

菲涅耳单缝衍射动态演示实验

潘 毅, 李训谱, 牛孔贞

(南开大学 物理科学学院, 天津 300071)

摘要: 通过设计简单扩束系统获得近似匀强球面波, 并利用计算机技术, 开发出一个可以动态显示菲涅耳单缝衍射光强分布的演示实验。

关键词: 菲涅耳单缝衍射; 近似匀强球面波; 传感器; 演示实验

中图分类号: O 436.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-0712(2005)11-0052-03

衍射理论是光学的重要内容, 衍射现象是光的波动性最重要的体现和证明之一, 相关实验在普物教学中必不可少。菲涅耳衍射是最普遍最基本的衍射现象, 在演示实验教学中应该放在一个重要的位置, 但是目前这方面的演示内容却往往安排得较少, 其原因有两点: 一是菲涅耳衍射所需的单色匀强球面波较难获得; 二是衍射光强分布相当复杂, 不易直观演示。

笔者通过对原有衍射装置进行改进, 设计了新的扩束光路, 获得较好的近似单色匀强球面波, 解决了上述困难, 并利用计算机接口技术实时采集光强数据, 在计算机上直接显示光强分布曲线, 可观察、研究衍射花样的动态变化过程, 收到了很好的教学效果。

1 菲涅耳单缝衍射原理

根据惠更斯—菲涅耳原理, 波前上每一个面元都可看成新的振动中心, 它们发出次波, 空间某点的振动是所有这些次波在该点的相干叠加^[1]。对菲涅耳单缝衍射, 如图 1 所示, S 为光源, MM' 为接收屏, NN' 为单狭缝, 它使光源发出的球面波振面只露出很窄的一部分 BB', 屏上各点的光强便由波振面 BB' 决定。

根据考纽螺线分析, 螺线上的弧长 Δs 与单缝缝宽 d 有如下关系^[2]:

$$\Delta s = d \sqrt{\frac{Rr\lambda}{2(R+r)}}$$

其中 R 为光源与单缝的距离, r 为单缝与接收器的距离, λ 为光波波长。利用上式可将缝宽 d 换算成螺

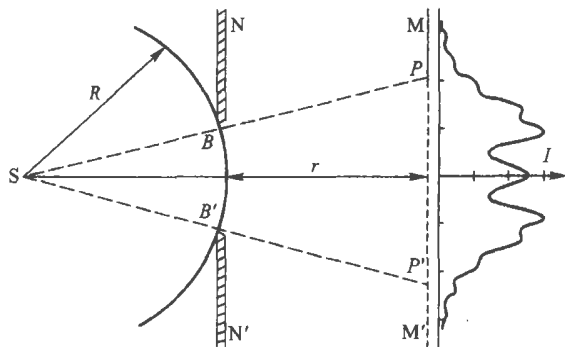


图 1 菲涅耳单缝衍射原理示意图

线上的一段弧长 Δs , 屏上任一点 P 处光强正比于螺线上 Δs 在相应处对应弦长的平方。在考纽螺线上, 相同的弧长在不同的位置有不同的弦长(如图 2 所示), 因而在菲涅耳单缝衍射中, 特定缝宽在屏上不同位置处将得到不同的光强。利用这种方法, 借助计算机编程可计算出菲涅耳单缝衍射在接收屏上沿垂直于缝方向的光强分布^[3,4]。

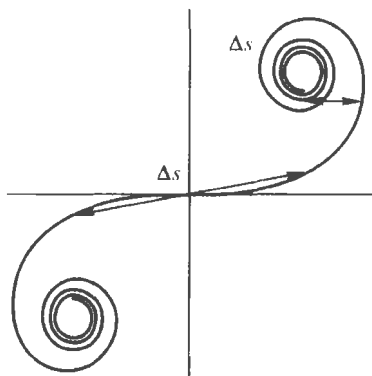


图 2 Δs 在考纽螺线上不同位置有不同弦长

2 实验装置与操作

光源采用 40 mw He—Ne 激光器,扩束系统由凸透镜和小孔组成.在距光源 5 cm 处加凸透镜($f = 4.5$ mm)对激光进行扩束.为使光波强度更加均匀,在扩束镜焦点处加小孔.小孔呈圆形,边缘要很薄很光滑,且一面带有大于 50° 的倒角,将不倒角一面朝向光源方向.小孔所在平面垂直于光轴,孔径的大小与焦点处光束截面大小可比拟($\varnothing = 100 \mu\text{m}$).在距扩束镜 20 cm 处放置单缝(金属狭缝,边缘薄而且齐,缝宽可调).屏后 80 ~ 120 cm 处放置接收器.以上装置固定在光具座上,以保持其水平、共轴.接收器采用光电传感器.传感器用丝杠带动,转动丝杠可使传感器在水平且垂直于光轴的方向平移,将光强值转换成电压信号输入接口电路.此丝杠又通过齿条与手动扫描驱动器连接,扫描驱动器同时将平移量 x 转换成电压值输入接口电路.经计算机处理后,即可在屏幕上实时画出光强在水平方向上的分布曲线.装置示意图如图 3 所示.

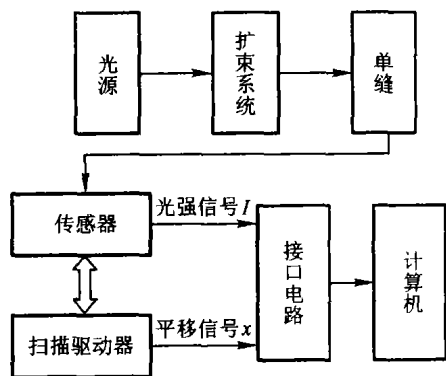


图 3 装置示意图

操作时要注意调节扫描电压控制光强的衰减和放大,使其保持在合适的范围以内.旋转丝杠时要注意平稳、匀速、缓慢,这样可以得到更为光滑连续的曲线.

3 结果与讨论

1) 通过凸透镜扩束,在扩束镜焦点处加入小孔,扩大了光束的截面,降低了激光光强高斯分布的峰值,使光束中心位置处光强变得均匀,可认为是近似匀强球面波.

从光束中心开始测量,得到光强分布如图 4 所示.其中纵轴为相对光强,横轴为传感器平移距离.由图 4 可知,在光束中心处,即实验所需区域内,基

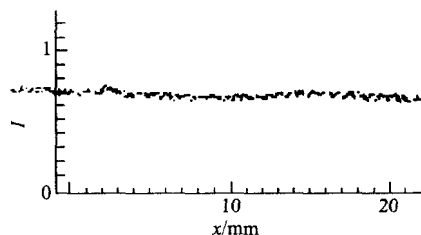


图 4 近似匀强球面波

本上消除了光强的剧烈下降,光强的均匀性相当好.

但是得到的近似匀强光仍有小的起伏,这是激光器或扩束镜上的灰尘产生的圆斑衍射,通过除去灰尘可以克服.

2) 加入可变宽度单狭缝,使缝的直边垂直于接收器上的丝杠,其位置大约在光束截面中部,即遮住光束的一半,稍微超过光强最大处,目的是取光强最均匀的部分.以相对光强为纵坐标,传感器平移距离为横坐标,采用不同的缝宽值,测得一组菲涅耳单缝衍射光强分布曲线,如图 5 所示.

观察所得实验曲线,发现以下一些特点:

① 图 1 中接收屏 PP' 区域以外,根据经典理论光线不能直接到达,称为几何影区.实验测得几何影区光强并不为零,而仍有微弱的分布,并且由近及远光强减弱.

② PP' 区域之内,光强不是均匀分布,而是出现一些峰和谷,即屏上呈现亮暗相间的条纹.随着单缝宽度的增大,峰谷的数目增多,峰谷值的比例也发生变化.

③ 当单缝宽度很大时,衍射光强分布可看成单缝的两个边的直边衍射的组合.

笔者利用考纽螺线借助计算机计算,得到与实验曲线相应的理论曲线^[4],如图 6 所示.

对比图 5 与图 6 可见,在曲线形状、比例方面实验和理论相当吻合.

理论曲线的一些细节,比如小的“台阶”,实验曲线不能体现出来,或不很清楚,这是受实验装置精度所限.另外旋转丝杠时不够平稳、匀速也会导致误差增大,按照正确的规程操作可以得到改善.此外,受装置和系统的精度限制,本实验采用的小孔直径较大,为 $\varnothing = 100 \mu\text{m}$ 的自制薄刃圆孔,如有条件可采用直径更小的针孔,这样会使图像在细节上与理论曲线更加接近.

4 结语

通过采用简单、合理的光路、器件与计算机配

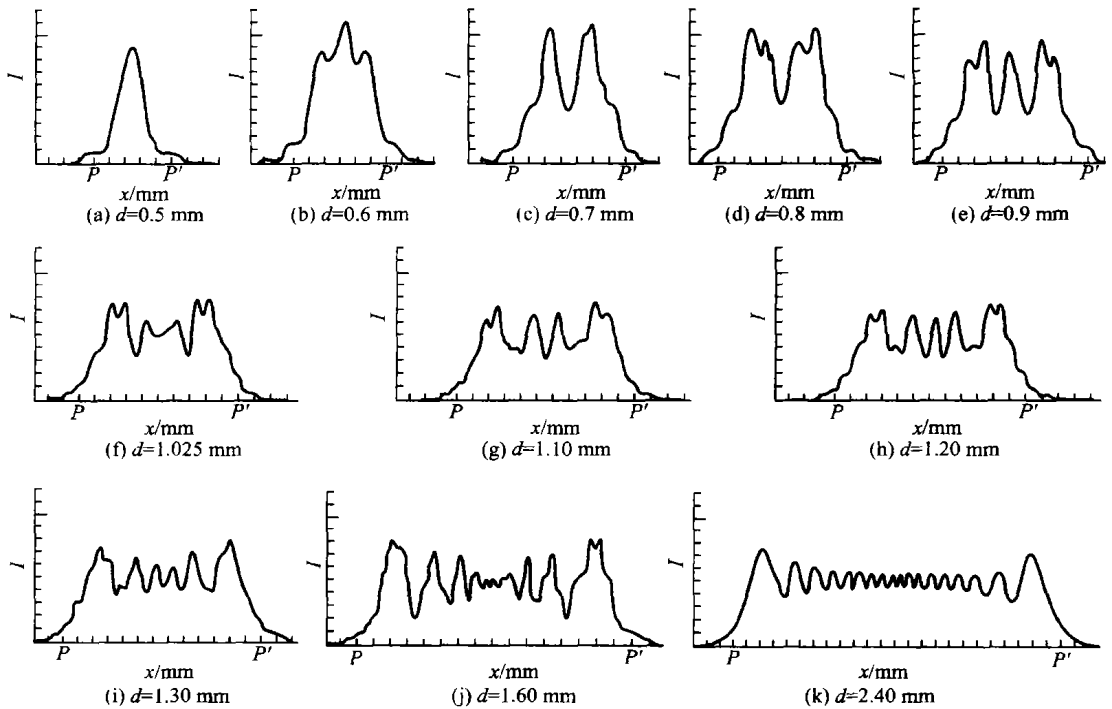


图 5 实验所测光强分布曲线

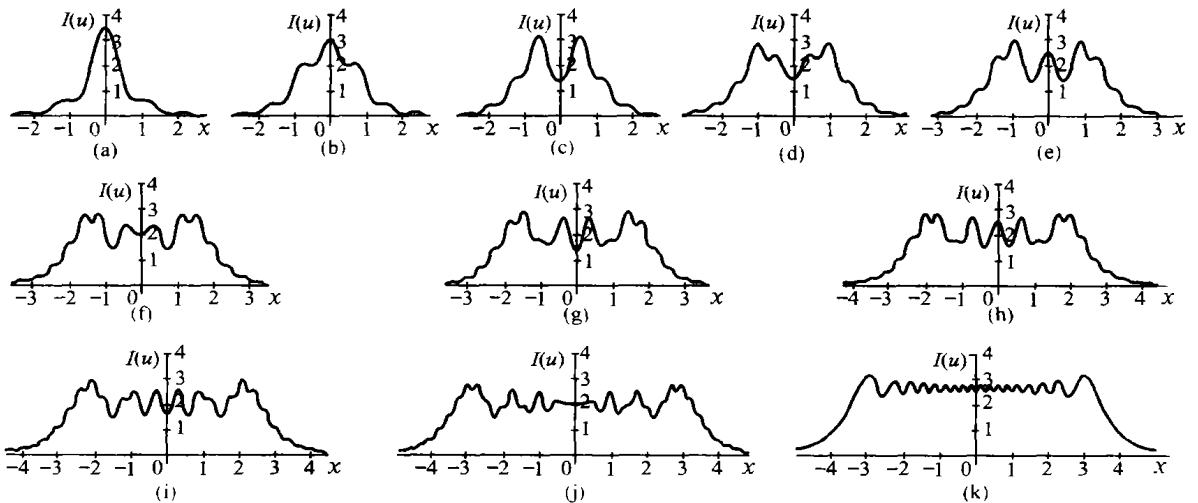


图 6 理论计算光强分布曲线

合,可以成功描绘和显示菲涅耳单缝衍射缝宽变化的衍射花样.用计算机实时采集和处理数据,实验手段先进,精度可靠,使所得实验曲线与理论曲线非常吻合.该实验现象直观、操作性强,能提高学习兴趣,帮助学生从理论与实践的结合方面加深对光学基础知识的学习和掌握.作为一个新实验在教学中应用,收到了良好效果.

参考文献:

[1] 赵凯华,钟锡华.光学[M].北京:人民教育出版社,

1984. 187.

[2] 母国光,战元龄.光学[M].北京:人民教育出版社, 1978. 294 ~ 297.

[3] 赫克特 E 赞斯 A. 光学 下册[M]. 詹达三等译. 北京: 人民教育出版社, 1980. 782 ~ 786.

[4] <http://www.ph.unimelb.edu.au/~ssk/fresnel/slit.html> 2004-9.

(下转 63 页)

5 小结

综合上文所述各类电磁加速器可以看出, 新概念高斯轨道炮结合了其他类型电磁炮的优点, 且消除了它们的缺点, 因而具有更好的性能表现和开发前景, 为电磁动能武器的发展提出了新思路, 有广阔的升级空间.

参考文献:

- [1] 张三慧. 电磁学[M] . 北京: 清华大学出版社, 1999. 206 ~ 211.
[2] Hanitsch R, Hameyer K. Journal of Magnetism and

Magnetic Materials[M] . Amsterdam; North-Holland 1992. 104 ~ 107.

- [3] Kraus John D, Fleisch Daniel A. Electromagnetics with Applications[M] . Fifth Edition. 北京: 清华大学出版社, 2001. 178 ~ 181.
[4] 朱建清. 电磁波工程[M] . 长沙: 国防科技大学出版社, 2003. 42 ~ 55.
[5] 傅丰礼, 唐孝镐. 异步电动机设计手册[M] . 北京: 机械工业出版社, 2002.
[6] 张之翔. 电磁学千题解[M] . 北京: 科学出版社, 2002. 368 ~ 340.

Electromagnetic weapons

WANG Jing¹, JIANG Chen-yu², HE Yan-lan³

(1. Electronic Science College, National University of Defence Technology, Changsha 410073, China;

2. Photoelectricityscience College, National University of Defence Technology, Changsha 410073, China;

3. Science College, National University of Defence Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: The development of electromagnetic weapons is summarized and a new one called recoil gun, an electromagnetic accelerator is introduced.

Key words: electromagnetic accelerator; electromagnetic weapons

(上接 54 页)

Dynamic demonstration of Fresnel single slit diffraction

PAN Yi, LI Xun-pu, NIU Kong-zhen

(Institute of Physics, Nankai University, Tianjing 300071, China)

Abstract: By designing a simple light beam expanding system and using computer technique a physics demonstration is developed that can demonstrate the distribution of light intensity of the Fresnel single slit diffraction realtimely.

Key words: Fresnel single slit diffraction; approximate equal-intensity spherical wave; sensor; demonstration