

# 2006年5—9月雷暴天气及各种 物理量指数的统计分析

李 勇 孔 期

(国家气象中心, 北京 100081)

**提 要:** 对2006年5—9月全国雷暴天气时空特征进行了统计分析, 结果表明: 雷暴天气的发生具有明显的短时局地特征, 大多数发生在17—20时, 上午11时发生最少。全国范围发生过雷暴天气的站点不到总数的三分之一。从空间分布来看, 广东、广西及云南三省(区)是雷暴发生最为频繁的省份, 内蒙古中西部、新疆北部、青海北部等地则发生较少。此外, 统计分析各物理量指数后发现, 各种物理量指数对于雷暴等强对流天气发生呈现出不同的概率分布特征, 其中最主要的特征是当雷暴等强对流性天气发生时, 存在3个高概率区域, 每个区域对应物理量指数值相对集中在一个特定范围内。

**关键词:** 雷暴 对流指数 时空特征

## Statistical Analysis of the Thunderstorm and Convective Parameters from May to September in 2006

Li Yong Kong Qi

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

**Abstract:** Statistical analysis about the characteristics of the temporal and spatial distribution of the thunderstorm from May to September in 2006 is conducted. The results are as follows: (1) The occurrence of the thunderstorm is short-range and local. Most of them happen at 17 p. m. and 20 p. m. in the evening, while only a few at 11 a. m.; (2) The stations that once the thunderstorm happened are less than 1/3 of all the stations. From the spatial distribution of the thunderstorm, the area with high frequency of the thunderstorm focus on Guangdong, Guangxi and Yunnan province, while in the west of Inner-Mongolia, northern part of Xinjiang and Qinhai etc. are the area with less thunderstorm; (3) The distribution of the convective parameters present different characteristics. The most important point is

that, when the thunderstorm happens, there are three high frequency areas and the corresponding convective parameters centralize in a certain range.

**Key Words:** thunderstorm convective parameters the temporal and spatial characteristics

## 引言

对流性天气会造成严重灾害,特别是强对流天气(包括雷暴、雷暴大风(飏)、冰雹和龙卷等天气现象)是一种严重灾害性天气,对生产建设及军事活动均有严重的影响。因此,做好对流性天气的预报对于防灾减灾、保障国民经济建设具有重要意义。

对流性天气的预报方法较多,其中包括天气学方法、统计学方法和动力学方法以及由这些方法相结合的各种综合预报方法。目前,使用天气型加预报指标的方法较为常用,它是根据对历史资料的普查,概括出对流天气的天气型,如果未来出现的天气形势与某种天气型相似,就可以按照这种形势来对对流性天气进行预报。对于雷暴而言,就有冷锋、准静止锋、高空槽(切变线)、冷涡、副热带高压西侧湿区和台风槽等各种出现雷暴的天气型。由于有关这些天气型所具有的环流特征已有很多研究,此处不再进行讨论,本文重点关注预报指标对于雷暴等强对流天气的发生所具有的指示意义。

实际上,尽管未来可能出现类似于雷暴等强对流天气发生的某种天气型,但天气形势相似却不是强对流天气出现的充分必要条件。当出现某种天气型时,还要结合一些预报指标(指数)来综合考虑是否会有雷暴等对流性天气发生,这些指标(指数)从不同方面反映了强对流天气发生的物理条件,即以较为量化的形式刻画物理条件。国内外应用物理量指数对强对流天气进行诊断的研究工作已有很多,但综合分析各物理量指数预报意义的研究工作还较少。强对流天气的发生往往不是由一两个物理因素造成的。较多的物理指数可以从

多方面刻画各种不同物理条件,但是各种物理条件对强对流的发生可能有积极地触发、维持作用,同时也可能抑制、削弱强对流的发展。雷暴等强对流天气往往具有持续时间短、空间范围较小,预报资料时空分辨率较低、局地动力、热力条件差异明显等特征,加上强对流天气的出现本身又是一个小概率事件,因此预报难度较大,仅仅从各指数数值大小很难判断雷暴等强对流天气是否会发生,因为不同区域,甚至不同站点发生强对流天气的物理量指数高概率区间并不一致,为了使预报员更加有效地使用各种物理量指数,需要了解各种物理量指数对强对流天气的指示意义,了解不同物理量指数在不同范围变化时强对流天气出现的概率的空间分布。

## 1 资料

本文采用了2006年5—9月全国地面3小时一次的加密观测资料,以及国家气象中心业务系统中使用的各种物理量指数格点数据,分辨率为 $1.125^{\circ} \times 1.125^{\circ}$ 经纬度网格。

## 2 雷暴发生的时空分布特征

由于强对流发生具有明显的短时突发性,所以大部分过程的持续时间都相对较短,对许多站点而言,通常雷暴等强对流天气发生都在0~12小时内,而由于局地强对流发生的物理条件不同,雷暴的发生也具有明显的日变化,如表1所示,2006年5—9月全国690个发生雷暴的站点中,发生在午后至傍晚(14—20时)的站点明显偏多,有超过400个的站点都发生了雷暴。而11时及23时发生的最少,均不超过200个站点。

表 1 各时刻发生雷暴站点数及雷暴发生次数

时间	02 时	05 时	08 时	11 时	14 时	17 时	20 时	23 时
站点数	315	298	278	171	403	469	469	165
雷暴数	501	478	428	257	756	1103	946	257

另一方面,从雷暴等强对流天气发生的空间特征可以看到(图 1),全国 2513 个站点中出现过雷暴的站点仅为 690 个,占站点总数的不到三分之一,大部分站点 2006 年并未发生雷暴,雷暴等强对流天气的局地特征非常明显,即使出现,也局限在小范围内的容易发生的少数站点。从具体的空间分布来看,雷暴发生具有地域差异性,整体上是南方较多、北方较少。广东、广西及云南三省(区)是雷暴发生最为频繁的省份,部分站点达 30 次以上,此外,四川东部和西北部、江苏北部、安徽南部、江西、山西北部、内蒙古东部等地雷暴发生也较多。而内蒙古中西部、新疆北部、青海北部等地则发生较少。

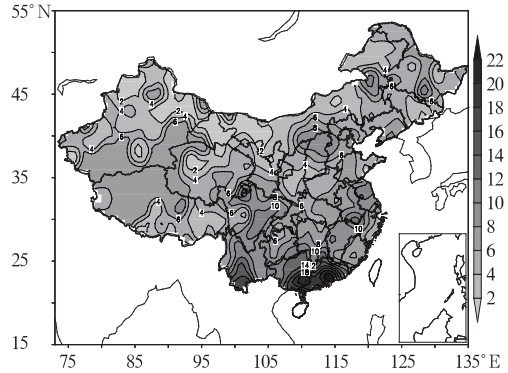


图 1 2006 年 5—9 月全国雷暴天气发生次数空间分布

图 2 给出了一天当中发生雷暴最多的 17 时、20 时以及最少的 11 时、23 时空间分布形势。这些时次雷暴的发生也具有明显的

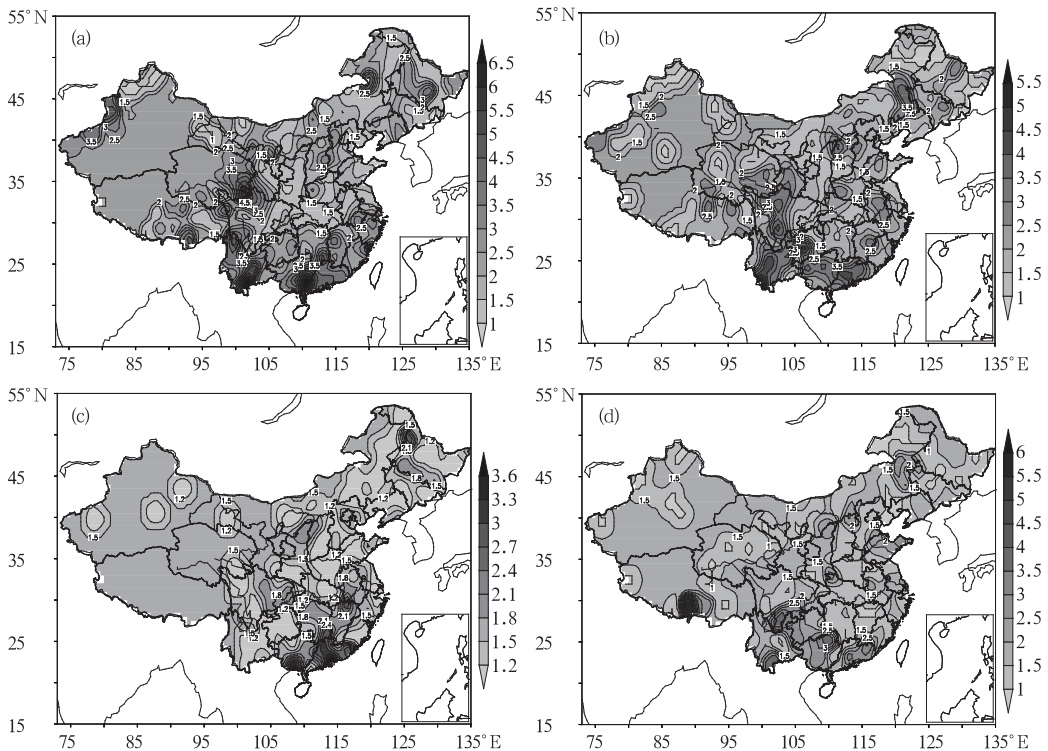


图 2 2006 年 5—9 月部分时次全国雷暴天气发生次数空间分布 (a: 17 时; b: 20 时; c: 11 时; d: 23 时)

空间差异。在雷暴发生较多的17时,主要发生在云南东南部和西北部、广东西部,广西东部、四川北部、青海东南部以及新疆西部部分地区。20时主要发生在广东、广西中部、云南大部、四川中部和北部、山西北部以及内蒙古东部部分地区。11时雷暴主要发生在广东中部、广西南部、江西北部 and 安徽南部以及东北部分地区。到了23时,西藏东南部、四川南部、广西北部及广东部分地区雷暴发生相对较多,但与17时及20时相比,已明显减少。

### 3 对流物理量指数的分布特征

强对流天气的发生发展有其特定的环境,是在特定条件下出现的短时灾害性天气,一般雷暴等强对流天气出现必然对应某些物理量的异常。由于能够造成强对流天气发生的物理原因较多,包括地形、大气层结稳定性、局地水汽含量、垂直运动,风的垂直切变,大气不稳定能量、下沉气流强度等等,如果仅仅分析某种物理特征量可能得不到较好的预报结论。因此,人们希望能够通过一种较为客观化的方法给出较好的预报落区,现在业务中通过计算各种对流物理量来判断雷暴等强对流发生的可能性。但是由于缺少定量的标准,预报员很难从各种指标中找到较为一致的结果,因此需要对各种物理量指数进行综合分析,目的在于找到一些较好的预报指标,同时针对这些指标找出强对流天气发生时的域值,以便预报员定量参考。

针对2006年5—9月发生的雷暴天气事件,计算30多个对流物理量指数在发生雷暴天气的情况下,各物理量在不同阈值范围内的概率。了解这些事件发生时各种指数的空间概率分布特征,从而为划定域值做好准备。通过分析发现,各种物理量指数对于雷暴等强对流天气发生呈现出不同的概率分布特

征,主要包括三区分布型和南北分布型。

(1) 三区分布型:该分布型是最为主要的一种空间分布型,有超过半数的物理量指数的高概率区域呈现出这种分布特征。

图3是最佳对流有效位能的三区概率分布,由图可知,当最佳对流有效位能小于 $500\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时(图3a),西藏东部、青海大部及

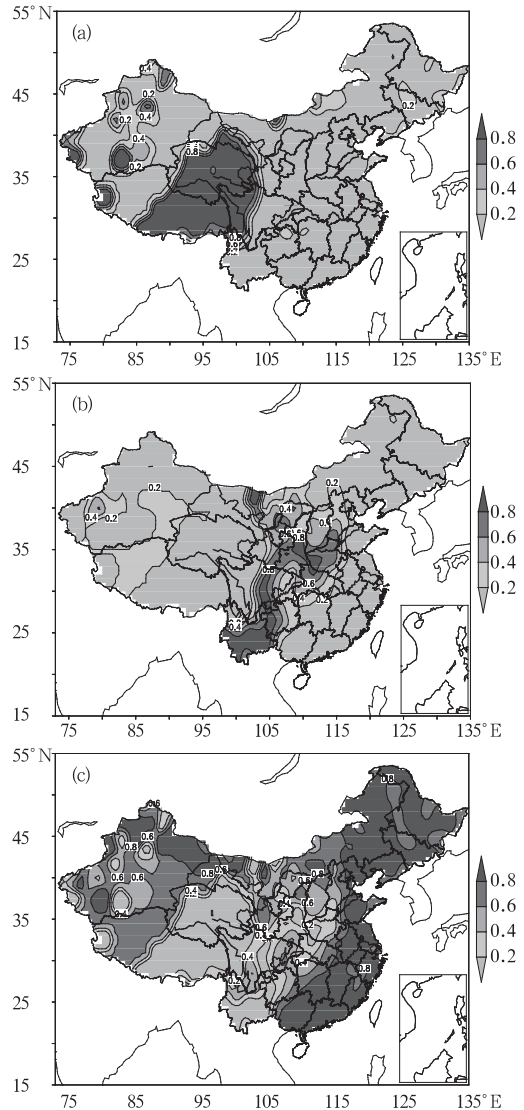


图3 最佳对流有效位能(BCAPE, 单位: $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ )概率分布图  
(a、b、c分别表示 $\text{BCAPE}<500$ ,  $\text{BCAPE}\geq 4000$ ,  $500\leq\text{BCAPE}<4000$ 时的概率分布)

四川西部高原地区雷暴发生的概率达 80% 以上,其他大部地区几乎没有出现雷暴等强对流天气,表明上述地区发生强对流天气所需的有效位能较少。图 3b 是最佳对流有效位能大于  $4000\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$  时雷暴发生的高概率区间,可以看到,多发区呈现出明显的南北带状分布,包括内蒙古中西部、甘肃大部、陕西、四川东部、云南大部、山西中南部、河南西部、湖北西部以及贵州、广西西部部分地区,全国其他地区则几乎没有强对流出现,说明上述地区发生强对流时大气中的对流有效位能较大。当最佳对流有效位能介于 500 和  $4000\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$  之间时(图 3c),雷暴等强对流发生的高概率区域再次发生变化,主要出现在东北、内蒙古东部、华北、华东、华南大部、贵州东部、新疆大部及西藏西部地区。除最佳对流有效位能外,K 指数等其他 17 个强对流物理量指数具有与最佳对流有效位能相似的空间分布特征(图略),各指数的三区分布阈值范围见表 2。

(2) 南北分布型:具有这种分布特征的指数包括大气可降水量、 $0^\circ\text{C}$  层高度、 $-30^\circ\text{C}$  高度等物理量指数。

大气可降水量是指从地面直到大气顶的单位截面大气柱中所含水汽总量全部凝结并降落到地面可以产生的降水量。图 4 是大气可降水量在不同取值时雷暴等强对流发生的高概率空间分布。由图可知,不同地区强对流天气发生时大气可降水量不同,存在明显的南北分布特征,北方区包括我国东北、内蒙古、河套地区、甘肃及新疆大部,当大气可降水量小于  $11\text{cm}$  时(图 4a),上述大部分地区雷暴等强对流天气发生的概率均在 80% 以上,而南方地区几乎没有强对流的高概率区。相反,当大气可降水量大于  $11\text{cm}$  时(图 4b),雷暴主要发生在我国南方地区,特别是当大气可降水量达到  $14\text{cm}$  以上时,云南、贵州西部、四川大部及陕南部分地区雷暴发生较多。

大气可降水量的这种空间分布特征表明,雷暴等强对流天气发生时,南方地区的可降水量明显高于北方,这可能与大尺度环流有密切的关系。夏季我国天气强烈地受到西太平洋副热带高压的影响,南方地区经常处于副热带高压外围,并受到低层西南季风的影响,使得该地区整层大气的水汽含量比北方地区明显偏多。

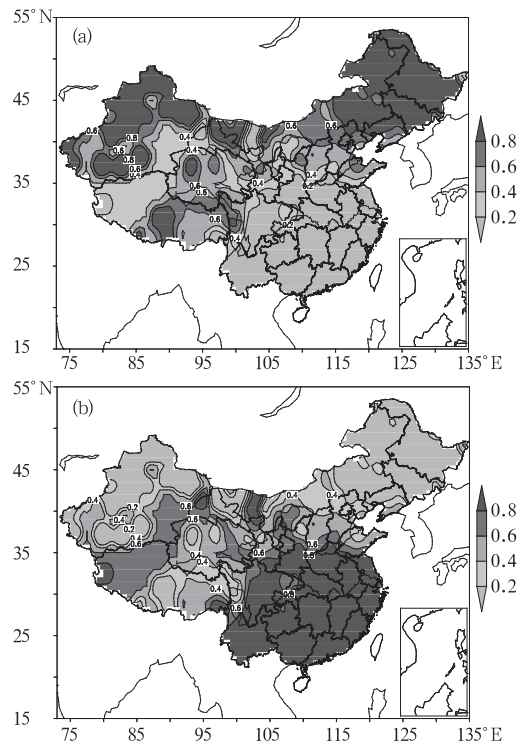


图 4 大气可降水量(PW)概率分布图  
a、b 分别表示  $\text{PW} < 11\text{cm}$ ,  $\text{PW} \geq 11\text{cm}$  时的概率分布

$0^\circ\text{C}$  层高度和  $-30^\circ\text{C}$  层高度指数表明,当  $0^\circ\text{C}$  ( $-30^\circ\text{C}$ ) 层高度指数小  $5 \times 10^3 \text{gpm}$  ( $10 \times 10^3 \text{gpm}$ ) 时,主要的强对流天气发生在北方区,而大于  $5 \times 10^3 \text{gpm}$  ( $10 \times 10^3 \text{gpm}$ ) 时则主要出现在南方区(图略)。可见,北方地区发生雷暴时冷空气到达较低的层次,下层暖空气向上伸展较弱,而南方地区则相反,冷空气所在位置较高,暖空气向上伸展可达到较高的高度,比北方地区对流更加强盛。

表 2 各物理量指数三区分布特征范围

指数	I 区	II 区	III 区
K 指数	30~40	>40	<30
修正的 K 指数	40~50	>50	<40
抬升指数	-5~0	<-5	>0
最优抬升指数	-5~0	<-5	>0
沙氏指数	-5~0	<-5	>0
对流稳定度指数	-20~0	<-20	>0
最佳对流稳定度指数	-30~0	<-30	>0
对流有效位能/ $J \cdot kg^{-1}$	500~3000	>3000	<500
最佳对流有效位能/ $J \cdot kg^{-1}$	500~4000	>4000	<500
条件稳定度指数	-20~0	<-20	>0
条件对流稳定度指数	-45~0	<-45	>0
深对流指数	30~50	>50	<30
修正的深对流指数	40~60	>60	<40
瑞士雷暴指数 00	0~5	<0	>5
瑞士雷暴指数 12	0~5	<0	>5
微下击暴流日潜势指数	0~1.5	>1.5	<0
全指数	40~50	>50	<40
风暴强度指数( $m \cdot s^{-1} \cdot km^{-1}$ )	30~120	>120	<30

除了上述提到的物理量指数外,还有一些指数表现出的区域分布特征就不完全具有前述两类较为典型的空间分布型(图略),如对流温度指数与抬升凝结温度指数这两个反映温度的物理量指数,在数值较小( $t_{am} < 30^{\circ}C$ 、 $t_c < 10^{\circ}C$ )的时候发生雷暴的高概率区在东北,指数值较大( $t_{am} > 40^{\circ}C$ 、 $t_c > 20^{\circ}C$ )时往往出现在西藏青海一带。而当指数值介于中间时( $30^{\circ}C \leq t_{am} \leq 40^{\circ}C$ 、 $10^{\circ}C \leq t_c \leq 20^{\circ}C$ ),全国其他大部分地方出现强对流天气的概率较高。

综合来看,大部分对流物理量指数在不同数值范围时,都有类似的三区空间分布特征,目前业务中经常使用的用于预报强对流天气的物理量指数包括 K 指数、CAPE 指数、抬升指数等都具备三区分布特征,因此在进行客观预报时这些具有三区分布特征的指数可能具有更高的参考价值,由于三个高概率区域发生雷暴等强对流天气时各物理量数值不同,为了使这些指数能更好的应用于实际业务预报中,现分别给出三个区域各指数的具体范围。

为方便起见,我们把东北、内蒙古、华北、华东、华南一线及青藏高原西部和新疆东南部地区作为一区(I),把南北走向的带状分

布区:西北地区东部、河套地区以及西南地区东部及南部作为二区(II)、把青海及青藏高原东部地区作为三区(III)(图 5)。

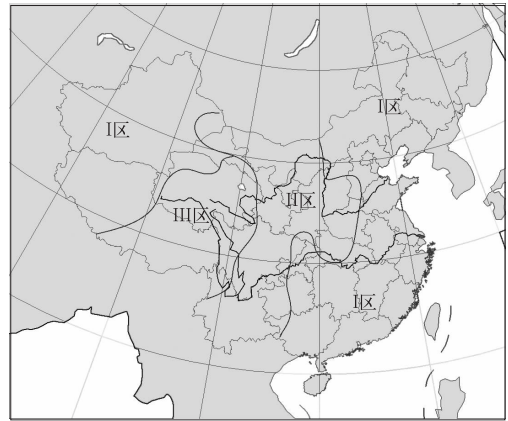


图 5 发生雷暴等强对流天气高概率三区示意图

事实上,指数在不同范围变化时,对应雷暴等强对流天气发生的高概率区域不同,表明雷暴等强对流天气发生的空间差异性,这些差异性形成的原因较为复杂,局地环境的不同可能是造成这一差异的其中一个原因。徐光清等<sup>[16]</sup>指出同样条件下,不同地形对对流参数分布特征存在影响。Milier<sup>[17]</sup>研究认为,强雷暴只能出现在强热力不稳定和强动力不稳定都出现的环境中。然而,Mad-dox<sup>[18]</sup>等后来研究发现,在强(弱)热力学条件和弱(强)动力学条件下也可以出现强天气。仅从某个物理指数上很难判断一个地方是否会出现雷暴等强对流天气。例如,抬升指数是一个反映大气热力稳定程度的物理量参数,当抬升指数大于 0 时表示气层是稳定的,但这不表示此时不会发生雷暴等强对流天气,抬升指数小于 0 对应三区发生雷暴的高概率区域表明在热力稳定大气层结中,充分适合的动力条件仍然可能产生强对流天气。

#### 4 结论与讨论

通过对 2006 年 5—9 月我国雷暴等强对流天气的统计分析,发现雷暴等强对流天气

主要发生在下午及傍晚,而 23 时及 11 时发生次数最少,而且空间上主要出现在广东、广西、云南及四川东部等我国南方地区,内蒙古中西部、新疆北部、青海北部等地较少发生。

大部分对流物理量指数都有三区分布特征,不同区域出现强对流天气时指数有不同取值。为了验证这一结论,我们对 2007 年的雷暴天气进行检验。以  $k$  指数为例,检验 5—7 月雷暴天气与  $k$  指数在不同分区的对应关系。结果表明大部分雷暴天气出现时指数都符合各区域给出的范围,但有以下两点需要注意:(1)在山西、河北的北部、东北地区会出现  $k$  值比较大( $k > 40$ )的情况发生雷暴天气;(2)二区偏北的地方  $k$  值变动比较大。

这里还需指出的是 2007 年 4 月 16 日 20 时至 17 日 23 时,在长江中游附近地区有雷电发生,但其  $k$  指数的值却比较小,多数的值只有 20 左右(BCAPE 等其他指数的值,也都很小)。这就说明当主要指数不满足我们前面的分析结果时,也可能出现雷暴等强对流性天气。但是可以发现另一个现象,就是虽然在这一地区  $k$  指数的反映比较弱,但是从指数分布来看,这个地区正好是  $k$  指数梯度较大的地方。有关物理量指数梯度变化特征的指示意义还需要进一步研究。

需要指出的是,上述三个区域的划分是根据各指数分布进行综合分析的结果,具有一定的主观性,这是由于虽然各指数都具有大致相同的三个区域,但并不完全相同。如果预报的站点位于某个区域内时,可以方便地作出判断,但如果预报的站点位于区域之间分界处附近,则判断起来难度较大,特别是如果二区对应的指数值较大,三区对应的指数值较小(如  $K$ 、 $MK$ 、 $CAPE$ 、 $BCAPE$ 、 $DCI$ 、 $MDCI$ 、 $MDPI$ 、 $TT$ 、 $SSI$  等指数),或二区对应的指数值较小,三区对应的指数值较大(如  $LI$ 、 $BLI$ 、 $SI$ 、 $IC$ 、 $BIC$ 、 $IL$ 、 $ICL$ 、 $SWISS00$ 、 $SWISS12$  等指数),那么二区与三区分界处指数值变化较大,具体情况还需预报员结合各种资料综合判断。

## 参考文献

- [1] 朱乾根,林谨瑞,寿绍文,等. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社,1992.
- [2] 陆汉城. 中尺度天气原理和预报[M]. 北京:气象出版社,2000.
- [3] 丁一汇. 暴雨和中尺度气象学问题[J]. 气象学报,1994,52(3): 274-284.
- [4] 谢义炳. 中国下半年几种降水天气系统的分析研究[J]. 气象学报,1956,27(1): 1-24.
- [5] 刘勇. 陕西一次槽前强对流风暴的诊断分析[J]. 高原气象,2006,25(4):687-695.
- [6] 罗娅,刘开宇,张云瑾. 一次强对流天气的诊断分析[J]. 云南大学学报,2006,28(S1):189-193.
- [7] 彭治班,刘健文,郭虎,等. 国外强对流天气的应用研究[M]. 北京:气象出版社,2001.
- [8] Showalter A. K. A stability index for thunderstorm forecasting[J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 1953, 34: 250-252.
- [9] Galway J. G. The lifted index as a predictor of latent instability[J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 1956, 37: 528-529.
- [10] Barlow W B. A new index for the prediction of deep convection. Preprint[R]. 17th Conf on Severe Local Storms. 1993. 129-132.
- [11] 李耀东,刘健文,高守亭. 动力和能量参数在强对流天气预报中的应用研究[J]. 气象学报,2004,62(4):401-408.
- [12] 高守亭,孙淑清. 应用里查逊数判别中尺度波动的不稳定[J]. 大气科学,1986,10:171-182.
- [13] 周后福,邱明燕,张爱民,等. 基于稳定度和能量指标作强对流天气的短时预报指标分析[J]. 高原气象,2006,25(4):716-722.
- [14] 叶爱芬,五志方,薛伟军,等. 对流有效位能在强对流预报中的应用研究[J]. 热带气象学报,2006,22(5):484-490.
- [15] 齐琳琳,刘玉玲,赵思雄. 一次强降雨过程中对流参数对潜势预测影响的分析[J]. 大气科学,2005,29(4):536-548.
- [16] 徐光清,丁霞,郝莹. 地形对对流参数特征影响研究[J]. 安徽农业科学,2007,35(35):11591-11592.
- [17] Miller R C. Notes on analysis and weather forecasting procedures of the Air Force Global Weather Central Air Weather Service Technical Report200, 1976[R].
- [18] Maddox R A, Doswell C A. An examination of jet stream configurations, 500mb vorticity advection and low level thermal advection patterns during extended periods of intense convection [J]. Mon. Wea. Rev., 1985, 110:184-197.