

航空摄影测量及遥感

刘文熙 许 伦 合 编
魏志芳 吴景坤

中 国 铁 道 出 版 社

航空摄影测量及遥感

西南交通大学 刘文熙 许 伦
北方交通大学 魏志芳 吴景坤 合编

中 国 铁 道 出 版 社

1983年·北京

内 容 简 介

本书共分两篇。第一篇航空摄影测量，主要讲述航空摄影测量的基本原理及作业方法，航空摄影资料在线路勘测中的应用，并介绍了地面摄影测量的基本原理。

第二篇遥感技术及其应用，主要讲述遥感技术的物理基础及多光谱遥感、红外遥感、微波遥感的基本原理和应用。

本书系按高等学校铁道工程专业的教学要求编写的，亦可供其他需要掌握航空摄影测量与遥感技术基本知识的专业师生和工程技术人员参考。

航空摄影测量及遥感

刘文熙 许 伦 魏志芳 吴景坤 合编

中国铁道出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 1/32 印张：15.25 插页：1 字数：376 千

1983年3月第1版 1983年3月第1次印刷

印数：0001—4,000册 定价：1.65元

前 言

本书是根据1980年12月全国铁路高等院校铁道工程专业《航空摄影测量与遥感》教学大纲讨论会制定的教学大纲编写的。全书内容按60学时编写。

鉴于在铁路勘测中采用航空摄影测量与遥感方法日益广泛，为了使铁道工程专业学生掌握航空摄影测量与遥感的基本知识，具有利用各种航空摄影和遥感资料，以及使用一些简单方法解决勘测设计中某些具体问题的能力，本书主要讲述摄影测量及遥感技术的基本原理及其在铁路勘测中的应用。力求将基本原理阐述清楚，并尽可能地结合我国铁路航空摄影测量生产的实际。但限于编者水平，本书一定还存在不少缺点和错误，望读者批评指正。

参加本书编写工作的有：西南交通大学刘文熙（第一、五、六〈二〉、七、十章）、许伦（第六〈一〉、八、九章），北方交通大学魏志芳（第二、三、四章）、吴景坤（第十一、十二、十三、十四章）。全书最后由刘文熙整理，西南交通大学李华文主审。

编 者

1982.2

目 录

第一篇 航空摄影测量	1
第一章 概述	1
§ 1—1 航空摄影测量及其在线路勘测中的应用	1
§ 1—2 航测技术在我国铁路勘测中的应用	2
第二章 航空摄影的基本知识	4
§ 2—1 航摄仪	4
§ 2—2 感光材料及其特性	8
§ 2—3 铁路航空测量对航空摄影的基本要求	10
§ 2—4 航空摄影的简单过程	13
第三章 航摄象片的基本性质	19
§ 3—1 航摄象片是地面的中心投影	19
§ 3—2 象片上的主要点和线	22
§ 3—3 航摄象片的方位元素	23
§ 3—4 航摄象片上象点与相应地面点间的坐标关系式	25
§ 3—5 航摄象片的象点移位	27
§ 3—6 航摄象片的方向偏差	34
§ 3—7 象片比例尺及其测定	37
第四章 象对的立体观察	41
§ 4—1 立体观察	41
§ 4—2 象对立体观察的简单工具——立体镜	43
第五章 各种象片图的编制方法	45
§ 5—1 概述	45
§ 5—2 象片略图	45
§ 5—3 立体象片略图	46
§ 5—4 象片平面图	47
第六章 利用航摄象片测绘地形图	63
§ 6—1 概述	63
〔一〕全能法测图	64
§ 6—2 多倍仪测图的基本思想	64
§ 6—3 象对的相对方位元素与绝对方位元素	66
§ 6—4 多倍仪的构造	68
§ 6—5 相对定向方程式	71
§ 6—6 相对定向	76
§ 6—7 模型连接	82
§ 6—8 绝对定向	83
§ 6—9 多倍仪测图作业过程	86
§ 6—10 互补色立体观测原理	89
§ 6—11 精密立体测图仪简介	90
§ 6—12 变换光束测图的原理和方法	95

〔二〕 微分法测图	99
§ 6—13 立体量测仪测图原理	99
§ 6—14 立体量测仪	105
§ 6—15 在立体量测仪上描绘地貌	109
§ 6—16 分带投影转绘	116
第七章 电算加密	122
§ 7—1 概述	122
§ 7—2 常用坐标系和坐标变换	122
§ 7—3 单航线法的原理	124
§ 7—4 区域网法简介	138
§ 7—5 电算加密的作业方法	140
第八章 外业控制测量及象片调绘	143
§ 8—1 外业控制测量概述	143
§ 8—2 外业控制点的布设原则及方法	144
§ 8—3 外业控制测量	147
§ 8—4 航摄像片的判读与调绘	149
第九章 地面立体摄影测量	156
§ 9—1 地面立体摄影测量概述	156
§ 9—2 地面立体摄影测量的原理	156
§ 9—3 摄影经纬仪及附属设备	160
§ 9—4 地面立体摄影测量的外业工作	164
§ 9—5 近景摄影测量简介	169
第十章 航摄资料在铁路勘测中的应用	171
§ 10—1 概述	171
§ 10—2 我国铁路勘测各阶段中航摄资料的利用	171
§ 10—3 航摄资料在铁路勘测中的综合利用	174
§ 10—4 数字地形模型及其在选线中的应用	185
第二篇 遥感技术及其应用	188
第十一章 遥感技术的物理基础	190
§ 11—1 电磁波谱	190
§ 11—2 物体的电磁波辐射特性	191
§ 11—3 太阳辐射和大气的影晌	193
第十二章 多光谱遥感图象	197
§ 12—1 多光谱遥感原理和成象系统	197
§ 12—2 卫星象片的特征	199
§ 12—3 多光谱象片的判释	205
第十三章 红外遥感及微波遥感图象	214
§ 13—1 概述	214
§ 13—2 彩色红外遥感图象	215
§ 13—3 热红外遥感图象	219
§ 13—4 微波遥感图象	225
第十四章 遥感图象处理简介	230
§ 14—1 遥感图象的光学增强处理	230
§ 14—2 电子计算机图象处理	232

第一篇 航空摄影测量

第一章 概 述

§ 1—1 航空摄影测量及其在线路勘测中的应用

利用飞机等航空飞行器对地面进行空中摄影,根据所摄得的航空象片,获取各种信息资料 and 编绘地形图的技术,叫做航空摄影测量,简称航测。

航测方法可以应用于国民经济的各个领域里,特别是在编制国家基本地图、资源调查、地质普查和探矿、森林调查和防护、土地规划整理及各种工程勘测等方面,使用效果尤其显著。

应用航测方法进行铁路、公路、河道水渠、输电线路等各种线形工程的勘测,就我国目前的实际情况而言,主要地是利用航空象片并配合以少量地面测量工作,为线形工程勘测设计提供各种象片图和带状地形图。此外,还可利用象片上的丰富信息,通过判释和少量实地调查工作,为工程设计提供地质、水文等有关资料。

采用航测方法进行线路勘测有明显的优点:

1. 可以提高勘测质量。利用航摄像片,可获得大面积的与实地相似的立体模型和地形图,有利于大面积线路选线,多方案比选,不遗漏可能方案;航摄像片上储存有丰富的地面信息,客观地反映了各种地表现象,根据影象特征并配合以立体观察,能获得测区地貌、地质、水文等各种资料,为多方案比选提供了依据,因而能选择出一条经济合理的线路方案。
2. 可以改善勘测工作的劳动条件。线路航测把大量的外业工作变为室内作业,大大减轻了勘测工作的劳动强度,特别是对人烟稀少,气候恶劣和地形困难的地区,效果尤其显著。
3. 可以提高勘测速度,有利于实现勘测工作的现代化。由于把大量野外工作移到室内仪器上进行作业,便于采用各种先进设备和技术手段,能于提高效率,加快速度。

此外,航测方法还可以充分利用国家和其他部门已有的航摄资料,能节省航空摄影费用,降低成本,而且由于减少航摄过程,能缩短周期,显著地提高线路勘测的经济效益。

线路勘测中应用航测与其他工程中应用航测比较,具有以下特点:

1. 线路航测要求与线路勘测设计的阶段和作业程序密切配合。线路的勘测设计是分阶段进行的,不同勘测阶段要求达到的目的和资料精细程度各不相同。因此,线路航测要根据各勘测设计阶段的不同要求,提供不同的资料和图纸。
2. 线路总是呈弯曲转折的线状,所以航空摄影、外业控制测量和制图、收集勘测设计有关资料的范围都是呈条带状的,且各处方向不同、宽度不一。
3. 航空摄影比例尺和成图比例尺都比较大,大多数情况下,都需要单独做航空摄影。
4. 航摄像片需要加以综合利用,勘测设计各专业工种(如线路、地质、水文等)都可以使用象片进行一部分专业工作。

§ 1—2 航测技术在我国铁路勘测中的应用

我国从1955年开始在铁路勘测设计中采用航测技术,到现在已有近卅年的历史了。近卅年来先后进行了几百个项目的航测工作,为我国铁路建设提供和积累了大量的基础勘测资料,取得了一定成绩。目前,在我国铁路勘测设计队伍中,已拥有一支几百人的专业航测技术队伍和相当数量的仪器设备,具有一定的技术水平和经验,形成了一定的生产能力。

近年来,在我国铁路新线勘测中几乎全部应用了航测技术,在既有线改建、复线设计、车站和枢纽设计以及桥渡设计等方面也逐渐开始应用。不仅在方案研究、初测阶段应用,在定测阶段也部分地应用了。

目前,航测技术在我国铁路勘测中的基本作用是测制1:5000~1:500各种比例尺的地形图,供各设计阶段使用。根据需要,也可以编制各种象片图或影象地图。此外,应用航摄像片并配合少量的地面调查工作,还可提供必要的地质、水文资料。

我国铁路新线航测工作的一般作业过程是:

1. 方案研究。这是新线勘测中应用航测技术的一个重要阶段,也是能否显示和发挥航测技术优越性的一个关键阶段。因此,一定要把工作做深、做细,比选出经济合理的初测方案。这一工作通常是在1:50000或更大比例尺的地形图上进行,并要充分利用所搜集到的国家小比例航摄像片为方案研究和各方案比选提供地质、水文等方面的资料。在此基础上确定需要进行初测的主要方案和比较方案。

当用已有的资料还不能比选和确定初测方案时,必要时还可应用国家小比例尺象片编制1:20000或1:10000比例尺的地形图,供进一步的方案研究用。

2. 航带设计和航空摄影。根据方案研究后所确定的初测方案,进行航带设计。所谓航带设计就是确定摄影范围,划分测段和布置航带,还要根据测图比例尺、测图仪器类型、测图方法和地形情况提出对航摄仪焦距和航摄比例尺的要求,最后交民航部门进行航空摄影。

航空摄影完成之后,要检查飞行质量和航空摄影质量。

3. 外业工作。包括野外控制测量、象片调绘和各专业工种的调查工作。

野外控制测量就是根据所确定的制图范围,在航摄像片上按一定的要求,布设出一批控制点,通常叫做控制点设计,然后到野外对照实地,将它们选刺在象片上,采用一般地面测量方法施测出它们的平面位置和高程,作为内业制图时的依据。

象片调绘是根据象片上的成象规律及特点,对照实地,将象片上所反映出的地物,调查并绘注在象片上,供内业制图时使用。

此外,在外业工作期间,线路、地质、桥隧、路基和施工预算等各专业工种人员,要同时进行专业调查工作,为以后的设计工作搜集必要的资料。

4. 内业工作。即根据航摄像片和野外控制测量资料,测制地形图的工作。主要包括控制点加密和内业制图两项工作。控制点加密是根据野外实测的少量控制点,加密出一批供仪器上测图使用的室内控制点。内业制图主要有全能法和微分法两种。全能法主要使用多倍仪和精密立体测图仪,微分法主要使用立体量测仪和视差测图仪。

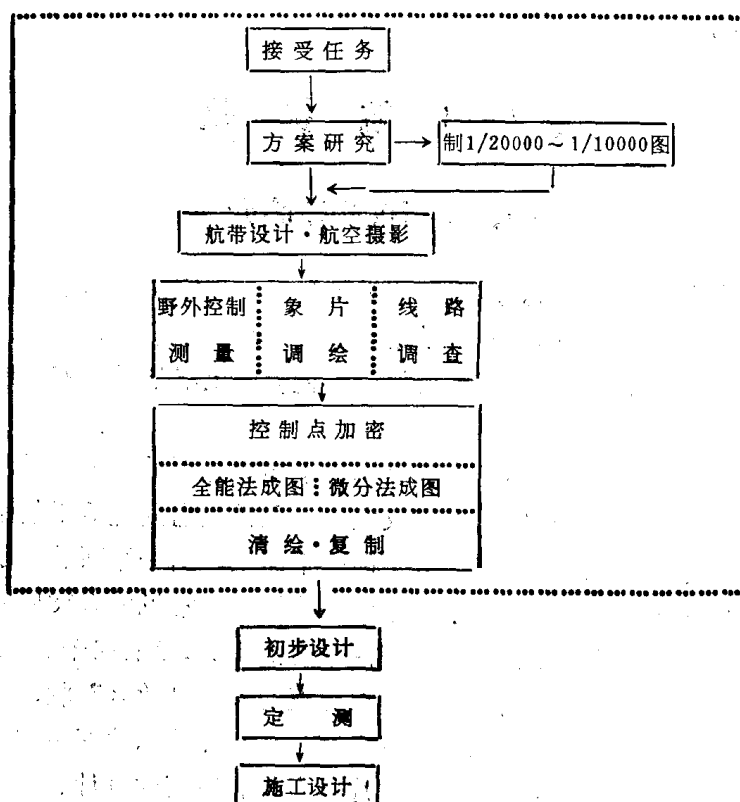
为了满足初步设计和定测的需要可以一次制成1:2000比例尺地形图。当初测方案较多时,也可先编制1:5000比例尺地形图供初步设计用,再按批准的初步设计方案编制1:2000比例尺地形图供定测用。定测阶段还可以用航测方法或地面摄影测量方法测制1:500或1:1000

比例尺的各专业工点图（如隧道洞口图，桥址地形图等）。

在既有线上采用航测时，基本上与上述过程相同，但要求上和方法上有些区别：采用更大比例尺的航空摄影，外业控制要求精度高，工作量大，象片调绘工作要求详尽、细致；测图比例尺也较大，有时还要制作象片平面图或影象地图。

测图以后的初步设计，定测放线以及施工设计工作，与一般地面勘测方法相同，目前不属铁路航测工作的范畴。

将以上各个过程归纳起来，可用框图表示如下：



近二、三十年间，航测技术本身有了重大发展，特别是电子技术和电子计算机技术的飞速发展，使航测进入了电子化、自动化阶段。各种类型的精密测图仪器，配备了许多外围设备（如正射投影装置、电子绘图桌和坐标自动记录装置等），使其性能更加完善，用途更为广泛，不仅可以测制不同比例尺的地形图，还可制作影象地图和记录各种有关数据；在象片判释方面，发展了各种自动判释仪器，可对航摄影片上的各种影象进行定性乃至定量的分析和研究，因而航测技术在铁路、公路方面的用途扩大了。现在已发展到借助于摄影测量方法和电子计算机建立数字地形模型，然后将选线设计的要求及设计起始数据送入电子计算机中，由电子计算机来进行方案比较，绘制纵、横断面、计算工程量等，即所谓选线自动化或半自动化。国外普遍认为：航测是一种质量好、速度快、费用省的先进勘测方法，它有着广阔的发展前途。

第二章 航空摄影的基本知识

用安装在飞机上的航空摄影机（亦称航摄仪），按一定要求对测区进行空中摄影，将曝光后的感光负片进行摄影处理，便获得了该地区的航摄像片。从空中摄影到获得航摄像片的全过程叫做航空摄影。

§ 2—1 航 摄 仪

一、航摄仪构造简介

航摄仪是航空摄影的主要仪器。航摄仪的类型很多，但它们的基本结构相似，都是由镜箱、暗盒及物镜等三部分组成。图 2—1 是航摄仪基本结构示意图。

（一）镜箱 镜箱是航摄仪的主要组成部分。镜箱的上部是承片框，镜箱的下端安装着摄影物镜。

镜箱是一个用金属制成的坚硬箱子，其上端位于物镜焦面处，设有承片框。物镜中心到承片框的距离（即像距）叫镜箱焦距或航摄仪主距，通常使它固定等于物镜焦距。

承片框又称贴附框，其各边线严格地处于同一平面上，这一平面就是航摄仪的成象面。承片框的中空部分为一正方形，它的大小决定象幅的尺寸，常见的有18厘米×18厘米，23厘米×23厘米及30厘米×30厘米等几种。承片框四个边的中央，设有四个齿状的标志，称框标，如图 2—2（a）。近年来生产的航摄仪，其承片框的框标呈“×”状，位于它的四个角隅上，如图（b）。承片框的两相对框标连线成正交，其交点是承片框中空部分的中心，即象片的中心。镜箱的设计和安装要求，该交点应与航摄仪物镜光心在承片框平面上的垂足相重合。

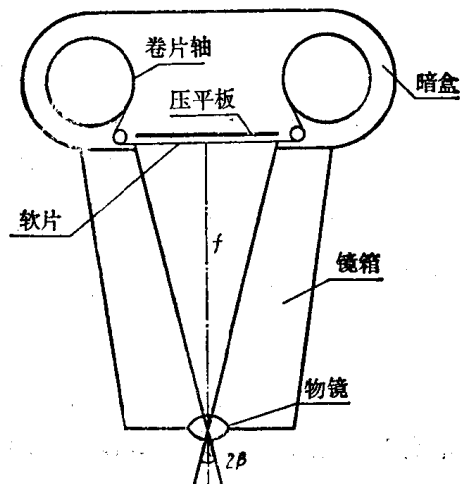


图 2—1 航摄仪基本结构

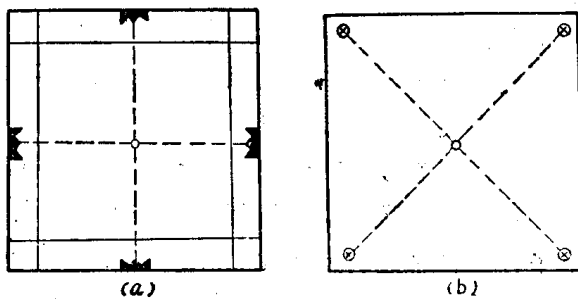


图 2—2 框标型式

在有些镜箱里还装水准器、气压计以及时钟等仪表，摄影瞬间这些仪表的工作状态连同框标及地面景物一并被摄取在底片上。

（二）暗盒 航摄仪的暗盒是存放感光软片的地方，它的下部通过承片框与镜箱相连。

承片框上部有一金属压平板，感光软片从承片框与压平板间穿过，卷在暗盒内左右两侧的卷片轴上。卷轴所能容纳的软片长度因航摄仪类型不同，一般为60米到120米。底片在曝光时，必须强制压平，否则不但影响影象的清晰度，而且使影象变形。为了检查底片压平状况，有的承片框在距框边各边2厘米处装有四根钢丝，叫压平线。量测航摄象片上压平线影象的直线性，即可概略地检查底片的压片程度。

航摄仪借助于坐架安装在飞机上，如图2—3。现代的航摄仪在摄影过程中，卷片一压平—曝光—一卷片等一系列动作，均由航摄仪的控制系统自动控制完成的。

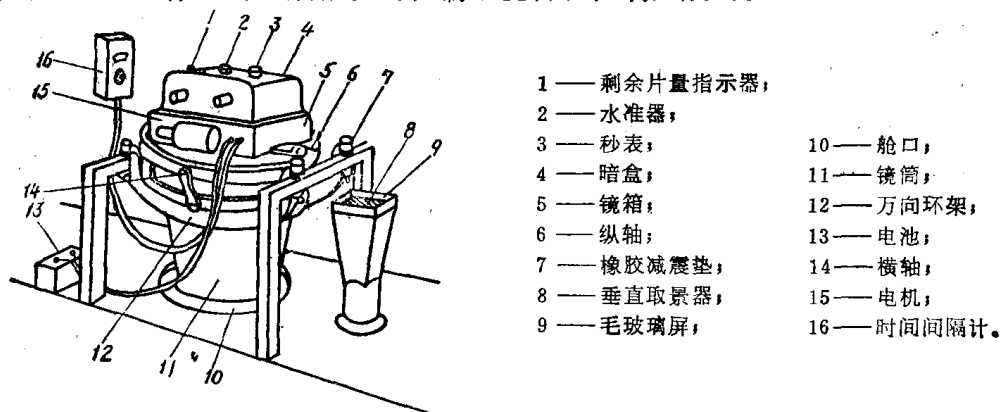


图2—3 航摄仪的一般安装方法

我国的民用航空摄影工作，统由国家民航总局承担。目前国内所使用的航摄仪类型及其主要性能参数，列于表2—1。

航摄仪类型及其参数

表2—1

型 号 项 目	航甲17-7	航甲 17-10	RMK·A 8.5/23	MRB	RC-10	RC-8	RC-5	AΦA- T3
象幅(cm×cm)	18×18	18×18	23×23	18×18	23×23	18×18/23×23	18×18	18×18
焦距(mm)	70	100	85	115 210	88 152 152 304	115 210 152 152	115 210	70 100
象场角(度)	120	109	125	95 62	120 90 90 60	95 62 90 90	95 62	122 104
分解力 (线数/mm)	中心80 边缘40	中心75 边缘60	中心70-80 边缘40-50		平均70-80 最大133	中心50 边缘25	平均20	25 35 10 12
畸变差(μm)	≤25	≤20	±7	<5	±10 ±3 ±3 ±4	±10	±10	±20
最大光圈(号)	5.6	5.6	4	4 4	5.6 5.6 4 4	5.6 4 5.6 5.6	5.6 4.2	6.8 9
快门速度(秒)	$\frac{1}{50} \sim \frac{1}{500}$	$\frac{1}{50} \sim \frac{1}{500}$	$\frac{1}{100} \sim \frac{1}{1000}$	$\frac{1}{100} \sim \frac{1}{100}$	$\frac{1}{100} \sim \frac{1}{1000}$	$\frac{1}{200}, \frac{1}{300}$	$\frac{1}{150}, \frac{1}{250}$	$\frac{1}{50}, \frac{1}{150}$
光谱段(Å)	5500~ 7500	5500~ 7500	4000~9000	可见光 谱段	4000~9000	可见光谱段	可见光 谱段	可见光 谱段
生产国别	中 国	中 国	西 德	东 德	瑞 士	瑞 士	瑞 士	苏 联

二、航摄仪物镜

航摄仪的物镜是航摄仪最重要的部分，其质量与航空摄影质量直接有关。

航摄仪物镜是一个由多块（一般为6~8块）化学成份不同、

曲率半径不一的凸透镜和凹透镜组合而成,称为复式物镜。图2—4(a)是复式物镜的构象示意图。设计上要求,组合成复式物镜的各单透镜的光心,必须位于一条直线上,这条直线就叫做航摄仪的主光轴,即图中的 oO 线。图中的点、面是复式物镜的等效透镜所具有的基点和基面: F 是物方主焦点, S 是物方节点(又称前节点), W 是物方主平面, F' 是象方主焦点, S' 是象方节点(又称后节点), W' 是象方主平面。图中 H ,是前节点 S 到地面点 A 的垂直距离,叫 A 点的航高; f_k 是后节点到象平面的垂直距离,叫航摄仪镜箱焦距或航摄仪主距; f 是物镜焦距,即主焦点到节点的距离。

根据节点的特性,入射光线 AS 与出射光线 $S'a$ 相互平行,即由地面物体反射出的光线会聚于物镜前方节点 S 后,再由后方节点 S' 保持原有的入射方向射出后于底片上构象。为了几何作图的方便起见,通常将后节点 S' 连同底片,顺主光轴平行下移,使 S' 与 S 重合,重合点用 S 表示,叫物镜的光学中心。由于 $AS \parallel S'a$,所以 ASa 是一条直线。因为这样的变动并没有改变构象的几何关系,可以认为物镜的光学中心 S ,就是物镜的摄影中心,如图2—4(b)所示。

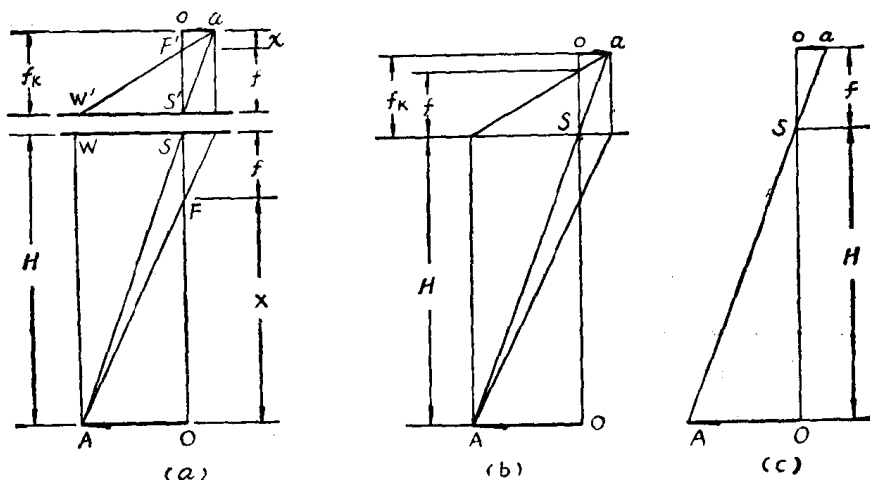


图2—4 航摄仪物镜构象示意图

根据几何光学透镜成像原理,摄影物镜清晰构象的光距条件是:

$$\frac{1}{H} + \frac{1}{f_k} = \frac{1}{f}$$

式中物镜焦距 f 是一固定值。从理论上讲,为了满足透镜成像公式,航空摄影时,象距 f_k 应随着航高 H 的变化而变化。事实上由于航摄仪物镜焦距 f 值很小(一般为50~500毫米),而其航高 H 值却很大(通常在300~8000米), H 与 f 值相比较几乎是一个无穷大的值。因此 f_k 与 f 之差 x (参见图2—4(a))非常小,以致于用 f 代替 f_k ,完全不影响航摄仪物镜构象的清晰。所以,航摄仪在构造上,其镜箱焦距 f_k (也称航摄仪主距)就等于物镜焦距 f , f_k 亦可用 f 表示,如图2—4(c)。

航摄仪物镜的主要特征是:物镜的焦距、物镜的象场角、物镜的分解力及物镜的畸变差等。

(一) 物镜的焦距

航摄仪物镜焦距的长短,影响构象的比例尺。为了满足不同需要,各类航摄仪都配备一种或几种不同焦距的摄影物镜供选用。目前常用的航摄仪物镜焦距为70~210mm。

航摄仪所用的物镜按焦距的长度，可大致分为三类：

短 焦 距——88mm以下

中等焦距——88~200mm

长 焦 距——200mm以上

(二) 物镜的象场角

通过物镜光学中心 S 的圆锥形光束，在物镜的焦平面上，呈现出一个影像清晰的圆形面积，这个圆面积叫做象场。由物镜光学中心 S 与象场直径端点的连线所形成的角度，叫做象场角，通常以 2β 表示，如图 2—5。内接象场的正方形，称为象幅。

由图 2—5 可以看出，航摄仪的象场角、焦距和象幅是密切相关的。当象幅一定时，象场角愈大，则焦距愈短；反之，象场角愈小，焦距愈长。

航摄仪物镜按象场角的大小，也大致分为三类：

常 角—— 70° 以下

宽 角—— $70^\circ \sim 120^\circ$

特宽角—— 120° 以上

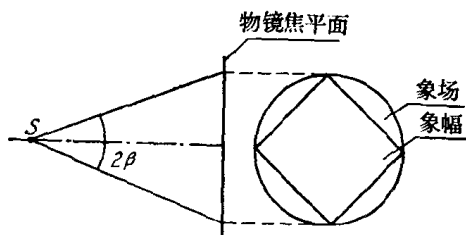


图 2—5 象场角与象幅

航摄仪物镜按焦距分类与按象场角分类的对应关系如表 2—2。

航摄仪物镜分类

表 2—2

航摄仪物镜分类	焦距/象场角
长焦距/常角	200mm以上/ 70° 以下
中等焦距/宽角	88~200mm/ $70^\circ \sim 120^\circ$
短焦距/特宽角	88mm以下/ 120° 以上

(三) 物镜的分解力

物镜的分解力是指物镜在构象时，对细微碎部的分辨能力，用在 1 毫米宽度内物镜所能辨别的最多线条数表示。被辨别的线条应互相平行，线条的粗细与线条间距相等。一般物镜的分解力都是象场的中心部分比边缘部分高。航空摄影机的分解力通常在 20~200 线/mm 范围。

(四) 物镜的畸变差

航摄仪物镜的构象误差应当很小，特别是对物镜构象危害最大的光学畸变差要小。因为

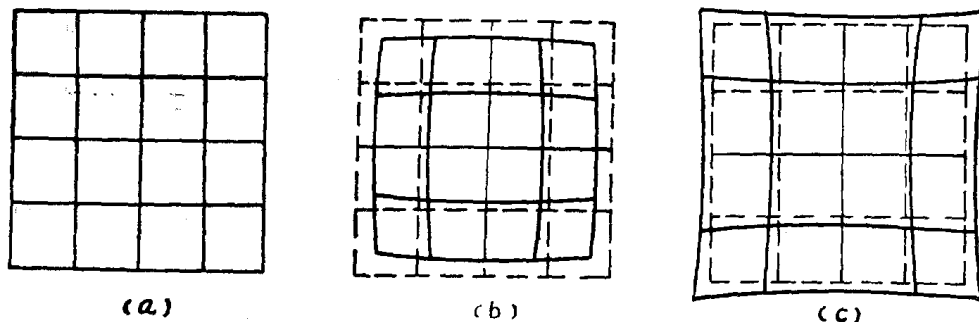


图 2—6 物镜的光学畸变差

物镜畸变差的存在,将使直线的影象变为曲线,使整个物体影象发生变形,从而破坏了物象之间的中心投影关系。图 2—6 (a) 正方形,是理想的没有畸变差的物镜所构成的正方形的影象;图 (b) (c) 为实际含有畸变差的物镜对同一正方形所构成的影象,这种变形就是光学畸变差影响的结果。图 (b) 的影象形状称为桶形畸变;图 (c) 的影象形状称为枕形畸变。由图 2—6 可以看出,桶形畸变是象点向着象片中心移位;枕形畸变是象点背着象片中心移位。

§ 2—2 感光材料及其特性

航空摄影用的感光材料系指感光底片和象纸两种。感光材料是在片基上涂以感光乳剂层(俗称药膜)制成的。用透明胶片作片基的叫感光软片;用玻璃片作片基的称感光硬片或干板;片基是纸的即为象纸。为保持乳剂的特性,感光乳剂层与片基之间涂一层或几层中间层;在感光乳剂的最上面还要涂一层透明胶质保护层。由于感光乳剂层的成分和构造不同,则感光材料对光的“感受”能力也不同。要正确选择、使用不同性质的感光材料,以满足不同工作的需要。

感光材料的感光性能,主要取决于片基上面的感光层—感光乳剂的性质。感光乳剂是明胶与卤素银盐的混合物,银盐的细小颗粒均匀地悬浮在明胶中。卤化银对光非常敏感,曝光的银盐经化学处理后,被还原为黑色银盐颗粒。由于被摄目标所反射的光线强弱不同,使卤化银曝光量也各不相同,这样便将被摄目标客观地、层次分明地记录下来,就成为象片上的影象。

评价感光材料的指标有多种,现将其主要指标概略地介绍如下。

一、黑 度

感光材料曝光后,受光银盐还原变黑的程度叫黑度。感光材料的黑度与受光量的多少紧密相关。感光片上曝光量越大的部位,经摄影处理后,乳剂中还原变黑的银盐颗粒堆积的就越多,黑度就越大;反之,曝光量越小的部位,黑度就越小。根据实验所取得的数据,同一性质的感光片,其黑度与曝光量的对数值之间的关系,可描绘出如图 2—7 所示的一条曲线。图中的纵坐标是黑度值 D ,感光片的黑度可用黑度计测定;图中的横坐标是感光片所受光量 E 的对数值 $\lg E$ 。黑度与曝光量关系曲线正确地表示出感光材料的基本特性,所以把它称之为特性曲线。

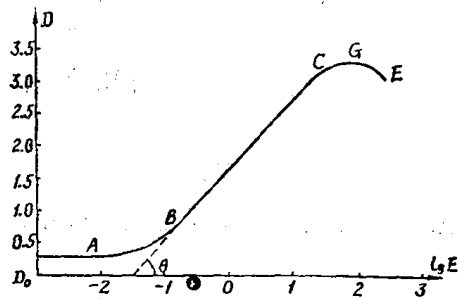


图 2—7 感光片特性曲线

下面对特性曲线作一简单的分析:

1. A 点以左部分:感光片未经曝光就已有一部分卤化银还原产生了黑度 D_0 ,以后曝光量增加,黑度 D_0 并无变化,这个黑度 D_0 值称为灰雾。感光片灰雾的产生原因,主要是由于感光片在制造、储运和保管过程中,受光后使卤化银自动还原所引起。一般的感光材料都有程度不同的灰雾,但不能超过一定的数值范围(即 0.3);

2. AB 曲线部分: 曝光量增加很多, 黑度变化不大, 称为曝光不足部分;
3. BC 直线部分: 曝光量对数值的增加与黑度值的变化成正比关系。这一部分在摄影上有着重要意义, 它说明, 如果摄影时, 底片上各部分的曝光量都在直线 BC 受光范围以内, 则底片上影象的黑白差别能正确地反映地面景物的明暗层次, 叫做曝光正确部分。通常把直线 BC 所对应的受光范围 (BC 直线在横坐标轴上的投影范围) 叫感光片的宽容度。
4. CG 曲线部分: 称为曝光过度部分, 即景物的明暗差别很小, 而影象的黑度却很大;
5. GE 曲线部分: 曝光量增大, 黑度反而降低, 称为反转部分。

里波三第二 反差及反差系数

自身对亮度或光度的对数差

象片两个部分的黑度之差, 称象片这两部分的反差; 景物 (目标) 某两部分反射光强度的对数差或亮度的对数差, 称为景物这两部分的反差。

感光片影象的反差与地面景物的反差之比, 称为反差系数, 通常用 γ 表示。显然反差系数反映在特性曲线上, 就是直线 BC 的斜率。设 BC 与横坐标的夹角为 θ , 则反差系数可表示为

$$\gamma = \frac{\Delta D}{\Delta \lg E} = \operatorname{tg} \theta$$

当 $\gamma = 1$ 时, 表示感光材料的反差与地面景物的反差相适应, 即象片上影象的不同黑度, 正确地表达了地面景物的明暗层次;

$\gamma > 1$ 时, 影象反差大于景物反差;

$\gamma < 1$ 时, 影象反差小于景物反差。

根据反差系数的性能, 按着不同的要求正确选择感光材料, 就可以得出满意的影象。

三、感 光 度

光化学反应的程度

感光度, 指感光材料曝光后所引起的光化学反应的程度, 或者说感光材料对光的度。目前世界各国所使用的感光度, 由于依据的原理各异, 其测定方法也不同, 因

感 光 度 对 照 表

表

GB (中国标准) DIN (德国标准)	A.S.A (美国标准) Weston (韦斯顿新制)	ГОСТ (苏联标准)	SCH (欧洲标准)	GB (中国标准) DIN (德国标准)	A.S.A (美国标准) Weston (韦斯顿新制)	ГОСТ (苏联标准)
11	10	8		18	50	45
12	12	11		19	64	50
13	16	16		20	80	65
14	20	20		21	100	90
15	25	22	28	22	125	100
16	32	25	29	23	160	110
17	40	32	30	24	200	125

不一样。唯一的共同点是，不同的感光材料在同样的光照和显影的条件下，感光度越高（数字大）则需要的曝光时间就越短。一般摄影软片所用的感光度单位有“GB”（中国标准）、“DIN”（德国标准）、“A.S.A”（美国标准）以及“ГОСТ”（苏联标准）等等。这些单位之间，没有精确的数学换算关系，表2—3所列，仅供实用时大概换算的参考。

四、感 色 度

感色度系指感光片对不同颜色光波的敏感程度或感受能力。

根据不同的感色度，感光片分为盲色片、正色片、分色片、全色片及红外片等，各种感色片的感色范围如图2—8所示。盲色片虽不适合拍摄有彩色的景物，但它有银盐颗粒细小、反差较大等特点，用它翻拍文字用表等是很理想的；正色片和分色片适用于一般风景、新闻纪录等摄影；全色片能感受一切可见光，它适用于各种景物的拍摄，因此是被广泛使用的一种感光片；红外片能感受人眼感受不到的红外光，在一般感光片不起作用的情况下（如黑夜、烟雾等），利用红外片摄影仍能获得清晰的目标影像，所以，红外片多用于特种航空摄影。

光谱区域	紫外	紫	兰青	绿	黄	橙	红	红外		
波长 (Å)	3500		4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500
盲色片	■									
正色片	■									
分色片	■									
全色片	■									
红外片	■									

图2—8 感光片的感色范围示意图

§ 2—3 铁路航空测量对航空摄影的基本要求

航摄像片是铁路航测最基本、最原始的资料。航空摄影质量的好坏直接影响以后的各项工作。因此，必须符合各项质量要求。航空摄影质量包括两个部分：一是航空摄影的飞行质量；二是航空摄影的质量。现行的《航空摄影规范》（以下简称《摄规》）和《铁路测量技术规则》（简称《测规》）对飞行质量和摄影质量均有相应的规定。这些规定，都是铁路航测对航空摄影的最基本的要求。

一、象片倾斜角

飞机在进行航空摄影时，航摄仪的主光轴 oO 在曝光的一瞬间与铅垂线 nN 所夹的角，叫做航摄倾角或象片倾斜角，通常用 α 表示，如图2—9。

当象片倾斜角 α 等于零时，航摄仪主光轴处于铅垂线位置，这种摄影称垂直摄影，所摄象片叫水平象片。目前由于技术条件的限制，还不能直接拍摄到水平象片。用于铁路航测的航空摄影象片倾角一般应不

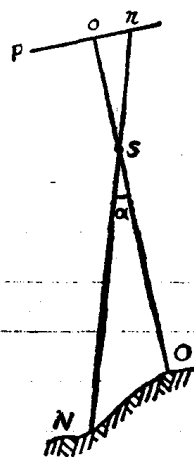


图2—9 象片倾斜角

大于 2° ，个别应不大于 3° 。满足以上要求的航空摄影，称为近似垂直摄影，所摄取的象片叫近似垂直摄影象片。现代航摄仪装有自动回转稳定装置，可以满足航空摄影对象片倾斜角的要求。有些象片的角隅上，有圆水准器的影象，可根据其气泡的位置大致判定该象片的倾斜角。圆气泡的分划值为 1° 或 0.5° 。

二、航 高

在航空摄影之前，航摄仪类型及测区航测比例尺均由设计部门确定。据此可计算出相应的航高。如图 2—10，当垂直摄影时，航摄比例尺等于航摄仪主距（ f ）与航高（ H ）之比：

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H} \quad (2-1)$$

根据上式，则航高 H 的计算公式为：

$$H = m \cdot f$$

通常所说的航高 H ，也称相对航高。是指航摄仪物镜中心到测区平均高度平面的垂直距离。而绝对航高 H_0 是指航摄仪物镜中心到大地水准面的垂直距离。

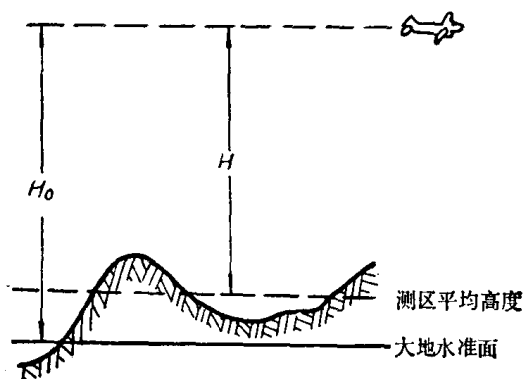


图 2—10 摄影航高

为了确保摄取规定的航摄比例尺象片，航摄飞机必须按预定的航高飞行。但实际上由于受各种因素的影响，飞机摄影时很难保持固定的高度。《摄规》规定，同航线上各摄影站之间的最大航高差不应超过50米；实际航高不超过设计航高的5%。

三、象片重叠度

航测作业要求，相邻两象片之间要有一定程度的重叠影象。象片重叠多少用象片重叠宽度与象幅边长之比来表示，叫象片的重叠度，通常以百分数表示之。

如图 2—11 (a)，沿航线方向相邻两象片之间的重叠，称航向重叠，航向重叠度 $q_x\% = X/L_x$ ；为图 (b)，相邻两航线间象片的重叠，叫旁向重叠，旁向重叠度 $q_y\% = Y/L_y$ 。

《摄规》规定：一般航向重叠度为60~65%，最小不得小于53%；旁向重叠度一般为30~35%，最小不得小于15%。小于上述重叠要求的部分，叫航摄漏洞。出现航摄漏洞的地区，应按《摄规》要求及时补摄。

为避免出现航摄漏洞，在起伏较大地区进行航空摄影时，应适当增加重叠度，其计算公式如下：

$$q_x\% = q'_x\% + (1 - q'_x\%) \frac{\Delta h}{H} \quad (2-2)$$

$$q_y\% = q'_y\% + (1 - q'_y\%) \frac{\Delta h}{H} \quad (2-3)$$

式中 $q_x\%$ 、 $q_y\%$ ——平均高程面上象片航向、旁向重叠度

$q'_x\%$ 、 $q'_y\%$ ——象片航向、旁向标准重叠度

H ——相对于平均高程面的航高