

川渝地区两类西南涡物理量场诊断分析

曾 波, 何光碧, 余 莲

(中国气象局成都高原气象研究所 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室, 四川 成都 610072)

摘要:为研究产生暴雨的西南涡不同发展阶段特征, 首先利用 2009–2012 年的地面自动站常规资料、探空资料和 NCEP 再分析资料, 挑选发生在范围($27^{\circ}\text{N} \sim 33^{\circ}\text{N}$, $105^{\circ}\text{E} \sim 110^{\circ}\text{E}$) 的 25 个有暴雨和 25 个没有暴雨产生的西南涡, 然后通过再分析资料采用动态合成方法对两类系统不同发展阶段物理量场进行诊断对比分析, 结果表明: 有暴雨产生的西南涡低层来自孟加拉湾和南海的水汽输送更大更北, 涡中心附近的东、南侧始终存在强水汽辐合和深厚垂直上升运动, 西、南侧为不稳定或中性层结, 北侧干冷空气气旋性侵入涡后部, 而在涡中心附近有低层正涡度、辐合同高层负涡度、辐散的一致性叠置; 随着涡的发展, 涡前后部冷暖空气强度减弱, 水汽辐合和上升运动中心值皆减小且逐渐偏离涡中心至东侧, 涡度和散度叠置的一致性也逐渐减弱。没有暴雨产生的西南涡西侧低层为浅薄中性层结, 涡中心附近垂直上升运动虽然随着时间增加而稳定存在, 但在涡东侧出现下沉运动, 涡中心附近水汽输送、辐合较小, 高、低层涡度和散度没有像有暴雨产生的西南涡那样一致性的配置, 这些条件可能不利于降水产生和涡进一步的发展。

关键词:气象学; 暴雨天气; 川渝地区; 西南涡; 诊断分析

中图分类号: P458.1+21.1

文献标志码: A

doi: 10.16836/j.cnki.jcuit.2017.02.009

0 引言

西南涡是在高原特殊地形影响下特定区域形成的特有天气系统, 是 700 hPa 或 850 hPa 等压面上的尺度约 300 ~ 500 km 的气旋性环流或有闭合等高线的低涡, 发生、发展常伴随暴雨、洪涝, 引发泥石流等次生灾害, 是中国主要的灾害性天气系统, 造成的暴雨强度、频次、范围仅次于台风及残余低压^[1-12]。康岚等^[13]对引发暴雨的西南涡研究, 发现涡形成阶段整层均为正涡度, 具有深厚的上升气流和暖心结构, 而涡发展旺盛阶段, 对流层中低层转为冷心结构, 正涡度呈上升趋势。此外, 大气辐合、大气稳定度、水汽收支、螺旋度等物理量在西南涡暴雨的发生、发展中有着不同作用, 这些物理量相互配合作用于西南涡不同发展阶段^[14-25]。

前面这些研究成果主要着眼于某个例角度分析研究西南涡暴雨, 并没有通过众多个例具体系统对西南涡暴雨进行研究。部分研究者^[26-28]对移动类型的西南涡进行合成发现, 有暴雨产生的西南涡在移动发展过程中, 水汽输送和低空急流为其提供能量支撑, 此外, 假相当位温对涡的移动和发展也有一定影响。通

过西南涡暴雨环流物理量场合成发现, 一支准东西向的高空西风急流位于涡合成中心位置约 700 km 正北处, 高层散度场中心和涡度中心几乎重合, 低层亦是如此, 涡后部伴随强冷空气活动, 涡区为深厚的上升运动, 降水区域主要位于低涡中心附近^[29-32]。以上这些研究较少从西南涡有无产生暴雨及其不同发展阶段特征方面分析, 文中将对有无暴雨产生的两类西南涡不同发展阶段物理场合成进行分析。

1 资料和方法

通过 2009–2012 年探空 (每天 08 时和 20 时) 及 NCEP (水平分辨率 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, 时间间隔 6 h)、卫星云图、常规自动站 (主要为 1 h, 6 h, 24 h 降水资料) 和《西南涡年鉴 2012》等资料^[7] 识别形成于 ($27^{\circ}\text{N} \sim 33^{\circ}\text{N}$, $105^{\circ}\text{E} \sim 110^{\circ}\text{E}$) 的 25 个有暴雨产生的西南涡 (用 SVR 表示) 和 25 个无暴雨产生的西南涡 (用 NSVR 表示)。主要针对涡发展的 24 小时内的不同阶段物理量特征进行研究, 即 0 h、6 h、12 h、18 h、24 h。

动态合成可以避免几何中心位置与其边缘地区的资料混合导致合成结果被平滑掉, 使系统结构保持相对完整, 参考 Gray^[33] 的合成方法, 有:

$$\bar{S}_t(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S_t(x, y)$$

式中 $\bar{S}_t(x, y)$ 为样本平均场, $S_t(x, y)$ 为 t 时刻物理量

收稿日期: 2016-10-14

基金项目:国家自然科学基金资助项目 (91337215); 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室开放基金资助项目 (BROP201612); 川气课题资助项目 (2013-青年-03)、国家重点基础研究发展计划 (973) 资助项目 (2012CB417202); 川气课题资助项目 (2015-青年-12)

场, N 为样本总数。具体做法: 以每个 SVR (或 NSVR) 涡中心为中心坐标, 采用经纬范围为 $20^\circ \times 20^\circ$ 的格点直角坐标进行物理量场算术平均的动态合成。将 850 hPa 和 700 hPa 统称为低层, 中层指 500 hPa 附近, 高层主要指 200 hPa 左右。

2 不同发展阶段物理量场动态合成分析

2.1 风场分析

图 1 为两类系统不同时刻 700 hPa 风场的动态合成 (图中实心圆表示西南涡合成中心, 纵轴从下到上

表示纬向从南向北, 横轴从左向右表示经向自西向东)。从 5 个时刻 700 hPa 水平风场的风向和风速可以看到, NSVR 涡区外大部分地区风速皆比 SVR 相应地区大; 00 时的 SVR 西北侧 (涡后部) 侵入约 $6 \sim 8$ m/s 的冷空气, 这股冷空气随着时间的增加逐渐减小至 4 m/s, 但在 12 时稍有增加; NSVR 形成时刻西北侧也有小股约 4 m/s 的冷空气侵入, 在 12 时稍有增加, 之后再减小。从 850 hPa 水平风场分析 (图略) 可知, SVR 涡后由两股气流组成, 一股来自西南的暖湿气流在涡东侧气旋性旋转至涡后部, 另一股来自北边冷空气反气旋性旋转至涡后部, NSVR 涡后部气流仅来自北方, 两类涡后部气流强度皆随时间增加而减小。

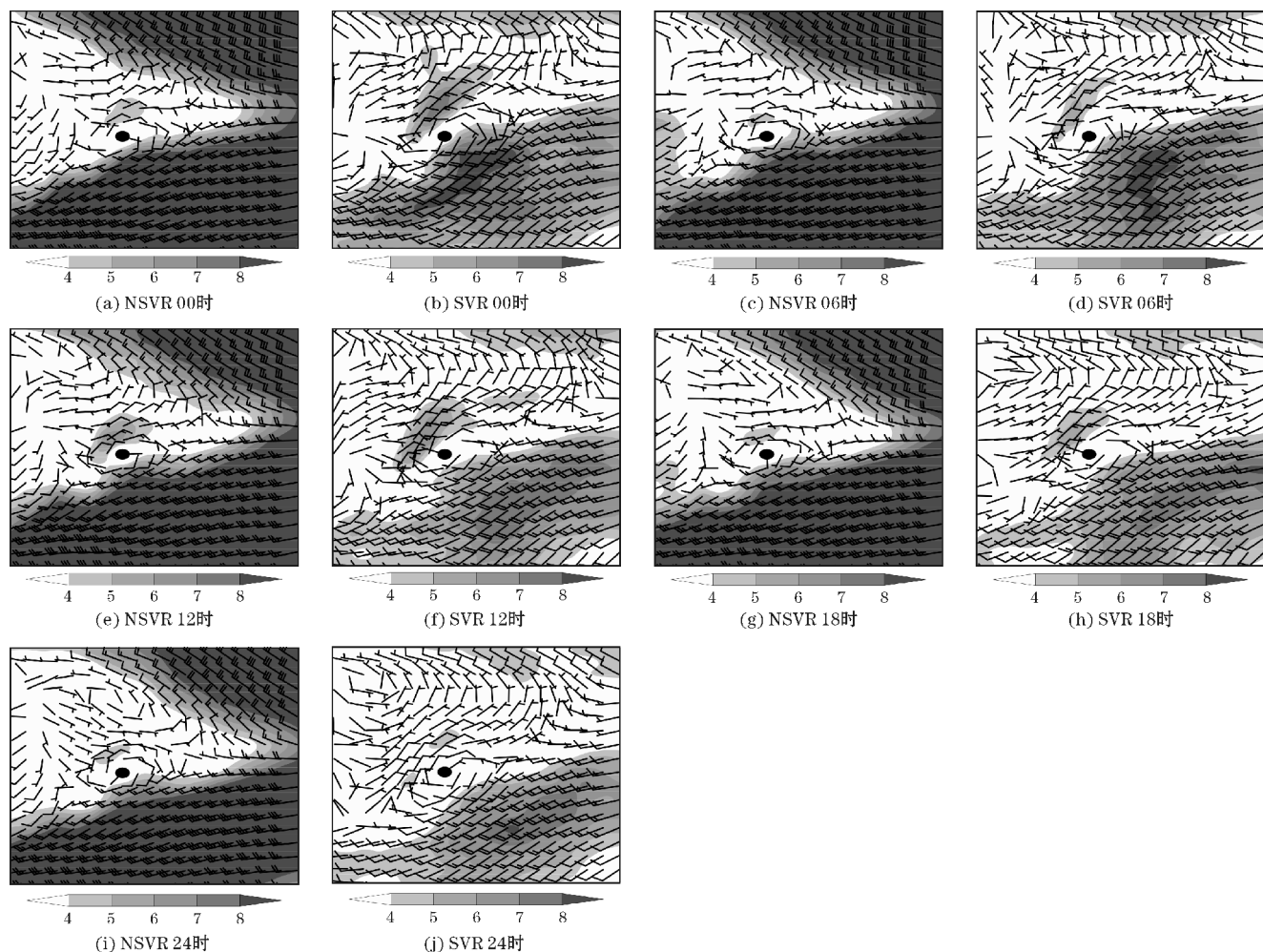


图1 700 hPa 的 NSVR 和 SVR 水平风场 (风向杆) 和风速 (阴影)

2.2 水汽条件分析

图 2 为两类系统 700 hPa 水汽通量和水汽通量散度动态合成场 (图中实心圆表示西南涡合成中心, 纵轴从下到上表示纬向从南向北, 横轴从左向右表示经向自西向东), 从图中可以看到, SVR 水汽输送比 NSVR 更北, 00 时有大量水汽进入 SVR 涡中心附近, 配

合涡中心水汽辐合, 为西南涡降水提供充足的水汽, 随着时间增加水汽辐合强度逐渐减小, 辐合大值区从涡中心逐渐转移至北侧和东侧, 24 时水汽强辐合中心转移到距涡中心 1~2 个经距的东侧, 这可能说明随着时间增加降水逐渐减小并向东移, 这种改变可能是由于东北侧冷暖空气的交汇带随着时间增加逐渐往东往南偏移造成; NSVR 涡中心附近的水汽输送和辐合明显

较小,随着时间的增加水汽辐合量变化不大。通过850 hPa水汽通量及其散度(图略)分析可知,两类系统水汽集聚主要集中在涡区南侧、东侧,SVR的水汽输

送量和辐合强度远远大于 NSVR,这进一步说明 SVR 降水能达暴雨级别且主要集中在涡东南侧。

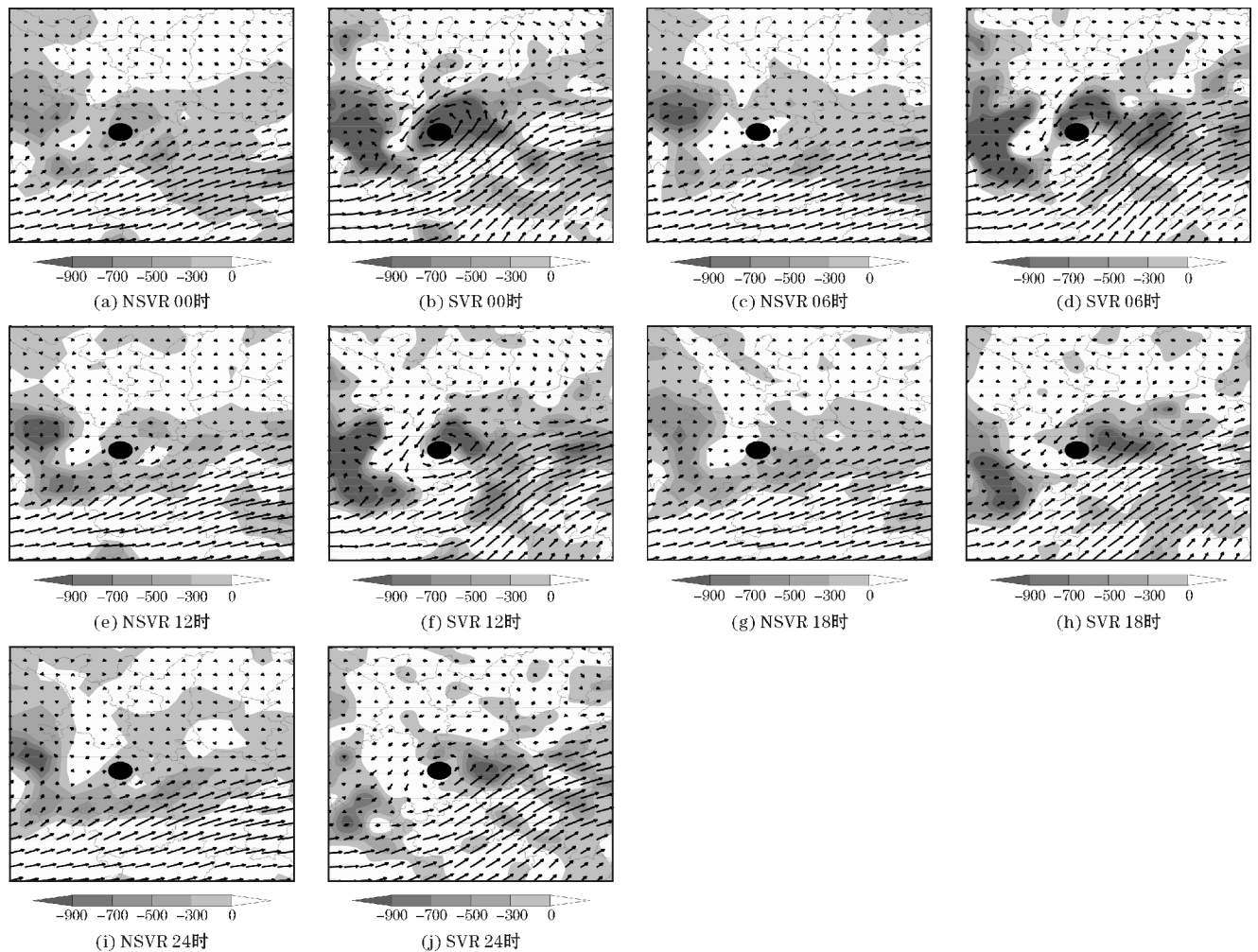


图2 700 hPa 的 NSVR 和 SVR 水汽通量(箭头,单位: g/hPa/cm/s)和水汽通量散度(阴影,单位: $10^{-10} \text{ g/hPa/cm}^2/\text{s}$)

2.3 垂直运动和能量条件分析

图3为两类系统沿纬度的垂直速度和假相当位温垂直剖面动态合成场(图中横轴从左向右表示经度自西向东,横轴中心位置表示合成涡中心)。在00时,SVR中心附近及东侧850~300 hPa为宽约5个经距的上升运动强烈区,该上升区随着时间的增加东移至涡区东侧,强度减弱并分裂为多个强上升运动区,为涡区东侧降水提供有利的动力条件;涡合成中心和西侧低层的不稳定与东侧的中性层结随着时间增加稍有减小。NSVR只有涡区西侧为近中性层结,随着时间的增加,中性层结变化不大;涡区西侧600 hPa附近为上升运动强烈中心,随着时间增加,该强烈上升运动区逐渐减弱;距涡中心约2个经距的东侧低层为下沉运动,随着时间增加,下沉运动扩展到300 hPa左右,距该下沉区2个经距的东侧有一上升大值中心,强度只在18

时稍有减弱。

从两类系统沿经度的假相当位温和垂直速度剖面动态合成场(图略)可以看到,0时刻SVR涡中心附近为深厚强烈上升运动区,在06时,该区分裂成位于涡区北侧和南侧两个上升区,随着时间的增加,北侧逐渐减小,而南侧上升大值区始终存在,结合前面分析的水汽通量及散度特征,说明南侧也是降水主要贡献区域;涡中心及南侧中、低层为不稳定或中性层结,随着时间的增加,不稳定稍有减弱。00时,距NSVR涡合成中心约2个纬距的南侧低层和北侧中层以下为强烈上升运动区,涡中心上升运动相对较弱,随着时间的增加,南侧厚度增加,北侧厚度减小,两侧上升中心距离加大,涡中心强度先减小后增加再减小;NSVR中心及附近几乎始终为稳定层结。总的来看,两类系统中心附近的不稳定和垂直运动差异较大,主要体现在垂直速度值的大小和范围及不稳定和中性层结区域。

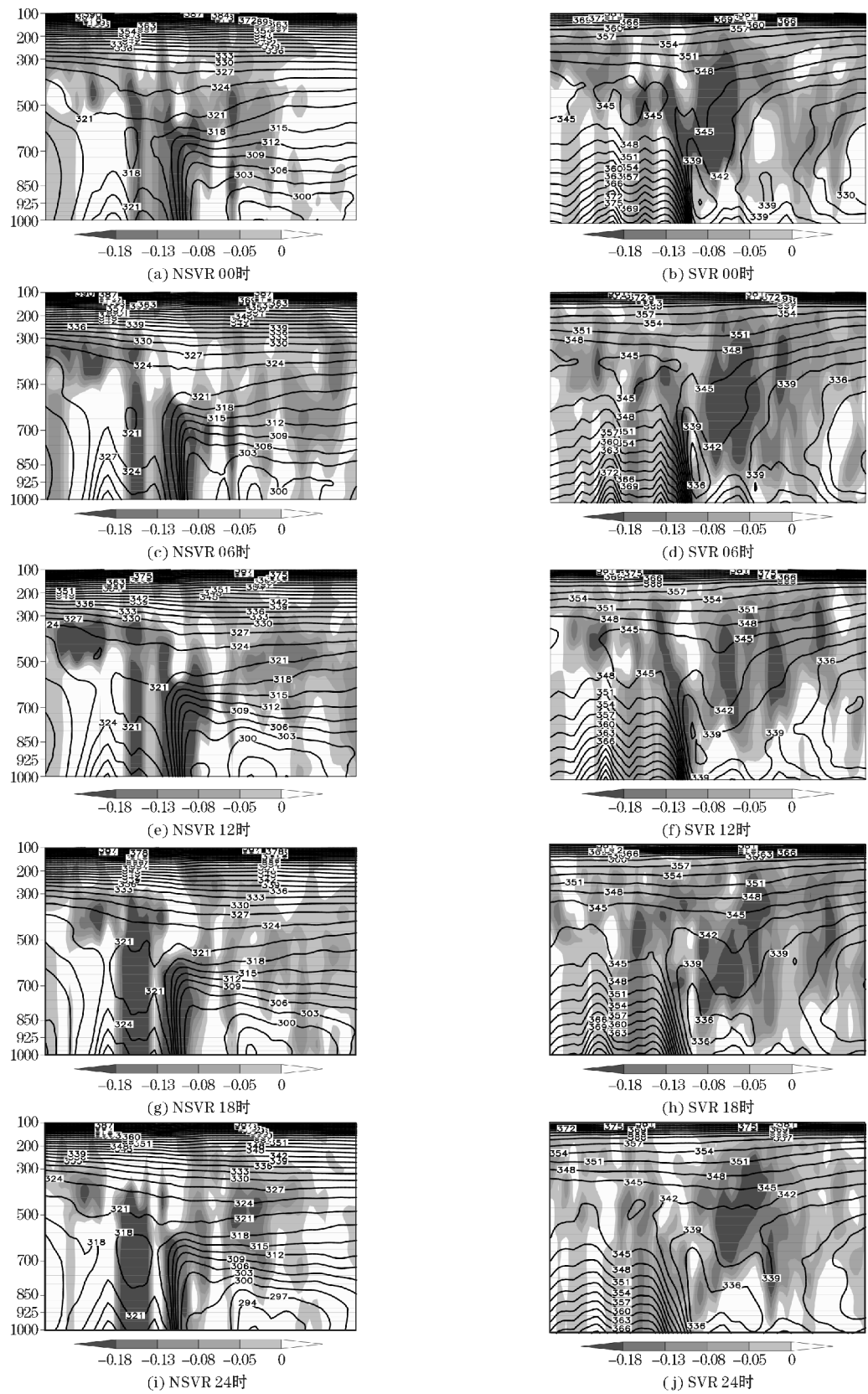


图3 NSVR和SVR沿中心纬度的垂直速度(阴影,单位:Pa/s)和假相当位温(实线,单位:K)的垂直剖面

2.4 散度和涡度分析

从SVR和NSVR的850 hPa散度和涡度动态合成分析可知(图4,实心圆表示西南涡合成中心,纵轴从

下到上表示纬向从南向北,横轴从左向右表示经向自西向东),00时,SVR中心附近辐合强度比NSVR大,随着时间增加,NSVR强辐合中心向南移,SVR向东南移,两类系统辐合强度皆减弱,只在12时有短暂

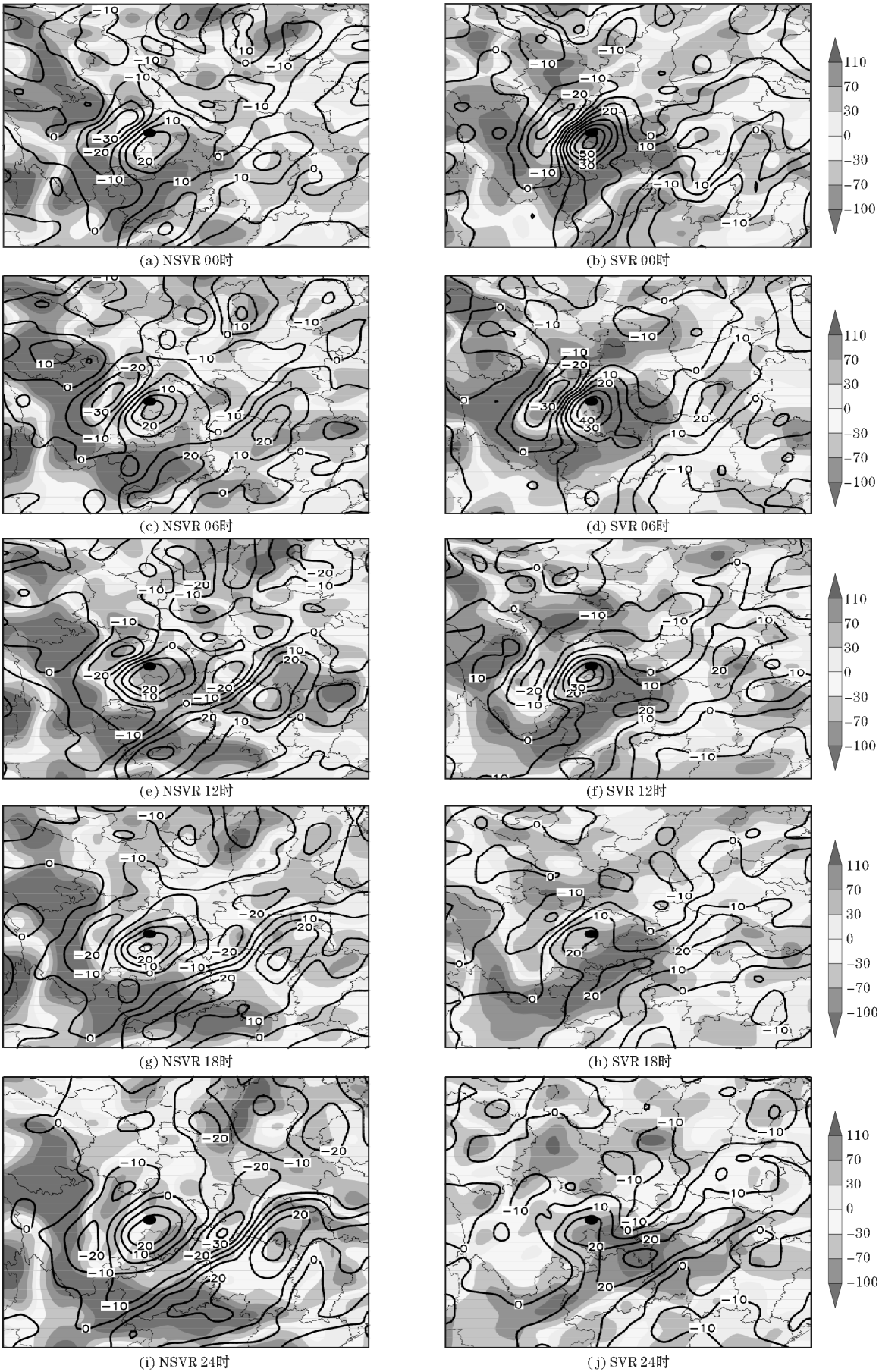


图 4 NSVR 和 SVR 的涡度(实线,单位: 10^{-6} s^{-1})和散度(阴影,单位: 10^{-7} s^{-1})

加强;SVR 涡中心附近正涡度比 NSVR 大,随着时间的增加,两类系统正涡度皆降至 $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 左右。在 700 hPa(图略),00 时两类系统涡中心北、东侧为强辐合区,随着时间增加,合成涡中心及西侧开始出现辐散;两类系统合成中心附近为东北-西南向分布的正涡度,00 时 SVR 正涡度大值中心比 NSVR 大约 $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,随着时间增加,NSVR 正涡度中心变化较小,而 SVR 正涡度大值中心递减,到 24 时 NSVR 比 SVR 大约 $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。500 hPa(图略)两类系统合成中心附近为多个辐散中心,随着时间增加,辐散强度皆减小,SVR 合成中心附近为东北-西南向正涡度分布,强度随时间增加而减小;NSVR 涡中心及距南侧 300 km 的纬向为一条上游较窄下游较宽的具有多个大值中心的近东西向正涡度带,随着时间的增加,涡中心正涡度增加,而上游涡度有减小趋势,结合前面风场分析可知,这可能是上游向四川盆地输送正涡度以维持无暴雨产生的盆地涡的发展。NSVR 的 300 hPa(图略)涡度分布变化特征同 500 hPa,200 hPa(图略)合成中心始终稳定位于涡度正负过渡区,北侧为正涡度,南侧为负涡度,两层次涡中心附近散度随时间的变化没有明显规律;200 和 300 hPa 的 SVR 中心附近始终处于强度相对稳定的负涡度和辐散区。

通过前面分析可知,SVR 的涡区范围、各物理量强度皆比 NSVR 大。对于 SVR,水汽交汇强度范围更广,随着时间增加,冷暖空气交汇从涡中心附近逐渐向偏东方向移动,深厚的垂直上升运动区也往东往南偏移,同样地,水汽辐合大值区也从涡中心往东方向偏移,在此过程中,西南侧的不稳定或近中性层结自西南方向往东扩散,与此同时,低层正涡度、辐合中心叠置的高层负涡度、辐散大值区也逐渐往 SVR 涡区东部区域偏移,这些物理量从涡区分布及变化的一致配合,使西南涡暴雨产生。总的来说,SVR 各物理量强度逐渐减小,只是在 12 时稍有增加,但之后逐渐减小。NSVR 各物理量强度、范围皆远小于 SVR,且随着时间在涡区的分布并没有 SVR 那样明显规律的变化,这可能是 NSVR 不能产生暴雨的原因,其各物理量强度也在 12 时的时候稍有增加,但是涡度值随后逐渐增加,这可能是由于四川盆地上游正涡度向低层输送导致。

3 结论

通过有无暴雨产生的两类西南涡不同发展阶段环境物理量场进行诊断对比分析,得到以下主要结论:

两类系统不同发展阶段物理量场区别明显;SVR 来自孟加拉湾和南海地区的水汽输送更北,形成中心附近东、南侧为水汽汇聚、辐合和上升运动大值中心,这为该区域集中降水提供了有利的水汽、动力等条件;低层正涡度,高层负涡度的叠置为涡发生发展提供了动力条件;形成中心及涡区西、南侧低层为不稳定或中性层结,北侧为冷空气旋转进入涡后部,为降水的发生积累并释放能量。但是,随着涡的发展,涡的前、后部冷暖空气强度减弱,水汽辐合和上升运动中心值皆减小且逐渐偏离涡中心至东侧,涡度和散度叠置的一致性也逐渐减弱。NSVR 的 850 hPa 水汽主要源自南海,700 hPa 来自孟加拉湾,低层形成中心附近水汽输送及水汽辐合较小,涡附近周围为稳定存在的较小范围强烈上升运动区,但在距涡中心 2 个经距的东侧为随时间增加而加强的下沉运动;涡中心附近只在西侧存在浅薄近中性层结;中心附近高、低层涡度和散度没有像 SVR 那样一致性叠置,但在涡上游有向盆地输送的正涡度,这可能是维持 NSVR 的机制。

基于一定数量的两类西南涡形成后 24 h 内环流场、水汽、动力等条件进行物理量诊断分析,得到的结论可能为认识、研究西南涡暴雨提供一定参考,但对于西南涡 24 h 后的发展、结束等情况如何并没有去考虑,对 24 h 内发生发展的两类西南涡维持机制有待下一步研究;只是从比较简单的物理量入手分析两类西南涡形成前后情况,但没有对一些复杂的环境物理量(如位涡、湿位涡、 Q 矢量等)进行诊断分析;下垫面和、边界层的受热、摩擦等因素可能也是影响两类系统的因子,这些因子之间主次,通过什么样的机制影响等问题有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Wang B. The development mechanism for Tibetan Plateau warm vortices[J]. J Atmos Sci, 1987, 44: 2978-2994.
- [2] Wu G X, Chen S J. The effect of mechanical forcing on the formation of a mesoscale vortex[J]. Quart J Roy Meteor Soc, 1985, 111: 1049-1070.
- [3] 杨伟愚, 杨大升. 正压大气中青藏高原地形影响的数值试验[J]. 高原气象, 1987, 6(2): 117-129.
- [4] 朱禾, 邓北胜, 吴洪. 湿位涡守恒条件下西南涡的发展[J]. 气象学报, 2002, 60(3): 343-351.

- [5] 陈鹏,徐海明,林永辉. 涡度收支与潜热释放对西南低涡形成的作用[J]. 大气科学学报,2014,37(5):575-584.
- [6] 高守亭. 流场配置及地形对西南低涡形成的动力作用[J]. 大气科学[J]. 1987,11(3):263-271.
- [7] 李跃清,郁淑华,彭骏,等. 西南低涡年鉴[M]. 北京:科学出版社,2013:1-325.
- [8] 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.
- [9] 刘晓冉,李国平. 一次东移型西南低涡的数值模拟及位涡诊断[J]. 高原气象,2014,33(5):1204-1216.
- [10] 屠妮妮,何光碧,陈静. 冷暖空气入侵对西南低涡发生发展影响研究[J]. 高原山地气象研究,2012,32(2):10-19.
- [11] 吴国雄,刘还珠. 全型垂直倾向方程和倾斜涡度发展[J]. 气象学报,1999,57(1):1-15.
- [12] 李超,李跃清,蒋兴文. 四川盆地低涡的月际变化及其日降水分布统计特征[J]. 大气科学,2015,39(6):1191-1203.
- [13] 康岚,郝丽萍,牛俊丽. 引发暴雨的西南低涡特征分析[J]. 高原气象,2011,30(6):1435-1443.
- [14] 王晓芳,廖移山,闵爱荣,等. 影响“05.06.25”长江流域暴雨的西南低涡特征[J]. 高原气象,2007,26(1):197-205.
- [15] 池再香,杜正静,赵群剑,等. 中尺度西南涡、切变线对“07.7”贵州西部暴雨影响的分析与模拟[J]. 高原气象,2010,29(4):929-938.
- [16] 卢萍,屠妮妮,徐捷. 两次西南涡降水的诊断分析[J]. 高原山地气象研究,2010,30(2):1-5.
- [17] 王智,高坤,翟国庆. 一次与西南低涡相联系的低空急流的数值研究[J]. 大气科学,2003,27(1):75-85.
- [18] 罗喜平,宋雯雯. 两涡相互作用下四川盆地暴雨过程的综合分析[J]. 云南大学学报(自然科学版),2011,33(5):554-562.
- [19] 陈涛,张芳华,端义宏. 广西“6.12”特大暴雨中西南涡与中尺度对流系统发展的相互关系研究[J]. 气象学报,2011,69(3):472-485.
- [20] 孙婕,李国平. 西南低涡东移引发重庆暴雨的综合诊断[J]. 高原山地气象研究,2013,33(2):10-17.
- [21] 屠妮妮,李跃清. 一次引发川东暴雨的西南涡特征分析[J]. 干旱气象,2014,32(6):962-971.
- [22] 张虹,李国平,王曙东. 西南涡区域暴雨的中尺度滤波分析[J]. 高原气象,2014,33(2):361-371.
- [23] 杨本湘,卓伟,张晓杰,等. 西南涡对西昌发射场降雨天气影响的分析与预报[J]. 高原山地气象研究,2011,31(3):30-34.
- [24] Fu S M, Zhang J P, Sun J H, et al. A Fourteen-Year Climatology of the Southwest Vortex in Summer. Atmos[J]. Oceanic Sci Lett,2014,7(6):510-514.
- [25] 赵大军,汪玉华,李莹. 一次西南低涡暴雨过程的诊断分析与数值模拟[J]. 高原气象,2011,30(5):1158-1169.
- [26] 丁治英,吕君宁. 西南低涡动态的合成诊断[J]. 高原气象,1991,10(2):156-165.
- [27] Zhong R,Zhong L H,Hua L J,et al. A climatology of the southwest vortex during 1979-2008. Atmos[J]. Oceanic Sci Lett,2014,7(6):577-583.
- [28] 潘旸,李建,宇如聪. 东移西南低涡空间结构的气候学特征[J]. 气候与环境研究,2011,16(1):60-70.
- [29] 黄福均. 西南低涡的合成分析[J]. 大气科学,1986,10(4):402-408.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] 张秀年,段旭. 低纬高原西南涡暴雨分析[J]. 高原气象,2005,24(6):941-947.
- [33] Gray W M. Recent advances in tropical cyclone research from rawinsonde composite analysis[J]. WMO Programme on Research in Tropical Meteorology. Colorado:Fort Collins,1979,407.

Diagnostic Analysis of the Physical Field for Two Types of Southwest Vortexes in Sichuan-Chongqing Region

ZENG Bo, HE Guang-bi, YU Lian

(Chengdu Institute of Plateau Meteorological, China Meteorology Administration, Heavy Rain and Drought-Flood Disasters in Plateau and Basin Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610072, China)

Abstract: In order to get the characteristic of physical quantities of the southwest vortexes with rainstorm in different stages, 25 southwest vortexes with rainstorm happened in the area (27°N – 33°N , 105°E – 110°E) are selected by using the ground automatic station routine data, sounding data and NCEP reanalysis data from 2009 to 2012. Then, by using the method of composite analysis diagnosis on the physical quantities in different stages of the two types of southwest vortexes development are discussed, and significant difference are found between the physical quantities of the two types of southwest vortexes. For the southwest vortexes with rainstorm relative to the one with rainstorm, the water vapor transportation from Bay of Bengal and the South China Sea is stronger and moves further north. The strong convergence of moisture and strongly ascending motion are found in the east and south of the southwest vortexes all the time. Instability or neutral stratification is in the west south of the center of the southwest vortexes with rainstorm strong cold air intruding into its northwest edge and around the southwest vortexes with rainstorm is the positive vorticity and convergence in low level corresponding with the negative vorticity and divergence in upper level. With the development of the vortex the flow in the front and back of the southwest vortexes with rainstorm weakened and the vapor convergence and the center value of upward movement decreased and gradually deviated from the vortex center to the east the consistency of superimposition of the vorticity and divergence also weakened. In the case of southwest vortexes with non-rainstorm the atmosphere is shallow neutral stratification in the west although the ascending motion exists stably over time but descending motion appears in the east of southwest vortexes the water vapor transportation and convergence in the center are weaker the configuration of vorticity and divergence are not the same as vortexes with rainstorm which may adverse to rainfall and the development of vortexes.

Keywords: meteorology; rainstorm weather; Sichuan-Chongqing region; southwest vortex; diagnostic analysis