



中等职业教育国家规划教材

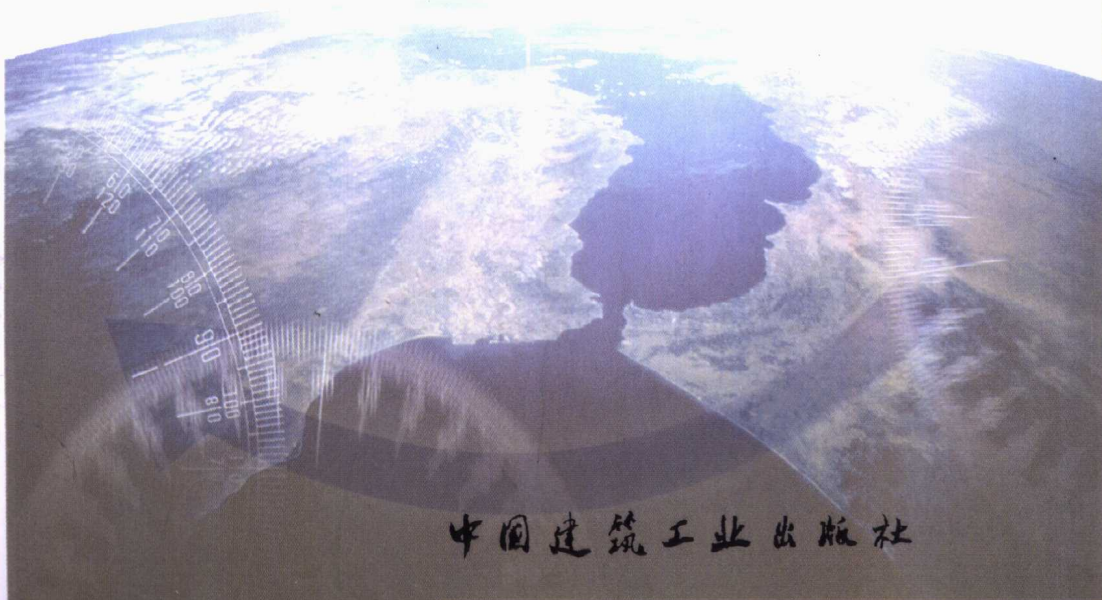
全国中等职业教育教材审定委员会审定

HANGKONG

航空摄影测量

测量工程技术专业

主 编 陈永明



中国建筑工程工业出版社

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

航空摄影测量

(测量工程技术专业)

主 编 陈永明
责任主审 田青文
审 稿 肖 平 孔金铃

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

航空摄影测量/陈永明主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2003

中等职业教育国家规划教材. 测量工程技术专业

ISBN 7-112-05422-2

I. 航… II. 陈… III. 摄影测量法-专业学校-教材 IV. P23

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 044959 号

本书内容紧密结合国家现行规范, 适当反映当前生产作业中的新方法、新技术。全书共分七章, 包括: 航空摄影测量的基础知识、航摄像片的调绘、像片平面图测图、立体测图、像片控制测量、数字摄影测量、地面摄影测量。全书力求突出科学性、实用性, 简明扼要, 通俗易懂。

本书可供中等职业学校测量工程技术专业学生使用, 也可供相关技术人员学习参考之用。

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

航空摄影测量

(测量工程技术专业)

主 编 陈永明

责任主审 田青文

审 稿 肖 平 孔金铃

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京市彩桥印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 8 1/2 字数: 204 千字

2003 年 7 月第一版 2003 年 7 月第一次印刷

印数: 1—2000 册 定价: 11.00 元

ISBN 7-112-05422-2

TU·4746 (11036)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2002 年 10 月

前 言

本教材是教育部规划的中等职业学校测量工程专业系列教材之一，是根据教育部新颁教学大纲在原教材《航空摄影测量》（1991年地质出版社出版）一书的基础上重新编写的。

全书共七章，在充分考虑中等专业学校职业教育特点的前提下，比较系统地阐述了航空摄影测量与地面摄影测量的基础理论，并以大比例尺航测成图为重点详细地介绍了像片调绘、像片控制测量等外业工作，删去或减少了航测内业成图中陈旧的作业方法，但保留了其必要的基本原理，并对正在发展的数字摄影测量新技术作了概念性的介绍。

全书由陈永明主编，何辉明编写了第一、二两章，第三、四、五、六、七章由陈永明编写。并受教育部委托由陕西省测绘局地理信息系统中心肖平副教授和长安大学地球科学与国土资源学院孔金铃副教授审稿，由长安大学地质工程与测绘工程学院田青文教授主审。

在编写的过程中，较广泛地参考了兄弟院校的教材和有关部门的文献、资料，在此表示衷心感谢。虽然我们尽了很大的努力，由于编者业务水平有限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

目 录

第1章 航空摄影测量的基础知识	1
1.1 概论	1
1.2 摄影与航空摄影的一般知识	2
1.3 航摄像片的几何特性	9
1.4 航摄像片的内、外方位元素	13
1.5 航摄像片的像点坐标关系式	14
1.6 航摄像片的像点位移	17
1.7 像对的立体观察和立体量测	20
第2章 航摄像片的调绘	25
2.1 航摄像片的判读	25
2.2 像片调绘	28
第3章 像片平面图测图	40
3.1 像片平面图测图原理	40
3.2 制作像片平面图	44
3.3 像片平面图测图	51
第4章 立体测图	57
4.1 模拟法立体测图	57
4.2 解析法立体测图	64
第5章 像片控制测量	68
5.1 像片连测	68
5.2 解析空中三角测量	76
5.3 解析空中三角测量的作业过程	78
第6章 数字摄影测量	82
6.1 数字影像的获取	82
6.2 数字影像的内定向	84
6.3 影像匹配的基础知识	85
6.4 最小二乘影像匹配方法	91
6.5 基于特征的影像匹配	96
6.6 正射影像图制作原理——数字微分纠正	97
6.7 数字地面模型	99
6.8 全数字摄影测量系统	104
第7章 地面摄影测量	107
7.1 地面摄影机	107

7.2 地面摄影测量的摄影方式和公式	111
7.3 近景摄影测量的控制系统, 摄影站的布设及测图工作	118
7.4 近景摄影测量的应用	121
主要参考文献	127

第1章 航空摄影测量的基础知识

1.1 概 论

1.1.1 摄影测量及其研究的内容

对研究对象进行摄影,根据所摄像片上的影像信息进行分析、研究,并测定该对象的性质、形状、大小及其空间位置,提供所需资料和图件,这就是摄影测量。它产生于19世纪50年代,当时,主要用于测绘地形图。

科学技术的发展,使摄影测量的研究和应用范围不断扩大。按照所研究对象的不同,摄影测量学在内容上可分为地形摄影测量和非地形摄影测量两大类。地形摄影测量研究的对象是地表的形态,以物体与构像之间的几何关系为基础,根据摄影像片测绘出各种比例尺地形图;非地形摄影测量,则是以研究空间物体的形状、大小、运动轨迹等为目的,它也是按照物体与构像之间的几何关系,根据摄影像片测定特征点的三维坐标,或测绘出被摄物体的立面图、平面图,最后显示为立体形状的等值线图。摄影测量学也可按摄影站的位置分为:地面摄影测量、航空摄影测量、航天摄影测量和水中摄影测量几类。

1.1.1.1 地面摄影测量

地面摄影测量包括地面立体摄影测量和非地形摄影测量。前者是将摄影经纬仪安置在地面两相邻的摄影站上,按一定的要求,拍摄测区的像片,然后用摄影测量的方法测绘地形图。地面摄影存在前景遮蔽后景以及每张像片的使用面积小等缺点,不适用于大面积测图。后者是在近距离对研究目标进行摄影,取得像片后,根据影像信息测定目标的外形、状态和几何位置,所以,非地形摄影测量一般又可称为近景摄影测量。近景摄影测量正广泛应用于建筑工程、古迹修复、考古、医学、生物、机械制造、采矿、冶金、船舶制造、结构物变形、海洋、地质和粒子运动等各个方面。根据需要它可提供目标的等值线图和动态目标的形态与轨迹——目标特征点的三维坐标值或平面图等。

1.1.1.2 航空摄影测量

按照一定的要求,从飞机上对地面进行连续摄影,根据所获像片测绘出所需比例尺的地形图或各种专题地图。

航空摄影测量所得的航摄像片,能客观详尽地记录地球表面地物、地貌的现状,它具有形态逼真、相关位置正确、影纹显示细致,便于判读的特点。同平板仪地形测量相比较,用这样的像片所测绘的地形图,各部分的精度均匀;而且可以把大量的作业移到室内进行,从而减少野外工作量,不受或少受地形和天气条件的限制。

航空摄影测量生产成果的品种,除线划地图外,还有正射影像地图和数字地面模型等。航测仪器设备的机械化、电子化、数字化和自动化,可以不断提高工作效率,缩短成图周期,减少劳动强度和费用,使航空摄影测量具有成图快、精度好、成本低的优点,因

此在国民经济建设各部门中被广泛应用。

1.1.1.3 航天摄影测量

它是在人造地球卫星、宇宙飞船等航天飞行器上，安装高精度的传感器，对地球或太阳系其他天体进行遥感测量，它在地质找矿、环境保护、气象服务和军事情报等方面得到了广泛应用。

1.1.1.4 水中摄影测量

水中摄影测量是将摄影机置于水中，对水下地表面进行摄影以测绘水下地形图，或对水下物进行摄影，测制其外形、状态和几何位置等。

1.1.2 航空摄影测量简要过程

航空摄影测量简称航测。使用航测方法测绘地形图，可分为下列三个过程：

1.1.2.1 航空摄影

航空摄影的目的是为了获得符合要求的航摄资料——测区的航摄底片（负片）、航摄像片（正片）和有关数据，供后续工序使用。

1.1.2.2 航测外业

航测外业包括像片控制测量与像片调绘两个方面。像片控制测量是为了使航测的成果与地面坐标系联系起来，即根据测区的已知大地点，连测出像片上规定位置的明显地物点的平面坐标和高程，直接用于测图或作为室内加密的起始数据。像片调绘是依据航摄像片（放大像片或像片平面图），按成图方法的要求，进行判读着铅，然后对照实地，进行定性调查注记或定性定量调查绘注，同时把像片上没有影像而需要表示的地物、地貌、境界线和地理名称等，按要求补测到像片上。

1.1.2.3 航测内业

(1) 像片控制点内业加密

就是根据少量的像片控制点，采用解析空中三角测量的方法，解算所需加密点的平面坐标和高程，供内业测图时使用。

(2) 像片测图

根据测区地形、成图比例尺及仪器设备情况，像片测图分为：像片平面图测图与立体测图。像片平面图测图只能解求待定点的平面位置，而立体测图不仅能解求待定点的平面坐标，高程也能一并解求。

1.2 摄影与航空摄影的一般知识

1.2.1 摄影机

1.2.1.1 摄影机的基本构造和作用

摄影机是获取被摄影景物光学影像的工具。虽然类型很多，结构繁简差别较大，形式也各不相同，但它们的基本结构是大致相同的。

图 1-1 是普通摄影机的基本结构。镜箱是一个不透光的匣子，前壁上装有摄影镜头，它的作用是聚集从被摄影景物投射来的光线，在像面上构成光学影像。在镜头中间安装有一个孔径可变的光圈，其作用是控制镜头使用面积的大小，以调整进入镜头的光通量，即光圈大，进入镜头的光通量多。安装在镜头前的快门，其作用是控制摄影时曝光时间。后壁

上装的是一块用于观察被摄景物影像的毛玻璃，前壁与后壁之间由不透光的皮腔相联结。前壁可相对于后壁作平行移动，后壁也可以相对于前壁平行移动，目的是调节镜头和毛玻璃之间的距离，以满足获取清晰影像的光学条件。

1.2.1.2 摄影镜头的特性

光学影像的大小和质量主要取决于镜头的特性。摄影镜头有下列几个主要特性：焦距、相对孔径、像场和像角、分解力及摄影快门。

(1) 焦距

焦距数值取决于透镜曲率半径的大小、透镜玻璃的折射率、透镜的厚度和透镜间的距离。

在其他条件相等的情况下，焦距愈长，所得影像的比例尺愈大。但是乳剂层表面的照度，将相应减弱。

(2) 相对孔径

对一个镜头来说，像面上的亮度不仅取决于有效孔径（入射光瞳的直径）的大小，而且还取决于焦距的长短，因此，我们把有效孔径 A 与焦距 f 之比，作为控制构像亮度的一个因素，称为相对孔径，即：

$$\text{相对孔径} = \frac{A}{f}$$

有效孔径随光圈孔径的变化而定，亦即相对孔径随光圈的大小而改变，相对孔径越大，像面上的亮度越大。由于相对孔径大都小于 1，因此，常用相对孔径的倒数来表示进入镜头的光通量的一个因素。相对孔径的倒数 $\frac{f}{A}$ ，称为光圈号数。镜头筒光圈环上所标志的光圈号数，其排列顺序是以 $\sqrt{2}$ 为公比的等比级数，如：

2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22

这样排列的结果，随光圈号数增大，相应的曝光时间也需增加。光圈号数每变更一档，相应的曝光时间增加或减少一倍，就能保持相同的曝光量，从而取得同等的构像亮度。

(3) 镜头的像场和像角

光线通过镜头后投射到焦面上的光照是不均匀的。照度由中央向四周边缘递减，影像的清晰度也从中央向边缘递减。如图 1-2 所示，一个直径为 AB 的明亮圆的范围称为视场。镜头中心与视场直径 AB 所张的角 2α ，称为视角。在视场面积内，能获得清晰影像的区域称为像场（如图 1-2 中以 CD 为直径的圆面积）。同样，镜头中心至像场直径 CD 所张的角 2β ，称为像角。

像角大的镜头摄取空间范围比像角小的为大，当像幅相同时，前者的比例尺比后者小。

(4) 分解力

镜头分解力，是指镜头对被摄影景物微小细部的构像能力，常以 1mm 宽度内所能清晰分辨的线条数目来表示。由于镜头残余像差等原因，镜头中心部分的分解力，比边缘部

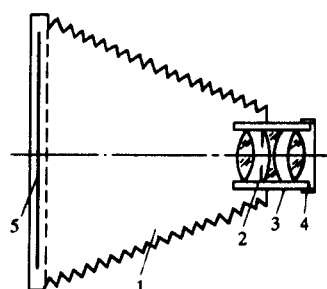


图 1-1 普通摄影机

1—镜箱；2—光圈；3—镜头；
4—快门；5—检影器玻璃

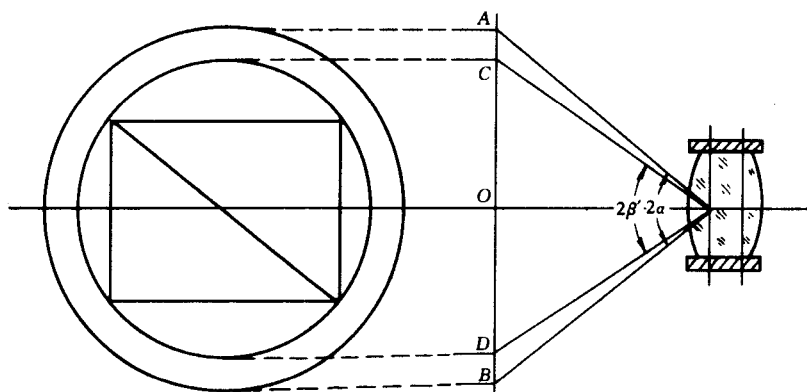


图 1-2 镜头的像场和像角

分为高。

(5) 摄影快门

快门是控制曝光时间的机件。快门打开到关闭所经历的时间，称为曝光时间（或称快门速度）。常用快门有两种形式：中心式快门和焦面式快门。

要控制快门的速度，可根据刻在速度调节盘上的数字进行调节。速度盘所标志的曝光时间数字，常按下列顺序排列：

$B, 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 125, 300 \cdots$

这些数字表示以秒为单位的时间倒数，例如 1 表示 1s，2 表示 1/2s，余此类推。符号 B 是表示 1s 以上长时间的曝光的标志，若速度盘指示 B ，则按下快门按钮时，快门打开，一松手，快门立刻关闭。

1.2.2 感光材料

摄影使用的感光材料有黑白和彩色两种。在黑白与彩色片中，又分为直接用于摄影的各种负性胶片和晒印用的复制正片、相纸及其他正性感光材料。

1.2.2.1 黑白感光材料的特性

(1) 感色性

乳剂对于各种不同波长光线的敏感能力，称为感色性。

人们通过视觉获得对于颜色的辨认。而感光乳剂对于颜色光线的辨别记录，则在于乳剂的感光作用。了解这一点，便于在摄影中选择感光材料的感色性。

感光材料按感色性分为：

盲色片 只感受波长 500 nm 以下的蓝紫光，仅用于幻灯片、印像纸等正性材料。

正色片 感受到波长 580 nm，从蓝紫光扩大到黄光感受，仅用于印刷业。

全色片 对 700 nm 以下的可见光都感受，它是普通摄影常用的片种。

红外片 能对光谱中的近红外部分感光，是一种为特殊目的使用的感光材料，它能将人眼看不见的一部分红外信息，在红外片上显示出来。故可用于军事侦察上的揭露目标伪装，地球资源的勘察等。

(2) 感光度

感光度是指感光材料对光的敏感程度，俗称感光速度。摄影时，需要知道感光材料的

感光度，方可在不同光照条件下，正确选择曝光时间。因此在光照不变的情况下，感光度高的感光材料就给予较小的曝光量；感光度低的就给予较大的曝光量。

按照我国国标感光度规定，度数每相差 3° ，感光的能力相差一倍，数值大的感光度高。

(3) 反差系数

密度：乳剂层在曝光和显影以后的变黑程度，称为密度（也称黑度、灰度）。

景物中最亮部分的亮度与最暗部分的亮度之比，或其对数之差，称为景物反差 U ，即：

$$U = \lg B_{\text{最大}} - \lg B_{\text{最小}}, \text{ 或 } U = \frac{B_{\text{最大}}}{B_{\text{最小}}}$$

景物被摄影之后，景物亮度大的部分，在乳剂层上产生的密度就大；景物亮度小的部分在乳剂层上产生的密度就小。在负片或正片上，其影像的最大密度 $D_{\text{最大}}$ 与最小密度 $D_{\text{最小}}$ 之差，称为影像反差 ΔD ，即：

$$\Delta D = D_{\text{最大}} - D_{\text{最小}}$$

反差系数 γ ，就是影像反差与景物反差之比，即：

$$\gamma = \frac{\Delta D}{U}$$

γ 能说明该感光材料表现影像反差与景物反差的比列塑性。

从上式可知：当 $\gamma=1$ 时，则 $\Delta D=U$ ，说明影像色调正确表现景物之间亮度差；当 $\gamma>1$ 时，则 $\Delta D>U$ ，说明影像的色调比例地夸大所摄景物之间的亮度差；当 $\gamma<1$ 时，则 $\Delta D<U$ ，说明影像的色调相对于景物之间的亮度比例地被压缩了。

1.2.2.2 像纸的选择

像纸有印像纸和放大纸两种。它们属于盲色片，可在红、黄色灯光下晒印像片。

印像纸感光速度较低，适用于接触晒印中，或用在较强光源进行的投影晒印。

放大纸感光速度比印像纸快得多，适用于各种倍数的投影晒印，亦可用在弱光进行的接触晒印中。但与负性感光材料相比，它们的感光速度要慢得多。

像纸的号数是标志它固有的反差。我国像纸的反差分为1~4号。1号反差小，2号反差中等，3号反差大，4号反差特大。一般应用较多的是2、3两号。

选择像纸一般按负片的反差确定。其基本原则是：负片反差大者，选用像纸号数小的；负片反差较小者，则选择号数较大的印像纸。

1.2.3 黑白感光材料的摄影处理

感光材料曝光以后，在乳剂层中便形成了被摄景物的潜像，需要及时显影、水洗、定影、水洗和晾干等摄影处理，以使潜像显现出来，成为稳定的可见影像。

1.2.3.1 显影

将感光材料上的潜像经显影液的氧化还原作用后，变成可见影像的过程称为显影。

现将生产中常用的两种显影液的配方列入表1-1中，可供使用时参考。

表1-1中，微粒显影液主要用于负片的处理，而普通显影液由于构像的颗粒较粗，一般仅用于处理正片。

表 1-1

药 品 \ 名 称	微粒显影液	普通显影液
水 (约 50 ℃)	750	750
米吐尔 (克)	2	3.1
无水亚硫酸钠 (克)	100	45
对苯二酚 (克)	5	12
无水碳酸钠 (克)	—	67.5
溴化钾 (克)	—	1.9
加水至 (毫升)	1000	1000
显影液温度 (℃)	18 ~ 20	18 ~ 20
显影时间 (min)	5 ~ 10	4 ~ 6 以 1 份水稀释

1.2.3.2 定影

感光材料经显影后，乳剂层中卤化银大部分被还原成金属银，但还残留少部分未被还原，如果不将它去掉，则再遇到光后仍会起化学反应而变色，使已显的影像被破坏。因此，为了稳定显出的影像，必须在显影后清除残存的卤化银，这就需采用化学的方法将其转化成可溶性的络合物并从乳剂层中水洗出去，这一过程称为定影。

定影液的配方很多，现只将其中的一种 (F-5) 介绍如下：

水 (60 ℃)	600 毫升
硫代硫酸钠	240 克
无水亚硫酸钠	15 克
醋酸 (28%)	48 毫升
硼酸	7.5 克
钾矾	15 克
加水至	1000 毫升

1.2.3.3 水洗和晾干

感光材料的摄影处理过程中需要进行两次水洗，其中一次是在显影以后、定影之前进行。这次水洗的目的是停止显影和延长定影液的使用效力。第二次水洗是在定影结束后进行，目的就是洗去乳剂层中的定影液和其他杂质。水洗一定要充分，否则，影像会发黄变色。

水洗方法有静水法和流水法两种。前者需要每隔 5 分钟换一次水（其间还应搅动 2 ~ 3 次），更换 5 ~ 6 次后即可；后者一般冲洗时间应在 15 ~ 30 分钟便可认为水洗已经充分。

晾干就是除去乳剂层中的水分，一般采用自然晾干，像片从水中取出后，先用海绵或纱布吸尽乳剂层表面的水滴，放在空气流通而清洁的晾片架上，并注意片与片不要叠在一起。

1.2.4 彩色摄影的概念

1.2.4.1 三色视觉理论

人的视觉能够感觉颜色是由于人眼睛的视网膜里有能感受光线的神经细胞。视网膜神经末梢上有柱体细胞和锥体细胞两类。柱体细胞的感光性能比锥体细胞要灵敏，但不能感

色。锥体细胞的感光性能较低，但对不同波长的色光却能引起不同的色感。锥体细胞有三种感色单元，一类对蓝光（400 ~ 500 nm）的感受最为敏感，故称为感蓝单元；另一类对绿光（500 ~ 600 nm）最敏感，称为感绿单元；第三类对红光（600 ~ 700 nm）最敏感，称为感红单元。当三类感色单元受到同等程度的刺激时，便得到消色的感觉，刺激强烈时，得到白的感觉；刺激中等，得到灰色的感觉；刺激很弱时，得到黑色的感觉。三类感色单元受到刺激程度不相等时，便得到彩色的感觉。具体的色感取决于各感色单元所受到刺激的相对比值的综合。这就是所谓的三色视觉理论。

根据该理论，自然界一切颜色都是由蓝、绿、红三种原色组成的，而其余各色可认为是三原色按成分不同程度的光学综合而得的间色。试验显示：黄色 = 绿 + 红；品红色 = 蓝 + 红；青色 = 绿 + 蓝。黄、品红、青称为三个间色。蓝与黄、绿与品红、红与青可以组成白色，我们又称它们互为补色。

1.2.4.2 彩色感光材料

彩色感光材料的结构如图 1-3 所示。在片基上涂布有三层感光性能不同的乳剂，上层乳剂是盲色乳剂，不感受红、绿光，只感受蓝、紫光，该层乳剂中含有黄色成色剂，经彩色显影后生成黄色染料；中层乳剂为正色乳剂，感受绿光，同时在该乳剂层中加入能够形成品红染料的品红成色剂；下层乳剂为全色乳剂，感受红光，在该层中含有能够成青色染料的成色剂。三层乳剂层，均对蓝光敏感，为了使中层乳剂只感受绿光，下层乳剂只感受红光，在上乳剂层下面涂一层黄色滤光层以吸收蓝光，使红绿通过，达到分层感光分色的目的。彩色感光材料除乳剂层之外，它与黑白感光材料的结构一样，还涂有一些必须的辅助层。

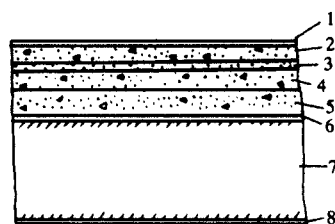


图 1-3 彩色感光材料的结构

- 1—保护层；2—感蓝层（含黄成色剂）；
- 3—黄色滤光层；4—感绿层（含品红成色剂）；
- 5—感红层（含青成色剂）；
- 6—底层；7—片基；8—防光晕层

彩色感光材料经曝光和彩色摄影处理，在三层乳剂中分别获得被摄景物的黑色金属银像的同时，使乳剂中的成色剂与彩色显影剂的氧化物相作用，形成染料影像。染料产生的多少与金属银的多少呈正比。彩色感光材料通过彩色显影以后，仍呈现不出彩色影像，必须进行漂白、定影处理，将金属银像和黄色滤光层除去，才可以得到被摄景物颜色的补色的彩色，即由上层至下层分别成黄色、品红色和青色的影像。

彩色像纸的结构和彩色胶片的结构基本相同。不同点在于它的片基是纸而不是胶片。

在正片印晒过程中，彩色负片可看成是补色滤光片的综合，起着类同于滤光片的作用。白光透过彩色负片时彩色影像的补色被吸收，透过的光线乃是景物原彩色的补色，对正片各乳剂层感光。同样由于成色剂的作用，正片上的影像乃是原景物补色的补色，也就是在正片上还原了景物的彩色。

1.2.5 航空摄影的一般知识

航空摄影就是将航空摄影机安装在飞机上，按照技术设计的要求，对地面进行连续摄影以获得指定地区的航摄像片的过程。

航空摄影一般可分为近似垂直摄影和倾斜摄影。摄影时，航空摄影机主光轴偏离铅垂线约在 3° 以内的称为近似垂直摄影，这是航空摄影测量使用的一种主要摄影形式。当航空

摄影的摄影机主光轴偏离铅垂线 3° 以上者, 称为倾斜航空摄影, 所获得的像片称为倾斜航摄像片。这种像片覆盖地面的范围比垂直航摄像片大, 它通常适合于军事侦察。

1.2.5.1 航空摄影机

航空摄影机是航空摄影的主要工具。按镜头焦距的长度可分为短焦距 ($f < 150 \text{ mm}$)、中焦距 ($150 \text{ mm} < f < 300 \text{ mm}$) 和长焦距 ($f > 300 \text{ mm}$) 三种。目前生产中使用最多的是中焦距摄影机, 它的像幅为 $23 \text{ cm} \times 23 \text{ cm}$ 。在镜头的焦面处设置了一个用于承托底片的承片框, 在承片框的四个边中点处各有一个齿形标记, 称为机械框标 (有的摄影机是在承片框的四个角隅各有一个用光源照明的光学框标)。借助于框标可以在像平面上建立框标直角坐标系, 如图 1-4 所示。

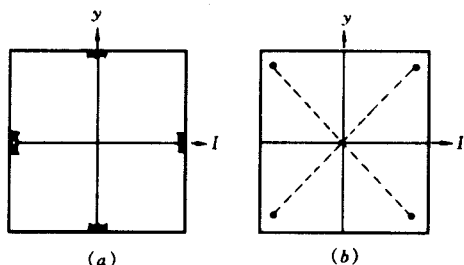


图 1-4

航空摄影机镜头的主光轴与框标平面是垂直的, 垂足称为像主点 (当主光轴通过框标连线交点时, 该交点就是像主点)。镜头后节点至像主点之间的垂距称为摄影机主距或像片主距。由于镜头和框标平面固定在同一镜筒上, 所以航摄像片的主距是固定的。

应当指出, 航空摄影机的主距与镜头焦距是存在着一个微小差值的, 但在应用中一般都不加区别。

1.2.5.2 航空摄影的一般技术要求

(1) 摄影航高的确定

摄影航高 (H) 是指摄影瞬间摄影飞机至测区平均高程基准面的高度, 可用公式 $H = m \cdot f$ 计算。

式中 m 是像片比例尺的分母, 它的取值与成图比例尺有关。对于大比例尺测图而言, 当 $m_{\text{像}}/M_{\text{图}}$ 的值在 4 左右时, 无论是成图的精度还是摄影的经济性都是较为理想的。

式中的 f 是摄影机的焦距。选用何种焦距的摄影机, 视航测成图的方法而定。像片平面图测图时, 以长焦距为好; 而立体测图时, 则以短焦距摄影机为佳。

例如, 某测区采用像片平面图测图方法测制 $1:1\,000$ 地形图, 那么像片比例尺应为 $1:4\,000$, 摄影机焦距选 300 mm 后, 摄影航高 $H = 1\,200 \text{ m}$ 。

(2) 像片重叠度的要求

为了满足像片测图的需要, 航空摄影时要保证同航线相邻像片间应有一定的重叠。如图 1-5 所示。此外, 相邻航线间的相邻像片也应有一定的重叠, 如图 1-6 所示。

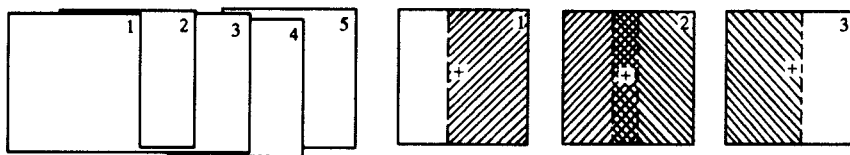


图 1-5 航向重叠

前者称为航向重叠 (P_x), 一般规定 P_x 在 $60\% \sim 65\%$ 之间, 最小不能小于 53% ; 后者称为旁向重叠 (P_y), 一般规定 P_y 在 30% 左右, 最小不小于 15% 。

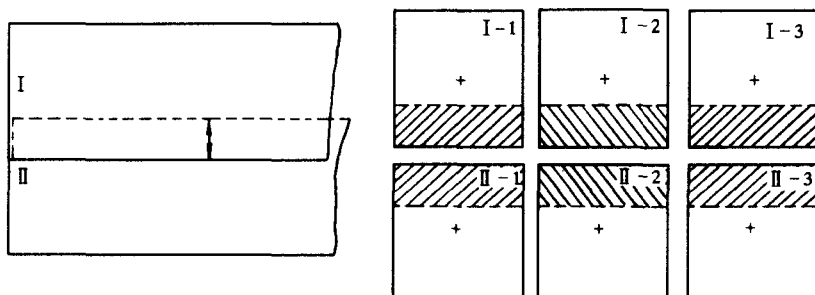


图 1-6 旁向重叠

1.3 航摄像片的几何特性

1.3.1 航摄像片是地面的中心投影

航摄像片上的影像是地面物体的反射光线，通过摄影机镜头投射到负片感光层上所形成的。如图 1-7 所示，镜头 (S) 是投影中心，负片 (P') 上的影像 $a'b'c'$ 是物面 (T)

上的物体 ABC 的构像。摄影时，任何一对相应点与投影中心 S 一定位于同一条直线上，它符合中心投影的几何特征。所以航摄像片是地面的中心投影。

如果将负片 (P') 绕像主点在自身平面内旋转 180° ，并沿着主光轴向下移动至 P' 的对称位置，即图 1-7 中的 P 的位置，称为正片位置，其几何特性仍然没有改变。因此在今后讨论问题时，采用负片位置，还是采用正片位置，从数学上讲是完全一致的。

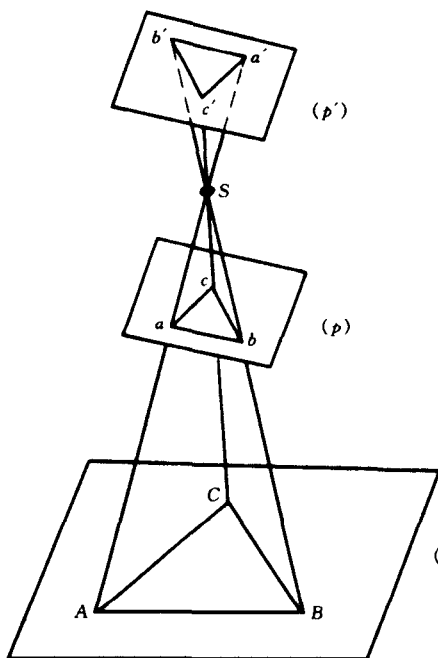


图 1-7

1.3.2 中心投影的构像规律

1.3.2.1 点的构像是点

这是因为一个点只有一条投射光线，它与像面 P 只能有一个交点，如图 1-8 中，像点 a 是物点是 A 的构像。

1.3.2.2 直线的构像是直线

如图 1-8 所示，直线 BC 与投影中心 S 构成一个投射平面 SBC ，该平面与像面 P 的交线 bc

是直线 BC 的构像。特殊情况下，若直线的延长线通过 S 点时，该直线的构像仍然是点，如图 1-8 中 d 点是直线 DE 的构像。

1.3.2.3 曲线的构像是曲线

由图 1-9 可知， T 平面上的曲线 $ABCD$ 与投影中心 S 构成的投射面是一个曲面，因此该曲面与像平面的交线 $abcd$ 是曲线。特殊情况下，当曲线上各个点位于同一投射平面内时，该曲线的构像为一条直线。

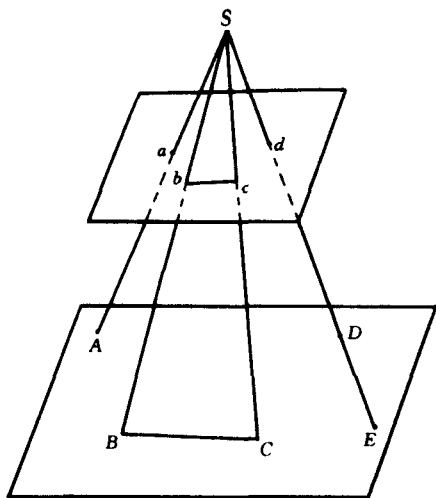


图 1-8

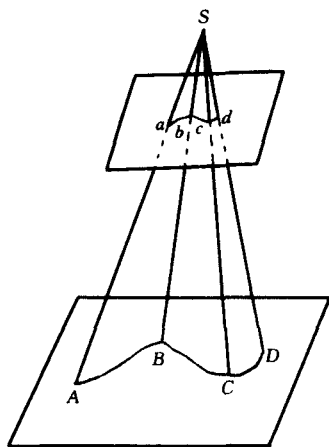


图 1-9

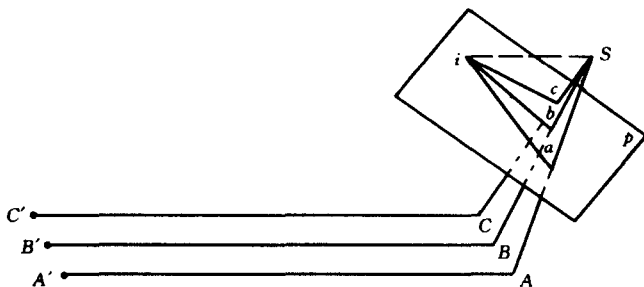


图 1-10

1.3.2.4 平行直线的构像是汇聚于一点的直线束

假设空间有一组平行线 AA' BB' CC' ，远端点 A' 、 B' 、 C' 位于无穷远处。由于远端点的投射光线与该组平行直线平行，所以它们的构像是同一个点 i ，如图 1-10 所示。从而也说明了，平行直线的中心投影构像是汇聚于一点 (i) 的直线束，在摄影测量中， i 点也被称为合点。

1.3.3 中心投影的基本点、线、面

中心投影的基本点、线、面，如图 1-11 所示。图中 S 表示投影中心， P 是像片平面， T 是水平地面，像片平面 P 与水平地面 T 的交线 h_1h_1 ，称为迹线。迹线上的点具有二重性，它既是像点也是物点。

过 S 点作平行于 T 面的水平面 G ， G 面与 P 面的交线 h_1h_1 称为合线，而 G 面称为真水平面。

过 S 点作既垂直于 P 面又垂直于 T 面的竖直平面，该平面用 W 表示，称为主垂面。主垂面 W 与 P 面的交线 vv ，称为主纵线；主垂面 W 与 T 面的交线 VV ，称为基本方向线。

过 S 点且与 P 面垂直的光线 So 称为主光线， So 的长度为摄影机的焦距 f 。主光线与像片交点 o 称为像主点，像主点 o 在水平面 T 上的相应点 O 称为地主点。

过 S 点的铅垂线 SN 称为主垂线，主垂线与像片面的交点 n 称为像底点，在水平地面