第 20 卷第 3 期
1997 年 9 月

南 京 气 象 学 院 学 报
Journal of Nanjing Institute of Meteorology

Vol. 20 No. 3
Sep. 1997

中尺度对称不稳定的诊断应用

刘子臣　张健宏　梁生俊
(陕西省气象台, 西安　710015)

摘　要　通过个例诊断分析, 讨论了黄土高原上暴雨的对称不稳定性及其判据的分布特征, 结果表明对称不稳定层结在此类天气过程中具有重要作用。计算表明, 暴雨区的判据值是小于零的。

关键词　中尺度对流系统, 对称不稳定, 暴雨诊断
分类号　P458. 121. 1

黄土高原的夏季, 常常发生强烈的突发性天气过程。有时根据天气图和探空曲线图认为大气层结是稳定的, 却在短时内产生了强烈的降水天气; 反之, 层结不稳定时, 却又没有产生强烈的天气过程。基于这种大气状态, 丁一汇指出[1], 当空气质点由南向北作经向运动时, 沿等熵面倾斜上升, 湿空气达到饱和变成条件性不稳定, 这种不稳定可能导致云带继续生长, 产生条件不稳定, 这样就可以产生较强的降水。黄土高原上经常是开始是薄薄的层状云, 经几个小时的增长, 就会产生强烈的降水。1993 年 8 月 3 日夜间, 以延安站为中心的大暴雨, 就属于这种情况。3 日 08 时前后, 黄土高原已有层状云, 即降水前已具备了潜在的条件不稳定, 于是在环境的扰动下发展成为中尺度的对流活动。

对于高原上经常遇到的这一现象, 我们试图用对称不稳定理论及其判据对之进行诊断分析, 看一看在大陆内部的黄土高原上能否产生对称性不稳定。通过计算分析发现, 对称不稳定状态在黄土高原的强降水中起着重要作用。

1　对称不稳定判据及计算方法

1. 1　对称不稳定判据

对称不稳定判据有多种表达式, 这里采用下面的形式[2]

$$W = -f^2\left(\frac{f_a}{f} - \frac{1}{Ri}\right)(\quad y)^2 \tag{1}$$

令

$$S = \left(\frac{\ _a}{f} - \frac{1}{Ri}\right) \tag{2}$$

式中, $_a$ 是绝对涡度; Ri 是里查逊数; y 是质点位移; f 为地转参数; S 即为对称不稳定判据。

此表达式的物理意义是, 当环境大气绝热并满足地转和静力平衡时, 在二维 y-z 平面内, 空气质点沿等动量($M = u - fy$) 面从南向北做倾斜性上升运动时, 环境场对空气质点所做的功是 W。

收稿日期: 1996- 10- 20; 改回日期: 1997- 03- 24
第一作者简介: 刘子臣, 男, 1940 年 8 月生, 高级工程师

海洋上的暖湿空气输送到黄土高原上要运行很长的路程。显然, 采用这个判据可以使运动中的空气质点得到一个明确的状态。当判据 $S < 0$ 时, $W > 0$, 这表明环境大气的动力扰动使向北运动的空气质点得到能量。反之, 当 $S > 0$ 时, 表明环境大气做负功, 使运动的空气质点失去能量, 空气质点的运动受到抑制, 大气状态是稳定的, 也就没有对流活动的发展。当 $S = 0$ 时, 表明大气层结是中性的。

1.2　对称不稳定判据的计算方法

在具体计算(2)式时, 大气垂直分为 4 层, 即 850～700 hPa 为第 1 层, 700～500 hPa 为第 2 层, 500～300 hPa 为第 3 层, 300～200 hPa 为第 4 层。用北京大学提供的计算程序进行计算[1)]。格点距为 100 km, 计算范围为(24～42°N, 94～119°E)。计算时求出格点值。

里查逊数由下式[5]计算

$$Ri = -\frac{R_d\ p}{p}\left(T_p\frac{AR_dT}{c_{pd}}\frac{p}{p}\right)/\left(u_p^2 + v_p^2\right)$$

式中, p、T 分别表示上下两等压面的气压平均值和绝对气温平均值; p、T_p 分别表示两等压面间气压差和气温差; $u_p = u_{上} - u_{下}$、$v_p = v_{上} - v_{下}$ 分别表示上下两等压面上的风速分量差; A、R_d 和 c_{pd} 为常用参数。

2　个例计算与分析

2.1　个例天气概述

1993 年 8 月 3 日至 4 日, 在黄土高原中部延安地区出现了大暴雨天气过程, 24 小时内有 9 站达暴雨, 其中延安最大日雨量为 100.2 mm。由 3 日 08 时(北京时间, 下同)高空形势图(图 1)中看出, 500 hPa 和 850 hPa 上产生大暴雨的形势均不明显, 暴雨区位于 500 hPa 弱脊里, 而

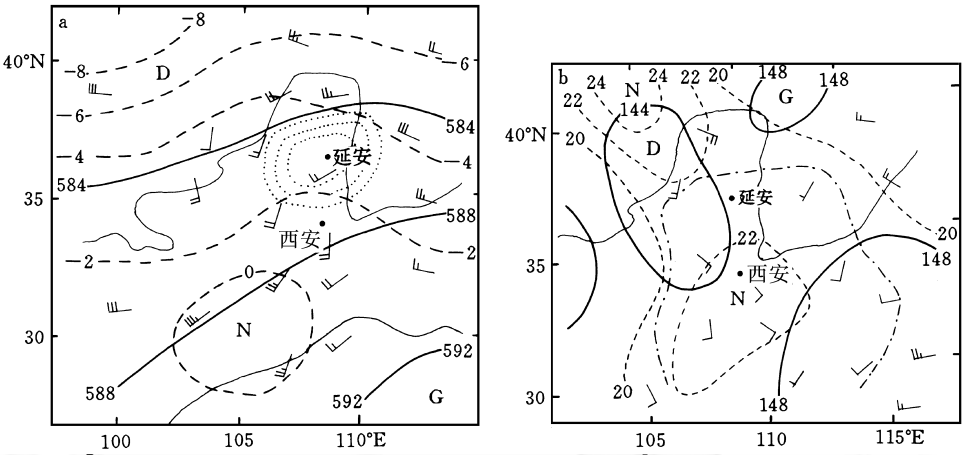

图 1　1993 年 8 月 3 日 08 时位势高度场(单位: dagpm)及温度场(单位: ℃)

a. 500 hPa;　b. 850hPa

实线是等高线; 虚线是等温度线; 点划线是 $(T - T_d) < 2$ ℃的区域; 阴影区为暴雨区

Fig. 1　500 and 800 hPa configuration shown in a) and b), respectively, for 0800 BST, August 3, 1993

Contours are given by full, isotherms by dotted and $(T - T_d) < 2$ ℃ by dot-dashed lines, with the rain area shaded

1)　客观分析软件由北京大学陶祖钰教授提供

且雨区上游也只有一个浅槽,温度线几乎与等高线平行,锋区不明显,冷平流很弱。槽前风场比较乱,没有强南风急流。

在 850 hPa 图上有一个弱的南风带,雨区上游存在一个 144 dagpm 的低涡,但是气旋性环流并不明显。暖湿气流从 20 °N 一直吹到 38 °N(见 $T-T_d<2$ ℃的区域),暖区的范围向北可达 45 °N,并且在(42 °N,104 °E)有一个 24 ℃的暖中心。但是由于地面冷锋(图略)坡度小(内陆地区 8 月份的地面冷锋常常表现得浅薄即坡度小),所以暖湿气流沿锋面容易爬升。图 2 中几乎是平行的高能轴的特征就可证明 8 月 3 日这次过程的地面冷锋是浅薄的。

高空形势的另一个特点是 700 hPa 上有支窄的偏南急流(图略),急流头距暴雨区有 200 km 左右,综合 850 hPa、700 hPa、500 hPa 分析,偏南急流($12\ m\cdot s^{-1}$)只在 700 hPa 层明显,表明急流层是浅薄的。因此,靠一般的天气预报经验很难预报未来 24 h 内有区域性大暴雨。

这个例子表明,大陆内部的黄土高原不象低纬度地区,暴雨前一般不会有强大的低空急流。作者的目的在于证明,潜在的条件性不稳定在大尺度环境场的扰动下,也能产生暴雨,这类暴雨可能就是对称性不稳定的天气过程。

2.2 对称不稳定的剖面图特征

根据 Emanuel[4]和郑良杰[5]的方法,用 8 月 3 日 08 时探空资料作了与锋面垂直的剖面图(图 2)。分析 $_{se}$线和等绝对动量 M($M=u-fy$)线可以看出,从宜昌到延安南部上空为一高能湿舌,高能舌主要位于 850～700 hPa 两等压面之间,其南北长度有 700～800 km,高能轴线几乎平行于等压面。故这次暴雨 $_{se}$的空间分布显然与文献[6]指出的结果明显不同。

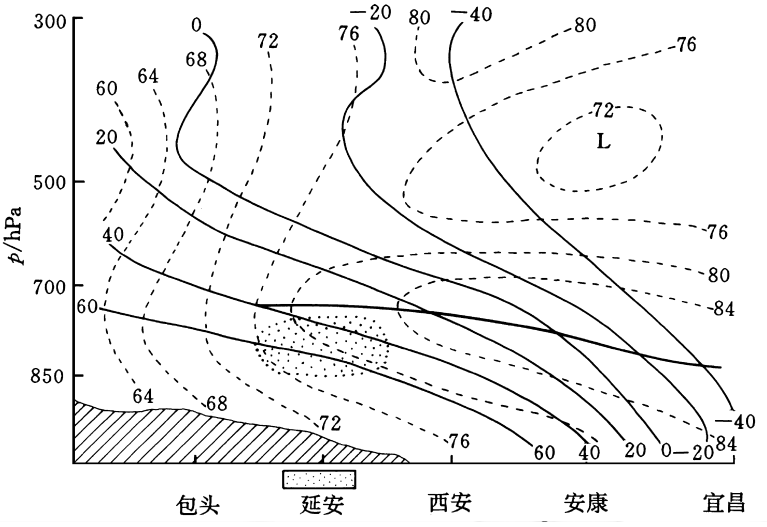

图 2 1993 年 8 月 3 日 08时与地面锋垂直的过雨区中心剖面图

粗实线是高能轴;虚线为 $_{se}$线(单位:℃);实线为绝对动量 M 线(单位:$m\cdot s^{-1}$);阴影区是对称不稳定区

Fig. 2 Cross section vertical to a surface front through the rain area at the same time, with the high energy axis given by heavy solid, $_{se}$ isopleth by dot-dashed and absolute momentum by full lines, M line ($m\cdot s^{-1}$) with the rain region shaded

图 2 中高能轴线上方到对流层中层有明显的对流性不稳定层,这就是作者曾经指出的中层不稳定[7]。尤其在锋面上空 700 hPa 和 500 hPa 上的 $_{se}$之差已超过 −8 ℃,即 $_{se}/z<0$。在高能轴的下方却表现为对流稳定的层结,即 $_{se}/z>0$,这时在锋面(雨区)上方的稳定度值达

到了 8 ℃左右(参看图中阴影区)。可以认为, 对这类过程的整层大气来说是一个复杂的层结状态, 实质上是一潜在的条件不稳定层。因此, 必须判断层结状态的未来发展。

另外, 图 2 中等 M 线的分布明显地从南向北逐渐减小, 且 $M/y<0$, 表明在水平方向上是惯性稳定的。但是在低层的水汽场分析中发现, 850 hPa 层上 $T-T_d<4$ ℃的区域很大, 而且延安的 $T-T_d=2$ ℃, 气温达 22 ℃, 都表明暴雨前中低层已具有了湿大气的性质。实际上, 3 日 08 时延安上空已出现了层状云, 表明已具备了湿大气性质。

Emanuel[4] 和丁一汇[1] 认为, 在湿大气中产生条件性对称不稳定的条件是在 $M/y>0$, $\theta_{se}/z>0$ 的环境大气中, 等 M 面的坡度要比等 θ_{se} 面的坡度小。在图 2 中显见高能轴附近的 θ_{se} 面的坡度是很小的, 这里的 θ_{se} 面近于平行面了, 比常见暴雨的 θ_{se} 面的坡度都小得多。因此, 可以认为锋面上方 850 hPa 以下的阴影区附近是满足对称不稳定条件的。这就可能产生向锋后部倾斜的中尺度滚轴状环流的生成。同时由于高能轴上方为深厚的对流不稳定层, 因而中尺度环流的上升支将可能触发低层潜在的不稳定层, 从而产生强烈的对流运动。

2.3　对称不稳定判据 S 值的分布

用高空资料计算 S 值的水平分布, 结果见图 3。图 3 显示 S 值有明显的负中心, 中心值大约是 −1。负中心尽管没有完全对应暴雨中心, 但是可以认为暴雨区与 S 负值区对应较好, 偏差约 1 个纬距。Emanuel 分析的例子也表明, 负的(或小的) S 值有利于中尺度系统的发生发展[4]。

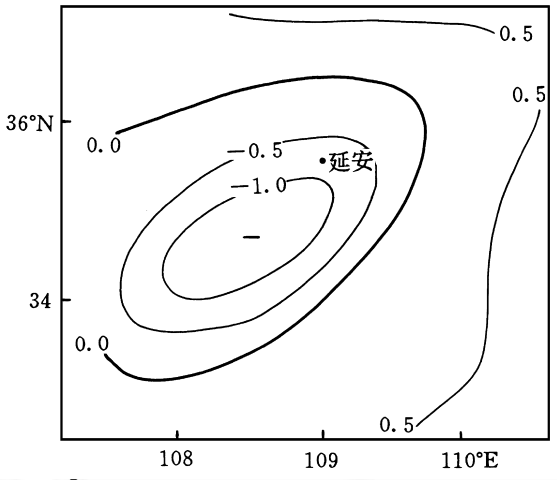

图 3　1993 年 8 月 3 日 08 时 S 值在低层 850～700 hPa 的分布

Fig. 3　Pattern of criterion S at 850～700 hPa at the time when the rainfall occurred

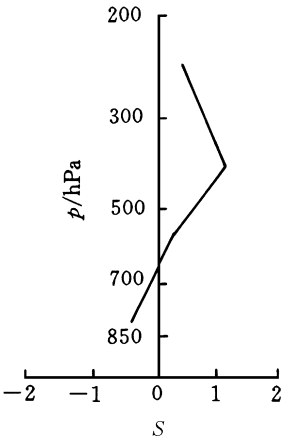

图 4　1993 年 8 月 3 日 08 时 S 值的垂直分布

Fig. 4　S distributed spatially

2.4　对称不稳定判据 S 值的垂直分布

图 4 是暴雨区中心周围 9 个点 S 值平均值的垂直分布。可见, S 值的空间分布特点是低层 $S<0$, 中高层 $S>0$。说明降水前低层空气质点作倾斜性上升运动时受环境场作用已产生了对称不稳定性。图 2 也说明了这一点, 因为从(2)式可知, 绝对涡度小、风场垂直切变强和弱的静力稳定度最有利于对称不稳定层结的形成, 而 8 月 3 日 08 时的大气低层已具备了这个条件。这次过程中 S 值的空间分布特征与 Emanuel 个例分析中的 S 值空间分布特征是相似的[4]。

3 讨 论

通过个例分析, 初步得出对称性不稳定判据 S 值对黄土高原上某种类型中尺度天气系统 (象个例中没有达到明显急流标准的暴雨) 的发生具有一定的指示性。暴雨容易发生在 $S< 0$ 的区域内。在黄土高原上, 许多对流活动都直接与锋面相联系, 与西风槽相关联。

黄土高原地处大陆内部, 远离水汽源地, 所以当暖湿空气在远距离输送时, 在环境场的动力扰动下, 空气质点就可能产生一种对称不稳定状态。在高原上产生中尺度天气系统的机制是复杂的, 有对流作用, 有动力扰动作用, 还有潜在的条件不稳定, 但是不管怎样, 在中尺度系统诊断中, 既要注意层结状态, 还要考虑动力影响, 才能得到满意的结果。因此说, 对称不稳定判据可能是某些中尺度天气过程发生的综合性判据。

参 考 文 献

1 丁一汇. 对称不稳定理论及应用的问题(一) 线性理论. 应用气象学报, 1994, 5(3) : 364～365
2 李崇银. 动力气象学概论. 北京: 气象出版社, 1984. 185～188
3 陈创买. 气象常用参数和物理量查算表. 北京: 气象出版社, 1980. 9～11
4 Emanuel K A . On assessing local conditional symmetric instability from atmospheric soundings. Mon Wea Rev, 1983, 111 (3) : 2017～2030
5 郑良杰. 中尺度天气系统的诊断分析数值模拟. 北京: 气象出版社, 1989. 130～131
6 雷雨顺. 能量天气学. 陕西气象, 1983, 特刊: 102～104
7 刘子臣. 陕西暴雨形势特征研究. 陕西气象, 1981, (1) : 18～21

DIAGNOSIS AND APPLICATION OF MESO SYMMETRIC INSTABILITY

Liu Zichen Zhang Jianhong Liang Shengjun
(Shaanxi Meteorological Bureau, Xi'an 710015)

Abstract Based on case diagnosis we investigated the symmetric instability of a rainstorm over the loess plateau, along with the distribution of the criterion of the event. Results show that symmetrically unstable stratification is of importance to such a weather process and that the criterion is < 0 in magnitude over the rainfall area.

Keywords mesoscale convective system, symmetric instability, rainstorm diagnosis