



高等学校电子技术类“十三五”规划教材

电子科学与技术 专业实验

主编 杨威



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子技术类“十三五”规划教材

电子科学与技术专业实验

主编 杨 威

参编 刘 鑫 李兵斌 韩 亮



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是高等院校光电技术类本科专业“专业基础实验”和“专业实验”课程的配套教材。全书共包含 28 个实验项目,内容涉及基础光学、激光技术、光电探测与测量、光纤技术、三维显示等,涵盖了应用光学、物理光学、红外物理、激光原理等基础理论知识。

本书内容与专业理论知识联系紧密,涉及的专业知识面广,实用性强,突出了对学生实际动手能力和工程实践能力的培养。每个实验项目都包括实验目的、实验原理、实验仪器、实验内容及步骤、数据处理、思考与讨论以及参考文献,既易于教师组织教学,也便于学生自学。

本书可作为光电信息科学与工程、电子科学与技术等本科专业的光电技术实验教材,也可作为电子与信息工程类专业、物理类等本科专业的光电技术实验教材。

图书在版编目(CIP)数据

电子科学与技术专业实验/杨威主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2018.1

ISBN 978-7-5606-4814-9

I. ①电… II. ①杨… III. ①电子技术—实验—高等学校—教材 IV. ①TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 009958 号

策划编辑 李惠萍

责任编辑 马晓娟

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467

邮 编 710071

网 址 www.xduph.com

电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西利达印务有限责任公司

版 次 2018 年 2 月第 1 版

2018 年 2 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16

印张 12.5

字 数 294 千字

印 数 2000 册

定 价 28.00 元

ISBN 978-7-5606-4814-9/TN

XDUP 5116001-1

***** 如有印装问题可调换 *****

前言

PREFACE

随着国家教育改革的深入推进，各高校对学生的素质教育越来越重视，基于专业理论知识的实验课程是素质教育的重要内容。“纸上得来终觉浅，绝知此事要躬行”，通过开设实验课程，可以让学生加深对理论知识的理解，巩固所学知识，在潜移默化中提高实际动手能力和工程实践能力。实验教学已经成为高等学校培养具有创新意识的高素质工程技术人员的重要环节，是理论联系实际、学以致用、培养学生掌握科学方法和提高学生动手能力的重要平台。

光电技术是二十一世纪发展最为迅速的信息技术之一，它综合了光学、光电子学、激光技术、电子技术、计算机技术等众多学科，有着广泛的工程应用背景。在当前“新工科”建设的背景下，为了培养光电技术相关专业本科生正确运用专业理论知识分析和解决实际工程问题的能力，特编写出版了本书，希望能对当前光电技术相关专业的实践教学环节起到一定的促进作用。

本书共包括 28 个实验项目，综合了应用光学、物理光学、红外物理、激光原理等基础理论知识，既涉及光学方面的基础实验，也涉及光电技术的综合应用实验。通过这些实验，可以使得学生在巩固专业基础知识的同时，开阔视野，贴近光电技术发展前沿，掌握常用光学仪器、设备的基本工作原理和操作技能，强化工程实践能力，为今后从事相关技术应用和研究工作奠定良好的基础。

本书由杨威主编，参加本书编写工作的还有刘鑫、李兵斌、韩亮等。在编写过程中参考使用了北京杏林睿光科技有限公司等实验仪器厂家所提供的授权资料，吸收了许多兄弟院校的实验资料内容和教学经验，在此一并表示衷心感谢！

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和不足之处，敬请读者批评指正。

编者

2017 年 12 月

目 录

CONTENTS

实验一	光学系统焦距测量	1
实验二	平行光管的使用及光学系统景深测量	7
实验三	光学系统基点测量	14
实验四	光源光度测量	20
实验五	光源发光效率测量	25
实验六	典型光学系统性能参数测量	30
实验七	声光效应观测	38
实验八	声光调制实验	44
实验九	电光效应观测	52
实验十	电光调制实验	63
实验十一	氦氖激光器光束参数测量	69
实验十二	氦氖激光器模式测量	78
实验十三	氦氖激光器光束变换	86
实验十四	半外腔氦氖激光器的装调	91
实验十五	钕玻璃激光器的装调	97
实验十六	半导体激光器参数测量	102
实验十七	二极管泵浦固体激光器综合实验	112
实验十八	CCD 测谱参数	117
实验十九	光纤通信综合实验	124
实验二十	电压传感实验	130
实验二十一	电流传感实验	136
实验二十二	激光非线性热对流斑图观测	143
实验二十三	黑体辐射源的辐射特性测量	149

实验二十四	物质热扩散系数测量.....	160
实验二十五	立体图像舒适性评价.....	167
实验二十六	双目立体视觉获取及参数测量.....	175
实验二十七	三维数字化测量.....	184
实验二十八	光电效应法测定普朗克常数.....	189

实验一 光学系统焦距测量

光学系统是由基本光学元件构成的,其中由折射球面构成的透镜是最常用的光学元件之一。透镜分为会聚透镜和发散透镜两类。典型光学系统多数是由单透镜或胶合透镜构成的共轴球面光学系统。焦距是光学系统的重要性能参量。

本实验以最简单的薄透镜为例,研究光学系统焦距的测量方法。透镜焦距的一般求解方法是通过测量物距与像距来计算,但是此种方法精度不高。自准直法和二次成像法是光学实验中常用的焦距测量方法。

一、实验目的

- (1) 深刻理解薄透镜的成像规律和光学系统焦距的概念。
- (2) 掌握自准直法、二次成像法等测量薄透镜焦距的工作原理及数据记录、处理方法。
- (3) 学习利用光具座进行系统设计、搭建和调节光路的技能。
- (4) 拓展研究光学系统焦距的其他测量方法。

二、实验原理

1. 薄透镜成像规律验证

在透镜成像中,如果透镜的厚度对于成像的位置和质量影响较小,可以忽略时,这种透镜称为薄透镜。一束平行于正透镜主光轴的光线通过透镜后将会聚于正透镜的主光轴上,会聚点 F' 称为该透镜的焦点,透镜中心 O 到焦点 F' 的距离称为焦距 f' ,如图 1.1 所示。同样,一束平行于负透镜主光轴的光线通过透镜后将发散,发散光的延长线与主光轴的交点 F' 称为该透镜的焦点。薄透镜的物方焦点和像方焦点对称地分居在其光心的两侧,即物方焦距和像方焦距的绝对值相等。

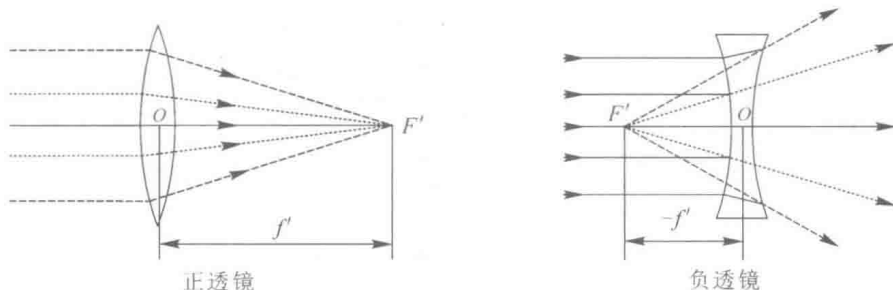


图 1.1 薄透镜的焦点和焦距

当物体放置在透镜物方空间时，其像方空间一定有对应的像。根据物体到透镜的主面距离不同，相应成像的特点也不同。根据图解法，可以得到正透镜的成像规律，如图 1.2 所示。

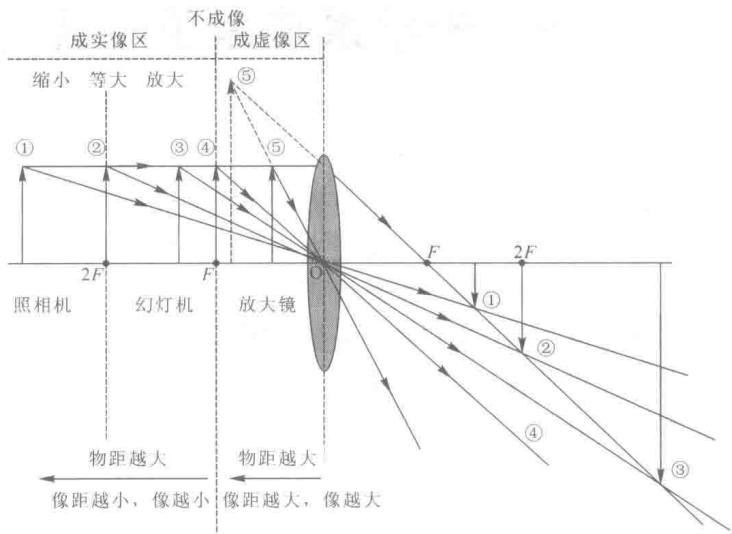


图 1.2 正透镜成像规律示意图

实验时要求所有实验仪器都同轴等高，否则会产生像的大小差异、图形失真和图像平移等影响实验结果的现象。

2. 自准直法测量薄透镜焦距

如图 1.3 所示，若物体 AB 正好处于透镜 L 的物方焦面处，那么物体上各点发出的光经过透镜后，将变成不同方向的平行光，经透镜后方的反射镜 M 把平行光反射回来，反射光经过透镜后，成一倒立的、与原物大小相同的实像 $A'B'$ ，像 $A'B'$ 位于原物平面处，即成像于该透镜的前焦面上。此时，物与透镜之间的距离就是透镜的焦距 f ，它的大小可用刻度尺直接测量出来。

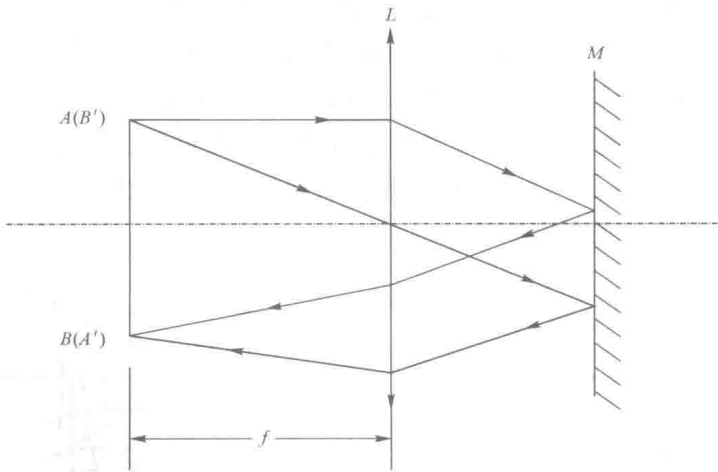


图 1.3 自准直法测量凸透镜焦距原理图

3. 二次成像法测量薄透镜焦距

如图 1.4 所示，物体与像屏之间的距离 l 大于 4 倍凸透镜焦距 f ，并保持 l 不变，沿光

轴方向移动透镜,则在像屏上必能两次成像。当透镜在位置 L 时将出现一个放大的清晰的像;当透镜在虚线位置时,屏上又将出现一个缩小的清晰的像。透镜两位置之间的距离的绝对值为 d 。运用物像的共轭对称性质,可以证明:

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

式(1-1)表明,只要测出 d 和 l ,就可以算出 f' 。由于是通过透镜两次成像而求得的 f' ,因此这种方法称为二次成像法或贝塞尔法。这种方法不需要考虑透镜本身的厚度,因此用这种方法测出的焦距一般较为准确。

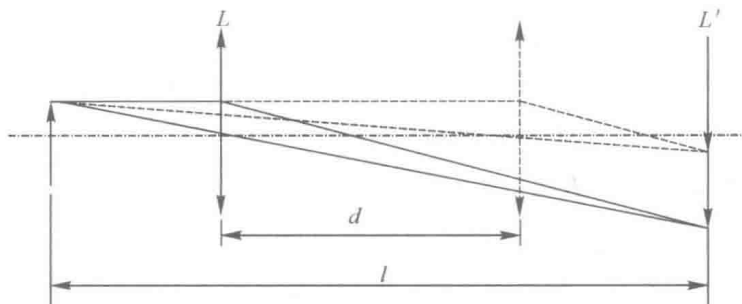


图 1.4 二次成像法测量透镜焦距原理图

三、实验仪器

本实验所用仪器包括:白色 LED 光源、毛玻璃、目标板、凸透镜(Φ : 40 mm, f : 150 mm)、加强铝反射镜、白屏(带刻线)、干板夹、光具座、支架、支架杆。

四、实验内容及步骤

1. 薄透镜成像规律验证

(1) 按照图 1.5 安装各仪器,其中物为目标板,将其固定在无限远与二倍物方焦距之间($2f < l < \infty$)。凸透镜移至两倍焦距以外固定。移动白屏,直到出现一个清晰的像时,记录物距 l 、物高 y 、像距 l_1 、像高 y_1 ,并比较物距与像距的大小、物与像的大小、物与像的正倒关系。

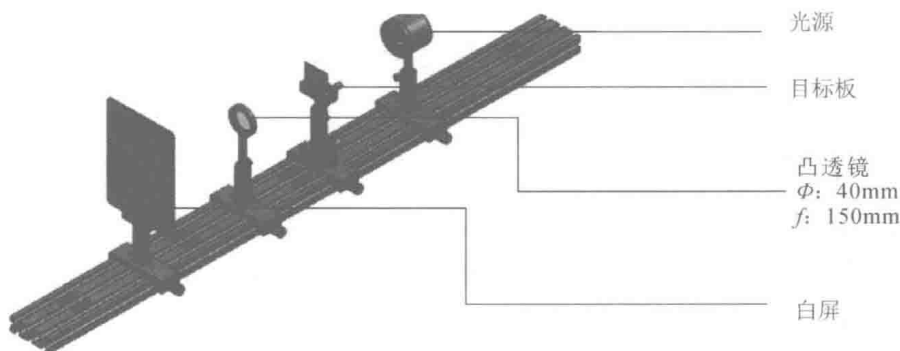


图 1.5 薄透镜成像规律验证装配图

(2) 把目标板向透镜方向移动, 使 $l=2f$ 时, 移动白屏, 使白屏上出现清晰的像。记录物距 l 、物高 y 、像距 l_1 、像高 y_1 , 并比较物距与像距的大小、物与像的大小、物与像的正倒关系。

(3) 继续把目标板向透镜方向移动, 使其在距透镜 $f \sim 2f$ 之间时, 移动白屏使其上出现清晰的像。测量物距 l 、物高 y 、像距 l_1 、像高 y_1 , 并比较物距与像距的大小、物与像的大小、物与像的正倒关系。

(4) 继续把目标板向透镜方向移动, 使 l 在靠近透镜焦距时通过透镜观察像的变化。记录成像的虚实情况, 比较像与物的大小及其正倒关系。

(5) 继续将目标板向透镜方向移动, 在距透镜的距离小于焦距 f (即 $0 < l < f$) 时用眼通过透镜观察像的变化。记录成像的虚实情况, 比较像与物的大小、正倒关系。

2. 自准直法测量薄透镜焦距

(1) 按照图 1.6 安装各仪器, 固定好目标板(目标物如图 1.6 所示)与反射镜, 估算待测透镜焦距, 调整目标板与反射镜的位置, 使两器件距离大于待测透镜焦距。

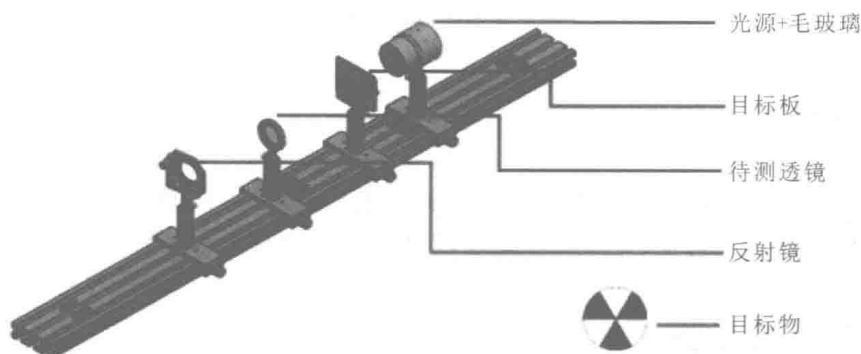


图 1.6 自准直法测量透镜焦距光路装配图

(2) 在目标板后放置待测透镜, 并调整待测透镜与物体位置, 使得反射光通过待测透镜打到目标板上, 形成倒立的像。前后移动反射镜时, 要求目标板上所成像的大小不变, 即形成等大倒立的像。若不满足, 则继续调整待测透镜。

(3) 记录此时待测透镜与目标板的位置, 分别为 a_1 、 a_2 , 则待测透镜的焦距为 $f = a_2 - a_1$ 。

(4) 把透镜翻转, 重复步骤(2)、(3), 然后取两次测量所得焦距的平均值为该透镜的焦距。

3. 二次成像法测量薄透镜焦距

(1) 按照图 1.7 安装各仪器, 使目标板与白屏之间的距离尽可能大, 以达到 $l > 4f'$ 。

(2) 移动待测透镜, 使被照亮的目标板在白屏上成一清晰的放大像, 记录待测透镜的位置 a_1 和目标板与白屏间的距离 l 。

(3) 再移动待测透镜, 直至在白屏上成一清晰的缩小像, 记下待测透镜的位置 a_2 , 若无法两次清晰成像, 则增大目标板与白屏之间的距离。

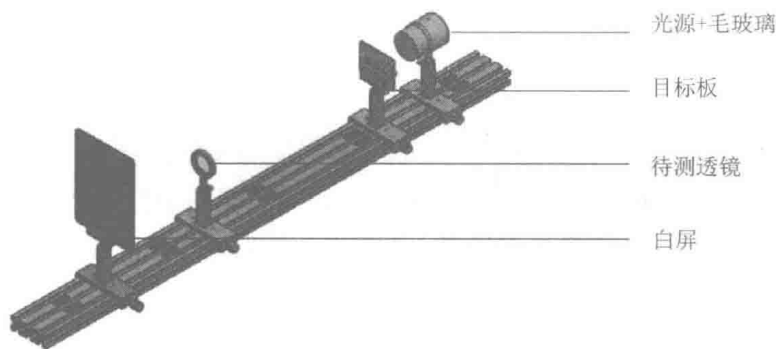


图 1.7 二次成像测量透镜焦距光路装配图

(4) 计算 d ;

$$d = a_2 - a_1$$

(1 - 2)

并将之带入式(1 - 1)中计算透镜焦距 f 。

(5) 改变目标板与白屏间的距离，重复三次实验，计算焦距，取平均值。

五、数据处理

(1) 进行薄透镜成像规律验证。验证见表 1.1。

表 1.1 薄透镜成像规律验证结果表

物距(u)与 焦距(f)的关系	像距(v)与焦距(f) 或物距(u)的关系	同侧或异侧	正倒	大小	虚实
$u > 2f$	$f < v < 2f$				
$u = 2f$	$v = 2f$				
$f < u < 2f$	$v > 2f$				
$u = f$	不成像	不成像	不成像	不成像	不成像
$u < f$	$v > u$				

(2) 用自准直法测量薄透镜焦距。

(3) 用二次成像法测量薄透镜焦距。

六、思考与讨论

(1) 根据二次成像法，证明 $f' = \frac{l^2 - d^2}{4l}$ 。

(2) 分析实验中误差产生的原因。

七、参考文献

- [1] 沈常宇, 金尚忠. 光学原理. 北京: 清华大学出版社, 2013.
- [2] 崔宏滨. 光学基础教程. 北京: 中国科学技术大学出版社, 2013.
- [3] 几何光学基础实验装置使用说明. 北京杏林睿光科技有限公司.

实验二 平行光管的使用及光学系统景深测量

平行光管是一种能够产生平行光束的光学仪器，它是装校、调整光学仪器的重要工具，也是光学度量仪器中的重要组成部分。平行光管与其他仪器配合使用，可观察、瞄准无穷远目标，测量光学系统参数以及评定和检测光学系统的成像质量等。

对于光学系统来说，理论上，只有共轭的物平面才能在像平面上成清晰像，其他物点所成的像均为弥散斑。但是当弥散斑小于一定程度时，仍可认为是一个点，即认为所成像是清晰的。我们把在景像平面上能够成“清晰”像的空间深度称为光学系统的景深。不同用途的光学仪器对景深的要求也有所不同。

本实验主要是为了了解平行光管的原理并通过对共轴球面光学系统（透镜组）的景深进行测量来熟悉平行光管的使用。

一、实验目的

- (1) 了解平行光管的工作原理，理解光学系统景深的概念。
- (2) 掌握利用光具座设计、调节、测量透镜组景深及数据记录、处理的方法。
- (3) 学习利用光具座进行系统设计、搭建和调节光路的技能。
- (4) 拓展研究平行光管在光学测量中的应用。

二、实验原理

1. 平行光管

根据几何光学原理，无限远处的物体经过透镜后将成像在焦平面上；反之，从透镜焦平面上发出的光线经透镜后将成为一束平行光。如果将一个物体放在透镜的焦平面上，那么它将在无限远处成像。

平行光管就是以上述原理为基础的光学部件。图 2.1 所示为平行光管的结构原理图，

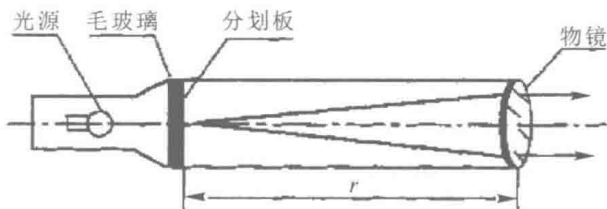


图 2.1 平行光管的结构原理图

它由物镜、分划板、光源以及为使分划板被均匀照亮而设置的毛玻璃组成。其中分划板置于物镜的焦平面上,因此,当光源照亮分划板时,分划板上每一点发出的光经过透镜后,都成为一束平行光。又由于分划板上有根据需要而刻成的分划线或图案,这些刻线或图案将成像在无穷远处。这样,对观察者来说,分划板又相当于一个无限远距离的目标。

根据使用要求的不同,分划板上可以刻画不同的图案。图 2.2 是几种常见的分划板图案形式,其中图 2.2 (a)是刻有“十”字线的分划板,常用于仪器光轴的校正;图 2.2 (b)是带角度的分划板,常用在角度测量上;图 2.2 (c)被称为星点板,是中心有一个小孔的分划板;图 2.2 (d)是一种鉴别率板,它用于检验光学系统的成像质量;图 2.2 (e)被称为玻罗板(也叫多缝板),即分划板上刻有几组一定间隔的线条,每组线条都成中心对称,并且实际间距为已知(本图中的间距依次为 2 mm、4 mm、10 mm、15 mm、18 mm),常用它来测量透镜的景深或焦距。

平行光管的焦距通常为已知条件,一般贴于镜筒上。

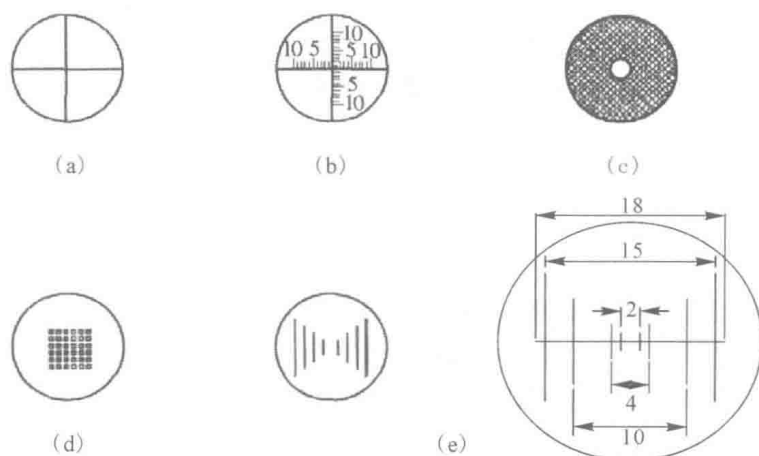


图 2.2 分划板的几种形式(其中图(e)右图为玻罗板的放大像及刻线间距)

2. 光学系统的景深及测量

对于光学系统来说,理论上,只有共轭的物平面才能在像平面上成清晰像,其他物点所成的像均为弥散斑。实际中,任何光能接收器都是不完善的。物体经过光学系统所成的像需要用探测器或眼睛来接收。当成像光斑对眼睛(或探测器)的张角小于眼睛(或探测器)的最小分辨角(人眼角分辨率约为 $1'$)时,眼睛(或探测器)看起来仍为一点。此时,该弥散斑可认为是空间点在平面上的像。因此,根据接收器的特性,规定一个允许的数值,当入射光瞳直径为定值时,便可确定成像空间的深度,在此深度范围内的物体对一定的接收器可得清晰图像。在景像平面上所获得的成清晰像的物空间深度称为成像空间的景深,简称景深。能成清晰像的最远的平面称为远景平面;能成清晰像的最近的平面称为近景平面。它们距对准平面的距离称为远景深度和近景深度。显然,景深 Δ 是远景深度 Δ_1 和近景深度 Δ_2 之和,即 $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$ 。远景平面、对准平面、近景平面到入射光瞳的距离分别以 p_1 、 p 和 p_2 表示,并以入射光瞳中心点 P 为坐标原点,上述各值均为负值。在像空间对应的共轭面到出射光瞳的距离分别以 p_1' 、 p' 和 p_2' 表示,并以出射光瞳中心点 p' 为坐标原点,所有这些值均为正值。设入射光瞳直径以 $2a$ 表示,如图 2.3 所示。

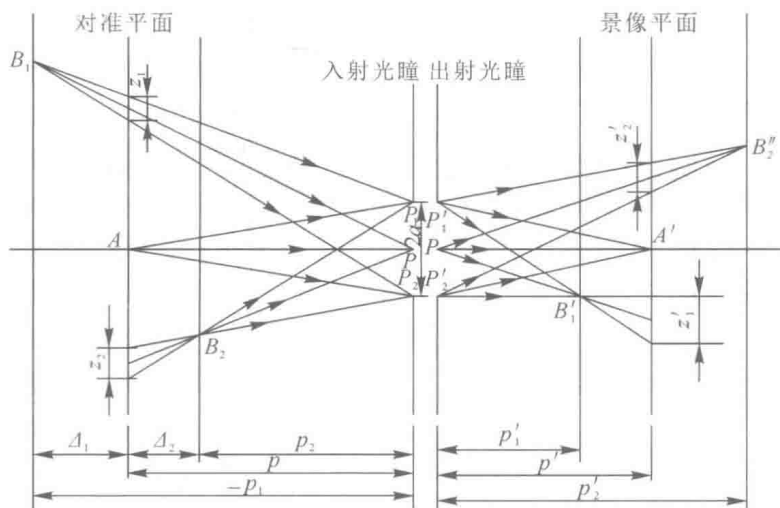


图 2.3 光学系统的景深

设对准平面与景像平面上的弥散斑直径分别为 z_1 、 z_2 和 z'_1 、 z'_2 ，由于两个平面共轭，故有

$$z'_1 = \beta z_1, \quad z'_2 = \beta z_2 \quad (2-1)$$

式中， β 为景像平面和对准平面之间的垂轴放大率。由图 2.3 中相似三角形关系可得

$$\frac{z_1}{2a} = \frac{p_1 - p}{p_1}, \quad \frac{z_2}{2a} = \frac{p - p_2}{p_2} \quad (2-2)$$

由此得

$$z_1 = 2a \frac{p_1 - p}{p_1}, \quad z_2 = 2a \frac{p - p_2}{p_2} \quad (2-3)$$

所以

$$z'_1 = 2\beta a \frac{p_1 - p}{p_1}, \quad z'_2 = 2\beta a \frac{p - p_2}{p_2} \quad (2-4)$$

可见，景像平面上的弥散斑大小除与入射光瞳有关外，还与距离 p_1 、 p 和 p_2 有关。

弥散斑直径的允许值取决于光学系统的用途。例如一个普通照相物镜，若照片上各点的弥散斑对人眼的张角小于人眼极限分辨角，则可认为图像是清晰的。通常用 ϵ 表示弥散斑对人眼的极限分辨角。

在极限分辨角确定后，允许的弥散斑大小还与观测距离有关。日常经验表明，当用一只眼睛观察空间的平面像时，观察者会把像平面上自己所熟悉的物体的像投射到空间去，从而产生空间感。但获得空间感觉时，诸物点间相对位置的正确性与眼睛观察物体的距离有关。为了获得正确的空间感觉必须要以适当的距离观察，即应使像上的各点对眼睛的张角与直接观察空间各对应点对眼睛的张角相等，符合这一条件的距离叫作正确透视距离，以 D 表示。为方便起见，以下公式推导不考虑正负号。如图 2.4 所示，眼睛在 R 处，为得到正确的透视，景像平面上像 y' 对点 R 的张角 ω' 应与物空间的共轭物 y 对入射光瞳中心 P 的张角 ω 相等，即

$$\tan \omega = \frac{y}{p} = \tan \omega' = \frac{y'}{D} \quad (2-5)$$

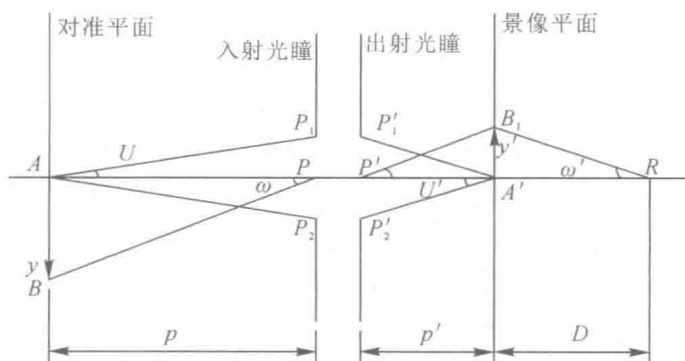


图 2.4 正确透视距离

则得

$$D = \frac{y'}{y} p = \beta p \quad (2-6)$$

所以景像平面上弥散斑直径的允许值为

$$z' = z'_1 = z'_2 = D\epsilon = \beta p\epsilon \quad (2-7)$$

对应于对准平面上弥散斑的允许值为

$$z = z_1 = z_2 = \frac{z'}{\beta} = p\epsilon \quad (2-8)$$

即相当于从入射光瞳中心来观察对准平面时，其上之弥散斑直径 z_1 和 z_2 对眼睛的张角也不应超过眼睛的极限分辨角 ϵ 。

确定对准平面上弥散斑允许直径以后，由式(2-3)可求得远景和近景到入射光瞳的距离 p_1 和 p_2 为

$$p_1 = \frac{2ap}{2a - z_1}, p_2 = \frac{2ap}{2a + z_2} \quad (2-9)$$

由此，可得远景和近景到对准平面的距离，即远景深度 Δ_1 和近景深度 Δ_2 为

$$\Delta_1 = p_1 - p = \frac{pz_1}{2a - z_1}, \Delta_2 = p - p_2 = \frac{pz_2}{2a + z_2} \quad (2-10)$$

将 $z_1 = z_2 = p\epsilon$ 代入式(2-10)，得

$$\Delta_1 = \frac{p^2\epsilon}{2a - p\epsilon}, \Delta_2 = \frac{p^2\epsilon}{2a + p\epsilon} \quad (2-11)$$

由以上可知，当光学系统的入射光瞳直径 $2a$ 和对准平面的位置以及极限分辨角确定后，远景深度 Δ_1 较近景深度 Δ_2 大。

总的成像深度，即景深 Δ 为

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = \frac{4ap^2\epsilon}{4a^2 - p^2\epsilon^2} \quad (2-12)$$

若用孔径角 U 取代入射光瞳直径，则由图 2.4 可知它们之间有如下关系：

$$2a = 2p \tan U \quad (2-13)$$

代入式(2-12)得

$$\Delta = \frac{4p\epsilon \tan U}{4 \tan^2 U - \epsilon^2} \quad (2-14)$$

由式(2-14)可知,入射光瞳的直径越小,即孔径角越小,景深越大。在拍照片时,把光圈缩小可以获得大的空间深度的清晰像,其原因就在于此。

影响景深的因素主要在以下三个方面:

- (1) 对像的清晰度要求越低,景深越大;要求越高,景深越小。
- (2) 物体的物距越大,景深越大;物距越小,景深也越小。
- (3) 焦距越短,景深越大;焦距越长,景深越小。

实验中,用于成像的物体是平行光管里的玻罗板,它是固定不动的,且采用平行光束,所以物空间的深度我们无法直接测量。但是,由于对准平面与景像平面是共轭的,故而我们可以间接去计算像空间的深度。通过改变孔径光阑的大小、透镜组的焦距,从而可以研究光学系统孔径光阑、系统焦距与景深的关系。

三、实验仪器

本实验所用仪器包括:光具座、节点镜头(具体结构及参数参考“光学系统基点测量”实验中的相关内容)、分划板、平行光管(含玻罗板)、可变光阑、支架(若干)、侧推平移台。

四、实验内容及步骤

本实验以两个薄透镜组合构成的节点镜头为被测透镜组进行景深的测量。采用平行光管、节点镜头、可变光阑及分划板作为该实验的主要部件。选取玻罗板作为目标物对成像进行评价。按照图 2.5 摆放该实验装置。

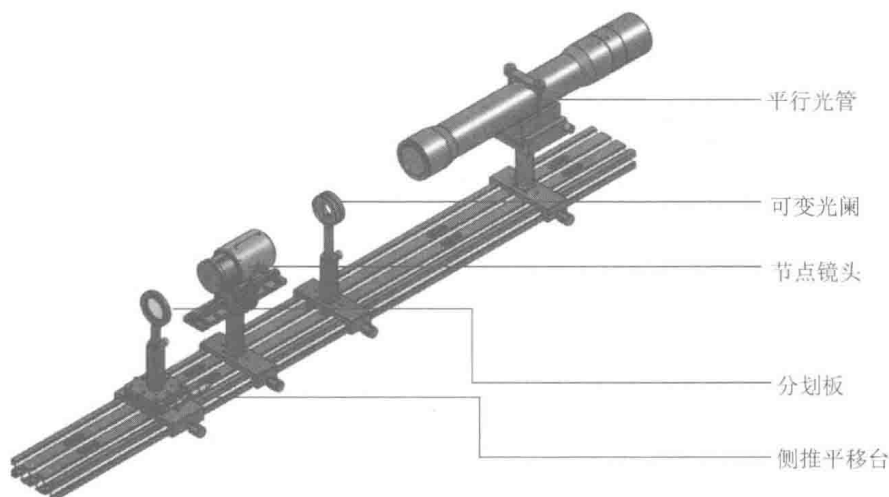


图 2.5 测量实验系统装配图

- (1) 将可变光阑贴近节点镜头放置,并将光阑调至最大。
- (2) 调整分划板至清晰成像。
- (3) 前后移动分划板,找到成像模糊的位置。通过分划板下的侧推平移台前后移动分划板并记录成像模糊的前后两个位置 a_1 、 a_2 。