

剖面图制作方案的设计与应用研究

陈忠明

缪强

(四川省气象科学研究所,成都 610072) (四川省自贡市气象局,643000)

提 要

根据气象要素场的连续性特征,并藉助以前的研究结果,提出了一种制作剖面分析的简便方案。该方案较传统方案有更多的优越性和更好的可靠性,适合诊断天气系统的结构特征。

关键词: 剖面分析 物理量诊断 剖面图制作 天气系统结构分析

引 言

剖面图以其能够直观地显示天气系统的垂直结构和物理量的垂直分布特征而成为天气分析研究和业务预报工作中经常使用的一种分析图表。有关剖面图的制作方法过去研究得并不多,通常的方法有两种。其一,在有规则网格资料的情况下,通过使用排列有序的格点资料绘制某方向上的物理量垂直剖面图。其二,在无网格资料,仅有测站资料的情况下,近似地将剖面两侧邻近的观测值平移到同一直线上,用这些测站的观测值制作剖面图。第一种方法在研究工作中应用较多^[1-2],第二种方法则在天气预报业务中应用较广^[3-5],但用这两种方法来制作剖面图均有一定的局限性。对于第一种方法,由于网格资料是固定的,要作任意方向上的剖面有时就难以实现。对于第二种方法,其本身就是一种近似,当剖面附近的物理量变化剧烈时(如锋面附近),将邻近的观测值平移到剖面上是很难保证其准确性和合理性的,由此作出的剖面可能会产生一些虚假的信息,导致分析预报失误。因此,研究更合理的剖面图制作方法是必要的。

本文藉助作者过去的研究结果,根据气

象场空间任一点处的要素值及物理量可求的特点,设计了一种精度更高,且方便易行的剖面图制作方案。利用该方案可制作任意方向的剖面图,实例检验及对比分析证实了本方案稳定可靠。

1 分析方法

根据文献[6]的研究结果,基于气象要素场的空间连续性特征,对于某等压面上的要素观测值 $f(x_k, y_k)$ ($k=1, 2, 3, \dots, N$ 为测站序列),可构造如下初始分析场

$$f_{(x,y)}^{(1)} = \frac{\sum_{k=1}^m w_k(x,y) \cdot f(x_k, y_k)}{\sum_{k=1}^m w_k(x,y)} \quad (1)$$

$$w_k(x,y) = \exp\left[-\frac{r_k^2(x,y)}{4c}\right] \quad (2)$$

式中 x, y 为坐标变量, c 为分析参数,此处取 $c=4000\text{km}^2$, $r_k(x,y)$ 为等压面上坐标点 (x, y) 到测站 (x_k, y_k) 的距离。

由式(1)可见,利用等压面上的离散无序观测值 $f(x_k, y_k)$, 我们可求出场空间任一点处的初值分析值 $f_{(x,y)}^{(1)}$, 当然也包括测站 (x_k, y_k) 处的初始分析值 $f_{(x_k, y_k)}^{(1)}$ 。则测站 (x_k, y_k) 处的要素观测值与初始分析值之差值为:

$$R_{(x_k, y_k)}^{(1)} = f(x_k, y_k) - f_{(x_k, y_k)}^{(1)} \quad (3)$$

显然,各测站处的 $R_{(x_k, y_k)}^{(1)}$ 也为已知值。类似于式(1),可构造差值分析场:

$$Df_{(x,y)}^{(1)} = \frac{\sum_{k=1}^m w'_k(x,y) \cdot R_{(x_k, y_k)}^{(1)}}{\sum_{k=1}^m w'_k(x,y)} \quad (4)$$

$$w'_k(x,y) = \exp\left[-\frac{r_k^2(x,y)}{4GC}\right] \quad (5)$$

式中 G 为分析参数,取 $0.2-0.4$ 。

将初始分析场 $f_{(x,y)}^{(1)}$ 和差值分析场 $Df_{(x,y)}^{(1)}$ 迭加起来,便获得了最后分析场

$$f_{(x,y)}^{(a)} = \frac{\sum_{k=1}^m w_k(x,y) \cdot f(x_k, y_k)}{\sum_{k=1}^m w_k(x,y)} + \frac{\sum_{k=1}^m w'_k(x,y) \cdot R_{(x_k, y_k)}^{(1)}}{\sum_{k=1}^m w'_k(x,y)} \quad (6)$$

在前述参数下,此分析场将十分逼近实测要素场。因此,由一些离散的观测值 $f(x_k, y_k)$, 利用式(6)即可获得空间任一点 (x, y) 处的要素值。

对式(6)作微分运算,可导出直接利用测风资料计算场空间任一点 (x, y) 处涡度 ζ 和散度 D 的计算公式^[7]:

$$\text{式中} \quad \begin{cases} w_k = w_k(x, y), w'_k = w'_k(x, y) \\ u_k = u(x_k, y_k), v_k = v(x_k, y_k) \\ du_k = u(x_k, y_k) - u_{(x_k, y_k)}^{(1)}, dv_k = v(x_k, y_k) - v_{(x_k, y_k)}^{(1)} \end{cases} \quad (9)$$

由于任一点 (x, y) 处的散度值 $D(x, y)$ 可求,因此,我们就可通过垂直积分连续方程,并经 O'Brien 订正来获取垂直速度^[8]:

对于垂直分层为等距的情况,其垂直速度的计算公式为:

$$w'_k = w_k - (w_N - w_T) \frac{k(k+1)}{N(N+1)} \quad (10)$$

式中 w_k 和 w'_k 分别为订正前和订正后第 k 层上的垂直速度, w_N 为由连续性方程从下往上积分求得的最高层上的垂直速度, w_T 为理

$$\begin{aligned} \zeta(x,y) &= \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \\ &= \left(-\frac{1}{2C}\right) \frac{1}{\sum_{k=1}^m w_k} \sum_{k=1}^m w_k \{ (x-x_k)[v_k - v_{(x,y)}^{(1)}] \\ &\quad - (y-y_k)[u_k - u_{(x,y)}^{(1)}] \} \\ &\quad + \left(-\frac{1}{2GC}\right) \frac{1}{\sum_{k=1}^m w'_k} \sum_{k=1}^m w'_k \{ (x-x_k)[dv_k - dv_{(x,y)}^{(1)}] \\ &\quad - (y-y_k)[du_k - du_{(x,y)}^{(1)}] \} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} D(x,y) &= \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \\ &= \left(-\frac{1}{2C}\right) \frac{1}{\sum_{k=1}^m w_k} \sum_{k=1}^m w_k \{ (x-x_k)[u_k - u_{(x,y)}^{(1)}] \\ &\quad + (y-y_k)[v_k - v_{(x,y)}^{(1)}] \} \\ &\quad + \left(-\frac{1}{2GC}\right) \frac{1}{\sum_{k=1}^m w'_k} \sum_{k=1}^m w'_k \{ (x-x_k)[du_k - du_{(x,y)}^{(1)}] \\ &\quad + (y-y_k)[dv_k - dv_{(x,y)}^{(1)}] \} \end{aligned} \quad (8)$$

想情况下大气最高层的垂直速度, k 为层次序号,自下向上增加, N 为分层总数。

对于垂直分层为不等距的情况,其垂直速度的计算公式为:

$$w'_k = w_k - (w_N - w_S) \frac{k \cdot P^* - \sum_{i=1}^k P_i}{N \cdot P^* - \sum_{i=1}^k P_i} \quad (11)$$

式中 P^* 为积分起始高度的气压值, P_i 为第 i 层的气压值,其余符号同式(10)。

在任一点 (x, y) 处的物理量可求的情况下,即可沿任意方向制作剖面图分析了。其具体操作是:

(1)选择剖面方向,并根据需要沿剖面直线上选取若干代表点,确定其水平坐标位置 (x_i, y_i) 。

(2)利用等压面上(或等高面上)离散的观测资料 $f(x_k, y_k)$,由式(6)、(7)、(8)、(9)、(10)等计算该层次剖面直线上各代表点 (x_i, y_i) 处的物理量值。

(3)将各等压面(等高面)上代表点的物理量值点绘在相应位置上,即可得到该物理量的垂直剖面图。

2 实例分析

1989年7月9日20时至10日20时,四川盆地东部发生了一次强降水天气过程。24小时降水量达100mm以上的有14县,200mm以上的有4个县,最大降水中心位于邻水县,雨量达286.1mm(如图1)。由于降水时间集中,强度大,致使川东地区部分县、市发生严重洪涝灾害。

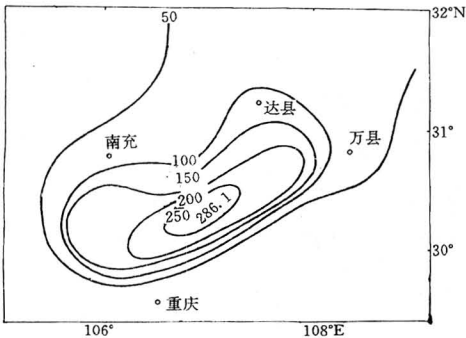


图1 四川盆地东部降水量/mm
1989年7月9日20时至10日20时

从卫星云图上看(图2),本次强暴雨过程是由一个强烈发展的MCC造成的,而该MCC的形成则是副高西侧边缘呈线状排列的对流单体合并和加强的结果。为了揭示副高西侧线状对流和MCC形成的激发机制,

我们沿线状对流发生区并穿过MCC作为剖面基线(如图3),以基线上对流单体初生时的中心和MCC的中心区作为重要考察点,结合分析需要,共在基线上设置了8个代表点,其坐标位置分别为A(108°E, 34.5°N)、B(107.4°E, 33°N)、C(107°E, 32°N)、D(106.5°E, 30.7°N)、E(106°E, 29.5°N)、F(105.6°E, 28.5°N)、G(105°E, 27°N)和H(104.4°E, 25.5°N)。

图4展示了沿AG方向的 θ_{se} 剖面,在C点以北,对流层低层 θ_{se} 较低, $\theta_{se} < 348K$;对流层中高层 θ_{se} 较高, $\theta_{se} > 352K$; θ_{se} 随 P 的减小而增大,即 $\frac{\partial \theta_{se}}{\partial P} < 0$,大气层结表现为较强的稳定态;不利于对流发展。相反,在C点以南,对流层低层 θ_{se} 高,在400hPa以下的气层中, θ_{se} 随 P 的减小而减小,即 $\frac{\partial \theta_{se}}{\partial P} > 0$,大气层结呈现出较强的不稳定,有利于对流发展。因此,从能量和层结条件来看,在剖面基线上C点以南的地区具备对流发展的有利环境条件,在一定的动力抬升作用下,对流将获得自由发展。

图5展示了对流临发生前沿AG方向上的涡度(ζ)、散度(D)和垂直速度(w)剖面。由图可见,在对流层低层,尤其是在能量和水汽集中的大气边界层内,C点以南均为正涡度、辐合、上升运动,且上升运动的高度超过850hPa。而在C点以北,虽然中高层有较强的上升运动,但边界层内却是弱的正涡度、辐散、下沉运动。两者相比,C点以南更易于产生持久而强烈的抬升运动。在有利的动力和能量条件下,21时32分C点南侧便产生了一系列的对流单体(见图2)。由于在D和C点附近的正涡度和辐合最强,对对流单体的组织作用最显著,因此,在对流发展过程中,对流体向D、C处集中,最后形成一个稳定而强大的MCC。

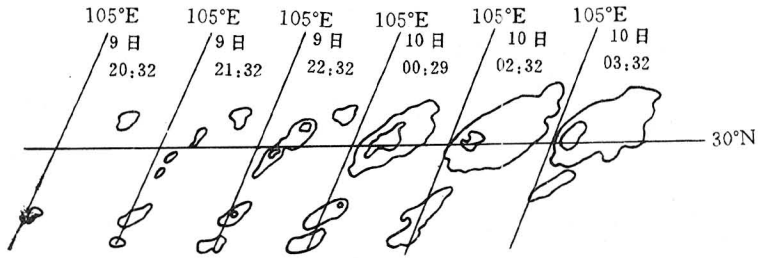


图2 卫星云图素描图

1989年7月9日20时至10日20时,等值线外圈 $T_{BB} = -54^\circ\text{C}$, 内圈 $T_{BB} = -82^\circ\text{C}$

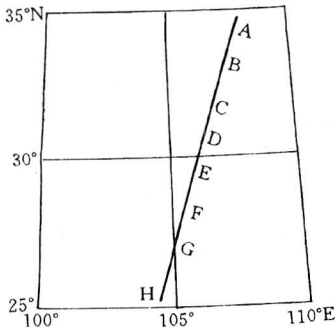


图3 剖面基线和代表点示意图

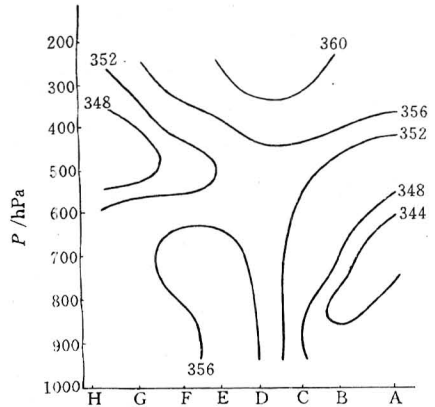


图4 沿AG方向上的 θ - σ 剖面/K

1989年7月9日20时

由此可见,选择适当的剖面,对物理量作诊断分析,有助于揭示大气运动的某些特征。

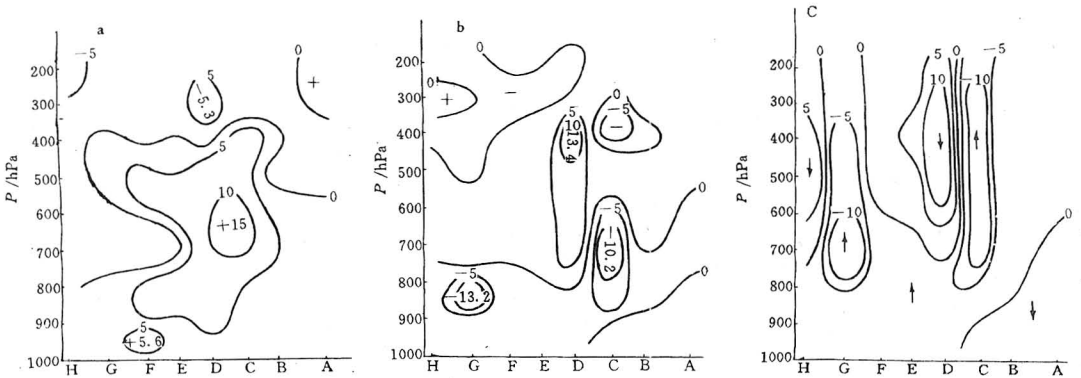


图5 1989年7月9日20时沿AG方向上的涡度(a)散度(b)垂直速度(c)剖面图

$\zeta: \times 10^{-5}\text{s}^{-1}$; D: $\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$; W: $\times 10^{-3}\text{hPa}^{-1}$

3 与过去方案的比较

为了与过去常用的剖面分析方案进行比较,我们仍采用本文的分析实例,选择同样的剖面基线,采用将剖面两侧临近观测值平移到剖面基线上的方法,对 θ_{se} 作了剖面分析,其结果如图6。比较图4和图6可见,两种剖面分析结果的主要特征是一致的,但在剖面的某些局部仍存在着比较显著的差别。如:由于56492站以东地区850hPa上 θ_{se} 变化十分剧烈,其梯度达5K/100km以上,当把宜宾站的 θ_{se} 值平移到剖面上时,就产生了显著误差,使得在剖面图6中重庆(57516)以南的对流层低层产生一个虚假的强低能中心。这对揭示前述线状对流的发生、发展是不利的。由于本文方案十分简便,且易操作,因此,在科研和业务中制作剖面分析时建议采用该方案。

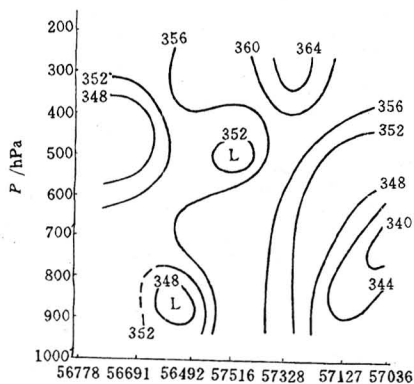


图6 沿AG方向上的 θ_{se} 剖面/K

4 结语

根据前述理论和实例分析可见,本文所提出的剖面制作方案较过去的方案有更大的优越性和可靠性。该方案使制作任意方向上的剖面分析得以实现,而不受测站资料的非规则分布影响。另外,方案所提供的沿剖面基线上任意选择代表点进行分析的方法,也为揭示某些特殊区域或特殊点的物理特征带来了极大的方便。尤为适合诊断天气系统的结构特征。建议在剖面分析中采用该方案。

参考文献

- 1 袁恩国等. 长江中上游暴雨科学业务试验研究. 北京:气象出版社,1996:142—232.
- 2 黄福均. 青藏高原背风坡西南低涡暴雨. 大气科学研究与应用,1992,(2):52—60.
- 3 汤锁坤. 用多方位铅直剖面图综合分析暴雨和强对流天气. 高原气象,1986,(1):86—100.
- 4 Kou, Y. H. et al. Mesoscale analysis of the Sichuan flood catastrophe, 11—15 July 1981. Mon. Wea. Rev., 1986, (11):1984—2003.
- 5 彭贵康, 川西“95.8”特大暴雨天气分析. 四川气象, 1996,(1):16—21.
- 6 陈忠明. 客观分析的一种高效省时计算方案. 低纬高原天气, 1994, 7:27—32.
- 7 陈忠明等. 直接利用观测资料计算涡度、散度的一种方案. 大气科学研究与应用(待发表).
- 8 陈玉春等. 不等距垂直分层的垂直速度订正. 高原气象, 1986,(4):342—353.

A Simple Technique to Analyse Cross-Section Charts

Chen Zhongming

(Meteorological Science Institute of Sichuan Province, Chengdu 610072)

Miao Qiang

(Zigong Meteorological Bureau, Sichuan Province, 643000)

Abstract

Based on continuity of meteorological fields, a simple technique to analyse cross-section charts is proposed with the aid of results in Chen(1996). The technique has much more superiority and much better reliability than the traditional, and is specially suitable to diagnose structure of weather systems.

Key Words: cross-section chart diagnostic analysis cross-section analysis structure of weather system