

线偏振光旋光角检测定位准确度的研究

李正平^{1,2}, 马世红²

(1. 临沂师范学院 物理系, 山东 临沂 276005; 2. 复旦大学 物理系, 上海 200433)

摘要:在线偏振光旋光实验中,对视觉检测定位进行了理论分析和实验研究,通过对各种条件下检测准确度的分析和实验验证,得出了最优准确度检测方法.同时,对使用光电技术进行检测定位与视觉检测差异进行了分析研究,指出了提高检测准确度的方法和途径.

关键词:韦伯-费希纳定律;视觉差;定位;准确度;光电检测

中图分类号:O 432.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0712(2008)02-0050-04

韦伯-费希纳定律^[1]指出感觉器官的感觉与“相对刺激” dR/R 成正比.因此在用视觉分辨线偏振光旋光的实验中,应该以光强变化率最大且为弱光下的检测点(此时的刺激量 R 即为光强 I)作为线偏振光的定位点,这时可获得最大检测准确度.当然在具体实验中,如何选取检测点才能获得最大检测准确度以及使用光电检测技术条件下,如何设计和选取合适技术参数,一直是实验者关心的问题.笔者就这些问题进行了理论分析和实验研究,提出了视觉检测和光电检测中韦伯-费希纳定律新的应用方法.

1 韦伯-费希纳定律及其在偏振旋光测量中的应用

1.1 韦伯-费希纳定律^[1,8]

1860 年德国著名的生理学家韦伯(Weber E H)和心理物理学家费希纳(Fechner G T)经研究得出:感觉的大小与刺激强度的对数成正比,即

$$S = K \lg R \quad (1)$$

式中, S 表示感觉强度, R 为刺激强度, K 为韦伯常数.

在视觉分辨中,常用最小可觉差(jnd)法进行辨别或判断以及对定律的证明,对式(1)微分可得到感觉差 dS :

$$dS = K \frac{dR}{R} \quad (2)$$

式中, dR 为刺激强度差, dS 为感觉差.

可见进行感觉分辨时,在相同刺激强度下,刺激强度变化率越大,感觉就越明显;同时,由于人眼的生理特性,在刺激强度变化率相同的情况下,通常刺

激强度越小感觉差就越大.

1.2 马吕斯定律^[2]

在不考虑吸收和反射的条件下,强度为 I_0 的线偏振光通过检偏振器后,出射光的强度为

$$I = I_0 \cos^2 \theta \quad (3)$$

式中, θ 为检偏器的透振方向与入射偏振光的振动方向之间的夹角.

1.3 线偏振光旋光实验中的视觉定位

在检测线偏振光或其旋光的振动方向时,根据马吕斯定律,在检偏器后观测出射光强的变化确定其偏振方位.实验时常用两种方法^[3-5]测量:1) 消光位置定位法;2) 近消光位置半荫法.

由式(3),检偏器器旋转一周后其出射光强与转角 θ 的关系曲线如图 1(a)所示.图 1(b)对应于式(3)的导数,即

$$dI/d\theta = -I_0 \sin 2\theta \quad (4)$$

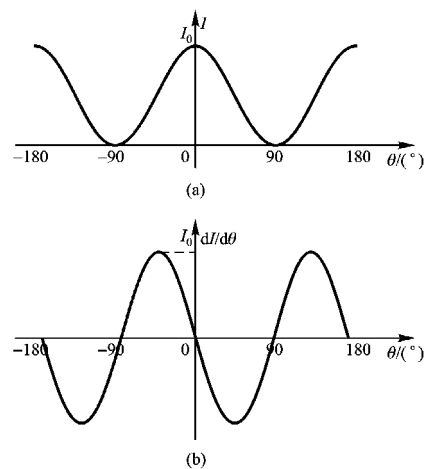


图 1 检偏器出射光强 I 及 $dI/d\theta$ 随检偏角 θ 变化图

收稿日期:2007-04-11; 修回日期:2007-08-26

作者简介:李正平(1963—),男,山东沂南人,山东临沂师范学院物理系副教授,复旦大学物理系访问学者,主要从事物理实验教学研究工作.

光学实验中,对应于韦伯-费希纳定律,刺激差即光强差,所以感觉差为

$$dS = K \frac{dI}{I} = -2K \tan \theta \quad (5)$$

根据式(5)作 $dS/d\theta$ - θ 关系图,结果如图 2 所示。 $dS/d\theta$ 为人眼观测光强的感觉准确度。

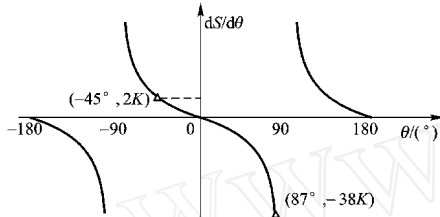


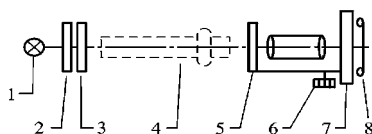
图 2 感觉差变化率 $dS/d\theta$ 与转角 θ 关系图

由图 2 以及韦伯-费希纳定律可以得出如下结论:感觉准确度 $dS/d\theta$ 随 θ 的增大而增大,当 $\theta = 0^\circ$ 时,光强差和视觉差均为零,检偏器出射光强最大,使用该点进行检测定位误差最大;当 $\theta = 45^\circ$ 时,光强差最大,但感觉差不大,所以人眼观测使用该点进行检测定位也会存在不小的误差;当 $\theta = 90^\circ$ 时,该点的光强及光强差均为零,而感觉差达到无穷大,使用该点进行检测定位应该误差最小。但是,人的眼睛有一个最小视觉阈值,若光强小于该阈值,则视觉系统感受不到这一刺激以及刺激变化,因而在该点进行检测时还是存在不小的误差;当 $\theta = 87^\circ$ 时,通常情况下光强大于或等于人眼最小视觉阈值(强光照明时 88° 也可),有较高的视觉差,使用该点进行检测定位误差较小。基于这些计算结果,所以光学实验有关线偏振光旋光角测量有上述几种定位测量方法。

2 人眼目测法旋光仪实验

2.1 实验装置

实验采用 WGX-4 型圆盘旋光仪,其结构如图 3 所示,该旋光仪最小分度值为 0.05° ,分左右两个游标窗口读数。



- 1. 钠光灯 2. 起偏器 3. 1/2 波片 4. 试管 5. 检偏器
6. 手轮 7. 度盘 8. 游标读数窗口及放大镜

图 3 圆盘旋光仪结构简图

2.2 检偏器与起偏器各种夹角实验数据

使用 WGX-4 型圆盘旋光仪,调整检偏器与起

偏器夹角为 $\theta = 0.0^\circ, 45.0^\circ, 87.0^\circ, 90.0^\circ$, 分别在各角度下重复 10 次用视觉检测定位,读取旋光仪游标盘上的读数,计算各角度下测量平均值的标准差,实验结果如表 1 所示。

表 1 检偏器与起偏器不同夹角时定位重复测量结果

$\theta / (^\circ)$	90.0	87.0	45.0	0.0
$\sigma / (^\circ)$	0.07	0.024	0.17	4

表 1 测量数据中, 90° 角对应于圆盘旋光仪三分视场两边最暗,如图 4 中检偏器透振方向在圆盘旋光仪 p_{90} 方位; 87° 角对应检偏器透振方向在圆盘旋光仪 0° 方位,此时三分视场两边与中心一样较暗,即目前旋光仪采用半荫法的检测位置; 45° 角测量时,是将起偏器相对于 $1/2$ 波片旋转 42° 原半荫法位置两者夹角 3° ,对应于图 5 中 p_0 位置。若检测时,将检偏器旋转在 0° 或 90° 位置,对应三分视场两边与中心一样较亮; 0° 角对应检偏器在 p_0 方位,此时三分视场两边最亮,光强为最大出射光强。

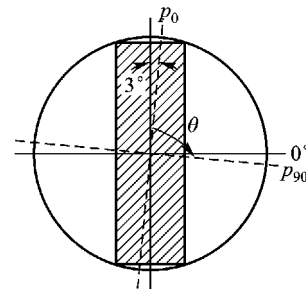


图 4 检偏器与起偏器各种夹角测量示意图

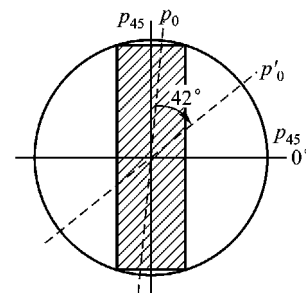


图 5 检偏器与起偏器 45° 夹角测量示意图

2.3 实验数据分析

根据实验数据分析, 90° 角为消光位置,标准差为 0.07° ,误差较小,检测定位较为准确; 87° 角为半荫法检测位置,标准差为 0.024° ,误差最小,检测定位最准,所以该仪器制作中将此位置定为零点位置,对应游标窗口读数为 0° ; 而 45° 角为半光强位置,标准差为 0.17° ,用人眼检测定位准确度一般,有一定误差;至于 0° 角为最大光强位置,标准差为 4° ,

误差最大,检测定位不准.

通过实验结果与理论分析比较得到结果如表 2 所示.

表 2 检偏器与起偏器不同夹角 时实验检测误差分析

$\angle(\theta)$	光强	光强差	视觉差	检测误差
0.0	最大值 I_0	0	0	最大
45.0	$I_0/2$	最大值 1	较小 2	较大
87.0	较小 $I_0/365$	较小 0.1	较大 38	最小
90.0	0	0	最大值	较小

根据以上分析比较,半荫法是检测定位误差最小、准确度最高的方法,但是半荫法需要特别设置 $1/2$ 波长片,如果实验条件不允许,或定位测量要求不高时,可采取偏离消光位置至最小阈值光强单边定位测量 ($= 90^\circ - \theta_0$, 其中 θ_0 为最小阈值光强对应的检偏器偏离消光位置的转角),或测双边最小阈值取中点定位测量 ($= 90^\circ \pm \theta_0$),这样可近似达到半荫法测量的最大准确度.

3 光电传感器检测定位问题

3.1 光电检测的特性分析

光电技术和计算机结合,应用于定位检测会大大提高测量的精度^[6,7]. 笔者对应用于偏振光实验及旋光实验(包括法拉第磁致旋光、克尔电光效应、克尔磁光效应、量糖计、干涉衍射条纹检测等)的光电检测仪器进行实验和分析,发现很多仪器仍然采用视觉检测的定位思路,没有根据光电检测的特点进行设计,从而使检测准确度没有发挥到最大极限,其主要原因是光敏元器件如硅光电池在短路情况下的光照特性是线性的,即硅光电池的短路电流与入射光强(在光敏接收面不变的情况下)在一定范围内呈线性关系,而非视觉的对数关系,因此光敏器件的检测准确度只与光强差成正比,而不与光强成反比,故完全可以把检测点定位在最大光强差 45 处. 当然该处的光强较大,在进行前置放大时可通过调整基准电平的办法,或采用补偿法调零,既可做到很高的放大倍数,同时也有很高的准确度. 补偿法调零参考电路如图 6、图 7 所示.

3.2 光电检测准确度分析

设光电检测的准确度为 M , 则

$$M = \frac{dN}{d} \quad (6)$$

式中 d 为入射的线偏振光与检偏器的相对转角, dN 为光电放大设备显示的光强变化值.

如果光电检测设备的光电转换系数为 G , 电放

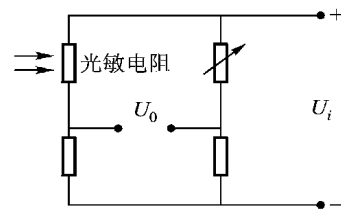


图 6 光敏电阻补偿法调零电路

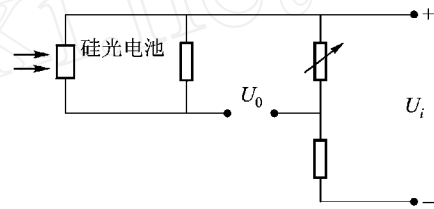


图 7 硅光电池补偿法调零电路

大系数为 E , 则

$$dN = EGdI \quad (7)$$

式中 dI 为光电检测设备当线偏振光与检偏器的相对转角为 d 时的输出光强变化值, 即光强差.

将式(7)代入式(6)得

$$M = EG \frac{dI}{d} \quad (8)$$

由式(8)可以看出当 E 、 G 相同的情况下, 光电检测准确度与光强差成正比. 由式(4)计算分析, 45 处要比 87 处准确度提高一个量级.

3.3 光电传感器测量偏振光实验与分析

笔者在光电检测偏振光实验、电光效应、磁光效应中对此进行了验证, 得到结果一致. 表 3 列出了 FD-OE-2 型光偏振实验仪的实验数据. 检偏器与起偏器各种夹角测量原理如图 8 所示, 测量时起偏器透振方向在 p_0 位置, 检偏器分别放于 p_{90} 、 p_{87} 、 p_{45} 、 p_0 位置, 观测在光功率计读数不变的情况下, 检偏器游标度盘的读数, 重复测量, 计算其标准差, 其中检偏器采用分度值为 0.02 的读数装置.

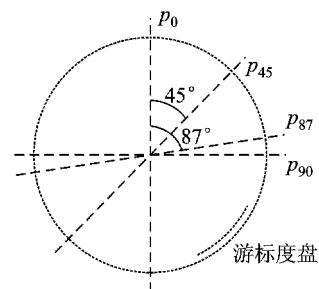


图 8 检偏器与起偏器各种夹角测量示意图

表 3 检偏器与起偏器不同夹角 时实验
仪检偏器刻度盘的测量数据

$\theta / (^\circ)$	90.0	87.0	45.0	0.0
1	32.26	35.06	77.90	123.38
2	32.18	35.12	77.92	122.90
3	32.08	35.10	77.08	120.20
4	32.22	35.14	77.90	121.16
5	31.34	35.18	77.08	120.30
6	31.30	35.10	77.92	121.08
7	32.20	35.16	77.90	120.58
8	31.36	35.08	77.92	121.46
9	31.42	35.02	77.08	121.40
10	31.50	35.10	77.90	121.02
	22	5	2	57

表 3 测量数据中 θ 为检偏器与起偏器夹角为 $\theta = 0.0^\circ, 45.0^\circ, 87.0^\circ, 90.0^\circ$ 时光电检测定位读数测量平均值的标准差。

结果与分析

1) 在光电检测中, 光强差最大的位置, 如检偏器与偏振光夹角为 45.0° 的位置, 检测定位误差是最小的。

2) 由于 45° 位置光强较大, 在仪器设计中, 要保持较大的光电放大倍数, 电路设计中须用调零补偿电路, 会使设计略复杂一些。

4 结束语

长期以来人们对视觉检测中应该以消光位置进

行检测, 还是偏离消光位置进行检测, 存在理论上的模糊, 更无具体的实验验证。本文通过韦伯-费希纳定律以及详细的实验验证, 得出了在消光位置检测误差不是最小的, 而需偏离 $2^\circ \sim 3^\circ$ 进行检测误差最小。在光电检测中, 消光位置的误差同样也不是最小的, 而是在偏离 45° 时误差最小。这一研究结果可以为偏振光有关实验和仪器的设计提供重要依据, 也可供其他物理实验参考。

参考文献:

[1] Fechner G T. Elemente der psychophysik [M], New York: Holt, Rinehart & Winston, 1966: 7-9.
 [2] 姚启钧. 光学教程 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 304-369.
 [3] 袁长坤. 物理量测量 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 242-247.
 [4] 是度芳. 基础物理实验 [M]. 武汉: 湖北科学出版社, 2003: 174-178.
 [5] 沈元华, 陆申龙. 基础物理实验 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 256-261.
 [6] 胡解生, 向东, 郭萍, 等. 光电等厚干涉实验仪 [J]. 大学物理, 2004, 23(10): 43-45.
 [7] 李文成, 谷晋骐, 王涌萍. 双光束干涉条纹间距的在线测量 [J]. 大学物理, 2003, 22(8): 28-30.
 [8] [德] 卫斯特法尔. 物理实验 [M]. 王福山, 译. 上海: 上海科学技术出版社, 1981: 173-179.

Investigation on detection sensitivity of linearly polarized rotatory angle

LI Zheng-ping^{1,2}, MA Shi-hong²

(1. Department of Physics, Linyi Teachers University, Linyi, Shandong 276005, China;

2. Department of Physics, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: It is analyzed theoretically and investigated experimentally for the vision detection and positioning in an experiment of linear polarization rotatory. Under various conditions, the best method of sensitivity detection is suggested by means of detection sensitivity analysis and verification. Finally, the investigation on difference between the detection positioning and vision using photoelectric technique are carried out and the new method and way of increasing detection sensitivity are pointed out.

Key words: Weber - Fechner's law; vision difference; positioning; sensitivity; photoelectric detection