

航空摄影测量学

上册

(航内中等科用)



中国人民解放军测绘学院

一九八一年八月

前 言

《航空摄影测量学》是培养航空摄影测量专业人才的主要专业课之一。本书的编写提纲是根据我院航空摄影测量专业中等科（内业）的教学大纲要求拟定的。全书共八章，分上下两册。上册主要讲述单张象片的解析基础，象片纠正和分带投影转绘的原理和方法；下册主要讲述立体象对的解析基础，立体量测仪测图和多倍仪测图的原理和方法，解析空中三角测量基础，和精密立体测图仪器等。

本书第一章由李汉如同志编写，第二、三章由田桂玉同志编写，第四、五、六、八章由王大平同志编写，第七章由唐光弟同志编写。肖国超同志对前三章（上册）进行了审订，陈瑞娥同志对后五章（下册）进行了审订，鲁怀明同志帮助描绘了部分插图。

由于我们水平有限，编写时间仓促，错误和不妥之外请同志们指正。

航空摄影测量教研室

一九八一年七月



目 录

| | |
|------------------------------------|--------|
| 第一章 航摄像片的几何特性 | (7) |
| § 1—1 航空摄影测量的任务及其成图过程 | (7) |
| § 1—2 中心摄影 | (9) |
| [一] 航摄像片是地面的中心投影 | (9) |
| [二] 中心投影的主要特征 | (12) |
| [三] 中心投影的特别点、线、面 | (15) |
| § 1—3 中心投影的作图法 | (17) |
| [一] 点和直线的透视作图 | (17) |
| [二] 透视平面旋转定理及其在透视作图中的应用 | (19) |
| [三] 平面图形透视作图举例 | (23) |
| § 1—4 航摄像片的内外方位元素 | (27) |
| [一] 常用的坐标系 | (27) |
| [二] 航摄像片的内外方位元素 | (28) |
| § 1—5 象点与地面点的坐标关系式 | (32) |
| [一] 以等角点 c 和 C 为原点的坐标关系式 | (33) |
| [二] 以象主点 o 和地底点 N 为原点的坐标关系式 | (34) |
| [三] 以象主点 o 和地主点 O 为原点的坐标关系式 | (35) |
| [四] 以象主点 i 和地灭点 k 为原点的坐标关系式 | (36) |
| [五] 水平象片与倾斜象片间的象点坐标关系式 | (36) |
| § 1—6 象点移位 | (39) |
| [一] 因象片倾斜引起的象点移位——倾斜误差 | (39) |
| [二] 因地面起伏引起的象点移位——投影误差 | (42) |
| § 1—7 航高计算与航摄像片比例尺 | (45) |
| [一] 航高计算 | (45) |
| [二] 航摄像片比例尺 | (47) |
| § 1—8 因象片倾斜和地面起伏引起的方向偏差——倾斜偏差和投影偏差 | (53) |
| [一] 倾斜偏差 | (53) |
| [二] 投影偏差 | (55) |
| 第二章 航摄像片的纠正 | (59) |
| § 2—1 概述 | (59) |
| [一] 象片纠正的目的及其基本思想 | (59) |
| [二] 象片纠正的高差限制 | (60) |
| [三] 象片纠正的三种方法 | (62) |
| § 2—2 光学机械纠正原理 | (62) |
| [一] 纠正的光学条件 | (63) |
| [二] 纠正的几何条件及其与光学条件的结合 | (66) |

| | | |
|-------|---|---------|
| § 2—3 | 大型纠正仪 (SEG—1, ΦTB) | (71) |
| [一] | 一般结构 | (72) |
| [二] | 光学条件控制器 | (73) |
| [三] | 大型纠正仪的自由度及其作用 | (76) |
| [四] | 大型纠正仪的纠正元素 | (78) |
| § 2—4 | 小型纠正仪 HJ 24 | (82) |
| [一] | 仪器的一般结构 | (82) |
| [二] | 光学条件控制器 | (84) |
| [三] | HJ 24 小型纠正仪的自由度及其作用 | (86) |
| [四] | HJ 24 小型纠正仪的纠正元素 | (88) |
| § 2—5 | 大型自动纠正仪 H—30 (SEG—5) | (89) |
| [一] | 光距条件控制器——曲线模板控制器 | (89) |
| [二] | 主合点控制器 (自动离心机构) | (93) |
| § 2—6 | 纠正方法和纠正点数量 | (94) |
| [一] | 纠正方法 | (94) |
| [二] | 纠正点数与纠正仪的自由度 | (95) |
| § 2—7 | 纠正镶嵌作业 | (97) |
| [一] | 纠正作业 | (97) |
| [二] | 象片镶嵌 | (102) |
| 第三章 | 分带投影转绘 | (107) |
| § 3—1 | 分带转绘的基本原理 | (107) |
| [一] | 通过对点纠正消除倾斜误差 | (107) |
| [二] | 通过改变投影高度进行分带投影消除或限制投影误差 | (108) |
| § 3—2 | 改变光束的分带转绘 | (111) |
| [一] | 镜头中心到底片面的距离 f_n 不等于相似光束纠正时的主距 f_n | (111) |
| [二] | 承影面与底片之间的夹角 φ 不等于象片倾斜角 α | (112) |
| [三] | 投影高度 Z' 不等于相似光束的投影高度 Z_1 | (112) |
| [四] | 转带距 $\Delta Z'$ 不等于相似光束时的 ΔZ | (112) |
| [五] | 底点光线不与承影面垂直, 转带后要进行底点还原 | (113) |
| [六] | 产生离心距 e | (114) |
| § 3—3 | HCD—1 型单投影转绘仪 | (115) |
| [一] | 结构原理 | (11) |
| [二] | 一般结构 | (115) |
| [三] | 仪器检校 | (119) |
| § 3—4 | 转绘仪如何实现纠正的光学条件和几何条件 | (121) |
| [一] | 转绘仪如何实现纠正的光学条件 | (121) |
| [二] | 转绘仪如何满足纠正的几何条件 | (123) |
| § 3—5 | 转绘中的离心与归心问题 | (124) |
| [一] | 转绘中的离心问题 | (124) |
| [二] | 转绘中的归心问题 | (126) |
| § 3—6 | 分带投影转绘的作业过程 | (131) |

| | |
|-----------------------------|--------|
| § 3—7 转绘作业中的问题处理..... | (139) |
| [一] 梯形尺不够用时的处理方法..... | (139) |
| [二] 象片内高差超过物镜景深范围的处理方法..... | (139) |
| [三] 象纸变形的处理方法..... | (140) |
| [四] 森林地区转绘作业方法 | (140) |
| [五] 用主点代替底点进行转带还原的问题..... | (143) |
| § 3—8 分带转绘作业限差..... | (144) |



第一章 航空象片的几何特性

§ 1—1 航空摄影测量的任务及其成图过程

航空摄影测量是摄影测量的一个主要分支。所谓摄影测量学就是利用摄影得到的象片或其所获取的图象信息,对其进行分析、判读、量测和处理来确定物体形状、大小和空间位置及其性质的一门科学。由于取得图象资料的方式和条件不同,以及由此产生的处理图象资料的理论和方法不同,形成了摄影测量学的各个分支:航天摄影测量、航空摄影测量、地面摄影测量、近景摄影测量、双介质摄影测量以及其它特殊摄影测量。

在国防建设和国民经济建设中,目前应用最广泛的是航空摄影测量。航空摄影测量是以分析、判读和量测航空象片为基础,确定所摄地面目标的性质和空间位置的一门科学。我军航测工作的主要任务就是利用航空象片测定地面点的坐标,为诸军、兵种提供作战数据以及测制各种比例尺的军用地形图和专用地图。此外,在军事工程测量中航测方法也开始得到应用。所以航测工作直接为部队作战行动提供测绘保障,为实现国防现代化服务。

在测制军用地图的全过程中,航测工作是一个中间环节。在航测工作实施之前,除了应进行航空摄影以获取航空象片外,还必须由天文大地测量提供少量的大地点作为测图控制的基础。由航测工作测制出来的地形原图,还需要经制图人员进行清绘、制版和印刷,然后才能提供部队使用。

航测工作本身包括外业和内业两大部分。航测外业工作主要包括控制测量和象片调绘两项内容。航外控制测量是在少量大地控制点的基础上,按照内业控制加密所需要的点位和数量,用地形测量的方法测定这些航外控制点的平面位置和高程,并对照实地将所求点的位置精确的刺在象片上。象片调绘是利用航空象片或象片图上地物影象的几何特徵和物理特徵确定目标的性质并按规定的图式、符号、文字注记绘在象片上。

航测内业工作主要包括控制加密和测图两项内容。内业控制加密是为了满足内业测图的需要,在原有大地点、航外控制点的基础上进一步增测控制点的工作。由于目前我国已广泛采用电子计算机来进行加密工作,所以通常又称为“电算加密”。测图包括测制线划地形图、象片图、影象地图及数字地面模型等。

由于测区的地形条件不同,航摄资料及成图比例尺要求不同,因而内业测图的方法和使用的仪器也不相同,目前测制线划地形图的方法主要有三种,即综合法、微分法和全能法。

航测综合法适用于平坦地区的测图,它的基本特点是以单张象片量测为基础,内业测定地物的平面位置,外业测定高程和地貌,并进行地形调绘。航测综合法又分为象片图测图和单张象片测图两种方法,其简要作业过程如图1—1所示。

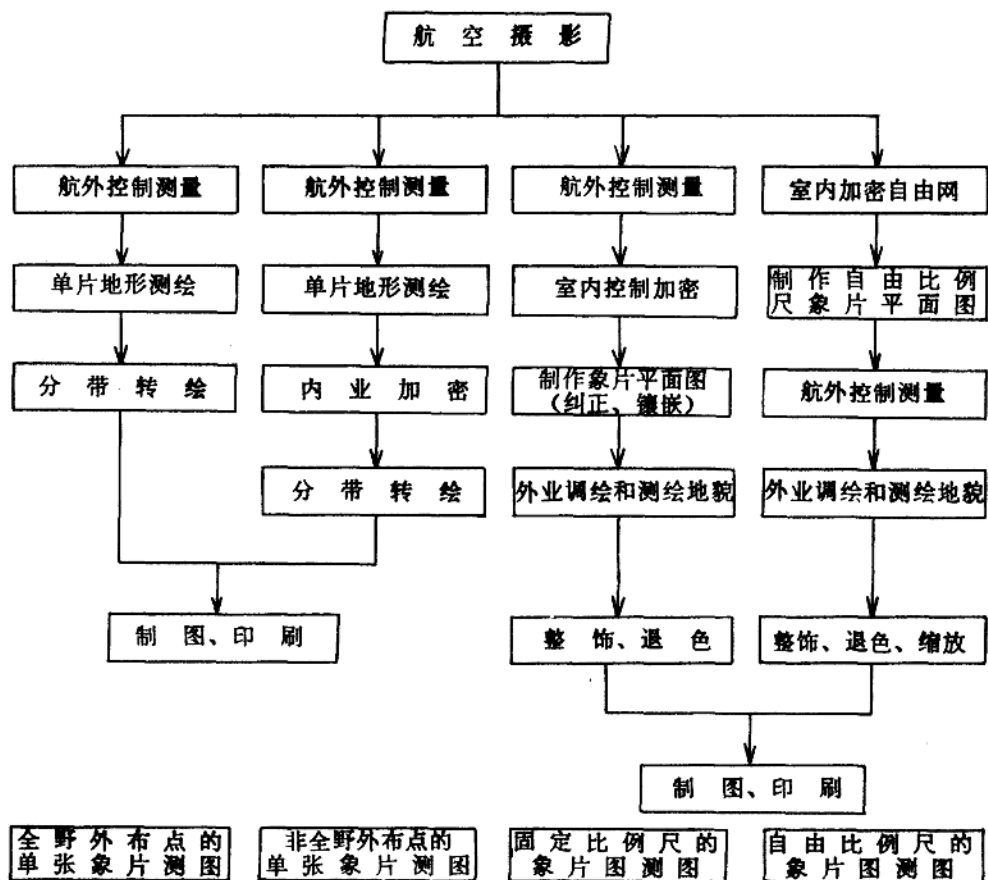


图1-1 航测综合法的作业过程

航测微分法适用于丘陵地区测图。它的主要特点是以立体象对上的左右视差量测为基础，解算地面点高程并测绘地貌，然后根据一定数量的已知平面高程点和已知高程点在单张象片作业的仪器上确定地面点的平面位置。

航测全能法适用于山地和高山地测图，也可用于丘陵地区测图。它也是以立体象对为基础，但它是利用摄影光束的几何反转，建立与地面相似或相应的几何模型，按几何模型可同时测定地面点的平面位置和高程即测绘地物、地貌。

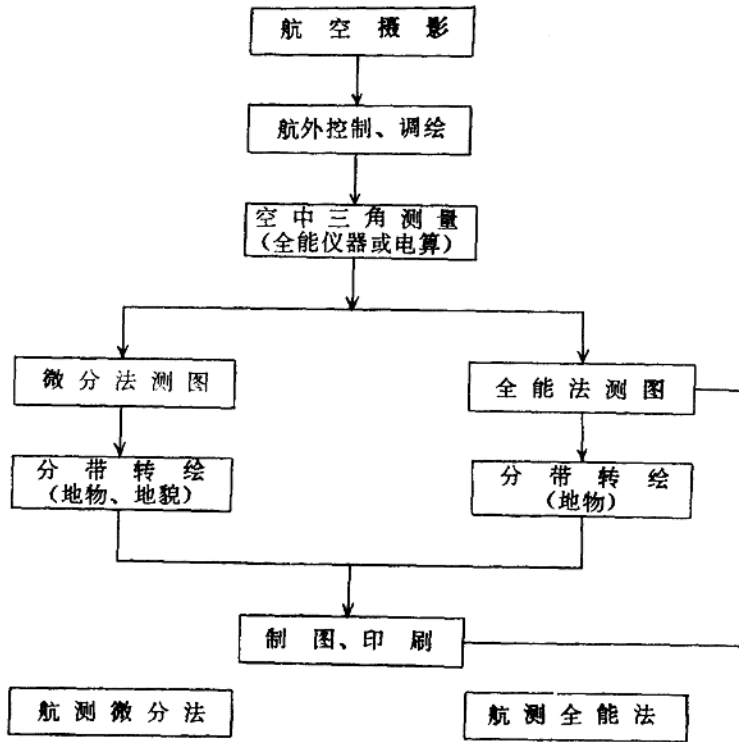


图1—2 航测微分法和全能法的作业过程

上述各种成图方法，均以单张象片和立体象对的几何特性、量测特性为基础，因而必须了解象片与所摄地面的几何关系。其中单张象片的几何特性和象点与地面点之间的坐标关系又是航测综合法的理论基础，本章集中讨论航摄像片的几何特性，为进一步学习航测各种作业方法打下基础。

§ 1—2 中心投影

[一] 航摄像片是地面的中心投影

地形图是在小范围内分幅测制的，所以可把小范围内旋转椭球面当作水平面看待。因此，小范围内的地面图形 $ABCD$ 沿着铅垂线方向投影在水平面上得 $abcd$ ，称为垂直投影如图1—3所示。当投射光线不铅垂，但保持平行关系时，其投影结果 $a'b'c'd'$ 称为地面图形 $ABCD$ 平行投影，实质上垂直投影是平行投影的一种特例。

航摄像片是地面的中心投影，中心投影与垂直投影由于投影方式不同因而投影的结果也不相同。航测的根本任务是利用中心投影的象片测制为垂直投影的地形图，所以研究这两种投影的特

点及其相互转化关系，显然就是航测学中的一项重要任务。

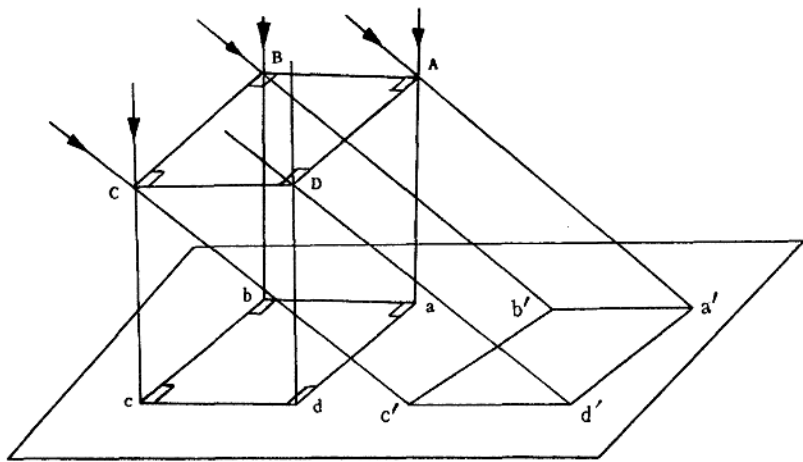


图 1-3

什么是中心投影呢？它的定义是空间任意一点M（物点）与一个固定点S（投影中心）连成的直线或其延长线（中心光线），被一平面P（象平面）所截，则此直线与该平面的交点m（象点），就称为M点的中心投影。根据上述定义，由于物点、象点、投影中心三者的相关位置不同，而有三种情况，象点位于物点和投影中心之间；物点位于象点和投影中心之间；投影中心位于物点和象点之间，如图1-4所示。显然物点、象点、投影中心三点是共线的。

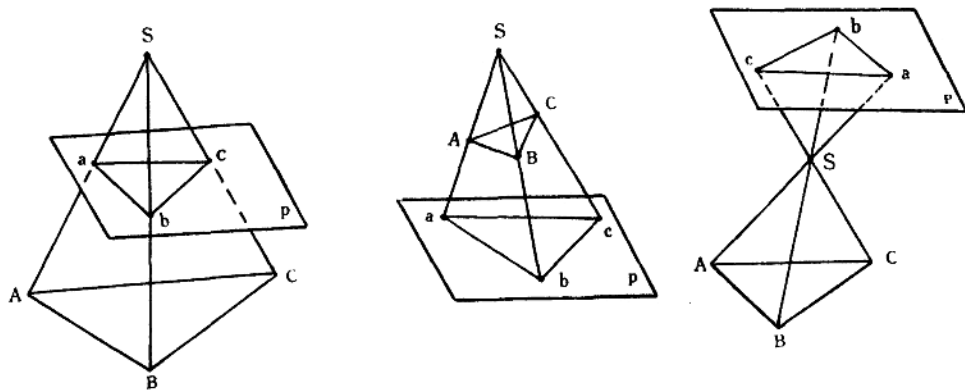


图 1-4

在航空摄影过程中，航摄影曝光的那一瞬间，地面上任意一点A或B反射出的一束光线（如图1-5所示），经过摄影机物镜的会聚，在底片上就获得该点的形象a或b。这个影象点a的位置就是这一束光线中通过物镜中心的那一条光线（中心光线）与底片平面部的交点。如果把曝光瞬间物镜中心S的位置视为固定不动，那么S便是投影中心，中心光线A S a便是投影线，底

a 点是A点的中心投影。同样b 点是B点的中心投影，所以整个航摄像片就是所摄地面的中心投影。

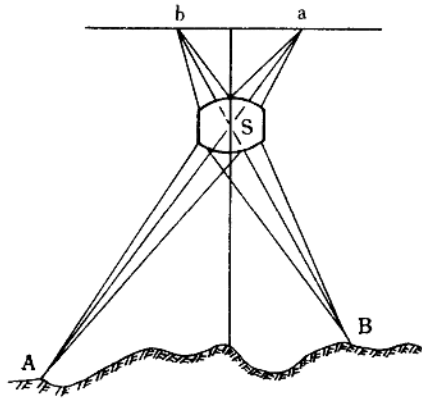


图 1—5

在航测学中还经常用到阴位和阳位的概念。其意义是当投影中心位于物、象之间时，则说象片处于阴位。反之，如果把阴位象片绕主光轴旋转 180° ，并沿主光轴把象片平移到投影中心与物之间，使之距S的距离与阴位相同，则称这时的象片处于阳位。阴位与阳位的关系如图1—6所示。显然空间物体在阴位和阳位象片上可以得到相同的构象。因此在下面分析航摄像片的几何关系时，可以把航摄像片放在阴位，也可以放在阳位。

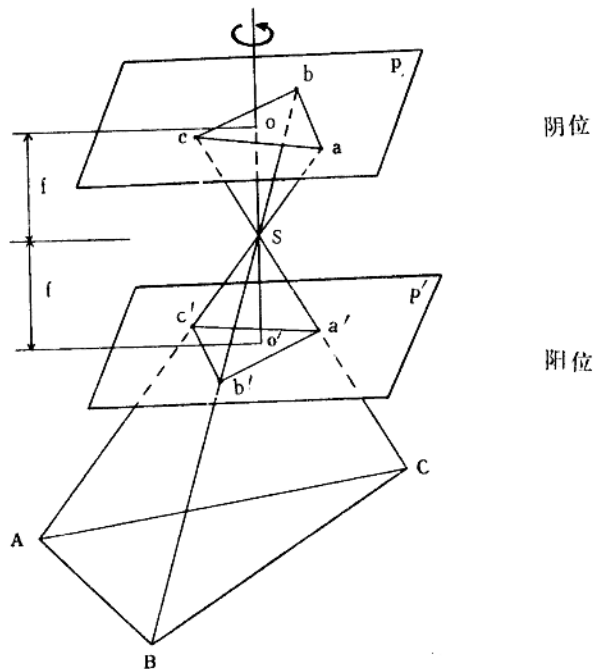


图 1—6

[二] 中心投影的主要特征

1. 点的中心投影是一个点。因为一个点只有一条中心光线，它与象面相交也只能有一个交点，所以点的中心投影是一个点，如图1—7所示。

2. 线段的中心投影一般是一线段

这是因为一条线段与投影中心只能做一个平面（投射面），这个平面与承影面只能相交于一条直线，空间线段的中心投影便在这条交线上，是该条交线的一线段，如图1—8（a）所示。

但是也有例外情况，当空间线段AB或其延长线通过投影中心S时，线段的中心投影就为一个点了，如图1—8（b）所示。此外，当空间线段AB的投射面与象面平行时，线段AB的中心投影位于象面上无穷远处，不再是一个有限线段，如图1—8（c）所示。

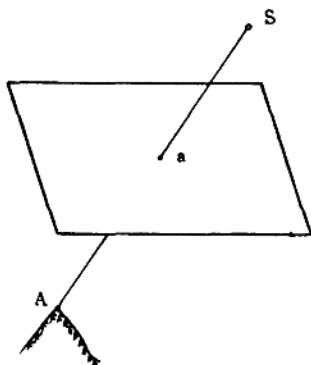


图 1—7

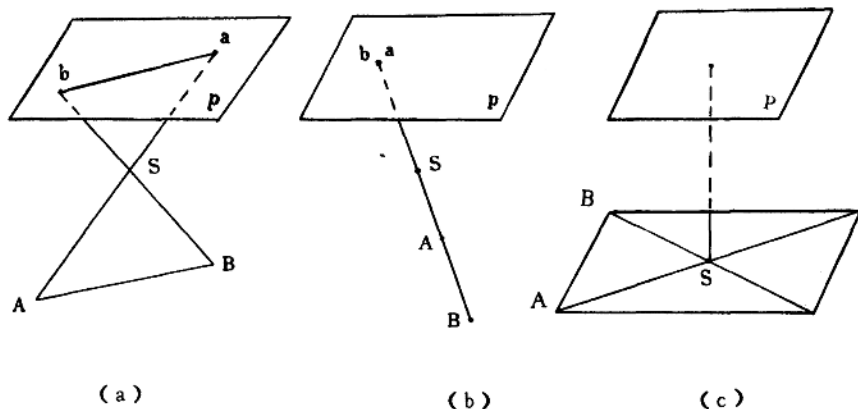


图 1—8

3. 相交线段中心投影一般是相交线段

如果一个点位于某一空间线段上，那么这个点的中心投影也位于该空间线段的中心投影上，这是因为该点的投射线位于该线段的投射面内。如图1—9所示，空间线段的交点E，由于它既在线段AB上，又在线段CD上，所以E的中心投影必须既在ab上又在cd上，即在空间线段AB、CD的中心投影ab与cd的交点上，所以空间相交线段的中心投影仍然为相交线段。

但是，也有例外情况，当空间相交线段AB与CD所在平面包含投影中心S时，那么相交线段的中心投影就为一条线段，而不再是相交线段。此外，还有一个重要的特殊情况，如图1—10所示，若两条相交线段L₁与L₂相交于K点，而交点K的投射线与象面平行时，则交点K的中心

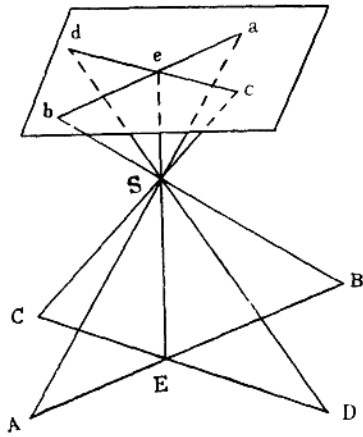


图 1-9

投影在象面上无穷远处，所以此时相交线段 L_1 与 L_2 的中心投影为两条互相平行的直线（且与投影线 KS 平行），即 $L_1 \parallel L_2 \parallel KS$ 。

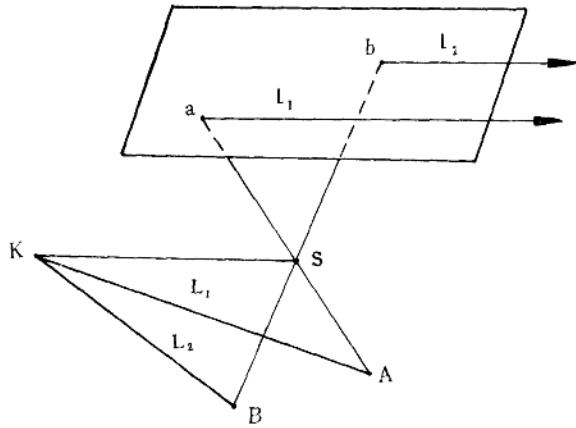


图 1-10

4. 空间一组平行线的中心投影为一平面线束，线束的顶点叫合点，它与投影中心的连线与该组空间平行直线平行。

如图1-11所示，设 L_1 、 L_2 、 L_3 为一组空间平行直线， l_1 、 l_2 、 l_3 是它们的中心投影。因为 L_1 、 L_2 、 L_3 分别与投影中心 S 组成投射面， l_1 、 l_2 、 l_3 就是些投射面与承影面 P 的交线，又因为这条交线要通过投影中心 S ，故过 S 所做的与空间平行线相平行直线 S_i 便是这些投射面的交线。 S_i 与象面 P 相交于 i 点，是所有空间平行直线所决定的投射面与象面 P

P 的公共点，所以空间平行直线的中心投影都要通过 i 点。因此 L_1 、 L_2 、 L_3 的中心投影是以 i 点为顶点的由 l_1 、 l_2 、 l_3 组成一个射线束。顶点 i 叫做空间平行直线在象面 P 上的合点。

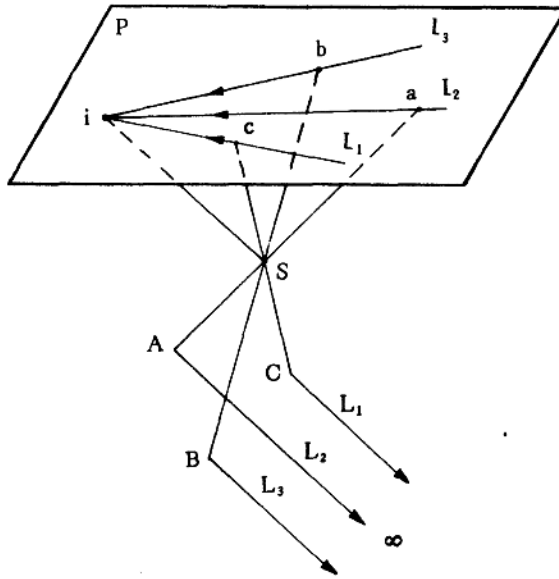


图 1—11

在图 1—11 中 a 、 b 、 c 是空间平行直线上 A 、 B 、 C 点的中心投影。那么 i 点是那个点的中心投影呢？我们设想，当 A 、 B 、 C 点沿空间直线向 ∞ 方向移动时，它们的中心投影 a 、 b 、 c 将向 i 点方向移动，继续移动下去其极限位置将是 i 点，就是说当空间点位于平行直线上的无穷远处时，它们的中心投影就合在一起，成为一个点，这个点就是合点 i 。因此我们得出关于合点的一个重要性质：合点是空间直线上或空间一组平行直线上无穷远点的中心投影。

关于合点的求法，这里只能原则地指出：“欲求某一组空间平行直线的合点，需要通过投影中心 S 做该组空间直线的平行线，这条线就是空间平行直线上无穷远点的投射射线，它与象面 P 的交点就是该组空间平行直线在 P 面上的合点。”

显然，如果空间平行直线与象面 P 平行，则合点位于象面 P 上无穷远处，即它们的中心投影互相平行，而不再是一个有顶的射线束。

应该特别强调指出，合点是中心投影的航摄像片中的一个重要概念，它在航测理论和纠正等实际工作中皆有应用。

5. 曲线的中心投影一般为曲线

如图 1—12 (a) 所示，平面曲线一般仍为曲线，但是当曲线所在平面通过投影中心时，其中心投影为一直线。空间曲线的中心投影在任何情况下均为曲线如图 1—12 (b) 所示。

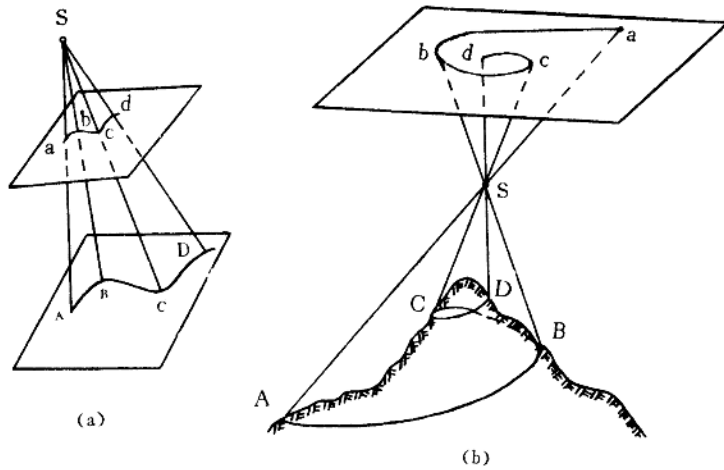


图 1—12

[三] 中心投影的特别点、线、面

如前所述，航摄像片是地面的中心投影，在研究地面与象面之间的中心投影关系中，底片上的象点与地面点之间存在着——对应关系，且象片上影象的形状、大小和相关位置与摄影时航摄像片的空间位置有关。在目前条件下，所提取的航摄像片一般为倾斜象片，在研究倾斜象片与地面之间的中心投影关系时，某些点和直线具有一定特性，它们对于研究航摄像片的数学性质和确定航摄像片在空间的位置具有特别意义，因此我们将这些点、线和有关平面称为特别点、线、面。如图 1—13 所示，P 为象面，T 为物面，S 是投影中心，三者关系按阳位表示。

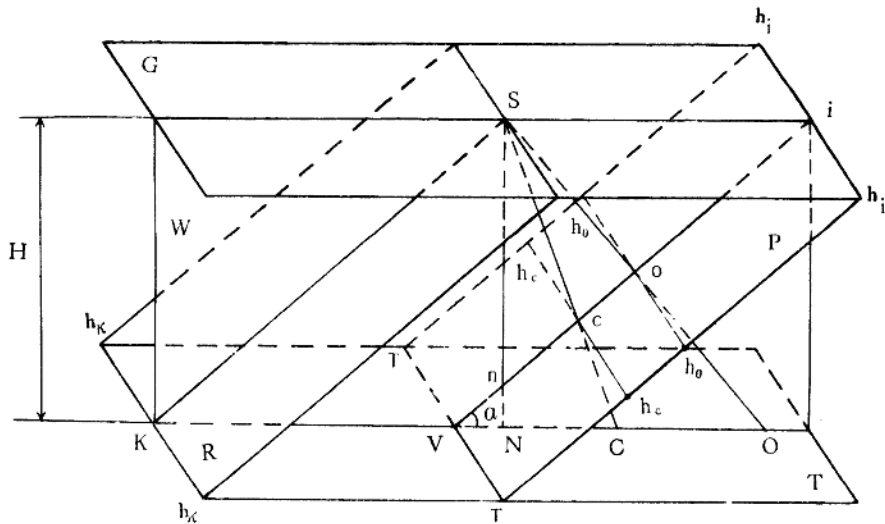


图 1—13

在中心投影中常用到以下三个特别面

主垂面：过投影中心S作垂直于物面T和象面P的平面，称为主垂面，用W表示。

遁面：过投影中心S作平行于象面P的平面，称为遁面，用R表示。由于遁面上点的投射射线都与象面P平行，所以遁面上各点的构象在象面上无穷远处。

真水平面：过投影中心S且平行于物面T的平面称为真水平面，用G表示。

在中心投影中，常用到以下特别线和特别点。

迹线：象面P与物面T的交线T T称为迹线。它与主垂面垂直，迹线上的点既是物点又是象点，具有两重性，这些点称为迹点或二重点。迹线通常又称为透视轴。

基本方向线：主垂面W与物面T的交线K V称为基本方向线。

主纵线：主垂面W与象面P的交线i V称为主纵线。

真水平线：真水平面G与象面P的交线 $h_k h_k$ 称为真水平线。真水平线通常又称为合线。合线上各点称为合点。

灭线：遁面R与物面T之交线 $h_k h_k$ 称为灭线。灭线上各点称为灭点。

摄影方向线：过投影中心S且垂直于象面P的方向线S O称为摄影方向线。摄影方向线有时又称为摄影轴。它始终位于主垂面内。

象主点：摄影方向线与象面P的交点o称为象主点。

地主点：摄影方向线与物面T的交点O称为地主点。

象底点：过投影中心S且垂直于物面的直线SN称为主垂线。主垂线SN与象面P的交点n称为象底点。显然象底点n是空间铅垂线的合点。

地底点：主垂线与物面T的交点N称为地底点。

象等角点：主垂线与摄影方向线所夹之角即为象片倾斜角 α ，过投影中心S作 α 角的平分线与象面P的交点c称为象等角点。

地等角点：过投影中心S作 α 角的平分线与物面T的交点C称为地等角点。

主合点：真水平线gg与主纵线i v的交点i称为主合点。它是平行于基本方向线的空间直线上无穷远点的象。

主灭点：灭线 $h_k h_k$ 与基本方向线K V的交点K称为主灭点。

主横线：象面上过主点o且垂直于主纵线的直线 $h_o h_o$ 称为主横线。

等比线：象面上过等角点c且垂直于主纵线的直线 $h_c h_c$ 称为等比线。

象水平线：象面上与主纵线垂直的所有直线都叫做象水平线。显然，主横线与等比线分别为过象主点和等角点的象水平线。

以上介绍的就是常用的特别点、线、面的定义和常用符号。此外还有一些简单的数学关系如图1—14所示。

$$\begin{aligned} on &= f \cdot \operatorname{tg} \alpha ; & oc &= f \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} ; & cn &= f \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot \sec \alpha ; \\ iS &= ic = \frac{f}{\sin \alpha} ; & iV &= SK = KC = \frac{H}{\sin \alpha} ; & Vc &= VC = \frac{H-f}{\sin \alpha} ; \end{aligned}$$