

一次短时暴雨天气的稳定度和能量参数分析

林丽, 李荣, 张霞, 冯慧敏, 王红兴

(郑州市气象局, 郑州 450005)

摘要: 利用常规探空资料, 对2006年8月25日发生在郑州市的短时暴雨过程中的稳定度和能量参数进行了诊断分析, 结果表明: 对流有效位能和深对流指数在暴雨开始前有较明显的增大, 且峰值与降水增强时段有6~12 h的提前量; 稳定度指数也与短时暴雨的发生、发展有着良好的对应, 当测站对流稳定度指数在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下、 K 指数达到 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上、 A 指数值增大到 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时, 遇有触发机制, 极易产生强对流暴雨。

关键词: 短时暴雨; 稳定度指数; 能量参数

中图分类号: P458.3

文献标识码: A

文章编号: 1673-7148(2007)04-0045-04

引言

强对流天气是在有利的大尺度环流背景下产生的中小尺度天气系统的产物, 一般伴随雷暴、大风和局地暴雨, 有时还伴有冰雹和龙卷风, 是一种具有短时巨大破坏力的天气, 常给国民经济和人民生活财产造成严重的损失, 由于其具有时空尺度小、发展速度快、持续时间短的特点而难以准确预测。为了表述强对流天气发生、发展的环境, 经常用到各种对流参数, 而物理意义明确的能量、动力和热力稳定度参数最为常用。从能量学角度看, 强对流天气过程是能量的积累和在一定条件下强烈转化和释放的过程。雷雨顺等^[1]曾用能量方法在强对流天气的分析和预报方面做了大量研究工作; 高守亭等^[2]还把与动力—热力都相关的里查逊数用来判别中尺度波动不稳定, 并用于强对流发生机制的研究。王咏薇等^[3]指出位势及层结不稳定是强对流天气产生的必要条件; 根据CAPE时空分布特征, 可以初步判断暴雨发生的区域和降水强度, 有利于更好地揭示强对流天气。刘玉玲^[4]、齐琳琳^[5]用对流参数对一次强雷雨过程的影响做了潜势预测分析。

探空资料可直接反映出大气垂直的热力—动力结构。本文以2006年8月25日郑州市的短时暴雨过程为例, 利用郑州探空站的探空资料, 计算了郑州

单站的深对流指数、对流有效位能、对流稳定度指数、抬升指数、 K 指数和 A 指数等能量和稳定度参数, 讨论了这些参数与短时暴雨的发生、发展间的联系, 旨在寻找短时暴雨的单站预报指标。

1 暴雨过程概况及环流背景

2006年8月25日14:20—19:10(北京时, 下同), 郑州市遭遇了一次强对流暴雨天气袭击, 整个过程伴有强雷暴。这次降雨空间分布不均, 据加密雨量站观测数据显示, 5 h降水中心出现在郑州市东开发区, 降雨量为97.8 mm, 郑州本站为54.6 mm。

这次强降雨主要受东移的西风槽影响所致。8月24日08时500 hPa图上, 亚欧环流呈两槽一脊型, 588 dgpm线位于射阳、宜昌到长沙一线。24日20时, 588 dgpm线西伸到徐州、南阳、达川到连平一线, 低槽位于东胜、榆中到西昌一线, 郑州地区处于槽前西南气流里。另外, 从贝加尔湖伸向河套地区西部有一温度槽, 该槽落后于高度槽, 并不断有短波槽东传。25日08时, 低槽东移, 槽前西南风速加大, 较强的西南气流把孟加拉湾的水汽向雨区输送, 为这次暴雨天气提供了丰沛的水汽, 西风槽携带的冷空气在雨区上空与这里暖湿的西南气流交汇, 触发了强对流天气的产生。

收稿日期: 2007-03-29; 修订日期: 2007-09-11

作者简介: 林丽(1967-), 女, 浙江宁波人, 工程师, 学士, 从事中尺度气象学研究. E-mail: linli6709@sohu.com

2 能量参数分析

2.1 深对流指数

强对流是一种深(厚)对流,几乎所有的局地强风暴都与深对流有关,而与有组织的深对流系统联系最密切的 3 个重要因素是:①对流层低层有足够的湿层以保证有充足的水汽供应;②充分大的温度直减率以保证足够的不稳定能量;③足够的抬升力以使空气能由湿层到达自由对流高度^[6]。Barlow 将其中前两个因素结合,组成一个可用于预报的深对流指数(DCI),其表达式为

$$DIC = (t_{850} + t_{d850}) - LI \quad (1)$$

式中 t_{850} 、 t_{d850} 分别为 850 hPa 温度和露点(以 $^{\circ}\text{C}$ 为单位), LI 为地面抬升指数。深对流指数越大,预示条件不稳定越强。若同时具备抬升触发条件,则很可能出现强对流天气事件。

这次暴雨过程的深对流指数变化如图 1 所示。暴雨发生前,深对流指数有一个逐渐增大的过程,24 日 08 时,郑州的 DCI 值不足 30°C ;到了 20 时,DCI 增大到了 34.9°C 。25 日 08 时,DCI 进一步增大到 36.7°C ,郑州上空对流层中低层大气的不稳定度不断增强,已存在对流发生的潜势,25 日下午,随着高空槽前冷空气的入侵,不稳定得以触发,从而产生了强对流天气;20 时,由于不稳定能量的释放,对流层中下层的不稳定度有所减小,表现在深对流指数上则是该指数值由峰值开始下降。

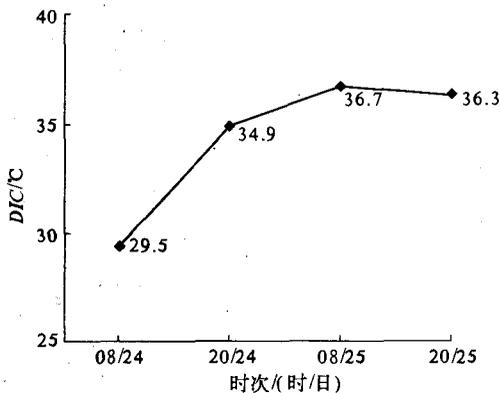


图 1 2006 年 8 月 24—25 日深对流指数演变曲线

2.2 对流有效位能

近年来,对流有效位能越来越多地被用于对流天气的分析和预报业务中。对流有效位能常用的表达式为

$$CAPE = g \int_{z_{LFE}}^{z_{EL}} \left(\frac{T_{vp} - T_{ve}}{T_{ve}} \right) dz \quad (2)$$

有效位能(available potential energy)的含义是指可能转换为动能的位能。式(2)表示在自由对流高度与平衡高度之间,当气块的重力与浮力不相等且浮力大于重力时,一部分位能可以释放,气块可从正浮力做功而获得能量,因这部分能量对大气有着积极作用,并有可能转化成气块的动能,故称其为对流有效位能,符合“有效位能”的含义。对流有效位能是一个能定量反映大气环境中是否可能发生深厚对流的热力变量。在平衡高度处,环境对气块的浮力加速度为 0,在此高度之上,对流将因为环境的负浮力作用而受到削弱。CAPE 就表示在自由对流高度之上,气块可从正浮力作用而获得的能量。

24 日 08 时,郑州站的对流有效位能仅 29 J/kg ; 20 时,CAPE 值增大到 192 J/kg 。随着不稳定度的增大,郑州上空的不稳定能量得以明显积蓄,25 日 08 时,郑州站的 CAPE 值已增大到 638 J/kg ,这为强对流暴雨的产生提供了大量的动能转化能量。由于冷空气的触发,位能转化为动能,足够多的动能转化能量为暴雨的持续提供了动力。25 日 20 时,由于降雨的产生,CAPE 值迅速减小(见图 2)。

从以上两个能量参数的分析可以得出一点启示,能量参数的峰值与雨强的峰值间有一定的时间落差,能量的积聚是在强降水开始前就达到最大,这一特征对于制作强降水预报有一定的指示作用。

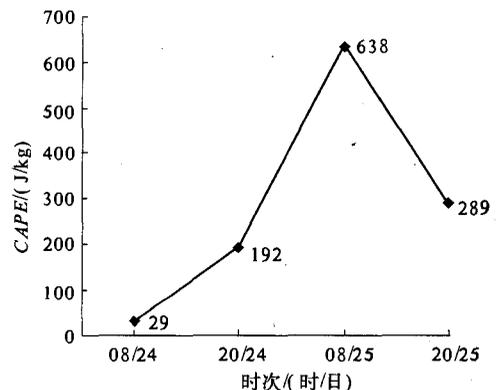


图 2 2006 年 8 月 24—25 日对流有效位能演变曲线

3 稳定度参数分析

3.1 对流稳定度指数

对流性不稳定又称位势不稳定,是指厚度相当大的某层空气被抬升达到饱和时大气的稳定度状态。常用 500 hPa 和 850 hPa 的假相当位温差值作为对流性稳定度指数,如下式所示:

$$I_{cov} = \theta_{se,500} - \theta_{se,850} \quad (3)$$

分析可知,24日08时,郑州上空的对流不稳定度还比较小。随着西风槽的不断东移和槽前西南气流的加强,对流不稳定度也在加大,至24日20时和25日08时,对流不稳定度为相对最强阶段。随着强对流暴雨的产生,至25日20时,对流不稳定有了明显的减弱。

3.2 抬升指数

抬升指数的定义为气块从修正的低层(通常为地面或近地面层)沿干绝热线上升,到达凝结高度再沿湿绝热线上升至500 hPa时所具有的温度与500 hPa等压面上的环境温度的差值。其表达式为

$$LI = (t_{e500} - t_{p500}) \quad (4)$$

式中, t_{e500} 和 t_{p500} 分别是500 hPa处的环境温度和气块温度。由定义可看出,当 $LI < 0$ 时,大气层结不稳定,且负值绝对值越大,不稳定程度越强;反之,表示气层是稳定的。

由抬升指数演变看出,暴雨开始前的24日08时,抬升指数 $LI > 0$,大气层结还处于弱的稳定状态,到了20时,不稳定度已开始增大,25日08时,不稳定度达最大。不稳定层结的存在,为强对流的发生贮存大量的不稳定能量,同时,对上升运动也起到了加强促进作用。

3.3 K指数

K指数又称气团指标,通常用于测站处在单一气团条件下的天气预报,它对气团的潮湿度、稳定度有一定的判别能力。K指数值越大,表示大气越温暖,水汽越充分,层结越不稳定。其表达式为

$$K = (t_{850} - t_{500}) + t_{d850} - (t_{700} - t_{d700}) \quad (5)$$

(5)式中 $(t_{850} - t_{500})$ 为温度递减率, t_{d850} 为低层水汽条件, $(t_{700} - t_{d700})$ 为中层饱和程度。

根据以往的使用经验,当K指数值连续增加至35℃以上,就有可能产生较强降水。从计算的K指数随时间的演变(表1)可以看出:暴雨过程前的8月24日20时,郑州站的K指数为27℃;25日08时增至32℃,20时为38℃。K指数的演变与降雨的开始和增强相吻合,K指数达到30℃以上时,开始出现降水。从25日的08时至20时,K指数值处于上升趋势,K指数值的增大与雨幅的增加一致。

3.4 A指数

A指数的表达式为

$$A = t_{850} - t_{500} - [(t - t_d)_{850} + (t - t_d)_{700} + (t - t_d)_{500}] \quad (6)$$

K指数反映出大气的层结稳定情况,但它不能明显表示出整层大气层结不稳定程度。由(6)式可

知,A指数不仅包括各层之间的温度递减率,而且包括低层、中低层和中层的温湿度条件。A指数愈大,大气愈不稳定,也愈潮湿。

由计算的A指数可知,强对流暴雨开始前,郑州站的A指数还是较小的负值(-7.7℃)。到了25日08时,A指数有较明显的增大(3.8℃),20时为16.5℃(见表1)。A指数的这一变化,指示着郑州上空大气的稳定度和潮湿度自25日08时到20时之间有一个急速增大的过程,这一过程对应于短时强降水的开始和发展。

表1 2006年8月24-25日郑州站不稳定参数 ℃

稳定度参数	24日		25日	
	08时	20时	08时	20时
对流稳定度指数 I_{cov}	-3.7	-10.2	-9.9	-6.4
抬升指数 LI	1.5	-0.9	-5.2	-1.0
K指数	30.0	27.0	32.0	38.0
A指数	-7.5	-7.7	3.8	16.5

几个稳定度指数的分析呈现较为一致的特征,在暴雨开始前期,大气层结的不稳定度有明显的增强过程,对流稳定度指数和抬升指数在暴雨开始增强前的6~12 h达到最大不稳定状态,而K指数和A指数有一定的滞后性。

4 结 论

本次强对流暴雨天气过程是在高空低槽前和副高边缘的西南气流影响下发生的。郑州单站的能量和稳定度参数对于本次强对流暴雨的发生和发展具有一定的指示意义:短时暴雨发生前,郑州上空有一定的不稳定能量积累,对流有效位能和深对流指数在暴雨开始前有较明显的增大,且峰值相对于降水增强时段有6~12 h的提前量;几个稳定度指数也与短时暴雨的发生、发展有着良好的对应关系,当测站上空大气不稳定度明显增强,特别是对流稳定度指数在-10℃以下、K指数达到35℃以上、A指数值增大到10℃以上时,遇有触发机制,极易产生强对流暴雨。

鉴于以上分析结果,可以利用各种预报时效的大、中尺度模式的输出结果来计算这些能量和稳定度参数,在分析大尺度环流背景和主要影响系统的前提下,充分利用各种动力和能量参数的特性,制作强对流天气的落区和强度预报。

参考文献

[1]雷雨顺,吴宝俊,吴正华.用不稳定能量理论分析和预报夏季强

- 风暴的一种方法[J]. 大气科学, 1979, 3(3): 297 - 306.
- [2] 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(2): 171 - 182.
- [3] 王咏薇, 寿绍文, 阎凤霞. E_s(CAP)等环境参数在强对流天气分析中的应用[J]. 南京气象学院学报, 2005, 28(6): 129 - 136.
- [4] 刘玉玲. 对流参数在强对流天气潜势预测中的作用[J]. 气象科技, 2003, 31(3): 147 - 151.
- [5] 齐琳琳, 刘玉玲, 赵思雄. 一次强雷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.
- [6] 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 - 409.

Analysis of the Stability and Energy Parameters in a Short - time Rainstorm

Lin Li, Li Rong, Zhang Xia, Feng Huimin, Wang Hongxing

(Zhengzhou Meteorological Bureau, Zhengzhou 450005, China)

Abstract: Basing on conventional sounding information, this paper analyzes the stability and energy parameters in a short-time rainstorm which occurred in Zhengzhou on August 25, 2006. The result shows the convective available potential energy and deep convective index increase significantly before the rainstorm, and their peak values are 6 ~ 12 h ahead of the enhancing raining term. The stability indices a good correspondence with the short-time rainstorm's occurring and development. When the convective stability index is below $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ and K index reaches above $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, meanwhile A index increases above $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, it generate strong convective storm easily if it once encounters trigger mechanism.

Key words: short-time rainstorm; stability index; energy parameter