

# 澳大利亚冷空气活动影响东亚夏季风的过程——数值试验\*

何金海 李俊 李永平\*\*

(南京气象学院)

## 提 要

本文基于诊断分析结果,使用郭晓岚-钱永甫的 $P-\sigma$ 坐标5层原始方程球带模式做了澳大利亚冷空气活动影响北半球亚洲夏季风的数值试验。文章分析了亚洲季风地区特别是东亚地区的流场、降水场以及非绝热加热场对澳大利亚地区有、无冷空气活动的不同响应,着重讨论了澳大利亚地区冷空气活动影响东亚夏季风加强北进的传播过程。指出在这种过程中,经向风扰动呈现出由南向北的传播,流场和降水场也有相应的向北移动,其时间迟后约12天左右。

## 一、引 言

澳大利亚冷空气活动对北半球亚洲夏季风的影响以及南北半球大气环流的相互作用是我国气象学家非常熟悉并且早就予以重视的课题<sup>[1-3]</sup>。在本世纪60年代初,陶诗言等<sup>[2]</sup>就指出,北半球东亚经向环流盛行时,南半球中纬度经向环流也较强,并且在赤道附近南半球的空气向北输送的机会很大,这种强南风分速与澳洲强冷空气活动有关。后来陶诗言等<sup>[4]</sup>又进一步提出,南半球中纬度大范围的斜压性发展会导致某些地区越赤道气流的建立,从而导致北半球相应地区夏季风的建立和发展。在夏季风建立后,这种斜压性的发展又会引起北半球亚洲夏季风的加强与北进。王继志和李麦村<sup>[5]</sup>提出,源于澳洲的过赤道气流与中国季风环流和降水的关系密切,强调澳大利亚高压对中国夏季风的重要作用。

陈隆勋等<sup>[6]</sup>和何金海等<sup>[7]</sup>则将南北半球大气环流的相互作用与准40天振荡在季风区的经向传播联系起来。陈隆勋等指出,准40天振荡是南半球冷空气的振荡向北传播到北半球ITCZ的表现,南北半球环流的相互作用就是依靠这种振荡的传播。何金海等<sup>[7]</sup>强调南半球中纬度准40天周期性冷空气活动对热带大气的强迫及其对北半球夏季风的影响,提出马斯克林高压和澳大利亚高压南侧的冷空气爆发会引起这两个高压本身的加强,尔后导致越赤道气流的加强,进而分别导致印度季风和东亚季风的加强与北进。本文的目的就是循着这样一条思路,通过数值试验进一步证实澳大利亚冷空气活动对东亚夏季风的重要作用,揭示其影响的具体过程并与准40天振荡的经向传播联系起来。

\* 本文于1989年2月23日收到,1989年5月11日收到修改稿。本文由国家自然科学基金委员会和国家气象局季风科研基金联合资助。

\*\* 南京气象学院88届硕士研究生,现在江苏省连云港盐业气象台工作。

## 二、模式和资料以及试验方案

本文采用郭晓岚-钱永甫的  $P-\sigma$  混合坐标系 5 层原始方程球带模式进行数值试验。该模式在垂直方向有 5 层, 上面 2 层用  $P$  坐标, 下面 3 层用  $\sigma$  坐标系, 在地面或海平面以下还有一个重要的耦合层来考虑地气系统的相互作用。该模式的区域为  $35^{\circ}\text{S}-45^{\circ}\text{N}$  之间的整个球带。

模式中包含了比较全面的非绝热加热过程, 如太阳短波辐射、地气系统长波辐射、大尺度凝结、积云对流、下垫面感热和潜热加热等。模式中采用了实际地形。南、北边界条件为固定边界。有关模式的进一步说明请参阅文献[8]。

为了检验模式模拟夏季风环流和系统的能力, 我们首先以 6 月份月平均场作为初始场积分 15 天, 然后将积分 8-12 天的平均场与 7 月份的平均实况作对比, 结果表明该模式能比较有效地模拟北半球夏季风的发展(图略)。

本文数值试验方案是这样设计的: 根据诊断分析结果(参阅文献[7]), 澳大利亚地区准 40 天周期的冷空气活动对东亚地区的夏季风有重要影响。因此我们以 1982 年 6 月份平均场作为基本初始场, 而在澳大利亚地区(如图中框形区域所示)分别选加具有强冷空气活动和没有冷空气活动(或回暖)的两种“异常”场作为初始场。诊断分析结果指出, 6 月 18 日左右澳大利亚南部地区有较强的西风, 它对应澳大利亚地区有一次较强的冷空气活动过程。因此我们取 6 月 16 日至 20 日的 5 天平均场(高度场  $Z_1$ , 湿度场  $Q_1$ )取代该区域内的月平均场。同样为了获得澳大利亚地区无冷空气活动的初始场, 我们以  $Z_0-(Z_1-Z_0)$  和  $Q_0-(Q_1-Q_0)$  取代该区域的月平均高度场  $Z_0$  和湿度场  $Q_0$ 。以上两个试验分别简称为 MAS 试验和 MAW 试验。

初始资料由 5 层高度场(100, 300, 500, 700 和 1000hPa)和 4 层湿度场(300, 500, 700 和 850hPa)组成。初始风场在中高纬度取地转风平衡, 在赤道附近( $5^{\circ}\text{S}-5^{\circ}\text{N}$ ), 采用简化的平衡方程求风场。初始温度场用静力平衡关系由高度场求得。地面温度场初始时刻取气候平均场, 积分过程中由地表能量平衡方程确定。通过初始化处理以后, 已把标准等压面上的数据插到模式大气各层上, 这时就可以进行模式的积分运算, 每个试验积分 20 天。

## 三、数值试验结果分析

### 1. MAS 和 MAW 试验的差异

由图 1 a 中框形区域中流场分布可见, 初始时刻澳大利亚地区有明显的反气旋环流, 其南部有较强的西-西南风。高低层的温压场分布表明该区域有较强的南北方向温度梯度, 700hPa 沿  $110^{\circ}\text{E}$  的温差  $\Delta T(T_{15^{\circ}\text{S}}-T_{35^{\circ}\text{S}})$  为  $14^{\circ}\text{C}$ , 500hPa 沿  $140^{\circ}\text{E}$  有一南北方向振幅较大的低压槽, 地面冷高压中心正位于伸向赤道的低压槽后部。这种环流形势说明, 此时澳大利亚地区有较强的冷空气活动, 对流层中有明显的斜压性发展。与图 1 a 成为对比的是, 在图 1 b 中澳大利亚地区没有反气旋环流出现, 其南部地区(特别是  $110^{\circ}-140^{\circ}\text{E}$  之间)有较强的偏北风。高低层的温压场分布表明整个对流层中南北方向温度梯度较小, 这种环流形势表明澳大利亚地区大气斜压性较小, 没有冷空气活动或为回暖天气。

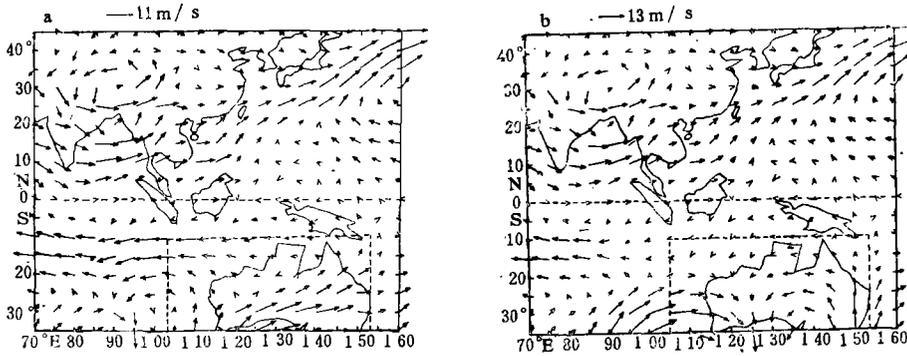


图 1 MAS 试验(a)和 MAW 试验(b)模式第 4 层<sup>1)</sup>上的初始流场

对比图 1 a 和图 1 b, 可以看出 MAS 和 MAW 两种试验的初始流场的差别仅在澳大利亚地区及其边界附近<sup>2)</sup>, 而其他地区的流场分布均为 6 月份的平均场。这种平均场反映出南半球近赤道地区的东风带, 北纬 15° 左右的亚洲夏季风带, 亚洲大陆热低压气旋式环流以及西北太平洋副热带高压反气旋环流等基本环流形势。

作者在文献[7]中指出, 从南半球中纬度冷空气爆发到引起北半球夏季风的加强或活跃, 其时间滞后约 10—12 天左右。如果上述诊断分析结果确实揭示了南半球中纬度冷空气活动的影响向北传播导致北半球夏季风加强的实质, 那么 MAS 和 MAW 两种试验在积分 10 天以后, 在亚洲夏季风槽或东亚地区其流场应有明显的差异。因此我们首先着重比较两种试验在积分第 10—14 天(5 天平均)内的流场差异。

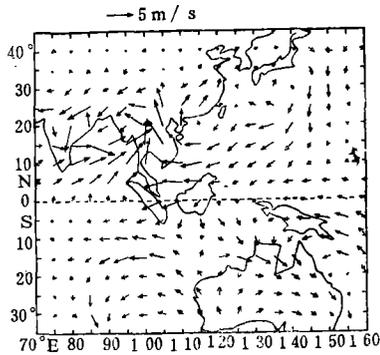


图 2 MAS 试验和 MAW 试验在模式第 4 层上的 5 天平均(第 10—14 天)流场较差异

图 2 即用 MAS 试验的 5 天平均流场(第 10—14 天)减去 MAW 试验的相应时段的 5 天平均流场。图中箭矢是相对风矢, 其大小(长短)和方向反映了两个试验所模拟的环流的差异。由图可见, 北半球亚洲季风区有 3 支明显的气流较差强带。第一支为从孟加拉湾南部经中南半岛到我国东部地区的强偏南风(SW-SE)较差带。这说明, 当澳大利亚地区有强的冷空气活动时, 经过 10 天以后, 北半球这一地区的夏季风有明显的增强, 且主要表现为偏南风分量的增强。第二支为西北太平洋地区显著的反气旋较差环流, 它意味着西北太平洋副高在 MAS 试验中要比 MAW 试验中偏强, 特别是其西部的东南气流显著偏强。上述两股强较差气流在中南半岛至我国南海地区汇合北上, 经云贵地区伸向我国东部, 其北界可达 30°N 附近, 从而对上述地区的降水产生重要影响, 这一点后面将要

1) 该层是  $\sigma$  面, 如果地面气压为 1000 hPa, 它的高度则为 812.5 hPa。

2) 在澳大利亚地区迭加“异常”场时, 边界附近需要进行平滑, 故也有差异。

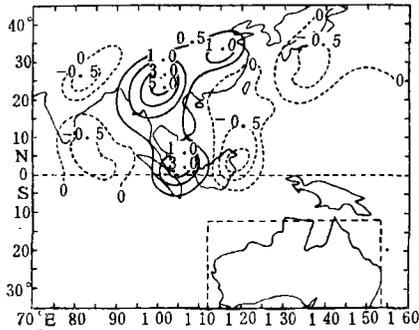


图3 MAS试验与MAW试验5天平均(第10—14天)的降水较差(单位: mm/d)

第二个中心位于100°E附近的中南半岛北部到我国的云贵地区,它与MAS试验中这一地区的强低压位置相一致。第三个较小的较差中心位于我国东部30°N附近的江淮流域,它与强较差气流的北进造成的这一地区的辐合有关。后面将会看到它也是MAS试验中强季风降水向东北方向伸展的结果。同样可见,在上述正的降水较差带的两侧有两条负的较差带,一条位于西北太平洋地区,一条位于印度地区,它们与前述流场的较差是吻合的。东面的负区与MAS试验中西太平洋副热带高压脊的加强西进造成该地区下沉运动的增强有关,而西部的那个负区正是印度季风减弱的表现,它与流场的较差也是一致的。

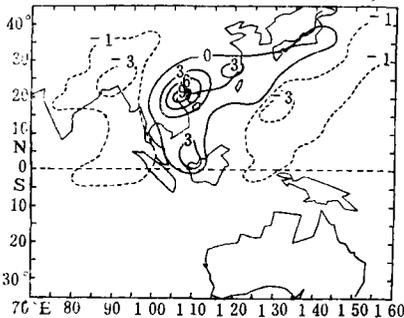


图4 MAS试验与MAW试验300 hPa 5天平均(第10—14天)非绝热加热较差分布

(单位:  $\frac{4.1868\text{J}}{\text{cm}^2 \cdot \text{min}} \times 10^{-2}$ )

## 2. 传播过程的分析

根据上面的分析,我们可以相信北半球亚洲夏季风地区的流场、垂直运动场、降水场和非绝热加热场对澳大利亚地区有、无冷空气活动确有不同响应,换句话说,澳大利亚地区的冷空气活动确实对北半球亚洲夏季风(特别是东亚夏季风)有重要影响,那么现在要问,这种影响的过程是什么?它和准40天振荡在这一地区的经向传播过程是否有某种类似?为了较直观地讨论澳大利亚地区冷空气活动对北半球东亚夏季风的这种影响

讨论。另外值得注意的是印度北部及印度半岛大部分地区有偏北较差气流,这表明MAS试验中模拟的印度季风反而较弱,也就是说,澳大利亚地区冷空气活动对东亚夏季风和印度夏季风的影响其效果是相反的。这从一个侧面说明了东亚季风与印度季风反位相的观点。

与流场较差相联系,存在着三个比较明显的降水、垂直运动和加热场的较差区。由图3可见,从赤道印度尼西亚到中南半岛经我国云贵地区一直延伸到江淮流域为一正的降水较差带,其中有一个相对大的较差中心:一个位于105°E附近的赤道印度尼西亚地区,中心较差值为3.0mm/d。

在300hPa的对流层高层,两个试验的非绝热加热场的较差分布也与降水较差分布非常类似(如图4所示)。从印度尼西亚经中南半岛到我国华南、华东并一直延伸到日本附近为相对正的加热区,它与图3中相对正的降水带位置基本一致,只是位置略偏东一些。由此可以推断, MAS试验和MAW试验中模拟的这种非绝热加热场的差异可能与季风区大尺度降水过程中凝结潜热加热的不同有关。同样地,和两个降水较差负值区相对应,这些地区的对流层高层亦为加热较差的负值区。这两者的一致性说明季风降水的潜热加热在非绝热加热场中起着重要的作用。

过程,我们选取如图5所示的几个关键区域来描述澳大利亚地区冷空气活动所造成的经向风扰动向北传播的过程。

由图6可以看出,经向风异常明显地向北传播。也就是说,在以澳大利亚地区有冷空气活动为初始场的条件下,积分2天以后,澳高北侧的南风增强,积分6天,相应于关键区域b处( $100^{\circ}\text{E}$ 附近)的越赤道气流异常增强,然后中南半岛到我国华南地区的南风增强,于14天左右最强南风扰动北传到我国江淮流域。其南风异常在积分第10—14天为最大。正是这一南风异常导致了孟加拉湾经中南半岛到我国东部地区的夏季风(SW-SE)及其降水的增强(参阅图2和图3)。上述传播起因于澳大利亚地区的冷空气活动或对流层斜压性发展。反之,当澳大利亚地区无冷空气活动(或回暖),则会引起北半球东亚夏季风的减弱。很有意义的是上面讨论的澳大利亚冷空气活动的影响向北传播的过程与作者在文献[7]中提出的准40天振荡向北传播的天气学过程非常类似。这种相似为我们进一步研究准40天振荡经向传播机制提供了线索和启发。

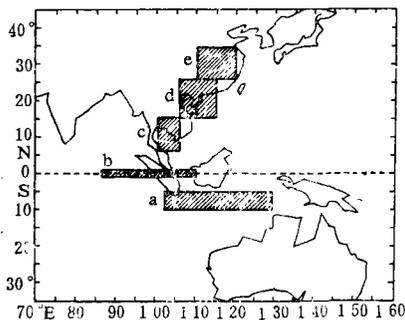


图5 关键区域示意图

- (a.  $5-10^{\circ}\text{S}$ ,  $100-130^{\circ}\text{E}$ , 澳大利亚西北部地区;  
b. EQ,  $85-110^{\circ}\text{E}$ , 赤道印度尼西亚地区;  
c.  $5-15^{\circ}\text{N}$ ,  $100-105^{\circ}\text{E}$ , 中南半岛北部;  
d.  $15-25^{\circ}\text{N}$ ,  $105-115^{\circ}\text{E}$ , 华南地区;  
e.  $25-35^{\circ}\text{N}$ ,  $110-120^{\circ}\text{E}$ , 江淮流域)

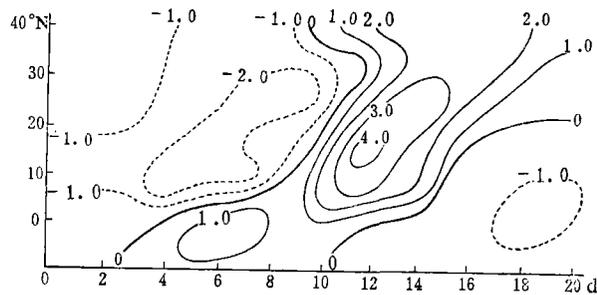


图6 通过图5所示关键区域, MAS 试验积分时段内经向风异常的时间-纬度剖面图

与夏季风的向北推进相一致,其降水场也显示出有规律的向北扩展。由7图可以看出,在第一时段,从赤道印度尼西亚到中南半岛北部和我国云贵地区分别有二个降水中心(如图7a所示),到第二时段图7b,位于赤道印度尼西亚地区的降水中心稍向西移动,强度变化不大,但中南半岛北部的降水中心却显著增强且向东北方向伸展至我国江淮流域,这是与夏季风的加强北进相吻合的。在第三时段图7c,即积分13—14天,此时中南半岛北部的降水中心减弱,而江淮流域的降水中心强度增大范围扩大。上述三个时段降水的变化说明,随着越赤道气流及其后的东亚夏季风的增强北进,相应的季风降水也加强北进。同时比较图3和图7c可以发现,两者的型式很相似。这说明MAS试验与MAW试验积分10—15天的降水较差是由于MAS试验中东亚地区夏季风降水加强北进的结果,换句话说就是澳大利亚地区冷空气活动影响的结果。

为了更进一步地了解冷空气影响向北传播的过程,我们还以澳大利亚地区有冷空气活动的实际场作为初始场进行了积分试验,简称RAS试验,它与MAS试验的不同仅在于澳大利亚地区(图1中虚线所框区域)以外的初始场是实际场而不是月平均场。图8

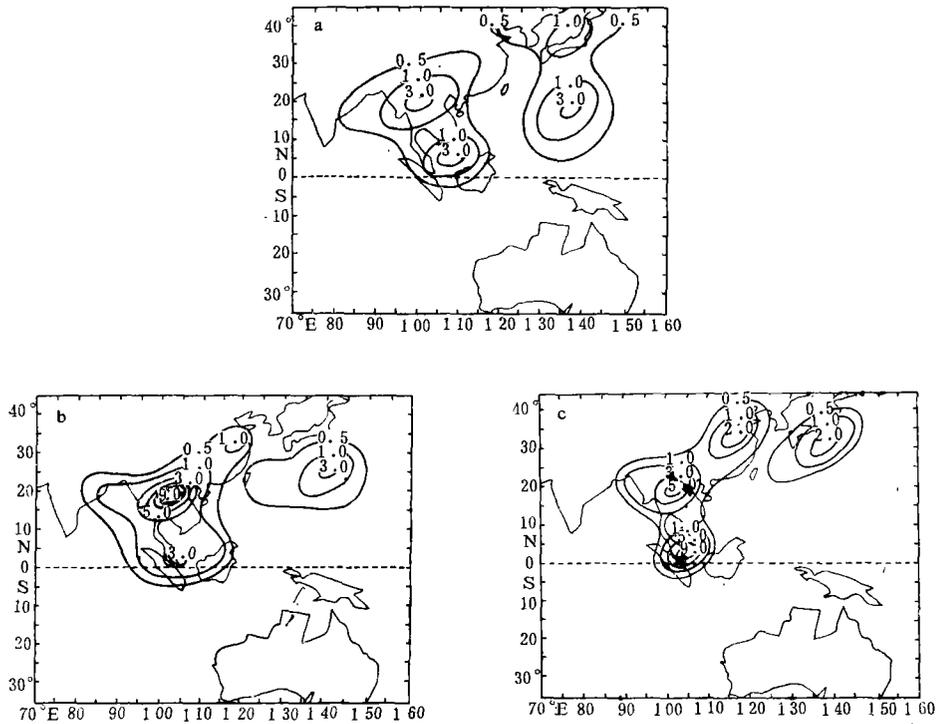


图7 MAS试验中5—6天(a)、10—11天(b)、13—14天(c)三个时段的降水分布  
(单位: mm/d)

(a, b, c)与初始场相比(图略), 积分5天后的流场在 $75^{\circ}$ — $115^{\circ}$ E之间越赤道气流显著增强, 其南部( $5^{\circ}$ — $10^{\circ}$ S)的东南信风亦比初始场加强了。与越赤道气流的增强相联系, 孟加拉湾和我国南海地区的西南风较强, 其北界抵达我国南海北部地区(如虚线所示), 它与 $105^{\circ}$ E附近越赤道气流的增强有关。积分10天后的流场表明, 从孟加拉湾经中南半岛到我国东部地区的江淮流域为一很强的S—SW风区域, 其强南风北界向北推进了5—10个纬距。这一西南强风的向北推进和季节趋势相结合将会导致我国东部地区重大的天气事件如入梅和出梅等, 正如陶诗言等在文献[4]中所指出的。图8c给出的是积分15天的流场。由图可以看出西南夏季风已开始减弱, 其南风北界处于华南附近( $25^{\circ}$ N),  $100^{\circ}$ E附近的越赤道气流已很不明显。上述结果说明, 我国东部地区的夏季风在积分10—15天内的某一时刻达到最强, 其位置也最北。这种加强北进的过程与MAS试验所揭示的传播过程也非常类似。这一切均说明澳大利亚冷空气活动影响东亚夏季风确实是一种由南向北的经向传播过程, 其时间迟后约为12天左右。

诚然, 上述试验中由于边界条件固定, 这就使得澳大利亚地区南部边界上的初始冷空气活动维持时间比实际过程过长, 从而影响本文的数值试验结果。因此本文所得结果尚需用全球模式进一步加以检验。

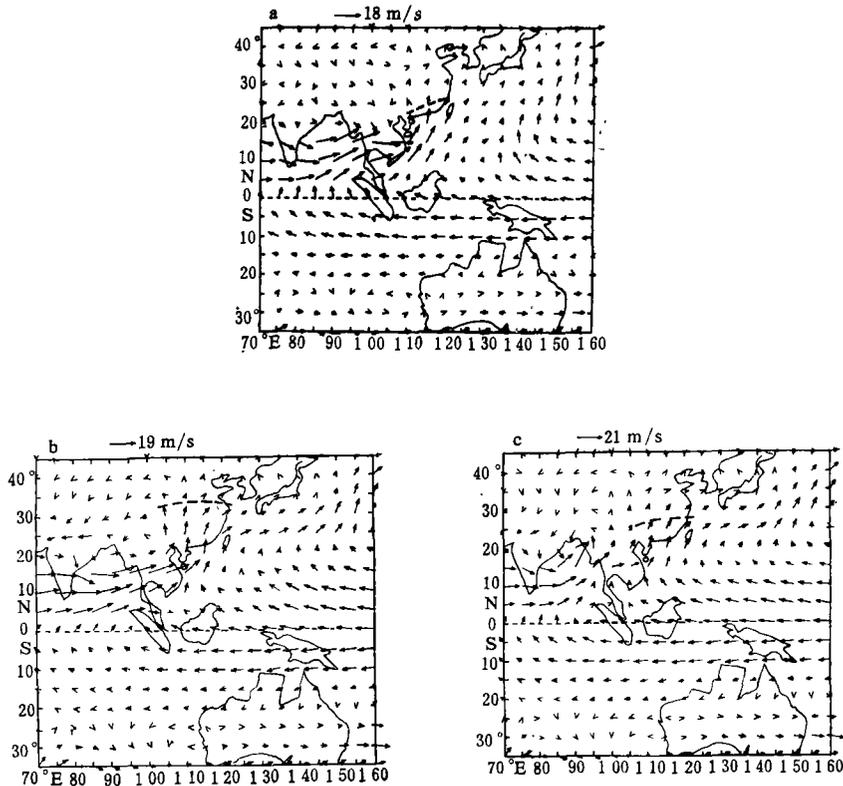


图 8 RAS 试验积分 5 天(a)、10 天(b)、15 天(c)模式第 4 层上的流场分布  
(图中虚线表示强南风的北界, 图顶部的箭头表示流场中的最大风速)

### 参 考 文 献

- [1] 叶笃正、杨广基、王兴东, 东亚和太平洋上空平均垂直环流(一)夏季, 大气科学, 3, 1, 1-11, 1979。
- [2] 陶诗言、徐淑英、郭其蕴, 夏季东亚热带和副热带地区经向和纬向环流型的特征, 气象学报, 32, 2, 91-103, 1962。
- [3] 郭其蕴、叶维明, 南北半球大气环流与东亚季风, 气象学报, 37, 1, 87-95, 1979。
- [4] 陶诗言、何诗秀、杨祖芳, 1979 年季风试验期间东亚地区夏季风爆发时期的观测研究, 大气科学, 7, 4, 347-355, 1983。
- [5] 王继志、李麦村, 源于澳洲过赤道气流与中国季风环流和降水, 大气科学, 6, 1, 1-10, 1982。
- [6] 陈隆勋、金祖辉, 夏季东亚季风环流系统中期变化的南北半球相互作用, 全国热带季风学术会议文集, 218-231, 云南人民出版社, 1982。
- [7] He Jinhai (何金海) and Chen Lizhen (陈丽臻), The Southern Hemisphere mid-latitude quasi-40-day periodic oscillation with its effect on the Northern Hemisphere summer monsoon circulation, ACTA METEOROLOGICA SINICA, 2, 3, 331-339, 1988。
- [8] Kuo H. L. (郭晓岚) and Qian Y. F. (钱永甫), Numerical simulation of the development of mean monsoon circulation in July, Mon. Wea. Rev., 110, 12, 1879-1897, 1982。

**NUMERICAL EXPERIMENT WITH PROCESSES  
FOR EFFECT OF AUSTRALIAN COLD  
AIR ACTIVITY ON EAST-ASIAN  
SUMMER MONSOON**

He Jinhai Li Jun Li Yongping

*(Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing)*

**Abstract**

Based on diagnostic results, a numerical study is made of the processes of Australian cold air activity affecting East Asian summer monsoon by using Kuo-Qian P- $\sigma$  incorporated coordinate fivelayer primitive equation spherical band model. Analysis is done of the response to the Southern Hemisphere circulation with and without cold air activity in Australia of the flow, rainfall and diabatic heating fields in the monsoon area of Asia, especially, East Asia, with special attention to the intensification and northward march of the monsoon due to the activity. It is found that the processes for the effect transmission are very analogous to the meridional propagation of quasi-40-day oscillation, together with the meridional wind disturbance showing south-north travel and the flow/rainfall fields exhibiting corresponding movement in this direction, only with a 12-day lag.