

2003年10月河北省沧州秋季暴雨成因分析^①

王淑云^{1,2} 寿绍文¹ 刘艳钗³

(1. 南京信息工程大学大气科学系, 南京 210044;
2. 河北省沧州市气象局; 3. 河北省河间市气象局)

提 要

通过对2003年10月10日夜间发生在沧州的秋季大暴雨过程的影响系统、触发机制、稳定度以及涡度、散度、垂直速度等物理量的分析,发现此次暴雨过程前后大气层结一直稳定,属于稳定型降水;能量积聚小于夏季,但是高低空急流较强,所配合物理量不小于夏季,暴雨出现在低层辐合高层辐散的强垂直运动上升区,表明急流为暴雨提供了很好的水汽及动力条件。

关键词: 暴雨 稳定度 物理量场 急流

引 言

2003年10月10~12日沧州市经历了一场大暴雨过程,11日全市平均24小时降水量为110.5mm,过程降水量为157.3mm。此次降水过程中日降水量和过程降水量均创造了沧州市秋季降水的历史新纪录,并且伴有大风降温以及风暴潮强灾害。

以往,人们对于夏季暴雨的研究比较多,对于秋季暴雨研究较少,本文将从最基本的

降水形势场、影响系统、物理量场入手,研究本次暴雨,以期寻找沧州市秋季暴雨的特征。

1 环流特征和影响系统

1.1 500hPa 环流特征

10月10日08时(北京时,下同),欧亚中高纬度地区500hPa为一脊一槽型环流,乌拉尔山为高压脊,贝加尔湖地区为低涡,涡南部为槽区。10日20时(图1a)乌拉尔山高压脊加强北伸,促使贝加尔湖低涡南掉,低涡南

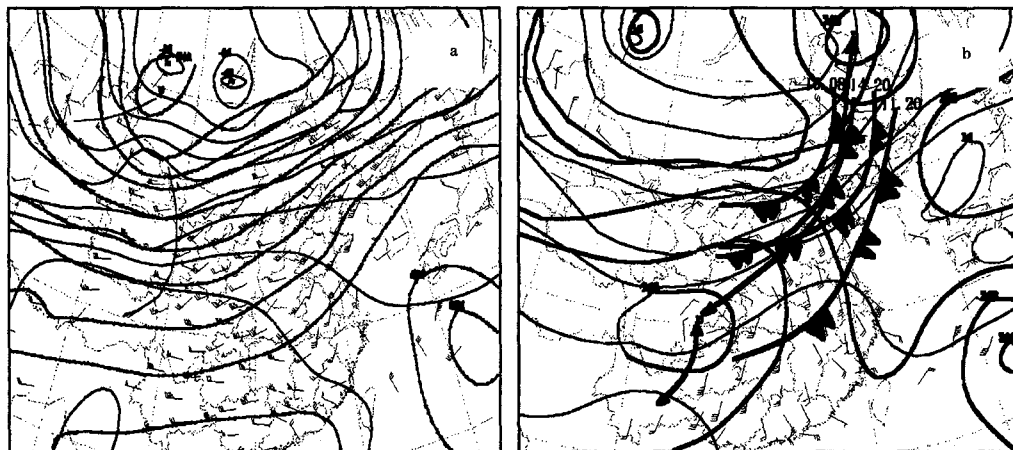


图1 2003年10月10日20时500hPa(a)和850hPa(b)环流形势及地面冷锋动态图
(粗线:等高线,细线:等温线,双箭头:切变线,锯齿线:锋面)

① 本文由国家自然科学基金项目40405009及40075009,40205008资助

部槽前强西南气流直达华北和东北地区。此涡在10日20时至12日08时稳定少动,至12日20时逐渐减弱为低压槽,此稳定的形势为暴雨的发生提供了稳定的环流背景。

1.2 影响系统

1.2.1 低层切变线

自8日08时至10日08时的850hPa图上,贝加尔湖东部的冷涡缓慢移动,至10日20时(图1b)移动到黑龙江,在东移的过程中受日本高压脊的阻挡,涡南部槽线已经转变成东北-西南向的切变线;与此同时西南涡发展,西南涡倒槽切变线与黑龙江低涡切变线衔接;由于西南涡所携带的暖湿气流强盛,切变线东侧的西南气流急剧发展,黑龙江冷涡后部的冷空气沿切变线西侧下传,东北风加大。由于冷暖空气势力长期对峙,切变线维持时间较长,加强了空气的辐合,导致了大暴雨天气的发生。

1.2.2 地面冷锋

在10日08时的地面上(图略),贝加尔湖为一个强大的高压中心,高压前沿在我国的东北地区,有冷锋与之配合;同时在黑龙江西北有一个低压中心,在 40°N 以南为一个强大的西南涡低压倒槽。贝加尔湖高压冷空气非常强烈,倒槽所配合暖湿空气也非常旺盛,因此,两股势力在 40°N 附近对峙,冷空气往东行进,黑龙江低压北撤,形成东北高西南低的气压场形势;分析10日20时至11日20时的925hPa流场(图略),发现锋后冷空气以东北风形式从东北沿渤海西南下,与西南涡倒槽前部的西南暖湿气流汇合,形成辐合上升气流。由于冷暖气团势力相当,致使冷锋从10日20时至11日14时移动缓慢(图1b),10日夜间开始引发沧州大暴雨天气,至11日14时冷锋逐渐离开河北省,进入山东,沧州市降水减小。

2 急流对暴雨的贡献

2.1 低空急流为暴雨提供了源源不断的水汽

胡欣^[1]曾指出海河流域的暴雨对低空急

流是非常敏感的,低空急流小的变化会引起水汽条件的巨变,从而导致暴雨强度的显著变化。10日20时的850hPa图上(图2),有三条低空急流带,一条为来自孟加拉湾的西南风急流,中心最大风速为 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;一条为来自黄海的东南风急流,中心最大风速为 $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;另一条为来自渤海的东到东北风急流,中心最大风速为 $14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这样的风速在夏季暴雨急流中也是少见的。三条急流形成强的风场辐合,同时也为暴雨区输送了源源不断的水汽,导致大暴雨天气的发生。分析10日20时的水汽通量和水汽通量散度场(图2),西南风急流区对应从孟加拉湾一直延续到河北省西南部的的水汽通量大值区,其中心最大值为 $20\times 10^{-8}\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$,沧州处于此大值区的前沿;在山东对应黄海的东南风急流有一个 $12\times 10^{-8}\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ 水汽通量大值中心。在三股急流的汇合位置山西与河北交界处,为水汽通量辐合的高值区,其中心水汽通量散度数值达 $-32\times 10^{-8}\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$,沧州并非为水汽通量辐合最大值区域,但是在10日08时850hPa水汽通量散度为 $-4\times 10^{-8}\text{g}\cdot$

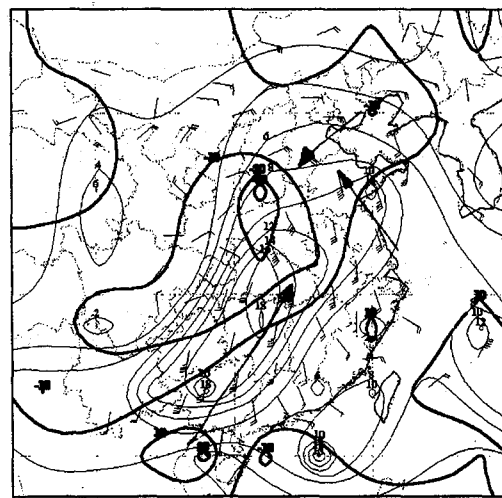


图2 2003年10月10日20时850hPa风场(矢线为急流轴线)、水汽通量场(细线,单位: $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$)、水汽通量散度场(粗线,单位: $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$)

$s^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot cm^{-2}$, 至 20 时增大到 $-40 \times 10^{-8} g \cdot s^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot cm^{-2}$, 12 小时增加了一个量级, 水汽辐合明显。11 日 08 时(图略), 来自渤海的东北风急流和黄海东南风急流持续增大, 西南风急流加强东移, 水汽通量和水汽通量散度中心东南移, 辐合区移至山东, 沧州降水强度逐渐减小, 强降水在山东持续。

2.2 高空急流的动力作用

暴雨区的低层有充分的水汽辐合, 它的维持需要高空有较强的辐散^[2]。分析 10 月 10 日 20 时 200hPa 的高空观测资料(图 3), 在青藏高原和东北地区为一支较强的高空急流, 最大风速达到 $56m \cdot s^{-1}$ 。分析 10 日 20 时 925hPa 散度场和 250hPa 散度场(图 3), 急流右侧的华北地区, 925hPa 具有 $-30 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$ 的辐合中心, 高层 250hPa 具有 $20 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$ 的辐散中心, 辐散合场位置对应较好。图 4 为 10 日 20 时沿 $38.3^{\circ}N$ 度的散度场剖面图, 可以看出, $117^{\circ}E$ 附近 500hPa 以下为负散度区, 500hPa 以上为正散度区, 无辐散层在 500hPa 附近, 高低空的辐散辐合位置对应较好。分析 10 日 20 时沿 $38.3^{\circ}N$ 的涡度场剖面图(图略), 低空急流的左侧、高空急流的右侧低层为正涡度区, 高层为负涡度

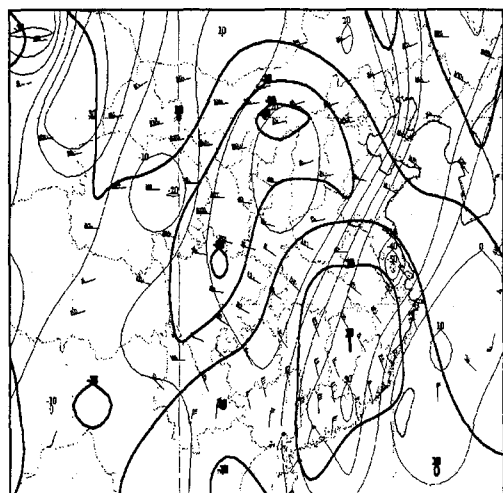


图 3 2003 年 10 月 10 日 20 时 200hPa 高空风和 925hPa 散度场(粗线, 单位: $10^{-5} \cdot s^{-1}$) 及 250hPa 散度场(细线, 单位: $10^{-5} \cdot s^{-1}$)

区, 涡度场具有较好的配置。从而可以看出高空急流右侧辐合强烈, 高空急流为暴雨的发生提供了很好的动力条件。

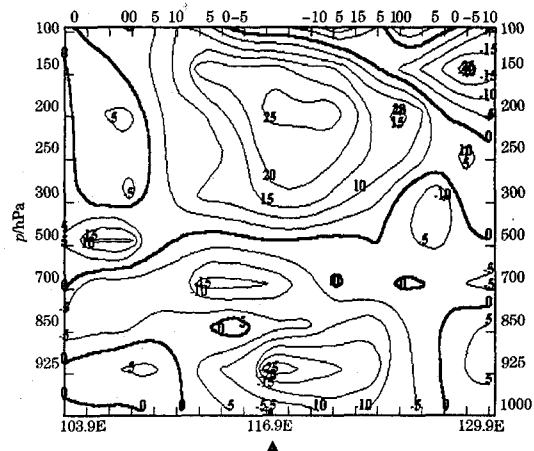


图 4 2003 年 10 月 10 日 20 时沿 $38.3^{\circ}N$ 散度剖面图
单位: $10^{-5} \cdot s^{-1}$; ▲ 标示沧州位置

3 垂直速度分析

强烈的上升运动是造成本次大暴雨的直接动力条件。自 9 日 20 时伴随着高低空风速的增大上升运动开始加强, 至 10 日 20 时沧州上空 500hPa 垂直速度加大到 $-36 \times 10^{-4} hPa \cdot s^{-1}$, 这在夏季暴雨中也是罕见的^[2]。图 5 为沿 $116.8^{\circ}E$ 的垂直速度剖面图, $30 \sim 44^{\circ}N$ 均为强的上升区, 上升速度大

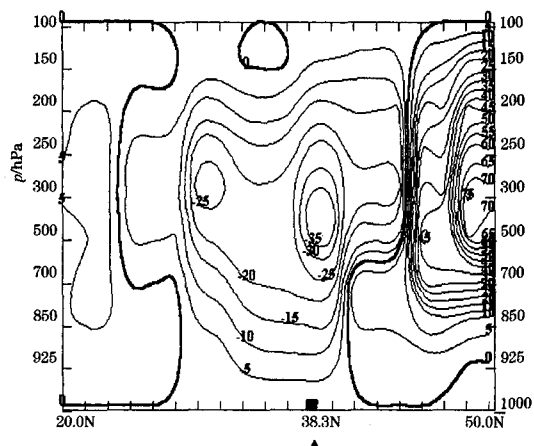


图 5 2003 年 10 月 10 日 20 时沿 $116.8^{\circ}E$ 垂直速度剖面图
单位: $10^{-4} hPa \cdot s^{-1}$; ▲ 标示沧州位置

值中心在 700hPa 至 250hPa 之间,最大上升速度在沧州上空。

4 稳定性及热力条件分析

总结降水过程中沧州的各个物理量指标(表 1),可以看出,暴雨过程中沧州的 SI 指数始终为正值,说明大气层结稳定,本次降水属于稳定性降水; K 指数在 9 日 20 时比 08 时增加 18°C ,总温度 T_T 增加 8°C ,可见在暴雨前期的 9 日能量积聚明显;但是在整个暴雨过程中, $K < 30^{\circ}\text{C}$, $T_T < 50^{\circ}\text{C}$,而较强的夏季暴雨过程中, $K > 36^{\circ}\text{C}$, $T_T > 60^{\circ}\text{C}$ ^[3],可见,秋季暴雨的热力条件低于夏季暴雨。

表 1 暴雨前后沧州层结与能量指标

日期	9 日 08 时	9 日 20 时	10 日 08 时	10 日 20 时	11 日 08 时
$SI/^{\circ}\text{C}$	2	1	6	8	13
$K/^{\circ}\text{C}$	9	27	26	26	20
$T_T/^{\circ}\text{C}$	40	48	44	44	32

5 小 结

(1)本次过程是在高空稳定的涡槽环流背景下,受低层东北—西南向的低涡切变线

及地面冷锋影响,冷空气南下而引起。

(2)低空急流为暴雨提供了源源不断的水汽供应,沿急流走向具有大的水汽通量,急流左侧为水汽辐合区,暴雨发生在低空急流的左前方水汽辐合中心的前沿。

(3)高空急流为暴雨提供了动力条件,其右后侧为强辐散中心,与低层辐合中心相配合,使得上升运动强烈而持久。

(4)本次暴雨过程中, K 指数与总温度均小于夏季暴雨的指标,热力因子不足。但动力条件较好,各项数值均不小于夏季暴雨的数值。

参考文献

- 1 胡欣,徐国强,苏华.急流对海河南系一次特大暴雨影响的数值试验.气象,1999,25(7):7~11.
- 2 马光,李运宗.一次罕见的暴雨环流形势数值模拟与诊断分析.河北气象,2003(4):14~18.
- 3 王淑云.一次北涡南槽大暴雨分析,河北省天气预报学术研讨会论文集,2003:54~56.
- 4 寿绍文,励申申,姚秀萍.中尺度气象学.北京:气象出版社,2003:291~300.

Analysis of Autumn Rainfall Event of Cangzhou, Hebei Province in 2003

Wang Shuyun^{1,2} Shou Shaowen¹ Liu Yanchai³

(1. Department of Atmospheric science, Nanjing University of Information science & technology, Nanjing 210044;

2. Cangzhou Meteorological Office, Hebei Province; 3. Hejian Meteorological Office, Hebei Province)

Abstract

Analysis of a heavy rainfall event at Cangzhou, Hebei Province 11—12 October 2003 is made from some aspects such as influence systems, triggering mechanism, stability and physical quantity fields, etc. It shows that the event belongs to stable rainfall, its energy accumulation is smaller than that in summer, but the jets are stronger with the high value center of the mid-low level convergence and the upper-level divergence and playing an important role in the formation of the event, providing vapor and motive terms, and the heavy rain region appears with the high value center of upshift velocity.

Key Words: heavy rainfall stability physical quantity fields jet stream