

气象要素剖面图的计算机绘制

刘其真 王浩军

(复旦大学,上海)

提 要

本文介绍利用多个气象站同时的探空资料自动生成空间剖面图的有关探讨,给出了站点搜寻、投影筛选、风标识符生成的方法及程序流程。

一、站点搜寻

要绘制一幅剖面图,首先必须以气象台所接受到的不规则分布的众多探空站点中选出用以绘图的站点。本项研究采用矩形区域法定选绘图站点,该方法要求程序操作人员按照气象业务的需要给出起、止探空站点 A 和 B 的经纬度 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) , 或仅给出 A 和 B 的站号而由计算机查找出 A 和 B 所在的经纬度,并给出一个条带宽度参数 Δx (每单位约相当于 100 km 的地面距离), 则可由 A, B 两点和 Δx 构成一个地理范围,如图 1 中的 $EFGH$ 矩形。

在平面直角坐标系中,已知点 $A(x_1, y_1)$ 和点 $B(x_2, y_2)$ 作两直线 l_1 和 l_2 与连接 A, B 的直线 l 平行,且 l_1 和 l_2 在 l 的两侧, l_1 和 l_2 到 l 的距离都是 $\Delta x/2$,过点 A, B 分别作 l 的垂线 l_3 和 l_4 ,则可导出 l_1, l_2, l_3, l_4 及 l 的直线方程分别如式(1)–(5)所示。

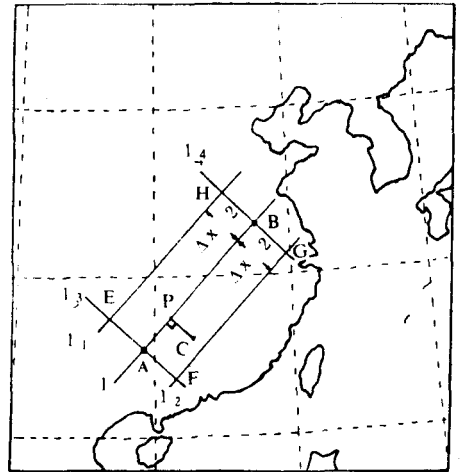


图 1 由 A, B 的连线及 Δx 所形成的矩形

$$l_1: y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}x + \frac{y_1x_2 - y_2x_1}{x_2 - x_1} + \frac{\Delta x}{2} \cdot \frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{x_2 - x_1} \quad (1)$$

$$l_2: y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}x + \frac{y_1x_2 - y_2x_1}{x_2 - x_1} - \frac{\Delta x}{2} \cdot \frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{x_2 - x_1} \quad (2)$$

$$l_3: y = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1}(x_1 - x) + y_1 \quad (3)$$

$$l_1: y = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1}(x_2 - x) + y_2 \tag{4}$$

$$l: y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) + y_1 \tag{5}$$

设在 l_1, l_2, l_3, l_4 所围成的长方形 $EF GH$ 内有点 C , 其坐标值为 (x_c, y_c) , 过 C 点作 l 的垂线, 垂足是 P (见图 1), 则点 $C(x_c, y_c)$ 在直线 l 上的投影点 $P(x_p, y_p)$ 的坐标值可由式 (6)、(7) 具体算出。

$$x_p = \frac{(x_2 - x_1)^2 x_c + (y_2 - y_1)^2 x_1 + (x_2 - x_1)(y_2 - y_1)(y_c - y_1)}{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \tag{6}$$

$$y_p = \frac{(x_2 - x_1)^2 y_1 + (y_2 - y_1)^2 y_c + (x_2 - x_1)(y_2 - y_1)(x_c - x_1)}{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \tag{7}$$

设平面上某站点 D 的坐标是 (x_d, y_d) , 则 D 位于长方形 $EF GH$ 内的条件是满足下式:

$$f_1 \cdot f_2 < 0 \quad \text{并且} \quad f_3 \cdot f_4 < 0 \tag{8}$$

其中

$$f_1 = y_d(x_2 - x_1) - x_d(y_2 - y_1) - y_1 x_2 + y_2 x_1 - \frac{\Delta x}{2} \cdot \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \tag{9}$$

$$f_2 = y_d(x_2 - x_1) - x_d(y_2 - y_1) - y_1 x_2 + y_2 x_1 + \frac{\Delta x}{2} \cdot \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \tag{10}$$

$$f_3 = (x_2 - x_1)(x_d - x_1) + (y_2 - y_1)(y_d - y_1) \tag{11}$$

$$f_4 = (x_2 - x_1)(x_d - x_2) + (y_2 - y_1)(y_d - y_2) \tag{12}$$

因此, 只要输入两个站点 A, B 的经纬度坐标值 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 及一个带宽值 Δx , 便可根据 (8) 式所列条件选出以 A, B 的连线为轴、带宽为 Δx 的带状区域内的点, 不妨设这些点为集合 S_c , 则有:

$$S_c = \{A, C_1, C_2, \dots, C_n, B\} \tag{13}$$

需要说明的是: 利用上述公式进行搜寻站点的计算中忽略了兰勃特投影的影响, 这里是将站点的经度和纬度分别看作平面直角坐标系中的横坐标及纵坐标加以处理的, 由此而带来的选点误差在气象业务中是允许的。

二、站点的投影筛选

选出站点以后, 可将集合 S_c 中的所有站点分别投影到 AB 轴上, 从而获得一个投影点的集合 S_p (见图 2), 则有:

$$S_p = \{A, P_1, P_2, \dots, P_n, B\} \tag{14}$$

其中 P_1, P_2, \dots, P_n 的坐标可由式 (6)、(7) 计算得到。

显然, S_p 中相邻点之间的距离大小不等, 若直接在上述投影点上绘图, 则可能会因某些相邻点之间的距离太小而使所绘图形产生重迭。因此, 在绘图前还必须对 S_p 作进一步的筛选, 删除掉有关靠得较近的投影点, 从而避免图形的重迭。

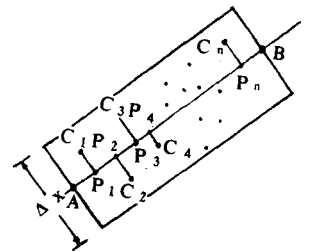


图 2 站点投影示意

设相邻两投影点的最小允许距离是 x_{min} ，并设 Q_m 为存放筛选结果的数组，若绘图长度为 L ， $|AB|'$ 、 $|AP_i|'$ 分别为 A 与 B 、 A 与 P_i 的距离，令： $|AB| \leftarrow L$ ， $|AP_i| \leftarrow |AP_i|' \cdot L / |AB|'$ 。 S 为距离中间变量， i, m 为循环数， n 为 AB 轴上的投影点数 (A, B 除外)，则可用图 3 所示的算法流程进行站点筛选。

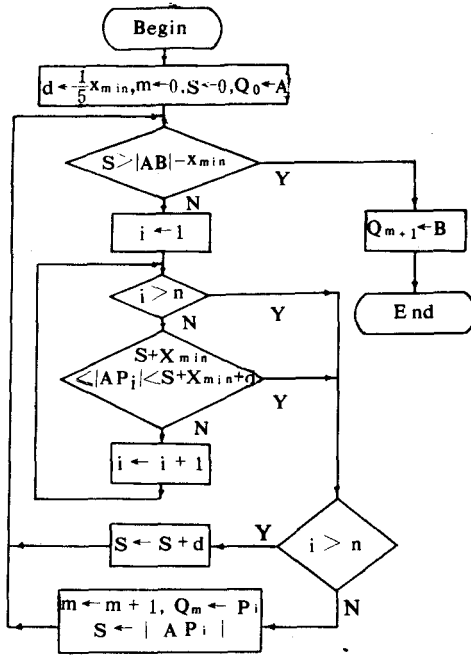


图 3 站点筛选流程图

三、风标识符号的生成

在气象剖面图中，需要在适当位置绘出表示风向风速值的风标识符，一般用风杆表示风的方向，用风杆上的风羽表示风速的大小。这里我们约定风杆上的三角形风羽表示风速为 20 m/s，长线风羽表示风速为 4 m/s，短线风羽表示风速为 2 m/s。若已知风速为 V_i ，则可根据式 (15)~(17) 计算出各类风羽的数量：

$$T_v = V_i / : 20 \tag{15}$$

$$L_v = (V_i - 20T_v) / : 4 \tag{16}$$

$$S_v = (V_i - 20T_v - 4L_v) / : 2 \tag{17}$$

式中 / : 表示整除， T_v, L_v, S_v 分别表示三角、长、短风羽数。

在坐标原点 (0, 0) 处绘制风速为 V_i 、风向角度为 90 度的风标识符的程序框图如图 4 所示。图中 WS 为关于风速的中间变量， b_0 为风向杆的总长度， b 为关于风向杆长度的中间变量， Δz 为三角形风羽的宽度， Δy 为风羽之间的距离。

在本项研究中，先在坐标原点处以 90 度风向绘出某站点地面风速 V_i 的标识符，然后

根据地面风向 D , 旋转相应角度, 最后再平移至绘图平面中的 (x_i, y_{i1}) 位置。其中 x_i 由该站在 AB 轴上的投影点距 A 点的距离决定, y_{i1} 由程序中对第一个层次的赋值高度决定。第一层绘完以后, 再在 (x_i, y_{i2}) 处根据该站 1000 hPa 气压面上的风速、风向生成第二层风标识符..., 依此类推, 直至 (x_i, y_{i11}) 处依据该站 100 hPa 气压面上的风速、风向生成第 11 层风的标识符。一个站点绘完以后, 再在 AB 轴的下一个位置逐层绘出另一个站点的风标识符, 如此循环, 最后绘出 B 站点 11 个层次上的风标识符(设 A 站点为绘图起始站点)。

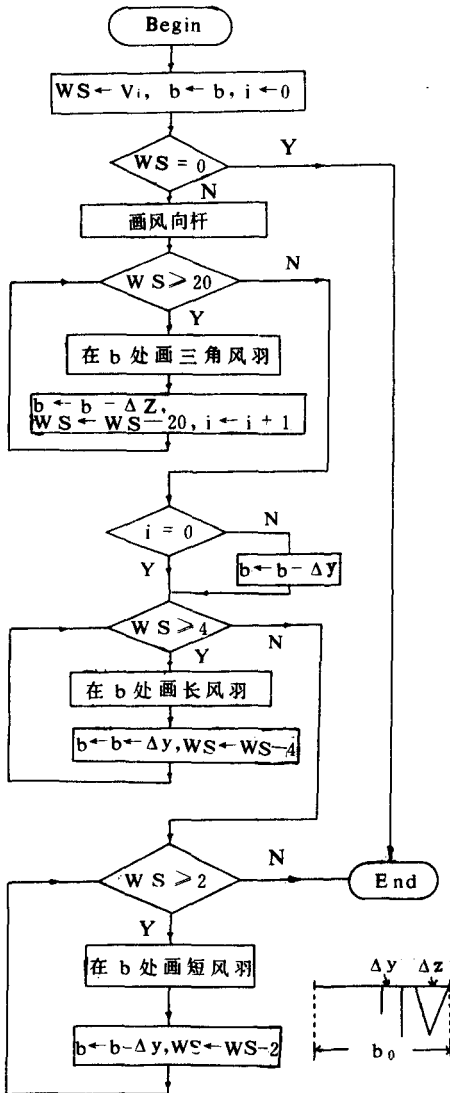


图 4 绘制风标识符流程图

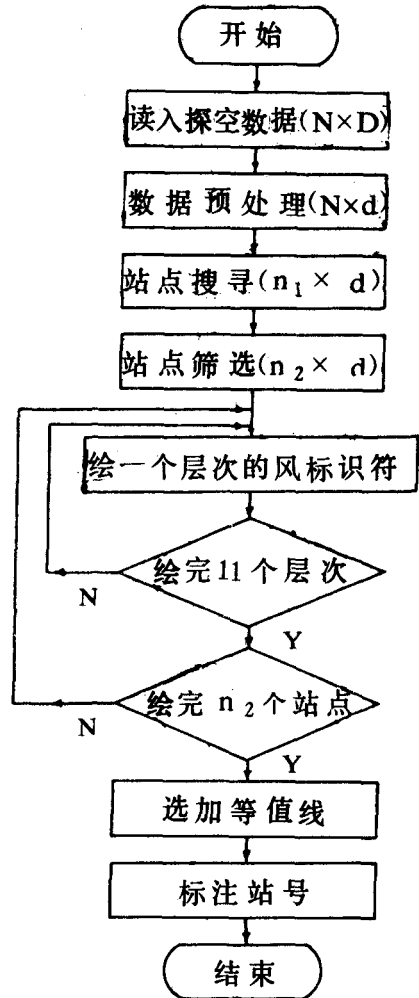


图 5 绘制空间剖面图的工作流程

根据对风向角度的约定^[1], 可知风标识符沿逆时针方向旋转的角度 θ 与风向角度 D 之间存在如下关系:

$$\theta = 90 - D, \tag{18}$$

由计算机图示学技术^[2]可知, 图形绕坐标原点沿逆时针方向旋转 θ 角度并且平移至

(x, y)处的公式为:

$$[X' Y' 1] = [X Y 1] \cdot \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ X_i & Y_i & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

从而有

$$X' = X\cos\theta - Y\sin\theta + x, \quad (20)$$

$$Y' = X\sin\theta + Y\cos\theta + y, \quad (21)$$

式中 X, Y 及 X', Y' 分别为风标识符上某点旋转平移前、后的坐标值。

四、计算机绘制空间剖面图的工作流程

通过以上介绍,我们可以归纳出如图 5 所示的绘制空间剖面图的工作流程。图中 N 为探空站总站点数, n₁ 为矩形范围内搜寻到的站点数(包括首尾两个站点 A 和 B), n₂ 为投影筛选后的站点数。

根据需要,可以在风的剖面图上分别迭加或组合迭加温度、露点或计算出来的湿度、假相当位温(θ_{se})等参数的等值线。最后在各绘图站点的下方标出其对应的探空站号。

本项研究已在上海中心气象台 Micro VAX/3500 计算机上实现。计算机生成的剖面图可由电视屏幕显示,也可通过彩色打印机以硬拷贝形式输出。图 6 为计算机生成的空间剖面图示例(原图为彩色),图中的横向波纹线即为假相当位温(θ_{se})等值线。

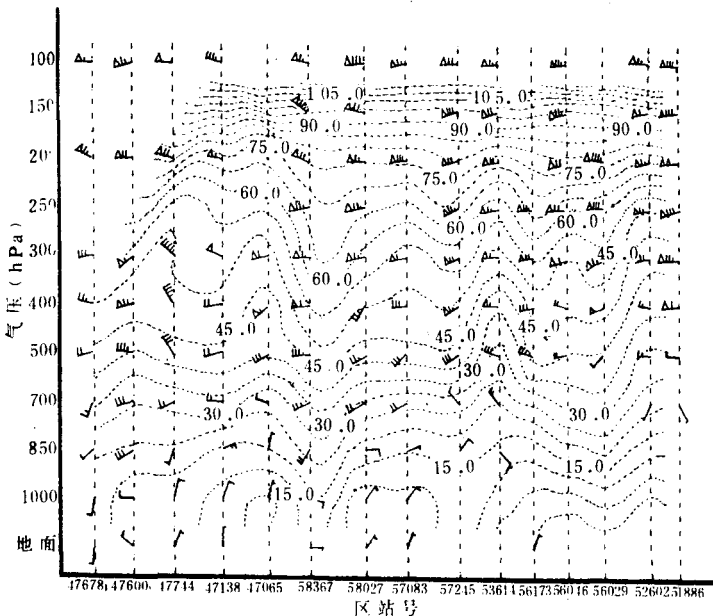


图 6 计算机生成的剖面图示例
(1989 年 11 月 7 日 08 时风的空间高度剖面图)

致谢:本项研究得到何永保、徐建华等教授及上海中心气象台王全发、丁长根、胡富泉、黄晓虹、钱玮等专家的指导与协助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 陆忠汉等,实用气象手册,上海辞书出版社,p. 96,1984年。
[2] 孙家广等,计算机图形学,清华大学出版社,pp. 105—114,1986年。

AN APPROACH TO DRAWING METEOROLOGICAL ELEMENT CROSS SECTION DIAGRAM BY COMPUTER

Liu Qizhen Wang Haojun

(*Fudan University, Shanghai*)

Abstract

In this paper, an approach to drawing the meteorological vertical cross section was introduced by using air sounding data. The methods of searching station points, choosing stations from their projections and drawing wind signals were explained. Some program flowcharts were also given.