

基于溃变理论的  $v-3\theta$  图在陇东强对流天气中的应用

杨丽杰, 路亚奇, 张可心 (甘肃省庆阳市气象局, 甘肃庆阳 745000)

**摘要** [目的]验证  $v-3\theta$  图在陇东地区强对流天气预报中的适用性。[方法]利用常规观测资料、灾情月报及上游平凉站的探空资料,对庆阳市 2012—2018 年 172 个强对流天气样本的  $v-3\theta$  图特征进行分析,通过箱线图确定了湿度阈值,并对比不同类型强对流天气发生前  $v-3\theta$  图与  $T-\ln P$  图特征。[结果] $v-3\theta$  图对于陇东地区的对流性天气的指示意义较好;超低温、 $\theta$  曲线有拐点及  $\theta_{\text{sed}}$  和  $\theta^*$  与  $T$  轴成钝角可作为强对流天气的起报条件;就滚流效应而言,冰雹天气过程最明显,对流性暴雨、阵性大风、干雷暴依次减弱;对流性暴雨及阵性大风发生前低层湿度条件好,但前者湿层伸展高度高;当起报条件满足时,首先利用低层  $\theta^* - \theta_{\text{sed}}$  判断对流天气类型:其数值  $\geq 10\text{ }^\circ\text{C}$  时,若滚流效应较为显著,则预报冰雹,否则为干雷暴;其数值  $\leq 3\text{ }^\circ\text{C}$  时,则需进一步分析湿层伸展的高度,位于 700 hPa 以下则预报阵性大风,否则为对流性暴雨;对流强度越弱时,  $v-3\theta$  图相较于  $T-\ln P$  图优势越突出。[结论]该研究为提高该地区的强对流天气预报准确率提供依据。

**关键词** 强对流天气;溃变理论; $v-3\theta$  图;陇东地区

中图分类号 P 481.1 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)22-0214-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.22.062



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Application of $v-3\theta$ Diagram Based on Collapse Theory in Severe Convective Weather in the Eastern Gansu

YANG Li-jie, LU Ya-qi, ZHANG Ke-xin (Qingyang Meteorological Bureau of Gansu Province, Qingyang, Gansu 745000)

**Abstract** [Objective] The research aimed to verify the applicability of  $v-3\theta$  diagram in severe convective weather prediction in the eastern Gansu. [Method] Using conventional observation data, disaster monthly report and sounding data of upstream Pingliang station, the  $v-3\theta$  diagram characteristics of 172 severe convective weather samples from 2012 to 2018 in Qingyang City were analyzed. The humidity threshold is determined by the box plot and the characteristics of the  $v-3\theta$  and  $T-\ln P$  maps before the occurrence of different types of severe convective weather are compared. [Result] The  $v-3\theta$  diagram was a good indicator of convective weather in the eastern Gansu; cryogenic, inflection point on the  $\theta$  curve and  $\theta_{\text{sed}}$  and  $\theta^*$  parallel obtuse angles to the T axis could be used as initial conditions for severe convective weather; in terms of rolling effect, hail weather process was the most obvious, convective rainstorm, gusty wind, dry thunderstorm weakened successively; before the occurrence of convective rainstorm and gusty wind, low level humidity condition was well, but the former wet layer extends higher; when reporting conditions were met, firstly, use the lower stage  $\theta_{\text{sed}} - \theta^*$  to determine the type of convective weather; when the value is greater than or equal to  $10\text{ }^\circ\text{C}$ , if the rolling effect was more significant, hail was predicted; otherwise, it was a dry thunderstorm; When its value was less than or equal to  $3\text{ }^\circ\text{C}$ , the height of wet layer extension needs to be further analyzed. If it was below 700 hPa, gusty wind was predicted; otherwise, it was a convective rainstorm; When the convective intensity was weaker, the advantage of  $v-3\theta$  diagram over  $T-\ln P$  diagram was more prominent. [Conclusion] This study provides a basis for improving the accuracy of strong convective weather forecasting in the region.

**Key words** Severe convective weather; Collapse theory;  $v-3\theta$  diagram; Eastern Gansu

庆阳市地处半干旱区的黄土高原东部,习称陇东,为大陆季风气候。西接六盘山,北靠羊圈山,东依子午岭,形成了三面隆起、中南部低缓的开口向东的喇叭口地形。受特殊的地形地貌特征影响,该地夏季强对流天气频发,且呈现出落区分散、局地性强、突发性高等特点,极易造成严重的人员伤亡和财产损失。如 2005 年 5 月 30 日的特大冰雹过程<sup>[1]</sup>,造成庆阳市 51 453.4  $\text{hm}^2$  作物受灾,绝收面积高达 13 052.1  $\text{hm}^2$ ,水毁房屋、道路,直接经济损失达 1.3 亿元。对此,气象工作者从系统配置<sup>[2-3]</sup>、发展机理<sup>[4]</sup>、雷达<sup>[5]</sup>及卫星资料<sup>[6]</sup>分析、数值模拟<sup>[7]</sup>等多个角度开展了研究并取得了丰硕的成果,然而,目前的预报水平下,强对流天气的预报准确率仍然不高,空、漏报时有发生,如何做好此类天气的预报仍是未来较长一段时间内预报员需要解决的难题。

$v-3\theta$  图是欧阳首承等<sup>[8]</sup>设计出来的运用图像结构来预测天气的结构预测方法,与传统的  $T-\lg P$  图相比,除了能反映层结稳定性、湿度条件外,  $\theta$  线的“顺滚流”还能反映出天气过程的转折性变化。该方法在国内多地开展了研究并被

证实对于强对流天气预报具有一定的指示意义,如有研究认为,  $v-3\theta$  图能较好地暴雨、短时强降水过程做出预报<sup>[9-14]</sup>,对冰雹天气也具有一定的预报能力<sup>[15-18]</sup>;毛列尼·阿依提看等<sup>[19]</sup>利用  $T-\ln P$  图和  $v-3\theta$  图研究了中亚低涡背景下新疆短时强降水的湿度特征和大气能量结构特征;陆雅君等<sup>[20]</sup>分析了不同类型云的  $v-3\theta$  图特征。然而该方法在西北地区开展的研究较少,且以天气个例分析为主<sup>[21]</sup>缺乏系统的研究,该方法的适用性及湿度因子如低层的  $\theta^* - \theta_{\text{sed}}$  的本地阈值尚不明确,因此,对其开展研究是非常有必要的。笔者基于地处甘肃陇东的庆阳市 2012—2018 年 172 个强对流天气个例,通过分析过程前后的  $v-3\theta$  图变化特征及演变状况,旨在明确该方法在本地的适用性,利用箱线图求出适用于本地的湿度阈值,为提高该地区的强对流天气预报准确率提供依据。

### 1 资料与方法

**1.1 资料选取** 使用的资料包括:①地面天气现象观测资料及灾情月报:当连续 2 d 及以上均出现同一种类型的对流活动时,计一次天气过程;当有多种灾害性天气发生时,按照危害程度最高的一种天气进行分类。②MICAPS 自带的平凉站的探空资料。资料时段均为 2012—2018 年。最终得到 105 个雷暴样本、36 个冰雹样本、27 个对流性暴雨(过程中出现 1 站以上小时雨量  $\geq 20\text{ mm}$  的短时强降水且 24 h 降水量  $\geq$

**基金项目** 庆阳市气象局科研项目“陇东地区不同类型强对流天气的  $v-3\theta$  图特征分析”(2014-6)。

**作者简介** 杨丽杰(1989—),女,甘肃庆阳人,工程师,从事中短期天气预报研究。

**收稿日期** 2019-07-02

50 mm)及4个阵性大风样本(最大瞬时风速 $\geq 17.2$  m/s)。

**1.2 研究方法**  $v-3\theta$ 图是欧阳首承等<sup>[8]</sup>基于溃变理论,以风场、气压场、 $\theta$ 、 $\theta_{\text{sed}}$ 和 $\theta^*$ 为要素, $P-T$ 为坐标所构成的一种气象要素图像结构。其中 $v$ 即为探空资料中风向、风速的直接观测数据,并且设置在 $\theta^*$ 线上。 $\theta$ 是位温, $\theta^*$ 是人为按假定为水汽饱和状态下的假相当位温计算值,而 $\theta_{\text{sed}}$ 是以露点温度计算的假相当位温。与传统的气象预测相比,构成了风向、风速、湿度、温度和气压的反序构,并以风向为核心。其特征包括以下3个方面的内容:

(1)现有流场的滚流效应。若对流层内,上下层风向不一致时,风场在中、下层为偏南风(或偏东风),上层为偏北风(或偏西风)时,为顺时针滚流,反之则为逆时针滚流;当对流层内上下层风向一致时,因为一般高空风速大、低层风速小,因此风速的切变也可产生滚流。一致偏西或偏南风时为顺时针滚流,一致偏东或偏南风时为逆时针滚流。

(2)潜在流场的滚流效应。若3条 $\theta$ 曲线随 $P$ 呈线性增长,则表示运动大气在对流层结构是均匀的。若3条 $\theta$ 曲线随 $P$ 向左呈线性增长,或者随 $P$ 是不变的,则表示运动大气的垂直结构是极度的非均匀。

(3)超低温。在 $v-3\theta$ 图中的3条曲线,特别是 $\theta$ 线在300~100 hPa表现为陡然左倾或准平行于 $P$ 轴(与 $T$ 轴成钝角),或右倾中偏左有拐角,表明对流层顶附近有超低温现象存在。当 $\theta_{\text{sed}}$ 曲线和 $\theta^*$ 曲线较为靠近时,表示水汽充沛,而

当 $\theta_{\text{sed}}$ 和 $\theta$ 曲线较为靠近时,则说明水汽含量低。

采用统计学方法,分析不同强对流天气过程前后 $v-3\theta$ 图的演变情况,用以验证该方法在庆阳强对流天气预报中的适用性,并归纳出其在不同类型强对流间的区别;利用箱线图确定不同强对流天气低层湿度条件的阈值;通过个例分析,对比 $v-3\theta$ 图和 $T-\ln P$ 在强对流天气发生前的预报能力。

## 2 对流性天气 $v-3\theta$ 特征统计检验

**2.1 干雷暴** 通过对2012—2018年105个雷暴个例发生前后的 $v-3\theta$ 图特征进行分析,结果发现(表1),过程前有95个样本出现超低温,占总计90.5%,而过程结束后维持超低温仍有80个样本(占总计76.2%); $\theta$ 曲线表现出较弱的非均匀结构,其中80站次有明显的拐点,占总数的76.2%,过程结束后,随着不稳定能量的释放,有拐点的样本减少至37个(占总计35.2%);过程前有78个样本 $\theta_{\text{sed}}$ 和 $\theta^*$ 与 $T$ 轴呈钝角占总计74.3%,700 hPa以下 $\theta^*$ 和 $\theta_{\text{sed}}$ 的25%~75%分位数集中在10~20℃;而从滚流效应来看,过程前,风场上表现为整层顺滚流的有45个样本,占总数的42.9%,而表现为顺滚流和逆滚流交替出现的多层滚流的有33个样本,占总计31.4%。此外,风场上由过程前的顺滚流转为过程后的逆滚流的样本为7个,占总计6.7%;由顺滚流转为多层滚流的样本有24个,占总计22.9%;多层滚流转为逆滚流的样本13个,占总计12.4%;过程中始终维持多层滚流的样本17个,占总计16.2%。

表1 不同类型对流天气过程前后 $v-3\theta$ 图特征演变

Table 1 The evolution of  $v-3\theta$  diagrams before and after different types of convective weather processes

对流天气 Convective weather		超低温 Cryogenic		有拐点 Inflection point		$\theta_{\text{sed}}$ 和 $\theta^*$ 与 $T$ 轴成钝角 $\theta_{\text{sed}}$ and $\theta^*$ parallel obtuse angles to the $T$ axis		顺滚流 Cisplatin tumble		多层滚流 Multilayer tumble		逆滚流 Inverse rolling	
		个数 Number	频率 Frequency %	个数 Number	频率 Frequency %	个数 Number	频率 Frequency %	个数 Number	频率 Frequency %	个数 Number	频率 Frequency %	个数 Number	频率 Frequency %
雷暴 Thunderstorm	过程前	95	90.5	80	76.2	78	74.3	45	42.9	33	31.4		
	过程后	80	76.2	37	35.2					62	59.0	25	23.8
冰雹 Hail	过程前	34	94.4	32	88.9	33	91.7	30	83.3	6	16.7		
	过程后	29	80.6	17	47.2					27	75.0	4	11.1
短时强降水或暴雨 Short-term heavy precipi- tation or heavy rain	过程前	25	92.6	23	85.2	21	77.8	14	51.9	13	48.1		
	过程后	20	74.1	5	18.5					19	70.4	6	22.2
阵性大风 Array gale	过程前	4	100.0	4	100.0	4	100.0	1	25.0	3	75.0		
	过程后	4	100.0	3	75.0					1	25.0	3	75.0

**2.2 冰雹天气** 通过对36个冰雹过程的统计分析,结果发现(表1,2),过程前有34个样本出现了超低温,且32站次 $\theta$ 曲线出现了明显的拐点,分别占总数的94.4%及88.9%,且有33个样本 $\theta_{\text{sed}}$ 和 $\theta^*$ 在低层以准平行的方式与 $T$ 轴成钝角,占总计91.7%,可见冰雹发生时的潜在流场是极不均匀的;冰雹发生时前低层(近地面~700 hPa) $\theta^*-\theta_{\text{sed}}$ 的分布范围较大(图1),其25%~75%分位数位于10~30℃;干雷暴和冰雹的箱线图交叉范围较大,利用 $\theta^*-\theta_{\text{sed}}$ 的数值难以对二者做出区分。冰雹样本的滚流效应在4类强对流天气中较为突出,

过程前为顺滚流的样本有30个,占总计83.3%,多层滚流样本有6个,占总计16.7%,且过程前后由顺滚流转为多层滚流的样本最多为24个,占样本总数的66.7%。

**2.3 短时强降水或暴雨** 与雷暴及冰雹相比,短时强降水及对流性暴雨的超低温、滚流特征均强于干雷暴而弱于雷暴大风和冰雹,过程前有25个样本出现超低温,占总计92.6%, $\theta$ 曲线出现明显拐点的样本23个,占总计85.2%,风场上形成顺滚流的样本51.9%(表1),且由顺滚流转为多层滚流的样

本占总计 37.0%(表 2)。中低层  $\theta^* - \theta_{\text{sed}}$  分布高度集中在 2~3 °C (图 1), 且统计过程中发现有 75% 的样本湿层厚度自近

地面伸展至 700 hPa 以上, 说明此类强对流天气发生时湿度条件较好, 据此可以与干雷暴、冰雹进行区分。

表 2 不同类型对流天气过程前后  $v-3\theta$  图风场变化特征

Table 2 Changes of wind field in  $v-3\theta$  theta diagrams before and after different types of convective weather processes

对流天气 Convective weather	顺滚流转逆滚流 Cisplatin tumble into inverse rolling		顺滚流转多层滚流 Cisplatin tumble into multilayer tumble		多层滚流转逆滚流 Multilayer tumble into inverse rolling		多层滚流转多层滚流 Multilayer tumble into multilayer tumble	
	个数 Number	频率 Frequency %	个数 Number	频率 Frequency %	个数 Number	频率 Frequency %	个数 Number	频率 Frequency %
雷暴 Thunderstorm	7	6.7	24	22.9	13	12.4	17	16.2
冰雹 Hail	2	5.6	24	66.7	2	5.6	3	8.3
短时强降水或暴雨 Short-term heavy precipitation or heavy rain	2	7.4	10	37.0	4	14.8	9	33.3
阵性大风 Array gale	1	25.0	0	0.0	1	25.0	2	50.0

2.4 阵性大风 单一的雷暴大风样本较少仅有 4 个, 统计结果不具有普适性, 但对于该类天气的  $v-3\theta$  图特征也有一定程度的反应。此类天气发生时,  $\theta$  曲线表现为有明显的拐点, 层结较不稳定; 低层的水汽特征较为突出,  $\theta^* - \theta_{\text{sed}}$  的 25%~75% 分位数集中在 0~3 °C, 但湿层厚度自地面伸展至 850 hPa 附近, 即阵性大风发生在低层湿、中高层干且湿层浅薄的层结中。

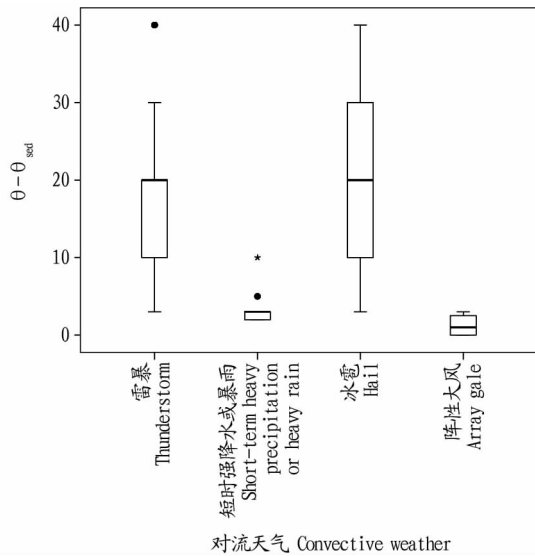


图 1 不同类型强对流天气的低层 (850~700 hPa)  $\theta^* - \theta_{\text{sed}}$  分布箱线图

Fig.1 The boxplot of  $\theta^* - \theta_{\text{sed}}$  distribution for the lower layers (850~700 hPa) of different types of severe convective weather

通过以上分析可以看出,  $v-3\theta$  图对于陇东地区的强对流天气具有一定的指示意义, 且在不同类型强对流天气间的分布特征有所不同: 不同类型的强对流天气, 在过程前出现超低温的概率超过 90%, 而  $\theta$  曲线有拐点及  $\theta_{\text{sed}}$  和  $\theta^*$  与  $T$  轴成钝角的概率在 70% 以上, 故这三者可作为强对流天气的起报条件; 仅就过程前后的滚流效应而言, 冰雹最强, 其在过程前  $\theta$  曲线出现拐点、风场上顺滚流概率高及过程后风场上转为逆滚流或多层滚流的概率均达到最高, 对流性暴雨、干雷暴

逐渐减弱; 干雷暴、冰雹发生时低层湿度小, 且当  $10\text{ °C} \leq \theta^* - \theta_{\text{sed}} \leq 20\text{ °C}$  时, 两者难以区分, 而当  $\theta^* - \theta_{\text{sed}} > 20\text{ °C}$  时, 冰雹发生的概率较高; 而对流性暴雨及阵性大风发生前  $\theta^* - \theta_{\text{sed}} \leq 3\text{ °C}$ , 湿度条件好 (图 2)。

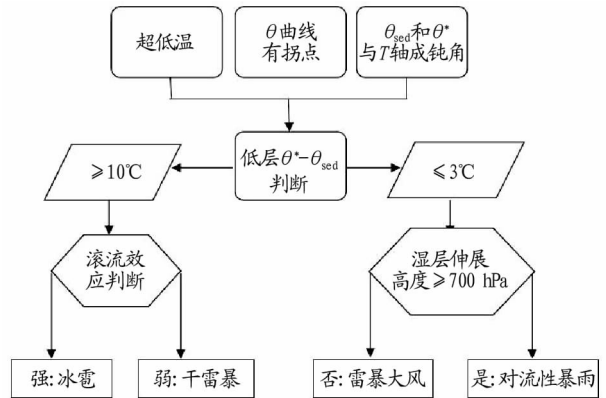


图 2 利用  $v-3\theta$  图制作强对流天气预报流程

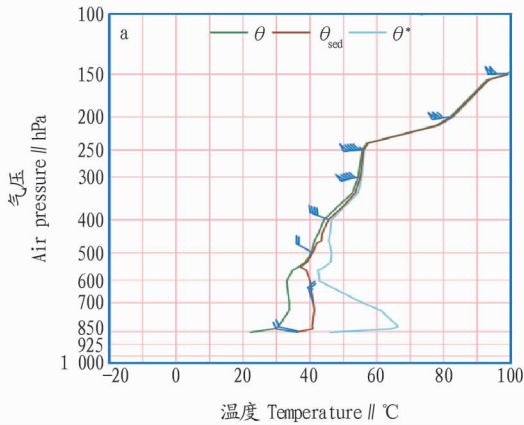
Fig.2 A flow chart for severe convective weather forecasting using the  $v-3\theta$  diagram

以上分析为利用  $v-3\theta$  图进行强对流天气预报的思路: 当过程前出现超低温,  $\theta$  曲线有拐点且  $\theta_{\text{sed}}$  和  $\theta^*$  与  $T$  轴成钝角时, 即考虑即将有对流天气发生; 进一步分析低层  $\theta^* - \theta_{\text{sed}}$ , 若其数值  $\leq 3\text{ °C}$  时, 若湿层伸展的高度低于 700 hPa 时, 预报阵性大风, 否则预报对流性暴雨; 而当低层  $\theta^* - \theta_{\text{sed}} \geq 10\text{ °C}$  时, 则重点分析滚流效应, 滚流较强时预报为冰雹, 否则为干雷暴。

3  $v-3\theta$  图与  $T-\ln P$  图对不同强对流性天气的指示对比

3.1 干雷暴 2018 年 4 月 26 日下午庆阳市出现了一次干雷暴天气。过程前 24~48 h, 在  $v-3\theta$  图和  $T-\ln P$  图上均未出现强对流天气特征。到了 26 日 08:00 (图 3a), 平凉站上空的  $\theta$  曲线在 700~600、400 及 300~250 hPa 准垂直于  $T$  轴, 说明此时低层对流发展且有超低温存在。  $\theta_{\text{sed}}$  和  $\theta^*$  曲线在 600 hPa 附近较靠近, 说明湿度较大; 且在 700~600 hPa 与  $T$  轴成钝角, 水汽分布极不均匀, 中间湿、上下干, 有利于对流的发展。但低层  $\theta_{\text{sed}}$  和  $\theta^*$  差值较大, 受偏西风控制, 水汽通道未建立且湿度较差。风场上 850~400 hPa 的西北风, 400~300 hPa

的西北—西南及300 hPa以上随高度不断增强的一致西南风构成了多层滚流,故过程前的  $v-3\theta$  图对于雷暴的指示效果较好。 $T-\ln P$  图上(图 3b),风场结构与  $v-3\theta$  图类似。层结曲线在850 hPa附近有一浅薄的逆温层存在,露点曲线呈分裂的喇叭状,同样反映出中间干、上下湿的湿度垂直分布。



状态曲线和层结曲线之间的正、负面积均为0,结合物理量资料, $K$  指数为12 °C,SI 指数 5.97 °C,可见此次过程中的不稳定能量条件较差。在这种情况下,仅依赖  $T-\ln P$  图预报干雷暴较为困难。

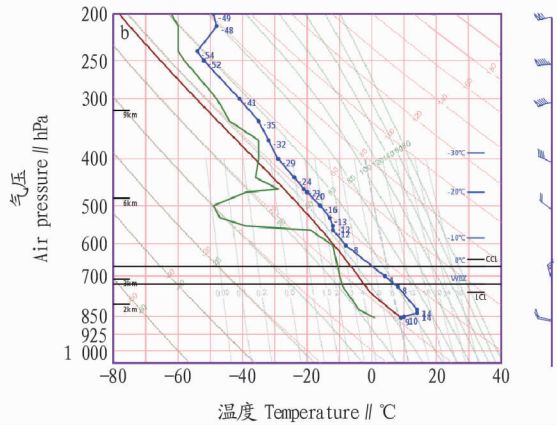


图3 2018年4月26日08:00平凉站  $v-3\theta$  图(a)和  $T-\ln P$  图(b)对比

Fig.3 Comparison of  $v-3\theta$  (a) and  $T-\ln P$  (b) diagrams in Pingliang station at 08:00 on April 26, 2018

**3.2 冰雹** 2014年8月16日16:00左右,庆阳市环县天池、演武、河道等11个乡镇遭受冰雹袭击,持续40 min左右,最大冰雹直径3 cm左右。过程前48 h,15日08:00的  $v-3\theta$  图上已有超低温存在,且风场为整层顺滚流,而同一时次的  $T-\ln P$  图则无明显对流发展潜势。到了16日08:00的  $v-3\theta$  图上(图 4a), $\theta$  曲线在250 hPa附近有超低温; $3\theta$  曲线在400 hPa以下出现多处左倾,且700 hPa以下  $\theta_{sed}$  和  $\theta^*$  曲线准平行的与  $T$  轴成钝角; $\theta_{sed}$  和  $\theta^*$  曲线在600 hPa附近较靠近,

即湿度较大, $\theta^* - \theta_{sed} \geq 15$  °C,有明显的“蜂腰”结构,呈现出中间湿、上下干的湿度垂直分布;风场上为整层顺滚流。同时次的  $T-\ln P$  图上(图 4b),层结曲线和露点曲线在600 hPa以下近于重合,600 hPa以上则呈分裂的喇叭状,同样反映了水汽垂直分布的不均匀;700~500 hPa有南—西风之间的垂直风切变,结合物理量数据, $K$  指数为30 °C,SI 指数-0.14 °C,0 °C及-20 °C层高度分别为4 698.2和7 700 m,符合庆阳市发生冰雹的阈值。

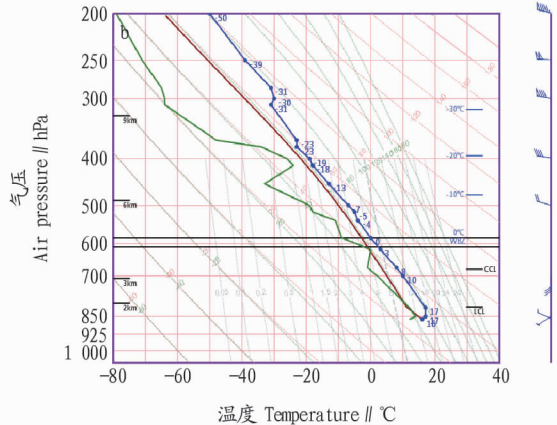
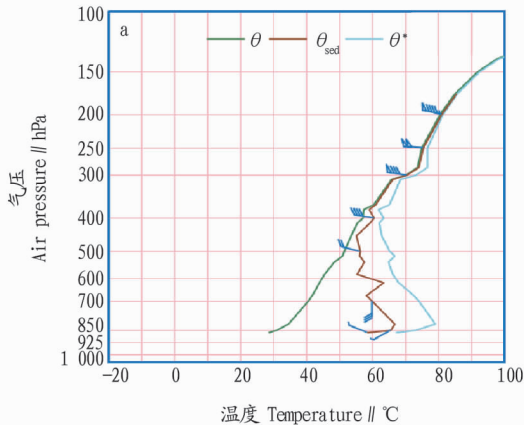


图4 2014年8月16日08:00平凉站  $v-3\theta$  图(a)和  $T-\ln P$  图(b)对比

Fig.4 Comparison of  $v-3\theta$  (a) and  $T-\ln P$  (b) diagrams in Pingliang station at 08:00 on August 16, 2018

**3.3 对流性暴雨** 2017年8月19—20日庆阳市出现了一次区域性短时暴雨。19日17:00—18:00正宁县董庄、移风小时雨量分别为22.5、20.4 mm,19:00—20:00正宁县董庄小时雨量26.3 mm,20:00—21:00宁县莲花池小时雨量22.2 mm。20日06:00—07:00庆城县蔡口集小时雨量46.5 mm,09:00—10:00庆阳市南湖、市区小时雨量分别为26.7和22.2 mm,之后转为稳定性降水。截至21日08:00,最大累积降水量为庆城蔡口集站89.7 mm。

18日08:00,平凉的  $v-3\theta$  图上出现超低温、顺滚流,而  $T-\ln P$  图上对流发展潜势弱。在19日08:00平凉的  $v-3\theta$  图(图 5a), $\theta$  曲线在250、150 hPa附近存在薄层状超低温; $\theta$  曲线整体右倾,层结相对稳定;水汽由低层的西南风提供,但厚度仅达700 hPa,湿层轻薄; $\theta_{sed}$  和  $\theta^*$  曲线在650、500 hPa较靠近,即有2个湿度较大处,表现为“蜂腰”和“大肚子”结构;此时925~700 hPa的东南—西南风、700~500 hPa的西南—西北风及500 hPa以上随高度不断增大的一致西北风构成了

整层顺滚流。同时次的  $T-\ln P$  图上,700 hPa 以下露点曲线与状态曲线、层结曲线近于重合,650 hPa 附近有一浅薄的逆温层存在,700 hPa 以上露点曲线同样呈现出分裂的喇叭状,

有利于对流发展。低层有风切变存在,物理量上  $K$  指数达  $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,SI 指数  $0.64\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

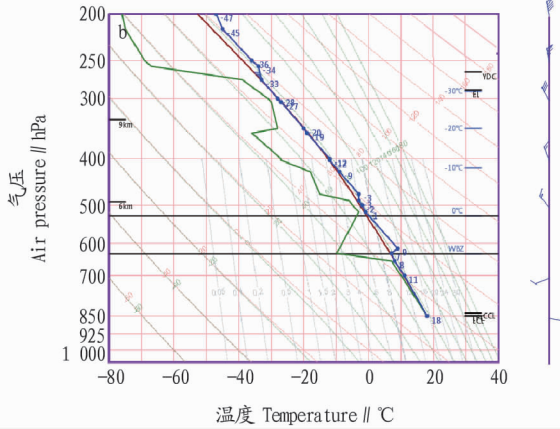
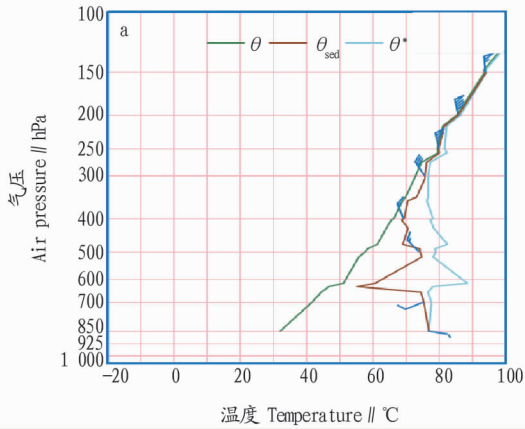


图5 2017年8月19日08:00平凉站  $v-3\theta$  图(a)和  $T-\ln P$ (b)对比

Fig.5 Comparison of  $v-3\theta$ (a) and  $T-\ln P$ (b) diagrams in Pingliang station at 08:00 on August 19,2017

**3.4 阵性大风** 2012年5月10日下午到夜间,环县、庆城等地出现雷电活动,并伴有阵性大风及降水,最大瞬时风速出现在环县( $15.1\text{ m/s}$ ),全市中雨。过程前10日08:00(图6a)平凉站上空已出现了薄层状超低温; $\theta$ 曲线右倾中有向左的折角,层结弱不稳定;低层  $\theta^* - \theta_{\text{sed}} \leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,风场上为顺滚流;

而同时次的  $T-\ln P$  图(图6b)上最突出的特征则是除850 hPa附近露点曲线与层结预先较为接近外,随着高度的升高两者的距离迅速增大,说明大风发生时的层结为近地面层较湿,中高空湿度迅速下降。物理量参数上, $K$ 指数为  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,SI指数  $1.91\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,层结不稳定,较冰雹、暴雨弱。

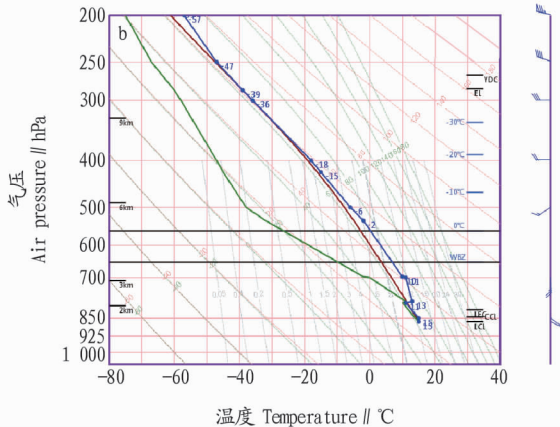
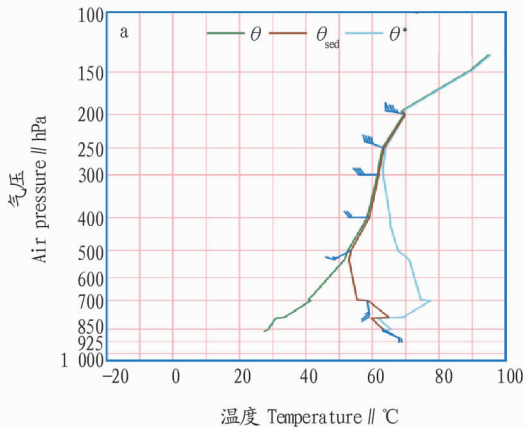


图6 2012年5月10日08:00平凉站  $v-3\theta$  图(a)和  $T-\ln P$ (b)对比

Fig.6 Comparison of  $v-3\theta$ (a) and  $T-\ln P$ (b) diagrams in Pingliang station at 08:00 on May 10,2012

**4 结论**

(1)通过对2012—2018年172个对流性天气样本的  $v-3\theta$  图特征的分析及检验,发现该方法对于庆阳强对流天气预报的指示作用较好;过程前有超过90%的样本出现了超低温,过程后概率降至70%,故超低温是强对流天气的必要非充分条件;超过60%的样本  $\theta$  曲线有拐点且  $\theta_{\text{sed}}$  和  $\theta^*$  曲线准平行的与  $T$  轴成钝角,可作为对流天气的起报条件。

(2)不同类型的强对流天气  $v-3\theta$  图特征有所不同:冰雹天气的滚流效应最突出,对流性暴雨、干雷暴及阵性大风依次减弱。

(3)冰雹、干雷暴发生前低层湿度条件较差,当  $10\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta^* - \theta_{\text{sed}} \leq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,两者难以区分,而当  $\theta^* - \theta_{\text{sed}} > 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,冰

雹发生的概率较高;而对流性暴雨和阵性大风发生时低层的湿度条件较好  $\theta^* - \theta_{\text{sed}} \leq 3\text{ }^{\circ}\text{C}$  可以作为其预报的阈值。

(4)该研究为利用  $v-3\theta$  图进行强对流天气的预报提供了一种思路:当出现超低温现象时,进一步分析  $\theta$  曲线是否有拐点、 $\theta^*$  和  $\theta_{\text{sed}}$  是否准平行的与  $T$  轴成钝角时,条件成立时,若低层  $\theta^* - \theta_{\text{sed}} \leq 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,湿层伸展的高度在700 hPa以下时预报阵性大风,否则为对流性暴雨;若低层  $\theta^* - \theta_{\text{sed}} \geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  且风场上的滚流效应较为明显时,预报冰雹,否则为干雷暴。

(5) $v-3\theta$  和  $T-\ln P$  图对于不同类型的强对流天气均具有一定的指示意义,其对于湿度条件的垂直分布反应较为一致。前者重点关注对于滚流效应的分析,而后者则侧重于垂

学科的高水平发展。

其次,需要进一步加强人才队伍建设,拓宽人才引进渠道,吸引高端人才,形成团队与拔尖人才汇聚高地。重点支持具有发展潜力的优秀青年学术骨干,打造一支以高水平学科带头人和教学名师为核心的骨干队伍。做优做强科技创新成果产出,产出一批高水平科研成果,为增强农业科学学科核心竞争力提供有力支撑。另外,研究生已成为高校科研力量的重要组成部分,应重视对研究生进行系统科研训练,以高水平科研支撑高水平培养。

最后,国际合作是提升科研质量的重要途径,在学校科研发展策略上应大力加强国际合作,根据学科发展程度和水平,积极与世界一流大学和科研机构开展实质性合作研究,为教师创造条件参与国际合作项目,不断提升国际化水平,拓宽研究领域和研究视角,提高高质量论文产出。同时关注研究前沿和热点,提升创新力,高度重视科研论文在世界范围内的被关注度,从而提高农业科学在世界范围内的科研影响力。

在“双一流”背景下,扬州大学更应准确把握新形势下创建一流学科建设的目标任务,优化学科结构,凝练学科发展方向,突出学科建设重点,通过体制机制改革激发学科内生

动力和活力,深入推进学科与研究生教育高质量发展,为推进高水平研究型大学建设提供高质量支撑,加快推进高水平研究型大学建设。

## 参考文献

- [1] 张伟,徐广宇,缪楠. 世界一流学科建设的内涵、潜力与对策:基于ESI学科评价数据的分析[J]. 现代教育管理,2016(6):32-36.
- [2] 袁春潮,王格,杨加玉,等. “双一流”建设高校ESI学科排名表现分析:基于前1%学科的维度[J]. 洛阳师范学院学报,2018,37(11):61-64.
- [3] 玄永浩. 基于新一代InCitesTM平台的扬州大学农业科学学科发展分析[J]. 中国农业教育,2017(5):78-84,96.
- [4] 邹燕. ESI全球学科排名与江苏高校学科建设[J]. 江苏高教,2015(3):53-55.
- [5] 陈振华. 基于ESI的武汉理工大学工程学科竞争力的计量分析[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2015,39(5):1049-1053.
- [6] 徐扬,张力晖,原辉. 基于ESI数据的电力工程学科竞争力分析:以华北电力大学为例[J]. 统计与管理,2018(1):99-101.
- [7] 胡雯. 基于ESI数据库的湖北省高校科研竞争力的计量分析[J]. 图书馆研究,2017(5):117-121.
- [8] 秦奋,高健. 基于ESI数据库的中国高校“双一流”学科发展态势分析[J]. 图书馆学刊,2018(10):134-142.
- [9] 周沫. 基于InCites、ESI数据源的高校学科竞争力比较分析[J]. 农业图书情报学刊,2017,29(7):63-67.
- [10] 梁木生,王秉中. 中国高等院校进入ESI前1%学科分析研究[J]. 图书馆工作与研究,2016(5):71-77.
- [11] 李娟娟. 从JCR分区看行业性大学的学科发展:以中国民航大学为例[J]. 情报探索,2017(4):35-39.
- [12] 侯凯,闫瑾瑜,靖春悦,等. 2008年7月13-14日河南大暴雨过程的V-3θ图特征分析[J]. 气象与环境科学,2011,34(2):49-53.
- [13] 陈见,钱俊,黄明策. 广西暴雨过程的V-3θ结构特征检验及预报应用[J]. 气象科学,2006,26(3):334-340.
- [14] 姜俊玲,张雪冬,魏鸣,等. V-3θ图在一次特大暴雨预报中的应用[J]. 气象科技,2012,40(4):647-650.
- [15] 樊晓春,马鹏里,王位泰. 青藏高原东北侧一次持续性暴雨过程分析[J]. 气象科技,2008,36(1):69-73.
- [16] 欧阳首承,谢娜,郝丽萍. 突发性灾害天气的结构预测与应急对策[J]. 中国工程科学,2005,7(9):9-13.
- [17] 王若升,董安祥,樊晓春,等. 溃变理论在西北地区冰雹天气预报中的应用[J]. 干旱气象,2006,24(2):19-24.
- [18] 陆莹莹,郑传新. 一次罕见的冬季冰雹暴雨天气过程的V-3θ图对比分析[J]. 广西气象,2004,25(S1):35-36,43.
- [19] 郑传新,刘泽军,陆莹莹. 溃变理论在冰雹大风及暴雨预报中的应用实例[J]. 广西气象,2002,23(3):1-4.
- [20] 蔡敷川,肖明丽,刘子文,等. 一次冰雹过程的V-3θ图分析[J]. 气象研究与应用,2010,31(S2):18-19.
- [21] 毛列尼·阿依提看,玉素甫·木沙,郭品文. 近10a新疆短时强降水湿度层结及大气能量结构特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2017,11(2):43-49.
- [22] 陆雅君,李新芳,陈刚毅. 不同类型云的V-3θ特征及一次航线上云变化的实例分析[J]. 成都信息工程学院学报,2011,26(2):173-178.
- [23] 樊晓春,王若升,王位泰,等. 甘肃陇东黄土高原春末初夏局地暴雨诊断分析[J]. 干旱气象,2011,29(2):240-245.

(上接第218页)

直风切变、急流等。通过对比发现,在越弱的对流天气中, $v-3\theta$ 图的超低温及滚流效应相较于 $T-\ln P$ 图的优势更突出,可提前实况24~48 h。故在日常预报中, $v-3\theta$ 图的作用应当引起关注,对传统的环流形势、物理量垂直分布等分析进行补充,用于提高强对流天气的预报准确率。

## 参考文献

- [1] 张天峰,王位泰,杨民,等. “2005.5.30”庆阳特大冰雹新一代天气雷达回波资料分析[J]. 干旱气象,2006,24(1):34-37.
- [2] 魏葳,陈晓伟,高蕾. 2015年6月皖江东部地区一次梅雨锋暴雨过程分析[J]. 气象与减灾研究,2016,39(2):116-124.
- [3] 王金兰,陈红霞,段中夏,等. 河南省一次致灾强对流天气的中尺度分析[J]. 气象与环境科学,2014,37(3):14-20.
- [4] 郑永光,陶祖钰,俞小鼎. 强对流天气预报的一些基本问题[J]. 气象,2017,43(6):641-652.
- [5] 高帆,褚颖佳,胡鹏,等. 一次长生命史超级单体风暴的雷达观测特征和维持机制[J]. 气象科技,2018,46(2):336-342.
- [6] 俞小鼎,周小刚,王秀明. 雷暴与强对流临近天气预报技术进展[J]. 气象学报,2012,70(3):311-337.
- [7] 梁生俊,王培,高守亭. 一次陕西初夏暴雨过程的数值模拟及诊断分析[J]. 气候与环境研究,2013,18(1):12-22.
- [8] 欧阳首承,麦克尔内 D H,林益. 走进非规则[M]. 北京:气象出版社,2002:211-221.
- [9] 温舟,张放,杨桂娟,等. 锦州地区一次短时局地暴雨V-3θ图特征[J].