

西太平洋热带海面热收支与 El Niño*

于彦玲

(中国科学院海洋研究所, 青岛)

提要 利用经验正交函数方法, 分析了1961—1974年期间, 西太平洋热带海面总热量交换的分布情况及其年际变化。分析结果表明, 西太平洋热带地区海-气热量交换, 存在着一种与 El Niño/SO (南方涛动) 关系十分密切的分布形式。在 El Niño 期间, 赤道太平洋日界线附近海洋向大气释放热量明显增多, 而其西部则正相反。文章认为这种大尺度海面热收支的年际变化, 是该地区风场、温度场及大洋热含量异常变化的综合影响结果, 这些变化会对一些气候因子的波动产生一定的影响。

近年来, 国内外很多学者对 El Niño 进行了大量的研究。他们从不同的角度探讨了大洋表层水温, 赤道大洋环流, 赤道太平洋水位、斜压层和热含量, 大气中大尺度环流等异常变化, 以及这些变化同 El Niño 的关系, 从而增进了人们对 El Niño 现象的了解, 并得到了许多有意义的结论。但是到目前为止, 只有很少的工作考虑了大尺度海洋表面热平衡的变化同 El Niño 的关系。Weare 曾对热带太平洋表面的净加热以及水汽和潜热进行过分析, 指出这些量确实存在着明显的年际变化, 尤其是东太平洋, 与 El Niño 关系密切。但他也指出, 西太平洋的变化与 El Niño 关系不明显^[1]。本文则通过对西太平洋热带地区海面热平衡的侧重分析, 发现该地区的海-气热交换年际变化, 同样与 El Niño 有着较密切的关系。

一、资料及计算

本文选用中国科学院海洋研究所气象组整理计算的、 $2^\circ \times 5^\circ$ 网格上1961—1974年的逐月海-气总热量交换值 $Q_t^{(1),0}$, 对其在 $1^\circ-25^\circ\text{N}$, $110^\circ\text{E}-170^\circ\text{W}$ 区域上做了经验正交展开。即对给定的物理场用某个函数矩阵 $F(t, x)$ 来描述。该函数矩阵为一个有限多项式的展开, 即:

$$F(t, x) = \sum_k T_k(t) \phi_k(x)$$

式中, $\phi_k(x)$ 为空间点的函数, 它反映了给定场的性质和特征, 称为特征向量; 系数 $T_k(t)$ 为时间的函数, 它所反映的是 $\phi_k(x)$ 在给定的时间域上的振动情况。分别求出特征向量 $\phi_k(x)$ 和时间系数 $T_k(t)$, 以便研究某一特定场的性质及其随时间的变化规律。

设原始资料矩阵为 ${}_nZ_m$, 其中 n 为观测次数, m 为观测点数。对于 $n > m$ 的一般情

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第1446号。白少英同志清绘图样, 特此致谢。

收稿日期: 1985年9月8日。

1) 原资料定义 Q_c 为海面总热交换值, 为避免同惯用的潜热符号混淆, 本文将其改为 Q_t 。

况,可直接利用原始资料的斜方差阵,求出 $T_k(t)$ 和 $\phi_k(x)$ 。

即先求原始资料 ${}_nZ_m$ 的协方差阵 A ,

$${}_m A_m = {}_n Z'_m {}_n Z_m$$

式中, ${}_n Z'_m$ 为 ${}_n Z_m$ 的转置阵。利用该协方差阵 A 求解 m 阶特征方程

$${}_m A_m {}_m \phi_m - {}_m \lambda_m {}_m \phi_m = 0$$

这里 ${}_m \phi_m$ 正是我们所要确定的特征向量,而 ${}_m \lambda_m$ 则是与 ${}_m \phi_m$ 对应的特征值。利用 ${}_m \phi_m$, 又可求出所需的时间系数

$${}_n T_m = {}_n Z_m {}_m \phi_m$$

在我们的计算中, $n = 168$, $m = 189$, $n < m$, 为避免在这种情况下解上述方程会出现虚根,这里又采用了时空转换的方法,即先求矩阵

$${}_n \tilde{A}_n = {}_n Z_m {}_n Z'_m$$

的特征向量 ${}_n \tilde{\phi}_n$ 和特征值 ${}_n \tilde{\lambda}_n$, 然后求出

$${}_n \phi_m = {}_n \tilde{\lambda}_n^{-\frac{1}{2}} {}_n \tilde{\phi}_n {}_n Z_m$$

$${}_n T_n = {}_n \tilde{\phi}_n {}_n \tilde{\lambda}_n^{\frac{1}{2}}$$

这里的 ${}_n \phi_m$ 和 ${}_n T_n$ 分别为我们所要的时空转换前的特征向量和时间系数。

根据以上方法,计算了西太平洋热带地区总热量交换 Q_t 的各特征向量及其对应的时间系数和特征值。图 1 为按降序排列的特征值 λ_k 和其序号 k 之间的关系曲线。很明显,当 $k > 10$, 曲线斜率趋于平缓。这说明仅 Q_t 正交展开的前 10 项,就可以代表整个

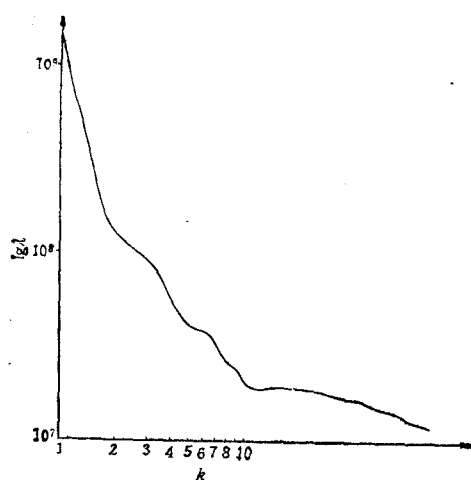


图 1 λ_k 与 k 的关系曲线

Fig. 1 The relationship between λ_k and k

场的主要时空分布特征。精度计算亦表明,前 10 项展开已为总场的 74%。

二、计算结果分析

用以上方法计算的前 10 个特征向量中,除第一、二个场各占总场的 53% 和 6% 以外,其余 8 个场各自只占总场的 4% 以下,这些场反映了西太平洋热带地区海面总热量交换 Q_t 的不同变化特征。在此,我们主要分析第二个特征向量场,这是因为它所对应的时间系数不但年际变化十分明显,而且表现出与 El Niño/SO 非常一致的振动。

目前,南方涛动指数 SOI 为表示 El Niño 发生与否的较好指标之一,当 El Niño 发生时,SOI 一般达到最低值。从图 2 可以看出,计算的时间系数其变化有一明显的特征,即曲线上所有的峰值区,大都对应于 SOI^[9] 的负值区;而曲线上的低值区,大都对应于 SOI 的正值区。这说明,当 El Niño 发生时,该时间系数所对应的第二特征向量场的振幅增大,而没有 El Niño 发生时,该向量场的振幅减小。在图 3 中第二特征向量场的主要分布特征是:零线从 25°N, 165°E 一带至 10°N, 135°E 附近,呈东北-西南走向,零线以东为负值区,负值中心大约在 10—15°N, 170°—180°E 附近;零线以西为正值区,正值中心大约在 20°N, 135°E 附近的菲律宾海一带。显然,结合该向量场对应的时间系数

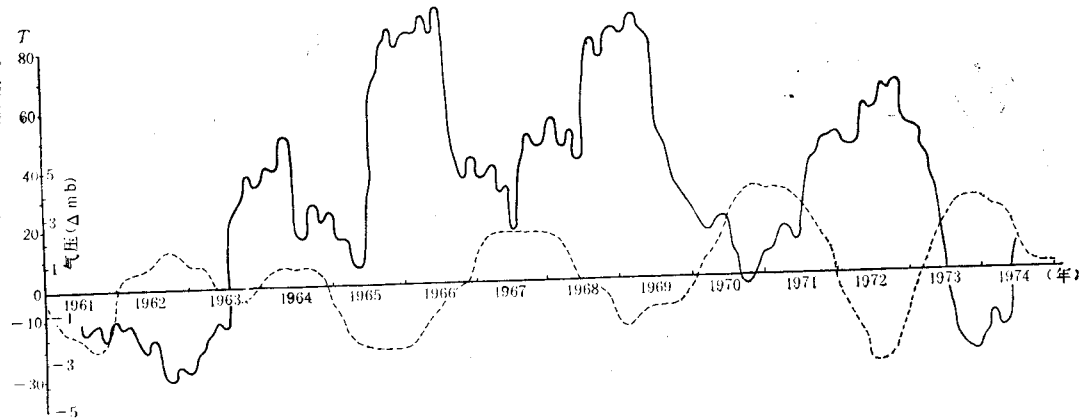


图 2 第二特征向量对应的时间系数 (T) 变化曲线(实线)及 SOI (虚线)时间系列曲线
(两条曲线都做了 12 个月的滑动平均)

Fig. 2 The temporal coefficients of the second eigenvector (solid line) and the Southern Oscillation Index (dashed line) (both curves are 12-month running means)

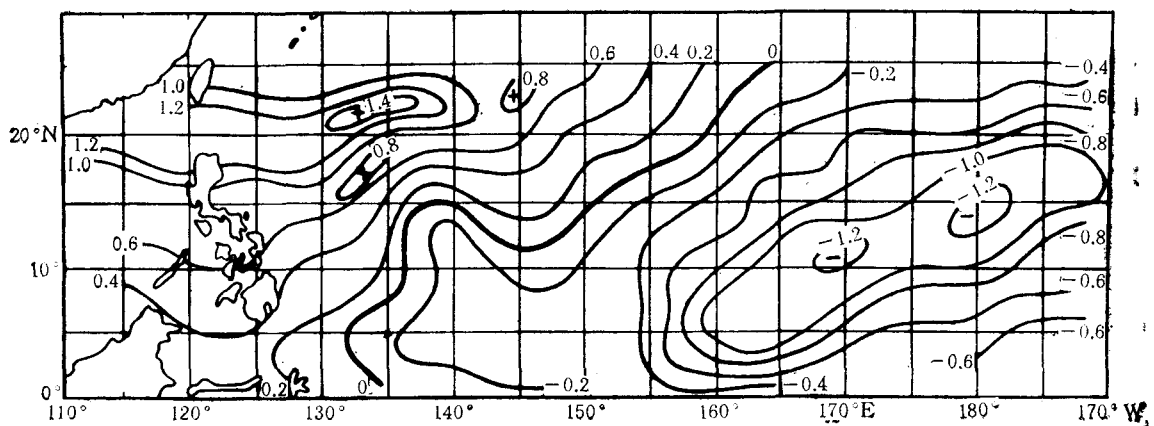


图 3 第二特征向量场

Fig. 3 The second EOF's pattern

可以看出,合成后的 Q_2 第二分量场对总热量交换场的贡献,将使得 El Niño 时期,日界线附近的太平洋赤道地区,海洋向大气放出的热量明显增多,最西部的菲律宾海一带,海洋向大气放出的热量则明显减少。当没有 El Niño 发生时,以上情况恰好相反。

为证实上述计算结果,又做了一些实际情况的合成。这里选用 1964, 1966, 1969 和 1973 年平均的一月份 Q_2 , 来表示 El Niño 发生后期的情况,而用 1963, 1965, 1968 和 1972 年平均的一月份 Q_2 , 来表示 El Niño 发生之前的反 El Niño 情况。图 4 为前者与后者差值图。从图中可以看出,赤道东太平洋发生暖水之后与发生暖水之前相比,西太平洋靠近日界线一带的赤道地区,海洋将更多的热量输送给了大气。而最西部地区,尤其是菲律宾海一带,海洋释放给大气的热量减少。很明显,合成的实际平均分布与计算结果(图 3)是相当吻合的。

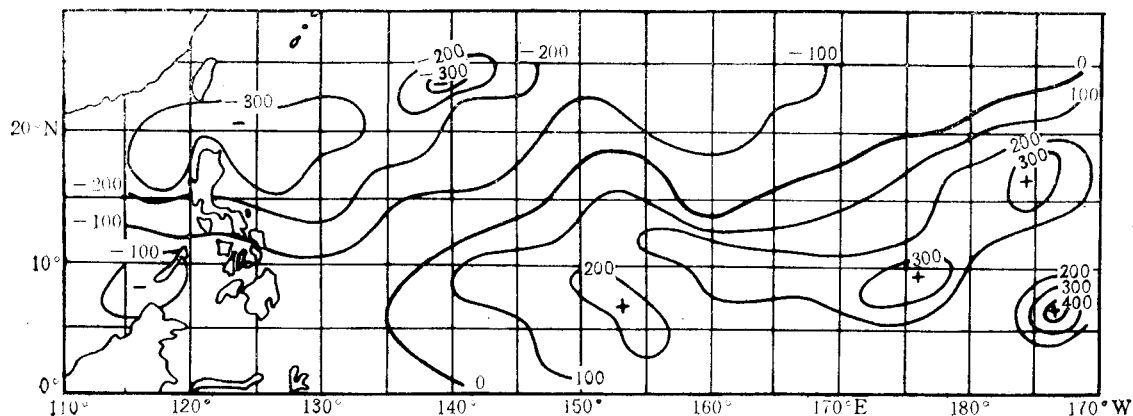


图 4 El Niño 平均 1 月份与非 El Niño 平均 1 月份的 Q_t 差值图

Fig. 4 The difference of Q_t between average El Niño and average non-El Niño for January.

以上分析表明,西太平洋热带海区海-气热交换,确实存在着与 El Niño/SO 非常一致的年际振动。因此我们认为,在 El Niño/SO 尺度上的海洋-气候变化过程中,西太平洋热带海区同样是一个十分敏感的区域。

三、El Niño 时期 Q_t 异常变化的可能原因

本文分析的 Q_t , 是利用块体法计算的,公式中各计算分量如海温、气温、露点、风速和云量在 El Niño 时期的异常变化,必然会影响 Q_t 。另外从动力学角度出发,大洋混合层的扰动、洋流的平流输送以及海洋上层热含量等因子,也都会影响 Q_t 。下面根据已有的几个事实,分析一下 Q_t 异常变化的可能原因。

1. 海洋热状况的异常变化

在世界各大洋中,西太平洋是单位水体含热量最多的区域,它象一个巨大的“热库”,源源不断地将能量以一定的方式提供给大气。由于西太平洋表层水温的背景温度高,这一地区的海温在 El Niño 发生时,其异常变化不十分显著。但近年来的研究表明,尽管西太平洋热带地区表层水温年变化不大,但其年际变化仍然是十分明显的。Weare^[7] 根据各次 El Niño 的合成情况指出,当东太平洋水温在 El Niño 期间达到最高时,150°E 以西地区的海温出现零点几度的降低。Masuzawa 等也观测到,西太平洋 137°E 断面上的赤道区域,0—100 m 左右深度上的海水在 El Niño 后期变冷^[5]。而对于赤道太平洋日界线附近的区域,已有大量研究事实证明,那里的水温在 El Niño 时期异常升高。这些结果与该地区观测到的大洋混合层热含量的变化是相当吻合的。研究表明,赤道太平洋西部的温跃层在 El Niño 后期变薄,混合层热含量减少,而大洋中部日界线一带,温跃层变厚,混合层热含量增加,原位于赤道太平洋西部的最大热含量,也相应移到了中太平洋地区^[4]。另外,有人在对太平洋 130° 至 180°E、赤道至 30°N 区域的研究中,也发现了类似的变化特征。

很明显,海洋中热量储存的异常变化,一定会影响到海-气界面的热量交换。海洋中热量储存越多,它释放给大气的热量也就越多,反之则越少。由此可以认为,El Niño 时

期热带太平洋西部海水温度降低、混合层热含量减少,而日界线附近海水温度升高、混合层热含量增加。这种大洋中热状况的异常分布,正是我们所讨论区域上 Q , 在这一时期发生异常变化的可能原因之一。

2. 海面风场的异常变化

在我们讨论上述原因时,有一点还应注意,在热带海洋上,水温高的区域并不一定就是海洋释放热量最多的区域。这是因为,在海洋和大气之间进行的所有热交换形式中,潜热交换所占比重最大,它约占海面总热量的 $\frac{2}{3}$ 。而由计算公式,潜热输送的多寡,又主

要受风的影响。通常,当海面扰动气流增强时,水汽的辐合也必然增强,从而有更多的潜热释放到大气中。因此,热带海洋上近海面扰动气流的异常变化,也会影响海面的热量交换。

事实上,热带太平洋大尺度风场的异常变化,正是 El Niño 最显著的特征之一。在这个时期,太平洋上的信风系统减弱,赤道西太平洋出现西风。与此同时,整个热带太平洋海面风的散度场也发生了很明显的异常变化。Rasmusson 等对热带太平洋降水资料的分析可证明这一点。他们的结果表明,El Niño 时期西太平洋印尼和菲律宾一带,降水为负距平,有些地方这种趋势甚至可持续一年以上,但是中太平洋和东太平洋的降水在这一时期却明显增多^[6]。由于大尺度的降水形势是由大尺度的环流系统所决定的,因此可以推测,El Niño 时期西太平洋印尼和菲律宾一带近海面气流扰动辐合减弱,而中太平洋和东太平洋气流扰动辐合增强,这与西太平洋同期出现气压升高、海水温度降低,以及 Rasmusson 等分析的中太平洋日界线附近同期海面风场辐合增强的事实是吻合的^[6]。另外,陈烈庭计算得到的 El Niño 时期热带太平洋 180° 附近气流上升、125°E 以西气流下沉的结果也可证实这种环流异常的存在^[2]。

综合以上所讨论的海洋热状况和海面风场概况可以推测,El Niño 发生时期,我们讨论区域日界线附近海洋向大气输送热量明显增多的现象,很有可能是该地区同期海水温度显著升高、海洋上层热含量增加、海面气流扰动辐合增强所引起的。而西部菲律宾海一带海洋向大气输送热量减少,则是由于那里同期海水温度降低、海洋上层热含量减少、海面气流扰动辐合减弱所造成的。研究表明,一般在 El Niño 发生后期,西太平洋台风减少^[3]。我们的结果与此观测事实是一致的,因为前面提到的,El Niño 期间海洋向大气释放热量减少最多的区域,恰在西太平洋台风生成频率最大的菲律宾海一带。因此,本文的计算结果,可以部分解释西太平洋台风在 El Niño 后期减少的原因。高海面温度和强低空扰动,是台风生成的必要条件之一,而热带太平洋西部正是水温高、大气扰动最为活跃的区域。但是,当 El Niño 发生后,由于该海域大气和海洋的状况出现异常变化,使得台风生成与发展所必需的海面热量输送和扰动能量都随之减少,这样便抑制了台风的生长。由此可以看出,西太平洋热带地区海-气热量交换的年际振动以及热交换在 El Niño 时期所特有的异常分布,对一些气候因子是有一定影响的。

以上讨论了影响西太平洋热带区域海洋和大气间热量交换异常变化的可能原因。但是,事实上还会有其它一些因子参与这种热交换的年际振动。这众多的因子中究竟哪些起主导作用,目前仍不十分清楚。另外,在大洋热带区域,混合层中的热含量如何影响表

层水温,进而影响海面热交换,其热力过程和动力过程是怎样的;热含量的异常变化在何种条件下可造成海面热交换较大的异常变化;在热带太平洋西部,是什么原因造成了该地区海水温度降低、混合层热含量减少等,这些问题也都有待于进一步去研究。而这些工作对研究海-气系统的热量平衡及其对气候的影响,是非常有意义的。

四、结 论

西太平洋热带地区的海-气热量交换同赤道太平洋东部一样,也存在着十分明显的年际振动,而这种振动与 El Niño/SO 关系密切。在 El Niño 时期,该区域最西部,尤其是菲律宾海一带,海洋释放给大气的热量减少;而在该区域靠近日界线一带,尤其是赤道附近,海洋向外释放的热量明显增多。通过对已有的观测事实的分析,文章认为这种在 El Niño 时期出现的热量交换的异常分布,是由该时期海洋和大气中所出现的异常背景场所造成的,并且这些异常现象的出现,无疑会对气候产生一定的影响。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院海洋研究所物理室气象组, 1984。北太平洋西部逐月海气热交换资料集, 科学出版社, 1—602。
- [2] 陈烈庭, 1977。赤道海温异常对我国汛期降水的影响。大气科学 1(1): 1—12。
- [3] Donguy, J. R., 1982. A climate scenario in the western Pacific associated with El Niño events. *Tropical. Ocean-Atmosphere Newsletter*, 13: 4—5.
- [4] Henin, C. and J. R. Donguy, 1980. Heat content changes within the mixed layer of the equatorial Pacific Ocean. *J. Mar. Res.* 38(4): 767—780.
- [5] Masuzawa, J. and K. Nagasaka, 1975. The 137°E oceanographic section. *J. Mar. Res. (Supp.)* 33: 109—116.
- [6] Rasmusson, E. M. and T. H. Carpenter, 1982. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the southern oscillation/El Niño. *Mon. Wea. Rev.* 110: 354—384.
- [7] Weare, B. C., 1982. El Niño and tropical Pacific Ocean surface temperatures. *J. Phys. Oceanogr.* 12(1): 17—27.
- [8] Weare, B. C., 1984. Interannual moisture variations near the surface of the tropical Pacific Ocean. *Quart. J. R. Met. Soc.* 110: 489—504.
- [9] Wyrski, K., 1982. The southern oscillation, Ocean-Atmosphere Interaction and El Niño, *Mar. Technol. Soc. J.* 16(1): 3—10.

HEAT BUDGET AT THE SURFACE OF THE WESTERN TROPICAL PACIFIC OCEAN AND El Niño*

Yu Yanling

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao*)

ABSTRACT

The method of empirical orthogonal functions (EOF) is used to analyze the interannual variations of heat budget at the surface of the western tropical Pacific Ocean during the period of 1961—1974. The computational time coefficient, corresponding to the second eigenvector, has an obviously large interannual oscillation. This result indicates that there is a close relationship between variations in a large-scale pattern of heat flux at the surface of western tropical Pacific Ocean and the El Niño-SO phenomenon. In general, during El Niño, the heat transports from the ocean to the air increase in the central part of the ocean and decrease in the west. But during non-El Niño, the distribution above is just opposite. It is suggested to relate these unusual variations of heat flux to those changes of winds, sea surface temperatures and heat content in this area.

* Contribution No. 1446 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.