

杨静,汪超,雷云,等. 2013. 春季西南热低压的发生发展与结构特征. 气象, 39(2):146-155.

春季西南热低压的发生发展与结构特征^{*1}

杨 静^{1,2} 汪 超² 雷 云³ 万雪丽²

1 贵州省山地与气候资源重点实验室, 贵阳 550002

2 贵州省气象台, 贵阳 550002

3 贵州省气象局, 贵阳 550002

提 要: 通过普查 1997—2006 年 3—5 月典型西南热低压天气过程, 分析其气候特征, 归纳热低压的生命史, 将其分为 4 个不同的发展阶段: 初生、成熟、相持和填塞。利用台站观测资料 and NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 及 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 再分析资料, 对 7 次典型的春季西南热低压过程进行合成分析, 揭示了成熟阶段和填塞阶段热低压结构特征。分析结果表明: 在春季西南热低压系统控制下, 气压降幅显著, 气温升高、相对湿度降低, 午后偏南风加大, 气象要素具有明显的日变化特征; 68% 的热低压会给西南地区造成 35°C 以上的高温, 32% 的热低压给贵州造成高温。热低压系统为浅薄暖性低压, 干区深厚, 低压区为辐合区、正涡度区, 以上升运动为主, 并且是对流性不稳定。热低压填塞阶段, 受冷空气侵入, 低压北侧偏北风加大, 近地层气旋的辐合增强, 低压内为高能区, 在冷空气的向南推进过程中, 易出现强对流天气。

关键词: 西南热低压, 天气特征, 发生发展, 结构特征

中图分类号: P443

文献标识码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.02.003

Genesis, Development and Structure Characteristics of Southwest Heat Low in Spring

YANG Jing^{1,2} WANG Chao² LEI Yun³ WAN Xueli²

1 Key Laboratory of Hilly Mountain and Climatic Resources of Guizhou Province, Guiyang 550002

2 Guizhou Meteorological Observatory, Guiyang 550002

3 Guizhou Meteorological Service, Guiyang 550002

Abstract: Climatic characteristics and life characteristics of southwest heat low are analyzed through survey from March to May of 1997—2006. In view of synoptic point, it can be divided into four developing stages: primary, mature, maintenance and decay. Based on the station observational data as well as NCEP re-analysis data, the typical southwest heat lows in spring are analyzed and the structural characteristics are revealed. The diagnostic results show that under the control of southwest heat low in spring, pressure decreasing and temperature increasing are significant, and meteorological elements have obviously diurnal variations. Southwest heat low is a shallow warm low, but with deep dry zone. The low zone is characterized by convergence and positive vorticity. This system is of convective instability.

Key words: southwest heat low, synoptic characteristics, genesis and development, structure characteristics

* 贵州省科技厅黔科合重大专项(2006)6034 号和贵州省气象局科技开放基金黔气科合 KF(2008)08 号共同资助
2011 年 11 月 15 日收稿; 2012 年 11 月 12 日收修定稿
第一作者: 杨静, 主要从事环境灾害天气预报的研究. Email: sunyjing_yj@sina.com

引 言

气旋的分类方法很多(朱乾根等,2000),通常按其形成、活动的主要地理区域及其热力结构的不同进行分类。按其形成及热力结构可分为两大类:(1)无锋气旋,包括(i)热带气旋:指发生在热带洋面上强烈的气旋式涡旋。(ii)地方性气旋:由于地形作用或下垫面的加热作用而产生的地形低压或热低压。这种低压基本上不移动。另外,在锋前也常出现一种锋前热低压。(2)锋面气旋,即气旋中有锋面,温度分布很不对称,一般移动性较大。对热带气旋和锋面气旋的预报研究早已广泛开展,如对西北太平洋台风的气候特征研究(黄丽娜等,2009),影响靖宇地区温带气旋的统计分析(蔡秀华等,2009),卫星云图在热带气旋北冕过程中的应用(何立等,2010)。陈联寿(2010)和许映龙等(2010)还对我国热带气象灾害及台风预报业务的现状进行了分析和思考。国内外研究者也对热低压系统,开展了一些研究。丁一汇(2005)在高等天气学中指出热低压与季风活动有关系,非洲和亚洲西部季风的潮湿西南气流位于沙漠热低压带之南,热低压与沙漠动力学有密切关系。Blake等(1983)在1979年夏季风期间研究了沙特阿拉伯热低压的特征,结果证实了热低压的混合层比较厚,热低压的低层热对流很强。Eric(1986)对阿拉伯热低压的内部结构特征和热量交换进行了研究。Leslie(1980)对澳大利亚夏季的热低压进行了数值模拟,不同的地面热平衡方案在模式中运用,以便提高对热低压的预报。

春季在我国青藏高原东南侧的云、贵、川三省附近也常有一个闭合暖低压,这种地方性低压是影响西南地区的一种重要天气系统。目前国内对西南热低压的研究还比较少。20世纪90年代,诸月琴等(1994)的研究统计了1975—1985年西南热低压与贵州暴雨的关系,发现春季热低压是导致贵州暴雨的主要天气系统。近年,熊方等(2008)统计了2000—2005年春季西南地区的热低压,定义了热低压的位置指数、强度指数,统计表明春季我国西南地区近1/4时间受热低压影响,热低压是导致西南地区春季高温天气和贵州春季暴雨的主要天气系统。以上对西南热低压的研究主要对气候特征和天气进行了一些统计,但还缺乏对西南热低压的系统性研究,其结构特征和发生发展的物理过程尚不清楚。

本文在对1997—2006年10年春季西南热低压统计分析的基础上,总结归纳典型西南热低压天气过程的生命史和天气气候特征,并通过典型西南热低压过程的合成分析,试图揭示西南热低压的结构特征。

1 定义和资料

规定西南热低压为某一时次在地面天气图上西南地区出现闭合低压,且对应地面为晴热天气。连续两个时次以上受热低压控制,且发展强盛,在消亡时出现对流天气或降水天气的过程为一次典型热低压天气过程。在实际预报中由于此类热低压过程消亡可能造成对流或降水天气,需要高度关注。因此,以此类发展强盛,且消亡时出现雷雨、降水等对流天气的典型热低压天气过程为主要研究对象。下文中若无特殊说明西南热低压过程均指此种典型热低压天气过程。

本文使用的资料主要包括:地面观测资料、高空观测资料、NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料及NCEP $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 再分析资料。通过普查1997—2006年春季(3—5月)历史天气图,对10年典型热低压天气过程进行温、压、湿统计,并分析热低压不同阶段结构特征。

2 西南热低压的气候特征

2.1 影响时间

1997—2006年春季西南地区出现热低压192个,其中发展强盛,在消亡时出现对流天气或降水的典型热低压天气过程为96个个例,占全部样本的57.5%。年平均发生9.6个。10年中3月累计出现34个典型热低压过程,占统计样本的35%,4月累积出现36个过程,占样本的38%,5月出现26个过程,占27%。3—4月热低压影响西南地区的频率最高。西南地区受典型热低压的影响天数,3月为86 d,4月为113 d,5月为82 d。可见,西南热低压是春季影响西南地区的一个重要天气系统。

热低压过程的持续时间各有不同。当热低压强盛,外来冷空气势力较弱时,热低压可能维持相当一段长的时间。图1为1997—2006年春季典型热低压过程的持续时间序列图。由图可见,热低压过程的持续时间以2~5 d为最多,占过程总数的86%,

持续时间在 6 d 以上的热低压过程占总数的 4%。持续时间最长的热低压过程达 7 d, 出现在 2005 年 5 月 11—17 日。

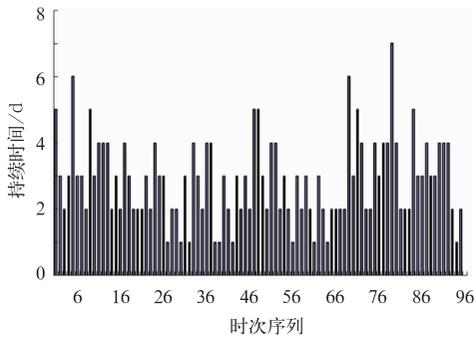


图 1 1997—2006 年 3—5 月西南热低压过程持续时间 (单位: d)

Fig. 1 Lasting time of southwest heat low in spring during March—May of 1997—2006 (unit: d)

2.2 强度特征

以热低压控制区域内单站海平面气压最低值表示热低压过程的低压中心, 近似代表热低压发展的强度。统计表明 (图 2), 西南地区热低压发展强盛时, 低压中心海平面气压在 995~999 hPa 之间的频率为最大达 52%, 其次是 1000~1004 hPa 和 990~994 hPa, 频率分别为 23% 和 20%, 中心气压在 1005~1009 hPa 的频率最少, 仅为 5%。西南热低压中心气压在 1000 hPa 以下的占总样本的 72%, 最低气压达 990.7 hPa。这表明西南热低压一旦发展强盛, 强度强, 中心气压低。热低压控制贵州时, 贵州省内最低海平面气压在 995~999 hPa 之间的频率为最大达 42%, 其次是 1000~1004 hPa 和 990~994 hPa, 频率分别为 32% 和 17%。贵州省内中心气压在 1000 hPa 以下的占总样本的 59%, 最低气压 990.7 hPa。

热低压从生成到发展强盛, 低压中心降压幅度频率如图 3 所示。低压中心降压幅度在 9.0~12.9 hPa 之间的频率最高为 39%, 降压幅度在 5.0~8.9 hPa 之间的频率为 35%, 降压幅度在 13.0~16.9 hPa 之间的频率为 17%, 而降压幅度在 1.0~4.9 hPa 和 17.0~20.9 hPa 之间的频率最小, 仅为 6% 和 3%。贵州受强盛热低压控制, 中心气压降压幅度在 5.0~8.9 hPa 之间的频率为最高 41%, 其次降压幅度在 9.0~12.9 hPa 之间的频率为 31%, 降压幅度在 13.0~16.9 hPa 之间的频率为 16%。

在贵州受热低压控制下, 降压幅度以 5.0~16.9 hPa 为主。

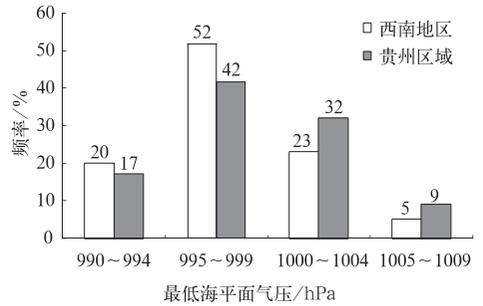


图 2 1997—2006 年 3—5 月热低压控制下最低海平面气压频率

Fig. 2 Frequencies of minimum sea-level pressure under the control of heat low in spring during March—May of 1997—2006 (unit: %)

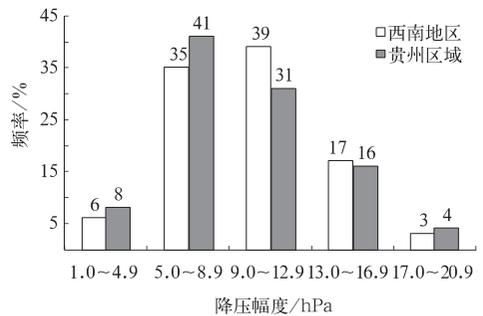


图 3 1997—2006 年 3—5 月热低压控制下中心气压降压幅度频率

Fig. 3 Frequencies of central pressure decrease under the control of heat low in spring during March—May of 1997—2006 (unit: %)

2.3 天气特征

以热低压控制区域内单站最高气温和最低相对湿度为统计对象。图 4 显示受热低压影响, 西南地区最高温度出现 35℃ 以上高温的频率为 64%, 贵州最高温度出现 35℃ 以上高温的频率为 32%, 西南地区及贵州最高温度在 30~34℃ 之间的频率分别为 29% 和 48%。西南地区最高温度在 30℃ 以上的频率达 97%, 贵州最高气温在 30℃ 以上的频率也达到 80%, 这表明, 热低压控制下, 天气晴好。

在热低压控制下, 西南地区最低相对湿度在 11%~20% 之间的频率为 52%, 其次最低相对湿度在 10% 以下的频率为 20%。热低压控制下的贵州, 地面最低相对湿度在 11%~20% 之间的频率最大

为 36%，其次是 21%~30%，频率为 29%，在 31%~40%，41%~50% 区间的频率均为 11% (图 5)。

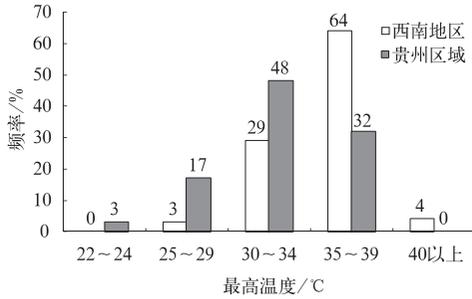


图 4 1997—2006 年 3—5 月热低压控制下地面最高气温频率

Fig. 4 Frequencies of maximum temperature under the control of heat low in spring during March—May of 1997—2006 (unit: %)

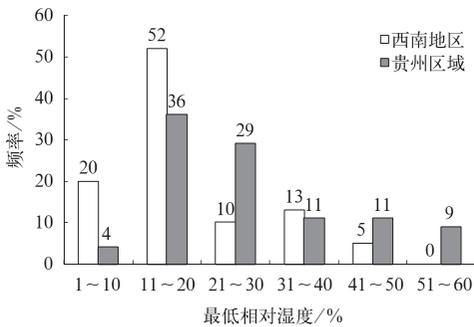


图 5 1997—2006 年 3—5 月热低压控制下地面最低相对湿度频率

Fig. 5 Frequencies of minimum relative humidity under the control of heat low in spring during March—May of 1997—2006 (unit: %)

2.4 初生源地

统计表明西南热低压的初生源地主要有两个,一个在云南西部或云南东北部;另一个在四川,或经四川移入又在西南地区独立发展。在 96 个典型热低压过程中,70 个过程热低压初生源地为云南,占 73%,初生源地在四川或经四川移入的热低压有 16 个,占 27%。初生在云南的热低压,向北、向东发展,发展强盛时控制贵州、四川,甚至控制湖南;初生在四川或经四川移入的低压,一般向南发展,影响贵州、云南,进而发展为一个相对独立的低压控制西南地区。由此可见,西南热低压的主要初生源地在云南,是一个局地性较强的天气系统。

3 西南热低压的环流形势

利用 NCEP $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 再分析资料,得到 96 个典型热低压过程的 500 hPa 平均形势场。分型范围是 $70^\circ \sim 10^\circ \text{N}$ 、 $40^\circ \sim 140^\circ \text{E}$ 。以亚洲中高纬形势为分型主要依据,分为 4 种环流形势:乌拉尔山高脊型、纬向多波动型、贝加尔湖高脊型、横槽型。

乌拉尔山高脊型共有 56 次,占过程总数的 58%。其特征表现为 500 hPa 高度场上,乌拉尔山地区为高压脊控制,这又可分为两类,一类是乌拉尔山—贝加尔湖的广阔地区为高压脊控制, 120°E 或以东为东亚槽,有 38 次;另一类是乌拉尔山—巴尔喀什湖或以东为高压脊控制,贝加尔湖或以东为低槽,有 18 次。其次是纬向多波动型有 19 次,占总数的 20%,其特征表现为中高纬纬向环流明显,气流平直,多短波槽脊活动。贝加尔湖高脊型共 14 次,仅占过程总数的 15%,其特征表现为乌拉尔山—巴尔喀什湖为低槽,贝加尔湖地区为高压脊控制。横槽型有 7 次,仅占过程总数的 7%,其特征表现为巴尔喀什湖—贝加尔湖为横槽。

这 4 种中高纬环流形势下(图略),高压脊或东亚槽主要位于 35°N 以北地区。 30°N 以南地区, 100°E 以西有南支槽出现的有 70 次,占过程总数的 73%,其中 61 次南支槽位置位于 $80^\circ \sim 100^\circ \text{E}$,西南地区一般为槽前西南气流或偏西气流控制;另外 26 次过程高原—贵州气流平直。

4 西南热低压的生命史

分析 96 个典型的热低压过程,低压发展强盛,具有完整、清楚的生消过程,将其分为 4 个不同的发展阶段:初生、成熟、相持和填塞。每个阶段都有各自的天气特征。

初生阶段。在热低压生成前,西南地区低层逐渐转为偏西或西南气流,地面天气图上在云南,或在四川北部气压开始降低,出现低压中心,可以分析出一根闭合等压线。对于在云南初生的热低压,将向北、向东发展,24~36 h 可能影响贵州或四川;在四川生成或移入的热低压,未来将向南发展,逐渐控制贵州和云南的部分地区,进而发展为一个相对独立的低压。在低压中心附近,天空云量减少,为多云到晴天。

成熟阶段。热低压在西南地区发展、增强,地面上闭合等压线增多,海平面最低气压可降至 1000 hPa 以下。地面出现气旋性环流,甚至在 700 hPa 上空也可见气旋辐合。热低压控制地区,天气晴好,云量减少,温度很快升高。受太阳辐射加热的作用,热低压的强度有明显的日变化,夜间到早晨,热低压强度减弱,白天随着地面温度的升高,热低压再次增强,到午后达到最强,热低压南侧午后易出现瞬时偏南大风。

相持阶段。热低压北面有一条冷锋逐渐移近进入四川,500 hPa 有低槽东移,此时热低压处于冷锋前,往往发展到最强盛阶段,午后地面偏南风加强,冷锋与热低压相遇,两股势力并存,如果低压发展强盛,两个系统可能共存 1~2 d。冷锋前,热低压北界,可能出现小范围的雷雨、大风等对流天气,而热低压控制的中心地区仍维持晴好天气。

填塞阶段。冷空气逐渐南压进入热低压,随即导致低压填塞,地面气压迅速升高,对流层低层低压发展为切变线向南移动,天空状况由多云天气转为阴天,出现降水,有时伴有雷雨、大风、飏线、短时强降水等对流天气。

5 西南热低压的结构特征

前面环流分析指出,热低压过程中高纬为乌拉尔山高脊型的占 58%,因此选取乌拉尔山高脊形势下,7 个典型热低压过程进行合成分析。个例选取原则是中高纬为乌拉尔山高脊形势,地面低压的形态相近,且低压发展强盛。个例分别为:2001 年 3 月 13—16 日、2003 年 4 月 9—12 日、2005 年 3 月 8—11 日、2005 年 4 月 28 日至 5 月 1 日、2005 年 5 月 11—17 日、2006 年 4 月 2—5 日和 2006 年 4 月 24—27 日。这些热低压过程持续时间长,低压发展强盛,具有一定代表性。由于热低压生消过程经历不同的几个阶段,文中重点讨论西南热低压成熟阶段和填塞阶段的结构特征。

5.1 环流形势和水平风场特征

图 6 为 7 个典型个例热低压成熟阶段 500 hPa 高度场的合成。由图可见,此类型 500 hPa 中高纬环流形势为“乌拉尔山高脊型”。中高纬表现乌拉尔山地区为高压脊控制,40°N、130°E 以北为东亚槽,30°N 以南地区气流平直,青藏高原东侧有弱高原

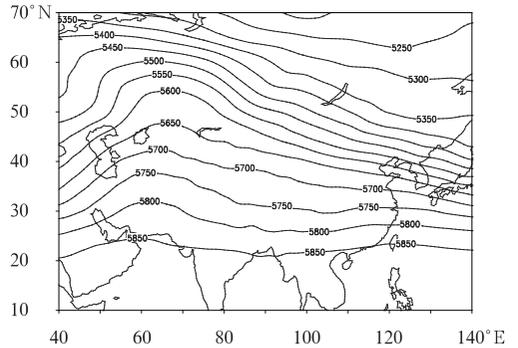


图 6 热低压成熟阶段 500 hPa 合成高度场

(合成个例:2001 年 3 月 15 日 14 时、

2003 年 4 月 11 日 14 时、2005 年 3 月 10 日 14 时、

2005 年 4 月 30 日 14 时、2005 年 5 月 15 日 14 时、

2006 年 4 月 3 日 14 时、2006 年 4 月 24 日 14 时)

Fig. 6 Composite height field at 500 hPa during the mature stage of heat low (unit: gpm)

槽,西南地区以槽前弱偏西南气流控制为主。

初生阶段,热低压在地面出现闭合等压线,地面风场表现为气旋性辐合,低压南侧为偏南气流控制;随着低压的进一步发展,低压顶向上空发展。成熟阶段,近地面和对流层低层风场表现为气旋性辐合,低压南侧偏南风的范围和强度都比初生阶段有明显加强。图 7 为热低压成熟阶段地面至 750 hPa 平均风场。由图分析,地面热低压中心位于 28°N、104°E 附近,地面风场为气旋性辐合,辐合中心在低压中心(图 7a),地面低压中心上空,850~800 hPa 平均风场(图 7b、7c)也表现为气旋性辐合,低压中心的东南侧为 8~12 m·s⁻¹ 西南气流控制;750 hPa 平均风场上地面低压上空风的辐合减弱,低压的东南侧维持 8~12 m·s⁻¹ 西南气流;700 hPa 上空为西南气流控制(图略)。分析可见,热低压成熟阶段,地面风场表现为气旋性辐合;地面低压中心上空从近地面至 750 hPa 水平风场出现气旋性环流,低压东南侧(即热低压的第四象限及其以南的区域)为较强盛的西南气流,近地层风速达 8~14 m·s⁻¹,750~700 hPa 西南气流普遍在 12~14 m·s⁻¹。

热低压填塞阶段,受冷空气侵入,低压北侧海平面气压场等值线密集,地面风场以东北风为主,原受热低压控制的四川、重庆和云南东北部已受冷空气影响,地面风场的气旋中心南退至 25°N、106°E 附近,这也大致表征地面热低压中心的位置(图 8a)。850 hPa 水平风场上(图 8b),地面低压中心上空也表现为气旋,气旋中心与地面风场的气旋中心一致,

而气旋的东南侧西南风达 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 因此在辐合线附近冷暖空气的交汇剧烈, 易出现强对流天气。700 hPa 上空(图 8c), 辐合线位于 30°N 附近, 低压上空为偏西气流影响。

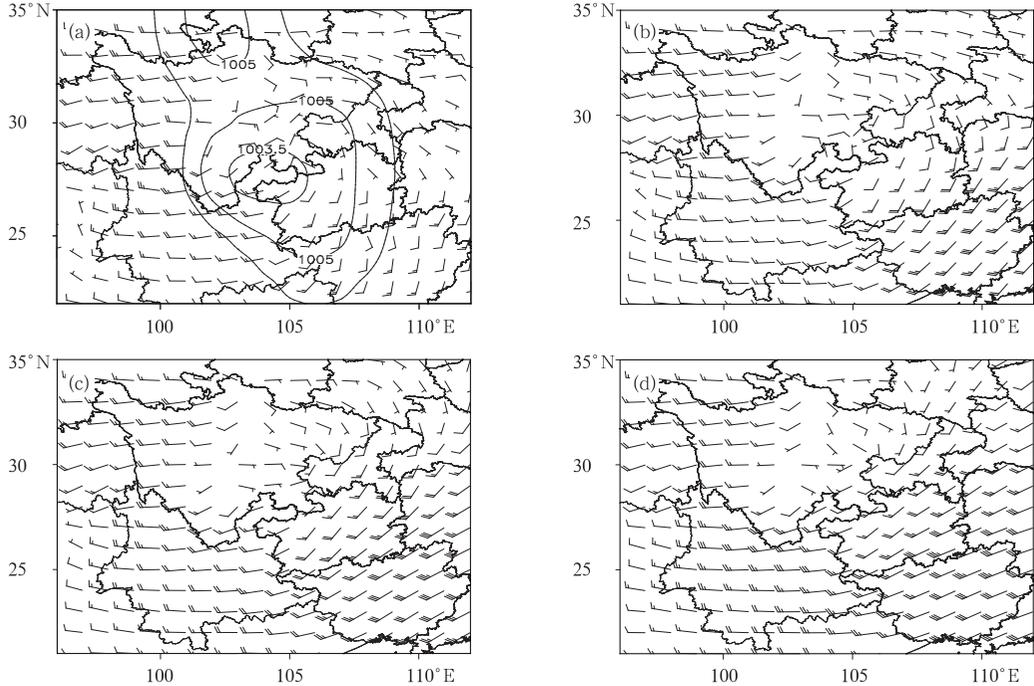


图 7 热低压成熟阶段平均海平面气压(实线, 单位: hPa)和地面 ($\text{sig}=0.995$) 平均风场(a), 850 hPa 平均风场(b), 800 hPa 平均风场(c)和 750 hPa 平均风场(d) (合成个例同图 6)

Fig. 7 Mean sea level pressure (solid line, unit: hPa) and mean surface wind (a), mean wind at 850 hPa (b), mean wind at 800 hPa (c), and mean wind at 750 hPa (d) during the mature stage of heat low (Composite cases are same as Fig. 6)

5.2 气象要素特征

前面分析指出(图 7a), 地面热低压中心位于 28°N 、 104°E 附近, 低压区定义为第一根闭合等压线 1005 hPa 所在区域, 即 $24^\circ \sim 31^\circ\text{N}$ 、 $102^\circ \sim 108^\circ\text{E}$ 。为尽可能反映低压不同部位的特征, 分别在低压区 4 个象限选取一个代表站分析热低压的气象要素特征, 这 4 个代表站为重庆(I 象限)、西昌(II 象限)、沾益(III 象限)、贵阳(IV 象限)。

热低压自生成起, 地面气压迅速降低, 生成发展初期, 气压降幅最大。成熟期, 气压缓慢下降, 一般到填塞前降到最低点, 之后受冷空气影响, 气压上升。这一过程中, 海平面气压最低可降至 1000 hPa 以下。表 1 为热低压发展过程中 4 个代表站的温、

与成熟阶段比较, 受冷空气的侵入地面热低压南退, 影响范围减小, 低空气旋辐合强度增强, 低压北侧的气流偏北分量增加, 由成熟阶段的偏东风转为东北风。

压、湿变化情况。分析表 1 可见, 低压发展过程中, 低压不同区域所反映的气压和温度的变化趋势是一致的。24 h 最大气压降幅均超过 3 hPa, 重庆气压降幅达到最大为 6.5 hPa; 气温的改变与气压呈反位相, 气压降低, 气温升高, 24 h 气温平均最大升幅超过 3°C , 过程平均最高气温均高于 25°C ; 相对湿度显著降低, 白天平均最低相对湿度都在 50% 以下, 云南的沾益最小, 相对湿度低于 15%。

另外, 从逐日的气压与气温的变化可分析(图略), 气压与气温的改变具有明显的日变化特征。这主要与热低压的发展同地面受到太阳的强烈辐射有关。因此, 热低压强度具有明显的日变化: 夜间和早晨, 热低压较弱, 地面温度较低; 白天受太阳加热的作用, 气温升高, 热低压增强, 午后低压达到最强。

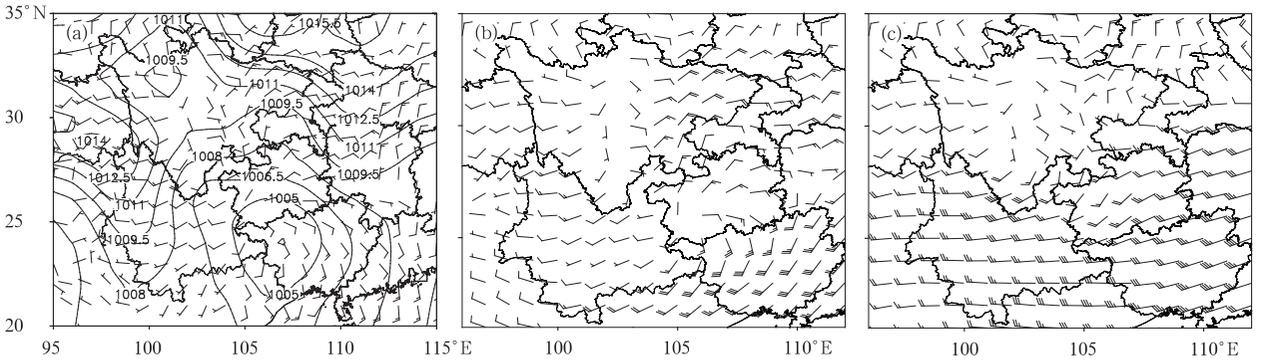


图 8 热低压填塞阶段平均海平面气压(实线:海平面气压,单位:hPa)和地面(sig=0.995)平均风场(a), 850 hPa 平均风场(b),700 hPa 平均风场(c)
(合成个例同图 6)

Fig. 8 Mean sea level pressure (solid line, unit: hPa) and mean surface wind (a), mean wind at 850 hPa (b), and mean wind at 700 hPa (c) during the decaying stage of heat low
(Composite cases are same as Fig. 6)

表 1 热低压发生发展过程中代表站温、压、湿特征
Table 1 Characteristics of temperature and pressure in the course of development of heat low

	重庆	西昌	沾益	贵阳
$\Delta P_{24}/\text{hPa}$	-6.5	-3.8	-3	-5.5
$\Delta T_{24}/\text{C}$	3	5.4	4.3	4.9
T_{max}/C	27.3	29.6	25.9	25.7
$RH/\%$	40.1	51.4	14.7	20

(ΔP_{24} 表示 24 小时平均最大气压降幅, T_{max} 表示过程平均最高气温, ΔT_{24} 表示 24 小时气温平均最大升幅, RH 表示白天平均最低相对湿度)

在热低压发展过程中,其控制区域内午后南风呈现逐渐增大趋势。以贵阳为例,热低压发展过程中,地面为偏南风,夜晚和上午风速不大,午后风速明显增大,极大风速超过 $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,达到 4 级以上,统计中有 7 天极大风速在 $8.0 \sim 10.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,17 天极大风速达到或超过 $10.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,达到 6~8 级偏南风,占统计日数的 63%。2006 年 4 月 4 日,贵州测站出现 8 站 8 级以上大风,4 月 5 日出现 9 站 8 级以上大风。

热低压填塞阶段往往出现对流或强降水天气。以贵州为例,个例“060424”过程、“050428”过程、“060402”及“050511”过程在热低压填塞阶段都出现冰雹、暴雨天气。

5.3 动力结构特征

通过沿成熟阶段地面低压中心 104°E 经向垂直环流剖面分析发现(图 9),低压中心 28°N 附近为一支弱上升气流,在低压中心辐合线北侧(28°N 以北区域)为上升气流,辐合线南侧(27°N 以南区域)为弱下沉气流。

从区域平均的物理量垂直分布可见,热低压成

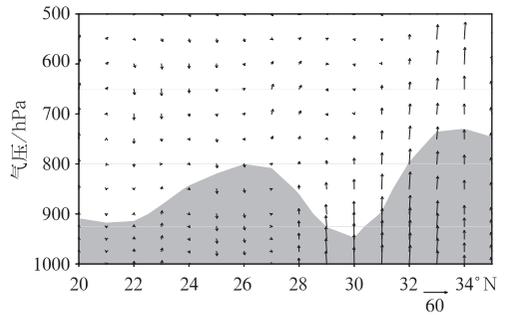


图 9 热低压成熟阶段垂直环流沿 104°E 高度剖面
(合成个例同图 6)

Fig. 9 The vertical cross section through 104°E for vertical circulation during the mature stage of heat low
(Composite cases are same as Fig. 6)

熟阶段,低压系统内 700 hPa 以下气流为辐合(图 10a),这也表明热低压顶在 700 hPa 附近,气流辐合强度则是在近地面达到最大,辐合强度随高度的增高而减小;低压系统内为正涡度(图 10b),从地面到 800 hPa,正涡度随高度增加的斜率最大;对垂直速度的平均值而言(图 10c),低压区以上升运动为主导,近地层垂直上升运动为最大。

前面分析指出地面热低压中心在 28°N 、 104°E 附近,位于云南东北部,海拔高度为 1000~1500 m,低压区在 $24^\circ \sim 31^\circ\text{N}$ 、 $102^\circ \sim 108^\circ\text{E}$,除四川东南部的部分区域外,海拔高度大部在 1000~2500 m。气流的无辐散层在 700 hPa 附近。因此可以认为热低压的低压顶在 700 hPa 附近,大致在 3000 m 左右,这个低压系统在云贵高原东部为浅薄系统。

热低压填塞阶段气旋中心 106°E 经向垂直环流

剖面(图 11a)显示,地面热低压上空为上升气流, 28°N 附近,也就是冷空气侵入的区域,在 750 hPa 上空出现一个次级环流。与成熟阶段垂直环流的主要差异在于冷空气已侵入热低压控制区域,在低空

出现次级环流圈。从散度的垂直剖面可见(图 11b),无辐散层位于 750 hPa,地面低压上空辐合大小较成熟阶段明显增强,辐合中心位于地面低压辐合线附近。

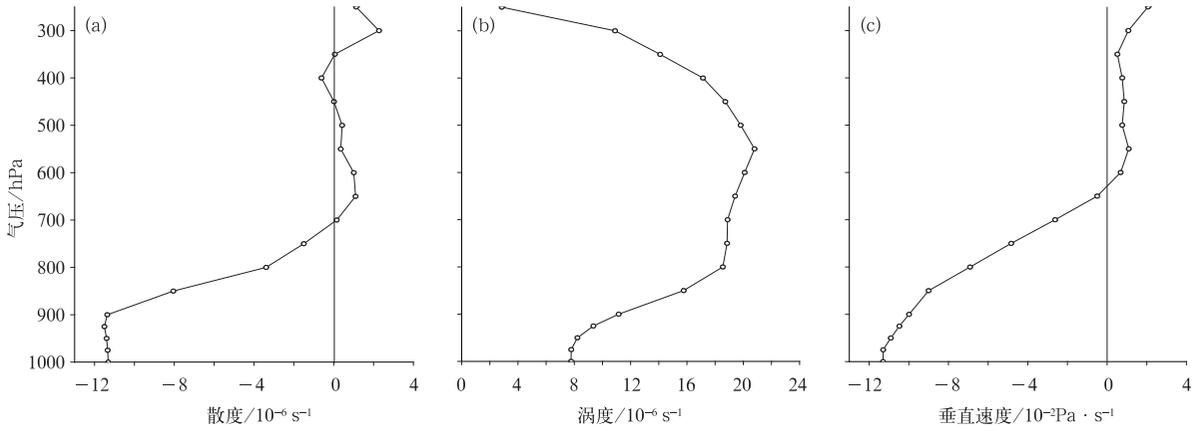


图 10 成熟阶段热低压区散度平均值(a), 涡度平均值(b)和垂直速度平均值(c)
(区域为:24°~31°N,102°~108°E,合成个例同图 6)

Fig. 10 Regional mean values of (a) divergence (unit: 10^{-6} s^{-1}), (b) vorticity (unit: 10^{-6} s^{-1}), and (c) vertical velocity (unit: $10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{ s}^{-1}$) during the mature stage of heat low (area for 24°–31°N, 102°–108°E, composite cases are same as Fig. 6)

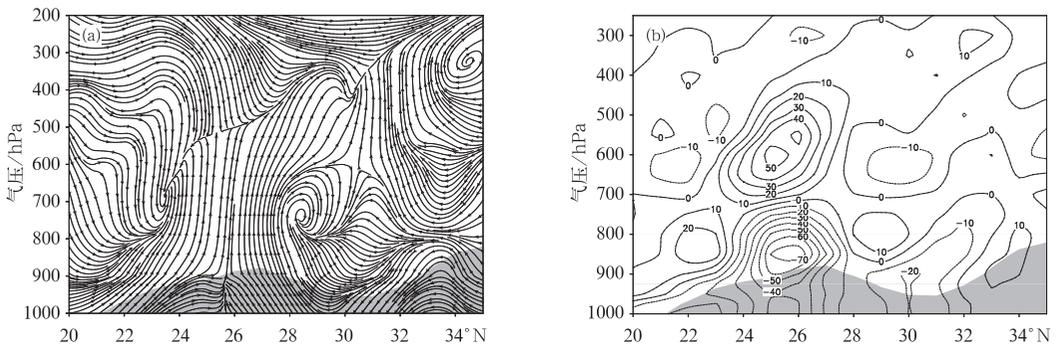


图 11 热低压填塞阶段沿 106°E 高度垂直剖面
(a)垂直环流;(b)散度(单位: 10^{-6} s^{-1})
(合成个例同图 6)

Fig. 11 The vertical cross sections through 106°E for (a) vertical circulation, and (b) divergence (unit: 10^{-6} s^{-1}) during the decaying stage of heat low (Composite cases are same as Fig. 6)

5.4 热力结构特征

沿成熟阶段地面低压中心 104°E 的平均温度的垂直分布(图 12a)可见,低压是暖性的,温度脊在 26°N,伸展到 700 hPa 附近。为了更深入地揭示西南热低压的热力性质,采用温度场对空间平均值求离差的办法来表示。先求通过低压中心附近的经向

剖面上相应的纬向上的平均值,再得到对此平均值的离差(图 12b)。温度离差的零线位于 28°N 附近,为低压中心附近,低压的南侧盛行西南气流,气温相对较高,温度离差为正值,中心值为 5°C,故热低压内暖中心并不在低压中心,而是在其南侧。同暖中心相对应的是深厚的干区,在 700 hPa 以下相对湿度低于 40%(图 12a),特别是在近地面空气柱相当

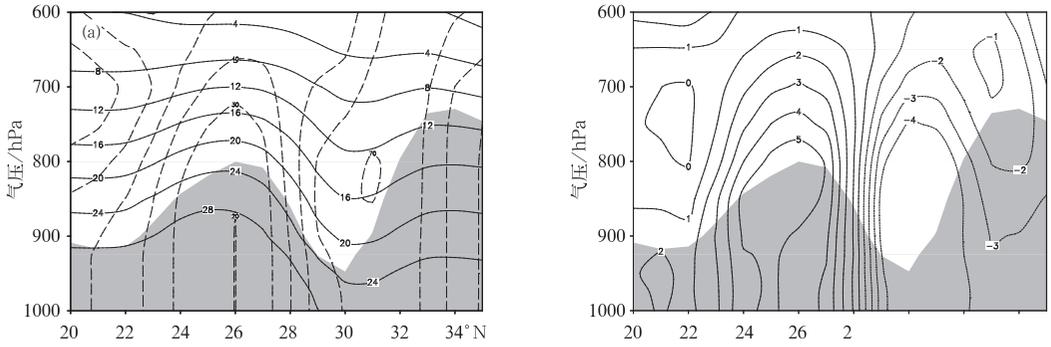


图 12 热低压成熟阶段沿 104°E 平均温度和平均相对湿度
(a, 实线表示温度, 单位: °C; 虚线表示相对湿度, 单位: %)、平均温度离差 (b, 单位: °C)
(合成个例同图 6)

Fig. 12 The vertical cross sections through 104°E for mean temperature (solid line, unit: °C) and mean relative humidity (a) (dashed line, unit: %) and mean temperature deviation (b, unit: °C) during the mature stage of heat low (unit: °C)
(Composite cases are same as Fig. 6)

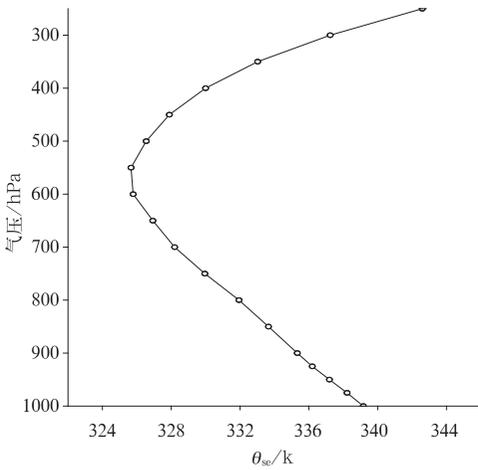


图 13 成熟阶段低压区 θ_{se} 平均值
(单位: K, 区域为: 24°~31°N, 102°~108°E,
合成个例同图 6)

Fig. 13 Regional mean of pseudo-equivalent potential temperature (region: 24°—31°N, 102°—108°E) during the mature stage of heat low (unit: K)
(Composite cases are same as Fig. 6)

气的触发就容易形成对流天气。

热低压填塞阶段, 受冷空气的侵入, 在 28°N 附近(成熟阶段低压中心)出现 θ_{se} 的密集区(图 14), 大致表征锋区的位置。地面低压区上空仍为高能区控制, 随着冷空气的向南侵入, 极易出现强对流天气。

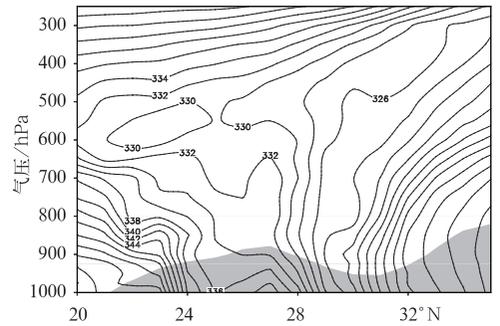


图 14 热低压填塞阶段沿 106°E 假相当位温高度垂直剖面(单位: K)
(合成个例同图 6)

Fig. 14 The vertical cross section through 106°E for pseudo-equivalent potential temperature during the decaying stage of heat low (unit: K)
(Composite cases are same as Fig. 6)

干热, 相对湿度低于 30%。可见, 西南热低压是一个暖性、干热系统。

假相当位温的垂直结构能够较好地表征大气的热力稳定状况。 $\partial\theta_{se}/\partial z < 0$, 表示空气柱的对流性不稳定。西南热低压成熟阶段所在区域的平均假相当位温垂直结构表明(图 13), 热低压内部是对流性不稳定的, 其上空 500 hPa 至对流层顶是对流性稳定状态。热低压这种热力不稳定结构, 一旦有冷空

6 结论与讨论

西南热低压是春季影响西南地区的一个重要天气系统。本文从气候特征、天气特点、环流形势及结

