

用近景摄影测量方法测制建筑物立面图及其内业处理

华东院测量队 卢敦强

摘 要

本文通过采用全能摄影经纬仪 ν MK 20/1318 对水电部华东勘测设计院十二层办公大楼西、北两面测制立面图中, 由于外界条件限制, 导致摄测坐标系 $S-X_1, Y_1, Z_1$ 不平行立面坐标系 $K-X Y Z$, 且不平行度 τ 角较大, 以致内业仪器上用常规的基线分量 b_y 、 b_z 不能作绝对定向时的业务处理方法。现以本单位 Technocart—D 工程测图仪上处理的理论作以介绍。

(一) 摄影方式及有关问题:

水电部华东勘测设计院办公大楼长、宽、高分别约为 $68\text{m} \times 25\text{m} \times 49\text{m}$ 。由于楼较高, 立面凸凹不平, 摄影站又在施工区。因此摄影时采用了正直等倾、等偏等倾两种方式, 墙面上象控点的大地坐标是利用大楼摄影测量变形观测控制网进行单(双)三角前方交会解得, 模型比例尺为 1:200, 成图比例尺 1:100。由于在测制立面图过程中布设的大地坐标系、摄测坐标系、立面坐标系三者之间均不平行, 因而导致产生大量内业处理工作、内业处理方法是否严密合理将关系立面图测制精度和内业效率。

(二) 大地坐标系 ($O-X, Y, Z$) 的建立和要求:

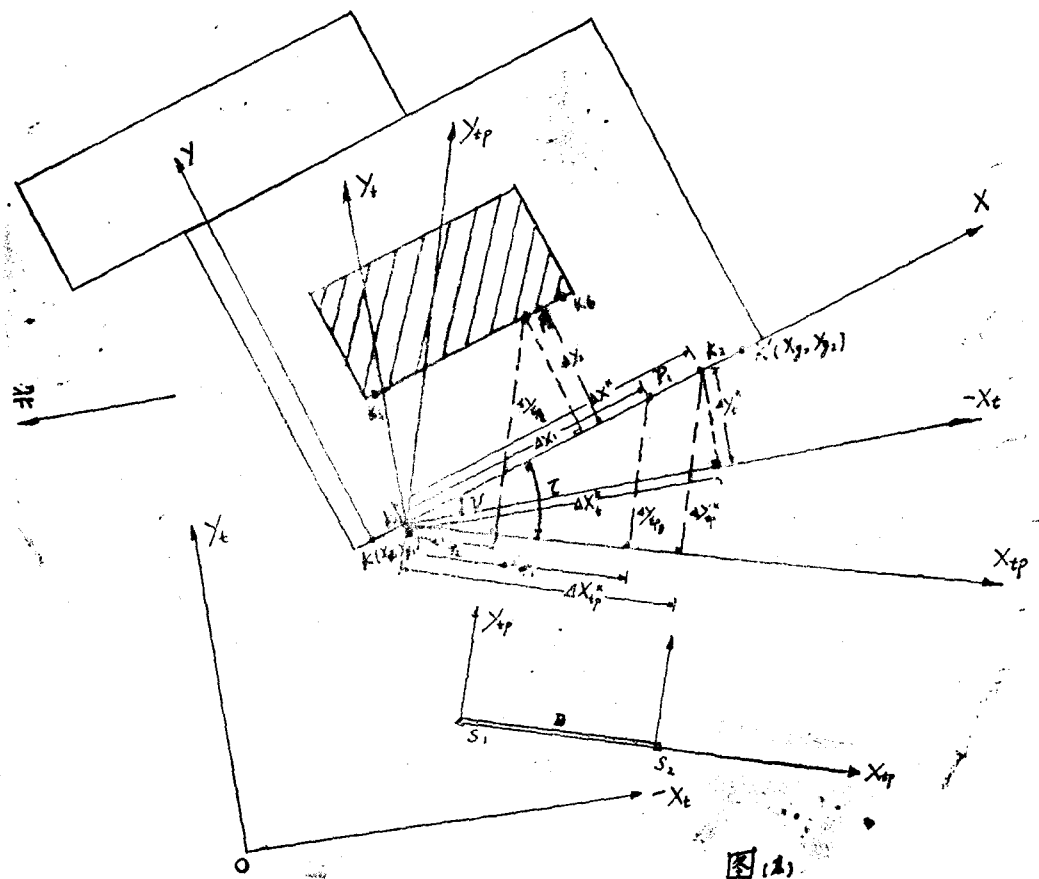
在近景摄影测量中, 人们关心的不是被摄物体在大地坐标系中的绝对位置, 而往往只需要物体间内部相对位置。由于摄测坐标系 S_1-X_1, Y_1, Z_1 是建立在以左摄站 S_1 为坐标原点, 摄影经纬仪主光轴为 Y_1 轴的右手直角坐标系上, 而立体测图仪上测制立面图是恢复实地摄影方位的模拟法成图, 故建立的立体模型被纳入在摄测坐标系中。因此需建立一个与摄测坐标系轴向一致的独立大地坐标系 $O-X, Y, Z$ 作为测制立面图的基本控制。

本次工作中大地坐标系为左手系, 故需换算到右手系中去, 这项工作随着立面坐标系的建立而得以实现。

(三) 立面坐标系 $K-X Y Z$ 的建立:

测制立面图(建筑物表面正射投影位置)必须是以建筑物表面为 $X Z$ 面(或平行的

某参考面)，即象控点的大地坐标作为测制立面图的定向点应是位于立面坐标系 $K-XYZ$ 中的坐标。否则大地坐标系与立面坐标系不平行时，用象控点的大地坐标 X^t, Y^t, Z^t ，对立体模型定向，这样测制的立面图是墙面在大地坐标系 $O-X_t Y_t Z_t$ 中的投影位置。如图(1)，立面上有两象控点 K_1 和 K_2 在大地坐标系中 X 增量为 ΔX^t ，在立面坐标系中的 X 增量为 ΔX^k ，其有



$$\Delta X^k = \cos \nu \cdot \Delta X^t$$

(ν 为 $O-X_t Y_t Z_t$ 与 $K-XYZ$ 坐标系间的夹角)

当 $\nu \neq 0$ 时：则 $\Delta X^k \neq \Delta X^t$

由此可见，简单地用象控点的大地坐标 X^t, Y^t, Z^t 来代替立面坐标系中的坐标 X^k, Y^k, Z^k 显然是不合理的。那么立面坐标系是怎样建立的？

立面坐标系是建立在大地坐标系基础上，如图(1)所示，当大地坐标系 $O-X_t Y_t Z_t$ 不平行立面坐标系 $K-XYZ$ ，其布设在墙面上的象控点 K_1 和 K_2 的大地坐标增量

$\Delta Y_i^k \neq 0$, 这样根据象控点的 ΔX_i^k 、 ΔY_i^k 可计算出夹角 ν . 在实际作业中, 往往在墙的最边缘处 (应是在象对墙面影象最边缘处) 的垂线上下布置四个象控点, 然后找出重心坐标 X_{si} 、 Y_{si} 、 Z_{si} 来作为计算 ν 的数据. 如图 (2)

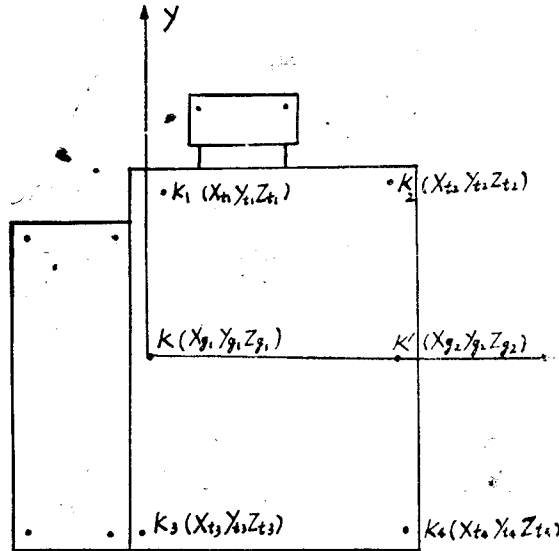


图 (2)

$$\left. \begin{aligned} X_{si} &= \frac{X_{ti}^k + X_{ti+2}^k}{2} \\ Y_{si} &= \frac{Y_{ti}^k + Y_{ti+2}^k}{2} \\ Z_{si} &= \frac{Z_{ti}^k + Z_{ti+2}^k}{2} \end{aligned} \right\} (i=1, 2) \quad (1)$$

由图 (1) 知:

$$\nu = \arctg \left(\frac{Y_{s2} - Y_{s1}}{X_{s2} - X_{s1}} \right) \quad (2)$$

这时立面坐标系以 X_{s1} 、 Y_{s1} 、 Z_{s1} 为原点, 与大地坐标系相差 ν 角的平面坐标系为 X 、 Y 轴, Z 轴与 Z_i 一致, 其大地坐标换算公式为, 如图 (2) 所示:

$$\left. \begin{aligned} X_i^k &= X_{s1} + \cos|\nu| \cdot |\Delta X_{ti}^k| + \sin|\nu| \cdot |\Delta Y_{ti}^k| \\ Y_i^k &= Y_{s1} + \cos|\nu| \cdot |\Delta Y_{ti}^k| - \sin|\nu| \cdot |\Delta X_{ti}^k| \\ Z_i^k &= Z_{ti}^k \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

其:

$$\Delta X_{ii}^k = X_{ii}^k - X_{\varepsilon_1}, \quad \Delta Y_{ii}^k = Y_{ii}^k - Y_{\varepsilon_1}$$

图(2)中:

$$|v| > 0, \quad |\Delta X_{ii}^k| < 0, \quad |\Delta Y_{ii}^k| > 0$$

这样得到了象控点的立面坐标.

(四) 摄测坐标 $S_1-X_{ip}Y_{ip}Z_{ip}$ 与立面坐标系 $K-XYZ$ 间的关系:

由于受摄影环境等影响, 使得摄测坐标系 $S_1-X_{ip}Y_{ip}Z_{ip}$ 不平行立面坐标系 $K-XYZ$ (如正直摄影时基线 B 不平行墙面). 同理 $K-XYZ$ 与 $S_1-X_{ip}Y_{ip}Z_{ip}$ 存在夹角 τ 和 $\Delta X_i \neq \Delta X_{ip_i}$, 那么怎样的夹角 τ 影响 (或不影响) 测制立面图精度, 现讨论不影响立面图精度的最大 τ 角.

如图(1)模型上任一点 P_i 其实地坐标 X_i, Y_i 与摄测坐标 X_{ip_i}, Y_{ip_i} 之间关系为:

$$\left. \begin{aligned} X_i &= X^k + \cos|\tau| \cdot \Delta X_{ip_i} + \sin|\tau| \cdot \Delta Y_{ip_i} \\ Y_i &= Y^k + \cos|\tau| \cdot \Delta Y_{ip_i} - \sin|\tau| \cdot \Delta X_{ip_i} \end{aligned} \right\} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

式中 X^k, Y^k 为定向点 (或者 K_1) 的立面坐标, $\Delta X_{ip_i}, \Delta Y_{ip_i}$ 为模型点相对定向点的摄测坐标增量, 对于图(1)中 P_1 和 P_2 点 $\tau, \Delta X_{ip_i}, \Delta Y_{ip_i}$ 均为正.

由(4)式可知:

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_i &= \cos \tau \cdot \Delta X_{ip_i} + \sin \tau \cdot \Delta Y_{ip_i} \\ \Delta Y_i &= \cos \tau \cdot \Delta Y_{ip_i} - \sin \tau \cdot \Delta X_{ip_i} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

一般 τ 较小, 可取:

$$\left\{ \begin{aligned} \sin \tau &\doteq \frac{\tau}{\rho} \\ \cos \tau &\doteq 1 - \frac{\tau^2}{2\rho^2} \end{aligned} \right. \quad (6)$$

对于房屋 ΔY_i 一般小于 ΔX_i , 且 τ 角 ΔY_i 甚小 (ΔY_i 甚小表示墙面凸凹不大) 故仅考虑(5)式中的 ΔX_i , 将(6)式代入(5)式得:

$$\Delta X_i \approx \left(1 - \frac{\tau^2}{2\rho^2} \right) \Delta X_{ip_i}$$

故

$$\delta_{\Delta X} = \Delta X_{ip_i} - \Delta X_i = \frac{\tau^2}{2\rho^2} \Delta X_{ip_i}$$

则

$$\tau' = \pm \sqrt{\frac{2 \cdot \delta_{\Delta X}}{\Delta X_{ip_i}}} \cdot \rho''$$

取模型点中最大 $\Delta X_{ip_{\max}} = \Delta X_{ip}$, 且将 $\delta_{\Delta X}$ 化为图上允许误差 $\delta_{\Delta XM}$ 得:

$$\tau' = \pm \sqrt{\frac{2 \cdot \delta_{\Delta XM} \cdot M}{\Delta X_{ip}}} \cdot \rho'' \quad (7)$$

(M 成图比例尺分母)

(7) 式中 ΔX_{ip} 在没上仪器之前是不知道的, 而 ΔX_i 为已知, 且 $\Delta X_i > \Delta X_{ip}$ (因为 $\Delta X_i = \cos \tau \cdot \Delta X_{ip}$), 故用 ΔX 代替 ΔX_{ip} 计算的 τ' 更小, 要求更严, 因此(7)式变为:

$$\tau' = \pm \sqrt{\frac{2 \cdot \delta_{\Delta XM} \cdot M}{\Delta X}} \cdot \rho'' \quad (8)$$

(ΔX 为象对内墙面影像的实地最大距离)

由此可以利用布设在象对内最边缘上的两已知象控点的立面坐标增量 ΔX^k 代入(8)式中 ΔX 处计算 τ' . 若实测中的摄测坐标系与立面坐标系间的夹角 $\tau > \tau'$, 则模型上所有模型点的摄测坐标 $X_{ip_i} \neq X_i$, 故需将 X_{ip_i} 坐标改正为 X_i 坐标 (X_{ip_i} 由立体测图仪读数且乘以 M_m 模型比例尺分母得), 否则 $\tau \leq \tau'$ 其 $X_{ip_i} = X_i$ 不作改正.

(五) 测制立面图时 X_{ip_i} 坐标改正方法:

立面图是一个 XZ 面图, 由于大地坐标系、摄测坐标系、及立面坐标系三者的 Z 轴向相同, (即 $Z_{ip_i} = Z_{i_i} = Z_i$), 而仅仅是 XY 平面直角坐标系不平行. 因此测制立面图的关键在于 X_{ip_i} 坐标的改正方法, 由于 X_{ip_i} 是否需要改正取决于 τ 角的大小, 故下面分两种情况分析实测 τ 角的求法及 X_{ip_i} 的改正方法.

(1) 当 τ 角较小时 (即象对内两定向点的 ΔY_{ip}^k 甚小), 利用象对中两已知象控点的 ΔX_{ip}^k 和 ΔX^k 进行定向的方法来求得坐标改正系数 λ 和 τ 角:

由(5)式可知, 位于同一立面 (或平行于立面) 上的两已知象控点 (如图(2)中 K_1 和 K_2) 的立面坐标增量 ΔX^k 与摄测坐标增量 ΔX_{ip}^k 有下列关系

$$\Delta X^k = \cos \tau \cdot \Delta X_{ip}^k + \sin \tau \cdot \Delta Y_{ip}^k \quad (9)$$

由于 τ 角较小, 则 ΔY_{ip}^k 也相应较小, 故当 $\sin \tau \cdot \Delta Y_{ip}^k \approx 0$ 时, ΔX^k 可近似认为

$$\Delta X^k = \cos \tau \cdot \Delta X_{ip}^k \quad (9')$$

则:

$$\tau = \arccos \left(\frac{\Delta X^k}{\Delta X_{ip}^k} \right) \quad (10)$$

因此通过(10)式计算得 τ 与 τ' 进行比较, 以确定 X_{ip_i} 是否改正.

(a) 当 $\tau > \tau'$ 时, 且模型点均位于两定向点所决定的平面上时的 X_{ip_i} 坐标改正公式为 (如图(4)模型点 P_1):

$$\cos \tau = \frac{\Delta X_i}{\Delta X_{ip_i}} \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

令

$$\lambda = \cos \tau$$

则模型点 $X_{i,j}$ 的改正公式为:

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta X_{i,j} \quad (11)$$

由 (9') 式知:

$$\lambda = \cos \tau = \frac{\Delta X^k}{\Delta X_{i,j}^k} \quad (12)$$

故由 (12) 式利用两象控点 ΔX^k , $\Delta X_{i,j}^k$ 可计算改正系数 λ , 然后只要在测图仪上量测模型点 $\Delta X_{i,j}$ 就可由 (11) 式求得相应的立面坐标增量 ΔX_i .

(b) 若 $\tau > \tau'$, 而模型点不位于两定向点所决定的平面上 (即墙面凸凹) 时的 $\Delta X_{i,j}$ 坐标公式:

$$\Delta X_i = \cos \tau \cdot \Delta X_{i,j} + \sin \tau \cdot \Delta Y_{i,j} \quad (13)$$

式中 τ 角由 (10) 式计算得, 这时视 $\Delta Y_{i,j}$ 大小逐点改正, 模型点需量测 $\Delta X_{i,j}$ 、 $\Delta Y_{i,j}$.

(2) 当 τ 角较大时 (即象对内两定向点的 $\Delta Y_{i,j}^k$ 较大), 这时 τ 角的计算应考虑象控点的 $\Delta Y_{i,j}^k$ 影响, 利用两定向点的 $\Delta X_{i,j}^k$ 和 $\Delta Y_{i,j}^k$ 及 ΔX^k 采用逐渐趋近方法进行 τ 角:

第一步: 在不考虑 $\Delta Y_{i,j}^k$ 的前提下, 由 (9) 式知:

$$\Delta X^k = \cos \tau \cdot \Delta X_{i,j}^k$$

$$\tau_1 = \arccos \left(\frac{\Delta X^k}{\Delta X_{i,j}^k} \right)$$

第二步: 在考虑 $\Delta Y_{i,j}^k$ 影响前提下计算 τ_2 , 由 (9) 式知:

$$\Delta X^k = \cos \tau \cdot \Delta X_{i,j}^k + \sin \tau \cdot \Delta Y_{i,j}^k \quad (14)$$

则:

$$\tau_2 = \arccos \left(\frac{\Delta X^k - \sin \tau_1 \cdot \Delta Y_{i,j}^k}{\Delta X_{i,j}^k} \right) \quad (15)$$

第三步: 验算 τ_2 的计算精度.

$$d\Delta X = \Delta X^k - \Delta X^k_{\text{计算}} = \Delta X^k - [\cos \tau_2 \cdot \Delta X_{i,j}^k + \sin \tau_2 \cdot \Delta Y_{i,j}^k] \leq \delta_{\Delta X} \quad (16)$$

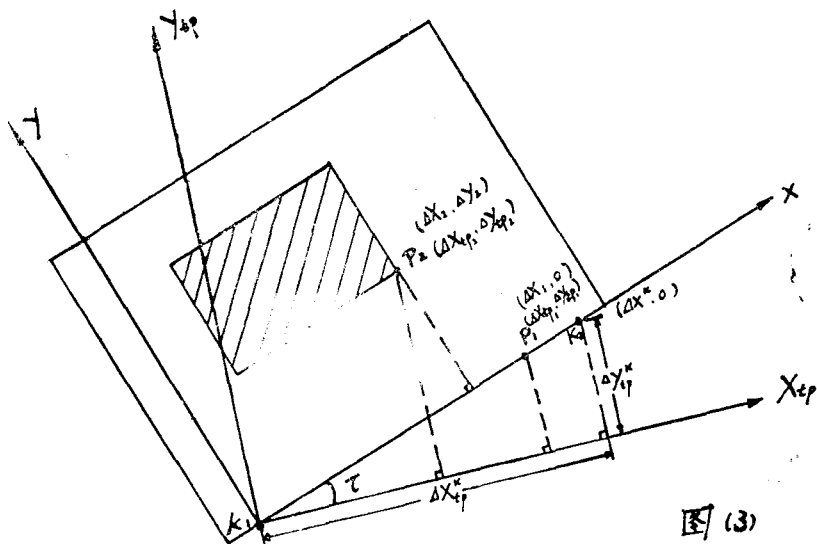
如果 $d\Delta X \leq \delta_{\Delta X}$, 则 $\tau_2 = \tau$ 角, 否则需将 τ_2 代入 (15) 式中 τ_1 处重新计算新 τ_2 , 然后将新 τ_2 代入 (16) 式进行验算, 只至 $d\Delta X \leq \delta_{\Delta X}$ 为此, 然后进行 $X_{i,j}$ 改正.

(a) 当模型点位于象对中两定向点所决定的平面 (如图 (4) 中的 P_1 点位于 K_1 和 K_2 所决定的平面) 上时, 利用象控点的 $\Delta X_{i,j}^k$ 和 $Y_{i,j}^k$ 及 ΔX^k 来计算模型点 $X_{i,j}$ 的改正系数 λ :

由 (14) 式可知:

$$\cos \tau = \frac{\Delta X_i^k}{\Delta X_{tp}^k} - \sin \tau \cdot \frac{\Delta Y_{tp}^k}{\Delta X_{tp}^k} \quad (17)$$

由图(3)可知, 位于两定向点 K_1 和 K_2 同一平面上的 P_1 模型点的坐标具有下列关系式:



图(3)

$$\frac{\Delta X_i^k}{\Delta X_{tp}^k} = \frac{\Delta X_i}{\Delta X_{tpi}} \quad (18)$$

将(18)式代入(17)式得:

$$\cos \tau = \frac{\Delta X_i}{\Delta X_{tpi}} - \sin \tau \cdot \frac{\Delta Y_{tp}^k}{\Delta X_{tp}^k}$$

则:

$$\frac{\Delta X_i}{\Delta X_{tpi}} = \cos \tau + \sin \tau \cdot \frac{\Delta Y_{tp}^k}{\Delta X_{tp}^k}$$

令:

$$\lambda = \cos \tau + \sin \tau \cdot \frac{\Delta Y_{tp}^k}{\Delta X_{tp}^k} \quad (19)$$

则:

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta X_{tpi} \quad (20)$$

由此可见, 由(15)式计算 τ 角再代入(19)式可计算出 λ , 虽然模型点 ΔY_{tpi} 甚大, 也仅仅只需要量测模型点的 ΔX_{tpi} , 便可由(20)式对坐标 ΔX_{tp} 进行改正。(下转第45页)

海底回流，这是一方面的情况；另一方面台风所引起的风浪强烈地扰动浅水区的滩面泥沙，这些泥沙又随海底回流向深水区作横向输移，因此使整个港区造成了冲刷。但是由于东北风受舟山群岛的屏障，所以其冲刷作用尚不太大。当风向转为西北时，由于北仑港区西北方向上几乎是敞开的，台风引起的风浪和表层流得到充分的发展，浪掀沙，流挟沙，其冲刷程度比东北风时更为强烈。此外，还由于此时的风浪与岸线成锐角，形成了自西向东的沿岸流，它将泥沙向东搬运，加强了北仑港区的冲刷。还有两种情况值得注意，即是：该港区的潮流在南岸起主导作用的是落潮流，它的方向自西向东大致与岸线一致；该港区的余流方向与落潮流方向比较一致，所以加强了落潮流。在落潮流、余流和风成沿岸流的共同作用下，由于它们的方向一致，使港区泥沙的运移量大大地增加，其作用超过了滩面泥沙的横向输移，强化了港区的冲刷。

总之，在台风发展经过北仑港的全过程中，对北仑港区都形成了冲刷作用，尤其在近岸地段表现得更为显著。仅仅从台风对北仑港区水下地形冲刷的角度来看，倒没有给北仑港带来有害的结果。

参 考 文 献 （略）

（上接第4页）

h 和 l 的比值亦应在 $1:2.0 \sim 2.5$ 为好。

值得指出的是，利用控制轴线进行中小型码头桥墩位置的施工放样作业，既不必建立控制网，而又能保证放样精度。它的特点是作业简便灵活，计算方便，又有校核。无疑将会受到广大作业人员的欢迎。

为了获得可靠的交会点精度，还可参考上述表列中 h 和 l 比值，在控制轴线两侧，建立对称的若干组不同距离的仪器测站点。放样计算时，根据 l 和 h 之比值，建立若干组放样数据，这样，就可在不同的各组仪器站上放样出相应的放样点位。从而提高放样点的精度，这就是控制轴线法放样的最大优点。

（上接第13页）

(b) 若模型点（如图(2)中 P_2 ）不位于象对内两定向点（如图(2)中的 K_1 和 K_2 ）所决定的平面上时，这时模型点需要按(13)式逐点量测 $\Delta X_{i,p_i}$ 和 $\Delta Y_{i,p_i}$ 来计算 $\Delta X_{i,}$ 。

否则，应在模型点（如 P_2 ）所在的平面再布设一对象控点（如图(1)中的 K_5 和 K_6 ），使之为模型点位于两定向点所决定的平面内。

结束语

从以上几点探讨及这次大楼立面图实测中可以得出这样的结论，在测制立面图时，应该尽量采用摄影基线平行于墙面的正直摄影方式，而对其它摄影方式尽量避免。否则内业工作中应进行处理，不然将导致内业工作成倍增加和成图精度的降低。