

高等学校试用教材

光学测量与 应用光学实验

上海机械学院 史大椿 主编

机械工业出版社

高等学校试用教材
的

光学测量与应用光学实验

上海机械学院 史大椿 主编



机械工业出版社

(京) 新登字054号

本书为光学仪器专业的专业基础课和专业课的配套教材,是根据“应用光学”和“光学测量”课的教学要求、结合国内外最新光学测量技术和科研成果编写的一本实用科技书籍。本书介绍了成象原理、光学材料的光学性能、光学零件和光学系统的参数、光学系统光度与色度性能和成象质量评价等测试技术的实验。

本书不仅适合光学仪器专业的学生使用,还可供有关专业的研究生、科研人员和在光学工业生产中从事检测工作的工程技术人员参考。

光学测量与应用光学实验

上海机械学院 史大椿 主编

*

责任编辑:韩雪清 版式设计:霍永明

封面设计:郭景云 责任校对:熊天荣

责任印制:路琳

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张 13¹/₄·字数 326千字

1992年9月北京第1版·1992年9月北京第1次印刷

印数 0,001—1,500·定价:3.90元

*

ISBN 7-111-03295-0/TH·363 (课)

前 言

本书是根据“光学测量”和“应用光学”教学大纲中规定的实验要求编写的，编写内容由原机械委光学仪器专业教学指导委员会审定。

本书共分七章，包括59个实验。第一章成象原理，介绍球面系统和平面反射系统成象规律实验，以及应用平面折射的测微器原理实验。第二章光学玻璃的光学性能测量，介绍无色和有色光学玻璃光学性能的典型测试技术实验，以及全息干涉术和高精度测量折射率的新方法。第三章光学零件几何参数测量，介绍球面曲率半径、反射棱镜的光学不平行度和双象差、楔形镜的偏向角及立方体二面角的测量技术实验，并介绍光电光楔测角仪。第四章光学零件面形误差检验，介绍典型的检验球面和平面面形误差的阴影法和干涉法实验，还介绍用全息干涉法和散射干涉仪检验面形误差的原理和检验技术实验。第五章光学系统光学参数测量，介绍定焦误差、平行光管调校及光学系统的光学特性参数测量技术实验。第六章光学系统的光度和色度特性测量，介绍光度量的测试和色光混合实验、光学系统的透射比、杂散光、渐晕系数、象面照度均匀性及摄影物镜的CCI值测量实验。第七章光学系统成象质量检验，介绍星点检验、分辨率、几何象差、波象差和光学传递函数测量实验，介绍国内研制的，集激光、精密光学机械、电子学和计算机于一体的数字波面干涉仪和光学传递函数测试仪。组合式仪器反映了仪器发展方向，本书结合有关实验介绍组合式仪器的使用调整技术，利用基本测试仪器的组合来完成特定测试任务的组合和调整技术。鉴于各校仪器设备条件不同，实验学时有限，要做哪些实验可根据具体情况酌情选择。

本教材配合“应用光学”和“光学测量”两门课程，在使用时应注意对学生进行基本实验技术训练、培养其进行数据处理和误差分析的能力。本教材对培养光学仪器专业及相关专业学生的实验技能起着十分重要的作用。

本教材由史大椿主编，张武祖、张以谟主审。实验一~四、四十一由黄鹤天编写，实验五、六、三十四、三十九、四十、四十二由陈志清编写，实验七由齐文甫、赵立平编写，实验八、九由齐文甫编写，实验十~十三、二十三、二十四、三十二、三十三、五十八由赵立平编写，实验十四、十七、二十六、二十七、二十九、四十四、五十、五十一、五十五、五十九由史大椿编写，实验十五、十六、四十七由王风珍编写，实验十八~二十、三十一、三十五~三十八、四十三由沈海龙编写，实验二十一、二十二、二十五由范瑞鹤编写，实验二十八由曹芒编写，实验三十、四十九、五十二~五十四、五十六由包正康编写，实验四十五、四十六、四十八、五十七由王自强编写。黄鹤天、陈志清、赵立平、王风珍、王自强、沈海龙、范瑞鹤参与审稿。

由于水平有限，书中会有错误和不足之处，敬请读者指正。

编者

1991年

目 录

前言

第一章 成象原理 1

§ 1-1 球面系统 1

实验一 球面镜成象特性实验 1

实验二 透镜成象规律实验 6

实验三 组合光组特性实验 10

§ 1-2 平面系统 14

实验四 平面反射镜系统成象特性实验 14

实验五 平板摆动式测微器原理 18

实验六 光楔测微器原理 20

第二章 光学玻璃的光学性能测量 23

§ 2-1 光学玻璃折射率和色散测量 23

实验七 在精密测角仪上测量光学玻璃
折射率和色散 23

实验八 光学玻璃折射率和色散测量
(V 校镜法) 28

实验九 光学玻璃或液体的折射率和
色散测量(临界角法) 32

§ 2-2 光学玻璃其它光学性能测量 35

实验十 光学玻璃的应力双折射测量 35

实验十一 光学玻璃的光吸收系数测量 39

实验十二 光学玻璃的光学均匀性测量 42

实验十三 有色光学玻璃的光谱特性和
色度测量 46

实验十四 单色仪定标(可见光谱区) 54

第三章 光学零件几何参数测量 60

§ 3-1 球面曲率半径测量 60

实验十五 用环式球径仪测量球面曲率
半径 60

实验十六 曲率半径的非接触测量(用
自准直显微镜定位) 63

实验十七 曲率半径的非接触测量(用
平板横向剪切干涉仪定位) 65

§ 3-2 平面光学零件光学不平行度测量 68

实验十八 平行平板不平行度测量(激光
点光源法) 68

实验十九 平行平板不平行度测量(等厚
干涉法) 72

实验二十 平面光学零件光学不平行度
测量(自准直法) 76

实验二十一 屋脊棱镜双象差测量(干
涉法) 81

实验二十二 屋脊棱镜双象差测量(用
自准直望远镜) 83

§ 3-3 楔形镜和立方体测量 85

实验二十三 楔形镜偏向角的高精度
测量(干涉法) 85

实验二十四 精密测角仪测量楔形镜的
偏向角 87

实验二十五 立方体二面角测量 89

第四章 光学零件面形误差检验 91

§ 4-1 球面面形误差检验 91

实验二十六 球面面形误差检验(阴
影法) 91

实验二十七 球面面形误差检验(用
激光球面波干涉仪) 94

实验二十八 球面面形误差检验(全息
干涉法) 97

实验二十九 球面面形误差检验(用
散射板干涉仪) 99

实验三十 球面面形误差检验(朗奇法) 101

§ 4-2 平面面形误差检验 104

实验三十一 平面面形误差检验 105

第五章 光学系统光学参数测量 108

§ 5-1 定焦误差和平行光管调校 108

实验三十二 定焦方法与定焦误差的
测量和比较 108

实验三十三 平行光管调校 112

§ 5-2 焦距测量 115

实验三十四 透镜焦距测量(放大率法) 115

实验三十五 透镜焦距测量(阿贝法) 118

实验三十六 透镜焦距测量(附加
接筒法) 122

实验三十七 透镜焦距测量(精密
测角法) 124

实验三十八 平面光学零件最小

焦距测量	127	§ 7-2 几何象差测量	168
§ 5-3 典型光学系统光学特性参数测量	130	实验四十九 几何象差测量(哈特曼法)	168
实验三十九 显微镜光学特性参数测量	131	实验五十 几何象差测量(焦面法)	172
实验四十 照相物镜相对孔径测量	135	实验五十一 几何象差测量(阴影法)	177
实验四十一 望远镜光学特性参数测量	136	实验五十二 几何象差测量(朗奇法)	180
第六章 光学系统的光度与色度特性		§ 7-3 波象差测量	182
测量	142	实验五十三 波象差测量(用泰曼	
§ 6-1 光度量测量和颜色匹配	142	干涉仪)	182
实验四十二 光照度的基本定律及光度		实验五十四 波象差测量(用剪切	
量测量	142	干涉仪)	186
实验四十三 色光匹配实验	148	实验五十五 波象差测量(用球面波	
§ 6-2 光学系统的光度和色度性能测量	152	干涉仪)	189
实验四十四 摄影物镜渐晕系数和象面		实验五十六 波面位相自动探测	192
照度均匀性测量	152	§ 7-4 光学传递函数测量	196
实验四十五 光学系统透射比和照相		实验五十七 利用变对比信号发生器	
物镜 CCI 值测量	155	测量光学系统的调制	
实验四十六 光学系统杂光系数测量	159	传递函数	196
第七章 光学系统成象质量检测	162	实验五十八 光学传递函数测量(光电	
§ 7-1 星点检验和分辨率测量	162	傅氏分析法)	199
实验四十七 显微物镜星点检验和校正	162	实验五十九 光学传递函数测量(数字	
实验四十八 光学系统目视分辨率测量	165	傅氏分析法)	203
		参考文献	207

第一章 成 象 原 理

§ 1-1 球 面 系 统

绝大部分的光学成象系统由球面和平面构成。单个球面反射镜和由两个折射球面构成的透镜是基本的成象元件。本节介绍球面反射镜、透镜和透镜组的成象特性研究方法。通过这些实验有助于学生透彻理解和掌握反射镜和透镜的成象规律，初步掌握焦距、截距和主面位置的测量方法并熟悉有关测试仪器的使用方法。

实验一 球面镜成象特性实验

一、实验目的

1. 研究凹面镜和凸面镜的成象特性，即成象的位置、大小、正倒和虚实性，为球面镜系统的设计打好基础。
2. 加深对球面镜的焦距 f' 、物象位置公式和垂轴放大率（简称放大率） β 公式的理解。

二、实验原理

球面镜成象特性的实验原理是基于物象位置关系公式和放大率公式，即

$$\frac{1}{l'} + \frac{1}{l} = \frac{1}{f'} \quad (1-1)$$

$$\beta = \frac{y'}{y} = -\frac{l'}{l} \quad (1-2)$$

式中 y' ——象高；
 y ——物高；
 l' ——象距；
 l ——物距。

显然，由式（1-1）可以看出物体在不同位置时所对应的成象位置，进而可以知道凹面镜和凸面镜的物象位置特性，现说明如下：

（1）凹面镜 物在无限远处时，其象在焦面上；物在物方无限远处和焦面之间，其象位于焦面和物方无限远处之间；物在焦面上时，其象在物方无限远处；物在焦面和主面之间，则象在象方无限远和主面之间；物在主面和象方无限远处之间，则象在主面和焦面之间。

（2）凸面镜 物在无限远处时，其象在焦面上；物在物方无限远处和主面之间，其象在焦面和主面之间；物在主面和焦面之间，则象在主面和物方无限远处之间；物在焦面上，则象位于物方无限远处；物在焦面和象方无限远处之间，则象在象方无限远处和焦面之间，

应用公式求得象距 l' 和放大率 β ，再由 l' 和 β 去了解球面镜的成象特性，不直观且甚不

方便。在实际应用中，常用简易的实用作图方法求象的位置、虚实性、大小和正倒，这样比较方便和直观。如图 1-1 所示为一直角坐标系统，设横坐标为物距 l （也代表物方焦距），纵坐标为象距 l' （也代表象方焦距），原点为 O 点。若凹面镜的焦距为 (f_1, f'_1) ，由此两焦距的数值在图中可找到一点 F_1 ，通过 O 点与 F_1 点作一条斜线 OF_1 并延长之，由于焦距 $f'_1 = f_1$ ，若坐标单位相同，则斜线 OF_1 与坐标轴成 45° 角。

F_1 点的坐标为 (f_1, f'_1) ，由图可以看出 f_1 与 f'_1 均为负。因此，可以认为在第三象限内的直线 OF_1 表示凹面镜。对直线上的 F_2 点，其坐标为 (f_2, f'_2) ，由于 f_2 与 f'_2 均为正，故在第一象限内的直线 OF_2 表示凸面镜。设有一轴上物点 A_1 ，其坐标是 $(l_1, 0)$ ，连接 A_1 和 F_1 两点并延长使之交纵坐标轴于 A'_1 点，其坐标为 $(0, l'_1)$ ，由图可知三角形 $A_1G'F_1$ 和三角形 A'_1OA_1 相似，有

$$(l'_1 - f'_1) : l'_1 = f_1 : l_1$$

该式经变换，可得

$$\frac{1}{l'} + \frac{1}{l} = \frac{1}{f'}$$

此式便是球面镜的物象位置关系公式的一般形式，因此说明 A'_1 点即是 A_1 点的象，其坐标 l'_1 是象距。图 1-1 给出了一个实用的物象位置关系作图法。由该图可以方便地求得物与象之间的共轭位置。

用图 1-1 还可判断物象的虚实性。物在 O 点之左为实物，在 O 点之右为虚物。象在 O 点之上为虚象，在 O 点之下为实象。对凹面镜来说，按照物象的虚实性可将物体位置分成三个区间。首先是物体位置从物方无限远到焦面，此区间是实物成实象。其次，物位于焦面和主面之间，该区间是实物成虚象。最后，物在主面之右，此区间是虚物成实象。采用实用作图法也可判断成象的大小和正倒。若象距 l' 大于物距 l ，则成放大的象。反之，若象距 l' 小于物距 l ，则成缩小的象。 l' 与 l 符号相同时成倒象，不同时则成正象。

综上所述，用实用作图法求球面镜的成象特性，既方便又直观。它还可用于检验实验数据的正确与否。

三、实验仪器设备

光具座，前置镜，凹面镜，凸面镜，半透半反射平面镜，箭孔板，支架，直尺，光源等。

四、实验内容和步骤

1. 观察凹面镜的成象特性

(1) 物位于焦面上 如图 1-2 所示，把光源和凹面镜固定在光具座上，在凹面镜的左

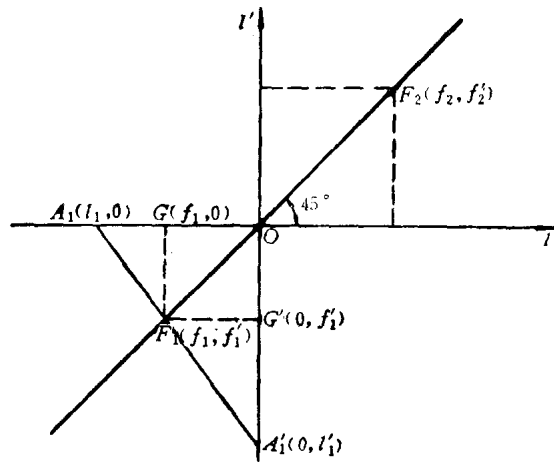


图 1-1 球面镜的成象特性图形

方设置与光轴成 45° 角的半透半反射平面镜。在光源的右方设置箭孔板，光束通过箭孔，就使物体成为一箭头。光束经凹面镜反射后，再由半透半反射平面镜反射出来，然后进入前置镜。将光源和箭孔板同时移动，直到人眼通过前置镜观察到箭头的清晰象为止。此时从凹面镜反射回来的光束必为平行光束，即箭头的象在无限远处。用光具座床面上的读数尺或用直尺测出箭头到凹面镜顶点的距离，该距离就是凹面镜的焦距。

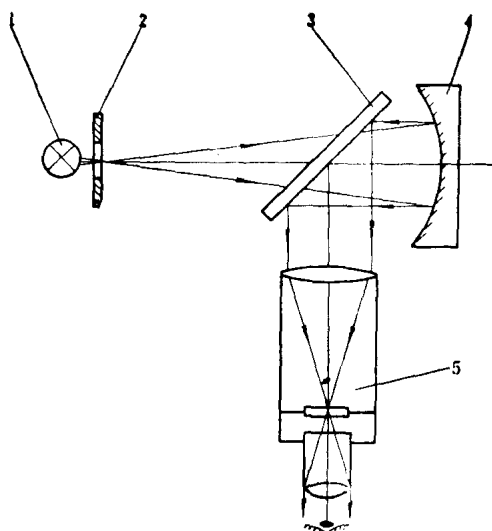


图1-2 物在凹面镜焦点上的成象光路图
1—光源 2—箭孔板 3—半透半反射平面镜
4—凹面镜 5—前置镜

(2) 物在物方无限远和两倍焦距之间 取下前置镜，代之以光屏。首先移动箭孔板和光源，使 $-\infty < l < 2f$ 。然后移动光屏直至屏上出现清晰的象为止。测出象距 l' 及象高 y' ，观察成正象还是成倒象。

(3) 物位于两倍焦距处 将物右移，使 $l = 2f$ ，即物位于球心上，此时箭孔板上出现由凹面镜反射的清晰的箭头象，观察成象情况，并和物体的大小、正倒关系作一比较。

(4) 物在两倍焦距和焦点之间 继续将物右移，使 $f < l < 2f$ ，将光屏移至象面位置。测出象距 l' 和象高 y' 。

(5) 物在焦点和凹面镜之间 再一次将物右移，使 $0 < l < f$ ，此时朝半透半反射镜里看，将会看到箭头的虚象，从凹面镜反射出来的光束为发散光束。为了测出虚象的位置和大小，可借助于曲率半径为已知的附加凹面镜，其口径应大一些，如图 1-3 所示。光屏位于附加凹面镜的球心上，将该凹面镜和光屏一起移动，直至屏上承接到清晰的象为止。观察成象情况，测出象的大小，分析象的正倒关系并求出象距 l' 。

(6) 物在凹面镜和象方无限远之间 取下半透半反射镜。为了获得虚物，可将附加凹

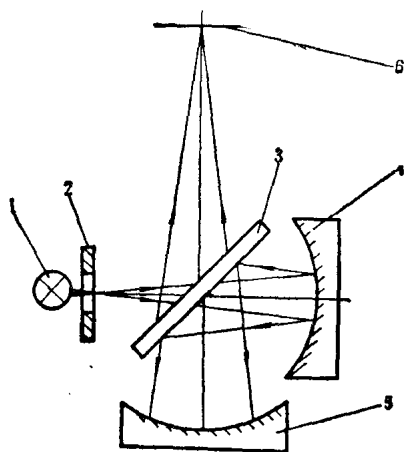


图1-3 凹面镜成虚象时的光路

1—光源 2—箭孔板 3—半透半反射平面镜
4—被测凹面镜 5—附加凹面镜 6—光屏

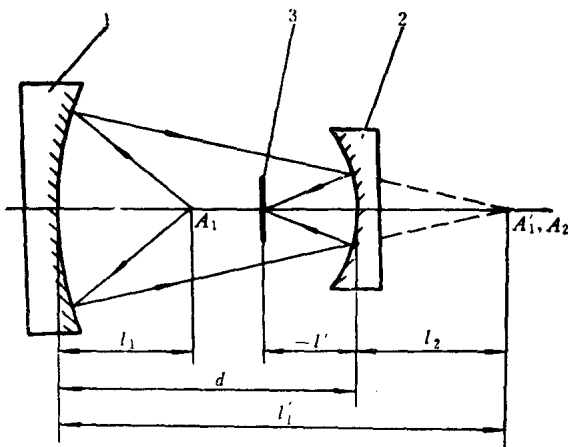


图1-4 凹面镜获得虚物时的光路

1—附加凹面镜 2—被测凹面镜 3—光屏

面镜置于箭孔板之左，而将光源放在箭孔板的右方。如图 1-4 所示（图中箭孔板和光源未示出），图中的物点 A_1 应位于附加凹面镜的球心和焦点之间，以保证其象距 l_1 大于其物距 l_1 。为了使象点 A' 处于 A_1 与被测凹面镜的顶点之间，必须使间隔 d 大于 l_1 与被测凹面镜的焦距之和。将光屏调至象面位置，求出被测凹面镜的物距 l_2 和象距 l' ，观察象的正倒情况。

2. 观察凸面镜的成象特性

(1) 物位于焦面上 将图 1-4 中的被测凹面镜换上被测的凸面镜，取下光屏，将半透半反射平面镜和前置镜引入光路，如图 1-5 所示。移动凸面镜，直至人眼通过前置镜看到清晰的象为止。此时从凸面镜反射出来的光束必为平行光束。测出凸面镜的物距 l_2 即焦距 f_2 。

(2) 物在凸面镜和焦面之间 取下前置镜，换上光屏。将凸面镜右移，使 $l < f$ 。移动光屏，让它处于象面位置，观察成象情况，测出象距 l' 和象高 y' 。

(3) 物位于焦面和球心之间 按图 1-6 布置光路。将凸面镜左移，使 $f < l < 2f$ 。将光屏置于凹面镜的球心上。让光屏和凹面镜一起移动，直至屏上出现清晰的象为止。观察象的变化，求出凸面镜的物距 l 和象距 l' ，并测出其象高 y' 。

(4) 物在球心上 继续将凸面镜左移，使 $l = R$ ，即 $l = 2f$ 。仍将光屏和凹面镜一起移动，直到屏上呈现出清晰的象为止。比较物象之间的位置、大小和正倒关系。

(5) 物在球心和象方无限远之间 仍将凸面镜左移，使 $l > 2f$ 。同时移动光屏和凹面镜，让光屏处于成象清晰的位置，测出凸面镜的象距 l' 及象高 y' 。

(6) 物在物方无限远和凸面镜之间 取下附加凹面镜，将光源放到箭孔板的左方，同时移动光屏和凹面镜，使光屏处于象面位置。观察成象情况，并测出

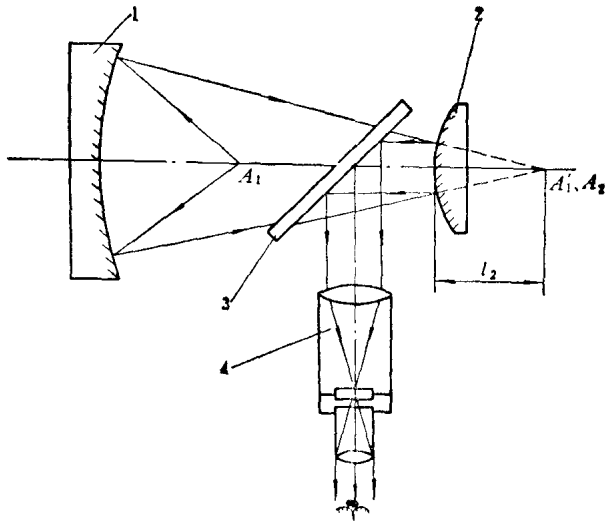


图 1-5 物在凸面镜焦面上的成象光路

1—附加凹面镜 2—凸面镜 3—半透半反射平面镜 4—前置镜

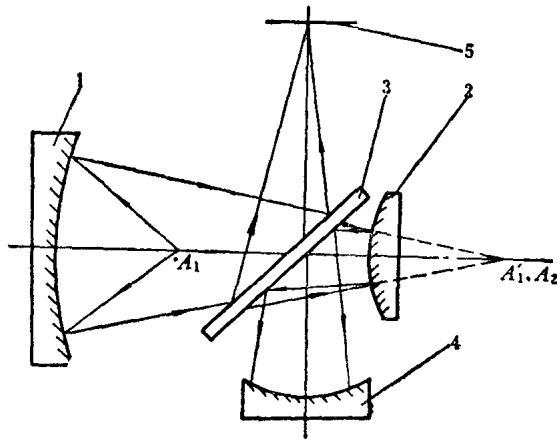


图 1-6 凸面镜成虚象时的光路

1—附加凹面镜 2—凸面镜 3—半透半反射平面镜 4—凹面镜
5—光屏

凸面镜的物距 l 、象距 l' 和象高 y' 。

当被测球面镜的象距 l' 为正值且不大时，也可用低倍显微镜来观察成象情况和测量虚象的位置及大小。

五、测量数据记录和处理

凹面镜和凸面镜成象特性观测数据记录和计算可利用表 1-1 所示的表格。

表1-1 凹面镜和凸面镜成象特性观测数据记录和表

名称	物体位置 l	象的位置 l'	物高 y	象高 y'	放大率 β	成象特性
凹 面 镜	$l = \infty$					
	l 在 $-\infty$ 和 $2f$ 之间 ($l =$)					
	$l = 2f$					
	l 在 $2f$ 和 f 之间 ($l =$)					
	$l = f$					
	l 在 f 和 0 之间 ($l =$)					
凸 面 镜	$l = \infty$					
	l 在 $-\infty$ 和 0 之间 ($l =$)					
	l 在 0 和 f 之间 ($l =$)					
	$l = f$					
	l 在 f 和 $2f$ 之间 ($l =$)					
	$l = 2f$					
	l 在 $2f$ 和 $+\infty$ 之间 ($l =$)					

六、思考题

1. 试提出三种测量球面镜焦距的实验方案。
2. 有一球面反射镜，已知象面到物面的距离 $T = 150\text{mm}$ ，垂轴放大率 $\beta = -4$ ，求其焦距 f' 和半径 r 。
3. 希望得到一个对无限远物体成象的长焦距双球面反射镜系统，焦距 $f' = 600\text{mm}$ ，第二球面镜的垂轴放大率 $\beta = 5$ ，象面到第一球面镜(位于第二球面镜后)的距离 $b = 120\text{mm}$ ，求系统的结构参数，并画出光路图。

实验二 透镜成像规律实验

一、实验目的

1. 研究薄正透镜、薄负透镜的成像特性，即成像的位置、大小、正倒和虚实性。
2. 加深对实象、虚象、物方焦点、象方焦点以及垂轴放大率（简称放大率）等基本概念的理解。

二、实验原理

透镜成像规律的实验原理是基于物象位置关系公式和放大率公式。物象位置公式包括高斯公式（以主点为原点）和牛顿公式（以焦点为原点），即

$$\text{高斯公式} \quad \frac{f'}{l'} + \frac{f}{l} = 1 \quad (2-1)$$

$$\text{牛顿公式} \quad xx' = ff' \quad (2-2)$$

放大率公式为

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{nl'}{n'l} = -\frac{f}{x} = -\frac{x'}{f'} \quad (2-3)$$

对透镜成像规律（如象的位置、虚实性、大小和正倒）的研究可采用简易作图法，详细的讨论参看实验一。

三、实验仪器设备

导轨，箭孔板，光源，正透镜，负透镜，平面镜，光屏，支架和直尺。

四、实验内容和步骤

1. 观察正透镜的成像规律

（1）物位于物方焦面上 如图 2-1 所示，把光源固定在导轨上，在光源的前方设置箭孔板，光束通过箭孔，就使物体成为一箭头。为使 $l = f$ ，可按图 2-2 布置光路。调整光源、箭孔板、被测正透镜和平面反射镜，使它们共轴。前后移动透镜，直到箭孔板上出现由平面镜反射的清晰的箭头象为止。此时从透镜出射的必为平行光束，物体位于物方焦面上，即位于透镜物方焦面上的物体必成象于无限远处。观察成像情况，并用直尺测量出正透镜到箭孔板的距离 l ，该距离就是被测正透镜的物方焦距 f 。

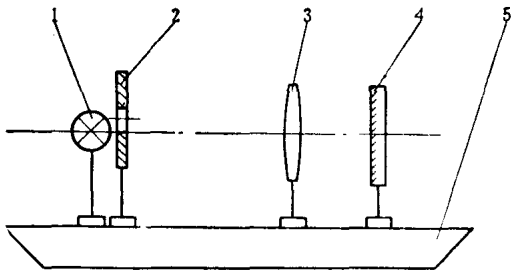


图2-1 透镜成像规律实验的仪器布置示意图
1—光源 2—箭孔板 3—被测正透镜 4—平面反射镜
5—导轨

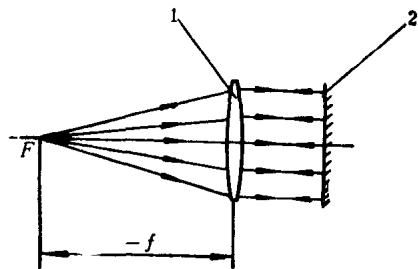


图2-2 物在正透镜物方焦面上的成像光路图
1—被测正透镜 2—平面反射镜

(2) 物位于无限远处 按图 2-3 布置光路, 用上述测量焦距的方法可以知道附加正透镜的焦距, 在附加正透镜与光屏之间加上被测的正透镜。由于从附加正透镜出射的为平行光束, 故被测正透镜的物距 l 为无限大, 即 $l = l_2 = \infty$ 。前后移动光屏, 以确定被测正透镜的象面位置。承接到清晰象时的光屏的位置就是被测正透镜的象方焦面。测出光屏至被测正透镜的距离 l'_2 , 此距离就是被测正透镜的象方焦距 f'_2 。

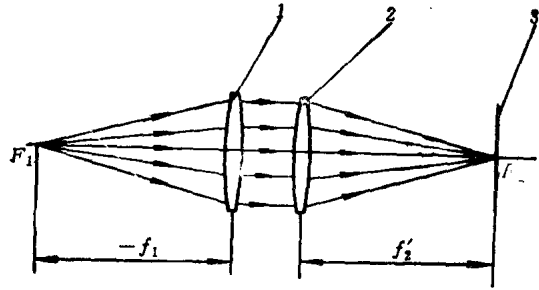


图2-3 被测正透镜对无限远物体成像的光路图
1—附加正透镜 2—被测正透镜 3—光屏

(3) 物在物方无限远和两倍物方焦距之间 取出附加正透镜, 移动被测正透镜, 使它到箭孔板的距离 (即物距) 在 $-\infty$ 和 $2f$ 之间, 移动光屏直至屏上出现清晰的象。测出象距 l' 及象高 y' , 并记下此时的物距 l 和物高 y 。观察象的大小和正倒情况。

(4) 物位于两倍物方焦距处 将透镜向前移动, 使 $l = 2f$ 。将光屏移至成清晰象的位置。测出物距 l 、象距 l' 和象高 y' , 比较象距和物距的大小以及象高和物高之间的大小、正倒关系。

(5) 物在两倍物方焦距和物方焦面之间 继续将透镜向前移动, 使物距 l 在 $2f$ 和 f 之间, 将光屏移至象面位置。观察象的变化情况, 求出物体和象的位置及象高。

(6) 物位于物方焦面和主面之间 再将透镜前移, 使物距 l 在 f 和 0 之间, 此时朝透镜里观察, 将会看到箭头的虚象, 显然, 从透镜出射的为发散光束。为了测出虚象的位置和大小, 必须借助于附加正透镜, 如图 2-4 所示。将附加正透镜放在被测正透镜和光屏之间, 并且将光屏置于附加正透镜的两倍象方焦距 $2f'_2$

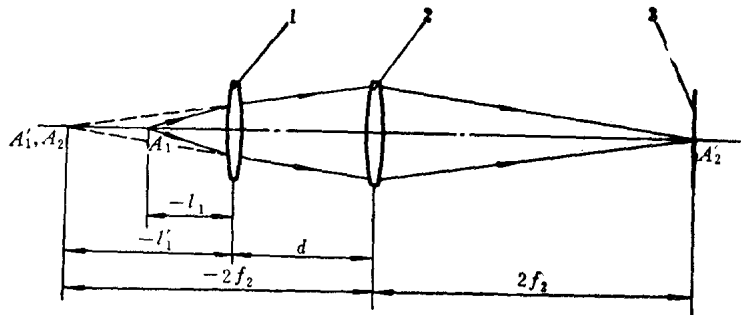


图2-4 物在正透镜的物方焦面和主面之间的虚象光路图
1—被测正透镜 2—附加正透镜 3—光屏

处。由上述实验步骤 (4) 可知, 其物体应位于附加正透镜的两倍物方焦距 $2f'_2$ 处。

移动被测正透镜, 直至屏上出现清晰的箭头象为止。测出附加正透镜到被测正透镜的距离 d 和被测正透镜的物距 l_1 , 由间隔 d 和附加正透镜的物距 $2f'_2$ 便很快求得被测正透镜的象距 l'_1 , 被测正透镜的象高 y'_1 与光屏上象的大小相同而方向相反。虚象的位置和大小也可用测量显微镜测量出来。关于测量显微镜的原理和使用方法将在实验三中作介绍。

(7) 物位于主面上 取下附加正透镜和光屏, 让被测正透镜紧靠箭孔板, 此时物距 $l = 0$ 。观察成象的虚实情况, 比较象与物的大小、正倒关系。

(8) 物在主面和象方无限远之间 为了获得虚物, 必须在被测正透镜前加入附加正透

镜，按图 2-5 布置光路。将物置于附加正透镜的两倍物方焦距处，即附加正透镜的物距 $l_1 = 2f_1$ ，则其象距 $l'_1 = 2f'_1$ 。移动被测正透镜，直至光屏承接到清晰的象为止。测出两透镜的间距 d 和被测正透镜的象距 l'_2 及像高 y'_2 ，由已知的 d 和 $2f'_1$ 便很容易求得被测正透镜的物距 l_2 ，最后求出被测透镜的放大率 β_2 。

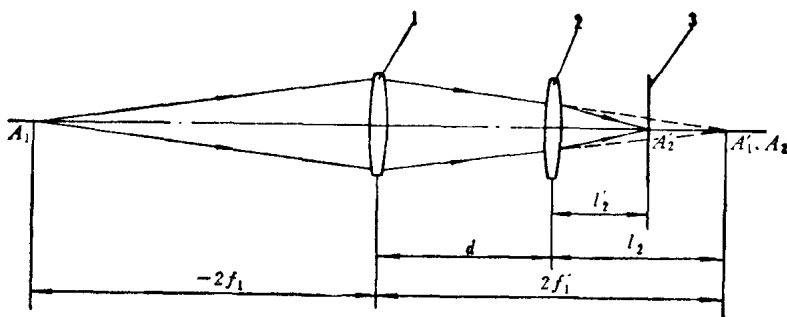


图2-5 物在正透镜的主面和象方无限远之间的成象光路图

1—附加正透镜 2—被测正透镜 3—光屏

2. 观察负透镜的成象规律

(1) 物位于物方焦面上 在图 2-5 所示的两正透镜之间，加上被测的负透镜，按图 2-6 布置光路。将物放在第一附加正透镜的两倍物方焦距处，即第一附加正透镜的物距为 $l_1 = 2f_1$ ，则其象距 $l'_1 = 2f'_1$ 。在第二附加正透镜的象方焦面上放置光屏，前后移动被测负透镜，直至屏上出现清晰的象。因为此时由被测负透镜出射的为平行光束，故第一附加正透镜所成的象在被测负透镜的物方焦面上，即被测负透镜的物距 $l_2 = f_2$ 。测出被测负透镜到第一附加正透镜的间距 d ，便知被测负透镜的物方焦距 f_2 。

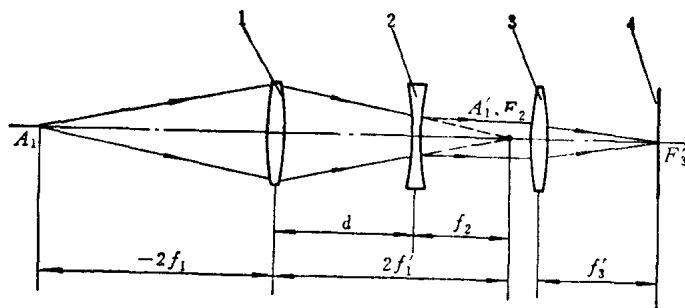


图2-6 物在负透镜焦面上的成象光路图

1—第一附加正透镜 2—被测负透镜 3—第二附加正透镜 4—光屏

(2) 物在物方焦面和两倍物方焦距之间 将被测负透镜移近第一附加正透镜，使被测负透镜的物体在物方焦面和两倍物方焦距之间。移动光屏，使它承接到清晰的象，观察成象情况。测出第二附加正透镜的象距 l'_3 及象高 y'_3 ，然后求出被测负透镜的象高 y'_2 及象距 l'_2 。

(3) 物位于两倍物方焦距处 继续将被测负透镜移近第一附加正透镜，使被测负透镜的物距 $l_2 = 2f_2$ 。移动光屏，直至屏上出现清晰的象。求被测负透镜的象距 l'_2 及象高 y'_2 ，并将它们与相应的物距 l_2 及物高 y_2 作一比较。

(4) 物在两倍物方焦距和象方无限远之间 仍将被测负透镜移近第一附加正透镜，使被测负透镜的物距 l_2 在 $2f_2$ 和 $+\infty$ 之间。将光屏移至成清晰象的位置，观察成象情况，并求出

被测负透镜的象距 l_2' 及象高 y_2' 。

(5) 物位于无限远处 按图 2-7 布置光路, 将物置于第一附加正透镜的物方焦面上, 此时第一附加正透镜出射的为平行光束, 即被测负透镜的物距 $l_2 = \infty$ 。将光屏放在第二附加正透镜的两倍象方焦距 $2f_3'$ 处, 同时移动第二附加正透镜与光屏, 并保持两者之间的间距 $2f_3'$ 不变, 直到屏上出现清晰的象。测出被测负透镜和第二附加正透镜之间的间距 d , 便可求得被测负透镜的焦距 f_2' 。

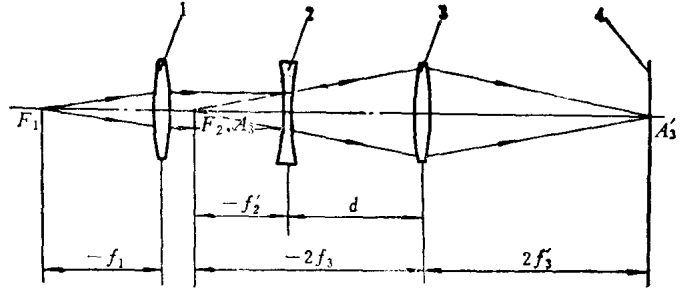


图2-7 被测负透镜对无限远物体成像的光路图

1—第一附加正透镜 2—被测负透镜 3—第二附加正透镜 4—光屏

(6) 物位于主面和物方焦面之间 取走如图 2-7 所示的第二附加正透镜, 按图 2-8 布置光路, 移动附加正透镜, 将物置于附加正透镜的两倍物方焦距处, 然后将被测负透镜置于附加正透镜的象面之前, 使被测负透镜的物距 l_2 在 0 和 f_2' 之间。将屏移至成清晰象的位置, 测出被测负透镜的象距 l_2' 及象高 y_2' , 并求出其物距 l_2 。

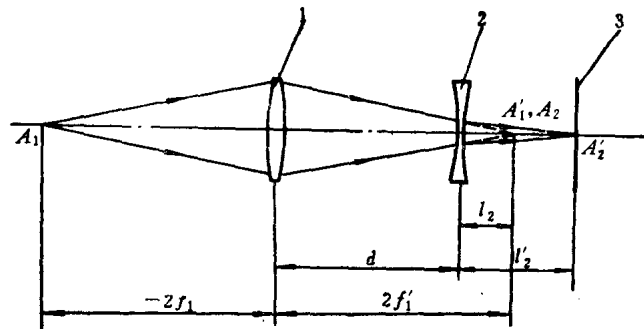


图2-8 物位于负透镜主面和物方焦面之间的成像光路图

1—附加正透镜 2—被测负透镜 3—光屏

(7) 物位于主面上 取下光屏, 将被测负透镜移至附加正透镜的象面上, 此时被测负透镜的物距 $l_2 = 0$, 观察象的虚实、大小和正倒情况。

(8) 物在物方无限远和主面之间 按图 2-9 布置光路, 将物放在被测负透镜的前面, 将光屏置于附加正透镜的两倍象方焦距处。移动被测负透镜, 直至屏上出现清晰的箭头象为止。测出两透镜的间距 d , 便可求得被测负透镜的象距 l_1' 。然后测量光屏上的象的大小, 并求出被测负透镜的放大率 β 。

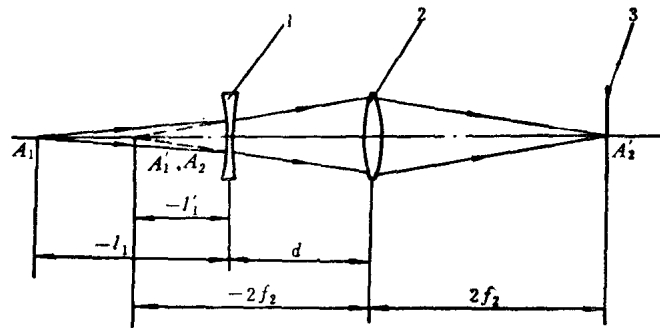


图2-9 物在负透镜的物方无限远和主面之间的成像光路图

1—被测负透镜 2—附加正透镜 3—光屏

五、测量数据记录和处理

正透镜和负透镜成象特性的观测数据和计算结果可填入表2-1。

表2-1 正透镜和负透镜成象特性观测数据记录和处理表

透镜种类	物体位置 l	象的位置 l'	物高 y	象高 y'	放大率 β	成象特性
正 透 镜	$l = \infty$					
	l 在 $-\infty$ 和 $2f$ 之间 ($l =$)					
	$l = 2f$					
	l 在 $2f$ 和 f 之间 ($l =$)					
	$l = f$					
	l 在 f 和 0 之间 ($l =$)					
	$l = 0$					
	l 在 0 和 $+\infty$ 之间 ($l =$)					
负 透 镜	$l = \infty$					
	l 在 $-\infty$ 和 0 之间 ($l =$)					
	$l = 0$					
	l 在 0 和 f 之间 ($l =$)					
	$l = f$					
	l 在 f 和 $2f$ 之间					
	$l = 2f$					
	l 在 $2f$ 和 $+\infty$ 之间 ($l =$)					

六、思考题

1. 应用放大率 β 与物距 x 的乘积为一常数即 $\beta x = -f$ 的关系式，画出以物距 l 为横坐标、放大率 β 为纵坐标的透镜的放大率特性曲线图。
2. 按图2-8画出轴外物点的成象光路图。

实验三 组合光组特性实验

一、实验目的

1. 研究由两个光组组合时的焦距大小、基点位置与两分光组的焦距大小、光学间隔 Δ

的关系，从而加深对组合光组的焦距公式以及基点位置公式的理解。

2. 熟悉正、负光组焦距及截距的测量原理和方法。
3. 学会使用焦距仪。
4. 进一步了解摄远物镜与反摄远物镜的结构特征及光学特性。

二、实验原理

为方便起见，假定组合光组为双光组系统，其合成焦距和截距的大小由公式确定，其中

$$\begin{cases} f' = -\frac{f_1' f_2'}{\Delta} \\ f = \frac{f_1 f_2}{\Delta} \end{cases} \quad (3-1)$$

$$\begin{cases} l'_F = l'_{F2} - \frac{f_2 f_2'}{\Delta} \\ l_F = l_{F1} + \frac{f_1 f_1'}{\Delta} \end{cases} \quad (3-2)$$

光学间隔 $\Delta = l'_{F1} - l_{F2} - d$ ， d 为第一光组的后表面顶点到第二光组前表面顶点的距离。求得组合光组的焦距和截距，便可直接知道主点的位置，计算公式为

$$\begin{cases} l'_H = l'_F - f' \\ l_H = l_F - f \end{cases} \quad (3-3)$$

由组合光组的基点位置公式和焦距公式可以看出其特性之一是：组合光组的基点位置和焦距的大小取决于两个分光组的焦距和光学间隔的大小。

组合光组的垂轴放大率 β 值的大小，决定了该系统成象的大小和正倒特性，其表示式为

$$\beta = \frac{f_1 f_2}{f_1 f_1' - x_1 \Delta} \quad (3-4)$$

上式表明，对于两个光组组成的系统，根据物点相对于第一光组物方焦点的距离 x_1 便可直接求出该物体所在位置的垂轴放大率。

当组合光组的光学间隔 Δ 为零时，其焦距为无限大，基点位置在无限远，这类组合光组通常称为无焦系统，其中应用最广泛的是望远系统。一般情况下望远系统处于空气中，其垂轴放大率、轴向放大率和角放大率为

$$\begin{cases} \beta = \frac{y'}{y} = -\frac{f_2'}{f_1'} \\ \alpha = \beta^2 = \left(\frac{f_2'}{f_1'}\right)^2 \\ \gamma = \frac{1}{\beta} = -\frac{f_1'}{f_2'} \end{cases} \quad (3-5)$$

从以上公式可以看出，望远系统的诸放大率与物象位置无关，仅取决于物镜与目镜的焦距之比。由此得知望远系统的又一特性是：对于任意物和象的位置，其放大率为常数。

由上述讨论可知，组合光组的各种特性都与各个分光组的焦距和焦点位置有关，因此必须知道焦距和截距的测量原理和测量方法。

放大率法是常用的焦距测量方法。图3-1是测量原理图。其中 y 是位于平行光管物镜焦