

# Analysis of Optimal Position for Measuring Focal Length of Convex Lens by Displacement Method

Ye Liu, Cunhai Liu, Kun Wang

Aeronautical Basic College, Naval Aviation University, Yantai Shandong  
Email: liuye0929@163.com

Received: Mar. 22<sup>nd</sup>, 2019; accepted: Apr. 5<sup>th</sup>, 2019; published: Apr. 12<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

In this paper, the focal length of thin convex lens is measured by displacement method and the calculation method of focal length error is discussed. The measurement error caused by position judgment of clear image is discussed, and the influence of object distance on focal length measurement error of the lens is analyzed. The accurate range of focal length determination of thin convex lens is obtained.

## Keywords

Convex Lens, Focal Length, Displacement Method, Error Analysis

---

## 位移法测量透镜焦距的最佳位置分析

柳 叶, 刘存海, 王 坤

海军航空大学航空基础学院, 山东 烟台  
Email: liuye0929@163.com

收稿日期: 2019年3月22日; 录用日期: 2019年4月5日; 发布日期: 2019年4月12日

---

## 摘 要

本文以位移法测量薄凸透镜的焦距并讨论焦距误差的计算方法, 着重讨论清晰像位置判断引起的测量误差, 同时分析改变物距对透镜焦距测量误差的影响, 得出薄凸透镜焦距测定的较准确范围。

## 关键词

凸透镜, 焦距, 位移法, 误差分析

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

凸透镜是各种光学元件中最基本的成像元件, 而透镜最重要的参量就是它的焦距。测量焦距常用的方法有物距像距法(高斯法)、位移法、自准直法[1]、激光法[2]、全息法[3]等, 各方法适用的条件不同, 测量精度也各不相同, 其焦距测量的误差讨论也是多种多样[4] [5] [6]。就透镜成像实验而言, 关键的是确定成清晰像的位置, 在实验过程中, 很多时候学生采用相同的设备, 相同的方法, 但误差差别较大, 学生在实验的时候, 不能正确的解释这个问题, 本文就位移法测量凸透镜的焦距的实验, 分别设计物屏间距离  $L$  不同时, 测量其间距与误差的关系, 让学生可以更好的理解产生误差的原因, 有助于学生更好研究设计透镜焦距的测量。

## 2. 位移法测量薄透镜焦距

### 2.1. 基本原理

当物距在一倍焦距和二倍焦距之间时, 在像方可以获得一放大的实像; 物距大于二倍焦距时, 在像方可以得到一缩小的实像。当物和屏之间的距离  $L > 4f$  时, 固定物和屏, 移动透镜从  $O_1$  处至  $O_2$  处(如图 1), 在像屏上可分别获得放大和缩小的实像。 $O_1, O_2$  间距离为  $d$ , 通过物像公式, 可得

$$f = \frac{L^2 - d^2}{4L} \quad (1)$$

通过式(1), 只要测得  $L, d$ , 即可获得焦距  $f$ 。

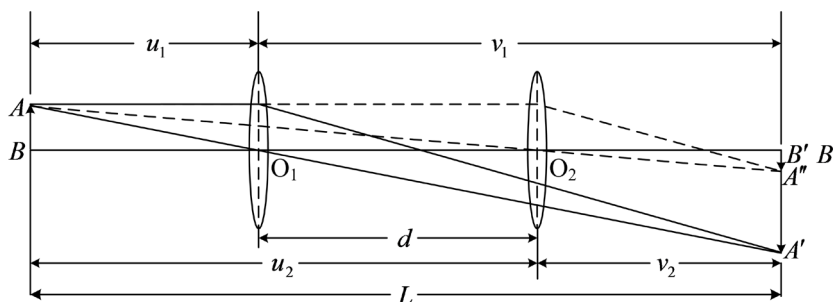
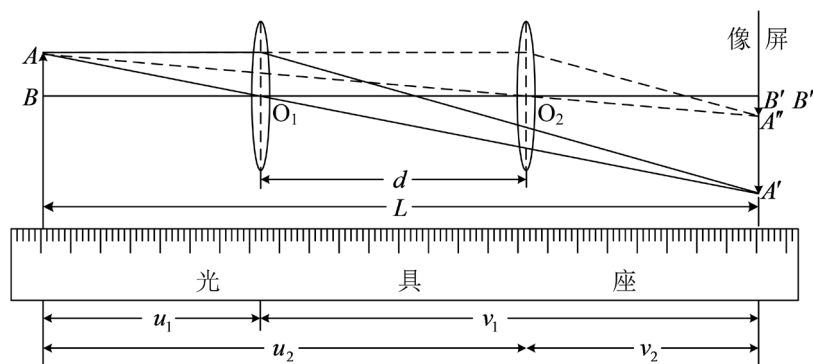


Figure 1. Measuring principle diagram of convex lens by displacement method

图 1. 位移法测凸透镜焦距原理图

### 2.2. 测量方法

设物和像屏之间的距离为  $L$  (要求  $L > 4f$ ), 并保持不变(如图 2 所示)。移动透镜, 在  $O_2$  位置时成缩小的实像,  $O_1, O_2$  之间的距离记为  $d$ , 则透镜的焦距  $f$  可以由  $L, d$  两个量得到。



**Figure 2.** Experimental device for focal length of convex lens measured by displacement method  
**图 2.** 位移法测凸透镜焦距实验图

透镜在 I ( $x_1$ ) 位置时, 成倒立、放大的实像  $A'B'$ , 透镜在 II ( $x_2$ ) 位置时, 成倒立、缩小的实像  $A''B''$ 。根据公式:

$$\frac{1}{u_1} + \frac{1}{v_1} = \frac{1}{f} \quad (2)$$

$$\frac{1}{u_2} + \frac{1}{v_2} = \frac{1}{f} \quad (3)$$

$$u_1 + u_2 = L \quad u_2 - u_1 = d$$

$$v_1 + v_2 = L \quad v_2 - v_1 = d$$

$$\text{由(1)(2)得 } f = \frac{L^2 - d^2}{4L}$$

测量方法的选择: 位移法测量条件的选择: 位移法满足物与像要保持一定的  $L$ , 且  $L > 4f$ 。在物距像距法时取  $u = 2f$

方案的可行性分析: 位移法误差小, 准确度高[7] [8] [9]。把焦距的测量归结为对于可以精确测量的量  $D$  和  $d$  的测量, 避免了测量  $u$  和  $v$  时, 由于估计透镜光心位置不准带来的偏差, 因此不需要准确确定凸透镜光心的位置。为了准确地找到像的最清晰位置, 可采用左右逼近法读数[10] [11]。

### 2.3. 测量数据及数据处理

本实验按照上述测量方法, 分别保持物与屏距离为  $4.0f$  到  $5.4f$ , 间隔为  $0.1f$  进行测量, 如表 1 中分别记录了物屏间距离  $L$ , 成像位置确定采用左右逼近法读数, 分别记录了清晰成像的两边界位置, 大像位置两边界记为  $x_1$ 、 $x_2$ , 小像位置两边界记为  $x_3$ 、 $x_4$ , 两像间距离  $d$ , 并根据公式  $f = \frac{L^2 - d^2}{4L}$ , 计算焦距  $f$ 。并根据表 1 中数据物屏距离与焦距的关系, 绘制图 3, 如图 3 可以看出随之物屏间距离增大, 测量焦距先增大后减少, 并且在物屏间距离在 70.00 cm 附近接近峰值。

**Table 1.** List of data for lens focal length measurement

**表 1.** 透镜焦距测量的数据列表

项目 次数	物屏距离 $L/\text{cm}$	大像位置 $x_1/\text{cm}$	大像位置 $x_2/\text{cm}$	小像位置 $x_3/\text{cm}$	小像位置 $x_4/\text{cm}$	两像距离 $d/\text{cm}$	焦距 $f/\text{cm}$
1	60.0	29.35	30.17	37.90	38.30	8.34	14.71

Continued

2	61.5	28.71	29.62	41.55	42.15	12.68	14.72
3	63.0	27.90	28.45	43.73	44.05	15.71	14.78
4	64.5	26.99	28.09	45.78	45.98	18.34	14.82
5	66.0	26.60	28.00	47.61	48.21	20.61	14.89
6	67.5	26.50	27.90	49.78	50.18	22.78	14.96
7	69.0	25.92	26.60	50.89	51.11	24.74	15.03
8	70.5	25.30	26.59	53.39	53.79	27.64	14.92
9	72.0	25.00	26.35	55.55	55.85	30.02	14.87
10	73.5	24.92	26.28	57.70	58.10	32.30	14.83
11	75.0	24.55	25.70	59.25	59.65	34.32	14.82
12	76.5	24.35	25.38	62.46	62.66	37.69	14.80
13	78.0	24.20	24.58	62.42	62.86	38.25	14.81
14	79.5	24.17	24.60	64.41	64.89	40.26	14.78
15	81.0	23.95	24.56	66.30	66.54	42.16	14.76

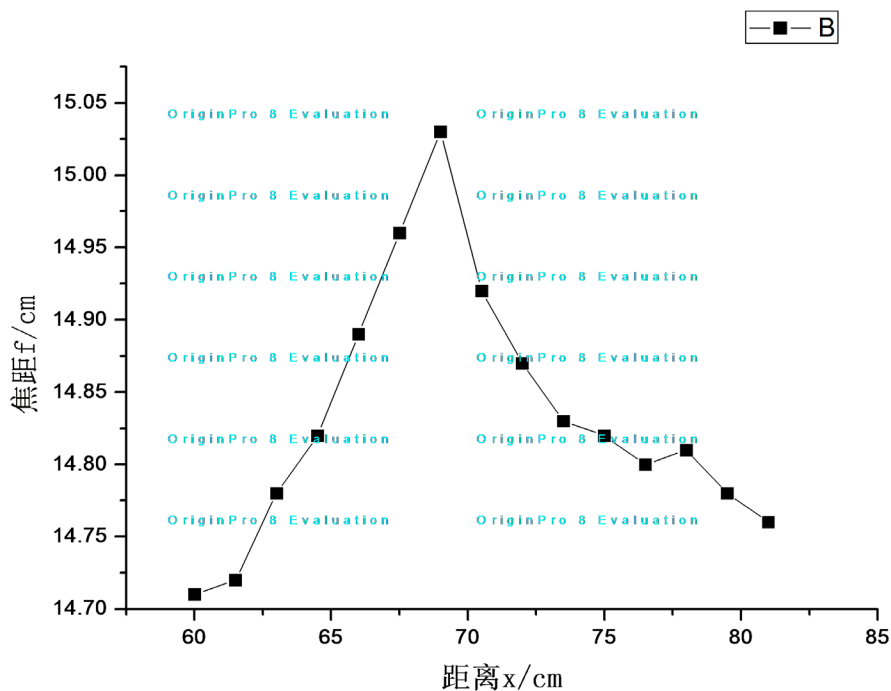
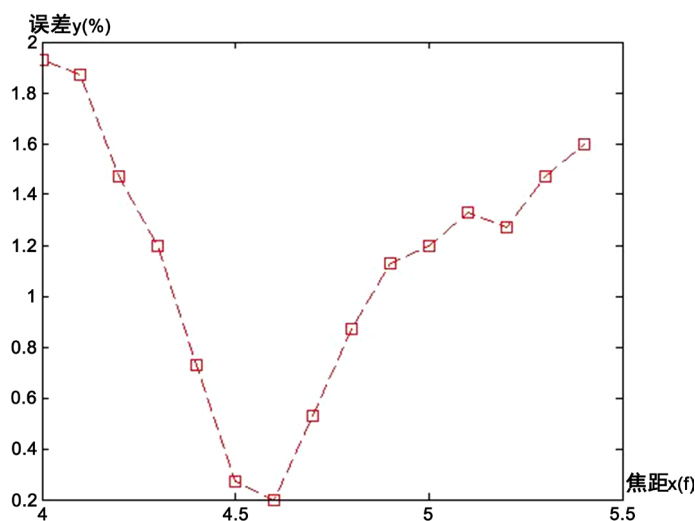


Figure 3. Relationship between lens focal length and object and screen distance  
图 3. 透镜焦距  $f$  与物屏距离  $L$  的关系

表 2 中的数据是根据表 1 计算的焦距值计算相对误差的，并列出了相对误差与物屏间距离之间的关系，并利用表 2 的数据，绘制曲线如图 4 所示，如图 4 所示，可以清晰的表示出当物屏间距离为  $4.5f$  到  $4.7f$  之间相对误差最小。

**Table 2.** List of relative error and material distance data  
**表 2.** 相对误差与物距关系数据列表

距离	$4.0f$	$4.1f$	$4.2f$	$4.3f$	$4.4f$	$4.5f$	$4.6f$	$4.7f$
焦距	14.71	14.72	14.78	14.82	14.89	14.96	15.03	14.92
相对误差	1.93%	1.87%	1.47%	1.20%	0.73%	0.27%	0.20%	0.53%
距离	$4.8f$	$4.9f$	$5.0f$	$5.1f$	$5.2f$	$5.3f$	$5.4f$	
焦距	14.87	14.83	14.82	14.80	14.81	14.78	14.76	
相对误差	0.87%	1.13%	1.20%	1.33%	1.27%	1.47%	1.60%	



**Figure 4.** Relation between relative error and object and screen distance  
**图 4.** 相对误差与物屏距离的关系

### 3. 实验结果分析

实验测得透镜焦距如图 3 所示, 由图可见, 随着物距的变化测得的焦距值有所波动, 在  $4.5f$  到  $4.7f$  间, 测量值与真实值较为接近, 误差较小, 实验结果相对准确, 说明实验结果切实可信。

图 4 显示的是相对误差与物距的关系。由图像知, 在  $4.0f$  到  $4.6f$  间, 相对误差随物距增大而逐渐减小, 在  $4.6f$  到  $5.4f$  间, 相对误差随物距增大而逐渐增大, 在  $4.5f$  到  $4.7f$  间, 相对误差变化比较平稳且较小, 实验时应注意选择。

### 4. 结论

本文介绍了位移法测量透镜焦距的原理及测量方法, 实验中分别保持物屏间距  $4.0f$  到  $5.4f$ , 间隔为  $0.1f$  进行测量, 实验结果表明当物屏间距离  $4.5f$  到  $4.7f$  间, 相对误差变化比较平稳且较小, 可以获得较好的实验结果。

通过讨论实验误差及其处理方法, 可以使参与实验者更加深刻地理解物理实验的内涵, 进一步开拓为开放性 or 设计性实验的教学, 让学生自主探究实验中出现的问題: 为什么测量误差较大, 误差产生的原因及解决办法等等, 培养科学严谨的实验态度, 这对于物理的学习有重要的意义。并且由点及面, 将科学的实验方法延展到各个学科, 便会产生不一样的效果。

## 参考文献

- [1] 苏大图. 光学测试技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1996: 116-122.
- [2] 何俊芳, 朱海永, 等. 激光热透镜焦距测量实验及其公式改进[J]. 物理实验, 2011, 31(11): 22-24.
- [3] 岳巾英, 刘华, 许文斌, 等. 计算全息法测量长焦透镜面形和焦距[J]. 中国光学与应用光学, 2009, 2(6): 502-507.
- [4] 王云创, 李得尧, 邢娟. 光心指示偏差与焦距测量误差关系的研究[J]. 物理通报, 2001(3): 24-25.
- [5] 王云创, 刘俊杰, 等. 透镜倾斜对焦距测量误差的影响[J]. 物理与工程, 2016, 26(3): 45-48.
- [6] 王云创. 几何光学实验中一现象的理论描述和验证[J]. 物理通报, 2002(5): 23-24.
- [7] 顾菊观, 钱淑珍. 凸透镜焦距测量方法的探索[J]. 大学物理实验, 2014(1): 49-51.
- [8] 李伟, 张丽巍, 等. 薄透镜焦距测量方法的研究[J]. 大学物理实验, 2014, 27(1): 34-36.
- [9] 李伟, 刘超, 等. 薄透镜焦距测量方法的研究[J]. 物理实验, 2014, 34(7): 27-29.
- [10] 翁存程, 林莉玲. 薄透镜成像实验中的共轴调节[J]. 大学物理实验, 2010, 23(4): 40-42.
- [11] 葛国芳. “透镜焦距测量”实验中物屏的改进[J]. 大学物理实验, 2011, 24(4): 29-30.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7567, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [app@hanspub.org](mailto:app@hanspub.org)