

# 透镜成像中球面像差和色像差的分析与校正

谢革英, 李晨璞, 胡金江, 范虹

(河北建筑工程学院数理系, 河北张家口 075024)

**摘要:** 薄透镜成像中球差和色差对成像效果有严重的影响, 学生在测量透镜过程中很难确定焦点的正确位置, 使得测量误差很大。通过分析薄透镜成像过程中球差和色差产生的原因, 采用在实验中加入光阑和滤光片。通过实验对比发现, 加入光阑和滤光片可有效地减小像差和色差对实验结果的影响, 从而达到减小实验相对误差的目的。

**关键词:** 球面像差; 色像差; 误差

中图分类号: O 435.2 文献标志码: A

文章编号: 1006-7167(2012)11-0037-02



## Analysis and Calibration of Spherical Aberration and Chromatic Aberration in Lens Imaging

XIE Ge-ying, LI Chen-pu, HU Jin-jiang, FAN Hong

(Department of Mathematics and Physics, Hebei Institute of Architecture Civil Engineering,  
Zhangjiakou 075024, China)

**Abstract:** Because the spherical aberration and chromatic aberration of the thin lens has serious effect on the effect of imaging, there exist a great measurement error and it is difficult to determine the correct position of the focus when students measure the focal length of the lens. In this paper, the causes for the spherical aberration and chromatic aberration in thin lens imaging were analyzed. The influence of the spherical aberration and chromatic aberration was effectively reduced by placing the diaphragm and filter between the light source and the lens, thereby, reducing the relative error of the experiment.

**Key words:** spherical aberration; chromatic aberration; standard deviation

## 0 引言

在光学系统中, 由于透镜材料的特性、折射或反射表面的几何形状引起实际像与理想像的偏差, 称为像差。像差一般分为单色像差和色像差(色差)。前者指即使在高度单色光时也会产生的像差, 包括球面像差(球差)、慧形像差和像散、像面弯曲和畸变等, 前三

者使像变得模糊, 而后两者使像发生变形<sup>[1-3]</sup>。一般情况下, 单色像差的5种像差会同时产生, 但在一定的条件下, 可能只有某种像差特别显著。如物点在主轴上时, 只有球差单独产生, 其他像差都不出现, 光束愈宽, 球差愈明显; 物点与主轴间的距离不大时, 除球差仍然存在外, 彗星像差显著增大, 光束即使不太宽, 彗星像差与球差相比仍然不能忽略; 物点与主轴间的距离较大且光束细窄, 像散最为显著; 对狭窄的光束, 球差和彗星像差都不显著; 至于像面弯曲和畸变, 仅在物面特别大时才比较明显, 如果光束细窄, 其他像差都变成次要的了<sup>[4-6]</sup>。

在薄凸透镜焦距测量的实验中, 通过调节接收屏与透镜间的距离可得到物的像, 由于像差的存在使得像的分布区间比较大, 另外, 像的清晰度是以个人的判

收稿日期: 2011-12-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(10973006); 张家口市科技发展项目(1021009B)

作者简介: 谢革英(1969-), 女, 河北张家口人, 硕士, 讲师, 从事大学物理教学和天体物理研究。

Tel.: 13831369200; E-mail: xgysyj00@163.com

别为基础的,所以学生测量的焦距结果也就有比较大的差异,在测量过程中仅仅通过多次测量求平均,不足以减小所测焦距的相对误差<sup>[7-9]</sup>。本文结合实际测量数据,考虑光学系统的像差和色差,得到有效的减小测量误差方法,提高了实验的精准度。

## 1 球差、色差与误差的实验分析

### 1.1 球差和色差的分析

球差亦称球面像差。轴上物点发出的光束经光学系统折射后,与光轴成不同角度的光线交光轴于不同位置,因此在像面上形成一个圆形弥散斑,这就是球差,如图1所示<sup>[1-8]</sup>。球差一般可以通过产生近轴光线和利用选配不同材料的凸凹透镜组合来矫正。

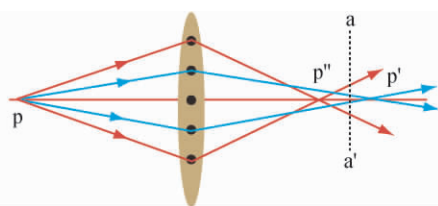


图1 凸透镜折射球差示

色差是透镜成像的一个严重缺陷,在复色光为光源的情况下,入射光是有多波长单色光,因为透镜对不同波长的折射率不同而产生了色差现象,所以单色光是不产生色差的。如图2所示,白光通过透镜时的折射率不单一,一个物点在像方形成一个色斑,不能会聚于同一点形成一彩色像斑,引起色差。

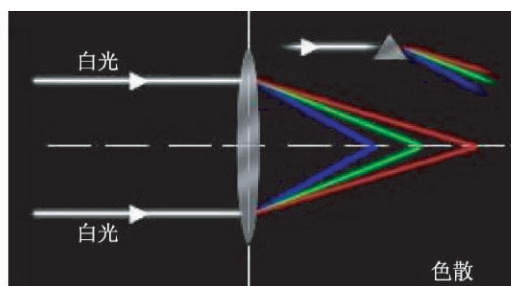


图2 凸透镜折射色

在焦距测量的实验中引起测量误差的主要是球差和色差,使得成像区间较大<sup>[10-12]</sup>。考虑到球差和色差产生的原因,我们通过在光源和透镜间加入光阑、滤光片等装置进行限束和滤光,得到了很好的测量结果。

### 1.2 测量焦距的实验结果

分别采用普通、加光阑(孔径1.5 cm)、同时加滤光片和光阑的复色光(白炽灯)入射,在1.50 Mgp-78光具座上测量透镜焦距(焦距 $f=17$  cm),实验结果如表1所示。

### 1.3 实验结果分析

由表1可知,普通光源成像不清晰,主要是实验中同时存在色差和球差。

表1 凸透镜焦距测量

实验条件	成像特点	测量结果/cm	平均值/cm	相对误差/%
白炽灯	不清晰,像的范围约3 cm	16.12	17.85	5.0
		18.22		
		19.21		
白炽灯加光阑	有清晰,像的范围2 cm	16.98	17.54	3.2
		17.65		
		17.99		
白炽灯加光阑和红色滤光片	只有一个位置清晰	17.37	17.41	2.4
		17.44		
		17.44		
白炽灯加光阑和黄色滤光片	只有一个位置清晰	17.43	17.44	2.5
		17.44		
		17.44		

加上孔径为1.5 cm的光阑的实验成像清晰度有所改善,由于光阑的限制,光束细窄,且成像范围在2 cm内,在一定程度上消除了球差的影响。因为光阑限制了入射光束,使光束以很小的入射角且近光轴入射到薄凸透镜上,入射光的正切的一级近似值等于角的弧度,是十分靠近主光轴的,接近轴理论,可以成一清晰的像,符合成像范围在2 cm内情况。

同时加上光阑和滤光片实验的成像效果更好,这是因为同时减小了像的球差和色差,只在一个位置产生清晰的像。

上述实验说明像的球差和色差对所成像清晰度有明显影响,简单的只用白炽灯光入射像差很大,产生相对误差也比较大。加上光阑和滤光片后,像差得到了有效改善,测量的相对误差也控制在2%~3%。

## 2 结 语

光学系统的缺陷与像的球差和色差同样会影响成像效果,但这是不同概念。如光学材料折射率不均匀、加工工艺粗糙、复合透镜组不共轴等均可以称为光学系统的缺陷;像的球差和色差是由于透镜结构和入射光频率所决定,两者有本质上的差别<sup>[13-15]</sup>。

在焦距测量实验中,多次测量取平均,减小偶然误差和系统误差;旋转180°测量;消除中心位置不准确所引起的误差;左右逼近法,可以消除视差,这些方法在一定程度上减小测量误差。对结果影响明显的是像的球差和色差,像的球差和色差是客观存在的,为了减小误差可以采用在实验中加入光阑和滤光片。

### 参考文献(References):

- [1] 母国光. 光学教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 1983: 254-260.

(下转第73页)



图5 算法设计课程的能力训练构成图

素,该教学方式的特色有:

(1) 任务清晰明确。在课程设计的实习任务发放前,首先将具备完整功能的实验系统进行演示和讲解,学生能清晰、直观的明确目标和任务,提高实习兴趣和目标性。

(2) 训练要点突出。实验系统模块化后,学生能将主要精力用于核心算法上,提高了开发效率,在有限时间内,得到更多的算法训练。

(3) 个体与团队兼顾。实验系统具有统一的测试数据和框架,使得个人的算法模块能嵌入整体系统中,让实践过程既独立,又统一。

从成效上看,实习小组通过调试和改进,完成的算法模块性能优秀,甚至可以与应用软件相应模块媲美。系统可以显示插件的版本和开发者信息,便于教师进行管理和评分。本届学生完成的插件模块能组成一个版本系统,可以和往届学生完成的版本进行综合比较,产生一种良性竞争氛围。性能较优的插件还可以组成高性能的系统,用于生产性实践教学,即用自己制作的软件系统去处理生产数据,进一步激发学生的成就感,由竞争产生兴趣,由兴趣激发能力,由系统构建出学生自主学习的环境<sup>[13]</sup>,使得课程设计成为一种“学习者为中心”的课程设计<sup>[14-15]</sup>。

## 5 结 语

本文阐述的摄影测量算法设计课程的改进,是在

本专业已有的科研成果的基础上,将实际软件开发技术运用到实践教学中,并结合实际教学内容和特点进行调整,丰富了专业算法设计的训练模式,提升了实践教学的整体效能。本实践教学方式要求教师能将专业理论和工程技术相结合,同时具备教师和工程师的双重角色<sup>[16]</sup>。

## 参考文献(References):

- [1] 张祖勋. 由数字摄影测量的发展谈信息化测绘[J]. 武汉大学学报(信息科学版) 2008, 33(2): 111-115.
- [2] 袁修孝. 以科研促进教学的探索与实践[J]. 高教论坛, 2008, (5): 12-14.
- [3] 袁修孝. 摄影测量基础课程的创新教学尝试[J]. 测绘信息与工程 2008, 33(5): 47-49.
- [4] Wilfried Linder. Digital Photogrammetry-A Practical Course [M]. 3rd ed. Springer-Verlag, 2009.
- [5] 张剑清, 潘 励. 摄影测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003.
- [6] 王红莲. 基于空三数据建立立体模型的关键技术研究[J]. 科技咨询 2010(30): 53.
- [7] 全数字摄影测量系统-VirtuoZoNT 使用手册[M]. 武汉: 适普软件有限公司, 2003.
- [8] 丁 磊. 浅谈插件技术及其 C++/VC++ 实现[J]. 电脑与信息技术 2009, 17(5): 58-59.
- [9] 李延春. 软件插件技术的原理与实现[J]. 计算机系统应用 2003 (7): 24-26.
- [10] 李成严, 李博奇. 基于动态链接库技术的软件动态演化方法[J]. 哈尔滨理工大学学报 2009, 14(增刊1): 55-58.
- [11] J. Chris McGlone. Manual Of Photogrammetry [M]. 5th ed ASPRS, 2004: 467-469.
- [12] Harris C, Stephens M. A Combined Corner and Edge Detector [C]// 4th ALVEY Vision Conference. USA: Springer-Verlag, 1988: 147-151.
- [13] 庞维国. 自主学习-学与教的原理和策略[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2003.
- [14] 刘春华. 谈以学习者为中心的课程设计[J]. 长春理工大学学报(高教版). 2009, 4(12): 127-128.
- [15] 吴远宁. 论教师在“以学习者为中心”的课堂教学中的角色[J]. 现代大学教育 2003(5): 107-109.
- [16] 吴 军. 摄影测量教学中的学生实践能力与创新的培养[J]. 桂林电子科技大学学报 2007, 27(5): 435-437.

(上接第38页)

- [2] 徐 红, 安爱芳, 杨能勋. 薄透镜成像中“畸变”的探讨[J]. 延安大学学报 2000, 19(2): 44-46.
- [3] 潘伟珍, 潘超珍. 薄透镜成像实验中容易被忽视的几种现象的探讨[J]. 绍兴文理学院学报 2001, 21(7): 86-89.
- [4] 刘先慧, 梁治慧. 测量薄透镜焦距中存在的问题及解决办法[J]. 西昌师范高等专科学校学报 2004, 16(2): 108-110.
- [5] 郑鹤松. 大学物理设计性实验的教改与思考[J]. 实验技术与管理 2004, 21(5): 102-103.
- [6] 成正维, 牛 原. 大学物理实验[M]. 北京: 北京交通大学出版社, 2010: 175-180.
- [7] 高 峰. 测薄透镜焦距实验中成像位置的确定方法[J]. 衡阳师范学院学报 2002, 23(6): 122-123.
- [8] 姚启钧, 战元龄. 光学[M]. 北京: 人民教育出版社, 1978: 65-102.

- [9] 李振升. 薄透镜测量中的视觉误差[J]. 物理实验 2000, 20(4): 42-43.
- [10] 徐寿泉. 对薄透镜焦距测定实验的一点思考[J]. 承德民族师范高等专科学校学报 2003, 23(2): 30-33.
- [11] 范 虹, 王彦勋, 王瑞军. 大学物理实验[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004: 118-125.
- [12] 帕提玛. 在光具座上测量薄凸透镜焦距的一种新方法[J]. 伊犁师范学院学报 2011(3): 27-28.
- [13] 张以谟. 应用光学(下册)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1982: 85-183.
- [14] 陶淑芬, 周效锋. 测量光具组焦距和基点位置的简便方法[J]. 实验科学与技术 2009, 7(1): 59-60.
- [15] 傅景礼. 旋转二次曲面的成像公式[J]. 大学物理, 1998, 12(2): 20-22.