

瓦克环流指数与哈得莱环流指数

王绍武 石 伟

(北京大学地球物理系)

提 要

利用地面风场资料定义了瓦克环流指数与哈得莱环流指数,并研究指数的变化及其与厄尔尼诺的关系。

一、引言

Bjerknes(1969)^[1]提出赤道地区存在一种东西向的环流圈,这个环流圈在太平洋东部下沉,在中太平洋上升,地面为东风,高层为西风。他认为这种环流结构同南方涛动(SO)有密切关系,并称之为瓦克环流。他同时指出,瓦克环流的强弱变化与赤道东太平洋海温的异常有关。厄尔尼诺期间,瓦克环流减弱。近年来,人们常常将厄尔尼诺现象和南方涛动联系起来研究,统称为ENSO系统。

Flohn(1975)^[2]将Bjerknes的太平洋地区东西向环流的概念扩展到整个赤道地区。这一推广对认识全球范围上大气环流异常有重要意义。Flohn的模型强调了赤道上不同地区之间的遥相关,用此来解释这些地区气候异常之间的密切联系。

然而,低纬大气环流的异常,不仅反映为赤道地区纬向环流的变化,同时也反映为经向环流的变化,甚至在某些地区经向环流的变化还明显大于纬向环流的变化。

早在1978年Reiter^[3]就发现厄尔尼诺期间太平洋地区的经向环流有明显的变化,其中,该地区南北两个半球的信风都比往年强,造成赤道地区的辐合较常年大大增强。

最近,Meehl(1987)^[6]在总结了许多工作的基础上指出,中高纬度的天气状况与

热带天气活动有密切的关系,并认为热带地区的对流活动通过哈得莱环流对副热带高压有直接的影响。同样,南太平洋高压和西太平洋副热带环流的强弱与印度洋和澳大利亚季风的爆发关系密切,从而对厄尔尼诺的形成或发展产生影响。

可是,目前还没有一个合适的定量指标来表征瓦克环流与哈得莱环流,这对于研究ENSO系统很不利。为弥补这方面的不足,我们利用Wright等(1985)^[6]的资料建立了1950—1979年的瓦克环流指数与哈得莱环流指数序列。

二、瓦克环流指数与哈得莱环流指数的计算

由于对这样长的时间,我们仅有地面风场的资料,所以用地面纬向风场的辐合辐散作为表征瓦克环流强弱变化的指标。

瓦克环流指数(I_w)由下式定义

$$I_w = (U_d - U_e) - (U_b - U_a) \quad (1)$$

I_w 的单位为 $m \cdot s^{-1}$, U_a 、 U_b 、 U_e 、 U_d 分别为 $10^\circ N$ 到 $10^\circ S$ 赤道地区 $90-100^\circ E$ 、 $150-160^\circ E$ 、 $150-160^\circ W$ 、 $90-100^\circ W$ 4个区域上纬向风的距平值。

(1)式实际上是赤道东太平洋与西太平洋海洋大陆上的辐合场之间的差,用来反映太平洋地区纬向环流的强弱。瓦克环流强时,西部辐合强,东部辐散强, I_w 为正;反

之，瓦克环流弱时，西部辐合弱而东部辐散弱， I_w 为负。

同理，用地面经向风的辐合辐散描述哈得莱环流的强弱，定义哈得莱环流指数(I_H)为：

$$I_H = - (U_e - U_f)$$

I_H 的单位为 $m \cdot s^{-1}$ ， U_e 、 U_f 分别为 $10^{\circ}N$ 和 $10^{\circ}S$ 上纬向平均的经向风速的季距平值。

需要指出的是，由于海洋上观测记录分布不均匀，这里将整个纬圈分成4个区域（印度洋—西太平洋，中太平洋，东太平洋和大西洋），先计算出每个区域经向风的纬圈平均值及其经向辐合，然后按各区域面积加权平均求得 I_H 。

I_H 实际上是 $10^{\circ}N-10^{\circ}S$ 间全球地面风场的经向辐合，在一定程度上定量地描述了哈得莱环流的强弱变化。哈得莱环流强，向赤道辐合气流强， I_H 为正；反之，哈得莱环流弱，向赤道辐合气流弱， I_H 为负。

这样就得到了1950—1979年季平均 I_w 和 I_H 序列（见表1）。

三、瓦克环流指数、哈得莱环流指数与海温的关系

图1给出了赤道东太平洋海温(SST)、 I_H 和 I_w 的变化曲线。从图1可见，厄尔尼诺年（1951、1953、1957、1963、1965、1969、1972、1976）时海温的峰值对应于 I_H 的高值和 I_w 的低值。这表明，厄尔尼诺期间哈得莱环流增强而瓦克环流减弱。

为了进一步研究SST与 I_H 和 I_w 的关系，我们计算了它们之间的交叉落后相关系数（见表2）。从表2可见， I_w 同SST是负相关，且超前海温不到一个季度，而 I_H 和SST是正相关，且落后海温一季度以上。这表明，瓦克环流的变化可促使海温变化，而哈得莱环流的变化则反映了对海温变化的响应。不

表1 瓦克环流指数 (I_w) 与哈得莱环流指数 (I_H)
(单位: $10^{-2}m/s$)

年份	I_w				I_H			
	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋
1950	3.0	1.5	1.3	3.2	-8.3	-3.0	-5.5	-7.7
1951	3.1	-4.6	-2.6	-3.7	-1.7	-2.5	5.0	4.3
1952	-0.2	-2.0	-1.5	4.2	5.2	-3.7	-5.7	-0.3
1953	1.5	1.0	-1.5	0.8	3.8	3.8	0.5	2.8
1954	-3.0	0.0	1.9	2.1	-2.5	-4.0	-0.7	-4.0
1955	3.3	0.8	0.4	5.2	4.0	-1.7	-7.2	-3.5
1956	0.0	2.3	2.1	1.7	-0.5	-1.8	3.7	0.8
1957	0.4	-0.6	1.4	-4.4	-5.0	3.2	8.2	2.3
1958	-1.4	-2.6	-0.1	-2.0	5.7	-2.8	-4.8	-3.8
1959	-4.0	0.3	-1.9	-1.2	2.2	5.2	-2.8	0.2
1960	2.5	0.8	1.0	1.0	-3.3	-3.8	1.5	0.2
1961	0.7	-1.0	-1.4	-4.6	1.5	1.2	0.8	-3.3
1962	0.9	0.0	0.8	0.2	-0.3	1.0	-3.3	-4.7
1963	0.4	-0.8	-3.5	-4.0	-7.2	-4.5	-0.7	-0.3
1964	-2.4	-0.2	0.9	3.4	9.3	-2.2	-6.8	-5.2
1965	-0.3	-1.0	-1.9	-4.2	-8.8	2.3	6.2	6.2
1966	-0.6	-1.0	-1.4	0.3	6.7	1.0	1.7	-1.2
1967	3.0	-2.6	-3.6	-3.2	-3.2	-1.8	-3.7	-3.5
1968	-1.6	-1.6	-1.5	-2.3	-5.3	-2.7	4.7	1.2
1969	-2.7	-0.3	-1.5	-0.2	-2.2	4.2	-1.5	-1.8
1970	-1.0	3.1	1.9	4.9	3.0	3.0	-5.2	-4.7
1971	3.9	0.7	3.4	2.6	-9.0	3.8	-0.3	-5.8
1972	-0.7	-2.7	-4.4	-3.1	-3.7	-2.2	9.3	12.3
1973	-2.4	2.6	3.4	2.9	13.8	4.8	-2.7	-2.0
1974	2.3	0.0	1.4	1.8	-5.3	0.8	-0.2	-0.8
1975	0.7	0.5	1.6	4.4	-0.8	0.5	-1.2	-3.7
1976	2.3	-0.7	-2.6	-1.7	-2.2	1.2	5.5	5.3
1977	0.4	-2.9	-1.7	-3.8	6.2	1.7	2.2	3.8
1978	-2.5	0.8	-0.8	0.2	5.8	-1.3	-4.3	2.3
1979	-2.2	-1.1	-1.2	-1.9	4.0	1.5	1.5	8.7

过我们知道厄尔尼诺仅是ENSO系统中的一个方面，还有与之对立的另一个方面，即反厄尔尼诺状态^[7]。为了完整、全面地了解ENSO系统的变化，我们根据臧恒范等（1984）^[8]定出的厄尔尼诺年（1951、1953、1957、1963、1965、1969、1972、1976）和反厄尔尼诺年（1955、1964、1967、1970、1973、1975），对SST、 I_w 和 I_H 进行叠加（图2）。从图2可见，在厄尔尼诺年，最大SST正距平出现在当年秋季及冬季，但 I_w 则在秋季最低，以后即缓慢回升，而 I_H 在秋冬两季

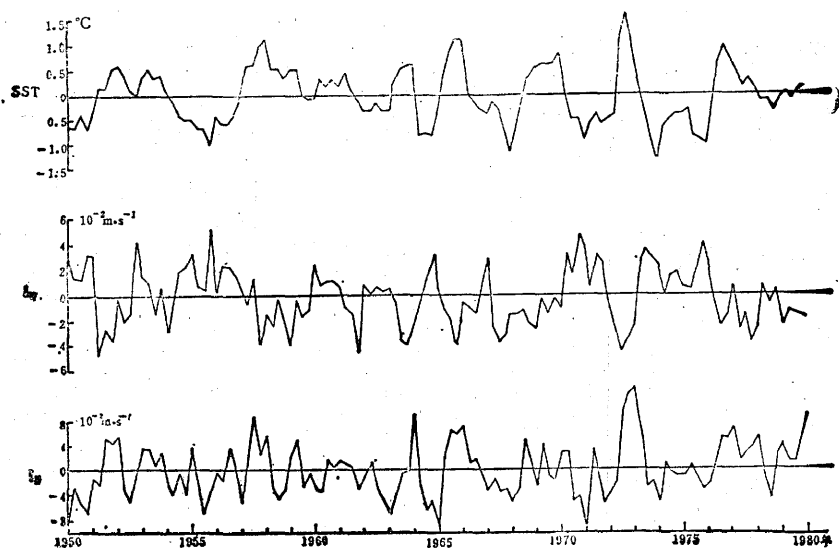


图1 赤道东太平洋海温 (SST)、瓦克环流指数 (I_w) 及哈得莱环流指数 (I_H) 的季平均距平值

表2 SST、 I_w 和 I_H 之间的落后相关系数

落后季数	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	
SST	0.21	0.10	-0.17	-0.37*	-0.57*	-0.52*	-0.29	-0.10	-0.09	I_w
SST	-0.09	0.17	0.49*	0.66*	0.45*	0.17	-0.14	-0.23	-0.18	I_H
I_H	0.11	0.12	0.19	0.01	-0.24	-0.31	-0.44*	-0.16	0.04	I_w

落后系数正值表示右侧指数超前, 负值表明左侧指数超前

* 表示信度 $\alpha = 0.01$

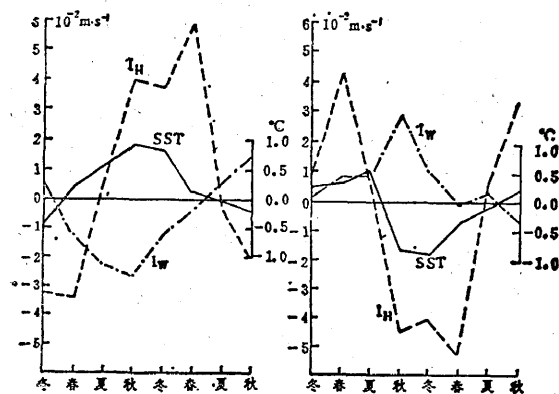


图2 厄尔尼诺年 (左) 及反厄尔尼诺年 (右) 的 SST、 I_w 及 I_H

在秋季的正距平峰值更为突出, 而 I_H 的最低点也仍然出现于次年的春季, 这与上面交叉落后相关的结果一致。不过图2说明这种落后可能与大气、海洋以至海气相互作用的季节变化有关, 这是很值得研究的问题。

另一个问题是我们希望知道 ENSO 系统的变率有多大, 也就是说在厄尔尼诺年及反厄尔尼诺年, 瓦克环流与哈得莱环流究竟有多大差异。文献 [3] 中已经证实, 厄尔尼诺时期瓦克环流可能依然存在, 只是强度减弱, 并不象一些人想象的那样成为反瓦克环流。现在利用 I_w 可进一步给予定量的估计。为此, 首先根据地面风场的多年平均值, 利用公式 (1)、(2) 就可以得到瓦克环流指

虽已为正距平, 但其峰值却出现于次年春季。对反厄尔尼诺年, 也有类似的现象, 不过 I_w

数和哈得莱环流指数的多年平均值 $\bar{I}_W$ 和 $\bar{I}_H$ ，用来表征赤道地面纬向和经向环流的多年平均状况。然后计算 I_H 、 I_W 与 $\bar{I}_H$ 和 $\bar{I}_W$ 的比值，这样就可以得到厄尔尼诺年和反厄尔尼诺年瓦克环流和哈得莱环流变化量的概念(表3)。

综合起来看，赤道东太平洋海温异常时，

哈得莱环流变化可以达到50%以上，而瓦克环流的变化仅为15%左右。当然，我们这里只是从地面风场资料来进行推断，真正的瓦克环流及哈得莱环流的变化要根据整层风场资料来估算。

表 3 厄尔尼诺年、反厄尔尼诺年中 I_W 与 I_H 的变率(%)

	指 数	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋
厄尔尼诺	$I_W/\bar{I}_W$	1.4	-2.4	-3.7	-8.0	-3.8	-0.6	-0.8	4.6
	$I_H/\bar{I}_H$	-8.5	-8.6	3.1	28.0	10.0	15.1	-1.8	-14.6
反厄尔尼诺	$I_W/\bar{I}_W$	0.5	1.3	1.4	8.8	3.2	0	0.3	-1.8
	$I_H/\bar{I}_H$	1.8	11.0	3.0	-31.4	-10.7	-13.2	4.0	24.4

参考文献

[1] Bjerknes, J., Mon. Wea. Rev., 97 163—172, (1969).

[2] Flohn, H. and Fleer, H., Atmosphere, 13, 96—109, (1975).

[3] Wang Shaowu, T. P., Mitchell and J.W. Wallace, Advance in Atmosphere Society, 4(1987).

[4] Reiter, E. R., Mon. Wea. Rev., 106, 324—330 (1978).

[5] meehl, G.A., Mon. Wea. Rev., 115, 27—51. (1987) .

[6] Wright, P. B., T. P. Mitchell and J.W. Wallace. NOAA Data Report ERL PEmL-12, Pacific Marine Enviomental Laboratory, Seattle, Washington, 1985.

[7] Namias, J., J. Phys. Oceanogr., 6, 130—138. (1976).

[8] 臧恒范、王绍武, 海洋学报, 6, 16—24, (1984).

Indices of Walker Circulation and Hadley Circulation

Wang Shao wu Shi wei

(Department of Geophysics, Beijing University)

Abstract

The indices of Walker Circulation and Hadley Circulation are defined on the basis of surface wind data set. The variation of the indices and the relationship between them as well as the El Nino events are discussed.