

一次华南特大暴雨的诊断分析

李嘉宾 于 群

(北京华风气象影视信息集团有限责任公司, 100081)

提 要:对2005年6月17—23日发生在广东中东部和广西中东部的持续性暴雨过程进行了诊断分析。中小尺度对流系统(MCS)的连续发生、发展是造成这次特大暴雨过程的直接原因;而中低纬不同尺度的天气系统也在这次暴雨过程中起到了重要作用。中纬度稳定的阻塞高压形势、副高位置的偏南偏西以及南支槽的频繁活动均有利于暴雨的发生和维持;西南涡的东移与分裂以及切变线的存在是本次暴雨过程的决定因素;高低空急流的存在和低层丰富的水汽输送是本次暴雨所不可缺少的条件。广西北部地区的暴雨主要是由对流有效位能的积聚、释放触发的,4个对流有效位能高值中心与4次强降水过程有很好的对应关系;而广东中东部地区的暴雨的触发可能与西南涡南侧的辐合有关,暴雨区基本上落在较冷的偏北气流与暖湿的西南气流辐合区域的南侧。

关键词:暴雨 中小尺度对流系统 西南涡 切变线 对流有效位能

引 言

华南雨季一般开始于4月,持续时间达半年以上,4—6月华南地区依然处于副热带高压主体以北,降水与西风带系统有密切关系,这一多雨期被称为前汛期。由于华南前汛期的降水可占年雨量的50%或更多,华南的洪涝也多由前汛期暴雨造成,且后汛期(7—9月)暴雨主要是由热带气旋造成,对其研究一般归入热带气旋的研究,所以对华南暴雨的研究主要针对前汛期暴雨。据前人研究,华南前汛期暴雨(以下简称华南暴雨)有如下一般特征。

华南前汛期不仅是一年中华南最主要的雨季,而且降水集中,常常形成暴雨。前汛期暴雨日数占全年暴雨日数的一半以上。华南不仅暴雨多,而且强度大,从区域范围

看,华南是全国暴雨强度最大的地区。据不完全统计,广东近40年来,日雨量超过700mm的记录有18次,其中最大值达915mm,这些记录几乎都出现在前汛期。

华南暴雨还有一定的时间持续性。特别是在华南南部的广东沿海,一次暴雨过程可持续2~3天。持续时间更长的暴雨尽管次数少,但一旦出现,常会酿成重大灾害。华南相当多地区的暴雨存在着明显的日变化,不少地方存在夜雨现象,即夜间到清晨出现最大雨强,但午后的雨强高峰也常见。

华南暴雨的分布受到明显的地形影响,无论从降水量还是从暴雨的次数,都可以看出华南的降水空间分布有两个大降水带:一个在武夷山至南岭山脉,另一个则在广东沿海。这两个降水带均位于山脉形成的喇叭口以南。在一定的天气形势下,多数暴雨,尤其是大暴雨经常在动力抬升与喇叭口地形收

缩结合的情形下产生。暖湿气流吹向喇叭口的迎风坡,并且在局地地形条件有利于冷空气扩散南下并与暖湿空气交汇之处最易产生暴雨。

中低纬度天气系统的恰当配置与相互作用是华南暴雨产生的关键,这也是华南暴雨有别于全国其他地区暴雨的最基本的特点。造成华南暴雨的地面系统主要是锋面、辐合区与暖湿区。锋面在华南地区摆动,且有辐合区和暖湿区存在时往往产生暴雨。而无论是研究还是华南预报员的经验都表明,低层系统对华南暴雨最具决定性作用。低层急流可以为暴雨输送低层的水汽和不稳定能量,由此产生的独特的次级环流有利于不稳定能量的释放,提供了产生中尺度暴雨系统的一种触发机制。天气尺度的低层切变线低涡的东南侧往往对应暖区暴雨产生的区域。边界层辐合线尺度小,出现机会较多,也常常激发暴雨。另外中层气旋和副热带高压等高层系统也对暴雨的触发和维持有不可忽视的影响。

由于观测条件和其他因素制约,对华南暴雨过去的大量工作主要针对大尺度背景场的分析。近年来,随着数值模式的发展以及遥感探测技术的进展,才逐渐对中尺度系统尤其是中 β 尺度系统的影响展开研究。而这也使人们对华南暴雨的研究与了解更进了一步。研究表明,中 β 尺度云团活动频繁,是造成华南暴雨的直接影响系统^[1]。而中 β 尺度系统的发生、发展的时间尺度和空间尺度均较小,目前的观测网难以捕捉到它。然而,大尺度观测网的数据有可能提供中 β 和 γ 尺度系统发生的背景。孙建华等利用大尺度观测资料采用中尺度非静力模式MM5研究了华南地区的中尺度系统发生、发展机制及其有关物理过程的相对重要性,得到了一些有益的成果^[2]。

2005年6月中下旬,我国华南地区普

降暴雨,雨量之多、暴雨之强均为历年罕见。6月17—23日,华南地区出现大范围强降水天气过程。此次降水过程范围广、强度大,过程降水量普遍有100~200mm,广西中北部、广东中东部、福建北部的部分地区降水量为200~400mm,局部地区降水量为400~1100mm,引发了珠江,尤其是西江的大洪水。本文将对这次暴雨过程进行诊断分析,以期揭示华南暴雨发生发展的机理以及影响因子,为今后对华南暴雨的研究提供参考。

1 资料和分析方法

本文所用资料为2005年6月19日08时至6月24日02时的NCEP格点资料,18—24日的测站地面及探空资料,TRMM卫星资料以及TBB资料,文中所有时间均为北京时。

本文将重点研究17—23日广西中北部及广东中东部地区的暴雨过程,采用诊断分析方法,分析高低空形势图以及TBB场并计算散度、相对湿度、对流有效位能等物理量,试图对此次暴雨过程的引发机制、成因和过程中的天气及中小尺度系统及物理过程做出分析,以期揭示华南暴雨发生发展的机理以及影响因子。

2 天气过程回顾

2.1 降水概况

6月17—23日,华南地区普降暴雨。此次降水过程范围广、强度大。18—24日,广东河源、龙门、佛岗、新丰、海丰均记录到400年一遇的特大暴雨。18日08时到22日08时,龙门县遭遇百年一遇的特大暴雨,龙门县气象局测得雨量1113.8mm,刷新了历史纪录。从18—23日华南地区总降水图

(图 1) 中可以看到此时段内有 3 个主要的降水区, 即广西中北部 (图 1 中 a)、广东中东部 (图 1 中 b) 和福建北部 (图 1 中 c)。本文将重点分析 a、b 两个区域。

图 2a 是 TRMM 卫星反演的经向平均 3

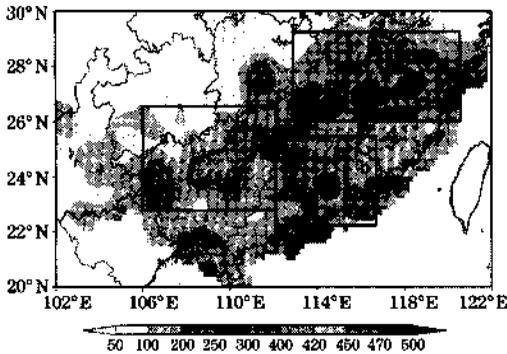


图 1 6 月 18 日 08 时至 6 月 23 日 20 时
华南地区总降水

a. 106~112°E, 22.5~26°N; b. 22~25°N, 112~117°E;
c. 26~29.5°N, 113~121°E

小时降水率随时间的演变, 可以明显地看出对应区域 a、b 各有 4 次较强的降水过程。每次降水过程 a、b 区域基本同时, 但 a 区域的降水比 b 区域开始得略早一些, 且大多数过程东西两个区域具有连续性, 这两次降水过程的内在联系还需要进一步分析。分析相应时刻的云顶亮温 (TBB) 资料 (图 2b) 可以看出, 基本上对应每次降水过程, 都可以看到较大的 TBB 中心, 这表明此次降水活动中有非常活跃的中小尺度对流系统 (MCS), 这些 MCS 相继连续生成, 并基本上维持在原地不动, 从而造成了持续性的大暴雨。其中广东中东部地区 4 次降水过程也可以在区域平均降水时间变化图 (图 3) 上较清楚地看到。两区域后 3 次降水过程强度大, 持续时间长, 尤其是 20 日 20 时至 22 日 08 时的两次过程, 对应着深厚宽广的对流, 将是本文研究的重点。

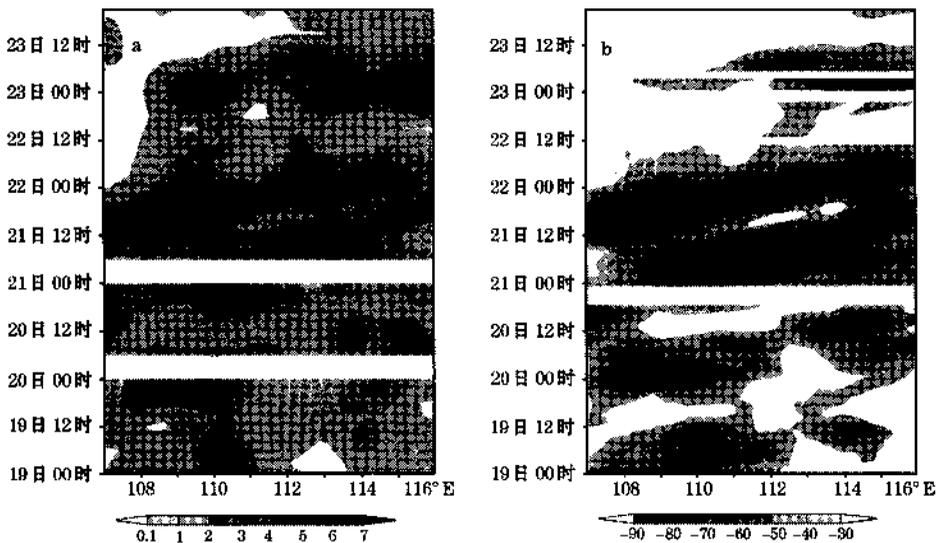


图 2 2005 年 6 月 19 日 00 时至 23 日 12 时 TRMM 卫星反演的经向 (21~25°N) 平均 3 小时降水 (a) 及 GOES-9 经向 (21~25°N) 平均 TBB (b) 随时间的演变图

2.2 天气形势分析

在 500hPa 形势图上 (图 4), 中纬度地

区维持着稳定的两槽一脊的环流形势, 贝加尔湖附近的阻塞高压缓慢东移, 高压前部为东亚大槽。20 日 20 时 (图 4a) 前华南地区

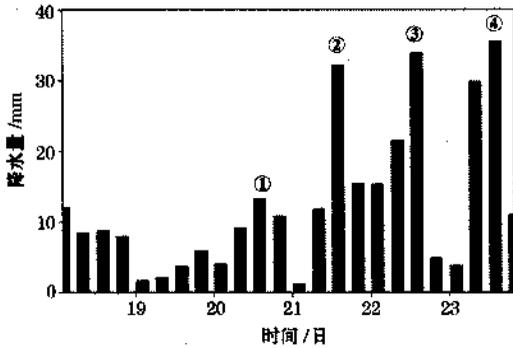


图 3 2005 年 6 月 18—23 日广东中东部 (图 1 中 b 区域) 平均降水时间变化图

盛行西风, 随后高原东部和南部不断有小槽生成并东移, 盛行西风开始转为偏北风, 21 日 08 时 (图 4b) 开始, 随着槽的加强, 槽

后风向转为西北风, 这样就为广大华南地区提供了源源不断的冷空气。21 日 08 时, 在青藏高原以南至孟加拉湾北部有一南支槽 (图 4b), 下个时次该槽移动到粤北至中南半岛一带 (图 4c), 维持了一段时间并有所加深 (图 4d), 位于槽前的广东中东部地区的此次暴雨过程便主要受到这一南支槽的影响。西太平洋副热带高压脊线位置大致在 15~20°N, 比往年偏南偏西, 西伸脊点最西已经达到了 105°E (图 4b)。这样的副高位置与南支槽配合, 非常有利于槽前 588 线西侧西南气流的加强和输送。由此可见, 中低纬天气系统的恰当配置和相互作用在此次暴雨过程中起到了重要作用。

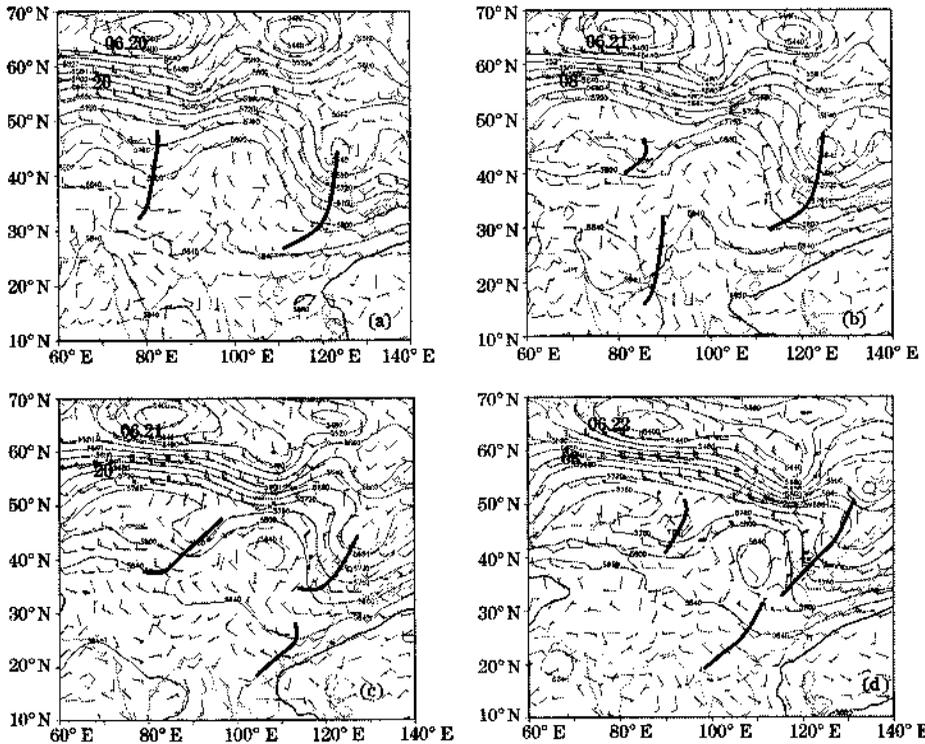


图 4 2005 年 6 月 20 日 20 时至 6 月 22 日 08 时 500hPa 位势高度场 (实线, 间隔为 40gpm) 和水平风场 (风标)

a. 20 日 20 时; b. 21 日 08 时; c. 21 日 20 时; d. 22 日 08 时

3 影响暴雨过程的不同尺度天气系统的分析

3.1 不同尺度的天气系统

从图 2b 可以看出，在华南暴雨期间有着活跃的 MCS，这些 MCS 的不断发生、发展与维持，是造成这次特大暴雨过程的直接原因。文献 [3-4] 中分析了有利于 MCS 发生、发展的天气条件，下面具体分析本次暴

雨过程中对 MCS 发生、发展起重要作用的各种不同尺度的天气系统。

由 850hPa 的流场和辐合辐散场 (图 5) 看，20 日 20 时西南地区即有低涡生成并不断东移、发展。至 21 日 20 时已经在长江中下游地区形成了一个闭合的大范围气旋性涡旋。其南部和西南部西北气流与西南气流辐合的区域正好对应了暴雨区。北方来的干冷气流与西南地区来的暖湿气流交汇、辐合，造成了华南地区大范围的暴雨过程。沿华南

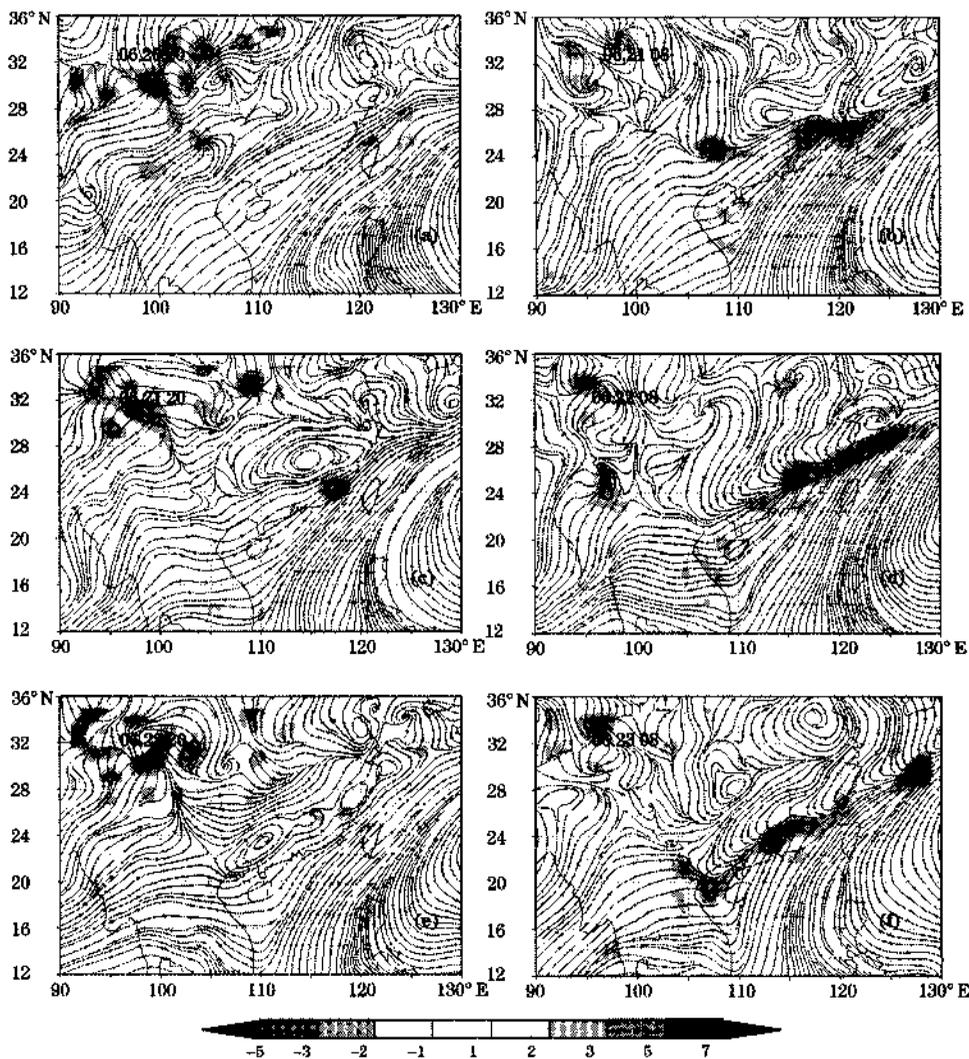


图 5 2005 年 6 月 20 日 20 时至 6 月 23 日 08 时 850hPa 流场、辐合辐散场
带箭头实线，流场；阴影，辐合辐散场，单位： $10^{-5} s^{-1}$

沿海有辐合带，其中可以看到 4 个较明显的辐合区（最东部的辐合区在海上），陆上的 3 个辐合区分别对应桂中北、粤中东和闽西北的暴雨区。其中在闽西北较强烈的辐合和流线密集区引发闽西北强降水可能与武夷山的地形因素有关。22 日 20 时辐合明显减弱，此时降水也偏少。23 日 08 时华南沿海又出现了较强的偏北气流与西南气流的辐合带，对应了又一次的暴雨过程。可见此次连续性暴雨过程与西南涡的东移发展，以及由

其带来的辐合带有密切关系，较冷的偏北气流与暖湿的西南气流辐合区域的南侧往往对应暴雨区。

以往的研究中已经证实了高低空急流对于暴雨的重要作用^[5-7]，文献 [8-9] 也证实了中低层相对湿度对华南暴雨的影响。下面就从高低空急流以及相对湿度综合分析这次暴雨过程的急流与水汽条件。图 6 是 20 日 20 时至 23 日 08 时的高低空急流与相对湿度场。其中阴影区域为相对湿度场，实线为

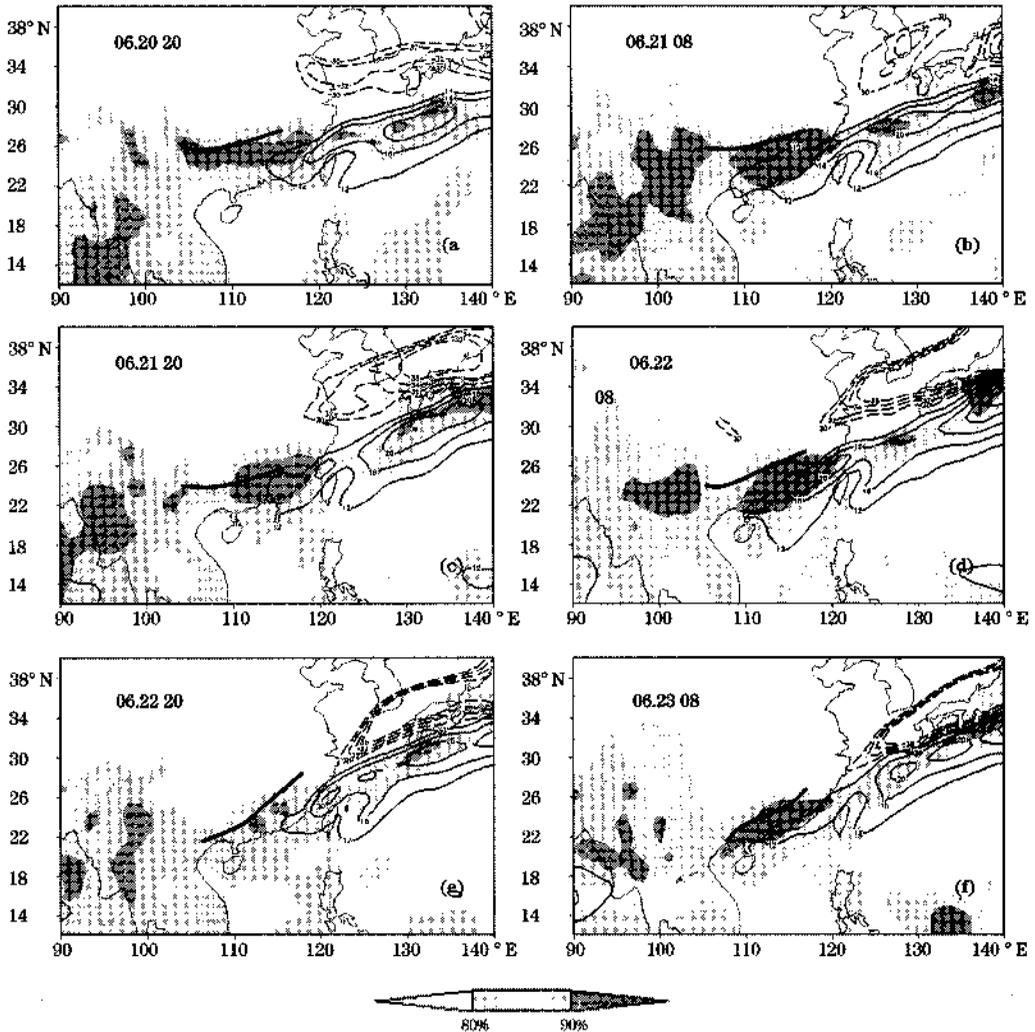


图 6 2005 年 6 月 20 日 20 时至 6 月 23 日 08 时高低空急流与相对湿度
 实线，850hPa 急流，间隔 $4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ；细虚线，300hPa 急流，间隔 $2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ；
 阴影，850hPa 相对湿度；粗虚线为 700hPa 切变线

850hPa上大于 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的水平风场,细虚线为300hPa上大于 $30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的水平风场,另外粗虚线为700hPa切变线。由图可知,在850hPa上沿闽、粤、桂一线及其西南侧的广大地区为相对湿度较高的区域,即空气中水汽含量较高,这是产生暴雨的一个基本条件。其中闽、粤、桂一线的湿舌与暴雨区基本位置一致,且在流场辐合区及700hPa切变线的南侧。700hPa切变线自形成之后稳定维持在华南地区并缓慢南压,这是造成连续性暴雨过程的主要系统。850hPa上从华南沿海向东北方向延伸有一条风速大于 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的低空急流带,急流中心大致在切变线的东南侧,与湿舌中心大体重合,将西南暖湿气流不断地输送到华南地区。300hPa上中纬度 $30\sim 40^\circ\text{N}$ 之间有一条东北—西南走向的高空急流带,风速达到了 $30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上。这种中低纬高低空配置对20日20时至23日12时发生的连续性暴雨非常有利。

3.2 对流有效位能的积聚和释放与暴雨启动的关系

图7是NCEP再分析资料中的对流有效位能(CAPE)时间变化和常规观测资料的实况降水时间变化对比综合图。可以明显地看到,以 112°E 为界,东西两个区域的对流有效位能时间变化图截然不同。西侧区域(对应广西中北部)有4个CAPE高值中心,而东侧区域(对应广东中东部)则没有特别明显的CAPE高值中心。先看西侧区域(a),19日20时CAPE值由第一个高峰值开始减小,此时区域平均降水量由最小的不到5mm开始增大。在接下来的12小时内,CAPE值继续减小,而相应时次的降水量逐渐增大。下一个CAPE高值中心到来之前降水量逐渐减小,到20日20时降水量达到又一个谷底,此时的CAPE正开始

从高峰值减小,后面的对应关系与前述类似。这就说明了对流有效位能的释放是触发广西中东部(a区域)暴雨的主要机制。在暴雨来临之前,对流有效位能增大到峰值,此时大气蕴藏了大量不稳定能量,随着对流的启动,不稳定能量被释放,暴雨发生并增强,然后CAPE值减小,暴雨减弱。紧接着开始下一次CAPE的积聚。所以可以得出这样的结论,广西北部地区(a区域)在这一个时间段内的暴雨过程是直接由对流有效位能的释放触发的。广东中东部地区(b区域)区域平均降水时间变化与对流有效位能时间变化之间没有什么显著的联系,故广东中东部地区暴雨的触发机制与对流有效位能的释放并无显著关系,结合对图5的分析,这个区域的降水应该与西南涡东南侧的辐合区有很大关系。

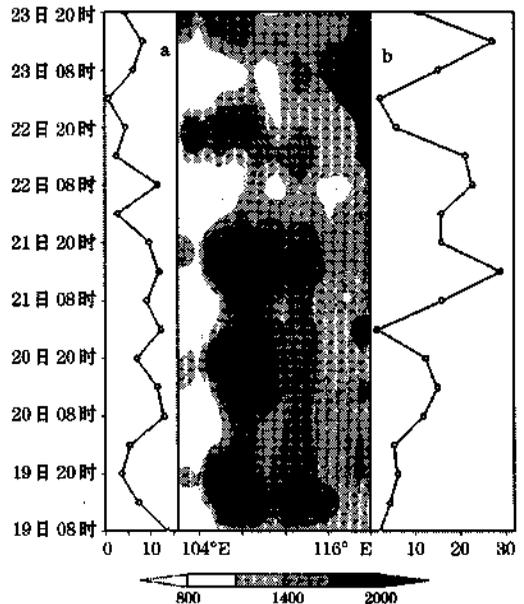


图7 2005年6月19日08时至6月23日20时对流有效位能及区域平均降水时间变化对比折线,6小时区域平均降水量,单位: mm, a. $22.5\sim 26^\circ\text{N}$, $106\sim 112^\circ\text{E}$; b. $22\sim 25^\circ\text{N}$, $112\sim 117^\circ\text{E}$; 阴影, 对流有效位能时间变化, 单位: $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$

4 结 语

本文对2005年6月下旬发生在华南地区的持续性暴雨过程作了诊断分析,得出如下结论。

(1) 本次华南暴雨是由中低纬不同天气系统相互作用的结果。中纬度稳定的阻塞高压形势、副高位置较往年同期偏南偏西以及南支槽的活动频繁均有利于暴雨的发生和持续。

(2) 中小尺度对流系统的发生发展是造成这次特大暴雨过程的直接因素;而西南涡的东移以及切变线的长期稳定是本次暴雨过程的重要因素;高低空急流的存在和低层丰富的水汽输送也是本次暴雨所不可缺少的条件。

(3) 广西中北部地区的暴雨主要是由对流有效位能的积聚、释放触发的。暴雨过程开始之前,对流有效位能积聚变大,当对流有效位能开始释放时,降水量开始增大,4个对流有效位能高值中心与4次强降水过程有很好的对应关系。而广东中东部地区的暴雨的触发可能与西南涡东南侧的辐合有关。

本文对这次特大暴雨过程进行了一些简单的诊断分析,得到了一些重要结论,但是对直接导致这次特大暴雨过程的中小尺度对流系统(MCS)的触发与维持原因,仍需要通过更加精细的卫星与雷达资料进行进一步的研究。另外,从我们现有的分析结果来

看,并没有发现桂北与粤东两个暴雨中心有直接的关联,但它们之间的内在联系仍需要进一步研究。

致谢:在整个论文写作过程中,南京大学谈哲敏教授给予了宏观的指导并提出了重要的修改意见,储可宽博士提供了分析所需所有数据及部分参考文献,并且一直耐心地指导和帮助,还有汤剑平博士为本文提供了TRMM资料,总装备部南宁测控中心杨正东对此文提出了宝贵意见,谨致谢忱!

参考文献

- [1] 周秀骥. 98华南暴雨科学试验研究 [M]. 北京: 气象出版社, 2003: 1-10.
- [2] 孙建华, 赵思雄. 一次罕见的华南大暴雨过程的诊断与数值模拟研究 [J]. 大气科学, 2000, 24 (3): 381-391.
- [3] 孙建华, 张小玲, 齐琳琳, 等. 2002年中国暴雨试验期间一次低涡切变上发生发展的中尺度对流系统研究 [J]. 大气科学, 2004, 28 (5): 675-691.
- [4] 王立琨, 郑永光, 王洪庆, 等. 华南暴雨试验过程的环境场和云团特征的初步分析 [J]. 气象学报, 2001, 59 (1): 115-119.
- [5] 韦统健. 华南前汛期暖区暴雨流场结构的特征 [J]. 热带气象学报, 1994, 10 (1): 37-46.
- [6] 廖捷, 谈哲敏. 一次梅雨锋特大暴雨过程的数值模拟研究: 不同尺度天气系统的影响作用 [J]. 气象学报, 2005, 63 (5): 771-787.
- [7] 张小灵, 周长. 一次广东连续性暴雨过程的分析 [J]. 广东气象, 2003, 2: 21-24.
- [8] 孙建华, 赵思雄. 华南“94.6”特大暴雨的中尺度对流系统及其环境场研究 [J]. 大气科学, 2002, 26 (5): 642-645.
- [9] 周秀骥. 海峡两岸及邻近地区暴雨试验研究 [M]. 北京: 气象出版社, 2000.