

亚澳季风区的水汽输送特征^{*}

乔云亭^{1,2}, 林美静¹

(1 中山大学大气科学系 // 季风与环境研究中心, 广东 广州 510275;
2 中国科学院大气物理研究所 LASG, 北京 100029)

摘 要: 用 1950 – 2004 年 NCAR NCEP 再分析资料计算得到逐日垂直积分水汽输送通量矢量 Q 然后进行月平均处理, 分析了亚澳季风区的水汽输送特征。结果表明, 北半球冬季, 亚洲季风区低纬地区为东北风水汽输送, 它经过赤道偏转为西北风水汽输送, 将水汽输送到澳大利亚季风区和低纬南印度洋。北半球夏季, 澳大利亚季风区和低纬南印度洋为东南风水汽输送, 它经过赤道偏转为西南风水汽输送, 将水汽输送到亚洲季风区。夏季的水汽输送要比冬季强盛得多。无论是冬季还是夏季, 赤道上存在两个显著的水汽经向输送大值区, 分别在 $35^{\circ} - 65^{\circ}E$ 和 $100^{\circ} - 135^{\circ}E$ 。冬季 $100^{\circ} - 135^{\circ}E$ 的平均值稍强; 夏季 $35^{\circ} - 65^{\circ}E$ 的平均值远大于 $100^{\circ} - 135^{\circ}E$ 的水汽输送值, 这说明夏季索马里越赤道气流在亚、澳季风区之间的水汽交换中占主要地位。两支越赤道水汽输送是相互独立的。每支越赤道水汽输送本身在冬、夏季存在显著负相关, 当冬季从亚洲季风区向澳大利亚季风区和低纬南印度洋的水汽输送偏强时, 接下来的夏季, 从澳大利亚季风区和低纬南印度洋向亚洲季风区的水汽输送也偏强; 反之亦然。

关键词: 亚澳季风区; 水汽输送; 越赤道

中图分类号: P434 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2006) 06 0102-04

亚洲季风区和澳大利亚季风区是世界上著名的季风活动区, 前者包括中国大陆、日本、中南半岛、印度以及南海、西太平洋、孟加拉湾等地; 后者从澳大利亚北部延伸至新几内亚和印度尼西亚地区^[1]。季风从海洋携带的水汽对于亚澳季风区水分平衡起着重要作用^[2,3], 并对亚澳季风区的降水有巨大的影响, 从而对季风区的人民生命和财产造成影响, 因此对亚澳季风区水汽输送的研究有重要意义。黄荣辉等^[4]研究了夏季东亚季风区水汽输送特征及其与南亚季风区水汽输送特征的差别, 揭示出东亚季风水汽输送以经向输送为主, 而南亚季风区水汽输送以纬向输送为主。ZHANG^[5]研究了来自印度季风区的水汽输送与东亚上空水汽输送的关系, 结果表明这两个地区的水汽输送是反相的。周长艳等^[6]研究了夏季东亚地区水汽输送的气候特征, 指出夏季各支大尺度水汽输送汇合成一条行星尺度水汽输送大值带, 它从南半球出发, 经过亚洲季风区, 进入北太平洋。乔云亭等^[7]和田红等^[8]的研究均指出北半球夏季水汽由南半球向北半球输送, 而在北半球冬季水汽经向输送方向则相反。田红等还指出, 全球水汽的纬向输送在南北半球中高纬度由西向东, 与中纬度西风带一致; 在低

纬则由东向西, 与热带东风带一致。刘芸芸等^[9]则探讨了亚澳季风区水汽输送的季节转换特征。这些研究没有深入对亚洲季风区和澳大利亚季风区水汽经向输送及纬向输送特征进行分析, 也没有探讨两季风区间水汽输送的年际变异, 因此本文拟研究亚澳季风区的水汽输送特征。

1 资料与方法

本文使用了 1950 – 2004 年 NCAR NCEP 再分析逐日资料中的风场及比湿资料, 其水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。计算了全球范围单位气柱逐日整层大气水汽输送通量矢量 Q 。其计算公式如下:

$$Q = \frac{1}{g} \int_{p_T}^{p_S} V \cdot q dp = - \frac{1}{g} \int_{p_T}^{p_S} (u, v) V \cdot q dp$$

其中为 q 比湿, V 为水平风, p_S 为地面气压, 由于 NCEP 水汽资料高空只到 300 hPa 故 $p_T = 300$ hPa

对计算出的逐日水汽输送通量 Q 进行月平均处理并求距平。利用谐波分解的方法, 将 8 年以下的分量作为年际变化资料。本文选取 6、7、8 月平均值代表北半球夏季值, 选取上年 12 月及当年 1、2 月平均值代表当年北半球冬季值。下文中夏季和冬季均是相对北半球而言。

^{*} 收稿日期: 2005 09 23
基金项目: 中山大学青年教师科研启动基金资助项目; 中国科学院大气物理研究所 LASG 开放基金资助项目
作者简介: 乔云亭 (1975 年生), 女, 讲师; E-mail: qiaoyt@mail.sysu.edu.cn
(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2 冬夏季多年平均水汽输送特征

图 1a b分别为 1950 - 2004 年平均冬季水汽

纬向和经向输送通量, 图 1c d分别为夏季水汽纬向和经向输送通量。图中阴影区代表正值。

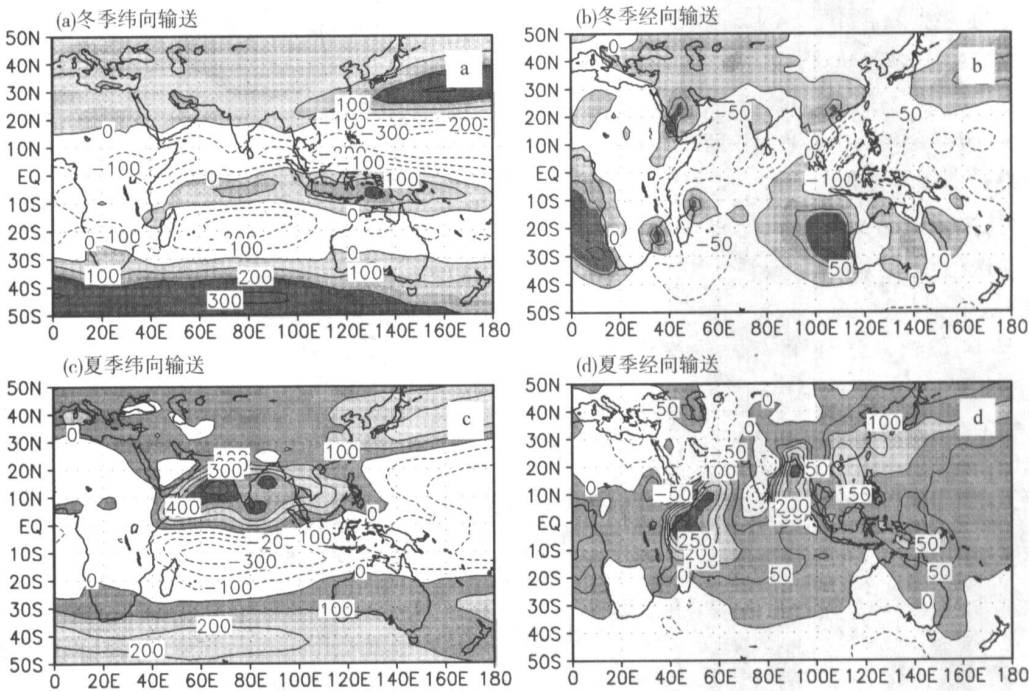


图 1 1950 - 2004 年平均水汽输送通量
Fig. 1 55 year mean moisture transport flux

(a) zonal transport in winter (b) meridional transport in winter (c); (d) same as (a); (b) but in summer (unit $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

由图 1a 可见, 冬季, 亚澳季风区水汽纬向输送呈带状分布, 由 30°S 至 35°N 依次表现为负、正、负、正的数值, $30^{\circ}\text{S} - 15^{\circ}\text{S}$ 之间为偏东纬向输送, $15^{\circ}\text{S} - 0^{\circ}\text{N}$ 为偏西水汽输送, 中心位于澳大利亚北部的季风区, 中心数值为 $200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$), $0^{\circ} - 15^{\circ}\text{N}$ 为偏东水汽输送, 中心位于南海及西太平洋暖池一带, 中心数值为 $-300 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, $15^{\circ}\text{N} - 35^{\circ}\text{N}$ 为偏西水汽输送, 赤道与水汽纬向输送零线基本重合, 表明赤道上几乎没有水汽的纬向输送。图 1b 上, 亚澳季风区 $10^{\circ}\text{S} - 20^{\circ}\text{N}$ 之间为大范围负值区, 在 10°N 附近由西向东依次排列着几个负值中心, 中心数值分别为 -100 和 $-150 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 赤道上为明显的负值区, 即水汽由北半球向南半球输送。综合图 1a 和 b, 冬季, 亚洲季风区低纬地区为东北风水汽输送, 它经过赤道偏转为西北风水汽输送, 将水汽输送到澳大利亚季风区和低纬南印度洋。

图 1c 上, 夏季, 亚洲季风区是大范围的正值区, 正值中心分别位于阿拉伯海和孟加拉湾, 中心数值分别为 500 和 $400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 表明水汽由西向东输送; 低纬南印度洋和澳大利亚季风区为大范

围的负值区, 中心位于马达加斯加东侧的低纬南印度洋, 中心数值为 $-300 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 表明水汽由东向西输送。正负中心基本以赤道为对称轴, 赤道与零线几乎重合, 说明赤道上水汽的纬向输送很小。图 1d 上, 亚洲季风区和澳大利亚季风区为大范围的正值区, 有三个明显的正值中心分别位于马达加斯加北侧的赤道印度洋、孟加拉湾北部和南海北部, 其数值分别为 300 , 250 和 $150 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 赤道上基本为偏南水汽输送。这表明夏季水汽经向输送主要从南半球到北半球。综合图 1c d 夏季, 澳大利亚季风区和低纬南印度洋为东南风水汽输送, 它经过赤道偏转为西南风水汽输送, 将水汽输送到亚洲季风区。

综合图 1 冬季, 亚洲季风区向澳大利亚季风区和低纬南印度洋输送水汽; 夏季, 澳大利亚季风区和低纬南印度洋向亚洲季风区输送水汽, 相比而言, 无论是经向输送还是纬向输送, 夏季都要比冬季大得多, 即夏季的水汽输送要强盛得多。

3 赤道上多年平均水汽经向输送特征

由前面的分析可知, 无论在夏季还是冬季,

亚、澳季风区间都存在显著的水汽输送, 因此我们来关注赤道上多年平均的水汽经向输送特征。

图 2 为 1950–2004 年多年平均赤道上水汽经向输送的时间–经度剖面图, 阴影区表示水汽经向输送绝对值大于 $50\text{ kg m}^{-1}\text{ s}^{-1}$ 。由图 2 可见, 在冬季和夏季, 赤道上存在着两个水汽经向输送大值区, 分别在 $35^{\circ}\text{--}65^{\circ}\text{E}$ 和 $100^{\circ}\text{--}135^{\circ}\text{E}$ 附近, 其中心数值的绝对值大于 $100\text{ kg m}^{-1}\text{ s}^{-1}$, 它们是亚、澳季风区间的主要水汽输送通道。冬季, $35^{\circ}\text{--}65^{\circ}\text{E}$ 的经向输送值约为 $100\text{ kg m}^{-1}\text{ s}^{-1}$, 而 $100^{\circ}\text{--}135^{\circ}\text{E}$ 的输送值则超过 $150\text{ kg m}^{-1}\text{ s}^{-1}$, 后者比前者稍强; 夏季, $35^{\circ}\text{--}65^{\circ}\text{E}$ 的经向输送值可达到 $300\text{ kg m}^{-1}\text{ s}^{-1}$, 而 $100^{\circ}\text{--}135^{\circ}\text{E}$ 的输送值约为 $100\text{ kg m}^{-1}\text{ s}^{-1}$, 前者远大于后者。

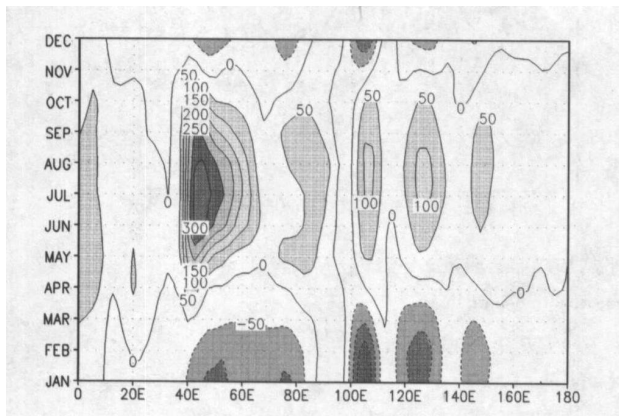


图 2 1950–2004 年平均赤道上水汽经向输送通量
Fig 2 55 year mean meridional moisture transport flux on the equator (unit: $\text{kg m}^{-1}\text{ s}^{-1}$)

分别选取赤道上这两支越赤道水汽输送进行平均, 得到上述两支水汽输送逐年经向输送的时间序列 (图略)。各年冬季, 赤道上水汽输送都为负值, 即由亚洲季风区向澳大利亚季风区和低纬南印度洋输送水汽, $35^{\circ}\text{--}65^{\circ}\text{E}$ 的多年平均输送值为 $-66.6\text{ kg m}^{-1}\text{ s}^{-1}$, $100^{\circ}\text{--}135^{\circ}\text{E}$ 的多年平均输送值为 $-74.9\text{ kg m}^{-1}\text{ s}^{-1}$ 。表明冬季两条越赤道水汽经向输送值相当, 后者的输送比前者稍强, 即冬季大陆桥附近的水汽经向输送在亚、澳季风区间的水汽输送中扮演相当重要的角色。各年夏季, 赤道上水汽经向输送都为正值, 即由澳大利亚季风区和低纬南印度洋向亚洲季风区输送水汽, $35^{\circ}\text{--}65^{\circ}\text{E}$ 的多年平均输送值为 $180.3\text{ kg m}^{-1}\text{ s}^{-1}$, 而 $100^{\circ}\text{--}135^{\circ}\text{E}$ 的多年平均输送值为 $56.9\text{ kg m}^{-1}\text{ s}^{-1}$, 显然, 前者的平均值远大于后者的平均值, 这说明夏季索马里越赤道气流在亚、澳季风区间的水汽交换中占主要地位。

4 冬夏季两支越赤道水汽输送的关系

赤道上 $35^{\circ}\text{--}65^{\circ}\text{E}$ 和 $100^{\circ}\text{--}135^{\circ}\text{E}$ 这两支越赤道水汽经向输送逐年变化曲线还显示出它们有明显的年际变化特征, 因此分析由谐波分解得到的距平年际变化分量, 以便很好地研究两支越赤道水汽输送年际变异的关系。

4.1 两支越赤道水汽输送的同季变化关系

为了探讨两支越赤道水汽输送的相互关系, 计算了两支越赤道水汽经向输送分别在冬季和夏季的同时相关, 冬季二者的相关系数为 -0.01 , 夏季二者的相关系数为 0.12 。二者都没通过显著水平为 0.05 的检验。这表明, 不管是冬季还是夏季, $35^{\circ}\text{--}65^{\circ}\text{E}$ 附近的越赤道水汽输送和 $100^{\circ}\text{--}135^{\circ}\text{E}$ 附近的越赤道水汽输送的年际变化是相互独立的, 它们分别由不同的因子影响, 而它们的变异也分别对亚、澳季风区间的水汽输送产生不同的影响。因此, 在讨论亚、澳季风区间的水汽输送时, 必须分别讨论这两支水汽输送的贡献, 单独讨论其中某一支越赤道水汽输送的年际变异不能全面地揭示亚澳季风区水汽输送的年际变化特征。

4.2 冬季和夏季越赤道水汽输送的关系

为了探讨 $35^{\circ}\text{--}65^{\circ}\text{E}$ 与 $100^{\circ}\text{--}135^{\circ}\text{E}$ 两支越赤道水汽输送自身在夏季和冬季的年际变化的关系, 分别计算了二者的冬夏季相关系数。 $35^{\circ}\text{--}65^{\circ}\text{E}$ 之间的越赤道水汽输送冬夏季的相关系数为 -0.26 , $100^{\circ}\text{--}135^{\circ}\text{E}$ 附近越赤道水汽输送冬夏季的相关系数为 -0.27 。二者的绝对值均大于显著水平为 0.05 的临界值, 说明它们的相关是显著的, 即这两支越赤道水汽输送自身在冬、夏季的年际变化存在一定的联系。负相关表明, 当冬季从亚洲季风区向澳大利亚季风区和低纬南印度洋的水汽输送偏强时, 接下来的夏季, 从澳大利亚季风区和低纬南印度洋向亚洲季风区的水汽输送也偏强; 反之亦然。

5 总 结

本文使用 1950–2004 年 NCAR NCEP 再分析资料计算得到逐日垂直积分水汽输送通量矢量 $\mathbf{Q}$, 并先后求月平均、求距平和进行谐波分解, 分析了亚澳季风区的水汽输送特征。结果如下:

①冬季, 亚洲季风区低纬地区为东北风水汽输送, 它经过赤道偏转为西北风水汽输送, 将水汽输送到澳大利亚季风区和低纬南印度洋。夏季, 澳大利亚季风区和低纬南印度洋为东南风水汽输送, 它经过赤道偏转为西南风水汽输送, 将水汽输送到亚洲季风区。夏季的水汽输送比冬季要强盛得多。

②无论是冬季还是夏季, 赤道上存在两个显著的水汽经向输送大值区, 分别在 $35^{\circ} - 65^{\circ}\text{E}$ 和 $100^{\circ} - 135^{\circ}\text{E}$ 。夏季, 水汽经向输送为正, 水汽由南向北输送, 冬季, 水汽经向输送为负, 水汽由北向南输送。冬季两支越赤道水汽输送平均值相当, $100^{\circ} - 135^{\circ}\text{E}$ 的平均值稍强。夏季 $35^{\circ} - 65^{\circ}\text{E}$ 的平均值远大于 $100^{\circ} - 135^{\circ}\text{E}$ 的水汽输送值, 说明夏季索马里越赤道气流在亚、澳季风区之间的水汽交换中占主要地位。

③两支越赤道水汽经向输送是相互独立的, 必须同时讨论这两支水汽输送的变化才能较全面地揭示亚澳季风区水汽输送的年际变化特征。

④每支越赤道水汽输送本身在冬、夏季的年际变化存在显著负相关, 当冬季从亚洲季风区向澳大利亚季风区和低纬南印度洋的水汽输送偏强时, 接下来的夏季, 从澳大利亚季风区和低纬南印度洋向亚洲季风区的水汽输送也偏强; 反之亦然。

参考文献:

[1] 伍荣生. 现代天气学原理[M]. 北京: 高等教育出版

社, 1999 209 - 237.

[2] 高由禧, 徐淑英. 关于东亚季风区域的气候的研究[J]. 气象学报, 1959 30(3): 258 - 262

[3] 陆渝蓉, 高国栋. 物理气候学[M]. 北京: 气象出版社, 1987 645.

[4] 黄荣辉, 张振洲, 黄刚, 等. 夏季东亚季风区水汽输送特征及其与南亚季风区水汽输送特征的差别[J]. 大气科学, 1998 22(4): 460 - 469.

[5] ZHANG Renhe Relations of water vapor transport from India monsoon with that over east Asia and the summer rainfall in China[J]. Advances in atmospheric science 2001 18(5): 1005 - 1017.

[6] 周长艳, 何金海, 李薇, 等. 夏季东亚地区水汽输送的气候特征[J]. 南京气象学院学报, 2005 28(1): 18 - 27.

[7] 乔云亭, 罗会邦, 简茂球. 亚澳季风区水汽收支时空分布特征[J]. 热带气象学报, 2002 18(3): 203 - 210

[8] 田红, 郭品文, 陆维松. 夏季水汽输送特征及其与中国降水异常的关系[J]. 南京气象学院学报, 2002 25(4): 496 - 502

[9] 刘芸芸, 何金海, 梁建茵, 等. 亚澳季风区水汽输送季节转换特征[J]. 热带气象学报, 2006 22(2): 138 - 146

The Characteristics of Moisture Transport over Asian-Australian Monsoon Region

QIAO Yun-ting^{1, 2}, LIN Meijiang¹

(1. Department of Atmospheric Sciences /The Research Center for Monsoon and Environment

SUN Yat sen University, Guangzhou 510275 China

2. LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029 China)

Abstract The daily moisture transport flux (Q) calculated by using NCAR NCEP reanalyzed data from 1950 to 2004 and the monthly mean moisture transport flux are used to analyze the characteristics of moisture transport over Asian-Australian monsoon region. The results show that there is northeasterly moisture transport in low latitude area over Asian monsoon region in boreal winter, and it turns northwestward cross equator and transports moisture to Australian monsoon region and low-latitude Southern Indian Ocean. While in boreal summer, there is southeasterly moisture transport over Australian monsoon region and low-latitude Southern Indian Ocean, it turns southwestward cross equator and transports moisture to Asian monsoon region. Comparing with the moisture transport in winter, the moisture transport in summer is much stronger. Whether in winter or summer, there are two obvious meridional moisture transports on the equator: one is the moisture transport over $35^{\circ} - 65^{\circ}\text{E}$, and the other is the moisture transport over 100°E and 135°E . The latter one is a little stronger in winter, while the former one is much stronger in summer, which means the Somali cross equatorial Jet plays a dominant role in moisture exchange between Asian and Australian monsoon region in summer. The two cross equatorial moisture transports are independent of each other. There are outstanding correlations between the cross equatorial moisture transport in winter and in summer both over $35^{\circ} - 65^{\circ}\text{E}$ and $100^{\circ} - 135^{\circ}\text{E}$. When the moisture transport from Asian monsoon region to Australian monsoon region and low-latitude Southern Indian Ocean is stronger in winter, then in the following summer, the moisture transport from Australian monsoon region and low-latitude Southern Indian Ocean to Asian monsoon region will be also stronger, and vice versa.

Key words Asian-Australian monsoon region, moisture transport, cross equator