

第 1 章 光学实验的基础知识

1.1 光学实验课程的目的、任务和基本要求

“光学实验”是对光电信息科学与工程等相关专业的学生进行专业实验知识技能训练的主干课程之一,包括应用光学、物理光学、信息光学、现代光学综合实验等内容。

该课程的目的是:使学生在光学实验的基础知识、基本方法和基本技能等方面得到系统的训练;提高学生研究光学现象和解决光学问题的实践能力;培养良好的实验习惯和严谨的科学作风;提高学生综合运用光学知识和创新的能力。

该课程的主要任务有:学习光学实验的基本理论,掌握基本光学元器件的结构、性能和使用场合,学会规范操作和使用光学仪器与实验装置,掌握光学系统的常用调整方法和实验技巧;学会通过光学现象的观察、分析、研究,总结光学实验思想;掌握误差的计算方法,正确表达实验结果。学生通过一系列的光学实验训练,应具有正确使用光学仪器、综合运用光学方法进行测量、正确处理实验数据、合理分析实验结果和撰写实验报告等方面的能力。

该课程培养学生的基本要求为:严谨细致、实事求是、刻苦钻研、一丝不苟的科学态度及爱护国家财产的道德品质;勤于动脑、乐于动手、讲究方法、遵守规程、注意安全等科学学习习惯;以科学态度对待每一个实验,实验前做好预习;实验时认真观察,仔细记录各种现象和数据;实验结束后整理现场,课后及时完成实验总结报告。具体内容如下:

1.1.1 实验前准备

实验前必须认真阅读教材、讲义、仪器说明书或观看指导教师为学生所准备的讲解视频,做好预习报告。预习报告一般包括以下内容:实验名称、实验目的、实验仪器、实验原理、实验内容、实验数据记录表格等。

实验前的理论预习十分重要。实验不是一个只动手不动脑的过程,需要对实验现象作出正确的判断,而对实验现象的理解首先需要掌握实验原理,若预习不充分,实验将无法开展。实验课程有实验课程的教学规律,其重点是实践,一般不主张指导教师系统地讲授理论,只能精讲甚至不讲,因此对原理的理解需要学生提前查阅教材与资料、观看预习视频等方式来完成,实验效果的好坏在很大程度上取决于学生的预习情况。

1.1.2 实验操作

实验操作部分包括光学系统的搭建与调整、实验现象的观察、数据测量与记录、初步分析与计算实验结果等。

学生通过预习后进入实验室,要遵守实验室规则。在实验操作之前,指导教师将对实验内容提出详细要求、对仪器设备进行介绍、对仪器操作进行示范、对注意事项进一步强调等。这个过程尤其重要,学生要认真听讲或记录。

在实验过程中,如果遇到困难或仪器出现故障,学生应在教师的指导下,分析原因、排查故障或解决问题。实验时,要尊重客观事实,详尽地考察各种条件下得到的实验现象和结果,仔细记录数据,认真分析和解释实验结果。这样不仅可以丰富实验内容,加深对理论的理解,还有利于对一些基本原理的深入探讨。实验完毕,做好仪器设备的整理工作。

1.1.3 实验结果呈现

实验结果以实验报告的形式给出,每个学生应独立完成实验报告。实验报告主要内容包括实验名称、实验目的、实验仪器、实验原理简述、实验步骤(包括光路或系统的调整、现象的观察和分析)、实验数据处理、实验结论(实验结果分析)和解答思考题。

(1) 实验仪器:要求记录实验所用仪器(包括规格和编号),记录仪器编号是一个好的实验习惯,便于以后必要时对实验进行复查。

(2) 实验原理简述:包括实验的理论依据、测试基本原理、原理图及必要的公式,说明式中各物理量的意义、单位以及适用条件等,切忌整篇照抄。

(3) 数据表格:数据记录应做到清晰且有条理,尽量采用列表法,特别注意在标题栏内要注明单位。数据不得任意涂改,确实测错而无用的数据,可在旁边注明“作废”,不要随意划去。要养成保留原始数据的习惯,便于对实验进行复查。

(4) 数据处理:这是实验报告的重要部分,包括结果计算、作图、误差估算等。其中,结果计算要明确给出计算公式和代入数值的运算过程;作图要用坐标纸或用软件拟合;误差估算要写出误差运算公式和运算过程,最后要按标准形式写出实验结果。必要时,还要注明结果的实验条件如室温、湿度等。

实验报告要求做到书写清晰,字迹端正,内容简明扼要。实验报告一律采用专用的实验报告纸。

1.2 光学实验的操作规范

为了保证实验的正常进行,应培养学生严肃认真的实验习惯和严格遵守实验室规则的精神。对于光学实验室,学生须遵守的规则如下:

(1) 光学仪器大部分是精密、贵重且易碎的仪器,大部分光学元件是由玻璃制成的,光学面经过了精细抛光处理。因此,在使用时思想要集中,动作要轻缓。光学元件不可相互摩擦、碰撞或挤压;暂时不用的光学元件,要包好放回原处,不要随意乱放,以免损坏。

(2) 人的手指带有汗渍等油脂类分泌物,不要用手直接接触光学面,以免影响其透光性和其他光学性质,任何时候只能用手接触光学元件的磨砂面。手持光学元件的正确姿势如图 1.1 所示。



图 1.1 手持光学元件的正确姿势

(3) 不要对着光学元件和光学系统讲话、咳嗽和打喷嚏,以免污染镜面。

(4) 光学面若落有灰尘,不可用嘴去吹或用手或布直接擦拭,应先用干净、柔软的脱脂毛刷轻轻掸除,或用橡皮球吹除,必要时可用脱脂棉球沾上酒精乙醚的混合液轻轻擦拭。

(5) 光学面若沾有油污等斑渍时,不要立即擦拭,因为很多光学表面都镀有特殊的光学薄膜。在擦拭之前一定要了解清楚,然后在教师或实验室工作人员指导下采取相应措施处理。

(6) 在不了解仪器的使用方法之前,不可乱拧旋钮、乱旋螺钉、乱碰仪器或随便接通电源,切忌拆卸仪器。光学仪器中有很多经过精密加工的零部件,如光谱仪和单色仪的狭缝、迈克耳孙干涉仪的蜗轮蜗杆、分光计的读数度盘等,都需要按操作规则小心使用。

(7) 实验中使用的激光是强光源,切莫用肉眼直视激光观测,以免损伤眼睛。

(8) 实验室内不得大声喧哗,更不准玩笑打闹,以免发生震动造成仪器或元件损坏或跌落;在防震台上进行实验时,不得随意走动,不得将身体倚靠在平台上,以免影响实验结果。

(9) 要注意实验室的清洁,讲究卫生,不得将食品、雨伞等带入实验室,以免污染仪器和实验室。

(10) 实验完毕,要让指导教师检查实验结果和仪器的使用情况。待指导教师检查并签字后,将仪器、桌椅恢复原状,放置整齐,填写仪器使用卡,经允许后方可离开实验室。

1.3 常用光源

根据不同的实验需要,实验室常备的光源按发光颜色分为单色、复色和白色光源;按发光形式分为热辐射光源、气体放电光源、电致发光光源和激光光源四类。

1.3.1 热辐射光源

常用热辐射光源有普通白炽灯、卤钨灯两种,其发射光谱多为连续光谱,主要用于非相干照明和连续光谱照明。

普通白炽灯是将灯丝通电加热到白炽状态,利用热辐射发出可见光的电光源。它一般用作白光光源,对光源要求不高的实验可选用此类光源。

卤钨灯是指填充有部分卤族元素或卤化物的白炽灯。当光源被要求有高亮度时可选用卤钨灯。卤钨灯灯丝一般呈现线、排丝状或点状,泡壳有长管形、圆柱形或球形。排丝状卤钨灯一般可作为均匀面光源使用;点状卤钨灯灯丝线度小,亮度高,适宜用作点光源。

1.3.2 气体放电光源

气体放电光源是指由气体、金属蒸气混合放电而发光的电光源,它通过气体放电将电能转换为光能。低压钠灯和低压汞灯是光学实验室用得较多的气体放电光源。

(1) 低压钠光灯: 钠黄光的平均波长为 589.3 nm , 是波长为 589.0 nm 和 589.6 nm 的两条主特征光谱线的平均值。这两条主特征谱线称为钠黄双线或钠 D 线。钠光灯通电后必须经过一段时间的预热,钠蒸气才能达到正常的工作气压而稳定发光,使用时应注意。

(2) 低压汞灯: 低压汞灯的发光效率较高,光谱分布在紫外、可见和红外区。在可见光范围内,其主特征谱线是 579.0 nm 、 577.0 nm 、 546.1 nm 、 434.8 nm 和 404.7 nm 。交流供电线路可通用。

1.3.3 电致发光光源

电致发光光源是指在电场作用下使物质发光的光源,包括场致发光光源和发光二极管(LED)两种。它一般用作白光光源,对光源要求不高的实验可选用此类光源。

例如,显微镜光源主要用于在使用显微镜观察时补充光线,一般为LED灯珠,功率一般在几瓦左右。这样的光源发热量极少,在观察时对产品的冷热度影响很小。

1.3.4 激光光源

激光光源是利用激发态粒子受激辐射而发光的光源,是一种相干光源。自从1960年美国科学家西奥多·梅曼(Theodore Maiman,1927—2007)制成红宝石激光器以来,各类激光光源的品种已达数百种,输出波长范围也从短波紫外直到远红外。激光光源按其工作物质可分为固体激光源、气体激光源、液体激光源和半导体激光源。下面介绍一种实验室常用的激光光源——He-Ne激光器。

He-Ne激光器可连续发射波长为632.8 nm、发散角小于2 mrad的激光,它的单色性好、相干性好、亮度高,是光学实验中最常用的一种光源。实验室常用的He-Ne激光器有以下三种:①腔长200~250 mm的腔式He-Ne激光器,其触发电压约6 000 V,工作电压1 700~2 000 V,最佳工作电流为5 mA,多横模输出,输出功率为2~3 mW,基横模输出功率为1.5~2 mW;②腔长500 mm的半外腔式He-Ne激光器,其触发电压约8 000 V,工作电压2 500~3 000 V,最佳工作电流为10 mA,基横模输出时,功率7~10 mW;③毛细管长1 000 mm的外腔He-Ne激光器,通常带有布儒斯特窗,触发电压为1 000~12 000 V,工作电压为4 000~5 000 V,最佳工作电流为15~20 mA,基横模、线偏振光输出,输出功率为30~50 mW。

激光器的触发电压和工作电压很高,使用时应注意安全;另外,激光光强很强,在任何情况下都不能用肉眼直视激光来进行观察,以免造成眼睛永久性损伤。

1.4 常用光电探测器

光电探测器是一种把光信号转换为电信号的器件,其工作原理是基于光辐射与物质的相互作用所产生的光电效应,通常分为光电探测器和热电探测器。常见光电探测器有光电管、光敏电阻、光电二极管、光电倍增管、光电池、四象限探测器;热电探测器有热电偶、热敏电阻、热释电探测器等。

光电导探测器是用光敏电阻做成的一种光探测器,即利用了半导体材料被光照射后材料电导率会发生显著改变的物理现象。光电管是基于外光电效应的基本光电转换器件;光电二极管的工作原理主要是基于光生伏特效应,利用光的变化引起光电二极管电流变化,把光信号转换成电信号,成为光电传感器件;光电倍增管是一种将微弱光信号转换成电信号的光探测器件,具有灵敏度极高、响应速度快、噪声低、光敏面大等特点。

光电池也称太阳能电池或光伏电池,是一种零偏压PN结光伏探测器,无须外加电压。常用的光电池有硒光电池和硅光电池两种:硒光电池的光谱灵敏范围为380~750 nm,峰值波长为570 nm,与人眼的光谱灵敏度曲线很相近,经常用于与人的视觉有关的测控技术中;硅光电池的光谱灵敏度范围为400~1 000 nm,峰值波长为780 nm,其性能稳定,寿命长,光

谱响应范围宽,响应快,常用在光度、色度和辐射测量技术中。光电池使用中应避免长时间集中照射光电池上某一部位,以免加快老化。

除此之外,还有集成光电接收器,它由光检测器及前置放大器组成的具有接收光功能的混合集成模块或单片集成组件,如基于 CMOS 工艺的集成光电探测器和 CCD 器件,都是实验室常用的光电探测设备。

热电探测器是指利用探测元件吸收红外辐射的能量而引起温升,再把温升转换成电荷量的一种探测器。热电探测器有热电偶、热敏电阻、热释电探测器等。

1.5 常用光机械部件

常用光机械部件有镜架及连接杆、光学平移台、光纤耦合器和光纤调整架、旋转台、俯仰台、夹持器件、光阑狭缝、机械支撑件、底座、螺纹螺丝杆、电控台等,分别如图 1.2、图 1.3、图 1.4 所示。



图 1.2 镜架及连接杆

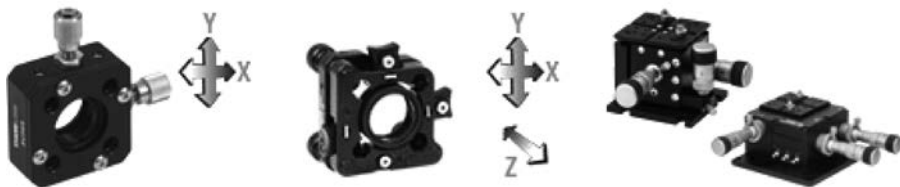


图 1.3 光学平移台



图 1.4 光纤耦合器和光纤调整架

1.6 常用光学元器件

1.6.1 透镜

透镜是用透明物质(如塑胶、玻璃、水晶等)制成的、表面为球面一部分的光学元件。普通透镜是由折射面为两个球面,或一个球面和一个平面组成的透明体,有凸透镜和凹透镜两

种。另外还有一些特殊透镜,如菲涅耳透镜、平板透镜、变折射率透镜、二元透镜、平面超透镜等。

菲涅耳透镜又名螺纹透镜,是一种消球差的大孔径聚光透镜。它通常由塑料,玻璃或有机玻璃等在模具中压制成形。镜片表面一面为光面,另一面刻录了由小到大的同心圆。它的纹理是根据光的干涉、衍射以及相对灵敏度和接收角度要求来设计的,如图 1.5 所示。

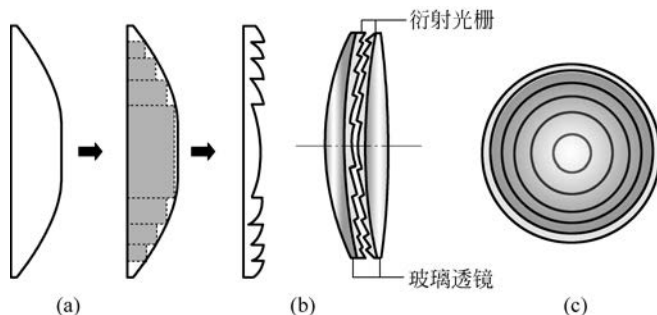


图 1.5 菲涅耳透镜

(a) 菲涅耳透镜加工过程; (b) 侧视图; (c) 正视图

变折射率透镜通常简称为梯析透镜,是使用具有梯度折射率的介质设计和制造的光学成像元件。根据梯度取向,其可分为轴向梯度、径向梯度、层状梯度、球梯度。

平面超透镜是运用最新的超表面技术刻蚀出来的一种具有超强控光能力的超薄透镜。

1.6.2 平面反射镜

平面反射镜是指反射面为平面的反射镜。因为经平面镜反射后,发散的同心光束仍是发散的同心光束,会聚的同心光束仍是会聚的同心光束,因此它是光学中唯一能成完善像的光学元件。平面反射镜的反射面可以是前表面,也可以是后表面,但用于重要设备上的反射镜的反射面,大多数是前表面。

1.6.3 分束镜

当一束光投射到镀有多层膜的玻璃上,光束就被分为两束或更多束,这种镀膜玻璃就叫做分束镜。

分束镜通常倾斜着使用,它能方便地把入射光分离成反射光和透射光两部分。在实验中,透射和反射之比为 1:1 的中性分束镜最为常用。常见中性分束镜有两种结构:一种是把膜层镀在透明的平板上的平板分束镜;另一种是把膜层镀在 45° 的直角棱镜斜面上,再胶合一个同样形状的棱镜,构成胶合立方体的棱镜分束镜。平板分束镜由于存在不可避免的像散,通常用在中、低级光学装置上;而对于性能要求较高的光学系统,可以采用棱镜分束镜。平板分束镜和棱镜分束镜的结构如图 1.6 所示。

除此之外,还有其他分束镜。例如,有一种可将多个波长的光按波长分开的分束镜,称为二向色性分束镜;还有一种可将不同偏振状态的光分开的分束镜,称为偏振分束镜。

1.6.4 棱镜

棱镜是用透明材料(如玻璃、水晶等)制成的多面体,可用于分光或使光束发生色散,在

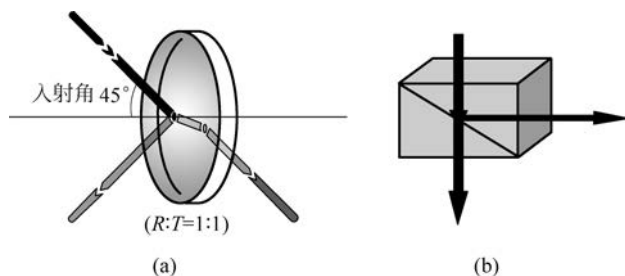


图 1.6 平板分束镜和棱镜分束镜

(a) 平板分束镜；(b) 棱镜分束镜

光学仪器中应用很广。棱镜按其性质和用途可分为多种,例如,在光谱仪器中把复合光分解为光谱的色散棱镜,一般用等边三棱镜;在潜望镜、双目望远镜等仪器中改变光的进行方向的全反射棱镜,一般采用直角棱镜。

1.6.5 光栅

由大量等宽、等间距的平行狭缝(刻痕)构成的光学元件称为光栅。常用光栅在制作过程中,会在玻璃片上刻出大量平行刻痕,刻痕部分不透光,两刻痕之间的光滑部分可以透光,这种利用透射光衍射的光栅称为透射光栅;若在镀有金属层的表面上刻出许多平行刻痕,两刻痕之间的光滑金属面可以反射光,这种光栅称为反射光栅。光栅按形状又分为平面光栅、凹面光栅和柱镜光栅;此外,还有全息光栅、正交光栅、相光栅、闪耀光栅、阶梯光栅等。

1.6.6 偏振片

偏振片也叫偏光镜,一般由两片光学玻璃与它们之间夹着的一片有定向作用的微小偏光性质晶体(如云母)组成。偏光镜可以分为圆偏光镜和线偏光镜两种,识别方法为:把偏光镜靠近眼睛,透过偏光镜看非金属的反射光,转动偏光镜到某个角度,反射光会明显减弱甚至消失的为线偏光镜。圆偏光镜是由一片线偏振镜与一片 $1/4$ 波片胶合而成的,该 $1/4$ 波片的光轴与线偏光镜的偏振光振动方向正好成 45° ,使得出射的光为圆偏振光。

1.6.7 波片

波片又称为相位延迟片,可使两个互相正交的偏振分量通过波片后产生相位偏移,可用来调整光束的偏振状态。常见的波片由石英晶体制作而成,故也称波晶片,主要有半波片和 $1/4$ 波片等。

若从法向入射的光经过波片后两正交偏振分量产生的相位差等于 π 的奇数倍,则称这种波片为 $1/2$ 波片,简称半波片。线偏振光通过半波片后,出射光仍为线偏振光,其振动面与入射线偏振光的振动面的夹角转过 2θ 。若 $\theta=45^\circ$,则出射光的振动面与原入射光的振动面垂直,偏振态旋转了 90° 。半波片还可以和偏振分束器配合使用,从而实现可变分光比的分光棱镜的功能。

若从法向入射的光经过波片后两正交偏振分量产生的相位差等于 $\pi/2$ 的奇数倍,则这种波片称为 $1/4$ 波片。当线偏振光的入射振动面与 $1/4$ 波片光轴的夹角 θ 为 45° 时,出射光

为圆偏振光；反之，当圆偏振光经过 $1/4$ 波片后，则变为线偏振光。当光两次通过 $1/4$ 波片时，相当于通过一个半波片。 $1/4$ 波片可以和偏振分束器配合使用，从而实现光隔离器的功能。

1.6.8 滤光片

滤光片是一种对光的不同波段选择性吸收的光学元件。它可以通过在塑料或玻璃片加入特种染料制成，也可以通过镀膜来实现。常见的滤光片有带通滤光片、截止滤光片、分光滤光片、中性密度滤光片、反射滤光片等类型。常见的带通滤光片是让选定波段的光通过，而让选定波段以外的光截止。如蓝色滤光片，当一束白光照射到蓝色滤光片上，只有蓝光能通过，其他波段的光都被滤光片吸收，故出射光为蓝光。带通滤光片分为窄带滤光片和宽带滤光片两类，窄带滤光片通过的光波长范围更窄，因此光更纯。截止滤光片可分为短波通（长波截止）型滤光片、长波通（短波截止）型滤光片。短波通型滤光片就是使短于选定波长的光通过，长于该波长的光截止；长波通型滤光片则恰好相反。

1.7 常用光学测量仪器

1.7.1 望远镜

1. 基本结构

望远镜是用来观察远距离目标的一种助视光学仪器，其结构特点是两分立系统的光学间隔为零，即物镜的后焦平面和目镜的前焦平面重合。这样，远处物体经物镜在其后焦平面上成一倒立缩小的实像，此像作为目镜的物再经目镜成一视角放大的虚像被眼睛接收。

常见的折射式望远镜结构如图 1.7 所示。其中，物镜 L_1 是一块消色差复合正透镜，镶嵌在套筒 M_1 的前端， M_1 套在镜筒 N 上，可前后移动。目镜 L_2 通常由两块凸透镜组成，装在目镜筒 M_2 的两端，靠近物镜的透镜称为接场镜，靠近眼睛的称为接目镜， M_2 可套入镜筒 N 并可前后移动。实验所用的测量望远镜在镜筒 N 内靠近物镜的一侧还装有十字准线 K 。

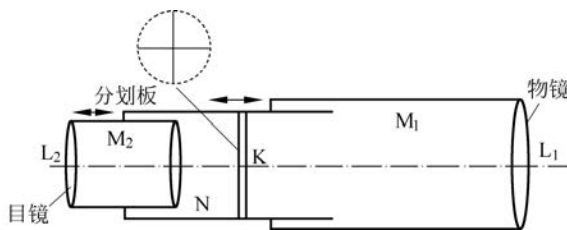


图 1.7 常见的折射式望远镜结构

2. 调节方法

- (1) 调节目镜，即改变 L_2 和 K 的距离，使得视野中能清晰地看到十字准线像。
- (2) 物镜调焦，即改变 L_1 和 K 的距离，使得视野中能同时清晰地看到十字准线和观察物的像，且无视差。产生视差的原因是观察物通过物镜所成的像与十字准线不在同一平面

上,当左右或上下稍微改变视线方向时,可看到两个像之间有相对位移,即有视差。

1.7.2 读数显微镜

1. 基本结构

读数显微镜由测微螺旋和显微镜组成,可直接用于精密测量。根据不同的测量要求,可选用量程、分度值和视角放大率不同的读数显微镜。读数显微镜的物镜应在严格而准确的横向放大率下工作,为此,在预定放大率的物镜像平面处安置一块分划板,并与物镜固结为一个整体。为使各种眼睛视度的人都能使用,读数显微镜的目镜必须进行视度调节。常用的 JCD-II 型读数显微镜结构如图 1.8 所示。

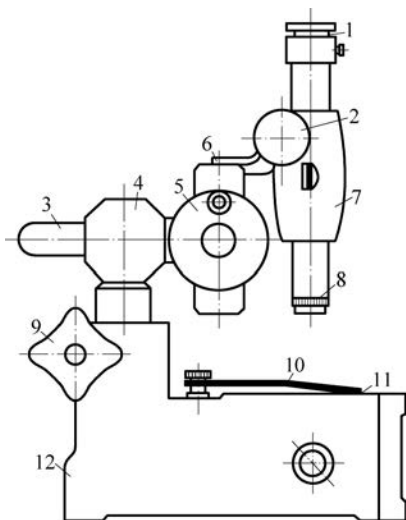


图 1.8 常用的 JCD-II 型读数显微镜结构

1-目镜; 2-调焦旋钮; 3-方轴; 4-接头轴; 5-测微手轮; 6-标尺; 7-镜筒支架; 8-物镜;
9-旋手; 10-弹簧压片; 11-载物台; 12-底座

图 1-8 中,1 是目镜及显微镜镜筒;调焦旋钮 2 用于显微镜调焦;旋转测微手轮 5,可使镜筒支架 7 带动镜筒沿导轨移动;测微装置分度值为 0.01 mm ,其读数方法与螺旋测微计相同。测量架方轴 3 可插入接头轴 4 的十字孔中,并可前后移动。接头轴 4 可在底座 12 内旋转、升降,并用旋手 9 固定。

2. 调节方法

- (1) 将被测物体置于载物台玻璃面上,用弹簧压片压紧,使其处于镜筒下方。
- (2) 调节目镜,直至在视野中看清十字分划板。
- (3) 转动调焦旋钮调节物镜,使被测物体清晰可见,并消除它与分划板的视差。调整被测物体,使其被测部分的横向和显微镜的移动方向平行。
- (4) 转动测微手轮,使十字分划板纵丝对准被测物体待测长度的起点,记下此时读数 A ;沿同一方向转动测微手轮,使分划板纵丝恰好止于被测物体待测长度的终点,记下读数 B ,则所测长度 $L = |A - B|$ 。

1.7.3 测微目镜

1. 基本结构

测微目镜一般用作光学仪器的附件,配置在适当的光学仪器上可作各种用途的测量。其结构如图 1.9(a)、(b)所示。

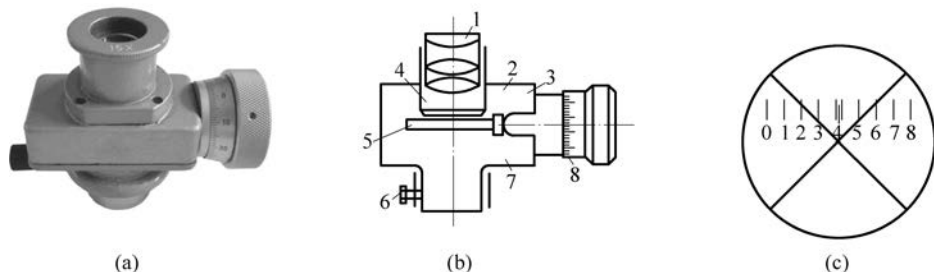


图 1.9 测微目镜结构及读数

(a) 实物; (b) 结构; (c) 读数

1-目镜; 2-本体盒; 3-丝杆; 4-玻璃标尺; 5-分划板; 6-螺钉; 7-接头套筒; 8-读数鼓轮

带有目镜 1 的镜筒与本体盒 2 相连,而接头套筒 7 与另一个带有物镜的镜筒(图 1.9(b)中未画出)相套接,即构成一台显微镜。靠近目镜焦平面的内侧,固定了一块量程为 8 mm、分度值为 1 mm 的玻璃标尺。与之相距 0.1 mm 处平行地放置另一块玻璃分划板,其上刻有十字线和一组双线作为准线。在目镜中观察时,即可看到玻璃标尺上放大的刻线像及与其相叠的准线像(如图 1.9(c)所示)。因为分划板的框架与读数鼓轮带动的丝杆通过弹簧相连,故当读数鼓轮转动时,可推动分划板左右移动。鼓轮每转一圈,分划板上的准线移动 1 mm,而鼓轮周边刻有 100 个分格,因此鼓轮每转过一个分格,准线相应地移动 0.01 mm。测量时,当准线对准被测物上某一位置时,该位置的读数应为主尺上准线所指示的整数毫米值与鼓轮上小数位读数值之和。

2. 调节方法

(1) 调节目镜与分划板的距离,直到分划板上的刻线清晰可见。

(2) 调节整个目镜筒与被测物的距离,使在视场中看到被测物的像也最清晰,并仔细调节使准线像与被测物像之间无视差。

(3) 转动读数鼓轮,推动分划板,使分划板十字线的交点或双线对准被测物像的一端,记下读数;继续沿同一方向转动鼓轮,使十字线交点或双线对准被测物像的另一端,记下读数。两者之差即为被测的长度。

(4) 在使用测微目镜测量时,同样应注意消除丝杆的螺距误差,因此测量时只能沿同一方向转动鼓轮。

其他常用光学测量仪器如平行光管、分光计(测角仪)、单色仪、照度计、光度计、光功率计、色度计等,它们的结构和使用方法在后面的章节里有详细的叙述,在此不做介绍。