

杨利群,杨静,廖移山,等.贵州南部两次局地大暴雨过程对比分析[J].暴雨灾害,2010,29(3):208-215

贵州南部两次局地大暴雨过程对比分析

杨利群^{1,2},杨静³,廖移山¹,彭芳³

(1.中国气象局武汉暴雨研究所,武汉 430074;2.贵州省气象局,贵阳 550002;3.贵州省气象台,贵阳 550002)

摘要:利用自动站观测资料、探空资料及 NCEP 再分析资料,对 2006 年 6 月 12 日夜间和 2008 年 5 月 27 日夜间贵州南部局地大暴雨天气过程进行对比分析。结果表明,两次过程均发生在西高东低、东北低涡稳定维持的有利环流形势下,700 hPa 巴塘低涡东移是造成贵州西南部强降水的主要影响系统,巴塘低涡和低空西南急流在贵州东南部维持对贵州西南部暴雨起重要作用,同时不稳定能量在贵州南部积聚为暴雨发生提供了有利条件,但相对于后一过程,前一过程在贵州水汽辐合区更大,其大雨量级以上降水范围更广;地面中尺度辐合线生成发展是两次局地大暴雨发生发展的可能触发原因,暴雨中心位于辐合线南侧暖区中;前一过程西太平洋副热带高压较强且位置偏西(西脊点到达 110°E),南支槽东移有利于引导 700 hPa 低涡移动,弱冷空气与暖湿空气交汇形成能量锋生,引起低涡强烈发展、涡旋环流增强,而后一过程副高偏弱且位置偏南、偏东,500 hPa 上无高原槽影响,以及地面贵州南部为低压控制且无冷空气影响,是前一过程比后一过程降水强度更大的原因。

关键词:局地暴雨;低涡;能量锋;对比分析

中图分类号:P458.1+21.1 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2010)03-0208-08

1 引言

贵州位于云贵高原东(斜)坡,地处山区,地形复杂,天气气候多变,局地暴雨、大暴雨频发,尤其夏季暴雨是当地的主要气象灾害之一,也一直是气象工作者关注的对象。对于贵州暴雨的天气成因与气候特征,以往已有较多研究。张润琼等^[1]对贵州 2002 年 6 月一次暴雨天气过程进行数值模拟后指出,暴雨中心位于最大垂直速度中心附近,南北两支闭合经向垂直环流对暴雨区低空入流和高空出流具有非常重要的作用。吴哲红等^[2]利用 MM5V3.6 模式模拟了贵州 2004 年 5 月的一次暴雨过程,并用模拟结果对强降水流场以及不稳定机制等进行诊断分析,认为降水是由多种尺度系统相互作用,高、低层环流配置以及高空急流位置变化等共同作用产生的。伍红雨^[3]对 2005 年 5 月 31 日至 6 月 1 日贵州省一次大暴雨天气过程进行数值模拟表明,西南涡是造成大暴雨的主要影响系统。张艳梅等^[4]利用贵州 52 个测站 1961—2006 年历年夏季(6—8 月)逐日降水资料分析了贵州夏季暴雨的时空分布特征,认为贵州夏季暴雨呈增加趋势,并存在明显的年际、年代际变化特征。池再香等^[5]对黔东南州 1996—2005 年夏季局地暴雨的主要影响系统、各种物理量场特征、地形等的综合分析表明,有 9 次局地暴雨与西

太平洋副热带高压位置变化密切相关。然而,贵州地区对自然灾害的抗御能力较为脆弱,一旦发生暴雨,极易形成洪涝灾害和其他次生灾害,且该地区暴雨多数生命史短、强度大、突发性强,所造成的危害特别大。因此,对贵州局地暴雨的研究仍有待于继续和深入。

2006 年 6 月 12 日夜间贵州南部突发局地大暴雨,强降水给望谟县造成严重人员伤亡。对这一广受社会关注的暴雨过程,万雪丽等^[6]的研究认为,局地短时强降水由一直径约 200 km 的 β 中尺度对流云团造成;李登文等^[7]的研究表明,强降水受河套冷空气快速南下影响而使贵州中部中尺度辐合线上锋生,诱发中尺度对流云团发生和强烈发展,强降水区与低层辐合带密切相关;乔林等^[8]使用 WRF 模式模拟了此次典型突发性强对流暴雨过程,认为对流层低层的中尺度辐合线造成了初始的上升运动, β 中尺度对流系统首先在地面锋线前不稳定的暖区中生长,辐合线南侧的偏南气流对水汽和热量的输送是对流能持续生长的最重要因素。无独有偶,2008 年 5 月 27 日夜间贵州南部再遭强降水,暴雨中心同样位于望谟县,且量级再次达到大暴雨。为了深入探讨贵州局地特大暴雨天气的内部结构及其形成的可能机理,本文使用自动站观测资料、探空资料及 NCEP 再分析资料,对发生在贵州同一区域的两次局地大暴雨天气过程进行对比研究,试

收稿日期:2010-03-18;定稿日期:2010-06-28

资助项目:国家自然科学基金(40965004)、中国气象局武汉暴雨研究所开放基金项目(IHR2006K03)

作者简介:杨利群,女,1966 年生,高级工程师,主要从事气候研究和预报管理。E-mail: liqunyang66@sina.com

图对今后此类暴雨的预报提供有价值的思路。

2 过程降水实况与灾情

2006 年 6 月 12 日夜间至 13 日凌晨, 贵州南部突遭大暴雨袭击(以下简称“06.6”暴雨过程), 强降水区呈西南—东北向, 其中心位于贵州南部边缘望谟县和罗甸县, 两站 6 月 12 日 08 时(北京时, 下同)至 13 日 08 时 24 h 降水量分别达 196 mm、211 mm。短时强降水诱发望谟县山洪、滑坡、泥石流等次生灾害, 导致数 30 人死亡。2008 年 5 月 27 日夜间大暴雨袭击贵州南部, 局地出现大暴雨(以下简称“08.5”暴雨过程), 造成严重灾害。强降水区位于贵州南部的黔西南自治州、安顺

市和黔南自治州南部。暴雨中心在黔西南自治州望谟县和贞丰县, 两站 5 月 27 日 08 时至 28 日 08 时 24 h 降雨量分别为 147 mm、127 mm。暴雨造成望谟县多个乡镇洪涝、滑坡、泥石流、塌方等次生灾害。

从上述这两次过程 24 h 累计雨量分布图上可见(图 1), “06.6”暴雨过程贵州全省除其西北部为小雨外, 其余一般为中到大雨, 大雨区位于贵州北部和南部, 暴雨区主要在贵州南部; “08.5”暴雨过程, 贵州中西部以小雨为主, 其东北部边缘和南部为大雨, 暴雨区位于贵州南部。两次过程强降水雨带较为相似, 主要位于贵州南部的黔西南州、安顺市南部和黔南州南部, 大暴雨中心相同, 均在望谟县(106.08°E、25.18°N)。

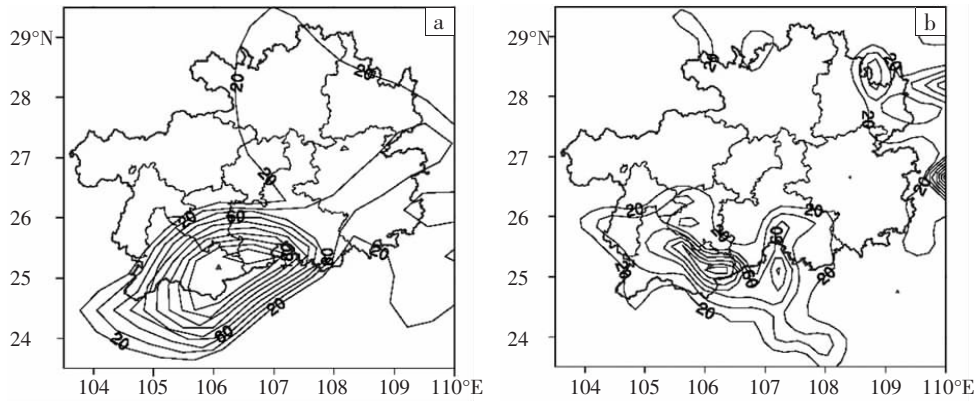


图 1 2006 年 6 月 12 日 08 时至 13 日 08 时(a)、2008 年 5 月 27 日 08 时至 28 日 08 时(b) 贵州降水量分布图(单位: mm, 等值线间隔 20 mm, ▲所示为暴雨中心)

望谟站是上述两次过程共同的降水中心。分析该站逐时雨量变化可知(图 2), “06.6”暴雨过程的强降水时段集中在 6 月 12 日 23 时至 13 日 02 时, 这 4 h 累积降水量为 188 mm, 其中 13 日 00 时 1 h 雨量最大达

72.1 mm(图 2a)。“08.5”暴雨过程望谟站强降水时段集中在 5 月 27 日 22 时至 28 日 01 时, 这 4 h 的累积降水量为 131 mm, 其中 28 日 01 时 1 h 雨量最大达到 50 mm(图 2b)。

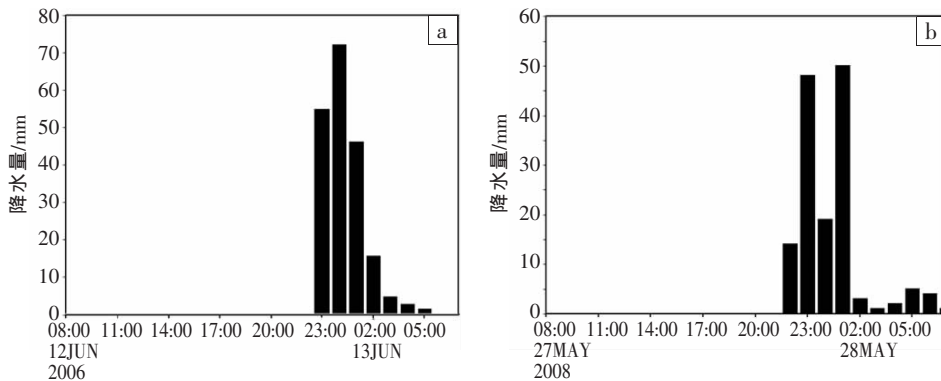


图 2 2006 年 6 月 12 日 08 时至 13 日 08 时(a)、2008 年 5 月 27 日 08 时至 28 日 08 时(b)望谟站逐时降水量变化图(单位: mm)

综上所述可知, “06.6”暴雨过程和“08.5”暴雨过程的相同点是, 强降水带较为相似, 50 mm 以上暴雨区主要位于贵州南部, 100 mm 以上大暴雨区集中在贵州南部 25°—26°N、105.5°—107°E 之间狭小区域内, 雨量空间分布不均, 降水局地性强; 强降水中心都在望谟县, 且达到大暴雨量级; 强降水初始时间也较

接近, 均在夜间 22 时后, 降水时间短、强度大, 逐时雨量差异明显, 降水雨团 4~5 h 内基本未移动, 4 h 累积降水量占 24 h 降水量的 90% 以上。其不同点是, “06.6”过程全省中到大雨范围较“08.5”过程大; “06.6”过程暴雨中心望谟、罗甸 24 h 降水量分别达 196 mm 和 211 mm, 而“08.5”过程暴雨中心望谟、贞丰 24 h 降水

量分别为 147 mm 和 127 mm,“06.6”过程累计降水量和暴雨强度均明显比“08.5”过程大。

3 环流形势、影响系统比较分析

3.1 “06.6”暴雨过程

6月12日08时,500 hPa图上(图略),贝加尔湖至蒙古国有一低涡,巴尔喀什湖地区为高压脊区;20时,高空冷涡发展加强,位置少动,副热带高压呈东北—西南向块状分布,西脊点位于 110°E ,其北界位于

20°N 附近,高原浅槽东移到贵州西部,此时贵州处于副热带高压与高原低槽之间的辐合区中;13日02时,副高东退到 130°E 。

700 hPa图上,12日08时,贵州为西南气流控制;20时(图3a),川东有一稳定低涡,此时巴塘附近也有一低涡,云南东部存在南北向切变线,该切变线东移是贵州南部强降水的直接影响系统,同时从北部湾经两广到贵州东部为较强的西南气流带,其中心风速达 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,贵州东部为强西南气流控制。

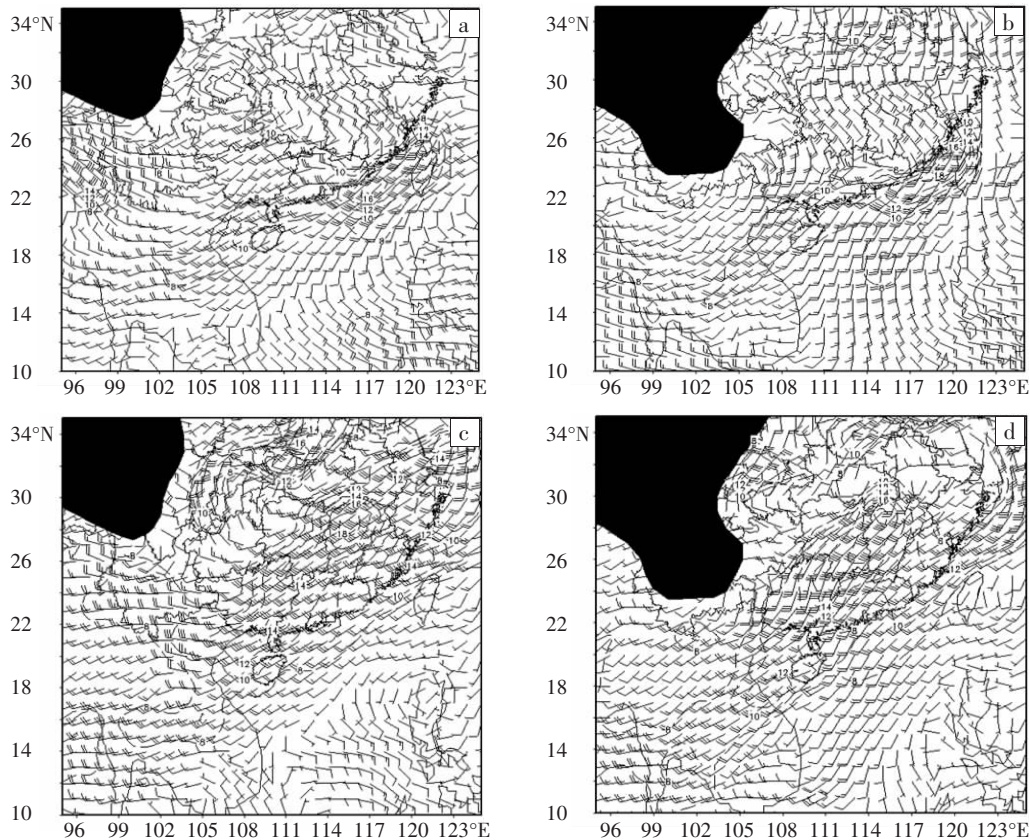


图3 2006年6月12日20时与2008年5月27日20时的700 hPa风场和急流区(a,c)与850 hPa风场和急流区(b,d)
a,c中,阴影区地形高度大于3 000 m;b,d中,阴影区地形高度大于1 500 m;等值线为全风速, $\geq 8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

850 hPa,12日08时,川东南至贵州西北部有低涡生成;20时(图3b),低涡南压到达贵州中部,暴雨区位于低涡南侧,同时低涡切变线南侧偏南气流逐渐加强,形成急流,偏南气流与低涡切变线北侧偏东气流之间风速存在较大差异,这种风向和风速切变有利于辐合加强。

地面图上(图略),河套附近有弱冷空气从西北路径渗透南下,但冷空气势力很弱,主体偏北,随着850 hPa低涡南压,贵州西南部地面辐合线锋生,从而激发中尺度对流系统生成并造成贵州南部暴雨。

3.2 “08.5”暴雨过程

从2008年5月27日08时至28日08时每6小时500 hPa位势高度场和温度场上可见,中高纬地区

巴尔喀什湖为高压脊区,贝加尔湖地区为低槽区,我国东北地区有一冷涡。东北冷涡较稳定,低压槽南伸到江淮流域,副热带高压位于 10°N 以南,副高偏弱,位置偏东偏南。27日08时,有一东北—西南向高原槽位于湖北、贵州到云南一带,20时高原槽东移到贵州东部,贵州西部受槽后西北气流影响(图略)。

700 hPa,27日08时,长江中下游到贵州有东北—西南向切变生成,20时切变维持(图3c),此时巴塘附近出现低涡,云南东部有切变线生成;28日02时,巴塘低涡东移,低涡切变线移至贵州西南部(图略);28日08时,贵州西南部到广西北部为低涡控制。暴雨发生前6 h(27日14时), 108°E — 120°E 之间为宽广西南气流,急流轴位于广西、湘南到江西,急流中心西南风

速达 $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 强降水开始时(27 日 20 时), 西南急流仍相当强盛, 到 28 日 02 时, 切变系统东移, 急流区强盛并维持在广西东部到湖南一带。强盛西南急流使切变线东移缓慢, 有利暴雨维持。

850 hPa, 27 日 08 时, 贵州西北部有切变线生成, 20 时切变线东移南压, 呈东北—西南向, 这条切变线上的贵州南部有一低涡, 另外从北部湾到两广维持西南急流带, 急流核风速达 $18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (图 3d)。

地面上(图略), 贵州到长江流域为低压系统控制, 无冷空气南下。

3.3 两次过程环流背景的异同

对比分析发现, 两次过程环流背景都为西高东低形势, 贝加尔湖东侧到我国东北有低涡稳定维持, 700 hPa 巴塘附近有低涡出现并带动云南东部切变线东移进入贵州西部, 由于贵州西部地形在 $1\ 200\sim 2\ 000 \text{ m}$, 700 hPa 切变线系统对贵州西部降水产生直接影响; 另外, 850 hPa 贵州南部也有低涡出现, 中低层低涡直接诱发中尺度对流系统, 这在卫星云图上表现非常清楚(图略); 从北部湾经广西到贵州东南部都建立起一支西南急流, 一方面使暴雨区上空水汽输送充足, 另一方面中尺度对流系统在贵州南部可维持较长时间。

其不同点是, 500 hPa 上, “06.6”过程副高西脊点

伸到 110°E , 副高位置较有利于强降水, 在高原上有浅槽东移进入贵州西部; “08.5”过程副高偏弱, 位置偏南、偏东, 对于水汽输送不利, 且高原槽已东移至贵州东部, 配合 700 hPa 江淮到贵州东部的东北—西南向切变线, 造成贵州中东部降水, 而贵州西南部大暴雨则为 700 hPa 巴塘涡所致, 500 hPa 上无高原槽影响, 暴雨发生前(5 月 27 日 20 时)贵州西部已受高原槽后西北气流控制。另外, “06.6”过程在河套附近有弱冷空气南侵, 其主体偏东, 弱冷空气从高原上渗透下来引起地面能量锋锋生; “08.5”过程地面为低压控制, 无冷空气影响。因此, 这两次过程造成的降水强度不同, “08.5”过程中到大雨区仅位于贵州南部, 而“06.6”过程贵州大部降了中到大雨, 降水中心罗甸站降水超过 200 mm, 望谟站降水接近 200 mm, 降水量明显强于“08.5”过程。可见, 高原槽有无、副高位置不同以及地面有无冷空气影响是导致两次低涡暴雨强度差异的直接原因。

4 大暴雨物理量特征比较

4.1 动力条件

“06.6”暴雨过程 850 hPa 散度场上, 6 月 12 日 08 时, 贵州上空为辐合区; 20 时辐合中心位于贵州西南

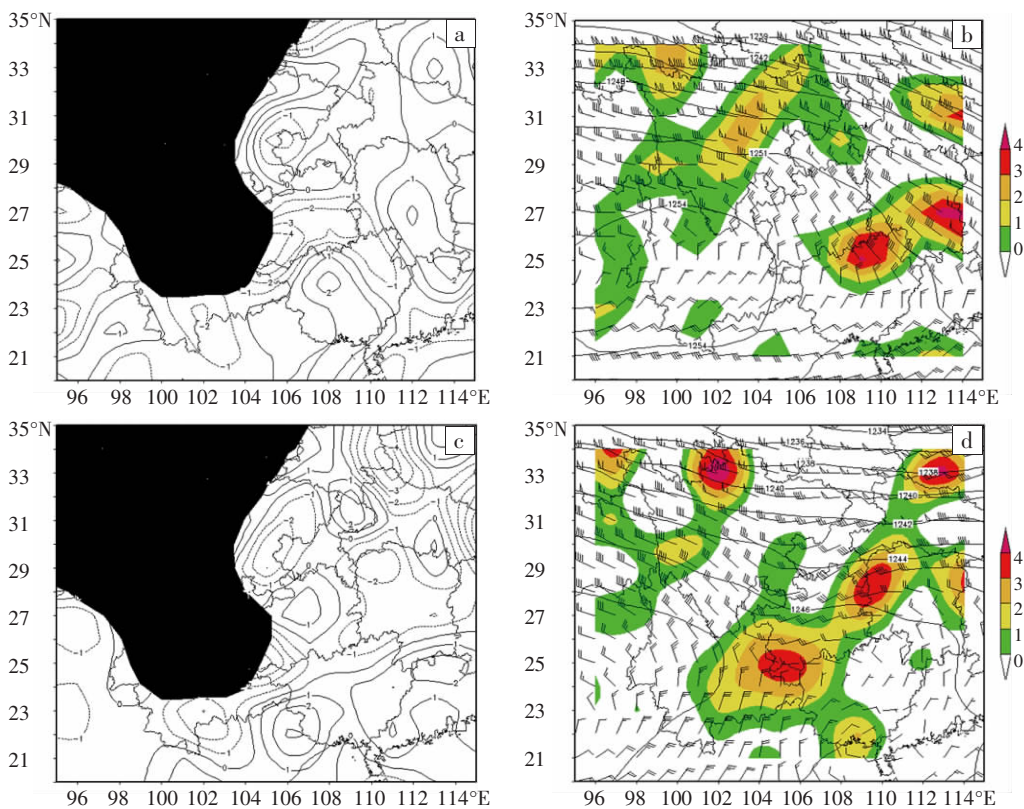


图 4 2006 年 6 月 12 日 20 时、2008 年 5 月 27 日 20 时 850 hPa 散度场(a、c)

以及 200 hPa 风场与散度场叠加图(b、d)

a、c 中, 阴影区地形高度大于 $1\ 500 \text{ m}$; b、d 中阴影区为散度, 单位: 10^{-5} s^{-1}

部,暴雨中心位于该区域内(图 4a)。200 hPa 风场与散度场上,12 日 08 时,川西、云南、贵州受南亚高压控制,高压脊线在 25°N ,贵州处在南亚高压前部的西北气流控制下;20 时贵州南部出现较强辐散区,暴雨中心位于南亚高压脊线附近(图 4b)。

“08.5”暴雨过程 850 hPa 散度场上,5 月 27 日 20 时,中低层辐合区位于贵州西南部(图 4c)。同时,200 hPa 风场与散度场上,川东至贵州西北部为高空槽控制,云南、孟加拉湾为南亚高压控制,脊线在 24°N 附近,贵州西南部位于南亚高压前侧,因此为辐散区,暴雨中心处于该辐散中心边缘(图 3d)。

以上分析表明,两次过程强降水都发生在高空辐散、低空辐合的贵州西南部,暴雨中心附近 850 hPa 散度值较接近,在 $(-2\sim-3)\times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 之间,低层辐合非常强。其不同的是,200 hPa 层“06.6”过程暴雨区为南亚高压控制,暴雨区位于反气旋性环流脊线附近,这与候青等^[9]总结的我国夏季主要雨带对流层上层一种主要环流形势相符, 35°N 以北有高空西风急流,急流南侧的反气旋有利于维持低层辐合的补偿机制;而“08.5”过程南亚高压偏南,贵州南部处在高压环流前部,而贵州西部为南北向高空槽控制。

4.2 水汽条件

暴雨的形成,必须有源源不断的水汽供应,并使暴雨区中低层达到饱和,这已成为共识。分析“06.6”暴

雨过程不同时刻 850 hPa 比湿场变化可知(图略),6 月 12 日 08 时,贵州到重庆地区为湿舌控制,贵州西南部比湿为 $14\sim 15 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$;14 时,高湿舌维持,且贵州西南部比湿升至 $16 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$;到了 20 时,贵州西南部暴雨区比湿继续上升到 $17 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。另外,分析“08.5”暴雨过程不同时刻 850 hPa 比湿场也发现,5 月 27 日 08 时,贵州全省比湿为 $15 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$;当日 14 时,贵州东南部比湿增加到 $16 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$;到了 20 时,贵州西南部比湿仍维持在 $16 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

分析“06.6”暴雨过程不同时刻 850 hPa 水汽通量和水汽通量散度场叠加图发现,6 月 12 日 08 时(图略),贵州全省水汽通量散度为负值,全省处于水汽通量辐合区;14 时(图略),贵州西南部水汽辐合强度达到 $-6\times 10^{-7} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$;到 20 时(图 5a),贵州西南部维持 $-7\times 10^{-7} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 水汽辐合中心。另外,分析“08.5”暴雨过程不同时刻 850 hPa 水汽通量和水汽通量散度场叠加图发现,5 月 27 日 08 时(图略),贵州处于水汽辐合区,辐合中心强度为 $-4\times 10^{-7} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$;14 时(图略),水汽辐合中心强度减弱为 $-3\times 10^{-7} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$;到 20 时(图 5b),水汽辐合中心南压到贵州西南部,其中心强度增至 $-7\times 10^{-7} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,而贵州中东部为水汽辐散区。对比发现,两次过程中,贵州西南部水汽辐合都非常强,辐合中心强度也较接近,且辐合中心与暴雨中心基本吻合。

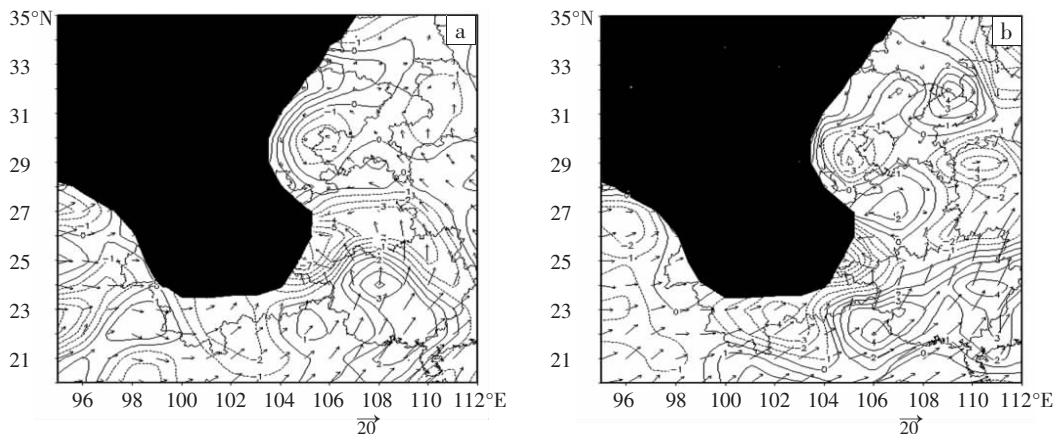


图 5 2006 年 6 月 12 日 20 时(a)、2008 年 5 月 27 日 20 时(b) 850 hPa 水汽通量和水汽通量散度场叠加图

单位:水汽通量 $\text{g}\cdot(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})^{-1}$,水汽通量散度 $10^{-7} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$;等值线表示水汽通量散度,

箭矢表示水汽通量,阴影区地形高度大于 1 500 m

综上所述可知,“06.6”暴雨过程和“08.5”暴雨过程在水汽条件上的共同特点:一是 850 hPa 贵州南部水汽充足,比湿均在 $16 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上;二是 700—850 hPa 在北部湾、两广到贵州东部维持较强偏南气流,暴雨发生前,850 hPa 暖湿气流将水汽主要从孟加拉湾经中南半岛折向北输送,并通过北部湾到广西再折向北进入贵州;三是暴雨发生过程中,700 hPa 贵州南部均无明显水汽辐合(图略),但有一支水汽通道从中南

半岛经由云南进入贵州南部,另一支水汽通道从北部湾经由广西再折向北进入贵州,此支水汽输送带在暴雨发生过程中不断加强,与急流演变趋势一致。其不同点是,“06.6”暴雨过程比“08.5”暴雨过程的水汽辐合区更大,因此“06.6”过程大雨范围更广。

4.3 垂直环流结构

图 6 给出 2006 年 6 月 12 日 20 时与 2008 年 5 月 27 日 20 时沿 106°E 经暴雨中心的垂直速度和流场

经向剖面图。图 6a 中,“06.6”过程在暴雨区南侧高层有一支环流圈,暴雨区北侧中低层也有一支环流圈,暴雨区处在两支环流圈的上升支中,垂直上升运动伸展到 200 hPa,上升运动大值区从近地面伸展到 500 hPa,其中心值在 800—700 hPa 层为 $-0.3 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$;13 日 02 时(图略),对流发展加强,上升运动区伸展到 200 hPa,其中心强度增加到 $-0.5 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$,位于 600—750 hPa 附近,这表明强降水出现和加强时(12 日 20 时到 13 日 02 时),对流运动强烈发展。图 6b 中,“08.5”过程 27 日

20 时贵州南部上升运动区伸展到 150 hPa,上下有两个中心,其一在近地面层到 700 hPa,中心强度 $-0.3 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$,其二在 400—250 hPa,中心强度 $-0.4 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$;而 28 日 02 时(图略),上升运动区降到 250 hPa,强中心一个在 400 hPa 附近,中心值 $-0.3 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$,另一个在 700 hPa 附近,中心强度减弱为 $-0.2 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$;从地面到 800 hPa 层垂直速度为正值,表明这一高度间已转为弱的下沉运动。因此,在凌晨 02 时以后,对流运动减弱,降水随之明显减弱。

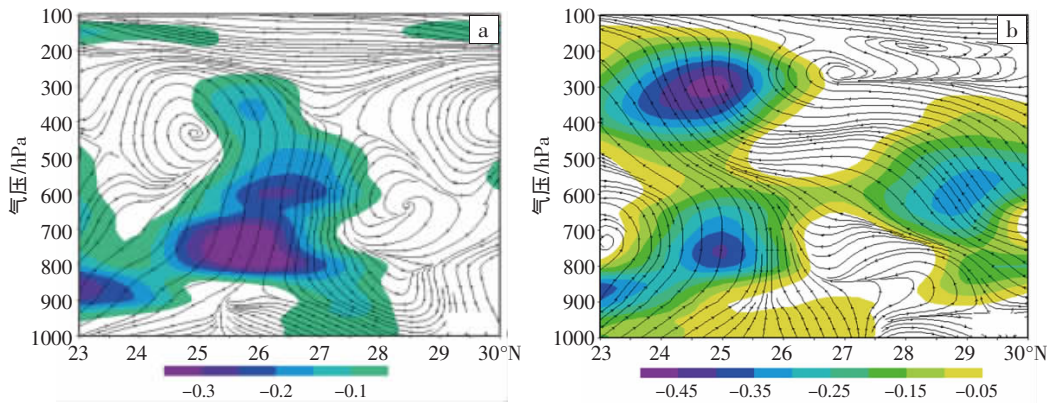


图 6 2006 年 6 月 12 日 20 时(a)与 2008 年 5 月 27 日 20 时(b)沿 106°E 经暴雨中心的垂直速度(阴影区,单位: $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)及流场经向剖面图

综上可知,“06.6”暴雨过程和“08.5”暴雨过程在垂直环流结构上的共同特点是,暴雨区都对应有强上升运动,其南北两侧各有一支环流圈。其不同的是,在降水过程中,“06.6”过程对流一直在发展,上升运动非常强烈,而“08.5”过程对流有所减弱,近地面出现下沉运动,上升运动也相对较弱。

4.4 不稳定条件

不稳定能量累积是强降水发生的重要条件,特别对于突发性局地大暴雨更是如此。对流有效位能(CAPE)是一个能定量反映大气环境中是否可能发生深厚对流的热力变量,对强对流的发生有较好的指示意义。分析“06.6”暴雨过程不同时刻 CAPE 变化可知,暴雨发生前,贵州境内 CAPE 值很小,12 日 14 时在北部

湾经广西的高能区向北抬升,贵州南部 CAPE 值显著升高,贵州西南部形成向北凸起的高能舌,到 20 时该高能舌维持(图略)。从暴雨中心望谟站 CAPE 值时间演变图上看(图 7a),12 日 08 时 CAPE 值很小,只有数 $10 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$,到 14 时迅速增加到 $1\ 400 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$,20 时后随降水出现 CAPE 值迅速减小。

分析“08.5”暴雨过程不同时刻 CAPE 变化可知,其不稳定能量积累更大、分布更广,27 日 20 时贵州中部以南地区 CAPE 值均达 $1\ 000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上,高能中心在贵州南部边缘(图略),此过程降水范围较“06.6”暴雨过程更广;到 23 时,随不稳定能量开始释放,在贵州南部边缘形成较强能量梯度,暴雨中心望谟站在暴雨发生前 CAPE 值为 $2\ 900 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$,之后 CAPE 值迅速

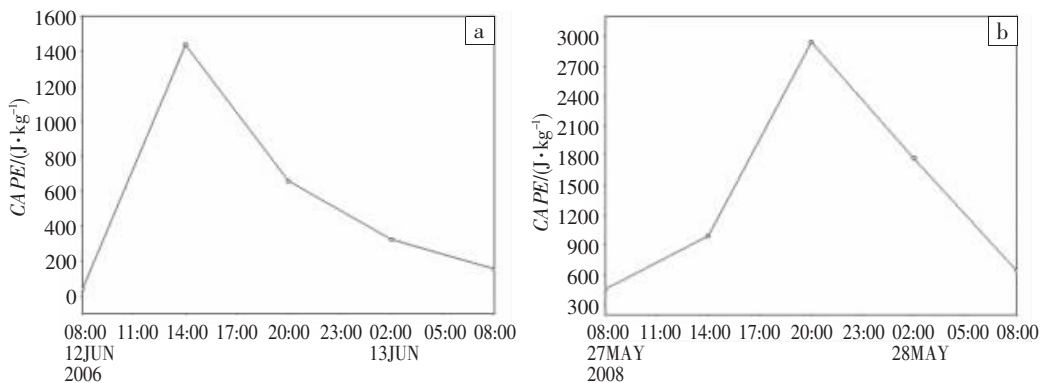


图 7 2006 年 6 月 12 日 08 时至 13 日 08 时(a)与 2008 年 5 月 27 日 08 时至 28 日 08 时(b)暴雨中心望谟县对流有效位能(CAPE)时间演变图(单位: $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$)

下降,能量梯度达到最大(图 7b),1 h 降水量达 48 mm。

综上所述,“06.6”暴雨过程和“08.5”暴雨过程在不稳定能量积累与释放上的共同特点是,暴雨区均位于高能舌内,暴雨发生之前数小时热力不稳定能量迅速增加。其不同的是,“06.6”暴雨过程 CAPE 最大为 $1\ 400\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$,出现在 14 时,而“08.5”暴雨过程 CAPE 从上午 08 时起持续增加,累积到 20 时达最大,为 $2\ 900\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$,因而后者积聚的不稳定能量更大。

5 大暴雨触发条件比较分析

5.1 “06.6”暴雨过程

上述分析结果表明,“06.6”大暴雨过程 500 hPa

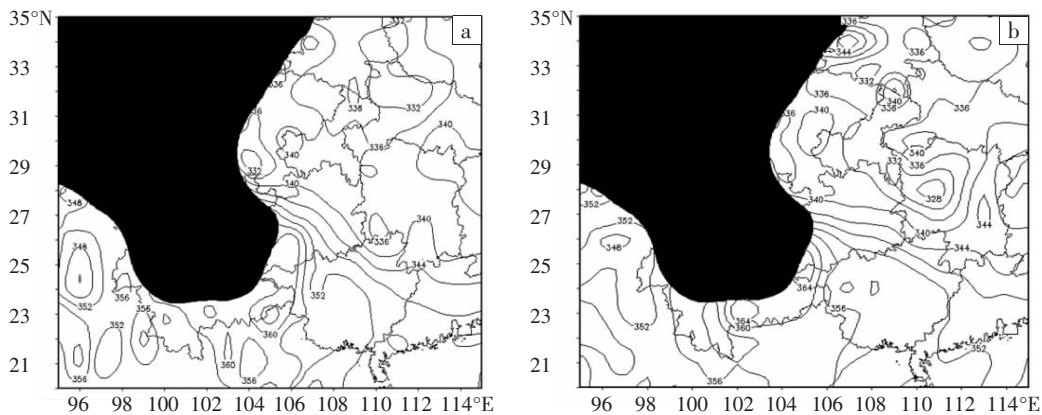


图 8 2006 年 6 月 12 日 14 时(a)、20 时(b) 850 hPa 的 θ_{sc} 水平分布图(单位: K)

图中阴影区地形高度大于 1 500 m

对流层涡度演变也可反映出中尺度低涡系统的强度。因此,沿 106°E 的涡度垂直剖面图上(图略),6 月 12 日 20 时,暴雨区地面到 550 hPa 为正涡度,正涡度最大值出现在 850 hPa,量值达 $4\times 10^{-5}\ \text{s}^{-1}$;13 日 02 时,低涡进一步发展加强,正涡度最大值在 800 hPa 附近,其强度增至 $5\times 10^{-5}\ \text{s}^{-1}$,说明这一高度层气旋性涡旋环流最强、风切变最明显。

另外,分析地面自动站资料和逐时卫星云图发现(图略),6 月 12 日 08 时,贵州中部有一西北—东南向辐合线;14 时,受中低层低涡切变线南压的作用,地面辐合线南压;18 时,贵州南部有 2 个中 β 尺度对流云团生成;20 时,对流云团加强合并,此时地面对应有一条辐合线;22 时,随降水开始,中尺度系统发展加强,对流云团合并为一椭圆形深对流系统,其中心云顶亮温低于 $-50\ ^{\circ}\text{C}$;到了 23 时,黔西南州东部地面风向出现气旋性环流;13 日凌晨,暴雨中心望谟附近辐合线上有低压发展,1 h 降水量达 72.1 mm。由此可见,造成此次过程强降水的中 β 尺度对流云团主要发生在地面切变线附近,地面辐合线发展为低压环流又促使中尺度对流系统发展加强,是此次局地大暴雨发生发展的可能原因。

有高原浅槽影响贵州,其移动引导低层低涡东移,且地面有弱冷空气从西北路径南下影响贵州。本文采用假相当位温(θ_{sc})表征近地面能量和能量锋区(等 θ_{sc} 线密集区),分析“06.6”暴雨过程不同时刻 850 hPa 的 θ_{sc} 发现,6 月 12 日 14 时(图 8a),贵州西南部 θ_{sc} 为 380 K 的高能舌控制,贵州中部等 θ_{sc} 线密集,对应该地区能量锋区,这表明近地面有弱冷空气与强暖湿气流交汇;当日 20 时(图 8b),随着能量锋区南压,冷空气逐渐向南渗透,引起地面能量锋生,贵州西南部位于能量锋区南侧高能区中,其高能中心值达 364 K, MCS 在锋前暖区发展;同时,锋区南压使中尺度对流系统发展加强。

5.2 “08.5”暴雨过程

上述分析指出,“08.5”暴雨过程无明显冷空气影响,这在 850 hPa θ_{sc} 图上反映更清楚。强降水发生前和发生中贵州南部(特别是西南部) θ_{sc} 为 352~360 K 的高能区,其北侧无明显能量锋。27 日 20 时,850 hPa 贵州中部以南地区都处在 360 K 的 θ_{sc} 高值区中,31°N 附近为等 θ_{sc} 线密集区(图 9a);28 日 02 时,能量锋区仍在 30°N 附近,未见南压, θ_{sc} 值在贵州南部虽略有下降,但无明显能量锋,暴雨区上空 θ_{sc} 仍为 360 K 高能舌控制,图 9b 为沿 106°E 经暴雨中心的 θ_{sc} 经向剖面图。从中可见,望谟正好处在高能舌中心,高能舌从近地层伸展到 550 hPa,此时降水强度最大。虽无明显锋区南压,但暴雨区上空存在较大能量,且高能舌到达对流层中层,不稳定能量如此之强,十分有利于中尺度对流系统强烈发展。沿 106°E 的涡度垂直剖面图上(图略),27 日 20 时,贵州南部正涡度位于地面至 550 hPa,强中心在近地层,其量值为 $4\times 10^{-5}\ \text{s}^{-1}$;到 28 日 02 时,到 28 日 02 时,正涡度值减小,且仅伸展到 700 hPa,其最大值在近地面层,并减弱为 $2\times 10^{-5}\ \text{s}^{-1}$,低涡仍存在,但强度逐渐减弱。

分析“08.5”暴雨过程逐时自动站地面观测资料发

现,27日17时贵州南部边缘有一条偏北风与偏南风形成的辐合线,20时辐合线西段也就是大暴雨区形成

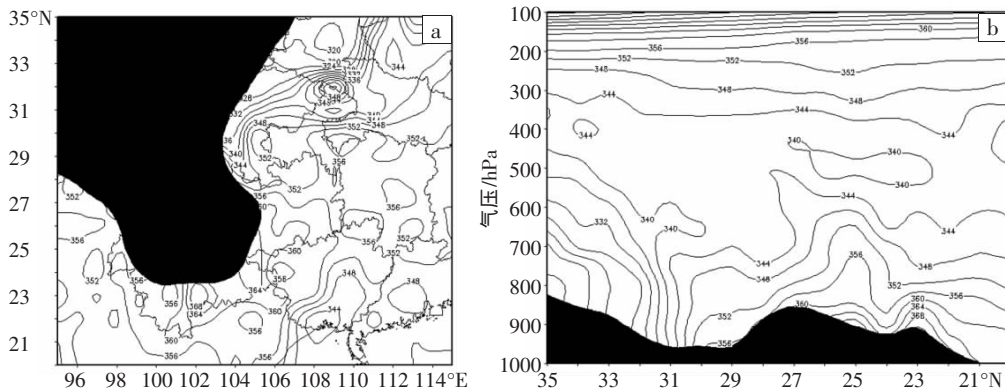


图9 2008年5月27日20时850 hPa θ_{850} 水平分布图(a)与沿106°E经暴雨中心的 θ_{850} 经向剖面图(b)

单位: K; 图a中,阴影区地形高度大于1500 m

5.3 两次过程触发条件的异同

综合第5.1、5.2节分析可知,“06.6”暴雨过程和“08.5”暴雨过程在触发条件上的共同特点是,两次过程中地面先于暴雨发生前存在辐合线,暴雨发生过程中随低空低涡切变线南压,辐合线加强为低涡;暴雨中心望谟主要受偏南风控制,处在辐合线南侧暖区中,一方面引导对流云团沿此方向移动、发展,另一方面有利于强降水维持;强的不稳定能量有利于中尺度对流系统强烈发展。其不同的是,“06.6”过程贵州南部有能量锋锋生,表明低层有弱冷空气与暖湿空气在暴雨区交汇;而“08.5”过程无能量锋锋生;另外,两次过程低层都有低涡出现,但“06.6”过程低涡涡旋环流强于“08.5”过程。可见,因弱冷空气侵入和强能量锋锋生引起了低涡系统强弱的差异,造成两次过程降水强度不同。

6 结论

贵州“06.6”和“08.5”两次大暴雨过程降水时间短、强度大、灾害重,强降水发生区域和时间相似。通过对其影响系统、环境条件和触发条件的比较分析,得出如下结论:

(1)两次过程均发生在西高东低、东北低涡稳定维持的有利环流形势下出现的;700 hPa巴塘低涡带动云南东部切变线东移进入贵州西部,中低层低涡促使中尺度对流系统发展,导致贵州西南部降水;从北部湾经广西到贵州东南部建立的西南急流是暴雨产生和维持的关键;不稳定能量在贵州南部地区积聚为暴雨发生提供了有利条件。

(2)地面中尺度辐合线的生成和发展诱发中尺度对流系统发展是两次局地大暴雨发生发展的可能触发原因。低层低涡切变线南压,使地面辐合线发展为

一弱低涡环流,这与卫星云图上对流云团相对应,云顶最低亮温达 -70°C 。降水过程中,该辐合区稳定维持。

低涡,暴雨中心处在辐合线南侧暖区中,有利于中尺度对流系统发展和降水维持。

(3)两次大暴雨过程的显著差异在于,“06.6”过程有南支浅槽东移和能量锋南压,而“08.5”过程是在槽后西北气流中低涡南压引起的降水。南支槽东移更有利于引导700 hPa低涡移动。弱冷空气与暖湿空气交汇形成能量锋锋生,引起低涡发展强烈,涡旋环流增强,可能是“06.6”过程降水强度更大的原因。

参考文献:

- [1] 张润琼,沈桐立.贵州02.6大暴雨的模拟与诊断分析[J].气象,2006,32(1):95-101.
- [2] 吴哲红,虞苏青,丁治英,等.贵州地区一次暴雨的数值模拟及不稳定性诊断分析[J].高原气象,2008,(6):1307-1314.
- [3] 伍红雨.贵州一次大暴雨过程的中尺度数值模拟与诊断分析[J].暴雨灾害,2007,26(4):361-368.
- [4] 张艳梅,江志红,王冀,等.贵州夏季暴雨的气候特征[J].气候变化研究进展,2008(3):182-186.
- [5] 池再香,白慧,黄红,等.夏季黔东南州局地暴雨与西太副高环流的关系[J].高原气象,2008,27(1):176-183.
- [6] 万雪丽,杨静,孙旭东.贵州西南地区一次中- β 尺度暴雨天气成因探讨[J].贵州气象,2007(1):10-12.
- [7] 李登文,杨静,乔琪.2006-06-13贵州省望谟县大暴雨的诊断分析[J].南京气象学院学报,2008,31(4):511-519.
- [8] 乔林,陈涛,路秀娟.黔西南一次中尺度暴雨的数值模拟诊断研究[J].大气科学,2009,33(3):537-550.
- [9] 候青,许健民.卫星导风资料所揭示的对流层上部环流形势与我国夏季主要雨带之间的关系[J].应用气象学报,2006,17(2):138-144.

(下转第267页)

- 究[J].湖北气象,2000,19(2):4-7.
- [8] 胡江林,涂松柏,冯光柳.基于人工神经网络的暴雨预报方法探讨[J].热带气象学报,2003,19(4):422-428.
- [9] 孙日丁,周官辉,杜滨鹤,等.人工神经网络方法在鹤壁汛期降水预报中的应用[J].河南气象,2004,27(3):12-13.
- [10] 张长卫.基于 BP 神经网络的单站总云量预报研究[J].气象与环境科学,2009,32(1):68-71.
- [11] 胡守仁.神经网络导论[M].北京:国防科技大学出版社,1993:113-119.

Interpretation and Application of BP Artificial Neural Network in MM5 Model Forecasting Gale for Coastal Regions of Fujian Province

CHEN De-hua¹, LIU Ming², SU Wei-dong¹, XIA Li-hua², SHI Shun-ji¹

(1.Xiamen Meteorological Observatory, Xiamen 361012;2.Fujian meteorological Observatory, Fuzhou 350001)

Abstract: Based on BP artificial neural network method, the wind speed observation data from the 6 coastal weather stations in Fujian in the period from May 2004 to October 2007 and 6-hourly interval wind speed forecast from MM5 meso-scale numerical model in view of the same 6 coastal weather stations and the same period were used to analyze the interpretation and application of gale forecast by MM5. The wind speed was used to build the artificial neural network models with different hidden layer and nodes. These models were used to test wind speed forecast by Pingtan, Chongwu and Dongshan stations in the coastal regions of Fujian province in the period from January 2008 to February 2009. The results show that the model using 1 hidden layer with 3 hidden nodes is the best one to forecast wind speed. After corrected by artificial neural network model, the coast wind forecast accuracy is greatly improved comparing with the forecast by MM5. The forecast capability of gale ($>10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) is greatly increased, and Vs score of the models is raised by 60 points over MM5. By inspection, the wind speed forecasting accuracy is increased by about 32.3 points after corrected by artificial neural network model. Generally, with wind speed faster, the corrected wind speed forecasting results are better.

Key words: MM5 meso-scale numerical model; BP artificial neural network; Wind speed correction; Wind speed forecast

(上接第 215 页)

Contrast Analysis of two Local Torrential Rains in the South of Guizhou

YANG Li-qun^{1,3}, YANG Jing², LIAO Yi-shan³, Peng Fang²

(1.Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074;2.Guizhou meteorological Bureau, Guiyang 550002;3.Guizhou meteorological observatory, Guiyang 550002)

Abstract: Contrast analysis of the two local torrential rain processes taking place on 12 June 2006 and 27 May 2008 respectively in the south of Guizhou was performed with the automatic observation data, sounding data and NCEP reanalysis data. The main results are as follows. The two processes occur in the circulation background of "higher in the east and lower in the west" and the maintenance of the Northeast China low vortex, and Batang vortex in 700 hPa moving eastwards is the main influence system causing severe precipitation in the west of Guizhou, and maintenance of the Batang vortex and southwest low level jet plays an important role in the formation of rain in the southwest of Guizhou. Simultaneously, the instable energy accumulating in the south of Guizhou provides a favorable condition for the formation of rain, but the former process has larger moisture convergence region in Guizhou province and the precipitation region of more than 25 mm is vaster than that of the latter process. The two local torrential rains are possibly triggered by the origination and development of the surface mesoscale convergence line, and the torrential rain centers are located in the warm region of the southern side of convergence line. In the period of former rain process the West Pacific Subtropical High is strong and its location is westerling (about 110°E), and the southern branch trough moving eastwards is propitious to lead the low vortex in 700 hPa moving, the energy frontogenesis is formed by the intersection of weak cold air and warm moist air, which causes the strong developing of low vortex and strengthening of vortex circulation. But, in the period of the latter rain process the West Pacific Subtropical High is weak and located at bias south or east, and there is not the effect of plateau trough in 500 hPa and cold air in the south of Guizhou province, which cause the precipitation intensity of the former process to be greater than that of the latter one.

Key words: Local torrential rain; Low vortex; Energy front; Contrast analysis