

段向阳 张华◆编著

数字摄影与 图像处理

*DIGITAL PHOTOGRAPHY AND
IMAGE PROCESSING*



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

数字摄影与图像处理

段向阳 张 华 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

数字摄影与图像处理 / 段向阳, 张华编著. —杭州:
浙江大学出版社, 2012. 7
ISBN 978-7-308-10127-1

I. ①数… II. ①段… ②张… III. ①数字照相机—
摄影技术—高等学校—教材 ②图象处理软件—高等学校—
教材 IV. ①TB86 ②J41 ③TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 137559 号

数字摄影与图像处理

段向阳 张 华 编著

责任编辑 张凌静 (zlj@zju.edu.cn)

封面设计 续设计

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州中大图文设计有限公司

印 刷 杭州半山印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 11.75

字 数 250 千

版 印 次 2012 年 7 月第 1 版 2012 年 7 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-10127-1

定 价 25.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571) 88925591

前 言

摄影是一门技术,它离不开光学、机械、电子和计算机等技术的支持;摄影是一门艺术,它是吸收绘画、文学等姊妹艺术精华后而逐渐壮大起来的;摄影是一门光影技术,它需要拍摄者学会运用不同的光线,来描绘物体各种形态、色彩和质感,用其表达拍摄者内心的感受。

本书根据教育部《关于加强高等教育人才培养工作意见》等文件精神,以“摄影与成像技术”选修课教学大纲为主要依据,根据高等学校对培养人才的要求编写而成。本书以光学成像原理和图像处理为主线来介绍摄影技术,希望这种处理方法能使学生更容易了解摄影中的光学现象和图像处理方法,以便更好地掌握摄影技术以及摄影技巧。

《数字摄影与图像处理》全书共分为 11 章,1~3 章分别介绍了摄影光学知识和摄影器材,4~8 章分别介绍摄影构图原理与技巧、人像摄影、自然景观摄影、摄影技巧、科技摄影等内容,9~11 章分别介绍了数字图像处理、传统摄影及图像处理和现代光学图像处理技术。

本书可作为高等院校公共选修课的教材,也可作为职业培训的教材,同时还可作为摄影和光学图像处理专业人员的参考书。

《数字摄影与图像处理》由浙江工业大学段向阳、张华执笔编写,最后由段向阳完成定稿工作。在编写的过程中,编者参阅了大量有关摄影与图像处理方面的书籍和文献资料,得到许多同仁的帮助和支持,在此表示衷心的感谢。

编写一本理论与实践并重的《数字摄影与图像处理》教材是我们孜孜以求的目标。虽然有多年的教学经验,但是由于水平有限,编写的时间又短,书中难免存在一些问题和不足,恳请各位同仁和读者提出批评和建议,以便我们再版时予以修改和补充,我们的联系方式是:dxy310032@163.com。

编 者

2012 年 04 月

目 录 >>>

第一章 透镜与成像 / 1

- 第一节 透镜成像 / 1
- 第二节 镜头的组合 / 5
- 第三节 镜头的口径 / 6
- 第四节 镜头的景深 / 10
- 第五节 镜头的种类与用途 / 15
- 第六节 镜头的分辨率 / 19
- 第七节 镜头的附件 / 19
- 第八节 镜头的检验和保护 / 22
- 复习题 / 24

第二章 数字照相机 / 25

- 第一节 数字照相机的工作原理 / 25
- 第一节 数字照相机的分类 / 26
- 第三节 数字照相机的结构与功能 / 28
- 第四节 数字照相机的取景、调焦装置 / 29
- 第五节 电子闪光灯原理与应用 / 36
- 第六节 数字照相机的其他装置 / 38
- 第七节 数字照相机的性能 / 43
- 第八节 数字照相机的选择 / 46
- 第九节 数字照相机的使用和维护 / 47
- 复习题 / 51

第三章 曝光与用光 / 52

- 第一节 摄影曝光知识 / 52
- 第二节 曝光量的构成 / 53

- 第三节 手动曝光 / 58
- 第四节 测光原理和测光方法 / 59
- 第五节 自动曝光的控制模式 / 63
- 复习题 / 67

第四章 构图原理与技巧 / 68

- 第一节 摄影构图的目的和要求 / 68
- 第二节 摄影构图原理和基本规律 / 70
- 第三节 摄影构图的基本形式 / 72
- 第四节 摄影构图几种规律的运用 / 73
- 复习题 / 77

第五章 人像摄影 / 78

- 第一节 人像摄影的基本要求 / 78
- 第二节 人像摄影的方法 / 79
- 第三节 人像摄影的技术要点 / 81
- 第四节 几种人物照的拍摄 / 82
- 复习题 / 85

第六章 自然景观摄影 / 86

- 第一节 自然景观摄影的概念 / 86
- 第二节 摄影器材 / 87
- 第三节 取景与构图 / 88
- 第四节 光线的选择 / 89
- 第五节 自然气象的利用 / 90
- 复习题 / 90

第七章 摄影技巧 / 91

- 第一节 日出与日落的拍摄 / 91
- 第二节 雨雾景的拍摄 / 92
- 第三节 雪景的拍摄 / 94
- 第四节 夜景的拍摄 / 95
- 复习题 / 98

第八章 科技摄影 / 99

- 第一节 广告摄影 / 99
- 第二节 体育摄影 / 104
- 第三节 建筑摄影 / 108
- 第四节 红外摄影 / 112
- 复习题 / 114

第九章 数字图像处理 / 115

- 第一节 数字图像处理系统 / 115
- 第二节 Photoshop 8.0 运用入门 / 117
- 第三节 Photoshop 8.0 基本操作命令 / 121
- 第四节 Photoshop 8.0 常用操作命令 / 124
- 第五节 数字图像的简单加工处理 / 133
- 复习题 / 143

第十章 传统摄影及图像处理 / 144

- 第一节 传统照相机的基本结构 / 144
- 第二节 传统照相机的取景调焦机构 / 145
- 第三节 传统照相机的使用与维护 / 147
- 第四节 黑白胶片的冲洗 / 149
- 第五节 黑白胶片的印相与放大 / 153
- 复习题 / 158

第十一章 现代光学图像处理 / 159

- 第一节 光的干涉和衍射 / 159
- 第二节 全息摄影 / 162
- 第三节 现代光学成像理论 / 165
- 第四节 模糊图像的光学处理 / 168
- 复习题 / 171

摄影实验报告(一) / 172

摄影实验报告(二) / 174

摄影实验报告(三) / 176

主要参考文献 / 179

第一章 >>>

透镜与成像

摄影离不开照相机,照相机都有镜头,镜头的作用是成像,要掌握摄影知识,必须首先了解光的成像原理。透镜是组成镜头的关键性元件,它与成像有着密切的关系。透镜的出现和成像原理的运用,奠定了现代摄影的基础。另外照相机的性能与质量在很大程度上取决于镜头的性能与质量,了解透镜成像知识对我们选购照相机也是有帮助的。

第一节 透镜成像

透镜通常是用玻璃或塑料制成的,它由两个曲面构成,透镜是成像的关键性元件,它的成像质量比针孔成像质量优越。



小知识:针孔成像

针孔成像原理可以追溯到我国的古代,至今已有 2000 多年历史。光线通过投影中心——针孔,在屏幕上形成上下倒置、左右相反的影像。针孔的大小,决定了影像的清晰程度和影像的明暗程度,针孔愈大,影像愈明亮,但这时光斑变大,影像变模糊;反之,针孔愈小,影像变暗,光斑变小,影像愈来愈清晰。矛盾的是,要使影像明亮,针孔必须开大,而针孔开得太大,又不能结成清晰的影像;针孔也不能开得过小,如果开得过小,不仅影像亮度减弱,而且还会发生光的衍射现象,也不能结成清晰的影像。

一、透镜的种类和性能

透镜是摄影镜头最基本的光学元件之一。为了消除透镜的各种光学缺陷,在制造各类镜头时,人们根据其光学原理设计、生产了种类繁多的凹凸不同的透镜,通常我们将这些透镜分为凸透镜和凹透镜两种。

1. 凸透镜

凡是中间比边缘厚的透镜,均称为凸透镜。凸透镜能使平行的光束会聚于一点,因此又称其为会聚透镜或正透镜。它是光学成像的主要元件,任何镜头,无论由多少凹凸程度不同的透镜组成,其结果还是起着会聚透镜的作用,因为只有会聚透镜,才能结成影像,如图 1-1 所示。

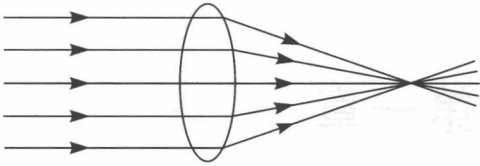


图 1-1 凸透镜成像

2. 凹透镜

凡是中间比边缘薄的透镜,均称为凹透镜。凹透镜能使平行的光束向外发散,所以又称其为发散透镜或负透镜。单独使用凹透镜是不能成像的,它只有与凸透镜组成复合式透镜组,才能起到会聚光线的作用,只有这样才能形成影像。因此,凹透镜在复合式镜头的组合中起次要作用。这种镜头常用来校正各种像差,使物体成像更为精确完美,如图 1-2 所示。

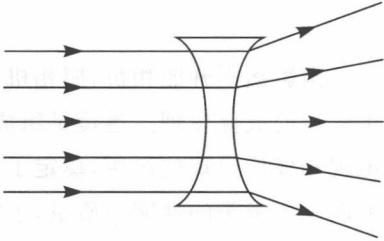


图 1-2 凹透镜成像

凸透镜分为对称式双凸透镜、非对称式双凸透镜、平凸透镜、凹凸透镜,凹透镜分为对称式双凹透镜、非对称式双凹透镜、平凹透镜、凸凹透镜,如图 1-3 所示。

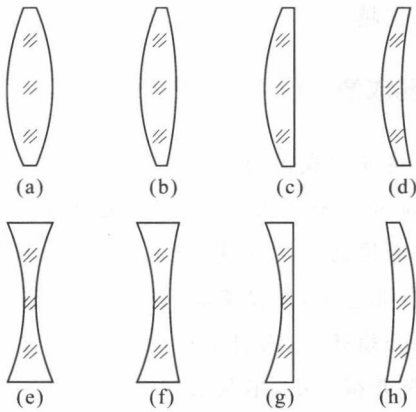


图 1-3 透镜的种类

(a)对称式双凸透镜;(b)非对称式双凸透镜;(c)平凸透镜;(d)凹凸透镜;(e)对称式双凹透镜;
(f)非对称式双凹透镜;(g)平凹透镜;(h)凸凹透镜

二、透镜的主光轴

每一个透镜都有两个曲率半径和两个球心,将两个球心连接在一起的直线称为主光轴,简称主轴,如图 1-4 所示。主光轴与透镜两个曲面的相交点称为顶点,两个顶点之间的距离称为透镜的厚度 d 。当厚度较小时,我们将其忽略不计,称透镜为薄透镜。当两个

曲率半径相等时,两顶点之间的中点为光心,光心是主轴上的一个特殊点,凡是通过光心的光线,除了能产生不同程度的位移外,不会改变其原来的运动方向。注意:平凸透镜与平凹透镜中平面的曲率半径为无限大。

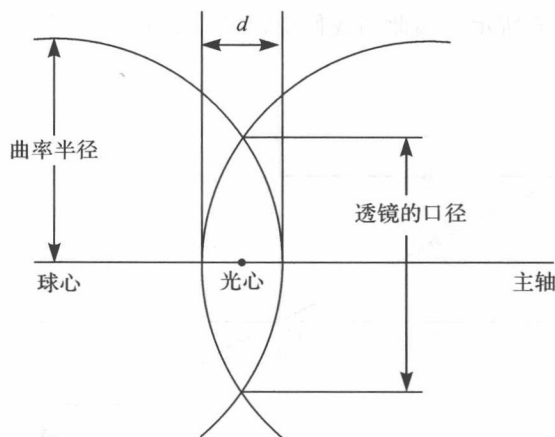


图 1-4 透镜的组成

三、透镜的焦点与焦距

当人们用凸透镜对着太阳光的时候,在透镜的后面放上一张白纸,前后移动透镜的位置,这时平行于主轴的太阳光线通过透镜后,会聚在主轴上,结成一个小而明亮的光点,有时通过透镜的太阳光线能把白纸烧着,这个光点就是该凸透镜的焦点,也称为主焦点,在摄影术语里通常用“ F ”来表示。从光心到这个焦点的距离,称为焦点距离,简称焦距,常用“ f ”表示。

透镜焦距的长短,取决于透镜弧度(凸度)的大小。透镜的弧度大,曲率半径短,光线通过透镜向主轴方向折射时,它所会聚的焦点距透镜近,因而焦距短;透镜的弧度小,曲率半径长,光线通过透镜向主轴方向折射时,它所会聚的焦点距透镜远,因而焦距长。所以,弧度小的透镜,焦距长,多用于望远镜头;弧度大的透镜,焦距短,多用于广角镜头,如图 1-5 所示。

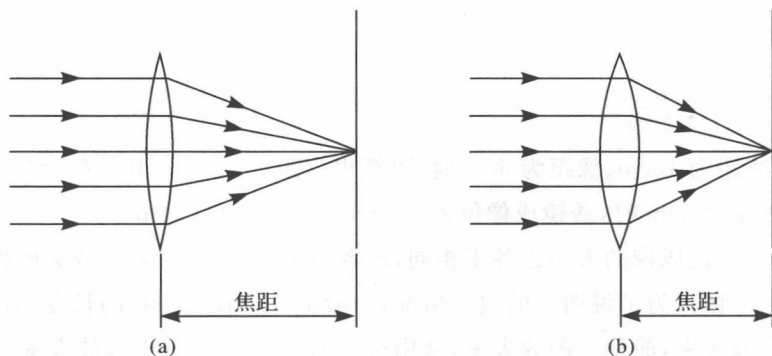


图 1-5 透镜的焦距

(a) 弧度小的透镜,焦距长;(b) 弧度大的透镜,焦距短

四、透镜成像规律

综上所述,透镜成像的过程及原理总是离不开物距、像距和焦距,三者之间存在着一定的比例关系,如图 1-6 所示。因此当我们知道其中的两个数据时,可用成像公式求得第三个数据。

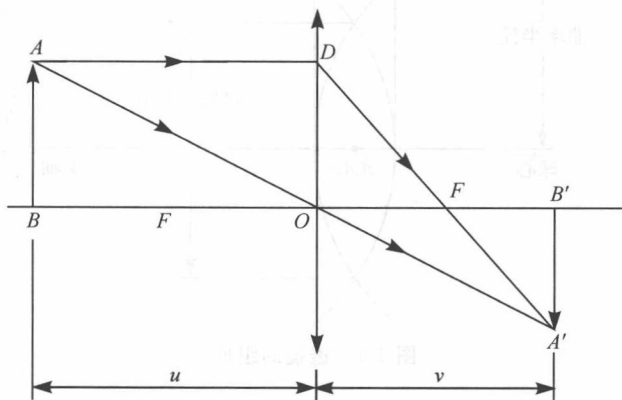


图 1-6 透镜成像规律

成像公式:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \quad (1-1)$$

式中: u 为物距, v 为像距, f 为焦距。

由此公式,可推导出下列三个分式:

物距:

$$u = \frac{vf}{(v-f)} \quad (1-2)$$

像距:

$$v = \frac{uf}{(u-f)} \quad (1-3)$$

焦距:

$$f = \frac{vu}{(u+v)} \quad (1-4)$$

例如,当物距为 10cm、像距为 6cm 时,可算出焦距 $= 10 \times 6 / (10 + 6) = 3.75\text{cm}$ 。当物距为 10cm、焦距为 5cm 时,透镜成像位置 $= 10 \times 5 / (10 - 5) = 10\text{cm}$ 。

物距不同,透镜成像的大小也各不相同,或者是缩小的像,或者是放大的像,或者是和实物大小相同的像。为了说明像的放大情况,一般把像的长度与物的长度相比较,其比值称为像的长度放大率,简称像的放大率,常用符号 K 来表示。其影像放大率的公式为:

$$K = (\text{像尺寸}) / (\text{物尺寸}) \quad (1-5)$$

或:

$$K = \frac{v}{u} \quad (1-6)$$

摄影时,像的尺寸总是小于物的尺寸,所以摄影成像的放大率 K 是小于 1 的数值。

第二节 镜头的组合

现代的摄影镜头,通常是由多片不同材质的凸透镜和凹透镜组成。这种镜头具有良好的会聚能力和分辨能力,这种高质量的摄影镜头是经过长期不断改进才出现的。

最早出现的镜头,只是一个单片的凹凸透镜,剖面像新月的形状,所以我们称它为新月形镜头,如图 1-7 所示。这种镜头由于只有一片透镜,所以镜头的直径大小、焦距长短,均可随心所欲地制造。新月形镜头的主要缺点是像差、色差严重,拍出的照片反差极小,柔软无力。为了克服新月形镜头的缺陷,于是就出现了校正色差的镜头,称为消色差镜头,如图 1-8 所示。这是由一块凸透镜和一块凹透镜粘合而成的镜头,由于采用了两种不同折射率和色散率的透镜,使色差的缺点得到了适当的修正。但是“消色差镜头”无法消除彗差、像散、像场弯曲等像差,成像质量差,所以实用价值不大。

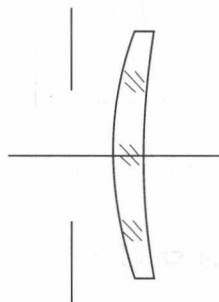


图 1-7 新月形镜头

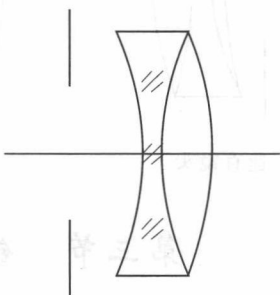


图 1-8 消色差镜头



小知识:消色差镜头

光通过单一透镜时会产生色散现象,但不同的玻璃材料色散系数不同,虽然色散的本质不变,但可见光所显示的各种色带的宽窄也不同。例如,用火石玻璃所做的透镜,因其发散作用较大,所以色散的面积较宽,而用冕牌玻璃所做的透镜,发散作用较小,色散的面积相对较窄。针对两种玻璃各自的特点,我们在设计摄影镜头时,常用火石玻璃做凹透镜,冕牌玻璃做凸透镜。用这两种色散能力不同的玻璃材料制成的凹凸透镜组成的复合式镜头,能使色散互相抵消一部分,达到纠正透镜色散差的作用。这种透镜组称为消色差镜头。

人们在镜头的研制过程中发现,消色差透镜所产生的光程差可以利用相反位置的消

色差透镜来消除,于是就出现了各种对称的透镜组。这种透镜组可以消除部分畸变和像场弯曲,使物体的直线条在画面边缘处也不变形,因此称为速直镜头,也叫直镜头,如图 1-9 所示。速直镜头结构简单,对各种光程差只能是部分加以修正,有时修正了畸变又出现了像场弯曲,修正了像场弯曲又出现了畸变,而且像散的现象也不能得到很好的校正。

新月形镜头、消色差镜头、速直镜头由于存在着比较严重的像散和色散性像场弯曲,因此统称为像散镜头。这是摄影界早期使用的镜头。

随着摄影光学技术的发展,研制出了一种结构精密、工艺复杂的摄影镜头,这种镜头对光学上存在的光程差校正得比较理想,叫做正光镜头,如图 1-10 所示。正光镜头最基本的结构就是采用两块双凸透镜和一块双凹透镜对称排列。现代流行的摄影镜头大多数是正光镜头,其结构由正光镜头的简单形式演变为复杂形式,并且除了对称式外,还有非对称式的正光镜头。正光镜头基本上消除了简单透镜所产生的像差和色差,是目前最为流行的摄影镜头。

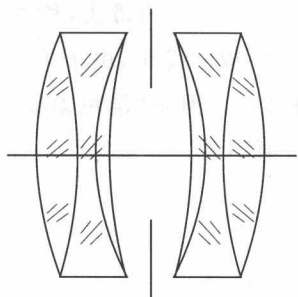


图 1-9 速直镜头

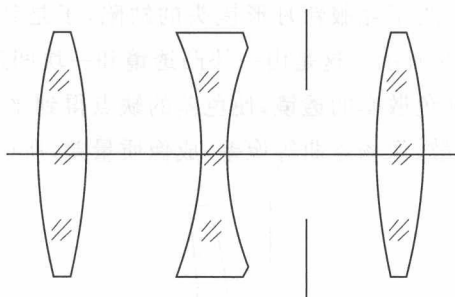


图 1-10 正光镜头

第三节 镜头的口径

一、有效口径

当无限远处射来的平行光线,通过镜头前镜时的光束直径,就是镜头的口径,如图 1-11 所示。镜头口径愈大,在单位时间内进入镜头的光能量就愈多,影像的亮度就愈高;镜头口径愈小,在单位时间内进入镜头的光能量就愈少,影像的亮度就愈低。影像的亮度与口径大小成正比。由此可见,镜头的口径,实际上表示了该镜头的基本通光能力,因此称为有效口径。

有效口径在摄影中具有非常重要的意义,我们通常可以在照相机镜头前圈上看到类似于 $1:2\ f/58\text{mm}$ 的标记,这就是镜头口径和镜头焦距的标记,它表示镜头口径与焦距的比值是 $1:2$,也称 F2。以传统相机海鸥 DF-7 型照相机为例,其镜头口径与焦距之比是 $1:2$,说明镜头的口径是焦距 58mm 的一半,即 29mm。再如,海鸥 4A 型双镜头反光式照相机的口径是 $1:3.5\ f/75\text{mm}$,即镜头口径约为 21.4mm,如图 1-12 所示。镜头口

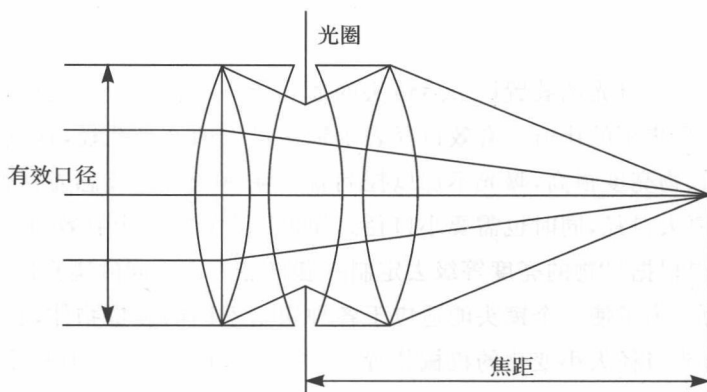


图 1-11 镜头的口径

径表示镜头的最大光束直径,称为有效口径。既然镜头的有效口径用最大光束直径与焦距之比来表示,因此,就可以得出如下结论:

镜头口径和镜头焦距的比值愈大,口径愈大,感光能力愈强;比值愈小,口径愈小,感光能力就愈弱。如 $1:2$ 的镜头口径感光能力要比 $1:3.5$ 的镜头大,这就像房间的窗户一样,窗户大的比窗户小的进光孔径大,进光量也就多,房间的亮度也就大。

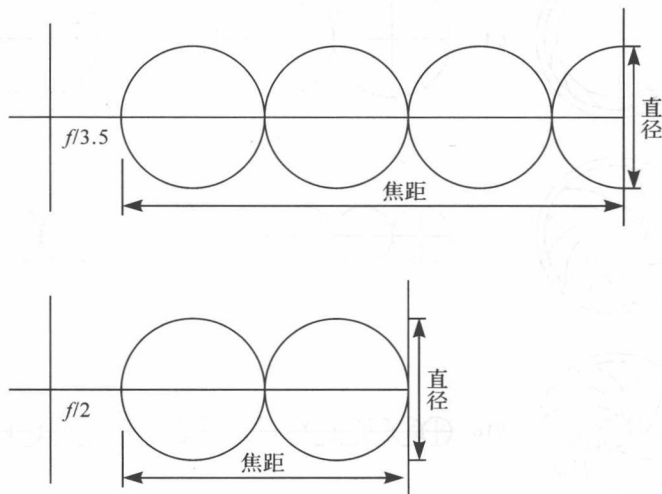


图 1-12 镜头口径与焦距的关系

当前使用大口径的镜头较为流行,数字单反照相机和传统 135 照相机使用 $1:2$ 口径的镜头已是非常普遍,有些特大口径的照相机已经使用 $1:1$ 口径的镜头,如徕卡 M 型照相机。大口径的照相机在光线微弱的情况下,其曝光的优越性是显而易见的,但是真正需要使用大口径的机会并不多。在室外拍摄一般不需要使用大口径的照相机,即便在微弱的光线下还可以使用闪光灯来照明,所以照相机的有效口径并非越大越好。

二、相对口径

相对口径是指经过光圈装置调节后镜头的通光能力。相对口径是可变的,它是缩小光圈后光束直径和焦距的比值。有效口径表示镜头最大的通光孔径,这仅适合于光线较弱的景物,如果景物亮度很高,曝光不加以控制就会使感光材料或感光器件感光过度,所以,摄影不仅需要大口径,同时也需要小口径。如果镜头只有一个有效口径而没有相对口径,那么我们就得根据景物的亮度等级去定制一套口径大小不同的镜头以适应拍摄,这样做既耗资又费力。为了使一个镜头能适应于各种明暗不同的被摄物体,我们在镜头中间装上可以控制镜头口径大小变化的机械装置——光圈。光圈由若干片弧形轻金属叶片组成,在一定范围内,能任意加大或缩小通光口径。

三、光圈的标度

光圈的标度,就是通常所说的 f 系数或光圈系数。如果 f 系数为 8,表示这级相对口径的光束直径是镜头焦距的 $1/8$,通常写作 $f/8$ 或光圈 8。如果这个镜头的焦距为 58mm, $f/8$ 的口径即为 7.25mm,以此类推,如图 1-13 所示。

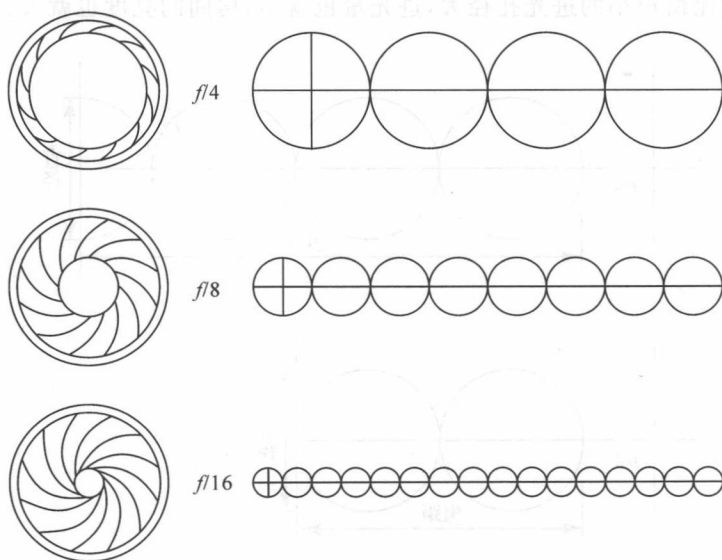


图 1-13 光圈系数

一般照相机光圈系数的标度为 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22。其中, 2 为有效口径, 2 以后的数值均为相对口径。光圈系数一般标在镜头外部的光圈环上, 使用时只要根据实际景物亮度的情况, 转动光圈环, 使所选定的 f 系数对准标定位置, 即可获得适当的曝光量。

光圈系数大小是与进光量成反比的。光圈系数越大, 表示进光孔径越小, 进光量也越

少;光圈系数越小,表示进光孔径越大,进光量也越多。如光圈 8 的进光量比光圈 16 的进光量要大 4 倍。

四、光圈的作用

光圈最主要的作用是用来调节和控制镜头的通光量,除此之外,它还有许多其他的作用。

1. 调节景深

光圈小时景深大,光圈大时景深小。景深在本章第四节中还将详细叙述。

2. 改善像差

镜头成像时,其中心成像清晰,周围或边缘部分成像质量较差,容易引起图像的形变,收缩光圈可以改善镜头的成像质量。

3. 调节分辨率

分辨率是指镜头对宽度及间距相等的平行线的分辨能力。分辨率除了与镜头本身质量有关外,还与光圈的大小有关。一个比较理想的镜头,用 $f/4$ 光圈时,底片上每毫米能分辨出 40 条线;用 $f/5.6$ 光圈时,底片上每毫米能分辨出 30 条线;而用 $f/8$ 光圈时,底片上每毫米还能分辨出 20 条线;用 $f/22$ 光圈时,底片上每毫米只能分辨出 10 条线。即光圈系数越大,分辨率越高;反之越低。

在实际使用中,我们发现:一般的照相机均有一个最佳光圈,大都在 $f/5.6$ 左右,光圈再加大时,分辨率有所下降。从提高分辨率的角度看,拍摄时最理想的光圈系数应是 $f/8$,放大照片时最理想的光圈是 $f/5.6$ 。

4. 调节反差

光圈还可以改变图像的反差,通常光圈小时反差大,光圈大时反差小,特别是在阴雨天拍摄时更为明显。

五、光圈的应用

光圈口径的大小对成像的质量有一定影响。对于精度较高的高级镜头来说,光圈大小对图像质量的影响并不显著,即使在使用最大口径时,一般也难以分辨出照片的质量问题。但对一般的普通镜头来说,这种影响比较大,主要表现在使用较大口径时,拍出的照片边缘影像的清晰度下降,有的还会出现形象失真的现象,这是因为镜头本身质量较差,存在着像差和色差,使用大光圈时,镜头的缺点就完全显现出来了。如果遇到这种情况,可使用小光圈的方法加以修正。当然这并不意味着使用的光圈越小越好,因为当光圈的孔径收缩到极小时,进入光圈的光线会在光圈边缘产生光的衍射现象,从而影响图像的清晰程度。在强烈的阳光照射下使用 $f/22$ 、 $f/32$ 等小光圈时,往往会出现光的衍射现象。一般来说,镜头上标出的各级光圈的成像质量都是有保证的,在同一镜头中, $f/5.6$ 和 $f/8$

两级光圈的成像质量比其他光圈 f 系数的成像质量要好一些。



小知识:透镜的像差和校正

单一透镜成像时,像和物总是存在各种各样的差别(失真),这种由透镜所造成的影像歪曲现象叫做像差。像差有六种,即球差、彗差、像散、像场弯曲、畸变、色差。前面五种像差称为单色像差,最后一种像差称为色差,它是由复色光通过透镜所产生的。前三种像差可以通过减小镜头的通光口径(光圈)加以改善,而像场弯曲和畸变只有通过改变调焦位置来加以修正,色差就只能通过消色差镜头来处理了。

第四节 镜头的景深

我们在拍摄过程中会发现这样一种现象,对某一物体进行调焦时,该物体前后相当长的一段距离范围内,景物均能在同一焦平面上结成清晰的影像,我们称这一段距离范围叫景深,在摄影中学会控制景深是非常重要的。

一、景深

景深是摄影中最重要的因素之一,它决定了读者看清楚影像的范围。我们在日常生活中看到的景物,无论远近,我们的眼睛都会自动地聚焦到这些景物上,随时都可以看到清晰的物体。对于照片上的影像来说,摄影师的工作就是要去选择决定哪些景物应该清晰地表现在画面上,哪些景物可以模糊些,哪些景物甚至可以不出现在画面上。

景深通常由两部分构成,从物点到最近清晰点之间的距离叫前景深,如图 1-14 中的(1)所示;从物点到最远清晰点之间的距离叫后景深,如图 1-14 中的(2)所示;从最近清晰点到最远清晰点之间的距离称为全景深,简称景深,它是物体在照片上的清晰范围,如图 1-14 所示。

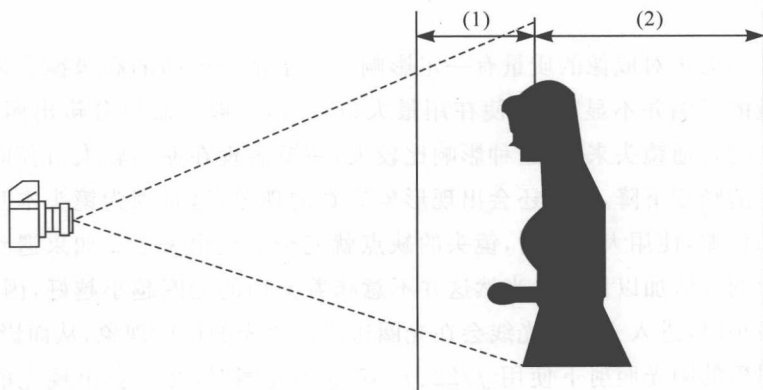


图 1-14 景深的组成