

2007年7、8月雷州半岛强对流天气的层结条件

王 君 刘 昊 刘 巍巍

(北京华风气象影视信息集团有限责任公司, 100081)

提 要: 夏季雷州半岛上强对流天气主要发生在下午和傍晚, 根据雷州半岛遂溪单站探空资料及雷州半岛附近阳江站点的资料, 计算出 02 时或 08 时的大气不稳定性指数 (K 指数、 A 指数、沙氏指数、 $\theta_{se850} - \theta_{se500}$)、对流有效位能 CAPE、对流抑制能量 CIN、地面温度差等参数, 然后进行归纳统计, 得出有利于降水发生的阈值。结果表明当 $K \geq 35^\circ\text{C}$, 出现局地强对流天气的概率为 95.7%, 当 $A \geq 10^\circ\text{C}$ 时出现几率为 94.7%, 以及有 $SI < 0$ 时出现几率为 85.7%, $\theta_{se850} - \theta_{se500} > 0$ 时出现几率为 73.9%。若上述四项指标同时满足, 则出现局地强对流天气的可能性又大大增加。因此, 这些指标对预报 24 小时内的短时强对流天气有一定的参考作用。

关键词: 对流 大气层结 不稳定性

引 言

强对流天气是大气不稳定能量释放的产物, 因此对流的强度、类型与风暴环境的热力结构和动力结构有密切的关系。根据探空资料不仅可以计算出稳定度和能量相关参数, 也可以直接计算出很多动力相关参数。其中稳定度指数, 如沙氏指数、 K 指数等一直沿用至今。随着探测手段的进步及数值模拟研究的发展, 国际上对强对流结构的观测、模拟、分析和预报技术发展迅速, 用于揭示强对流天气现象及分析、预报和研究的不稳定参数发展较快。了解不稳定性参数及其使用特性将对强对流天气的分析和预报有很大帮助^[2]。

雷州半岛热量丰富, 大气层结常处于不

稳定或潜在不稳定, 同时低层大气的水汽也充足。触发或启动积雨云生成, 对积云发展起推动作用的因素有动力抬升因素和热力抬升因素。动力抬升因素主要为地形的抬升和天气系统造成的辐合抬升。由于雷州半岛台地低矮, 接近海平面, 地形的抬升不显著, 动力抬升主要是冷空气、东风波、热带辐合带、热带气旋以及副热带高压进退等天气系统造成的影响。热力抬升因素主要是下垫面受太阳辐射加热, 使下垫面温度升高。当大气层处于不稳定或潜在不稳定, 特别是潜在不稳定的情况下, 下垫面温度达到足够高, 抬升力使气块上升到自由对流高度以上时, 触发对流的产生和积雨云的生成; 若下垫面温度不够高, 气块获得的能量不足以克服对流抑制能量 CIN, 气块将回到原平衡位置, 气块仍处于稳定状态, 无法触发对流和生成

积雨云。因此下垫面温度高低是触发对流的产生和积雨云生成的关键因素。

分析雷州半岛夏季对流性天气的大气层结条件，探讨不稳定指数在由热力作用形成的强对流天气预报方面的应用，特别是 24 小时以内的短时预报，对实际业务预报工作和研究工作有所裨益。

1 资料处理

根据统计，雷州半岛 7、8 月份雷暴天气频繁，且主要以午后热雷雨为主。因此，选取了 2007 年 7 月和 8 月雷州半岛上遂溪站及雷州半岛附近阳江站的探空资料和地面自动站资料等进行处理。首先计算出 02 时或 08 时（北京时）的各类不稳定指数，包括 K 指数、A 指数、沙氏指数、 $\theta_{se850} - \theta_{se500}$ 以及不稳定能量等，然后根据计算得出的不稳定指数进行归纳，把有雷暴或降水发生的天气定义为强对流天气，从热力因素的角度，分析当天强对流天气与各类参数之间的相关性，得出有利于降水发生的参数阈值。

2 不稳定指数的分析

2.1 K、A 指数与降水关系

利用遂溪 2007 年 7 月 14 日到 8 月 14 日一个月的 02 时探空资料，计算出逐日的 K、A 指数，与当天的日降水量（遂溪自动站资料）进行对比，所得结果如图 1。

可以看出不稳定指数 K、A 指数与降水量的关系极为密切，K 指数的变化范围在 20~45℃ 之间，A 指数的变化范围在 -10~20℃，两者波动对应关系良好。当 K、A 指数处于峰值时，降水量也处于峰值；反之，当 K 指数、A 指数小于某一阈值时，则不发生降水。由此可见，K、A 指数对局地热对流产生的降水有重要的指示作

用。个例表明，当 A 指数由负值上升到正值时，天气转为阴雨，达到 10℃ 以上时多有降水发生，A 指数下降到负值时则雨停^[3]。K 指数是衡量大气中潜在能量多少的一种指标，K 指数在夏季很少出现负值。K > 20℃ 时，就有出现雷暴的可能；K > 35℃ 时，即具备出现大片雷雨的条件^[4]。

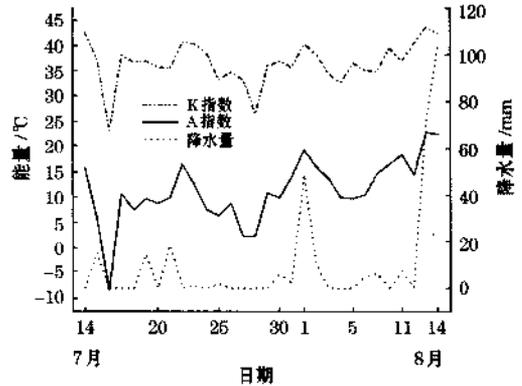


图 1 夏季遂溪 K 指数、A 指数与降水量的变化分布

2.2 SI 指数、与降水关系

SI 指数和 $\frac{\partial \theta_{se}}{\partial z}$ 都是用位温随高度的变化来反映大气的层结状况。探空图引入 $\theta_{se850} - \theta_{se500}$ 来表示 $\frac{\partial \theta_{se}}{\partial z}$ ，通常 $\theta_{se850} - \theta_{se500}$ 越大越不稳定。沙氏指数 SI 表示从温度—对数压力 ($T - \ln p$) 图中，将 850hPa 上的小气块按干绝热递减率上升到 500hPa，500hPa 上大气的实际温度 T_{500} 与该上升气块的温度 T_s 的差值。SI > 0，表示气层稳定；SI < 0，表示气层不稳定，SI 的正值越小，表示气层越不稳定。 $\theta_{se850} - \theta_{se500}$ 是 850hPa 和 500hPa 的假相当位温差，反映假相当位温随高度的变化。根据位势稳定度判据，当 $\theta_{se850} - \theta_{se500} > 0$ 时气层为不稳定。

图 2 为阳江 7 月 21 日—8 月 20 日的 SI 指数和 $\theta_{se850} - \theta_{se500}$ 变化分布图。其中，SI 指数和 $\theta_{se850} - \theta_{se500}$ 均使用的是 08 时的数据。

两者显示相反关系，即当 SI 指数为峰值时， $\theta_{se850} - \theta_{se500}$ 为谷值；反之亦然。这是因为 SI 指数越小，反映出大气层结越不稳定。而 $\theta_{se850} - \theta_{se500}$ 则是越大，反映出层结的越不稳定。因此，两者反映的大气层结状况是一致的。将上述的参数值与强对流天气状况进行对比，可以得到表 1 中的规律。

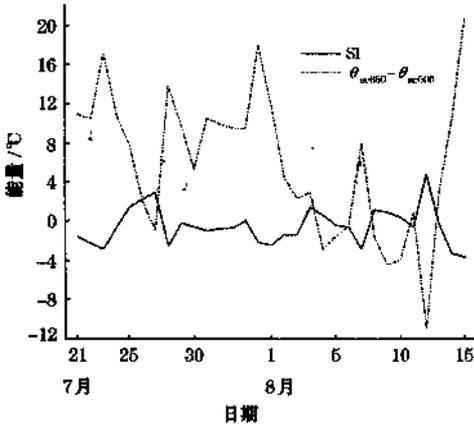


图 2 夏季阳江 08 时 SI 指数和 $\theta_{se850} - \theta_{se500}$ 变化分布图

表 1 各类指数预报准确度统计

指数	阈值 / $^{\circ}\text{C}$	符合天数/天	强对流天数/d	准确度 /%
K	≥ 35	23	22	95.7
A	≥ 10	19	18	94.7
SI	< 0	21	18	85.7
$\theta_{850} - \theta_{500}$	> 0	23	17	73.9

表 1 是 7 月中旬至 8 月中旬 30 天，用不稳定指数对应于各个指标阈值预报对流天气的统计情况。其中，由于资料有限，K 指数和 A 指数使用的是 02 时探空资料计算，SI 指数、 $\theta_{se850} - \theta_{se500}$ 使用 08 时的探空资料计算。准确度定义为发生强对流的天数除以符合阈值的天数。可以发现，各指数的准确度都比较高，其中对应阈值下的 K 指数准确最高，其次为 A 指数，然后依次是 SI 指数和 $\theta_{se850} - \theta_{se500}$ 。结果符合雷州半岛上典型的热雷雨形势，即用早晨的不稳定参数来预报午后或傍晚的短时强对流天气，具

有较高的准确性。因此，不稳定指数对短时临近（考虑 24 小时内）的强对流天气预报，具有参考性。

3. 不稳定能量的分析

在实际工作中，探空资料有着广泛的应用，人们常应用温度对数压力图分析不稳定能量。所谓一个气层是潜在不稳定的，即是指该气层具有转变成不稳定气层的条件。当有足够的抬升力使气块上升到自由对流高度以上，潜在不稳定就变成了真实不稳定；若气块获得的能量不足以克服对流抑制能量 CIN，气层仍处于稳定状态。根据正负面积的大小将潜在不稳定型再分为真潜不稳定和假潜不稳定两种。 $E > 0$ 称作真潜不稳定； $E < 0$ 为假潜不稳定。正值愈大不稳定性愈大，愈有利于对流天气发展。

图 3 为根据 2007 年 7 月 30 日遂溪市 02 时探空数据绘制的大气层结曲线和状态曲线。自由对流高度 (LFC) 以上的正面积为对流有效位能 CAPE，LFC 以下的负面积为对流抑制能量 CIN。图中不稳定能量 CAPE 的面积很大，这是一种真潜不稳定型。事实上 7 月 30 日中午 10:18—12:06 雷州半岛确实发生了阵性降水和雷暴活动。说明在此时，已经具备了对流天气所需的大量不稳定能量。

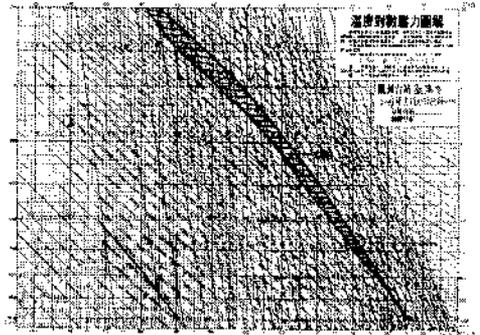


图 3 2007 年 7 月 30 日 02 时遂溪探空曲线图

4 地面温度差与降水量的关系

图4中地面温度差为一天中地面的最高温度与早上8时的地面温度差,由于最高温度基本上出现在午后14时,可以认为是6小时的地面温差。可以看出地面温度差与降水有很好的关系,地面温差的峰值与降水量峰值基本对应,即地面温差的大小反映了降水量的大小。这是因为7月份的降水多为午后热雷雨。一开始大气层结处于潜在不稳定状态下,地面温度逐渐上升的过程中,近地面层通过湍流输送加热空气,当地面温度到达一定值时,空气中已经具有足够的热浮力使气块能够上升到自由对流高度以上而形成局地热对流天气。降水时间总是在午后地面出现最高温度后不久(图略)。8月份受到热带气旋“帕布”和“蝴蝶”的影响,降水主要由天气系统的动力抬升产生,因此没有显示出较好的对应关系。

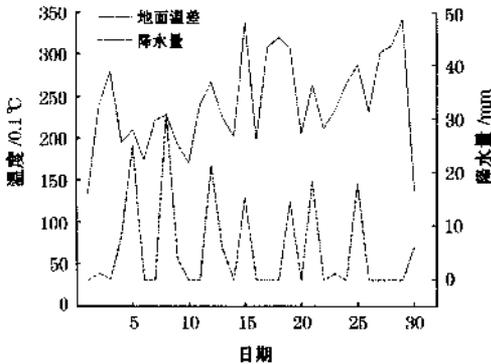


图4 2007年7月份遂溪地面温度差与降水量的变化分布

5 小 结

基于2007年7—8月雷州半岛上遂溪点探空资料、地面自动站资料,以及雷州半岛附近站点阳江的相应资料进行分析,计算了不稳定指数(K指数、A指数、SI指数、 $\theta_{se850} - \theta_{se500}$),并对不稳定能量进行了分析。

根据统计,强对流天气主要发生在下午和傍晚,所以上述指数和不稳定能量的分析可以作为局地强对流天气的短时预报指标。

(1) 当K指数 $\geq 35^\circ\text{C}$,出现局地强对流天气的概率为95.7%,当A指数 $\geq 10^\circ\text{C}$ 时出现几率为94.7%,以及有SI指数 < 0 时出现几率为85.7%, $\theta_{se850} - \theta_{se500} > 0$ 时出现几率为73.9%。若上述四项指标能同时满足,则出现局地强对流天气的可能性又大大增加。因此,可以把这些指标用于短时强对流天气的预报。

(2) 用面积法计算不稳定能量,判断该潜在不稳定气层的真假。若正面积大于负面积,即对流有效位能大于对流抑制能量,则该气层可能转化为不稳定气层而触发对流产生。

(3) 早上8时与午后14时的地面温度差也是预报短时强对流天气的一项重要参考。当该地面温差较大时,由于地面升温产生的热抬升力使气块上升到自由对流高度上而发生局地热对流。

(4) 以上不稳定指数和不稳定能量分析预报方法主要适用于预测由热力作用产生的短时局地对流天气。对于由天气系统、地形作用等动力因子产生的降水则不适用。

(5) 文中所用资料有限,只采用2007年的数据,所得具体数值需作进一步研究和实际预报的检验。

参考文献

- [1] 曹基富,吴德平,等. 雷州半岛降水特性分析[J]. 广东水利水电, 2002, 12(6): 36-37.
- [2] 彭治班,刘建文,郭 虎,等. 国外强对流天气的应用研究[M]. 北京: 气象出版社, 2001.
- [3] 章 淹,林宗鸿,陈渭民,等. 暴雨预报[M]. 北京: 气象出版社, 1990: 71.
- [4] 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): 8.