

高等学校试用教材

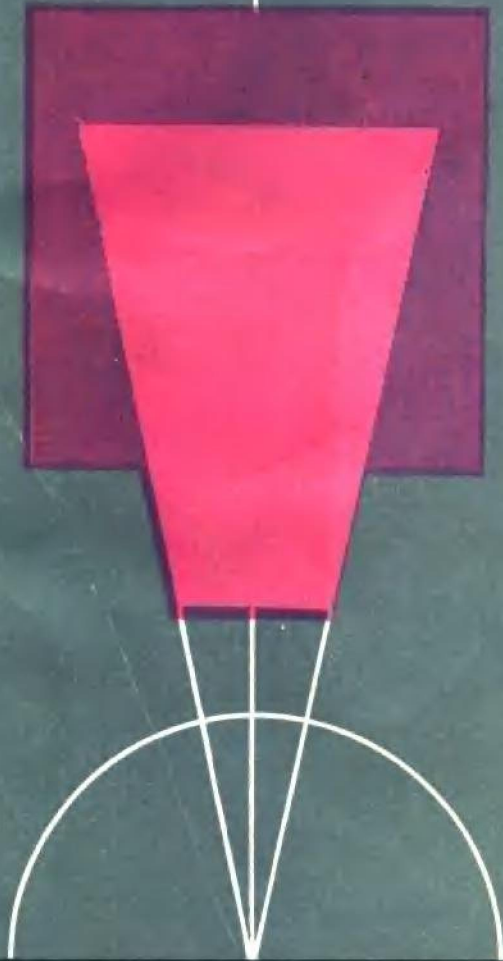
摄影测量学

(工程测量专业用)

崔炳光

孙 护

朱肇光



测绘出版社

高等学校试用教材

摄影测量学

(工程测量专业用)

崔炳光
孙护
朱肇光

测绘出版社

高等学校试用教材
摄影测量学
(工程测量专业用)
崔炳光 孙护 朱肇光

测绘出版社出版
北京平谷光华胶印厂印刷
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 850×1168 1/32·印张 16 1/4 插页 2·字数 422 千字
1984年6月第一版·1986年6月第二次印刷
印数 8,501—10,800册·定价 3.20元
统一书号: 15039·新330

内 容 简 介

全书共分十四章。第一章绪论；第二章介绍摄影与空中摄影的一般知识、摄影材料和摄影处理等；第三、四章讲述单像测图原理、像片纠正和综合法测图；第五章叙述立体观察、立体量测和坐标量测仪；第六、七章叙述双像测图原理、模拟型立体测图仪，并简要介绍了变换光束测图原理以及新发展的解析测图仪；第八章叙述分工法测图原理、仪器和成图方法；第九、十、十一章分别叙述解析法空中三角测量的基础知识、独立模型法和航带法区域网空中三角测量；第十二、十三章对测绘学科的新发展，如正射投影技术和数字地面模型作了简要介绍；第十四章叙述地面立体摄影测量。

本书可作为大专院校工程测量专业摄影测量课程的试用教材，并可供工程测量技术人员参考。

前 言

本书是根据武汉测绘学院工程测量专业摄影测量学教学大纲，并参照有关院校对内容提出的补充意见编写的。初稿曾作为教材试用。

本书着重叙述航空摄影测量成图、解析法空中三角测量加密控制点以及地面立体摄影测量的基本概念、基本理论和成图方法。基本技能的掌握有赖于实验课的配合。此外，摄影测量学科的新发展在书中也有所反映。在内容编排上注意到各章节之间的联系。书中有几处用小号字排印的部分属数学内容，可供参考。

本书共分十四章，第一、二、五、八、十二、十三章由孙护编写；第三、四、六、七、十四章由崔炳光编写；第九、十、十一章由朱肇光编写。在编写过程中，我院航空摄影测量系和工程测量系许多同志提供了宝贵的意见；书稿承蒙刘葆梁同志和黄世德同志分别进行了初审和复审，参照两位同志所提意见及教学中发现的问题，对书稿作了修改；此外对誊写书稿、绘制插图和提供插图照片的许多同志，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者的政治和业务水平有限，加以时间仓促，错误难免，诚恳地希望读者批评指正。

编 者

1982年12月

于武汉测绘学院

目 录

| | |
|---|---------|
| 第一章 绪论 | (1) |
| 第二章 摄影和空中摄影 | (5) |
| § 2-1 摄影机概述 | (5) |
| § 2-2 各类摄影机简介 | (13) |
| § 2-3 黑白片感光材料 | (16) |
| § 2-4 空中摄影 | (24) |
| § 2-5 摄影处理过程 | (32) |
| § 2-6 航空摄影外业驻地的摄影处理 | (36) |
| § 2-7 彩色摄影 | (38) |
| 第三章 航摄像片解析 | (48) |
| § 3-1 航摄像片为中心投影 | (48) |
| § 3-2 航摄像片上的特殊点、线以及透视 相关的点、线和面 | (51) |
| § 3-3 透视作图的基本方法 | (53) |
| § 3-4 航摄像片的内、外方位元素 | (60) |
| § 3-5 摄影测量采用的坐标系 | (64) |
| § 3-6 空间直角坐标的变换 | (66) |
| § 3-7 因像片倾斜引起的像点位移 | (80) |
| § 3-8 因地形起伏引起的像点位移 | (82) |
| § 3-9 航摄像片的构像比例尺 | (85) |
| 第四章 像片纠正、像片平面图和综合法测图 | (91) |
| § 4-1 像片纠正概述 | (91) |
| § 4-2 图解纠正 | (93) |
| § 4-3 光学机械纠正的概念 | (97) |
| § 4-4 纠正仪的结构轴及纠正元素 | (104) |

| | | |
|------------|---------------------------|--------------|
| § 4-5 | 纠正点数和纠正仪的自由度 | (108) |
| § 4-6 | 纠正仪 | (110) |
| § 4-7 | 平坦地区航摄像片的纠正技术 | (117) |
| § 4-8 | 像片平面图的编制 | (124) |
| § 4-9 | 丘陵地区航摄像片的分带纠正 | (125) |
| § 4-10 | 倾斜面纠正 | (128) |
| § 4-11 | 综合法测图 | (132) |
| 第五章 | 立体观察和立体量测 | (135) |
| § 5-1 | 人眼的自然观察 | (135) |
| § 5-2 | 人造立体效能 | (138) |
| § 5-3 | 立体观察方法 | (140) |
| § 5-4 | 像对的立体量测 | (144) |
| § 5-5 | 像点坐标的量测仪器 | (146) |
| 第六章 | 双像投影测图原理 | (154) |
| § 6-1 | 概述 | (154) |
| § 6-2 | 立体像对的相对定向元素和模型的 绝对定向元素 | (156) |
| § 6-3 | 立体测图仪上像对的相对定向 | (159) |
| § 6-4 | 立体测图仪上模型的绝对定向 | (173) |
| § 6-5 | 立体测图仪上的测图 | (179) |
| 第七章 | 立体测图仪 | (181) |
| § 7-1 | 概述 | (181) |
| § 7-2 | 多倍投影测图仪 | (191) |
| § 7-3 | 立体测图仪 Stereoplanigraph | (194) |
| § 7-4 | B 8 S 型立体测图仪 | (198) |
| § 7-5 | A 10 型立体测图仪 | (202) |
| § 7-6 | 托普卡地形立体测图仪 | (205) |
| § 7-7 | 变换光束测图概述 | (216) |

| | | |
|-------------|--------------------------|--------------|
| § 7-8 | 解析测图仪简介 | (222) |
| 第八章 | 分工法测图 | (227) |
| § 8-1 | 概述 | (227) |
| § 8-2 | 外方位元素对左右视差的影响 | (229) |
| § 8-3 | 立体量测仪CTД-2型和LCY-2型 | (234) |
| § 8-4 | 立体量测仪的改正机件 | (242) |
| § 8-5 | 立体量测仪上的像对定向 | (255) |
| § 8-6 | 立体量测仪上描绘等高线 | (262) |
| § 8-7 | 曲线片的投影转绘 | (263) |
| § 8-8 | 立体视差测图仪X-2型 | (266) |
| 第九章 | 解析法空中三角测量的基础 | (274) |
| § 9-1 | 概述 | (274) |
| § 9-2 | 像点坐标的系统误差及其改正 | (277) |
| § 9-3 | 应用共线方程测求单张像片的外方位元素 | (287) |
| § 9-4 | 罗德里格矩阵 | (295) |
| § 9-5 | 解析法像对的相对定向——共面条件 | (301) |
| § 9-6 | 模型点坐标的计算——前方交会 | (314) |
| § 9-7 | 解析法模型的绝对定向——空间相似变换 | (316) |
| 第十章 | 独立模型法区域网空中三角测量 | (326) |
| § 10-1 | 概述 | (326) |
| § 10-2 | 建立单元模型 | (327) |
| § 10-3 | 单元模型统一于航线辅助坐标系 | (331) |
| § 10-4 | 区域网的建立和概略定向 | (334) |
| § 10-5 | 全区域单元模型的整体平差 | (338) |
| § 10-6 | 独立模型法区域网平差平面和 高程分求的方案 | (353) |
| 第十一章 | 航带法区域网空中三角测量 | (361) |
| § 11-1 | 航带模型的建立 | (361) |

| | |
|--------------------------|--------------|
| § 11-2 航带模型概略绝对定向 | (365) |
| § 11-3 航带法区域网平差 | (367) |
| 第十二章 正射投影技术——微分纠正 | (381) |
| § 12-1 微分纠正概述 | (382) |
| § 12-2 直接投影关系的微分纠正 | (385) |
| § 12-3 直接投影关系的正射投影仪器 | (389) |
| § 12-4 间接投影方式的微分纠正 | (395) |
| § 12-5 间接光学投影的微分纠正仪器 | (404) |
| § 12-6 间接电子微分纠正 | (410) |
| § 12-7 立体正射投影像片对 | (413) |
| 第十三章 数字地面模型 | (416) |
| § 13-1 概述 | (416) |
| § 13-2 数据点的数据取样 | (417) |
| § 13-3 数据处理的插值加密 | (419) |
| § 13-4 数字地面模型的数据内插方法简介 | (421) |
| § 13-5 数字地面模型的应用举例 | (430) |
| 第十四章 地面立体摄影测量 | (438) |
| § 14-1 概述 | (438) |
| § 14-2 摄影方式和基本公式 | (441) |
| § 14-3 地面立体摄影测量的外业仪器和装备 | (450) |
| § 14-4 地面立体摄影测量的外业工作 | (456) |
| § 14-5 外方位元素误差引起点位变化的规律 | (464) |
| § 14-6 地面立体摄影测量的内业成图仪器 | (473) |
| § 14-7 在地面立体测图仪上的作业 | (483) |
| § 14-8 地面立体摄影测量的误差理论 | (491) |
| § 14-9 根据检查方向确定外方位角元素误差 | (502) |
| § 14-10 地面立体摄影测量检查点的内业加密 | (504) |
| 主要参考文献 | (509) |

第一章 绪 论

摄影测量学就是对研究的对象进行摄影，根据所获得的构像信息，从几何方面和物理方面加以分析研究，从而对所摄对象的本质提供各种资料的一门学科。由于摄影取得的影像信息能真实和详尽地记录摄影瞬间客观景物的形态、具有良好的量测精度和判读性能，因此摄影测量学被广泛地应用于各个方面。

按照所研究对象的不同，摄影测量学内容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区表面的形态，以物体与构像之间的几何关系为基础，最终根据摄影像片测绘出摄影区域的地形图。非地形摄影测量一般是指近景摄影测量，顾名思义，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较近，一般小于300米，测量的精度相应地要求较高。基本理论也是根据物体与构像之间的几何关系，但在处理技术上有其特殊性。近景摄影测量大多应用在专题科学研究和考察，诸如工业、建筑学、生物学、考古、医学以及高速运动物体等方面，任务和要求也各异。为适应现场条件，使用的摄影机可以是测量专用的，也可以是一般的普通照相机；通常取用一定规则的摄影方式，但也可以是随意的。因此，这就要求用解析方法来确定研究对象的形态，测量成果乃是表示研究对象的一系列特征点的三维坐标值，即研究对象的数字模型；根据要求也可绘制所摄物体的立面图、平面图和显示立体形态的等值线图。此外，遥感技术是近一、二十年来迅速发展为一门有广阔前景的学科。从名词上说，遥感技术就是不直接接触研究的对象，而利用所传感的信息进行分析、处理，从而识别所研究对象的本质。因此，地形摄影测量和近景摄影测量也可认为是应用遥感技术的范畴。不过，现今所提及的遥感是具有另一方面的含义，

即用某种传感器，不直接接触研究的目标如地球表面、地球内部、环境景象、天体等，而传感目标信息特征的信号，一般指目标对象所反应的辐射电磁波，经过传输、处理，从中提取对了解目标有实用的信息，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。各种物质的辐射电磁波具有其各自的特征，记录下的信息可以是图像或者数据，因而有其特异性。对信息予以分析、解释和处理就能判别研究对象的性质和状态。由于遥感技术是以研究对象与信息之间所存在的物理性质的关系为基础，因此就能够应用于各个方面如农业调查、土壤性质、植被分布、地下资源、气象、环境污染等等。遥感器所取得的构像信息虽属非常规的图像，根据遥感图像的几何特征，在编制小比例尺地图、修补旧图方面也有一定的利用价值。

摄影测量学也可按摄影站的位置分为航天摄影测量、航空摄影测量、地面摄影测量和水中摄影测量几类。航天摄影测量是利用航天器如人造地球卫星、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。地面摄影测量包括地面立体摄影测量和近景摄影测量。前者在测绘特殊地区的地形图时常采用，后者是对科学技术专题科目进行研究时采用。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绘制水下地形图，这属于双介质摄影测量。

在我国实现四个现代化的建设期间，测图任务繁重，需要采用高效率、高精度的测图方法来完成各种比例尺、各种类型的地图。摄影测量必然将要发挥重要的作用。

地形摄影测量的最终成果是地形原图。测图的原始资料就是测区的摄影像片。地形摄影测量的内容要点就是研究物点与像点之间的几何关系，并设计和使用摄影测量仪器来实现求解。一张地图对小区域而言，乃是地面上地物、地貌在水平面上按图比例尺缩小的正射投影的图形，再加上必要的注记、图式符号等地图要素。摄影

像片却是地面景物在像片平面上的中心投影。摄影测量要解决的基本问题，就是将中心投影的像片转变为正射投影的地形图。地面立体摄影测量是最早应用来绘制地形图的摄影测量方法。地面摄影机安置在地面两摄影站点上摄取成对像片，这就可以利用地面测量方法取得摄影站点的地面坐标，而且摄影的方式也可随要求作适当安排并准确定向地面摄影机。如是，像对在地面坐标系中的空间位置和摄影方向都是已知的，这对往后利用像对测绘地图的工作将带来方便。虽然地面摄影测量有前景遮蔽后景、地面测量工作量较大等不利因素，而且大区域的测图工作都已采用航空摄影测量方法，但对某些特殊情况如高山地区的地理勘测、大比例尺的某些工程测量，地面立体摄影测量仍具有其使用价值。航空摄影测量从飞机上向地面进行摄影，能在短期内取得测区完整的航摄像片测图资料，而且可以利用航摄像片之间的相互关系，从而节省大量的地面测量外业工作。但是对地面进行航空摄影时，由于运载航空摄影机的航摄飞机总是在运动中以及不能保持严格水平，曝光瞬间航空摄影机处在空间的位置和状态，迄今尚不能以足够的精度确定之。这在往后利用航摄像片制作地形图的过程中需要通过各种途径来解决。

在我国应用航空摄影测量方法绘制地形原图大体上分综合法、全能法和分工法三种。综合法测图是摄影测量和地面地形测量相结合的测图方法。地面点的平面位置应用摄影测量方法以单张航摄像片为测图单元来解求，而点位高程或地貌在野外实地测定。这种方法适用于大比例尺平坦地区的测图，尤其是对高程精度要求很高而航测方法难以达到的情况下，综合法测图能得出满意的成果。全能法和分工法都属于立体摄影测量方法，取连续摄影的两相邻像片（像对）为测图单元。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。借助地区立体模型的量测以代替地面地形测量，一次完成点位高程和平面位置的测定，从而绘制出地区的线划地形原图。全能法测图适用于丘陵地区、山区和高山地区的测图。分工

法测图也称微分法测图，待求点的平面位置和高程虽都是应用摄影测量方法，但却是分别测定的。这种测图方法的理论和为此而设计的仪器，当时是针对测绘比例尺为1:25000~1:50000地形图的，在测图方法的原理上带有近似性。但分工法测图允许较多的技术人员同时在各个成图工序中参加流水作业，且仪器设备投资也较少。这种方法适用于测绘丘陵地区的中、小比例尺地形图。

航空摄影测量制作地形原图大体上分三个阶段：航空摄影、航测外业和航测内业。航空摄影就是在航摄飞机上安装航空摄影机，从空中对测区地面作有计划的摄影，以取得适合航测制图要求的航摄像片。航测外业是在野外实地进行像片联测和判读调绘。像片联测的目的是利用地面控制点把航摄像片与地面联系起来；像片的判读调绘是在像片上补绘没有反映出的地物、地类界等，并搜集地图上必需有的地名、注记等地图元素。航测内业就是依据航摄像片和航测外业成果在室内专用的航测仪器上测绘地形原图。

本书主要讨论地形摄影测量内业成图原理和方法等问题。

第二章 摄影和空中摄影

§ 2-1 摄影机概述

摄影是按小孔成像原理，在小孔处安装一个摄影物镜，在像面处放置感光材料，物体经摄影物镜成像于感光材料上。感光材料受投射光线的光化作用后，经摄影处理取得景物的光学构像。

摄影的工具是摄影机。摄影机的种类很多，基本结构原理大致相同，概括而言是由镜箱和暗箱两部分组成，如图 2-1 所示。镜箱是摄影机的光学部件，包括物镜筒、镜箱和像框平面。物体的投射光线经摄影物镜调焦而成像于像框平面上。暗箱是存放感光材料用的。摄影时要求感光材料展平并贴附在像框平面内。普通手提摄影机的暗箱和镜箱是连成一体的；测量专用的摄影机备有多个暗箱，暗箱可以从摄影机镜箱上拆卸下来，临摄影时装上和调换使用。

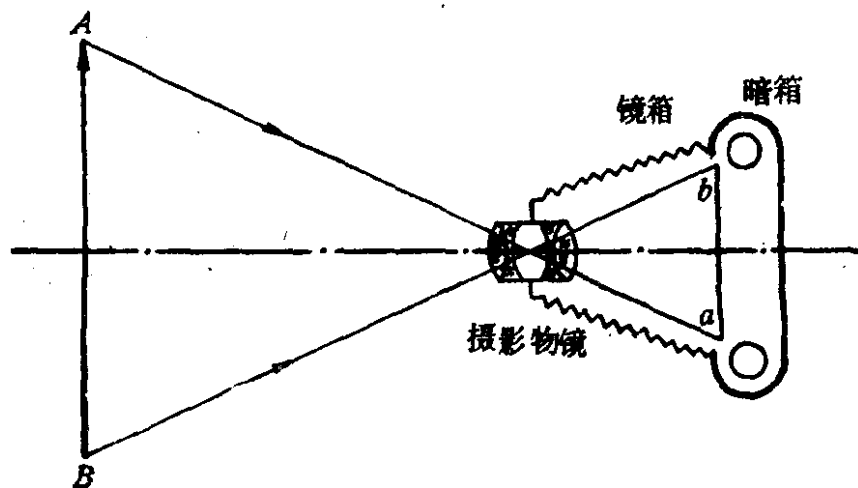


图 2-1

一、摄影物镜

摄影物镜的作用是聚集所摄物体发射的光线，使在像框平面上

取得亮度较大的清晰影像。物体构像的质量主要取决于物镜的品质。单透镜具有各种像差，为此摄影物镜都是由几个透镜组合而成的一个光学系，借以消除或减小像差。物镜光学系中诸透镜的光轴应重合为一，是为物镜的(主)光轴。物体的投射光线经诸透镜界面逐次折射后，最终取得折射光线。设投射光线AB(图2-2)平行于光

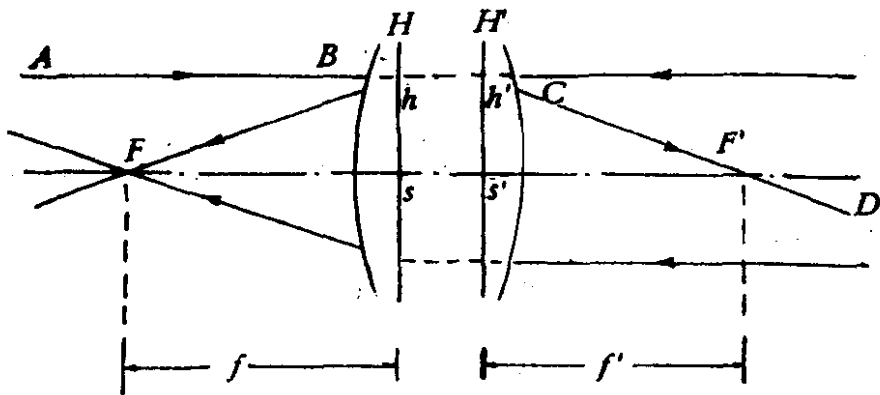


图 2-2

轴，经物镜诸曲面折射后得折射光线CD。延长AB和CD相交于点 h' ，过点 h' 作垂直于光轴的平面 H' ，那么诸平行于光轴的投射光线都可以认为在平面 H' 上发生折射。同样，若投射光线来自物镜的另一方射入，经物镜诸曲面折射后得折射光线，按上述延长相交得点 h 和平面 H ，那么平面 H 就相当于物镜的另一个折射面。这样，不论物镜光学系由多少个透镜组成，我们可以理解为用平面 H 、 H' 来等价物镜，作为光线的折射面。以后在研究光学系的特性时均采用 H 和 H' 来代表。平面 H 和 H' 将空间分为两部分。物体所处所在的空间称为物空间，构像所处所在的空间称为像空间。因此平面 H 和 H' 相应地称为物方主平面和像方主平面。平面 H 和 H' 与主光轴的交点 S 和 S' 相应地称为物方主点和像方主点。平行于光轴的投射光线经物镜折射后与光轴的交点 F' ，称为像方焦点；斜交光轴的投射光线经物镜折射后所取得的折射光线若平行于光轴，则投射光线与光轴的交点 F 称为物方焦点。自像方主点 S' 到像方焦点 F' 的间距称为物镜

的像方焦距 f' ；自物方主点 S 到物方焦点 F 的间距是为光学系的物方焦距 f 。过像方焦点作垂直于光轴的平面称为焦面。显然平行于光轴的投射光线经物镜折射后都会聚于像方焦点 F' 上；无穷远点平行光线的构像应位于焦面内。相应地由物方焦点 F 发出的投射光线经物镜折射后得到平行于光轴的折射光线。特别提出，在两主平面 H 和 H' 之间的光线途径总是平行于光轴的。

根据上述投射光线的折射现象，在物点 A 发射的诸光线中（见图2-3），取平行于光轴的光线1，遇物方主平面 H 后仍按原方向前进，到达像方主平面 H' 后折射得成像光线 $1'$ ，必定是通过像方焦点 F' ；又取过物方焦点 F 的光线4，遇物方主平面 H 即折为平行于光轴的光线，到像方主平面 H' 时仍按平行光轴的方向得成像光线 $4'$ 。光线 $1'$ 和 $4'$ 的交点 a 即为物点 A 的构像。取任意光线2，遇物方主平面 H 第一次折射后平行于光轴的方向，遇像方主平面 H' 再次折射为成像光线 $2'$ ，也必将通过像点 a 。在所有投射光线和成像光线的

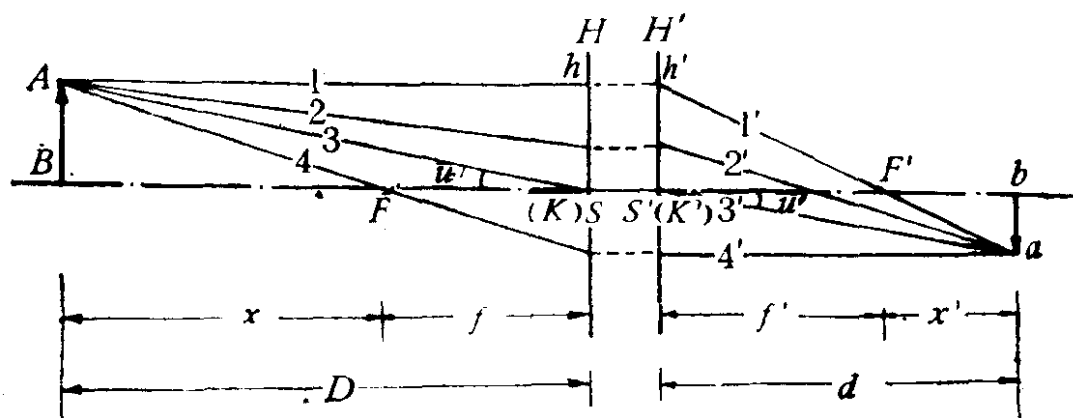


图 2-3

光学共轭光线中，总可以找到一对共轭光线如光线3和3'，它们与光轴的交角 u 和 u' 恰好相等。此时两共轭光线与光轴的一对交点 K 和 K' 称为物镜的物方(或前)节点和像方(或后)节点。综合以上所述，一个物镜有一对主点、一对焦点和一对节点，代表了该物镜的特征。当物空间和像空间的介质相同时，一对节点正好与一对主点

重合，此时主点就具有节点的特征 $\angle u = \angle u'$ ，且像方焦距等于物方焦距 $f = f'$ 。

二、物镜的成像公式

在图2-3中，设物点A到物方主平面H的距离为D，称为物距；像点a到像方主平面H'的距离为d，称为像距；物镜的焦距为f，则由 $\triangle ABS \sim \triangle abS'$ （此时点S、S'与K、K'重合）得

$$\frac{ab}{AB} = \frac{S'b}{SB} = \frac{d}{D}$$

以及由 $\triangle h'S'F' \sim \triangle abF'$ 得

$$\frac{ab}{AB} = \frac{ab}{h'S'} = \frac{d-f}{f}$$

则
$$\frac{d}{D} = \frac{d-f}{f}$$

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

上式表示物点借助于物镜光学系能取得清晰构像的条件公式，称为透镜公式。若取焦点F和F'为物距和像距的计算起点，由图知

$$D = x + f \text{ 和 } d = x' + f$$

代入式(2-1)整理后得

$$xx' = f^2 \quad (2-2)$$

是构像清晰条件公式的另一种写法，称为牛顿透镜公式。

三、光圈和光圈号数

通过物镜边缘部分的光线将产生较大的影像变形。为了限制边缘光线，通常在物镜透镜组中间设置一个孔径光阑，即所谓光圈。

常用的虹形光圈是由许多镰刀形的黑色金属薄片所组成，一片叠压着一片，每片有一个固定的支点，通过机械作用使诸薄片同时绕其支点旋转，可在中央形成一个大小不同的、近似于圆形的窗