

高等学校教学用书

矿区摄影测量

杨忠秀 李秀堃 连其良 编

煤炭工业出版社

高等学校教学用书

矿区摄影测量

杨忠秀 李秀堃 连其良 编

煤炭工业出版社

内 容 提 要

全书共十三章，分两部分。第一部分包括1~10章，主要介绍航空摄影测量的基本知识、航测内业成图方法及其对控制点的要求、电算加密及其对控制点的要求以及航测外业工作；第二部分包括11~13章，主要介绍近景摄影测量的基本理论、方法及其在矿山工程中的应用举例。书后有一附录，介绍三个与摄影测量有关的数学知识和一个某测区航测外业技术设计书实例。

本书是煤炭系统高等院校矿山测量专业的教材（包括一部分选修课的教材），也可供摄影测量工程技术人员参考，摄影爱好者也可从中获得有益的知识。

责任编辑：洪 敏

高等学校教学用书
矿 区 摄 影 测 量
杨忠烈 李秀堃 连其良 编

煤炭工业出版社 出版
(北京安业门内和平里北街21号)
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

开本787×1092mm¹/₁₆ 印张20¹/₂
字数481千字 印数1—8,188
1989年10月第1版 1989年10月第1次印刷
ISBN 7-5321-0323-1/TD·302
书号 3138 定价 4.10元

前 言

本书是根据1983年制定的煤炭系统高等院校矿山测量专业《摄影测量学》教学大纲和编者多年的教学经验，并汲取部分煤炭院校有关教师的意见编写而成。

摄影测量在矿山工程中的应用日益广泛。为了使矿山测量专业学生能从事航空摄影测量内外业工作，本书较全面而系统地讲述了航空摄影测量的基本原理、内业成图方法、电算加密及航测外业工作。在内业成图方法及电算加密的叙述中，着眼点在于为航测外业工作提供理论依据。鉴于近景摄影测量日益广泛地应用于解决矿山工程中的特殊测量任务，本书简要而系统地介绍了近景摄影测量的基本原理、方法及应用举例。为了便于同学们阅读，收入了三个与摄影测量有关的数学知识和一个航测外业设计书实例，放在书后作为附录。

全书共分十三章，第一、二、三、六章由杨忠秀编写；第四、十一、十二、十三章由李秀堃编写；第五、七、八、九、十章由连其良编写；由杨忠秀担任全书的统稿工作。

在编写过程中，我们得到许多院校和个人的支持与帮助。同时，根据需要，从许多优秀教材、文献中援引了一些资料。北方交通大学朱成磷教授审阅了第一至四章，并提出了宝贵的意见。在此，对这些单位、个人及书刊论文作者表示衷心感谢！

本书从拟定编写细纲到审定初稿，编者先后多次进行了认真的讨论和研究。尽管如此，由于水平所限，书中不足和错误在所难免，敬请读者提出批评指正。

编 者
1983.12.

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 摄影测量的任务及分类	1
§ 1-2 摄影测量的发展概况	2
§ 1-3 摄影测量在煤炭工业中的应用	3
第二章 摄影的基本知识	5
§ 2-1 摄影机简介	5
§ 2-2 摄影机镜头的主要光学特性	5
§ 2-3 黑白片感光材料	9
§ 2-4 摄影处理	13
§ 2-5 彩色摄影的基本知识	16
第三章 航空摄影	22
§ 3-1 航摄仪	22
§ 3-2 航空摄影过程	25
§ 3-3 对航空摄影质量的要求	28
第四章 航摄像片解析	30
§ 4-1 中心投影的一般知识	30
§ 4-2 航摄像片及像对的主要点、线、面	32
§ 4-3 摄影测量采用的坐标系	34
§ 4-4 航摄像片及立体像对的方位元素	35
§ 4-5 中心投影构像方程式	40
§ 4-6 立体像对的基本公式	49
§ 4-7 航摄像片的像点位移	57
§ 4-8 航摄像片与地形图的差别	62
第五章 像对的立体观察及立体量测	66
§ 5-1 立体观察的原理	66
§ 5-2 像对立体观察的方法和工具	69
§ 5-3 像对的立体量测	70
第六章 航测内业成图方法及其对控制点的要求	75
§ 6-1 综合法测图及其对控制点的要求	75
§ 6-2 分工法测图及其对控制点的要求	92
§ 6-3 全能法测图及其对控制点的要求	110
第七章 电算加密及其对控制点的要求	133
§ 7-1 概述	133
§ 7-2 单航线电算加密的原理	133
§ 7-3 区域网加密简介	149
§ 7-4 电算加密的作业过程	149
第八章 野外像片控制点的布设	151

§ 8-1 像控点的种类和基本要求	151
§ 8-2 全野外布点	152
§ 8-3 非全野外布点	153
§ 8-4 特殊情况的布点	156
第九章 像片判读与调绘	157
§ 9-1 像片判读	157
§ 9-2 像片调绘的一般方法	162
§ 9-3 地形调绘的基本内容	167
§ 9-4 航测内业对野外调绘的要求	173
第十章 航测外业工作的设计与实施	176
§ 10-1 航测外业工作的技术设计	176
§ 10-2 航测外业工作计划的拟定	178
§ 10-3 航测外业工作的实施	180
§ 10-4 航测外业的检查与验收	183
第十一章 近景摄影测量的解析基础	186
§ 11-1 概述	186
§ 11-2 近景摄影测量的仪器	188
§ 11-3 近景摄影测量的坐标系及方位元素	196
§ 11-4 摄影方式及作业公式	201
§ 11-5 单像空间后方交会	209
§ 11-6 共线方程及共面方程的解法	216
§ 11-7 近景摄影测量的解析处理方法	223
§ 11-8 直接线性变换的计算	231
§ 11-9 时间基线视差摄影测量	241
第十二章 近景摄影测量的精度分析和控制点布设	244
§ 12-1 正直摄影的精度分析	244
§ 12-2 交向摄影的精度分析	247
§ 12-3 变形摄影测量的精度分析	252
§ 12-4 摄影站与控制点的布设	259
第十三章 摄影测量在矿山工程中的应用举例	263
§ 13-1 地表变形的研究	263
§ 13-2 矿区运输设备的垂直变形观测	265
§ 13-3 支架变形的单张像片观测	268
§ 13-4 竖井状况的监测	269
§ 13-5 露天矿的验收测量	271
§ 13-6 挖掘机装量的测量	277
§ 13-7 地质产状要素的测定	277
§ 13-8 建筑物变形的观测	281
§ 13-9 旋转体建筑物参数的确定	286
§ 13-10 油罐容积的测定	289
§ 13-11 烟囱倾斜的观测	294
附录	300
§ 附-1 正交矩阵	300

§ 附-2 方向余弦的确定	301
§ 附-3 向量代数基础	303
§ 附-4 某测区航测外业技术设计书	309
参考文献	316

第一章 绪 论

§ 1-1 摄影测量的任务及分类

传统的摄影测量学是利用摄影像片测定物体的形状、大小和位置的一门科学。由于像片能真实而详尽地记录下摄影瞬间客观物体的形态,而且其影像具有良好的判读性和量测性,因此摄影测量学有着广泛的用途。例如,工程建筑的勘测,军事侦察,森林、地质、地理等方面的调查与制图,甚至医学、考古、弹导轨迹的研究等等,都可以使用摄影测量的方法。由于现代航天技术和电子计算机的发展和应用,摄影测量的领域更加广泛了。可以这样说,不论物体是固体的、液体的、气体的,也不论物体是动态的、静态的、微小的、巨大的,只要物体能够被摄影(包括用雷达和X光摄影),基本上都能用摄影测量技术有效地解决某一方面的问题。它的灵活性使它成为在许多方面都可获得应用的一种测量方法。因此,从发展的角度来说,摄影测量学是“根据摄影像片和各种传感器从宇宙空间对地面进行遥感(可见光、红外和微波等辐射能)所得到的各种图像记录,研究对其进行处理、量测和判读的理论和方法,以确定物体的形状、大小、性质和位置及其环境的可靠信息的一门学科。”

按照所研究对象的不同,摄影测量可分为地形摄影测量和非地形摄影测量两大类。地形摄影测量的任务是根据摄影像片测绘出摄影区域的地形图,而非地形摄影测量的内容包括近景摄影测量、解析地面摄影测量、水下摄影测量、X光立体摄影测量、电子显微摄影测量、全息摄影测量等。

非地形摄影测量大多用于专题科学研究和考察,诸如工业,建筑学,生物学,医学,考古,高速运动物体等方面。随着航天技术的发展,非地形摄影测量在宇宙科学方面也占有重要的地位。非地形摄影测量所使用的摄影机可以是测量专用的摄影机,也可以是普通照像机;通常所采用的摄影方式是有一定规则的,但也可以是随意的。测量的成果,根据需要可以是平面和立面的等值线图,也可以是表示研究对象的一系列特征点的三维坐标值。

摄影测量学也可按摄站的不同分为航天摄影测量、航空摄影测量、地面摄影测量和水中摄影测量等。航天摄影测量是利用航天器、高空飞机进行摄影。航空摄影测量指的是地形摄影测量,从航摄飞机上对地面进行摄影,目的在于测绘地形图。地面摄影测量是使用由地面拍摄的像片,测绘特殊地区的地形图。水下摄影测量是将摄影机置于水中(摄站也可在空中)进行摄影,以绘制水下地形图,这属于双介质摄影测量。

航空摄影测量的原始资料乃是航摄像片,用它来测图,能使大部分工作在室内进行,从而减少气候条件和自然环境条件的影响,并能使测图工作细致分工,便于自动化、机械化。因此,航空摄影测量具有显著的优越性,它是地形测图的主要形式。目前,航空摄影测量方法已成为我国测制各种大面积大比例尺图的主要方法。至于地面摄影测量,虽然也具有上述优越性,但由于视界窄小,每张像片覆盖的面积较小,而且前景挡后景,测图非常困难,加之成图精度不均匀,致使其在测图方面的应用远不及航空摄影测量广泛。但在某

些特殊情况下,如高山地区的地理勘测、某些工程的大比例尺测量等,地面摄影测量仍具有使用价值。

遥感技术是近一二十年发展起来的有广阔前景的学科。从名词上说,遥感技术就是不直接接触被研究的远景对象,而用传感信息进行分析、处理,从而识别研究对象的属性、大小和形状。从这个意义上说,也可以认为摄影测量是属于应用遥感技术的范畴。然而,现今所谓的遥感却具有另外的含意,即用某种传感器,不直接接触研究目标而传感目标信息特征的信号(一般指目标所反应的电磁波),经过传输、处理,从中提取对了解目标有用的信息,此过程称为遥感。实现这种过程所采取的各种技术手段,总称为遥感技术。遥感器所取得的构像信息虽属非常规的图像,但根据遥感图像的几何特征,在编制小比例尺地图、修补旧图方面有一定的利用价值。

本书将着重介绍航空摄影测量和近景摄影测量。

在我国应用航空摄影测量模拟方法绘制地形图,大体上分为三种方法,即综合法、分工法(微分法)和全能法。综合法是单张像片的摄影测量处理与平板仪测图相结合的方法,这种方法适用于大比例尺平坦地区的测图,尤其是在对高程精度要求很高的情况下,应用综合法测图能得出满意的成果。全能法测图是以摄影过程的几何反转来建立摄区的立体模型,借助对模型的量测以代替地面地形测量,一次完成点的高程和平面位置的测定,从而绘制出地区的线划地形原图。全能法适用于丘陵地区、山区和高山地区测图。分工法测图也称为微分法测图,待求点的平面位置和高程的确定,虽然都是采用摄影测量的方法,但却是分别测定的。这种方法适用于测绘丘陵地区的中、小比例尺的地形图。

近景摄影测量在建筑、工业和生物医学方面的应用发展最快、最成熟。近景摄影测量所研究的对象在体积和面积上较小,摄影机到摄影目标的距离很小,一般小于300m,而相应的测量精度的要求却较高。其基本理论如同地形摄影测量一样,是以物体与构像之间的几何关系为基础,根据摄影像片确定研究对象的形态。因此,航空摄影测量中的基本原理、仪器以及作业方法,只要稍加改变或勿需改变即可用于近景摄影测量中。但在处理技术上,近景摄影测量有其特殊性。

§ 1-2 摄影测量的发展概况

摄影测量的真正起点,一般认为是从1851~1859年法国陆军上校劳赛达特提出和进行的交会摄影测量。由于当时尚未发明飞机,仅限于对地面建筑物进行摄影测量,而不是用来进行地形测量。20世纪初,发明了立体观测方法,德国的普夫里希于1901年制成立体坐标量测仪,奥地利的奥雷尔于1911年制成自动立体测图仪。至此,地面立体摄影测量在理论、方法和技术上才发展得比较完备。

1903年,莱特兄弟发明了飞机,使航空摄影成为可能。第一次世界大战中,第一台航空摄影机制造成功。航空摄影被应用来测绘地形图。航空摄影测量的理论、仪器迅速发展,开始了航空摄影测量的极盛时代。从20年代至60年代,航空摄影测量发展的主要方面是逐步完善了模拟法测图的理论、方法和技术。摄影测量经历了50年代从模拟摄影测量到解析摄影测量的过渡之后,从70年代开始向数字摄影测量过渡。但是,目前,发达国家仍然广泛使用以电子计算机控制和辅助为主要特征的解析摄影测量。

在利用航摄像片测图的方法和发展测图仪器方面,各有各自的特点。第一次世界大

战后,英、美等国着重发展速度快、耗费低的简易测图方法,大量采用辐射三角、纠正镶嵌成图。而以法国为代表的欧洲诸国,则着重探讨理论和精密的光学机械仪器。在苏联,十月革命胜利后,由于生产发展的迫切需要,苏联学者从本国的实际出发,创造了分工法测图的一整套理论、方法和仪器。第二次世界大战之后,欧美国家在把电子计算技术和自动化技术应用到摄影测量方面有着迅速的发展。

我国的摄影测量始于1930年。解放前,由于工业和科学技术落后,加之战争的影响,致使摄影测量几乎无成就可言。旧中国用航测方法成图的总面积约为一百万平方公里。由于当时无统一的技术规范,无统一规划,各部门各自为政,因而这些图支离破碎,互不衔接,质量较差。解放后近40年来,特别是从70年代以来,我国的航空摄影测量技术有相当快的发展。1950年初建的航测队伍就参加了治理淮河工程,投入了淮河流域的测图工作。随后,在各经济建设和国防建设中相继采用了摄影测量的方法,测绘了大量的地形图。从1953年至1969年的17年中,基本上完成了除青藏高原以外的全部国土(不包括台湾省)的五万分之一和十万分之一比例尺的地形测图。到1976年,全国十万分之一的地形图全部测绘完毕。

我国在摄影测量仪器的制造方面也有重要发展。我国生产的航空摄影仪(航甲-17型)、地面摄影经纬仪(华光DJS/1318)、纠正仪(H-30型和DJ₄型)、精密立体测图仪(HCT-1型)、立体测图仪(LCY-2型)以及立体坐标量测仪(HCZ-1型)等等,是我国摄影测量发展的标志。

目前,我国正进一步推广电子计算技术,积极发展正射影像图、解析测图、机助测图以及自动化测图等先进技术,其中有些技术已经在生产中得到应用。

§ 1-3 摄影测量在煤炭工业中的应用

解放前,我国煤炭测绘力量极其薄弱,只有开滦、淮南等少数较大的煤矿有专门的测绘机构。有些地区,由于缺乏测绘力量或因技术水平低而造成一些灾害性事故。解放后,随着煤炭事业的兴旺发达,煤炭测绘队伍逐渐成长壮大,已成为一支煤炭工业建设、生产不可缺少的专业技术队伍。我国煤炭测绘工作的发展,经历了下列几个阶段。

对于1:5000、1:2000、1:1000、1:500的大比例尺地形图来说,长期以来处于十分紧缺的状态。50年代用平板测图,由于工作效率低,成图周期长,扭转不了被动局面。

60年代初期,由于地质勘探范围的迅速扩大,地形图的供求矛盾进一步加深。为了解决这一问题,采用了航测成图的方法,在没有精测仪器的情况下,使用常规仪器,施测成功1:5000比例尺地形图。70年代初,大量生产了这种地形图,使测绘工作的被动局面有所好转。航摄像片除了制作地形图外,经过地质的外业对比、调绘、室内判读及航测内业成图,使航空地质填图方法也获得成功,解决了地质部门长期未曾解决的技术难题。

70年代中、后期以后,随着国民经济的发展,大量的矿山需要改造,因而1:2000、1:1000或更大比例尺地形图的供求紧张状况再次出现。由于常规仪器设备不能满足测制1:2000、1:1000地形图的精度要求,添置了精测仪器,并采取了一系列技术措施,克服了精度上和地区类别上的障碍,进行了大面积1:5000、1:2000比例尺航测地形图的生产。在全国范围内,各矿区尤其是大矿区,大面积大比例尺的地形图几乎都采用了航测成图的方法。目前,我国煤炭系统已建成了具有国际70年代初期技术水平的航测内业生产基地——

西安航测遥感公司,各矿区航测外业技术队伍发展也较快。近几年来,利用1:9000~1:15000比例尺航片,在高倍率放大测制1:1000地形图方面进行了研究和试生产,精度基本上达到了工程测量规范的要求,满足了设计工作的需要,从而扭转了地形图的测绘工作长期落后于煤炭工业高速度发展的被动局面。

从上可以看出,解放以后,我国煤炭工业部门在航测成图方面有长足的发展,成绩显著。但是,相比之下,在近景摄影测量的实际应用方面却做得还不够。尽管西安航测遥感公司等单位,在这方面做了一些工作,并取得一定成绩。但总的来说,尚不够多,不够普及。因此,在今后一段时间内,把近景摄影测量的先进方法广泛地应用到矿山工程中来,这是我们煤炭系统测绘工作者面临的一个重要任务。

第二章 摄影的基本知识

§ 2-1 摄影机简介

摄影的工具是摄影机。摄影机的种类很多，但基本结构原理大致相同，都是由物镜、镜箱及暗盒三部分组成。图2-1为普通摄影机的结构示意图。镜箱是摄影机的主要组成部分，其后部是承片框，前端安装着摄影物镜。暗盒又称暗匣，是存放感光软片的地方。摄影时，要求感光软片展平并贴附在承片框平面内。普通摄影机的暗盒和镜箱是连成一体的，而测量专用的摄影机备有多个暗盒。暗盒可以从摄影机镜箱上卸下来，摄影时装上并调换使用。

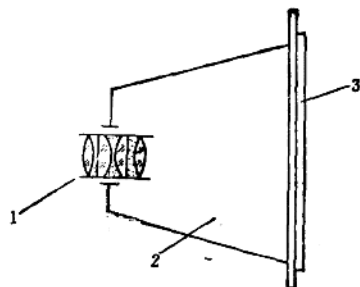


图 2-1

1—镜头；2—镜箱；3—暗盒

普通手提摄影机，按所用软片尺寸分为120摄影机和135摄影机两类。120和135都是软片的代号，前者宽6cm，长82cm，可摄取 $6 \times 6\text{cm}^2$ 的底片12张。135软片宽35mm，长1.5m，可摄取 $24 \times 36\text{mm}^2$ 的底片36张。凡使用120软片的摄影机，习惯上称为120像机，使用135软片的摄影机称为135像机。

§ 2-2 摄影机镜头的主要光学特性

摄影机镜头的作用是聚集被摄物体发射的光线，使之在承影面上构成清晰的影像。物体的构像质量主要取决于物镜的品质。而单透镜具有各种像差，因此摄影物镜都是由几个单透镜组合而成的一个复杂光学系统，借以消除或减小像差。

下面就摄影机物镜的特征作一简单介绍。

一、物镜的焦距

为了消除像差，物镜是由若干个化学成分、曲率半径都各不相同的凸透镜和凹透镜组成的，称之为组合透镜。组成组合透镜的各单透镜的光学中心，必须位于同一条直线上，这条直线称为主光轴。所有平行于主光轴的光线，通过物镜后相交于主光轴上的某一点，该点称为主焦点。主焦点有两个，一个称为前方（物方）主焦点 F_1 ，一个称为后方（像方）主焦点 F_2 ，如图2-2所示。为了说明物镜的成像原理，用两个垂直于主光轴的平面 H_1 、 H_2 和两个主焦点 F_1 、 F_2 来代表组合透镜。当物方和像方介质相同时，主光轴与主平面 H_1 的交点 S_1 称为前节点，与主平面 H_2 的交点 S_2 称为后节点。从节点到主焦点的距离称为物镜的焦距，用 f 表示，即

$$S_1F_1 = S_2F_2 = f \quad (2-1)$$

因两节点间的距离很小，通常把两个节点视为一点，称镜头中心。

二、物镜的像角

通过物镜的圆锥形光束在焦面（过焦点垂直于主光轴的平面）上所限定的面称为视场，如图2-3所示。由镜头后节点 S_2 与视场直径端点 a 、 b 的连线所成的角 2α 称为视场角。视场范围内的影像，中央清晰而边缘模糊。影像清晰部分的圆形面积称为像场。由物镜后节点 S_2 与像场直径端点 c 、 d 的连线所成的角 2β 称为像场角。内接于像场的正方形（或矩形）称为像幅。

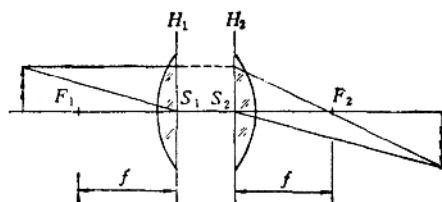


图 2-2

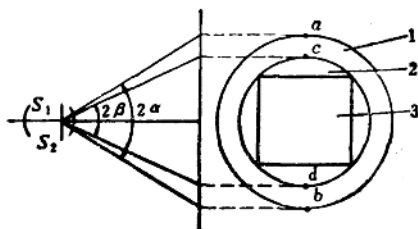


图 2-3

1—视场；2—像场；3—像幅

在像幅不变的情况下，像场角的大小取决于焦距的长短。焦距越长，像场角就越小；焦距越短，像场角就越大。而像场角的大小决定着被物镜清晰地成像于像平面的物面或物空间的大小。

三、光圈与相对孔径

通过物镜边缘部分的光线将产生较大的影像变形。为了遮盖住边缘光线和调节通过的光量，通常在物镜透镜组中间设置一个有孔的遮光板，即所谓光圈。现代摄影机，常用的光圈是虹形光圈，它由若干个镰刀形的黑色金属薄片组成。这些薄片一片叠压着一片，每片有一个固定的支点，通过机械作用使各片绕其支点旋转，在中央形成一个大小不同、近似圆形的圆孔，其圆心在主光轴上。当转动物镜框上的光圈环时，虹形光圈所构成的圆孔就可扩大或缩小，以改变孔径，调节通过物镜的光量。

射入物镜并能通过光圈的入射光线束的直径称为有效孔径，用 d 表示。有效孔径愈大、允许进入物镜的光通量就愈多。构像的亮度与有效孔径的平方成正比。构像的亮度又与物镜焦距的平方成反比，这是因为在进入物镜的光通量不变时，焦距愈大，承受光通量的面积也愈大，单位面积上的光通量就减少，构像的亮度也就低了。因此，把有效孔径与物镜焦距之比 $\frac{d}{f}$ （即相对孔径）作为控制构像亮度的一个因素。有效孔径最大时的相对

孔径称为最大相对孔径。它标在物镜框上，表示物镜产生光学亮度的能力，在某种程度上反映物镜的光学质量。焦距相同的物镜，最大相对孔径越大，最大的有效孔径也越大，说明该物镜的有效使用面积较大，物镜的品质就较好。相对孔径随有效孔径的大小而改变。

由于相对孔径 $\frac{d}{f}$ 大多都小于 1（即 $d < f$ ），因此把相对孔径的倒数 $\frac{f}{d}$ 作为说明进入物镜的光通量的一个因素。相对孔径的倒数，称为光圈系数（或称光圈号数），以 K 表示，

$K = \frac{f}{d}$ 。例如，物镜的焦距 $f = 50\text{mm}$ ，某一级有效孔径 $d = 25\text{mm}$ ，那么， $25/50 = 1/2$ ，它的倒数“2”就是光圈系数。光圈系数2通常写作 $f/2$ ，依此类推。由光圈系数的含意可知，构像的亮度 E （焦面上的照度）与光圈系数的平方成反比，即

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{K_1^2}{K_2^2} \quad (2-2)$$

摄影时，欲在感光材料的单位面积内获得一定值的曝光量 H ，而曝光量 H 等于照度 E 与曝光时间 t 的乘积，即 $H = E \cdot t$ ，因而根据式 (2-2) 有

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{H/t_1}{H/t_2} = \frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{K_2}{K_1}\right)^2 \quad (2-3)$$

由上式可知，如果曝光时间增加一倍，即 $t_2/t_1 = 2$ ，则相应的光圈系数之比应增加 $\sqrt{2}$ 倍，即 $K_2/K_1 = \sqrt{2}$ 。因此，物镜框上标出的光圈系数的排列顺序是以 $\sqrt{2}$ 为公比的等比级数，即 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22 等。光圈系数每差一档，镜头的通光量就差一倍，欲要保持相同的曝光量，就应相应地增加一倍曝光时间。例如，如果认为用光圈系数 5.6 和曝光时间 1/100 秒时的曝光量是合适的，那么光圈系数改用 8 时，曝光时间则应改为 1/50 秒。以 2 为公比的曝光时间排列顺序也标在物镜框上，如 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{15}$, $\frac{1}{30}$, $\frac{1}{60}$, $\frac{1}{125}$ 等。初学摄影者往往认为光圈系数越大，镜头的通光量也越大，这是错误的，实际恰恰相反。因为光圈系数是相对孔径的倒数，它的大小与有效孔径成反比。

四、物镜的分解力

物镜的分解力表示物镜摄取细微碎部的能力，以一毫米内物镜所能分解的线条数表示。物镜分解力的检验是借助检验图片来进行的，即将检验图片成像在检影板上，用显微镜进行观察，找出仍可分辨的最细线条，并读取所标示的数字，这样就可求出这个物镜各部分的分解力。

物镜的分解力，在物镜的中央部分最高，边缘部分最低。分解力降低的主要原因是各种像差的影响。在一定限度内，可用缩小相对孔径的办法来减小像差影响，以提高成像的清晰度。但是，不能使相对孔径太小，因为相对孔径太小会出现衍射，这反而会影响到成像的清晰度，降低物镜的分解力。

五、物镜的景深

摄取有限物距的景物时，在底片上能获得清晰影像的物距范围称为景深 (Depth of Field 缩写为 D.F.)。根据构像公式，

$$\frac{1}{D} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f} \quad (2-4)$$

式中 D 为物距， d 为像距， f 为物镜焦距。当摄取某一物距为 D 的景物时，只有当像距为 d 时才能得到清晰的构像，而物距大于 D 或小于 D 的其它景物，在像面上的构像是一个模糊的圆斑，一般称它为模糊圆。如图 2-4 所示， B 和 C 的构像 B' 和 C' 为模糊圆。如果模糊圆的直径 e 等于或小于某一限值时，由于人眼观察的分解能力有限，这个模糊圆看起来仍然

像个清晰的像点。因此,虽然对光于A点,但在远景B和近景C之间的所有景物,在像面上仍可认为获得了清晰的构像。计算景深的公式如下:

$$D.F. = D_2 - D_1 = \frac{2D^2 f^2 K e}{f^4 - D^2 K^2 e^2} \quad (2-5)$$

式中 D ——对光物距;
 f ——物镜焦距;
 K ——光圈系数;
 e ——许可的模糊圆直径;
 D_1 ——近景清晰起点物距;
 D_2 ——远景清晰起点物距。

由式(2-5)可以看出,决定景深的主要因素有三个,即焦距、物距和光圈系数。当焦距和光圈系数一定时,物距愈大,景深就愈大;当物距和焦距一定时,光圈系数愈大,景深就愈大;当物距和光圈系数一定时,短焦距的物镜比长焦距的物镜景深大。

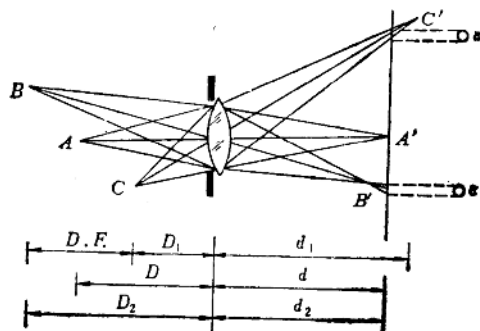


图 2-4

国产普通摄影机的主要性能参数见表2-1。

这里顺便介绍一下摄影机的快门。

快门是控制曝光时间的装置。快门从打开到关闭所经历的时间,称为曝光时间或快门速度。快门和光圈配合起来控制通过镜头的光量。通常用的快门有两种,即中心快门和焦面快门。中心快门由2~5个金属叶片组成,安装在物镜透镜组的中间。曝光时,利用弹簧机件使快门叶片由中心向外启开,投射光线就能经物镜进入摄影机内,使感光材料感光。到了预定的曝光时间,快门叶片又自动关闭,终止曝光。中心快门的优点是,在启闭快门的整个过程中,感光材料全像幅同时曝光。绝大多数普通摄影机都采用中心快门,航空摄影机除特种型号外也都采用中心快门。焦面快门安装在像框平面附近,感光材料前面。它一般是用不透光的黑布卷帘制作的,其上有一缝隙与卷帘运动方向垂直。未曝光时,卷帘不透光的黑布部分遮盖着感光材料;曝光时,卷帘在感光材料前面滑动,缝隙所经之处即行曝光。调节缝隙宽度或控制缝隙运动速度,就能改变曝光量,这也相当于改变曝光时间。焦面快门的优点是,感光材料各部分的曝光量是相同的,同时这种机构可以使曝光时间很短;缺点是当摄影机与所摄物体有相对运动时,会引起影像的变形和位移。所以作量测用的摄影机不宜采用焦面快门。

表 2-1

类别	牌 名	厂 名	焦距 (mm)	最大 光圈	分 解 力 (线条数/mm)		最大快门速度 (秒)	快门型式	最近摄影距离 (m)
120 摄 影 机	东 风	上海照相机厂	80	2.8	中心 31	边缘 21	1/1000	中 心 式	1.0
	海欧-4型	上海照相机厂	75	3.5	21	9	1/300	中 心 式	1.0
	海欧-4A	上海照相机厂	75	3.5	21	9	1/300	中 心 式	1.0
	海欧-4B	上海照相机厂	75	3.5	21	9	1/300	中 心 式	1.0
	海欧-4C	上海照相机厂	75	3.5	21	9	1/300	中 心 式	1.0
	海欧-203	上海照相机厂	75	3.5	21	6	1/300	中 心 式	1.0
	珠 江	广州照相机厂	75	3.5	21	9	1/300	中 心 式	1.0
135 摄 影 机	红旗-20	上海照相机厂	50	1.4	44	22	1/1000	焦 面 式	0.6
	海欧-7(DF-7)	上海照相机厂	58	2.0	37	26	1/1000	焦 面 式	0.6
	海欧-205	上海照相机厂	50	2.8	31	16	1/300	中 心 式	0.6
	长 城	北京照相机厂	50	2.8	—	—	1/300	中 心 式	0.6
	东 方	天津照相机厂	50	2.8	—	—	1/300	中 心 式	0.6
	珠江S-201	四川金光仪器厂	58	2.0	—	—	1/1000	中 心 式	0.6

§ 2-3 黑白片感光材料

一、黑白片感光材料的结构

感光材料按影像显示的色调可分为黑白片、有色片和红外片。本节仅介绍黑白片。

黑白片感光材料有黑白负性感光材料和黑白正性感光材料两类。负性感光材料也叫底片，用于摄影机对景物进行摄影。它曝光并经摄影处理后，影像的黑白灰度恰与物体的明暗情况相反，因而得名负片。正性感光材料多为像纸，用于从负片晒印正片，影像的黑白灰度正好与所摄物体的明暗相一致。两类材料曝光时的光化学作用基本相同。

如图2-5所示，黑白片感光材料的基本结构如下：

(1) 保护层。它是一层厚度约为 $1\mu\text{m}$ 的明胶，作用是防止乳剂层被擦伤。

(2) 底层（又称粘合层）。其作用是使乳剂与片基更好的粘合。

(3) 防光晕层。感光材料曝光时，被摄对象中的闪耀物体（灯、火、太阳等）的光线，通过乳剂层到达片基后被片基反射，使一部分光线射回乳剂层，以致在闪耀物体构像的周围形成光晕。为了防止光晕的产生，片基的背后常涂有绿色或其它较深色的涂料，以吸收能产生光晕的光线。如果片基本身染成中性灰色或兰色等，则不需另加防光晕层。

感光材料（如胶片）在制造和使用过程中，由于摩擦会产生静电放电现象。这种微弱的放电火花会使感光材料曝光，产生树枝状或蜘蛛网状的潜影，经显影处理后会不应有的火花像。为了防止摩擦生电现象，在片基背面层内加一种良好的导体（盐类），以便导走静电。这种导体层称为防静电层。此外，为了防止胶片冲洗后卷曲，在片基背面层内

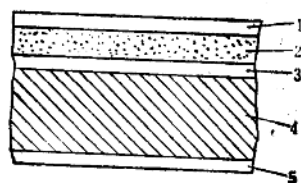


图 2-5

1—保护层；2—乳剂层；3—底层；
4—片基；5—防光晕层

加入明胶。这样一来，片基的两面都有明胶层，而且其膨胀率相等，故能有效地防止胶片卷曲。这样的明胶层叫做防卷曲层。

防光晕层、防静电层和防卷曲层，实际上混合为一层，即图2-5中的防光晕层。

(4) 乳剂层。这是感光材料最主要的部分。它是卤化银悬浮于明胶中的悬浮体，这一层的厚度约为 $10\sim 25\mu\text{m}$ 。

卤化银是感光乳剂中的感光物质，它以细微颗粒状的形式存在于乳剂中。在低感光度（如用以制备印像纸）的乳剂中，所用的银盐是氯化银、氯化银与溴化银的固溶体、或纯溴化银。一般来说，它们的感光度按照上面的顺序依次递增。

感光乳剂中卤化银的颗粒度是一个很重要的特性，被摄物体的影像就是以卤化银还原后的银的颗粒为单位所构成的。每一颗粒是形成潜影的一个单位，在正常曝光范围内，可显影颗粒的数目随着曝光量的增加而增加。

卤化银颗粒的大小相差很悬殊，其直径由零点几微米到几微米不等。在固定的均匀曝光情况下，颗粒较大的吸收光较多，平均说来，大颗粒较小颗粒感光灵敏。因此，一般来说，感光度较高的乳剂，其颗粒也较大，显影后的影像也较粗糙。卤化银颗粒的大小不是决定感光度的唯一因素，同样大小颗粒的卤化银，由于乳剂的制备方法不同，其固有的感光度有相当大的差别。

在乳剂层中，除了卤化银和明胶之外，根据不同要求，还加入某些增感剂和补加剂，以使乳剂性能更加理想。

(5) 片基。它是感光材料的基础、感光乳剂层的支持体。

二、感光材料的分类

按使用的片基的不同，感光材料可分为干板、胶片和像纸。

(1) 干板。将感光乳剂涂布于玻璃板上，便制成干板。干板的优点是变形小，缺点是重量大、易破碎。它主要用于地面立体摄影测量和多倍仪用的缩小片。

(2) 胶片。将感光乳剂涂布于硝酸纤维或醋酸纤维片基上而制成。胶片也称软片，它的优点是重量轻、不易破碎。在普通摄影和航空摄影中被广泛的应用。

(3) 感光纸。将感光乳剂涂布于纸基上，形成感光纸，即通常所说的像纸。像纸按反差性能分为1号纸、2号纸、3号纸、4号纸。1号和2号纸属于柔性纸，反差（影像黑白程度之比）轻淡，层次丰富，色调柔和；4号像纸反差大，影像黑白分明，缺乏层次；3号纸的反差介于1、4号纸之间。

感光乳剂中加入增感剂后，感光材料的感光性能便产生变化。根据感光性能的不同，感光材料可分为正色片、全色片、分色片和盲色片。

(1) 正色片。它能感受红光以外的一切可见光，但对绿色光感受甚微。它多用于无红色景物的摄影。

(2) 全色片。它能感受人眼可见的一切光，但对绿色光感受较差。它用于一般摄影和航空摄影。

(3) 分色片。它介于正色片和全色片之间，除暗红色外，对其它各种颜色有很好的感光性。在地面立体摄影测量中广为采用。

(4) 盲色片。只对蓝、紫等色的短波光有感受能力，可用作线划图的复照、幻灯片及像纸等。