

南半球冷空气爆发对华南连续性暴雨影响的个例分析

赵玉春¹ 李泽椿² 肖子牛²

(1. 武汉中心气象台, 430074; 2. 国家气象中心)

提 要: 2005 年 6 月 17—24 日, 华南地区发生了连续多日的暴雨天气过程, 给该地区带来了严重的洪涝灾害, 在此期间南半球有较强的冷空气活动。为了弄清南半球冷空气对这次连续多日暴雨过程的影响及其物理途径, 利用 NCEP 每 6 小时 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 经纬度的再分析资料、逐小时的 TBB 以及华南地区地面降水等资料, 以这次连续性暴雨天气过程为例, 初步分析了南半球冷空气爆发在华南地区暴雨形成中的作用。结果发现: 在 500hPa 西风带低压槽的诱导下, 马斯克林高压向东移动并登陆澳大利亚, 促使南半球冷空气爆发, 加大了 $40 \sim 60^{\circ}\text{E}$ 、 $60 \sim 70^{\circ}\text{E}$ 和 $85 \sim 95^{\circ}\text{E}$ 等通道的越赤道气流, 它们转向后汇向华南地区, 增强了华南南部和南海北部地区的低空急流和暴雨区的水汽输送, 这是华南地区连续多日暴雨的主要原因之一。

关键词: 南半球冷空气 华南暴雨 越赤道气流 低空急流

A Case Study on the Effects of Cold Air from the Southern Hemisphere on the Continuous Heavy Rains in South China

Zhao Yuchun¹ Li Zechun² Xiao Ziniu²

(1. Wuhan Central Meteorological Observatory, 430074; 2. National Meteorological Center)

Abstract: A lasting-several-day heavy rain, which leads to severe floods and disasters, occurred from June 17 to 24, 2005, when there exists strong cold air activity in the Southern Hemisphere. In order to investigate the effects of cold air from the Southern Hemisphere on the continuous heavy rain and its related physical way, taking the continuous heavy rain process as an example, the role of the cold air in the formation of heavy rain is preliminarily analyzed with NCEP 6-hourly reanalysis data, hourly TBB and rainfall data in South China. The results are as follows: The Mascarene high moves eastward and lands in Australia under the steering of 500hPa westerly trough, which leads to the outbreak of cold air in the Southern Hemisphere and strengthens the

cross-equatorial flows at the longitudes of $40\sim 60^{\circ}\text{E}$, $60\sim 70^{\circ}\text{E}$ and $85\sim 95^{\circ}\text{E}$. Then the cross-equatorial flows move toward South China, enhance the low level jet in the southern part of South China and the north of South China Sea and increase the moisture transportation in heavy rain area. It is one of the main reasons in the formation of lasting-several-day heavy rains.

Key Words: cold air in the Southern Hemisphere heavy rain in South China cross-equatorial flow low level jet

引 言

华南地处低纬度,每年汛期开始早结束晚,是我国的一个季节性雨带。降水既受到西风带系统的影响,又受到热带系统的影响,暴雨频繁发生,往往给这一地区造成洪涝灾害。暴雨的发生与南海季风、西南季风和东南季风活动关系密切,而季风的的活动可追溯到南半球冷空气爆发和越赤道气流的影响。陈隆勋、丁一汇^[1-2]等在东亚季风的研究中均指出, 105°E 越赤道气流是东亚季风低层环流的主要成员,而 $40\sim 60^{\circ}\text{E}$ 索马里低空越赤道气流是南亚季风的主要系统。南半球大气环流的变化甚至会影响北半球台风的活动^[3]。何金海、杨修群等^[4-5]的数值模拟结果证实了马斯克林高压和澳大利亚高压的活动会影响东亚季风环流系统和降水天气系统。卫星云图上也可以清楚地看到南半球冷空气爆发对东亚地区的影响^[6]。越赤道气流与前汛期暴雨的关系密切。黄土松^[7]等认为南海越赤道气流的建立是华南前汛期暴雨盛期的开始。何敏^[8]等研究也表明,澳大利亚冷高压持续偏强,冷空气较强,对华南持续性强降雨起到重要作用。薛纪善^[9]等发现,对华南暴雨有重要作用的东亚热带夏季风与 90°E (85°E)通道的越赤道气流有密切的关系。李曾中等^[10-11]研究进一步表明,强越赤道气流的提前出现可能是我国洪涝灾害发生的一种“强信号”。因此,研究南半球冷空气活动对我国暴雨预报,加深对暴雨的认识有着重要

的意义。然而,南半球冷空气爆发远离暴雨区,且冷空气爆发后以越赤道气流的形式流向暴雨区的过程中气团的性质发生了重大变化,加之东亚地区大气环流活动的复杂性,给研究带来了一定难度。南半球冷空气爆发对华南暴雨的研究,尤其是暴雨天气过程影响的研究尚较少,南半球冷空气爆发对暴雨影响的物理图像并不清楚。本文试图通过2005年6月17—24日华南地区连续多日的暴雨天气过程,详细分析南半球冷空气爆发过程及其对该暴雨天气过程影响的主要途径和方式,试图揭示南半球冷空气爆发对华南暴雨影响的可能物理图像,为华南暴雨业务预报提供一定的依据。

1 天气背景和降水概况

2005年6月17—24日,500hPa上西太平洋副热带高压稳定,其 $110\sim 130^{\circ}\text{E}$ 的平均脊线位于 18°N 附近,平均西脊点位于 114°E 左右,东亚沿海地区维持一稳定的西风带低槽,槽后为一高压脊;850hPa上华南南部及南海北部地区维持一东北—西南向的低空急流,低空急流位于副热带高压西北侧和北侧,一直延伸到日本南部海域,且广东、广西处于大于348K的高假相当位温(θ_{sc})的环境中,而福建北部处于 θ_{sc} 锋区附近;100hPa上南亚高压东段(100°E 以东)脊线平均位置在 25°N 左右,华南地区位于南亚高压东端西北风和东北风的发散气流中;200hPa上 30°N 以北地区为一高空西风急流,150hPa上 115°E

以西的热带地区为一高空东风急流,华南地区位于两支高空急流之间(图略)。

在上述稳定的大尺度环流背景下,华南地区发生了连续多日的暴雨天气过程,由于其降水强度大,持续时间长,影响范围广,给广东、广西、福建以及江西等地区带来了严重的洪涝灾害。从 6 月 17—24 日华南地区的总降水量分布图上看(图 1),华南地区有 4 个降水中心:即福建中北部至江西中部、广西中北部、广东中部以及广东东部沿海的强降水区,其中福建北部强降水区与广东强降水区呈现南北两支雨带的分布形势;17—24 日的降水总量一般为 500~600mm,最大降水中心位于广东中部的龙门地区,降水量为 1308mm。

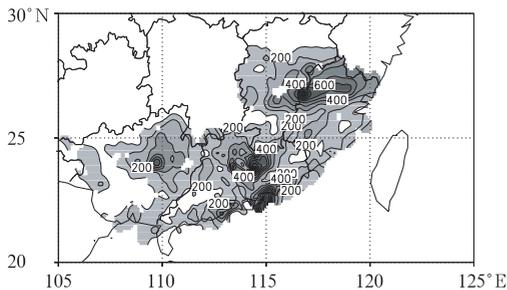


图 1 2005 年 6 月 17—24 日(08—08 时)华南地区的总降水量分布(单位:mm)

2 南半球冷空气爆发的影响

2.1 南半球冷空气爆发过程

2005 年 6 月 15 日 08 时(北京时,下同)950hPa 上(图 2),马斯克林岛东南部形成了一个完整强大的高压(南半球为气旋性环流),高压中心位于 75°E 附近,在高压前部(东部)有一西风带低槽开始登上澳洲大陆,TBB 云图上,有一长长的对流云带呈西北—东南向从澳大利亚西部向西北伸到东非索马里急流处,对流云带发生在高压北部东南气流

的前沿及高压前部的西风带低槽中。高压前部和底部强的东南风向北吹,在 10°S 左右分支,一支流向 40~60°E 东非东岸索马里附近,另一支流向 85~95°E 处,造成在 40~60°E 和 85~95°E 之间存在明显的越赤道气流,其中 40~60°E 越赤道气流越过赤道进入阿拉伯海后转为西南风向东发展,经过印度半岛、孟加拉湾和中南半岛,达到南海北部并逐渐向南发展影响华南,大风区与西太平洋副热带高压西北侧的西南低空急流连接,TBB 云图上对流云带呈东北—西南向从阿拉伯海向东一直延伸到日本海的南部;85~95°E 越过赤道后转为西南风经过中南半岛汇入南海地区。

之后,在 500hPa 西风带低槽东移的引导下(图略),马斯克林高压逐渐向东移动,同时也推动其前部的低槽向东移动,影响澳大利亚中东部地区,呈西北—东南向的对流云带也逐渐向东移动并略向北压。16 日 08 时,高压中心东移到 80°E 附近,高压前部的低槽登陆澳洲大陆,影响澳大利亚西部。17 日 08 时,高压中心东移到 85°E 附近,此时高压前部的东南气流还没有登陆澳大利亚,高压前部的低槽云系影响澳大利亚中部地区。18—19 日 08 时,高压中心突然快速东移到 100°E 附近,高压前部的东南风开始影响澳大利亚西海岸,高压前部的低槽云系东移南压到澳大利亚中东部地区,此时流向 85~95°E 附近的东南气流开始加强。

6 月 20 日 08 时,马斯克林高压开始登陆澳洲东南部,开始转变为澳大利亚高压,TBB 指示的对流云带呈西北—东南向从澳大利亚东部向西北伸到 85~95°E,该处的越赤道气流达到最强。此时,马斯克林岛东南部(35°S,60°E)又开始形成一个新的高压,高压前部的东南气流与前一高压前部的东南气流在 20°S 附近汇合向南流入东非索马里越赤道气流。6 月 21—22 日 08 时,澳大利亚高压进一步东移到澳洲中部 130°E 处,澳大

利亚东北部的东南气流一方面汇入赤道东南信风带,一方面在 $105\sim 115^{\circ}\text{E}$ 附近越过赤道向南汇入南海季风区,而呈西北—东南向的对流云带移到澳大利亚东部海域,并逐渐减弱消失。新的马斯克林高压移到 80°E 附近,开始酝酿下一次冷空气的爆发。上述分析可见,马斯克林高压前部的西风带低槽登陆澳大利亚开始,到马斯克林高压登陆澳洲转变

为澳大利亚高压,西风带低槽东移出澳洲东海岸,经历了大约 8 天的时间。而马斯克林高压前部的西风带低槽登陆澳大利亚后 2~3 天,华南地区开始出现大面积的持续暴雨天气过程。这表明,南半球冷空气的爆发对华南暴雨可能起到了重要作用,南半球冷空气活动是华南暴雨预报应该关注的一个重要因子。

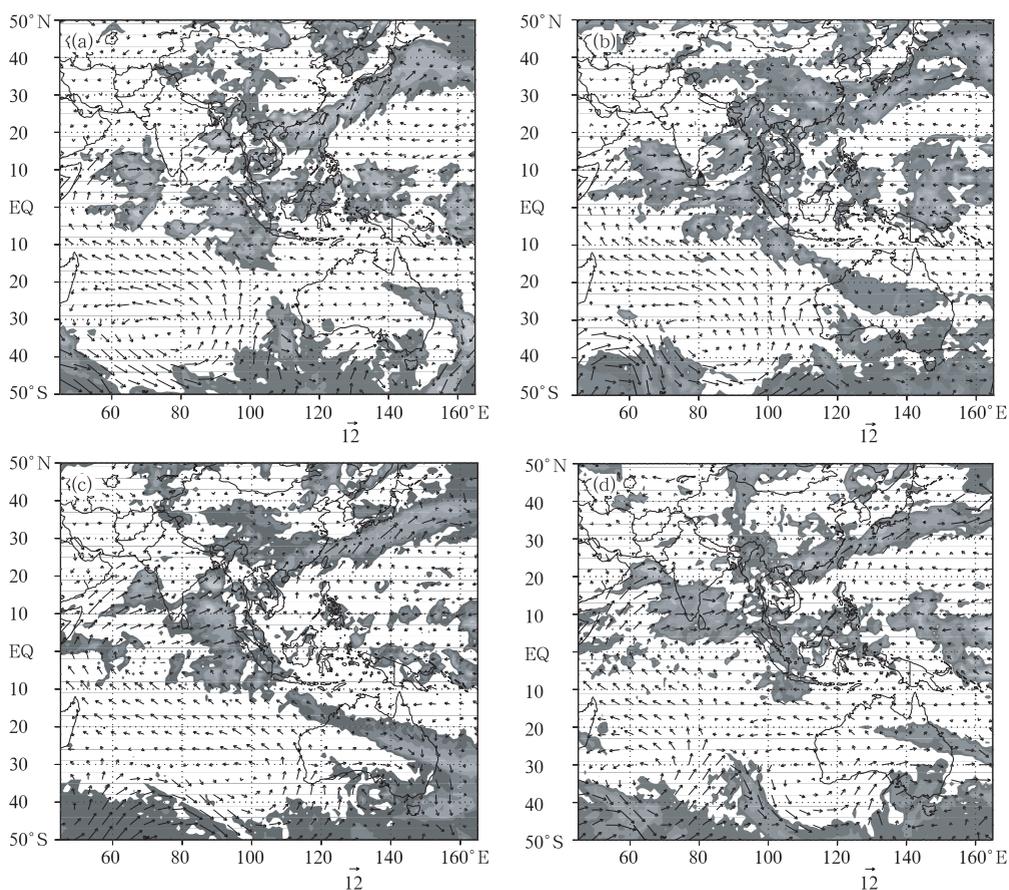


图2 2005年6月15—21日950hPa风场和TBB演变

(a) 15日08时; (b) 17日08时; (c) 19日08时; (d) 21日08时,阴影区 $\text{TBB} \leq -10^{\circ}\text{C}$

2.2 越赤道气流

2005年6月11—27日950hPa沿赤道经向风的时间经度剖面图(图略)上,可以清楚地见到南半球冷空气爆发期间越赤道气流

的分布和变化, $40\sim 60^{\circ}\text{E}$ 越赤道气流最强也最稳定, $85\sim 95^{\circ}\text{E}$ 、 $105\sim 115^{\circ}\text{E}$ 以及 $125\sim 135^{\circ}\text{E}$ 处的越赤道气流较弱且不稳定。15日开始, $40\sim 60^{\circ}\text{E}$ 处的越赤道气流明显增强且明显东扩到 $60\sim 70^{\circ}\text{E}$, 使得该通道出现异常

强的越赤道气流。18日开始, $85\sim 95^{\circ}\text{E}$ 和 $105\sim 115^{\circ}\text{E}$ 处的越赤道气流出现一次增强过程, 这与马斯克林高压东移对越赤道气流的影响有关。

2005年6月11—27日, 赤道上 $40\sim 60^{\circ}\text{E}$ 、 $60\sim 70^{\circ}\text{E}$ 、 $85\sim 95^{\circ}\text{E}$ 和 $105\sim 115^{\circ}\text{E}$ 平均经向风的高度时间剖面图(图3)上, 这一特点看得更加清楚。 $40\sim 60^{\circ}\text{E}$ 通道上, 11—15日越赤道气流有一次扰动过程, 17—23日, 越赤道气流再次增强, 强的越赤道气流变得更加深厚, 最大经向风达到 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 该通道的越赤道气流与马斯克林高压的活动有直接的关系。 $60\sim 70^{\circ}\text{E}$ 通道上, 16日开始, 由于马斯克林高压东移, 使得 $40\sim 60^{\circ}\text{E}$ 越赤道气流东扩, 导致该通道出现异常强的越赤道气流。 $85\sim 95^{\circ}\text{E}$ 通道上, 6月18日开始,

越赤道气流开始有所增强并变得更加深厚 ($1000\sim 800\text{hPa}$), 平均的经向风达到 $3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 21日开始减弱, 这期间正好对应于马斯克林高压向东移向澳大利亚, 23日之后又开始增强。 $105\sim 115^{\circ}\text{E}$ 通道上越赤道气流与前面不同, 21日后越赤道气流开始略有增强, 23—25日达到最强, 这表明马斯克林高压东移冷空气爆发期间, 由于该通道位置偏东, 越赤道气流没有明显的增强; 当马斯克林高压登陆澳洲转变为澳大利亚高压后, 该通道的越赤道气流才开始加强。上述分析可见, $60\sim 70^{\circ}\text{E}$ 、 $40\sim 60^{\circ}\text{E}$ 以及 $85\sim 95^{\circ}\text{E}$ 通道的越赤道气流活动与南半球冷空气活动关系密切, 暴雨发生期间, 由于冷空气的频繁活动, 这些通道的越赤道气流存在明显的增强过程。

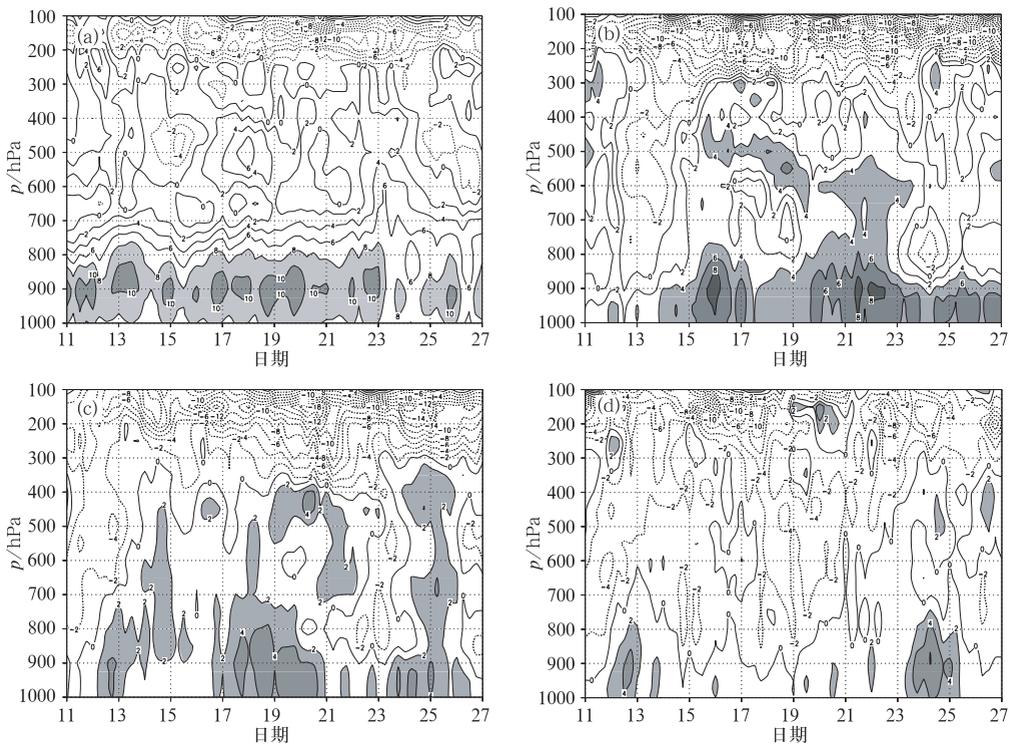


图3 2005年6月11—27日赤道上平均经向风($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)的演变
(a) $40\sim 60^{\circ}\text{E}$; (b) $60\sim 70^{\circ}\text{E}$; (c) $85\sim 95^{\circ}\text{E}$; (d) $105\sim 115^{\circ}\text{E}$

2.3 西南低空急流

越赤道气流加强后低空急流、水汽输送等存在什么样的变化呢? 区域(20~25°N、105~120°E)平均风速的时间演变图上(图4a)可以看到:6月17—23日,纬向风明显增大,风速扰动增厚(850~500hPa之间达到 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上),最大风速中心位于650hPa附近,达到 $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,但是风速扰动高度比越赤道气流扰动高度高。6月17日开始(图4b),经向风也开始增强,风速扰动主要发生在950~700hPa之间,最大风速中心位于900hPa附近,风速扰动的高度位于边界层附近,与越赤道气流扰动的高度基本一致。由于经向风和纬向风皆存在明显的增大过程,全风速相应增强,最大风速高度位于850~700hPa之间。上述分析表明,伴随越赤道气

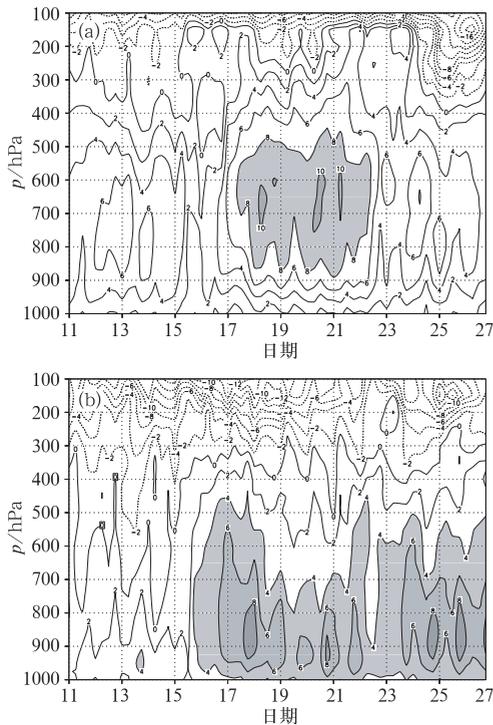


图4 2005年6月11—27日(20~25°N、105~120°E)区域平均的纬向风(a)、经向风(b)的时间-高度演变(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

流的增强,华南及南海北部的低空急流也存在相应的扰动(增强),但是对低空急流增强贡献大的是经向风扰动。

2.4 暴雨区水汽输送

在沿110°E上20~25°N平均水汽纬向输送的高度时间演变图(图5)上,6月17—22日水汽纬向输送明显增强,并存在着扰动(这种扰动可能与日变化有关),水汽输送的加强时段与低空急流的扰动时段相对应,最大水汽输送达 $0.14\text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,但是高度较低空急流的高度略低,位于900~850hPa附近。沿20°N上110~120°E平均的水汽经向输送的高度时间演变图(图略)上,16日开始水汽经向输送也明显增大,最大水汽输送发生在950hPa的边界层内,暴雨结束后仍然存在较大的水汽输送。这表明低空急流增强后,暴雨区的水汽输送也明显增强,但是由于华南暴雨发生时水汽主要集中在对流层中低层,尤其是边界层附近,使得水汽输送的最大中心降低,边界层附近水汽的输送可能起着主要作用。

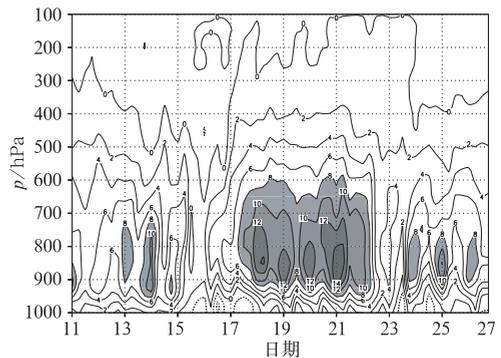


图5 2005年6月11—27日沿110°E上20~25°N平均的水汽纬向输送的高度-时间演变(单位为 $10^{-2}\text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)

2.5 “06·6”华南连续暴雨

2006年6月5—10日,华南地区发生了

连续性暴雨天气过程,5—8日准静止的梅雨锋维持在福建北部,给该地区带来连续4日的暴雨,9—10日,锋面南压到广东沿海地区,在广东造成连续两天的暴雨。分析南半球冷空气活动发现,6月4日开始,马斯克林高压在 70°E 形成后开始向东移动,高压前部的东南气流汇入到索马里低空急流、 $85\sim 95^{\circ}\text{E}$ 等越赤道气流处,加大了这些地区的越赤道气流,越赤道气流加强之后,南海北部和华南南部地区的风速存在明显的扰动,低空急流得到了明显增强(尤其是经向分量得到明显加大),这为暴雨的发生提供了有利条件。图6给出了2006年5月27日至6月11日 $85\sim 95^{\circ}\text{E}$ 平均越赤道气流和($20\sim 25^{\circ}\text{N}$ 、 $105\sim 120^{\circ}\text{E}$)区域平均经向风速的时间演变情况,可以清楚地看到,连续暴雨发生之前和期间,

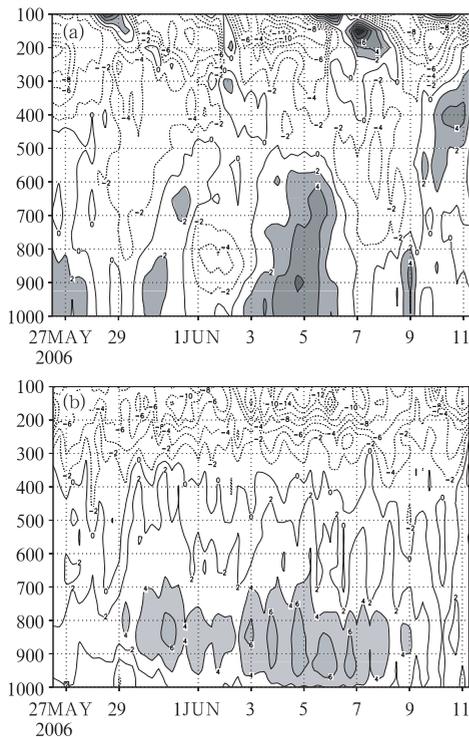


图6 2006年5月27日至6月11日赤道上平均经向风(a)和 $20\sim 25^{\circ}\text{N}$ 、 $105\sim 120^{\circ}\text{E}$ 区域平均经向风(b)的时间-高度演变(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

越赤道气流和低空急流有明显的增强过程。由此可见,上述分析得到的南半球冷空气影响华南连续性暴雨的物理途径是有一定的意义。

3 结论和讨论

2006年6月17—24日华南连续暴雨是稳定的大尺度环流形势下的产物,南半球冷空气爆发在连续性暴雨形成中起到了重要作用。通过前面的分析,可以总结出南半球冷空气爆发影响华南暴雨的主要物理途径:马斯克林高压形成后,在500hPa低压槽的诱导下逐渐向东移动,高压前部的东南气流向北流向赤道,先后加大 $40\sim 60^{\circ}\text{E}$ 、 $60\sim 70^{\circ}\text{E}$ 以及 $85\sim 95^{\circ}\text{E}$ 处等具有气候意义的越赤道气流,在科氏力的作用下,这些通道的越赤道气流逐渐转向汇向暴雨区,增强了华南南部和南海北部的风速,使这一区域的低空急流出现扰动,加大暴雨区的水汽输送,为连续暴雨的产生提供有利条件。这种物理图像适用于马斯克林高压东移登陆到澳大利亚冷空气的爆发过程。

南半球冷空气活动是华南地区降水季节暴雨预报有必要重视的一个重要的因子,尤其要注意强马斯克林高压的活动,它是华南前汛期增强越赤道气流的主要天气系统。如果南半球冷空气爆发后,恰遇北半球中高纬冷空气南下影响,冷暖气流交汇的地区就是暴雨发生的地区。但是,由于不同的天气过程,马斯克林高压的活动路径不同,冷空气的路径和强度也可能存在一定的差异,使得越赤道气流的路径和强度略有差异,从而对暴雨天气系统造成不同的影响。另外,这里的分析仅仅给出了华南地区连续性暴雨期间,南半球冷空气活动造成越赤道气流增强,华南南部低空急流及暴雨区水汽输送加大的观测事实,但是越赤道气流对暴雨究竟有什么

样的影响,什么通道的越赤道气流对暴雨的影响最明显,这需要数值敏感性试验来进行研究和探讨。

参考文献

- [1] 陈隆勋,朱乾根,罗汇邦,等.东亚季风[M].北京:气象出版社,1991:371-376.
- [2] 丁一汇,村上胜人.亚洲季风[M].北京:气象出版社,1994:263-269.
- [3] 张爱华,吴恒强,覃武.南半球大气环流对华南前汛期降雨影响初探[J].气象,1997,23(8):10-15.
- [4] 何金海,李俊,李永平.澳大利亚冷空气活动影响东亚夏季风的过程——数值试验[J].气象学报,1991,49(1):162-169.
- [5] 杨修群,黄土松.马斯克林高压的强度变化对大气环流影响的数值试验[J].气象科学,1989,9(2):125-138.
- [6] 许健民,张其松,方翔.用红外和水汽两个通道的卫星测值指定云迹风的高度[J].气象学报,1997,55(4):408-417.
- [7] 黄土松主编.华南前汛期暴雨[M].广州:广东科技出版社,1986:244-248.
- [8] 何敏.1994年影响我国夏季降水的大尺度背景分析.1994年华南特大暴雨洪涝学术研讨会论文集[C].北京:气象出版社,1994:205-210.
- [9] 薛纪善主编.1994年华南夏季特大暴雨研究[M].北京:气象出版社,1999:185-190.
- [10] 李曾中,李月安,晁淑懿.越赤道气流与我国洪涝灾害关系的初探[J].应用气象学报,1998,9(增刊):132-136.
- [11] 李曾中,程明虎,曾小苹.中国持续暴雨及洪涝灾害的成因与预测[J].北京大学学报(自然科学版),2003,39(增刊):133-141.