

文章编号:1004-9045(2008)03-0231-06

2007 年 7 月川东北连续 3 场大暴雨过程的诊断分析

肖递祥¹, 顾清源², 祁生秀³, 黎家全¹

(1.四川省巴中市气象局, 巴中 636001; 2.四川省气象台, 成都 610072;

3.四川省气象局业务处, 成都 610072)

摘要:利用常规观测资料及 NCEP 1°×1°6 h 再分析资料,对 2007 年 7 月上旬四川东北部连续出现的 3 场大暴雨过程的环流形势及动力结构、水汽输送和热力不稳定条件进行了诊断分析。结果表明: (1)前 2 场区域性大暴雨出现在副热带高压和巴尔喀什湖冷涡两个长波系统稳定少动的阻塞环流形势下,第 3 场局地性大暴雨发生在环流调整过程中,副热带高压快速东撤导致对流云团在东移过程中迅速减弱消亡; (2)暴雨的水汽主要来自南海,低空偏南风急流的维持为连续暴雨提供了源源不断的水汽输送和持续的能量供应,3 场暴雨的中心均出现在位于低空急流出口区左侧水汽辐合中心的巴中地区; (3)造成严重洪涝灾害的前 2 场区域性大暴雨过程期间,从地面到高层形成了“辐合—辐散—辐合—辐散”接力式上下大气运动的动力结构,大气层结处于高能和对流不稳定状态,且有冷空气触发,大暴雨发生在能量锋区偏向暖区一侧。

关键词:暴雨; 副热带高压; 低空急流; 动力结构; 水汽输送; 热力条件

中图分类号: P458.1+21.1 **文献标识码:** A

1 引言

暴雨是四川省的主要气象灾害之一,尤其是持续性暴雨造成的气象灾害更为严重。持续性暴雨由不同尺度的天气系统相互作用而产生,但相对稳定的大气环流形势是促使某种天气系统维持、再生和发展的必要条件^[1]。有关预报实践和理论研究表明^[2-6],川东北地区 and 四川盆地持续性暴雨大都发生在西太平洋副热带高压稳定少动的环流背景下,副热带高压脊西北侧的西南暖湿气流是暴雨持续的水汽输送和能量供应者,西南低涡是触发暴雨的主要天气系统。张小玲等^[3]对 1981 年 7 月 9—14 日四川岷江、沱江、涪江和嘉陵江流域出现的持续性暴雨进行了诊断分析,认为西南低涡沿梅雨锋缓慢东移时,长生命史的中尺度对流系统在岷江、沱江、涪江和嘉陵江流域连续多次生消,导致暴雨系统在这些地区持续维持。宗志平等^[4]分析了 2004 年 9 月 2—6 日川东、渝北地区的持续性暴雨后指出,在西南低涡发展过程中,向西北移动的台风“桑达”阻断了西太平洋副热带高压的东退并将其切断,被切断的高压部分滞留在西南低涡东侧导致低涡不能顺利东移,造成该地区持续暴雨。

2007 年入汛之后,四川各地不断发生暴雨洪涝灾害,尤其是 7 月上旬,位于四川东北部的巴中、达州、广安、南充等地连续遭受暴雨、大暴雨、局地特大暴雨袭击(以下简称“07.7”川东北连续大暴雨)。那么,2007

年 7 月上旬川东北地区的连续性大暴雨发生在什么样的环流形势下,是什么因素造成强降水在该地区较长时间持续?连续 3 场暴雨的降水中心为什么均集中于巴中地区?在连续遭受 2 场罕见暴雨袭击、川东北地区抗洪形势异常严峻形势下出现的第 3 场暴雨为何呈现出局地性,其环流形势、物理量场结构与前 2 场区域性暴雨有何差异?为探明这些问题,本文利用 NCEP 1°×1°6 h 再分析资料和常规观测资料,从环流形势、水汽输送、动力结构、热力条件等因子入手,对“07.7”川东北连续大暴雨过程进行了诊断分析,并比较了 3 场暴雨之间的差异,以期今后川东北地区暴雨预报提供一些有意义的参考依据。

2 降水实况与灾情

2007 年 7 月 2 日 20 时到 8 日 20 时(北京时,下同)6 天时间,川东北地区先后出现 3 场大暴雨,其分别发生在 7 月 2 日 20 时至 4 日 08 时(暴雨)、4 日 20 时至 6 日 20 时(暴雨)、7 日 20 时至 8 日 20 时(暴雨),3 场暴雨的降水中心均出现在巴中市境内,其中通江县 3 场暴雨累积雨量达 517.8 mm,是当地常年总降水量的 1/2,南江县正直镇加密雨量站 3 场暴雨累积雨量超过 600 mm。四川省农业气象(气候)中心发布的 2007 年 7 月气候公报显示,连续出现的大暴雨导致渠江流域和嘉陵江流域相继出现超保证水位大洪水,部分城镇出现严重内涝,并引发多处山体滑坡、泥石流等地

收稿日期:2008-01-10;定稿日期:2008-07-15

基金项目:国家自然科学基金项目“青藏高原低涡切变线形成维持机制研究”(40775032)资助

作者简介:肖递祥,男,1975 年生,工程师,主要从事天气预报业务工作。E-mail: nq408xq@tom.com

质灾害,造成 26 人死亡、17 人失踪、800 万人受灾,直接经济损失 30.36 亿元,其中农业直接经济损失达 15.1 亿元。

从上述三场暴雨过程雨量实况可知(图 1),暴雨、暴雨属于区域性大暴雨,尤其是暴雨范围更大,造成了巴中、达州、广安、南充四市大片大暴雨区(24 h 雨量 100 mm),暴雨、暴雨降水中

心出现在巴中市北部,致使该市的南江县和通江县先后出现了 12 h 雨量 >200 mm 的超本站历史记录强降水;暴雨为局地大暴雨,降水范围和强度、持续时间均明显不及暴雨和暴雨,强降水主要发生在 8 日白天,巴中市有 5 站(自动雨量站)出现暴雨,最强降水出现在巴中市南部的巴州区,12 h 雨量超过 100 mm。

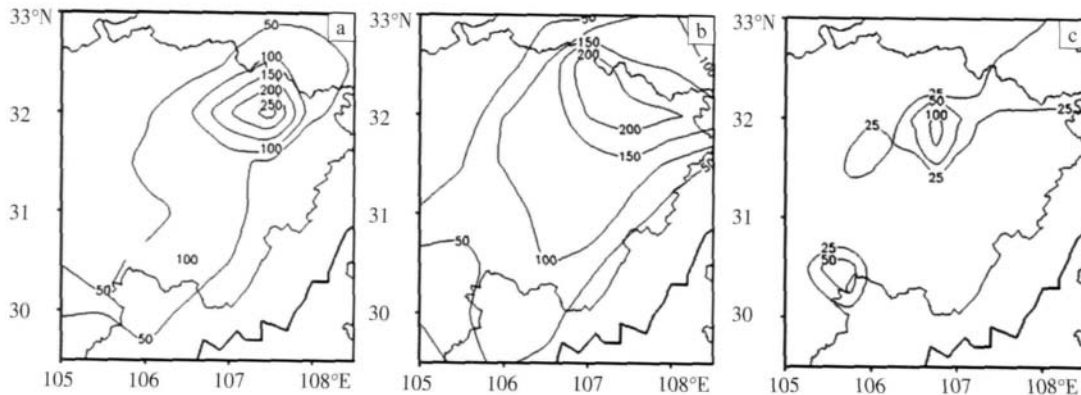


图 1 2007 年 7 月 2 日 20 时到 8 日 20 时川东北连续三场暴雨过程雨量实况(单位: mm)
(a) 2 日 20 时至 4 日 08 时; (b) 4 日 20 时至 6 日 20 时; (c) 7 日 20 时至 8 日 20 时

3 大尺度环流背景

3.1 500 hPa 环流形势

2007 年 6 月 20 日,西太平洋副热带高压(以下简称副高)出现当年第一次季节性北跳(120°E 脊线位置稳定跳过 20°N),整个 6 月下旬,副高脊线稳定在 20°N 以北,江淮地区进入梅雨期;从 7 月初开始,副高逐渐西伸北抬,梅雨锋主雨带北移到黄淮流域,长江上游开始进入暴雨多发期。由此可知,连续性暴雨过程一般发生在副高西伸北抬的大背景下。对比分析各场暴雨的环流形势发现,前 2 场区域性大暴雨和第 3 场局地性大暴雨在环流形势上存在明显差异。

在暴雨、暴雨期间(图 2a),欧亚大陆为稳定的阻塞形势,中高纬地区有两个冷性低涡中心,一个位于巴尔喀什湖地区,与乌拉尔山阻塞高压对应,另一个位于雅库茨克到鄂霍茨克海附近,贝加尔湖地区为一平浅高压脊,中低纬地区为典型的东高西低环流形势,副高脊线和西脊点分别位于 27°N、110°E 附近,印度为一季风低压控制,四川盆地受副高外围和印度低压前部的西南季风控制,巴尔喀什湖冷涡不断分裂小槽和冷空气沿中纬度西风带东移影响四川。而在第 3 次暴雨过程前,欧亚地区环流形势已开始调整,7 日 08 时(图 2b),中高纬阻塞形势已不复存在,雅库茨克到鄂霍茨克海附近的低涡消失,乌拉尔山阻高减弱,贝加尔湖附近由低槽替代了之前的平浅高脊,新疆地区由之前的平直西风环流调整为一高脊,不利于巴尔喀什湖冷涡底部分裂小槽东移;8 日 08 时(图 2c),乌拉

尔山阻高完全消失,贝加尔湖槽开始加深南压,副高开始减弱东撤,脊线位于 25°N 附近,西脊点位于 115°E 附近;8 日 20 时(图 2d),随着贝加尔湖槽进一步加深南压和新疆高脊发展,副高西脊点东撤至 120°E 附近。分析 8 日白天的卫星云图(图略)可知,由于副高连续快速东撤,从 14 时开始,造成巴中局地大暴雨的对流云团在东移过程中快速减弱消亡,并未形成如前两场暴雨过程期间的阻塞性降水,持续了近 1 周的连续性暴雨过程趋于结束。

对比前 2 场暴雨期间环流平均场和第 3 场暴雨环流形势演变可知,这 3 场暴雨过程的相同点在于,我国中低纬度地区均呈典型的“东高西低”环流形势。其主要差异在于,前 2 场区域性大暴雨期间,阻塞环流形势和副高稳定,副高稳定少动是造成暴雨连续不断的关键因素,出现大暴雨的川东北地区位于副高(过程平均场)脊线以北和西脊点以西约 2~4 个经/纬度距离;而第 3 场局地性大暴雨过程期间,受大气环流调整,阻塞形势崩溃,副高快速东撤,副高迅速减弱使强降水在时空上都未能延续。

3.2 高低层环流系统配置

“07.7”川东北连续大暴雨期间,在对流层中低层,贵阳—重庆—达州一线一直维持一支 8~16 m·s⁻¹ 的西南(700 hPa)或偏南(850 hPa)低空急流,每场暴雨过程期间急流轴左侧都有切变或低涡活动。每场暴雨过程前 12 h 或临近时刻,700 hPa 在甘肃平凉至武都之间为河套小高压和副高之间的切变,随着河套小高压

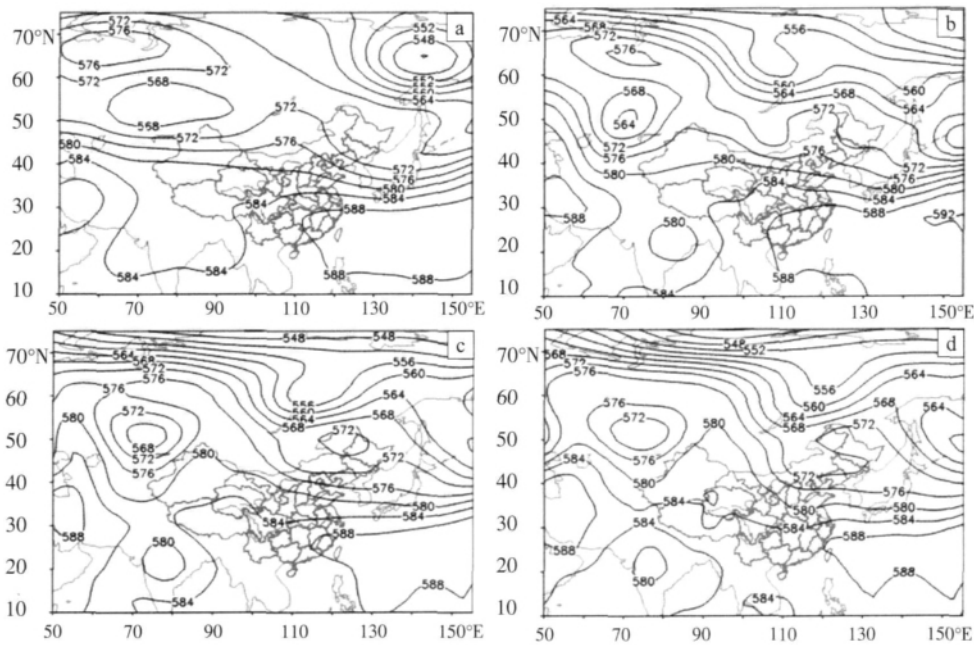


图 2 2007 年 7 月 2 日 08 至 6 日 20 时(a, 平均场)以及 7 日 08 时(b)、8 日 08 时(c)、8 日 20 时(d) 500 hPa 高度场

的南压,切变线移至四川盆地西北部,850 hPa 四川盆地北部为川东偏南风 and 陕南偏东风之间的暖式切变;前 2 场暴雨期间,强降水过程中低空急流风速增大,急流轴左侧正涡度加强导致重庆—达州一线的偏南风气旋曲度加大,致使 700 hPa 或 850 hPa 层在四川盆地北部的阆中附近生成低涡,出现大暴雨的川东北地区正好处在低涡右前方和急流轴左侧,而第三场暴雨期间无低涡生成,且由于副高快速东撤,盆地北部的切变停留 12 h(8 日 02—14 时)后消失。

“07.7”川东北连续大暴雨期间,对流层高层四川

盆地一直为强大南亚高压控制;不同的是,100 hPa 南亚高压脊线在前 2 场暴雨期间位于 30°N 附近,在第 3 场暴雨期间位于 33°N 附近,但川东北地区均位于高压辐散区内;200 hPa 层在 40°N 附近维持一支高空西风急流,川东北地区处在高空急流入口区右后侧。

4 动力结构分析

为了考察暴雨区上空大气旋转运动及辐合辐散随时间变化情况,图 3 给出了 7 月 2—8 日川东北地区(30°—32.5°N, 106°—108°E) 涡度和散度的时间-高度剖面。

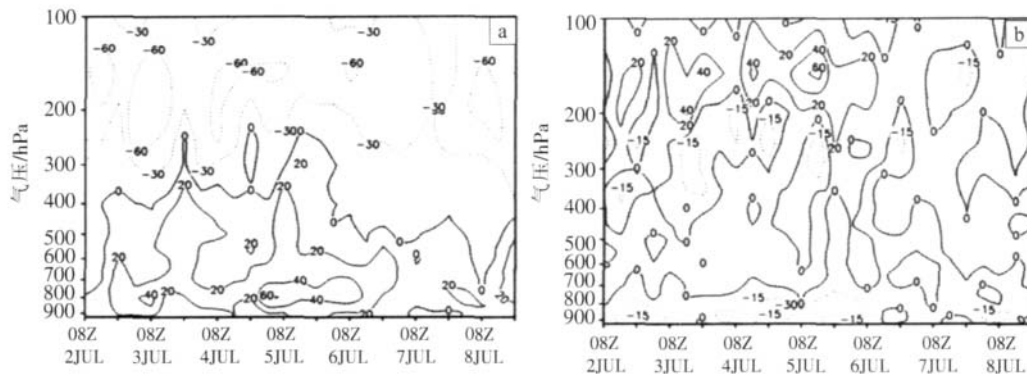


图 3 2007 年 7 月 2—8 日川东北暴雨区(30°—32.5°N, 106°—108°E) 平均涡度(a)、散度(b)的时间-高度垂直剖面图(单位: $10^{-6} s^{-1}$)

从图 3 中可见,暴雨、暴雨期间,正涡度垂直发展深厚,散度场从地面到高层为“辐合—辐散—辐合—辐散”的接力式垂直结构^[7];暴雨期间,由于副高快速东撤而缺少阻塞形势,中低层川东北地区上空大气旋转和辐合上升运动未得到加强,正涡度中心量值和垂直发展高度都明显不及暴雨和暴雨,高层辐散较暴雨和暴雨期间也明显要弱。

暴雨、暴雨期间(2 日 20 时至 6 日 20 时),正涡度伸展高度均在 500 hPa 以上,最高达到 300 hPa,其最大量值出现在 850—700 hPa 层,为 $(40-60) \times 10^{-6} s^{-1}$ (图 3a)。这是由于在副高稳定少动、巴尔喀什湖分裂小槽东移停滞在川东北地区上空,加上低空急流维持和增强,有利于槽前和急流左侧地区正涡度加强,同时,由于 300 hPa 和 250 hPa 南亚高压出现断裂,四川盆

地中部有小槽形成,川东北地区位于槽前,使得正涡度垂直高度在 5 日达到 300 hPa 层;暴雨 期间(7 日 20 时至 8 日 20 时),500 hPa 层以下为正涡度区,其中心值为 $20 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$,其正值中心量值和垂直发展高度都明显不及暴雨 和暴雨 。

另外,暴雨 、暴雨 期间(2 日 20 时至 6 日 20 时),由于中低层有低涡切变活动,川东北地区在 700 hPa 以下为辐合,散度值为 $(-15 \sim 30) \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ (图 3b);值得注意的是,由于 300 hPa 和 250 hPa 层南亚高压出现断裂,在 300 hPa 层附近形成一个次级辐合中心,200 hPa 层以上为辐散中心,其正值中心位于 150

hPa 层附近,中心散度值为 $(20 \sim 60) \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$,从地面到高层,形成“辐合—辐散—辐合—辐散”的接力式上下大气运动^[7],高层辐散强于低层辐合,抽吸作用明显,有利于对流发展;暴雨 期间(7 日 20 时至 8 日 20 时),散度场在 850 hPa 附近有一 $-15 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 的辐合中心,与暴雨 、暴雨 期间量级相当,但高层辐散值 $< 10 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$,较暴雨 、暴雨 期间明显要弱。

图 4 给出了川东北地区暴雨 、暴雨 期间(2 日 20 时至 6 日 20 时,图 4a)和暴雨 期间(7 日 20 时至 8 日 20 时,图 4b)的 100 hPa 流场、200 hPa u 分量及 200 hPa 至 100 hPa 层逐层散度累加值图。

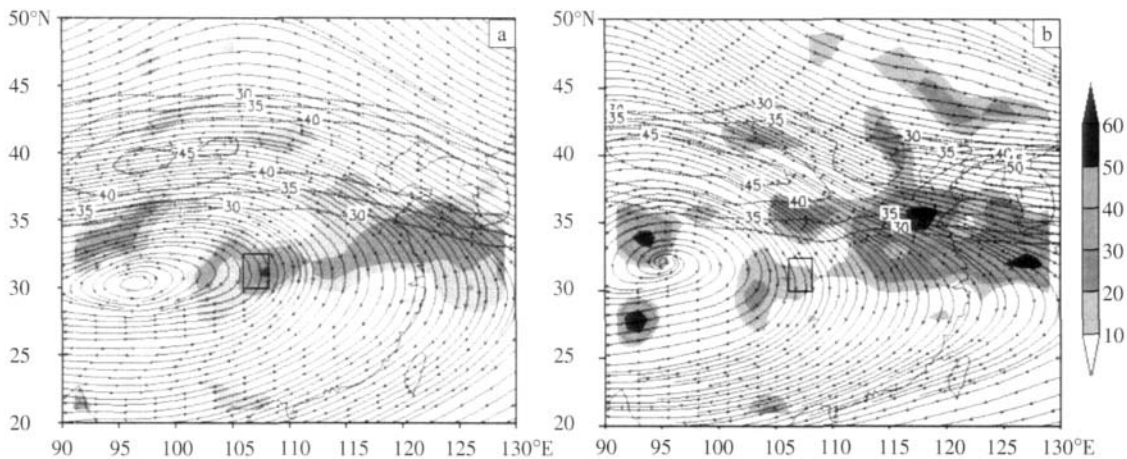


图 4 2007 年 7 月 2 日 20 时至 6 日 20 时(a)、7 日 20 时至 8 日 20 时(b) 100 hPa 流场、200 hPa u 分量(虚线)及 200 hPa 至 100 hPa 层逐层散度累加值(10^{-6} s^{-1} , 阴影)叠加图(矩形框所示为川东北地区)

从图 4 中可以看出:暴雨 、暴雨 期间,南亚高压中心位于 30°N 附近,200 hPa 层 37°—42°N 之间有一支西风急流,四川盆地为南亚高压东北象限的经向辐散和 200 hPa 西风急流入口区右侧的纬向辐散的叠加区域,川东北地区位于 $(30 \sim 60) \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 的辐散中心;暴雨 期间,南亚高压中心北抬至 33°N 附近,105°—110°E 附近的辐散中心也随之北抬至 35°N 附近,川东北地区 200 hPa 至 100 hPa 层逐层散度累加值小

于 $20 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 。

5 水汽输送条件分析

持续性暴雨除了要有相对稳定的大气环流形势促使天气系统维持、再生和发展之外,降水区域的水汽辐合及充足的水汽来源是持续性降水的必要条件^[8]。在“07.7”川东北连续大暴雨期间,对流层中低层在贵阳—重庆—达州一线一直维持西南(700 hPa)或偏南

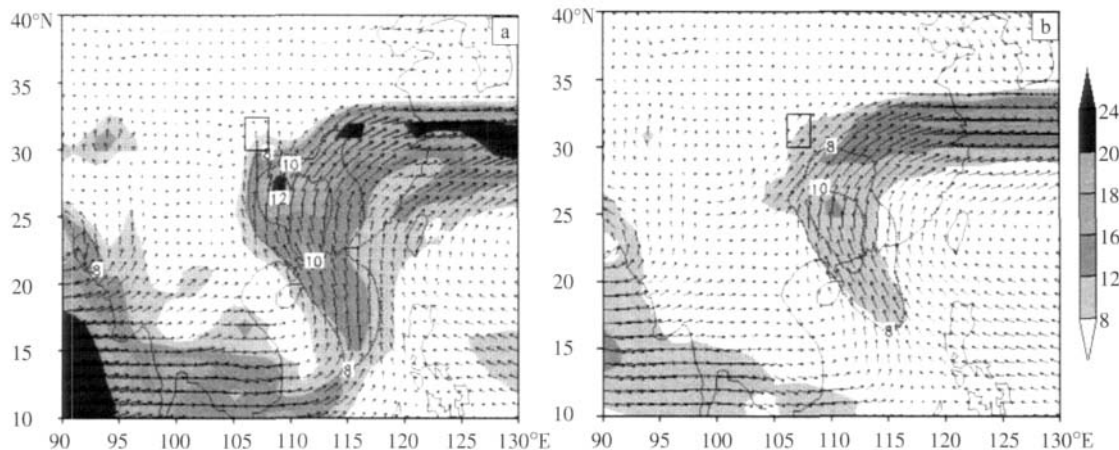


图 5 2007 年 7 月 2 日 08 时至 8 日 20 时 850 hPa (a)和 700 hPa (b)的平均风矢量、v 分量(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)及水汽通量(阴影,单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)叠加图(方框所示为川东北地区)

(850 hPa)低空急流,且在前 2 场暴雨过程临近时刻和降水过程中存在风速脉动(图略),风速加大了 2~4 m·s⁻¹。图 5 给出了 7 月 2 日 08 时至 8 日 20 时 850 hPa 和 700 hPa 的平均风矢量、v 分量及水汽通量的叠加图。

从图 5 中可看到: 在“07.7”川东北连续大暴雨期间,暴雨的水汽来自南海,850 hPa(图 5a)和 700 hPa(图 5b)自南海沿着副高西侧的偏南风低空急流,v 分

量达 8~12 m·s⁻¹,低空偏南风急流的维持和增强为连续性暴雨的产生提供了十分有利的水汽输送条件,川东北地区位于低空急流的水汽输送和最大风速出口区左前方。

图 6 给出的是 7 月 2 日 08 时至 8 日 20 时 500 hPa 以下整层水汽通量散度沿 107°E 的时间-纬度剖面(图 6a)和沿 32°N 的时间-经度剖面(图 6b)。

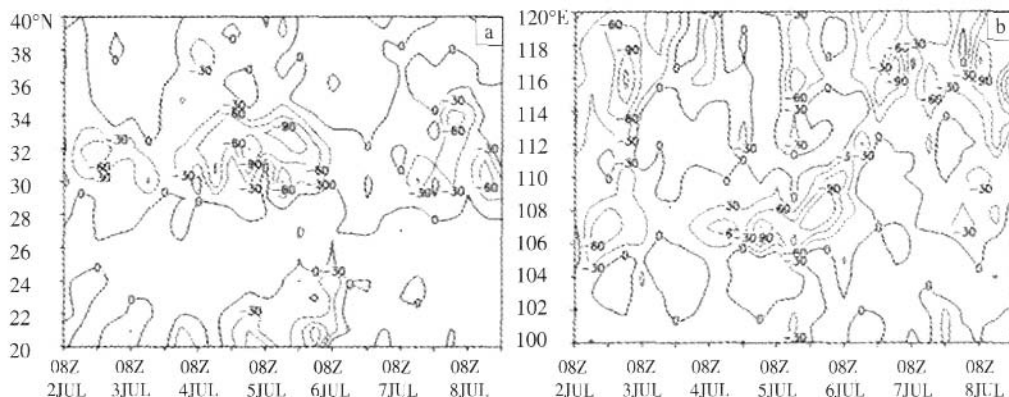


图 6 2007 年 7 月 2 日 08 时至 8 日 20 时 500 hPa 以下整层水汽通量散度(10⁻³g·cm⁻²·s⁻¹)沿 107°E 时间-经度剖面(a)和沿 32°N 时间-纬度剖面(b)

从图 6 中可见,3 场暴雨过程期间,川东北地区为强水汽辐合区,在纬向剖面上,水汽辐合中心位于 32°N 附近,在经向剖面上,水汽辐合中心位于 107°E 附近,辐合中心正好位于暴雨中心巴中地区;暴雨范围最广、持续时间最长的暴雨 500 hPa 以下整层水汽通量散度值最大,纬向、经向剖面上分别在 32°N 和 107°E 附近中心值均达到 -90×10⁻³ g·cm⁻²·s⁻¹;

暴雨与暴雨、暴雨相比,500 hPa 以下整层水汽通量散度辐合中心在纬向上略微偏南,暴雨中心也相应从巴中地区的北部转移到了南部,这是由于副热带高压脊线有所南压造成低空急流出口也相应南

压所致,但其中心值与暴雨的相当,两场暴雨都为 (-30~60)×10⁻³ g·cm⁻²·s⁻¹。可见,暴雨的范围和强度比暴雨、暴雨的弱,水汽输送和辐合条件不是主要原因。

6 热力不稳定条件分析

为了分析“07.7”川东北连续大暴雨期间的热力不稳定条件,图 7 给出了 7 月 2—8 日 850 hPa 假相当位温沿 107°E 的时间-纬度剖面及达州站 7 月 1—9 日 850 hPa 假相当位温(θ_{e850})和 500 hPa 与 850 hPa 假相当位温之差[$\theta_{e(500-850)}$]的时间变化图。

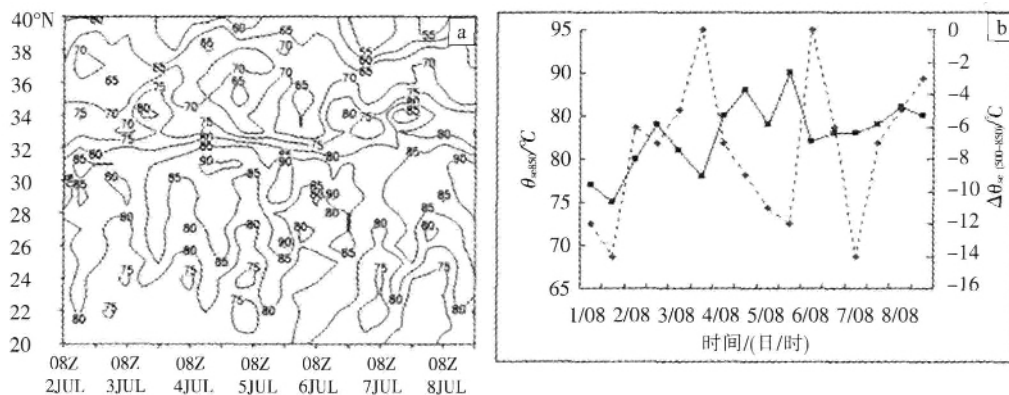


图 7 2007 年 7 月 2—8 日 850 hPa 假相当位温沿 107°E 的时间-纬度剖面(a)和达州站 7 月 1—9 日 θ_{e850} (—·—)、 $\Delta\theta_{e(500-850)}$ (·····)的时间变化图(b) (单位: °C)

低空急流不仅对暴雨产生和维持起水汽输送作用,也起能量供应作用,低空急流的维持利于暴雨区保持高能 and 能量再生,并利于促进暴雨区建立位势不稳定层结。从图 7a 中可见:“07.7”川东北连续大暴雨期

间,由于低空偏南风急流的维持,850 hPa 层在 25°—32°N 为 -80~90 自南向北伸展的高能舌,暴雨、暴雨期间,32°—33°N 附近还存在一能量锋区,表明北方有冷空气南下与暖湿气流在此交汇,暴雨发生在

能量锋区偏向暖区一侧。

从图 7b 中可见: '07.7' 川东北连续大暴雨期间, 3 场暴雨前 12 h, 达州站 $\omega_{500-850}$ 均 -5 , 大气层结处于对流不稳定状态。暴雨、暴雨结束后, ω_{850} 值明显下降, 大气层结重新趋于稳定, 2 日 20 时至 3 日 20 时及 4 日 20 时至 6 日 08 时达州站 ω_{850} 分别下降了 6、8, $\omega_{500-850}$ 在 3 日 20 时和 6 日 08 时均为 0, 这同样说明在暴雨、暴雨期间有冷空气活动; 而暴雨过程前后, 达州站 ω_{850} 无明显下降, $\omega_{500-850}$ 也一直为负值, 表明在此期间无明显冷空气活动, 促使对流运动发展和不稳定能量释放的触发条件不如暴雨和暴雨的有利。

7 结论

(1) 造成严重洪涝灾害的前 2 场区域性大暴雨期间, 500 hPa 欧亚中高纬地区为阻塞形势, 巴尔喀什湖冷涡和副高两个长波系统稳定少动, 巴尔喀什湖冷涡底部分裂东移的冷槽和中低层切变、低涡是暴雨的触发系统; 第 3 场局地性大暴雨过程期间, 因大气环流调整, 副高快速东撤, 副高迅速减弱致使对流云团在东移过程中迅速减弱消亡, 强降水在时空上都未延续。

(2) 前 2 场暴雨期间, 正涡度垂直发展深厚, 散度场从地面到高层为“辐合—辐散—辐合—辐散”的接力式垂直结构; 而暴雨期间, 涡度正值中心量值和垂直发展高度都明显不及暴雨、暴雨期间, 高层辐散也较暴雨、暴雨期间的明显要弱, 这是暴雨

强度不及暴雨、暴雨的主要原因。

(3) 暴雨的水汽主要来自南海, 低空偏南风急流的维持为这次连续暴雨的产生提供了源源不断的水汽输送, 暴雨发生在低空急流的水汽输送和最大风速出口区左前方的强水汽辐合区, 其辐合中心正好是这 3 场暴雨的中心, 暴雨中心均位于巴中地区。

(4) 这 3 场暴雨过程期间, 大气层结都处于高能和对流不稳定状态。暴雨、暴雨期间, 北方有冷空气南下与暖湿气流汇合, 暴雨发生在能量锋区偏向暖区一侧; 缺乏冷空气的触发条件是暴雨强度不及暴雨、暴雨的另一个重要原因。

参考文献:

- [1] 张庆云, 陶诗言, 张顺利. 1998 年嫩江、松花江流域持续性暴雨的环流条件[J]. 大气科学, 2001, 25(4): 567-576.
- [2] 钱正安, 顾弘道, 颜宏, 等. 四川 '81.7' 特大暴雨和西南低涡数值模拟[J]. 气象学报, 1990, 48(4): 415-423.
- [3] 张小玲, 张建忠. 1981 年 7 月 9—14 日四川持续性暴雨分析[J]. 应用气象学报, 2006, 17(增刊 1): 79-87.
- [4] 宗志平, 张小玲. 2004 年 9 月 2—6 日川渝持续性暴雨过程初步分析[J]. 气象, 2006, 31(5): 37-41.
- [5] 赵思雄, 傅慎明. 2004 年 9 月川渝大暴雨期间西南低涡结构及其环境场的分析[J]. 大气科学, 2007, 31(6): 1059-1075.
- [6] 于波, 林永辉. 引发川东暴雨的西南低涡演变特征个例分析[J]. 大气科学, 2008, 32(1): 141-152.
- [7] 赵兵科, 姚秀萍, 吴国雄. 2003 年夏季淮河流域梅雨期西太平洋副高结构和活动特征及动力机制分析[J]. 大气科学, 2005, 29(5): 771-779.
- [8] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 255.

Diagnostic Analysis of Continuous Heavy Rainfall: 3 cases in Northeastern Sichuan Province in July, 2007

Xiao Di-xiang¹, Gu Qing-yuan², Qi Sheng-xiu³, Li Jia-quan¹

(1. Bazhong Meteorological Bureau of Sichuan Province, Bazhong 636001;

2. Sichuan Meteorological Observatory, Chengdu 610072;

3. Division of Operation & Science, Sichuan Meteorological Bureau, Chengdu 610072)

Abstract: NCEP 1°x1°6-hour reanalysis data are used to analyze the circulation pattern, the dynamic structure, the water vapor transport and the thermal conditions of 3 continuous heavy rainfall events occur in early July, 2007 in northeastern Sichuan province. The results are as follows: (1) the former two regional heavy rainfalls occurred under the stable block situation with two long-wave systems of subtropical high and cold vortex over Balkhash Lake, the third local heavy rainstorm occurs in the general circulation in adjustive course which subtropical high fast retreating eastward results in the convective clouds rapidly dissipating during eastward moving; (2) water vapor of rainstorms mainly are from South China Sea, the low-level south wind jet stream supplies water vapor and energy to persistent rainstorms successively, and the centers of the three rainstorm events are in Bazhong that is the water vapor convergence center at left side of low-level jet stream exit; (3) the former two regional heavy rainstorms which led to severe flood disaster, from low-level to upper level, is formed with convergence-divergence-convergence-divergence dynamic structure, the convective instable atmospheric stratification with high energy is triggered by cold air, and the heavy rainstorms are at the warm side of energy front.

Key words: Heavy rainfall; Subtropical high; Low-level jet stream; Dynamic structure; Water vapor transport; Thermal condition