

航空摄影测量学

(英国专业学校教学用书)

[英]C.D.伯恩萨德 编

测绘出版社

航空摄影测量学

(英国专业学校教学用书)

[英]C. D. 伯恩萨德 编

周祚义 华彬文 译

林天冲 郑家声

郑家声 校

测绘出版社

内 容 简 介

本书原名《用航空像片测制地图》，是英国东北伦敦综合技术学校土地测量专业的教材。全书有十三章和两个附录，还有24张各种航测仪器全貌照片。内容包括：航摄仪的几何特性；摄影飞行；像片纠正；高程量测；立体模型；图解平面图和影像地图的制作；模拟测图仪和模拟法空中三角测量；解析测图仪和解析摄影测量；辅助数据在解析摄影测量中的应用；地面控制；正交矩阵；航摄基本技术规定等。可供我国测绘专业师生、各工业部门从事测量和航空摄影测量的工程技术人员参考。

航空摄影测量学

(英国专业学校教学用书)

[英] C. D. 伯恩萨德 编

周祚义 华彬文 译
林天冲 郑家声
郑家声 校

测绘出版社出版

一二〇二厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 787×1092 1/16·印张 16 $\frac{5}{8}$ ·字数 41.5 千字

1983年7月第一版·1983年7月第一次印刷

印数 1—5,000 册·定价 1.70 元

统一书号：15039·新293

出版说明

本书原名《用航空像片测制地图》，译成中文后根据其内容及我国习惯，改名为《航空摄影测量学》。它是英国东北伦敦综合技术学校土地测量专业的教材，在目前中等专业航测教材缺少的情況下，特翻译出版供有关同志参考。它内容较全面、深入浅出，多数插图采用二维图形，几何概念简明、清晰，便于学习和领会。本书曾分别在英国伦敦、美国纽约、加拿大多伦多、澳大利亚悉尼出版，是一本颇有特色的专业教材。

本书第一、八、九章由周祚义同志翻译；第二、三、四、十章由林天冲同志翻译；序言、第五、六、七章和附录 B 由郑家声同志翻译；第十一、十二、十三章和附录 A 由华彬文同志翻译。全书由郑家声同志作英文校订。

序

这本书的名称应该叫做《利用航空像片测制地形图的主要理论基础》才较为明确。因此本书所介绍的不是测制地形图的技术规定，而是作为测制地形图基础的数学概念，是作为摄影测量学主要理论基础入门来写的。书的内容限制在利用航空像片测制地形图方面，有了这种明确的概念才能突出重点。当然，根据其他摄影资料测制专题地图，在原理上是相同的，与本书所讨论的摄影测量主要应用相比，实际上测制专题地图的方法更简单。

前两章是关于基本资料的性质、航空摄影机的检校以及拍摄合格的航空摄影资料的方法。有了必要的像片，就可以由不同的方法获得地图细部。本书对这些方法，包括从简单的图解法到复杂的解析法都作了系统的研究。由此可见，作者是要努力为读者提供学习摄影测量成图主要方法的课本，并力求把书写得有系统性和逻辑性。

对这个学科进行理论研究，非常需要附有一组精心设计的练习题，原先就打算这本书能这样安排。遗憾的是，不久就发现这样做将使本书篇幅增大到难以接受的程度，而且也将大大改变这本书的特点。但是，可以体会到，大多数学生对摄影测量的实际应用是特别感兴趣的。因此，为便于理解，编写了一系列练习来阐明各种基本概念，同时还向学生介绍了这个学科的一些实际作业项目。

这本教科书不要求对摄影测量仪器作深入研究，只要求对它们有最低限度的了解。从这种观点出发，有关模拟测图仪器的设计一章，即第八章就特别难写。要求这单独一章对仪器问题作全面论述，这是办不到的。因此只能选一些有代表性的仪器的技术性能加以介绍。而要全面研究则必然需要更详细地了解摄影测量仪器。通过许多仪器厂家印刷精美的散页仪器说明书可以很容易地掌握这类资料。收集到这些资料，将是对教科书有价值的补充。

需要指出的是，文献目录中所列的许多参考文献都是最近国内和国际会议的技术报告。读者看了这些参考文献就可熟悉摄影测量学的最新发展。

还需要指出，本书的大多数插图都是简单的二维示意图。这些图要求明白易懂，此外还要求简单，因为要弄清楚一个概念或想要证明最经常碰到的问题，常常需求助于示意图，如果图很复杂，就很难记住或仿制，这样就会妨碍对概念的理解。因此，本书力求设计和绘出最简单的示意图。在必要时用两个较简单的示意图来代替一个较复杂的图。在此我非常感谢P.Sorrell先生，他为本书绘了全部插图并且提出了许多宝贵的建议。

我请了许多朋友和同事分别看不同的章节，而不是麻烦一个人从头到尾读我的手稿。A.L.Allen博士、P.Dale博士、G.B.Das先生、B.Canzini先生、J.R.Hollwey先生、G.Sear小姐和S.Walker先生对本书提出了宝贵意见，在此向他们表示衷心感谢。Sear小姐和Walker先生还在校核证明方面给予了很大帮助，因此要加倍向他们表示感谢。

最后我要感谢D.Wagstaffe先生，他为我拍摄了几张照片。还要感谢下面这些单位，他们欣然热情地向我提供了编在本书里的许多照片和插图。这些单位是：

地图制图工程有限公司

摄影测量记录杂志编辑部

测量和通用仪器公司

测量和科学仪器公司

卡尔蔡司(耶拿)有限公司

卡尔蔡司(上科恩)有限公司

威特希尔布鲁格有限公司(英国)

C.D.Burnside

1978年9月

目 录

第一章 航空摄影机的几何特性	(1)
1.1 前言	(1)
1.2 简单摄影机的几何学	(1)
1.3 摄影机野外检定的方法	(2)
1.4 物镜的畸变差	(5)
1.5 检定摄影机的各种方法	(8)
1.6 镜头质量	(10)
1.7 分辨率测定	(10)
1.8 光学传递函数	(11)
1.9 航空摄影机	(13)
1.10 厚透镜或复合透镜的几何光学	(16)
第二章 摄影飞行	(19)
2.1 引言	(19)
2.2 摄影机的类型	(19)
2.3 摄影机的检定数据	(21)
2.4 乳剂类型	(21)
2.5 乳剂片基	(22)
2.6 影象位移	(22)
2.7 航高的选择	(23)
2.8 摄影重叠度	(25)
2.9 摄影机光轴的倾斜	(27)
2.10 空中基线的倾斜角	(27)
2.11 像片的航偏角	(27)
2.12 航线的方向	(28)
2.13 摄影飞行的时间	(29)
2.14 云的遮盖	(29)
2.15 航空摄影镶嵌图	(29)
2.16 像片和胶卷的说明注记	(30)
2.17 辅助仪器的利用	(30)
第三章 航空像片的几何性质	(31)
3.1 引言	(31)
3.2 垂直摄影的航空像片	(32)
3.3 关于倾斜像片的比例尺变化	(34)

3.4	在倾斜像片上量测角度	(36)
3.5	透视格网	(40)
3.6	交比	(42)
第四章	用图解法制作平面图	(44)
4.1	引言	(44)
4.2	纠正的方法	(44)
4.3	主点轴射线的采用	(50)
4.4	用辐射线测图	(51)
第五章	制作影象地图的方法	(56)
5.1	引言	(56)
5.2	像片镶嵌图	(56)
5.3	纠正像片的控制镶嵌	(57)
5.4	光学纠正	(58)
5.5	自动调焦装置与合点条件装置	(63)
5.6	光学纠正时辅助资料的利用	(65)
5.7	光学纠正所需要的地面控制	(67)
5.8	控制点在地图修测中的利用	(68)
5.9	微分纠正	(70)
5.10	正射投影仪的工作原理	(70)
5.11	正射像片的特性	(74)
第六章	用量测视差的方法确定高程	(76)
6.1	引言	(76)
6.2	坐标变换	(76)
6.3	视差和视差方程	(78)
6.4	立体观察	(80)
6.5	视差的立体量测	(81)
6.6	视差尺	(82)
6.7	视差量测的精度	(83)
6.8	视差尺量测高程的误差——理论上的考虑	(84)
6.9	视差尺量测高程的实际应用	(89)
第七章	立体模型	(91)
7.1	引言	(91)
7.2	内部定向	(93)
7.3	相对定向的方法	(94)
7.4	用一个投影器的相对定向	(97)
7.5	用两个投影器的相对定向	(98)
7.6	绝对定向的方法	(98)
7.7	相对定向的误差	(104)
7.8	X 视差方程式的利用	(108)

7.9	Y 视差方程式的利用	(110)
7.10	半数值算法相对定向	(111)
7.11	过度改正系数	(113)
7.12	量测上下视差的方法	(116)
7.13	非完整模型和不能进行定向的情形	(116)
7.14	不能进行相对定向的情形	(118)
7.15	内部定向误差的影响	(120)
第八章	模拟测图仪	(125)
8.1	引言	(125)
8.2	采用光学投影的仪器	(125)
8.3	采用辅助望远镜的光学投影器	(133)
8.4	采用测角仪的光学投影器	(137)
8.5	采用机械投影的仪器	(142)
8.6	模拟测图仪器的检验和校正	(153)
第九章	模拟法空中三角测量	(157)
9.1	引言	(157)
9.2	绝对定向的问题	(157)
9.3	长横梁的多倍投影测图仪法	(158)
9.4	利用蔡司平行四边形的经典方法	(159)
9.5	意大利多倍投影测图仪(Nistri Photomultiplex)测图法	(161)
9.6	倾斜测定器的利用	(161)
9.7	采用独立模型的半模拟法	(162)
9.8	航线网空中三角测量的误差累积	(166)
第十章	解析摄影测量	(179)
10.1	引言	(179)
10.2	内部定向和矢量的确定	(179)
10.3	空间交会: 共线方程式	(180)
10.4	共面条件	(184)
10.5	数量积(点积)和矢量积(叉积)	(185)
10.6	比例尺因子和比例尺控制条件	(188)
10.7	像片坐标的量测	(190)
10.8	解析测图仪	(191)
第十一章	区域网的构成和平差	(193)
11.1	引言	(193)
11.2	组成区域网的方法	(193)
11.3	采用多项式的区域网平差	(194)
11.4	以模型为基本单元的区域网平差	(199)
11.5	光束法区域网的组成和平差	(206)
11.6	法方程的组成和解算	(212)

11.7 区域网对控制点的要求	(213)
第十二章 提供控制数据的辅助仪器	(216)
12.1 引言	(216)
12.2 地平线摄影机	(216)
12.3 高差仪和沸点测高仪	(217)
12.4 雷达测高仪和航空断面记录仪	(219)
12.5 辅助数据在解析摄影测量中的应用	(221)
第十三章 地面控制	(223)
13.1 天然地物的利用	(223)
13.2 预设标志的利用	(224)
13.3 高程控制	(225)
13.4 精度要求	(525)
附录A 正交矩阵	(227)
A.1 引言	(227)
A.2 正交矩阵的性质	(227)
A.3 方向余弦矩阵 (R_d)	(228)
A.4 欧拉矩阵 (R_E)	(228)
A.5 近似正交矩阵 (R_A)	(231)
A.6 凯莱(Caylay)正交矩阵和罗得格斯(Rodrigues)正交矩阵(R_C 和 R_R)	(231)
A.7 正交矩阵的Schut 形式(R_S)	(233)
附录B 航空摄影的基本技术规定示例	(236)
1 摄影地区	(236)
2 摄影比例尺	(236)
3 摄影机	(236)
4 对摄影飞行的要求	(236)
5 像片的偏角	(236)
6 摄影机的倾角	(236)
7 云和云影	(236)
8 像片质量	(236)
9 底片号码	(236)
10 航摄略图	(236)
11 应提交的资料	(237)
仪器照片24幅	(238)
参考文献	(250)

第一章 航空摄影机的几何特性

1.1 前言

用航摄像片来编制地形图就必需研究所用航摄机的性能和用航摄机摄得的像片的某些特性。地形图的编制可以说是一种几何过程（假如我们赋予字面上的意义），显而易见，航摄机的几何特性具有十分重要的意义。除此之外，我们也必然对通过摄影处理获得的影像质量感兴趣。地形细部的清晰度，色调范围和反差等因素，不仅影响到影像点位的确定而且也影响到影像所代表的地形要素的识别。因此摄影测量既是一门艺术又是一门科学，也就是像片判读的主观过程的艺术和几何分析的科学方法的结合。由于地形测图要求综合表示出规定的地形要素的位置，对判读的熟练程度常常并不要求很高。因此在这种情况下强调的是这些要素在图幅上的正确位置。另一方面，在其他专业性较强的测图（如土壤调查，地质测量等等）中往往强调另外一面，对这些测图来说，正确判别某些要素要比高精度测定位置更为重要。在某种程度上这种重点的变化表现为摄影机的几何特性和用摄影化学处理得到的影像质量两者之中哪个更加重要。

1.2 简单摄影机的几何学

在这一章中我们将主要讨论摄影机几何学的摄影测量方面。其他一些因素将提到但不作更详细的论述，读者可参阅其他文献。首先我们假设物体距镜头相当远，用一薄透镜成像。这样在物镜的焦面上得到最清晰的像。如图1.1所示。

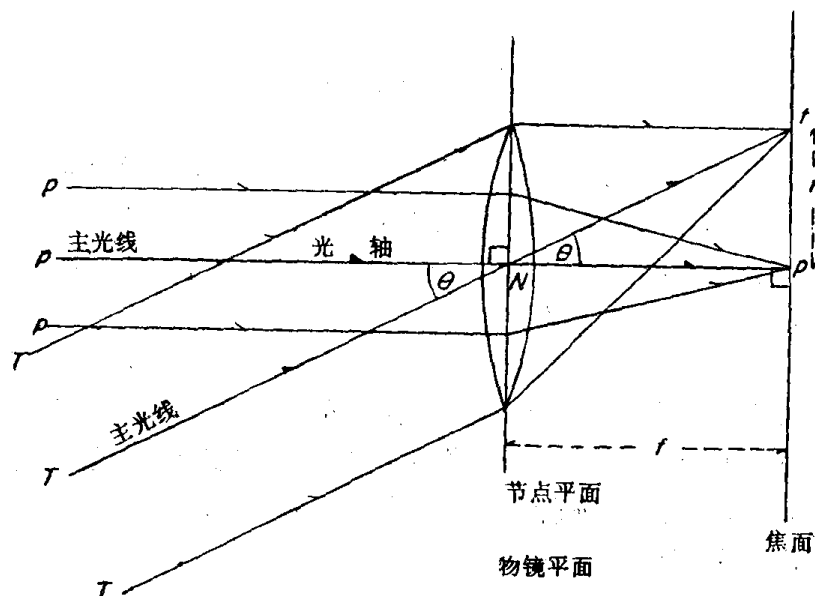


图1.1 薄透镜的几何光学

从远距离物体到物镜的光线（例如 P 或 T ）是平行到达。因此这些光束形成一细小的圆柱形，其最大直径为 $A \cos \theta$ ，这里 A 是物镜的孔径， θ 是光线入射角。常取每一圆柱形光束的轴线代表这一束光线，在本书中称为主光线。我们注意所有主光线都通过位于物镜中心的一点 N ，这个点称之为节点。和物镜平面以及焦平面垂直的主光线（ Pp ），实际上是物镜的光轴。在图上所示的两条主光线在节点 N 上构成 θ 角，而延长下去和焦平面相交于两点 p 和 t 。因此可用这种几何方法确定出远距离物点 P 和 T 的成像点 p 和 t 的位置。我们注意到光束中其他光线在某种程度上都是偏离主光线，而在图上都表示出和焦平面相交于主光线的同一点上。这是一种理想的情况，而实际上用真实物镜是不能够做到的。所有物镜或组合物镜都必定有某些少量的像差（球差、慧差、色差等），这些像差的影响将在本章后面说明。现在我们说明一下这些像差总的影响是降低影像清晰度，使得清晰明显的点变为不清晰的模糊圈，而这些模糊圈的估计中心也许不是图1.1上用几何方法确定的像点。以航摄机摄影这种特殊情况来说物点总是在离物镜较远的距离，所以最清晰的聚焦平面就是物镜的焦平面。因此把航摄机的结构设计成物镜平面和清晰聚焦面相互平行，而且严格按要求的焦距值保持间距。 p 点有专门的含义，称之为像片的主点。

从图1.1中我们看到远距离的点和光轴 PNp 在节点上的夹角为 θ ，这里

$$\tan \theta = \frac{r}{f} \quad (1.1)$$

对摄影机来说，由于 t 到 p 的径向距离已记录在像片上，这个角值可以计算出来。然而为了完成这一计算，还必需知道焦距值 f 和像片主点的位置。这些数据是摄影机几何特性的基本参数，对于大多数测图作业来说都必需很精确地知道这些参数。重要的是，在正常工作条件之下，经过长时间使用后这些参数仍保持不变。这就是说，摄影机结构的几何特性应该尽量稳定。测定这些参数过程称之为摄影机检定过程。

从上面的说明，我们认识到摄影机实际上是一台测角记录仪。根据像片所记录下来的这些数据可以计算出摄影瞬间远距离点例如 T 点在摄站 N 上的张角，基准方向是摄影机物镜的光轴 pNP 。 N 点作为摄站（或空中站）。

1.3 摄影机野外检定的方法

对摄影机进行检定的方法有很多种，其中有些方法将在本章后面说明。现在我们来介绍野外检定的概念，因为这种方法除了经纬仪之外不要求专门的设备，而且这种方法加强了这一概念，即检定就是确定在物方空间的角度和从像片平面上量取的直线量测值之间的相互关系。实质上，我们必需找到节点相对于焦平面的位置。

首先我们假设一理想情况，所有主光线不管它们的入射角如何都通过位于物镜光轴上某处的单一的节点。实际上这是假设薄透镜没有径向和切向畸变，而且影像达到如此清晰，以致于对像点位置没有任何怀疑。以后我们将会明白这些术语意味着关于节点的位置。不管主光线的入射角如何，固定节点的概念给我们提供了一种模式，使我们能够有利地用以作为一种标准去计量其他较不完善的光学镜头。

检定过程的各项步骤如下：

(a) 在地面上安置一组水平排列的标志，这些标志的大小和状态都要使这些标志能够

被选用的经纬仪照准丝精确平分，同时也要使这些标志能够提供最适合的摄影影像以利于在像片上精确量测距离；

(b) 一台适当精度的经纬仪安置在离开这排标志相当距离，并且在中心标志上和这排标志近似垂直。然后以中心标志为基准，观测一系列水平方向，并可以从这些观测值中计算出一系列角度值；

(c) 将摄影机代替经纬仪安置在摄站台上，摄影机的节点垂直于摄站点的上方，并使光轴水平以便摄得一排经过像幅中心的标志图象。我们不知道节点定位有多高精度，假定说为1厘米左右，由于这一误差引起角度观测值的误差将是觉察不到的；

(d) 将这排标志摄成一张像片。接着将摄影机绕光轴旋转 90° 摄下另一张像片。这样在相对于第一张像片上图象的直角方向获得一排标志图象。当要求仔细地测试物镜的参数时，也可以在其他方向上对标志进行更多的摄影；

(e) 在细致地完成上述作业之后，在每张像片上可以量测以中心点为基准的一系列径向距离。这个过程的结果在图1.2上作了图解说明。为了说明计算的方法假设两个标志 T_i 和 T'_i 对称配置在中心标志 T_0 的两边。从经纬仪观测值中我们得到 θ_i 和 θ'_i 角度值，从像片上我们得到两个对称的径向距离 $r_i (= t_0 t_i)$ 和 $r'_i (= t_0 t'_i)$ ，如图1.3所示。

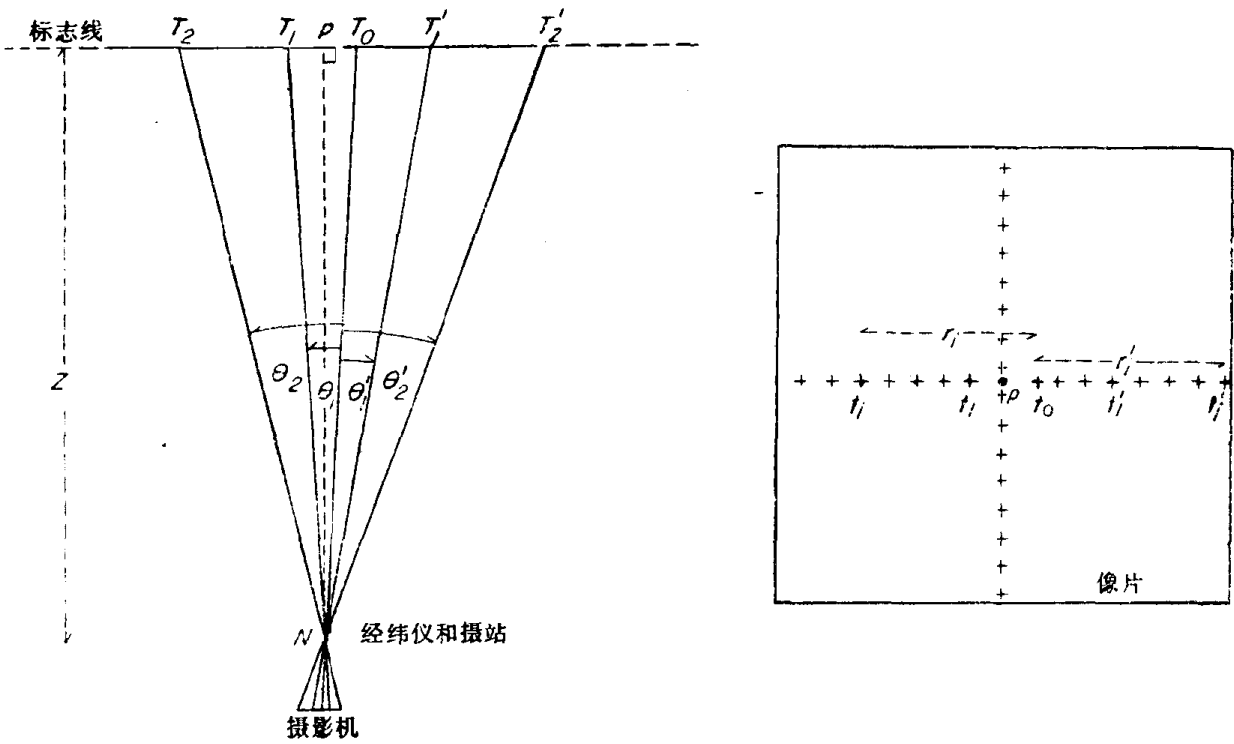


图1.2 摄影机的野外检定法

从图1.3中看到所要求的数值 Np 即是焦距 f ，而 Δr 即是从中心标志点 t_0 到像主点 p 的距离。计算这两个数值最好通过计算角度值 α_i 和 α'_i 来完成。

由图可看出：

$$\begin{aligned} (\alpha + \alpha') &= 180 - (\theta + \theta') \\ &= k_1 \text{ (常数)} \end{aligned} \tag{1.2}$$

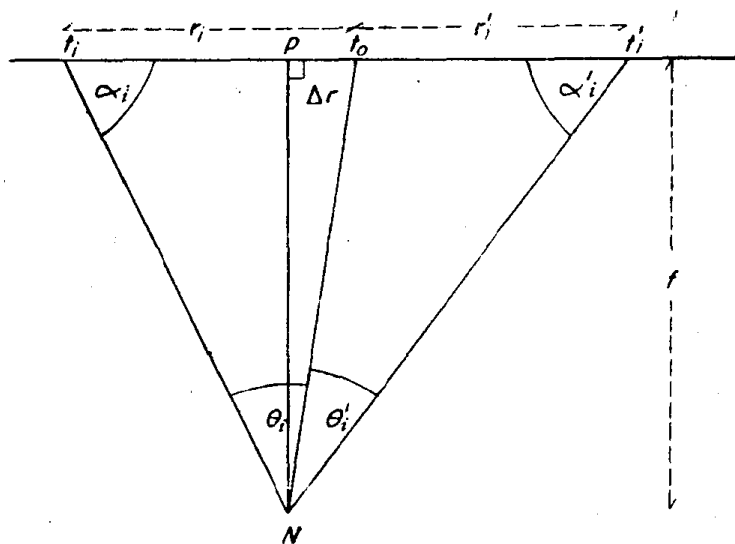


图 1.3 摄影机参数的计算

对两个大三角形，用正弦定律可得

$$\begin{aligned} t_0 N &= \frac{r \sin \alpha}{\sin \theta} \\ &= \frac{r' \sin \alpha'}{\sin \theta'} \end{aligned}$$

因此

$$\begin{aligned} \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha'} &= \frac{r'}{r} \frac{\sin \theta}{\sin \theta'} \\ &= k_2 \text{ (常数)} \end{aligned} \quad (1.3)$$

测量专业的学生可以看出这个几何问题，正是三点后方交会问题中的一种特殊情况，也就是三点在一条直线上。

有多种方法可以联立地解算(1.2)和(1.3)两个方程式。直接将 α' 代入方程式(1.3)来解算，不会次于其他方法。因此

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= k_2 \sin(k_1 - \alpha) \\ &= k_2 (\sin k_1 \cos \alpha - \sin \alpha \cos k_1) \\ \therefore \tan \alpha &= k_2 \sin k_1 - k_2 \cos k_1 \tan \alpha \end{aligned}$$

即是

$$\tan \alpha = \frac{k_2 \sin k_1}{1 + k_2 \cos k_1} \quad (1.4)$$

由于求出角 α 和接着求出角 α' ，我们就可能从两个大三角形中任意一个来算出直线 Nt_0 的数值。知道这些值后，从小三角形 Nt_0p 中就能计算出 Δr 和 f 值。

利用相同的标志在相对于第一张像片旋转了 90° 角的另一张像片上的像，我们可以用两个新的 r 和 r' 值进行重复计算，就得到一组 Δr 和 f 新值。我们取两个 f 值的平均值作为该物镜在这个环形带上的最佳焦距值，而两个 Δr 值确定了 p 点相对于两排标志的位置。

同样方法，其他一对对标志也将得出另外一些 f 值和 p 点的位置。如果物镜没有畸变差，那所有这些求得的值都将在一定的观测误差范围内。实际上，在一个良好结构的物镜上像主

点位置应是不变的，而对所有求得的值常取平均值作为最佳可取值。然而焦距的计算值常常在两个环形带之间显示出一些有影响的差异，这将用物镜径向畸变差来说明。

1.4 物镜的畸变差

径向畸变差是高质量镜头中畸变差的主要分量之一。正如前一节指出的，径向畸变差意味着物镜的有效焦距从一环形带到另一环形带着微量的变化，而对光轴是对称的。以略具不同的方式表示的话，我们可以说成是节点的位置不是固定的，对于不同入射角的光线，节点的位置沿着光轴稍有移动。在图1.4上作了图解说明，当然在图上是大大地夸大了的。近代航摄机宽角物镜节点的这种移位只有 $10\mu\text{m}$ 的数量级。

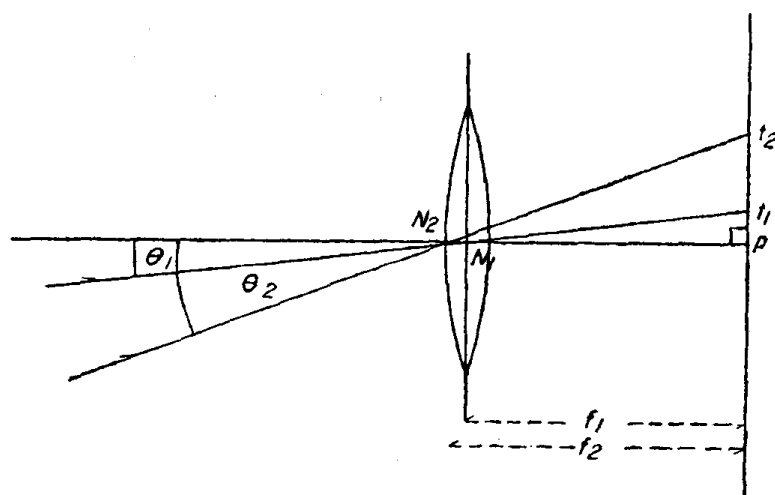


图1.4 物镜的畸变差——节点的移位

通常给出焦距的标称值和一张表示整个视场内畸变差变化的曲线图共同一起来表示这种检定的结果。有一些准则可以用来确定标称值，而这些标称值常常有专门的名称，例如“检定焦距”或“等值焦距”。当提供一条检定曲线时，重要的是要知道用于确定标称值的准则。下面是四条可行的准则：

(a) 标称值是面积加权平均值。这种权是和像片上的环形带的面积成正比，每一环带用一个权，计算出面积权平均值；

(b) 标称值可以这样选出，使得在整个视场内得到的畸变差的最大正值和最大负值在数值上相等；

(c) 标称值可以这样选出，除了在轴上畸变差为零外，指定某一入射角（比如说 45° ）的光线上畸变差为零；

(d) 可以选用靠近光轴的光线（即旁轴光）来确定标称值。

图1.5表示了最新类型的一种镜头的畸变差曲线。从实质上来说，这条曲线描绘了一个真实镜头相对于一个固定焦距为 152.38mm 的模型镜头的偏离。我们假设镜头是按模型镜头方式进行工作的，但事实上这时镜头不是这样，于是就产生了径向畸变差的概念。因为真实像点的位置并不和模型的像点重合，我们说这就是镜头展示出的径向畸变差。这在图1.6上作了说明。在图上我们看到偏离值(Δf)和位置误差(Δr)之间的相互关系，而(Δf)是镜头相

对于模型镜头的偏离值, (Δr) 是以模型镜头为基准的像点位置误差。点 t 是和真实节点相联的真实像点, 而点 t' 是以具有固定节点 N' 的模型镜头为基准的理想像点位置。因此径向畸变差用入射角 θ 表示时, 可给出以下表示式:

$$\Delta r = \Delta f \cdot \tan \theta$$

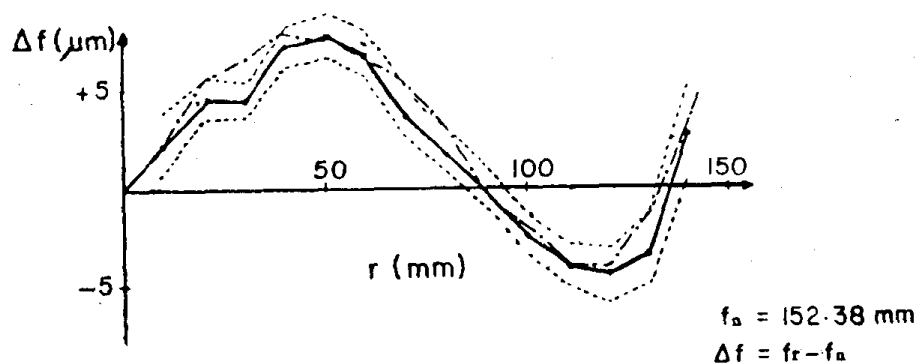


图 1.5 近代摄影机镜头的畸变曲线

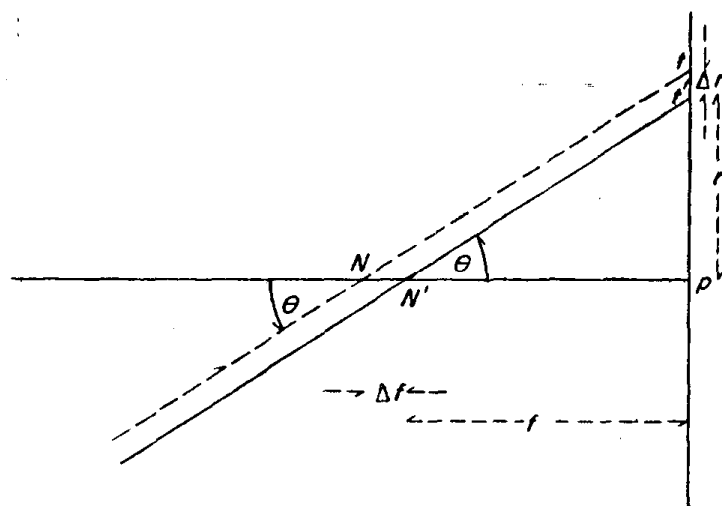


图 1.6 镜头径向畸变差

把像片上的影像移位当作像片尺寸的比例尺变化来描述, 在摄影测量工作中是一种通常的作法。就物镜畸变差来说就可以这样去做, 实际上, 如果我们在安排试验时考虑到这一点, 那末我们就可以通过观测像片内比例尺的变化来检定摄影机。图1.7表示出这时所要求的装置, 并不像前面讲的那样简单。在这种情况下, 摄影机焦平面必需和标志排平行, 并且必须精确知道从摄站到标志排的距离 Z 。这样焦距值的变化表现为比例尺的改变, 而比例尺的变化可以在像片各个环形带上检测出来。因此我们量测地面标志点之间的距离是以 T_0 标志点为基准点, 而摄影机摄站的位置安置成使底点的像定义为像主点。从图上我们看出摄影比例尺可非常简单地由下式得出:

$$\text{环形带 1} \quad S_1 = \frac{r_1}{R_1} = \frac{f_1}{Z}$$

$$\text{环形带 2} \quad S_2 = \frac{r_2}{R_2} = \frac{f_2}{Z}$$

因此

$$S_1 - S_2 = \frac{f_1 - f_2}{Z}$$

$$= \frac{\Delta f}{Z}$$

即是 $\Delta f = Z(S_1 - S_2)$

在这里我们采用 f_2 作为标称焦距，可参阅1.5.3节。

最后在物镜畸变差的课题上需要介绍一下镜头的切向畸变差。假如在复合镜头中光学镜片组合装配时，各个镜片的节点不是严格地在一条直线上，这就产生切向畸变差。在航摄机镜头制造中对它们的装配非常仔细，因此切向畸变的数值比径向畸变差要小得多。用模型镜头来说，假如主光线 Tt 不与认定的光轴 Pp 相交，而是处在略有偏斜的状态，则最接近光轴的点是在 N 点附近，这样就会产生切向畸变差的形式。图1.8表示了这种影响。野外检定法发现切向畸变差的方法是看一排精确地安置在一条直线上的标志在像片上的各像点是不是还在一条直线上。一般说来，下一节介绍的检定方法中任何一种方法都将可能更为适合。一些最新的摄影机检定的结果表示出存在于近代航摄机中的径向和切向畸变差的数值，已在参考文献[1.2]中列出。

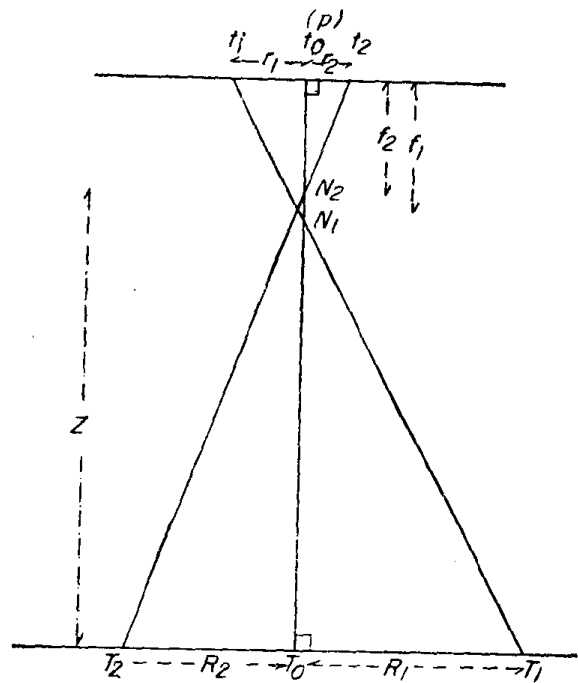


图 1.7 镜头畸变差和摄影比例尺的变化

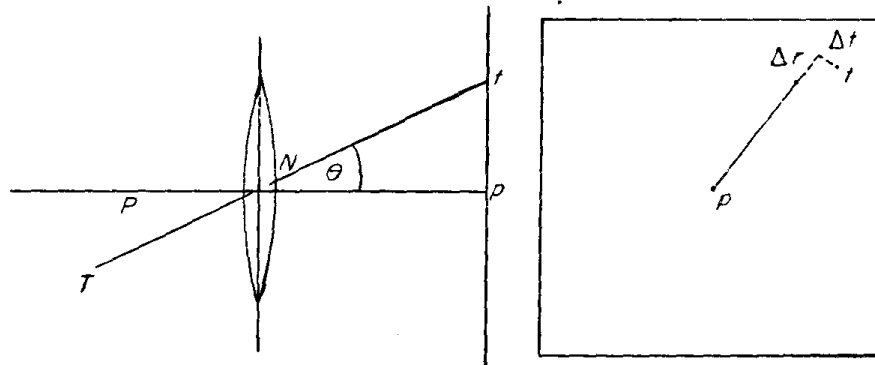


图 1.8 镜头切向畸变差