017, **38**(11): 1222-1229.