

文章编号:1007-2780(2014)04-0538-06

输出光强恒定的液晶自动调节系统

叶文江*, 苏军红, 刘晓梦, 马志达, 黄媛媛
(河北工业大学理学院, 天津 300401)

摘要:为了控制某一环境下光的强度,提出了输出光强恒定的液晶自动调节系统,并对系统的原理及功能进行了研究。介绍了液晶电光调制原理及光电传感器和单片机控制原理。对系统的开发进行了阐述,详细介绍了构成系统的每一个模块的结构及工作原理。该系统具有以下 4 个功能:维持特定空间光照强度不变,调节特定空间内的光照强度,显示当前工作状态,测试液晶盒电光特性曲线。该系统适用于恒定光强环境和由光能转化的恒温系统。

关键词:液晶;自动调节系统;电光效应;光电传感器;单片机

中图分类号:TP272 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20142904.0538

Liquid crystal self-regulation system of exporting fixed light intensity

YE Wen-jiang*, SU Jun-hong, LIU Xiao-meng, MA Zhi-da, HUANG Yuan-yuan

(School of Sciences, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

Abstract: In order to control the light intensity of a certain environment, a liquid crystal self-regulation system of exporting fixed light intensity is put forward and its principle and functions is also studied. First, the electric-optic modulation principle using liquid crystal and the control principle of photoelectric sensor and single-chip microcomputer are introduced. Then, the exploitation of this system is illustrated and the configuration and the operating principle of every module are introduced in detail. This system has four functions as follows: maintaining light intensity invariant in a specific space; adjusting light intensity in a given space; displaying the current working state; testing the liquid crystal's electro-optical curve. This system is suitable for the constant light intensity environment and the constant temperature system which makes use of light energy.

Key words: liquid crystal; self-regulation system; electro-optical effect; photoelectric sensor; single-chip microcomputer

1 引言

从而改变穿过液晶层的光学信息,包括振幅和相位,在显示和非显示领域得到了广泛应用。液晶在光位相调制和波前校正方面的研究最早在前苏联展开。1979 年, Vasil'ev A A 等人对液晶空

液晶由于受外加电场的影响能够产生形变,

收稿日期:2013-10-22;修订日期:2013-11-24.

基金项目:国家自然科学基金(No. 11274088; No. 11374087; No. 11304074);河北省自然科学基金(No. A2014202123);河北省教育厅项目(No. Z2012061; No. QN2014130);河北省高校重点学科和河北工业大学大学生创新创业训练计划资助课题(No. 201210080014)

* 通信联系人, E-mail: wenjiang_ye@hebut.edu.cn

间光调制器的位相调制特性进行了研究^[1];1983年对其应用前景做了详细阐述^[2];1986年,他们制作了16单元的电寻址液晶波前校正器,实现了对一维畸变波前的校正^[3];1989年,计算机控制的液晶波前校正器得到了应用,实现了对波前的校正^[4]。1995年,Dou R等人用液晶电视屏构成的偏振单色光液晶自适应光学系统锥形观察到了自适应校正效果^[5],随后,Neil M A A等人开始了液晶自适应光学系统对大气湍流中波面校正的研究^[6],并且人眼视网膜成像的校正也由Prieto P等人开始了探索性的研究^[7]。

国内关于液晶自适应光学研究起步较晚,主要集中在两个单位。北京理工大学在1999年讨论了液晶空间光调制器在自适应光学中应用的可能性^[8],并于2005年进行了静态波前畸变校正实验^[9],得到了很好的结果。中科院长春光机所从2001年开始从事液晶自适应光学技术的研究工作,经过近十多年的努力,解决了液晶自适应光学存在的技术瓶颈,取得了一系列成果^[10-15],对液晶波前校正器动态响应特性做了详细阐述^[16],分别应用到中科院国家天文台和长春光机所的望远镜上及人眼视网膜成像校正方面。

以上研究都是利用液晶自适应光学技术实现清晰成像,而在某些生产以及生活中,产生并维持一个恒定光强的环境是非常必要的。对此河北工业大学杨润作了相关研究,设计出扭曲向列相液晶光电自适应系统^[17],但是他所设计的自适应系统在电路理论上主要存在以下三点缺陷:(1)光电板的响应速度慢;(2)光电转换和信号采集在理论设计存在错误;(3)驱动信号过于简单以致于无法完成驱动电压的实时有效改变,可控性较差,因此造成该系统无法正常实现自适应功能。我们所研究的输出光强恒定的液晶自动调节系统在弥补了杨润所设计的自适应系统的缺陷的基础上又增加了许多功能,例如:环境光照强度可预置、工作状态可视化、液晶的“驱动电压—透光率”特性的测试等等。

此外,系统在激光应用方面具有潜在的应用价值。激光器打开后,随着时间的推移,其发光强度会发生变化,这对某些工业加工或实验产生影响。应用此系统可以稳定实际应用的激光的强度,达到一个较好的效果。

2 原 理

2.1 液晶电光调制原理

对液晶盒施加电压,在外加电场的作用下,液晶分子取向会产生不同程度的形变,从而导致光的透过率发生变化^[18]。以扭曲向列相(TN)盒为例具体介绍:液晶指向矢沿上下基板玻璃表面平行排列,其方向在上下基板间连续扭曲了 90° 。当外加电压小于阈值电压时,线偏振光垂直穿过液晶层后,其振动方向随液晶指向矢的扭曲面旋转 90° ,液晶盒具有在正交偏振片间透光的功能。当外加电压达到饱和电压时,除基板表面处液晶指向矢沿摩擦方向排列外,液晶盒内部指向矢将沿电场排列, 90° 旋光消失,液晶盒在正交偏振片间遮光^[19]。

入射光波长为550 nm,盒厚为 $5.2\ \mu\text{m}$ 的TN盒电光特性数值模拟曲线如图1所示,分别给出了常黑和常白两种模式的情形。从图1可以看出:液晶盒的光学阈值电压约为2.5 V,光学饱和电压约为4 V,在这两个电压之间液晶盒对光的调制可以从最大光强到最小光强(常白模式)或从最小光强到最大光强(常黑模式)。因此,对应某一光强范围,可以确定电压调节范围。

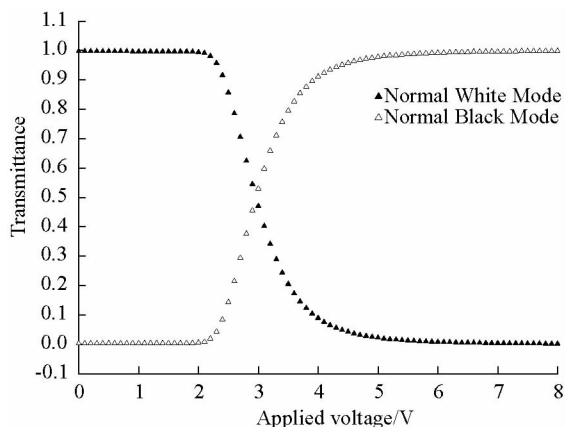


图1 TN盒电光特性曲线

Fig. 1 Electro-optical characteristic curve of TN cell

2.2 光电传感器及单片机控制原理^[20-22]

光电传感器是指能够将可见光转换成某种电量的传感器。光敏二极管是最常见的光电传感器。光敏二极管的外型与一般二极管一样,只是它的管壳上开有一个嵌着玻璃的窗口,以便于光

线射入,为增加受光面积,PN 结的面积做得较大。光敏二极管工作在反向偏置的工作状态下,并与负载电阻相串联。当无光照时,它与普通二极管一样,反向电流很小($<\mu\text{A}$),称为光敏二极管的暗电流;当有光照时,载流子被激发,产生电子-空穴,称为光电载流子。在外电场的作用下,光电载流子参与导电,形成比暗电流大得多的反向电流,该反向电流称为光电流。光电流的大小与光照强度成正比,于是在负载电阻上就能得到随光照强度变化而变化的电信号。

单片机控制原理:光电传感器传来的电信号先经过 A/D 模数转换转换成单片机可辨识的数字信号反馈给单片机,单片机经过分析和判断将结果通过 D/A 数模转换反馈到 TN 盒上,从而形成一个以单片机为核心的负反馈网络。由于单片机的参与,因此这是一个智能化的控制系统。

3 系统开发

对于光强在一定范围内变化的外界环境,TN 盒的光强透过率是随之变化的。此系统就是在自主判断外界光强的基础上自动调节 TN 盒的透过光强,从而得到一个恒定的光强环境。系统需外置一平行光探测光路,使光能够垂直打在光电传感器上,避免汇聚或发散光对信号采集产生的影响。

3.1 系统结构

该系统是以单片机 STC12C5A60S2 为核心,由电源模块、键盘输入模块、液晶显示模块、波形产生模块、传感器模块组成,如图 2 所示。下面分别介绍每一个模块的具体组成。

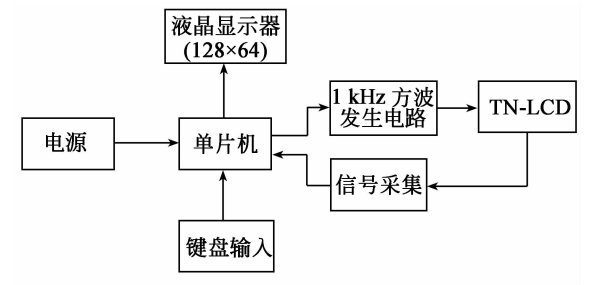


图 2 输出光强恒定的液晶自动调节系统框图
Fig. 2 Diagram of the liquid crystal self-regulation system of exporting fixed light intensity

电源模块:
系统需要+12 V 和+5 V 的电压,其中+12 V 电压由外部电源直接提供,而+5 V 电压则通过 LM7805 稳压后得到,如图 3 所示。

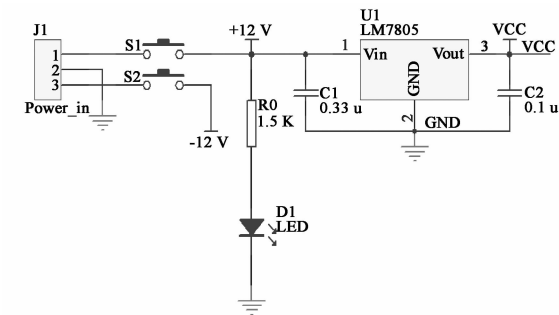


图 3 电源模块
Fig. 3 Electrical source module

波形产生模块:
该模块由 U1~U11,R10~R23,C8~C10、D1、D2 组成,其中 U3、U4、U11 可以产生两路驱动信号,U6 及其外围器件组成双反相器,作用是消除 B 路信号中的干扰。U7A 及其外围器件组成反相器,将 A 路信号取反。U7B 及其外围电路组成信号合成器,将 A、B 两路信号合成上下对称的方波,即驱动信号。U8 和 U9A 及其外围器件组成幅度控制器,控制驱动信号的电压大小,但

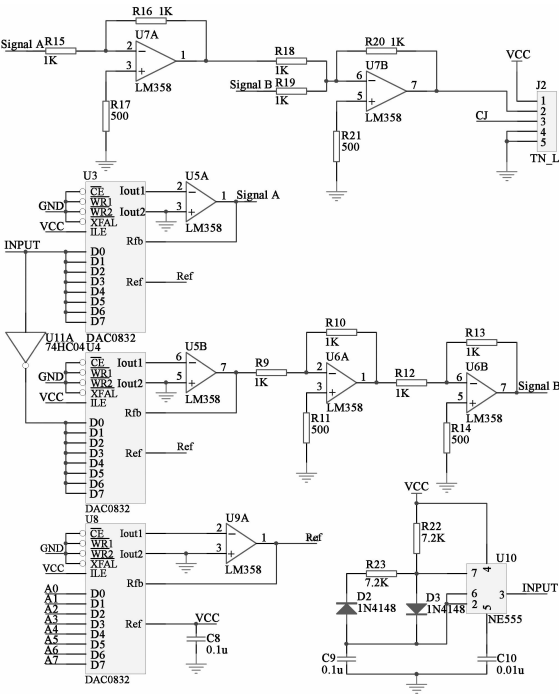


图 4 驱动信号产生模块
Fig. 4 Module of producing a driven signal

U8、U9A 受单片机控制。U10 及其外围器件组成 1 kHz 方波发生电路用于控制 U3、U4 产生方波,如图 4 所示。

单片机最小系统:

由 STC12C5A60S2、R5、R6、R7、C3、C4、C6、C7 和 Y1 组成。其中 C6、C7 和 Y1 组成晶振电路,R5~R7 组成复位电路,C3、C4 为电源滤波电容,如图 5 所示。

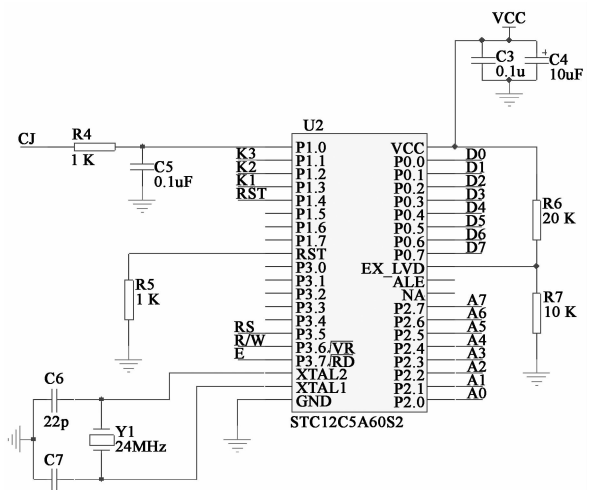


图 5 最小系统模块

Fig. 5 Minimum system module

键盘输入模块:

由 K1、K2、K3 和 R1~R3 组成。K1(Scan)的功能是测试液晶的透光率和电压之间的关系。当 K1 按下后系统会将驱动电压以 0.1 V 的步进电压从 0.1~5.0 V 递增,递增速率为 20 ms/次,每递增一次系统会记录下此时空间内的光照强

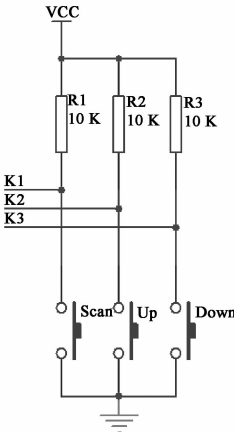


图 6 按键输入模块

Fig. 6 Module of key-press

度,递增至 5.0 V 后经过显示屏将数据输出。K2 (Up)的功能是增加预置强度。K3(Down)的功能是减小预置强度,如图 6 所示。

传感器模块:由线性光敏传感器和限流电阻组成。

3.2 系统工作原理

输出光强恒定的液晶自动调节系统原理图如图 7 所示。系统由电源模块供电,系统上电后自动进入工作状态,同时液晶屏显示工作状态,系统默认预置强度为 2.50 V,单片机通过 U8 控制驱动信号的电压大小。当外部光强增强时,光电传感器会把信息转变为电信号反馈给单片机,经过单片机分析后会通过 U8 增加驱动信号的电压, TN-LCD 上的电压增大, TN-LCD 的透光率会降低,从而维持空间内光强恒定。当外部光强降低时,光电传感器会把信息转变为电信号反馈给单片机,经过单片机分析后会通过 U8 降低驱动信号的电压, TN-LCD 上的电压减小, TN-LCD 的透光率会增大,从而维持空间内光强恒定。

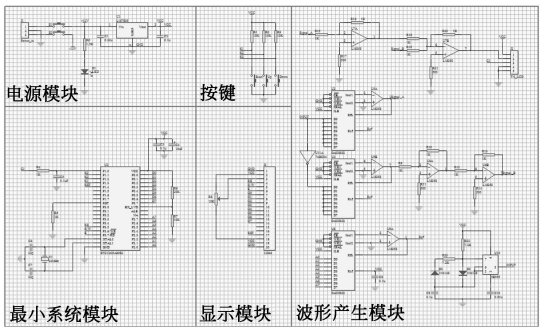
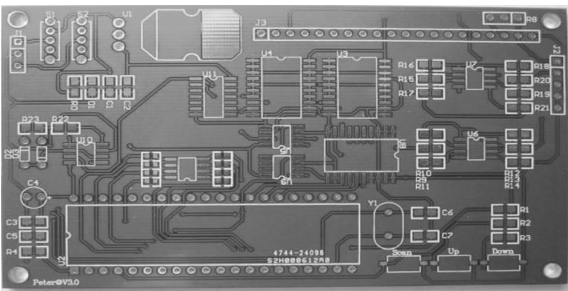


图 7 输出光强恒定的液晶自动调节系统原理图

Fig. 7 Principle chart of the liquid crystal self-regulation system of exporting fixed light intensity

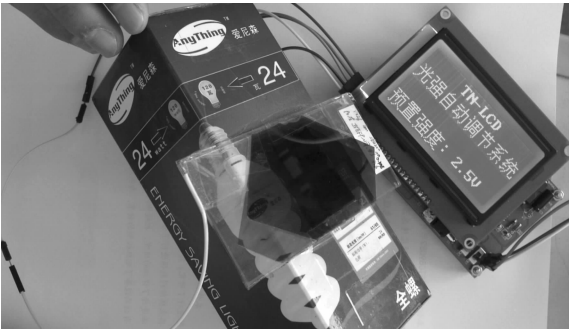
3.3 系统实物图及功能介绍

系统实物图及系统测试的电压-透光率曲线如图 8 和 9 所示。系统功能主要包括:



(a) 印刷电路板

(a) Printed circuit board



(b) 实物图
(b)Physical map

图 8 系统实物图

Fig. 8 Physical map of system

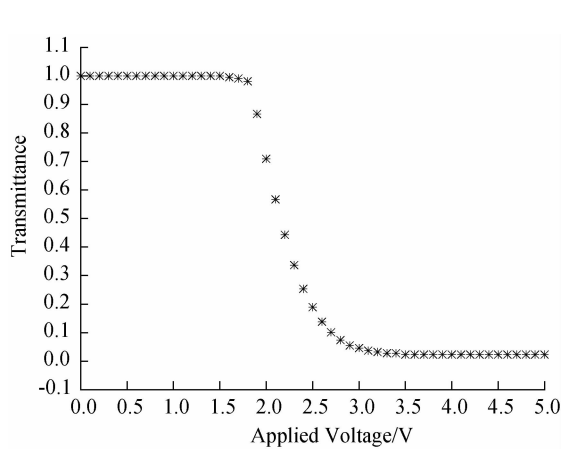


图 9 实验测量曲线

Fig. 9 Experimental measured curve

3. 3. 1 维持特定空间光照强度不变

这是本系统设计的初衷,也是最基本的功能。本系统采用单片机作为反馈网络实现光照强度的

自动调节。
3. 3. 2 特定空间内的光照强度调节
空间内的光强是由液晶的透光率决定的,而液晶的透光率是由按键通过单片机调节的。

3. 3. 3 显示当前工作状态

本系统通过 128×64 液晶屏显示当前工作状态,如图 8(b)所示当前状态为工作状态,预置透光强度为 2.5 V。

3. 3. 4 液晶电压-透光率曲线的测试

本系统的一个附加功能就是液晶电压-透光率特性的测试。系统通过对 TN 盒加扫描电压,采集光敏传感器的电压值得到一组数据,然后就可以画出液晶的电压—透光率的特性曲线。由此确定本系统工作的选择电压,并对系统的初始值进行设置。

系统主要是利用液晶进行调光实现恒定光强的,因此液晶态必须要保证,这就决定了系统在一定温度范围内实用。不同的液晶材料,维持液晶态的范围有所不同,随着人们对液晶材料研究的不断深入,其温度范围在不断的加宽,那么系统工作的温度范围也将进一步的加大。

4 结 论

本文根据液晶盒的电光效应及其显示原理并将之与传感器和单片机结合,设计出光强恒定的液晶自动调节系统并制作出实物装置,实现了光强自动调节功能,并能显示当前的工作状态及测试液晶的电压—透过率特性。该系统对于稳定激光光路的强度恒定具有一定的应用价值。

参 考 文 献:

[1] Vasil'ev A A,Zhinduils A I,Kompanets I N,*et al.* Optically controlled transparency in the form of a ferroelectric ceramic-photoconductor structure [J]. *Sov. J. Quantum. Elec.* ,1979,9(6):757-761.
[2] Vasil'ev A A,Kompanets I N,Parfenov A V. Progress in the development and applications of optically controlled liquid crystal spatial light modulators [J]. *Sov. J. Quantum. Elec.* ,1983,13(6):689-695.
[3] Vasil'ev A A,Naumov A F,Schmal'gauzen V I. Wavefront correction by liquid crystals devices [J]. *Sov. J. Quantum. Elec.* ,1986,16(4):471-474.
[4] Vasil'ev A A,Vorontsov M A,Koryabin A V,*et al.* Computer controlled wavefront corrector [J]. *Sov. J. Quantum. Elec.* ,1989,19(3):395-398.
[5] Dou R,Giles M K. Closed-loop adaptive-optics system with a liquid-crystal television as a phase retarder [J]. *Opt. Lett.* ,1995,20(14):1583-1585.
[6] Neil M A A,Booth M J,Wilson T. Closed-loop aberration correction by use of a modal Zernike wave-front sensor

- [J]. *Opt. Lett.*, 2000, 25(15):1083-1085.
- [7] Prieto P, Fern Ndez E, Manzanera S, *et al.* Adaptive optics with a programmable phase modulator: applications in the human eye [J]. *Opt. Express*, 2004, 12(17):4059-4071.
- [8] 阎吉祥. 液晶空间光调制器在自适应光学中的应用[J]. 光学技术, 1999, 25(2):3-4.
Yan J X. Application of spatial light modulators using liquid crystal in adaptive optics [J]. *Optical Technology*, 1999, 25(2):3-4. (in Chinese)
- [9] 王治华, 俞信. 液晶空间光调制器相位调制测量机波前校正[J]. 光学技术, 2005, 31(2):196-199.
Wang Y H, Yu X. Measuring of the phase modulation of liquid crystal spatial light modulator and the correcting of the wavefront [J]. *Optical Technology*, 31(2):196-199. (in Chinese)
- [10] Mu Q Q, Cao Z L, Hu L F, *et al.* Adaptive optics imaging system based on a high-resolution liquid crystal on silicon device [J]. *Opt. Express*, 2006, 14(18):8013-8018.
- [11] Mu Q Q, Cao Z L, Li D Y, *et al.* Liquid crystal based adaptive optics system to compensate both low and high order aberrations in model eye [J]. *Opt. Express*, 2007, 15(4):1946-1953.
- [12] Cao Z L, Mu Q Q, Hu L F, *et al.* Correction of horizontal turbulence with nematic liquid crystal wavefront corrector [J]. *Opt. Express*, 2008, 16(25):7006-7013.
- [13] Cao Z L, Mu Q Q, Hu L F, *et al.* Preliminary use of nematic liquid crystal adaptive optics with a 2.16-meter reflecting telescope [J]. *Opt. Express*, 2009, 17(20):2530-2537.
- [14] Liu C H, Hu L F, Mu Q Q, *et al.* Open-loop control of liquid-crystal spatial light modulators for vertical atmospheric turbulence wavefront correction [J]. *Appl. Opt.*, 2011, 50(1):82-89.
- [15] 余鑫鑫, 李大禹, 夏明亮, 等. 基于液体变焦透镜离焦补偿机构的设计[J]. 液晶与显示, 2013, 28(3):344-348.
Yu X X, Li D Y, Xia M L, *et al.* Design of liquid zoom lens defocus compensation mechanism [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(3):344-348. (in Chinese)
- [16] 芦永军, 曹召良, 曲艳玲, 等. 液晶波前校正器动态位相响应特性研究[J]. 液晶与显示, 2012, 27(6):730-735.
Lu Y J, Cao Z L, Qu Y L, *et al.* A study on the response characteristics of liquid crystal wavefront corrector dynamic phase [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(6):730-735. (in Chinese)
- [17] 杨润, 邢红玉, 叶文江, 等. 扭曲向列相液晶盒光电自适应系统的研究与设计[J]. 河北工业大学学报, 2012, 41(6):74-77.
Yang R, Xing H Y, Ye W J, *et al.* Study and design on the twisted nematic liquid crystal cell's adaptive photoelectric system [J]. *Journal of Hebei University of Technology*, 2012, 41(6):74-77. (in Chinese)
- [18] Yang D K, Wu S T. *Fundamentals of Liquid Crystal Devices* [M]. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2006.
- [19] 王庆凯, 吴杏华, 王殿元, 等. 扭曲向列相液晶电光效应的研究[J]. 物理实验, 2007, 27(12):37-39.
Wang Q K, Wu X H, Wang D Y, *et al.* Electro-optic effect of twisted nematic liquid crystal [J]. *Physics Experimentation*, 2007, 27(12):37-39. (in Chinese)
- [20] 谢嘉奎, 宣月清, 冯军. 电子线路-线性部分[M]. 4版. 北京:高等教育出版社, 1999.
Xie J K, Xuan Y Q, Feng J. *Electronic Circuit-linear Part* [M]. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 1999. (in Chinese)
- [21] 何道清, 张禾, 湛海云. 传感器与传感器技术[M]. 北京:科学出版社, 2008.
Hu D Q, Zhang H, Chen H Y. *Sensor and Sensor Technology* [M]. Beijing: Science Press, 2008. (in Chinese)
- [22] 胡汉才. 单片机原理及其接口技术[M]. 北京:清华大学出版社, 2010.
Hu H C. *Singlechip Microcomputer Principle and Interface Technology* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2010. (in Chinese)

作者简介:叶文江(1976—),男,河北石家庄人,博士,副教授,主要从事液晶物理及液晶器件物理方面的研究。E-mail: wenjiang_ye@hebut.edu.cn