

工程建筑物 下沉和位移 摄影观测指南

王绍林 杨伦 译 · 黄绍东 校

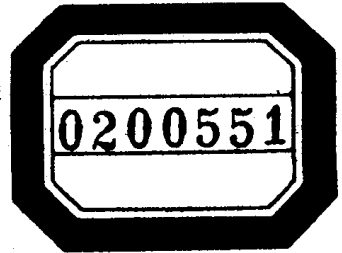


煤炭工业出版社

水利部科技情报所	
图号	14102
分类号	TU433.

工程建筑物下沉 和位移摄影观测指南

〔苏〕B.K. 鲍利涅兹 等
王绍林 杨 伦 译
黄绍东 校



006112 水利部信息所

煤炭工业出版社

14/62

2W70/22

内 容 提 要

本书主要用于工程建筑物的变形观测。书中就摄影测量方法的基本理论、作业方法、摄影方式和最佳摄影参数的选择、计算公式、误差分析、室内象片量测和成果解析处理等各个方面，都逐一作了详细介绍。对摄影测量方法应用于模型试验的特点也作了简要叙述。

责任编辑：吴 志 莲

В.К.Бобринецким, В.М.Сердюковым,

П.Е.Стрельниковым, А.К.Шумковым.

РУКОВОДСТВО ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ЗА ОСАДКАМИ И СМЕЩЕНИЯМИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ФОТО ГРАММЕТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

МОСКВА, <НЕДРА> 1979

工程建筑物下沉 和位移摄影观测指南

〔苏〕В.К.鲍利涅兹等

王绍林 杨 伦 译

黄绍东 校

*

煤炭工业出版社 出版

（北京安定门外和平北路16号）

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$

印张 $4^{7/8}$

字数 104 千字

印数 1—3,790

1984年 8 月第 1 版

1984年 8 月第 1 次印刷

书号 15035·2632 定价 0.65 元

译者的话

近年来,随着电子计算技术的普遍应用,地面摄影测量逐渐向非地形测图方面发展。由于摄影象片所储存的信息非常丰富,并能长期保存,又可利用它获得对被观测物体移动和变形的瞬时描述,所以在建筑物变形、地表的下沉和位移、滑坡、冰川移动、水坝、模型试验以及生物、气象、海洋、医学、考古等各个学科领域的研究工作中,都已经采用了摄影测量方法。目前摄影测量方法在上述领域中的应用已经成为一个新的分枝,并且越来越引起人们对它的重视。

本书1978年3月经苏联部长会议测绘总局批准,主要用于工程建筑物的变形观测。书中就摄影测量方法的基本理论、作业方法、摄影方式和最佳摄影参数的选择、计算公式、误差分析、室内象片量测和成果解析处理等各个方面,都逐一作了详细介绍。对摄影测量方法应用于模型试验的特点也作了简要叙述。

本书除专供从事工程建筑物设计、建造和变形观测的科技人员使用外,还可供从事其它近景摄影测量工作的科技人员和大、中专院校有关专业的师生参考。

中国矿业学院马伟民副教授和地质部物探局翁祖平工程师积极倡议翻译这本指南,并对我们的工作给予很大帮助。在此向他们表示衷心感谢。

由于水平所限,书中错译之处可能不少,恳请读者批评指正。

一九八三年一月

前 言

为测定工程建筑物下沉和位移而进行的仪器观测工作是工程建筑实践中的重要任务之一。在建筑物设计、施工和生产的整个过程中均应进行这种观测工作。

在工程建筑物下沉和位移的各种观测方法中，摄影测量方法占有重要地位。因为这种方法花费较少的劳动，却可得到大量的测量资料。它的主要优点是在一瞬间即可将建筑物上的许多点同时观测下来，此点对于确定建筑物的动态变形非常重要。

摄影测量方法虽然具有上述优点，但具体应用时还应依据一定的条件。采用摄影测量方法测定下沉和位移时，应选择花费劳动量最少的观测对象。这类观测对象有：需按很多测点确定其变形的工程建筑物和用其它方法进行观测很困难或经济上开支很大的建筑物。所以选择建筑物的变形观测方法时，如果从象片上（或象对上）获得的有用资料愈多，摄影测量方法就愈有效。

本指南是由苏联测绘总局所属的测量科学研究所编写的。参加编写的人有：B.K.鲍利涅兹，B.M.谢尔德柯夫，П.Е.斯特列里尼柯夫和A.K.苏姆柯夫。

目 录

第一章 摄影测量方法的理论基础	1
§ 1 坐标系统和方位元素	1
§ 2 地面地形摄影测量的几种方式	3
§ 3 下沉和位移的确定方法	4
§ 4 确定下沉和位移的基本公式	6
§ 5 变形测定工作的一般程序	22
第二章 摄影测量的技术设计和准备工作	23
§ 6 概述	23
§ 7 技术设计的编写	23
§ 8 摄影测量的准备工作	42
§ 9 模型变形测定工作的特点	43
第三章 摄影测量的外业工作	49
§ 10 按位移法确定变形时的外业工作	49
§ 11 按坐标法确定变形时的外业工作	51
§ 12 摄影测量仪器	52
§ 13 测站上的摄影工作程序	56
第四章 摄影测量的内业工作	58
§ 14 概述	58
§ 15 象片量测和量测仪器	59
§ 16 象片内、外方位元素的检查	62
§ 17 按量测位移值确定变形时量测成果的数学处理	81
§ 18 按量测坐标值确定下沉和位移时量测成果的 数学处理	86
§ 19 建筑物整体移动时变形的测定	95

§ 20 根据基准线确定下沉和位移时量测成果的 数学处理	102
§ 21 长度很大的建筑物之量测成果的数学处理	110
附录	123
1. 采用坐标法时的象片量测和变形计算手簿	123
2. 采用位移法时的象片量测和变形计算手簿	128
3. 摄影经纬仪内方位元素的测定	133
4. 摄影经纬仪物镜前节点偏心距的测定	136
5. 底片的室内处理	141
6. 摄影经纬仪的检验与校正	143
7. 倾斜摄影附件	145
8. 干板长边竖直放置时的摄影装置	146
9. 象片量测记录簿格式	147

第一章 摄影测量方法的理论基础

§ 1 坐标系统和方位元素

地面地形摄影测量有三种主要坐标系统:

1. 象片平面直角坐标系 xOz 。取 $x-x$ 轴与 $z-z$ 轴的交点 O 作为坐标原点(见图1);

2. 空间摄影测量坐标系 $X、Y、Z$ 。取摄影经纬仪置于基线左端点时的物镜前节点作为坐标原点。一般取竖直方向作为 Z 轴, X 轴和 Y 轴的位置可根据摄影条件、工作任务以及量测成果的数学处理是否方便等情况进行选择。其中方法之一是取 Y 轴与左摄影机的光轴方向重合(见图2);

3. 空间大地测量坐标系 $X_{\text{大地}}、Y_{\text{大地}}、Z_{\text{大地}}$ 。该坐标系可以是国家统一坐标系,或者是独立的坐标系。在一般情况下,大地测量坐标系与摄影测量坐标系不重合。可以取建筑物坐标系作为大地测量坐标系。这种坐标系按任务之不同,可采用左手系或右手系。

根据象片测定空间坐标和建筑物点的变形,必须知道象片在拍摄时所处的空间位置。该位置由9个参数决定,即3个内方位元素和6个外方位元素。

内方位元素包括摄影机焦距 f 和象主点的坐标 $x_0、z_0$,它们决定着投影中心(物镜后节点)在象片坐标系中的位置。

外方位元素决定着象片在所采用的空间坐标系中的位置。

投影中心的坐标 X_S 、 Y_S 、 Z_S 是外方位线元素。其值可以在大地测量坐标系、独立坐标系或空间摄影测量坐标系中确定。

由于所采用的方位系统不同，外方位的角元素具有不同的形式。

可取如下角度作为外方位角元素，即 α ——象片偏角（绕 Z 轴转动）； ω ——象片倾角（绕 X 轴转动）； κ ——象片旋角（绕摄影机光轴转动）。角度 α 、 ω 、 κ 取正值时如图2所示。

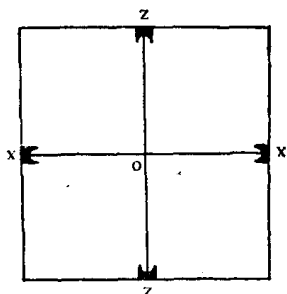


图 1 象片平面直角坐标系

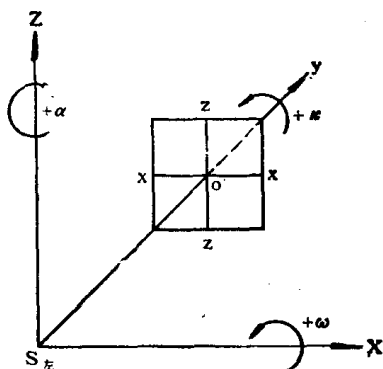


图 2 空间摄影测量坐标系

还可取摄影机光轴方向的方位角 A_0 、光轴的倾角 ω 和象片的旋角 κ 作为外方位的角元素。

角度 α 和 A_0 的区别在于： α 角是从摄影测量坐标系的 Y 轴开始沿正方向转动的角度，而 A_0 角是从大地测量坐标系的 $X_{大地}$ 轴开始沿正方向转动的角度。

象对的空间位置是由15个方位元素决定的（用一架摄影机进行摄影），其中包括3个内方位元素和12个外方位

元素。

对于一副象对，常常采用不包括摄影基线右端投影中心坐标的外方位元素系统。在这种情况下，外方位元素将有： $X_{S左}$ 、 $Y_{S左}$ 、 $Z_{S左}$ ——左投影中心的坐标； A ——摄影基线的方位角； $\varphi_{左}$ ——基线与左端摄影机光轴之间的水平角； $\omega_{左}$ ——在基线左端摄影时，摄影机光轴的倾角； $\kappa_{左}$ ——左象片的旋角； B ——摄影基线的水平长度； B_z ——右投影中心相对左投影中心的高差； γ ——交角（在基线左端和右端摄影时两光轴之间的水平交角）； $\omega_{右}$ ——在基线右端摄影时摄影机光轴的倾角； $\kappa_{右}$ ——右象片的旋角。

选择这种方位系统是因为上述各元素值均可以在立体摄影的时候加以测定。

§ 2 地面地形摄影测量的几种方式

摄影时摄影机的光轴相对于水平面和摄影基线可处于各种不同的位置。根据安置外方位角元素的不同，摄影测量可分如下几种方式：正直摄影、等偏摄影、交角摄影、等倾斜摄影和任意摄影。

正直摄影方式是摄影时左右摄影机光轴保持水平，且与摄影基线相垂直（见图 3 a），象片平面处于竖直位置。正直摄影方式应用较广泛，摄影效果好，精度高，计算空间坐标的公式比较简单。

等偏摄影方式是摄影时左右摄影机的光轴向左或向右偏转同一角度 α （见图 3 b）。这样在一条摄影基线上可以得到三副象对：正直摄影象对、左偏摄影象对和右偏摄影象对。

交角摄影方式是摄影时左右摄影机的光轴交成一个 γ 角（见图 3 c）。

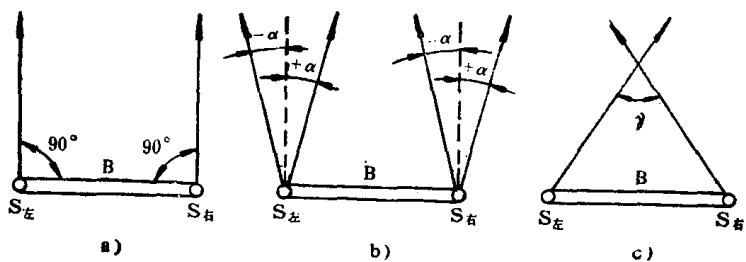


图 3 摄影方式

a—正直摄影；b—等偏摄影；c—交向摄影

等倾斜摄影方式是摄影时左右摄影机光轴倾斜同一个 ω 角。这种方式多用于高矗建筑物摄影。

任意摄影方式是摄影时摄影机光轴位置是任意的。

象片上各点与相应物方点之间坐标关系式的形式以及在所采用的外方位元素转角系统中，摄影测量坐标与大地测量坐标之间的相互换算公式的形式，均与所选择的摄影测量坐标系统之Y轴的方向有关。

§ 3 下沉和位移的确定方法

用摄影测量方法确定下沉和位移（以下简称为变形）主要是根据初次摄影（变形前拍摄的）的象片和变形周期摄影（变形后拍摄的）的象片量测出建筑物各点的坐标差值。

由于工作任务、摄影条件和建筑物类型的不同，可以采用单片摄影测量方法（在一个平面内确定变形）和立体摄影测量方法（确定任何方向的变形）。在上述两种测量方法中

均可按坐标法或位移法进行象片量测。因此，变形确定方法也与象片量测方法有关。

单片摄影测量一般是在平面XOZ中确定变形，就是在平行于象平面（摄影机的承影面）的平面内确定变形。

为了确定变形，于建筑物变形前和变形后，在不改变摄影机位置的情况下（此时方位元素保持不变），对建筑物进行摄影。进行单片摄影测量时，应使承影面与建筑物的主要立面保持平行。立体摄影测量时，可按X、Y、Z轴或按任意给定的方向确定建筑物的变形。

由于安置方位元素时不可避免地要产生误差，因此对坐标和位移的量测值必须加入相应的改正数。

根据线方位元素精度的规定，变形周期摄影可分三种情况：

1. 投影中心位置非常稳定时所进行的变形周期摄影（例如在专门设置的摄影台上进行摄影和仪器位置固定不动对快速流变过程所进行的摄影等等），或者投影中心位置有微小变动时所进行的摄影（例如，摄影机的整置位置与初次摄影时所处的位置不同，但其误差在允许范围之内）。

2. 变形周期摄影时的测站点位于初次摄影之测站点的附近（例如初次摄影时的测站点的标志已经被损坏，摄影机大体整置在原先的位置上）。

3. 变形周期摄影时的测站点与初次摄影时的测站点相距很远。

在上述三种情况下，均可采用坐标法和位移法确定变形。但对于前两种情况，按位移法确定变形比较好，可以保证较高的精度。对于第3种情况，当投影中心的位置变动很大时，按坐标法确定变形比较好。此时量测成果的数学处理

比较简单，且能达到与位移法大体相同的精度。此外，这种象片按位移法进行量测比较困难，有时由于景物配置失真及比例失真而无法进行量测。

对于第1、2种情况，如按坐标法量测象片，有时难于确定出象控点的坐标。因此，必要时可按初次摄影的象片确定象控点的坐标。

对于第3种情况，象控点的坐标应采用大地测量方法确定，并要求保证足够的精度。

在所有情况下，如果在初次摄影与变形周期摄影之间，象控点的位置有可能变动，则不论初次摄影还是变形周期摄影均应确定象控点的坐标。

§ 4 确定下沉和位移的基本公式

进行单片摄影测量时，按下式确定变形值：

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= X_1' - X_1 = \frac{Y}{f} x_1' - \frac{Y}{f} x_1 = \frac{Y}{f} \Delta x_1 = M \Delta x_1 \\ \Delta Z &= Z_1' - Z_1 = \frac{Y}{f} z_1' - \frac{Y}{f} z_1 = \frac{Y}{f} \Delta z_1 = M \Delta z_1 \end{aligned} \right\} (1-1)$$

式中 X_1, Z_1, X_1', Z_1' ——分别为变形前和变形后建筑物点的坐标；

x_1, z_1, x_1', z_1' ——分别为变形前和变形后建筑物点在象片上的坐标；

$\Delta x_1 = x_1' - x_1, \Delta z_1 = z_1' - z_1$ ——点在象平面内的位移；

Y ——至建筑物立面的竖距；

M ——成象比例尺的分母。

按位移法确定变形时, Δx_i 和 Δz_i 之值直接根据象片确定。为了量测位移值 Δx_i 和 Δz_i , 将初次摄影的象片与变形周期摄影的象片一起进行量测。为此目的, 可将初次摄影的象片置于立体坐标量测仪的左承片盘上, 而将变形周期摄影的象片置于右承片盘上。量测之前, 按框标使象片定向, 并测出各标尺的零位 MO_x 、 MO_z 、 MO_p 、 MO_q 。此后转动手轮和脚轮, 照准象控点和待定点, 并按立体坐标量测仪的标尺读取读数。

当量测在同一测站上于不同时期拍摄的象片时, 对于产生位移的那些点, 即可观察到立体效应。位移值 Δx_i 、 Δz_i 按左右视差螺旋和上下视差螺旋标尺测定, 并按下式进行计算:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_i &= -(p_i'' - MO_p) = -\Delta p_i' \\ \Delta z_i &= -(q_i'' - MO_q) = -\Delta q_i' \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

式中 p'' 、 q'' ——分别为照准待定点时左右视差螺旋和上下视差螺旋标尺的读数;

$\Delta p'$ 、 $\Delta q'$ ——位移的量测值。

为了提高精度, 对位移量测值 Δx_i 、 Δz_i 加入内外方位元素误差影响改正数。这些改正数按象控点坐标量测成果确定。可以利用有标记的点作为象控点。

如果象控点是固定不动的, 可用大地测量方法测定其坐标, 整个观测过程中只测定一次即可。如果象控点与待定点一起产生了移动, 则每次摄影时均应用大地测量方法测定象控点的坐标。象控点的空间移动值 $\Delta X_{\text{象}}$ 、 $\Delta Y_{\text{象}}$ 、 $\Delta Z_{\text{象}}$ 的测定精度应比变形测定精度高 2~3 倍。

如果象控点是固定不动的, 则它的量测位移值应等于零。假若位移值不等于零, 则说明存在着方位元素误差。这

些位移值是对各待定点的量测位移值加入方位元素误差改正数的起始数据。经过改正的位移值 $\Delta x_i'$ 和 $\Delta z_i'$ 可用来按式 (1-1) 计算待定点的变形。 $\Delta x_i'$ 和 $\Delta z_i'$ 按下式计算:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_i' &= \Delta x_i + \delta x \\ \Delta z_i' &= \Delta z_i + \delta z \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

用单片摄影测量方法确定变形值 Δx_i 、 Δz_i 时, 必须知道待定点的成象比例尺。该比例尺按竖距 Y 和摄影机焦距 f 确定, 或者按下式确定:

$$\frac{1}{M} = \frac{l}{L} \quad (1-4)$$

式中 l ——在象片上量得的象控点 (或轮廓点) 之间的距离;

L ——在实地上量得的相应点间的距离。

摄影时按给定值设置内、外方位元素非常重要。当干板被紧紧地压在摄影机的承影面上时, 内方位元素误差最小。外方位角元素的设置在于使承影面 (干板平面) 平行于位移量 (ΔX 、 ΔZ) 所在的平面。当对楼房进行摄影时, 按摄影经纬仪的水准器将摄影机的承影面置于竖直位置。

象片的方位元素误差对按式 (1-1) 求得的变形值有一定的影响。变形测定的中误差按下式计算:

$$\left. \begin{aligned} m_{\Delta x} &= \frac{\Delta X}{\Delta x} m_{\Delta x} = M m_{\Delta x} \\ m_{\Delta z} &= \frac{\Delta Z}{\Delta z} m_{\Delta z} = M m_{\Delta z} \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

为了提高变形测定的精度, 可减小竖距 Y 或应用焦距大

的摄影机，以增大成象比例尺。

用立体摄影测量方法按位移量测值确定变形时，首先应量测左摄影站的初次摄影象片和变形周期摄影象片，并求出坐标 $x_{左}$ 、 $z_{左}$ 和位移 $\Delta x_{左}$ 、 $\Delta z_{左}$ ，具体作法与单片摄影时一样。然后量测右摄影站的初次摄影象片和变形周期摄影象片，并确定出坐标 $x_{右}$ 、 $z_{右}$ ，位移 $\Delta x_{右}$ 、 $\Delta z_{右}$ 。量测 $z_{右}$ 和 $\Delta z_{右}$ 是为了提高下沉值的确定精度。

正直摄影时按位移量测值确定变形的计算公式为：

$$\Delta Y = -Bf \frac{(\Delta x_{左} - \Delta x_{右})}{(x_{左} - x_{右})^2 + (x_{左} - x_{右})(\Delta x_{左} - \Delta x_{右})} \quad (1-6)$$

$$\Delta X = B \frac{x_{左} \Delta x_{右} - x_{右} \Delta x_{左}}{(x_{左} - x_{右})^2 + (x_{左} - x_{右})(\Delta x_{左} - \Delta x_{右})} \quad (1-7)$$

$$\Delta Z_{左} = B \frac{(x_{左} - x_{右}) \Delta z_{左} - z_{左} (\Delta x_{左} - \Delta x_{右})}{(x_{左} - x_{右})^2 + (x_{左} - x_{右})(\Delta x_{左} - \Delta x_{右})} \quad (1-8)$$

$$\Delta Z_{右} = B \frac{(x_{左} - x_{右}) \Delta z_{右} - z_{右} (\Delta x_{左} - \Delta x_{右})}{(x_{左} - x_{右})^2 + (x_{左} - x_{右})(\Delta x_{左} - \Delta x_{右})} \quad (1-9)$$

$$\Delta Z_{平均} = \frac{\Delta Z_{左} + \Delta Z_{右}}{2} \quad (1-10)$$

如果在象平面上位移值不超过0.3~0.4毫米，则可用如下简化公式代替公式 (1~6)~ (1-10)：

$$\Delta Y = -Bf \frac{\Delta x_{左} - \Delta x_{右}}{(x_{左} - x_{右})^2} \quad (1-11)$$

$$\Delta X = B \frac{x_{左} \Delta x_{右} - x_{右} \Delta x_{左}}{(x_{左} - x_{右})^2} \quad (1-12)$$

$$\Delta Z_{\text{左}} = B \frac{(x_{\text{左}} - x_{\text{右}}) \Delta z_{\text{左}} - z_{\text{左}} (\Delta x_{\text{左}} - \Delta x_{\text{右}})}{(x_{\text{左}} - x_{\text{右}})^2} \quad (1-13)$$

$$\Delta Z_{\text{右}} = B \frac{(x_{\text{左}} - x_{\text{右}}) \Delta z_{\text{右}} - z_{\text{右}} (\Delta x_{\text{左}} - \Delta x_{\text{右}})}{(x_{\text{左}} - x_{\text{右}})^2} \quad (1-14)$$

按公式 (1~6) ~ (1~14) 进行计算时应注意: 如果 Δx 、 Δz 之值是根据左右视差螺旋和上下视差螺旋的量测成果求得的, 则位移值应按式 (1-2) 确定。

根据量测位移值确定变形的中误差按下面公式计算:

$$m_{\Delta Y} \approx \frac{Y^2}{Bf} m_p \sqrt{2} \quad (1-15)$$

$$m_{\Delta X} \approx \frac{Y^2}{Bf^2} m_p \sqrt{x_{\text{左}}^2 + x_{\text{右}}^2} \quad (1-16)$$

$$m_{\Delta Z} \approx \frac{Y^2}{Bf^2} m_p \sqrt{p^2 + 2z^2} \quad (1-17)$$

当各摄影参数均为最佳值时 ($p_{\text{最佳}} = x_{\text{max}}$), 为了预计确定变形的中误差, 可用如下简化公式代替式 (1-16) 和式 (1-17):

$$m_{\Delta X_{\text{max}}} \approx \frac{B}{p} m_p = \frac{Y}{f} m_{\Delta x} \quad (1-18)$$

$$m_{\Delta Z_{\text{max}}} \approx \frac{B}{p} m_p \sqrt{3} \quad (1-19)$$

上述公式是根据式 (1-16) 和 (1-17) 求出的, 此时认为 $x_{\text{max}} = z_{\text{max}} = p$ 。

公式 (1-18) 和 (1-19) 表明: 对处于象片边缘部位的各个点, 当为 z_{max} 时, 测定 Z 轴方向变形的误差大于沿 X 轴方向的变形误差。如果待定点位于象片的 $x-x$ 轴附近, 即 $z = 0$, 则