

文章编号: 1004-4965(2007)02-0135-06

广东 0506 大暴雨的成因探讨

郑彬, 林爱兰, 袁金南, 谷德军, 李春晖, 梁建茵

(中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广东 广州 510080)

摘 要: 2005 年 6 月 18~25 日, 广东省出现罕见的持续强降水过程(0506 大暴雨), 造成广东省巨大的经济损失。利用 NCEP 再分析资料计算的非地转 Q 矢量、假相当位温和经向环流对这次强降水过程进行分析, 结果表明: 南海地区的对流系统北移并多日滞留在广东地区是 0506 大暴雨的一个直接原因, 它是南海夏季风活动的一个表现; 广东 0506 大暴雨有明显的南北两个主要的降水区域, 其中南边是季风对流降水, 而北部则属于锋面降水雨带。

关 键 词: 广东; 大暴雨; 非地转 Q 矢量; 南海夏季风

中图分类号: P458.1.21.1

文献标识码: A

1 引 言

广东省前汛期降水的多少是导致全省旱涝的最主要原因。研究表明, 前汛期降水在不同时期具有不同的性质^[1-4]。其中前汛期初期主要表现为锋面性质的降水, 而前汛期后期受南海西南季风的影响, 形成前汛期降水的又一个锋值阶段。前汛期降水, 特别是后期降水是比较复杂的。以往对广东省大暴雨过程的研究通常是从单一的锋面降水或热带季风降水方面着手, 很少研究考虑到两种性质的降水如何同时影响广东的降水^[5-6]。一般来说, 随着南海夏季风的推进, 锋面降水很快北移出广东省, 控制广东省的为夏季风对流降水; 但是南海夏季风如果推进得较慢, 季风降水和锋面降水可能就会在广东省同时存在一段时间, 此时两种性质的降水对广东省的涝情都会造成重要影响。

Q 矢量分析是天气诊断分析中广泛采用的方法之一, 这得益于它对垂直运动有很好的描述能力。近几十年来, Q 矢量的理论在准地转的基础上不断发展, 出现了半地转 Q 矢量、非地转 Q 矢量、广义 Q 矢量和湿 Q 矢量^[7]。它们在不同的研究对象和研究目的上都表现出很好的诊断能力^[8-11]。准地转 Q 矢量分析主要应用在中高纬地区, 例如郁淑华^[8]就曾用它作过青藏高原上高空槽诱发切变线的分析, 得到较好的结果。郁淑华^[8]的分析指出: 高原切变线产生、维持在明显的呈东

西向 500 hPa 的 Q 矢量辐合带内, 而且低层是 Q 矢量辐合, 高层辐散。这表明了宽广的上升运动的存在和加强, 是维持切变线的重要机制。但是, 准地转 Q 矢量在热带和低纬地区就有其局限性, 而非地转 Q 矢量在低纬度地区的应用则相对较多, 其散度对暴雨的落区把握得也比较准确。1999 年, 张兴旺^[9]从准静力、绝热、无摩擦、*f* 平面气压垂直坐标的原始方程出发, 推导出非地转 Q 矢量, 并用它分析了 1997 年 7 月的一次暴雨过程, 结果表明: 非地转 Q 矢量方向与次级环流的关系是指向气流上升区, 而背向气流下沉区; 在低纬地区非地转 Q 矢量的辐合区与降水的落区比准地转 Q 矢量更准确。

广东省位于低纬地区, 采用非地转 Q 矢量分析 0506 大暴雨是合适的。本文首先分析非地转 Q 矢量散度水平分布, 研究 0506 大暴雨过程中对流系统的移动路径, 并联系南海夏季风的活动分析大暴雨的成因, 再从经向环流和假相当位温的水平和垂直分布来探讨降水的性质。

2 资料和方法

本文用到的资料有 NCEP 一天 4 个时次的再分析资料(层次分为 1 000, 850, 700, 500, 300, 200, 100 hPa 共 7 个等压面), 站点日平均降水资料(插值到 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 的网格点上), NCEP 的 1 小时 1 次 TBB 资料, 时间段都

收稿日期: 2006-02-24; 修订日期: 2006-09-08

基金项目: 广东省自然科学基金(5300001); 广东省科技部计划项目(2005B32601007)共同资助

作者简介: 郑彬(1974-), 男, 福建省人, 博士, 主要从事海气相互作用研究。E-mail: zbin@grmc.gov.cn

是 2005 年 6 月。

利用 NCEP 再分析资料计算的非地转 Q 矢量进行广东 0506 大暴雨分析。其中非地转 Q 矢量的表达式如下

$$\bar{Q} = (Q_x, Q_y) = \left\{ \frac{1}{2} \left[f \left(\frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial v}{\partial x} \right) - h_p \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial \theta}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right], \right. \\ \left. \frac{1}{2} \left[f \left(\frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial v}{\partial y} \right) - h_p \left(\frac{\partial \theta}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial \theta}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

其中, $h_p = \frac{R_d}{P} \left(\frac{P}{1000} \right)^{R_d/C_p}$, 其余皆是气象上的常用表示符号。当垂直运动具有波动特征时, $\nabla \cdot \bar{Q} < 0$, 对应着上升运动, 反之为下沉运动。

3 广东 0506 大暴雨实况

2005 年 6 月 18~25 日, 受西南季风和切变线的共同影响, 广东省出现大范围的强降水和暴雨-大暴雨天气过程, 局部出现特大暴雨(广东 0506 大暴雨)。在此期间, 广东省共出现暴雨以上降水 129 个站日数, 其中 32 个大暴雨、3 个特大暴雨。龙门 20 日降水达 421 mm, 刷新其历史最大日雨量记录(288 mm)(经重现期公式计算, 421 mm 为龙门四百年一遇的最大日雨量), 21 日又继续出现 414 mm 的特大暴雨。河源也在 21 日出现 256 mm 的特大暴雨。雨量最大区域为经龙门至海丰的西北-东南向的带状区域, 在沿海地区还有一个次中心。由于 18 日开始的降水强度大、持续时间长、范围先集中后扩大的特点, 全省各地不断发生洪涝、山体滑坡、泥石流等水患灾害导致的灾情。据广东省三防截至 26 日 22 时的初步统计, 广东受灾人口 443 万人, 死亡 65 人, 倒塌房屋 40 多万间, 全省直接经济损失 42.9 亿元^[12]。

广东 0506 大暴雨主要有两个雨区, 北部雨区的中心在龙门附近, 另一个次中心在广东沿海的阳江附近(图 1a)。图 1b 是这两个雨区所在区域平均的日降水时间演变。其中柱状图所选区域包含了北部雨区的降水中心及其附近地区(114~116°E, 22.5~25.0°N), 而虚线所选区域包含了南边雨区的降水中心及其附近地区(112~114°E, 21.0~22.5°N)。从图中可以看到, 北部雨区从 6 月 15 日开始平均日降水量就比较大, 17 日以前维持在 20~30 mm/day; 18 日之后, 北部雨区的降水迅速增强, 20 日已超过 80 mm/day, 之后的 21 和 23 日也都超过了 70 mm/day, 到 25 日降水已小于 10 mm/day。南部雨区平均日降水量的时间演变与北部

有所不同, 南部雨区在整个 6 月份存在好几个日降水量峰值: 4 日、16 日、22 日和 30 日。其中 6 月最大的日降水量在 22 日, 正是 0506 大暴雨时期, 也正是北部雨区平均降水相对较小的一天。总体来说, 0506 大暴雨的北部雨区在 6 月 18~25 日体现了降水系统的增强和消亡过程, 而南部雨区的降水过程主要集中在 21~24 日。

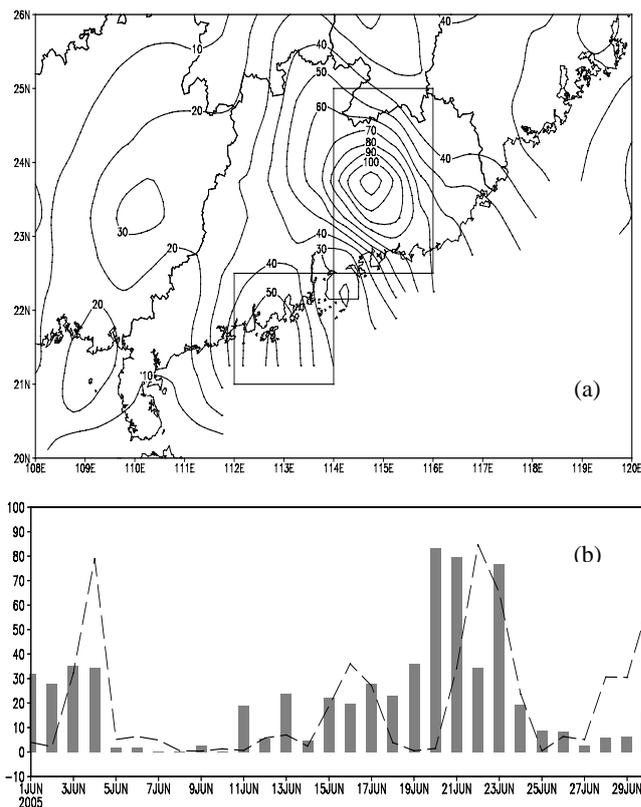


图 1 广东 0506 大暴雨 a. 6 月 20~23 日平均日降水; b. 两个雨带平均降水的时间演变。单位: mm/day, 柱状是 114~116°E, 22.5~25.0°N 区域的平均, 虚线是 112~114°E, 21.0~22.5°N 区域的平均。

4 从 Q 矢量散度和 TBB 分析系统的移动

将 Q 矢量散度从 1000~500 hPa 作平均, 代表中低层的一个平均状态。作出 2005 年 6 月 15~25 日每天的垂直平均的 Q 矢量散度水平分布图(图 2, 图中只给出其中的 6 天分布并叠加 TBB)。

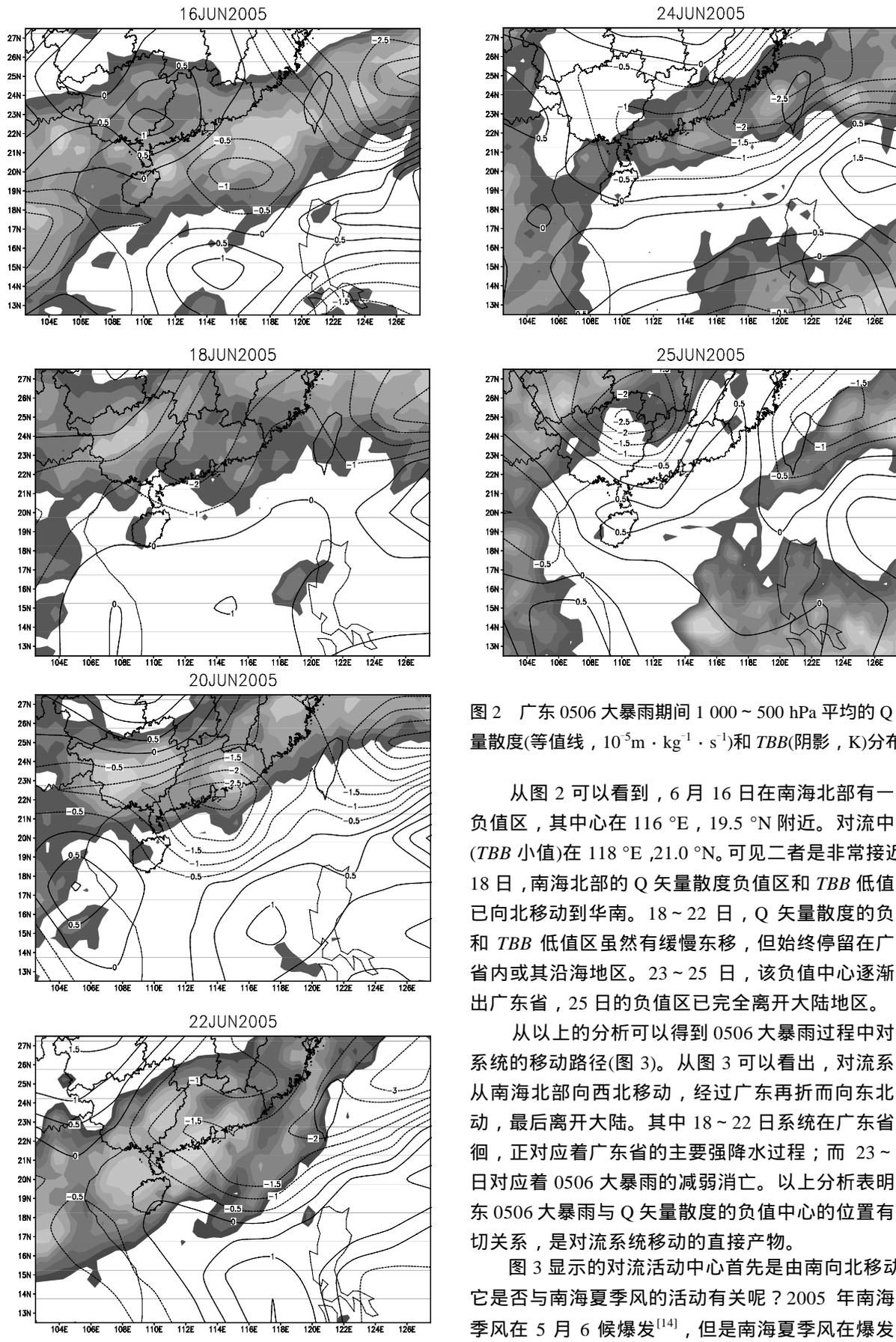


图 2 广东 0506 大暴雨期间 1 000 ~ 500 hPa 平均的 Q 矢量散度(等值线, $10^{-5} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)和 TBB(阴影, K)分布

从图 2 可以看到，6 月 16 日在南海北部有一个负值区，其中心在 116 °E, 19.5 °N 附近。对流中心 (TBB 小值)在 118 °E, 21.0 °N。可见二者是非常接近。18 日，南海北部的 Q 矢量散度负值区和 TBB 低值区已向北移动到华南。18 ~ 22 日，Q 矢量散度的负值和 TBB 低值区虽然有缓慢东移，但始终停留在广东省内或其沿海地区。23 ~ 25 日，该负值中心逐渐移出广东省，25 日的负值区已完全离开大陆地区。

从以上的分析可以得到 0506 大暴雨过程中对流系统的移动路径(图 3)。从图 3 可以看出，对流系统从南海北部向西北移动，经过广东再折而向东北移动，最后离开大陆。其中 18 ~ 22 日系统在广东省徘徊，正对应着广东省的主要强降水过程；而 23 ~ 25 日对应着 0506 大暴雨的减弱消亡。以上分析表明广东 0506 大暴雨与 Q 矢量散度的负值中心的位置有密切关系，是对流系统移动的直接产物。

图 3 显示的对流活动中心首先是由南向北移动，它是否与南海夏季风的活动有关呢？2005 年南海夏季风在 5 月 6 候爆发^[14]，但是南海夏季风在爆发后

并不是一直活跃的, 它的活动具有活跃-中断交替出现的特征。那么广东 0506 大暴雨是如何受到南海夏季风的影响? 我们可以看一下 6 月份南海夏季风活动的情况(图 4), 其中的南海范围取 $105 \sim 120^{\circ}\text{E}$, $5 \sim 20^{\circ}\text{N}$ 。从图中可以看到, 6 月 18~25 日的纬向西风由小变大, 对流也由弱转强(对应的 *TBB* 是逐渐减小), 这表明了南海夏季风正由中断期向活跃期发展。一般来说, 在热带夏季风的发展过程中会伴随着向北的推进, 从而影响到更高的纬度。事实上, 6 月第 4 候开始, 华南地区的水汽输送就很强^[15], 而此时也正是广东 0506 大暴雨开始的时间。由此可见, 在南海夏季风由中断向活跃的变化过程中, 从南海向广东地区的水汽输送和对流活动不断增强, 为广东 0506 大暴雨提供了必要的条件。

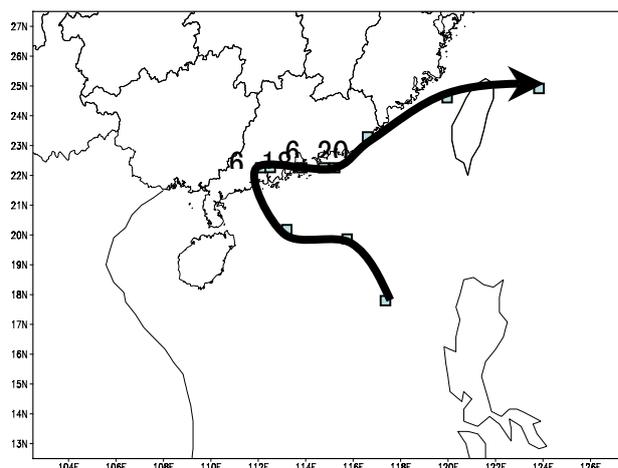


图 3 广东 0506 大暴雨过程的系统移动示意图

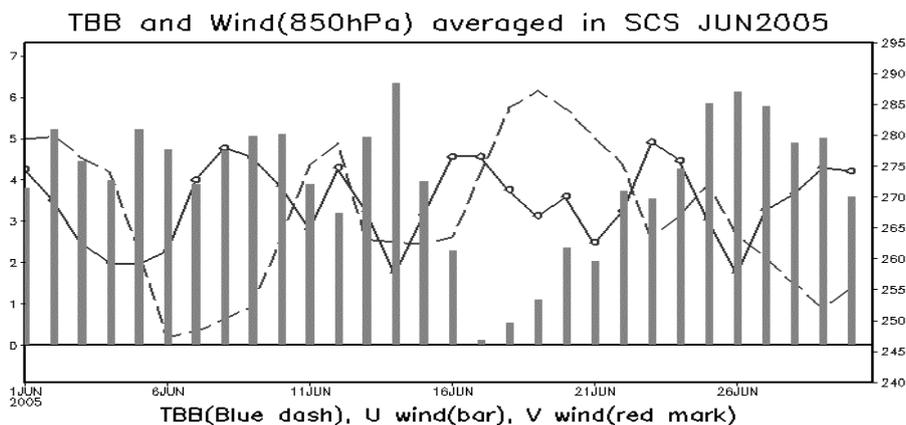


图 4 2005 年 6 月南海地区 850 hPa 水平风场(m/s)和 *TBB*(K)的时间演变^[15]

5 降水性质分析

4 月开始的广东省前汛期, 锋面降水控制着广东省。在南海夏季风爆发后, 随着季风降水的向北推进, 锋面降水将逐渐退出广东省, 取而代之的是季风降水控制整个广东省^[4, 13]。那么 0506 大暴雨到底是属于什么性质的降水呢? 前面提到南海夏季风对 0506 大暴雨的影响, 那是否意味着 0506 大暴雨即是夏季风降水呢? 下面我们将从经向环流、假相当位温的水平和垂直分布进行降水性质的探讨。

图 5a 显示的是 2005 年 6 月 18~25 日平均经向环流和假相当位温的垂直分布, 可以看到 $22.5 \sim 27.5^{\circ}\text{N}$ 是流线的密集区, 假相当位温也是很大的水平和垂直梯度变化, 这表明该区域是一个锋区。以上表明的是锋面在垂直分布上的平均位置, 而不是地面锋区位置。根据图 5a 的假相当位温经向变化可以看出, 地面变化

最大的区域约在 30°N 附近, 计算的假相当位温的经向梯度(图略)也表明地面 30°N 附近是温度变化最大的地区, 该地区即是地面锋区。从图 5b 也可以进一步看出, 在 30°N 附近, 不仅表面假相当位温有最大的梯度, 水平风矢量也在该处有明显的切变。以上分析表明, 地面锋区位置大约在 30°N 。从图 5a 可以看到, $17.5 \sim 22.5^{\circ}\text{N}$ 的区域在低层大气中有很强的不稳定性, 假相当位温的负垂直梯度很大, 这也就是说 $17.5 \sim 22.5^{\circ}\text{N}$ 区域的低层大气具有很强的不稳定性, 而且这个不稳定性在 0506 暴雨期间时有加强。从图 6 的 *TBB* 云顶亮温也可以看到清晰的南北两条云带。其中, 北部云带与副热带相连, 因此北部是副热带性质的降水, 而南部云带则与热带雨区相连, 是热带性质的降水。根据陈隆勋等的工作^[13], 我们确定北部的降水是锋面降水, 而南部是季风对流降水。综合以上分析可知, 在北部雨区整层都是上升的, 因此其降水是整层抬升凝结降水, 是属于锋面性质的降水; 而南部降水是对

流不稳定降水，属于季风对流降水。

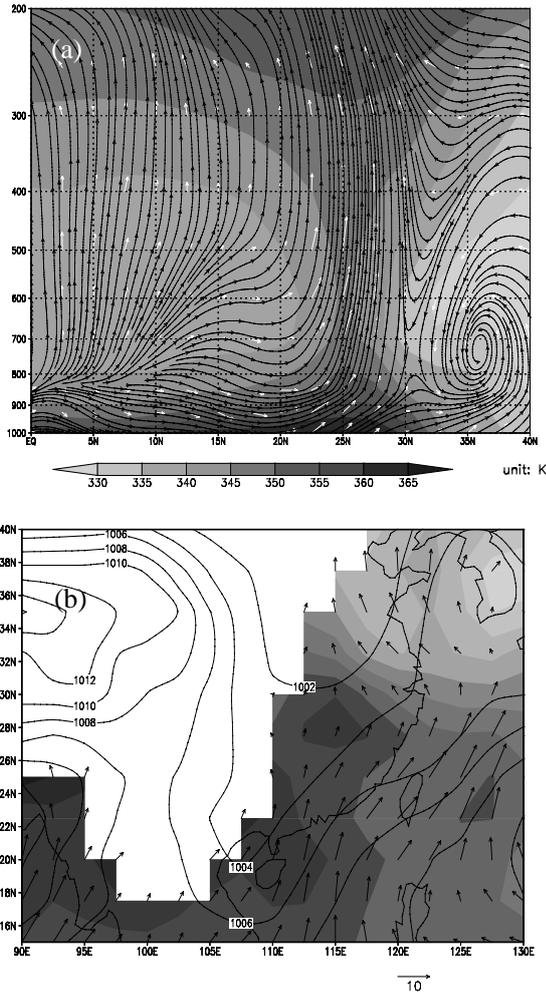


图 5 2006 年 6 月 18~25 日 105~120 °E 平均的假相当位温(K)和经向环流分布(a)1 000 hPa 假相当位温(阴影, K), 水平风矢量(m/s)和海平面气压(hPa) (b)

一般来说，随着南海夏季风的推进，锋面降水很快北移出广东省，控制广东省的为夏季风对流降水；但是南海夏季风如果较弱(又不能太弱，否则不能到达广东省)，季风降水和锋面降水可能就会在广东省同时存在一段时间。在 0506 大暴雨过程中，南海夏季风正好处于由中断向活跃的转换阶段(图 4)，但是南海夏季风还不是很强，它与锋面降水同时维持在广东省，此时两种性质的降水对广东省 0506 大暴雨都造成直接影响。随着南海夏季风变得活跃起来(6 月第 6 候)，热带夏季风继续向北向东推进，而雨带也随着向北向东移动，广东 0506 大暴雨也就随之结束。

因此，0506 大暴雨是相当强度的锋面活动和南海热带夏季风在广东省的对峙造成的，而随着热带季风活动的加强，这种强度相当的局面被打破，雨带继

续向北移动，0506 大暴雨过程也就结束了。

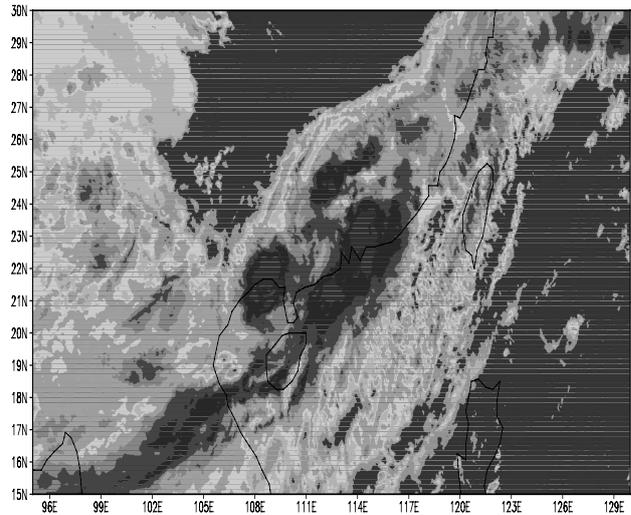


图 6 2005 年 6 月 22 日 04 时(UTC)TBB 云顶亮温(K) 中部灰色为低值区。

6 结 论

利用 Q 矢量散度、云顶亮温、假相当位温和经向环流的分布，分析了广东省 2005 年 6 月 18~25 日的强降水过程(0506 大暴雨)，得到如下几点结果：

(1) 0506 大暴雨过程中对流系统的移动路径：从南海北部向西北移动，经过广东再折而向东北移动，最后离开大陆。18~22 日，系统虽然有缓慢东移，但始终停留在广东省内或其沿海地区，正对应着 0506 大暴雨的主要降水时段。

(2) 0506 大暴雨有南北两个主要雨区，南部降水是季风对流降水，而北部雨区则是锋面性质的降水。

(3) 在 0506 大暴雨过程中，南海夏季风正好处于由中断向活跃的转换阶段，但是南海夏季风还不是很强，它与锋面降水同时维持在广东省，此时两种性质的降水对造成广东省 0506 大暴雨都有直接作用。随着南海夏季风变得活跃起来，热带季风继续向北向东推进，而雨带也随着向北向东移动，广东 0506 大暴雨也就随之结束。

致 谢：本文使用的 NCEP/NCAR 再分析资料从 the NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center, Boulder, Colorado 获得，网址为：<http://www.cdc.noaa.gov/>，特此致谢。

参 考 文 献:

- [1] 沈如桂, 陶全珍, 赖莹莹, 等. 华南前汛期对流层高低空的低纬环流变动和降水[C]//全国热带夏季风学术会议文集-1982. 昆明: 云南人民出版社, 1983: 10-20.
- [2] 罗会邦. 南海夏季风爆发及相关雨带演变特征[C]//南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用. 北京: 气象出版社, 1999: 25-28.
- [3] 左瑞亭, 曾庆存, 张铭. 季风及季风与西风带相互关系的数值模拟研究[J]. 大气科学, 2004, 28(1): 7-22.
- [4] 郑彬, 梁建茵, 林爱兰, 等. 华南前汛期锋面降水和夏季风降水 I——划分日期的确定[J]. 大气科学, 待发表.
- [5] 周海光, 刘海涛, 刘延英. 暴雨区的能量积聚和释放[J]. 热带气象学报, 2006, 22(1): 74-78.
- [6] 万日金, 何溪澄, 林钢. 用动力相似方法预报广东省区域暴雨试验[J]. 热带气象学报, 2006, 22(2): 198-202.
- [7] 岳彩军, 寿亦萱, 姚秀萍, 等. 中国 Q 矢量分析方法的应用与研究[J]. 高原气象, 2005, 24(3): 450-455.
- [8] 郁淑华. 一次高空槽在青藏高原上诱发切变线的 Q 矢量分析[J]. 应用气象学报, 1994, 5(1): 109-113.
- [9] 张兴旺. 修改的 Q 矢量表达式及其应用[J]. 热带气象学报, 1999, 15(2): 162-167.
- [10] DAVIS-JONES R. The frontogenetical forcing of secondary circulations. Part I: The duality and generalization of the Q vector [J]. J Atmos Sci, 1991, 48(4): 497-509.
- [11] 岳彩军, 寿亦萱, 寿绍文, 等. Q 矢量的改进与完善[J]. 热带气象学报, 2003, 19(3): 308-316.
- [12] 广东省气候与农业气象中心——2005 年上半年广东省气候及其影响(<http://www.grmc.gov.cn>).
- [13] 陈隆勋, 李薇, 赵平, 等. 东亚地区夏季风爆发过程[J]. 气候与环境研究, 2000, 5(4): 345-355.
- [14] 2005 年 6 月季风监测报告——中国季风网(<http://www.monsoon.gov.cn>).
- [15] 2005 年季风爆发监测报告——中国季风网(<http://www.monsoon.gov.cn>).

STUDY ON THE CAUSE OF JUNE 2005 TORRENTIAL RAIN IN GUANGDONG

ZHENG Bin, LIN Ai-lan, YUAN Jin-nan, GU De-jun, LI Chun-hui, LIANG Jian-yin

(Institute of Tropical and Marine Meteorology, CMA, Guangzhou 510080, China)

Abstract: A continuous heavy rain hit Guangdong province during June 18 ~ 25, 2005 (named Torrential Rain 0506) and caused enormous economic loss. The ageostrophic Q vectors, θ_{se} and meridional circulation, computed from the NCEP reanalysis, and TBB, are used to study the rainfall process. The results indicate that a convective system moved northwards from South China Sea and stayed in Guangdong for several days, which was a direct cause of Torrential Rain 0506. The process was a result of the activity of the South China Sea summer monsoon. There were two rainbands associated with Torrential Rain 0506 in Guangdong. One of them, a frontal rain, was in the north of Guangdong and the other, a monsoonal rain, was in the south of the province.

Key words: Guangdong; torrential rain; ageostrophic Q vector; South China Sea summer monsoon