

# 基于 LabVIEW 的平面透射光栅 虚拟仿真实验开发<sup>①</sup>

王建浩<sup>1</sup>, 赵 琛<sup>1</sup>, 宋昱儒<sup>1</sup>, 高子叶<sup>1</sup>,  
韩志杰<sup>1</sup>, 李 可<sup>2</sup>, 谭兴文<sup>1</sup>, 唐 曦<sup>1</sup>

1. 西南大学 物理科学与技术学院, 重庆 400715; 2. 重庆市朝阳中学校, 重庆 400700

**摘要:** 针对光栅衍射实验教学要求, 开发出一套基于 LabVIEW 的平面光栅虚拟仿真实验系统. 通过调节缝宽和光栅常数等参量, 在系统界面中能直观地观察到波长、光强和衍射条纹之间的对应变化关系, 有助于研究光栅衍射规律; 通过对比夫琅禾费单缝衍射、多光束干涉以及光栅衍射的实验现象, 有助于理解干涉和衍射的区别与联系. 该实验系统界面简洁, 交互性强, 功能丰富. 通过在实验教学过程中引入该仿真实验系统, 能够有效激发学生的主观能动性, 有助于提升学习效果.

**关键词:** 大学物理; 实验教学; 光栅; LabVIEW; 光栅衍射

**中图分类号:** G642.423

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-5471(2020)11-0176-06

在波动光学教学中光栅衍射是重要的内容, 是多光束干涉和夫琅禾费单缝衍射两种效应的叠加. 光栅设计相当精密, 基于光栅原理的实验也常常用于对激光波长和光栅常数等的测量. 而光学实验(包括光栅衍射实验<sup>[1-2]</sup>、光的偏振实验等)因为其对仪器的精密度要求较高且器件易损坏等特点, 往往得不到理想的实验效果, 需要进一步采取现代化的辅助教学手段提升大学生对相关光学知识的理解程度<sup>[3-5]</sup>.

LabVIEW 是一种程序开发环境<sup>[6]</sup>, 由美国国家仪器(NI)公司研制开发, 类似于 C 和 BASIC 开发环境, 但是 LabVIEW 与其他计算机语言存在很大区别: 其他计算机语言都是采用基于文本的语言产生代码, 而 LabVIEW 使用的是图形化编辑语言 G 编写程序, 产生的程序是框图的形式. 在虚拟仿真这一领域里 LabVIEW 也有着独特的优势: ①LabVIEW 具有很好的人机对话界面和良好的接口, 可以通过键盘和鼠标更改程序数据参数, 操作结果可以在个人计算机显示屏幕上生成, 编写程序具有极高的交互性, 效果更加逼真, 这是其他虚拟仿真难以达到的; ②编程方式简单直观, 采用图形 G 语言、图标等代替文本形式编写程序, 是对具体编程问题的图形化的解决方式, 具有层次结构和模块化的特点, 因此使用者也极容易上手, 即使是编程基础薄弱的人也可以很快学会编程; ③LabVIEW 为检测程序错误提供了很大帮助, 它可以设置断点, 使程序中某一部分单独运行, 从而更好地调试、修改程序.

① 收稿日期: 2019-06-14

基金项目: 重庆市教委雏鹰计划研究项目(CY19079), 西南大学“重庆市大学生创新创业训练计划”项目(S201910635027); 西南大学实验技术研究项目(SYJ2019033, SYJ2020033).

作者简介: 王建浩(1997-), 男, 大学本科学历, 主要从事物理虚拟仿真实验的研究.

通信作者: 唐 曦, 高级实验师.

目前 LabVIEW 在测试测量、控制、仿真、教育、快速开发和跨平台开发等各个领域内都得到了长足发展<sup>[7-14]</sup>. 特别地, 基于 LabVIEW 开发环境设计的虚拟仿真实验由于具有成本低廉、交互性强和生动有趣等优点, 近年来受到广泛关注. 目前国外的相关技术开发已趋于成熟, 并被各大高校广泛地运用于教学过程中. 而国内各地高校也纷纷投入资源进行相关研发. 其中, 清华大学、复旦大学、南京大学、哈尔滨工业大学和西南大学等各大高校成功获批国家级虚拟仿真实验教学中心, 在虚拟仪器平台建设方面走在前列.

光栅衍射实验是大学物理实验中非常重要的光学实验. 本研究针对该实验教学过程中面对的各种疑难问题进行仿真开发, 设计了多个实验模块, 并展示了调试效果. 该仿真系统能直观展示各种衍射实验现象, 对教师在课堂演示中进行辅助教学, 提升学生学习兴趣等均有显著效果.

## 1 平面透射光栅结构及其现象

实验装置见图 1,  $S$  为与纸面垂直的线光源, 它位于透镜  $L_1$  的焦平面上, 屏幕放在透镜  $L_2$  的焦平面上, 与单缝衍射不同之处是用一系列等宽等间隔的平行狭缝代替了单狭缝. 各缝的宽度为  $b$ , 相邻两缝之间不透明部分的宽度等于  $a$ , 则  $a + b = d$  称为光栅常量. 它反映光栅的空间周期性, 其倒数  $1/d$  表示每毫米内有多少条狭缝, 称为光栅密度<sup>[15]</sup>.

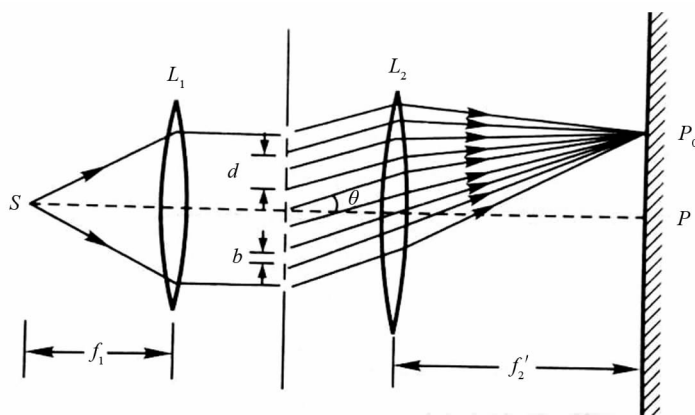


图 1 透射光栅实验装置示意图

实验观察到的衍射图样的强度分布具有以下特征:

- (1) 与单缝衍射图样相比, 多缝衍射的图样中出现一系列新的强度极大值和极小值, 其中那些较强的亮线叫作主极大, 较弱的亮线叫作次极大;
- (2) 主极大的位置与缝数  $N$  无关, 但它们的宽度随  $N$  的增大而减小. 其强度正比于  $N^2$ ;
- (3) 相邻主极大之间有  $N - 1$  条暗纹和  $N - 2$  个次极大;
- (4) 强度分布中保留了单缝衍射因子, 那就是曲线的包迹与单缝衍射强度曲线形式一样.

## 2 虚拟实验系统简介

在充分考虑到相关实验的重难点内容之后, 本研究开发出该套虚拟仿真实验系统. 如图 2 所示, 本虚拟仿真实验平台包含了多个光栅相关实验, 通过切换选项卡能够选取不同的实验. 在选项卡右上方有两个按钮分别为“光源开关”和“退出实验”, 其中点击“光源开关”可以控制是否输入光源, 即光屏上是否有强度图输出. 点击“退出实验”可以结束并退出程序.

### 2.1 光栅仿真选项卡

如图 2a 所示, 光栅仿真面板左上角能够模拟显示光栅结构, 通过调节光栅参数  $b$  (缝宽) 和  $d$  (光栅常数), 可以改变光栅结构, 实验时, 打开光源开关调节适当的  $b, d$  以及光栅缝数的参数值, 同时调节面板左下角的旋钮可以控制入射光的波长. 改变实验参数, 能够在面板右侧光屏处观察衍射条纹强度、颜色等的

变化规律以及对应的波形图变化规律. 为了增加程序可读性使其更加简约美观, 将主要功能模块封装为子 VI 并在主程序中进行调用, 光栅仿真模块对应程序框图(图 2b).

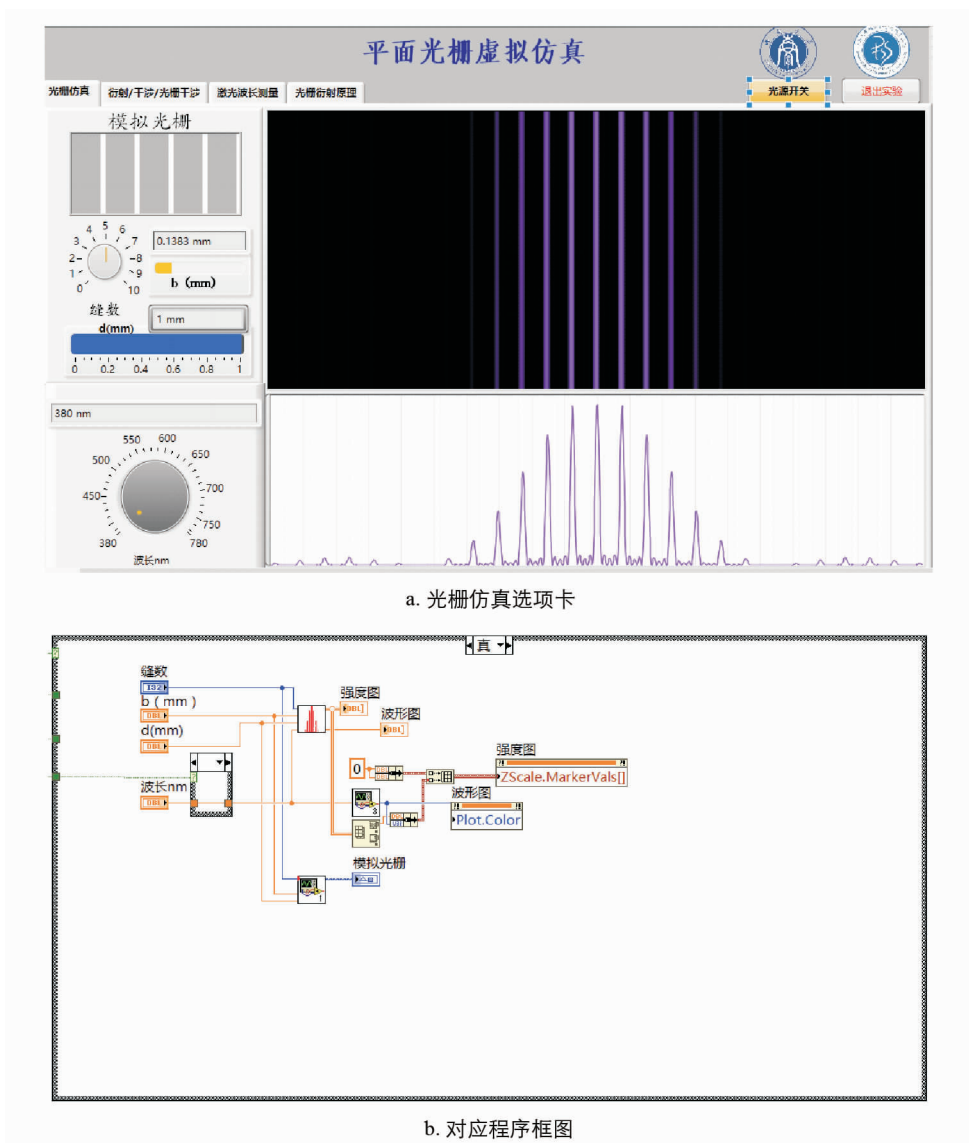


图 2 光栅虚拟仿真实验前面板及程序框图

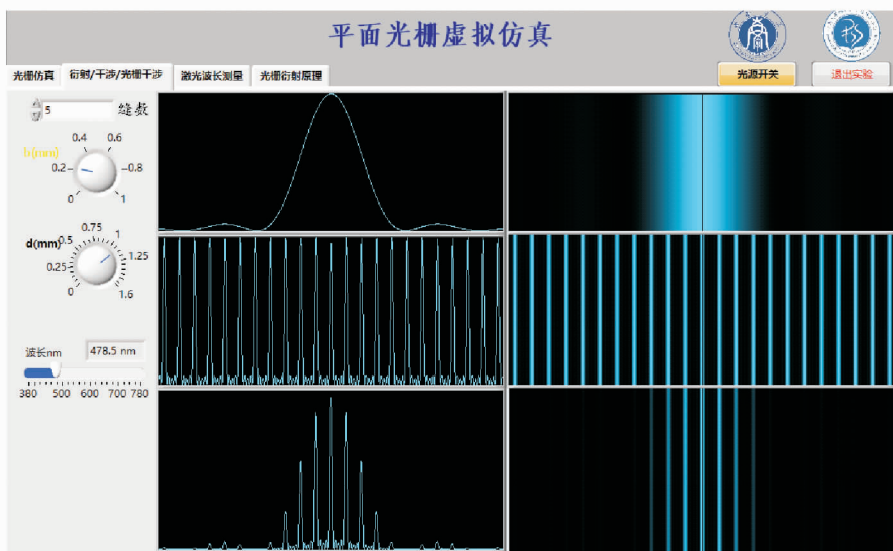
## 2.2 衍射/干涉/光栅干涉:

衍射/干涉/光栅干涉选项卡如图 3a 所示, 同样左侧是  $b$ ,  $d$ 、缝数  $N$  以及光源波长  $\lambda$  的参数控制旋钮. 右侧上方第 1 行分别对应是夫琅禾费单缝衍射波形图及强度分布图, 中间第 2 行是多光束干涉的波形图和强度分布图. 最下方一行对应的是光栅衍射的波形图和强度图分布图. 设置一定的参数值, 观测在相同参数下, 夫琅禾费单缝衍射和多光束干涉以及光栅衍射的相同区别; 了解干涉和衍射的区别与联系, 观察光栅干涉衍射的缺级的现象. 通过光栅干涉光强  $I$  分布公式, 解释光栅干涉衍射现象.

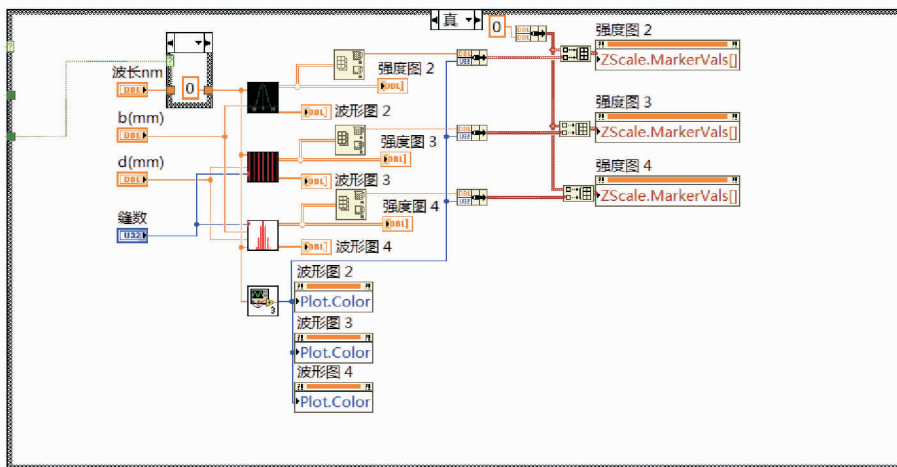
## 3 实验结果展示

### 3.1 认识光栅衍射

打开程序, 选择光栅仿真, 可看到模拟光栅衍射的面板, 上面设有缝数  $N$ ,  $b$ ,  $d$  以及波长的调节, 可通过设置不同的参数来观察衍射情况. 举例说明: (参数可自行设置)



a. 衍射 / 干涉 / 光栅干涉选项卡



b. 对应程序框图

图 3 衍射/干涉/光栅干涉仿真实验前面板及对应程序框图

由光栅仿真演示结果可得到(表 1):

- 1) 相邻主极大之间有  $N - 1$  条暗纹和  $N - 2$  个次极大;
- 2) 主极大的位置与缝数  $N$  无关, 但它们的宽度随  $N$  的增大而减小.

表 1 数据记录表  $\lambda=480 \text{ nm}$   $b=0.2 \text{ mm}$   $d=2b$

缝数 $N$	两主极大之间暗条纹个数	次级大个数	缺级
2	1	0	
3	2	1	
4	3	2	
5	4	3	$\pm 2, \pm 4, \dots$ 缺级
6	5	4	
7	6	5	

### 3.2 衍射干涉缺级对比

当  $\lambda=463.1 \text{ nm}$ ,  $N=4$ ,  $b=0.3 \text{ mm}$ ,  $d=0.6 \text{ mm}$  时, 令  $j$  为光栅衍射图样的主极大的级数, 根据相关理论知识可以得到第  $j$  级谱线的振幅为<sup>[16]</sup>:

$$A_j = \frac{A_0 N}{\pi j} \times \frac{d}{b} \times \sin\left(j\pi \times \frac{b}{d}\right) \quad (1)$$

令  $k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$  为衍射最小值的级数, 由(1)式就可以得到: 若  $j > k$ , 且当  $\frac{d}{b} = \frac{j}{k}$  时  $\sin(j\pi \times \frac{b}{d}) = \sin k\pi = 0$ , 这时  $A_j = 0$ , 即光栅衍射的振幅为零, 在满足干涉光栅方程  $d\sin\theta = j\lambda$  等情况下, 本该出现光栅谱线发生缺级的现象.

图 4 中入射光波长  $\lambda = 463.1 \text{ nm}$ , 光栅的参数为  $N = 4, b = 0.3 \text{ mm}, d = 0.6 \text{ mm}$ , 通过计算  $j = k \frac{d}{b} = \pm 2, \pm 4, \pm 6, \dots$ , 应该会出现缺级, 观察模拟结果可观察到:

- (1) 强度分布中保留了单缝衍射因子, 即曲线的包迹与单缝衍射强度曲线形式一样;
- (2) 在  $\pm 2, \pm 4, \dots$  处缺级.

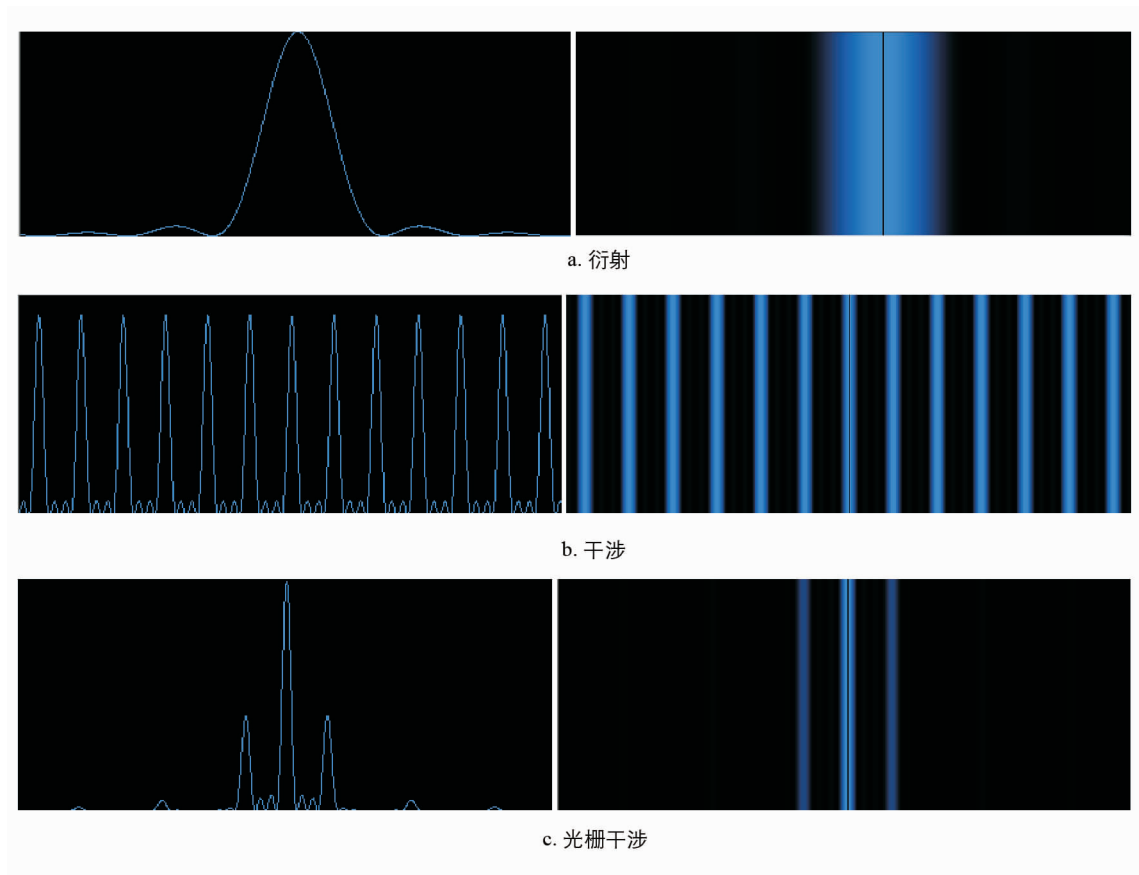


图 4 衍射/干涉/光栅干涉对比图样

这与理论计算一致.

事实上通过理论分析, 单缝衍射、纯干涉, 两者都是波的相干叠加的结果, 只是参与相干叠加的对象有所区别. 一般情况下干涉和衍射的作用时同时存在. 光栅衍射的过程就可以理解为以衍射为主, 衍射和干涉同时存在且相互叠加作用的过程. 从模拟结果三者对比可以更直观地理解这一点.

## 4 结束语

实验演示表明, 本虚拟仿真实验系统能较好地模拟平面透射光栅相关实验内容. 通过模拟实验操作, 该系统较为直观地展示了平面透射光栅各种实验现象, 并辅以相应的数据处理模块, 能够加深学生对光栅衍射物理机制的理解, 并能够帮助学生验证自己的实验结果. 该系统无论是用于课前预习还是课堂演示教学等方面, 都具有较好的教辅效果.

## 参考文献:

- [1] RIVERA-ORTEGA U. A Simple LabVIEW-MATLAB Implementation to Observe the Wavelength Tunability of a Laser Diode with a Diffraction Grating [J]. *Computer Applications in Engineering Education*, 2016, 24(3): 365-370.
- [2] 王维东. 基于 LABVIEW 的高精度光栅细分方法 [J]. *现代科学仪器*, 2012(4): 75-77.
- [3] 高扬清, 陈 桔, 傅晓洁, 等. 一种衍射测量条纹的方法 [J]. *大学物理实验*, 2010, 23(3): 52-54.
- [4] 谢嘉宁, 赵建林. 光栅衍射现象的计算机仿真分析 [J]. *佛山科学技术学院学报(自然科学版)*, 2002, 20(2): 15-18, 75.
- [5] 王奎龙. 基于 LabVIEW 的光学现象模拟 [J]. *大学物理实验*, 2013, 26(6): 67-69.
- [6] 陈锡辉, 张银鸿. LabVIEW 8.20 程序设计从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 109-118.
- [7] 苏 娜. 虚拟仪器 LabVIEW 的发展与应用 [J]. *计算机光盘软件与应用*, 2013, 16(23): 131-132.
- [8] 赵 洁, 张 璐, 李 桃. 论虚拟仪器 LabVIEW 的发展及应用 [J]. *山西电子技术*, 2011(4): 87-89.
- [9] ZHAN W, PORTER J R, MORGAN J A. Experiential Learning of Digital Communication Using LabVIEW [J]. *IEEE Transactions on Education*, 2014, 57(1): 34-41.
- [10] 李 斌, 谭 鹏, 陈国杰, 等. LabVIEW 在物理设计性实验中应用的探讨 [J]. *大学物理实验*, 2012, 25(3): 85-87.
- [11] 胡志丹, 张 钰, 房熊俊, 等. 基于 LabVIEW 的衍射自动演示仪的设计 [J]. *物理实验*, 2009, 29(3): 14-16.
- [12] 翟龙华. 基于 LabView 的光栅衍射虚拟实验研究 [J]. *湖南城市学院学报(自然科学版)*, 2016, 25(4): 75-76.
- [13] 唐 曦, 谭兴文, 雷衍连, 等. 基于 LabVIEW 的声速测量虚拟实验系统 [J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2014, 39(7): 214-217.
- [14] TIERNAN P. Enhancing the Learning Experience of Undergraduate Technology Students with LabVIEW™ Software [J]. *Computers & Education*, 2010, 55(4): 1579-1588.
- [15] 张三慧. 大学基础物理学(下) [M]. 3 版. 北京: 清华大学出版社, 2017: 216-220.

## Virtual Simulation of Plane Transmission Grating Based on LabVIEW

WANG Jian-hao<sup>1</sup>, ZHAO Chen<sup>1</sup>, SONG Yu-ru<sup>1</sup>, GAO Zi-ye<sup>1</sup>,  
HAN Zhi-jie<sup>1</sup>, LI Ke<sup>2</sup>, TAN Xing-wen<sup>1</sup>, TANG Xi<sup>1</sup>

1. School of Physical Science and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Chaoyang Middle School, Chongqing 400700, China

**Abstract:** In order to meet the requirements of grating diffraction experiment teaching, a plane grating virtual simulation experiment system based on LabVIEW has been developed. By adjusting the peak width and grating constant, it can be visually observed the relationship of light intensity, wavelength with the diffraction pattern in the system interface, which will help to study the law of grating diffraction phenomenon. In addition, by comparing the Fraunhofer single slit diffraction, multiple beam interference and grating diffraction experiment together, it will help to understand the difference and connection between the interference and diffraction. The system has simple interface, strong interactivity and rich functions. Through the introduction of the simulation experiment system in the experimental teaching process, it can effectively stimulate the students' subjective initiative, and help to improve the learning effect.

**Key words:** college physics; experimental teaching; grating; LabVIEW

责任编辑 潘春燕