

应用液晶热色效应的高压电器温度在线测量系统

钱祥忠

(温州大学物理与电子信息工程学院,温州 325035)

摘要: 温度对胆甾相液晶选择反射特性的影响与所对应的波长范围有关,在不同的波长范围内,温度对其选择反射特性的影响规律不同。基于胆甾型液晶特有的这种热色效应,提出了一种用于测量高压电器温度的新型温度传感器系统。该传感器系统由光源、胆甾型液晶、色敏传感器、空心光纤、放大电路和显示模块组成。将胆甾型液晶封装在空心光纤内,利用液晶的热色效应,将液晶的温度的变化用其选择反射光波长来表示。采用色敏传感器解调出光波长的变化,利用胆甾型液晶选择反射波长与温度之间的关系,经过数据处理,实现温度的实时测量。测量系统选用不同的胆甾型液晶混合物,可以得到不同的温度测量范围,能对高压电器多点温度进行在线检测,测量精度可以达到 ± 0.2 °C 以内,并具有本征安全、高精度、高电绝缘和抗强电磁干扰等优点。

关键词: 温度在线测量系统; 高压电器; 胆甾型液晶; 热色效应; 色敏传感器; 选择反射

中图分类号: TN929.11

文献标志码: A

文章编号: 1003-6520(2010)04-0971-04

On-line Measuring System of Temperature for the High Voltage Apparatus Using the Thermochromic Effect of Liquid Crystal

QIAN Xiang-zhong

(College of Physics and Electronic Information Engineer, Wenzhou University, Wenzhou 325035, China)

Abstract: Cholesteric liquid crystal optical rotatory dispersion characteristic is affected by temperature. The temperature sense system used for measuring temperature of the high voltage apparatus is presented based on the thermochromic effect of cholesteric liquid crystals. The system consists of the optic source, cholesteric liquid crystals, color sensor, hollow fiber, signal amplification circuits and display module. The cholesteric liquid crystal is packaged in hollow fiber, and its temperature change is represented by the selective reflection wavelength based on the thermochromic effect. The temperature may be real-time measured based on the wavelength demodulating by color sensor, and selective reflection wavelength is related with temperature. The high voltage apparatus multi-point temperature may be measured, error is less than ± 0.2 °C, and different temperature range may be obtained for the system by selecting different cholesteric liquid crystals mixture. The sense system has the perspective of the intrinsic safety, high precision, high electrical insulation and anti-electromagnetic interference.

Key words: temperature on-line measuring system; high voltage apparatus; cholesteric liquid crystals; thermochromic effect; color sensor; select researcher

0 引言

大型发电机组、高压开关、高压变电传输设备等高压电器,当接头接触不良时接触电阻增大,在负载电流流过时会产生发热现象。交流高压电器由于交变电磁场的作用还会在铁磁体中产生涡流和磁滞损耗,导致整个电器的温度升高。温度达到一定的高度,会使高压电器中使用的金属和绝缘材料的机械强度和绝缘强度明显下降,工作温度过高会使高压电器的使用寿命降低甚至损坏。热特性是高压电器产品设计中的一个关键因素。在设计高压电器时要

进行合理的热设计,关键是要了解电器内部的温度分布。因此,监测高压电器的温度,提前发现和排除热故障隐患,对于保证高压电器的正常运行,具有非常重要的意义。高压电器大多处于高电压、大电流和强磁场的环境中,由于强电磁噪声和高压绝缘问题,常规的电类测温方法不适用^[1]。光纤测温、光纤光栅和红外辐射测温虽然可用来对高压电器进行温度监测,但光纤测温^[2,3]对光源、发射和接收电路的稳定性要求高,存在测量速度慢、测温精度低、空间分辨率低等缺点;光纤光栅测温^[4,5]对解调系统要求高;而红外辐射^[6,7]测温的准确度低,设备昂贵,特别是无法监测高压电器封闭内接点的温度,不能进行在线实时监测。

本文提出了一种新型高精度液晶测温系统,基于胆甾型液晶的热色效应,即胆甾型液晶的选择反射波长对温度具有很强的依赖性(而对电磁场不敏

基金资助项目:浙江省科技厅科技计划(2007C31025);温州市科技局科技计划(G20090066)。

Project Supported by Science and Technology Department of Zhejiang Province Foundation (2007C31025), Wenzhou Science and Technology Bureau Foundation (G20090066).

感),对高压电器温度进行在线测量,具有测量精度高、本征安全防爆、抗强电磁干扰等优点。

1 测温原理

图 1 为液晶温度传感器系统组成模块图,核心部分是液晶温度传感器和温度解调器。通常是利用色敏传感器进行色 - 电信号转换,将液晶温度对应的选择反射光颜色转换为电流或电压,从而能构成自动温度测量和监控系统。宽带光源发出的光经过光纤耦合器进入传输光纤,再通过法兰盘连接,光进入液晶温度传感器,不同温度选择反射不同波长的光,利用颜色解调器在不同波长光照射下产生不同的光电流,再经过电流 - 电压变换和电压放大,得到不同温度对应的输出电压,经过 A/D 转换和 CPU 进行数据处理与系统控制,将温度显示出来。

1.1 液晶温度传感器

胆甾型液晶具有层状结构,各层的分子轴方向与邻接的分子轴方向都略有偏移,而液晶整体形成螺旋结构(见图 2),螺距的长度是可见光波长的数量级^[8]。胆甾型液晶的旋光性、选择性光散射和圆偏振光二色性等光学性质,就是由这种特殊的螺旋结构引起的。由于胆甾型液晶具有螺旋状的分子排列,当一束白光投射到它表面上时,从其表面反射回的最大光强所具有的波长与该液晶混合物的螺距成正比。因为大多数胆甾型液晶的螺距对温度都有很强的依赖性,当温度变化时这类液晶的螺距发生明显变化。长螺距的胆甾相液晶在液晶盒里,施加电场从平面态进入指纹织构,再加电场就进场致向列相,偏光显微镜下看不到指纹条纹加宽的过程。再有,对于短螺距的胆甾相液晶在小预倾角的液晶盒里,施加电场从平面态进入焦锥态,再加电场也就进场致向列相,在高倍偏光显微镜下也看不到焦锥态晶畴里部分场致向列相的黑条纹加宽的过程,而是原地逐渐地转变成完全的场致向列相^[9]。所以,只要温度稍有变化,选择性散射光的波长(颜色)就会发生很大的变化,即热色效应。螺距随着温度的改变而变化,而热色液晶对光波的选择反射与螺距密切相关,根据这一特征,胆甾型液晶膜可用于测定温度的高低及分布。通过不同材料的胆甾型液晶按照不同比例混合,可以达到螺距满足所需的温度关系和温度范围的胆甾型液晶。有多种液晶合成原料单体可供高分子液晶合成选择使用,通过改变液晶的化学成分和配比,可以制造出从 - 20 ℃ ~ + 250 ℃ 之间的任何温度下显示颜色变化的液晶温度计,其分辨率可达 0.1 ℃^[10]。

图 3 是液晶温度传感器结构示意图。在空心光

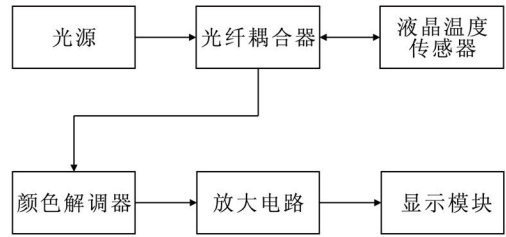


图 1 液晶温度传感器系统结构框图

Fig. 1 Block diagram of the liquid crystal temperature sensor system

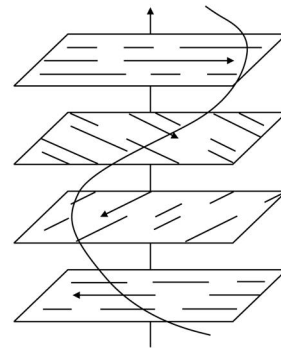


图 2 胆甾型液晶分子的排列结构

Fig. 2 Arrange configuration of cholesteric liquid crystals molecule

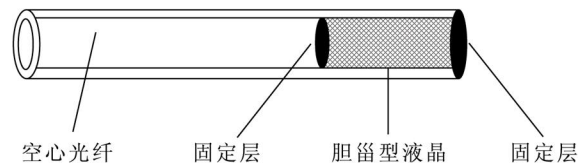


图 3 液晶温度传感器结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the liquid crystal temperature sensor

纤中封装一段胆甾型液晶,白光从空心光纤入射到液晶,由于胆甾型液晶的选择性反射,只有波长 满足式(1)的光才被反射,即

$$= nP。 \tag{1}$$

式中, n 为液晶的折射率; P 为胆甾型液晶的螺距。不满足式(1)的光从液晶透射继续向前传输。

1.2 颜色解调器

不同的材料对光的选择反射波长的变化不同,而且各种颜色所跨越的波长范围也各不相同,故不能用颜色的变化等分温度范围,采用硅双结型色敏传感器作为颜色解调器,其结构及主要特性如图 4 所示^[11],图 4(a)中所示的 N - P - N 是结深不同的两个 P - N 结二极管,放大作用很小。浅结的二极管 PD₁ 是 N⁺ - P 结;深结的二极管 PD₂ 是 P - N 结。图 4(b)是等效电路,当有入射光照射时, N⁺、

P、N 每个区域及其间的势垒区中都有光子吸收。根据硅的光学性质,蓝紫光部分吸收系数大,经很短距离已吸收完毕,故浅结光电二极管对蓝紫光的灵敏度高。而红外光的透射深度则一直达到深结区,故深结光电二极管对红外光的灵敏度高。即说明在此结构中不同的区域对同一波长的入射光具有不同的灵敏度,这一特性提供了将这种器件用于颜色识别的可能性。在不同波长的光照射下,该器件中两只光电二极管短路电流的比值不同。所以根据器件的短路电流比,可以得到入射光的波长^[12-14]。

1.3 放大模块

色敏传感器负责把不同颜色的光信号转换成电流信号,由于单色入射光的波姆与色敏器件的短路电流比的对数存在近似的线性关系,但是电流信号只是几十到几百 nA 的数量级,需要放大电路来放大到所需要的程度,如图 5 所示。不同颜色产生的微弱电流信号传送到对应的线路通道上,通过放大和滤除噪声,转换成伏级的电压信号 U_0 。电压 U_0 再经过 A/D 转换与单片机控制电路^[15],将温度信息在液晶显示电路上显示出来。图 5 中,PD₁ 和 PD₂ 分别为浅结和深结二极管;IC₁ 和 IC₂ 为运算放大器;D₁ 和 D₂ 两只二极管用作对数变换元件;IC₃ 为差动放大器,用于实现对两个输入电压(即 IC₁、IC₂ 的输出电压)的减法运算;IC₄ 为差动放大器,用来得到 V 级的电压信号 U_0 ;电容 C₁ 和 C₂ 用来滤除噪声; $R_1 \sim R_7$ 为电阻。

2 实验测量

为了检验本设计系统的测量精度^[16],采用温度波动度为 $\pm 0.5\text{ }^\circ\text{C}$ 的恒温试验箱进行试验,测量误差在 $\pm 0.2\text{ }^\circ\text{C}$ 以内;为了检验本设计系统对高压电器的在线测温效果,采用变压器将高压开关电压降低,从而产生大电流(2400 A 以上),使得高压开关温度升高,将本系统和热电偶温度计同时放置在温度测量点上,在升温 and 降温过程中每间隔 1 min 记录一次测量值,显示温度的对比数据如表 1 所示,表中,1、2 分别为热电压偶、本设计显示的温度值。实测结果表明,设计的温度测量系统反映速度快。

3 结语

液晶胆甾相结构沿指向矢方向呈周期性变化,其螺距周期为可见光波长数量级。因此,胆甾相液晶分子这种周期性的螺旋结构可对可见光产生布喇格反射,使其具有旋光性、选择性光散射和偏振光二色性等光学特性。由于其层状螺旋结构的螺距随温度而改变,导致光散射颜色发生变化而显示出不同

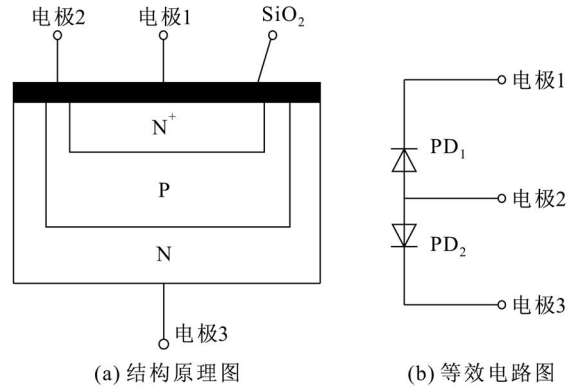


图 4 色敏传感器结构原理图

Fig. 4 Basic configuration of color sensors

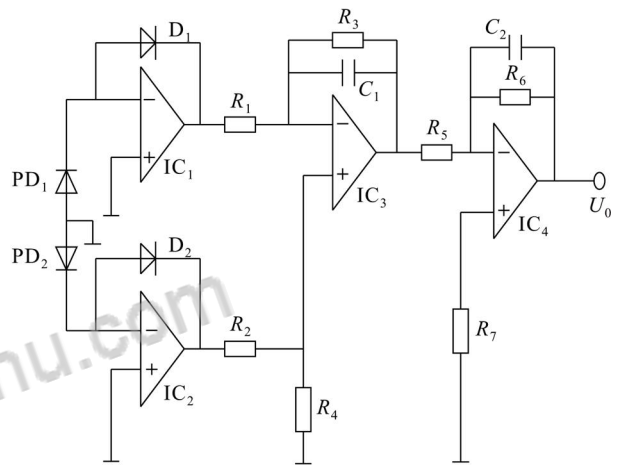


图 5 信号放大电路

Fig. 5 Signal amplification circuits

表 1 现场实测温度实验数据

Tab. 1 Data of locale temperature experiment

1/ $^\circ\text{C}$	2/ $^\circ\text{C}$	1/ $^\circ\text{C}$	2/ $^\circ\text{C}$
39.58	39.54	80.02	79.98
45.10	45.18	75.76	75.81
50.47	50.33	70.60	70.48
55.26	55.22	64.97	65.04
60.32	60.34	60.08	60.21
64.95	65.00	55.24	55.17
70.57	70.45	50.06	50.15
75.70	75.71	45.37	45.46
80.01	79.88	39.79	39.87
85.35	85.29	34.28	34.35

颜色。胆甾型液晶选择反射的波长对温度具有很强的依赖关系(而对电磁场不敏感),利用此特性并采用色敏传感器和空心光纤,设计出温度传感测量系统,可用来对高压电器的温度进行在线测量,采用温

度波动度为 ± 0.5 °C 的恒温试验箱进行试验, 测量误差在 ± 0.2 °C 以内。

系统中拥有两个 PN 结的元件是一种单色传感器, 由两个纵向迭加、结深不同的 PN 结组成, 不同波长的入射光在深、浅 PN 结所产生的两个光电流的比值与波长有近似的线性关系, 双 PN 结色敏传感器常用于对两个物体的色差进行判断, 通过改变混合体系中惰性添加剂的含量, 可以获得宽范围、高精度变色温度的混合液晶。选取合适的热色液晶, 使在空心光纤中封装多段的热色液晶工作在不同的温度范围, 则可以对多点进行温度在线测量, 实现高压电器温度的分布测量。具有测量精度高、本征安全防爆、抗强电磁干扰等优点。

参 考 文 献

- [1] 刘建胜, 鄢达, 张凡. 一种用于变电站高压触点温度在线监测的新方法[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(4): 54-57.
LIU Jian-sheng, FENG Da, ZHANG Fan. A novel method for remote on-line temperature detection of substation high voltage contacts[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(4): 54-57.
- [2] 匡绍龙, 朱学斌. 分布式光纤温度传感器原理及其在变电站温度监测中的应用[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(9): 79-81.
KUANG Shao-long, ZHU Xue-bin. Principle of distributed optical fiber temperature sensor and its application in substation temperature monitoring[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(9): 79-81.
- [3] 邬钢, 李进. 光纤在开关柜触头温度监测中的应用[J]. 高电压技术, 2006, 32(2): 122-122.
WU Gang, LI Jin. Application of optical fiber in temperature monitoring of the contacts of switch cabinet[J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(2): 122-122.
- [4] 钱祥忠, 王学雷. 用于高压电器温度监测的 FBG 传感系统[J]. 电力系统及其自动化学报, 2007, 19(5): 49-51.
QIAN Xiang-zhong, WANG Xue-lei. FBG based sensing system for temperature monitoring of the high voltage apparatus[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2007, 19(5): 49-51.
- [5] LIU Jun, CHEN Wei-gen, ZHAO Jian-bao. Measuring technology of transformer internal temperature based on FBG sensors[J]. High Voltage Engineering, 2009, 35(3): 539-543.
- [6] 张艳, 田竞, 叶逢春. 基于红外传感器的高压开关柜温度实时监测网络的研制[J]. 高压电器, 2005, 41(2): 91-94.
ZHANG Yan, TIAN Jing, YE Feng-chun. Development of temperature real-time monitoring network for high voltage switch cabinet based on IR sensor[J]. High Voltage Apparatus, 2005, 41(2): 91-94.
- [7] 赵振兵, 高强, 苑津莎, 等. 一种变电站电气设备温度在线监测新方法[J]. 高电压技术, 2008, 34(8): 1605-1609.
ZHAO Zhen-bing, GAO Qiang, YUAN Jin-sha, et al. Novel method of temperature on-line monitoring for power equipment in substation[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(8): 1605-1609.
- [8] 刘厚通, 李国华, 郝殿中. 螺旋状相液晶旋光特性理论模拟与实验研究[J]. 光学学报, 2007, 27(2): 329-334.
LIU Hou-tong, LI Guo-hua, HAO Dian-zhong. Theoretical simulation and experimental research of cholesteric liquid crystal optical rotatory characteristic[J]. Acta Optica Sinica, 2007, 27(2): 329-334.
- [9] 范志新, 于天池, 黄欢, 等. 胆甾相液晶电控螺旋畸变导致的布拉格反射特性[J]. 光学学报, 2008, 28(4): 744-748.
FAN Zhi-xin, YU Tian-chi, HUANG Huan, et al. Bragg reflection properties of electrically controlled helix distortion in cholesteric liquid crystals[J]. Acta Optica Sinica, 2008, 28(4): 744-748.
- [10] 唐韶坤, 张磊, 郑文杰, 等. 胆甾型液晶用于体温的精密测量[J]. 高分子材料科学与工程, 2008, 25(5): 128-130.
TANG Shao-kun, ZHANG Lei, ZHENG Wen-jie, et al. Cholesteric liquid crystal system used for precision measurement of body temperature[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2008, 25(5): 128-130.
- [11] 王彪, 陈炳若, 魏正和, 等. 硅双结型颜色传感器的研究[J]. 传感技术学报, 2000, 13(2): 92-95.
WANG Biao, CHEN Bing-ruo, WEI Zheng-he, et al. Study of Si color transducer with double p-n junction[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2000, 13(2): 92-95.
- [12] 庞小兵, 黄东胜. 工业颜色识别传感器的设计[J]. 仪表技术与传感器, 2008, 10: 4-6.
PANG Xiao-bing, HUANG Dong-sheng. Design of industrial color recognition sensor[J]. Instrument Technique and Sensor, 2008, 10: 4-6.
- [13] 孙涛, 耿立华, 李子扬, 等. 基于 FPGA 与色敏传感器的颜色识别系统[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2009, 8: 42-45.
SUN Tao, GENG Li-hua, LI Zi-yang, et al. Color identification system based on FPGA and color sensors[J]. Microcontrollers and Embedded Systems, 2009, 8: 42-45.
- [14] 季峰, 陈炳若, 王嵩. 基于单片机的颜色识别系统[J]. 测控技术, 2004, 23(4): 26-28.
JI Feng, CHEN Bing-ruo, WANG Song. Color distinguish system based on microcontroller[J]. Measurement and Control Technology, 2004, 23(4): 26-28.
- [15] 李振新, 施德恒, 李世普. 基于液晶调制器调制的实时测温系统[J]. 光学技术, 2006, 32(3): 340-342.
LI Zhen-xin, SHI De-heng, LI Shi-pu. A temperature measurement system based on liquid crystal valve modulation[J]. Optical Technique, 2006, 32(3): 340-342.
- [16] 范玮, 吕品. 热敏液晶测温标定及误差分析[J]. 航空发动机, 2009, 35(1): 50-52.
FAN Wei, LYU Pin. Calibration and error analysis of temperature measurement for thermal sensitive liquid crystal[J]. Aero-engine, 2009, 35(1): 50-52.

钱祥忠

1963 一男, 博士, 教授

2003 年 6 月毕业于电子科技大学, 获得工学博士学位, 现在温州大学工作。目前主要从事光电传感技术与应用方面的研究, 主持完成省部级科研项目 5 项, 授权专利 1 项, 发表论文 30 余篇



QIAN Xiang-zhong

Ph. D., Professor

收稿日期 2009-11-24 修回日期 2010-01-28 编辑 严梦



论文写作，论文降重，
论文格式排版，论文发表，
专业硕博团队，十年论文服务经验



SCI期刊发表，论文润色，
英文翻译，提供全流程发表支持
全程美籍资深编辑顾问贴心服务

免费论文查重：<http://free.paperyy.com>

3亿免费文献下载：<http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重：http://www.paperyy.com/reduce_repetition

PPT免费模版下载：<http://ppt.ixueshu.com>

阅读此文的还阅读了：

- [1. 肿瘤治疗中一体化光纤加入装置的研究](#)
- [2. 反式-1,4-二芳基环己烷类液晶的性能研究](#)
- [3. A Privacy-Preserving Attribute-Based Reputation System in Online Social Networks](#)
- [4. 光纤测温、毛细钢管测压系统在现场中的应用](#)
- [5. 环氧玻璃布真空压力浸胶材料的研制及其在高压电器上的应用](#)
- [6. 基于单片机的热水器定时系统的设计](#)
- [7. 关于RDT最佳测定时间的确定](#)
- [8. 网络广告效果测量：点击率不敌在线可视](#)
- [9. 激光靶测量图象的在线处理与应用](#)
- [10. 《地理科学进展》近年办刊进展](#)
- [11. Journal of Marine Science and Application announces cooperation with Thomson Reuters--Adopts world leading online peer re](#)
- [12. 《泸州医学院学报》启用在线采编系统的公告](#)
- [13. 达索系统公司率先推出应用在V6平台的云计算技术](#)
- [14. 关于《文物保护与考古科学》启用在线投稿系统的启事](#)
- [15. 铁精粉在线品位分析仪的研制](#)
- [16. 在Windows10下极速安装.NETFramework3.5](#)

- [17. 化纤企业几种温度控制方法的特点及应用](#)
- [18. “智能化输配电关键设备研制及工程应用示范”项目获批](#)
- [19. 便携式钢管超声波测长仪](#)
- [20. GZ801在线自动测量仪](#)
- [21. 基于SaaS模式的在线稿件处理系统的设计与实现](#)
- [22. 液晶的热色效应及其应用](#)
- [23. 一种向列液晶双折射率测量的简易方法](#)
- [24. BICES/IVEX2011呈新“在线颜霖预登记”系统坝已上线,即刻进行预登记,即可享受抵取丰富礼品、蚕与抽取IPAD等](#)
- [25. 液晶折射率与电压关系的研究](#)
- [26. 《中国人兽共患病学报》在线投稿系统操作简介](#)
- [27. 基于Delphi实时数据采集系统的实现](#)
- [28. 《功能材料》期刊启用【在线投稿系统】公告](#)
- [29. 液晶分子预倾角的测试原理与方法](#)
- [30. 全新的轧机工况在线监测装置](#)
- [31. 胆甾相液晶颜色图象与组成,温度关系的研究](#)
- [32. 《蚌埠医学院学报》在线投稿须知](#)
- [33. 一种新型的高压电器温度在线测量系统](#)
- [34. 联合站储罐原油参数在线测量的研究](#)
- [35. 冲击测量用数字记录仪校验系统的建立和应用](#)
- [36. 在线大口径流量计比对方法浅析](#)
- [37. 液晶热色效应及其应用](#)
- [38. 阈值电压波动初探](#)
- [39. 工业过程水份的在线测量与传感器:第四讲 物料中水份型态的在线测定...](#)
- [40. 铁精粉在线品位分析仪的研制](#)
- [41. 液晶双折射 \$\Delta n\$ 的测量](#)
- [42. 《吉林大学学报\(医学版\)》在线投稿系统投稿须知](#)
- [43. TN型液晶双折射率的简易测量方法](#)
- [44. 旋转机械轴向力在线智能监测系统](#)
- [45. 航空发动机高温应变测量系统](#)
- [46. 棉纤维水分在线检测系统设计](#)
- [47. 温度对光子晶体滤波特性影响的研究](#)
- [48. TN型液晶双折射率的简易测量方法](#)
- [49. 一种高精度温差测量系统](#)
- [50. 热色液晶瞬态测量全表面换热系数的技术研究](#)