

高空槽引发的黔东南降雹天气过程诊断分析^①

蒋 瑛^{1,5}, 朱克云¹, 张 杰², 唐 娴³, 林文桦⁴

1. 成都信息工程学院 大气科学学院/高原大气与环境四川省重点实验室, 成都 610225;
2. 成都军区空军气象中心, 成都 610041; 3. 中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081;
4. 广西防城港市气象局, 广西 防城港 538001; 5. 96215 部队, 广西 柳州 545616

摘要: 利用自动站逐时降水资料和 FNL1.0°×1.0°资料对高空槽影响下的黔东南地区降雹与非降雹型天气进行合成诊断分析, 针对黔东南的特殊地形, 计算了垂直螺旋度的局地变化及其分解项, 并得出新的诊断量, 结合其他动热力因子的分析表明: 降雹型天气大气呈上干下湿, 非降雹型整层水汽条件差异较小, 850 hpa 水汽辐合强度小于降雹型天气. 降雹型螺旋度整层为正值, 非降雹型螺旋度在较低层出现较小正值, 中上层小于零. 降雹型 700 hpa 垂直螺旋度通量散度在降雹前出现闭合的大值区. 湿螺旋度在两种类型天气中均为下层负值, 高层正值, 降雹型湿螺旋度上层与下层之间梯度较非降雹型大.

关键词: 高空槽; 黔东南; 垂直螺旋度通量散度; 冰雹; 合成诊断

中图分类号: S427

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2018)06-0074-10

冰雹天气是黔东南春季常见的一种灾害性天气. 张芳华等^[1]对我国各地区的冰雹时空分布特征进行了研究, 表明我国南部地区的降雹日主要集中在 2—4 月, 且时间主要出现在午后及傍晚. 杨帆等^[2]等、熊伟等^[3]通过对雷达回波特征分析, 发现冰雹产生与 VIL 具有一定的相关性. 石宏辉等^[4]、顾欣等^[5]研究表明冰雹事件的集中期和集中度具有反向变化特征. 李照荣等^[6]指出在高大复杂地形下容易出现冰雹天气. IPCC 报告^[7]中指出, 在当今气候变化的背景下, 极端天气事件发生频率增加, 但冰雹事件发生的趋势并不清楚.

前人常用不同的诊断量对不同类型的天气进行探讨分析, 江文华等^[8]利用相对湿度、风等气象因子对重庆雾霾天气的成因进行了分析, 在强对流预报方面, 螺旋度是较好的动力诊断工具, 岳彩军等^[9-10]归纳了诊断上常用的几种螺旋度, 并指出螺旋度作为诊断量, 广泛应用于暴雪、暴雨、沙尘暴以及台风灾害性天气中, 并指出螺旋度可作为一种较好的工具应用于业务预报上. 尤红等^[11]在广东一次暴雨分析中指出, 暴雨雨区上空的垂直螺旋度呈上负下正的分布, 并且正负中心重叠在同一经纬度时, 降雨强度将增大. 冉令坤等^[12]引入了水汽垂直螺旋度 $\frac{\omega}{\rho} \nabla \times (q \vec{V})$, 分析得出水汽垂直螺旋度对降水系统的位置和未来的发展具有良好的指示作用. 杨帅等^[13]将水汽垂直螺旋度扩展到“桑拿天”的应用中.

从前人的研究成果中发现, 螺旋度在其他类型天气诊断中应用较多, 在冰雹方面的应用较少. 由于黔东南地区地形复杂, 冰雹的突发性和局地性更强、危害性更大等特征, 文中分别对降雹与非降雹型天气发生前的螺旋度及其他动热力因子进行对比诊断, 从而分析找出两种类型天气发生前环境场的差异, 为该地区对流天气的冰雹预报提供相关依据.

① 收稿日期: 2016-03-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(91537214).

作者简介: 蒋 瑛(1987-), 女, 硕士, 主要从事中尺度天气学的研究.

通信作者: 朱克云, 教授.

1 资料与方法

文中所用资料为 2013—2015 年 3—4 月份的自动站逐小时降水资料, FNL $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$ 再分析资料. 利用天气学诊断方法, 由于考虑到冰雹天气发生时, 地面辐合上升作用比其他对流天气强, 再加之黔东南的特殊山地形对气流的抬升作用, 因此螺旋度的诊断不同于其他地区的是在速度量级上将垂直速度有关的项的作用放大, 在完全螺旋度的分解项中只考虑垂直螺旋度, 并计算其局地变化项, 从而得出新的诊断量—垂直水汽螺旋度 qh_z , 局地变化的分解项, 即垂直螺旋度通量散度项 $q \nabla \cdot \left(-\frac{1}{\rho g} \omega \xi_{xy} \vec{V} \right)$, 利用各种诊断因子及垂直螺旋度局地变化的分解项, 分别对黔东南地区在高空槽影响下的降雹与非降雹型天气动力及热力特征进行诊断, 并对降雹型与非降雹型两种类型天气个例采用静态合成分析法, 以在强对流天气发生前的环境场中剔除偶然性, 保留共性, 对比在不同性质降水(固态与液态)的对流天气发生前各种物理量的平均场的分布及变化情况.

贵州地区在青藏高原东部高空槽影响下, 强对流天气时常发生, 且主要集中在春季^[14]. 分别选取黔东南地区 2013—2015 年在 500 hpa 东移的高空槽影响下春季 3—4 月份的 6 次典型的降雹过程(2013 年 3 月 12 日、2013 年 3 月 19 日、2013 年 3 月 22 日、2014 年 3 月 19 日、2014 年 3 月 20 日、2015 年 4 月 19 日)和 3 次无降雹过程(2015 年 3 月 4 日、2015 年 3 月 22 日、2015 年 3 月 25 日)的个例, 将其分为降雹型和非降雹型, 降雹个例与非降雹个例均出现了强对流, 且出现的月份都是贵州地区冰雹常发的 3、4 月, 但二者的区别为降雹个例均出现了明显的降雹过程, 且维持时间均在 20 min 以上, 大多出现时间为午后, 而非降雹个例则只出现了短时雷暴等强对流天气, 并未出现固态粒子降水. 对两种不同类型对流天气发生前的环境场进行诊断对比分析, 以得出冰雹发生前天气尺度及发生中尺度环境场的差异.

2 高空槽影响下的大尺度环流特征合成对比分析

中小尺度天气系统的发生发展受大尺度环境条件的影响, 大尺度环境条件对中小尺度系统既有制约又有促进作用.

图 1(a)为降雹型 200 hpa 高空环流场合成图, 可以看出, 急流有两个最大风速中心, 一个在内陆南部, 一个在东部海面上, 高空西南急流轴位于湖南、江西的中部地区, 风速约 60 m/s, 黔东南位于 200 hpa 高空急流最大风速轴的后方, 高空辐散, 有利于低空辐合的形成. 图 1(b)为非降雹型 200 hpa 高空环流场合成图, 可以看到, 急流轴只有一个风速核, 黔东南也位于急流轴的后部, 但高空急流轴的位置较图 1(a)偏北偏东, 在 28°N 以北, 最大风速区位于东海洋面, 且基本为西风急流, 风速接近 68 m/s.

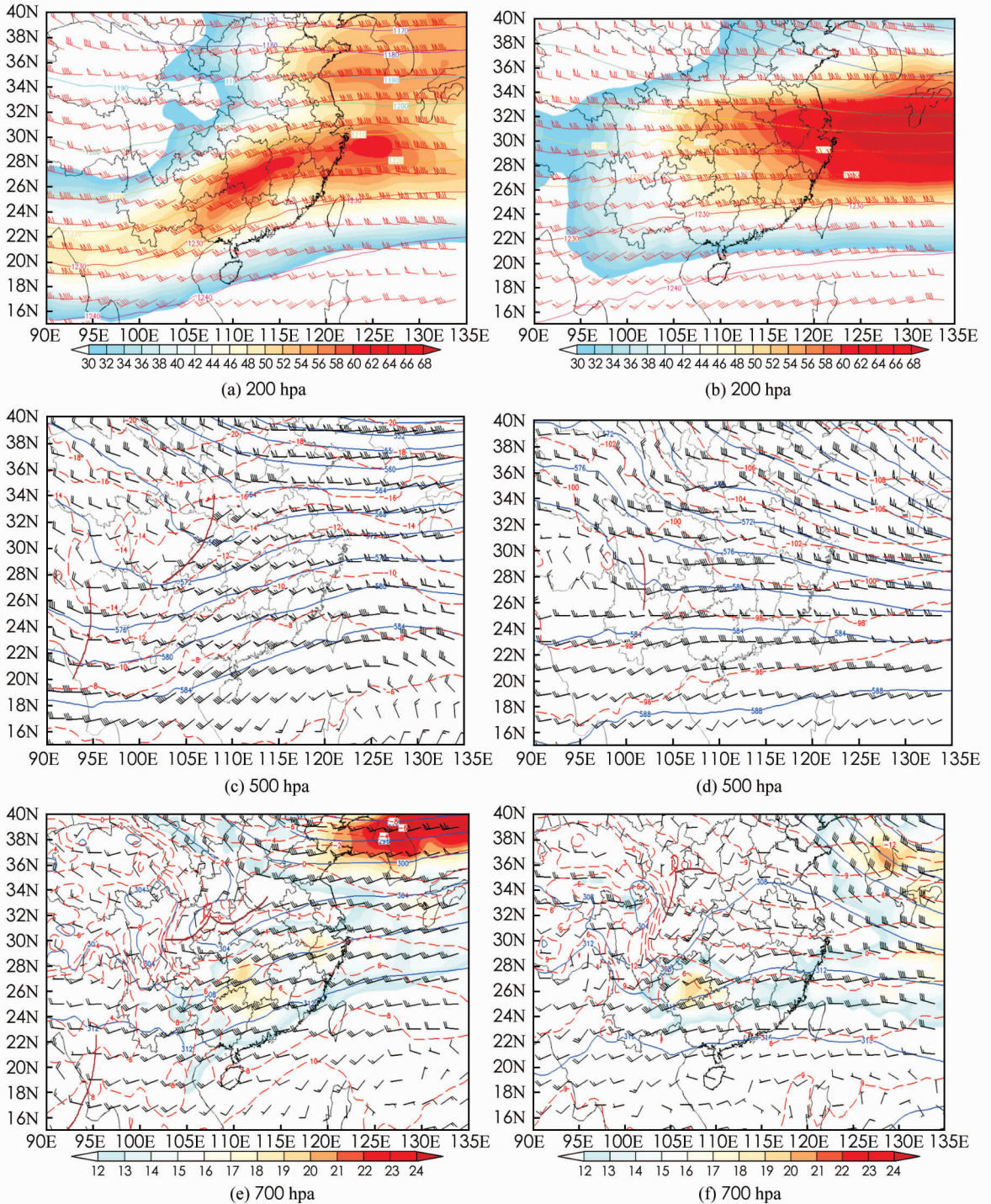
图 1(c)为降雹型 500 hpa 高空环流场合成图, 可以看到高原东部有一大槽, 槽后西北气流引导冷空气南下, 贵州地区受槽前西南气流控制, 南支槽波动明显, 槽前西南气流将孟湾水汽不断地输送至黔东南地区, 为强对流提供有利的水汽条件. 图 1(d)为非降雹型 500 hpa 高空环流场合成图, 与图 1(c)相比, 高空槽较降雹型高空槽明显变浅, 不利于槽后冷空气南下, 且南支槽较浅, 位于 90°E 以西, 水汽输送条件很弱.

图 1(e)为降雹型 700 hpa 环流场合成图, 可以看到在四川盆地东北部出现一个冷性的西南低涡, 低涡前部为一江淮切变线, 南部地区出现西南急流, 中低层暖湿气流输送较强, 与南下的冷空气交汇, 将有利于强对流天气的产生, 低空急流最大风速轴位于湖南西南部, 黔东南位于急流轴的左侧, 有风速的气旋式切变, 有利于上升气流的形成. 图 1(f)为非降雹型 700 hpa 环流场合成图, 与图 1(e)相比, 低涡位置偏北, 低空基本为西风急流, 且急流区域面积较窄, 水汽输送较弱, 最大风速轴位于黔东南上空. 两图中急流中心最大风速区风速均接近 18 m/s.

降雹型 850 hpa 环流场在盆地地区仍有一西南低涡, 东北部有一大槽, 槽后偏北气流与南支槽前的西南暖湿气流在江淮地区形成一冷式切变, 切变线以南的水汽准饱和区面积较大, 黔东南处在准饱和区与非饱和区交界的位置. 非降雹型 850 hpa 环流场, 黔东南南侧为一暖式切变, 位置较降雹型位置偏南, 南部水汽准饱和区面积变小, 部分准饱和区位于海上.

综上所述可知, 与非降雹型的平均环流场相比, 前 6 h 降雹型平均环流场有以下特征: 200 hpa 急流轴平均位置在 30°N 以南, 黔东南位于 200 hpa 高空急流最大风速轴的后方, 高空辐散, 且有西南急流;

500 hpa平均场上高原东部高空槽较深,南支槽位置东移且加深,700 hpa有西南低涡的存在,且黔东南位于低空西南急流轴的左侧,存在风速气旋式切变;850 hpa存在冷式切变,黔东南处在切变线以南的准饱和与非饱和交界区。



左图为降雹型高空槽影响下的降雹前(06UTC)大尺度环流形势合成图,右图为非降雹型高空槽影响下的降水发生前(06UTC)大尺度环流形势合成图。图1(a),(b)为200 hpa风场(风向杆,单位:m/s)、等高线(实线,单位:10 gpm)、高空急流(填色 ≥ 30 m/s);图1(c),(d)为500 hpa风场(风向杆)、等高线(蓝色实线)、等温线(红色长虚线,单位: $^{\circ}\text{C}$)、槽线(棕色实线);图1(e),(f)为700 hpa风场(风向杆)、等高线(蓝色实线)、等温线(红色长虚线)、槽线(棕色实线)、低空急流(填色 ≥ 12 m/s))

图1 高空槽影响下大尺度环流形势合成图

3 物理量诊断对比分析

3.1 水汽条件与固液态降水关系对比分析

充足的水汽供应是强对流天气发生和得以维持的必要条件,水汽凝结所释放的潜热也是强对流天气的主要能量之源.为探讨两种对流天气发生前水汽条件的差异,以下分别对水汽通量及其通量散度和相对湿度进行对比分析.

水汽通量的表达式:

$$\vec{F} = \vec{V}q \quad (1)$$

水汽通量散度的表达式:

$$M = \nabla \cdot \left(\frac{\vec{V}q}{g} \right) = \left(\frac{\partial}{\partial x}(uq/g) + \frac{\partial}{\partial y}(vq/g) \right) \quad (2)$$

由(2)可知,当 $M > 0$,水汽辐散; $M < 0$,水汽辐合.

图 2(a,c,e)为降雹型各层水汽通量、水汽通量散度和相对湿度的静态合成图,图 2(b,d,f)为非降雹型合成图.如图 2(a),2(b)所示,500 hpa 图上,降雹型水汽通量很小,水汽通量散度大于零,几乎无水汽的辐合,相对湿度约为 10%~20%,非降雹型黔东南南部水汽通量较大,并且有较弱的水汽辐合,强度约为 $2 \times 10^{-6} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hpa} \cdot \text{s})$,相对湿度为 30%~50%.由此可见,500 hpa 降雹型水汽条件要差于非降雹型,说明降雹型高层大气较干.

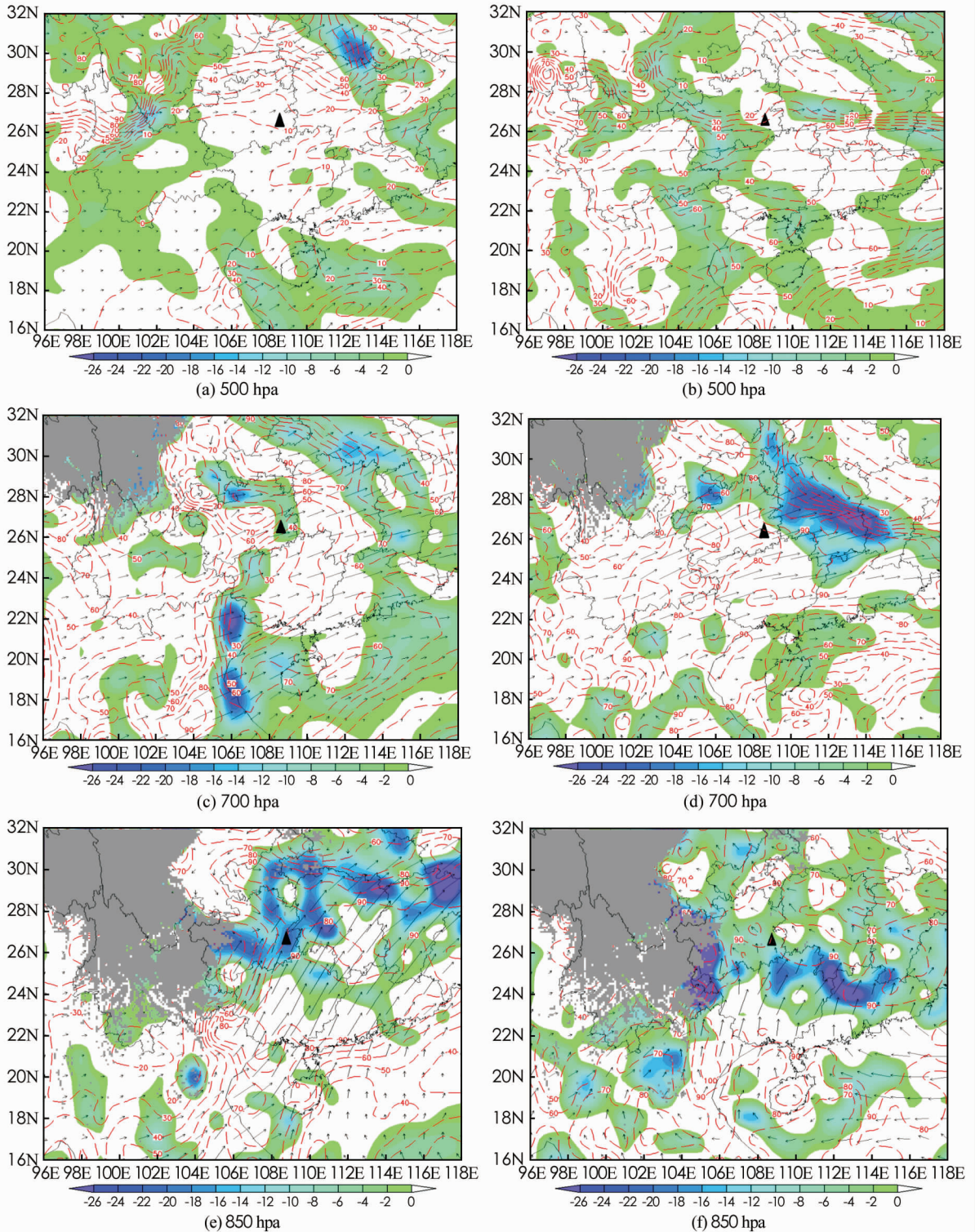
如图 2(c),(d)所示,700 hpa 黔东南地区降雹型与非降雹型的水汽条件也略有差异,降雹型 700 hpa 上有较弱的水汽辐合,强度约为 $2 \times 10^{-6} \sim 4 \times 10^{-6} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hpa} \cdot \text{s})$,相对湿度都在 50%~60%左右,非降雹型约为 70%,几乎无水汽的辐合.但值得注意的是,降雹型 700 hpa 图上,黔东南地区处于干湿区交界的偏湿区一侧,而非降雹型水汽图上则呈现大片湿区.

如图 2(e),(f)所示,850 hpa 图上黔东南地区降雹型的水汽通量大小明显大于非降雹型,其主要原因是由于在降雹型天气过程中,黔东南地区处在低空西南急流附近,如图 1(e).相对湿度差别不大,但黔东南西部的等相对湿度线梯度明显大于非降雹型,图 2(e)中出现非常强的西南水汽输送带,由水汽通量散度大小可以看出,黔东南地区呈现大片水汽辐合大值区,水汽辐合强度达到 $20 \times 10^{-6} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hpa} \cdot \text{s})$ 以上,而非降雹型水汽辐合大值区主要集中在黔东南以南,其值小于 $10 \times 10^{-6} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hpa} \cdot \text{s})$.

综上所述,降雹型天气在水汽条件上,呈现低层很湿且高层很干的状态,且水汽主要在 850 hpa 上累积,容易看出, $RH(850) - RH(700) - RH(500) > 20\%$,而非降雹型天气则整层水汽条件差别略小, $RH(850) - RH(700) - RH(500) < -20\%$,降雹型在 850 hpa 上则会出现明显水汽辐合,而非降雹型则无明显水汽辐合,其主要原因与环流背景中低空急流与对流天气发生区的相对位置有关.

3.2 径向风和垂直速度分布与降雹落区关系

径向风大小的分布与高空大风速区的配置有关,垂直上升气流是触发强对流天气的必要条件.采用精度为 $1^\circ \times 1^\circ$ 的地形与几次降雹和非降雹个例流场合成图进行叠加来探讨地形与风场配置之间的关系.由图 3 可以看出,黔东南地区位于山的东侧,对比图 3(a)与图 3(b)可以看出,06 时的合成图上,整层受偏南气流的控制,降雹型[图 3(a)]在未降雹前环境场 200 hpa 的径向速度最大值中心为 21 m/s,说明暖湿气流输送非常强盛,且在山体的西侧已开始出现冷空气入侵,而非降雹型[图 3(b)]径向速度最大值中心为 12 m/s,与降雹型相比偏南气流较弱,山体西侧无明显冷空气入侵.从黔东南地区与高空最大径向风速区的配置可以看到[图 3(a)-(d)],降雹型的降雹区与高空最大径向风速区对应得较好.从 12 时的合成图上可以看到,高层动量开始下传,中低层南风风速增大,图 3(c)中黔东南西侧低层开始出现偏北气流,说明冷空气已开始入侵低层,图 3(d)低层仍为偏南风控制.



左图为降雹型降雹前 6 h(06UTC)水汽通量(矢量箭头)、水汽通量散度[填色, 单位: $10^{-6} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hpa} \cdot \text{s})$]、相对湿度 RH (长虚线, 单位: %)合成场; 右图为非降雹型合成场, 灰色阴影为海拔高出各气压层的地形, 三角符号代表黔东南中心经纬度。

图 2 水汽通量、水汽通量散度及相对湿度合成图

从图 3 各图的垂直速度可以看出, 图 3(a), (c)中黔东南地区低层的上升气流成逐渐增大的趋势, 且黔东南地区上升气流强于非降雹型[如图 3(b), (d)]. 由图 3(c)可进一步看出, 东部山体的迎风侧降雹区上升气流可以向上延伸至 300 hpa 以上, 且强中心位于 400 hpa 左右, 风速大于 1.5 pa/s , 在这种情况下, 较强

的上升气流为冰雹天气的产生提供有利的促发机制. 而非降雹型黔东南区域上空一直维持微弱的上升气流, 且气流上冲的高度主要在 700 hpa 以下, 不利于强对流的发展. 值得注意的是, 若在西部高大山体的西侧逐渐形成较强的上升气流, 则高大山体的东侧不易形成较强的上升气流, 且东侧上升气流呈逐渐减弱的趋势, 即不利于黔东南地区强对流天气的产生[如图 3(b), (d)].

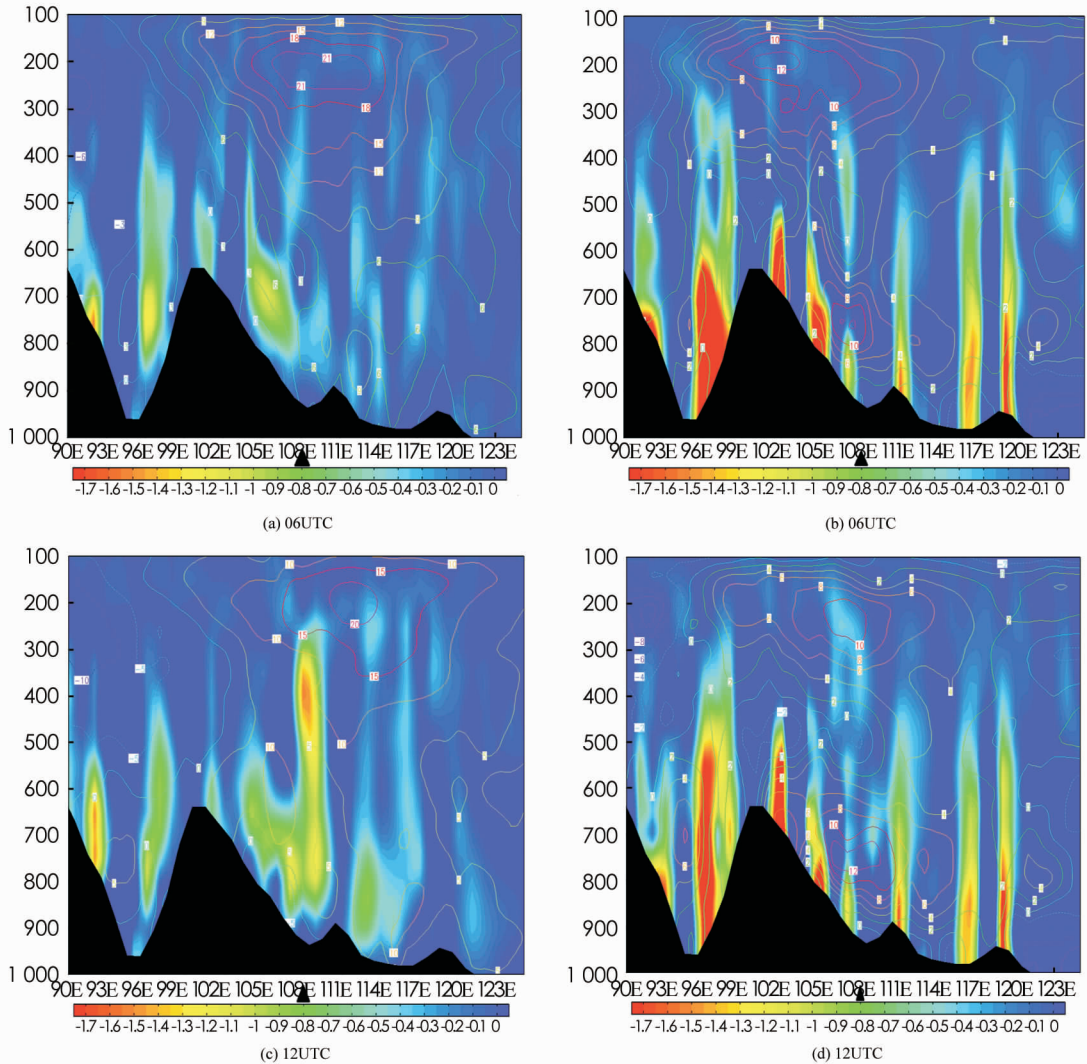


图 3(a), (c)为降雹型降雹前 6 h 和 12 h 径向风(等值线, 单位: m/s)与垂直速度(填色, 单位: pa/s)合成图, 阴影为地形; 图 3(b), (d)为非降雹型合成图, 图中的三角符号所指为黔东南中央子午线 108°E)

图 3 合成的径向风与垂直速度沿 27°N 垂直剖面图

3.3 垂直螺旋度及其局地变化分解项的合成诊断分析

螺旋度严格表达式^[8-9]:

$$H_0 = \iiint_{\tau} \vec{V} \cdot \nabla \times \vec{V} d\tau \tag{3}$$

通常在天气诊断上用的是单位体积的螺旋度^[8-9]:

$$\frac{H_0}{\iiint_{\tau} d\tau} = H = \vec{V} \cdot \nabla \times \vec{V} \tag{4}$$

方程展开:

$$H = \xi_{yz}u + \xi_{zx}v + \xi_{xy}w \tag{5}$$

其中, $\xi_{yz}, \xi_{zx}, \xi_{xy}$ 为 x, y, z 方向的相对涡度, H 为完全螺旋度.

垂直方向的螺旋度与系统的发展密切相关,是常用来预报强对流的产生发展的预报因子,因此在天气分析时,只取垂直方向的螺旋度:

$$h_z = \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \omega = - \frac{1}{\rho g} \omega \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (6)$$

得到 p 坐标系下垂直螺旋度的另一种形式:

$$h_z = - \frac{1}{\rho g} \omega \xi_{xy} \quad (7)$$

由表达式可知, h_z 的物理意义为在上升运动区 $-\omega > 0$, 若有 $\xi_{xy} > 0$, 正涡度辐合, $h_z > 0$, 则对流发展, 反之, $h_z < 0$, 则对流受到抑制.

通常强对流天气的产生和维持除了较强的上升气流外,需要充足的水汽供应,否则也难以发展,因此为了将水汽、螺旋度同时考虑到同一个变量中,王颖等在文献[15]中构造了一个诊断量“水汽螺旋度”(H 为完全螺旋度)^[14]:

$$M = qH \quad (8)$$

假设大气准地转,摩擦力为零,螺旋度守恒的情况下对时间求偏导,最后简化得到:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = q \nabla \cdot (H \vec{V}) - H \nabla \cdot (q \vec{V}) \quad (9)$$

公式后两项分别为文献[2]中对 H 进行中尺度量纲分析,略去小项,并用环境风相对风暴的移动速度代替 H 中的 u, v 分量,最后用螺旋度的简化形式:

$$H = (v - cy) \frac{\partial u}{\partial z} - (u - cx) \frac{\partial v}{\partial z} \quad (cx, cy \text{ 为风暴移动速度}) \quad (10)$$

显然,(10)式忽略了垂直通量对局地螺旋度的影响,由于黔东南以山地为主,气流除了受大气浮力和气流辐合抬升作用外,还受到地形的抬升作用,因此,在相似的天气背景下,垂直上升气流比地势平坦地区要强得多,因而螺旋度的垂直速度项 $\frac{WU}{L}$ 也显得非常重要.此时与前面所述不同的是,在研究黔东南地区强对流系统发展动力机制中,对方程(9)做了一定的改动,参考文献[14]中构建诊断量的方式,此处只考虑垂直方向的速度以及涡度乘积的局地变化,构建新的诊断量——“垂直水汽螺旋度”,即: $M_z = qh_z$, 进而分析 M_z 的局地变化各项在冰雹发生前要素场的分布情况, M_z 表达式变为

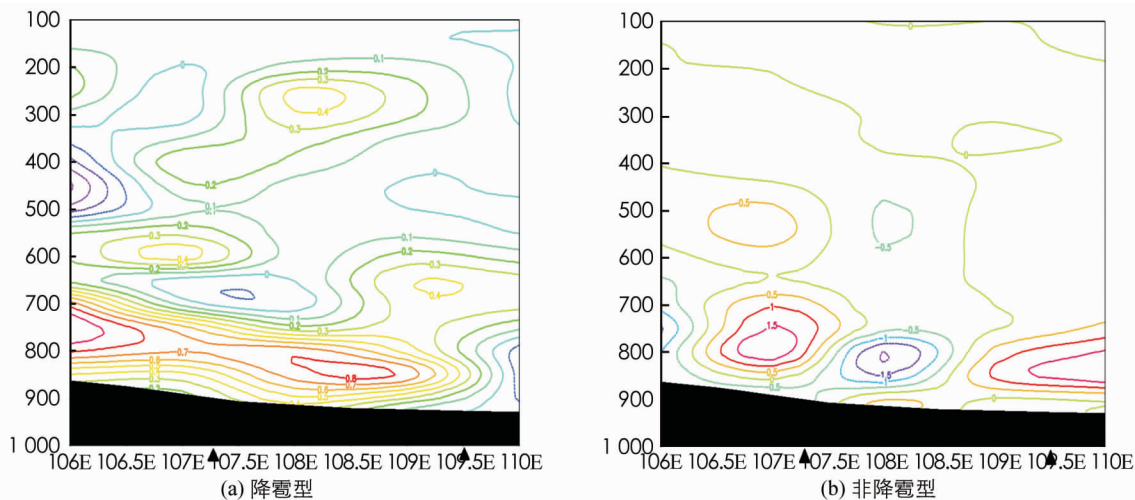
$$M_z = -q \vec{k} \cdot \vec{V} \cdot (\vec{k} \cdot \nabla \times \vec{V}) = -q \frac{1}{\rho g} \omega \xi_{xy} \quad (11)$$

同时,垂直水汽螺旋度局地变化转化为

$$\frac{\partial M_z}{\partial t} = q \nabla \cdot (h_z \vec{V}) - h_z \nabla \cdot (q \vec{V}) = q \nabla \cdot \left(- \frac{1}{\rho g} \omega \xi_{xy} \vec{V} \right) - \left(- \frac{1}{\rho g} \omega \xi_{xy} \right) \nabla \cdot (q \vec{V}) \quad (12)$$

将(12)式第一项①为得出的新的诊断量命名为垂直螺旋度通量散度项,不同于其他文献的是,此处用垂直螺旋度替代完全螺旋度中的大项即第(10)式.第二项②为湿螺旋度项,物理意义很明确,即第一项对水汽垂直螺旋度局地变化的贡献为正,即垂直螺旋度通量散度正值越大, $\frac{\partial M_z}{\partial t}$ 越大,越有利于对流风暴的发展,反之,则对流受到抑制;第二项对垂直水汽螺旋度局地变化的贡献为负,即湿螺旋度散度项负值越大, $\frac{\partial M_z}{\partial t}$ 越大,反之亦然.下面将利用垂直螺旋度以及(12)式右端的两项对黔东南多个强冰雹与无降雹过程进行合成诊断对比分析,以对其在此地区的适用性进行检验.

分别将降雹型与非降雹型的多个个例的垂直螺旋度场沿 $25^\circ\text{N} - 28^\circ\text{N}$ 纬向平均进行合成,分析可以看出[图 4(a), (b)],降雹型中整层螺旋度基本都为正值,且低层正的垂直螺旋度均超过 $0.3 \times 10^{-7} \text{ hpa/s}^2$, 最大值中心对应 108.5°E ,且大于 $0.8 \times 10^{-7} \text{ hpa/s}^2$,同时垂直螺旋较大正值区正对应强冰雹的发生区.非降雹型的垂直螺旋度在 400 hpa 均为负值,只在近地层出现较小的正值,400 hpa 以上层次基本趋于 0,800 hpa 最大负值中心超过 $1.5 \times 10^{-7} \text{ hpa/s}^2$,由此可见,降雹区对应低层的垂直螺旋度为正的较大值区,而非降雹型低层垂直螺旋度基本为负值.



单位: 10^{-7} hpa/s², 标符所指为黔东南经度范围.

图 4 垂直螺旋度沿 25°N—28°N 纬向平均垂直剖面合成图

图 5(c), (d) 为黔东南地区 700 hpa 降雹型与非降雹型的垂直螺旋度通量散度分布图, 如图 5(c) 所示, 降雹型 700 hpa 出现一个明显的大值中心, 中心强度达 0.35×10^{-10} hpa/s³ 以上, 非降雹型在 700 hpa 合成图上的大部分区域的垂直螺旋度通量散度均小于零 [图 5(d)]. 经对比可知, 图 5(c) 中黔东南地区垂直螺旋度通量散度的大值区与图 5(a), (b) 的大值中心的平均位置对应较好, 由此说明, 700 hpa 垂直螺旋度通量散度对黔东南地区冰雹天气的指示作用较好.

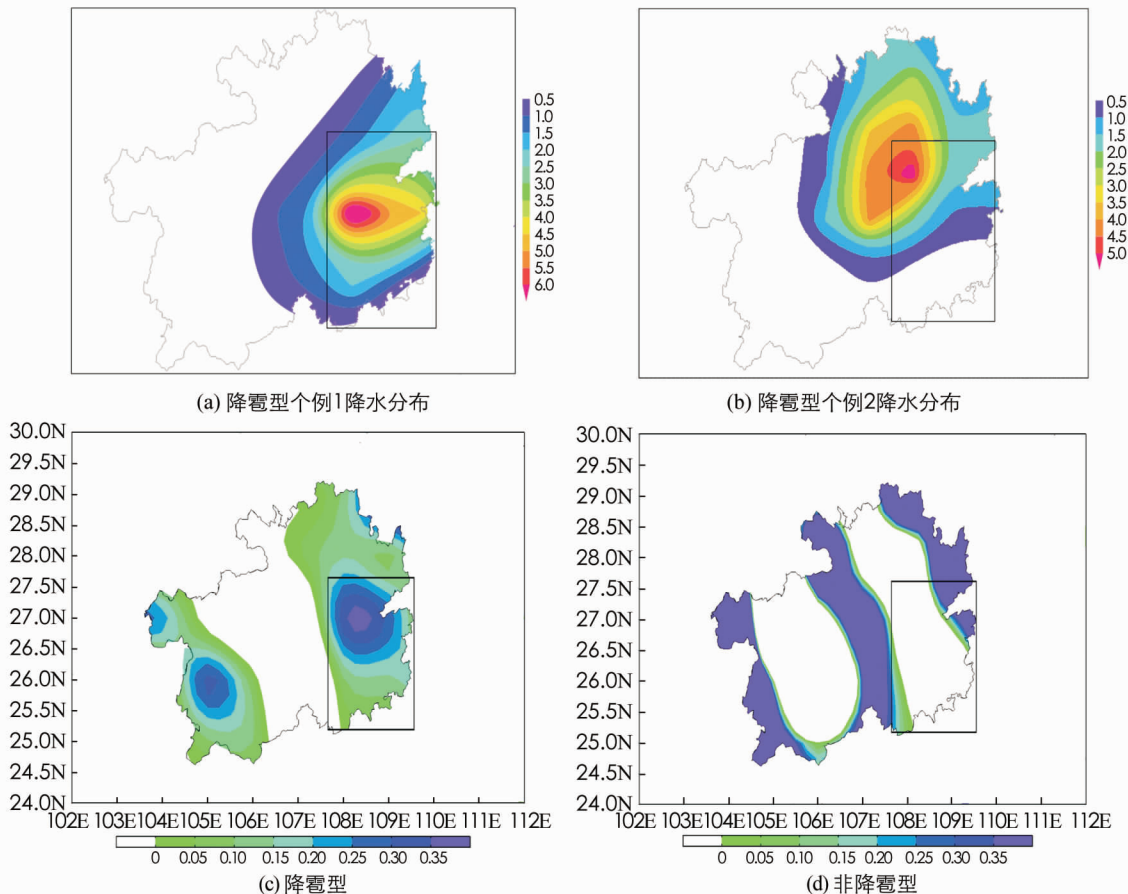


图 5 (a), (b) 为黔东南两个实况降雹个例中的地面 1 h 降水分布图 (单位: mm);

(c), (d) 为降雹个例中降雹型与非降雹型对流天气发生前 700hpa 垂直螺旋度通量散度合成图

(填色: ≥ 0 , 单位: 10^{-10} hpa/s³)

湿螺旋度通常用来判断对流系统降水的强弱^[16],由图 6(a),(b)可知,降雹型黔东南地区低层出现较强的负值为 $-0.8 \times 10^{-10} \text{ hpa/s}^3$,高层出现正值为 $0.6 \times 10^{-10} \text{ hpa/s}^3$,上下层湿螺旋度通量值之间的梯度大于非降雹型.由此说明在降雹前,低层有较强的水汽辐合,高层为较强的水汽辐散.非降雹型低层的负值较小为 $-0.3 \times 10^{-10} \text{ hpa/s}^3$,高层的正值也比降雹型小,说明高低层水汽辐散辐合的程度比降雹型弱,进而表明,低层水汽辐合与高层水汽辐散对强对流发展具有重要作用.

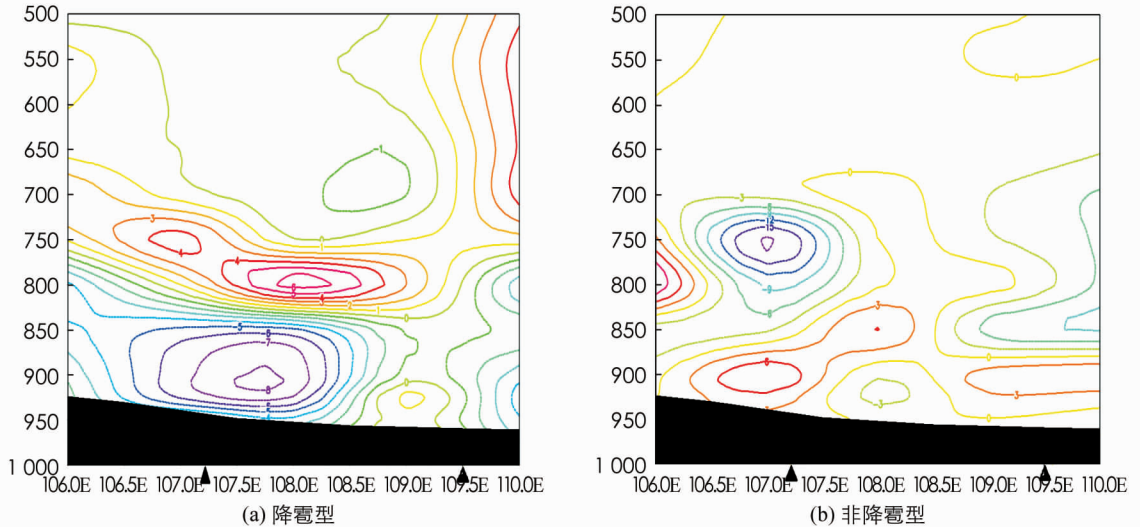


图 6 湿螺旋度沿 $25^{\circ}\text{N}-28^{\circ}\text{N}$ 纬向平均垂直剖面合成图
(单位: 10^{-10} hpa/s^3 , 标符所指为黔东南经度范围)

4 结 论

1) 降雹型天气在水汽条件上为上干下湿,水汽在 700 hpa 以下积累,850 hpa 水汽辐合明显,非降雹型则整层大气水汽条件差异较小,且低层水汽辐合强度小于降雹型天气.

2) 降雹型螺旋度整层出现正值,非降雹型螺旋度只在较低层出现较小的正值,中上层值基本小于零,高层接近零.

3) 700 hpa 垂直螺旋度通量散度大小对黔东南是否降雹具有一定的指示作用,降雹型的 700 hpa 垂直螺旋度通量散度在降雹前出现闭合的大值区.

4) 湿螺旋度在降雹型中呈现下层较大的负值,高层较大的正值,非降雹型湿螺旋度上下层之间的梯度较小.

参考文献:

- [1] 张芳华,高 辉. 中国冰雹日数的时空分布特征 [J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(5): 688-693.
- [2] 杨 帆,白 慧,李路长. 黔东南州一次冰雹天气过程环境场与雷达特征分析 [J]. 贵州气象, 2013, 37(6): 16-20.
- [3] 熊 伟,周明飞,周永水,等. 雷达资料对贵州春季冰雹云识别初探 [J]. 贵州气象, 2011, 35(2): 13-17.
- [4] 石宏辉,顾 欣,田菊萍,等. 黔东南冰雹事件年内非均匀性特征分析 [J]. 高原山地气象研究, 2009, 29(S1): 78-82.
- [5] 顾 欣,田菊萍,张艳梅,等. 黔东南冰雹集中期和集中度气候特征分析 [J]. 热带地理, 2010, 30(3): 278-283.
- [6] 李照荣,丁瑞金,董安祥,等. 西北地区冰雹分布特征 [J]. 气象科技, 2005, 33(2): 161-166.
- [7] SOLOMAN S, QIN D, MANNING M, et al. Climate change 2007: The physical science basis [R]. IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 966.
- [8] 江文华,刘 德,陈道劲. 重庆主城区霾天气特征及气象影响因子分析 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2016, 41(5): 134-138.
- [9] 岳彩军,寿亦宣,寿绍文,等. 我国螺旋度的研究及应用 [J]. 高原气象, 2006, 25(4): 754-762.
- [10] 岳彩军,郭 煜,寿绍文,等. 螺旋度在我国多种灾害性天气研究中的应用进展 [J]. 暴雨灾害, 2011, 30(2):

107—116.

- [11] 尤 红, 姜丽萍, 彭 端, 等. 2005年6月广东特大暴雨垂直螺旋度分析 [J]. 气象, 2007, 33(4): 71—76.
- [12] 冉令坤, 楚艳丽. 强降水过程中垂直螺旋度和散度通量及其拓展形式的诊断分析 [J]. 物理学报, 2009, 58(11): 8094—8106.
- [13] 杨 帅, 陈 斌, 高守亭. 水汽螺旋度和热力螺旋度在华北强“桑拿天”过程中的分析及应用 [J]. 地球物理学报, 2013, 56(7): 2185—2194.
- [14] 周永水, 汪 超. 贵州省冰雹的时空分布特征 [J]. 贵州气象, 2009, 33(6): 9—11.
- [15] 王 颖, 寿绍文, 周 军. 水汽螺旋度及其在一次江淮暴雨分析中的应用 [J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(1): 101—106.
- [16] 黄楚惠, 李国平, 朱金龙, 等. 一次高原低涡东移引发四川盆地强降水的湿螺旋度分析 [J]. 高原气象, 2011, 30(6): 1427—1434.

On Hail Weather Local Vertical Spiral Diagnostic Analysis in Qiandongnan Caused by the Upper Trough Line Diagnosis Analysis

JIANG Ying^{1,5}, ZHU Ke-yun¹,
ZHANG Jie², TANG Xian³, LIN Wen-hua⁴

1. Key Laboratory of Sichuan Province, College of atmospheric science, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China;
2. Air Force Meteorological Center of Chengdu Military Area Command, Chengdu 610041, China;
3. Public meteorological service center of China Meteorological administration, Beijing 100081, China;
4. Fanchenggang Meteorological Bureau in Guangxi Province, Fanchenggang Guangxi 538001, China;
5. 96215troops, Liuzhou Guangxi 545616, China

Abstract: The automatic station hourly precipitation data and FNL1.0°×1.0° data under the influence of the upper trough in the southeast of Guizhou Province hail and non falling hail weather for synthetic diagnosis analysis. In view of the special terrain of Qiandongnan, the local variation of the vertical and its decomposition, and the new diagnostic quantity, and the analysis of the other dynamic factors are obtained; Hail type atmospheric weather is dry wet, non drop hail whole layer of water vapor condition difference is smaller, 850hPa water vapor convergence intensity less than falling hail weather. Hail spiral of the whole layer is positive, non hail type helicity in lower layer appears less positive, less than zero in the upper. The high value of hail type 700hPa vertical helicity flux divergence in the closed before the hail. Moisture helicity in two types of weather are the lower negative and high positive, hail wet type helicity between the upper and lower gradient is non hail type.

Key words: upper trough; Qiandongnan; vertical helical flux divergence; hail; synthetic diagnosis

责任编辑 周仁惠