

# 三基线测风原理和计算程序

谢国樑

(南京大学大气科学系)

## 一、引言

双经纬仪基线测风可直接计算气球高度，从而获得高空风向、风速等资料。这在大气边界层风场结构研究方面使用广泛。观测数据的处理目前有三种方法：水平面和垂直面投影法及矢量法<sup>[1, 2]</sup>。其中，水平面投影法计算简便，精度一般较高。但气球靠近通过基线的垂直面时，误差很大甚至不能使用，需改用垂直面投影或矢量法计算。但如果气球远离测站，两站的方位、仰角读数相差不大时，垂直面投影法的计算仍然会有很大误差。

此外，从近几年对众多测风和平衡气球数据处理和误差计算分析发现：当气球空中位置较好时，水平面投影法计算气球高度和风速时的最大相对误差小于矢量法。这是一个值得重视的事实。说明水平面法有其独到之处。但能否用水平面法，关键是气球空中位置如何，即通常所说的基线与风向的交角是否理想。但高空各层的风向多有变化，纵然在地面选了好的基线，也无法保证整份记录都能用水平面法计算。这就是它的局限性和使用困难所在。

近几年，在大气探测的研究中，采用了三经纬仪观测。增设一个测点，即使双经纬仪的单基线测风变成了三经纬仪的三基线测风。有了可供选择的不同方向的三条基线，无论高空各层风向怎样改变，终可找到一条较理想的基线供计算使用。不仅可找到一条用水平面法的基线，而且通过对每条基线的误差计算，找出其中误差最小的基线供正式计算之用。从而使资料利用率和测风精度均有所提高，并为水平面投影法的全方位应用

开辟了途径。

## 二、三基线测风原理

如图1所示，A、B、C分别为三台经纬仪观测点；AB、AC和BC的水平距离即为基线长度。基线的走向可任意决定，而三基线所构成的应为正三角形或锐角三角形（避免是钝角三角形），以保证在任何风向时至少有一条基线与风向呈较大交角。

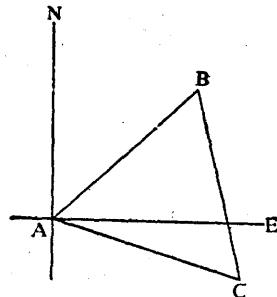


图1 三基线 风原理图

对每一条基线的两个测点，一点称主点，另一点称辅点。若主、辅两点互相瞄准的方位读数分别是 $\theta$ 和 $\varphi$ ，主、辅两点对同一气球在同一瞬时测得的仰角和方位角分别为 $\delta$ ， $\alpha$ 和 $\gamma$ ， $\beta$ ，则任一基线的气球高度计算公式为：

$$H_{\text{主}} = \frac{b \cdot \sin(\beta - \varphi) \cdot \operatorname{tg} \delta}{\sin(\theta - \alpha + \beta - \varphi)} \quad (1)$$

$$H_{\text{辅}} = \frac{b \cdot \sin(\theta - \alpha) \cdot \operatorname{tg} \gamma}{\sin(\theta - \alpha + \beta - \varphi)} \quad (2)$$

$$\bar{H}_{\text{主}} = \frac{H_{\text{主}} + H_{\text{辅}} + h_{\text{辅}} - h_{\text{主}}}{2} \quad (3)$$

式中， $b$ 为基线水平距离； $h_{\text{主}}$ ， $h_{\text{辅}}$ 为两测站的海拔高度； $\bar{H}_{\text{主}}$ 为气球距主点的平均高度。气球离主点的水平距离为：

$$L = \bar{H}_{\text{主}} \cdot \operatorname{ctg} \delta$$

则气球水平投影点在以主点为原点，以南北为X轴，东西方向为Y轴的地理坐标系中可表示成：

$$\begin{aligned} X_n &= L_n \cdot \cos(\alpha_n + \alpha_b - \theta) \\ Y_n &= L_n \cdot \sin(\alpha_n + \alpha_b - \theta) \end{aligned} \quad (4)$$

式中， $\alpha_b$ 是基线地理方位。由此，可求得各量得风速、风向分别为：

$$v_n = \sqrt{(X_n - X_{n-1})^2 + (Y_n - Y_{n-1})^2} / \Delta t \quad (5)$$

式中  $\Delta t$  为前后两次读数的时间间隔。

$$D_n = \begin{cases} 180^\circ & \text{当 } \Delta Y_n = 0, \Delta X_n > 0 \\ 0^\circ & \text{当 } \Delta Y_n = 0, \Delta X_n < 0 \\ 270^\circ & \text{当 } \Delta X_n = 0, \Delta Y_n > 0 \\ 90^\circ & \text{当 } \Delta X_n = 0, \Delta Y_n < 0 \\ 270^\circ - \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{\Delta X_n}{\Delta Y_n}\right) & \text{当 } \Delta Y_n > 0 \\ 90^\circ - \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{\Delta X_n}{\Delta Y_n}\right) & \text{当 } \Delta Y_n < 0 \end{cases} \quad (6)$$

式中，下标n表示第n次观测值或计算值。

主、辅两点的设定和仪器的定位，原则上都没有任何限制，仪器调好水平测出  $\theta$  和  $\varphi$  即可进行观测。为便于作业，使业务工作规范化，通常规定：若A点为气球施放点，AB，AC基线以A为主点，CB基线以C为主点；且A点瞄B点  $\theta$  定  $180^\circ$ ，B点瞄A和C瞄A时  $\varphi$  定为  $0^\circ$ 。在此基础上测出AC线的  $\theta$  角和CB线的  $\theta$  及  $\varphi$  角。

基线AB的地理方位  $\alpha_{bAB}$  可用北极星测定。则AC的地理方位  $\alpha_{bAC} = \alpha_{bAB} \pm \angle CAB$ ，CB基线地理方位  $\alpha_{bCB} = \alpha_{bAC} + 180^\circ \pm \angle ACB$ （当C在B的顺时针向用正号，反之用负号）。

用CB基线由(4)式求得的坐标值原点在C处，故应以  $X_n'$  和  $Y_n'$  表示。此时用(5)、(6)式计算风速、风向应该用  $X_n = X_n' + X_0$ ， $Y_n = Y_n' + Y_0$ 。其中， $X_0$  和  $Y_0$  是C点的坐标，且  $X_0 = b \cdot \cos \alpha_{bAC}$ ， $Y_0 = b \cdot \sin \alpha_{bAC}$  ( $b$  为AC基线的水平距离)。

同理，由CB基线算出的气球平均高度

$H$ ，最后作为风层高度使用时，应加上A、C两点的高差 ( $h_C - h_A$ )。

### 三、三基线计算程序

设计程序时，首先要考虑如何选基线。本文采用了角度和相对误差两级判别法。先判别气球是否靠近垂直面以剔除不能用水平法的基线。然后，在能用水平法的基线中挑选其中相对误差最小的一条作正式计算使用。

本程序流程图可用 BASIC 语言写成正式程序。用键盘输入时间、站名、样本数。基线长度和方位、两站高差及三点间互瞄时的方位可放在第一个 DATA 语句中，在以后的 DATA 语句中，按 A、B、C 三站次序置仰角和方位角读数。

如果因三测点选择不妥，个别观测数据可能会发生三条基线都不能用水平法的情况，此时，程序会改用矢量法计算。

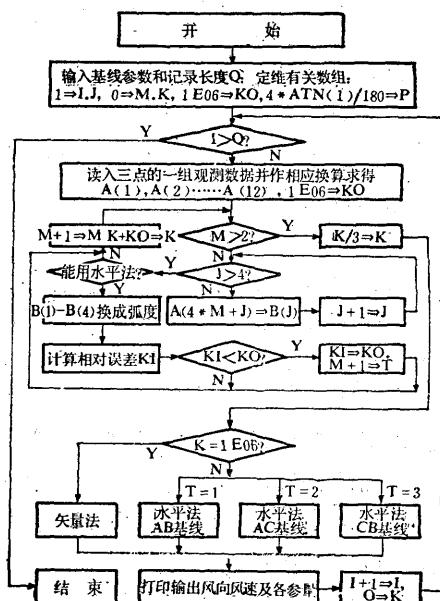


图2 三基线测风程序流程图

### 参考文献

- [1] A. E. 卡林诺夫斯基，高空气象学，101—112，顾鹤椿等译，高等教育出版社，1956。
- [2] Thyer, N., J. Apple. Meteo., 1, 66—68, (1962)。