

高等师范院校新世纪教材

生物(显微)摄影及电子图版 制作教程

曹建国 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了生物摄影知识和电子图版制作技术。主要内容包括摄影基础知识、摄影方法和技巧、暗室技术、生物显微镜和显微摄影、数码摄影、数码图片处理和电子图版制作技术等。本书是在汲取传统摄影知识的基础上,吸收了摄影技术最新的发展成果,着重于生物显微数码摄影技术和方法的介绍,同时还新编了数码图片处理和电子图版制作技术。本书内容丰富、条理清晰、由浅入深,是生命科学与图像采集和处理相关领域中有价值的一本参考书。

本书可作为高等院校生命科学、农学、林学、医学等相关专业的本科生和研究生的教材。也可作为相关学科科研人员和教师的参考书。对其他摄影爱好者也有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

生物(显微)摄影及电子图版制作教程/曹建国编著. —北京:科学出版社,2007

新世纪高等师范院校教材

ISBN 978-7-03-019993-5

I. 生… II. 曹… III. ①生物显微镜—显微摄影—师范大学—教材②自动绘图—软件包—师范大学—教材

IV. TB873 TP391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 144320 号

责任编辑:陈 露 韩 芳/ 责任校对:连秉亮
责任印制:刘 学 / 封面设计:一 明

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>

南京展望文化发展有限公司排版

常熟华通印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 9 月 第 一 版 开本:787×1092 1/16

2007 年 9 月 第一次印刷 印张:13 $\frac{1}{2}$ 插页 4

印数:1—3 200 字数:311 000

定价:27.00 元

前 言

生物摄影包括普通生物摄影和显微摄影,通过生物摄影能够获得大量图像信息资料,这些图像信息是记录实验结果的一种重要方式。因此,生物摄影是从事生物科学研究,尤其是从事形态学、解剖学、结构生物学等学科的重要研究手段。而图版制作是将照片按照一定的顺序拼制成图版,并对图版的内容进行标注和说明用于发表。

在记录图像的方式上,传统的方法是用胶片记录图像,再把胶片洗成照片,最后把照片制成图版用于发表。随着科学技术的不断进步,采集和记录图像的方式已由传统的胶片法逐步发展到电子记录法,即用数码相机、扫描仪等设备采集和记录图像。处理图片和制作图版的方法也由传统的粘贴制版发展为用电脑软件处理并制作。本教材在介绍传统生物摄影的基础上,重点介绍生物显微摄影、数码照片摄制和电子图版制作技术。

全书可分为三部分,第一部分主要介绍普通生物摄影,包括光和透镜的成像原理、摄影术和照相机、感光胶片、摄影技术和方法、暗室技术、生物显微镜和显微摄影;第二部分主要介绍数码摄影,包括数码摄影基础知识、数码照相机、数码显微摄影等;第三部分主要介绍图片处理和图版制作技术,包括数码图片处理技术、生物图像电子图版制作技术等。

本书的主要特点:1. 系统地介绍了传统生物摄影的技术和方法。鉴于传统生物摄影在生物科研的某些领域仍有一定的应用,如黑白照片在电子显微镜方面的应用,故传统生物摄影仍然是本书介绍的主要内容之一。2. 系统地介绍了生物显微镜和显微摄影的方法。生物显微镜和显微摄影是进行生物科学研究的重要手段之一,因此,该部分是本书重点介绍的内容。3. 系统地介绍了数码照相机和数码显微摄影方面的知识。数码照相机是近些年发展起来的新技术,它在生物图像记录方面的应用越来越广泛,本书将其作为重点内容加以介绍。4. 系统地介绍了数码图片的处理和电子图版的制作技术。由于电子图版在表现力上远远超过传统的生物图版,它可以用丰富的图形和符号来表示生物信息,因此,这一部分是本书的核心内容之一。

总之,本书是在总结了摄影最新发展成果的基础上,结合作者多年来从事生物摄影和电子图版制作方面的实践经验编写了此书,希望对从事此方面研究的科技工作者和学生有所帮助。在编写的过程中参阅了大量国内外的相关著作和部分网络资料,在此向这些资料的作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免有错误和不当之处,恳请广大读者批评指正。

曹建国

2007年3月

目 录

前 言

第一部分 普通生物摄影

第一章 光和透镜	3
第一节 光的特征	3
第二节 色彩基础	6
第三节 光学透镜	10
第二章 摄影术和照相机	18
第一节 摄影术和照相机的发明简史	18
第二节 照相机的基本结构	22
第三节 照相机的镜头	29
第四节 照相机的种类	36
第三章 感光胶片	39
第一节 黑白感光胶片的结构	39
第二节 黑白感光胶片的特性	40
第三节 彩色胶片	43
第四章 摄影的方法和技巧	45
第一节 胶片的曝光控制	45
第二节 滤光镜的原理与应用	53
第三节 闪光灯的原理与应用	55
第四节 摄影用光	65
第五节 摄影构图	68
第五章 暗室技术	78
第一节 洗相的基本原理	78
第二节 显影液	79
第三节 定影液	83
第四节 负片(胶卷)的冲洗	85
第五节 黑白照片的冲洗	87
第六章 生物显微镜和显微摄影	92
第一节 光学显微镜的基本结构	92
第二节 光学显微镜的工作原理	97
第三节 光学显微镜的性能	98
第四节 光学显微镜的调节和使用	100

第五节	光学显微镜的主要种类·····	104
第六节	显微镜的常用附件·····	113
第七节	传统显微镜摄影技术·····	114

第二部分 数码摄影

第七章	数码摄影基础·····	123
第一节	数码基础知识·····	123
第二节	数码图片·····	123
第八章	数码照相机·····	129
第一节	数码相机的工作原理·····	129
第二节	数码相机的结构和性能·····	131
第三节	数码相机的种类·····	135
第四节	数码相机的使用方法·····	136
第九章	数码显微摄影·····	140
第一节	数码显微摄影简介·····	140
第二节	数码显微镜·····	140
第三节	数码显微镜的安装和使用·····	143

第三部分 数码图片处理和图版制作技术

第十章	数码图片的处理技术·····	147
第一节	了解 Photoshop 工作区 ·····	147
第二节	Photoshop 图像文件 ·····	148
第三节	Photoshop 色彩模式及转换 ·····	155
第四节	图像色彩调整·····	159
第五节	图像素材的取舍·····	165
第六节	图像的修饰·····	170
第七节	绘图·····	175
第八节	绘画·····	180
第九节	图层·····	182
第十节	在 Photoshop 中使用文字 ·····	195
第十一章	生物图像电子图版的制作技术·····	199
第一节	制作生物图版的基本要求·····	199
第二节	生物图像电子素材的获取·····	200
第三节	国内主要生物期刊对图版规格的要求·····	201
第四节	电子生物图版的制作过程与方法·····	202
参考文献	·····	209

第一部分

普通生物摄影

第一章 光和透镜

第一节 光的特征

一、光的本质

我们的周围是充满光的世界,太阳、恒星可发光,月亮可反射太阳光,燃烧的物质和炽热的物体均可发光,光是我们认识世界的必要条件。那么,光的本质是什么呢?现代物理学认为光是一种客观存在的基本粒子,称光子或光量子(photon),它具有两种属性,即波动性和粒子性。麦克斯韦的电磁场理论认为,光本质上是一种电磁波,它可以被人的视觉感知,每种光都具有一定的波长和振动频率。

二、可见光与不可见光

炽热的发光体(如太阳)能够发出各种连续波长的光,称为光谱(light spectrum)。在整个电磁波范围内,并不是所有的光都可被人的眼睛所感受。大约波长只有在 380~750 nm 之间的光才能引起人眼的色知感觉。这段波长的电磁波叫可见光,也即我们平时所说的光。其余波长的电磁波,都是肉眼所看不见的,如波长大于 750 nm 的称为红外光,波长小于 380 nm 的称为紫外光,它们都属于不可见光(图 1.1)。

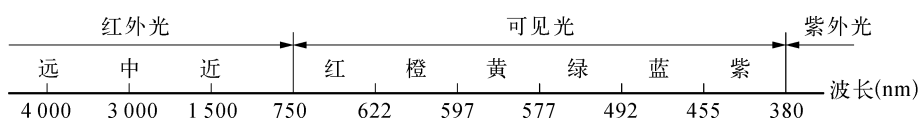


图 1.1 可见光谱示意图

根据实验,人眼对波长 556 nm 的光(黄绿色光)最敏感,然后随着波长的增大或减小而下降,当波长减小到 380 nm(青紫光)或增大到 750 nm(红光)时,人眼对光的感受能力逐渐丧失。红外线和紫外线虽然不能引起视觉反应,但用光学仪器和摄影的方法可以察觉得到,因此它们也属于光学研究的范围。

三、复色光与单色光

复色光指包含多种波长或频率的光,如日光、灯光、烛光等。复色光可以分解为单色光。

单色光指具有单一波长或频率的光,如 750 nm 的红光、370 nm 的紫光等。单色光不

能再分解出其他的色光。

四、光的物理性质

(一) 光的传播

光波是一种横波,它的振动方向和传播方向是相垂直的,在各向同性的均匀介质中,光按直线传播。光只有遇到很小的不透明的障碍物时,传播方向才会发生改变。

光的传播是相互独立的,从不同光源发出的光,以不同的方向通过空间某点时,彼此互不影响,各光线独立传播,这就是光线的独立传播规律。

(二) 光的反射和折射

当一束光线在真空或空气中传播时,由介质 1 投射到与介质 2 的分界面上时,光的传播方向将发生改变,即光线发生反射(reflection)和折射(refraction)的现象。

1. 光的反射

当光照射到某种媒质的界面上时,有一部分光返回到原介质中,称为反射。光的反射遵循反射定律,即反射光线、入射光线和法线在同一平面上,反射光线和入射光线分居在法线两侧,反射角等于入射角(图 1.2 左)。如果物体表面(反射面)是均匀的,类似镜面一样,将发生全反射。当反射面不均匀时,将发生漫反射,一个理想的漫射面能将入射光线在各个方向上做均匀反射,其亮度与视点无关,是个常量。

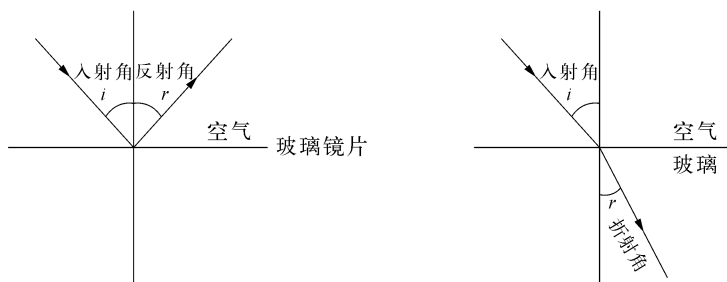


图 1.2 光的反射(左)和折射(右)

摄影时,如果被拍摄对象表面光亮,会发生光线全反射,造成局部过亮或过暗。因此,需要被拍摄物体尽量为漫反射,减少全反射(如不戴眼镜、不穿光亮的衣服或白颜色的衣服等)。

2. 光的折射

光从一种介质斜射入另一种介质时,传播方向发生改变,这个现象叫光的折射。折射与介质和光的波长有关。折射定律为折射光线和入射光线、法线在同在一平面上,折射光

线和入射光线分居法线两侧。光从空气斜射入介质时,折射角小于入射角。光从介质斜射入空气时,折射角大于入射角(图 1.2 右)。

折射定律可用公式表示为

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

式中, n_1 和 n_2 分别表示两种介质的折射率, i 为入射角, r 为折射角。任何介质相对于真空的折射率,称为该介质的绝对折射率,简称折射率(index of refraction)。对于一般光学玻璃,可以近似地认为空气的折射率等于 1,以空气的折射率来代替绝对折射率。

(三) 光的衍射

在光的传播过程中,当光线遇到障碍物时,它将偏离直线传播,这就是光的衍射(diffraction)。当光通过一个小孔时,如果小孔的直径接近于光的波长,产生的衍射现象最明显。在摄影方面,如果把光圈关的过小,衍射现象就明显,会产生成像不清晰现象。

(四) 光的色散

白光是由各种波长的光线平均混合在一起形成的,感觉不出色彩。当白光通过三棱镜时,我们可以观察到彩虹光谱,这是由于光学玻璃的折射率会随光波长的变化而变化,它对短波光的折射率比对长波光的折射率大,从而发生折射角不同的现象,这种由于对不同波长的光折射率不同而产生的彩虹光谱称之为色散现象(dispersion)(图 1.3)。

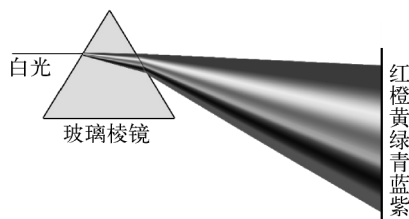


图 1.3 光的色散示意图(见彩页)

(五) 光的吸收

光照射在物体上,有三种情况发生,即反射、透过和吸收。对摄影来说,反射和吸收都属于光的损失,为了减少光的损失常采取的方法有:① 胶合透镜片,以减少空气面;② 镜头透镜表面涂以氟化物薄膜。

(六) 光的偏振

光波是横波,其振动方向和传播方向是相互垂直的。通常情况下,自然发光体发出的光其振动方向是向各个方向的,是非偏振的光。如果一束光只有一个固定的振动方向,这样的光称为偏振光。在实际应用中我们可以用光学仪器(偏光镜)来产生偏振光。光的偏振在实践中有一定的应用,如制造偏光滤镜、微分干涉差显微镜中的起偏镜和检偏镜等。

(七) 光强度、光通量、照度和亮度

这是几个表示和描述光强弱的单位。

1. 光强度

即发光强度(luminous intensity),是描述光源辐射强弱的单位,原始计量是通过人眼的感觉进行的,大约二百多年前,已经使用“烛光”作为发光强度的单位,它是指一支蜡烛在水平方向上的发光强度,称为1烛光。

现在,发光强度的单位为坎德拉(candela,意为用兽油制作的蜡烛),1979年10月召开的第十六届国际计量大会上正式规定:频率为 540×10^{12} Hz的单色光,沿给定方向的辐射强度为 $1/683$ W/Sr(瓦/球面度)时,光源在该方向的发光强度为1 cd(坎德拉)。

2. 光通量

光通量(luminous flux)指光源每秒钟发出的光量之总和,单位为流明(lumen, lm)。

3. 照度

照度(illuminance)指被照物体单位面积内入射光的量,也就是单位面积上的光通量(lm/m^2),所得到的值用来表示某一场所的明亮度,单位为勒克斯(lx)。 $1\text{x} = 1\text{lm}/\text{m}^2$ 。同样强度的光源,某一位置的照度和其与光源的距离有关,当光源的发光强度不变,距离越远,照度越小,物体表面的照度与距离的平方成反比,称为平方反比定律,该定律适用于点光源。

4. 亮度

亮度(brightness)物体表面受光照后所呈现的明亮程度,光源在某一方向上的单位投影而在单位立体角中反射光的数量,称为光源在某一方向的光亮度,符号为 L ,单位为坎德拉/平方米(cd/m^2)。

第二节 色彩基础

一、色彩原理

(一) 什么是色彩

色彩是不同波长的可见光刺激眼睛所产生的视觉现象。要理解这一问题,必须知道我们常说的“白光”实际是由红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等不同色光组成的,这些不同颜色的光称为光的色彩。

(二) 人眼对色彩的感知

色彩是人眼对光的一种感知,人类的眼睛是怎样区别各种不同光线颜色的呢?人眼的视网膜上具有锥状及杆状两类感光细胞,其中杆状细胞灵敏度高,能感受非常暗的物体,但没有色彩感觉;而锥状细胞只对较强的光敏感,至少有三种不同的感色神经细胞分别感觉红光、绿光和蓝光。人脑受到三种感色系统的相应刺激,它们刺激的强弱不同就组合成不同颜色的光,从而使我们看到可见光谱范围内所有颜色的光。

值得说明的是并不是所有的人都能正确地感知色彩,在全人类中大约8%~10%的男性和0.5%的女性不能完全区分色彩,即色盲。最普遍的是辨别红色和绿色困难,即红绿色盲,完全色盲者(只看见灰色的影像)是很少见的。色彩的视觉是很主观的,每个人所经历的色彩感觉均会因诸多因素影响而产生差别。

(三) 物体的颜色

物体的颜色是指在白光照射下所呈现出的颜色。物体通常可分为透明体和不透明体两种。对于不透明物体,在白光照射下,如果物体呈现红色,我们称它为红色物体,呈现蓝色称为蓝色物体,这是因为反射出来的光波长度是红色和蓝色光波的缘故。对于透明物体,如果透过的光是蓝色光线,人眼感觉到它是蓝色的,那是因为白光中的蓝色光透过玻璃到达眼睛形成的色觉感知。那么,其他波长的光线到哪里去了呢?它们被物质吸收了,所以,眼睛看到的不同颜色的光是经物体吸收后反射或透射过来的光。如果物体的表面能够把白光中所有色光几乎全部地吸收掉,这就是黑色物体。如果能够把各种色光几乎全部地反射出来,这是白色物体。

物体的颜色与物体本身的性质有关,也与入射光的波长或频率有关,同一个物体在不同光源的照射下可以呈现不同的颜色,这是由于不同的光源发射的光波波长或频率不同而造成的,使用单色光照明,物体则只能呈现这一种颜色或黑色。例如,用不含红色光的光源照射红色物体,此物体不是红色而是黑色了。我们平时在商店里选购衣物,在室内看颜色比较满意而在室外看觉得颜色不好,其原因是商店常用日光灯照明;其光色不如太阳光全而造成的。

二、色彩的分类与特性

现代色彩学把色彩分为两大类,即无彩色系和彩色系。

(一) 无彩色系

无彩色系或称无色系,只有黑和白两种颜色。理论上,纯白是能将光线完全反射的物体,纯黑是能将光线完全吸收的物体。可是在现实生活中并不存在纯白与纯黑的物体,颜

料中采用的锌白和铅白只能接近于纯白,煤黑只能接近于纯黑。无彩色系的颜色只有一种基本属性,即明度。它们不具备色相和纯度的性质,也就是说它们的色相与纯度在理论上都等于零。

无彩色系具有明度的变化,这种明度的级别称为色调。将纯黑逐渐加白,使其由黑、深灰、中灰、浅灰直到纯白,分为 11 个阶梯,即 $0^{\circ}\sim 10^{\circ}$,称为明度渐变。凡明度在 $0^{\circ}\sim 3^{\circ}$ 的称为低调,低调的颜色深,亮度低; $4^{\circ}\sim 6^{\circ}$ 的称为中调,其灰度中等; $7^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 的称为高调,高调的颜色浅,亮度高。如图 1.4 所示,色调从左至右分别为 $0^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 。



图 1.4 无彩色系的明度色标

无彩色系明度差别的大小,决定于明度对比的强弱,两个色调在 3° 以内的对比称为弱对比,在 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 之间的称为中对比,在 5° 以上的称为强对比。

色调及其对比强弱能引起人们不同的心理感觉,一般来说,高调明快、活泼,低调朴素、沉稳。色调对比较强时光感强、反差大、清晰度高;色调对比弱时光感弱、反差小、感觉模糊不清。色调的这种变化可在摄影时加以应用。

(二) 有彩色系

有彩色系有三个基本特征:色相、纯度、明度,在色彩学上也称色彩的三要素、三属性或三特征。

1. 色相

色相是指色彩的相貌,确切地说是依波长来划分色光的相貌。可见光因波长的不同,给眼睛的色彩感觉也不同,每种波长的色光就是一种色相。根据色散可分出色相的序列关系为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫(图 1.5)。



图 1.5 有彩色系的色相(红、橙、黄、绿、青、蓝、紫)(见彩页)

2. 纯度(彩度、饱和度)

纯度是指色光波长的纯合程度,它表示颜色中含有色成分的比例。含有色彩成分的比例愈大,则色彩的纯度愈高;含有色成分的比例愈小,则色彩的纯度也愈低。光谱的各种单色光是最纯的颜色,为极限纯度。当一种颜色掺入黑、白或其他彩色时,纯度就产生变化。

3. 明度

明度是指色彩的明亮程度。各种有色物体由于它们反射光量的区别而产生颜色的明

暗强弱。色彩的明度有两种情况：一是同一色相不同明度，如同一颜色的物体在强光照射下显得明亮，在弱光照射下显得较灰暗；对于颜料来讲，同一颜色的颜料加黑或加白以后也能产生各种不同的明暗层次。二是各种颜色的不同明度，每一种纯色都有与其相应的明度，黄色明度最高，蓝紫色明度最低，红、绿色为中间明度。色彩的明度变化往往会影响到纯度，加入黑色以后明度降低了，同时纯度也降低了；加入白色则明度提高了，纯度却降低了。有彩色系的色相、纯度和明度三特征是不可分割的，应用时必须同时考虑这三个因素。

三、颜色混合

(一) 三原色

三原色是指色彩中的某一种颜色，不能由另外两种颜色混合产生，称为原色，原色有三种，即红、绿、蓝，其他色可由这三种颜色按一定的比例混合出来，这三个独立的色彩称为三原色(或三基色)。

三原色的发现经历了较长的过程，最初，牛顿用三棱镜将白光分解得到红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种色光，这七种色光混合后又得到白光，因此他认为这七种色光为原色。后来，物理学家大卫·鲁伯特发现染料原色只是红、黄、蓝三色，其他颜色都可以由这三种颜色混合而成的。他的这种理论被法国染料学家席弗通过各种染料配合试验所证实。从此，三原色理论被人们所接受。

1802年英国生理学家汤马斯·杨和德国生理物理学家赫姆霍尔兹根据人眼的视觉生理特征提出了新的三原色理论，他们认为色光的三原色并非红、黄、蓝，而是红、绿、紫。这种理论又被物理学家麦克斯韦证实，他通过物理试验，将红光和绿光混合，这时出现黄光，然后掺入一定比例的紫光，结果出现了白光。此后，人们才开始认识到色光和颜料的原色及其混合规律是有区别的。

色光的三原色是红、绿、蓝(蓝紫色)(图 1.6)。颜料的三原色是红(品红)、黄(柠檬黄)、青(湖蓝)(图 1.7)。色光混合变亮，称为加色混合。颜料混合变暗，称为减色混合。

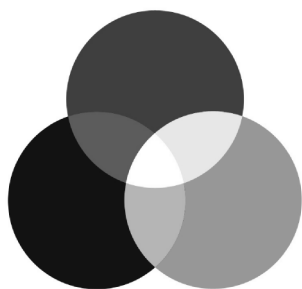


图 1.6 光的三原色(见彩页)

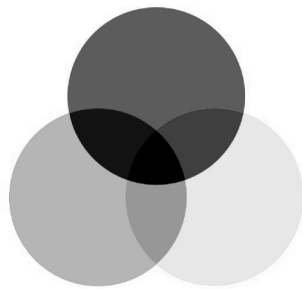


图 1.7 颜料的三原色(见彩页)

(二) 加色法

从光学实验中得出:光的三原色为红、绿、蓝(蓝紫),这三种色光是其他色光所混合不出来的,而这三种色光以不同比例的混合几乎可以得到自然界所有的颜色,称为色光混合的加色法(additive process)。所以红、绿、蓝(蓝紫)是加色混合最理想的色光三原色。

加色混合可得出:红光+绿光=黄光;红光+蓝紫光=品红光;蓝紫光+绿光=青光;红光+绿光+蓝紫光=白光。如果改变三原色的混合比例,还可得到其他不同的颜色。由于加色混合是色光的混合,因此随着不同色光混合量的增加,色光的明度也逐渐加强。当全色光混合时可趋近于白色光,它较任何色光都明亮。加色混合效果是由人的视觉器官来完成的,因此是一种视觉混合。

(三) 减色法

如前所述,物体(包括颜料)之所以能显色,是因为物体对色谱中色光选择吸收和反射所致。“吸收”也就是减去的部分色光,因此颜料的混合得到的不同颜色称为色彩混合的减色法。减色法(subtractive process)的原色为青、品红、黄三色,用减色混合法可得出:品红+黄=红;青+黄=绿;青+品红=蓝;品红+青+黄=黑。印刷即是利用减色原理,印刷机在纸上印上青、品红和黄等三种主色色墨,三者的比例不同可印出不同的颜色。

从色光和颜料三原色混色图中可以看出加色混合的三原色,恰是减色混合的三间色,而减色混合的三原色又恰是加色混合的三间色。

凡两种色光相加呈现白光,或两种颜色相混呈现黑色,那么这两种色光或颜色即互为补色。不论是色光或是颜料,红与青、绿与品红、蓝与黄都互为补色。

第三节 光学透镜

光学透镜是由玻璃、石英或透明塑料制造的两个折射面都是球面或一面是球面另一面是平面的透明镜片,透镜的基本特征是能够成像,因此它是许多光学仪器的重要组件,也是显微镜和照相机的核心部分。显微镜的物镜、目镜和照相机的摄影镜头均是由透镜组成的。

一、透镜的种类

光学透镜主要指凸透镜和凹透镜。

(一) 凸透镜

凸透镜也称为聚光透镜或会聚透镜,是一种能使光线向光轴靠拢的透镜,该种透镜的

边缘薄,中间厚,可分为双凸、平凸和凸凹三种类型(图 1.8)。

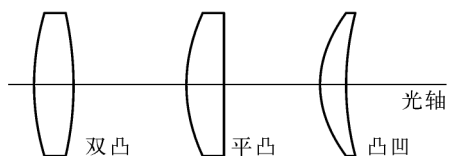


图 1.8 凸透镜的类型

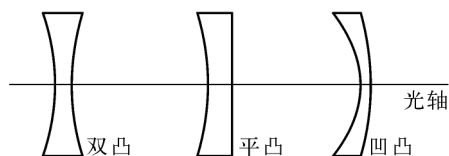


图 1.9 凹透镜的类型

(二) 凹透镜

凹透镜也称为散光透镜,是一种能使光线沿光轴向外发散的透镜,该种透镜的边缘厚,中间薄,可分为双凹、平凹和凹凸三种类型(图1.9)。

(三) 非球面透镜

光学透镜通常是球面状的,从透镜中心到边缘有固定的曲率,这种透镜称为球面透镜。而非球面透镜的曲率则是从透镜中心到边缘作连续变化,非球面透镜又有单面和双面两种。当镜头使用了非球面镜片之后,可以有效地克服“球差”,制成大孔径的高像质镜头,提高成像质量,减少镜头的重量和长度,有利于镜头的小型化。

(四) 复透镜和透镜组

1. 复透镜

由两个或两个以上的单透镜胶合而成的透镜。

2. 透镜组

由两个或两个以上相互隔开一定距离的单透镜或复透镜组成的系统叫透镜组。

现代生产的显微镜和照相机的镜头有很大一部分都是透镜组。透镜组的优点是能减小像差,提高成像质量。

二、透镜的成像

(一) 物和像的概念

在几何光学中,把光学系统之入射线会聚点的集合或其延长线会聚点的集合称为物(object);把光学系统之出射线会聚点的集合或其延长线会聚点的集合称为像(image)。

像可以分为实像和虚像,实像是由实际光线会聚成的点所组成的像,实像可以被眼睛或其他光能接受器(如照相底片、干板、荧屏等)接收。虚像是由实际光线的反向延长线会

聚成的点所构成的像,虚像可以被眼睛观察,不能被其他光能接受器所接受,但可以通过另一光学系统使虚像转换成实像,从而被任何光能接收器接收。

物和像是相对的,如由显微镜组成的光学系统中,标本是物,通过物镜后产生实像,该实像对于目镜来说又是物,它通过目镜后成为一个放大的虚像。

通常,对某一光组来说,当物体的位置固定后,总可以在一个相应的位置上找到该物体所成的像,这种物与像之间的对应关系在光学上称之为共轭(conjugation)。

(二) 透镜的基本特性

1. 透镜的光轴与光心

凸透镜有主光轴和副光轴之分,主光轴是指通过透镜的两个折射球面的球心(O_1 和 O_2)的直线,叫透镜的主光轴(或主轴)(图 1.10)。透镜的光心是指光线通过主光轴上某一特殊点,而不改变方向,这个点叫透镜的光心(O)(图 1.10)。除主光轴外通过光心(O)的其他直线叫副光轴。一般使用透镜时,物体都位于主光轴附近,入射光线的入射角很小,这样的光线叫近轴光线。

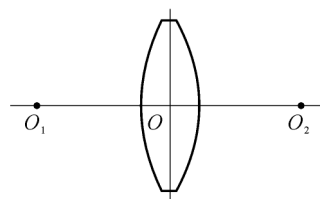


图 1.10 凸透镜光轴和光心

2. 透镜的焦点

一束平行于主光轴的光线,通过凸透镜后会聚在主轴的某一点 F 上,这一点称为凸透镜的焦点。对于凹透镜来说,平行于主光轴的光线,通过凹透镜后发散,其反向延长线会聚在主光轴上的某一点,该点为凹透镜的焦点(F')。凸透镜的焦点是由光线会聚而成,为实焦点;而凹透镜的焦点是发散光线的反向延长线的交点,不是实际光线会聚而成,为虚焦点(图 1.11)。

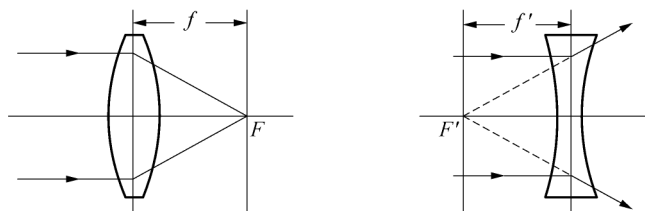


图 1.11 凸透镜和凹透镜的焦点

焦平面是通过焦点 F 并垂直于光轴的平面。倾斜于光轴的平行光线所会聚的点必定落在焦平面上。焦距就是透镜中心到焦点的距离(f)。

3. 透镜的主点和主面

以上所说的透镜的焦点、焦平面和焦距都是对理想的薄透镜而言的,而照相机、显微镜物镜的透镜多是由透镜组构成的,其焦点、焦距的计算比较复杂。当无穷远处的光线或平行光线通过透镜组时,相交于光轴 F' 点上,该点称为像方焦点(后焦点或第二焦点)

(图 1.12)。当入射平行光线 (AB) 的延长线与出射会聚光线 (CF') 的反向延长线相交于 Q' , 通过 Q' 点且垂直于光轴的平面为折射主面, 称为像方主平面 ($Q'H'$), 这个想象的平面与镜头光轴相交处就是像方主点 (H')。自像方主点到像方焦点的距离称为像方焦距, 通常所说的照相机的焦距即是指镜头的像方焦距。

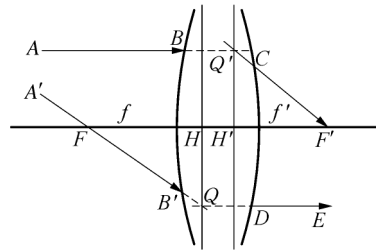


图 1.12 透镜的主点与主面

根据光路的可逆性原理, 透镜组也必然有物方焦点 F 。通过物方焦点的光线 ($A'B'$) 通过透镜后形成平行于光轴的光线 (DE)。它们的延长线相交于 Q , 通过 Q 点作垂直于光轴的平面也为折射主面, 称为物方主平面 (QH), 它与镜头光轴相交处就是物方主点 (H)。自物方主点到物方焦点的距离称为物方焦距。必须注意, 由于照相机镜头设计, 特别是变焦距镜头中广泛采用了望远镜结构, 物方焦距与像方焦距不一定是相等的。

在使用透镜组时, 计算物距和像距是从主点算起的。由透镜的物方主点至物的距离称为物距, 由透镜的像方主点至像平面的距离称为像距。

(三) 透镜的成像规律

物体发出的光线经过光学透镜后可以成像, 尽管显微镜的物镜、目镜和照相机的摄影镜头很多都是由几个凸透镜或凹透镜组成的, 可实质上它们都只相当于一个凸透镜。

1. 凸透镜成像规律

物体发出的光经过凸透镜后会聚通常在透镜的异侧形成实像, 其成像规律见表 1.1。

表 1.1 凸透镜成像规律

物距 (u)	像 的 性 质			像 距 (v)
	正 倒	大 小	虚 实	
$u > 2f$	倒 立	缩 小	实 像	$f < v < 2f$
$u = 2f$	倒 立	等 大	实 像	$v = 2f$
$f < u < 2f$	倒 立	放 大	实 像	$v > 2f$
$u < f$	正 立	放 大	虚 像	$v > u$

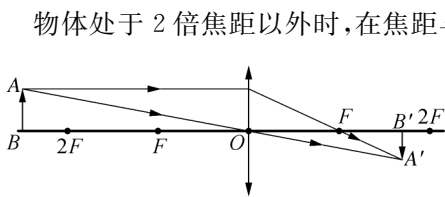


图 1.13 凸透镜成像示意图

物体处于 2 倍焦距以外时, 在焦距与 2 倍焦距之间成倒立的、缩小的实像。照相机就是根据透镜的这一成像规律制作的, 即被拍摄对象经过照相机镜头后在底片上所成的像是一个缩小的实像 (图 1.13)。

物体处于 2 倍焦距和 1 倍焦距之间时, 在 2 倍焦距以外成倒立的、放大的实像。显微镜的

物镜、幻灯机以及电影机镜头就是根据这一原理制作的。

物体处于焦点以内时,在物体的同侧、物距之外成正立放大的虚像。放大镜及显微镜的目镜是根据这一原理制作而成的。

凸透镜成像规律可用公式表示为

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

式中, f 为凸透镜的焦距; u 为物距,即物体到透镜的距离; v 为像距,即像到透镜的距离。

对于凸透镜来说, f 和 u 总是正的,但 v 的值有正有负,当 v 的值是正数是表示所成的像是实像,当 v 是负值是表示所成的像是虚像。

2. 凹透镜成像规律

物体发出的光经过凹透镜后发散,不能进行会聚,因此不能形成实像,而在物体的同一侧形成一个缩小的虚像。

3. 透镜成像的放大率

我们把透镜所成像的长度与物体长度的比值,称为像的放大率,常用 M 表示,其公式为

$$M = \frac{A'B'}{AB}$$

式中, $A'B'$ 表示像长, AB 表示物长。

三、透镜的像差

在各种光学仪器中,除了平面镜能够形成完善的像之外,其他各种球面系统所成的像都不十分完善,会产生不同程度的像差问题。像差是光学系统(如透镜、显微镜、照相机)摄取的影像与原物不准确相似的现象,是由于物点发出的光线与系统主轴夹角太大、离轴过远或系统材料的折射率随波长而变化等原因造成的。产生像差不仅是光学系统品质的优劣,更是由于这些光学部件的几何形状造成的,因此,也把这些像差称为几何像差。透镜的像差包括:球面像差、彗形像差、像散、像场弯曲、畸变和色差。

(一) 球面像差

球面像差简称球差(spherical aberration),当球面透镜的轴上光点发出的光线经过透镜时,因距离光轴不同的光线在透镜表面的折射情况不同,出射光线的折射角就不同,近轴光线折射角小,远轴光线折射角大,从而使折射光线不能完全会聚成一点,此方面之差异称为球面像差。如轴上 A 点通过近轴光线成的理想像为 A_0 ,而边缘光线成的像为 A' ,二者不相重合,这种像差是由于透镜是球面镜引起的,故称为球面像差(图 1.14)。

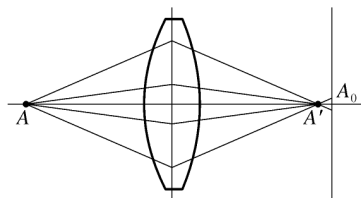


图 1.14 透镜的球面像差

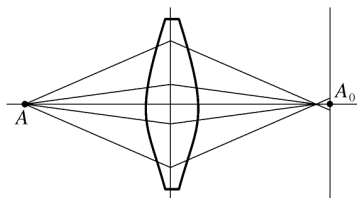


图 1.15 非球面对球面像差的校正

球差对影像质量的影响使理想像面上得到的不是点像,而是一个圆形的弥散斑,从而使像模糊不清。一般来说,透镜的焦距越短,球面的凸度越大,球差也越大。球差是一种对称的像差,为了使成像清晰,必须校正球差。消除球差的办法包括:①可选取不同曲率的非球面透镜消除球面像差(图 1.15),但研磨非球面透镜的要求高、难度大、价格昂贵,只有少数特殊的镜头应用了这种透镜。②用复合透镜能够有效地消除球差,这是目前镜头设计中普遍采用的方法。③使用照相机摄影时,如果相机镜头的球差较大,可用减少光圈的办法来减小球面像差的影响。

(二) 彗形像差

彗形像差(不对称的像差)是指轴外光点经透镜成的像为一不对称的弥散斑,所成的像一端小而实,另一端大而虚,形状像彗星,故称彗差(图 1.16)。彗差是由于光学系统对同一物点不同孔径角的光线的垂轴放大率不同引起的,不易与球差同时消除,用缩小光圈的办法在一定的程度上可减小因彗形像差所引起的缺陷。

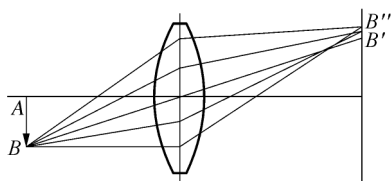


图 1.16 透镜的彗形像差

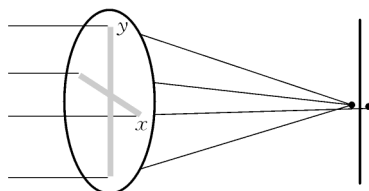


图 1.17 透镜的像散

(三) 像散

像散也是一种像差,凡是从侧面射过来的光线,经由透镜折射后,常会发生 x 轴与 y 轴的聚焦点不一致的情况,称为像散(astigmatism),所以像散也叫纵横像差(图 1.17)。光线在 x 轴上清晰,在 y 轴上必然模糊;反之亦然,在 y 轴上清晰,在 x 轴上必然模糊。

(四) 像场弯曲

像场弯曲是指透镜的聚焦平面发生弯曲,与成像平面不一致的现象(图 1.18)。

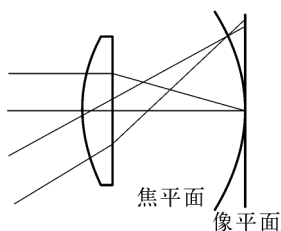


图 1.18 透镜的像场弯曲

如果用这种镜头拍照时,当景物的中间部分清晰时,边缘部分就会模糊。反之,边缘清晰则中间模糊。在实际应用中,可以把透镜进行弯曲设计,从而使物体成像在一个平面上。

像场弯曲与球面像差不同,它是由镜头轴心的光线所引起的,即使缩小光圈,也只能略有弥补。

(五) 畸 变

由于透镜对同一物体的不同部位有不同的放大倍率而使影像发生变形扭曲的现象称为畸变(optical distortion)(图 1.19)。如果透镜的中间放大倍率较高,边缘放大倍率较低,所引起的畸变称正畸变;反之,透镜的中间放大倍率较低,边缘放大倍率较高,所引起的畸变称为负畸变。

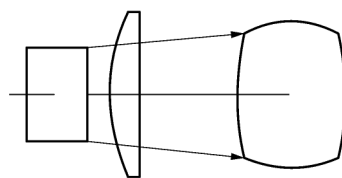


图 1.19 透镜的像畸变(正畸变)

上述像差是由透镜本身引起的,与光线的种类无关,即使是单色光也会产生以上像差,它们都属于几何像差。如果通过透镜的是复合光,除了产生几何像差外,还会引起色差。

(六) 色 差

色差也称色像差(chromatic aberration),当复合光通过透镜时,由于不同颜色的光线有不同的折射率,它们的会聚点不同,因而产生成像差异,这种像差称为色差。色差又可分为纵向色差和横向色差。

纵向色差,又称轴向色差,它是指平行于镜头光轴的光线,因所含色光不同而导致聚焦前后不一致。通常红色光的波长长,折射率小,焦距大一些;蓝色光的波长小,折射率大,焦距小一些;绿光介于两者之间,从而造成不同颜色的光焦点不一致的现象(图 1.20 左)。

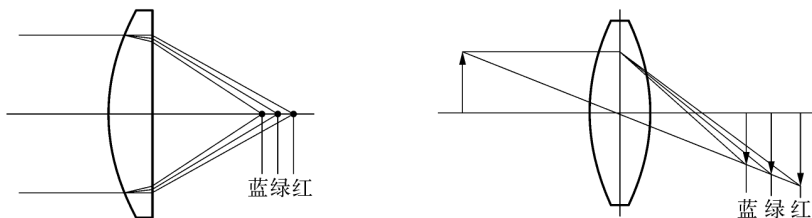


图 1.20 透镜的色像差

左:纵向色差;右:横向色差

横向色差,又称放大率色差或倍率色差,因为不同颜色光线的波长不同,折射角度不同,其放大倍率也不同,它们所形成影像大小也不同(图 1.20 右)。横向色差在镜头的中央不明显,越接近镜头的边缘越明显。

用具有色差的镜头拍摄彩色物体时,对影像的清晰度有明显的影响。要使透镜消除色差,必须使用不同的玻璃来制作透镜,成为透镜组,设计成为合理的镜头才能校正色差。在显微镜和照相机的镜头中,能够校正两种色光像差的镜头称为“消色差镜头”,能够校正三种色光像差的镜头称为“复消色差镜头”。了解透镜成像的原理和像差产生的原因对于帮助使用照相机和生物显微镜具有很大的帮助。

复 习 题

1. 简述光具有的物理性质。
2. 简述光与色的关系。
3. 什么是光的色散、单色光和复色光?
4. 简述加色法和减色法成色的规律。
5. 什么是物和像,二者之间的关系如何?
6. 简述透镜成像的规律。
7. 什么是像差,包括哪些种?
8. 球差和色差的含义是什么?

第二章 摄影术和照相机

图像是记录信息的一种重要方式,早在远古时代,人类就在岩石上留下了原始绘画和原始的象形文字,这些图像和文字对历史的记载和文明的传承无疑具有重要的意义。尽管绘画的手段越来越丰富,绘画的技术越来越高明,但绘画对于客观世界的记录始终无法达到逼真的程度。1839年摄影术的诞生,使人类具有了一种新的手段,从此可以对客观世界进行真实的记录和再现。当年法国伟大的画家安格尔在看到银版法摄影家的作品时,也不由地感叹道:“摄影术真是巧夺天工,我很希望能画到这样逼真,然而任何画家也不可能达到。”经过一百六十多年的发展,摄影已经成为具有重大影响力的传播媒介,渗入到人们生活的各个方面,对人们的生活和科学的发展都具有重要的意义。

第一节 摄影术和照相机的发明简史

摄影是现代科学技术发展的产物,一般认为摄影术是1839年由达盖尔发明的,至今已有近一百七十多年的历史。但摄影术的发明却并非是个别人“创造”出来,它经历了一个漫长的发展过程。

一、暗箱的发展

提起摄影,人们首先想到的是照相机和胶卷。但作为照相机的前身——“暗箱”,早在摄影发明之前的几百年就被画家用来作为绘画的一种工具了。用暗箱摄取影像的光学原理是“小孔成像”(如图2.1)。在我国,早在战国时期墨子的《墨经》中就记载了小孔成像实验,并对成像现象作了明确的阐述,即当一个明亮的物体发出的光线经过一个小孔时,能在小孔的另一面形成一个倒立的影像。

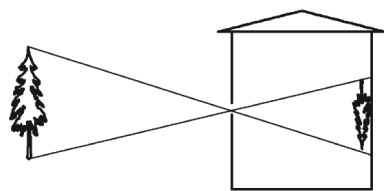


图 2.1 小孔成像原理

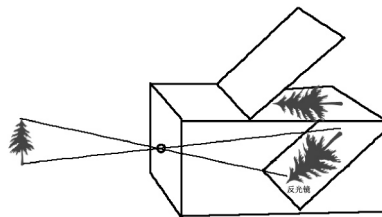


图 2.2 小孔成像作画原理

在西方,有关小孔成像的记载最早见于古希腊哲学家亚里士多德的著作中。1300年后亚里士多德的追随者,阿拉伯著名数学家伊本·海得姆利用一个针孔装置观察了日食

现象。到了15世纪,欧洲一些画家利用针孔暗箱来描绘自然景物,意大利文艺复兴时期的画家乔万尼·波尔塔于1558年在他所著的《自然魔术》一书中,对用暗箱绘画进行了描述:“通过暗箱上的小孔把影像反射在放有纸张的画板上,先用铅笔画出轮廓,再着色,就完成了一幅画。这种方法很简单,即使不会绘画的人,也可以使用这种装置进行绘画。”(如图2.2)

小孔成像在绘图领域虽有广泛应用,但它也存在一些缺点,即不能解决影像亮度和清晰度之间的矛盾,孔越小,像越清晰,但像的亮度越低,如果增加孔的直径,亮度增加,但成像模糊。后来,人们发现凸透镜能够成像,亮度高,而且成像清晰,于是,继小孔暗箱之后,透镜暗箱被发明了,并逐渐成为可以携带的绘画工具。著名天文学家开普勒就曾用小型黑色帐幕支成的移动暗室进行室外测绘。他在帐幕的顶端装有双凸透镜筒和一面镜子,镜头摄取的影像通过镜子反射到正下方的制图台上,就可对自然景物进行观测和描绘了。

虽然小孔成像早已被人们发现和利用,但小孔所成的像还不能被固定下来。要感受并固定影像,必须有感光材料。

二、感光材料的发展和照相术的诞生

(一) 感光材料的发展和世界上第一张照片

感光材料是能感受光并发生化学和物理变化的材料。人们发现有些物质经过光照后会发生变色现象,如皮肤晒黑、衣服褪色等,这些变化都称为感光现象。中国古代对感光现象已有记载,如宋代文人苏武所编撰的《物类相感志》,其中记述了“盐卤窗纸上烘之字显”的现象。这种现象的出现是因为盐卤中含有卤化银或其他金属卤化物。这是我国历史上最早记载银盐变黑现象的文献。

德国人舒尔兹也曾发现了银化合物的光敏感特性。1725年,他在制造磷时,将用于制作粉笔的白粉与硝酸银混合,置于玻璃瓶中。过了一段时间后,他发现放在窗口玻璃瓶中的混合物被日光照射的一面变成了黑紫色,未受光的一面仍是白色。为了进一步证实银化合物的这种光敏特性,他用挖空字形的纸把烧瓶盖住,结果在白粉混合物上清晰地出现了黑字。然而,舒尔茨没有把实验结果与摄影联系起来。

17世纪末,一位英国陶瓷工人的儿子韦奇伍德将不透明的树叶、昆虫的翅膀放在涂有硝酸银的皮革上,试图制作“阳光图片”(sun-picture)。他将这种皮革放在太阳下暴晒后,取下树叶时出现了非常优美的白色轮廓图案。遗憾的是,他没有找到将这个优美的图案固定下来(即定影)的办法,因此,受光后仍有感光能力的白色部分很快也变黑了。

19世纪初,法国的一名石版印刷工人尼塞福尔·涅普斯,因不善于绘画,就想创造一种能将线条画转印到石板上的自动转印法。他采用了一种受光后硬化的材料——“感光性柏油沥青”,这种沥青受光后会变硬,而未受光部分可以很容易地溶解在薰衣草油溶液中。涅普斯将沥青溶液涂在锡与铅等金属的合金板上,用浸过油呈半透明的原稿贴在涂

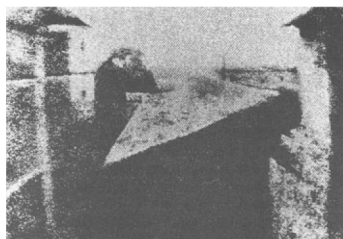


图 2.3 世界上第一幅照片

层上曝光,结果受光部分变硬,未受光的部分用薰衣草油洗去后露出金属板,于是,在较暗的金属板上呈现出了与原稿相似的正像。涅普斯称这个方法为“日光摄影法”(heliograph)。1826年,他将这种涂有沥青的合金板放在暗箱中,将镜头对准工作室的窗外,经过8小时曝光后,将合金板浸入薰衣草油中冲洗,得到了世界上第一幅永久保留下来的经感光而成的图像——《勒·格拉斯家的窗户和院子一景》(如图2.3)。

(二) 达盖尔式摄影法——摄影术的诞生

路易·雅克·芒代·达盖尔(1787~1851),原是一位风景画家,为了掌握好光线与透视的相互关系,他在绘制风景画时常使用当时流行的专供绘画用的“暗箱”(camera obscura),以取得正确的透视。这种实践不但使达盖尔对暗箱的使用发生浓厚的兴趣,并且导致了他对摄影术的探索。

在1823年的一天,达盖尔在他新画的一幅风景画布上,发现了第二个树影,那是昨天从窗帘的一个小孔投射进来影像。这个发现,使他产生了是否可以把暗箱中所形成的影像固定在画布上的想法。为什么会发生第二个树影呢?根据他的回想,在画那幅风景画时,曾无意中将碘与颜料混在一起,这可能导致了影像的固定。于是,他就以此为起点进行试验。在此过程中,达盖尔与涅普斯进行过接触与合作,经过不断地努力,达盖尔终于在1837年成功地拍摄出了一幅照片。那是一幅在自然光下拍摄的静物片,照片非常清晰,明暗之间的层次也很丰富(图2.4)。这幅作品至今还被法国摄影学会所收藏,作品上写有拍摄日期和达盖尔的亲笔签名。1839年1月6日,《法国日报》报道了“透景画”画家达盖尔先生有关摄影的一项重要发现。1839年8月19日,法国科学院和美术学会联合召开了一个盛大的会议,巴黎天文台台长阿拉戈在会上做了热情洋溢的讲演,详细地介绍了达盖尔这项新发明的研究经过和制作方法,这一天后来就被定为摄影术的发明日。达盖尔这项新发明所用的方法大致如下:



图 2.4 达盖尔拍摄的一幅照片

- 1) 先准备一块镀有薄银的铜板。
- 2) 将铜板的镀银面彻底洗干净,并加以抛光,使其光滑如镜。
- 3) 将铜板置于一个装有碘溶液或碘晶体的小箱内,镀银面朝下,使碘蒸气与银发生化学反应,形成具有感光作用的碘化银。在一般室温下,时间约是30 min,这时镀银的表面变为金黄色,可在红光下观察。
- 4) 将已光敏化的铜板装入防光盒内,这一步必须在暗室中进行,以防止跑光。
- 5) 将装有铜板的防光盒放入暗箱中进行拍摄,曝光时间是15~30 min。这时,在光线的作用下,碘化银依光线的强弱还原为不同密度的金属银,即“潜影”。

6) 将已曝光的镀银铜板放在一个装有 75°水银防光箱的上部,镀银面朝下,使已还原的金属银与水银蒸气发生化学作用,形成汞合金影像即“显影”。

7) 将已“显影”的镀银铜板放在浓而热的食盐溶液中。通过食盐中氯化钠的作用,使未曝光的碘化银失去感光作用,即“定影”。

8) 将已“定影”的镀银铜板进行水洗及晾干。

这样,就可以得到一幅由霜白色汞合金形成的图像。由于阴影部分是透明的,在暗黑色的镀银铜板表面的衬托下,便成为正像的照片。达盖尔把他这个方法称为“达盖尔式摄影法”,也称为“银板法”。达盖尔式摄影法自 1839 年 8 月 19 日正式宣布后,仅仅几个星期便传播到英国、德国、奥地利、瑞士、波兰、西班牙和美国;一年之后,又传到中国和日本。

尽管现在已经公认摄影术是由达盖尔发明的,但事实上达盖尔并不是得到摄影照片的第一人。1839 年 2 月,弗朗西斯·鲍尔曾透露说,达盖尔的发明其实与涅普斯的是完全一样的;1839 年 5 月 20 日,法国财政部的一名办事员伊波利特·贝亚尔也展示了他自己制作的照片,他的方法是在纸上涂一层氯化银,把湿的相纸装入相机,经长时间曝光后置于碘化钾溶液中生成了正像,再放入溴化钾中进行定影。

(三) 塔尔伯特的卡罗式摄影法

尽管达盖尔式摄影形象逼真,但每次照相只能得到一张照片,而且影像左右相反。在涅普斯和达盖尔潜心研究照相术的同时,英国的塔尔伯特,也在独立地从事照相术的研究。1834 年就开始试验感光材料,其方法是用半透明的写字纸浸入盐水中,然后再浸到硝酸银溶液内,这样,卤化银就在纸质纤维中形成了。摄影时把这种感光纸放入暗箱内,曝光后放在浓盐水中定影得到负像,也即底片。把底片放在另一张感光纸上曝光就会得到正片。这样就可以用一张底片复制出许多张照片。这就是延续到现在的“负—正”摄影法,也称为卡罗式摄影法。

达盖尔式和卡罗式摄影法问世后,极大地促进了摄影技术的发展,先后出现了火棉胶“湿板”摄影法、干板摄影法,最后导致了胶片的问世,最终形成了当代摄影术。

三、照相机和镜头的发展

1839 年,达盖尔发明了摄影术意味着照相机正式诞生,但它还有许多不完美之处,同年巴黎光学机械师修瓦力在巴黎为达盖尔式照相机设计了一支光圈为 1:18 的消色差镜头。这是由一组相互胶合的凸透镜与凹透镜组成的,它能够纠正色差和球面像差,却不能改变像场边缘的变形以及色散现象。

1889 年,德国 Carl Zeiss 公司的设计师保罗·鲁道夫博士提出了像场边缘像散矫正原则,第一支可以真正矫正像散的镜头于 1890 年被开发出来。这是一支广角镜,利用了高斯在 1840 年设计的一款望远镜头的两组四片结构。1900 年之后开发出的钡硅玻璃使

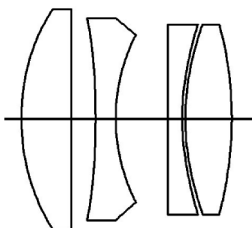


图 2.5 鲁道夫博士设计的 Tessar 镜头

得镜头不仅能够矫正像散,同时还能得到平坦的像场。

1902 年,鲁道夫博士设计出了名为 Tessar 的镜头(图 2.5),它由四片镜片组成,两两一组不对称的分布在光圈两边,其中前组是独立的两片玻璃,后组是由一片凹镜一片凸镜粘合而成,光线经前组镜片会聚,再由后组的粘合平面发散投射到底片平面上。Tessar 镜头经过不断地发展,成为今天流行的照相机镜头。

第二节 照相机的基本结构

一、最简单的照相机

拍摄一幅照片,并不需要太复杂的照相机和镜头。最简单的照相机就是仅由几个部分组成的针孔照相机,包括一个不透光的盒子、一张胶片和—个允许光线通过的针孔(图 2.6)。

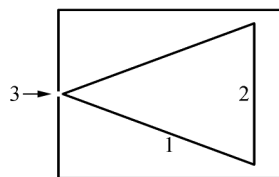


图 2.6 针孔照相机

- 1. 暗箱;
- 2. 胶片;
- 3. 针孔

二、照相机的基本结构

即使最精密、最复杂的照相机也不过是在简单的针孔照相机的基础上经过不断改进和完善的結果,其基本部件为一个不透光的盒子、聚集光线的镜头、记录影像的胶片(图 2.7)。

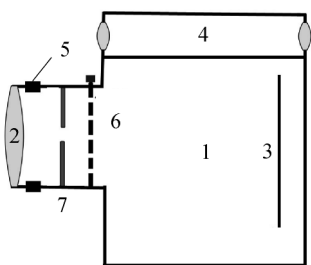


图 2.7 照相机基本机构示意图

- 1. 机背; 2. 镜头; 3. 胶片; 4. 取景器;
- 5. 调焦与测距装置; 6. 快门; 7. 光圈



图 2.8 普通照相机外形图

现代的照相机经过不断地发展其内外结构都已发生了很大的变化,制作也越来越精细(图 2.8)。不论照相机多么复杂,都是由以下基本部件构成的。

(一) 机 背

机背是安放胶卷、取景器、镜头、电池以及其他机械装置的暗盒。有的照相机机背上具有打号功能,能在胶片上记录日期和时间等信号标记。

(二) 镜头

镜头为凸透镜或透镜组,能使远处的景物在胶片上聚焦,形成清晰的影像(详见本章第三节)。

(三) 胶片输送装置

胶片输送装置是一个移动照相机内胶片的机械装置,它可以使胶片轴上的胶片一幅一幅地顺序曝光。扳动照相机上的卷片杆就可以输送胶片,也有一些照相机可以自动地输送胶片。

(四) 取景器

取景器是照相机上用来显示相当于胶片成像范围的观察装置。它是照相机的主要组成部分,取景器能够把将要记录在胶片上的影像近似地显示出来,它会指导摄影者瞄准被摄物并进行构图。取景器可分为电子取景器和光学取景器。电子取景器就是把一块微型 LCD 放在取景器内部,由于有机身和眼罩的遮挡,外界光线照不到这块微型 LCD 上,也就不会对其显示造成不利影响。它通过一组取景目镜来观察 LCD,有一定的放大倍数。光学取景器就是通过光学的组件来完成取景的工作。根据工作原理的不同,又分为同轴式和旁轴式两种。

1. 同轴取景器

同轴取景器是取景与成像在同一光学主轴上,单镜头反光式照相机即属此类,其取景和所观察到的景物范围与感光片所记录的景物范围相一致,没有视觉误差。同轴取景器有片窗取景器、单镜头反光取景器等,大多数相机都采用单镜头反光式取景器,它是在机身内安装有一块反光镜,将镜头结成的影像反射到机身顶部的磨砂玻璃上,感光片和磨砂玻璃距离镜头的光程长度完全相等,两者的画幅大小是一致的,在磨砂玻璃上所观察到的景物即是感光片上将要结成的影像。

2. 旁轴取景器

旁轴取景器是依靠独立的专用物镜和目镜来完成取景,取景的光学主轴处于成像光学主轴的旁侧,它们之间相互平行,双镜头反光式和光学透镜取景器的照相机即属此类。因为从取景器看到的景物并不是通过镜头形成的影像,因而取景范围与感光片看到的景物范围不可能完全一致,它会产生视觉误差,而且拍摄距离越近,误差越大。

照相机的取景器是非常重要的一个组成部分,摄影者不但可以通过取景器直接观看影像,而且还可以通过取景器调节焦距。

(五) 调焦与测距装置

用照相机照相时,景物与相机之间的距离总是有变化的,对于不同的照相距离,即物距不同,其对应光学系统的像距也随着发生改变。为了使不同距离的被摄物体能够正确地在焦平面(即胶片平面)上成像,必须随时调整镜头与胶片平面之间的距离来适应物距的变化。镜头的这种调整过程就称为调焦。为了正确地进行调焦,一般在调焦前还要测定出被摄物体到胶片平面之间的距离,这个过程便称为测距。

1. 调焦方式

相机的调焦方式通常可分为三种。

(1) 改变像距

在保持镜头焦距不变的前提下改变像距,这种调焦方式也称整组调焦,调焦时只需转动镜头上的调焦环,调焦环带动镜筒上的多头螺纹,使镜头前后移动,让焦点落在胶片平面上。由于是整组移动镜头,镜片之间的相对位置固定不变,因此能始终保持镜头的成像质量处于最佳状态。

(2) 改变焦距

这种调焦方式是通过移动镜头中某组镜片的轴向位置,从而稍微变动了镜头的焦距,以使物距变化时能保持像距不变,仍能在胶片上成清晰的像。这种调焦方式的优点是调焦时整个镜头可保持不动,调焦量小,调焦机构也较简单。变焦镜头由于镜片多,体积大,整组移动有困难,往往多采用这种方式调焦。

(3) 固定焦点

目前市场上供应的简易照相机的镜头位置大多是固定不变的,它们利用超焦距法调焦(详见本章第三节)。

2. 相机的测距

测距是测定相机与被摄体之间的距离,即测定出物距大小,再根据物距大小计算出像距大小,从而确定调焦量,使整个镜头或透镜组中的部分透镜作相应的转动,以使景物能在胶片平面上获得清晰的影像。测距根据方式的不同可分为估测法和三角测量法。

(1) 估测法

就是摄影者根据目测或步量的形式,首先确定摄影距离,并据此来转动或调节镜头上的调焦环,使其距离刻度或远景、中景、近景标记与镜头上的基准标记对准。这种调焦方法用在镜头焦距较短,相对孔径较小的照相机上,可获得足够清晰的照片。

(2) 三角测量法

就是利用数学中的三角关系来进行测距、调焦。主要应用于带测距器的照相机中,这种照相机的测距和调焦是联动的,只要使取景器中的双像重合,测距和调焦即告完成。这种方法可以使镜头得到准确的调焦,从而保证底片上影像的清晰度。

3. 聚焦检测

即通过人眼观察像面或对焦板上的影像是否清晰来判断聚焦是否准确的方法。这是因为对焦平面(对焦板)与胶片平面完全共轭,人们只需通过眼睛来观察对焦板(安装于取景器内,也称为对焦屏)即可,只要对焦屏上成像清楚或裂像重合,则胶片平面上的像必然清晰。聚焦检测法又分为磨砂玻璃式、双重叠影式、裂像式、微棱镜式、图标式、距离标示式等多种。

(1) 磨砂玻璃式

是根据影像的对比度来确定聚焦是否准确,当我们观察一个景物的轮廓时,影像轮廓边缘越清晰,则它的亮度梯度就越大,即景物边缘处与它的背景之间的对比度就越大。反之对焦不准的影像,它的轮廓边缘就模糊不清,亮度梯度或对比度就下降。

(2) 双重叠影式

也称作重影式,调焦时目视取景框中央的黄色长方框,该长方形内的聚焦对象出现虚实双重影像时,说明聚焦不准确,虚像消失,仅存实像时,说明聚焦准确。

(3) 裂像式

也称截影式,在对焦板位置上放置裂像光楔,当焦点正好位于裂像光楔的交点上的时候,我们看到的只是一个清晰的像点;当焦点偏离上述位置时,通过裂像光楔看到的是两个分开的像。裂像式对焦方法容易判断,聚焦准确,其精度比磨砂玻璃式高许多,深受广大摄影者的喜爱,在使用裂像式聚焦检测装置聚焦时,应注意选择线条部位作为对焦的参照物。

(4) 微棱镜式

微棱镜对焦的原理与裂像式相同,在对焦板的位置上放置的是许多个微棱镜,通常是组成“环带微棱镜”,当焦点正好位于微棱镜的顶点上时,可以看到的只是一个清晰的像点,当焦点发生偏离时,而通过微棱镜看到的则是许许多多分开的模糊的像。微棱镜对焦法对于没有明显轮廓线条的聚焦对象来说,对焦效果也很好,对焦时可把光圈开大,使通光量多,对焦清楚。

对于单镜头反光照相机而言,只要转动镜头筒或调节聚焦钮即可以达到聚焦的目的,现代的高级照相机其自动化程度也越来越高,聚焦可以通过自动马达完成。而傻瓜相机为全自动照相机,其聚焦、测距、测光及其调节都是由计算机芯片控制微型电机来完成的。

(六) 快 门

是控制光线进入照相机时间长短的机械或电子装置,快门是由快门按钮控制的,当按下快门按钮后快门可以迅速的开启和闭合,从而完成曝光的过程。快门的速度通常以秒为单位,挡位有 B、1、2、4、8、15、30、60、125、250、500、1 000、2 000 等。B 门,即按下按钮时快门开启,松开按钮时快门关闭;数字表示 1、1/2、1/4、1/8、1/15、1/30、1/60、1/125、1/250、1/500、1/1 000、1/2 000 s。快门的主要作用是控制曝光时间,快门可影响所拍摄物体的清晰程度,曝光时间越短,成像就越清晰。

常见的快门可分为机械快门、电子快门和程序性快门三种。机械快门是通过机械调速来控制曝光时间,又可分为镜间快门和焦点平面快门。

镜间快门位于镜头的中间,由若干金属叶片组成,快门启动后,金属叶片借弹簧的张力,开启后再关闭。其优点是在进行闪光照相时,镜间快门不受限制,任何一级快门都能与闪光灯同步进行。由于镜间快门在开启之初和闭合之前都只有很小的空隙可以通光,只有中间开足时才能使进入镜头的光线全部通过,而开启和闭合这两个机械运动过程所占的时间远比开足的瞬间要长,所以快门速度越高,快门开足的瞬间占整个开启时间的比例越小,这就使得镜间快门的速度不可能太高,其最快速度是 $1/500\text{ s}$,如果快门速度太高或光圈开孔太大时,通光效率就低,因此其使用就受到一定的限制,绝大部分的 120 型照相机都是镜间快门,35 mm 小型照相机中,只有少部分是镜间快门。

焦点平面快门通常也称作帘幕式快门,它是用特制的黑色胶质绸布或金属帘片制成,装配在机身后部,紧贴在镜头焦点平面处,在感光胶片的前面。焦点平面快门是通过帘幕上裂口的移动进行曝光的。帘幕的裂口通常有两种类型,一种是在帘幕上开有多个宽窄不同的固定裂口,用这些裂口来控制曝光,裂口宽的曝光时间长,裂口窄的曝光时间短,这种快门目前已经很少用了;另一种焦点平面快门是由两片帘幕自动调节裂口的宽窄,帘幕运动的方式是前帘移动,后帘追随,追随速度的快慢决定着裂口的宽窄,裂口的宽窄又决定曝光时间的快慢,裂口宽的曝光时间长(快门速度慢),裂口窄的曝光时间短(快门速度快)。焦点平面快门帘幕的运动方向有两种:一种是由左至右横向移动;另一种是由上至下垂直移动。这种由上而下垂直运动的快门,在现代照相机中多为合金钢片结构。焦点平面快门的帘幕裂口经过感光片表面的行程,约需 $1/30\text{ s}$ 的时间,而曝光速度并不是指这种裂口行程的时间,而是指感光片上任何部位的实际曝光时间,它与裂口的运行速度和宽度有关。帘幕式快门的优点是能够精确控制曝光,由于帘幕的裂口紧靠感光片,由底片一端运行到另一端,不论快门速度高低都可均匀感光,通光量不受快门速度的影响,因此,该类型快门速度可以很快,曝光时间一般在 $1\sim 1/1\,000\text{ s}$,有的速度高达 $1/4\,000\text{ s}$ 。这种快门的缺点是掠过片窗的缝隙只能使胶片逐段曝光,在拍摄高速运动的物体时,影像会产生一定的变形。

电子快门的主体仍然是帘幕或金属叶片,但传动装置由电子元件控制,优点是结构简单,使用时没有震动和噪音,快门速度的调节也较大。程序性快门是将光圈和快门按照一定的程序排列和组合,由电子元件测定光量多少,并根据光量多少自动选择快门和光圈,完成曝光操作。一般只有高档相机上才配备程序性快门。

(七) 光 圈

在相机的镜头内安装有用于限定光线通过的孔径光阑,俗称光圈,它是控制镜头通光量多少的装置,也称为虹彩光圈。虹彩光圈的“虹膜”是由一系列相互重叠的薄金属叶片组成的,叶片的离合能够改变中心圆形孔径的大小以便增加或减少通过镜头的光量(图 2.9)。