

一次罕见的山东暴雪天气的对称不稳定分析

盛春岩 杨晓霞

(山东省气象台, 济南 250031)

提 要

采用对称不稳定判据,对发生在2001年1月6~7日的一次罕见的山东暴雪天气过程进行了分析,结果表明:暴雪产生在对称不稳定大气中,低空急流促使对流层低层暖湿气流辐合上升,触发对称不稳定能量释放,产生暴雪天气。江淮气旋和暴雪区有向对称不稳定区移动的趋势。

关键词: 对称不稳定 低空急流 江淮气旋 暴雪

引 言

当大气处于弱的层结不稳定状态时,虽然在垂直方向上不能有上升气流的强烈发展,但在一定条件下可以发展斜升气流,这种机制称为对称不稳定。它是大气中垂直方向上的静力稳定度和水平方向上的惯性稳定度相结合而产生的一种大气在倾斜方向运动的稳定度判据。对称不稳定理论已在爆发性气旋^[1]、暴雨^[2]和强对流发展^[3]等方面的研究中取得了较好的效果。本文采用文献[2]中的对称不稳定判据,对一次山东暴雪天气进行分析。

1 对称不稳定判据

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,空气质点沿等动量面 ($M = u - fy$) 从南向北作倾斜上升运动时,环境场对空气质点做的功为 Δw , 其表达式为:

$$\Delta w = -f^2 \left(\frac{\zeta_a}{f^2} - \frac{1}{R_i} \right) \cdot \Delta y \quad (1)$$

$$\text{令 } S = \left(\frac{\zeta_a}{f^2} - \frac{1}{R_i} \right) \quad (2)$$

$$R_i = -\frac{g}{\theta} \cdot \frac{\frac{\partial \theta}{\partial z}}{\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2}$$

$$= -\frac{\gamma_a T}{p\theta} \cdot \frac{\frac{\partial \theta}{\partial p}}{\left(\frac{\partial u}{\partial p} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial p} \right)^2} \quad (3)$$

式中 ζ_a 为绝对涡度, R_i 为理查逊数, Δy 为质点位移, f 为地转参数, S 为对称不稳定判据。理查逊数由式(3)计算。

从式(2)可以看出,当 $S < 0$ 时, $\Delta w > 0$, 表明环境大气动力扰动使向北运动的空气质点得到能量,即存在对称不稳定。反之, $\Delta w < 0$, 环境大气作负功,使空气质点失去能量,空气质点的运动受到抑制,大气状态是稳定的。 $S = 0$, 大气状态为中性。

计算时水平范围取 51×51 个网格点, 格距 60 km, 中心位置为 35°N 、 120°E , 垂直方向分为 950、925、900、850、800、700、600、500、400、300、250、200、150、100hPa 共 14 层。

2 过程概述和影响系统分析

2001年1月6~7日,山东省出现了大范围的暴雪天气。自6日06时到7日20时,全省平均降水量为20.7mm,其中临沂降水量最大,为40.2mm,各地降水量分布见图1。由于前期气温较高,大部地区先是降雨,随着冷空气的南下逐渐演变成雨夹雪。此次

过程降水量创 1950 年以来同期最高纪录。

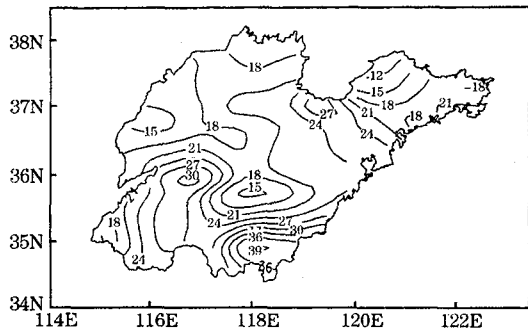


图 1 2001 年 1 月 6 日 06 时~7 日 20 时
山东省过程降水量/mm

这次暴雪天气过程的主要影响系统是江淮气旋和 850hPa 西南涡(见图 2)。5 日 08 时,500hPa 在 29~34°N、90~100°E 区域内有高原低槽,850hPa 在 30°N、100°E 附近有低涡,20 时高原低槽东移,槽前正涡度叠加在 850hPa 低涡上空,低涡发展成西南涡,中心位于 30°N、106°E 附近。6 日 08 时,850hPa 西南涡发展并向东北移,中心位于 32.5°N、108°E 附近,山东处于地面倒槽中,鲁南地区开始降水。在西南涡的东南象限有一支西南风低空急流,低空急流输送的暖湿气流增加了西南涡的位势不稳定,为地面气旋的生成创造了有利条件。6 日 20 时,西南涡向东北方向移至 34.5°N、115°E,地面上在南京附近(32°N、119.8°E)有江淮旋生成,山东降水加剧,鲁南和鲁西地区降水量较大。7

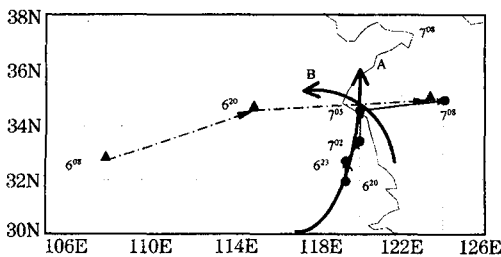


图 2 江淮气旋中心位置(圆点)及移动路径(实线箭头)、850hPa 西南涡中心位置(三角)及移动路径(点划线箭头)、6 日 20 时 700hPa 西南风急流轴线(A)和边界层东南风急流轴线位置(B)

日 02 时,气旋北移至苏北(33.5°N、120.2°E),鲁东南、鲁中一带降水增强。7 日 08 时,850hPa 西南涡移至我国东部沿海(34.5°N、123°E),江淮气旋向东北移至海上(34.5°N、124°E),山东大部地区降水减弱。7 日 20 时,高低空系统均已东移出海,山东降水基本结束。6 日和 7 日全省 17 城市日降水量均达到暴雪标准。

3 水汽条件分析

5 日 20 时 850hPa 高空图上(图略)在低涡东侧的切变线南侧为 $t - t_d = 0^\circ\text{C}$ 的高湿区,在低空急流轴附近 $t - t_d < 2.0^\circ\text{C}$,表明这里的大气皆已饱和。700hPa 图上在 32°N 江淮切变线附近为高湿舌区,其南侧低空急流区的大气也达饱和,此时高湿区仅局限在 700hPa 以下。6 日 08 时,湿区北抬的同时也向上伸展,850、700、500hPa 三层华北至华南的大部地区都为 $t - t_d < 2.0^\circ\text{C}$ 的高湿区。6 日 20 时,湿区向东北移至鲁南和江苏东部沿海,降水区也北上。

分析 850、700、500hPa 三层的水汽通量分布(图略)发现,6 日 08 时水汽通量大值区主要位于安徽以南,呈西南-东北走向,中心值达 $100.0 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,表明水汽来源主要是孟加拉湾。另一次大值中心位于江苏-山东一带,呈西北-东南走向,由此可见,东南风不断从海上输送水汽。6 日 20 时水汽通量最大值中心随西南风低空急流向东北方向移动。分析降水发生时的水汽通量散度图(图略)发现,500hPa 以下在高湿区附近存在着强水汽辐合,大范围的湿区和强的水汽通量辐合为暴雪的产生提供了有利的水汽条件。

4 对称不稳定分析

分析降水开始前及降水时的 T-Lnp 图发现(图略),6 日 08 时,青岛、成山头在 800hPa 以下有不稳定能量,不稳定层极其浅薄;至 20 时,济南、青岛、成山头都是稳定的。

分析 θ_w 随高度的变化发现,降水发生前和发生时 θ_w 都是随高度增加的,由此可见,这次暴雪天气属对流稳定性降水。

分析对称不稳定判据 S 的水平分布可见,5日20时山东省至南方的大片地区都是 $S > 0$,表明大片降水区都处于对称稳定大气中(图略)。6日08时,950hPa上江苏沿海一带和山东半岛出现近南北向的 S 负值区,

表明这里大气存在对称不稳定(图3a)。此时山东处于地面倒槽之中,鲁南降水开始。6日20时,对称不稳定区北移至鲁东南沿海及山东半岛一带,地面倒槽发展成江淮气旋,其中心位于南京附近(32°N、119.8°E),山东降水加剧(图3b)。7日08时对称不稳定区移至海上126°E以东,江淮气旋东移出海(图略)。

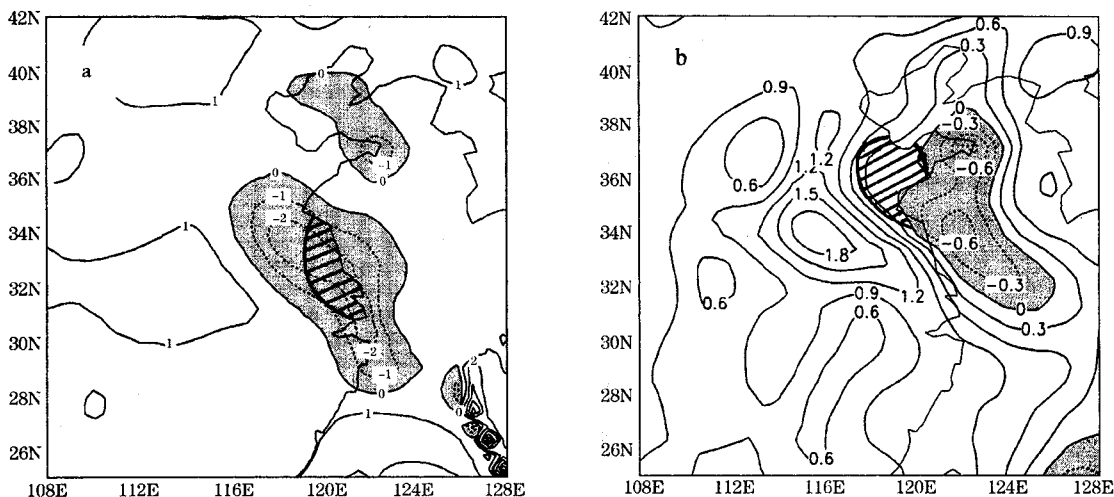


图3 950hPa对称不稳定 S 的分布

(a)6日08时(斜线区为6日08时~20时降水量大于20mm的地区)

(b)6日20时(斜线区为6日20时~7日08时降水量大于15mm的地区)

分析中发现,对称不稳定区与12小时后的强降水区有较好的对应:6日08~20时强降水区位于江苏东部(图3a斜线区),与6日08时对称不稳定区相配合。6日20~7日08时强降水区主要位于鲁中、鲁东南和半岛地区(图3b斜线区),与6日20时对称不稳定区相配合,因此,对称不稳定能较好地反映出强降水区的移动。

沿121°E作 S 的空间剖面图分析对称不稳定的垂直结构发现(图4),6日08时对称不稳定区主要在850hPa以下,29~40°N一带,向上很快减弱消失,至300hPa附近又有一个弱的对称不稳定区出现。20时850hPa以下在33~38°N附近有对称不稳定区存在,向上很快减弱消失,因此,对称不稳

定区主要位于850hPa以下浅薄的行星边界层内。

5 讨论

分析中发现,6日20时江淮气旋恰出现在6日08时 $S < 0$ 的区域,7日08时气旋移向6日20时 $S < 0$ 的区域,表明气旋有向对称不稳定区移动的趋势(见图2)。

分析这次暴雪的动力条件可见,5日20时,700hPa在安徽以南有一支西南风低空急流,6日08时,西南风低空急流向东北移动,在江苏、安徽一带产生强辐合;同时,850hPa以下的行星边界层内在在江苏、安徽一带出现了一支东南风急流,急流中心最大风速达 $26\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,在急流出口区有强风速辐合。西南风低空急流与边界层的东南风急流在江苏

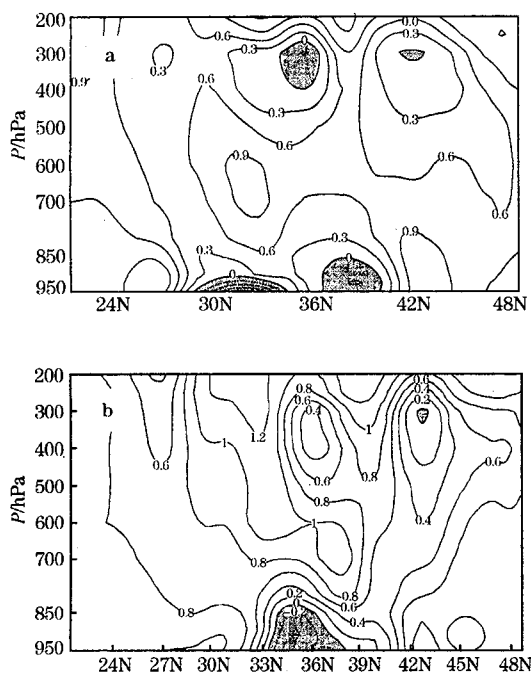


图4 沿121°E对称不稳定空间剖面图

(a)6日08时,(b)6日20时

北部一带相交,在相交点北侧大气产生强辐合,触发了这里的对称不稳定大气在上升中加速,同时500hPa北支槽与南支槽结合,引起地面气旋发生和强烈发展。6日20时,随着系统的北移和气旋的进一步发展,降水进一步加剧,山东出现暴雪。由6日08时和20时的垂直运动场(图5)可见,在山东及其以南(32~38°N)的地区有一支强上升气流,在40°N以北下沉。沿不同经纬度作垂直运动剖面图发现,上升气流随时间向东北方向移动(图略)。因此,江淮气旋的生成和移向与500hPa低槽、850hPa西南涡和低空急流以及行星边界层的对称不稳定都有密切联系,对称不稳定能较好地反映出12小时后的强降水落区。

6 小结

(1)江淮气旋北移是造成这次暴雪天气的主要原因,850hPa西南涡的出现是产生暴雪的另一有利条件。

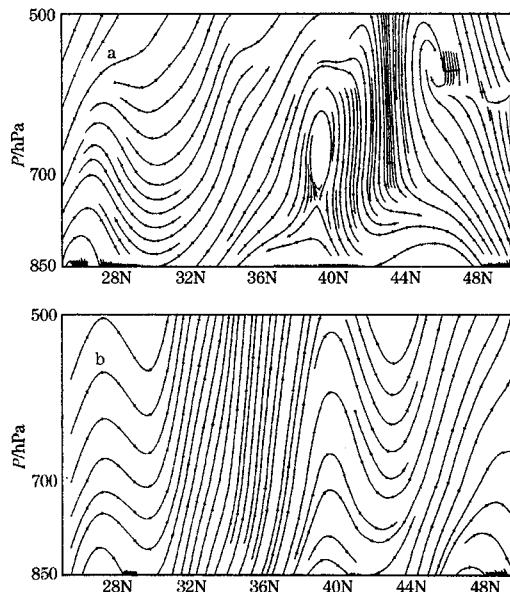


图5 6日08时(a)和20时(b)沿120°E的 $v-\omega$ 流场垂直剖面图(垂直速度放大1000倍)

(2)大面积充沛的水汽和强水汽辐合为暴雪的产生提供了有利的水汽条件。

(3)这次暴雪发生在对流稳定而对称不稳定大气中,低空急流造成的暖湿空气辐合上升是产生暴雪的触发机制。

(4)地面气旋和强降水区有向对称不稳定区移动的趋势,因此,对称不稳定判据能较好地反映出气旋降水中的强降水区的分布和移向,可作为暴雪等强降水落区预报的一个判据。

参考文献

- 1 Reed R J, Albright M D. A case study of explosive symmetric instability from atmosphere sounding. *Mon. Wea. Rev.* 1983, 111: 2016—1033.
- 2 刘子臣等. 中尺度对称不稳定的诊断应用. *南京气象学院学报*. 1997, 20(3): 400~404.
- 3 Jasourt S D, Lindstorm S, Seaman C J, Houghton D D. An observation of banded convective development in the presence of weak symmetric stability. *Mon Wea Rev*, 1988, 116: 175 - 191.

Symmetry Instability Analysis of an Unusual Storm Snow in Shandong Province

Sheng Chunyan Yang Xiaoxia

(Shandong Meteorological Observatory, Jinan, China 250031)

Abstract

By using symmetry instability criterion, an unusual storm snow appeared on January 6 to 7, 2001 in Shandong Province is analysed, the results show that the storm snow occurred in the symmetry instability atmosphere, low-level jet caused warm and humid air converging and ascending in lower troposphere and stimulated the symmetry instability energy releasing and then the event of storm snowfall occurred. The Changjiang-Huaihe cyclone and the region of storm snow moved towards the area of symmetry instability.

Key Words: symmetry instability low-level jet Changjian-Huaihe cyclone storm snow