

广东 2008 年罕见“龙舟水” 特点及成因诊断分析

林良勋¹ 吴乃庚^{1,2} 黄 忠¹ 蔡安安¹

(1. 广州中心气象台, 广州 510080; 2. 中山大学季风与环境研究中心/大气科学系)

提 要: 2008 年 5 月下旬末至 6 月中旬, 广东出现了历史罕见的持续时间长、范围大、强度强、灾害重的暴雨到大暴雨降水过程, 并有 4 个明显降水期。诊断分析发现: 过程是在亚洲中纬度两槽一弱脊, 东槽明显的平均背景场产生的, 副高较弱位置较东, 南支槽活跃, 每一强降水期与一次西风槽的影响相联系, 高空急流和低层切变线的南压过程配合一次强降水的发生; 低空急流的最大风速变化与暴雨的发生同步, 降水的减弱期伴随低空急流的向上抬升; 过程的水汽源于孟加拉湾和南海, 而以前者为主, 水汽的辐合主要发生在华南沿海; 龙舟水期间存在两个明显的局地经向环流, 低层的两股气流在 20~25°N 区辐合抬升为持续性强龙舟水的产生提供了稳定的上升运动背景; 4 个主降水期有 3 个是在层结不稳定的条件下出现暴雨。

关键词: 龙舟水 低空急流 经向环流 不稳定层结

Causality Analysis of the Infrequent Dragon-Boat Precipitation in Guangdong Province in 2008

Lin Liangxun¹ Wu Naigeng^{1,2} Huang Zhong¹ Cai Anan¹

(1. Guangzhou Central Meteorological Observatory, Guangzhou 510080;

2. Center for Monsoon and Environment Research/Department of Atmospheric Sciences, Sun Yat-sen University)

Abstract: Guangdong suffered the heaviest rainfall during late May to mid June 2008 (so-called “dragon-boat” precipitation), according to records since 1951. Result of diagnostic analysis shows that in this case the circulation situations of the middle and high levels in Asia and Europe are two trough and one ridge circulation pattern and the western Pacific subtropical high is weaker than normal and expands eastward. Four main heavy rain periods in this case are associated with the influence of westerly trough and southward movement of low

基金项目: 广东省应急管理研究课题(广东省气象灾害特征与应急管理工作机制研究)和广州市科技局项目(亚运会气象预报服务系统研究)共同资助

收稿日期: 2008 年 12 月 16 日; 修定稿日期: 2009 年 2 月 10 日

level shear line. The variance of low-level jet has a close relationship with the occurrence of the rainstorm. The cold air moving down from the mid-latitude areas and joining up against moist southerly from the Bay of Bengal and the South China Sea produces the vapor convergence at southern China coastal areas and the anomalous local meridional circulation, which causes the continuous heavy rainfall. Three of four heavy rainfall periods are associated with the instable stratification.

Key Words: dragon-boat precipitation low-level jet meridional circulation instable stratification

引 言

每年的 4—6 月是广东暴雨频发的前汛期,暴雨的发生大多与冷空气的活动和暖湿气流的北上密切相关^[1-3],特别是在端午节前后,随着南海季风的爆发,极容易出现持续性、大范围的流域性致洪暴雨过程,俗称“龙舟水”。“05·6”西江、东江流域大洪水,“98·6”西江流域和粤西南大洪水,“94·6”西江、北江流域大洪水并造成重大损失,均由明显的“龙舟水”过程所致。对广东乃至华南前汛期的暴雨,已进行了不少的研究和外场试验,并取得了一些成果和发现了一些观测事实^[4-12]。但由于龙舟水的形成机理比较复杂,演变的规律还太清晰,每次暴雨发生前后天气系统的配置各有差异,业务预报难度仍很大。因此,在未来较长一段时间内仍需要做大量深入的探讨,包括数值模拟和个例的特征及成因诊断分析等。

针对 2008 年 5 月下旬末至 6 月中旬广东发生的罕见龙舟水过程,有必要对不同阶段的暴雨降水特点和环流及天气系统的配置进行讨论,特别对低空急流和水汽条件等对过程的成因进行了诊断分析。以期为今后持续大范围暴雨预报提供一些有价值的参考。

1 相关定义和资料说明

“龙舟水”是指端午节前后 10 天内广东

出现的暴雨以上降水过程^[1],广东 2008 年的罕见龙舟水出现期在 5 月下旬末到 6 月中旬之间。

利用的主要资料包括:常规气象观测资料、NCEP/NCAR 的再分析资料;广东 86 个人工气象站和 1076 个自动气象监测站雨量资料;局地经向环流模式^[13-16]输出资料等。

2 龙舟水过程的暴雨特征

2008 年 5 月 28 日 08 时(北京时,下同)至 6 月 19 日 08 时,广东有 1076 个自动气象监测站累积雨量超过 100mm。其中,有 13 个站超过 1000mm,惠东县出现全省最大累积雨量 1180.9mm;雨量达 500~1000mm 有 437 站,300~500mm 有 393 站。强降水中心主要位于珠江三角洲、阳江及粤东沿海地区(图略)。

这次连续性暴雨属广东有完整气象观测记录以来最严重的一次龙舟水。全省平均降水量达 612.6mm,超过历史同期平均雨量的 2 倍(图 1);龙舟水持续长达 22 天,分析 86 个人工测站的暴雨出现站数发现暴雨主要发生在如下 4 个时段:(1) 5 月 28 日下午至 6 月 3 日白天,(2) 6 月 5 日下午至 7 日白天,(3) 6 月 12 日至 13 日夜間,(4) 6 月 15 日夜間至 18 日白天(图 2)。另外全省有 95% 以上面积遭受暴雨影响。

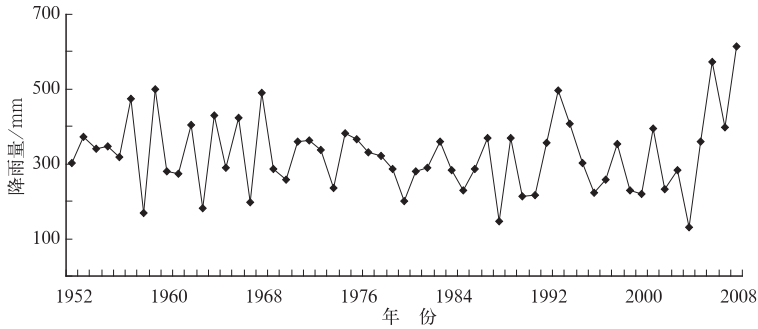


图 1 龙舟水期间(5月 21 日至 6 月 19 日)广东平均降水量的年际变化

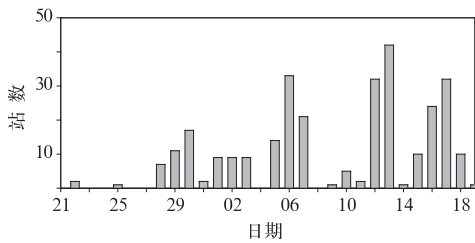


图 2 2008 年 5 月 21 日至 6 月 19 日龙舟水期间广东暴雨站数逐日分布图

连续暴雨致使广东山洪暴发、山体滑坡、房屋倒塌、农田受浸、作物受损、公路毁坏、交通中断、城乡内涝、水利设施损失和影响严重。

可见,这次罕见的龙舟水过程具有降雨强度大、持续时间长、影响范围广、水患灾害重的特点。

3 环流背景和天气系统配置

从 5 月 28 日至 6 月 19 日 500hPa 逐日位势高度场演变(图略)分析可知,龙舟水期间以两槽一弱脊的形势为主,东亚槽较深,弱脊宽平。4 个主要暴雨阶段中前两个在亚洲中纬属二槽一脊环流型,且北脊南涡和中阻高的特征;后两个过程亚洲中纬为二脊一槽型,远东有明显的高压脊,且具有“振幅大、波长短”的特点。

从图 3 的 5800 和 5850gpm 线随时间的

变化可以看到,每一个主降水期均配合一次西风槽东传到 20~30°N 上空。西风槽引导低层冷空气和地面锋面频繁在南岭山脉到华南沿海一带活动和摆动。850hPa 和低层大气的另一个特点是西南低槽非常明显,槽前的西南气流(低空急流)不断向华南输送暖湿空气并与南下冷空气频繁交汇,产生层结不稳定,为降水的产生提供了非常有利的低层环流背景。分析 200hPa 副热带西风急流和 850hPa 华南切变线与龙舟水逐日暴雨出现站数的关系(图略),发现高空急流和低空切变线每南移一次就伴随一次强降水阶段的出现,高空急流和低空切变线出现北退伴随强降水出现阶段性减弱,高空急流的南移不单有利于其低层西风带波动的南下和东传,其高层的强风速也为暴雨产生和持续提供一个

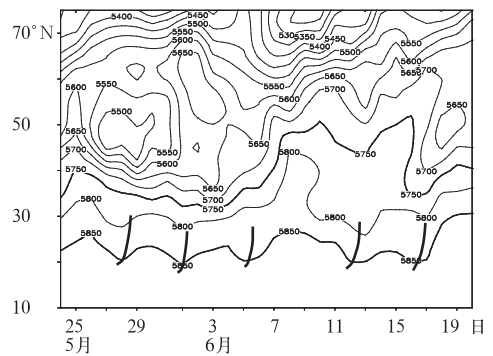


图 3 2008 年 5 月 24 日至 6 月 20 日 500hPa 位势高度场沿 115°E 的时间-纬度剖面图(单位:gpm)

高空辐散和抽气作用,是广东大范围暴雨一种主要的高空环流配置之一^[1]。另外,由于高空西风槽和低层冷空气活动频繁,整个龙舟水期间副热带高压脊线较南,主体较东,强度较弱,副高的配置在一定程度上可以解释主降水区不是落在更高纬度的粤北,而是出现在珠江三角洲和广东沿海^[1-2]。

4 低空急流及要素诊断分析

4.1 低空急流结构与变化

低空急流是华南前汛期暴雨的主要天气系统之一,它的强度、位置等的变化与广东暴雨存在着密切关系,对此已有不少的探讨和介绍^[1-3,17-18]。

为了对这次罕见龙舟水过程的低空急流演变和结构进行分析,沿着西南急流的轴线(105°E、13°N~117°E、25°N)分析了轴线方向上的西南风风速的时间演变(图 4)。图中可见,4 个明显降水期与 4 次 850hPa 西南风速(急流)显著增强有较好的对应,而间歇期中南半岛至海南岛的西南急流风速则明显减弱。降水范围和强度最大的第四阶段,表现为强的西南风一直沿低纬度的中南半岛向华南输送,广东境内的西南风速也达到龙舟水过程的最大值;强降水出现间歇时段(如 6 月 8—10 日),华南特别是沿海急流明显减弱,甚至在急流的源区中南半岛一带还出现西南全风速为 0 的状况。6 月 20 日后,中南半岛—广东沿海的西南急流明显减弱,龙舟水过程结束。

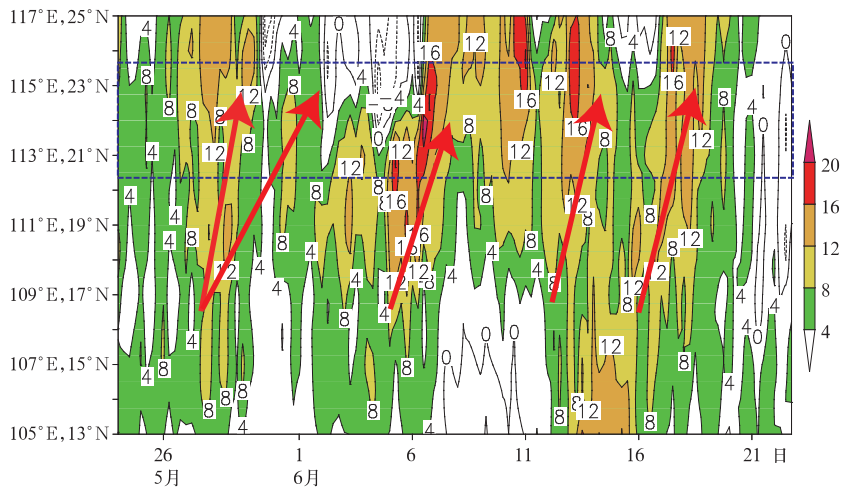


图 4 2008 年龙舟水期间沿中南半岛至华南轴线的 850hPa 西南风全风速随时间变化图(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

从西南风速垂直剖面随时间的变化系列分析(图 5),也同样发现上述特征。但从垂直结构上分析,低空急流轴(最大西南风速中心区)在 850~700hPa 之间;另外,在两次强降水之间的减弱期,往往伴随着强的西南风速中心出现垂直向上伸展的过程,低空急流垂直向高层发展。

4.2 水汽诊断分析

图 6 给出了龙舟水期间 850hPa 和 700hPa 水汽通量的分布情况,图中可见华南地区中低层水汽非常充沛,全过程的水汽来源主要可分为两支,其一来源于孟加拉湾,经中南半岛;其二来源于西北太平洋,经南海中

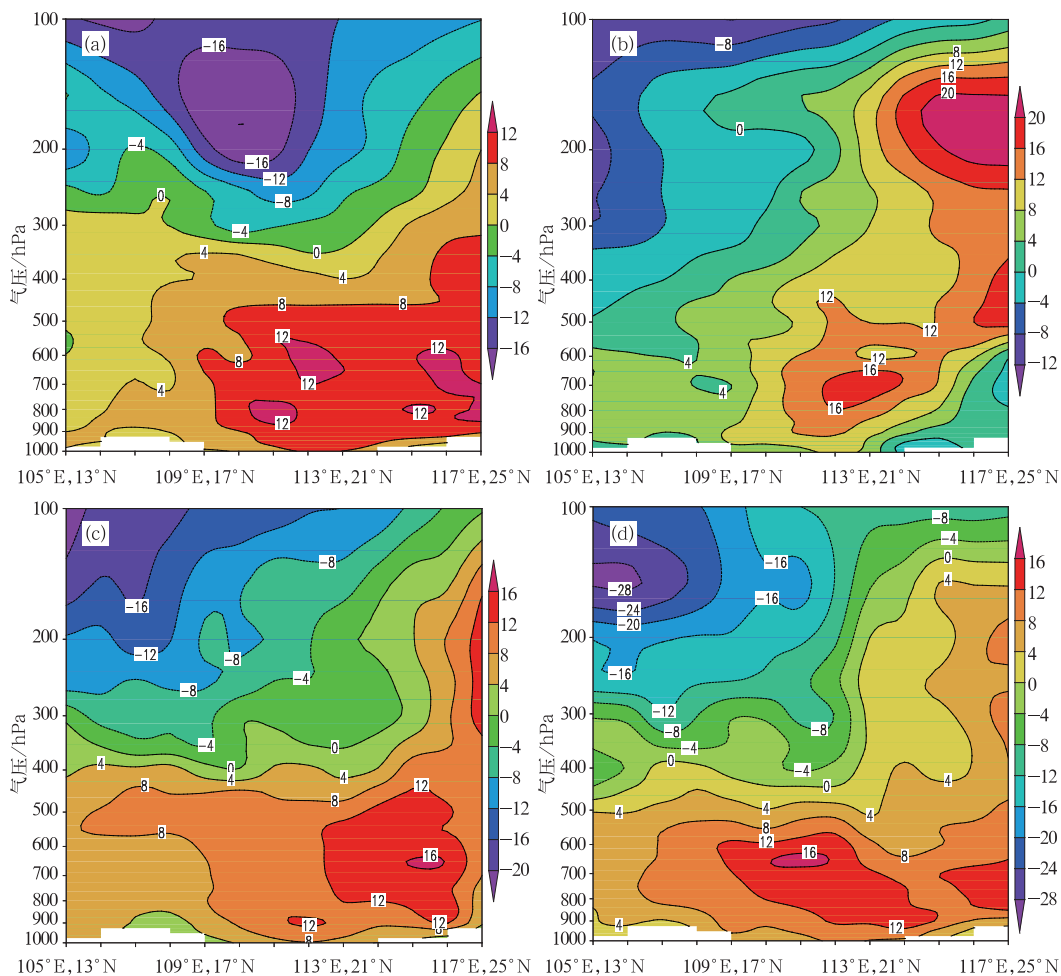


图 5 2008 年龙舟水期间 4 次强降雨期中南半岛至华南轴线上的西南风风速的垂直剖面图(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
(图 a、b、c、d 分别表示(1)、(2)、(3)、(4) 4 次强降雨期)

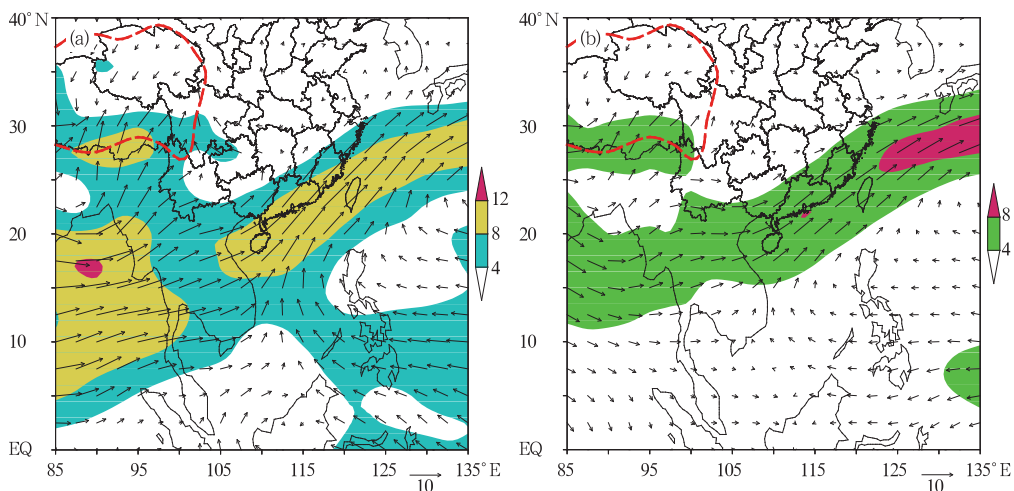


图 6 2008 年龙舟水期间 850hPa(a)和 700hPa(b)平均水汽通量分布(单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

北部,与来自孟加拉湾的水汽汇合,向华南沿海输送。结合水汽输送的强度范围和中低层分布特征可知,较之源于西北太平洋和南海的水汽输送,源自孟加拉湾的水汽输送强度更强,也更为深厚。根据研究^[1],广东前汛期多次流域性暴雨的水汽来源都具有主要源自孟加拉湾并越过中南半岛的特征。

进一步分析发现:不同强降水阶段其水汽的来源和输送强度也有差异(图略),其中第一和第二降水阶段,水汽输送主要源于南海和孟加拉湾两支;而第三和第四降水阶段,水汽输送主要来源于孟加拉湾;第三和第四降水阶段的水汽通量值明显大于第一和第二降水阶段的通量值。另外,4个强降水阶段都有一个共同的特点,就是大的水汽通量值均位于华南沿海,而深入内陆不明显,这与这次龙舟水过程的主要暴雨区出现在珠江三角洲和广东沿海相对应。

4.3 局地经向环流诊断分析

由于华南地区地处海陆交汇处,常受中高纬度的冷空气和低纬的暖湿气流的影响,已有分析表明^[10-12],华南地区的天气异常与南北系统造成的经向环流异常密切相关。为此,利用华南地区局地纬向平均的经向环流模式^[12-14]的数值诊断产品对此次罕见的龙舟水过程进行了诊断。按场论中环流的定义,环流场即有旋场,有旋则无辐散,故经向环流的垂直运动和经向风仅为 ω 和 v 的无辐散成分 v_Ψ 和 ω_Ψ ,利用局地经向环流模式导出的经向环流为经过求解流函数 Ψ 得到:

$$v_\Psi = \frac{1}{\cos\phi} \frac{\partial\Psi}{\partial p}, \omega_\Psi = \frac{1}{a\cos\phi} \frac{\partial\Psi}{\partial\phi}。$$

图 7 给出了 5 月 28 日至 6 月 18 日龙舟水期间的平均华南局地经向环流(108~118°E 纬向平均),可见,过程存在两个明显的方向相反的局地经向环流,下沉区分别位于 10~15°N 和 30~35°N。来自热带地区的西南

季风、副高西侧的偏南风往北输送,配合中纬度西风槽引导弱冷空气南下交汇,在广东上空(20~25°N)强烈辐合上升,为此次龙舟水过程提供了持续的抬升机制。另外,分析上升中心位置发现经向环流上升支相对较南,最大上升中心在 22°N 附近,这也说明强降水区不在纬度更高的粤北,而是在珠三角和广东沿海的一个重要原因。

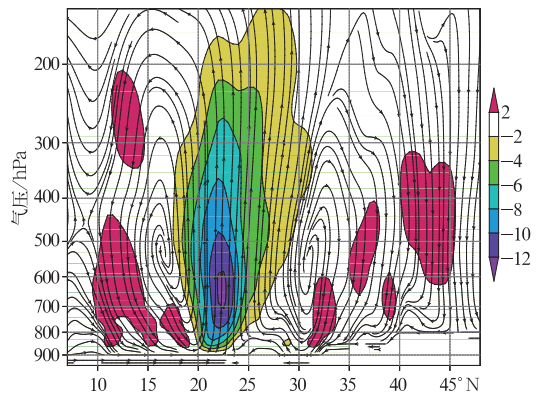


图 7 2008 年龙舟水期间平均局地经向环流(v_Ψ, ω_Ψ) 阴影区为垂直运动中心,单位: $10^{-2}\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$

下面分析整个过程经向环流的时间演变情况,强降水发生的必要条件之一是强烈的上升运动,而且 500hPa 上的垂直运动(ω_Ψ)能较好地反映径向环流上升支和下沉支的位置,因此考察 500hPa 垂直运动的时间演变情况。与图 7 的经向环流空间结构相一致,龙舟水期间 500hPa 在 10~15°N 热带地区和 35~45°N 的温带地区表现为明显的下沉运动,而在 20~25°N(广东所在的纬度区域)从 5 月下旬末到 6 月中旬,长时间维持明显的上升运动(图 8);500hPa 垂直运动的南传与龙舟水期间的 4 次强降水期相对应。这表明,在龙舟水期间除了热带地区的西南暖湿水汽往北输送外,中纬度西风槽东移引导的低层切变线南推和冷空气南下对强降水的发生起到一定触发作用,这对强降水过程的短期预测也有一定的指示意义。

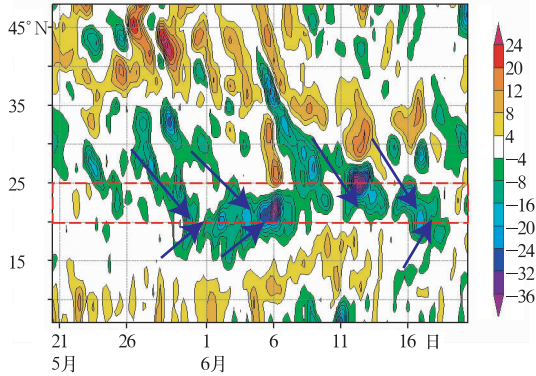


图8 2008年龙舟水期间500hPa垂直运动(ω_{500})的时间演变(单位: $10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)

4.4 稳定度的诊断分析

尽管华南形成连续性暴雨的对流一般没有短时强降水或突发性暴雨那么强烈,但在暴雨的分析和预报中,大气层结的稳定度诊断分析仍然是相当重要的^[1]。分析发现(表1):第1、3、4个主降水期的层结不稳定,而第2个主降水期的层结表现为稳定,出现这种情况可能与暴雨发生前后,大气层结稳定度的变率较大有关,有时强不稳定度的建立只需几个小时,而目前的探空次数少、时间间隔大,可能未能完全反映大气层结稳定度的实际变化。

表1 2008年“龙舟水”期间4次强降水期稳定度指数分布表(K和SI单位: $^{\circ}\text{C}$;CAPE单位: $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)

时间 指数	5月20日08时			6月5日20时			6月12日20时			6月16日20时		
	CAPE	K	SI	CAPE	K	SI	CAPE	K	SI	CAPE	K	SI
阳江	2541	38	-2.5	4	32	2.4	2566	35	-0.4	236	39	-0.7
香港	177	39	-2.4	533	35	1.4	3032	39	-2.3	950	39	-1.7
河源	1724	36	-1.2	267	22	-1.8	372	39	-1.8	1466	39	-1.8

5 小结

5月下旬到6月上、中旬是广东连续性流域暴雨的主发期,2008年5月下旬末到6月中旬广东出现的历史罕见“龙舟水”,具有持续时间长、范围大、强度强、灾害重的特点,并有4个明显降水期。诊断分析发现:

(1) 过程是在亚洲中纬度两槽一弱脊,东亚槽明显的平均背景场产生的;副高强度较弱、位置较东,南支槽活跃,西南低槽明显;每一强降水期与一次西风槽的东移影响相联系,200hPa高空急流和低层850hPa切变线的南压过程配合一次强降水的发生。

(2) 过程中低空急流明显,且急流的最大风速变化与暴雨的发生有较好的同步对应关系;降水的减弱期伴随低空急流的向上抬升。

(3) 过程的水汽源于孟加拉湾和南海,

而以前者为主,水汽的辐合主要发生在华南沿海。

(4) 龙舟水期间在东亚存在两个明显的局地经向环流,其低层的两股气流在 $20 \sim 25^{\circ}\text{N}$ 区辐合抬升为持续性强龙舟水的产生提供了稳定的上升运动背景。

(5) 龙舟水过程在层结不稳定的条件下出现。

参考文献

- [1] 林良勋,冯业荣,黄忠,等.广东省天气预报技术手册[M].北京:气象出版社,2006:86-149,518.
- [2] 《华南前汛期暴雨》编写组.华南前汛期暴雨[M].广州:广东科技出版社,1986.
- [3] 包澄调,王两铭,李真光.华南前汛期暴雨的研究[J].气象,1979,5(10):8-10.
- [4] 陈红,赵思雄.第一次全球大气研究计划试验期间华南前汛期暴雨过程及其环流特征的诊断研究[J].大气科学,2000,24(2):238-252.
- [5] 张东,林钢,叶萌,等.华南连续性特大洪暴雨两个例分析[J].气象科技,2007,35(1):82-87.

- [6] 汪永铭,苏百兴,常越. 1998 年试验期间华南暴雨的系统配置和环流特点[J]. 热带气象学报, 2000, 16(2): 123-130.
- [7] 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 II. 物理过程、环境场以及地形对中尺度对流系统的作用[J]. 大气科学, 2002, 26(5): 634-646.
- [8] 何立富. “05·6”华南暴雨形成机理与中尺度对流系统研究[D]. 南京信息工程大学博士论文, 2006.
- [9] 练江帆,梁必骥. “94.6”与“94.7”华南致洪暴雨的对比分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 1999, 38(4): 102-106.
- [10] 刘志雄,戴泽军,叶成志,等. “04·6”湘西北特大致洪暴雨形成机理分析[J]. 气象, 2005, 31(10): 61-67.
- [11] 赵玉春,李泽椿,肖子牛. 南半球冷空气爆发对华南连续性暴雨影响的个例分析[J]. 气象, 2007, 33(3): 40-47.
- [12] 黄忠,吴乃庚,冯业荣,等. 2007 年 6 月粤东持续性暴雨的成因分析[J]. 气象, 2008, 34(4): 53-60.
- [13] 陈桂兴,黎伟标,袁卓建,等. 1998 年长江流域洪水期大气季节内振荡特征及机理研究[J]. 中国科学.(D辑), 2004, 34(6): 562-572.
- [14] 温之平,吴乃庚,冯业荣,等. 定量诊断华南春旱的形成机理[J]. 大气科学, 2007, 31(6): 1223-1236.
- [15] 袁卓建,王同美. 局地经向环流的诊断方程. 见:中国科学院大气物理研究所编. 东亚季风和中国暴雨[M]. 北京:气象出版社, 1998: 496-505.
- [16] 袁卓建,王同美,郭裕福. 东亚季风经向环流数值模拟及结果分析 I. 算法设计[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2001, 39(6): 112-116.
- [17] 曹春燕,江口,孙向明. 一次大暴雨过程低空急流脉动与强降水关系分析[J]. 气象, 2006, 32(6): 102-106.
- [18] 陈忠明,何光碧,崔春光. 对流、湿度锋与低空急流的耦合——持续性暴雨维持的一种可能机制[J]. 热带气象学报, 2007, 23(3): 246-254.