

文章编号: 2096-1618(2017)03-0304-09

重庆夏季暴雨和非暴雨天气的西南低涡个例对比分析

段伯隆^{1,2}, 刘海文³, 张文龙², 王 丹¹

(1. 成都信息工程大学, 四川 成都 610225; 2. 中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089; 3. 中国民航大学, 天津 300300)

摘要:针对带来重庆暴雨和未带来暴雨的两类西南低涡,使用重庆34个常规地面站降水资料和NCEP分析资料,采用天气动力学诊断方法,开展个例对比分析。结果表明:能给重庆带来暴雨的西南低涡表现为一个深厚系统;500 hPa重庆上空为一深槽,200 hPa上处于高空急流入口区右侧,有明显的辐散,重庆南北两侧形成两个闭合的次级环流圈,非常有利于上升运动维持;700 hPa上来自河西走廊的偏西气流和印度洋的暖湿气流相遇,在重庆上空形成一个暖舌,IPV分析发现到达重庆的冷空气较弱;四边水汽收支诊断表明,东、南以及西边界是水汽输入边界,只有北边界是水汽输出边界,使得重庆上空水汽出现盈余,利于暴雨发生。而不能给重庆带来暴雨的西南低涡表现为对流层中层的浅薄涡旋;500 hPa重庆处于脊前西北气流控制下,200 hPa无明显辐散,重庆上空表现为弱的下沉运动,两侧无明显的闭合次级环流圈;700 hPa上形成一个气旋性环流,重庆上空很少有来自海洋的暖湿气流,IPV分析显示影响重庆的冷空气较强;四边水汽收支诊断表明,西边界和北边界是水汽输入边界,而南边界和东边界是水汽输出边界,使得重庆上空水汽表现为亏损,不满足暴雨发生的水汽条件。

关键词:天气动力学;西南低涡;重庆暴雨;诊断分析

中图分类号:P426.62

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2017.03.012

0 引言

在中国大陆地区,对流层中低层中尺度低涡主要分为西南涡和西北涡^[1]。其中西南低涡对天气的影响不容忽视,就造成暴雨天气的强度、频数和范围而言仅次于台风的影响^[2-3]。重庆市位于西南低涡源地的下游地区,东移发展的西南低涡对重庆的天气有着重要影响,甚至带来灾难性暴雨天气,给人民的生命财产造成危害^[4-6]。因此,对西南低涡的研究一直受到重视,许多气象工作者对西南低涡的发生发展进行研究,并取得一定的成果。比如,卢萍等^[7]研究发现影响重庆暴雨的西南低涡主要分为偏东路径型、东北路径型和停滞少动型3类,其移动路径主要受大尺度环流形势影响。Wang等^[8]通过青藏高原东部的西南低涡研究后认为,西南低涡产生于高原东侧的西南低涡滞留区,并且总结出能产生可观测的西南低涡的条件需要满足3个因素:潜热释放、动力不稳定以及大尺度气流和高原地形的相互作用的强迫。李国平等^[9]应用热成风适应理论,探讨暖性西南低涡的形成机制,结果表明,由于地面感热加热与暖平流作用在西南低涡源地形成较大的非热成风涡度,在一定的层结和尺度条件

下,其适应调整在低层形成暖性热低压(即暖性西南低涡)。陈忠明等^[10]通过对高原涡与西南涡相互作用的个例诊断分析,发现高原低涡东移至100°E以东时,伴随低涡的上升气流和正涡度平流叠加在浅薄西南低涡上空,与西南低涡的弱上升气流和浅薄正涡度垂直耦合,形成由低层贯穿中层以上的正涡度与上升气流柱,导致西南低涡强烈发展。Yinghua Kuo等^[11]通过对一次西南涡致洪个例研究表明,小尺度的热量和湿度收支与积云对流相关联的潜热释放对西南涡的发展有很大贡献。Fu等^[12]通过能量收支的方法,研究2008年6月11-13日导致中国华南暴雨的西南低涡的东移和传播过程,认为平流作用是最重要的动能来源。卢萍等^[13]利用(AREM)模式对影响重庆暴雨的2次西南低涡进行分析发现,西南低涡造成的降水落区通常位于低涡中心附近(东侧为主),低涡发展增强阶段,垂直运动最强,低层以东南风为主,大气稳定度也最低。于波等^[14]利用再分析资料和MM5模式输出资料对一次西南涡个例分析表明,在西南低涡发展过程中,中层附近一直伴有涡旋存在,且此涡旋的发展演变过程与低层涡旋不同,其最大增长时段和低层涡旋也不一致。Li等^[15]使用区域集合预报系统,从集合预报的角度分析和研究了西南低涡停滞移动的环流条件,认为西南低涡中心附近向西倾斜的高空槽和低层下游

地区的湿气流以及上游地区的干空气配置,有利于西南低涡的东移和发展。

上述研究大都针对导致暴雨的西南低涡而进行,然而并不是所有的西南低涡都能带来暴雨^[4-5]。根据预报员的经验,当西南低涡与低槽冷锋(或冷槽冷锋),或高空急流云系或强高空切变线相结合时,才会出现暴雨。张颀^[16]分析了两次相似的东移西南低涡,但是其造成山东降水的范围和强度却悬殊极大,其中一次造成山东 32 个县出现大到暴雨,而另一次却在山东大部分地区没有产生降水,其研究进一步说明尽管都受西南低涡的影响,但却给所经地区带来不同的天气。在文献研究的基础上^[17],将对能够给重庆带来暴雨的西南低涡和不能给重庆带来暴雨的西南低涡进行比较分析,以期进一步深化认识重庆上空西南低涡对天气的影响,这对川渝地区的防灾、减灾工作,有着非常重要的意义。

1 资料和方法

利用重庆市 34 个观测站 1979–2011 年逐日降水资料、NCEP(national center for environmental prediction,global final analysis)6 小时间隔的全球分析资料,水平分辨率为 1°×1°,垂直分辨率为 26 层,气象要素包括风场、位势高度场、温度场、相对湿度场、垂直速度场等资料。

等熵面位势涡度(isentropic potential vorticity,IPV)的计算按照 Ding^[18]的步骤和方法,公式为

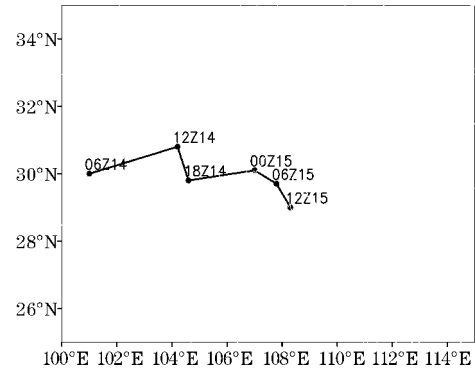
$$IPV = (\zeta_{\theta} + f) \left(-g \frac{\partial \theta}{\partial p} \right) \quad (1)$$

式中, g 为重力加速度, f 是行星涡度, ζ_{θ} 是等熵面上相对涡度的垂直分量, $-\frac{\partial \theta}{\partial p}$ 是静力稳定度。等熵面以 5 K 的间隔,275 ~ 375 K 均匀插值成 21 层,IPV 的单位为:1PVU=10⁻⁶m²·s⁻¹·K·kg⁻¹。

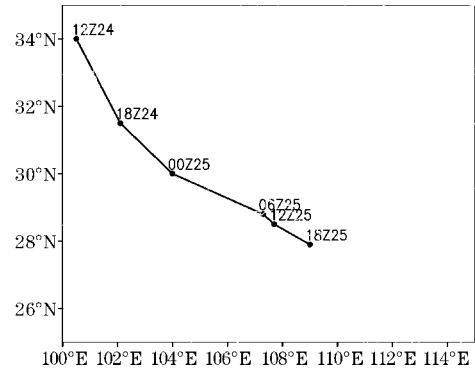
2 个例选取

石鹏翔等^[17]对 1979–2011 年由西南低涡引起的重庆地区降水天气的统计分析表明,6 月带来暴雨的西南低涡占整个夏季带来暴雨的西南低涡的 46 %,未带来暴雨的西南低涡占整个夏季未带来暴雨的西南低涡的 37 %,因此选取发生在 6 月的个例具有一定的代表性。文中选取 2008 年 6 月 15 日的降水过程作为暴雨天气类型的代表性个例,选取 2004 年 6 月 25 日降

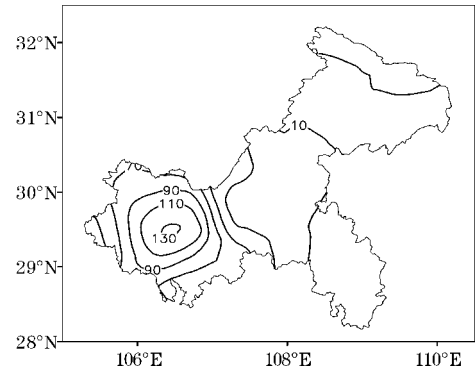
水过程作为非暴雨天气的代表性个例,并进行对比分析。由图 1(a)可见,6 月 14 日 06 时(世界协调时),在川西高原东部地区出现西南低涡,该西南低涡一路东行,然后在 15 日 00 时折向南行,15 日 12 时到达重庆南部。这一东行的西南低涡给重庆市的西南部地区带来了强降水天气,降水中心大约位于重庆市区,降水中心值 130 mm(图 1c),达到大暴雨的量级。反观 2004 年 6 月 25 日的西南低涡(图 1b),在 24 日 12 时,从青海出发,然后一路南下,至 25 日 18 时到达重庆东部,该西南低涡给重庆仅带来很微弱的降水,降水量不超过 10 mm(图 1d),为小雨天气。由此可见,选取这 2 个个例作为能够给重庆带来暴雨天气和不能够带来暴雨天气的代表进行个例对比是可行的。



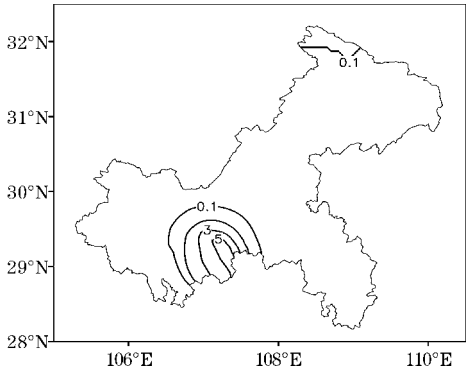
(a) 2008 年 6 月 15 日西南低涡移动路径



(b) 2004 年 6 月 25 日西南低涡移动路径



(c) 2008 年 6 月 15 日重庆市 24 h 累计降水



(d) 2004 年 6 月 25 日重庆市 24 h 累计降水

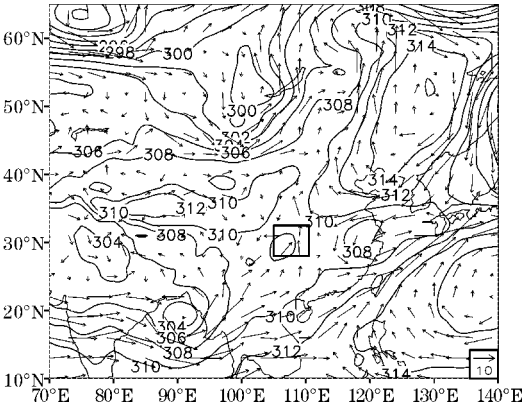
图 1 西南低涡移动路径和重庆市 24h 累计降水(单位:mm)

3 天气形势分析

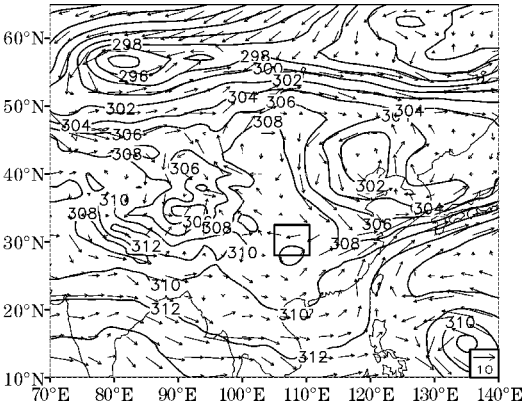
图 2 分别给出这 2 个个例 700 hPa 天气形势。由图 2(a)可以看出,2008 年 6 月 15 日 00 时,在中高纬度,贝加尔湖附近存在一低涡中心,该低涡的东部大兴安岭附近有一东北西南走向的阻塞高压;在中纬度,青藏高原东部存在一个高压中心,在其东部重庆上空有一个低涡,该低涡就是给重庆带来强降水的西南低涡;同时,中心位于海上的副热带高压呈带状分布,310 dagpm 脊线接近 30°N,副热带高压的这种分布,一方面使得来自于印度洋的暖湿气流沿着副高边缘到达重庆地区,为重庆的暴雨天气提供源源不断的水汽供应,另一方面,稳定少变的副高,可以阻挡西南低涡缓慢东行,使得西南低涡在重庆上空长时间停滞,这也非常有利于重庆暴雨的发生。相比而言 2004 年 6 月 25 日的天气形势(图 2b),在欧亚大陆中高纬度上空有一个呈带状分布的低压带,其中在乌拉尔山以东的西西伯利亚平原存在一个低涡,低涡中心数值达到 296 dagpm,在我国华北东部上空也存在像图 2(a)一样的阻塞高压;在中纬度地区,高原东部环流仍显得有点凌乱,但是在(30°N~40°N,90°E~100°E)附近存在一个明显的低涡,在重庆上空也存在一个低涡,这个西南低涡和 2008 年 6 月 15 日重庆上空的西南低涡相比,位置略微偏南。副热带高压也为带状分布,只是其脊线位置略微偏南,310 dagpm 等位势线过中国两广地区在北部湾附近形成一个槽线,副高这样的形势,使得来自印度洋上的暖湿气流沿着副高边缘向朝鲜半岛附近输送水汽,使得重庆地区的暖湿气流并不明显。

从 700 hPa 流场来看,对于 2008 年 6 月 15 日而言,影响重庆地区的气流主要为两股,一股来自于河西走廊的偏西气流在高原东部的高压影响下,折向南行,变为东北气流后进入重庆,另一股气流则来自于印度洋的暖湿气流,这两股气流在重庆地区相遇,使得西南

低涡得以发展,有利于重庆暴雨的产生。而对于 2004 年 6 月 25 日的过程而言,影响重庆的气流和 2008 年 6 月 15 日存在很大不同,从图 2(b)可以明显看出,在重庆上空主要存在一股气流,这股气流主要从河西走廊在河套附近暖脊的影响下,折向西南,然后围绕重庆大致形成一个气旋性环流,该气流在重庆南部由西北气流转变为西南气流,重庆上空不受暖湿气流影响,没有足够的水汽产生暴雨。



(a) 2008 年 6 月 15 日 00 时

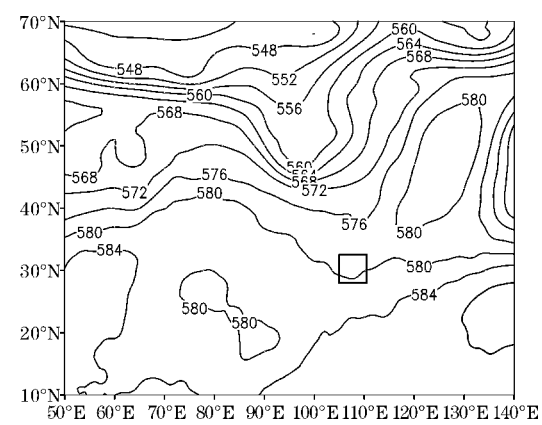


(b) 2004 年 6 月 25 日 00 时

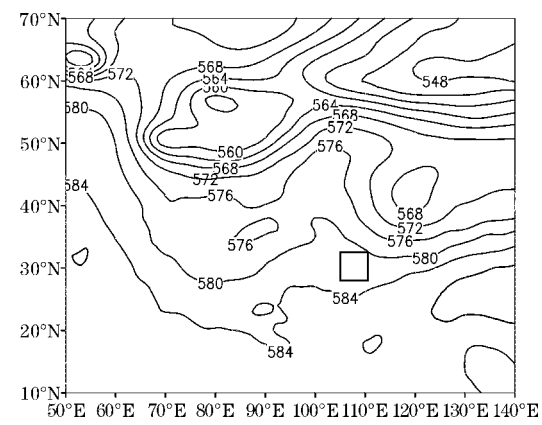
图 2 700 hPa 位势高度场(单位:dagmp)和风场(单位:m/s)

如图 3(a)所示,在 500 hPa 高度上,和西南低涡对应的是一个高空槽,在欧亚大陆中高纬度地区,在大兴安岭附近也和 700 hPa 一样存在一个阻塞高压,高压中心值达到了 580 dagpm,在其后部则为从贝加尔湖经过河套地区一直延伸到重庆的槽线,副热带高压呈带状分布,588 线位于海上,副高脊线大约位于 20°N 附近,这样的天气形势,使来自于高纬度的冷空气和沿着副高外围线的 584 dagpm 线的西南暖湿气流在重庆地区相遇,非常有利于重庆暴雨的产生。但是,对于 2004 年 6 月 25 日 500 hPa 的天气形势,和图 3(a)的天气形势有很大不同。在西南低涡的上空,500 hPa 天气图上没有明显的槽线和其相配合,与此同时,和 700 hPa 环流形势不一样的地方是,中高纬度不再是低

压带,并且在巴尔喀什湖北部和大兴安岭分别存在一个切断低涡,重庆上空处于副高外围的弱的脊线中,副热带高压呈带状分布且脊线位置要比图3(a)的脊线偏北,虽然脊线偏北的副热带高压有利于暖湿气流流向重庆输送,但由于此时重庆上空没有一个明显的辐合系统,因此,不会有大量的水汽在重庆辐合,使该日难以形成大量降水。



(a) 2008年6月15日00时



(b) 2004年6月25日00时

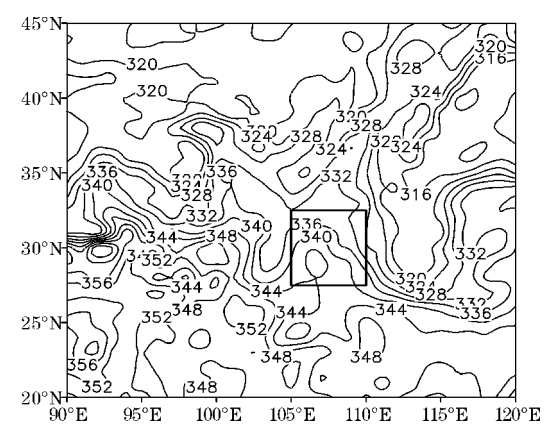
图3 500 hPa 位势高度场(单位:gagmp)

4 热力场和动力场对比

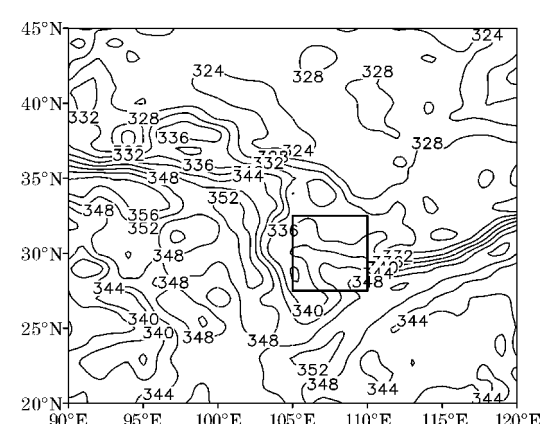
4.1 热力场比较

θ_{se} 是一种很保守的气象物理量,综合反映了(P, T, e)的变化特点。张雪蓉等^[19]利用 θ_{se} 研究了0509号台风“Matsa”和0712号台风“Wipha”,分析台风的冷暖结构。刘还珠等^[20]认为, θ_{se} 的密集带正是冷暖空气团所交界的位置。因此,从700 hPa位势高度上的 θ_{se} 图,来分析导致这两次过程的冷暖空气相互作用的差别。从图4可以看出,在2008年6月15日00时,重庆上空存在一个明显的“暖舌”,在重庆西部存在一个 θ_{se} “低坑”,这表明影响重庆2008年6月15日降水的

西南低涡具有高温高湿的特点,需要说明的是,图4(a)中的 θ_{se} 高值中心分布,基本和图2(a)中暖高的分布一致,这也进一步说明用 θ_{se} 能够较好地反映大气的暖湿特征。重庆西部的“低坑”,和图2(a)中的西北气流相对应,反映了影响重庆该日降水的主要的冷空气来源。但是,图4(b)的 θ_{se} 分布却和图4(a)的分布存在很大不同。在2004年6月25日00时,340~348线呈南北向的形势在重庆的西部形成一个 θ_{se} 的密集带,在产生降水的位置(重庆东南部),一个东西向的暖舌向西延伸到重庆南部地区,但其范围远没有图4(a)中大。



(a) 2008年6月15日00时



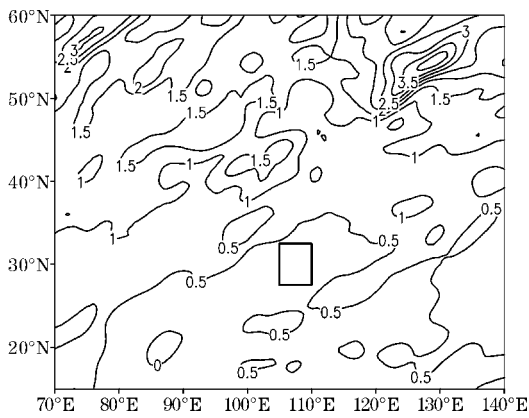
(b) 2004年6月25日00时

图4 假相当位温(单位:K)

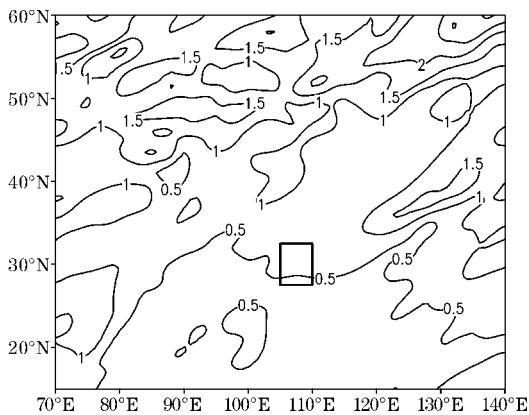
自Hoskins等^[21]提出等熵位涡意义和方法以后,位涡理论广泛应用于天气动力学研究。赵亮等^[22-23]在用等熵面位涡特征研究了等熵面上的冷空气过程时,采用0.5 PVU线代表冷空气的势力范围,在作IPV分析时,一般选取与极锋地区对流层顶相重合的等位温面,因此,选取 $\theta=320$ K(文中位于650~500 hPa)进行等熵面位涡分析。图5给出了这两日320 KIPV的空间分布图。由图5可见,两张图的位涡都具有从低纬度向高纬度增大

的特征,这也是等熵面位涡具有的基本特征之一^[24]。如果用0.5 PVU线代表冷空气的势力范围,可见,影响2008年6月15日重庆暴雨天气的冷空气相对较弱,而影响2004年6月25日弱降水的冷空气则相对较强。

区存在一个很长的西风急流带,重庆即不位于急流入口区,也不位于急流出口区,同时,在重庆的西北部仅存在一个弱的辐散区,重庆上空这样的辐散场的特点,显然不利于高层大气对对流层大气的抽吸作用,因此,上升运动并不强烈,这也使得该日在重庆地区不可能发生较强的降水天气。

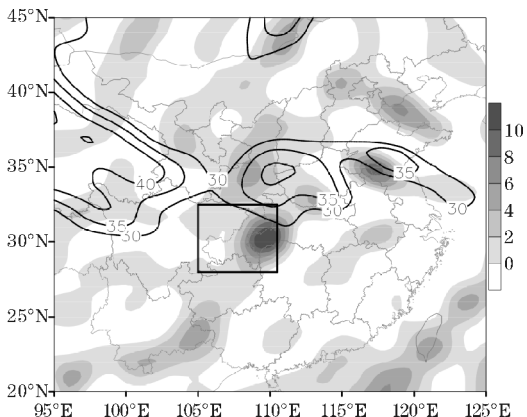


(a) 2008年6月15日00时

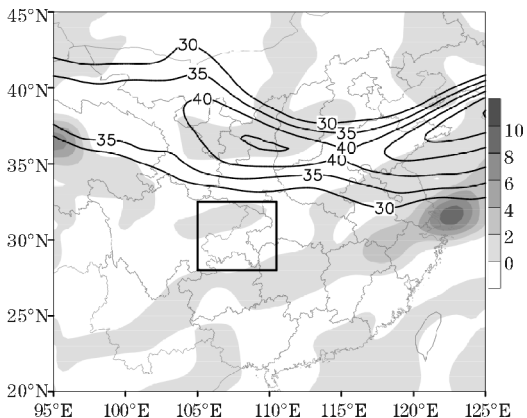


(b) 2004年6月25日00时

图5 320 K等熵面位涡(单位:PVU)



(a) 2008年6月15日00时



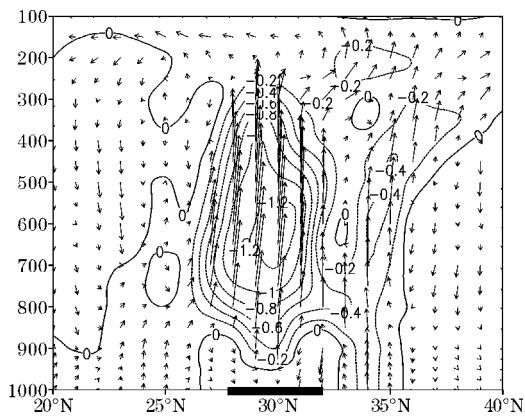
(b) 2004年6月24日00时

图6 200 hPa散度场(阴影,单位: $10^{-5}/s$)和急流(等值线为风速 $>30m/s$)

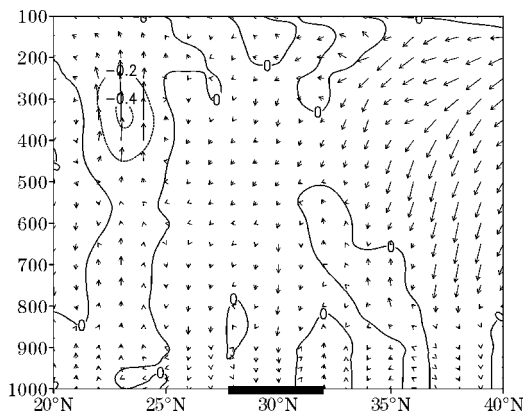
4.2 动力场比较

200 hPa 高空西风急流是影响东亚气候的重要系统^[24]。为对比分析和这两个西南低涡相联系的高空辐散环流的差别,图6给出2008年6月15日00时和2004年6月25日00时200 hPa高度上的急流及其散度分布。在2008年6月15日00时(图6a),重庆位于中纬度西风急流的断裂带,重庆处于淮河流域高空急流入口区的右侧,通常情况下,在急流出口区的右侧是辐散上升运动区^[25],重庆上空存在着很强的辐散,而强烈的辐散使得入口区右侧存在一个强烈的上升运动的次级环流,这非常有利于低层大气的上升运动,进而有利于该日暴雨天气的发生;但是对于2004年6月25日00时200 hPa高空急流和散度场而言,其和2008年6月15日00时的情况存在很大不同,在中纬度地

高空急流的不同,使得次级环流的分布在这两日也表现出很大的不同。图7给出了2008年6月15日和2004年6月25日矢量风和垂直速度沿106.5°E的垂直剖面。由图7可见,在2008年6月15日00时,在重庆上空有明显的上升运动,上升气流在200 hPa高度分别向南,向北流动,然后分别在25°N和37°N附近下沉,从而形成两个闭合的环流圈,根据质量守恒原理,这两个闭合的环流圈更加有利于重庆上空的上升运动的维持。反观2004年6月25日00时,首先在重庆上空上升运动不甚明显,甚至表现为较弱的下沉运动,在重庆南北两侧也不存在闭合的环流圈,这样的垂直运动特征,使得2004年6月25日的降水不可能很大。



(a) 2008年6月15日00时

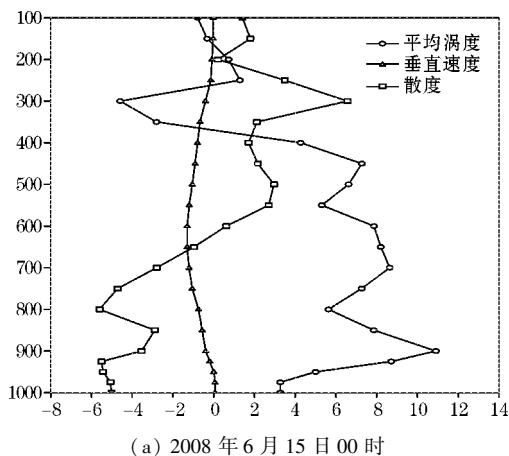


(b) 2004年6月24日00时

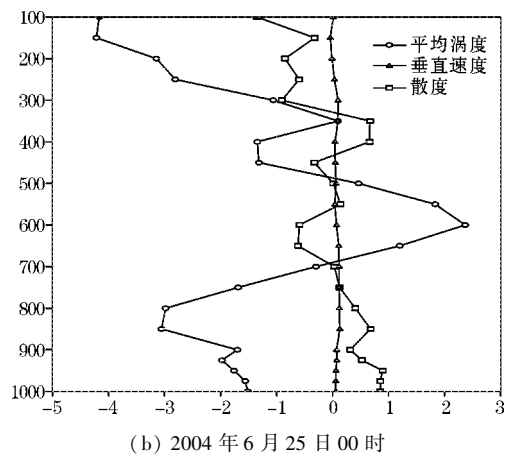
图7 沿106.5°E矢量风($v-w$ 的合成, ω 放大100倍)与垂直速度(单位:Pa/s)经向剖面

图8能更好地说明了这两日重庆上空的动力学特征。除了上升运动与图7一样表现出很大的差别以外,重庆上空的涡度场和散度场也表现出很大不同。在图8(a)中,大约在650 hPa高度以下,重庆上空表现为辐合运动,650 hPa高度以上,则表现为辐散运动,辐散的最大值大约在300 hPa高度,零辐散层大约在750 hPa高度左右。低层辐合,高层辐散必然导致上升运动的增加。而涡度的垂直分布则表现为3层结构,具体为在350 hPa以下表现为正涡度,350~250 hPa表现为负涡度,其上则又为正涡度。这说明能够给重庆带来暴雨的西南低涡并不是一个浅薄系统,对流层中低层的西南低涡在350 hPa以下一直存在有气旋性环流。但是对于不能够给重庆带来暴雨的2004年6月25日00时,重庆上空区域平均的涡度和散度与图8(a)有明显不同。在700 hPa以下,散度为正散度,其上为负散度,无辐散层大约在750 hPa高度,涡度也表现为三层结构,但是正负分布和图8(a)却很不相同。在700 hPa以下,重庆为负的涡度,700~500 hPa为正的涡度,500 hPa高度以上又表现为负的涡度,这表明,对于不能够给重庆带来暴雨的西南低涡来讲,其主要在对流层中层有一个气旋性环流,其下和其上则

都表现为反气旋性环流。



(a) 2008年6月15日00时

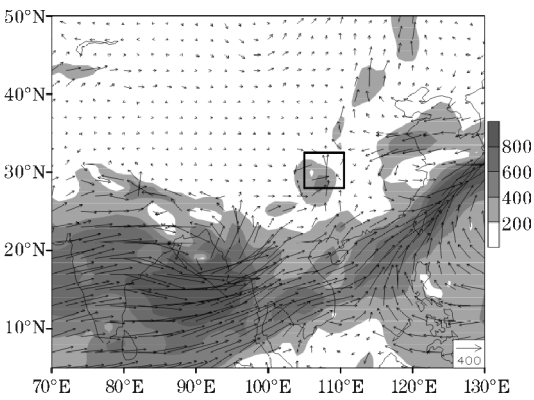


(b) 2004年6月25日00时

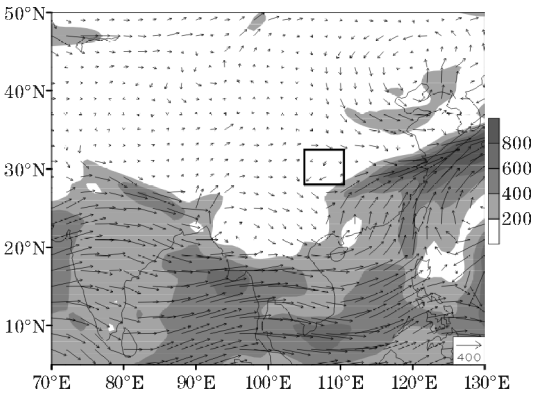
图8 重庆地区区域平均的涡度(单位: $10^{-5}/s$)、散度(单位: $10^{-5}/s$)、垂直速度(单位:Pa/s)

5 水汽条件分析

源源不断的水汽供应是产生暴雨的一个重要条件^[4]。图9给出2008年6月15日00时和2004年6月25日00时从地面到300 hPa垂直积分的水汽通量分布。由图可见,对于2008年6月15日00时而言,影响重庆的水汽通道主要3支,一支来自于印度洋的水汽通道,另外一支来源于南海以及副热带高压西部的偏东风水汽通道,最后一支水汽通道是来源于西风带的水汽输送。这3支水汽通道在重庆地区聚集,最终导致了该日暴雨的发生。但是对于2004年6月25日00时的水汽分布来说,影响重庆地区的水汽通道主要来自来自于西风带的偏北水汽通道,显然来自于西风带的水汽含量远比来自于海洋的水汽含水量要小,而且只有重庆东南部小块区域受来自于海上水汽的影响,因此,在重庆上空没有充足的水汽条件下,该日在重庆地区不能够形成比较大的降水。

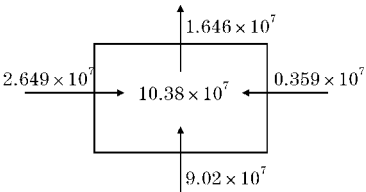


(a) 2008 年 6 月 15 日 00 时

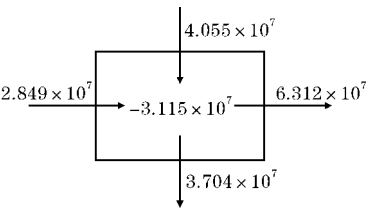


(b) 2004 年 6 月 25 日 00 时

图 9 整层水汽通量(阴影)和水汽通量矢量(单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)



(a) 2008 年 6 月 15 日 00 时



(b) 2004 年 6 月 25 日 00 时

图 10 重庆地区水汽收支(单位: kg/s)

以图 9 中的矩形区域作为重庆的区域范围,计算 2008 年 6 月 15 日 00 时和 2004 年 6 月 25 日 00 时 4 个边界的水汽收支。由图 10(a)可见,在 2008 年 6 月 15 日 00 时,重庆的水汽主要由西边界,南边界以及东边界供应,只有北边界是水汽的输出边界。其中,在 3 个输入边界中,当数南边界的水汽输送最大,达到 $9.02 \times 10^7 \text{ kg/s}$,其次西风带水汽输送也较大,达到 $2.649 \times 10^7 \text{ kg/s}$,尽管北边界是输出水汽边界,但是其量值较小,大约是南边界输入水汽的六分之一,因此使得重庆

整个区域的水汽收支盈余,为 $10.38 \times 10^7 \text{ kg/s}$,盈余的水汽条件非常有利于重庆暴雨天气的发生。对于 2004 年 6 月 25 日 00 时的 4 个边界水汽收支。主要的水汽输送通道主要为北边界和西边界,最大的水汽输出通道则为南边界和东边界,并且东边界的水汽输出是西边界水汽输送的 2 倍多,南边界也把差不多北边界输入的水汽量值的四分之三左右,这样的水汽条件,使得重庆整个区域的水汽收支为亏损,使得该日不可能产生大的降水。

6 结束语

利用重庆市气象台站的逐日降水资料和 NCEP 逐 6 小时全球分析资料,使用天气学诊断方法,对比分析了能给重庆带来暴雨的(2008 年 6 月 15 日)西南低涡和不能给重庆带来暴雨的(2004 年 6 月 25 日)西南低涡的差别,并分析和西南低涡相联系的大气环流特征、热力条件、动力条件降水条件,得到以下结论:

- (1)对于能带来暴雨的西南低涡而言,500 hPa 重庆上空为一深槽,200 hPa 存在一高空急流,西南低涡处于高空急流入口区的右侧;重庆上空存在一支明显的上升气流,该上升气流在重庆两侧形成一个闭合的次级环流圈,非常有利于重庆上空上升运动的维持;但是对于不能带来暴雨的西南低涡而言,500 hPa 上重庆处于脊前西北气流控制之下,200 hPa 没有明显的辐散区,重庆上空则表现为弱的下沉运动,在重庆两侧难以形成一个闭合的环流圈,明显不利于重庆暴雨的发生。
- (2)对于能给重庆带来暴雨的西南低涡,在 700 hPa 上来自河西走廊的偏西气流和来自印度洋的暖湿气流在重庆地区相遇,使得重庆附近形成一个暖舌,西南低涡得以发展,导致重庆暴雨的产生;而不能给重庆带来暴雨的西南低涡,来自河西走廊的气流在重庆上空(700 hPa)形成一个气旋性环流,重庆上空很少有来自于海洋的暖湿气流,暖舌不明显。但是在 320 K 等熵面上,到达重庆的冷空气相对较弱,而不能给重庆带来暴雨天气的冷空气则相对较强。

- (3)对于能给重庆带来暴雨的西南低涡而言,重庆上空的散度和涡度都表现为 3 层结构,大约在 650 hPa 以下,重庆上空表现为辐合运动,650 hPa 以上表现为辐散运动,辐散的最大值大约在 300 hPa,零辐散层大约在 750 hPa 左右。涡度则表现为在 350 hPa 以下为正涡度,350 ~ 250 hPa 为负涡度,其上则又为正涡度。对不能给重庆带来暴雨的西南低涡而言,在 700 hPa 以下为辐散,其上为辐合,无辐散层大约在 750 hPa;涡度在 700 hPa 以下,表现为负涡度,700 ~

500 hPa为正涡度,500 hPa以上则又表现为负涡度。

(4)良好的水汽输送是西南低涡产生重庆暴雨的一个必要条件。对于能给重庆带来暴雨的西南低涡而言,影响重庆的水汽通道大主要有3支,分别为来自于南海南风水汽通道、副热带高压西部的偏东风水汽通道以及西风带的水汽通道。重庆的水汽输送主要由西边界,南边界以及东边界供应,只有北边界是水汽的输出边界,重庆上空水汽盈余,因此导致重庆暴雨的发生;对于不能给重庆带来暴雨的西南低涡而言,其水汽通道主要有两支,为西风带水汽通道和偏北风水汽通道,主要的水汽输送通道主要为北边界和西边界,输出通道则为南边界和东边界,重庆整个区域的水汽收支为亏损,不利于重庆暴雨的发生。

参考文献:

- [1] 刘红武,李国平.近三十年西南低涡研究的回顾与展望[J].高原山地气象研究,2008,(2):68-73.
- [2] 李国平.高原涡、西南涡研究的新进展及有关科学问题[J].沙漠与绿洲气象,2013,(3):1-6.
- [3] 何光碧.西南低涡研究综述[J].气象,2012,38(2):155-163.
- [4] 陶诗言.中国之暴雨[M],北京:科学出版社,1980:225.
- [5] 卢敬华.西南低涡概论[M].北京:气象出版社,1986:58.
- [6] 翟丹华,刘德,李强,等.引发重庆中西部暴雨的西南低涡特征分析[J].高原气象,2014,33(1):140-147.
- [7] 卢萍,翟丹华,李英,等.影响重庆暴雨的三类西南低涡浅析[J].热带气象学报,2014,30(4):736-746.
- [8] Wang W, Kuo Y H, Warner T T. A diabatically driven mesoscale vortex in the lee of the Tibetan Plateau[J]. Monthly weather review, 1993, 121(9):2542-2561.
- [9] 李国平,万军,卢敬华.暖性西南低涡生成的一种可能机制[J].应用气象学报,1991,2(1):91-99.
- [10] 陈忠明,闵文彬,缪强,等.高原涡与西南涡耦合作用的个例诊断[J].高原气象,2004,23(1):75-80.
- [11] Ying Hwa Kuo, Linsheng Cheng, Richard A. Anthes. Mesoscale analyses of the Sichuan flood catastrophe, 11-15 July 1981[J]. Monthly Weather Review, 1986, 114:1984-2003.
- [12] Fu S, Sun J, Zhao S, et al. The energy budget of a southwest vortex with heavy rainfall over south China[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2011, 28(3):709-724.
- [13] 卢萍,李建,李英.重庆2次西南涡暴雨过程的类比分析[J].暴雨灾害,2014,33(1):34-40.
- [14] 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].2008,32(1):141-154.
- [15] Li J, Du J, Zhang D L, et al. Ensemble - based analysis and sensitivity of mesoscale forecasts of a vortex over southwest China[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2014, 140(680):766-782.
- [16] 张飒,刘志红,张少林,等.造成山东不同天气的两个西南低涡异同分析[J].气象,1998,24(1):20-24.
- [17] 石鹏翔,刘海文,段伯隆,等.影响重庆夏季暴雨的中尺度低涡的气候学特征[J].成都信息工程大学学报,2016,31(3):306-310.
- [18] Ding Yihui, Ma Xiaoqing. Analysis of isentropic Potential Vorticity for a Strong Cold Wave During 2004/2005 Winter[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2008, 22(2):129-141.
- [19] 张雪蓉,陈联寿,濮梅娟,等.登陆台风变性过程的物理机制分析[J].气象科学,2013,33(6):685-692.
- [20] 刘还珠,张绍晴.湿位涡与锋面强降水天气的三维结构[J].应用气象学报,1996,7(3):275-284.
- [21] Hoskins B J, M E McIntyre, A W Robertson. On the use and significance of isentropic potential vorticity maps[J]. Quart J R Meteor Soc, 1985, 111:877-946.
- [22] 赵亮,丁一汇.东亚夏季风时期冷空气活动的位涡分析[J].大气科学,2009,33(2):359-374.
- [23] 赵亮,丁一汇.梅雨期高位涡源区及其传播过程[J].应用气象学报,2008,19(6):967-708.
- [24] 寿绍文.位涡理论及其应用[J].气象,2010,32(3):9-18.
- [25] 伍荣生.现代天气学原理[M].北京:高等教育出版社,1999.
- [26] 廖清海,高守亭,王会军,等.北半球夏季副热带西风急流变异及其对东亚夏季风气候异常的影响[J].地球物理学报,2004,47(1):10-18.

Comparative Analysis of Heavy Rain and Non-Heavy Rain Cases Associated with Southwest Vortexes in Summer in Chongqing

DUAN Bo-long^{1,2}, LIU Hai-wen³, ZHANG Wen-long², WANG Dan¹

(1. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing 100089, China; 3. Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: Based on the observed precipitation data from 34 conventional surface weather stations of Chongqing and NECP analysis data, we contrastively analyzed two cases associated with Southwest Vortex (SWV) over Chongqing using dynamic diagnostic method. The results show: SWV which can bring heavy rain is a deep system, and there is a deep trough over Chongqing at 500 hPa, and exists obvious divergent zone at 200 hPa at the right side of the upper-level jet entrance region. Two closed secondary circulations are formed in both south and north sides of Chongqing, which are beneficial to the maintenance of updraft in Chongqing area. At 700 hPa, westerly airflow from Hexi Corridor meets with the warm and moisture airflow from the Indian Ocean, and forms a warm tongue over Chongqing. Isentropic Potential Vorticity (IPV) analysis finds the cold air is weak. Moisture budget of four sides shows that western, southern and eastern boundaries are water vapor input boundaries except for the northern boundary, which results the convergence of water vapor over Chongqing and contributes to the heavy rain. Meanwhile, SWV which cannot bring heavy rain in Chongqing is a shallow vortex in middle troposphere, and the northwest airflow before the ridge at 500 hPa dominates Chongqing area. There is no obvious divergent movements at 200 hPa, and there are not closed secondary circulations. Warm and moist air come from marine cannot reach Chongqing where is occupied by obvious cold air. Moisture budget from four sides shows that southern and eastern boundaries are water vapor input boundaries, while the southern and eastern boundaries are output, which resulted in the negative vapor supply over Chongqing and did not meet the water vapor condition of heavy rain.

Keywords: weather dynamics; southwest vortex; heavy rain in Chongqing; diagnostic analysis