

郭世昌, 李琼, 刘煜, 等. 东亚低纬地区局地 Hadley 环流特征及其与大气臭氧的关系[J]. 热带气象学报, 2012, 27(4): 478-486.

文章编号: 1004-4965(2012)04-0478-09

东亚低纬地区局地 Hadley 环流特征及其与大气臭氧的关系

郭世昌¹, 李琼^{1,2}, 刘煜³, 吕达仁⁴, 苏锦兰¹, 段雪梅¹, 李慧晶¹

(1. 云南大学大气科学系, 云南 昆明 650091; 2. 湖南省人工影响天气办公室, 湖南 长沙 410007;

3. 中国气象科学研究院, 北京 100081;

4. 中国科学院大气物理研究所中层大气和全球环境探测重点实验室(LAGEO), 北京 100029)

摘 要: 利用 1975—2008 年 NCEP/NCAR 的逐月平均风场资料及 1975—2001 年 ECMWF 的逐月多层臭氧质量混合比资料, 用大气环流三维分解方法研究了东亚低纬度地区之局地 Hadley 环流的结构及年代际演变特征, 分析了该区域局地 Hadley 环流异常时对应大气臭氧的空间距平分布。研究结果表明: (1) 东亚低纬度地区局地 Hadley 环流既与纬圈平均 Hadley 环流具有明显的季节变化, 但又具有明显区别于纬圈平均 Hadley 环流的自身结构特征: 除冬季存在明显向南、向北输送的两闭合环流圈外, 局地 Hadley 环流在其余季节均以向南输送为主; (2) 该局地 Hadley 环流具有不同于纬圈平均 Hadley 环流的年代际演变特征, 在整个研究时段上以振荡变化为主, 并没有表现出象纬圈平均值那样明显的增强趋势; (3) 区域赤道上空平流层 20~50 hPa 大气臭氧的正负距平异常中包含有局地 Hadley 环流的异常信息: 当局地 Hadley 环流异常强时, 区域赤道上空 20~50 hPa 大气臭氧有一显著负距平异常中心, 反之亦然。

关键词: 局地 Hadley 环流; 纬圈平均 Hadley 环流; 臭氧质量混合比; 大气环流三维分解; 东亚低纬度地区

中图分类号: P434.3

文献标识码: A

Doi: 10.3969/j.issn.1004-4965.2012.04.006

1 引 言

作为热带地区重要的大气环流特征之一的 Hadley 环流是一大型经向闭合直接热力环流圈, 它对低纬与中高纬地区的动量、热量、水汽交换及两半球的空气质量交换均起着无可替代的作用^[1-2]。前人已对 Hadley 环流做过不少研究, 采用的衡量 Hadley 环流强度的主要研究方法有: 质量流函数、垂直速度、200 hPa 速度势及上下层风速切变等。这些方法更多注重整个纬圈平均的 Hadley 环流特征, 尚无法突出区域性环流的特征。事实上, Hadley 环流虽然是大型经向输送的闭合环流圈, 但其区域性特征

也是很显著的, 某些局地 Hadley 环流甚至和纬向平均 Hadley 环流反向^[3-5]。

近年来, 有学者提出并发展了全球大气环流三维分解的思想^[6-8]: 从全球的角度出发, 认为大气在全球都有 Rossby 环流(水平)、Hadley 环流(经向)和 Walker 环流(纬向)存在, 整个大气可以看成是这三个正交的广义环流叠加之和。这种三维分解过程提供了一种垂直速度的计算方法, 其最大优点是可以将垂直速度分解为 Hadley 环流垂直速度和 Walker 环流垂直速度, 为研究提供很大的方便。

东亚地处全球最显著的季风区, 有着全球最大的陆差异, 同时又是大气臭氧浓度高值区。该地区不仅受中高纬天气系统影响, 该低纬地

收稿日期: 2010-10-08; 修订日期: 2012-02-18

资助项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)2010CB428605; 云南省应用基础研究计划(重点)项目(2011FA031)共同资助

通讯作者: 郭世昌, 男, 四川省人, 教授, 主要从事大气臭氧、紫外辐射及气候变化方面的研究。E-mail: shchguo@ynu.edu.cn

区天气系统的影响也不可忽略。张秀年等^[9]、王卫国等^[10]的研究表明,该地区大气臭氧分布变化呈现东高西低的特征,指出该地区臭氧变化与大气环流活动之间的关系值得进一步研究。因此,开展对东亚低纬度地区的大气环流和臭氧变化的关系研究具有一定科学意义。

郭世昌等^[11-13]对该区域上空的大气臭氧时空分布特征开展研究,着眼于冬季和夏季,用质量流函数方法从纬圈平均的角度对 Hadley 环流与大气臭氧变化的关系做了初步的探讨。其中文献^[12]利用 1992—2002 年共 10 年的资料分析指出,纬圈平均 Hadley 环流上升强度越强,同期东亚低纬度地区相对应的 Hadley 环流上升极值高度处的对流层臭氧浓度越小。

本文将使用更长时间序列的资料,打破惯于从纬圈平均的角度研究 Hadley 环流的传统,综合考虑各个季节,主要利用大气环流三维分解方法求出 Hadley 环流垂直速度,研究东亚低纬度地区 Hadley 环流的局地结构及变化特征,进而探索该局地 Hadley 环流与整个大气臭氧层的联系。

2 资料与方法

由于 NCEP/NCAR 再分析的早期资料中同化进去的资料较少,其可信度存在一定问题^[14-15],因此本文选用 1975.01—2008.12 共 34 年的 NCEP/NCAR 再分析资料中的纬向风场 u 、经向风场 v 、垂直风场 ω (p 坐标)作为主要研究资料;资料水平分辨率均为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$, u 、 v 垂直方向分为 17 层(1 000 ~ 10 hPa), ω 垂直方向为 12 层(1 000 ~ 100 hPa)。此外,臭氧质量混合比选用欧洲中期天气预报中心(ECMWF)提供的 1975.01—2001.12 共 27 年的多层全球月平均资料(垂直方向分 23 层)。

本工作主要着眼于东亚低纬度地区,同时为了便于开展对低纬大型经圈环流——Hadley 环流的研究,因而选取矩形研究区域为: $70 \sim 160^\circ \text{E}$, $35^\circ \text{S} \sim 35^\circ \text{N}$ 。大气环流三维分解方法主要参照刘海涛等^[7]的研究。

3 局地 Hadley 环流的季节变化

3.1 计算结果检验

本文首先对全球 $35^\circ \text{S} \sim 35^\circ \text{N}$ 的低纬度地区资料进行了三维分解。为了验证计算结果的可靠性与准确性,将三维分解得到的总的垂直速度场与 NCEP 再分析资料的原始垂直速度场进行一系列的比较检验(图略),检验结果表明三维分解得到的垂直速度场可以真实反映出大气中垂直运动的主要特征,这与前人的做法和结果基本一致^[6-7],因此分解结果是可信的。

三维分解将垂直速度场分解为广义 Hadley 环流的垂直、经向风速(ω^H, v^H)和广义 Walker 环流的垂直、经向风速(ω^W, v^W),本文将主要分析 ω^H, v^H ,至于 ω^W, v^W 则另行撰文研究。

3.2 气候平均态

图 1 是用三维分解求出的 Hadley 环流垂直速度 ω^H 和经向风速 v^H 合成的 1975—2008 年东亚低纬度地区不同季节区域纬向平均的局地 Hadley 环流气候平均态,图 1a、1b、1c、1d 分别代表 1、4、7、10 月平均态,阴影区代表上升运动;图 2 是类似图 1 给出的不同季节低纬度地区 $0 \sim 360^\circ$ 整个纬圈平均 Hadley 环流气候平均态分布。

由图 1 可知,同整个纬圈平均的情况类似,东亚低纬度地区局地纬向平均的 Hadley 环流风场也构成闭合的经向输送环流。对比图 1 和图 2 可以明显发现,区域纬向平均 Hadley 环流圈和整个纬圈平均 Hadley 环流圈既有共同之处,又存在显著的区别。

相同点:二者均具有明显的季节变化,随时间推移,上升支具有明显的纬度变化。1 月, Hadley 环流上升支位于南半球一侧,均以向北输送的环流圈为主;4 月,上升支往北半球移动,所跨纬度基本对称于赤道分布;7 月,上升支明显位于北半球一侧;10 月,上升支又开始往南回落。

局地 Hadley 环流又具有明显区别于纬圈平均 Hadley 环流的自身的结构特征。

(1) 各个季节中，局地 Hadley 环流下沉支强度均强于纬圈平均的下沉支强度，1 月、7 月尤其甚；其上升支强度在 1、4、10 月的情况均明

显强于纬圈平均的上升支，1 月最显著；而在夏季 7 月，局地 Hadley 环流的最大上升速度则小于纬圈平均情况。

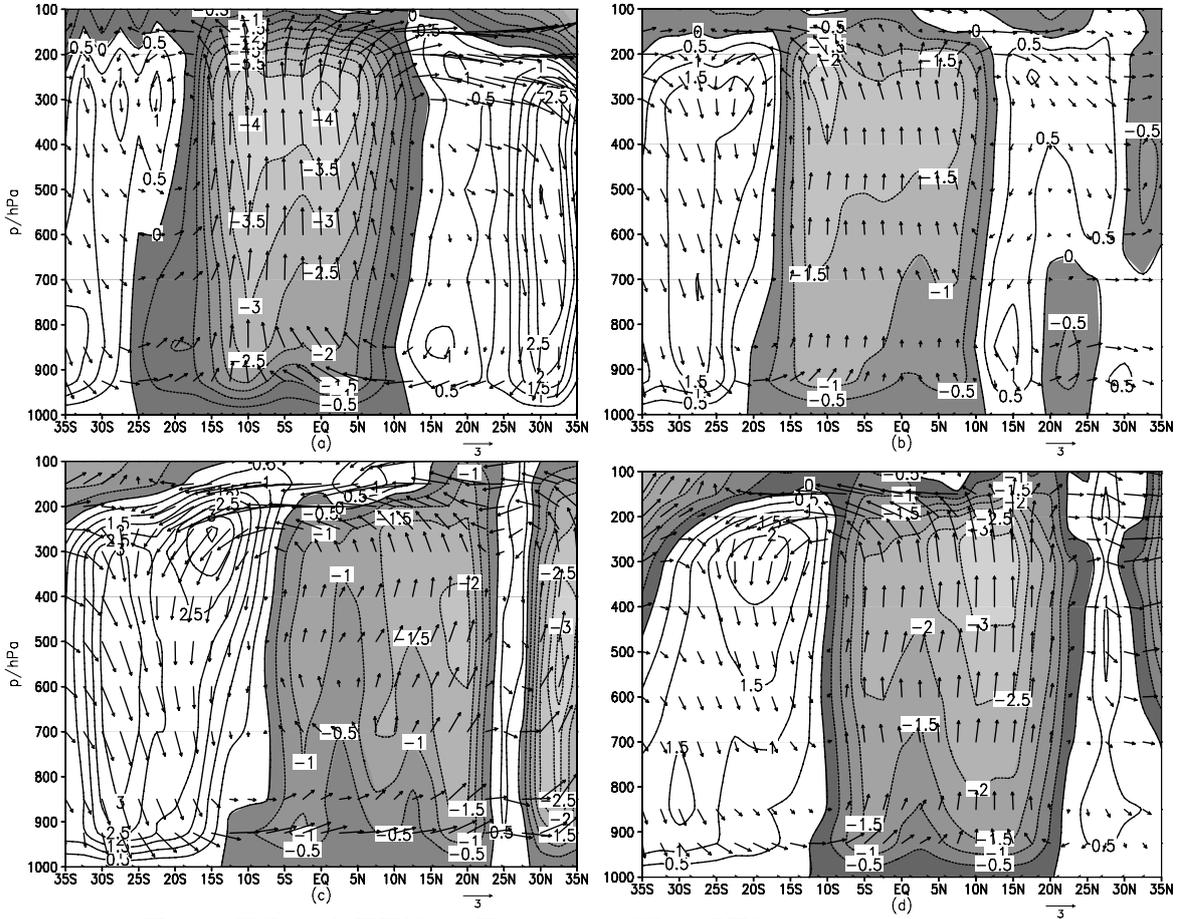
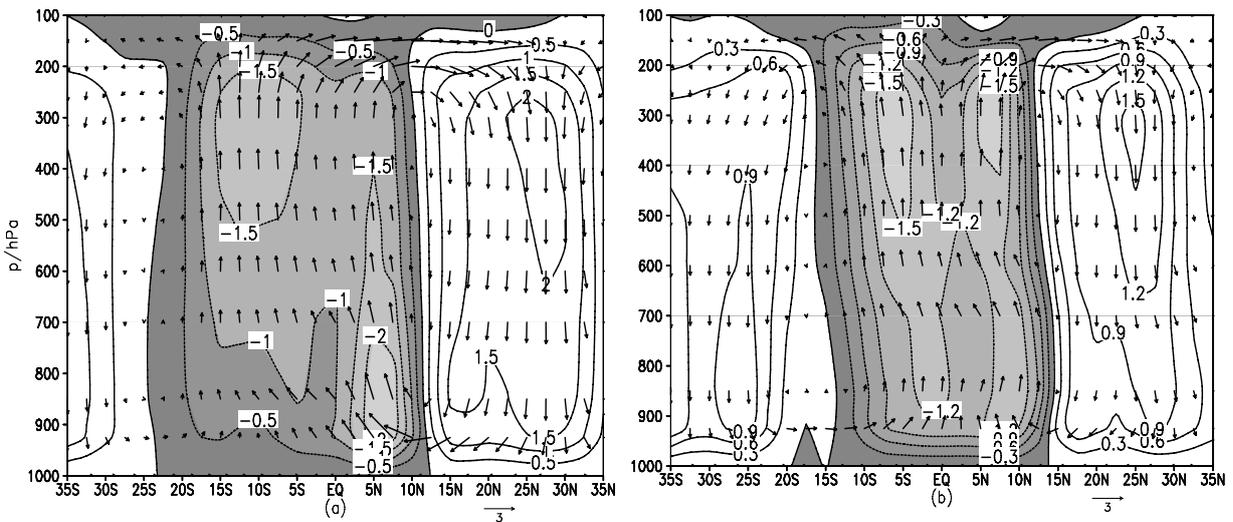


图 1 东亚低纬度地区区域纬圈平均的 Hadley 环流气候平均态分布(1975—2008 年)

等值线为 Hadley 环流垂直速度 ω^H ，矢量为 Hadley 环流风场矢量。 v^H 单位：m/s； ω^H 单位：0.01 Pa/s。a. 1 月；b. 4 月；c. 7 月；d. 10 月。



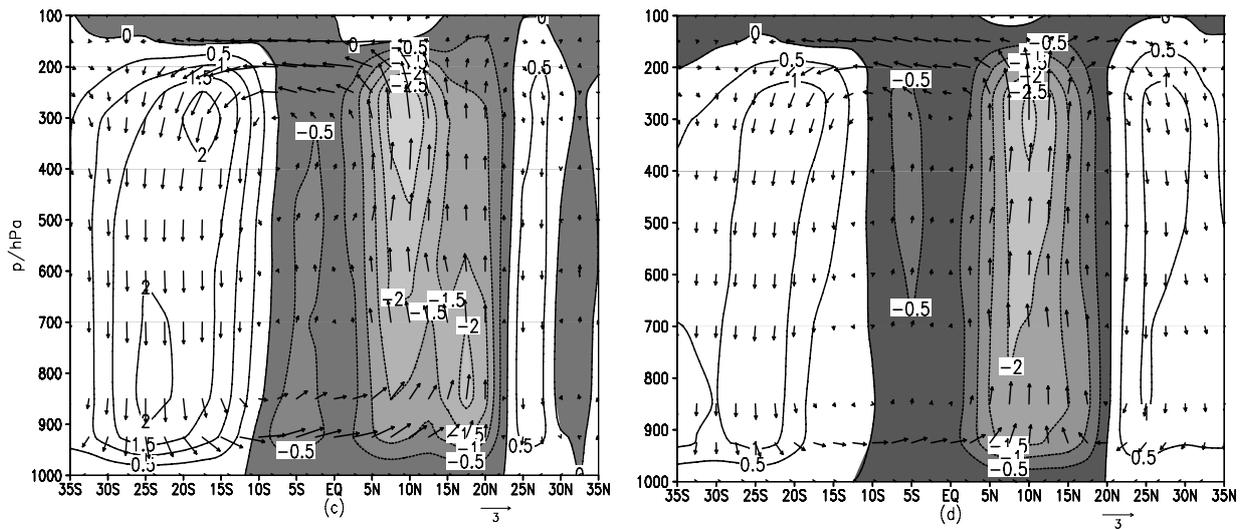


图2 纬圈平均的 Hadley 环流气候平均态分布(1975—2008 年) 说明同图 1。

(2) 局地 Hadley 环流在 1 月有类似纬圈平均的明显向南和向北输送的两个闭合环流圈。4 月, 往南输送的闭合环流圈依然存在, 而往北输送的环流圈较窄, 约只跨了 10~15 个纬度, 且在低空的经向风回流约位于 700 hPa。7、10 月则只存在往南输送的 Hadley 闭合环流圈。其中, 7 月北半球低空风向一致为往北输送, 高空一致为向赤道流回, 故此时北半球 Hadley 闭合环流圈不存在; 10 月 20°N 以北 700 hPa 及其以上高空流场均均为往北输送, 且无明显下沉运动, 认为这一时段也无北半球 Hadley 环流圈存在。

值得注意的是, 7 月在区域 30~35°N 纬带上空有强烈的上升运动(图 1c), 且比 Hadley 环流主体的最大上升运动还要强, 经进一步研究发现此现象是青藏高原大地形强烈抬升作用的结果。而对比图 2c 中整个纬圈平均的情况, 此现象则因平滑而不显著了, 依然是北半球的 Hadley 环流占主导。

4 局地 Hadley 环流的年代际演变

4.1 局地 Hadley 环流强度指数的定义

由于 Hadley 环流是由垂直输送和经向输送共同构成的闭合环流圈, 故垂直输送和经向输送均需考虑。考虑到东亚低纬度地区这一局地 Hadley 环流的特殊情况, 为方便描述其强度变

化, 参考张俊等^[16]的研究拟定义一个适用于本文所研究区域的局地 Hadley 环流指数, 计算时间段为 1975—2008 共 34 年, 分 1、4、7、10 月及年平均情况展开研究。首先将前文计算得到的三维分解 Hadley 垂直速度 ω^H 和 v^H 做区域纬向平均, 再根据上述局地 Hadley 环流特征的分析确定出计算的关键层、纬度范围, 进而定义出东亚低纬度地区北、南两半球及整体的局地 Hadley 环流强度指数, 分别记为 I_{pn} 、 I_{ps} 和 I_p :

$$I_{pn} = \omega_H^*(300, 1n) - \omega_H^*(300, 2n) + v_H^*(150, n) - v_H^*(925, n),$$

$$I_{ps} = \omega_H^*(300, 1s) - \omega_H^*(300, 2s) + v_H^*(150, s) - v_H^*(925, s),$$

$$I_p = I_{pn} + I_{ps},$$

其中, 上标*表示标准化处理。计算中, 如无组成闭合 Hadley 环流圈的经向流场特征, 则记指数为 0。如上所述, 除代表冬季的 1 月存在南、北两个闭合 Hadley 环流圈外, 其余季节 I_{pn} 均为 0, 故对于 4、7、10 月及年平均的情况, 整体的 Hadley 环流强度指数实际上便等同于往南输送的 Hadley 环流的强度指数。各月 I_{ps} 计算对应格点见表 1, 而 1 月按北半球 Hadley 环流圈流场形势取 I_{pn} 对应计算格点依次取为: 25~35°N, 5°S~10°N, 10~25°N, 0~20°N。

表 1 计算局地 Hadley 环流强度指数的格点位置

I_{ps}	1月	4月	7月	10月	年平均
$\omega_H^*(300, 1s)$	35~22°S	35~20°S	30~10°S	28~12°S	33~20°S
$\omega_H^*(300, 2s)$	15~7°S	15~3°N	0~20°N	5~15°N	10~8°N
$v_H^*(925, s)$	30~17°S	25~15°S	25~10°N	25°S~0°	25°S~0°
$v_H^*(150, s)$	25~15°S	25~15°S	25~10°N	20°S~0°	20~5°S

4.2 年代际特征分析

以上定义的局地 Hadley 环流强度指数中，已据实际情况同时考虑了 v 风和 ω 风，是比较合理的。将计算得到的指数在研究时段内再次进行标准化处理，以便不同月份之间的对比。因此，正指数值表示 Hadley 环流强度大，正值越大则强度越强；反之负指数值表示强度弱，负值越小强度越弱。

图 3 分别给出了 1975—2008 年时段各季节及年平均东亚低纬度地区局地 Hadley 环流的年代际演变特征及趋势变化，局地 Hadley 环流具有不同于纬圈平均 Hadley 环流的年代际演变特征^[11, 16-17]，各月及年平均情况均没有表现出明显增强趋势，在整个时间段上以振荡变化为主，其中 1 月最为突出，整个时间段上有高-低-高的年代际特征。

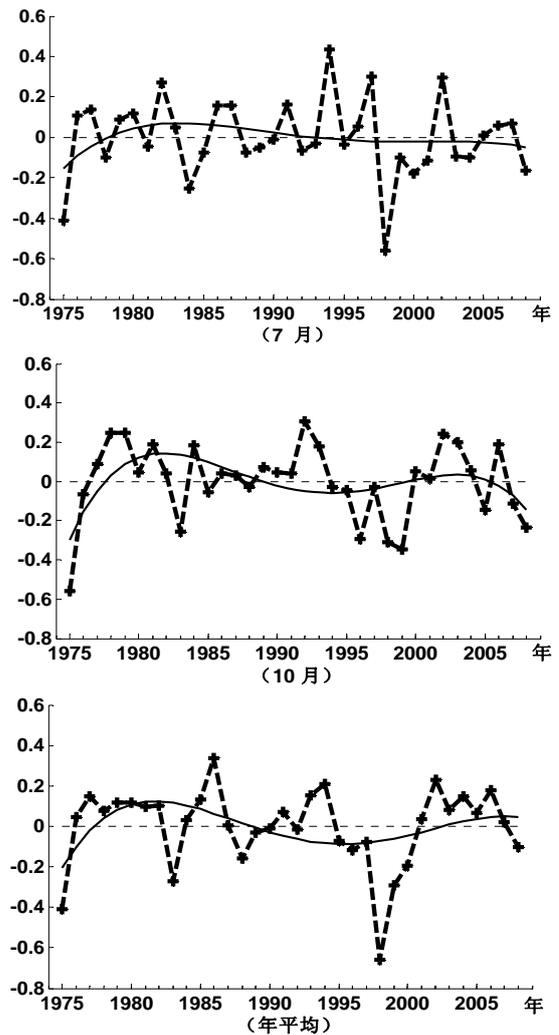
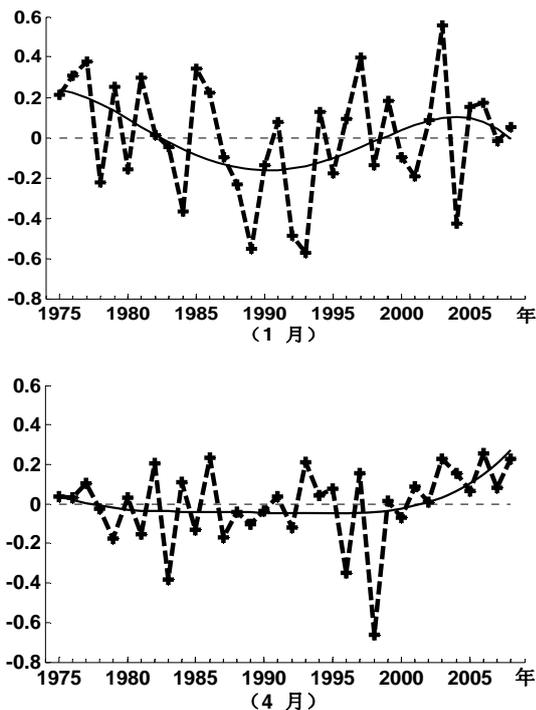


图 3 东亚低纬度地区局地 Hadley 环流强度指数的年代际演变(1975—2008 年)
长虚线：局地 Hadley 环流强度指数；实线：趋势拟合。

此外，令人感兴趣的是，除代表冬季的 1 月外，局地 Hadley 环流强度指数在 4、7、10 月及年平均均于 1998 年表现出异常弱值；而 1998 年在东亚地区出现了各种大气环流和天气气候异常，其中最为突出的是 1998 年夏初中国发生的百年一遇的洪涝灾害。已有不少研究关注热带大气环流对东亚天气气候异常的影响^[18-21]。而我们所研究的东亚低纬度地区又有着其区域特殊性^[9]，上述分析似乎表明，该区域 Hadley 环流的异常也应作为东亚天气气候异常的信号之一。

我们还取出各 Hadley 环流指数异常强、弱的月份，分别对比同期环流形势，发现环流型

的强弱与指数的强弱较为一致。并用强指数年环流减去弱指数年环流,发现在该区域仍然存在一个较为完整的与 Hadley 环流方向相同的余差环流。这就证明,本文定义的局地 Hadley 环流强度指数的确是可靠的。

张俊等^[16]的研究结果表明,纬圈平均 Hadley 环流强度在 1998 年除夏季较弱外,总体上并没有表现出异常弱的强度,这反映出本文研究的东亚低纬度地区低纬局地 Hadley 环流具有明显不同于纬圈平均的特殊性,可见开展该区域局地 Hadley 环流的进一步研究是有必要的。

5 Hadley 环流异常与臭氧变化的关系

5.1 臭氧距平年平均状态

根据年平均局地 Hadley 环流强度指数,异常强 Hadley 环流发生在 1986 年,异常弱环流出现于 1998 年。为了更直观看出局地 Hadley 环流与大气臭氧之间的关系,我们选取具有典型性的这两个年份进行分析。

初步分析发现,异常强年和异常弱年大气臭氧的距平分布形势在不同层次具有非常典型的对应分布特征,且纬向分布特征突出。首先就所研究区域,给出对应于局地 Hadley 环流异常强、弱年的区域纬向平均臭氧质量混合比的距平剖面(图 4)。其中,上图为平流层,下图为对流层。对比图 4a 和 4b,可以发现不同层次、不同纬度大气臭氧的距平异常具有明显相反的

分布特征。

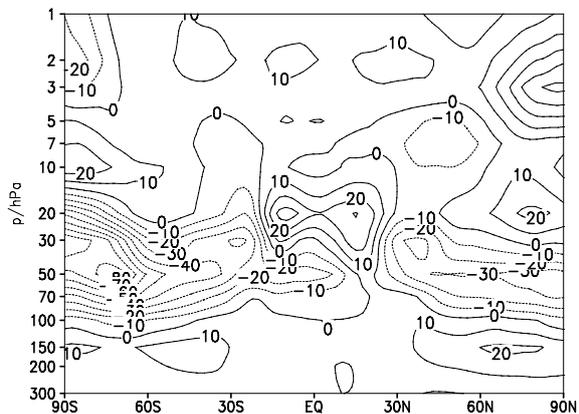
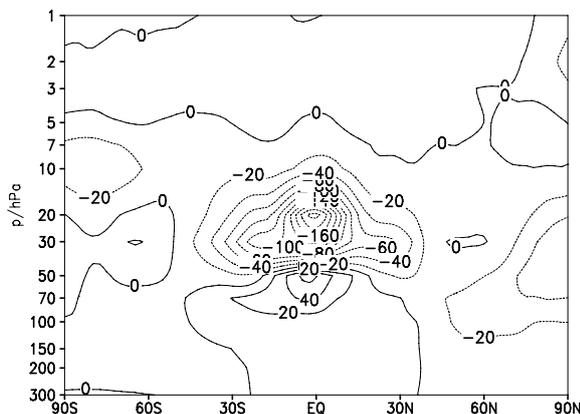
对流层:300~400 hPa 层次,1986 年 50~20°S 纬带及 20°N 以北区域为负距平异常,而 1998 年对应区域表现为正距平异常;400 hPa 及以下层次,1986 年 10°N 以北为正距平异常,而 1998 年对应纬度则呈现负距平异常。

平流层:区域赤道低纬上空,1986 年 10~50 hPa 有显著负距平异常,50~100 hPa 为正距平异常,而 1998 年在同纬度同高度对应正负距平异常相反;南半球中高纬度,1998 年 1~100 hPa 分别表现为负-正-负距平异常的三个距平交错变化层次,而 1986 年对应层次则分别表现为弱正-负-弱正距平异常;北半球高纬也有对应的相反距平异常表现。

5.2 臭氧距平季节分布特征

下面主要以 1 月为例进行讨论。图 5a、5b 分别给出了 1 月相应于局地 Hadley 环流异常强年(1977 年)和异常弱年(1993 年)的大气臭氧纬度-高度距平分布。对比图 5a 和 5b,参照图 4 可以类似地发现 1 月该局地 Hadley 环流表现为异常强、弱时,对应大气臭氧的距平异常具有明显相反的分佈特征。

对流层:主要体现在 400 hPa 以下的北半球纬度,1977 年 1 月有显著负异常,1993 年 1 月有显著正异常;300~400 hPa 层次在两半球中高纬度也有对应正负异常差异。



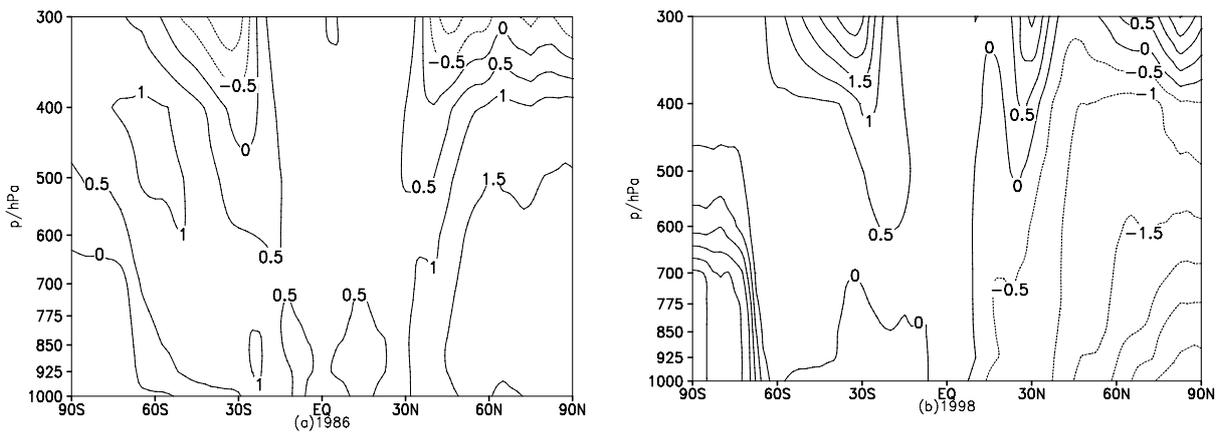


图4 1986年(a)、1998年(b)70~160°E平流层(上)、对流层(下)纬向平均臭氧质量混合比的纬度-高度距平剖面(年平均) 单位: 10^{-8} kg/kg。

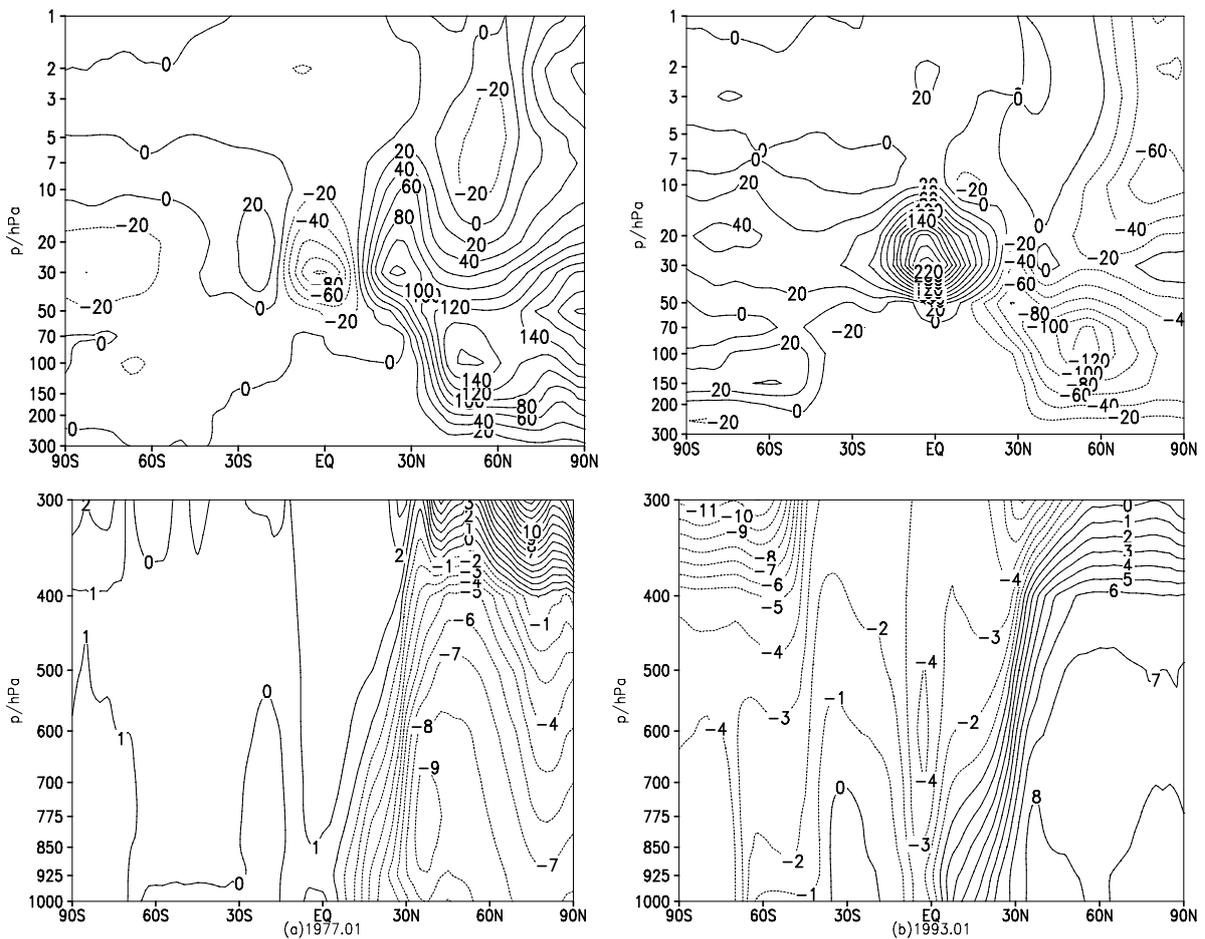


图5 同图4, 但为1997年和1993年1月

平流层: 最显著的异常分布主要体现在赤道低纬上空 10~50 hPa 层, 1977 年有显著负距平异常, 而 1993 年对应区域则表现出有显著正距平异常; 30~200 hPa 层次的北半球中高纬及 20 hPa 以上层次的北半球高纬, 1977 年有显著正距平异

常, 而 1993 年对应表现为负距平异常; 南半球平流层整层, 1977 年基本为弱负距平, 而 1993 年则为弱正距平。

4、7、10 月情况类似, 不再赘述。

综上所述, 各季节及年平均的情况均有一显

著的共同特征——局地 Hadley 环流异常强时,区域赤道上空 20~50 hPa 大气臭氧有一显著负距平异常中心;而当局地 Hadley 环流异常弱时,对应赤道上空 20~50 hPa 大气臭氧则表现出显著正距平异常中心。以上分析表明同区域及两半球中高纬度对流层和平流层臭氧的正负距平异常中包含有局地 Hadley 环流的异常信息;其中区域赤道上空平流层 20~50 hPa 的大气臭氧异常与局地 Hadley 环流异常关系尤为突出,具体表现为:该层次臭氧浓度异常低(高)时,局地 Hadley 环流强(弱)。由于局地 Hadley 环流和大气臭氧的异常具有同期性,究竟二者谁是主导因子,还值得我们进一步去探讨。

6 结 论

(1) 东亚低纬度地区低纬局地 Hadley 环流与纬圈平均 Hadley 环流有共同之处,即二者均具有明显的季节变化,随时间推移,上升支有明显的纬度变化特征。

(2) 该局地 Hadley 环流又具有不同于纬圈平均 Hadley 环流的自身结构特征:局地 Hadley 环

流下沉支强度在各个季节均强于纬圈平均的下沉支强度;除夏季 7 月外,最大上升支强度也均强于纬圈平均情况。除冬季 1 月存在明显向南、向北输送的两闭合环流圈外,局地 Hadley 环流在其余季节均以往南输送的闭合环流圈为主导。

(3) 通过定义局地 Hadley 环流强度指数并进行分析后可知:该局地 Hadley 环流具有不同于纬圈平均 Hadley 环流的年代际演变特征,各月及年平均情况均没有表现出明显增强趋势,在整个时段上以振荡变化为主要特征。区域局地 Hadley 环流的异常在一定程度上可视为天气气候异常的信号之一。

(4) 该局地 Hadley 环流表现为异常强、弱时,同期大气臭氧距平在某些层次、某些纬度有对应相反的分布形势,并具有如下显著的共同特征:局地 Hadley 环流异常强(弱)时,区域赤道上空 20~50 hPa 大气臭氧有一显著负(正)距平异常中心,这表明所研究区域赤道上空平流层臭氧的正负距平异常中包含有局地 Hadley 环流的异常信息。

参 考 文 献:

- [1] TRENBERTH K E, STEPANIAK D P. Covariability of components of poleward atmospheric energy transports on seasonal and interannual timescales[J]. *J Climate*, 2003, 16(22): 3 691-3 705.
- [2] 秦育嫫,王盘兴. 局地Hadley环流及其与太平洋SST异常的联系[J]. *热带气象学报*, 2010, 26(2): 138-146.
- [3] WANG C. Atmospheric circulation cells associated with El Nino-Southern Oscillation[J]. *J Climate*, 2002, 15(4): 399-419.
- [4] WANG C. Atlantic climate variability and its associated atmospheric circulation cells[J]. *J Climate*, 2002, 15(13): 1 516-1 536.
- [5] GOSWAMI B N, KRISHNAMURTHY V, ANNMALAI H. A broad-scale circulation index for the interannual variability of the Indian summer monsoon[J]. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1999, 125(554): 611-633.
- [6] 胡淑娟. 全球大气运动的三维环流分解及大气垂直运动特征的分析[D]. 兰州: 兰州大学, 2006: 17-80.
- [7] 刘海涛,胡淑娟,徐明,等. 全球大气环流三维分解[J]. *中国科学(D 辑)*, 2007, 37(12): 1 679-1 692.
- [8] 胡淑娟. 1998年7月副热带高压短期结构演变特征与垂直运动的关系[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2008, 44(3): 28-32.
- [9] 张秀年,常有礼,陈辉,等. 中国低纬度地区大气臭氧总量的变化特征[J]. *热带气象学报*, 2004, 20(3): 321-327.
- [10] 王卫国,邱金桓,谢应齐,等. 热带纬向平均臭氧层动力学系统的重建[J]. *热带气象学报*, 1998, 14(3): 218-225.
- [11] 郭世昌,戴敏,李琼,等. 冬季Hadley环流活动与大气臭氧变化的关系研究[J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 2008, 30(2): 148-154.
- [12] 郭世昌,李琼,戴敏,等. Hadley环流上升支特征及其与东亚臭氧变化的关系[J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 2008, 30(3): 269-275.
- [13] 郭世昌,李琼,刘煜,等. 东亚低纬地区大气臭氧时空分布特征[J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 2010, 32(2): 177-185.
- [14] WALISER D E, SHI Z, LANZANTE J R, et al. The Hadley circulation: assessing NCEP-NCAR and sparse in situ estimates[J]. *Climate Dynamics*, 1999, 15(10): 719-735.

- [15] NEWMAN M ,SARDESHMUKH P D ,BERGMAN J W .An assessment of NCEP ,NASA ,and ECMWF reanalyses over the tropical west Pacific warm pool[J] . Bulletin of the AMS , 2000 , 81(1) : 41-48 .
- [16] 张俊, 谷德军, 施能. 1948-2004年全球平均Hadley环流强度指数与特征[J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(2): 231-238.
- [17] QUAN X W , DIAZ H F , HOERLING M P . Changes in the Tropical Hadley Cell since 1950 , in The Hadley Circulation : Present , Past , and Future[M] . Cambridge : Cambridge University Press , 2004 : 85-120 .
- [18] YANCHEVA G ,NOWACZYK N R ,MINGRAM J ,et al .Influence of the intertropical convergence zone on the East Asian monsoon[J] .Nature , 2007 , 445(7 123) : 74-77 .
- [19] SELVARAJ K , CHEN C T A , LOU J Y . Holocene East Asian monsoon variability : Links to solar and tropical Pacific forcing[J] . Geophysical Research Letters , 2007 , 34(1) : 5 .
- [20] 何敏. 热带环流强度变化与我国夏季降水异常的关系[J]. 应用气象学报, 1999, 10(2): 171-180.
- [21] 何敏, 许力. 热带环流异常对1998年长江流域特大洪涝的影响[J]. 南京气象学院学报, 2001, 24(4): 467-475.

CHARACTERISTICS OF LOCAL HADLEY CIRCULATION AND ITS RELATION TO ATMOSPHERIC OZONE OVER THE LOW-LATITUDE REGIONS IN EAST ASIA

GUO Shi-chang¹, LI Qiong^{1,2}, LIU Yu³, LV Da-ren⁴,
SU Jin-lan¹, DUAN Xue-mei¹, LI Hui-jing¹

(1. Department of Atmospheric Science, Yunnan University, Kunming 650091, China;

2. Weather Modification Office of Hunan Province, Changsha 410007, China;

3. Chinese Academy of Meteorological Science, Beijing 100081, China;

4. Key Laboratory for Middle Atmosphere and Global Environment Observation(LAGEO),
Institute of Atmospheric Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: Based on NCEP/NCAR monthly mean wind data during the periods of 1975—2008 and ECMWF monthly mean multi-layered ozone mass mixing ratio data during the periods of 1975—2001, and by using the three-dimensional decomposition of atmospheric general circulation method, the structure and interdecadal evolution characteristics of the local Hadley circulation (LHC) over the low-latitude regions in East Asia are studied. And the distribution of the spatial anomaly of atmospheric ozone over the region is analyzed for anomalous LHC. The results showed the following features. (1) Both the LHC and the zonal mean of global Hadley circulation (GHC) have some common features, e.g., both of them have obvious seasonal variation. But some differences also exist between them in structural features. That is, in winter time the LHC has two closed circulation circles transporting to the south and north respectively, while in other seasons the LHC transports mainly to the south. (2) There is evident difference between the LHC and the GHC in the interdecadal evolution. Throughout the study period, the LHC mainly shows an oscillatory variation instead of an obvious increasing trend as the GHC. (3) The positive and negative anomalies in the ozone variation at 20 ~ 50 hPa over the equator region contain the abnormal signal of the LHC. When the LHC is exceptionally strong, the atmospheric ozone has a remarkable negative anomaly center at 20 ~ 50 hPa over the equator region, and vice versa.

Key words: Local Hadley circulation (LHC); global zonal mean Hadley circulation (GHC); ozone mass mixing ratio; three-dimensional decomposition of atmospheric general circulation; low-latitude regions in East Asia