

文章编号 1004-924X(2017)12-3096-09

便携式逆反射系数测试仪

王伟杰, 赵学增*, 潘昀路, 熊 怡, 陈 玉
(哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:根据相关国标设计了一种便携式逆反射系数测试仪,用于测量交通标志、机动车车身标识和高能见度警示服等材料的逆反射系数。分析、比较了逆反射系数测量原理,基于相对测量法研制了逆反射系数测试仪。该逆反射系数测试仪以白色发散光作为光源,可以在近距离下模拟逆反射标识的实际工作状况,完成逆反射系数的测量。介绍了逆反射系数测试仪中光学系统、光电转换电路和 STM32F103C8T6 单片机控制系统的设计方法,建立了基于最小行车安全距离的逆反射系数测试角度的选择模型,完成了逆反射系数测试仪不确定度的评估。最后,利用研制的便携式逆反射系数测试仪进行了实验测试。结果显示:在测试条件为 $(0.1 \sim 199.9) \text{ cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 时,其示值误差的最大值为 4.40%;当测试条件大于 $199.9 \text{ cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 时,示值误差的最大值为 1.31%,符合 GB 26377-2010 对示值误差的要求。设计的逆反射系数测试仪具有小型化和智能化的优点,对现场检测交通安全标识、机动车车身标识等具有实际意义。

关键词:逆反射标识;逆反射系数测试;逆反射系数测试系统;相对法

中图分类号:TH741.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20172512.3096

A portable retroreflection coefficient detector

WANG Wei-jie, ZHAO Xue-zeng*, PAN Yun-lu, XIONG Yi, CHEN Yu

(Harbin institute of technology, Harbin 150001, China)

* Corresponding author, E-mail: zhao.xz@hit.edu.cn

Abstract: A portable retroreflection coefficient detector was designed according to relevant national standards to measure the retroreflection coefficients of the traffic signs, vehicle body markings and high visibility warning clothes. The measuring principles of retroreflection coefficients were analyzed and compared, and the retroreflection coefficient detector was developed based on the relative measurement method. White reflecting light was used as the divergent light source of the retroreflection coefficient detector, and it could simulate the actual working condition of retroreflection objectives in a short distance and to complete the measurement of the retroreflection coefficients. The designs of optical system, photoelectric conversion circuit and STM32F103C8T6 single-chip control system in the detector were introduced. A selection model for the test angles of retroreflection coefficients was established based on minimum safety driving distance, and the uncertainty of the retroreflection coefficient detector was evaluated. Finally, a test experiment was performed by using the portable retroreflection coefficient detector. The experiment results show that the maximum value of the indication error is 4.40% in the test range of $(0.1 \sim 199.9) \text{ cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, and that is 1.31% in the test range

收稿日期:2017-02-15;修订日期:2017-03-20.

基金项目:哈尔滨市学科后备带头人基金资助项目(No. 0071007012)

greater than $199.9 \text{ cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, which meets the requirement of GB 26377-2010 for indication errors. The portable retroreflection coefficient detector has advantages of miniaturization and intellectualization and has practical significance to detect the traffic safety signs and vehicle body signs.

Key words: retroreflector; coefficient of retroreflection measure; coefficient of retroreflection measurement system; relative method

1 引 言

车身反光标识是为了增强车辆的可识别性而安装或粘贴在车身表面的反光材料的组合。随着交通密度的日益增大,交通安全的问题越来越受到社会的重视,车身反光标识的使用也备受关注^[1]。GB23254-2009《货车及挂车车身反光标识》和 GB7258-2012《机动车运行安全技术条件》^[2],参考了欧洲 ECE R104/00^[3],对反光膜型车身反光标识的形状和外观、尺寸、色度性能、反光性能、耐候性能、附着性能、耐盐雾腐蚀性能、抗溶剂性能、抗冲击性能、耐温性能、耐弯曲性能、耐水性能及耐冲洗性能等作出了明确规定,而逆反射^[4]性能作为车身反光标识的基本性能,评价其最有效和直接的手段就是测量。

当前,国内对于逆反射材料相关研究存在着诸如专业术语不统一、检测设备质量参差不齐和测试技术理论支撑欠缺等问题,这些都影响逆反射系数测试结果的准确性和可靠性,进而会影响应用于道路交通标志中的逆反射材料的质量,最终直接影响人民的生命财产安全。因此,开展逆反射系数测量装置的研制非常必要。

国外率先进行了相关仪器的研制,相关产品有美国 RoadVista 公司的 RoadVista-932 系列测试仪等。932 系列是为现场作业及实验室分析专业设计的便携式逆反射系数测试仪,可以用于逆反射材料、夜间道路安全标识、高亮度反光安全服及其他反光材料的逆反射系数值的测量。该测试仪只需一块校正板,无需任何校正参数,校正方便;内置蓝牙发射器,有 USB 接口,通讯快捷;外形尺寸为 $380 \times 115 \times 325 \text{ mm}$,体积小,重量轻。但其价格十分昂贵,且只能在 $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境下进行测量,不适合大面积推广使用。

2014 年,由安徽省公安厅交通警察总队和安徽联合安全科技有限公司联合推出 BOON-UNS 系列逆反射系数测试仪,该测试仪采用标准转移

间接测量的测量方式,专业用于测量各类反光安全标识、反光膜的逆反射光学特性指标,适用于道路交通反光产品及车辆安全反光产品的现场检测和检验。该测试仪采用了设定的入射角和观测角,需要配备一套校正板,校准过程比较繁琐。虽然相较于国外研制的类似仪器,价格略低,但作为基础测量仪器,其价格仍然不适合大范围地使用推广。

相关产品的出现也促进了逆反射系数测量相关研究的发展。F. Sametoglu 等研究了光源稳定性对逆反射系数测试的影响,并且利用四极技术,通过测量光源处的电压和电流,对光源参数进行修正,使灯电流保持恒定,最终使整套装置的逆反射系数测试结果只有 0.026% 的扩展不确定度^[5]; Philip Siegmann 等研究了彩色 CCD 对机动车车身标识、道路交通标识的逆反射系数测试结果的影响^[6]。此外还研究了环境杂光、信号光(入射光)、相机光等对测量结果的影响,设计了一个屏蔽环境、相机等杂光的测量光路,提高了测试精度。

杜颖等研究了不同光源对逆反射系数测量的影响,结果表明,采用发散光近距离入射时,采得的逆反射光场能量与平行光入射时分布趋势大致相同^[7]。这说明可以利用发散光近距离入射来模拟平行光远距离入射,从而达到减小测试仪体积的目的;陈艳艳等对设置在交通运输部北京试验场的 230 个交通标志反光膜样本进行了连续 13 年的逆反射系数观测,建立了不同颜色、不同类别的交通标志反光膜逆反射系数衰减值的预测模型,分析了逆反射系数随设置时间的衰减规律^[8];韩君等采用转移法制作回归反射织物,研究影响回归反射织物逆反射系数的主要因素,讨论玻璃微珠的折射率和直径、转移胶和反射层的厚度、铝粉加入量对回归反射织物逆反射系数的影响^[9];刘晓艳等研究了含有玻璃微珠的反光织物的逆反射问题。结果显示,在反光织物中,当间隔层折射率小于玻璃微珠折射率时,可提高织物的逆反射效果^[10];朱传征等研究了不同入射光源光谱性能

对交通标志逆反射光的色度性能影响,测试分析了氙灯、白光、LED 和传统卤素灯等常用机动车前照灯光源的辐照强度发射光谱;测试分析了不同颜色和类型的交通标志逆反射材料的光谱反射率^[11]。

车身反光标识的逆反射性能采用逆反射系数和发光强度系数^[12]来进行评价。根据工作原理的不同将逆反射系数和发光强度系数的测量方法分为绝对测量法、相对测量法和光谱辐射测量法。相对测量法其量值传递依赖于参考标准物质的标准值,绝对测量法依据基本的光学传感器进行测量,距离和角度需要精确溯源测量。从原理上分析,应具有比相对测量法更高级别的计量学特性,但绝对测量法的测量需在长 30 m 的暗室中进行,该方法只适合在实验室中使用。而光谱辐射法适用于有特殊要求,特殊环境背景的逆反射材料的测试,可以测出逆反射材料对不同颜色,甚至不同波段、不同波长的入射光的反射光强度,也更适合于实验室研究。

考虑测试仪的设计目的和使用环境要求,本文研制的便携式逆反射系数测试仪采用相对测量法对车身反光标识的逆反射性能进行测量。采用这种测量原理,只需用已计量的参考标准板对仪器进行标定。在相对测试中,试样不必做角度的调整,直接调整逆反射系数测试仪的入射角和观测角至规定条件,顺序将试样的不同部分放在仪器的测量孔下进行测量,测量方便快捷,满足现场测试的要求。本文的主要工作是建立了基于最小行车安全距离的逆反射系数测试角度的选择模型,选择出较适用于便携式逆反射系数测试仪测量光路的入射角和观测角的角度。同时考虑逆反射光场能量分布,在尽量还原逆反射材料真实使用场景的前提下,减小仪器体积,对光路光程等参数进行设计,并利用 Solidworks 完成整机的模拟设计。制作样机后,经实验验证,测试结果符合相关国标要求。

2 逆反射测量原理

本文采用发散光近距离照射来模拟逆反射材料实际应用中的平行光远距离入射,从而大大减小了测量装置的体积和重量,其测量光路原理如图 1 所示。测试仪由光源、光学系统、光电接收元

件、半透半反射镜、光电转换电路、STM32 F103C8T6 单片机系统和液晶显示屏等组成。光源经光学系统形成一束发散角度一定的均匀发散光,这束光经半透半反射镜后照射到逆反射材料表面上。逆反射材料表面上的逆反射光呈光锥状逆向返回,经半透半反射镜后,光束由光电接收元件经光电转换电路输入 STM32F103C8T6 系统中,由单片机对测量信号进行 A/D 转换和数据处理,并在显示器输出测量结果。

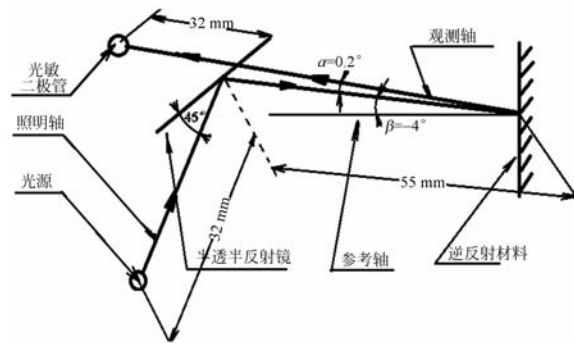


图 1 测试仪测量光路原理图

Fig. 1 Schematic diagram of detector measuring optical path

3 系统设计

3.1 光学系统设计

3.1.1 光源的设计

本系统采用白色 LED,利用 MAX1570 驱动,通过脉宽调制来实现对 LED 亮度的调节和控制,以保证光源亮度的稳定性,其电路原理如图 2 所示。本设计中,采用白色发散光近距离照射,模拟逆反射材料的实际工作情况,达到测量逆反射系数的目的,最大限度减少光源由于电流纹波等因素对光照强度的影响,降低对逆反射系数测量的误差。

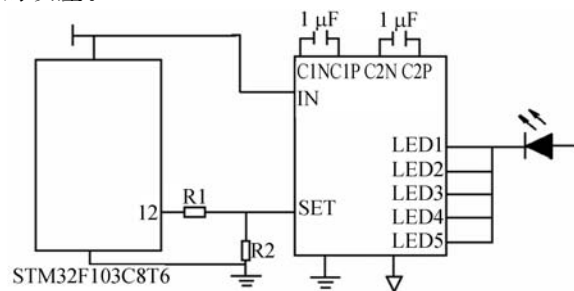


图 2 光源驱动电路

Fig. 2 Light source drive circuit

3.1.2 光路几何参数的设计

为了选择相对法测量中的入射角和观测角,本文建立了一个基于最小行车安全距离的逆反射系数测量角度的计算模型。在该模型中,考虑逆反射光场的能量分布、驾驶员的视认以及 GB7528-2012 对机动车近光灯和远光灯角度的规定等因素的影响,在 JJG059-2004 的测量的几何条件(入射角: -4° 、 15° 、 30° 、 40° ,观测角: 0.2° 、 0.33° 、 1°)规定中,选择合适的入射角和观测角。

在高速公路或其它路段上,为了保证跟驰状态下前后两车在正常行驶时不发生追尾事故,前后两车之间的实际距离必须大于两车之间的最小行车安全距离 D ,图 3 为前后两车安全距离模型示意图,其中, S_A 为后车的制动距离, S_B 为前车的制动距离^[13]。

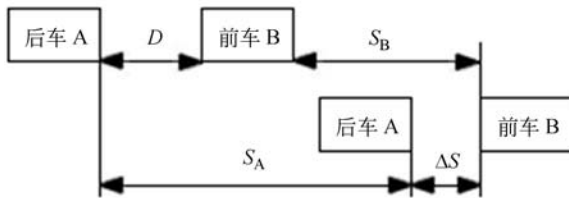


图 3 前后两车行车安全距离示意图
Fig. 3 Safety distance of two cars

分析图 3 可以得出前后两车之间的最小行车安全距离的计算公式为:

$$D = S_A + \Delta S - S_B \quad (1)$$

由此可知,前后两车之间的最小行车安全距离既与后车 A 的制动距离 S_A 有关也与前车 B 的制动距离 S_B 有关。因此,需要分别求出后车的制动距离 S_A 和前车的制动距离 S_B 。由于前车 B 的运动状态直接影响两车之间最小行车安全距离的确定,所以需要根据前车 B 的不同运动状态,分以下 4 种情况来确定两车之间的最小安全行车距离。

(1)当前车为静止状态时:

$$S_B = 0, S_A = \frac{v_A(t_1 + t_2 + 0.5t_3)}{3.6} + \frac{v_A^2}{2 \times 3.6^2 \times a_A} \quad (2)$$

代入式(1)得:

$$D_1 = S_A = \frac{v_A(t_1 + t_2 + 0.5t_3)}{3.6} + \frac{v_A^2}{2 \times 3.6^2 \times a_A} + \Delta S \quad (3)$$

其中: a_A 为后车 A 的最大制动减速度; v_A 为后车

A 的行驶速度; t_1 为驾驶员的反应时间; t_2 为制动协调时间; t_3 为制动力增长时间。

(2)当前车为减速运动状态时:

前车 B 作减速运动时,最危险时刻发生在后车 A 停止的时刻。因此,需要分别计算出后车的制动距离 S_A 和前车的制动距离 S_B 。

对于后车 A,制动距离 S_A 为:

$$S_A = \frac{v_A(t_1 + t_2 + 0.5t_3)}{3.6} + \frac{v_A^2}{2 \times 3.6^2 \times a_A} \quad (4)$$

因为前车是主动减速,所以对于前车 B 而言,无需考虑驾驶员的反应时间 t_1 和制动协调时间 t_2 ,因此可将其制动距离 S_B 简化为:

$$S_B = \frac{v_B \times 0.5t_3}{3.6} + \frac{v_B^2}{2 \times 3.6^2 \times a_B} \quad (5)$$

其中: a_B 为前车 B 的最大制动减速度; v_B 为前车 B 的行驶速度。

代入式(1)中得

$$D_2 = \frac{v_A(t_1 + t_2)}{3.6} + \frac{(v_A - v_B)t_3}{2 \times 3.6} + \frac{v_A^2}{2 \times 3.6^2 \times a_A} - \frac{v_B^2}{2 \times 3.6^2 \times a_B} + \Delta S \quad (6)$$

(3)当前车 B 为匀速运动状态时:

若 $v_B > v_A$,则不会发生追尾事故;若 $v_B < v_A$,则在整个减速过程中,则在前后两车速度相等的时候最危险。

设两车的相对速度为 v_r ,则在初始时 $v_r = v_A - v_B$,当两车车速相等时, $v_r = 0$,

$$S_{B相对} = 0, S_{A相对} = \frac{v_r(t_1 + t_2 + 0.5t_3)}{3.6} + \frac{v_r^2}{2 \times 3.6^2 \times a_A} \quad (7)$$

代入式(1)得:

$$D_3 = \frac{v_r(t_1 + t_2 + 0.5t_3)}{3.6} + \frac{v_r^2}{2 \times 3.6^2 \times a_A} + \Delta S \quad (8)$$

(4)当前车 B 为加速运动状态时:

若 $v_B > v_A$,则不会发生追尾事故;若 $v_B < v_A$,则在前后两车速度相等的时候最危险,如果此时没有发生追尾碰撞,则以后也不会发生追尾碰撞。所以,该情况的最小行车安全距离也为

$$D_4 = \frac{v_r(t_1 + t_2 + 0.5t_3)}{3.6} + \frac{v_r^2}{2 \times 3.6^2 \times a_A} + \Delta S \quad (9)$$

在制动过程中,汽车产生的制动速度反映了地面制动力的大小,它不仅与车轮滚动时的制动器动力有关,还与车轮抱死拖滑时路面状况的附着力有关。具体来说,汽车的制动减速度与制动

器类型、车轮载荷以及路面附着系数等有关。其中,道路附着条件是影响制动减速度的关键因素,不同的路面状况,附着系数不同,汽车制动时产生的地面制动力就不同,从而汽车能达到的最大制动减速度就不同。表 1 中给出了几种不同路面状况下,汽车能达到的最大制动减速度 a 。

表 1 不同路面状况下汽车所能达到的最大制动减速度
Tab. 1 Maximum braking deceleration achieved by a car under different road conditions ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

路面状况	最大制动减速度 a
沥青、混凝土路面(干燥)	8.5
沥青、混凝土路面(潮湿)	7
土路、砾石路面	6
冰雪路面	1.5

由计算可以发现,最不理想的条件是前车刚驶出冰雪路面,在干燥的沥青路面紧急制动,而后车仍在冰雪路面上随之紧急制动。此时的安全行车距离 D_{15} 为:

$$D_{15} = S_A = \frac{v_A(t_1 + t_2 + 0.5t_3)}{3.6} + \frac{v_A^2}{2 \times 3.6^2} \times \left(\frac{1}{a_B} - \frac{1}{a_A} \right) + \Delta S, \quad (10)$$

其中,取 $a_A = 8.5 \text{ m}^2/\text{s}$, $a_B = 1.5 \text{ m}^2/\text{s}$,在普通道路上,取 $v_A = 60 \text{ km/h}$, $D_{15} = 101.59 \text{ m}$,在高速道路上,取 $v_A = 120 \text{ km/h}$, $D_{15} = 353.68 \text{ m}$ 。

考虑驾驶员视认距离^[14-15]的影响,在实际交通标识的安装时会有前置距离的设置。

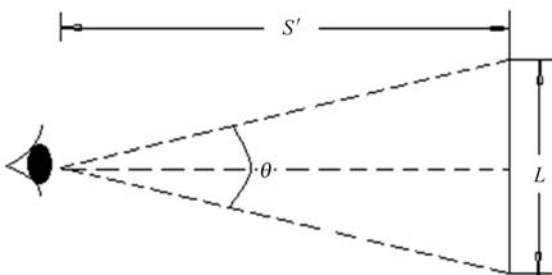


图 4 视认距离与视角示意图

Fig. 4 Visual distance and perspective

通过图 4 可以看出,视认距离 S' 可以通过式(11)算出:

$$S' = \frac{L}{\theta} \times 57.3, \quad (11)$$

其中: L 为交通安全文字、数字字高; θ 为驾驶员视角,取 $\theta = 12'$ 。

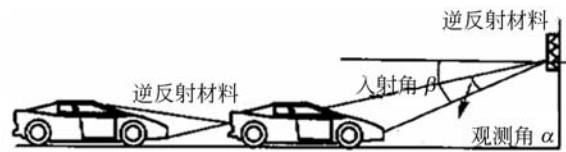


图 5 行车时入射角及观测角示意图

Fig. 5 Angle of incidence and angle of observation when driving

标志牌面的设计以司机在公路上以 60 km/h 的速度行驶时能及时辨认标志内容为基本原则。根据 GB5768-1999《道路交通标志和标线》的有关规定设置标志牌。标准汉字高度采用 30 cm ,高宽比为 $1:1$,字间距不小于 3 cm ,行距不小于 10 cm ,汉字笔画粗为 3 cm ,标志采用中英文对照,英文字母高为汉字高度的一半。

因此,可以根据式(11)计算得:

$$S' = \frac{0.3}{0.2} \times 57.3 = 85.95 \text{ m}.$$

根据图 5 所示,可以进行以下计算。

(1)对于机动车车身反光标识:

GB 23254-2009 中规定,车身反光标识离地面的高度 h 最低为 380 mm 。

$$\alpha = \cot \frac{h}{D_{15}} = \cot \frac{0.38}{101.59} = 0.214^\circ. \quad (12)$$

(2)对于交通标识:

根据 GB5768-1999《道路交通标志和标线》的有关规定,路侧设置的柱式标志,标志板下缘距路面的净空高度不得小于 4.5 m 。

$$\beta = \cot \frac{H}{S} = \cot \frac{4.5}{85.95} = 3.0^\circ. \quad (13)$$

考虑逆反射光场能量的分布规律,入射角 β 与观测角 α 越小,逆反射光场能量越强,镜面反射光、散射光等环境杂光对测试结果影响越小,因此,根据式(12)和式(13)的计算结果,结合 JJG 059-2004 规定的测量几何条件,选择入射角 β 为 -4° ,观测角为 0.2° 。

在进行测试仪的光路设计时,尽量减小测量光程可以增加得到逆反射光点数的概率,增强光接收器得到的逆反射光场的能量,减小镜面反射、漫发射对逆反射系数测试的影响。但是,在光路的实际设计中,需要考虑元器件的尺寸与光路是否有干涉。本文利用 Solidworks 进行三维建模

来进行光路的模拟设计。在设计中,使用了一片半透半反射镜,该半透半反射镜尺寸为 46×36.5 mm,厚度为 1.1 mm,为了达到 50/50 的分光比例,半透半反射镜的入射角需要为 45° 。最终,光路参数设计如图 1 所示。

3.2 光电转换电路

光电转换电路通过光电接收元件将光信号转换为电信号输出。电路中的运放采用精密运算放大器 INA333,这种芯片功耗低,无需进行失调调零,输入偏置电流低,并具有低漂移、轨到轨输出的特性,采用单一外接电阻可把增益设定在 $1 \sim 1\,000$ 之间,参考表 2 设计。其工作电压低到 1.8 V(± 0.9 V),静态电流仅为 $50 \mu\text{A}$,具有极低的噪音密度(50 nV/Hz)。

表 2 INA333 增益与反馈电阻的关系

Tab. 2 Relationship between gain and feedback resistance

增益	R_g/Ω	最接近 1%
		R_g/Ω
1	NC	NC
2	100k	100k
5	25k	24.9k
10	11.1k	11k
20	5.26k	5.23k
50	2.04k	2.05k
100	1.01k	1k
200	502.5	499
500	200.4	200
1 000	100.1	100

随着 R_g 值的增大,电路对光的灵敏度降低,因此可以通过选择接入电路 R_g 的值来实现量程的选择。在测量逆反射系数时,为了实现量程的自动切换,采用 CD4066 来实现。CD4066 是四双向模拟开关,主要用于模拟或数字信号的多路传输,解决了开关晶体管阈值电压随输入信号的变化而变化的问题,在整个工作信号范围内导通阻抗比较低。与单通道开关相比,具有输入信号峰值电压范围等于电源电压以及在输入信号范围内导通阻抗比较稳定的特点。其电路原理图如图 6 所示。

3.3 STM32F103C8T6 单片机控制系统

这部分是整个测量系统的控制中心。其框图如图 7 所示。

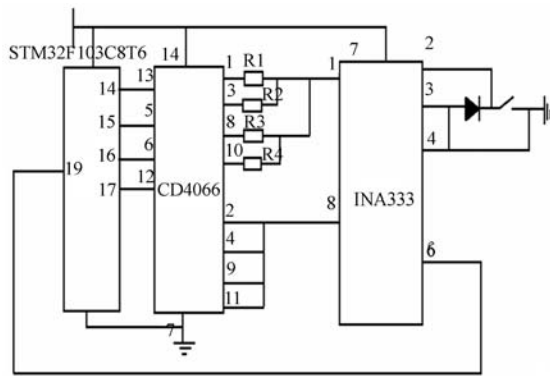


图 6 光电检测电路

Fig. 6 Photoelectric detection circuit

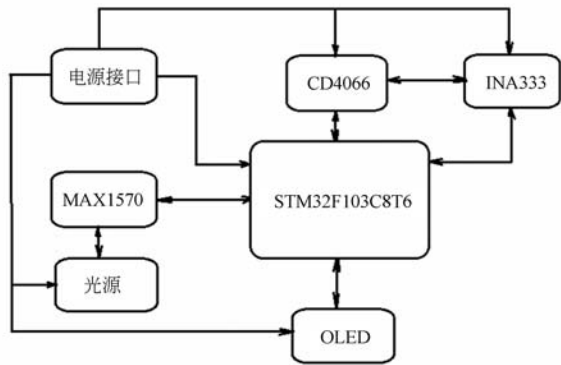


图 7 单片机控制系统框图

Fig. 7 SCM control system

系统选用了内核为 ARM CortexTM-M3 32 位系列单片机中的 STM32F103C8T6 芯片,有 2 个 12 位的 A/D 转换器,转换时间低至 $1 \mu\text{s}$,有 37 个 I/O 口,采用串行单线调试(SWD),具有 JTAG 接口。电源部分采用 LM1117 芯片,是 3 端可调输出的线性稳压器集成电路,仅需两个外接电阻来设置输出电压,使用简单,且线性调整率和负载调整率比标准的固定稳压器好,内置过载保护与安全区保护等多种保护电路,当调整端使用滤波电容时能得到比标准稳压器高的多的纹波抑制比,用于输出 3.3 V 电压。MAX1570 芯片通过脉宽调制(PWM)信号调节白色 LED 的亮度,经过优化的电流调节结构保证低 EMI 和低输入纹波。

显示屏选用 12 864 点阵的采用 SSD1306 芯片为控制器的 OLED 模块。OLED 具有自发光,不需要背光源、对比度高、厚度薄、视角广、反应速度快、可用于挠曲性面板、使用温度范围广、构造

及制程简单的特点。本次设计中,采用 4 线的串行 SPI 接口方式,是一种高速、同步的通信总线。占用芯片管脚少,电路原理图如图 8 所示。

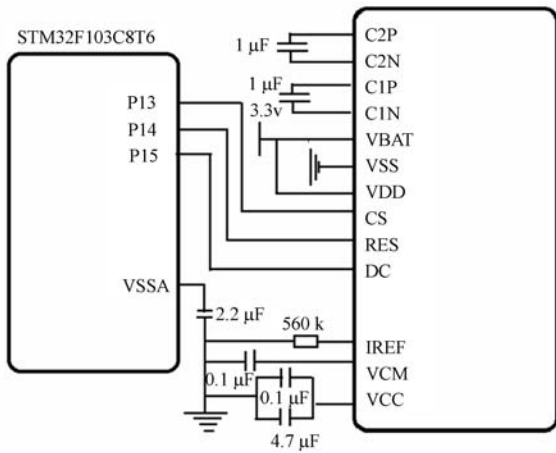


图 8 OLED 接口电路
Fig. 8 Interface circuit

4 样机测试

4.1 样机测试过程

相对法测量逆反射材料的逆反射系数需要先使用标准板对逆反射系数测试仪进行校准,然后就可以使用测试仪直接读取待测样品的逆反射系数值。这种方法本质上是将试样与标准板进行对比,利用标准板的已知逆反射系数值和试样与标准板之间的比例,间接测得待测试样的逆反射系数值^[16]。可以看出,测量结果的精度依赖于标准板的精度。

根据 GB/T 18833-2002《公路交通标志反光膜》对基于相对测试法研制的便携式逆反射系数测试仪测试环境的规定,要求测试环境的温度为 21 ℃,湿度为 46%。根据 JJG059-2004《逆反射测量仪计量检定规程》中规定,检定步骤如下:

- (1)按使用说明书要求对测试仪进行加电、预热;
- (2)用仪器自带的标准黑板调整仪器的零位;
- (3)用仪器自带的标准试样对测试仪器进行自校准;
- (4)用自校准后的测试仪对标准试样进行测试,按式(14)计算逆反射系数测试仪的示值误差,

$$\Delta = \frac{R' - R_0'}{R_0'} \times 100\%, \quad (14)$$

其中: Δ 为被检仪器的示值误差, R' 为被检仪器的示值, R_0' 为标准试样证书示值;

(5)对于逆反射标志测试仪取 1 级、3 级、5 级某个几何条件进行测试,每种几何条件下测试 5 个点。取平均值为被检仪器在该几何条件下的示值。

4.2 样机测试数据处理

本文研制的便携式逆反射系数测试仪建立在相对测试法的原理上,根据该方法的原理,建立其数学模型,其数学表达式可以写为:

$$R' = \frac{A_{\text{nld}} (m_{\text{T}} - m_{\text{D}})}{A_{\text{T}} (m_{\text{nld}} - m_{\text{D}})} R'_{\text{nld}}, \quad (15)$$

其中: m_{T} 为待测试样观测点处光接收器读数; m_{D} 为黑板观测点处光接收器读数; A_{nld} 为标准试样的面积; A_{T} 为待测试样的面积; R'_{nld} 为标准试样的逆反射系数; m_{nld} 为标准试样观测点处光接收器读数。

在利用本文研制的便携式逆反射系数测试仪进行测试时,在入射角 β 为 -4° ,观测角 α 为 0.2° 的几何条件下,对已知逆反射系数的某一颜色、某一级别的标准色板进行测试,则式(15)可以简化为:

$$R' = \theta \frac{m_{\text{T}} - m_{\text{D}}}{m_{\text{nld}} - m_{\text{D}}}, \quad (16)$$

其中 θ 为与标准面积和其逆反射系数示值有关的系数。

而对于同一样品,在某个固定的几何条件下,光度计观测点测试样品的读数正比于试样表面的光强度,即在本试验中进行逆反射系数测试的数学模型可利用式(16)写为:

$$R' = \theta I, \quad (17)$$

其中: I 为光敏二极管所测得的电流值。

在本次测试中,在入射角为 -4° ,观测角为 0.2° 的几何条件下,对已知逆反射系数的某一颜色、某一级别的标准色板进行测试,得到相应的 θ 值。利用同色多块不同级别的标准板的测试结果,拟合出测试仪对于某一颜色色板的测试 $R'-I$ 特性曲线值。利用该曲线值进行未知逆反射系数的逆反射材料的测试。

利用研制的便携式逆反射系数测试仪进行试验,试验结果如表 3 所示:

表 3 样机试验结果汇总

Tab. 3 Prototype test results summary

逆反 射板 颜色	示值/(cd · lx ⁻¹ · m ⁻²)				示值 误差/ %
	标定板 证书	样机 AD	测试板 证书	测试板 在样机中	
白色	0	87			1.31
	150	905			
	813	1 560	268	271.5	
	974	1 731			
黄色	0	88			1.03
	61	765			
	224	971	659	665.8	
	734	1 265			
红色	0	85			1.95
	22	375			
	60	650	118	120.3	
	210	833			
蓝色	0	82			4.40
	8.7	255			
	29	450	25	23.9	
	80	569			

参考文献:

- [1] 季银华, 卢欣. 反射器型反光标识相关标准解读及产品解析[C]. 2014 中国汽车工程学会年会论文集, 中国汽车工程学会, 2014.
JI Y H, LU X. Standard understanding of reflector type of conspicuity and product analysis[C]. 2014 Proceedings of the Annual Meeting of Society of Automotive Engineers of China, SAE-China, 2014. (in Chinese)
- [2] 刘建军, 付松, 官阳, 等. 车身反光标识交通安全效果分析[J]. 公路与汽运, 2011(2): 51-54.
LIU J J, FU S, GUAN Y, et al.. Analysis on traffic safety effect of vehicle reflective marking[J]. Highways & Automotive Applications, 2011(2): 51-54. (in Chinese)
- [3] 耿龙鹏, 伍晋. 车身反光标识对行车安全的影响及标准规范的发展过程[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2013(S1): 33-35.
GENG L P, WU J. Effects of vehicle reflective mark on traffic safety and the development of standard specification[J]. Journal of China University

由表 3 可以看出在测试范围为(0.1~199.9) cd · lx⁻¹ · m⁻²时,示值误差的最大值为4.40%,在测试范围大于 199.9 cd · lx⁻¹ · m⁻²时,示值误差的最大值为 1.31%。根据 GB 26377-2010 中对示值误差的规定,在测量范围为(0.1~199.9) cd · lx⁻¹ · m⁻²时,示值误差小于±5%,当测量范围大于 199.9 cd · lx⁻¹ · m⁻²时,示值误差需小于±2%,可见本文所研制的便携式逆反射系数测试仪完全符合国标要求,达到了测试仪的使用要求。

5 结 论

本文设计了一种便携式逆反射系数测试仪。该测试仪可近似模仿逆反射材料的实际工作情况,同时具有小型化和智能化的优点,对现场检测交通安全标识和机动车车身标识的质量具有实际意义。在测试范围为(0.1~199.9) cd · lx⁻¹ · m⁻²时,示值误差的最大值为 4.40%,在测试范围大于 199.9 cd · lx⁻¹ · m⁻²时,示值误差的最大值为 1.31%,可以满足实际使用要求。

of Geosciences (Social Sciences Edition), 2013 (S1): 33-35. (in Chinese)

- [4] Guide to the Properties and Uses of Retroreflectors at Night[M]. Vienna, Austria: Central Bureau of CIE, 1987.
- [5] SAMETOGLU F, CELIKEL O. Establishment of a computer-controlled retroreflection measurement facility to characterize photometric properties of retroreflectors[J]. Measurement, 2009, 42(5): 757-763.
- [6] SIEGMANN P, LOPEZ-SASTRE R J, GIL-JIMENEZ P, et al.. Fundamentals in luminance and retroreflectivity measurements of vertical traffic signs using a color digital camera[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2008, 57(3): 607-615.
- [7] DU Y, LI ZH, ZHANG G X. Character of retroreflector's light field's energy distribution and its measuring technology[J]. Transactions of Tianjin University, 2000, 6(2): 117-121.
- [8] 陈艳艳, 姜明. 公路交通标志反光膜逆反射系数衰减规律[J]. 交通运输工程学报, 2016, 16(6): 107-113.

- CHEN Y Y, JIANG M. Attenuation law of retro-reflection coefficient for highway traffic sign retro-reflective sheeting [J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2016, 16(6): 107-113. (in Chinese)
- [9] 韩君, 饶海青, 杨辉勇, 等. 影响回归反射织物逆反射系数的因素探讨[J]. *产业用纺织品*, 2015(4): 9-13.
- HAN J, RAO H Q, YANG H Y, *et al.*. Study on the factors affecting the inverse reflection coefficient of retro-reflective fabric [J]. *Technical Textiles*, 2015(4): 9-13. (in Chinese)
- [10] 刘晓艳, 王雅苑. 反光织物中间隔层对玻璃微珠逆反射性能的影响[J]. *纺织高校基础科学学报*, 2016, 29(2): 250-254.
- LIU X Y, WANG Y Y. Optical effect of glass beads with spacer layer on retro-reflective fabrics [J]. *Basic Sciences Journal of Textile Universities*, 2016, 29(2): 250-254. (in Chinese)
- [11] 朱传征, 杨勇, 包左军, 等. 入射光源光谱性能对交通标志逆反射光的色度影响研究[J]. *公路交通科技*, 2015, 32(12): 133-138.
- ZHU CH Z, YANG Y, BAO Z J, *et al.*. Study on influence of incident light source spectrum on retro-reflection light chromaticity of traffic signs [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2015, 32(12): 133-138. (in Chinese)
- [12] 苏文英, 李红琴, 李丹. 道路交通安全用逆反射测试基础[J]. *公路交通科技: 应用技术版*, 2008(6): 177-180.
- SU W Y, LI H Q, LI D. Anti-reflection test foundation for road traffic safety [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development (Applied Technology Edition)*, 2008(6): 177-180. (in Chinese)
- [13] 许伦辉, 罗强, 吴建伟, 等. 基于最小安全距离的车辆跟驰模型研究[J]. *公路交通科技*, 2010, 27(10): 95-100, 106.
- XU L H, LUO Q, WU J W, *et al.*. Study of car-following model based on minimum safety distance [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2010, 27(10): 95-100, 106. (in Chinese)
- [14] 姜明. 基于驾驶员视认与驾驶特性的速度控制类标志前置距离计算模型研究[J]. *公路*, 2011(11): 99-104.
- JIANG M. A Study on prepositive distance model of speed control signs based on visibility and driving characteristics [J]. *Highway*, 2011(11): 99-104. (in Chinese)
- [15] 蒋海峰, 王磊, 韩文元, 等. 交通标志反光膜逆反射性能与视认性关系试验研究[J]. *公路交通科技: 应用技术版*, 2009(3): 19-24.
- JIANG H F, WANG L, HAN W Y, *et al.*. Experimental study on the relationship between retro-reflective performance and visual recognition of traffic signs reflective film [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development (Applied Technology Edition)*, 2009(3): 19-24. (in Chinese)
- [16] 董会君, 赵阳, 滕金山, 等. 回归反射材料光度测试探讨[J]. *中国安全生产科学技术*, 2007, 3(5): 67-70.
- DONG H J, ZHAO Y, TENG J SH, *et al.*. Discussion of luminosity measure for Retro-reflective materials [J]. *Journal of Safety Science and Technology*, 2007, 3(5): 67-70. (in Chinese)

作者简介:



王伟杰(1963—),男,辽宁岫岩人,副教授。1985年、1991年于东北林业大学分别获得学士、硕士学位,2005年于哈尔滨工业大学分别获学士、博士学位,主要从事传感与测控技术研究与教学。E-mail: GreatWang@hit.edu.cn

通讯作者:



赵学增(1961—),男,黑龙江宾县人,哈尔滨工业大学机电工程学院研究生副院长,教授,博士生导师。1986年、1994年于哈尔滨工业大学分别获硕士、博士学位。主要从事机械电子工程领域的检测、控制和自动化技术的研究。E-mail: zhaoxz@hit.edu.cn