

Gonglu Hangce Xuanxian

公路航测选线

冯桂炎 主编

人民交通出版社

前 言

应用航空摄影测量（简称“航测”）技术进行公路勘测选线对提高公路测设质量、加快勘测速度具有明显的效益，特别是将航测技术与电子计算机技术相结合，对改革我国传统的实地选线方法和促进我国公路勘测现代化将是一种行之有效的手段。为此，我国公路测设部门日益重视此项新技术的开发研究，并在生产中推广应用。为适应我国高等院校公路与城市道路专业学生学习航测选线基本原理和方法的需要，经1984年5月交通部高等学校路桥专业教材编审委员会会议安排，确定本书作为选修课教材和教学参考书编写出版。

本书内容包括：公路航测选线基本作业程序、航摄象片的基本性质、象片平面图和影象地形图的制作、象片立体观察与判释、控制测量与电算加密、双象投影测图和解析测图、航测选线、纸上定线和实地放线定测、数字地形模型及其在优化设计中的应用。编写中力求注意结合我国公路实际，讲清基本原理和一般方法。希望读者通过阅读本书能掌握航测的基本知识并具有利用各种航测资料、解决公路选线应用的实际能力；并对数字地形模型及其在优化设计中的应用有一定理解。至于各种航测理论公式推导和航测仪器构造细节等均属于《航空摄影测量学》的内容，本书一概从简以节省篇幅。

在编写过程中，资料来源除书末所附主要参考书目中所列正式出版的外，尚参考和引用了国内有关单位编写的交流资料，吸取了参编者近年来所进行的部分科研成果、教学与生产经验。本书的编写得到了参编三校道路教研室的大力支持。在此，一并表示衷心的感谢。

参加本书编写的有：湖南大学冯桂炎（第一、二、四、五、七、八章）、东北林业大学李宝全（第三、六章）、西安公路学院王文锐（第九章）。全书由冯桂炎主编，东南大学赵殿甲主审。

由于编写者接触公路航测选线的时间不长，业务水平有限，书中定有不少缺点和错误，敬希广大读者发现后不吝批评指正。

编 者

1989年3月

内 容 提 要

本书主要讲述公路航测选线的基本原理和方法,内容包括公路航测选线的作业程序、航摄像片的基本性质、象片平面图和影象地形图的制作、象片立体观察与判释、控制测量与电算加密、双象投影测图和解析测图、航测选线、纸上定线和实地放线定测、数字地形模型及其在优化设计中的应用等九章。

本书可作为高等院校公路与城市道路专业教材和教学参考书,也可供公路、城建、林业、矿山和军工等勘测设计部门的专业技术人员参考。

公路航测选线

冯桂炎 主编

插图设计:汪 萍 正文设计:周 元 责任校对:戴瑞萍

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本:787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张:10.5 字数:254千

1990年12月 第1版

1990年12月 第1版 第1次印刷

印数:0001—3530册 定价:2.10元

ISBN7-114-00951-8

U·00612

目 录

第一章 概论	1
§1-1 航测技术在公路选线中应用的意义.....	1
§1-2 航测选线的作业程序.....	3
§1-3 航测资料.....	6
第二章 航摄像片的基本性质	16
§2-1 航摄像片是地面的中心投影.....	16
§2-2 航摄像片上的特别点和线.....	20
§2-3 象点与相应地面点的关系.....	21
§2-4 象点位移和方向偏差.....	24
§2-5 航摄像片的比例尺.....	29
第三章 象片平面图和影象地形图的制作	31
§3-1 象片纠正概念及光学机械纠正.....	31
§3-2 纠正仪和航摄像片的纠正技术.....	35
§3-3 象片平面图的制作.....	39
§3-4 影象地图的制作.....	41
第四章 航摄像片的立体观察与判释	48
§4-1 象对的立体观察.....	48
§4-2 航摄像片判释的要求和方法.....	51
§4-3 地形、地貌的判释.....	56
§4-4 岩石与土壤的判释.....	59
§4-5 地质构造判释.....	60
§4-6 不良物理地质现象的判释.....	62
§4-7 各种地物的判释.....	63
§4-8 洪水痕迹的判释.....	65
第五章 控制测量与电算加密	66
§5-1 控制测量的意义和主要工作项目.....	66
§5-2 外控点布点原则和方法.....	66
§5-3 外控点的选点和刺点.....	70
§5-4 外控点施测.....	73
§5-5 电算加密.....	80
第六章 双象投影测图 and 解析测图	85
§6-1 双象投影测图的基本原理.....	85
§6-2 相对定向元素.....	86
§6-3 象对的相对定向和作业步骤.....	87

§6-4	立体模型的绝对定向.....	92
§6-5	测绘地物与地貌.....	95
§6-6	立体测图仪及测图过程.....	95
§6-7	解析测图仪和机助测图.....	104
第七章	航测选线.....	114
§7-1	航空目测选线.....	114
§7-2	象片放大片和象片镶嵌图上选线.....	117
§7-3	利用多倍仪选线.....	124
§7-4	编制影象地形图选线.....	127
第八章	纸上定线与实地放线定测.....	128
§8-1	纸上定线.....	128
§8-2	实地放线定测.....	137
第九章	数字地形模型及其在优化设计中的应用.....	142
§9-1	概述.....	142
§9-2	数字地形模型的数据采集、预处理及存贮.....	143
§9-3	摄影测量内插.....	151
§9-4	由数字地形模型自动产生等高线地形图.....	154
§9-5	数字地形模型在路线优化设计中的应用.....	156
主要参考书目.....		161

第一章 概 论

§1-1 航测技术在公路选线中应用的意义

公路选线方法大体上可分为三个发展阶段：实地选线、航测选线和自动化选线。

实地选线是公路选线的传统方法。它是选线人员使用常规的测量仪器，在路线起讫点间的带状地面上进行反复勘测，以寻求一条较为经济合理的路线方案。这种方法在我国已积累了丰富的经验。此法选线人员可深入实地，能就地解决问题，较好地进行比选，并能充分考虑到线形与局部地形、地质和地物的相互适应。但由于人的视野有限，加之地形和气候条件的影响，因而这种方法实际上难以作到多方案比选论证，设计方案的优劣完全取决于选线人员的实际经验和技术水平。实地选线需要耗费大量的体力劳动，定线后发现问题到现场修改也比较困难。

航测选线是利用航空摄影获得的象片资料编制成象片图，或测绘成各种比例尺的地形图作选线设计，也可利用航摄像片在室内仪器上建立光学立体模型选线。由于航摄像片能真实、客观、详尽地记录地面信息，并为工程师提供了一幅可以分辨和综合当地自然条件影响的线形设计的全貌图，以便能在室内充分分析路线选择中的所有各个细节。因此，这种作业方式较实地选线可节省大量人力、物力，变繁重外业工作为室内设计工作，不但保证了成图精度，实现多方案比选，而且可以大大提高工效。

随着电子计算机和测量仪器的发展，把航测技术和电子计算机相结合，使公路选线已向自动化选线的阶段发展。现在已经取得初步成效的是利用数字地面模型的方法，它是将一个地区用比较密的方格网表示其平面位置，把所有格网交点处的高程按行列测出和记录在磁盘上，通过电子计算机可自动找出等高线来。建立数字地面模型的数据系，通过计算机向航摄像片上采集。将公路设计的相应指标要素通过程序输入计算机，即可输出所要求的设计资料。将它和绘图机结合，可自动绘出路线的纵、横断面设计图。由于计算机速度快、容量大、精度高，可以在较少时间内将多个方案全部计算出来并进行比较，实现方案优选。不过选线涉及面广、影响因素多，目前所能做到的自动化选线，还不过是在计算、绘图等环节上、程度不同地让计算机代替人去作计算绘图工作，以减轻人的繁重而重复的工作，使人可以把主要精力集中于分析判断，所以它实质上是计算机辅助设计(CAD)的半自动化。到目前为止，世界各国对道路CAD的研究，除平面与空间优化技术因涉及到许多其它复杂因素尚有待于进一步研究与完善外，CAD的其余部分均已基本进入了实用阶段，它使得公路选线设计无论是在提高工效、质量或降低成本等方面都达到了新的水平。

航测技术是在航空摄影的基础上形成和发展起来的。据有关资料，第一张航摄像片发表于1839年，那时的空中摄影平台是气球、风筝和鸽子，由于它们不能把照相机按照人们的要求进行摄影，后来使用飞机获得了成功的应用。第一张有据可查的飞机航摄像片是1909年4月由意大利人 Wilbur Wright 驾驶飞机拍摄的。1913年在维也纳举行的国际摄影测量学会上，Tardivo上尉首次发表了关于用飞机摄影绘制地图的论文。1915年底，专为航空侦察

而设计的照相机开始生产。于是，作为探测地球的一门新的科学技术“航空摄影”便正式问世了。

初期的航空摄影主要用于摄影测量和军事侦察。从本世纪20年代以来，许多摄影测量仪器相继研制成功并已生产应用，如蔡斯(Zeiss)的精密立体测图仪、多倍仪，以及50年代发展起来的正射投影校正仪、20年代发展起来的解析测图仪、直到80年代推出的高精度测图仪器如瑞士的BC2和联邦德国的C130等仪器，为航空摄影测量的发展和生产上的应用，起到了积极的促进作用。

航空摄影在军事上的应用实际开始于第一次世界大战的初期，第二次世界大战期间则更加广泛。由于军事侦察上的成功，激起了各民用部门的兴趣。石油地质学家首先开始利用航空摄影方法找油。紧接着农林系统、地质部门等也广泛应用航空摄影方法进行野外勘测，象片判释技术也开始出现并得到迅速发展。

到本世纪40年代，非常规航空摄影和非摄影方式成象的航空遥感技术问世。到20年代，发展成为以卫星为平台的航天遥感技术。和常规航空摄影相比，遥感技术探测的范围面积大得多，能全天时、全天候工作，获得的目标信息量丰富。特别是航天遥感技术，能迅速地、周期性重复地对同一地区获取信息，及时发现和掌握自然界的各种动态变化，成为当代勘察、开发和管理地球资源、环境监测和军事侦察方面的一门最新综合性探测技术。

尽管航测技术在现代遥感技术中处于初级阶段，但从道路选线勘测来看，常规航空摄影仍然是重要手段，这是因为飞机航高小，能使所获得的影象清晰度好和分辨力高，有利于选线应用。对于工程地质和土地利用的判释，应用红外航空象片、多光谱航空象片和卫星象片已证明有很好的效果，所以遥感技术对道路选线技术的发展将会开辟出一个新的应用前景，是值得研究的一个方向。

本书主要讨论航测技术在公路选线勘测中的应用问题。

航测在公路和铁路上勘测选线应用较早。美国从40年代开始，许多州公路局先后设立航测机构，利用航测技术勘测一般公路和高速公路。其后，墨西哥、日本、法国、加拿大、瑞士和罗马尼亚等许多国家都采用航测进行公路和铁路选线设计。国际摄影测量学会于1960年成立有关公路、铁路航测研究的专门机构，从事科学交流和应用推广工作。现在，航测选线已在世界上大多数国家获得了广泛的应用。

我国铁路部门早在50年代就采用航测选线，几十年来，他们用航测完成了大量新线勘测和老线改建任务(主要用于航测成图、初测选线、以及地质和水文的判释工作)。实践表明航测方法是铁路勘测的一种行之有效的办法。

我国公路部门研究应用航测技术起步较晚。70年代中后期，先后在四川、广西、湖南等省区交通勘测设计院和交通部第二公路勘察设计院开始研究和应用，收到了一定的成效，并迅速获得许多省区设计部门和高等院校的重视。近年来，国内一些高等级公路、高速公路和复杂山区公路已采用航测选线和计算机辅助设计，并取得了可靠的成果，实践表明这一技术对提高选线质量、加快勘测速度、降低工程造价都是效果显著的。可以预见，随着我国经济改革的深入和公路交通的发展，航测选线和计算机辅助设计将会在我国公路设计中获得迅速的发展。

§1-2 航测选线的作业程序

一、公路航测选线的方式

公路航测选线一般有航空目测选线和航摄影片选线两种方式。

航空目测选线是勘测人员乘坐适合于目测的飞机沿选线地带上空俯瞰地面，了解地面的地形、地质情况，寻找可能的路线方案。它主要应用在没有可供选择路线方案的地形图资料和小比例尺的航摄资料，或虽有小比例尺地形图、但难于进行实地踏勘的特别困难地形。目测选线要求具有高度稳定性和安全性的目测飞机，具有较长的续航时间和适于目测地区的升高能力，并便于观察地面，一般是装有专用设备的飞机。同时要求目测人员具有较好的视力、能够适应高空飞行的身体条件，以及对地形、地质能迅速作出正确识别和判断的能力。

航摄影片选线是利用飞机在选线地区上空所拍摄的象片，将象片编制成镶嵌复照图，借助于立体镜等仪器进行立体观测，或将象片制成缩小片安装在多倍仪上建立光学立体模型选线。按照航摄资料的来源，象片选线又可分为两种作法：一种是沿路线航摄影片，作外业控制测量和调绘，用航测精密仪器成图，电子计算机辅助设计，完成选线和定线设计工作；另一种是利用国家现有航测资料，野外联测控制点，或利用大地控制资料，电算加密，在多倍仪上选线，然后用航测精密仪器成图，进行定线设计。前一种方法精度高、质量好，但费用贵，它适用于国家重要干线公路的选线设计。后一种方法由于充分利用了国家现有的航摄影片和外控资料，省去了大量的外控作业，节约了费用和时间。我国自50年代开始，在全国进行了大面积航空摄影工作，现在航空摄影面积几乎覆盖全国大陆和沿海一些岛屿，建立了一定的外控点，收集航摄影片和外控资料已具备一定条件，所以这种方法也是适合我国现阶段国情的一种方法。

二、航摄影片选线作业程序

(一)沿路线拍摄航空象片的选线程序

1.准备工作

根据计划任务书要求，收集沿线地区的有关地理、地质、水文、气象和经济发展规划等资料，以及小比例尺航空象片，结合1/50000或1/100000的地形图，进行路线方案研究。主要是查明路线起、讫点和主要控制点间一切可能的大方案；分析研究这些可能的方案，确定必须经过的经济据点、地形控制点；分析影响路线的各种因素，进行评选，对有明显缺点的方案立即放弃；最后选出一、二个较为合理的可行方案，提供航测选线研究。

根据初选方案确定摄影范围、进行航带设计。由于公路航摄是沿路线方向进行，而路线走向往往是弯曲转折的，为了保证摄影航线的直线性，必须把路线分成若干测段，每一测段再分成若干条航带，称为航带设计。还要根据测图比例尺、测图仪器类型和测图方法以及测段的地形情况，提出对航摄仪类型和摄影比例尺的要求，交由民航部门进行空中摄影。

2.摄影工作

摄影工作由中国民航工业航空服务公司根据签订的合同进行，按照公路部门提出的航带设计、摄影宽度、航高、象幅以及对航片的要求进行摄影。

空中摄影后，室内进行摄影处理等一系列工作，即获得航摄底片。然后将底片通过接触晒印，制成航摄影片。最后还要编制一种称为“镶嵌复照图”的象片图。

航摄底片要按验收标准进行验收,以确保质量。验收合格后,公路部门便接收底片和象片镶嵌复照图。

3. 外控测量

外控测量的任务是根据已知的高级控制点测定航测外控点的位置。因为航摄像片在航测仪器上恢复光学模型或测图时都需要进行定向,定向则要以已知控制点为依据。如多倍仪定向要求立体象对范围内应有6个已知控制点。这些点的坐标和高程,可以全部在野外实测,也可以只在野外测少量外控点,然后在室内加密以得到内业所需要的加密控制点。如当地已有外控资料并可供我们利用时,则可免去这一项作业。

外控测量包括点位选刺、象片调绘、导线测量和水准测量、内业计算和成果整理等工作。

外控点点位要按照测图定向要求选定,并准确地刺在象片上。按照室内测图的需要进行象片调绘,它是在实地对照象片进行的。把在地形图上需要表示的地貌和地形要素(如居民点、独立地物、道路、水系、植被、境界、地名)描绘和注记在象片上,以供室内测图应用。调绘时还要根据公路选线设计用图的特点,对调绘范围、内容和深度提出不同的要求,如与路线有关的工程地质、水文地质、筑路材料料场等资料,要在调绘中作出可靠的调查,以供室内在航片上判释地质和水文情况时提供第一手资料。

4. 内业工作

内业工作包括电算加密、立体测图、象片和光学模型选线、纸上定线设计等工作。

电算加密是根据航摄像片上象点坐标与地面上相应点坐标之间存在的一定数学关系,在量测象点坐标的基础上,利用少量外业控制点,通过电子计算机,解算出加密点的地面坐标和其它元素。

以航摄像片和外控点数据为原始资料,在航测成图仪器上对象片上的影象进行量测、分析和判读,就可测绘出精密的地形图。根据地形差异、精度要求、仪器类型和任务安排等因素,选用不同的测图方法。目前航测成图方法一般分为综合法、分工法和全能法三大类。

综合法适用于地形平坦、立体模型不太显著的情况下,此时用内业立体测图达不到高程精度要求,乃将点的平面位置用航测方法解决、高程用地形测量方法在地面上测定,故称为综合法。

分工法适用于丘陵地形,点的平面位置和高程是用两种摄影测量方法单独测定。

全能法适用于各种地形和各种比例尺的测图工作,它是按照空间前方交会的严格理论、量测立体模型以代替实地地形测量来绘制地形图。

象片选线通常要将航摄像片拼贴成一幅立体象片图(象片镶嵌图或象片略图),这种图展示出选线地带的立体景象,可在其上进行路线方案的初选。

光学立体模型选线在多倍仪上进行,先将航摄像片制成透明的缩小片,把缩小片安装在多倍仪上,通过定向建立一座缩小了的实地光学立体模型,选线人员戴上互补色眼镜可观察模型进行选线,还可通过仪器的测标台测绘各点的高程及平、纵、横断面图,取得选线所需的资料。

在路线方案基本确定后,即可利用象片和外控资料在航测成图仪器上测制1/5000或1/2000地形图作纸上定线设计。

5. 实地放线定测

将象片和图纸上所设计的路线准确地标定在地面上称为实地放线。它是根据路线外控点

的坐标位置与设计路线坐标位置用仪器测出的，也可利用明显的地形、地物相关位置放出路线。实地放线完成后，即可进行定线测量。

综上所述程序可用框图表示如图1-1。

(二)利用国家现有航测资料的选线程序

1.准备工作

根据计划任务书要求，首先在1/50000或1/100000地形图上初研路线走向，提出几个可能通行的方案作为收集资料的范围。

然后进行现有航测资料的收集工作。航测资料包括航摄像片、外控及调绘资料。由于这些资料原来用途不同、摄影年代不同、控制点布点和象片调绘要求深度不同，给公路航测选线直接使用这些资料带来某些局限性和困难。因此收集资料时应注意广泛性，并仔细分析以拟定合理的利用和处理方法，相互验证，取其可用部分，以保证具有一定的精度。应当尽可能收集和利用年代最近、比例尺最大的航摄像片，以提高精度。

收集路线通过地区的各种比例尺地形图，铁路、水利、城市建设和公路等的勘测设计资料，区域地质资料和水文、气象、地震等资料。

为了对选线地区地形、地貌和路线方案有一个总体了解，在准备工作中还需要编制一幅路线带状象片镶嵌图。象片镶嵌图有两种：一种是把纠正过的象片进行拼接，称为象片平面图，此种图由于象片经过纠正仅纠正，消除了倾斜误差，并把投影误差限制在0.4mm以内（山区此项难以达到），使象片符合规定比例尺要求，故可当作垂直投影的平面图使用，但只适用于平原、丘陵地形地区。另一种是象片不经纠正的镶嵌图，或叫象片略图，此种图制作简单，但存在倾斜误差和投影误差，且比例尺不一致，只能用于定性观察，而不能在其上作定量量测。

根据初选路线的需要，还可将1/100000或1/50000的地形图进行放大复印，使其比例尺和象片比例尺相同，这种图称为复印放大地形图。利用这种地形图配合象片研究路线方案十分方便。

2.初选路线方案

初选路线方案是在象片镶嵌图和复印放大地形图上进行。首先根据计划任务书的规定，在图上标出路线起、讫点和必须经过的主要经济据点（一般是城市、工业基地、交通枢纽

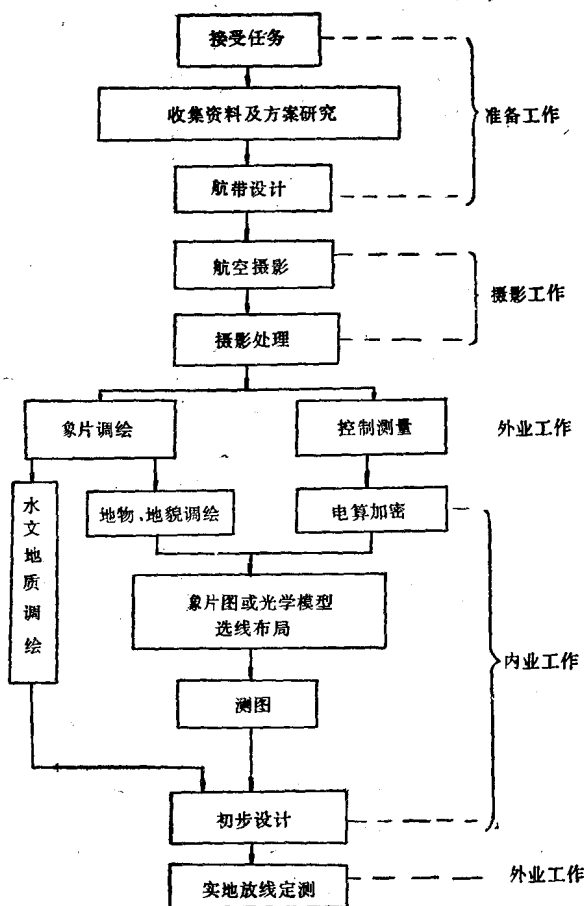


图1-1 沿路线拍摄航片的选线程序

组)，然后通过航片象对作立体观察和判读，了解沿线地形、地质、水文、居民点和现有道路情况，根据公路技术标准，用特种铅笔在图上概略标出路线的走向。为了取得定量资料，如路线长度、高程、地名、地类等，则可按相关位置在复印放大地形图上量测和读取。概略编算出桩号和绘出纵断面图，估算工程数量。通过方案比选，可取得初选路线方案。

路线方案初选后，还需到现场踏勘核实一次，并征求沿线地方政府意见。

3. 路线布局和测图

通常利用多倍仪建立光学模型作路线布局研究，并可测出平、纵、横断面图作出初步设计。当需要更大比例尺地形图时，可用精密立体测图仪测制。由于定向和测图需用到外控资料，为此在测图之前要对收集来的外控资料进行分析，不够时需补作外控，通过电算加密取得测图和定向所需用的全部控制点数据。

4. 纸上定线设计。

5. 实地放线定测，并补充收集编制设计所需的各种外业资料。

上述过程可用框图表示如图1-2所示。

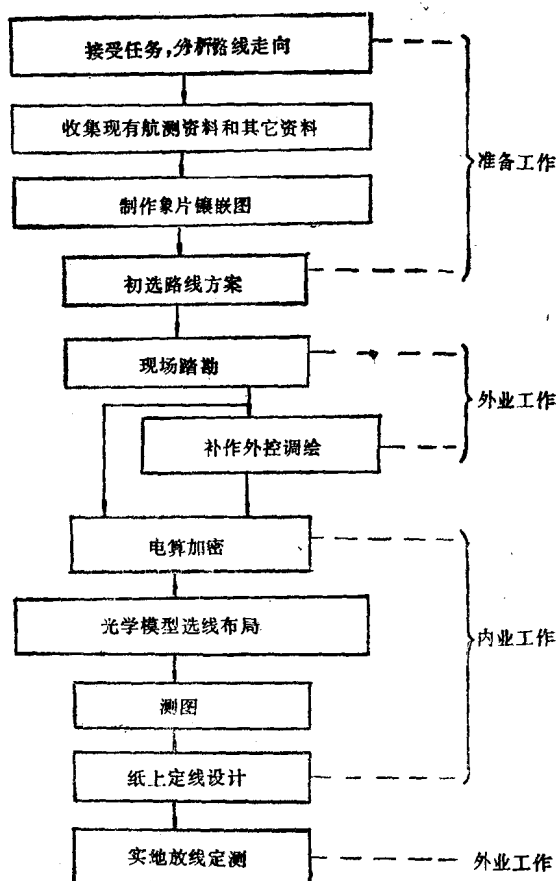


图1-2 利用国家航测资料选线的程序

§1-3 航 测 资 料

公路航测选线需要利用的各种航摄像片资料和控制测量资料都属于航测资料，包括：航摄像片及由象片编制的象片镶嵌图、象片平面图、象片略图等，航外控制及调绘资料如控制片、调绘片、大地成果表等。

一、航 摄 象 片

航摄像片是航测选线和航测成图最基本的原始资料，它是通过安装在飞机上的航摄仪对地面景物摄取的象片。航摄像片的质量直接影响选线和成图的质量，因此，必须符合各项规定的要求。我国的航空摄影是由中国民航工业航空服务公司来完成的，它根据用户（即公路航测选线单位）的具体要求进行航摄技术计算和空中摄影，而公路航测选线单位负责航带设计和对航摄仪焦距以及摄影比例尺提出要求。为此，我们应当了解航摄像片摄取的简单过程、有关航摄仪及其参数的基本知识、对航摄像片的基本要求等。

(一)航摄像片摄取的简单过程

1.准备工作

首先由公路航测选线单位根据路线方案走向情况及经过地区的地形情况确定摄影范围，划出测段；在图上标出各测段飞行方向；选择航摄仪类型和航摄比例尺；计算出摄影面积及象片数量等，总称为航带设计。

摄影范围要比测图范围略大些，使测图范围线距最外侧航线的象片边缘1.5cm以上，或在象片压平线以内。

测段是根据路线弯曲转折的情况分成若干个直线段，使航线始终保持为直线，分段进行摄影。测段长度要适中，太长会使航线弯曲度和航偏角超过规定的要求，太短又会使飞机调头空飞时间多，测段接头也多，都不利于外控测量和内业测图使用。测段长度可参考表1-1。

按每一测段的宽度及航线间距可用下列公式求出航带数及每条航线的象片数：

每条测段的航带数

$$R = \frac{L_y}{B} + 1 \quad (1-1)$$

每条航线的象片数

$$n = \frac{L_x}{B} + 3 \quad (1-2)$$

每条测段的象片总数 $N = nR$ (1-3)

测段长度参考表 表1-1

航摄比例尺	测段平均长度(km)
1:25 000~1:35 000	55
1:15 000~1:17 000	35
1:7 500~1:10 000	18

式中： L_x ——测段长；

L_y ——测段宽；

D ——航线间距；

B ——摄影基线长度；

常数1和3——考虑象片重叠的加数。

航摄仪类型主要考虑成图方法、成图比例

尺和测区地形条件进行选择。一般采用宽角航摄仪，在地形起伏较大的山区，可采用常角航摄仪，此时应选用较大的航摄比例尺。

航摄比例尺的大小取决于成图比例尺和成图方法。测图比例尺为1:2 000时，航摄比例尺用1:8 000~1:12 000；测图为1:5 000时，航摄比例尺为1:10 000~1:20 000。这里所列的航摄比例尺，均指测段内路线设计高程平均面的航摄比例尺。

航带设计完成后，用小比例尺(1/200 000~1/500 000)画出测段布置示意图(如图1-3)，将测段编号，并在图上加绘主要水系、山脉及城镇名称，注明地理坐标；还要编制一分航摄测段表，内容包括：测段号、航带数、航摄仪焦距、航摄比例尺、最高平均面、最低平均面、平均面、制高点高程、测段面积等。

将航带设计资料提交给中国民航工业航空服务公司，他们即根据要求进行航摄技术计算，包括：计算航高、摄影基线长度(即摄影间隔距离)、航向间隔、曝光时间等，然后进行空中摄影。

2.空中摄影

空中摄影是选择在天气晴朗、能见度好、气流平稳条件下进行，一般以上午九时至下午四时为宜。飞机按照测段和航带的编号顺序，一条航带、一条航带地进行摄影。每天摄影完成后，应进行摄影处理和航摄质量评定工作。

3.摄影处理

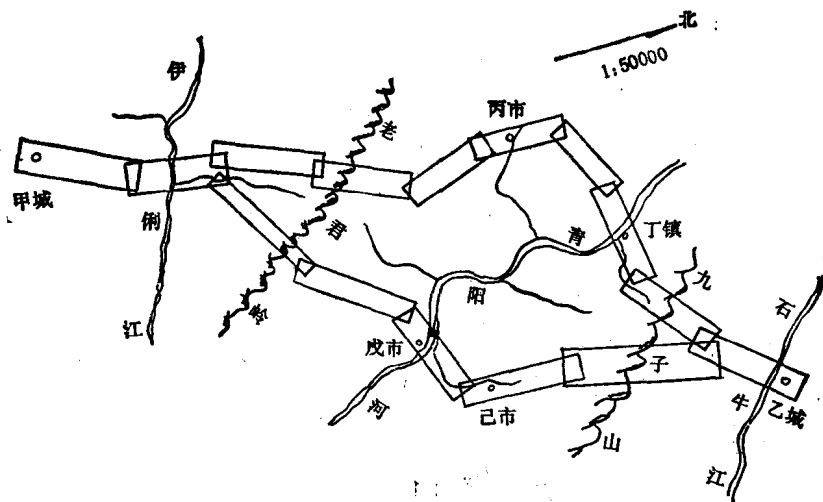


图1-3 测段布置图

摄影处理就是将空中摄影曝光了的底片经过化学处理做成所需要的负片和正片，它包括：显影、定影、水洗、晾干做成负片（底片）。经过接触晒印做成正片。

航摄底片做成后，在每卷底片药膜上，写明测区编号、摄影日期、航摄仪类型及其主距等等，并逐片编号，号码写在每张象片右上角上。

(二) 航摄仪及其参数的基本概念

1. 航摄仪构造

航摄仪是航空摄影的主要仪器，一般由镜箱、暗盒及物镜三部分组成，如图1-4所示。

(1) 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；下端安装摄影物镜。承片框的各边边线严格地处于同一平面上，这一平面就是航摄仪的成像面。承片框中空部分的中心，即象片的中心。镜箱的设计和安装，要求承片框中空中心应与物镜光

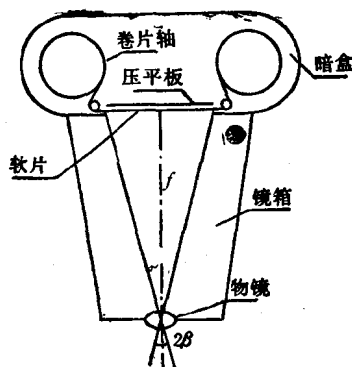


图1-4 航摄仪构造

心在承片框平面上的垂足相重合。在有些镜箱里还装有水准器、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地面景象一并被摄取在底片上。

(2) 暗盒是存放感光软片的地方。感光软片从承片框和压平板之间穿过，卷在暗盒内左右两侧的卷片轴上。卷轴能容纳60~120m长的软片。底片曝光时，必须由压平板强制压平，以保证影像清晰。在承片框距框边2cm处装有四根钢丝，叫压平线，通过检查压平线在象片上影像的直线性，即可概略地检查底片的压平程度。

(3) 物镜是航摄仪最重要的部分，它是一个复杂的光学系统，由6~8块化学成分不同、曲率半径不一的凸透镜和凹透镜组合而成。组合的各单透镜的光心必须位于一直线上。物镜的光学中心 S 即物镜的摄影中心。距离 H 称为 A 点的航高。 a 为 A 的象， S 到 a 的垂直距离，称为航摄仪镜箱焦距或航摄仪主距。

表1-2所列为我国常用的航摄仪类型及其主要性能参数。

航摄仪类型及其参数

表1-2

型 号	航甲17-7	航甲17-10	RMK-A 8.5/23	MRB	RC-10	RC-8	RC-5	AΦA- T3
项 目								
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 (s)	$\frac{1}{50} \sim \frac{1}{500}$	$\frac{1}{50} \sim \frac{1}{500}$	$\frac{1}{100} \sim \frac{1}{1000}$	$\frac{1}{100} \sim \frac{1}{100}$	$\frac{1}{100} \sim \frac{1}{1000}$	$\frac{1}{200}, \frac{1}{300}$	$\frac{1}{150}, \frac{1}{250}$	$\frac{1}{50}, \frac{1}{150}$
光谱段 (10 ⁻⁹ m)	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	联邦德国	民主德国	瑞 士	瑞 士	瑞 士	苏 联

2. 航摄仪主要性能参数

(1) 象幅：即象片象面的尺寸，一般为18×18、23×23、30×30，单位都是 cm × cm。象幅尺寸大小取决于承片框中空部分正方形的尺寸。

(2) 焦距：指物镜的焦距，焦距影响构象比例尺。航摄仪所用的物镜按焦距的长度分为三类：短焦距（88mm以下）、中等焦距（88~200mm）、长焦距（200mm以上）。为了满足不同需要，各类航摄仪配备一种或几种不同焦距的摄影物镜供选择使用。目前常用的物镜焦距为70~210mm。

(3) 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，呈现出一个影象清晰的圆形面积，叫做象场。由光学中心S与象场直径端点的连线所形成的角度，叫象场角，通常用2β表示，如图1-5所示。内接象场的正方形，即为象幅。由图可见，当象幅一定时，象场角愈大，则焦距愈短；反之，当象场角愈小，则焦距愈长。航摄仪物镜按象场角大小分为三类：

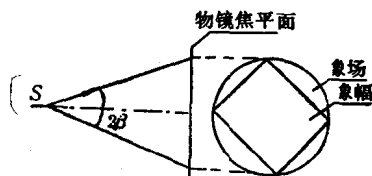


图1-5 象场角与象幅

①常角航摄仪：2β ≤ 70°，焦距 200~210mm，适于拍摄较大比例尺的航摄像片；

②宽角航摄仪：70° < 2β < 110°，焦距100~115mm，适于拍摄较小比例尺的航摄像片；

③特宽角航摄仪：2β > 110°，焦距55~70mm，适于拍摄小比例尺的航摄像片。

(4) 分解力：物镜构象时对细微碎部的分辨能力，用在1mm宽度内物镜所能辨别的最多线条数表示。一般物镜的分解力都是象场的中心部分比边缘部分高。航摄仪的分解力通常在20~200线/mm范围。

象片上1mm长度内所能分辨出的线条数称为系统分解力(R_s)，它是物镜分解力(R_o)和感光乳剂分解力(R_n)的综合反映，其数学关系式为

$$\frac{1}{R_s} = \frac{1}{R_o} + \frac{1}{R_n} \quad (1-4)$$

感光乳剂分解力在胶片出厂时已作了测定，由式(1-4)可计算出象片上的分解力。

(5)物镜畸变差：是航摄影物镜的一种构象误差。如图1-6所示正方形，在象片上由于畸变差而使影象成为桶形或枕形。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。由于畸变差的存在，使整个物体影象发生变形，因此在航测作业过程中要考

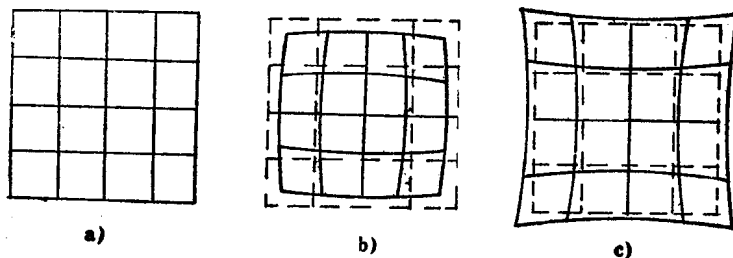


图1-6 物镜的畸变差
a)没有畸变差；b)桶形畸变差；c)枕形畸变差

虑给予改正。

(6)光谱段：指感光胶片对不同颜色光波的感受能力。感光片分为盲色片、正色片、分色片、全色片及红外片等，其感色范围如图1-7所示。

盲色片不适合拍摄有彩色的景物，由于它具有反差较大的特点，适于翻拍文字用表。

正色片和分色片适于拍摄一般风景和新闻记录片。

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1-7 感光片感色范围示意图

全色片能感受一切可见光(4000~7000 Å)，适于各种景物拍摄。

红外片能感受人眼感受不到的红外光，例如在黑夜、烟雾等情况下，利用红外片摄影可获得清晰的影象。

(三)对航摄像片的基本要求

航摄像片质量的好坏，直接影响成图质量和光学模型选线的效果。在验收航摄像片时一般应符合以下基本要求：

(1)象片必须清晰，色调一致，反差适中。

黑白航摄像片不能表现自然景物的颜色，只能表现出深浅程度不同的黑白影象，这种影象的黑白程

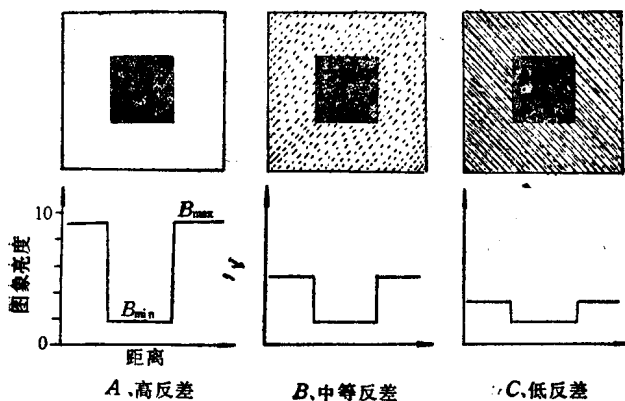


图1-8 不同反差比的图象

度称为色调。反差是指象片上最亮部分与最暗部分之间的比值，如图1-8，反差太高太低对象片判释和信息提取都十分不利。象片上不应有妨碍测图的云影以及山脊和悬崖的阴影。两张相邻象片必须浓度均匀，色调协调，否则会影响立体观测效果，降低测图精度。

(2) 相邻两象片之间要有一定的重叠影象。象片重叠多少用象片重叠宽度与象幅边长之比来表示，称为象片的重叠度，以百分数表示。如图1-9所示，沿航线方向相邻两象片之间的重叠称为航向重叠，相邻两航线间象片的重叠称为旁向重叠。一般要求航向重叠度为60~65%，最小不得小于53%；旁向重叠度为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，应及时补摄。

上述重叠度是对航摄区的平均高程面而言。如果是山区，地面高低起伏会引起象片影象重叠度的变化，高于平均高程面的地面，其影象重叠度会减小，满足不了正常重叠度要求，这时必须对平均高程面上的重叠度加上一个改正数。其计算公式如下：

$$\left. \begin{aligned} \Delta q_x \% &= (1 - q_x \%) \frac{\Delta h}{H} \\ \Delta q_y \% &= (1 - q_y \%) \frac{\Delta h}{H} \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

式中： Δq_x 、 Δq_y ——航向、旁向重叠度增加值；

q_x 、 q_y ——航向、旁向一般要求的重叠度；

Δh ——测区内最高平均高程面与平均高程面之高程差；

H ——相对于平均高程面的航高。

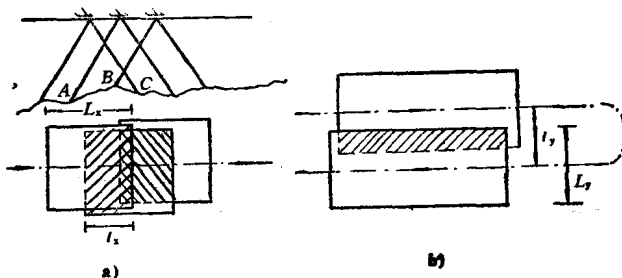


图1-9 航向重叠与旁向重叠

(3) 象片倾斜角应满足近似垂直摄影要求。象片倾斜角是航摄仪主光轴（图1-10） oO 在曝光的一瞬间与铅垂线 nN 所夹的角，用 α 表示。当 $\alpha = 0$ 时，主光轴处于铅垂线位置，这时称为垂直摄影，所摄象片叫水平象片。在目前技术条件下，还不能达到垂直摄影。但控制倾斜角在 3° 以内可以做到，这种摄影称为近似垂直摄影。为满足航测成图要求，象片倾斜角一般不大于 2° 为宜，个别不应大于 3° 。

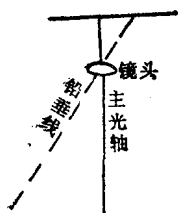


图1-10 象片倾斜角

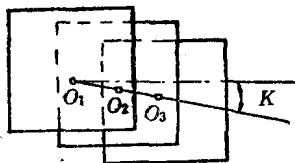


图1-11 航偏角

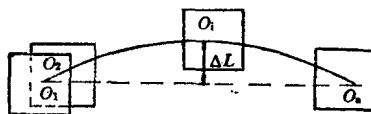


图1-12 航线弯曲度

(4) 航偏角一般不应大于 6° ，个别最大不应超过 10° ，使象片边缘与航线方向保持一致。航偏角的大小用量角器测象片边缘与相邻象片主点连线之间的夹角（图1-11）。

(5) 航线弯曲度最大偏离值与航线全长之比不应大于 3% ，否则会造成漏摄或旁向重叠过少等现象（图1-12）。检查航线弯曲度是将整条航线象片依次摆好后，量测首尾两象片中