

国家级物理实验教学示范中心系列教材

光学平台上的 综合与设计性物理实验

张皓晶 主编



科学出版社

国家级物理实验教学示范中心系列教材

光学平台上的 综合与设计性物理实验

张皓晶 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是作者在云南师范大学国家级物理实验教学示范中心多年来教学研究和教学实践经验的总结,全书系统介绍光学平台在教学实践中的应用(27个实验),每个实验除了简明扼要给出实验原理、实验内容、可提供的器材和实验参数,还对实验方法、数据处理、实验误差、实验结果示例、实验教学中的疑难问题等进行详尽地分析和讨论,并附有思考题。同时,书中还给出了24个在光学平台上自组的综合与设计性实验,其中的测量方法提示、实验设计要求为教学工作和学生学习提供了方便。

本书可作为高等院校理、工、农、医等各专业的学生普通物理实验课(光学部分)的教学参考书,并可供从事物理实验的科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

光学平台上的综合与设计性物理实验 / 张皓晶主编. —北京:科学出版社, 2017.6

国家级物理实验教学示范中心系列教材

ISBN 978-7-03-053608-2

I. ①光… II. ①张… III. ①物理学-实验-高等学校-教材 IV. ①O4-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第137493号

责任编辑: 窦京涛 / 责任校对: 张凤琴

责任印制: 吴兆东 / 封面设计: 华路天然工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年6月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2017年6月第一次印刷 印张: 12 1/4

字数: 280 000

定价: 49.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

光学实验是普通物理实验的一个重要组成部分,在光学实验中使用的仪器比较精密,光学仪器的调节也比较复杂,只有在了解仪器结构性能基础上建立清晰的物理图像,才能选择有效而准确的调节方法,判断仪器是否处于正常的工作状态.在光学实验中,如果没有很好地掌握光学理论,要做好光学实验几乎是不可能的.光学仪器的调节和检验,实验现象的观察、分析等都离不开理论的指导.为了做好光学实验,学生在实验前应充分做好预习,实验时多动手、多思考,实验后认真总结,只有这样才能提高实验的素养、培养实验技能、提升理论联系实际科学水平.光学平台是现代光学实验必不可少的设备之一,在光学研究中的应用已经展现出越来越大的潜力.光学平台为光学实验提供了一个良好的环境,已构成光学实验室的一个重要组成部分.在实验室条件下,把光学实验在光学平台上进行了自组,从中得出应用光学平台的一系列教学实验.在大学物理基础实验的光学实验中,光学平台上的物理实验是基于自组光学器件进行的,本书仅是抛砖引玉,目的是使缺少仪器设备的院校能在现有条件下,在气垫导轨、物理天平、示波器、分光计等常用仪器上,较好地完成实验教学内容,提高学生的动手能力、研究能力和创新能力,解决缺少仪器设备暂时的困难.

近几年来,几何光学的发展特别迅速,理论成果和几何光学实验技术的内容都已经十分丰富,但是经典的实验方法仍是现代物理实验的基本内容.几何光学实验在大学物理实验中占据相当重要的地位,是以后进行其他光学实验教学的基础.通过研究几个光学平台上典型的几何光学实验,可以学习和掌握几何光学实验的基本知识、基本方法以及基本的实验技能.干涉和衍射实验部分从惠更斯-菲涅耳原理出发,分析各种光的干涉及衍射现象,引入光学仪器分辨本领的概念等.利用光学平台上的干涉实验可以观察干涉现象,简单测量光的波长.光的衍射现象是光的波动性的一种表现,主要有单缝衍射、圆孔衍射、圆屏衍射、双缝衍射等,单缝衍射和圆孔衍射在日常生产和生活中尤为常见.观察衍射现象的实验装置一般由光源、衍射孔和屏三部分组成.按照实验装置间距的不同,又通常将衍射分为两类:一类是衍射孔离光源或屏的距离为有限远的衍射,称为菲涅耳衍射;另一类是衍射孔与光源和屏的距离都是无穷远的衍射,称为夫琅禾费衍射.近代光学实验部分主要介绍光的偏振及光学信息处理与全息照相.光的偏振部分介绍偏振光的概念、性质及各种偏振光的获取方法,利用单轴晶体介质做成各种偏振器件,讨论偏振光之间的干涉.光学信息处理与全息照相部分介绍光学透镜对光束的作用可以看成一种傅里叶变换,傅里叶变换的作用是使原来图像上混杂在一起的信息在频谱域上分离开,从而可在空间频谱上进行处理.这部分还介绍了图像的空间滤波,简要分析了全息照相的记录和再现过程.

本书收集了 51 个在光学平台上的物理实验.这些实验都在云南师范大学物理实验教学中心的“基础物理实验”课程教学中实践过,证明可行且效果较好.本书把实验教学内容

与教学问题分析讨论结合在一起，对实验教学具有较强的指导性；在对一些具体实验现象、问题的剖析和讨论中，力图加强物理概念的准确性和实验原理的严密性，较为重视实验中理论的指导作用。此外，光学平台上的物理实验课是一门体现集体智慧和劳动结晶的课程，是广大教师日积月累、逐步完善、发展和升华的结果。在编写本书的过程中，作者参阅了国内外大量文献资料，吸收了在教学第一线辛勤耕耘多年，在实验教学方面有较高造诣的众多研究者的经验和长处，特别是参考了 WSZ 系列光学平台使用说明书和实验仪器实物图，在所收录和应用的参考文献中如有疏漏处，请给予谅解。在此，对所引用文献的各位潜心从事物理实验教学研究的专家和同行致以衷心的感谢，并感谢“云南省中青年学术和技术带头人后备人才”项目的支持。

由于作者水平有限，书中难免存在需要改进甚至有误的地方，恳请各位专家、同行和同学们斧正。

张皓晶

2016 年 10 月于昆明

目 录

前言

第 1 章 光学平台上实验的基本知识	1
1.1 光学平台上实验的基本要求	1
1.2 光学平台上实验的观测方法	2
1.3 实验中常用的光学仪器与保养维护	5
1.4 测量误差与不确定度	11
1.5 常用的实验数据处理方法	18
第 2 章 几何光学实验	37
2.1 用自准直方法测量薄凸透镜焦距	37
2.2 用位移法测量薄凸透镜焦距	41
2.3 目镜焦距的测量	46
2.4 自组显微镜	47
2.5 自组望远镜	49
2.6 自组透射式幻灯机	54
2.7 透镜组基点的测定	57
第 3 章 干涉实验	61
3.1 杨氏双缝干涉	61
3.2 菲涅耳双棱镜干涉	74
3.3 菲涅耳双面反射镜干涉	81
3.4 劳埃德镜干涉	83
3.5 牛顿环装置	85
3.6 等倾干涉	92
3.7 法布里-珀罗干涉	96
3.8 用迈克耳孙干涉仪测量空气的折射率	100
第 4 章 衍射实验	108
4.1 夫琅禾费单缝衍射	108
4.2 夫琅禾费圆孔衍射	118
4.3 菲涅耳单缝衍射	120
4.4 菲涅耳圆孔衍射	122
4.5 菲涅耳直边衍射	123
第 5 章 近代光学实验	126
5.1 偏振光分析	126
5.2 棱镜摄谱仪	132

5.3	光栅单色仪	134
5.4	全息照相	137
5.5	全息光栅的制作	142
5.6	阿贝成像原理和空间滤波	145
5.7	θ 调制和颜色合成	148
第 6 章	综合与设计性实验	151
6.1	用自准直法测定薄凹透镜的焦距	151
6.2	利用透镜组测定液体的折射率	152
6.3	薄透镜焦距的测定	153
6.4	单透镜像差的观测	155
6.5	透明介质折射率的测定	158
6.6	简易法测定望远镜的放大率	159
6.7	简易法测定显微镜的放大率	161
6.8	用双棱镜测定光波长	162
6.9	简易法测 He-Ne 激光源波长	163
6.10	用透射光方法测定透镜曲率半径	164
6.11	自组迈克耳孙干涉仪测量液体折射率	165
6.12	测定钠光灯 D 双线波长差及白光相干长度	166
6.13	用 He-Ne 激光器研究单缝和双缝衍射的光强分布	169
6.14	夫琅禾费单缝衍射实验测光缝宽	173
6.15	夫琅禾费衍射方法测细金属丝的直径	173
6.16	夫琅禾费衍射方法测微小长度	174
6.17	夫琅禾费衍射方法测金属丝杨氏模量	175
6.18	夫琅禾费衍射方法测金属杆的线胀系数	177
6.19	简易法测量光栅常数	178
6.20	简易法测定钠光灯波长	179
6.21	设计一个能辨别左旋圆偏振光和右旋圆偏振光的实验	180
6.22	椭圆偏振光法测定介质薄膜的厚度和折射率	182
6.23	用塞曼效应现象测定波数差	183
6.24	光电效应实验研究	184

第1章 光学平台上实验的基本知识

光学实验仪器总共有以下几大类：①分光仪器，有分光计、单色仪、摄谱仪等；② assist及测量仪器，有显微镜、望远镜、测微目镜、读数显微镜、投影仪、测节器、阿贝折射仪、光度计、照度计、迈克耳孙干涉仪、平行光管、普朗克常量测量仪等；③记录仪器，有照相机、翻拍仪等。所接触到的光学仪器包括透镜、面镜、棱镜、分光器件、偏振器件、全息器件及光学记录探测器件等。使用过的光源有白炽灯、汞灯、钠灯、氦氖激光器等。

光学实验平台是根据教育部高等教育普通物理光学实验大纲的要求设计的。本书系统介绍了光学平台常见的27个实验(其中几何光学实验7个、物理光学实验13个、近代光学实验7个)，在27个实验中，有10个为演示实验，17个为测量实验，其中等倾干涉和法布里-珀罗干涉为选做实验。本书编写过程中参考了大量的国内外文献，吸收了众多研究者的经验及长处。集众人之所长，力图使每个实验达到简单明了、易于操作、实用性强的效果。

1.1 光学平台上实验的基本要求

1.1.1 实验与理论紧密结合

光学平台上的实验，要求用理论知识来指导实践，如果不掌握光的基本理论，不熟悉光源发光的特性，不了解光波的相干性和偏振态，有些光学实验(如干涉)将很难做好，甚至无法进行(如偏振)。对于光学元件的选择，实验光路的合理布置，光学实验现象的观察、寻觅和判断，光学仪器的调节和检验问题，实验者必须把实验和理论紧密地结合起来，尊重实际，详细观察和记录各种光学现象出现的条件，结合理论，经过思考，做出正确的分析和解释。只有这样，才能巩固和加强对理论知识的理解，更好地激发实验兴趣，提高实验技能，扩大实验收获。

1.1.2 学习和掌握基本物理量的测量方法

光学中的基本物理量有透镜的焦距、光学系统的基点、光学仪器的放大率和分辨率、透明介质的折射率及光波波长等。在学习实验方法时，要注意它的设计思想、特点及其适用条件。在测量过程中，要注意观察和分析所发生的各种光学现象，注意其规律性，以加深和巩固对所学知识的理解，并善于运用理论指导自己的实践。例如，观察偏振现象，正确地分析和判断光波的偏振态及完成各种偏振态所需要的测量，以提高解决实际问题的能力。

光学平台上的实验常用的光学仪器有测微目镜、望远镜、自组干涉仪、摄谱仪、F-P标准具等。学会使用光学仪器的内容包括：了解仪器的构造原理及正常使用状态，调节到正常使用状态的方法，操作要求，注意事项，并具有较好的操作技能。

1.1.3 学习和掌握光学平台上实验的基本光路调节

光学平台上实验的所用仪器一般都比较精密. 自组的迈克耳孙干涉仪等测量精密度比较高, 但要充分发挥仪器测量的高精度, 必须在仪器使用前, 将仪器按照要求调节好. 光学仪器的调节, 不仅是一项基本的实验操作, 而且包含丰富的物理内涵, 必须在详细了解仪器的性能和特点的基础上, 建立起清晰的物理图像, 才能选择有效而准确的调节方法, 根据观察到的现象, 检验和判断仪器是否处于正常工作状态, 提出应该采取的解决办法. 这只有在理论指导下, 通过反复耐心的实验操作训练, 才能切实地掌握. 对此, 实验者绝对不能存在侥幸心理, 盲目地实践, 否则, 轻者会影响实验的正常进行, 重者将导致精密仪器性能的下降, 甚至损坏仪器.

光学平台上实验中的光路, 是每一个实验设计思想的具体体现, 它是由许多的基本光路所组合而成. 常用的基本光路有自准直光路、助视放大光路、恒偏向光路、分束光路、激光束准直光路等, 要学会分析每一基本光路在整个实验中的作用, 了解光路组成元件的参量对实验产生的影响、基本光路之间的衔接配合要求等, 还要练习应用这些基本光路, 设计一些简单的测试实验, 以锻炼我们的实践能力.

如果对实际光路的理解没有清晰的物理图像, 很可能为实验中出现的干扰所困惑. 通过实践, 可以排除干扰, 改进观测方法, 如怎样判断“假象”, 怎样减少背景光的干扰, 怎样按照光路的基本特性又好又快地观察到测试目标, 这对于提高发现问题、分析问题、解决问题的实际能力是十分重要的.

1.1.4 较高的实验素养

光学平台上的实验还有一个特点, 就是很多光学测量都是实验者通过对光学元件、器件、支撑架、光源、仪器等的重新组合或调整, 以及对目标的观察和判断以后进行读数的, 因此实验者的理论基础、操作技能、判断的准确度, 都将使测量数据具有不同的偏离和分散, 从而影响测量结果的可靠性. 因此实验者必须在实验过程中, 不断提高实验素养, 尽力排除“假象”和其他因素的干扰, 力求客观而准确地反映实际.

另外, 为了取得较好的实验效果, 减少环境杂散光的干扰, 有的光学实验须在低照度环境下进行. 因此, 要小心谨慎, 安全操作, 防止事故发生. 要避免光学元件跌落损坏, 仪器读数失误, 并注意眼睛卫生, 保护视力.

1.1.5 学会分析误差的方法

在光学实验中, 要提高对实验数据的处理能力和对实验结果误差原因的分析水平, 力求正确地表达和评价实验结果. 分析误差产生的原因以及减少实验误差的有效途径, 不仅能加深对实验理论的认识, 也必然会加强对测量方法和选择仪器的理解.

1.2 光学平台上实验的观测方法

在实验中光线可以用人的视觉器官(即眼睛)来进行观察, 而人眼有很高的灵敏度, 对观察方向有灵活性, 并有立体感和颜色感, 我们把这种通过人眼视觉直接观测的方法称为

主观观测方法。但是用人的眼睛观察光也有一定的局限性，因为人的眼睛不但对光强的反映是非线性的，而且还与光波的波长有关；另外，眼睛只能观察光波中很窄的一段光谱范围(波长在 $0.4\sim 0.75\mu\text{m}$)，超出这个范围的光学实验或对光强有很高要求的实验，需要采用光探测器和有关仪器的配合，以此来弥补人眼的不足，这种借助仪器的测量方法称为客观观测方法。

1.2.1 主观观测方法

主观观测方法主要是用人的视觉器官直接观察一些基本光学现象，通过测量成像的位置和大小，测定焦距、折射率等。下面对这种方法有关的几个问题进行讨论。

1. 人眼的视觉

人的眼睛本身就是一个光学系统，眼睛的构造和作用如图 1-1 所示。

眼睛对事物的观察主要靠视网膜接收图形。在人眼的视网膜上有两种感光的细胞，即圆柱细胞和圆锥细胞。圆柱细胞是分管视觉的，它没有颜色的感觉，其灵敏度比圆锥细胞高几十倍。人进入暗室后由亮的适应状态转换到暗的适应状态需要一段时间(大约 1 小时)才能到达视觉灵敏域的极限。圆锥细胞是分管明视觉的，它有颜色感觉和较高的分辨能力，可以感觉像的细节，但灵敏度差。在视网膜的黄斑区域视觉分辨得最清楚，特别是黄斑的中心区。

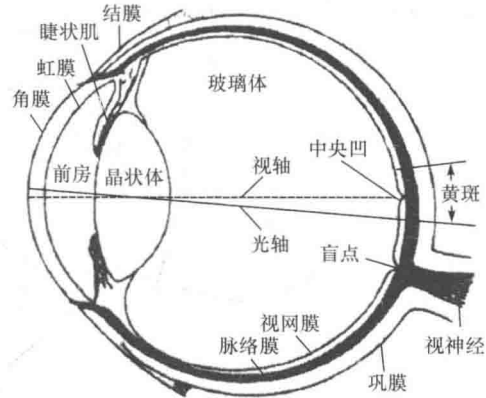


图 1-1 眼睛的构造和作用

人眼的视觉对于不同波长的光波的灵敏度是不同，一般用视见函数 $\phi(\lambda)$ 来表示。人眼一般只能对波长为 $4000\sim 7000\text{\AA}$ 的光线获得视觉印象，只有在相当紧张的程度下，才能看到 $3000\sim 4000\text{\AA}$ 的近紫外线和 $7500\sim 8000\text{\AA}$ 的近红外线，而且对这一部分光波的灵敏程度与观察者的年龄有很大关系。

2. 人的视觉系统

人的视觉系统不仅包括眼睛，而且包括大脑，也就是观察者得到的几何图形不仅取决于被观察到物体在视网膜上所成的实像(包括大小及形状)，而且还要经过大脑的调节。例如，在视网膜上所成的实像是倒像，人的大脑把视网膜上的倒像再改正过来，形成符合客观世界的形象。又如人们喜欢用两眼观察事物，由于两眼的位置不一样，观察到的事物也不一样，也是靠大脑选择二者之一的图像，或者把二者的图像组合起来得到事物的印象。由于两眼的作用，人们获得立体的图形。正是因为大脑经常处理视网膜上的图形，有时也会使人们得到错觉。

3. 助视光学仪器

人眼观察到物体的大小与物体本身的大小以及人眼与物体间的距离有关。当物体太小或者距离太远，在视网膜上的像就很小，以至于不能看清楚，这时可以用放大镜或显微镜把小的物体或小的像放大后进行观察和测量，或者通过望远镜将视角进行放大，然后进行

观察和测量. 这些仪器可以弥补人眼观察的不足, 起着助视作用, 故称为助视光学仪器.

4. 视差问题

一般来讲人们总是用两眼同时观察事物, 但在光学实验中常常只用一只眼睛来观察, 另一只眼睛处于休息状态. 例如, 用测微目镜测量一个实像的大小, 就要求像和测微目镜的准线处在同一个平面上, 这样才能用测微目镜测准像的大小. 同样用望远镜瞄准无穷远的物体时, 需要使物体通过望远镜所成的像与测量准线处在同一个平面上, 这样在对准中不存在视差. 没有视差是显微镜、测微目镜或望远镜已调好的标志. 在光学测量中一定要保证无视差对准才能使人眼观察和测量达到高精度.

辨别视差是否已经消除的方法, 是在人眼通过望远镜、显微镜或测微目镜进行观察时, 稍微左右或上下移动, 如果看不到测量准线与被观察物体之间有相对移动, 就可以认为视差已基本消除. 用单眼观察, 人的视觉系统也能产生立体感, 尽管这种立体感与双眼观察的立体感是不能比较的, 但是在光学测量中已经是绰绰有余了. 用单眼观察之所以能产生立体感是因为人的视觉器官受大脑控制调节的结果, 也是人们长期积累的经验. 例如, 练习本上的线条, 对着人眼左右或上下移动时, 它们之间的距离不会改变, 这是因为人们对同一平面的物体不会产生视差. 通过实践, 人们能够获得辨别对准中是否有视差的经验, 消除了视差, 对准的精度就高, 因而测量值的精度就高. 所以在测长仪器中, 如读数显微镜、比长仪及其他光学测量仪器, 只有在测量中做到无视差, 才能发挥仪器应有的精度.

5. 人眼的分辨特性和错视差

当人眼观察物体上相隔一定距离的两物点时, 如果选定的两物点靠得很近, 视角减小到一定程度, 人眼就不能再分辨出是两个独立的物点, 而会感觉是连在一起的一个物点. 这说明人眼分辨景物细节的能力有一定极限值, 这种分辨细节的能力称为人眼的分辨力.

在正常照度下, 人眼黄斑区的最小分辨角约为 $1'$. 当物体与背景环境的亮度相近时, 分辨力也会降低.

图 1-2 中线段 AB 和 CD 的长度相等, 但由于附近箭头方向相反, 结果造成观察时的视觉是 CD 长, AB 短, 即人眼视觉对自然现象做出主观判断时可能出现某种假象(人眼的错视差), 为此, 通常应用其他的科学方法进行必要的检验.

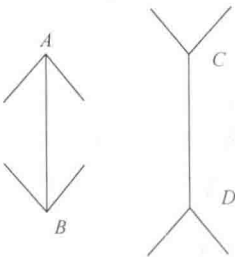


图 1-2 线段 AB 和 CD 的长度相等

1.2.2 仪器和器件的观测方法

主观观测方法虽然简便, 有一定的优点, 但它与实验人员眼睛的好坏有密切的关系, 并且实验结果容易受主观干扰, 加上人眼对光强的感受具有的非线性特点, 更不容易做定量的测量, 因此在涉及光强的测量(如透射光强的测量)、光速的测定时, 在非可见光波段中做光学实验就不能用眼睛进行观察. 此时, 我们需要采用仪器或器件来进行这一类的实验.

1. 常用的仪器观测方法

常用的仪器观测方法是采用光电探测器, 也就是通过这些元件把光信号转换为电信号, 然后用电学仪器或电子仪器进行测量, 这样就可以比较客观地显示出可见光范围的光学现

象.对光强测量或其他物理量测量有较高的精度要求的,则需要采用其他设备作光探测器,进行客观测量,以弥补人眼的不足.

常用的光探测器均为光电子器件,应用固体材料并根据光电效应原理而制成,故又称它为光电探测器.它将待测的光信号转变为电信号,配合适当的测量电路进行测量,因而测量比较客观、灵敏和精确.

2. 光电探测器的选择和使用

光电探测器的主要性能表现为以下几方面.

光谱灵敏度:光电探测器对光波探测的灵敏度随入射光波的波长变化而变化.探测的相对灵敏度(最大定值为1)按波长的分布函数称为相对光谱灵敏度 $S(\lambda)$.从函数曲线便可了解该探测器的工作波长范围、光谱响应的峰值波长和探测极限波长等特性.

积分灵敏度:用光电探测器测量一定波长范围内的总辐射通量时,单位辐射通量引起光电探测器的反应称为积分灵敏度.常以每流明的微安数或每瓦的安培数来评价.

响应时间:光电探测器从开始接收光照到获得稳定的信号输出,需要一定的时间,称为光电探测器的响应时间.

线性响应:如果光电探测器的光电流与照射在它上面的光通量(或光照度)成正比关系,则称为光电探测器的线性响应.

使用光电探测器应注意以下事项:

(1) 光电探测器应放在暗处,避免强光照射,以免出现灵敏度下降的“疲劳”现象.一旦出现“疲劳”现象,应立即停止使用,并存放暗处,则可全部或部分恢复.

(2) 使用中应注意减小非信号光产生的本底电流(包括热激发产生的“暗电流”以及环境杂散光产生的光电流)的影响,并在测量值中扣除.

(3) 光电探测器的外接电路的电阻要小,以便于探测器保持良好的线性响应.如果直接用电流计显示光电流,则电流计应选择低内阻型,或使用补偿式测量电路.具体的线性范围应由实测确定.

(4) 如果待测光信号是脉冲光信号,应选择响应时间短于脉冲光的变化周期的光电探测器,才能反映出待测光源的脉冲特性.

(5) 任何光电探测器初次投入使用前,必须经过光照老化,待性能稳定后,才能进行精确的测量工作.

1.3 实验中常用的光学仪器与保养维护

1.3.1 光学平台

光学实验平台系统由平台主体、平台工作台、多维调整架、光源、光学元件组成,仪器结构新颖、灵巧.教师可以根据实验要求,选择合适的组件安排实验,进行开放式或设计性实验教学,培养学生的思维能力及实验技巧.在精密的光学平台上加上平行光管和测微目镜可以组装成测定透镜焦距的焦距仪,也可以把光学平台用作气体或固体激光器的调试装置,还可以应用多维调整架、光源、光学元件组成各种结构新颖的物理参数测量仪器.

衡量光学平台质量的指标除了稳定性以外,还有以下两点:一是水平面的平直度,其直接影响光学系统的稳定性和精密度.二是光学平台上各种组件的同轴性.为了调节更方便,精密的光学平台上各种组件有上升与下降的微调装置和左右微调装置,而且滑座的固定支架能平稳地保证成像系统的同轴性.另外,还有多个可固定在平台上的公共底座和可插在公共底座上的二维支架.二维支架可滑动,用以支撑各种透镜、光屏、物体和光源.各个支架在公共底座上的位置可由公共底座上的刻度读出,其中某些支架可以进行上下和左右的微调,以保证各类光学元件达到共轴.

1.3.2 光学平台的调节

将各种光学元件(透镜、面镜等)组合成特定的光学系统,运用这些光学系统成像时,要获得优良的像,必须保持光束的同心结构,即要求该光学系统符合或接近理想光学系统的条件.这样,物方空间的任意一点,经过该系统成像时,在像方空间必有唯一的共轭像点存在,而且符合各种理论计算公式.为此,在光学平台上调节光学系统,必须满足以下两点.

1. 共轴

调节光学系统中的各种元件的光轴,使之共轴,并让物体发出的成像光束满足近轴光线的要求.

2. 等高

因为成像公式中的各段距离,都是指光学系统光轴上的距离,所以要从光学平台的刻度尺上的读数求出符合实际的距离,必须做到光学系统的光轴和光学平台的基线平行,简称等高.

调节光学系统各个元件的共轴等高,是光学平台实验中的一项基本要求,必须很好掌握,一般的调节可分粗调和细调两步进行.

(1) 粗调.

先把物、透镜、像屏等元件放置于平台上,如图 1-3 所示用 T 形辅助棒依次检查并调整物、透镜及屏的中心(图中物体 P 经透镜 L 成像于 P'),使各元件的中心大致在与平台平行的同一条直线上,并使物平面、像平面和透镜平面相互平行且垂直于光学平台的任一边.

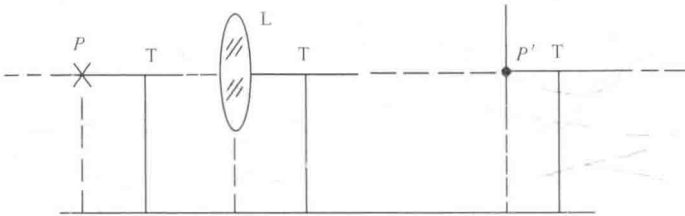


图 1-3 物、透镜、像屏等元件在光学平台上的粗调

(2) 细调.

根据成像规律进行调节.例如,在透镜焦距测定实验中,若物体和观察光屏相距较远,则移动透镜时会有两个不同的位置 I 和 II,于屏上分别呈现大、小两个实像.若物的中心处在透镜光轴上,而且光轴与平台边线平行,则移动透镜时,大小两次成像的中心必将重合.若物的中心偏离光轴,则当透镜移动时,两次成像时的中心不再重合.这时可根据像

中心的偏移判断, 调节至共轴等高状态. 如图 1-4 所示, 将物体 P 的中心偏离在透镜光轴之下, 则大小两像 P' 、 P'' 的中心均偏离光轴, 分别位于光轴上方的 P' 和 P'' 处, 小像中心 P'' 离轴较近.

一般调节的方法是成小像时, 调节光屏的位置, 使 P'' 与屏中心重合; 而在成大像时, 则调节透镜的高低或左右, 使 P' 位于光屏中心, 依次反复调节, 便可调好.

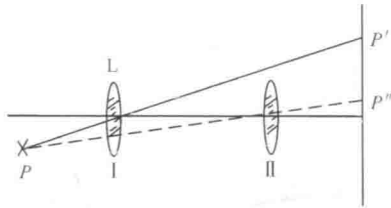


图 1-4 物、透镜、像屏等元件在光学平台上的细调

1.3.3 测微目镜

1. 构造原理和主要规格

测微目镜由目镜、分划板、读数鼓轮和接头装置组成. 它的种类很多, 最简单的一种是在目镜内装有毫米标尺(最小分格为 0.1mm), 但是这种测微目镜的准确度较差. 这里主要介绍一种有螺旋测微装置的测微目镜(型号是 MCU-15), 测量范围为 $0\sim 8\text{mm}$, 精度为 0.01mm . 它的外形如图 1-5 所示.

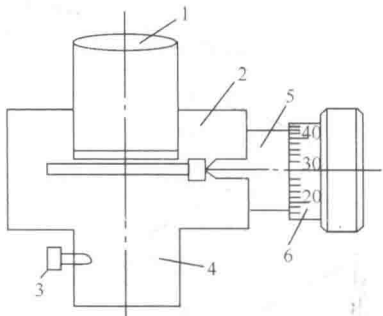


图 1-5 测微目镜

1. 目镜; 2. 本体; 3. 螺丝; 4. 接头套筒;
5. 带有指标的不动鼓; 6. 读数鼓轮

我们把本体盒打开(图 1-6)进行分析, 在目镜的焦平面附近固定了一块带有刻度的玻璃板(图 1-7(a)), 每分格为 1mm , 在图 1-6 中的分划板(2)上面刻有叉丝和一组双线组成的测量准线(图 1-7(b)), 玻璃板和分划板之间仅有 0.1mm 的空隙, 从目镜中观察就可看到合起来的图案(图 1-7(c)). 分划板的框子(1)与读数鼓轮所带动的丝杆通过弹簧(4)连接, 当转动读数鼓轮(6)时, 鼓轮的丝杆就推动分划板的框子(1)在导轨(3)内移动(导轨(3)保证分划板(2)在光轴的方向做横向移动), 读数鼓轮(6)每转动一圈, 测量准线和双线就移动 1mm . 在读数鼓轮上分 100 格, 每转动一小格, 测量准线就移动 0.01mm . 所以测微目镜的读数是测量准线的中心对准的玻璃刻度尺的刻度值加上不动鼓的指示线所指示的读数鼓轮上的读数.

2. 用途

测微目镜一般作为光学精密计量仪的附件使用. 读数显微镜、调焦望远镜、各种测长仪、测微平行光管和精度在秒级的测角仪都装有这种测微目镜. 它也可以单独使用, 主要是用来测量光学系统所成的实像的大小. 它的特点是测量范围较小, 但准确度较高.

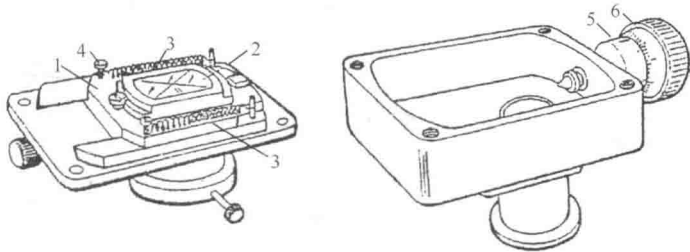


图 1-6 本体盒

1. 分划板框子; 2. 分划板; 3. 导轨; 4. 弹簧; 5. 带有指标的不动鼓; 6. 读数鼓轮

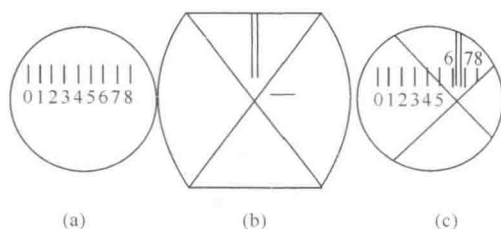


图 1-7 分划板

1.3.4 平行光管

这里主要介绍实验和精密测量用的平行光管或自准直平行光管。平行光管能发射平行光束。在平行光管上装有自准直的装置就称为自准直平行光管，因为它又能作望远镜，故又称为自准直望远镜。图 1-8 所示是两种常用的自准直望远镜的结构。

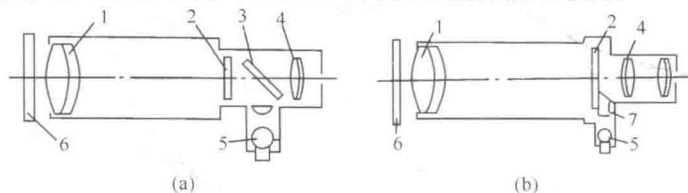


图 1-8 自准直望远镜结构图

1. 物镜；2. 分划板；3. 半透半反镜；4. 目镜；5. 小电珠；6. 平面反射镜；7. 棱镜

1. 结构和用途

通过平行光管可以获得来自无穷远的光束，这种光束称为平行光。平行光管是装、校、调整光学仪器的重要工具之一，也是光学计量中的重要组成部分，配上不同的划分板，各种附件以及测微目镜或读数显微系统，能做透镜及透镜组等光学系统成像质量和焦距的测定工作。平行光管的用途如下：

(1) 作为光学仪器装置检验调整使用，通常可分为 f300 型、f550 型、f1200 型等。

(2) 配上专用的测距分划板(或玻罗板)与测微目镜可测量距离，用玻罗板可测定透镜或透镜组的焦距，专门用作测定焦距时，可以组成焦距仪，如 f550 型焦距仪。

(3) 配上鉴别率板与显微镜可作透镜或透镜组的鉴别率的测定。

(4) 配上星点板与显微镜可作透镜或透镜组的成像质量的检查。

(5) 配上专用的反光镜和测微目镜可以测量导轨及大平面的直线性，也可组成这种类型的专用仪器，如自准直测微平行光管。但是在利用平行光管测定透镜焦距时，为了保证检查或测量的精度，对要求被测的透镜的焦距，最好不大于平行光管的焦距的 1/2。

2. 主要规格

表 1-1 列出 f550 型和 f1200 型平行光管的技术数据。

表 1-1 平行光管的技术数据

名称	型号	物镜		相对孔径	高斯目镜		照明灯规格
		焦距	口径		焦距	放大倍数	
f550 型平行光管	5W	550mm	55mm	1 : 10	44mm	5.7 倍	6V, 2.1W
f1200 型平行光管	32W	1200mm	80mm	1 : 15	44mm	5.7 倍	6V, 30W

3. 主要附件

(1) 反光镜, 又称调整式平面反光镜. $f550$ 型平行光管的附件主要是一块 $\phi = 100\text{mm}$ 的玻璃平面反光镜, 装在可以绕上下左右两个相互垂直的轴线转动(微小角度转动)的调节架上, 调节时每一个方向有一只调节螺丝来控制. 这种反光镜可在检查调整仪器时应用.

(2) 十字分划板(图 1-9(a)), 可以作平行光的调整及装校平行光管时使用.

(3) 鉴别率板(图 1-9(b)), 可以用于检验物镜或物镜组件的鉴别率. 板上有 25 个图像单元, 每个单元中平行条纹的宽度号码表明在说明书的附表中查出相应的条纹宽度即可了解物镜的鉴别率.

(4) 星点板(图 1-9(c)), 星点直径 ϕ 为 0.05mm , 通过被检定的光学系统的星点衍射图像, 根据图像的形状、颜色及清晰度, 可以作光学零件及组件成像质量的定性检查.

(5) 玻罗板(图 1-9(d)), 在玻璃基板上用真空镀膜的方法镶有五对线条, 各对线条之间的距离分别是 1mm , 2mm , 4mm , 10mm , 20mm . 它们的精度是 0.001 , 可作为测定焦距用.

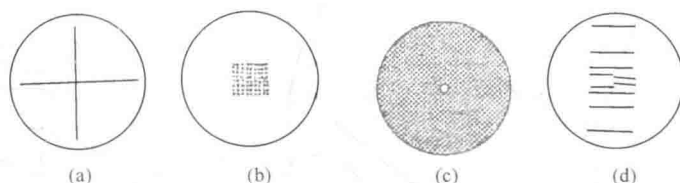


图 1-9 各附件示意图

1.3.5 移测显微镜

移测显微镜是用于精确测量长度的专用显微镜, 其形式比较多, 物理实验室常用的 JXD-1 型移测显微镜, 其规格如下:

总放大率 30 倍(物镜 $3\times$, 目镜 $10\times$);

数值孔径 0.10 ;

测量范围 $0\sim 50\text{mm}$;

测微鼓轮分度值 0.01mm .

JXD-1 型移测显微镜的外形结构如图 1-10 所示, 它是将低倍显微镜安装在精密的螺旋测量装置上, 转动测微螺旋, 显微镜筒能在垂直于光轴的方向上移动, 移动的距离可从读数装置上读出. 目镜中装有十字分划板, 用以对准测量目标.

在使用移测显微镜时, 应注意:

(1) 测量时应先调节目镜, 使测量叉丝在视场中清晰可见; 把被测目标放在毛玻璃(12)上, 使被测物体表面与镜筒(9)的光轴垂直并近似处在光轴上. 用手托住横轴(3), 放松底座手轮(13), 粗调工作距离, 使物镜距被测物体在 4cm 以内, 拧紧手轮(13)后, 再用调焦手轮(2)由近向远进行微调, 使清晰像与测量叉丝无视差对准后, 方可进行测量.

(2) 测量时, 必须使目镜的一根十字叉丝与显微镜的移动方向相垂直, 移动显微镜, 使这条叉丝逐次和被测物体(像)长度的两端点相重合, 如果显微镜移动方向与该两点的连线方向一致, 并且显微镜的光轴也垂直于该连线, 那么, 相应于两次位置的读数之差, 就是物体上被测两点的距离. 否则, 测得值不等于待测长度的真实值.

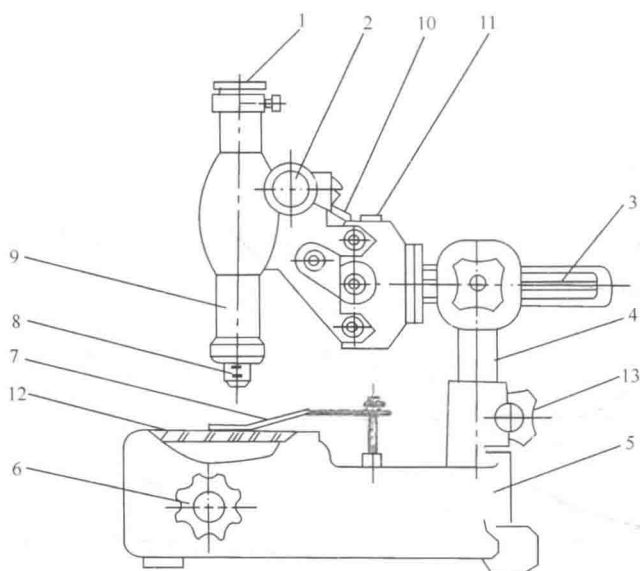


图 1-10 JXD-1 型移测显微镜的外形结构

1. 目镜; 2. 调焦手轮; 3. 横轴; 4. 立柱; 5. 底座; 6. 反光镜调节手轮; 7. 工作台弹簧; 8. 物镜;
9. 镜筒; 10. 指标; 11. 标尺; 12. 毛玻璃; 13. 底座手轮

(3) 由于显微镜的移动也是靠测微螺旋丝杆的推动, 因此, 移测显微镜和测微目镜一样, 也要防止回程误差。减少回程误差, 要采用单方向测量。

(4) 使用完毕后, 应用保护套罩好仪器, 以免灰尘进入丝杆部分。各种光学零件切勿随意拆动, 以保持仪器的精度。

1.3.6 光学仪器的保养维护

一个有实验素养的科学工作者, 对待自己使用的仪器是十分爱惜的。因为长期的科学实验的经验表明只有认真地注意保养和正确地使用仪器, 才能得到符合客观实际的结果, 较快地取得科学研究成果。

作为一个光学实验工作者不但要爱护自己的眼睛, 还要爱惜实验室的仪器。下面主要介绍光学实验室内如何保养光学仪器的问题。

1. 掌握影响光学仪器质量的因素

(1) 防霉: 在仪器的光学零件上出现蜘蛛网状的东西(即在光学仪器表面长“毛”), 这种现象称为长“霉”。这是由于一种叫做霉菌的微生物滋生而形成的。它在相对湿度和温度适应的条件下生长极快。相对湿度在 80%~90%是其生长最活跃的时期, 温度在 25~35℃, 即孢子发芽而成霉菌。霉菌的生长还要有一定的营养, 如蛋白质、脂肪、糖、氧和水分。而人手上的汗液和油脂也是含有营养的, 能促使霉菌的生长。霉菌在光学零件的表面上生长, 会分泌出一种酸性物质, 破坏光学零件的镀膜层而留下擦不掉的痕迹。

(2) 防雾: 光学仪器零件的抛光面上出现露水状的微小物, 这种现象称为生雾。这是光学玻璃的组成部分极易与油性物质和水汽化合作用的结果。光学零件生雾除了所用的光学材料本身的化学稳定性差之外, 也可能是由于擦拭光学零件表面不清洁处时留下的纤维或油脂、灰尘等形成的污染物未彻底擦净而引起, 或者是使用润滑油保养仪器时, 油脂的