

B.M. 谢尔久科夫

摄影测量在工业



The diagram illustrates the optical principle of a camera. It shows a large circle representing the lens, with lines converging from its edges to a point below, representing the focal point. Below this, a horizontal line represents the image plane, with three small triangles representing the image of the lens. Lines connect the focal point to the image plane, forming a series of triangles that represent the image formation process. To the right of the diagram is a stylized, geometric representation of a camera body, composed of several rectangular blocks arranged in a stepped fashion.

民用建筑 中的应用

测绘出版社

摄影测量在工业与 民用建筑中的应用

王 黎 译
陈 龙 飞 校

测绘出版社

内 容 简 介

书中叙述了用摄影经纬仪进行测量，来解决工程建筑物的设计、施工、使用和试验中所遇到的各种测量问题的理论基础、外业工作和像片处理方法。

详细阐明了摄影经纬仪测量应用于建筑物测量中的数学基础，测定建筑物安装精度的理论和实践，测定房屋和模型变形的办法，摄影测量在建筑施工测量中的应用等。关于仪器的叙述比较简单，因为它们在有关教科书和科技文献中已有足够完整的介绍。本书可作为解决建筑和施工中有关测量任务的实用手册。

本书的读者对象为从事建筑和施工方面的测量技术人员。它对摄影测量、测量，以及建筑和施工等专业工作者也有参考价值。

摄影测量在工业与民用建筑中的应用

B.M. 谢尔久科夫

王 黎 译
陈 龙 飞 校

测绘出版社出版·发行

测绘出版社印刷厂印刷

*

开本787×1092 1/32·印张9·字数203千字

1981年6月第一版·1981年6月第一次印刷

印数1—6,000册·定价1.40元

统一书号：15039·新175

前 言

摄影测量学是一门根据摄影的、地理的和无线电定位的像片及其他可量度的影像，研究测定物体空间位置的方法的科学。

摄影测量学作为一种与被测对象不接触的测量技术，在解决科学技术研究的许多问题方面，比其他测量方法具有广泛的可能性和显著的优越性。

当前，通过编制地形图和平面图，摄影测量在对领土进行制图学研究方面已获得了最广泛的应用。摄影测量技术也被应用于其他科学技术领域，如工程建筑、林业建设、农业、地质、地理考察、宇宙空间研究及医学等方面。

根据像片绘制地形图和平面图的摄影测量工作叫做地形摄影测量。

地形摄影测量所使用的像片，是用安置在飞机上或架在地面的专门摄影机拍摄的。因此，地形摄影测量有两种：航空（空中）摄影测量和地面立体（摄影经纬仪）摄影测量。

应用于工程建筑物的勘测、设计、施工和使用等方面的摄影测量工作叫做工程摄影测量。

在工程摄影测量中，航空摄影测量广泛应用于各种勘测工作，例如：水利工程，土地整理，林业建设，城市和农村居民区的规划和公用事业建设，地理考察，以及其他科学技术的勘测工作等。

在工程摄影测量中，摄影经纬仪测量应用于山区的道路、地质和水利勘察工作中，以及为了了解安装的精度和变形的大小而对建筑物摄影，也可用来做建筑物的测量工作。

AB 29/98

工程摄影测量学作为一门学科，是与摄影测量学、科学摄影学、精密仪器制造和计算方法的理论与实践的普遍发展分不开的。

摄影测量学在当代的发展，是建立在下列苏联学者工作的基础上的：Н. М. 阿列克索波勒斯基，Н. Г. 克利亚，Н. А. 乌尔马耶夫，Н. А. 勃洛欣，А. С. 斯基里多夫，А. С. 瓦卢耶夫，Ф. В. 德洛贝雪夫，М. Д. 康新，А. Н. 洛巴诺夫，Г. В. 罗马洛夫斯基，Л. Н. 克利亚，Н. Я. 鲍比尔，В. Ф. 杰依涅克，В. Я. 芬科夫斯基，Ф. Ф. 雷先克，И. Т. 安季波夫，И. Ф. 库什京，В. И. 帕夫洛夫，В. Г. 杜宾斯基，以及很多其他学者。

摄影测量应用于工程方面的问题，А. С. 瓦卢耶夫，Н. А. 勃洛欣，И. Р. 札伊托夫，М. Д. 康新，Л. Н. 克利亚，А. Н. 洛巴诺夫，В. Н. 马利亚夫斯基，В. М. 谢尔久科夫，В. И. 费多罗夫，Б. С. 普札诺夫，Ю. Н. 帕克拉季耶夫，С. И. 罗季奥诺夫，Р. Ю. 维卢纳斯，Г. А. 雷斯科夫，П. И. 波利亚科夫，Г. А. 帕蒂钦克，Г. Е. 斯特列利尼科夫，В. К. 利沃夫，А. И. 麦捷尔金，以及很多其他学者与专家的工作是有贡献的。

摄影测量方法比普通测量方法的优越性，在于能测定大量点的坐标，以及可以研究不可到达的对象，此外，摄影测量方法在研究一些动态过程时往往是独一无二的，它能够在一瞬间记录下大量点的空间位置。然而，不应该把摄影测量方法与普通测量方法对立起来，因为普通测量方法在测量个别点的坐标和变形量时比较简单，它还用作摄影测量的控制测量等等。因而在完成某项工作时，应该判断采用普通测量方法和摄影测量方法的可能性和合理性。在很多情况下，恰

当的办法是综合应用这两种方法。

在解决建筑部门的各类测量任务时，如测定房屋的装配精度，测定建筑物的变形和振动，进行建筑测量等等，应用航空摄影有一定的局限性，主要应用摄影经纬仪测量方法，由此，也就决定了本书的内容。

书中总结了在作者领导下，在工业和民用建筑中应用摄影测量的工作经验，部分地也利用了国内外技术文献中发表的著作。

第二章是与 B. B. 帕斯图赫工程师一起写的，第五章是与技术科学硕士 Г. А. 帕蒂钦克一起写的。

作者向参与试验工作的下列同事表示感谢：A. Г. 格里戈连科，C. A. 耶弗季费耶夫，B. B. 科罗文，Г. Б. 需索夫，Г. М. 利特文，Л. И. 马嘉什，B. B. 帕斯图赫，Г. А. 帕蒂钦克和 T. T. 契莫琴。

作者还向为提高本书质量提了很多有益意见和建议的技术科学博士 M. Д. 康新教授表示深切的谢意。

目 录

第一章 摄影测量学基础	(1)
§ 1 摄影测量量测方法的基本概念.....	(1)
§ 2 坐标系.....	(3)
§ 3 定向元素.....	(5)
§ 4 基本摄影方式.....	(7)
§ 5 摄影经纬仪测量的基本公式.....	(9)
§ 6 地面摄影测量的精度.....	(28)
§ 7 摄影仪器.....	(36)
§ 8 立体坐标量测仪.....	(45)
§ 9 全能立体摄影测量仪器.....	(48)
第二章 建筑物的竣工测量	(50)
§ 10 概述.....	(50)
§ 11 最佳摄影参数的计算.....	(51)
§ 12 正直和交向摄影在测定建筑物点坐 标中的应用.....	(57)
§ 13 内、外定向元素的检查.....	(59)
§ 14 野外摄影和测量工作.....	(76)
§ 15 像片的解析处理.....	(84)
§ 16 应用摄影测量方法测定横墙板的安 装精度.....	(97)
§ 17 建筑物倾斜的测定.....	(101)
§ 18 摄影测量方法在施工状况统计中的 应用.....	(104)

§ 19	摄影测量在隧道测量中的应用·····	(105)
第三章	房屋和工程建筑物的变形测定·····	(107)
§ 20	摄影测量方法测定变形的理论基础·····	(107)
§ 21	任意摄影方式时变形的测定·····	(125)
§ 22	大变形的测定·····	(132)
§ 23	在建筑物整体位移时变形的测定·····	(141)
§ 24	测定建筑物变形时定向元素的检查·····	(152)
§ 25	测定建筑物变形的野外工作·····	(169)
§ 26	像片的室内处理·····	(171)
§ 27	沉降裂缝参数的测定·····	(179)
§ 28	建筑机械工作的检验·····	(181)
第四章	建筑物的模型试验·····	(182)
§ 29	基本原理·····	(182)
§ 30	摄影经纬仪近景摄影的特点·····	(183)
§ 31	摄影经纬仪物镜前节点偏心距的测定·····	(191)
§ 32	摄影测量量测法在模型试验中的应用·····	(195)
§ 33	摄影测量在水工建筑物模型试验中的应用·····	(199)
§ 34	不同焦距摄影机所摄像片解析处理的特点·····	(201)
第五章	摄影测量在建筑测量中的应用·····	(203)
§ 35	一般知识·····	(203)
§ 36	野外摄影测量和大地测量工作·····	(204)
§ 37	应用纠正方法编制立面图·····	(217)
§ 38	解析法应用于建筑测量中的特点·····	(230)
§ 39	旋转体状建筑物参数的测定·····	(231)

§ 40	建筑测量中具有未知定向元素的存 档像对的解析处理.....	(250)
§ 41	在全能立体摄影测量仪器上立面图 的编制.....	(260)
§ 42	摄影测量在雕塑品测绘及立体模型 制作中的应用.....	(269)
§ 43	摄影测量在工程建筑事业中应用的 机会与展望.....	(271)
参考文献		(273)

第一章 摄影测量学基础

§ 1 摄影测量量测方法的基本概念

在用摄影测量方法对房屋和建筑物进行各种研究和试验时，一般是用专门的摄影机——摄影经纬仪、快速摄影经纬仪等进行摄影的。在某些情况下，也可采用其他摄影机——普通照相机、电影摄影机等。摄影经纬仪应用得最广泛，所以习惯上在所有情况下常采用摄影经纬仪测量的坐标系和作业公式。

工程摄影测量中有两种方法：摄影测量方法——为量测目的是使用的是独立的单张像片；立体摄影测量方法——利用像对的量测数据进行工作，像对是从空间不同点对物体的同一部分摄得的两张像片。

当只需测定位于建筑物一个平面内的点子的位置时，可以用摄影测量方法。这时像平面（摄影经纬仪安片框平面）常被安置得平行于上述平面。从一个摄站上进行摄影，或许对目标拍摄多次（例如变形测量时），这种摄影就叫做零基线摄影。

当必须测定建筑物点在 X 、 Y 、 Z 轴方向的空间位置时，可应用立体摄影测量方法。这时要从两个点上进行摄影。两点间的距离叫做摄影基线。通常基线是水平的，但是对某些建筑物也可能有必要从垂直基线（一个摄站设于另一摄站之上）上摄影；或者采用重迭摄影方式，这时一个摄影机位于另一摄影机的后面。在后一情况下，基线是顺摄影机

光轴方向布设。例如在隧道测量时，就可能碰到重迭摄影的情况。

根据立体像对可获得所谓人工立体效应，即观察像对时会产生摄影物体形状的空间感。观察立体像对时感觉到的物体的立体影像叫做立体模型。

立体模型内的地物点（例如图 3 中的点 A ）分别以坐标 $x_{左}$, $z_{左}$ 和 $x_{右}$, $z_{右}$ 构像于左、右像片上。

这些坐标值可在各种立体摄影测量仪器上量测，并可根椐这些坐标值按有关公式（§ 5），算出物点的空间坐标 X 、 Y 、 Z 。

作为摄影物体信息载体的像片可以用各种方法加以利用（处理）。现时用得最多的是纠正法、解析法与全能法。

纠正法是把平面物体的倾斜像片改造（纠正）成符合规定比例尺的正射投影的影像。纠正可在 ΦTM , ΦTB 等纠正仪上进行。如果摄影的物体不平，则可用所谓分带纠正的方法，或者应用正射纠正仪、正射投影器、或其他有关仪器来获得平面图。

解析法是在立体坐标量测仪（立体坐标量测仪 1818、自动记录立体量测仪等）上量测像片，并根据像点和物点的坐标关系式计算物点坐标（即获得所谓物体的数字模型）。

计算常按专门程序在电子计算机上进行。解析法既可用于处理单张像片（摄影测量方法），也可用于联合处理像对（立体摄影测量方法）。解析法可获得最精确的成果。

全能法是在全能立体摄影测量（模拟）仪器（立体投影仪、立体测图仪等）上加工立体像对，由此获得线划图。在某些仪器上还可按正射投影获得像片图（正射投影像片或正射投影像片图）。在全能仪上还可利用模拟解析法测定物点坐

标，但精度比解析法要低些。

选择什么样的像片处理方法，决定于提出的任务和规定的测量精度。

现代摄影测量仪器能以 $0.001 \sim 0.02$ 毫米的精度量测像片。测定物点坐标的精度与很多因素有关，如所用的摄影机，摄影条件（摄影基线，到物体的距离），像片量测精度，像片处理方法等。由于这种或那种因素的变化，可以得到不同精度的测量结果。

§ 2 坐标系

摄影经纬仪的摄影机由物镜、外壳和安片框组成。摄影时摄影干板紧贴在安片框上。物镜有两个节点：前节点 S_1 和后节点 S_2 ，其间距离约几个毫米（图 1）。根据几何光

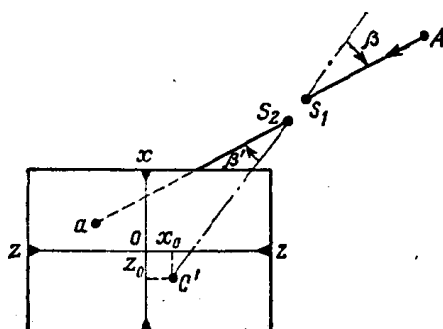


图 1 像片坐标系与内定向元素

学原理，为了便于解释投影光线的路程，引进节点这概念。这时认为，从物体发出的所有投影光线进入物镜前节点 S_1 ，又以同一角度从后节点 S_2 出来，即认为角度 β 等于角度 β' 。投影光线的实际路程稍许不一样，然而引用节点就可以引入

投影中心和中心投影的概念。

若假定像片与后节点 S_2 一起移动, 使点 S_2 与前节点 S_1 重合, 这样并不会改变成像的几何分析结果。这时可把前节点看作公共投影中心 S 。

在摄影机安片框上有两对框标 xx 和 zz , 摄影时它们都构像在像片上。框标应正确安置, 使它们的连线相互垂直。

在摄影经纬仪测量中有三种主要坐标系:

1. 像片平面直角坐标系 xz 。这里坐标原点为点 o —— 像片上 xx 和 zz 轴的交点。

2. 空间摄影测量坐标系 X, Y, Z 。坐标原点是摄影经纬仪安置在基线左端时的物镜前节点 S_1 。 Z 轴常处于铅垂位置。 Y 和 X 轴可占有不同的位置, 这根据摄影条件, 提出的任务, 便于量测成果的数学处理等来选定。其中之一是 Y 轴与左摄影机光轴方向重合 (图 2)。在摄影测量中常采

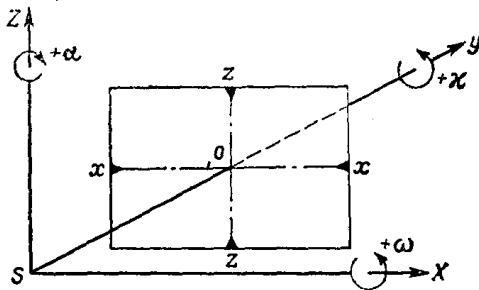


图 2 空间摄影测量坐标系与外定向角元素的符号规则

用右手空间坐标系。

3. 空间大地坐标系 X_r, Y_r, Z_r 。这种坐标系可以是国家坐标系, 或假定坐标系, 一般来讲, 它与摄影测量坐标系

不一致。

物点的大地坐标是根据摄影测量空间坐标，经坐标轴的平移和旋转换算而求得的。

如果只要求出物点间的相对位置，则只要测定它们的摄影测量坐标就够了，用不着换算成大地坐标。在摄影经纬仪测量用于工程建设事业中时（进行建筑施工测量，测定变形，丈量土方，研究机器及结构的工作状态等等）。常常就是这样做的。

§ 3 定向元素

从投影光线的总体（投影光束）中我们分出一条主要投影光线。

垂直于像平面的投影光线 So' 称作主光线（见图 1）。在制作摄影机时，常常要求这样安置物镜：使物镜主光轴垂直于像平面（安片框平面），就是说，物镜主光轴与摄影机主光线重合。因此常称摄影机主光线为摄影机光轴。

为了根据像片测定物点的空间坐标，必须知道像片在摄影时的空间位置。像片的空间位置用九个参数确定——三个内定向元素和六个外定向元素。

内定向元素决定投影中心（物镜后节点 S_2 ）相对于像片坐标系的位置。与内定向元素有关的是摄影机焦距 f 和像主点坐标 x_0, z_0 。

物镜后节点 S_2 与像平面（摄影机安片框平面）间的距离叫摄影机焦距。

主光线与像平面的交点叫像主点。制作摄影机在安装安片框的框标 xx, zz 时，力求使像主点 o' 与像片坐标原点 o （框标 xx, zz 连线的交点）重合。然而由于框标安置不够

精密，致使像主点 o' 可能与像片坐标原点 o 不重合，具有差值 x_0 、 z_0 。校正摄影机时，力求把 x_0 、 z_0 调得最小，因而框标常常制成可移动的。用解析法处理量测结果时，像主点与坐标原点的不重合可用加改正的办法处理，因而这时无需校准框标位置，而且有时还根本不必测定主点位置（即不必测定 x_0 、 z_0 ）。

若像片要在全能仪上加工，则最好校正框标，使坐标原点与像主点精确重合（ x_0 、 z_0 值不应超过 0.01~0.03 毫米），或者在检定时测定 x_0 、 z_0 的精确值。

外定向元素决定像片相对于采用的空间坐标系的位置。像片的空间位置由六个参数确定，其中三个线元素、三个角元素。

外定向线元素是投影中心的坐标 X_s 、 Y_s 、 Z_s 。投影中心坐标可在大地坐标系、假定坐标系、或空间摄影测量坐标系中求出。

外定向角元素根据所用的定向系统可具有多种形式。

可以采用下述角度作为外定向的角元素（图 2）： α ——像片绕 Z 轴旋转的偏角； ω ——像片倾角（像片绕 X 轴的转角）； κ ——像片旋角（像片绕摄影机光轴在自身平面内的转角）。

还可采用下述角度作为外定向角元素：摄影机光轴的方位角 A_0 ，光轴倾角 ω ，以及像片在自身平面内的旋转角（旋角） κ 。

角度 α 和 A_0 的差别在于，角 α 是从空间摄影测量坐标系 Y 轴的正方向起算的，而角 A_0 是从大地坐标系 X_r 轴的正方向起算的。

对于像对，由于是用同一架摄影机进行摄影的，故可认

为它们的内定向元素相同。因而像对的空间位置是由 15 个参数决定，其中 3 个内定向元素，12 个外定向元素。

可是由于在实际工作中有时碰到摄影干板没有紧贴摄影机安片框平面，使内定向元素发生改变，因而在一般情况下应认为要用 18 个定向元素来决定像对的空间位置。

对于摄影经纬仪立体像对来时，选定的外定向元素系常常不包括基线右端（严格地说是安在基线右端的摄影机的投影中心）的坐标。这时，外定向元素为： $X_{s_{左}}, Y_{s_{左}}, Z_{s_{左}}$ ——左投影中心的坐标； A ——基线方位角； $\varphi_{左}$ ——基线与左摄影机光轴间的水平夹角； ω ——基线左端摄影机光轴的倾角； κ ——左像片旋转角（旋角）； B ——基线水平距； B_z ——右投影中心相对左投影中心的高差； γ ——交角（安置在基线左、右端的摄影机两光轴间的水平夹角）； $\omega_{右}$ ——基线右端摄影机光轴的倾角； $\kappa_{右}$ ——右像片旋角。

这些数值常常可在摄影的时候确定，所以选择这种外定向系统。

有时不用角度 φ ，而用 α 角——空间摄影测量坐标系 Y 轴与摄影机光轴间的夹角，在有些情况下， α 角是基线的垂线与摄影机光轴间的夹角●。

§ 4 基本摄影方式

与航空摄影比较，摄影经纬仪摄影的特点之一，是在摄影经纬仪摄影时可以测定投影中心的坐标，并安置预定的外定向角元素，这就使像片的摄影测量处理方便多了。

摄影时摄影机的光轴相对于水平面和基线可安置成不同

●如果选择垂直于基线的方向作为空间摄影测量坐标系的 Y 轴，则这两个 α 角值一致。

的状态。按照安置外定向角元素的不同，摄影方式（形式）可分下列几种：正直摄影，等偏摄影，交向摄影，等倾摄影和任意摄影。

在正直摄影时，左、右摄影机光轴都水平安置，且垂直于基线 B （图3a），像平面处于竖直位置。正直摄影方式较常用，一般说来它的精度较高，计算空间坐标的公式也简单。

等偏摄影时，左、右摄影机光轴向左或向右偏转同一角度 α ，为的是扩大摄影张角（图3，b，c）。这样一来，从一条基线上可获得三个立体像对：正直摄影立体像对。左偏立体像对和右偏立体像对。

交向摄影时，左、右像片的光轴相交成一个角度 γ （图

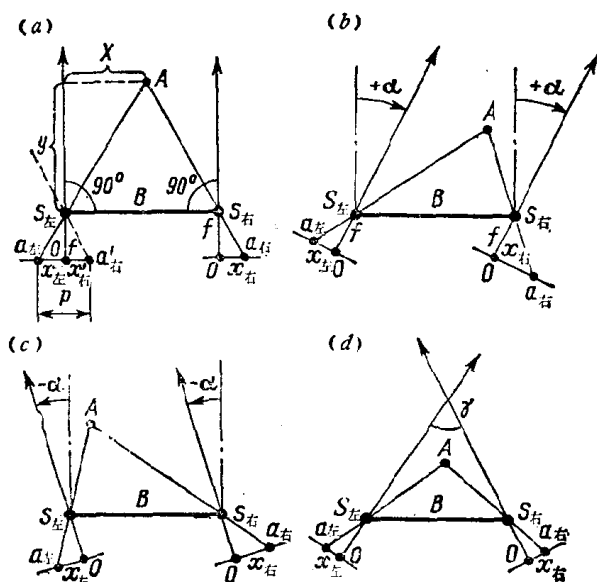


图 3 基本摄影方式