

文章编号:1007-2780(2013)01-0025-04

HAN 液晶盒中开关时间对形变场弛豫过程的影响

李晓吉,郑桂丽,张志东*

(河北工业大学 理学院, 天津 300401, E-mail: zhengguili@hebut. edu. cn)

摘 要: 在 HAN 液晶盒撤掉外加电压的过程(即弛豫过程)中,假定电压的开关时间为有限的,把电压处理为时间的指数衰减函数。在这一假定下,对撤掉外加电压后 HAN 液晶盒中指向矢的分布情况进行研究,得到了对 HAN 液晶盒的弛豫过程有影响的电压开关时间的范围。

关 键 词: HAN 液晶盒;有限开关时间;弛豫过程;动力学理论

中图分类号: O753⁺. 2 **文献标识码:** A **DOI:** 10. 3788/YJYXS20132801. 0025

Influence of Switching Time on Relaxation Process of Distorting Field in HAN Liquid Crystal Cell

LI Xiao-ji, ZHENG Gui-li, ZHANG Zhi-dong*

(School of Sciences, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China, E-mail: zhengguili@hebut. edu. cn)

Abstract: In the process of moving the voltage applied on hybrid aligned nematic liquid crystal cell (i. e. relaxation process), switching time of voltage is assumed finite, and then the voltage in the relaxation process is handled as exponential attenuation function of time. Based on above assumption, the distribution of the director in hybrid aligned nematic liquid crystal cell is analyzed by numerical simulation and this paper get the range of switching time impacting on the relaxation process.

Key words: hybrid aligned nematic liquid crystal cell; finite switching time; relaxation process; dynamics theory

1 引 言

电控双折射(ECB)模式可以根据液晶分子的排列分为 3 类:平行型(PA)、垂直排列型(VA)和混合排列向列相型(HAN)。在 HAN 液晶盒里,液晶分子的取向在一个基板沿基板平行排列,而在另一基板表面垂直基板排列,液晶分子在两基板间从垂直到平行排列呈连续变化^[1-4]。

在以液晶动力学理论为基础的传统处理撤去

电压过程时,通常考虑电压的开关时间是无限小量,因此把撤去电压的过程处理为阶跃函数,即当 $t < 0$ 时电压为常量,当 $t > 0$ 时电压为零。这种数学处理方法得到指向矢与 z 轴的夹角 θ 对时间的一阶导数在 $t = 0$ 时刻呈现阶跃函数,这样 θ 对时间的二阶导数在 $t = 0$ 时刻会出现狄拉克 δ 函数行为,但经理论计算得到 θ 对时间的二阶导数在 $t = 0$ 时刻呈现出阶跃函数,因此在理论结构上出现矛盾^[5],这种矛盾可以通过引入 HAN 液晶盒

收稿日期:2012-08-03; 修订日期:2012-09-07

基金项目:国家自然科学基金(No. 11147103, No. 10974042, No. 11274088);河北省自然科学基金(No. A2010000004);河北省教育厅项目(No. Z2012061, No. Z2012067, No. Z2011133)

作者简介:李晓吉(1989—),女,湖北襄阳人,硕士研究生,从事液晶物理方向的研究。

* 通信联系人, E-mail: zhidong_zhang@eyou. com

外加电压有限开关时间得到解决。故本文将考虑电压的开关时间为有限的,把弛豫过程的电压处理为指数衰减函数。在此基础上,研究 HAN 液晶盒中的指向矢分布,通过数值求解,并与已有实验结果进行比较,得到开关时间对 HAN 液晶盒的弛豫过程有影响的合理范围。

2 理论计算和数值模拟

2.1 无限小开关时间的响应过程

图 1 所示为 HAN 液晶盒在无外加电压时的液晶分子排列的示意图。本文假定液晶为正性($\epsilon_{//} > \epsilon_{\perp}$)向列相液晶,即在电场的作用下液晶分子将趋于平行电场排列。液晶盒的盒厚为 d ,建立直角坐标系如图 2,液晶盒下边界 $z=0$,上边界 $z=d$ 。由图 1 及图 2 可知,在动力学过程中,液晶的指向矢 $\mathbf{n}$ 的分布是随着 z 和时间 t 变化的,用角度 θ 描写液晶分子指向矢的位置,则:

$$\mathbf{n} = (\cos\theta, 0, \sin\theta) \quad (1)$$

其中 θ 为 z 和 t 的函数, $\theta = \theta(z, t)$ 。考虑边界条件为强锚定边界条件,即 $\theta(0) = 0, \theta(d) = \frac{\pi}{2}$ 。

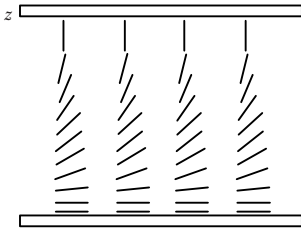


图 1 HAN 液晶盒示意图

Fig. 1 Schematic diagram of HAN liquid crystal cell

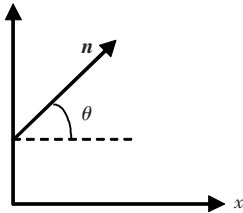


图 2 指向矢坐标系

Fig. 2 Coordinate system of ordinate

HAN 液晶盒外加稳定电压,上基板电压为 U ,下基板电压为 0。考虑引流效应,由动力学理论得到液晶指向矢加速度方程表示为^[6]:

$$\begin{aligned} & [2\alpha_1 \sin^2\theta \cos^2\theta + (\alpha_5 - \alpha_2) \sin^2\theta + \\ & (\alpha_3 + \alpha_6) \cos^2\theta + \alpha_4] v_{x,z} = \\ & 2 \left[C - (\alpha_3 \cos^2\theta - \alpha_2 \sin^2\theta) \frac{\partial \theta}{\partial t} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

液晶指向矢运动方程表示为^[7]:

$$\begin{aligned} & \gamma_1 \frac{\partial \theta}{\partial t} + (\alpha_3 \cos^2\theta - \alpha_2 \sin^2\theta) v_{x,z} = \\ & (k_{11} \cos^2\theta + k_{33} \sin^2\theta) \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + \\ & (k_{33} - k_{11}) \sin\theta \cos\theta \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

其中 α_i 是黏滞系数,也称 Leslie 系数, γ_1 为转动黏滞系数, C 由边界处的流速为零决定。采用差分迭代方法进行模拟计算,液晶材料参数如下^[8]:

$$\begin{aligned} k_{11} &= 13.7 \times 10^{-12} \text{ N}, k_{33} = 16.8 \times 10^{-12} \text{ N}, \\ d &= 10^{-6} \text{ m}, \alpha_1 = 6.5 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2, \\ \alpha_2 &= -79.5 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2, \\ \alpha_3 &= -1.2 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2, \\ \alpha_4 &= 83.2 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2, \\ \alpha_5 &= 46.3 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2, \\ \alpha_6 &= -34.4 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2, \\ \Delta\epsilon &= 5.3, \epsilon_{\perp} = 3.6 \end{aligned}$$

模拟结果如图 3 所示。

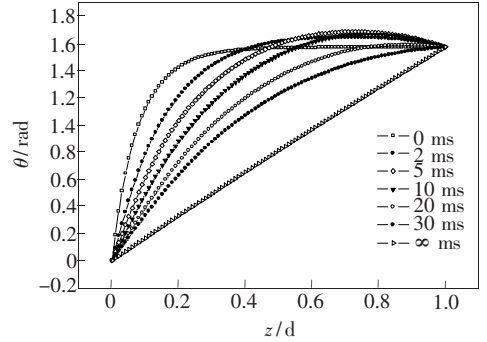


图 3 液晶盒撤去外加电压 $U=7 \text{ V}$, 液晶指向矢的变化。

Fig. 3 Evolution of director of crystal liquid, when voltage ($U=7 \text{ V}$) applied on liquid crystal cell is moved.

由图 3 可知,在考虑引流效应的数值模拟时,撤电压过程中液晶盒指向矢响应的前几十毫秒内,靠近上边界的液晶指向矢的倾角出现了大于 90° 的情况,即在 HAN 液晶盒指向矢的弛豫过程中,液晶盒靠近上边界的液晶分子出现了过弯曲排列现象,且此现象已在实验上得到验证^[9]。

2.2 指向矢弛豫时间

在盒厚为 d 的平行排列液晶盒上,先外加恒定电场 E_0 ,达到平衡时,不考虑引流效应,将电压撤去,假定 $k_{11} = k_{33} = k$ 则撤去电压后体系的弛豫过程方程为

$$\gamma_1 \frac{\partial \theta}{\partial t} = k \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \quad (4)$$

其中 $\theta = \theta(t)$ 选择边界条件为 $\theta(\pm d/2) = \theta_0$ 建立指向矢坐标系, θ_0 为上下边界的预倾角, γ_1 为液晶的转动黏滞系数。设方程(4)解的形式为:

$$\theta(z, t) = \theta_0 + \delta\theta(z, t) \quad (5)$$

则解满足

$$\delta\theta(z, t) = \sum_{n=0}^{\infty} D_n \cos(a_n z) \exp\left(-\frac{k}{\gamma_1} a_n^2 t\right) \quad (6)$$

其中

$$\begin{aligned} a_n &= (2n+1)(\pi/d), \\ D_n &= -4\theta_0 \frac{(-1)^n}{a_n d [1 + (a_n \lambda)^2]}, \\ \lambda &= \sqrt{\frac{k}{\Delta \epsilon E_0^2}} \end{aligned}$$

由式(6)可知

$$\tau_n = \frac{\gamma_1}{k a_n^2} = \frac{\tau_D}{(2n+1)^2 \pi^2} \quad (7)$$

其中

$$\tau_D = \frac{\gamma_1 d^2}{k} \quad (8)$$

τ_D 为指向矢弛豫时间, 当 $k = 10^{-11} \text{ N}$, $\gamma_1 = 10^{-1} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, $d = 10^{-6} \text{ m}$, 则 $\tau_D = 10^{-2} \text{ s}$ 。考虑到电压变化引起液晶指向矢的变化, 本文电压开关时间的数量级将在 $\tau_D = 10^{-2} \text{ s}$ 的基础上作数值分析, 并讨论电压的开关时间对 HAN 液晶盒弛豫过程产生影响的范围。

2.3 有限开关时间的响应过程

在实际过程中, 电压的消失是在一定时间完成的, 因此本文考虑电压的开关时间为有限的, 将电压看成时间的衰减函数, 即在 $t < 0$ 时, 电压为常数 U_0 , 在 $t > 0$ 时, 电压随时间衰减的函数为:

$$U(t) = U_0 \exp(-t/\tau_0) \quad (9)$$

则体系弛豫过程的指向矢方程为:

$$\begin{aligned} \gamma_1 \frac{\partial \theta}{\partial t} + (\alpha_3 \cos^2 \theta - \alpha_2 \sin^2 \theta) v_{x,z} = \\ (k_{11} \cos^2 \theta + k_{33} \sin^2 \theta) \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + \\ (k_{33} - k_{11}) \sin \theta \cos \theta \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right)^2 + \\ \frac{\Delta \epsilon D_z^2 \sin \theta \cos \theta}{\epsilon_0 (\epsilon_{\perp} + \Delta \epsilon \sin^2 \theta)^2} \end{aligned} \quad (10)$$

体系的流速方程仍为 2.1 节的式(2)。在数值解中, 主要依据式(2)和式(10), 在时间演化的过程中, 液晶盒所加电压与电位移矢量 z 分量通过下式(11)相联系:

$$U = - \int_0^d \frac{D_z}{\epsilon_0 (\epsilon_{\perp} + \Delta \epsilon \sin^2 \theta)} dz \quad (11)$$

利用 2.1 部分所示的液晶材料求数值解, 得到结果如图 4 和 5。

由图 4 和 5 可知, 当电压开关时间 $\tau_0 = 0.01\tau_D$ 时, 在撤去电压的过程中, 由模拟结果得到 HAN 液晶盒靠近上边界的液晶分子过弯曲角度最大值为 6.54° ; 当电压开关时间 $\tau_0 = 0.1\tau_D$ 时, 得到 HAN 液晶盒靠近上边界的液晶分子过弯曲角度最大值为 2.90° ; 可知, 电压的开关时间对液晶盒的引流效应起调制作用, 电压的开关时间越大, HAN 液晶盒的引流效应将减小, 当电压的开关时间值大到某一值时, HAN 液晶盒的引流效应将会消失; 反过来, 电压的开关时间越小, HAN 液晶盒的引流效应的消弱越小, 当电压的开关时

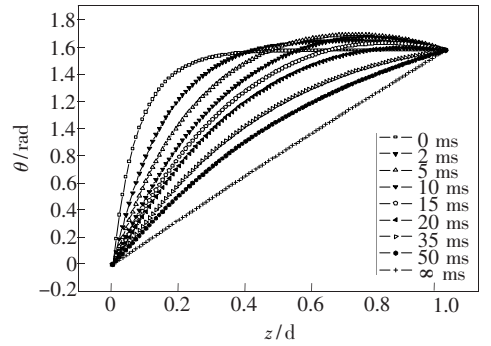


图 4 开关时间 $\tau_0 = 0.01\tau_D$, 液晶盒撤去外加电压 $U = 7 \text{ V}$, 液晶指向矢的演化。

Fig. 4 Switching time $\tau_0 = 0.01\tau_D$, the evolution of director of crystal liquid, when voltage ($U = 7 \text{ V}$) applied on liquid crystal cell is moved.

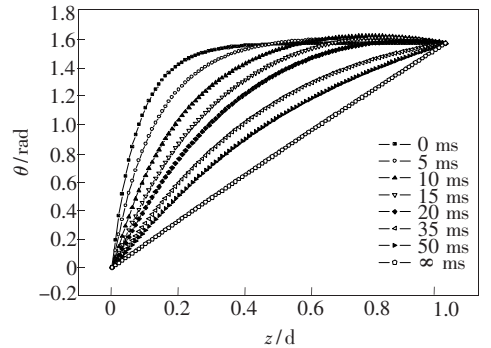


图 5 开关时间 $\tau_0 = 0.1\tau_D$, 液晶盒撤去外加电压 $U = 7 \text{ V}$, 液晶指向矢的演化。

Fig. 5 Switching time $\tau_0 = 0.1\tau_D$, the evolution of director of crystal liquid, when voltage ($U = 7 \text{ V}$) applied on liquid crystal cell is moved.

间小到某一值时,电压的开关时间对 HAN 液晶盒的指向矢弛豫过程将无影响。

3 结 论

在传统处理电压撤去过程时,通常考虑电压的开关时间是无限小量,把撤去电压的过程处理为阶跃函数,即当 $t<0$ 时电压为常量,当 $t>0$ 时电压为零,这种数学处理方法会导致理论结构上的矛盾,这种矛盾可以通过引入 HAN 液晶盒外

加电压有限开关时间得到解决,因此本文考虑电压的开关时间为有限的,以液晶的动力学理论为基础研究了 HAN 液晶盒中的指向矢分布,通过数值求解,得到对 HAN 液晶盒弛豫过程有影响的开关时间的范围是 $10^{-5}\text{s}\sim 3\times 10^{-3}\text{s}$,即当电压的开关时间 $\tau_0<10^{-5}\text{s}$ 时,液晶盒指向矢分布受到开关时间的影响已观察不到;当电压的开关时间 $\tau_0>10^{-3}\text{s}$ 时,HAN 液晶盒弛豫过程中的引流效应将消失。

参 考 文 献:

[1] 应根裕. 平板显示技术 [M]. 人民邮电出版社,北京, 2002.

[2] 李维諲,郭强. 液晶显示应用技术 [M]. 电子工业出版社, 2005.

[3] 刘永智,杨开愚. 液晶显示技术 [M]. 电子科技大学出版社,2000.

[4] 姜丽,范伟,代永平,等. 混合扭曲向列相模式的液晶盒参数对硅基液晶显示器的影响[J]. 液晶与显示,2011,26(3): 311-314.

[5] Lenzi E K, Barbero G. Relaxation of the nematic deformation when the distorting field is removed [J]. *Phys. Rev. E*, 2010, 81 (2):021703(1-8).

[6] 周旋,张志东,孙玉宝. 有效黏滞系数对混合排列向列相液晶动力学的影响 [J]. 液晶与显示, 2009, 24(2): 168-173.

[7] De Gennes P G. *The Physics of Liquid Crystals* [M]. Oxford: Clarendon Press, 1993:193-209.

[8] 孙玉宝,范志新,张志东. OCB 液晶显示的动力学计算 [J]. 液晶与显示,2001,16(1):26-32.

[9] Jewell S A, Sambles J R. Backflow in the relaxation of a hybrid aligned nematic cell [J]. *Appl. Phys. Lett.* , 2003, 82 (19): 3156-3158.