

全站仪自由设站法在工程建设中的应用及精度分析

张高兴

摘要:阐述自由设站法观测的特点,论述其工作原理及在工程建设中的应用,并分析设站点及测设点的精度。

关键词:自由设站法;应用;精度分析

中图分类号:TB22

文献标识码:B

文章编号:1672-044X(2003)03-0067-02

在公路、铁路、水利、煤矿、铁矿和金矿等各行各业的工程与生产建设中,测量工作起着“眼睛”的作用,但是,在生产建设过程中,由于各种各样因素的影响,原有的测量控制点可能会遭到不同程度的破坏,给施工过程中的测量工作带来了很大的困难。为了解决这个问题,在以往的工程测量中,常用交会法和无定向导线来测设加密点,这样的方法,不但测量工作量大,而且由于加密点达不到原有控制点的精度,这样无形中就降低了原有控制点的使用精度。随着科学技术的进步,全站仪已在以上各行业中得到了广泛的应用,但大多数使用者仅仅把它作为普通经纬仪、测距仪来使用,而用自由设站法来进行点位定测,可在任意点设站安置仪器。利用坐标变换原理却可以很好地解决因某些控制点被破坏而引起的测量困难,大大地提高了工作效率;同时去掉了测设加密点的中间步骤,减小了误差的传递与累积,提高了测量点的精度。

1 基本方法

1.1 利用坐标转换原理

自由设站法的基本原理如图 1 所示。图中 xOy 为施工坐标系, A 为控制点, P 为自由设站时的测站点, $x'py'$ 是以 P 点为原点,以仪器度盘零方向为 x' 轴的局部坐标系, α_0 为 x 与 x' 方向的夹角。当在 P 点上观测到 A 点的距离和水平方向之后,即可得出其在 $x'py'$ 坐标系中的局部坐标

$$\begin{cases} x_A = S_a \cdot \cos\alpha_A \\ y_A = S_a \cdot \sin\alpha_A \end{cases} \quad (1)$$

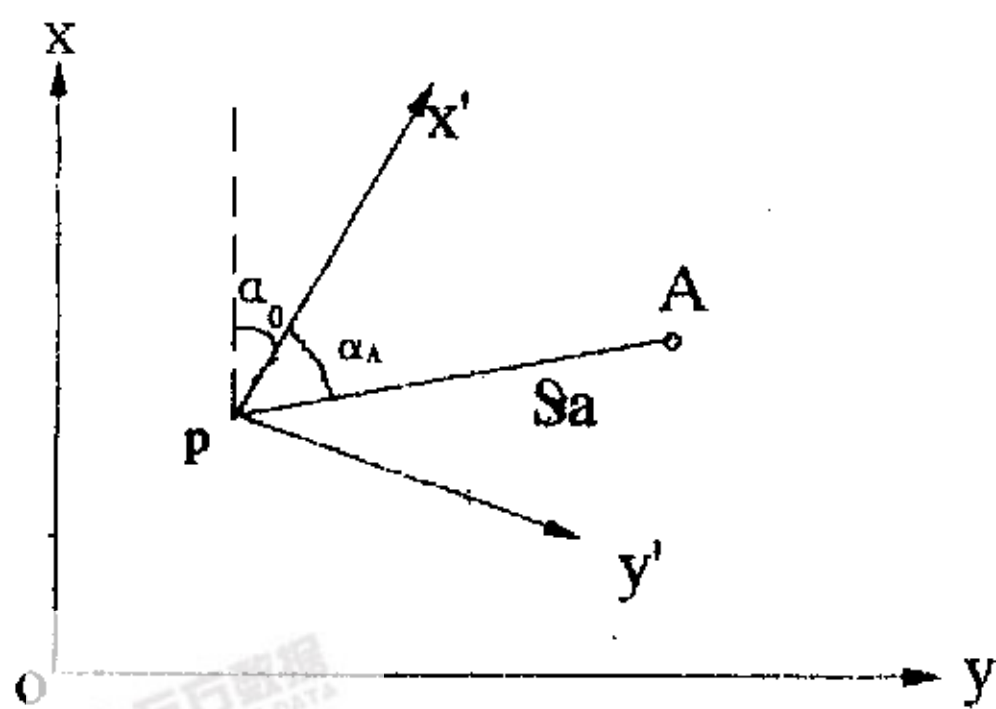


图 1 自由设站法基本原理图

式(1)中, S_a 为 PA 的水平距离, α_A 为水平方向读数。利用坐标转换原理得:

$$\begin{cases} x_A = x_p + k \cos\alpha_0 \cdot x_A' - k \sin\alpha_0 \cdot y_A' \\ y_A = y_p + k \sin\alpha_0 \cdot x_A' + k \cos\alpha_0 \cdot y_A' \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中, k 为局部坐标系之边长缩放系数,令 $c = k \cdot \cos\alpha_0$, $d = k \cdot \sin\alpha_0$,代入式(2)得:

$$\begin{cases} x_A = x_p + c x_A' - d y_A' \\ y_A = y_p + d x_A' + c y_A' \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中, x_A, y_A, x_A', y_A' 均为已知,而 x_p, y_p, c, d 均为未知数,为了求出上述四个未知数,必须有两组上述方程组,即必须观测该点到两个控制点的距离和方向。

1.2 自由设站点 P 的坐标计算

当观测了两个以上的控制点时,便存在多余观测,这时可按间接平差原理,在 $[pvv] = \min$ 的条件下,解出 x_p, y_p, c, d ,即

$$\begin{cases} c = \frac{[yy'] + [xx'] - \frac{1}{n}([x][x'] + [y][y'])}{[x'x'] + [y'y'] - \frac{1}{n}([x'][x'] + [y'][y'])} \\ d = \frac{[x'y] - [y'x] - \frac{1}{n}([x'][y] - [y'][x])}{[x'x'] + [y'y'] - \frac{1}{n}([x'][x'] - [y'][y'])} \\ x_p = \frac{[x]}{n} - c \cdot \frac{[x']}{n} + d \cdot \frac{[y']}{n} \\ y_p = \frac{[y]}{n} - c \cdot \frac{[y']}{n} - d \cdot \frac{[x']}{n} \end{cases} \quad (4)$$

利用该法测定测站点 P 的坐标时,必须观测两个控制点,为提高测站点的精度,观测的控制点个数应多于两个。由以上分析可知,该法只要在便于架设仪器的任意地方安置一次仪器,即可测设出若干个细部点。

1.3 算例

如图 2, A, C, E 为原有的控制点,它们之间不通视,中间控制点 B, D 已被破坏, P 点为全站仪自由设站点。已知数据见表 1,观测数据见表 2。

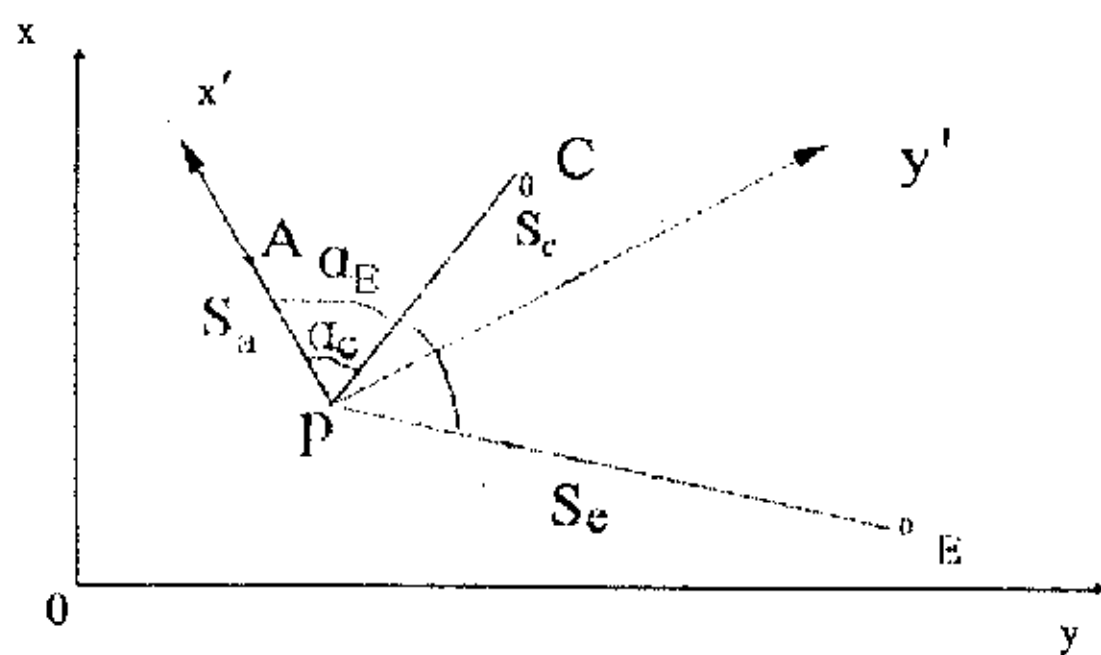


图2 自由设站点P的实测图

表1 已知数据表

点号	平面坐标		高程 (m)
	x(m)	y(m)	
A	2777747.581	20498758.715	181.377
C	2776538.624	20499961.437	178.936
E	2775742.125	20499877.646	171.823

表2 观测数据表

测站	视点	水平方向 (0' ")	平距 (m)	垂直角 (0' ")	视高 (m)	仪高 (m)
P	A	0 00 00	1417.516	0 20 42	1.358	1.412
	C	91 50 01	903.745	0 23 07	1.345	
	E	127 49 09	1016.860	-0 03 07	1.467	

利用式(4)计算得:

$$x_p = 2776365.663\text{m}, \quad y_p = 20499074.396\text{m}$$

2 精度分析

在测量工作中,选择某种测量方法时,不但要考虑其工作效率,更重要的是其精度是否可靠,是否能满足工程需要,同时也应遵循由高级到低级,先控制后碎部的原则。在全站仪自由设站法中采用一次性同时测设,用控制点直接控制细部点,减少了中间一级控制,其精度也提高了一级。

2.1 自由设站点P的平面精度

利用全站仪自由设站法确定测站点P的位置时,其观测元素是边长和方向值,由于观测误差和气象条件等的影响,利用上述平差方法求解的c和d及 x_p 、 y_p 会有误差,为评定P点的精度,在自由设站法程序中可以求出控制点原始坐标与坐标变换后的坐标之间的差值,并根据它们来评定P点的点位精度。

$$M_p = \pm \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{(x_T - x)^2 + (y_T - y)^2}{2n - 4}} \quad (5)$$

利用前面算例的结果代入(5)式得 $M_p = \pm 36\text{mm}$ 。

2.2 自由设站点P的高程精度

上述算例中,P点的高程可用式(6)计算。

$$H_p = \frac{1}{3}(H_A + H_C + H_E - S_a \tan \alpha_A - S_c \tan \alpha_C - S_e \tan \alpha_E + V_A + V_C + V_E) - i \quad (6)$$

根据误差传播定律,则

$$M_{HP} = \pm \sqrt{\frac{1}{9}(m_{HA}^2 + m_{HC}^2 + m_{HE}^2 + m_{SA}^2 \tan^2 \alpha_A + S_a^2 \frac{m_{\alpha A}^2}{\rho^2} + m_{SC}^2 \tan^2 \alpha_C + S_c^2 \frac{m_{\alpha C}^2}{\rho^2} + S_e^2 \frac{m_{\alpha E}^2}{\rho^2} + m_{VA}^2 + m_{VC}^2 + m_{VE}^2) + m_i^2} \quad (7)$$

令 $m_{HA} = m_{HC} = m_{HE} = m_H$, $m_{SA} = m_{SC} = m_{SE} = m_S$, $m_{\alpha A} = m_{\alpha C} = m_{\alpha E} = m_\alpha$,

$m_{VA} = m_{VC} = m_{VE} = m_v$,则(7)式化简如下:

$$M_{HP} = \pm \sqrt{\frac{1}{3}m_H^2 + \frac{1}{9}(\tan^2 \alpha_A + \tan^2 \alpha_C + \tan^2 \alpha_E)m_S^2 + \frac{1}{9}(S_a^2 + S_c^2 + S_e^2)\frac{m_\alpha^2}{\rho^2} + \frac{4}{3}m_v^2} \quad (8)$$

取 $m_H = 10\text{mm}$, $m_S = 3 + 2\text{ppm} \cdot D$, $m_\alpha = 3''$, $m_v = 3\text{mm}$ 代入(8)

式得 $M_{HP} = \pm 12\text{mm}$

2.3 细部点的精度

应用全站仪自由设站法测设的细部点,其点的位置是由极角 θ 和极径 ρ 来确定的。

2.3.1 ρ 引起的纵向误差。设全站仪的测距精度为 $\pm(3\text{mm} + 2\text{ppm} \cdot D)$,如果取全站仪放样点距离为1km,则 $M_\rho = 0.003 + 2\text{ppm} \times 1 \times 10^3 = 0.005\text{m} = 5\text{mm}$,远小于规范规定的要求。

2.3.2 θ 引起的横向误差。设全站仪的测角中误差为 $\pm 2''$,则横向误差 $M_\theta = D \cdot \sin \alpha = \pm 10\text{mm}$,也小于限差要求。

2.3.3 测量高差的误差。取全站仪测垂直角误差为 $\pm 3''$,仪高和视高量取误差为3mm,则 $M_h = \pm 4\text{mm}$ 。

3 结论

通过以上分析,全站仪自由设站法不论其工作效率还是精度方面都是可取的,通过实践证明是可行的。目前全站仪与便携计算机已比较普及,因此按大多数工程单位的仪器装备及技术力量是完全可以该方法进行点位实测的。

参考文献:

- [1] 陈永奇. 工程测量学 [M]. 北京: 测绘出版社, 1995.
- [2] 於宗涛, 等. 测量平差基础 [M]. 北京: 测绘出版社, 1984.