

# 物 理 实 验

(光学部分)

基础光学实验室编

中 山 大 学

一九八二年九月·广州

## 目 录

前 言 .....	1
实验一 幻灯片的制作 .....	3
附录: 摄影技术	
实验二 共轴球面光具组基点的测定 .....	24
实验三 显微镜 .....	31
实验四 平行平面透明板折射率的测定 .....	41
实验五 用最小偏向角法测量玻璃三棱镜的折射率 .....	46
实验六 用临界角法测量折射率 .....	50
附录: 阿贝折射计	
实验七 用牛环测光波波长 .....	59
实验八 用双棱镜测光波波长 .....	66
附录: DM 型读数显微镜	
实验九 迈克尔逊干涉仪 .....	74
实验十 测定单缝衍射的光强分布 .....	86
实验十一 菲涅耳圆孔衍射实验 .....	93
实验十二 衍射光栅常数及光波波长的测定 .....	99
实验十三 偏振光的现象及偏振光的干涉 .....	106
实验十四 菲涅尔反射系数的测定 .....	114
实验十五 用 .....	121
实验十六 用 .....	131
实验十七 单 .....	138
实验十八 拍 .....	145

目·2

实验十九	用鲁麦-布洛辉光度计测灯泡的发光强度·····	153
实验二十	由光电效应测定普朗克常数·····	163
附录 I	分光计的构造及调节。弯游标·····	172
附录 II	光学材料·····	187
附录 III	光学元件·····	190
附录 IV	常用光源·····	192
附录 V	视 差·····	197
附录 VI	有效数字及误差公式·····	198

## 前 言

### 一、本课程的内容和要求

光学测量是物理学基本测量之一。本实验是在普通物理范畴里对光的基本性质以及有关物理量测量方法和测量仪器作一些最基本的介绍。

任何复杂的光学仪器，主要地是运用几何光学的基本定律和光学的基本元件组成。光学的基本元件有平行平面玻璃板，平面反射镜，三棱镜，光栅，光栏等。这些元件以及由它们组成的测量装置(仪器)的性能和使用，是我们要学习和掌握的。

我们还要应用这些测量装置(仪器)，对光的基本性质(反射、折射、干涉、衍射、偏振)以及光与物质的相互作用进行研究，掌握有关物理量(焦距，折射率，波长)的测量方法。

此外，通过实际的观察和测量，从理论上和实际结果上深入认识光的基本现象和规律，并掌握基本的实验方法和数据处理方法。

### 二、为了做好实验，要求在实验前必先做到如下事项

1. 充分阅读实验讲义，每做一个实验前必先了解实验原理，必要时还要阅读已学过的理论课程或其它参考资料，以求对原理有清晰的理解。

2. 要了解实验仪器的使用方法和性能，必要时，可先到实验室预习。在附录中，我们罗列了本课程所涉及到的部分光学仪器。光学

元件及一些基本实验方法,在有关的实验讲义中不再重复。为此,同学们必先掌握它,特别是实验五,六,十二,十四,必先预习好分光计的结构和调节,熟悉分光计的性能和使用。

3. 按讲义要求拟定实验计划,列好表格,以备记录。实验前要做好预习报告,没有预习报告者一般不准进实验室做实验。

### 三. 为了保证完成实验,实验时必须做到:

1. 按安排进行实验,先查对仪器设备,记录实验卡片上的说明和要求。

2. 实验过程中,要十分爱惜和维护光学仪器和光学元件。任何光学表面,绝对禁止用手去接触!例如透镜,光栅,或平面镜(特别是干涉仪上的平面镜)等,如果直接用手接触其表面,则将在其上产生污垢及指纹,使光学表面产生严重危害。一旦这些光学表面被尘污以后,只能用吹气球去吹,或者用抹镜头纸沾乙醚与丙酮混合液轻轻抹去,而不能用力去吹!更不能用其他东西直接去擦。光学仪器的机械结构比较精密,故操作时要小心,动作要轻慢。当发现仪器转动不灵活时,应检查原因后再使用。

3. 注意观察分析现象,记录数据时要注意仪器的精确度和有效数字。

4. 实验完毕,数据要经教师审阅,然后收拾好仪器用具,经教师同意,始得离开。

### 四. 实验报告的内容

1. 简述实验原理依据。

2. 列出实验原始数据。

3. 计算或者图示结果。
4. 对实验结果进行分析讨论。
5. 实验报告采用统一的报告纸, 预习报告和记录数据采用笔记本, 不要用活页纸。

## 实验一 幻灯片的制作

一、目的: 学会用照相机制作幻灯片。

二、要求: 在学习了有关摄影技术知识的基础上再次复习照相机结构及各部件作用; 进一步学习室内静物拍照及底片冲洗方法; 了解和制作幻灯片的一种方法。

三、制作方法简述:

制作幻灯片, 除了绘制或印染等方法外, 也可以用摄影的方法制作。用摄影法制作幻灯片的方法是: (1)用照相机拍摄所选定的景物或图片; (2)按通常方法进行冲洗(显影, 定影)得出负片; (3)用翻摄片(一种银粒细、反差大的感光胶片。)对负片感光, 冲洗后得出与原被摄物一样的底片, 称为正片。这就是幻灯片。这种方法需用两份胶片, 宜于需要制作套数较多的幻灯片时使用。

另一种制作方法称为反转冲洗法, 它省去翻摄这一工序而直接将拍摄后的底片制成正片, 其方法是: (1)拍摄: 一用照相机拍摄目的物; (2)显影: 一按通常方法进行显影, 此时感光部分析出金属银而呈现影像; (3)漂白: 一将已显影完毕的底片在漂白液中漂白, 漂白液由0.6%硫酸和0.6%铬酸盐配成, 底片在漂白液中, 其已析出金属银将被溶去; (4)第二显影: 一经漂白后的底片再次被置于显影液中, 并进

行再次曝光,此时,未感光的卤化银受光作用而析出金属银,底片出现和原景物明暗相同的影象,(即负片已反能为正片。)(5)将此底片显影以除去残余之卤化银,即成幻灯片。

#### 四. 实验步骤

(1)用照相机拍摄:一要求选取廓线条粗浓,反差较大的目的物;照明力求均匀及能显出景物的层次;仔细选取拍照的位置、角度,对焦要清晰,在光强许可下尽可能选取较小的光圈以取得较大的景深。

(2)显影:可用一般正常反差的显影液,也可选用高反差显影液。

(3)漂白:时间约三分钟,使金属银充分漂去。(2)、(3)两步骤均应在全黑中进行。(如底片系分色片,则可在暗红灯光下操作。)

(4)第二次显影:漂白后底片在白光下均匀照射约三分钟,然后再在显影液中显影,使出现与被摄景物明暗一致的图象,此时可结束第二次显影。

(5)定影:10~15分钟。(4)、(5)两步骤,可在灯光下进行。在此以前,当由前一步骤转入下一步骤时,底片都要经过水洗,以防止前一药液被带入后一药液中从而促使后一药液过早失效。

(6)漂洗:定影后之底片应在流动清水中漂洗半小时。

(7)干燥:底片漂洗完毕后在空气中自然干燥。

(8)将制成的幻灯片装上片夹,在幻灯放映机上检查片的质量。

#### 五. 结果处理

(1)用幻灯机观察分析所制成的幻灯片。

(2)把制作经过及结果写成报告(实验报告,附上幻灯片二张)。

## 附录 摄影技术

## 一. 概述

照相机是在透镜成象的基础上,由镜头、暗箱和片盒等构成,其作用如图一所示。为了适合各种用途的需要,照相机的种类繁多,但不管什么型式的照相机,其基本结构是一样的。本实验所使用的双镜头反光照相机如图二所示。

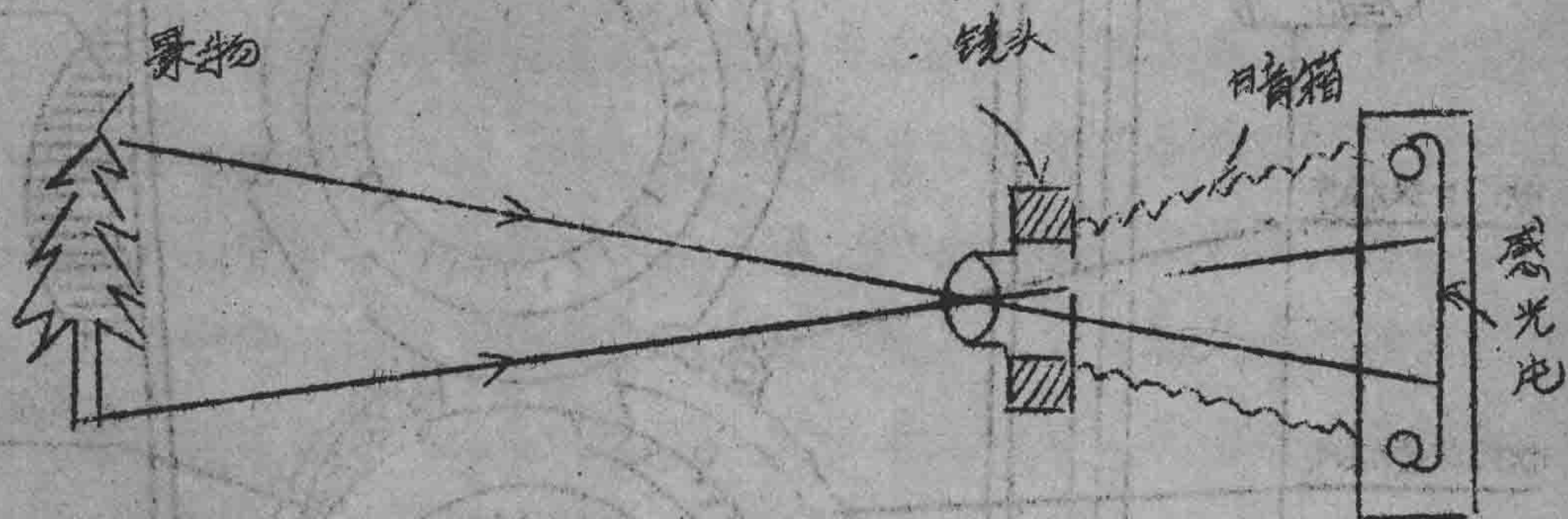


图 一

## 1. 镜头(物镜)

镜头是成象的光学系统。要求它把物体成一个实象于感光片上,使感光片感光。最简单的镜头就是一个凸透镜,根据透镜成象的关系(如图三),有

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



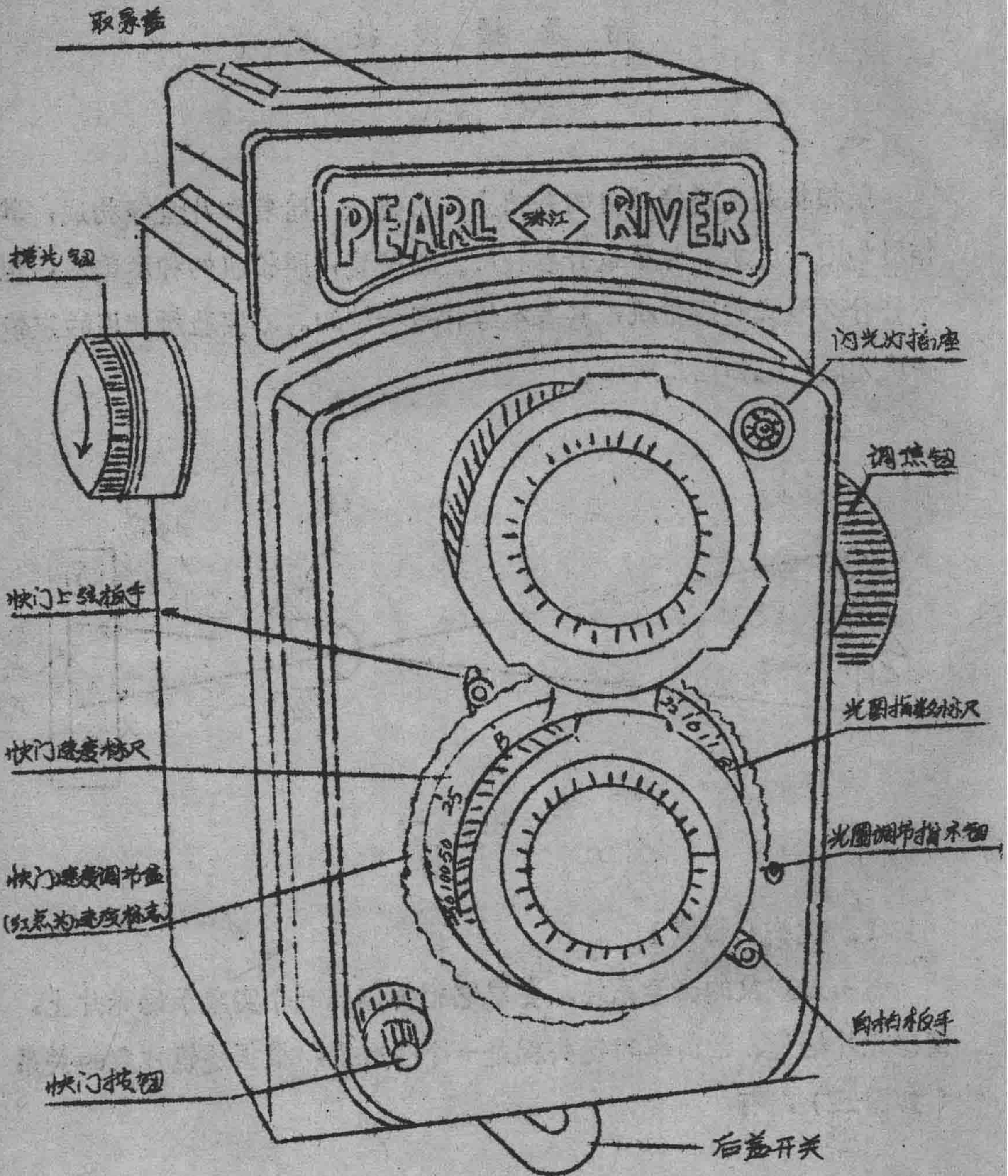


图 二

双镜头反光照相机

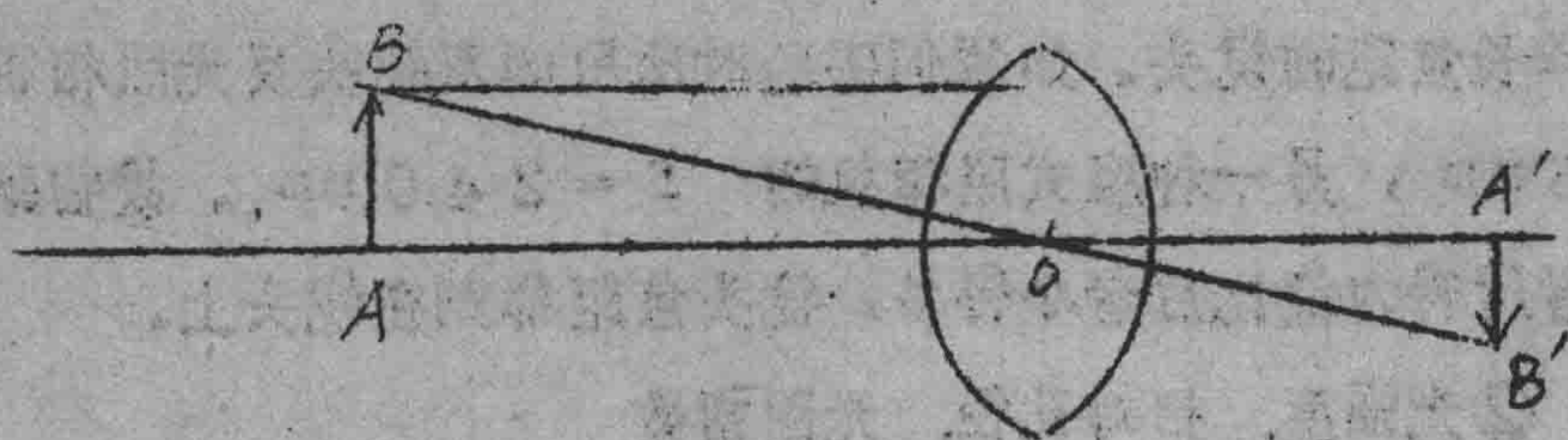


图 三

式中  $S'$  为象距,  $S$  为物距,  $f$  为焦距。

这就是照相机的镜头成像的根据。镜头所成的像不但要求它是实像,而且还要求它所成的像要清晰,要与所拍摄的目的物相似,不要走了样,单个透镜是不能满足这些要求的,单透镜存在着严重的像差(像的缺点),使像与物不相似。为了避免像差,镜头都是由三片或三片以上的透镜组成;它们仍然具有会聚的性质,图三的光路图仍然适合。

镜头的特性可以由它的焦距、光强度、像场或视角、景深等表示,这四个特性决定了镜头的好坏。

### ① 焦距:

任何摄影镜头都有其固定焦距(目前有些摄影机装有可变焦距镜头),一个透镜或透镜组合的放大率可用下式表示,

$$\beta = \frac{f}{S}$$

式中  $f$ : 焦距,  $S$ : 物距。

从上式可知:镜头的焦距与像的大小很有关系,若物距一定,采物距一定,采用不同焦距的镜头拍摄时,长焦距镜头所得的像较大。镜头焦距常见的有 50 mm、75 mm、110 mm、135 mm、240 mm 等几种。通常拍摄时都是物距比焦距大很多的,即  $S > f$ ,因而所得

的像都是缩小的(因 $\beta < 1$ )，这就告诉我们若要得到画面大的像就要选择长焦距的镜头。如我们实验时所用的双镜头反光照相机的  $f = 75 \text{ mm}$ ，另一种座式照相机的  $f = 240 \text{ mm}$ 。故物距一定时，前者所得的像比后者小得多，镜头焦距都刻在镜头上。

### ②光强度、相对孔径、光圈指数

物体通过镜头成像于感光片上，其亮度要有一定要求，否则就难以得到好的照片，由实验及理论计算可知，物体像的亮度不仅决定于该物体本身的亮度，而且也决定于物镜焦距及孔径的大小。所谓物镜孔径简单地说就是能够进入物镜之平行光束的直径(该光束应平行于物镜轴线)。孔径愈大则像大则像的亮度愈大，焦距愈长则像的亮度愈小。孔径的大小是可以改变的，因为镜头中装置了一组光阑(如图四)。光阑上的孔能随意收缩或开放，从而改变孔径的大小，因而像的亮度亦随之改变。为了简便，在实用上直接用镜头孔径与焦距的比

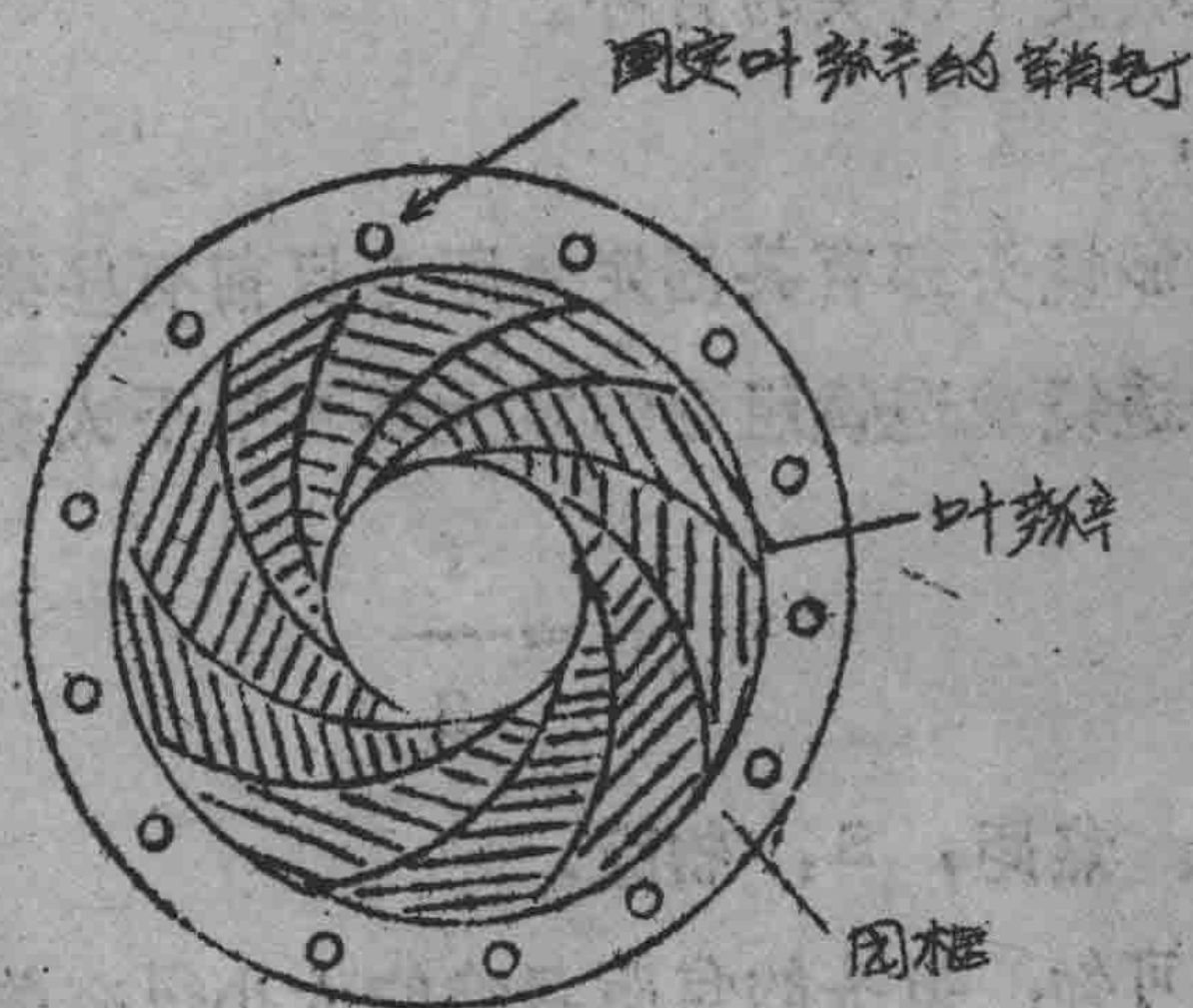
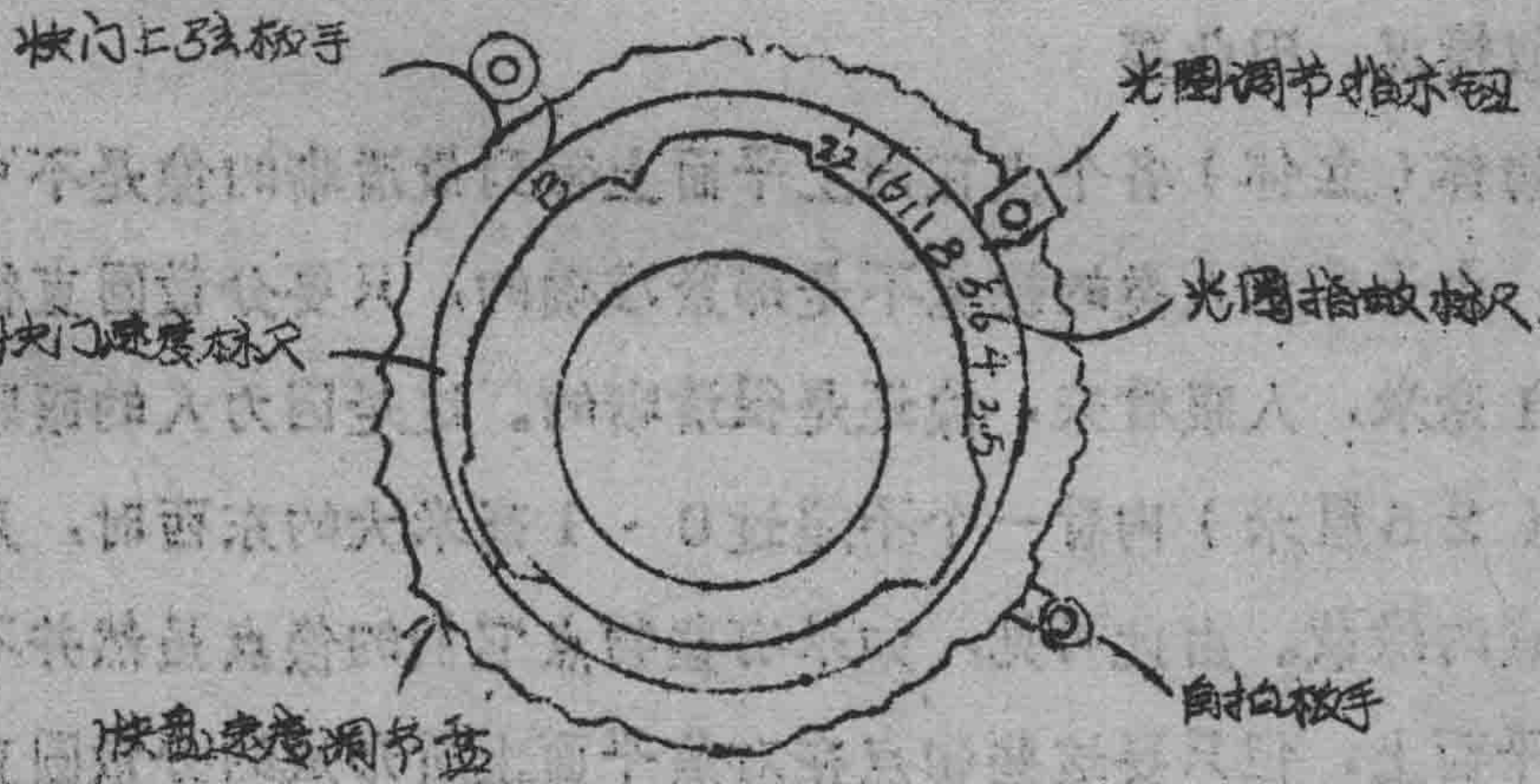


图 四

叶瓣光阑(光圈)

值来说，光强度，这又叫作相对孔径。相对孔径的大小表示方法，目前世界上使用最普遍的制度“f 数制”，如  $f/4$ ，表示焦距为孔径的 4 倍，在镜头的外框上都刻有最大相对孔径的数值。

由于相对孔径是可变的，摄影机镜头根据 f 数制把相对孔径分成一系列分度，每一分度的分母是前一分度的分母的  $\sqrt{2}$  倍，（即光强度比前面减少  $1/2$  倍）。如  $f/4.5$ 、 $f/5.6$ 、 $f/6.3$ 、 $f/8$ 、 $f/11$ 、 $f/16$ 、 $f/32$  等等。为了方便，一般在镜头上只写分母的数字，如图五的 3、5、8、11、16、22。每一数字是代表焦距是孔径的多少倍。数字愈大孔径本身愈小。刻度盘上的这些数字叫光圈指数。光圈指数愈小则曝光时间应愈短，



图五 光圈指数标尺及快门速度标尺

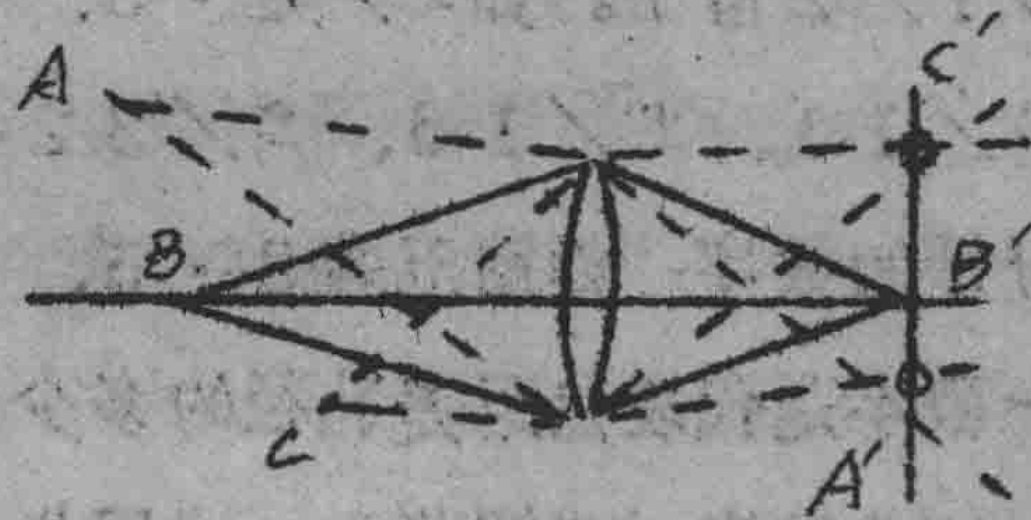
光圈指数愈大则像愈清晰，景深好，但曝光时间要长。

### ③景深

从  $\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}$  可知，物距不同时像距是不同的。除了图纸，文献

材料等是平面外，一般拍摄物均不是平面，因而它的各部分照相机的距离是不同的，这样各部分成像的位置并不在同一平面上，有前有后，而所用的底片是平面，所以物体各部分被摄成像的清晰度就各不相同。从图六可以看到，物体上A点成像于A'处，B点与C点分别成像于B'与C'处，如果我们从中间那个B点来对焦的话，

A点与C点在B'焦面上所成的像就变成了具有一定直径和模糊的圆圈。这种圆圈称为分散圆。若以A点与C点对焦时，也有类似情况。因此要

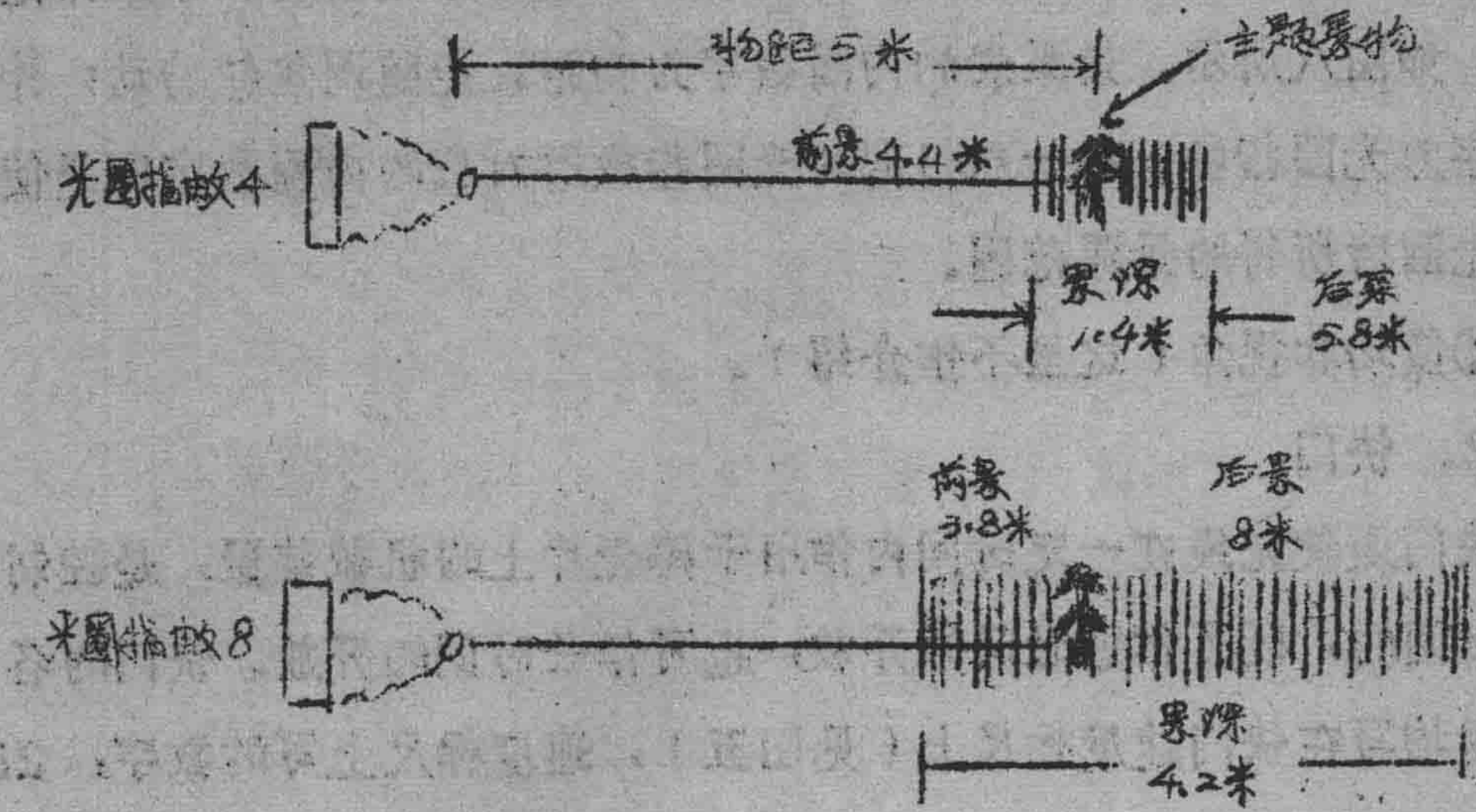


图六

使一物体(立体)各个点在同上平面上得到最清晰的像是不可能的。不过，由于我们人类的视觉不是那紧准确的，只要分散圆直径不超过0.1毫米，人眼看来，像还是很清晰的。这是因为人的眼睛在明视距离(25厘米)内看一个不超过0.1毫米大的东西时，只能看成一个点的缘故。由此可见，如果有些物点它们的像点虽然并不在所对焦的平面上，但只要这些物点在对焦平面上所形成的分散圆直径不超过0.1毫米，这样的像看起来是清晰的。这里必须指出，我们说分散圆直径最大容许限度为0.1毫米，是指已经印出来的照片和在明视距离观看而言。

如果在某个距离范围之内，远近不同的物体能够同时都拍摄得相当清晰，这个范围叫作景深。

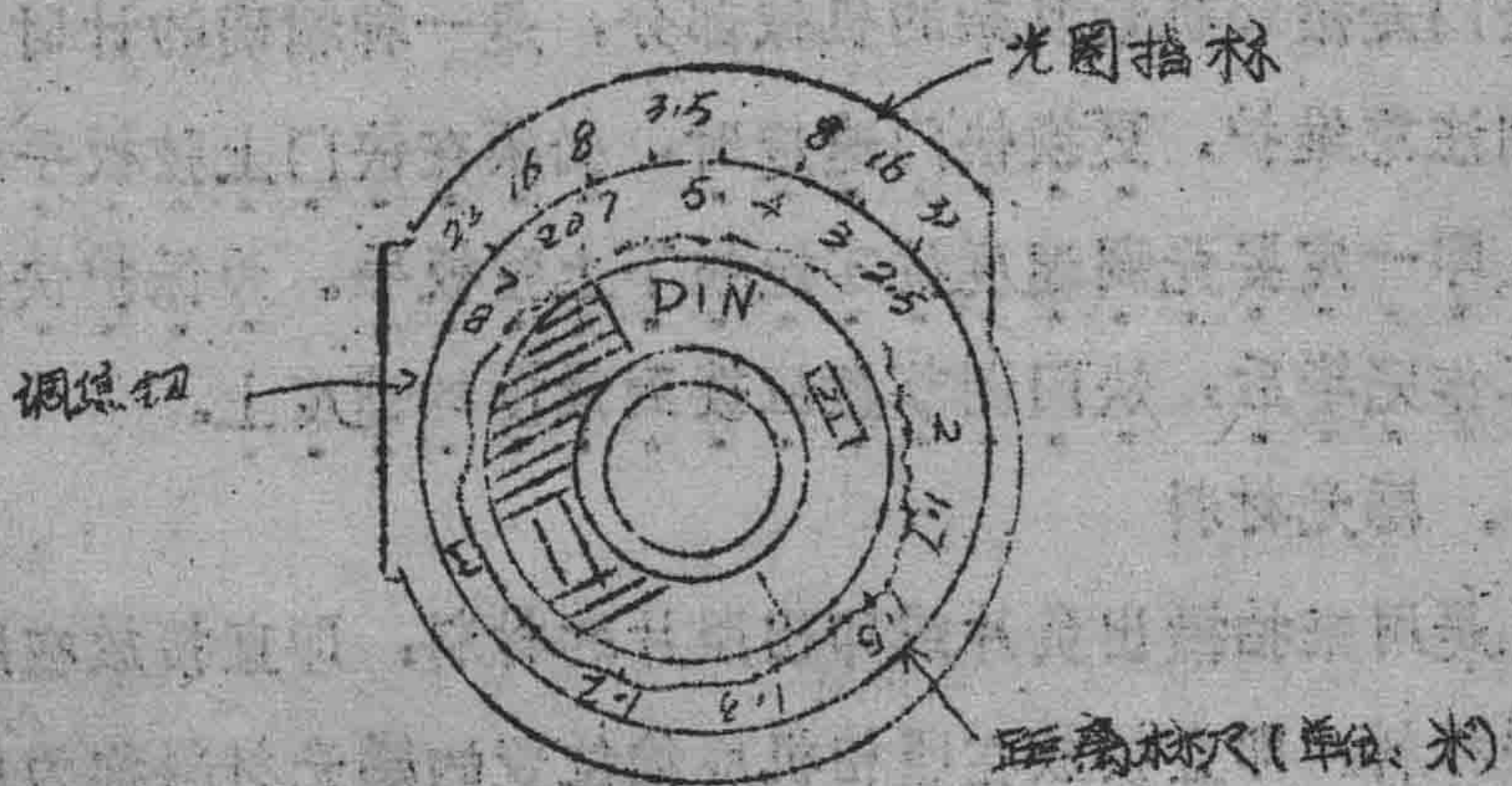
从理论计算及实践证明：a，改变镜头的孔径，景深发生很大的变化，孔径愈小(即光圈指数愈大)，景深愈大(如图七)。b. 对



图七 景深示意图

焦距离相等时，景深随镜头焦距的缩小而增大（即短焦距景深大）。

C. 前景深小于后景深（如图七）。



图八 景深范围指示表

目前的照相机，为了使用方便，在调焦钮的旁边附有一个景深范围表，如图八所示。景深表的内圈数字为物距，能随调焦钮转动；外圈数字为光圈指数，每一组相同的光圈指数所对应的内圈数字即是使用该光圈时所得的景深范围。

④像场和视角(这里不作介绍)。

## 2. 快门

快门是使光线在一定时间内作用于感光片上的机械装置，是控制曝光时间的，既可作短时间的开放，也可作长时间的开放。快门的各级速度均写在快门速度标尺上(见图五)，速度标尺上写的数字，25代表 $1/25$ 秒，50代表 $1/50$ 秒，100代表 $1/100$ 秒，250代表 $1/250$ 秒。B表示按下快门按钮时快门开放，松开按钮时快门关闭。

快门的操作：摄影前旋转快门调节盘的红点对准标尺上所需的时间，然后按下快门上弦板手(见图五)，拍摄时再按一下快门按钮(见图二)。

快门是摄影机最复杂的机械部分，是一种精确的计时装置。因此要特别注意维护，更换快门速度时，必须在快门上弦板手未拉下之前进行。即一定要先调速度盘才能拉下上弦板手。为保护快门的弹性，拍摄工作完毕后，快门调节盘应拨到最慢的速度上。

## 3. 感光材料

凡是用来拍摄出负片或印出照片的材料，即直接放在照相机成像的摄影材料，即直接放在照相机成像位置的感光材料称为底片材料。底片材料的片基都是透明的，用来印制正像(黑白与实物相同)的摄影材料称为正片材料。正片材料有用透明片基的，如幻灯片、电影片等。也有用不透明片基的，如相纸。

摄影材料之所以能够摄影,是因为在片基上涂了一层干的摄影乳剂。摄影乳剂是由精胶和某种感光物质所组成。这种感光物质是银和卤素的化合物,如 $\text{AgBr}$ 、 $\text{AgCl}$ 等,感光乳剂有这样的特性:在光的作用下,卤化银会发生光化过程。由于平常摄影时的光强是很小的(因曝光时间短,孔径小之故),这种光化过程不但肉眼看不到,就是一般显微镜也看不到的。但是底片材料已的确起了变化,形成了像,这个像人眼看不见,所以叫潜像。将这些材料经过化学处理(显影、定影),就可把卤化银还原成为可见的黑色的金属银,把潜像变成可见的像了。

### ①感光速度

感光材料有不同的性能,各种乳剂的光合作用有快慢之分,即其感光速度有快慢之分。溴化银乳剂的感光速度最高,其次是溴化银与氯化银的混合乳剂,最慢是氯化银乳剂。感光速度高的底片或正片,所需的曝光时间短,但它的银粒也相应扩大,一般来说,这是不利的,所以不能一概认为感光速度愈大愈好。

感光速度的表示,目前世界上最流行的是DIN制,意思是“德国工业标准”。我国采用的表示是GB,如GB 21°即DIN21°,也属于DIN制系统,这种制度每增加三个数字,速度高一倍,如GB 24°比GB 21°速度快一倍。感光片根据感光速度的不同分为慢片(GB 14°~GB 16°),快片(GB 17°~GB 19°),特快片(GB 20°~GB 22°),超特快片(GB 23°以上)。

### ②反差

被摄物各处的亮度是不一样的,它们在一定照明条件下有一定的差值,摄影时总希望能够把被摄物各处不同的亮度相互间的比例正确地如实地表现出来。但实际结果总有出入。摄影材料表达被摄物不同



部分亮度之间的差别大小的能力叫反差。反差大的材料是把亮度之间的差别扩大，反差小的材料是把亮度之间的差别减小。原则上感光度高的反差小，速度愈低反差愈大。我们用不同反差的摄影材料拍摄时，结果得到的像的性质也就不同，利用这一点，在各种情况下可以达到所要求的结果。相纸反差大小，一般是用编号表示，号数愈大反差愈大，如：1号软调，2号、3号中调，4号、5号硬调，6号特硬调，7号最硬，商店里说多少号相纸，就是这个意思。

### ③光谱感光度(或称感色性)

被摄的物体总是有各种不同的颜色的，而感光材料对各种颜色的灵敏度是不同的。这时使用起来就显得困难，因而目前有所谓全色片与单色片之分。所谓全色片就是对各种颜色有相同感光灵敏度，平常照相所用的胶卷都是全色片。所谓单色片，就是为了某种特殊需要使感光材料对某一单色特别灵敏。如全息照相中，用 $6328\text{Å}$ 作光源时，就要用对这个波长灵敏的单色片。

## 4. 摄影要领

要得到符合要求的照片，需要考虑的因素很多，而且必须从实践中慢慢取得经验。下面介绍一些基本过程。

### ①装底片

摄影前第一件工作是装底片。由于照相机的结构各不相同，把底片装到照相机里去，有的是直接装入，有的是用暗盒。只有用大幅面胶卷(如120)的照相机，装底片时不用暗盒。120胶卷因有特殊包装，可在亮处装底片，所以并不难。但也应注意不要在太强的光线下装底片。

对于本实验所用的照相机(见图二)，装底片时是将照相机底部的后盖开关旋松，打开后盖，把120胶卷装到胶卷轴上，用卷片