

液晶热图象温度检测

谢淑云 夏允贯
(长沙工学院)

液晶作为较低(250℃以下)温度检测的一种材料很有应用价值。本文主要对胆甾型液晶的彩色热图象显示原理和有关应用技术,作一简单介绍。

已知的液晶都是有机化合物,它是处于固相和液相之间的一个中间相——液晶相。液晶具有液体的流动性,不能承受切应力,可形成液滴。液晶分子在液晶中无位置长程有序性,但它又具有晶体的某些特性,如分子取向有序性和宏观的折射率、介电常数、电阻率、磁化率等的各向异性。这些各向异性来自液晶分子本身的几何各向异性,有长棒形,板条形或盘形。液晶大体可分为热致液晶和溶致液晶两大类。

热致液晶大体分为丝状液晶或向列型液晶(nematic)、螺旋状液晶或胆甾型液晶(cholesteric)和层状液晶或近晶型液晶(smectic)。具有显著电光效应的向列型液晶主要应用于显示器件,而胆甾型液晶由于它的独特光学特性,多用于表面温度的测量(热图象、热构形图等)。

一、彩色热图象显示原理

从应用来看,胆甾型液晶混合物薄膜大体可分为二类:一类是带有吸附层(电阻层)的液晶膜,可直接用于探测各种场强分布;另一类是作为探测温度效应的单纯液晶膜。二者的基本原理相同,都是建立在胆甾型液晶的特殊光学特性上。胆甾型液晶具有螺旋结构,标志螺旋结构的量是螺距(p),它是指向矢在旋转 2π 角度时液晶层间的距离。当白光入射到具有螺旋结构的胆甾型液晶时,可以产生选择散射,入射角与反射角之间的关系如图 1 所示。对于给

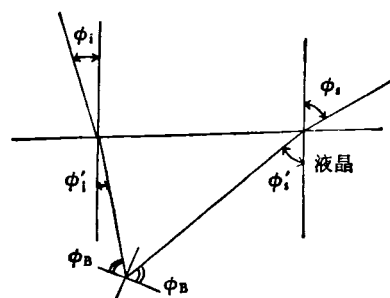


图 1 入射角与散射角的关系

定的螺距,最大反射强度出现在

$$\lambda_m = np \cos \frac{1}{2} \left\{ \sin^{-1} \left(\frac{\sin \phi_i}{n} \right) + \sin^{-1} \left(\frac{\sin \phi_s}{n} \right) \right\}$$

的位置上,式中 n 为液晶的平均折射率, p 为螺距, ϕ_i 为入射角, ϕ_s 为反射角。图 1 中的 ϕ_i 和 ϕ'_i 为折射角。

根据上式,当白光入射角 ϕ_i 为(0°, 30°和 60°)时,从不同散射角 ϕ_s 看到的颜色也有差别(图 2),这种特性是彩色图象显示的重要因素之一。

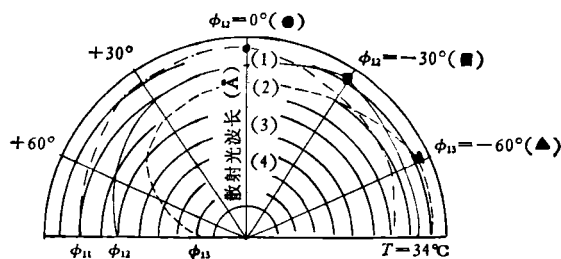


图 2 入射角 $\phi_i = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ 时,散射角不同与胆甾相液晶膜颜色变化关系

- (1) 为 6000 Å; (2) 为 5500 Å;
- (3) 为 5000 Å; (4) 为 4500 Å

胆甾型液晶的另一特性是具有较强的旋光性。例如石英的旋光本领在可见光范围内约为 $20^\circ/\text{mm}$ ，而胆甾型液晶却可达 $18000^\circ/\text{mm}$ 。

胆甾型液晶具有圆振二向色性。非偏振光入射到胆甾型液晶后，所得到的反射光和透射光是旋向相反的圆偏振光(图3)。当右旋圆偏振光入射到具有右旋结构的胆甾型液晶时，只能得到右旋的反射光，而没有透射光。当左旋圆偏振光入射到右旋结构胆甾型液晶时，就只能产生左旋的透射光而没有反射光。对于具有左旋结构的材料，情况刚好相反。因此，利用几种胆甾型液晶的混合物作为彩色显示时，必须考虑每种成分的结构(左旋或右旋)，否则将得不到预期的效果。

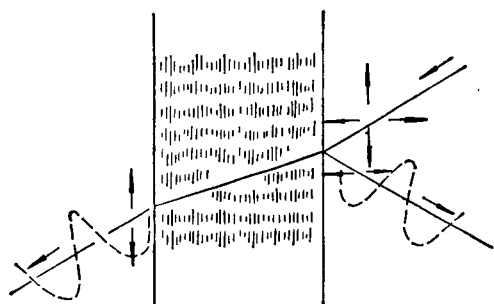


图3 非偏振光入射液晶透射光是右旋圆偏振，反射光是左旋圆偏振。

胆甾型液晶的热色效应(即温度效应)来源于它的螺旋结构。螺距对外场相当敏感，特别是液晶的温度改变时，螺距会相应地改变，而使它的颜色发生改变。根据螺距随温度变化的特性，可以用这种材料制作温度的灵敏检测元件。色彩随温度的变化一般是随温度的升高由红向紫变化。温度下降时，颜色也相应地由紫变到红。所以有： $T_{紫} > T_{蓝} > T_{绿} > T_{黄} > T_{红}$ 。不同成分的液晶材料在同一温度时，各有其固定的颜色，颜色随外界条件的变化能可逆地变化。

二、胆甾型液晶在技术方面的应用

为使胆甾型液晶的稳定性好，使用寿命长，一般都加以密封。密封方法大体有三种：一种是把液晶夹在两片塑料膜之间(一片透明盖片

和一片黑色基片)构成液晶薄片。另一种是微胶囊法，即把液晶与胶液在万转高速捣碎机下捣成 $5\sim 50\mu\text{m}$ 直径大小的胶球，这时液晶分子被包在胶内，然后再作成不同厚度的液晶膜片。还有一种是把液晶与热凝树脂等乳剂聚合成液晶板。三种封装方法都是把胆甾型液晶制成 1mm 以下厚度的液晶薄膜，制成各种热图象显示器件。

国外胆甾型液晶热图象显示的应用已很广泛。例如，利用温度-颜色关系制成彩色的温度自动记录；利用胆甾型混合液晶的旋光本领制成对温度灵敏的器件^[1]；用于单色光温度自动记录^[2]、 $0\sim 250^\circ\text{C}$ 范围的温度测量^[3]、纤维光学温度探测^[4]、热寻址大屏幕显示^[5]等等。电热光学效应在显示上应用也正在开发中^[6]，例如液晶光导光阀^[7]、光调制器、光集成等。又如在微量气体或蒸气检测、广告、玩具、装饰品、合成涂料、纤维尼龙着色、静电摄影等方面应用也很多。下面仅就胆甾型液晶的热图象显示在无损伤探伤、医学上和辐射探测三个方面的应用作介绍。

1. 无损探伤

利用胆甾型液晶的热图象显示，可以对各种金属材料进行无损探伤^[8,9]。

空气动力学试验中局部表面摩擦的测量、材料应力畸变显示^[10]、金属疲劳试验中塑性变形位置的确定^[11]、蜂窝夹心结构的确定^[12]、金属表面或亚表面的裂痕分析判断^[13]、金属焊接裂缝的检查、高压容器焊接的质量分析^[14]以及电子元件及电子线路故障的确定^[15]等方面，在国外已广泛地用热图象显示，但在国内则不多，很有推广应用的必要。

无损探伤的基本原理是，在裂缝处材料的结构与无裂缝处不同，表现为，不同的温度梯度可以从液晶膜热图象中显示出来。有的裂缝处会显示出高温蓝色，这与材料的性质有关。应用胆甾型液晶膜进行无损探伤是一种行之有效的办法。

2. 医学上的应用

(1) 心血管疾病的诊断

人体皮肤在有血管分布的地方，其表面温度要比周围温度高 $0.1 \sim 0.3^{\circ}\text{C}$ ，四肢更为明显。应用指示范围在 0.4°C 以下的胆甾型液晶作为温度显示时，蓝色表示正常体温，病部因温度低而呈现红色。用它可以观察血管结构，并对因钙化或血块使各相应肢体供血减少的区域予以定位。

(2) 癌瘤诊断 有癌细胞的病位，比正常细胞位置的温度高 $0.7 \sim 2.5^{\circ}\text{C}$ 有的可能还要高些，所以可借以进行癌症诊断。

(3) 皮肤移植和断肢再植 在矫形外科中，一般都存在大面积受损部位覆盖皮肤问题。在植皮前后需要促进血液向移植片供血。另外还有在什么时候切断皮肤最为合适的问题，临床经验认为皮片温度达 29°C 时最适于切断。用胆甾型液晶测温，随温度的升高，液晶将相应地在红色到蓝色的色谱范围内变化，即使是微小的温差也能显示出来。在断肢再植后，远测肢体的皮肤温度，可了解出血管的通畅程度，判断断肢移植是否成功。

(4) 计划生育 印度科学家研制出一种液晶温度计，这种温度计在 $0 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 的范围内能够显示各种温度的颜色。一般妇女排卵期的体温从正常的 36.9°C 升高至 37.9°C 。温度升高一度，液晶温度计的颜色会由深红变为蓝紫。把这种薄膜温度计贴在妇女身体的任意部位，可以获取排卵信号，从而推知安全期。此种温度计也适用于牲畜，可以根据色变标出人工受精的最适当日期。

(5) 烧伤 三度烧伤区的温度较二度烧伤区为低，因为三度烧伤区的血液循环低于二度烧伤区。因此可以应用液晶快速地识别烧伤程度，从而得到及时治疗，避免或减少疤痕组织的形成。

(6) 婴儿室 正常婴儿脚底温度比腹部温度约低 1°C 。把液晶薄膜温度计贴在婴儿的腹部和脚底，可以判断相应的温度变化，从而决定婴儿是否发生了疾病。

湖南省计划生育办公室，用液晶膜热图象显示，判断微波辐射器的温度很有成效。

液晶热图象显示在测血压、测体温、皮肤红疹等医学诊断方面的应用很多。国外液晶温度计已呈商品化。液晶温度计比其它温度指示器有其独特优点，它可以用颜色、数字、符号等不同方式来显示温度，从而避免视力判断上的误差，它有韧性，不易损坏，又可以根据实际需要选择不同的尺寸。用液晶显示温度快而简单，我们也正在研制液晶薄膜温度计。

3. 辐射探测器

红外区、微波区以及超声波区的不可见辐射，都可借助于胆甾型液晶显示层，它能将辐射转换成可见的热图象显示出来，因此有可能制造图象转换器，以及利用射线发生器来检测断面。我们利用配有电阻吸收层的液晶膜，对微波场强分布随功率的变化进行了观测，为微波电磁波课程的形象化教学创造了良好的条件，受到学生的欢迎。在利用液晶膜作为微波天线方向图以及微波集成电路辅助设计的判断手段方面，我们也已取得了一些成果^[6]。

液晶还可用来探测激光场的分布，观察红外激光模式。国内尚少这方面的应用。用液晶热图象描述超声场强的工作，目前国内也很少。

三、胆甾型混合液晶膜的检测

评价液晶膜(探测器)的优劣，主要是看下列几点：

- (1) 灵敏度—使液晶发生热色效应的最小外加功率(电、热、光、磁等)。
- (2) 起始温度—液晶开始产生热色效应的最低温度。
- (3) 动态范围—液晶能产生热色效应的温度范围。
- (4) 效率响应—能观察液晶热色效应的光波范围。
- (5) 寿命—从器件制成到器件失效的时间。
- (6) 零点漂移—起始温度的改变。
- (7) 响应时间—在外场作用下，热色反应

发生的时间和消失的时间。

(8) 分辨率—在微小外场变化下所能感觉到的颜色变化。

(9) 抗外力性—液晶承受紫外、电磁、压力等外界影响而不失稳定性的能力。

测量上述各项有关参数,需要在恒温条件下进行,用人工调节不同的温度加以测量。观测时的光源可以是透射式也可以是反射式。可在真空中依靠辐射测量,也可以在大气压下用空气对流来测量。

我们利用自制的可调温控温箱,对不同配比的液晶材料进行了初步的起始温度的颜色检测。具体实例如图4所示。在可见区内,不同配方的液晶,随着温度的改变有相应的色谱变化。黄色区最窄,红、绿、蓝色区域较宽。因此作为液晶热图象显示,一般以红或绿作为起始温度,以蓝紫作为最高温度来标定颜色。要获得理想的最佳色标曲线,需要注意配方、溶剂、

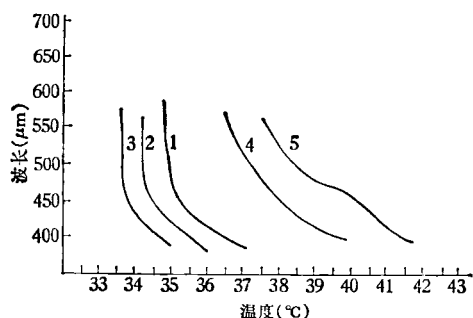


图4 五种液晶材料的温差色谱曲线

(上接第97页)

泛地用于金属等物质中的缺陷研究。

在核能利用中, TDPAC 和 TDPAD 可以研究反应堆燃料、结构和屏蔽材料的辐射损伤,在串列加速器上用 TDPAD 方法,可研究反应堆材料中掺杂何种微量杂质时会有效地减少辐射损伤效应(例如研制抗肿胀的反应堆材料等)。

参 考 文 献

[1] J. Christiansen, Topics in Current Physics, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Vol. 31, (1983),

工艺成型、保护层、观测角度等等问题。

我们曾对 30°C 的液晶膜做过“过载”能力实验,发现加温到 150°C 然后冷却,仍然可以恢复到液晶态。这说明,用胆甾型液晶制作的器件可以有较高的“过载”能力。

参 考 文 献

[1] C. W. Smith, D. G. Gisser, M. Young, S. R. Powers, Jr., *Appl. Phys. Lett.*, **24**, (1974), 453.
[2] W. M. Ginsburg et al., *Sammlung der Vorträge*, **26** (1972), 17.
[3] W. J. Jones, U. S. Pat. 3440882, (1966).
[4] C. C. Johnson, C. H. Durney, J. L. Lords, T. C. Rozzell, G. K. Livingston, *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **247**(1975), 527.
[5] R. N. Johnson, U. S. Pat. 3638268, (1970).
[6] A. Sasaki, T. Morioka, T. Ishibashi, T. Takagi, *Jap. J. Appl. Phys.*, **15**(1976), 121.
[7] 佐佐木昭夫,液晶エシワトロクロスの基礎と応用,オーム社,(1979),191-198.
[8] S. P. Brown, *AG Air For. Adv. gr. Aeron. Resear. Dev., Dograph*, AG- 201-1 (1975), 449.
[9] W. U. Kopp, *Prakt. Metallogr.*, **9** (1972), 370.
[10] E. N. Sharpless, F. Davis, U. S. Pat 3647279, (1970).
[11] B. Wielke, S. Stanzl, *Ultrasonics*, **14** (1976), 227.
[12] B. Böttcher, D. Gross, E. Mundry, *Materialprüfung*, **11** (1969), 156.
[13] G. L. Waterman, W. E. Woodmansee, U. S. 3439525, (1969).
[14] W. E. Woodmansee, H. L. Southworth, *Mater. Eval.*, **26** (1968), 149.
[15] E. Grzejdzia, A. Rogowski, R. Szylyabel, A. Szymanski, J. Hejwowski, *Elektronika*, **13** (1972), 234.
[16] 谢淑云、金昭廷、彭传才,电子科学, **2** (1983), 94.

133.

[2] E. Dafni et al., *Phys. Rev C*, **23** (1981), 90.
[3] E. Dafni et al., *At Data and Nucl Data Table*, **23**(1979), 315.
[4] H. H. Rinneberg et al., *At. Energy Rev.*, **17** (1979), 477
[5] H. Zmora et al, *Can J Phys.*, **51**(1973), 1505.
[6] F. Pleiter et al, *Nucl. Phys Method in Material Research*, Braunschweig, Friedr. Vieweg, (1980), 174
[7] M. Deicher et al., Abstracts of the Vth International Conference on Hyperfine Interactions, Berlin (West), Germany, (1980), E 14-III.
[8] G. Schatz et al., *Phys. Rev. Letter*, **35**(1975), 1086.