

文章编号:2096-5389(2018)04-0049-06

雅安市短时强降水天气模型及其物理指标特征

邱 双, 王俊驿, 吴亚平, 高文良, 原桂英

(四川省雅安市气象局, 四川 雅安 625000)

摘 要:该文利用 2010—2014 年雅安市 381 个区域自动站雨量数据、Micaps 实况资料以及 NCEP 再分析资料,选取这 5 a 典型的 53 个个例对其进行环流形势分型,结果表明:①影响雅安市短时强降水的环流形势主要包括:高原切变型、高空槽型、低涡型、副高控制型、两高切变型、台风外围型 7 类。其中切变型占有个例的 43%,对典型个例分析其高低空天气系统的配置,最后将环流形势的主要特征归纳为 3 大类型:高原切变型、两高切变型以及副高控制型。进一步分析其高低空配置,建立 3 种主要类型的天气模型。②利用 NCEP 再分析资料计算强降水发生时物理量的阈值,统计分析超过短时强降水样本 60% 以上的各个物理量阈值。在热力和水汽条件方面,高空切变型和两高切变型普遍比副高控制型较好;动力方面,前两种类型动力参数指示意义较好,以系统性辐合抬升为主,而第 3 种类型主要是受低层偏东风的扰动和地形的作用引起的局地抬升作用。

关键词:环流形势;天气模型;物理量阈值

中图分类号:P468.0+24 **文献标识码:**B

Short – duration precipitation weather models and their physical index characteristics in Ya’an

QIU Shuang, WANG Junyi, WU Yaping, GAO Wenliang, YUAN Guiying

(Ya’an Meteorological Bureau, Ya’an 625000, China)

Abstract:2010—2014 381 regional automatic station precipitation data, micaps weather graphs, and NCEP reanalysis data were used, 53 cases in the the five years were selected to divide generation circulation types. The results show that ①generation circulation types mainly includes: Plateau shear type, upper trough type, low vortex type, the subtropical high controlling type, shearing field type between two high, typhoon periphery type projects. Shear accounts for 43% of all proportion and its high and low weather system configuration were analyzed, and finally, the main characteristic of circulation were divided into three types: plateau shear line type, shearing field type between two high, sub – high controlling type. Three types of weather models were established. ②the NCEP reanalysis data was used to calculate the threshold value of physical quantity when heavy precipitation occurs, and count the various physical threshold values exceeding 60% the short – duration heavy precipitation samples. In the Heat and moisture conditions, plateau shear line type, shearing field type between two high are generally better than the subtropical high controlling type; in the power condition, dynamic parameters indicating significance of the first two kinds is better, and their convergence lifting is systemic, and the third is mainly by the low – level easterly wind disturbance caused by the action of atmospheric and landforms arose.

Key words:circulation situation; weather model; physical threshold

收稿日期:2018-01-10

第一作者简介:邱双(1990—),女,工程师,主要从事天气预报工作,E-mail:1058234558@qq.com。

资助项目:国家自然科学基金项目(91332715)。

1 引言

本文研究的目的是寻求雅安市短历时强降水天气的预报方法,以往的研究主要对区域性的暴雨关注较多,对短历时强降水的研究较少,但短历时强降水天气出现频繁,虽然时间短,但是降水量较大且比较集中,雅安处在盆地与山区的交界处,具有迎风坡、喇叭口的特殊地形^[1],降水较多,且山区地段容易出现滑坡、泥石流、山洪等地质灾害。由于这种局地强降水分布极不均匀,属于中小尺度范畴的降水,预报的准确率较低,容易造成漏报,强度、落区和时段也不易把握。国内对短时强降水开展了很多研究^[2-9],但是仅用于当地,因此为了提高雅安短历时强降水天气的预报准确率,整体推进天气预报气象服务的总体社会效益,有必要加强这方面的研究。

2 资料选取

本文数据主要取自:①雅安市8个市县区级的区域自动站,雅安市自2010年建了130个区域自动站,发展到2014年全市已有381个站点。观测仪器为自动站翻斗雨量传感器。由于2010年之前雅安市区域自动站数量较少且数据传输不够稳定,不能很好地反映雅安的降水特征,为保证自动站雨量数据的准确性和可用性,本文选取2010—2014年期间自动站雨量数据进行分析。②Micaps高低空以及地面实况资料、NCEP再分析资料。

3 短历时强降水天气特征

雅安位于盆地与高原的交界地带,再加上其特殊的青衣江河谷地形,导致雅安的短时强降水具有明显的日变化,较高的降水频次和降水强度均主要集中在夜间^[1],夜雨特征明显。为了分析雅安短时强降水的强度系列分布,本文针对这53个个例,对其最大小时雨强以及平均小时雨强作了端须图的分析,从图1可以看出雅安的最大小时雨强主要集中在40~68 mm之间,其中最大小时雨强的极值达到了90 mm左右;而近5 a雅安的短时强降水平均

小时雨强集中在26~32 mm之间,一半以上超过了28 mm,极值达到了38 mm左右。分析表明受不同环流形势的影响,降雨强度分布区间较广,且降雨强度较大。

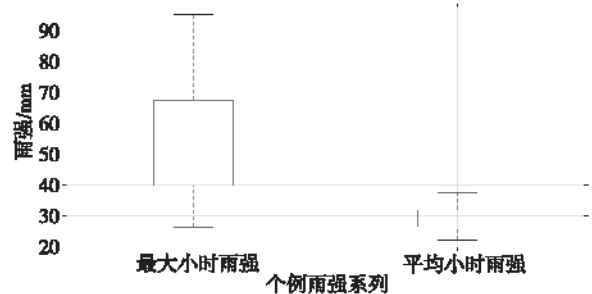


图1 雅安市53个短时强降水个例雨强端须图

Fig. 1 The Box-whisker plots of 53 short-duration heavy precipitation Cases in Ya'an City

4 短历时强降水天气类型

短历时强降水是强对流天气中出现最频繁的一类,分析雅安市从2010—2014年,共出现了227个短历时强降水日,且总体趋势是随着时间逐渐递增,其中发生次数最多出现在2013年,且出现月份主要在7、8月份。本文选取了这5 a典型的53个个例对其进行环流形势分型,结果显示,影响雅安市短时强降水的环流形势主要包括(表1):高原切变型、高空槽型、低涡型、副高控制型、两高切变型、台风外围型。可以看出切变型是雅安市出现短历时强降水的环流形势中次数最多的一种类型,占所有比例中的43%,其次则是低涡型,主要是指低层的西南涡,占总的15%。由于雅安市位于青藏高原东麓,受高原大地形的绕流和摩擦左右,容易在本地激发出西南涡,产生短历时强降水。副高控制型以及两高切变型占11%,主要出现在7、8月份,副高西伸北抬,与受高原的加热作用发展的青藏高压之间易形成切变线,而雅安经常处于两高切变之间,当青藏高压东移与副高合并时,雅安又受整个副高控制。而台风外围型,包括台风北上外围偏东气流和东风波倒槽偏东气流。5 a中此类型占7%,由此可知偏东气流造成的短历时强降水在所有环流形势中较少。

表1 2010—2014年典型短历时强降水环流形势

Tab. 1 The Typical generation Circulation types of short-duration heavy precipitation from 2010 to 2014

天气形势	高原切变型	高空槽型	低涡型	副高控制型	两高切变型	台风外围型
出现次数/次	23	6	8	6	6	4
百分率/%	43	11	15	11	11	7

为了研究雅安市出现短时强降水时主要环流形势的特征,我们对典型个例,逐一分析高低空天

气系统的配置,最后将环流形势的主要特征归纳为3大类型:高原切变型(此处将低涡、高空槽与切变

型归为一类)、两高切变型,以及副高控制型,并初步建立起天气模型。

4.1 高原切变型

切变型是雅安出现短历时强降水的环流形势中次数最多的一种类型,通常高空有冷平流,低空有暖平流,属于强对流天气中的斜压锋生类,是雅安最容易出现强对流天气的有利形势。图2(a)为高原切变型的环流形势,主要为东高西低的环流形势。在青藏高原的东部有切变线或者低涡存在,新疆和青海交界有温度槽,其前侧有明显的负变温;低层700 hPa盆地内的偏南风逐渐增强,且从西南风逐渐转为南风(或南风风量加大),风速(西昌—宜宾—温江)达到4~10 m/s,盆地东部的偏南风(有时可达急流标准)较盆地西部风大,有明显的风速的气旋式切变。盆地内一致的偏南风与从内蒙—甘肃的偏北风,在甘肃南部(合作、兰州、平凉、武都)形成切变线。切变线后侧的偏北风较强,达到4~12 m/s左右,并携带北方的冷空气南下,在未来12~24小时内影响雅安。850 hPa盆地东部偏南风的南风分量减弱,东风分量逐渐增强,并在盆地东部形成倒槽,温江站也从前期的东南风逐渐转为倒槽前部偏东风或东北风;地面图上,冷锋位于河套中部到甘肃南部,四川仍受热低压的控制。水汽条件方面,从盆地南部到甘肃南部有明显的湿舌,温江站湿度条件较好,这种类型的水汽源地主要来自南海,受副高西南侧偏东气流引导,偏东暖湿气流进入雅安的喇叭口地形后,遇两侧高山阻挡突然收缩,水平辐合抬升作用明显增大,有利于增强在雅安的积云对流。

4.2 两高切变型

图2b这种类型主要出现在盛夏季节,一般在7—8月份,副热带高压逐渐西伸北抬至盆地的东部,而青藏高压也逐渐向东移动,青藏高压脊线位置偏北,呈西北东南向,约35°N左右,在川西高原的西北部存在切变线,在内蒙—甘肃—青海的西北部,约100°E附近有明显的温度槽存在,其前侧有大片的负变温区,−2~−6℃之间;700 hPa切变线更倾向于横切变,呈东北—西南向,影响陕西南部到西南部,切变线后部为东北风(6~8 m/s),伴随有大片的负变温区为−3~−8℃,东北风携带冷空气南下影响我省,而盆地内主要受一致的西南风的影响,达到显著气流的标准,风速在6~12 m/s之间;水汽来源主要有两条,一条来自孟湾,另一条经副高588外围的偏南气流的引导影响盆地;由于切变线呈东北西南向,且700 hPa风场偏西风分量较大,

因此湿舌也是明显的由盆地的西南向东北方向延伸。850 hPa在陕西的中南部伴随有低涡或者切变线,其后部也有明显的冷空气,在盆地东北部到中部也有明显的倒槽,成都为东北偏东风控制,有利于河套的冷空气回流影响雅安,暖脊从盆地东北部向盆地西南部延伸。地面图上,冷锋从河套中部到甘肃南部,四川仍受热低压的控制。

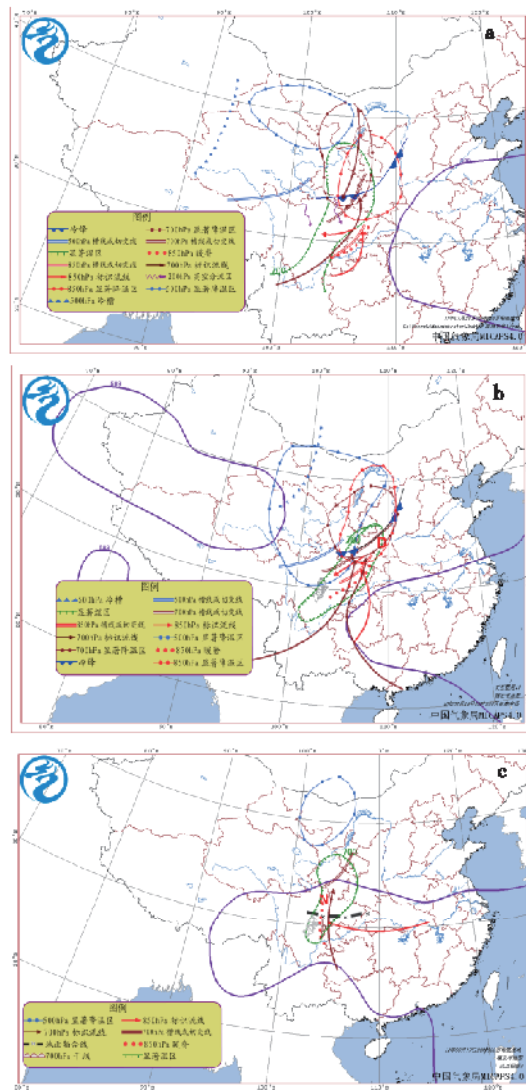


图2 3类环流模型(a)高原切变型、
(b)两高切变型、(c)副高控制型

Fig. 2 Three kinds of circulation models
(a) Plateau shear line type, (b) shearing field type
between two high, (c) sub-high controlling type

4.3 副高控制型

图2c这种类型属于有利于出现强对流天气形势中的准正压类,但在雅安出现的次数较少;这种形势下,南压高压中心通常位于盆地的上空,500 hPa上副高588西伸北抬到高原的东部,盆地内受反气旋控制;低层700 hPa从攀西地区—甘肃南部为一致

的偏南风,宁夏—甘肃南部有竖切变线,受副高的阻挡,稳定少动,其切变线南侧温江站点逐渐由西南风转为南风控制,但风速不大,在 $2\sim 8\text{ m/s}$ 左右;850 hPa盆地内多为偏东风,或东南偏东风,在盆地西北部有暖中心,从西部沿山到盆地西南部有时有暖脊;从湿度条件看,湿区主要在西部沿山一带,有时在盆地西南部有干线存在;地面上没有冷空气的影响,雅安受热低压的控制,在盆地西部有地面辐合线;这种高空副高控制,且没有明显冷空气影响的环流形势下,此类短时强降水主要是在一定的能量和水汽条件下,受低层偏东风的扰动、干线、地面辐合线以及地形的抬升作用引起的。

5 物理量特征

利用NCEP再分析资料分析强降水发生时各物理量的阈值。由图可知,超过80%样本概率的物理量主要包括大气整层可降水量pwt、A指数、850 hPa和700 hPa比湿、850 hPa和700 hPa相对湿度、850 hPa露点温度,表明这些反映大气水汽条件的物理量参数对强降水的发生具有明显的指示意义,说明水汽是决定能否出现短时强降水天气的基础条件。而热力不稳定参数中,用于反映对流层中低层湿热条件的K指数、 $\theta_{se500\text{ hPa}}$ 、 $\theta_{se850\text{ hPa}}$ 、 $\theta_{se700\text{ hPa}}$ 以及 θ_{se850} 与 $\theta_{se500\text{ hPa}}$ 之差均在70%以上,表明与水汽相关的湿热指标,也可以很好地用于指示短时强降水。但反映大气垂直温度递减率的 $T500-T850\geq 23\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的占65%,表明短时强降水天气对该指标要求不需要很大,大气层结不需要太强的不稳定。动力条件方面低层850 hPa散度小于0的占70%,表明低层的辐合触发对于短时强降水的触发有一定的指示意义。而强降水常发生于垂直风切变较弱的环境下,与大风、冰雹等强对流天气差异较大,但低层通常伴有低空急流或者显著气流,雅安位于盆地与高原的交界地带,受地形的摩擦作用,低空风达到急流的标准较少,通过统计分析可知,短时强降水发生时 $0\sim 3\text{ km}$ 风场通常伴有 $3\sim 6\text{ m/s}$ 的垂直风切变。

另外有冷空气参与时,甘肃南部站点的负变温对雅安短时强降水也有一定的指示意义(图略),700 hPa甘肃南部的合作、兰州、平凉、武都在过去24 h内至少有1站已经出现负变温,降水发生前12 h,武都有 $-1\sim -6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的负变温,温江站点 $2\sim -1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 占样本的82%,表明温江通常没有明显的负变温,冷空气主要集中在甘肃南部。而850 hPa武都和汉中也通常有 $-1\sim -14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的负变温,温江有 $-1\sim$

$-8\text{ }^{\circ}\text{C}$,占样本的45%,表明850 hPa温江站点已经有弱冷平流的侵入,冷暖空气的交汇,有利于对流天气的触发。

由于在不同的天气类型下,产生短时强降水的条件各不相同,下面具体对3种不同的天气模型的水汽参数、热力动力不稳定参数的平均值进行对比分析,归纳总结出不同形势各物理量参数的特征。

5.1 水汽参数

短时强降水属于强对流天气的一种,但对于水汽条件的要求比其他强对流天气高得多,因此代表水汽的参数,对短时强降水的发生具有很好的指示意义。此处所选水汽参数为:整层大气可降水量、700 hPa的比湿和水汽通量散度、850 hPa相对湿度。由于短时强降水的形成机制与高降水效率有关,因此不仅要求自身水汽条件较好,也需要有效的降水效率。通常暖云的降水效率要高于冷云,降水系统中的暖云层越厚,越有利于高降水效率的产生。因此本文还挑选了抬升凝结高度以及暖云层厚度,进行比较分析。通过对比发现,高原切变型以及两高切变型产生短时强降水时,比湿、相对湿度、水汽通量散度以及整层可降水量等水汽条件均较副高控制型更好。高原切变型700 hPa的水汽通量散度在 $-0.2\sim 1.8\text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}$ 之间、两高切变型在 $-0.2\sim -3\text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}$ 之间,而副高控制型只在 $2\sim 7.5\text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}$ 之间,由于受副高588的控制,中层盛行下沉气流,相比前两种高低空配置较差,动力条件相对较差,没有明显的系统性抬升,以分散性的对流为主,因此水汽辐合没有前两种类型明显。从700 hPa的比湿来看,高原切变的平均值达到 12 g/kg ,两高切变达到 13 g/kg ,而副高控制型在 11 g/kg 。低层850 hPa相

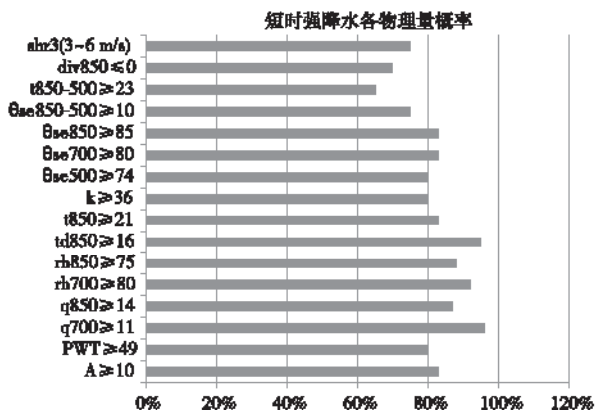


图3 涵盖60%以上概率短时强降水物理量指标

Fig. 3 The physical indicators of short-duration heavy precipitation exceeding 60% probability

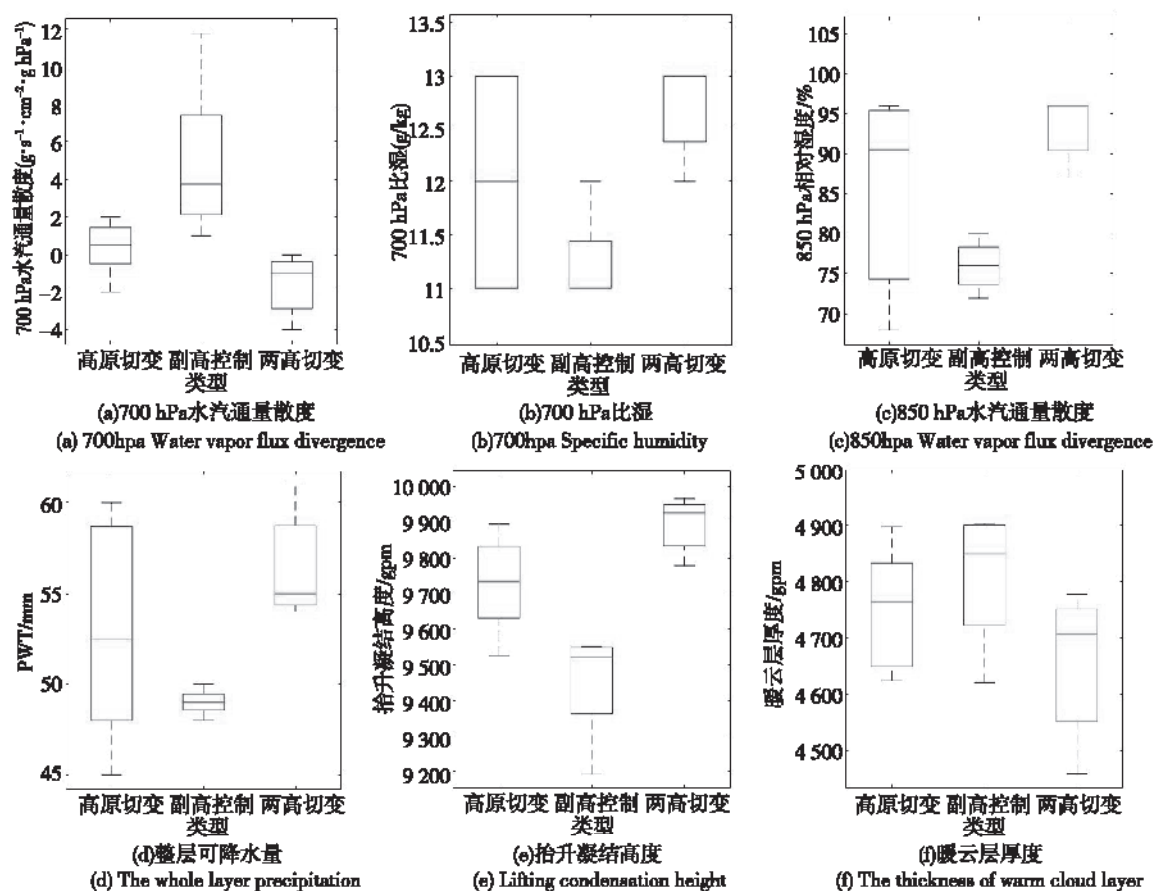


图4 水汽参数的端须图

Fig. 4 The Box-whisker plots of the Water vapor parameters

对湿度 50% 的样本在 90% 以上,两高切变接近 98%,而副高控制型只在 76% 左右。整层可降水量高原切变型在 48 ~ 58 mm 之间,两高切变达到了 55 ~ 58 mm,而副高控制型只在 48 ~ 49 mm 之间。降水效率方面,抬升凝结高度,除副高控制型在 9 400 ~ 9 500 gpm,其余均在 9 600 gpm 以下,水汽抬升凝结高度较低,有利于水汽的凝结。而副高控制型由于其 0 °C 层发展较高,所以暖云层厚度较前两种暖云层厚度大,其暖云层厚度在 4 720 ~ 4 900 gpm,而高原切变型和两高切变型暖云层厚度要略较小一些。由此可知,暖云层厚度在 4 550 gpm 以上,雅安市有利于出现短时强降水。

5.2 热力及动力不稳定参数

短时强降水的出现不仅需要充足的水汽条件,还需要大气层结不稳定、抬升运动(动力稳定度)。大气层结稳定度与温度、湿度的垂直分布廓线有关。而动力稳定度与流场的水平分布与垂直分布有关。但层结稳定度与动力稳定度并不是完全独立的,他们之间可以相互转换。在不同类型的天气形势下代表大气稳定度参数的物理量也有不同的

特征,下图为热力稳定度参数以及动力参数对比图,通过对比分析发现,与水汽相关性较高的不稳定参数如 K 指数、假相当位温、A 指数等,3 种类型与前面分析的水汽条件差别基本一致,高原切变型以及两高切变型较好,且相差不大,而副高控制型要比前两种略微差一些;但从 CAPE 值、500 ~ 850 hPa 的垂直温度递减率、以及 850 hPa 与 500 hPa 假相当位温差来看,由于副高的控制,下沉气流的绝热增温作用,低层 850 hPa 的温度和假相当位温要比前两种类型要大,而 3 种类型 500 hPa 温度相差不大,且副高控制型 500 hPa 水汽条件差,所以 500 hPa 假相当位温副高控制型更低,对应 500 hPa 与 850 hPa 差值大,同理,包含有 500 hPa 水汽条件的 A 指数也较前两种类型小。但从 CAPE 值看,在副高控制下,天气晴好,潜在的对流不稳定能量较前两种要大一些。通常强对流天气的发生发展需要大量能量的累积,大气低层的逆温层,对对流有一定的抑制作用,一旦抑制被突破,对流运动将得到充分的发展。雷雨顺(1986)认为,干暖盖往往是行星边界层现象,因此本文用 850 hPa 饱和能差温

度(表)来表示其干暖盖的强度,值越大,干暖盖特征越明。

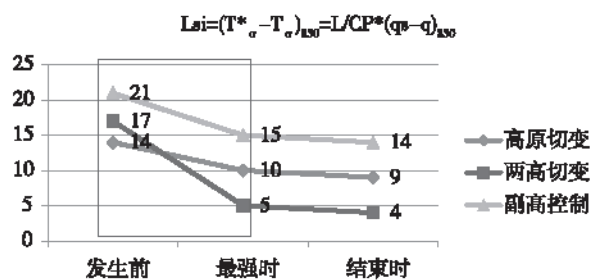


图5 $T^* - T_0$ 饱和能差温度

Fig.5 $T^* - T_0$ Saturated energy difference temperature

可以看到3种类型中,副高控制型以及两高切变型的干暖盖特征更明显,发生前达到了16℃以上,表明低层温度较高,且湿度较小,对流抑制强,有利于对流不稳定能量的累积。从对流开始触发到对流发展最强,可以看到饱和能差温度有很明显的突降,表明对流抑制被突破,干暖盖特征消失,对应CAPE值也是明显的下降,大气不稳定能量得到释放。

而动力条件方面,主要分析了低层的辐合条件,从边界层850 hPa的散度场以及700 hPa的涡度平流来看,前两种类型低层有系统性的辐合,而副高控制型,没有明显的大范围的辐合形势,还是以热对流天气为主。而0~3 km的垂直风切变,前两种类型平均约为4~5 s⁻¹,而副高控制下,低层风场相对要较弱些,且上下层风向也不会相差太大,以风速切变为主,约2~3 s⁻¹。

表2 3种类型稳定度参数物理量的平均值

Tab.2 The average value of stability parameters to three types

	高原切变	两高切变	副高控制
热力参数			
θ_{se500}	77	79	72
θ_{se700}	85	85	84
θ_{se850}	93	94	95
A指数	13	16	10
$\theta_{se850} - \theta_{se500}$	16	15	23
T850	22	23	23
T850 - 500	22	24	24
K指数	37	37	39
CAPE	655	728	944
动力参数			
700 hPa 涡度平流	-3	0	0
div850	-1	-3	1
0~3 km 垂直风切变	5	4	3

6 结论

①影响雅安市短时强降水的环流形势主要包括:高原切变型、高空槽型、低涡型、副高控制型、两高切变型、台风外围型7类。切变型占有比例的

43%,对典型个例分析其高低空天气系统的配置后,将环流形势的主要特征归纳为3大类型:高原切变型、两高切变型以及副高控制型。并分析其高低空主要配置,建立3种类型的概念模型。

②利用NCEP再分析资料计算强降水发生时物理量的阈值,统计分析超过短时强降水样本60%以上的各个物理量阈值,其中反映水汽参数的物理量对短时强降水的发生具有更明显的指示意义,均达到80%以上的样本。与水汽相关的湿热指标,也可以很好地用于指示短时强降水,另外大气层结不需要太强的不稳定以及较强的垂直风切变。低层的辐合触发对短时强降水的触发起到主要的作用。

③针对3种不同概念模型,分别对其水汽参数、热力动力不稳定参数的平均值进行对比分析,可知水汽条件方面,高空切变型和两高切变型普遍比副高控制型较好,降雨效率方面,暖云层厚度较大,在4 600~4 800 gmp之间,但副高控制型由于副高的控制,暖云层厚度较前两者要大些。热力方面,与水汽相关的物理量参数前两种类型也比第3种较大,而与水汽条件相关性较差的则差不多。动力方面,前两种动力参数指示意义较好,以系统性辐合抬升为主,而第3种主要是受低层偏东风的扰动、辐合线和地形的作用引起的。

参考文献

- [1] 彭贵康,李志友,柴复新.雅安地形与降水的气候特征[J].高原气象,1984,4(3):230-240.
- [2] 沈橙,孙燕,魏晓奕,等.基于物理量参数的江苏短时强降水预报模型的研究[J].气象,2016,42(5):557-566.
- [3] 周盈莹,陈元琰,伍详清,等.重庆东北部短时强降水时空分布及概念模型[J].贵州气象,2015,39(2):12-22.
- [4] 花家嘉,张婉莹,陈桂万,等.河北唐山地区盛汛期短时强降水概念模型及物理量特征分析[J].冰川冻土,2016,38(2):463-472.
- [5] 陈贝,高文良,周学云,等.四川盆地西南部短时强降水天气特征分析[J].高原山地气象研究,2016,26(3):14-20.
- [6] 陈海凤,李扬,黄世芹,等.基于自动站观测的贵阳强降水特征分析[J].贵州气象,2017,41(3):46-50.
- [7] 司波,余锦华,丁裕国.四川盆地短历时强降水极值分布的研究[J].气象科学,2012,32(4):403-410.
- [8] 贺春江,陈柳琼,陈丽娜.河池市区短时强降水特征分析[J].贵州气象,2013,37(增刊):80-83.
- [9] 魏慧娟,赵龙,孙苑.2010—2012年河南省驻马店市短历时强降水的形成原因及物理模型的建立[J].河南科学,2013,31(3):365-368.
- [10] 花家嘉,郭丽霞,陈桂万,等.唐山夏季短历时强降水的夜间多发性及成因分析[J].暴雨灾害,2015,34(3):223-22.