

文章编号:1674-2869(2017)02-0199-04

# 液晶 5CB 磁化特性的数值分析

何景婷, 乔士柱

太原工业学院理学系, 山西 太原 030008

**摘要:**以液晶 5CB 材料为研究对象, 观察不同相(晶体相, 向列相, 各相同性相)下液晶 5CB 的磁化强度随外磁场变化情况, 并进行数据处理分析, 实验结果表明, 外磁场强度在  $-5\ 000\ \text{A/m}$ ~ $5\ 000\ \text{A/m}$  范围内变化时, 液晶 5CB 表现出顺磁性, 当外磁场强度值继续增加时, 液晶 5CB 显示出抗磁性, 对实验数据进行数值分析得出, 在不同的外磁场强度范围内, 不同相下液晶 5CB 磁化强度变化规律基本满足线性方程, 当外磁场强度由临界值逐渐减小时, 处于液晶相和各相同性相的液晶 5CB 出现不同程度的磁滞现象, 考虑到液晶盒的锚定作用, 得到液晶 5CB 在不同相下磁化规律的拟合直线方程, 各有其特点, 因此可以通过分析不同直线斜率和截距, 从而判断出液晶 5CB 所处的不同状态. 也可以根据液晶 5CB 的不同直线方程得出外磁场强度的变化范围.

**关键词:**液晶 5CB; 磁矩; 数值分析

**中图分类号:** O63

**文献标识码:** A

**doi:** 10.3969/j.issn.1674-2869.2017.02.017

## Numerical Analysis of Magnetic Properties of Liquid Crystal 5CB

HE Jingting, QIAO Shizhu

Science Department, Taiyuan Institute of Technology, Taiyuan 030008, China

**Abstract:** Taking liquid crystal 5CB material as a study object, we observed the changing status of magnetization intensity of liquid crystal 5CB's with the external magnetic field at different phases (crystal, nematic and isotropic phase). The results show that the liquid crystal 5CB shows paramagnetism when the magnetic field strength changes from  $-5\ 000\ \text{A/m}$  to  $5\ 000\ \text{A/m}$ , but it exhibits anti-magnetism when the magnetic field strength increases continuously. According to numerical analysis for experimental data, the varying patterns of magnetization intensity of liquid crystal 5CB at different phases are basically show linear equation in different ranges of external magnetic-field strength. As external magnetic-field strength is declined gradually from critical value, the liquid crystal 5CB with liquid crystal phase or isotropic phase may present on magnetic hysteresis at different levels. Considering docking interactions of liquid crystal cell, the obtained fitting straight-line equation of magnetic pattern for liquid crystal 5CB has its own characteristics at various phases, so the state of liquid crystal 5CB can be judged by analyzing different straight slopes and intercepts, and the variation range of external magnetic-field strength can be gained based on different straight-line equations of liquid crystal 5CB.

**Keywords:** liquid crystal 5CB; magnetic moment; numerical analysis

磁性液体既具有软磁体磁性, 又具有液体流动性. 这种新型的功能材料已经在航空、冶金、化工、医疗、国防等领域获得广泛应用. 它是由纳米

级磁性颗粒高度地分散、悬浮在载液中, 形成的稳定胶体体系. 1889年 Breiding Z 首次报道磁性液体<sup>[1]</sup>, 1965年 Pappel S S. 获得世界上第一个具有实际应

收稿日期: 2016-12-06

基金项目: 太原工业学院院基金(2016LQ03)

作者简介: 何景婷, 硕士, 助教. E-mail: 513123167@qq.com

引文格式: 何景婷, 乔士柱. 液晶 5CB 磁化特性的数值分析[J]. 武汉工程大学学报, 2017, 39(2): 199-202.

HE J T, QIAO S Z. Numerical analysis of magnetic properties of liquid crystal 5CB[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2017, 39(2): 199-202.

用价值的制备磁性液体的专利,1966年,日本东北大学饭坂润三也研制成功,磁性液体制备方法的不断完善使得其在问世后的短短几年,就已经在相关领域得到广泛的应用.自20世纪60年代末期以来,美国、日本、前苏联、英国等国家相继开展了磁性液体技术的研究与应用.中国于20世纪70年代开始磁性液体应用研究<sup>[2-3]</sup>.近期美国加州大学河滨分校(UCR)的科学家们打造出一种新式的磁性液晶,具有可经由外部磁场进行即时与可逆控制的光学特性,这种技术将会对未来的新式显示器的研究与应用起指导性的作用<sup>[4]</sup>.

液晶具有流动性,如何将液晶的流动性与磁性结合,实现其在磁场控制下的磁光特性,并最终实现其远程控制,将是液晶显示领域研究的热点.液晶分子是一种有机分子,其分子结构中含有芳香环,构成这种环的电子可以形成电流,因此将液晶置于外磁场时,电子会形成电流,从而产生磁矩,并且其方向与外磁场方向相反,即在外磁场作用下,液晶表现出一定的抗磁性<sup>[5-6]</sup>.本文以液晶5CB为研究对象,分析其在外磁场作用下的磁化规律.

液晶5CB是一种向列相热致液晶,当温度在24℃~35.5℃时,其处于液晶相,可以看出,其具有相当宽的液晶相温度.由于在不同相下液晶性质有所不同,因此本实验分别控制液晶5CB不同温度,观察其磁化特性,并在一定范围内用最小二乘法进行线性拟合<sup>[7-8]</sup>,分析磁化规律.

## 1 实验部分

实验样品采用液晶5CB,室温下将样品分别置于半径2 mm、长4 mm的3个柱体型塑料管中,并用AB胶封口.置于振动样品磁强计(Lake,Shore生产,型号:7410)中,分别控制液晶5CB的实验温度为294 K(晶体相),300 K(液晶相),323 K(各相同性相),外加磁场在0 A/m~23 000 A/m和-23 000 A/m~0 A/m范围变化,进行实验观察.为了排除样品池对测量结果的影响,单独测量了装样品的塑料管及封口AB胶的磁化曲线,如图1所示.测量得出样品在不同相下磁化曲线,并进行线性拟合,如图2~图4所示.

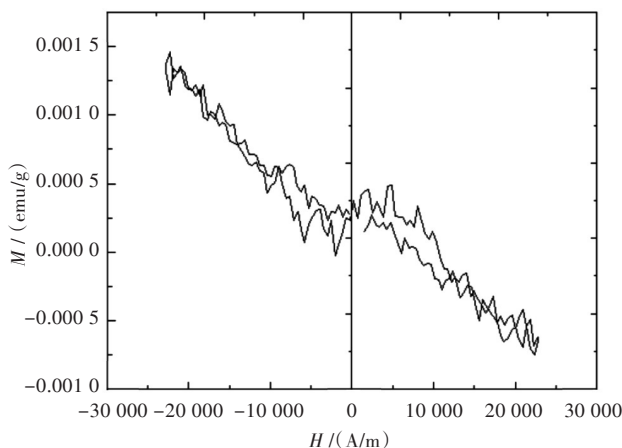


图1 塑料管磁化曲线

Fig. 1 Magnetization curves of plastic tube

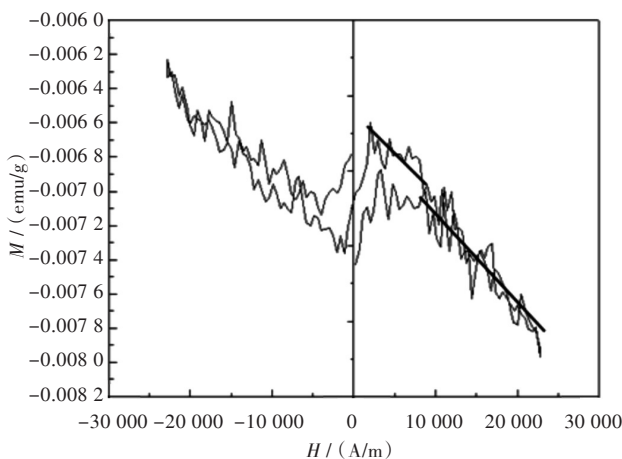


图2 294 K时液晶磁化曲线拟合

Fig. 2 Numerical fitting of magnetization curves of liquid crystal at 294 K

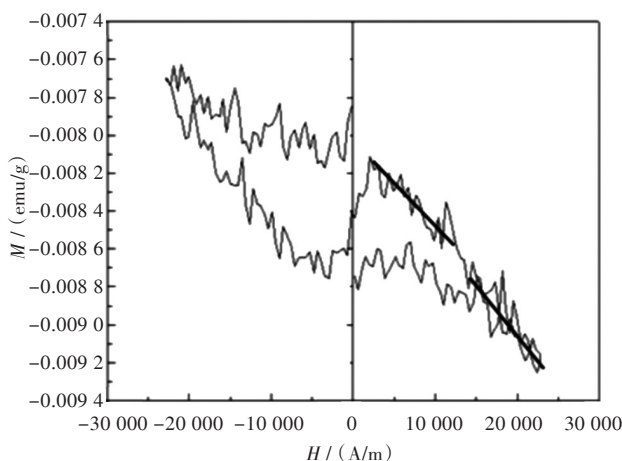


图3 300 K时液晶磁化曲线拟合

Fig. 3 Numerical fitting of magnetization curves of liquid crystal at 300 K

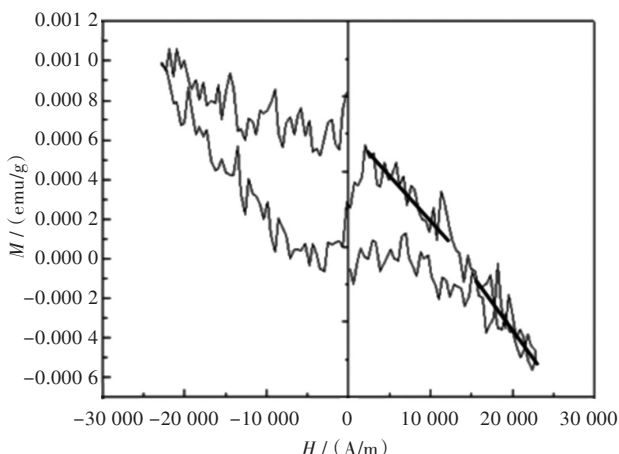


图4 323 K时液晶磁化曲线拟合

Fig. 4 Numerical fitting of magnetization curves of liquid crystal at 323 K

## 2 结果与讨论

由图1可看出塑料管及封口AB胶显示出一定的抗磁性,但其强度较弱,磁化路径与退磁路径基本重合,无剩磁现象,从结果分析得出其磁化过程与外磁场的变化过程满足一定的线性关系.图2~图4是不同相下样品的磁化强度随磁场的变化曲线(此3条磁化曲线均已扣除掉塑料管及封口AB胶的影响)从图2~图4中可看出在-5 000 A/m~5 000 A/m的外磁场强度变化范围内,液晶5CB表现出一定的顺磁性.但整体表现出抗磁性,存在剩磁现象,出现剩磁现象的原因是液晶盒的锚定作用<sup>[9-10]</sup>,因此,在分析液晶5CB磁化规律时需考虑液晶盒锚定影响.

分别将图2~图4中所示数据用最小二乘法进行线性拟合,并考虑液晶盒锚定作用,选择外磁场强度变化范围如下.

5 000 A/m~23 000 A/m,数据处理结果为:

$T=294\text{ K}$ ,拟合直线方程为

当 $(5.0\times 10^{-3}\leq x\leq 8.0\times 10^{-3})$ 、

$y=-2.7\times 10^{-8}x-4.1\times 10^{-4}$ 时,

当 $(8.0\times 10^{-3}\leq x\leq 2.3\times 10^{-4})$ 、

$y=-2.7\times 10^{-8}x-4.1\times 10^{-4}$ 时,

相关系数 $|r|=0.9$ .

$T=300\text{ K}$ ,拟合直线方程为

当 $(1.5\times 10^{-4}\leq x\leq 2.3\times 10^{-4})$ 、

$y=-5.3\times 10^{-8}x-5.6\times 10^{-4}$ 时,

当 $(5.0\times 10^{-3}\leq x\leq 1.5\times 10^{-4})$ 、

$y=-5.3\times 10^{-8}x-5.6\times 10^{-4}$ 时,

相关系数 $|r|=0.99$ .

$T=323\text{ K}$ ,拟合直线方程为

当 $(2.0\times 10^{-4}\leq x\leq 2.3\times 10^{-4})$ 、

$y=-3.9\times 10^{-8}x-1.8\times 10^{-4}$ 时,

当 $(5.0\times 10^{-3}\leq x\leq 2.0\times 10^{-4})$ 、

$y=-3.9\times 10^{-8}x-4\times 10^{-4}$ 时,

相关系数 $|r|=0.93$ .

从拟合直线方程看出,当外磁场强度从5 000 A/m~23 000 A/m变化时,各状态下液晶5CB磁化过程均为抗磁性,当液晶5CB处于晶体相( $T=294\text{ K}$ )时,其磁化过程与退磁过程的路径重合范围最大,当液晶5CB处于向列相和各相同性相时,出现一定的磁滞现象这可能由于液晶盒的锚定作用引起, $T=300\text{ K}$ 时,外磁场强度变化范围15 000 A/m~23 000 A/m时,以及当 $T=323\text{ K}$ 时,外磁场强度变化范围在20 000 A/m~23 000 A/m液晶5CB磁化路径与退磁路径基本重合<sup>[11]</sup>,这是因为随着外磁场逐渐增加,液晶盒的影响逐渐减小,固可认为此时的线性拟合方程直接反映了液晶5CB的磁化过程.而在外磁场强度变化范围分别在5 000 A/m~15 000 A/m,5 000 A/m~20 000 A/m时,有明显的磁滞现象,故得到的线性方程包含了液晶盒锚定的影响<sup>[12-13]</sup>.因此两种情况下得到的线性方程斜率不同.

当外磁场范围在-23 000 A/m~-5 000 A/m时,将向列相状态液晶5CB(见表1)和各相同性相液晶5CB(见表2)磁矩变化实验值(见表中第三列)与其在拟合直线方程中得到的理论值(见表中第二列)进行对比<sup>[14-15]</sup>,经分析计算得出,理论值与实验值基本符合,即表现在图2和图3中的特点是两条直线平行,截距的绝对值相等.

表1 300 K时液晶磁矩实验值与理论值对比

Tab. 1 Comparison of experimental and theoretical value of the magnetic moment of liquid crystal at 300 K

外磁场强度 field strength / ( $10^3\text{ A/m}$ )	磁矩理论值 moment theoretical value / ( $10^{-4}\text{ A}\cdot\text{m}^2$ )	磁矩实验值 experimental value / ( $10^{-4}\text{ A}\cdot\text{m}^2$ )
-6.5	-2.16	-2.2
-7.5	-1.63	-1.5
-13.7	1.7	1.9
-17	3.4	3.3
-18.5	4.2	4.0

表2 323 K时液晶磁矩实验值与理论值对比  
Tab. 2 Comparison of experimental and theoretical value of magnetic moment of liquid crystal at 323 K

外磁场强度 field strength / ( $10^3$ A/m)	磁矩理论值 moment theoretical value / ( $10^{-4}$ A·m <sup>2</sup> )	磁矩实验值 experimental value / ( $10^{-4}$ A·m <sup>2</sup> )
-9.0	-0.49	-0.5
-10	-0.1	0
-15	2.1	2.5
-20	3.8	3.9
-22	4.6	4.4

### 3 结 语

液晶的光电特性一直以来是液晶显示领域的研究重点,如何实现其在磁场作用下的显示,并实现其在弱磁场作用下的磁光特性,最终实现小型仪器的远程控制,则是近年来液晶显示领域研究的重要内容,本文通过对液晶5CB磁化规律的分析与数值拟合研究,得出,液晶5CB具有一定的抗磁性,但需要提供很强的磁场才能实现,在不同相下,液晶5CB磁化过程均表现出一定的规律性,但现象有所不同,当液晶5CB处于晶体相时,液晶5CB的磁化路径与退磁路径基本重合,磁滞现象不明显,当液晶5CB处于向列相和各向同性相状态时,通过拟合直线方程可以得出其磁化过程满足线性方程,但是其磁滞现象明显,这是由于液晶盒的锚定作用引起,固考虑到液晶盒锚定作用,当外磁场强度取值范围不同时可得到不同的拟合直线方程,因此本文对不同状态下液晶5CB的磁化特性的研究结果对后续的实验将有重要的理论指导作用。

#### 参考文献:

- [1] ONO H, HANAZAWA A, KAWAMURA T. Response characteristics of high-performance photorefractive misogynic composites [J]. Journal of Applied Physics, 1999, 38(38):737-740.
- [2] WIEDERRECHT G P, WASIELEWSKI M R. Photorefractivity in polymer-stabilized nematic liquid crystals [J]. Journal of the American Chemical Society, 1999, 120(13): 102-109.
- [3] ZHANG J, SINGER K D. Homogeneous photorefractive-polymer/nematogen composite [J]. Applied Physics Letters, 1998, 72(23):2948-2950.
- [4] KUKHTAREV N V. Holographic storage in electro-optic crystal steady state [J]. Ferroelectrics, 2011, 22(1): 949-953.
- [5] WANG X, PU S, JI H, et al. Enhanced magnetic-field-induced optical properties of nanostructured magnetic fluids by doping n ematic liquid crystals [J]. Nanoscale Research Letters, 2012, 7(1):1421.
- [6] PU S, DAI M, SUN G. Longitudinal field-induced polarized light transmittance of magnetic fluids [J]. Optics Communications, 2010, 283(20):4012-4016.
- [7] PATEL R. Mechanism of chain formation in nanofluid based MR fluids [J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2011, 323(10):1360-1363.
- [8] MARRUCCI L. Mechanisms of giant optical nonlinearity in light-absorbing liquid crystals [J]. Liquid Crystal Today, 2002, 11(3):6-33.
- [9] HANG J, OSTROVERKHOV, SINGER K D. Electrically controlled surface diffraction gratings in nemattic liquid crystals [J]. Optics Letters, 2000, 25(6): 414-416.
- [10] ASHKIN A, BOYD G D, DZIEDEIC J M. Optically-induced refractive index inhomogeneities in LiNbO<sub>3</sub> and LiTaO<sub>3</sub> [J]. Applied Physics Letters, 1966, 9(1): 72-74.
- [11] CHEN F S, LAMACCHIA J T, FRASER D B. Holographic storage in lithium niobate [J]. Applied Physics Letters, 1968, 13(7): 223-225.
- [12] 王安蓉, 许刚, 舒纯军. 磁性液体及其应用[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2010.
- [13] LI Q, XUAN Y. Experimental investigation on heat transfer characteristics of magnetic fluid flow around a fine wire under the influence of and external magnetic field [J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2009, 33(4):591-596.
- [14] 刘公强, 乐志强, 沈德芳. 磁光学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2001.
- [15] ONO H, KAWATSUKI N. Orientational photorefractive gratings observed in polymer dispersed liquid crystals with fullerene [J]. Japanese Journal of Applied Physics, 1997, 36(10): 6444-6448.

本文编辑:陈小平