文章编号:1006-7639(2010)-01-0081-06

河西走廊一次大雨天气诊断分析

滕水昌1,殷玉春2

(1. 甘肃省永昌县气象局,甘肃 永昌 737200;2. 甘肃省武威市气象台,甘肃 武威 733000)

摘 要:对2009年8月18日发生在甘肃省河西走廊中部区域性大雨从天气形势、物理量场、水汽条件、卫星云图特征进行了综合分析,发现500 hPa 巴尔喀什湖至新西伯利亚阻高的发展使得脊前冷槽南压加强,为这次区域性大雨形成提供了冷空气来源,副热带高压明显西升北抬为大雨形成提供了充足的水汽来源;700 hPa 低空低涡的辐合为大雨产生提供了必要的上升运动,并促使对流不稳定层结的产生和发展。同时发现,中低层不稳定能量触发,在大尺度锋面降水云系中产生中尺度对流云团活动,是造成局地雨强较大的主要原因。高低空螺旋度"上负下正"的配置,对强降水的预测和落区有良好的指示作用。

关键词:大雨;物理量场;天气诊断

中图分类号:P458.1 + 21

文献标识码:A

引言

大雨通常产生在有利的大尺度环流背景下, 由中小尺度天气系统发展形成。它常常引起洪涝 灾害,对基本设施和人民生命财产造成损失。 2009年8月17日晚至18日发生在河西走廊中东 部的区域性大雨是近几年来较为明显的一次天气 过程。张掖市、金昌市、武威市先后出现区域性强 降水,雨量在10~40 mm之间,是河西走廊中东部 近10 a 少有的区域性大雨,其中永昌县区域站雨 量在 19.4~40.6 mm 之间, 也是近 10 a 间该具出 现的最大降水。近年来,国内许多专家学者利用 各类物理量对中小尺度暴雨进行诊断分析,以揭 示暴雨过程中各类物理量场的演变特征。如郑仙 照等[1]指出:暴雨产生在低层正涡度中心和高层 负涡度中心相配合,有不稳定能量储存的高能区。 李云等[2]分析了暴雨云团与强烈的水汽辐合有 关,同时白肇烨等[3-9]对暴雨成因机理在物理量场 等方面进行了研究。本文从天气学条件、物理量 场诊断等方面分析这次大雨的活动规律和物理成 因,力求加强对该类天气过程的认识,提高其预报 准确率。

1 降水情况

根据相关资料,这次大雨具有降水异常集中和持续性长的特点,最大雨量出现在民乐县,过程雨量达43.4 mm,最小为乌鞘岭雨量10.8 mm,连最北边的金昌站雨量都达29.2 mm,民勤26.2 mm。本文依据张掖市、金昌市、武威市各站18日雨量运用反距离加权插值法制作了河西走廊中东部降水量等值线图(图1)。可以清晰地看到在37.5~39.0°N,99.5~103.0°E之间降水的分布状况。

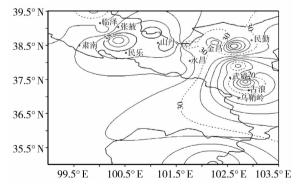


图 1 8月18日河西走廊中东部降水量等值线图(单位:mm) Fig. 1 The precipitation contour in the middle and east part of Hexi Corridor on August 18,2009

2 环流背景

17 日 08 时 500 hPa 高空天气图上,中高纬呈西低东高型,巴尔喀什湖至新西伯利亚有阻塞高压形成,西萨彦岭东到贝尔加湖有一中心高度为 560 hPa 的冷涡存在,冷中心为 - 20 ℃,蒙古国受其影响,冷涡底部已越过阿尔泰山直逼河西,而副热带高压西伸明显,584 线已跃过格尔木(高度 586 hPa)以西并控制高原,最北到民勤,河西走廊地区处于低槽前部(图略)。到 20 时冷槽南压明显,已迅速影响河西走廊,副高快速东撤,格尔木高度降至 580 hPa(图

2a)。而且在17日20时的流场垂直分布场上500~300hPa高原到走廊中部南侧为强劲的西南气流,偏北侧为西北气流,500hPa流场的辐合线位于走廊中部,走廊中部上空处在西北急流和西南急流的交汇处(图略)。700hPa存在辐合中心,表明河西走廊中部低空有切变线低涡存在(图2b)。地面冷锋已于17日20时逼近额济纳旗—张掖—都兰一线,在17日20:30的红外云图上,河西中西部及格尔木—都兰地区受冷锋云带影响,该区域已出现降水,局部沙尘吹风天气。

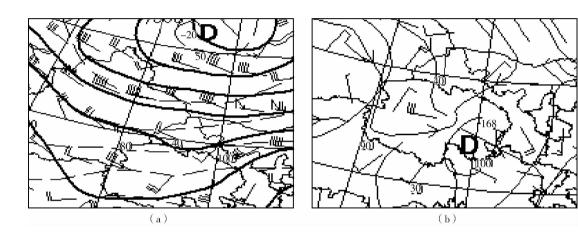


图 2 8月17日20时500 hPa(a)和700 hPa(b)形势图 Fig. 2 The 500 hPa(a) and 700 hPa(b) synoptic situation at 20:00 on 17 August 2009

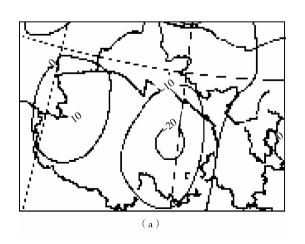
3 影响系统

此次降水的主要影响系统有 3 个:(1)北方冷槽东移南下,因阻高影响使槽后冷平流得到加强,使槽东移加深,不仅为强对流提供了触发机制,也改变了本地区的温湿条件并积累了能量,进而改变了当地的层结结构;(2)地面冷锋东移和700 hPa 切变线低涡辐合上升运动,有利于触发不稳定能量释放,有利于强降水形成和加强;(3)位势不稳定能量和逗点云系尾部的多对流单体在降水过程中有利于强降水的形成。

4 水汽条件分析

水汽是形成降水的必要条件,强降水的形成必须有水汽的输送和累积,水汽的垂直分布与温度的垂直分布一样,都是影响气层稳定度的重要原因。一般认为低层 700 hPa 的湿度与降水有直接的关系。通过对 18 日 08 ~ 20 时上下层水汽通量散度的

分析,发现700 hPa 水汽呈逐渐增加之趋势,20 时形成以青海湖为中心北跨祁连山到河西走廊中部地区的 -20 × 10⁻⁷ g/cm²·hPa·s 的中心辐合区(图3a),而且700 hPa 上空在柴达木盆地以东有一相对湿度为90%的湿舌向北伸展(图3b),说明在河西走廊上空存在水汽的汇聚与增加趋势,这种状态为对流天气和强降水的发展提供了必要的条件。



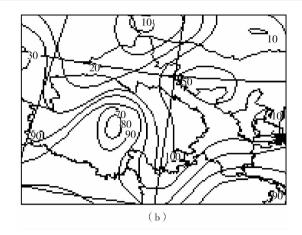


图 3 8月17日20时700hPa水汽通量 散度(a)及700 hPa 相对湿度场(b) Fig. 3 The 700 hPa water vapor flux divergence(a) and relative humidity field(b) at 20:00 on 17 August 2009

5 不稳定能量分析

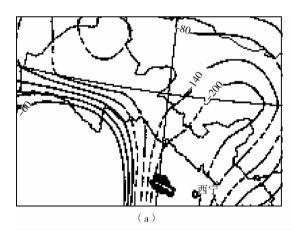
5.1 垂直螺旋度

近年来螺旋度常用来研究大气中一些与速度场 相关的有旋系统和大雨系统的结构特征,其大小反 映了旋转与沿旋转轴方向运动的强度[3],有关文献 资料表明,近年来它常用于强对流天气的诊断,将螺 旋度分析用于暴雨天气的物理机制研究上,来反映

大气的动力场特征。在P坐标系中,垂直方向的螺 旋度计算方法为:

$$H_p = -\zeta \times \omega$$

式中 ζ 表示涡度, ω 表示垂直速度, H_{ν} 表示垂直螺旋 度,单位: $10^{-8}~\text{hPa}\cdot\text{s}^{-2}$ 。通过对 8 月 18 日 08 时和 20 时垂直螺旋度运用 Micaps 格点资料计算发现,大 雨前08~20时河西走廊中部上空700 hPa 的螺旋度 由负变正,而 500 hPa 螺旋度由 - 120 中心迅速变为 -240的中心(图4)。螺旋度"上负下正"的结构非 常明显。并随着冷槽东移南下导致走廊上空中低层 正螺旋度迅速增大、高层负螺旋度迅速减小,表明低 层环境风有利于强对流系统和气旋性涡旋的发展,必 然会产生强烈的辐合上升运动,为强降水的产生、加 强、维持创造了动力条件。而且在中低层气流辐合, 高层辐散的作用下正螺旋度上传趋势加强,中层负螺 旋度移向高层,强度也有所加强,这种结构也有利于 大雨的发生,大雨发生期间的螺旋度的负值区对应负 涡度,正值区对应正涡度区,垂直螺旋度的正负和大 小的变化与该区域出现的大雨在时间上有着良好的 对应关系[1],且大雨发生在低层正螺旋度中心偏北 侧。在大雨趋于减弱时,正值高度层逐渐降低,低层 螺旋度逐渐变为负值,而高层出现正值,且向东移动, 对流上升运动受到抑制,雨势逐渐减弱。



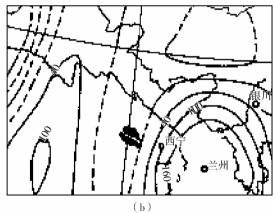


图 4 8月17日20时500 hPa(a)和700 hPa(b)螺旋度场 Fig. 4 The 500 hPa(a) and 700 hPa(b) vertical helicity fileds at 20:00 on 17 August 2009

5.2 假相当位温 θ_{m}

 θ_{se} 是一个重要的温湿特征参数。等 θ_{se} 线密集 区是位势不稳定和斜压不稳定能量集中的区域,一 般对应着高能区,在8月18日20时假相当位温 θ_{ω}

图上,700 hPa 有一舌状高值自高原向北伸展,走廊 中部处于等值线密集区。为了进一步分析大气的不 稳定特征,对 $\Delta\theta_{\omega}$ 的变化进行了计算分析,因为 $\Delta\theta_{\omega}$ (500-850)<0 有利于对流的发展^[10],负值愈大,

表示对流不稳定愈强。从 $\Delta\theta_{se}$ 的时间演变可以进一步看到大雨期间的能量变化与大雨的产生和减弱之间的关系。从 17 日 08 时 $\Delta\theta_{se}$ 场的分布看到高原西南侧有 -24 K 的中心向北伸展到河西走廊中东部, $\Delta\theta_{se}$ 达 -12 K(图 5a),17 日 20 时 $\Delta\theta_{se}$ 场中心呈舌状向东北扩展,河西走廊中东部 $\Delta\theta_{se}$ 达 -16 K,也表明该地区上空存在较强的位势不稳定能量的增加(图 5b)。而且从 20 时 T – $\ln P$ 图上,张掖站 700 $\ln P$ a 为偏东北风,500 $\ln P$ a 以上由东南风转为西南风,风随

高度顺转,不稳定面积增大且向上扩展(图 5c),这种强的位势不稳定层结在低层正的垂直螺旋度、高层负的垂直螺旋度增大、减小的触发下,得以快速释放,这不仅加剧了上升运动,而且还有利于降水强度的快速增强。18 日 8 时河西走廊中部 $\Delta\theta_{se}$ 已减小为 -4 K 且中心已移到乌鞘岭以东地区,不稳定能量得已释放, $\Delta\theta_{se}$ 中心值逐渐减小,位势不稳定度下降,大气层结趋于稳定,走廊中部的降水也已明显减弱。

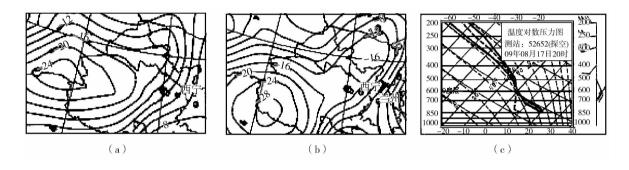


图 5 8月 17日 08时(a)及20时(b) $\Delta\theta_{se}$ 场,20时张掖站 $T - \ln P$ 图(c) Fig. 5 The $\Delta\theta_{se}$ field at 08:00(a) and 20:00(b), and 20:00 $T - \ln P$ diagram at Zhangye station(c) on 17 August 2009

5.3 散度、涡度

在17日20时的散度垂直分布场上700~300 hPa 高原到走廊中西部是一深厚的辐合层, 在 700 hPa 青海湖上空形成 $-20 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$ 的辐合中心 (图 6a), 而在 250 hPa 以上为辐散层,且在 250 hPa 上空走廊中西部存在明显的中心为 30×10⁻⁵·s⁻¹ 辐散层(图 6b),这种上层辐散,中下层辐合的垂直 结构有利于地面气旋的发展。从垂直速度场的分析 发现,在17日08时250~700hPa都存在强烈的上 升运动,而且在17日20时走廊中西部为-20× 10⁻⁵ hPa·s⁻¹上升运动中心, 走廊北侧正涡度由低 层向高层增加的趋势非常明显。17 日 08 时 500 hPa 祁连山以南及高原中部为 $-40 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$ 的低 值中心,而到 20 时已变成 $20 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$ 的正中心, 这种配置会使垂直上升运动加强,是强对流形成的 动力因子与大雨区有较好的对应关系[11]。通过分 析各高度层次的涡度平流场发现,17 日 08 时 500~ 200 hPa 走廊中西部为负涡度平流区,在 250 hPa 走 廊中部为 $-30 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$ 的低值中心,到 17 日 20 时 500~200 hPa 已变为正值区,在 250 hPa 走廊西 部为 $20 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$ 的高值中心,负涡度区迅速向东移动,18 日 08 时 500 ~ 200 hPa 走廊中部为正涡度平流区,在 250 hPa 走廊中东部为 $40 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$ 的高值中心,涡度平流从低层向高层增大,正涡度平流自西向东移动明显(图略)。

6 云团特征

17 日 10:00 ~ 18 日 05:00 的 FY2C 红外云图 (图7)显示,河西中部地区被层状云云系覆盖。在 19:30 对流云团在青海湖附近生成并迅速发展,在西南气流的引导下逐渐向东北方向移动,在移入位势不稳定区域后逐渐加强,该云团 21~02 时发展到最强盛阶段,云团深色部分云顶亮温 $T_{\rm BB}$ 在 -70~-50 $^{\circ}$ 之间,浅灰色部分中心区云顶亮温 $T_{\rm BB}$ 在 -45~-35 $^{\circ}$ 之间, $T_{\rm BB}$ 低值强云团随云带沿低空急流方向移动,且与水汽及能量输送带密切关联,从 17 日 10:00~18 日 05:00 的水汽图像分析,在这一云区存在明显的水汽输送带。如在 22 时水汽图像中这一区域变得更白亮,也指示出该区域对流层中上部的水汽增加情况(图 7c)。同时云区中的积云

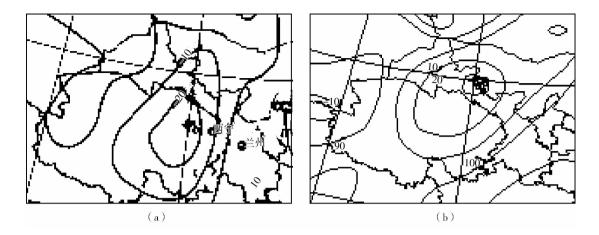


图 6 8月17日20时700 hPa(a)和250 hPa(b)散度场 Fig. 6 Divergence field at 700 hPa(a) and 250 hPa(b) at 20:00 on 17 August 2009

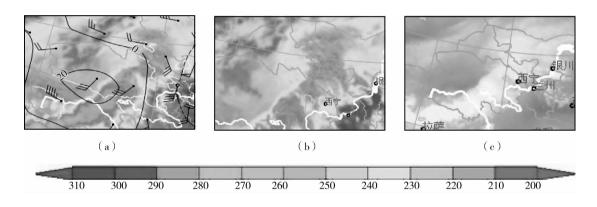


图 7 8 月 18 日 FY2C 红外云图(a 20:30,b 23:00,c 22:00)

Fig. 7 The FY2C satellite images at 20;30(a), 23;00(b) and 22;00(c) on August 18,2009

在围绕高空槽底部向东北方向移动过程中得到加 强,在17日22时~18日01:30走廊中部云带发展 为成熟的逗点云系,覆盖的区域更大一些,并逐渐向 北扩展,同时在逗点云系尾部有发展为更显著的对 流单体, 且处在 $20 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$ 的涡度中心区, 沿云 系有急流穿行(图 7a,为了分析方便在图上叠加的 等值线为20时500 hPa 涡度场,风矢表示20时500 hPa 的气流),逗点云系的生成、发展、成熟也指示出 气旋生成、发展、成熟的阶段性特征。也表明在逗点 云系附近温度梯度加大,上游存在明显的冷平流和 地面冷锋的发展与加强。而且近地层低压在500 hPa 涡度中心附近,促使低压加强,低层的辐合在含 水量较大和较强的位势不稳定能量的环境中,可改 变原来的大气层结,使原来的逆温层减弱(08 时张 掖站逆温层在820~790 hPa层,20 时已减弱,见图 5c),水汽向上输送,从而有利于对流的发展,对积 云的发展和降水的加强都有明显的作用。逗点云系 尾部的积云北涌十分迅速和明显,见23时红外云图 (图 7b)。该云团在向东北方推进的过程中,不断发 展、加强并与层状云系结合,使降水效率增大,在17 日20时~18日1时的红外云图上,祁连山中部与 张掖市、金昌市区域内的层状云中都有发展强盛的 对流单体活动(地面天气图上也有相应的观测表 现),此时段也是这一地区雨强最大,降水最为集中 的时期,民乐站 18 日 21 时至 19 日 08 时雨量达 42. 4 mm,永昌站 22.5 mm。逗点云系头部的辐合云团 影响范围包括张掖、金昌、武威,祁连山以北民勤到 内蒙古自治区的颚济纳旗的北部的部分地区。

结 论

(1) 这次大雨天气过程 500~200 hPa 青藏高原 东部维持较长时间的强劲西南气流,对强降水提供 水汽输送,500 hPa 冷槽东移是局地大雨主要的影 响系统。700 hPa 切变线低涡的辐合产生的上升运

- 动,中低层强的水汽辐合为大雨的发生提供了必要的条件。
- (2)风切变和不稳定层结对诱发对流云团提供 了有利条件,正涡度平流由低层至高层的增强和移 动,是促使地面低压和对流发展的重要动力因子,有 利于强降水的形成。
- (3)700 hPa 等压面上,垂直螺旋度分布和天气系统有较好的对应关系,大雨过程中垂直螺旋度正值区与700 hPa 切变线低涡的辐合相一致。同时中低层正螺旋度、高层负螺旋度,对位势不稳定能量有触发作用,垂直螺旋度的变化和移动对天气系统的移动和发展及大雨的落区、强度有良好的指示意义。
- (4)这是一次典型的冷锋云系和中尺度对流云 团相互作用,形成积层混合云造成的大雨天气过程。

参考文献:

[1] 郑仙照,寿绍文,沈新勇,等.一次暴雨天气过程的物理量分析 [J]. 气象,2006,33(2):103-105.

- [2] 李云, 缪启龙, 江吉喜. 2005 年 8 月 16 日天津大暴雨成因分析 [J]. 气象, 2007, 33(5); 84-88.
- [3] 白肇烨,徐国昌,孙学筠,等. 中国西北天气[M]. 北京:气象出版 社,1988.299-300.
- [4] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社,1992.462-634.
- [5] 吉惠敏,冀兰芝,王锡稳,等.一次强对流天气综合分析[J].干旱气象,2006,24(2):12-14.
- [6] 贾宏元,穆建华,孔维娜. 宁夏一次区域性大到暴雨的诊断分析 [J]. 干旱气象,2005,23(2);25-28.
- [7] 道然·加帕依,车罡,李如琦.新疆东部地区大雨的分析[J]. 气象,2007,33(2);65-69.
- [8] 兰晓波,杨晓玲,李岩瑛. 民勤一次大到暴雨天气诊断分析[J]. 干旱气象,2007,25(增刊):43-45.
- [9] 樊晓春, 董彦雄, 王若安. 一次强对流性天气的发生条件及云图 演变特征[J]. 干旱气象, 2004, 22(增刊): 26-28.
- [10] 王淑静. 螺旋度与区域大雨落区[A]. 省地气象台短期预报岗位培训教材[M]. 北京:气象出版社,1998. 120-125.
- [11] 孙玉莲,任余龙,马新荣. 甘肃中东部初夏一次暴雨天气过程的 动力诊断[J]. 干旱气象,2007,25(4);42-43.

Diagnosis of a Heavy Rain Occurred in the Hexi Corridor

TENG Shuichang¹, YIN Yuchun²

Yongchang Meteorological Station of Gansu Province, Yongchang 737200, China;
Wuwei Meteorological Bureau of Gansu Province, Wuwei 733000, China)

Abstract: The regional heavy rain occurred in the middle of Hexi Corridor on August 18 2009 was analyzed from the synoptic situation, physical quantity fields, water vapor conditions and satellite image's features. Results show that the development of 500 hPa blocking high from Balkhash Lake to Novosibirsk made the cold trough before the ridge strengthen and extend south, and it provided the cold air for this regional heavy rain. The western and northern extension of the subtropical high provided adequate water vapor for the rain. The convergence of the vortex at the level of 700 hP resulted in increase of upward air movement, which promoted convection unstable stratification emergence and development. The low and middle level instability energy triggered mesoscale convective activities in large – scale frontal rainfall cloud system, which was the main reason for this heavy rain event. The configuration of negative helicity at up level and positive helicity at low level has a good indication for forecasting heavy rainfall and rainfall area.

Key words: heavy rain; physical quantity field; diagnosis