

1961~1997年110~140°E垂直经圈环流的 年际变化特征及其与海温变化的关系*

陈月娟 简俊 张弘

(中国科学技术大学地球与空间科学系, 合肥 230026)

陈新明

(复旦大学计算机系, 上海 200437)

p4 A

摘要 用NCEP/NCAR再分析资料, 分析了1961~1997各年1月和7月的大气垂直经圈环流的变化特征, 特别分析了110~140°E平均的垂直经圈环流和其中的东亚季风环流。计算了各年的经圈环流与多年平均垂直经圈环流之相似系数、差异系数和相对强度。文中除讨论了它们的年际和10年际变化外, 还讨论了东亚季风环流强弱变化与ENSO循环的关系。结果表明: (1) 垂直经圈环流除有年变化外, 存在着较明显的年际和年代际变化。1月的全球平均经圈环流1966~1974年较弱, 1976~1987年较强; 7月的全球垂直经圈环流则是1963~1974年较强, 1986~1995年则相对较弱, (2) 110~140°E的平均经圈环流主要特点是: 1月东亚季风环流圈代替了北半球的Ferrel环流圈, 7月东亚季风环流圈代替了北半球的Hadley环流圈, 而且其10年际变化也比较明显。(3) 东亚季风环流强弱的变化与ENSO循环有一定的关系。

关键词: 垂直经圈环流; 季风环流; ENSO

1 前言

垂直经圈环流的年际变化是我们研究气候变化时考虑的一个非常重要的问题, 因为垂直经圈环流联系了低纬和中高纬的风场, 在不同纬度之间的热量、动量和水汽交换中起着重要的作用。因此在过去的几十年中, 气象学者们从资料分析、理论和数值模拟等各方面对全球经向垂直环流的特征、地域差异、季节变化以及它与大气中冷热源分布的关系等问题进行了很多研究, 例如, 早在1979年叶笃正等^[1]就对夏季东亚和太平洋上空平均垂直环流进行过计算和分析并特别讨论了季风区的经圈环流。在海温资料日渐增多和对ENSO的研究日渐深入的情况下, 我国的学者们对垂直经向环流的变化与海温异常的关系也进行了一系列的研究。1979年符淙斌等^[2]在计算和分析了赤道东太平洋增暖的1972年12月和此区海温异常偏低的1973年12月太平洋低纬地区的月平均环流之后得出: 在赤道东太平洋海温异常增暖和冷却的情况下, 太平洋上空的平均经圈环流呈现出两种不同的形式。在他1988年的文章中对当时的一次强El Niño之前后(1982年

1999-06-29收到, 2000-03-10收到再改稿

* 国家重点基础研究发展规划项目G1998040900第一部分、国家自然科学基金资助项目49635170和中国科学院大气物理研究所大气科学与地球流体力学数值模拟国家重点实验室共同资助

夏天和 1983 年夏天) 的 Hadley 环流进行了对比和讨论^[3]。陈月娟等对 1982~1983 年和 1986~1987 年两次 El Niño 事件太平洋上空的环流进行了分析和数值模拟试验, 证实了同是 El Niño 事件, 但因海温异常的强度、范围和持续时间很不一样, 对太平洋上空的垂直经圈环流的影响也很不一样^[4]。孙柏民等^[5]分析了赤道东太平洋海温东暖西冷的 1982~1983 年和海温西暖东冷的 1984~1985 年这两种海温分布型对东西太平洋地区大尺度环流场的影响, 发现前者使此地区热力 Hadley 环流减弱东移, 而后者使此地区 Hadley 环流变得非常强盛。陶诗言和张庆云^[6]则根据 1980 年以来的 5 个 El Niño 年和 5 个 La Niña 年的资料, 讨论了亚洲冬夏季风与它们的关系, 得到在 El Niño 年出现弱夏季风而在 La Niña 年出现强夏季风的结果。以上的研究, 加深了我们对 Hadley 环流的年际差异以及它们与海温异常关系的认识, 不过主要是以某些特殊的年份为例研究的。本文利用 1961~1997 年 NCEP/NCAR 的再分析资料首先分析了全球平均的垂直经圈环流的年际变化, 然后特别分析了 110~140°E 东亚季风区夏季垂直经圈环流的年际变化, 它们与海温异常的关系以及对我国季风的影响。

2 资料分析方法

本工作利用的资料主要是南京气象学院大气资料服务中心提供的 NCEP/NCAR 再分析的 1958~1997 年风场和垂直速度的月平均场资料。我们主要分析了 1961~1997 年 37 年的资料。一方面, 用经向风和垂直速度资料, 制作了各年 1 月和 7 月的全球平均垂直经圈环流图、多年平均的 1 月和 7 月的全球垂直经圈环流图以及各年 1 月和 7 月的距平环流 (即与多年平均之差值环流), 对比分析各年全球平均垂直经圈环流的差异。对于东亚季风区, 我们分析了 110~140°E 区域平均的各年 1 月和 7 月经圈环流、多年平均的经圈环流及它们的差值环流。另一方面, 我们还参考了曾庆存等^[7,8]提出的方法, 计算和分析了 1 月和 7 月的经圈环流与多年平均经圈环流之间的相似系数 R 、差异系数 D^2 和相对强度 Q , 计算方法简述如下:

为了讨论经圈环流的变化, 设有定义在空间 (x, y, z) 上随时间 t 变化的函数场 $F_j(x, y, z, t) = V_j + W_j$ 表示 37 年中第 j 年 (1 月或 7 月) 的经圈环流, $\bar{F}(x, y, z)$ 表示 37 年 1 月或 7 月的平均值。

根据曾庆存等给出的内积和范数的计算公式, 求出 F_j 和 $\bar{F}$ 的内积 $(F_j, \bar{F})$ 和范数 $\|F_j\|$, $\|\bar{F}\|$

$$(F_j, \bar{F}) \equiv \frac{1}{S} \iint_S F_j \cdot \bar{F} dS,$$

$$\|F_j\|^2 \equiv (F_j, F_j),$$

$$\|\bar{F}\|^2 \equiv (\bar{F}, \bar{F}),$$

其中 S 表示讨论的区域面积。由此可求出各年 (1 月或 7 月) 经圈环流与多年平均值的相似系数为

$$R_j \equiv (F_j, \bar{F}) / (\|F_j\| \cdot \|\bar{F}\|),$$

它们的差异系数为

$$D_j^2 \equiv \|F_j - \bar{F}\|^2 / (\|F_j\|^2 + \|\bar{F}\|^2),$$

各年(1月或7月)经圈环流的相对强度为

$$Q_j = (F_j, \bar{F}) / \|\bar{F}\|^2,$$

当 R_j 等于或接近于1时,表示该年的经圈环流与多年平均情况相似;若 R_j 等于或接近于-1时,表示该年的经圈环流与多年平均情况相反;若 R_j 接近于0则表示该年的经圈环流与多年平均情况完全不像。 $D_j^2 \approx 0$ 表示该年的经圈环流与多年平均情况相似, D_j^2 越大表示该年的经圈环流与多年平均情况不相同。 $Q_j > 1$ 则该年经圈环流较常年为强, $Q_j < 1$ 则较常年为弱。

3 全球平均经圈环流及其变化特征

这里的全球平均经圈环流是指对 NCEP/NCAR 再分析资料中的经向速度 V 和垂直速度 W (由 ω 转换而来)沿纬圈从 $0^\circ \sim 360^\circ$ 作平均得到的经圈环流。为了突出 Hadley 环流的变化特征,本文的附图只给出 $60^\circ\text{S} \sim 60^\circ\text{N}$ 的范围。图 1a 和 b 分别为 1961~1997 年 37 年 1 月和 7 月的平均经圈环流图,作图时垂直速度扩大了 300 倍(下同)。从这两幅图可以看出,1 月份北半球有一很强的 Hadley 环流,其上升支从赤道的北面延伸到 $15 \sim 20^\circ\text{S}$,南半球的 Hadley 环流相对较弱,在 $40 \sim 60^\circ\text{S}$ 和 $30 \sim 60^\circ\text{N}$ 之间可看到南、北半球中的 Ferrel 环流。7 月份与 1 月份的情形几乎相反,南半球的 Hadley 环流很强,而北半球的 Hadley 环流很弱,两半球的 Ferrel 环流也可以看到,但北半球的 Ferrel 环流更弱些。这与过去多年的观测资料分析结果一致。

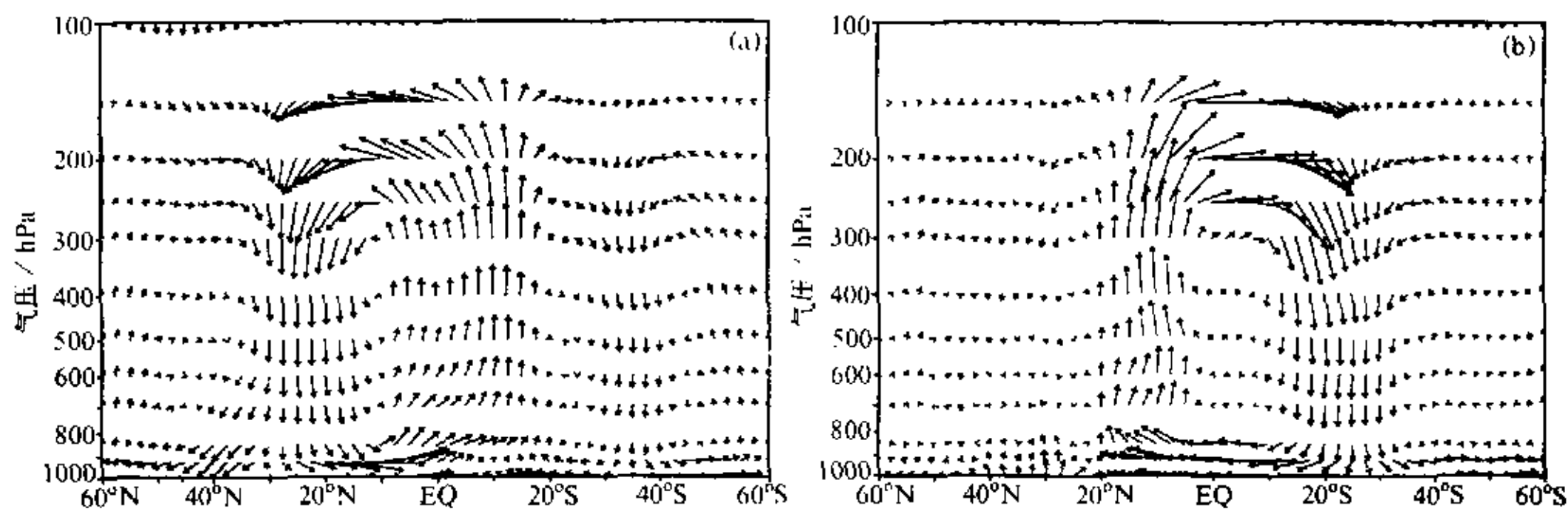


图1 1961~1997 年的平均经圈环流图

(a) 1 月; (b) 7 月

同样我们绘制了各年 1 月和 7 月的平均经圈环流图并进行了分析。由于图太多,不可能在此一一给出。为了有选择地讨论几个年份的情况,我们先看看计算的各年经圈环流与多年平均经圈环流之间的相似系数 R 、差异系数 D^2 和相对强度 Q 。图 2a、b 分别给出 1 月和 7 月的相似系数 R 、差异系数 D^2 和相对强度 Q 随时间(年)的变化。从图 2a 可以看出,各年 1 月份经圈环流的特点为:(1)除 1969 年外,各年的 R 值基本上在

0.7~0.85 之间变化, 而 D^2 值则在 0.2~0.35 之间变化, 说明各年的经圈环流与多年平均情况总的还是比较相似的。但也有相当差异, 1969 年 1 月的经圈环流与多年平均情况相差较大。(2) 虽然每年经圈环流强度都有变化, 但总的来说, 1966~1974 年这 9 年的经圈环流相对较弱, 而 1976~1987 年这 11 年则相对较强。下面我们来分析一下 1969 年 1 月 (平均经圈环流很弱) 和 1981 年 1 月 (平均经圈环流较强) 这两种情况。图 3a 和 b 分别为 1969 年 1 月和 1981 年 1 月的距平环流 (即它们与多年平均之差值图)。图 3a 与图 1a 对比可以看出, 1969 年 1 月从 $20^{\circ}\text{S} \sim 20^{\circ}\text{N}$ 和 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}\text{S}$ 的 Hadley 环流明显减弱, 同时从 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}\text{N}$ 有一个与 Ferrel 环流方向相反的差值环流出现。1981 年 1 月的情况则不同, 对比图 3b 和图 1a 可以看到 1981 年 1 月在 $20^{\circ}\text{S} \sim 20^{\circ}\text{N}$ 之间有一个与 Hadley 环流方向相同的差值环流圈, 说明 1981 年 1 月 Hadley 环流明显加强, 但由于在 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}\text{N}$ 也有一个与 Ferrel 环流相反的差值环流, 所以 1981 年 1 月经圈环流的加强远不如 1969 年 1 月经圈环流减弱的幅度大。图 2b 为计算出的各年 7 月相似系数 R 、差异系数 D^2 和相对强度 Q 随时间 (年) 的变化图。从图 2b 可以看出, 各年 7 月经圈环流与多年平均情况也比较相似, 但有一定的差异, 特别是 1986 年和 1995 年差异较大; 另外也可看出, 从 1963 到 1974 年这 12 年 7 月平均经圈环流较强, 而从 1986 到 1995 年的 7 月平均经圈环流总的来讲比较弱。从各年的垂直经圈环流图与多年平均的垂直经圈环流图对比, 我们可以看到它们的形势基本相同, 只是 Hadley 环流有所增强或减弱。

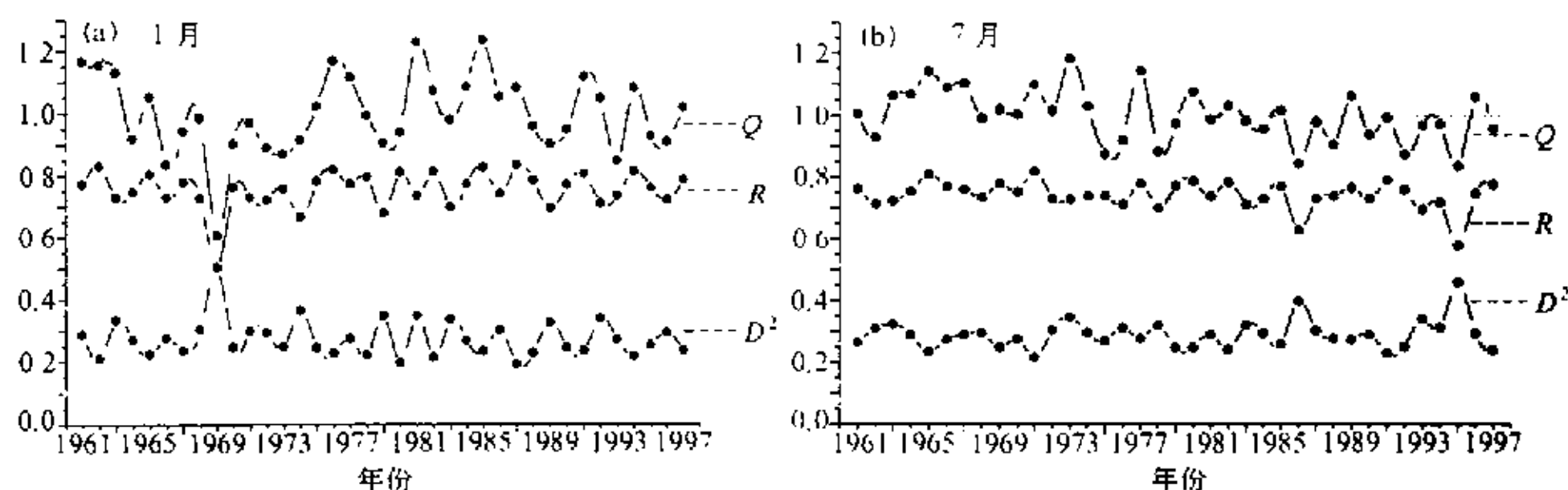


图 2 各年平均经圈环流相对于多年平均经圈环流的相似系数 R 、差异系数 D^2 和相对强度 Q
(a) 1 月; (b) 7 月

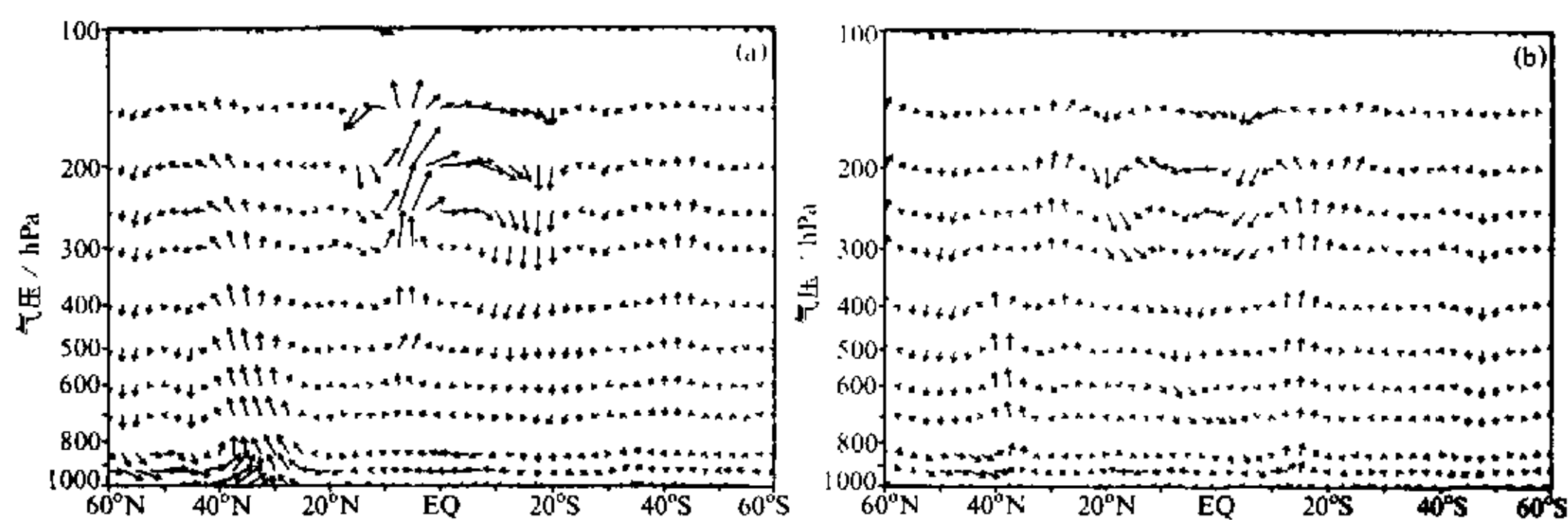


图 3 1969 年 1 月 (a) 和 1981 年 1 月 (b) 的距平环流

4 110~140°E 平均经圈环流及其演变特征

110~140°E 范围的平均经圈环流 (以下简称 110~140°E 经圈环流) 与东亚季风有密切关系, 因而倍受关注。本文对它作了专门的分析。

4.1 多年平均的 110~140°E 经圈环流的特征

图 4a 和 b 分别为 1961~1997 年平均的 110~140°E 经圈环流图。对比图 4 和图 1, 可以明显地看出这一地区的垂直经圈环流与全球平均的垂直经圈环流有很大差异。无论是 1 月还是 7 月, 在 110~140°E 范围内 Hadley 环流的上升支和下沉支都比全球平均的弱。在北半球, 由于东亚季风, 冬季, 北风分量从 60°N 以北一直向南, 在低层和 Hadley 环流的北风分量连在一起, 使北半球 Hadley 环流在南北方向上变宽而且 Ferrel 环流消失。夏季, 在 0°~20°N 上升而在 10~20°S 下沉的 Hadley 环流仍然存在, 但低层越过赤道的气流可以一直到达 55°N。在 30°N 到 60°N 的上空还有一个上升气流区, 到高层这股气流转向南并与南半球的 Hadley 环流的上升支汇合。这样就形成了东亚的季风环流, 冬季, 它取代了北半球的 Ferrel 环流, 夏季, 它取代了北半球的 Hadley 环流。下面的讨论中, 除一般地讨论各年 110~140°E 经圈环流的演变特征外, 还要专门讨论这支季风环流的强弱变化特征。

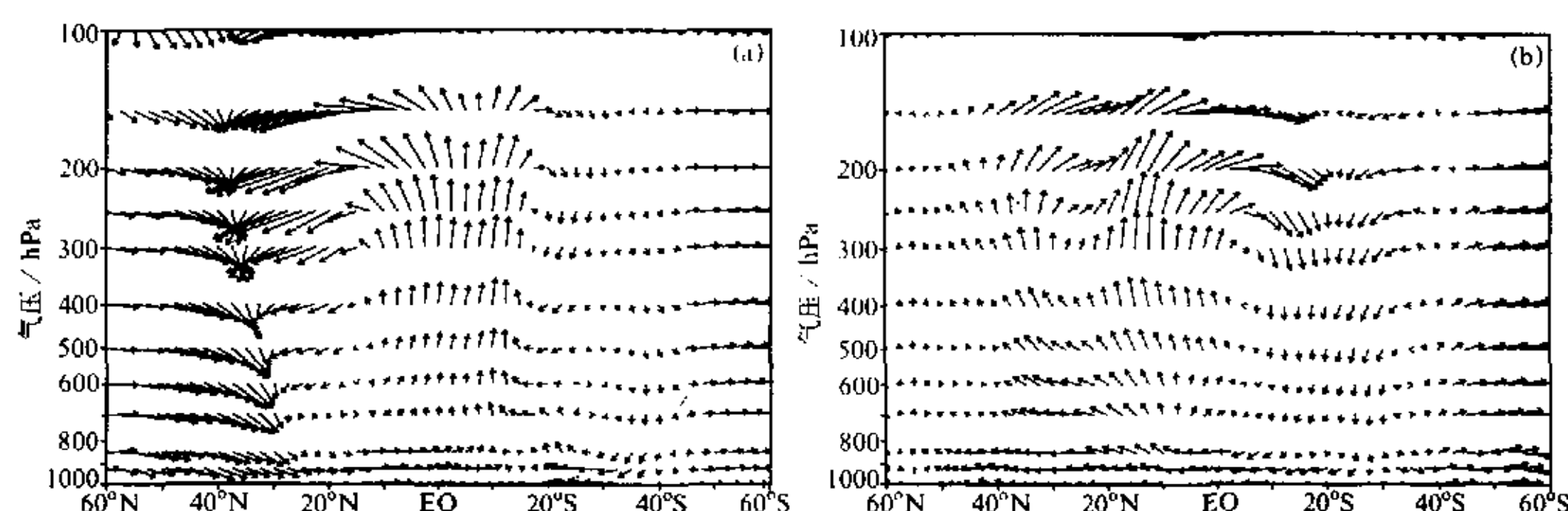


图 4 1961~1997 年平均的 110~140°E 经圈环流图
(a) 1 月; (b) 7 月

4.2 110~140°E 经圈环流的变化特征

对各年 110~140°E 范围内的经圈环流也计算了它们与此范围内多年平均的经圈环流的相似系数 R 、差异系数 D^2 和相对强度 Q , 如图 5 所示。

从图 5 可以看到 110~140°E 平均经圈环流有如下特点: (1) 与图 2 的全纬圈平均的经圈环流相比, 各年 110~140°E 平均经圈环流相对于多年平均情况的相似系数 R 要大些, 而差异系数 D^2 要小些, 有不少年份的相似系数达到或接近 0.9 而差异系数在 0.1 附近。(2) 其相对强度 Q 值的年际变化也很明显, 特别是某些年 (如 1973 和 1978 年) 的 7 月份其相对强度分别达到 1.5 和 0.55。(3) 总的来看, 1 月 110~140°E 平均经圈环流 1966~1975 年偏弱, 1976~1987 年稍强, 1988~1995 年又偏弱; 7 月的情况

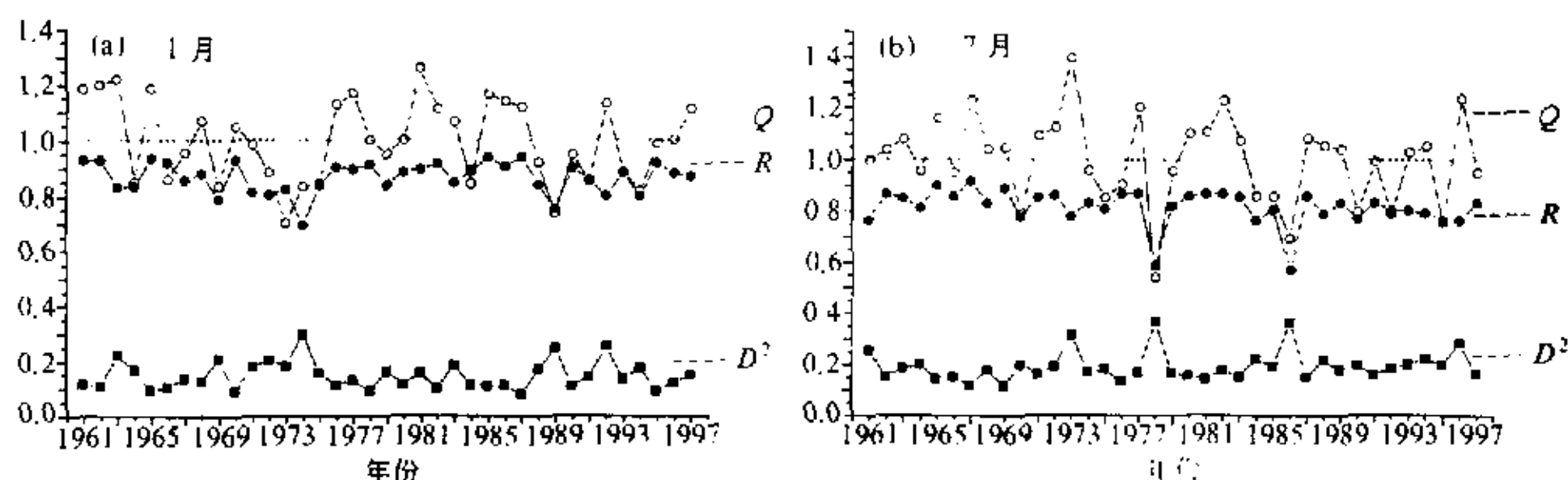


图5 各年110~140°E平均经圈环流的相似系数 R 、差异系数 D^2 和相对强度 Q
(a) 1月; (b) 7月

则是1965~1973年偏强, 1974年以后基本上在平均线上下摆动, 出现过4次每3年相对强度明显改变一次的现象。

4.3 夏季10~50°N季风环流的变化特征

主要讨论夏季110~140°E、10~50°N季风环流及其年际变化特征。从图4b可以看到, 在平均情况下这支季风环流在下层使南来的气流经过20°N继续向北直至50°N或以北地区。在30~40°N上升气流有所增强。它虽不及Hadley环流的上升支强, 但正是它才使得我国江淮流域和华北地区夏季有充足的降水。这支季风环流的年际变化与我国夏季旱涝的发生有极大的关系。

为了看清这支季风环流年际变化的情况, 下面给出各年7月500 hPa的垂直速度的纬度-时间(年)分布图和850 hPa经向风的纬度-时间(年)分布图, 分别如图6a和b所示。

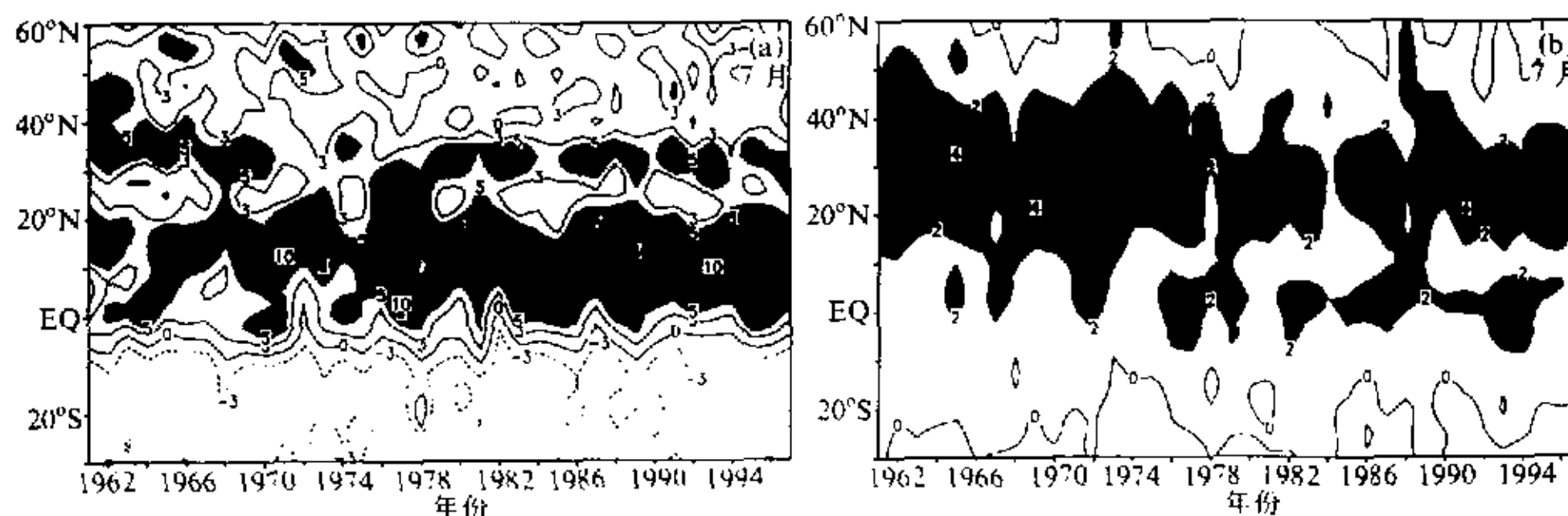


图6 各年7月份110~140°E 500 hPa的垂直速度(mm/s) (a) 和850 hPa经向风(m/s) (b)

从图6a可以明显看出: 北半球夏季赤道到20°N的Hadley环流上升支和30~40°N之间的季风环流上升支, 它们之间有一个明显的垂直运动较弱的区域; 另外还可看出, 60年代(除1965年外)在赤道到20°N的Hadley环流上升支都比较弱, 而30~40°N的季风环流上升支则比较强, 可以达到或超过0.6 cm/s。从图6b可以看到1961~1965年7月东亚季风区下层的偏南风大于2 m/s的范围一直延伸到45°N以

北,也就是说这几年东亚季风环流很强。1971 年以后, Hadley 环流上升支比较强(只有 1974~1975 和 1984 年除外), 季风环流上升支则比较弱。特别是 1976~1984 年, $W \geq 0.3 \text{ cm/s}$ 的区域主要在 $30 \sim 35^\circ\text{N}$ 之间。只有 1986、1987、1991 和 1993 年此季风环流的上升支有较明显加强, 不仅在 $30 \sim 35^\circ\text{N}$ 之间有明显的上升气流, 而且在 40°N 以北也有一片 $W \geq 0.3 \text{ cm/s}$ 的区域。从图 6b 可以看到, 除前面提到的 1961~1964 年外, 还有 1972~1974, 1976, 1982, 1989 和 1990 年, 南支气流不但在 20°N 到 30°N 之间强劲而且还延伸到 45°N 以北地区。而其他年份季风所到的纬度则比较偏南。图 7a 和 b 分别是各年 7 月 500 hPa 的垂直速度的纬度-时间(年)和 850 hPa 经向风的纬度-时间(年)分布距平图。

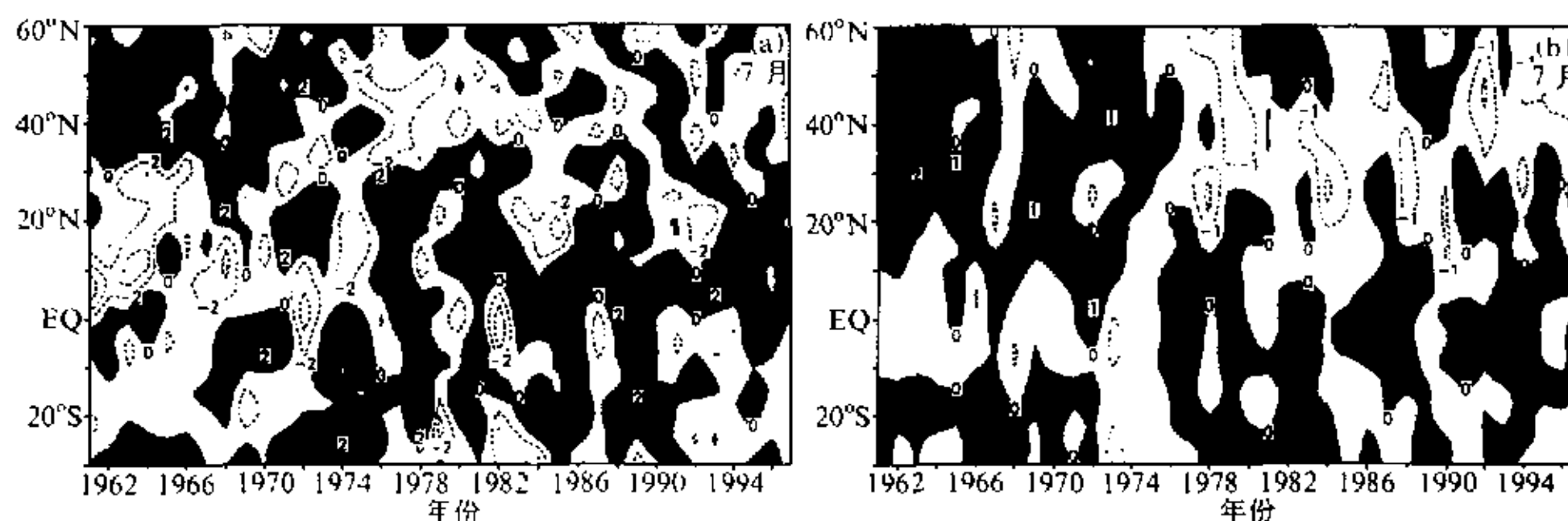


图 7 各年 7 月 110~140°E 500 hPa 的垂直速度 (mm/s) (a) 和 850 hPa 经向风 (m/s) (b) 的距平图

我们可以将季风环流的强弱分类。为了以后讨论方便, 在这里我们按在 500 hPa 等压面上的上升运动距平 (ΔW 表示) 和 850 hPa 面上的南风分量距平 (ΔV 表示) 到达的纬度为标准来划分季风环流的强弱。划分标准如表 1 所示。

表 1 ΔV 和 ΔW 的级别标准

级别	1	2	3
ΔV	正距平到达或超过 45°N	正距平到达 $30 \sim 45^\circ\text{N}$ 区内	30°N 以北负距平或 $25 \sim 35^\circ\text{N}$ 负距平
ΔW	正距平在 35°N 或以北	正距平在 $30 \sim 35^\circ\text{N}$ 区内	$30 \sim 40^\circ\text{N}$ 负距平达 2 mm/s

按此标准, 从图 6a、b 中, 可查出各年的 ΔV 和 ΔW 的等级。把 ΔV 和 ΔW 都为 1 级的年份定为季风环流强年, 把 ΔV 和 ΔW 两者中有一项为 3 级者定为季风环流弱年, 其余定为中等年。结果列于表 2 中。

这样定出来的季风环流强年有 11 年, 弱年 13 年, 中等年为 13 年。归纳起来如下: (1) 季风环流强时, 表现为下层的南风很强, 南风的正距平可以向北一直延伸到 45°N 或以北。季风环流的上升支在 35°N 以北加强。这样的年份有 1961~1967、1969、1972、1982 和 1991 年。(2) 季风环流中等强弱时, 其下层的偏南气流到达 $30 \sim 35^\circ\text{N}$ 后再往北即迅速减小。季风环流的上升支主要在 $30 \sim 35^\circ\text{N}$ 附近较强。1970、1971、1974~1976、1978、1981、1983、1986、1987、1989、1993 和 1995 年即是这种情况。(3) 季风环流很弱时, 其下层的偏南气流弱, 特别是 $10 \sim 25^\circ\text{N}$ 的南风很弱, 一般小于 2 m/s , 或者在东亚季风区上升运动较弱。这样的年份有 1968、1973、1977、

表 2 各年季风强弱表

年份	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
V (级)	1	1	1	1	1	1	1	3	1	2
W (级)	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
季风环流	强	强	强	强	强	强	强	弱	强	中
年份	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
V (级)	2	1	1	1	2	2	3	2	3	3
W (级)	1	1	3	2	1	2	3	2	2	1
季风环流	中	强	弱	中	中	中	弱	中	弱	弱
年份	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
V (级)	2	1	2	3	3	2	2	3	2	3
W (级)	2	1	1	3	2	1	1	1	1	2
季风环流	中	强	中	弱	弱	中	中	弱	中	弱
年份	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997			
V (级)	1	3	2	3	2	3	3			
W (级)	1	2	1	3	2	1	2			
季风环流	强	弱	中	弱	中	弱	弱			

1980、1984、1985、1990、1992、1994 和 1996~1997。图 8a~d 分别给出季风环流强的 1961 年、季风环流中等的 1983 年和季风环流很弱的 1994 年的垂直经圈环流图以及 1991 年的垂直经圈环流图，从中很容易看出上述特征。

很明显，(1) 的情况会使华北和东北地区多雨，而 (2) 的情况会造成江淮地区的

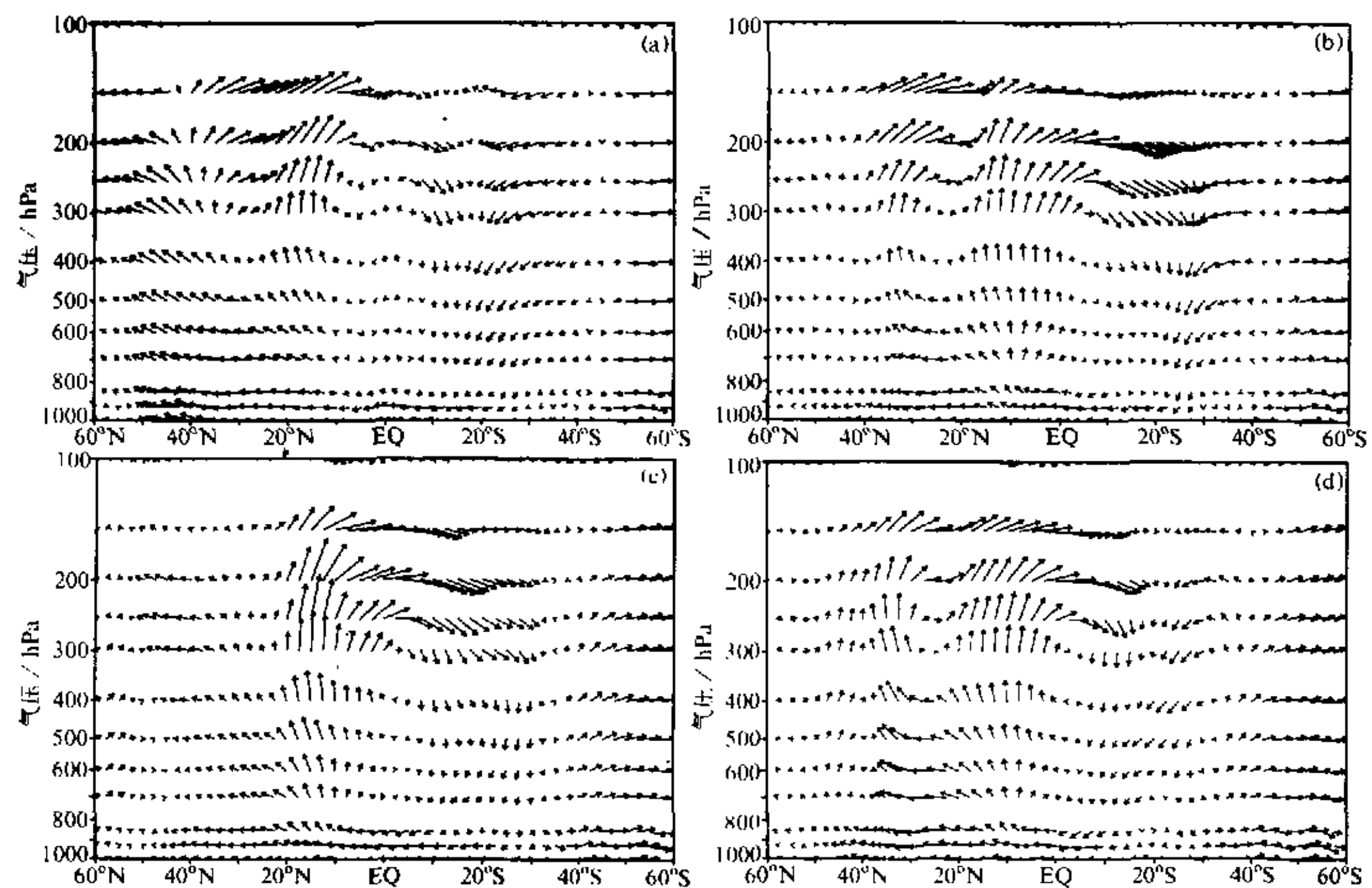


图 8 7 月份 110~140°E 平均垂直经圈环流图
(a) 1961 年; (b) 1983 年; (c) 1994 年; (d) 1991 年

洪涝, (3) 的情况则会使我国大部分地区干旱和酷热。有意思的是, 1991 年的情况介于 (1) 和 (2) 之间。这年 7 月, 下层的偏南气流一直延伸到 40~50°N 还比较强, 但其上升的垂直速度高值区分别在 38°N 以南和 42°N 以北, 因此 1991 年 7 月在江淮地区和东北都有大量降水发生, 而华北降水偏少 (见 1991 年 7 月国家气象中心发布的《气候监测公报》)。

5 夏季 110~140°E 季风环流与 El Niño 的关系

下面, 从各年 7 月 110~140°E 平均经圈环流相对多年平均的相对强度 (图 5b 之 Q 线) 和 500 hPa 垂直速度、850 hPa 经向风 (图 6), 来分析夏季 110~140°E 平均经圈环流年际变化与 SST 变化的关系。从图 5b 的 Q 线可以看到 1965、1969、1972、1977、1982~1983、1987 和 1993 年这些 El Niño 年 7 月 110~140°E 平均经圈环流都比较强。从图 6a 和图 6b 可以看出, 这些年的 7 月, 一方面在 10~20°N 之间的 Hadley 环流上升支比较强, 同时其北边的季风环流支也属于强或中等一类。

从图 6a、b 和表 2 我们可以看出, Hadley 环流在 10~20°N 之间的上升支的变化及其以北的季风环流的变化也有一个循环过程, 而且这个循环过程与 ENSO 循环有一定的关系。这个关系表现为在 ENSO 形成之前半年或一年, 10~20°N 之间 Hadley 环流的上升气流加强, 季风环流也开始增强, 下层 20~25°N 的南风开始增强并向北延伸, 到 ENSO 强盛和开始衰亡时, Hadley 环流的上升支迅速减弱, 而东亚季风环流的减弱则要向后延迟半年到一年, 然后转入 Hadley 环流和季风环流都相对较弱的时期, 直到下一次 ENSO 形成之前再次发生上述变化。由此可知 110~140°E Hadley 环流和东亚季风环流的变化明显地受到海温变化的影响。我们得到的东亚夏季季风环流与海温变化的关系与陶诗言等^[6]得到的南亚夏季风与 ENSO 的关系不大一致。这是因为东亚夏季风与南亚夏季风受到的是不同海区的影响。在 110~140°E 区域季风主要受到西太平洋和大陆热力差异的影响。西太平洋海温 (特别是暖池) 在 ENSO 形成之前先是有所升高, 在 ENSO 强盛之时, 西太平洋海温有所下降, 使得此地区上升运动先加强后减弱, 而在它北边的季风环流也发生相应的变化。

6 结论

本文分析了 1961~1997 年 37 年全球平均的垂直经圈环流和 110~140°E 平均的垂直经圈环流, 得到如下结果:

(1) 无论是 1 月还是 7 月, 各年的全球平均垂直经圈环流, 与多年平均的经圈环流比较相似 (其相似系数在 0.7~0.85 之间变化), 但也有一定的差异。此垂直经圈环流除有年变化外, 存在着较明显的年际和年代际变化。1 月的全球平均经圈环流 1966~1974 年较弱, 1976~1987 年较强, 1988~1997 年基本上在平均线附近变化。7 月的全球垂直经圈环流则是 1963~1974 年较强, 1975~1985 基本上在平均线附近变化, 1986~1995 年则相对较弱。

(2) 110~140°E 的平均经圈环流与全球的平均经圈环流的主要差异是: 东亚季风

环流圈分别代替了北半球的 Ferrel 环流圈 (1 月) 或北半球的 Hadley 环流圈 (7 月)。

(3) 各年 110°E 的平均经圈环流与其多年平均情况的相似程度比全球平均环流与其多年平均情况的相似程度高。

(4) 1 月 110°E 的平均经圈环流 10 年际变化也比较明显, 表现为: 1966~1975 年较弱, 1976~1987 年较强, 1988~1996 年又变弱。7 月 110°E 的平均经圈环流的 10 年际变化不如 1 月清楚, 但它与 ENSO 循环的关系比较明显。

(5) 通过对东亚季风环流的分析得到, 东亚季风环流强弱之间的变化与 ENSO 循环有较好的关系。

参 考 文 献

- 1 叶笃正等, 东亚和太平洋上空平均垂直环流 (一) 夏季, 大气科学, 1979, 3(1), 1~11.
- 2 符综斌等, 赤道海温异常与大气的垂直环流圈, 大气科学, 1979, 3(1), 50~57.
- 3 符综斌, 腾星林, 我国夏季的气候异常与埃尔尼诺现象的关系, 大气科学 (特刊), 1988, 133~141.
- 4 陈月娟, 丁明, 太平洋海温异常对其上空环流影响的分析及数值试验, 大气科学, 1992, 16 (5), 592~600.
- 5 孙柏民, 孙淑清, 海温异常对热带内外环流相互作用影响的对比分析, 大气科学, 1998, 22(1), 83~96.
- 6 陶诗言, 张庆云, 亚洲冬夏季风对 ENSO 事件的响应, 大气科学, 1998, 22(4), 399~407.
- 7 曾庆存, 张邦林, 论大气环流的季节划分和季节突变 I: 概念和方法, 大气科学, 1992, 16(6), 641~647.
- 8 曾庆存, 张邦林, 大气环流的季节变化和季风, 大气科学, 1998, 22(6), 805~813.

The Interannual Variability of Meridional Circulation from 1961 to 1997 and Its Relation to SST Anomaly

Chen Yuejuan, Jian Jun and Zhang Hong

(Department of Earth & Space Sciences, Univ. of Science & Technology of China, Hefei 230026)

Chen Xinming

(Department of Computer Science, Fudan University, Shanghai 2000437)

Abstract The variation of the meridional circulation in January and July from 1961 to 1997 has been analyzed by using NCEP/NCAR data. The emphasis was laid on the meridional cell averaged over 110°E and the monsoon circulation in East Asia. The calculated normalized correlation, difference and relative intensity between the circulation of each year and the mean circulation are given. Besides the interannual change and decadal change of the circulation, the relationship between the variation of monsoon circulation and ENSO cycle are also discussed. The result shows that: (1) Besides the annual change of vertical meridional circulation, there also exists obviously interannual and decadal changes. The global mean meridional cell in January is weaker from 1966 to 1974 and stronger from 1976 to 1987; but in July it is stronger from 1963 to 1974 and weaker from 1986 to 1995. (2) The main characteristic of the meridional cell averaged over 110°E is as follows: The monsoon cell in East Asia replaces Ferrel cell in January and Hadley cell in July in the Northern Hemisphere. In addition, its decadal change is very obvious. (3) There exists some relationship between the variation of intensity of the monsoon circulation in East Asian and ENSO cycle.

Key words: vertical meridional circulation; monsoon circulation; ENSO