

一次暴雨—大暴雨过程的熵诊断分析

尤凤春

(河北省气象台, 石家庄 050021)

提 要

该文利用熵平衡方程,对1993年8月4—5日,在河北省中南部地区发生的暴雨—大暴雨,局部特大暴雨天气过程进行了熵诊断分析。指出,在湿饱和大气下,降水过程实质上是熵由不平衡通过垂直运动达到平衡的过程。

关键词: 熵 平衡方程 诊断分析

前 言

目前,用熵平衡方程判断大气中对流和降水的发生,从理论上已进行了论证^[1],但是,在实际工作中应用还很少。本文将此方程应用于暴雨天气过程中作诊断分析。

1 天气概况

1993年8月4日08时—5日08时,由于一次西北低涡东移发展,使河北省中南部地区降了暴雨—大暴雨,部分地区为特大暴雨,24小时雨量为威县389mm、广宗384mm、立县303mm,部分地区并伴有雷雨大风,由于雨强大,持续时间长,使邢台局部地区出现了不同程度洪涝灾害。

2 环流形势及影响系统

这场暴雨—大暴雨天气过程发生在欧亚中高纬经向环流发展的条件下。其天气形势主要特点为:在8月4日20时700hPa图上(图略),乌拉尔山及其以西地区和贝加尔湖以东到东北平原各为一个长波脊,南北向发展的长波槽稳定在西伯利亚到巴尔喀什湖一带。槽中有两个低涡分别位于西西伯利亚和巴尔喀什湖附近,西西伯利亚低涡发展成为一个深厚的低涡,其后部自西伯利亚经蒙古西部到新疆北部盛行一支西北气流,并有西北—东南向的锋区与它配合,巴尔喀什湖低涡强度逐渐减弱,并且不断分裂出小槽沿锋区东移。500hPa图上,西太平洋副高的北端与东亚长波脊连成一体,形成东高西低的环

流形势,在副高西北侧建立起一支强盛的西南气流。北支锋区上的小槽携带的冷空气和西南暖湿气流在华北中南部地区交汇。

这次过程的主要影响系统是低涡切变线和黄河气旋。2日在青藏高原东侧武都附近生成一暖性西北低涡,巴尔喀什湖低涡分裂一短波小槽东移。3日小槽移到青海湖附近向南加深发展,槽后冷空气从西北方侵入低涡,促使其变性,出现斜压结构,激发低涡发展并沿高空西南气流向东北方向移出。与此同时,青藏高原东侧建立起一支较强西南低空急流,700hPa图上风速增至12—14 $m \cdot s^{-1}$;自低纬经西南地区东部逐步控制西北地区东部和华北大部,该地区的 $T-T_d$ 为1—4℃,有利于较大降水发生。因此,这支气流使南方水汽向北输送,为暴雨—大暴雨提供所需的水汽条件。700hPa图上涡后北风气流风速也加大到10—14 $m \cdot s^{-1}$,与偏南气流形成一条冷性切变线,涡前偏南气流与北侧高压之间形成一条暖性切变线,均与低涡中心相连,构成低涡切变型,为暴雨—大暴雨提供了强烈的辐合上升运动条件。4日08时,地面图上在延安东部形成黄河气旋,在它的前部出现大片雨区,开始影响我省,在影响系统东移过程中,我省中南部地区降了暴雨—大暴雨,局地特大暴雨。5日08时,随着副高的减弱向东南退,影响系统也向东南退,降水结束。

3 诊断分析

经过简化后所得到的大气系统中的熵平衡方程为^[1]：

$$\begin{aligned} \rho \frac{ds}{dt} = & \frac{\lambda}{T} \nabla^2 T + \left[\frac{C_v}{T} \sum_{\beta=1}^3 \frac{\partial T_{\sigma}}{\partial X_{\beta}} - \frac{g}{T} \right] \\ & + \{ \nabla \cdot [\frac{\mu_a}{T} \rho_a (\vec{V}_a - \vec{V})] \\ & + \nabla \cdot [\frac{\mu_v}{T} \rho_v (\vec{V}_v - \vec{V})] \} \\ & + \begin{cases} \frac{\mu_w}{T} W \frac{\partial \rho_w}{\partial z} & W > 0 \\ 0 & W \leq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

熵平衡方程的详细讨论请参阅文献[1]，其中

$$\frac{C_v}{T} \sum_{\beta=1}^3 \frac{\partial T_{\sigma}}{\partial X_{\beta}} - \frac{g}{T} = \frac{C_v}{T} \left(\frac{\partial T_{\sigma}}{\partial x} + \frac{\partial T_{\sigma}}{\partial y} \right) - \frac{g}{T} \left(\frac{\partial T_{\sigma}}{\partial x} + \frac{\partial T_{\sigma}}{\partial y} \right)$$

称为定容等熵温度梯度，而 $-g/T$ 为永远小于零的项，我们关心的是 $\frac{C_v}{T} \left(\frac{\partial T_{\sigma}}{\partial x} + \frac{\partial T_{\sigma}}{\partial y} \right)$ 项是否 < 0 ，即 $\frac{\partial T_{\sigma}}{\partial x} + \frac{\partial T_{\sigma}}{\partial y}$ 是否 < 0 ，当它 < 0 时，表示此项对熵变有负的贡献。

另外从熵平衡方程分析中，我们得到在能量锋区的某些地方，即 $\left(\frac{\partial T_{\sigma}}{\partial x} + \frac{\partial T_{\sigma}}{\partial y} \right) < 0$ 的区域是未来产生降水的区域，而此区与高湿区重叠的区域是未来有可能产生较大降水的地方。

利用1993年8月4日08时和20时高空500、700、850hPa资料，在32—44°N、109—121°E范围内，采用有限元法进行网格点插值，取网格距为2×2经纬度，7×7个网格点，计算出各层 $\left(\frac{\partial T_{\sigma}}{\partial x} + \frac{\partial T_{\sigma}}{\partial y} \right)$ 和 $T-Td$ 的分布。总能量温度为： $T_{\sigma} = T + gz/C_v + Lq/C_v + V^2/2C_v$ ，其中： $z = Z - \bar{Z}$ ， \bar{Z} 为各层的平均高度，500、700、850hPa的平均高度分别取5500、3000、1420gpm。计算结果中，以500hPa层与实况暴雨区的对应关系为最好。

图1为1993年8月4日08时500hPa定容等熵温度梯度和 $T-Td$ 的水平分布合成图，其中实线为定容等熵温度梯度，虚线为 $T-Td$ 水平分布，其斜线区为定容等熵温度梯度 $\leq -100 \times 10^{-5} \cdot \text{km}^{-1}$ 和 $T-Td \leq 2^{\circ}\text{C}$

的重叠区域，也即为未来出现暴雨的区域，此区域在我省的中南部，与实况暴雨落区较为一致，而局地特大暴雨也在此区中。

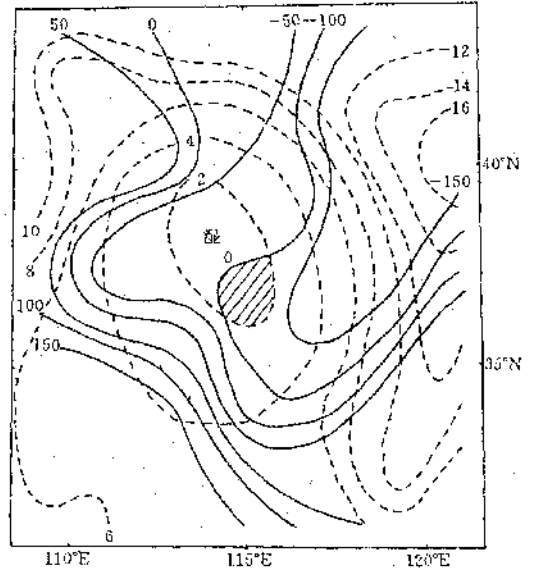


图1 1983年8月4日08时500hPa定容等熵温度梯度(实线,单位, 10^{-5}km^{-1})和 $T-Td$ (虚线,单位, $^{\circ}\text{C}$)水平分布

图2为8月4日20时500hPa定容等熵温度梯度和 $T-Td$ 水平分布的合成图。我们

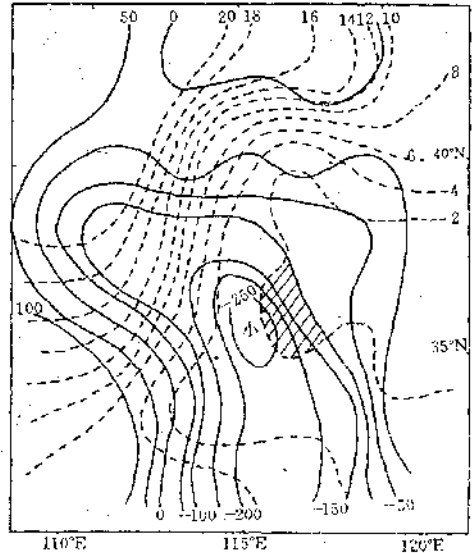


图2 1983年8月4日20时500hPa定容等熵温度梯度和 $T-Td$ 的水平分布(说明同图1)

(下转第47页)

(上接第 49 页)

将图 1 和图 2 进行一下比较, 就可以看出未来暴雨区的移动方向, 即向东南方向移动, 如果结合 GMS IR 云图可以看到暴雨区的移动方向与中尺度云团的移动方向是一致的。再结合一下影响系统可以看到, 此暴雨区处在 500hPa 槽前, 700hPa 低涡的东南象限及地面黄河气旋的暖锋附近, 在这一地区有利于强对流发展, 使降水加大。

根据熵平衡方程可知: 在斜线区域内有 $\frac{ds}{dt} < 0$, 熵不平衡, 而使熵达到平衡的机制是

$\frac{\mu_0}{T} W \frac{\partial \rho_v}{\partial Z} > 0$, 即有 $W > 0$ (产生上升运动), 同时, 大气又处在饱和状态下, 所以就有降水发生, 如果 W 值越大 (上升运动越强), 水汽越充足, 则降水也就越大。可见, 在湿饱和大气下, 降水过程实质上是熵由不平衡通过垂直运动达到平衡的过程。

参考文献

- 1 钱维宏. 大气中的耗散结构与对流运动. 大气科学, 1992 年, 16(1), 84-91.

Entropy Diagnosis of a Heavy Rain Process

You Fengchun

(Meteorological Observatory of Hebei Province, Shijiazhuang 050021)

Abstract

With the aid of entropy balance equation, a heavy rain process in the central and southern parts of Hebei Province during 4-5 August 1993 is diagnosed.

Key Words: diagnostic analysis entropy balance equation