

# El Niño-La Niña 循环的海-气耦合机制研究\*

马开玉 泮益农

李骥

(南京大学大气科学系,南京,210008)

(国家气候中心,北京,100081)

## 摘 要

利用 1950—1987 年  $2^\circ \times 2^\circ$  格点综合海-气资料 (COADS), 计算了赤道太平洋洋面 ( $5^\circ\text{S}—3^\circ\text{N}$ ) 上逐月平均海温、气压、纬向风、比湿、云以及热量收支各分量的平均值和距平值, 分析这些量的演变特征, 得出: El Niño 过程中, 赤道太平洋洋面上气压梯度减小, 东风减弱; 赤道中、东太平洋洋面上空气中水汽和云量增加, 洋面射入太阳辐射和有效长波辐射减少, 感热和潜热交换加强, 洋面净获得 (损失) 热量减少 (增加); La Niña 过程中, 情形相反。最后概括了 El Niño-La Niña 循环的两种海-气耦合反馈机制。

**关键词:** El Niño-La Niña 循环, 海-气耦合, 赤道太平洋。

## 1 引言

海洋和大气通过海-气间的相互耦合在多种时间尺度的气候变化中起着关键性作用。El Niño 循环是热带地区海-气相互影响最明显的现象, 它的发生会引起严重的气候异常, 在世界一些地区造成严重的旱、涝与低温冷害。因此各国气象学家和海洋学家非常重视这一现象发生规律及其物理机制的研究, 为将来对这一现象和气候灾害的预测提供可靠的信息和物理依据。

Bjerknes<sup>[1]</sup>(1966) 首先提出赤道东太平洋和中太平洋东风减弱和暂时消失会引起那里海水上翻减弱, 造成海表温度异常升高, 形成 El Niño。McCreary<sup>[2,3]</sup>(1983, 1984) 认为 El Niño 现象是赤道暖 Kelvin 波向东传播和暖 Rossby 波向西反射的结果。符宗斌等<sup>[4]</sup>(1986) 和蒲书箴等<sup>[5]</sup>(1987) 认为 El Niño 的发生与西太平洋暖池地区的海洋变异现象有关。Schopf 等<sup>[6]</sup>(1988) 提出的包括 Kelvin 和 Rossby 波传播的不稳定海-气相互作用 El-Niño 循环机制也受到广泛重视。

在海-气热交换方面, 马开玉等<sup>[7]</sup>(1993) 计算了两个 El Niño 和 La Niña 期间热带太平洋洋面的热量收支, 得出 El Niño 期间赤道中、东太平洋洋面净获得 (损失) 热量减少 (增加), La Niña 期间净获得 (损失) 热量增加 (减少)。

由于可能影响 El Niño 现象的因素很多, 也很复杂, 关于它的物理机制虽然已取得一些重要的研究成果, 但未完全弄清。本文对赤道太平洋洋面上温、压、风、湿、云以及热量收支各分量进行了综合研究, 试图从观测事实方面揭示 El Niño 循环的海-气耦合机制。

\* 1993 年 5 月 31 日收到原稿, 1993 年 11 月 29 日收到修改稿。

## 2 资料与方法

本文所用资料取自  $2^\circ \times 2^\circ$  格点综合海-气资料集(COADS)。首先根据附表,利用 1950 年 1 月至 1987 年 12 月赤道太平洋面( $11^\circ\text{S} - 11^\circ\text{N}, 120^\circ\text{E} - 80^\circ\text{W}$ )海温资料,计算历次 El Niño 和 La Niña 期间平均温度差(图 1),然后在温度差值最大的赤道洋面( $5^\circ\text{S} - 3^\circ\text{N}$ )上计算逐月平均温度、气压、纬向风、比湿、云及洋面热量收支各分量的平均值和距平值,分析这些量的演变特征。

附表 历次 El Niño 和 La Niña 事件<sup>[10]</sup>

El Niño			La Niña		
起迄年·月	最大月平均 温度距平	月平均温度距平 >1℃的月数	起迄年·月	最大月平均 温度距平	月平均温度距平 <-1℃的月数
1951. 8—1952. 4	0.9	0			
1953. 4—1953. 10	0.7	0	1954. 6—1956. 7	-1.6	3
1957. 4—1958. 8	1.2	5			
1963. 7—1964. 1	0.9	0	1964. 4—1964. 12	-1.0	2
1965. 5—1966. 3	1.5	5	1967. 7—1968. 6	-1.5	3
1968. 10—1970. 1	1.1	2	1970. 8—1971. 12	-1.1	2
1972. 6—1973. 3	1.9	6	1973. 9—1975. 1	-1.5	4
1976. 6—1977. 3	1.1	1	1975. 5—1976. 3	-1.3	4
1982. 9—1983. 9	1.9	9	1984. 10—1985. 9	-0.7	0
1986. 10—1988. 3	1.5	8			

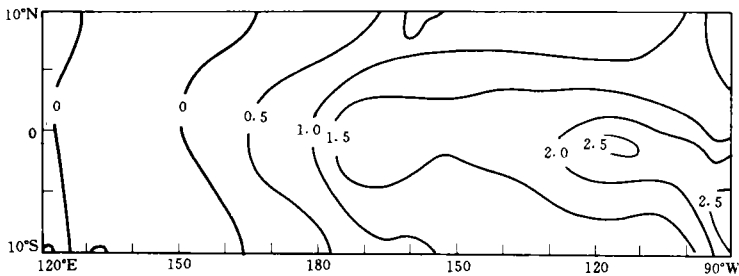


图 1 El Niño 和 La Niña 期间平均海面温度差的分布(C)

洋面射入太阳辐射、潜热、感热、有效长波辐射通量及热量收支项分别按下列公式计算:

$$Q_s = Q_0 [1 - (a + bn)n] (1 - r) \tag{1}$$

$$Q_e = \rho C_D L (q_s - q_a) V \tag{2}$$

$$Q_c = \rho C_D C_p (T_s - T_a) V \tag{3}$$

$$Q_L = \epsilon \sigma T_a^4 (0.39 - 0.056 \sqrt{q_a}) (1 - kn^2) + 4\epsilon \sigma T_a^3 (T_s - T_a) \tag{4}$$

$$Q_b = Q_s - (Q_e + Q_c + Q_L) \tag{5}$$

式中  $Q_0$  为碧空时到达洋面的太阳辐射通量月平均值,  $b = 0.38$ ,  $a$  是随纬度变化的参数

数,  $r$  是洋面对太阳辐射的反射率, 随纬度和季节变化,  $n$  为云量以分数表示,  $\rho = 1.175 \text{ kgm}^{-3}$  为空气密度,  $C_D$  为拖曳系数, 其值与风速和海-气温差有关, 取值按文献[8],  $C_p = 1.0048 \text{ Jg}^{-1}\text{K}^{-1}$  为空气定压比热,  $L = 2.4981 \times 10^3 \text{ Jg}^{-1}$  为蒸发潜热,  $T_a$  和  $T_s$  为洋面气温和海温以  $k$  为单位,  $q_a$  和  $q_s$  为洋面空气比湿和对应于海温  $T_s$  的空气饱和比湿, 以  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  为单位,  $V$  为洋面风速以  $\text{ms}^{-1}$  为单位,  $\epsilon$  为洋面辐射率取单位 1,  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$  为 Stefan-Boltzman 常数,  $k$  是随纬度变化的参数。 $Q_0, r, a$  和  $k$  都按文献[9]取值。

海洋和大气是通过动力、热力和水文过程相互耦合的, 各种过程有多种空间和时间尺度, 相互联系又相互影响, 因此这里计算和分析的每一个量也是多种空间和时间尺度的海-气相互耦合作用的结果。

### 3 洋面温度

赤道太平洋洋面温度分布最明显的特点是赤道东太平洋为冷水区, 赤道西太平洋为暖水区。在北半球秋季, 冷水区温度下降到一年中的最低值  $22^\circ\text{C}$  甚至  $20^\circ\text{C}$ 。暖水区温度达  $29^\circ\text{C}$ , 最高  $30^\circ\text{C}$  以上。图 2 是赤道中太平洋(180—170°W)和东太平洋(120—110°W)洋面月平均温度距平演变曲线图。

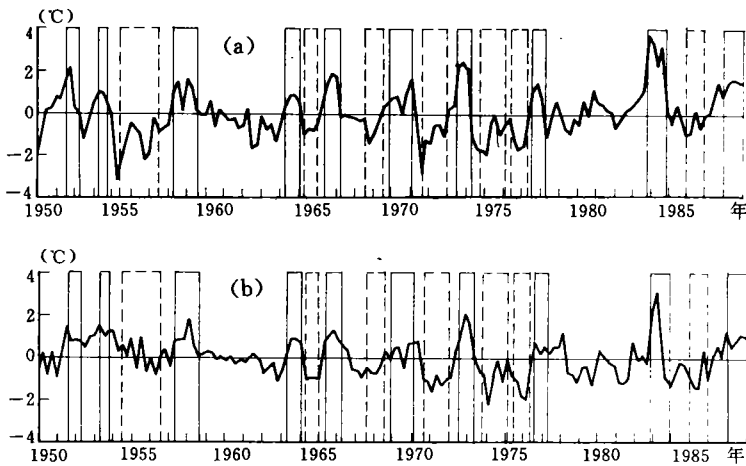


图 2 赤道中太平洋(180—170°W)和东太平洋(120—110°W)洋面月平均温度距平演变曲线 (a, 东太平洋, b, 中太平洋; 实线矩形表示 El Niño 期间, 虚线矩形表示 La Niña 期间)

从图上可以清楚地看到 3—7 年的 El Niño-La Niña 循环。1982—1983 年的 El Niño 最强, 赤道东太平洋最大月平均温度距平达  $3.7^\circ\text{C}$ , 其次是 1972—1973 年的 El Niño, 最大温度距平为  $2.5^\circ\text{C}$ 。1954—1956 年的 La Niña 持续时间最长为 26 个月, 主要发生在赤道东太平洋, 最大降温  $2.5^\circ\text{C}$ 。1973—1975 和 1975—1976 年连续发生两个 La Niña 事件, 洋面降温都很明显。

## 4 洋面气压和纬向风

### 4.1 气压

赤道太平洋洋面气压的分布呈东高西低的特点,东西相差 $5-9\text{hPa}$ ,气压梯度弱。El Niño 发生前 $3-6$ 个月到 El Niño 期间,赤道中、东太平洋洋面气压逐渐下降,正距平逐渐减弱变成负距平,El Niño 后期负距平逐渐减弱。在赤道西太平洋,El Niño 发生前 $3-6$ 个月到 El Niño 期间,洋面气压逐渐上升,负距平减弱逐渐变为正距平,El Niño 后期正距平逐渐减弱。1982—1983 年 El Niño 发生前,从 1980 年秋季赤道东太平洋面气压一直在常年平均值以下摆动,El Niño 期间气压下降最大达 $3.2\text{hPa}$ ;赤道西太平洋洋面从 1981 年底气压一直在常年平均值以上摆动,El Niña 期间最大正距平达 $2.8\text{hPa}$ 。La Niña 发生前到 La Niña 期间,情形相反。图 3(a)是赤道东太平洋( $120-110^\circ\text{W}$ )洋面月平均气压距平与赤道西太平洋( $150-160^\circ\text{E}$ )洋面月平均气压距平之差的演变曲线图。可以看出,El Niño 发生前赤道洋面气压梯度逐渐减小,El Niño 期间出现最小值;La Niña 发生前到 La Niña 期间,情形相反。1982—1983 年 El Niño 期间,赤道东、西太平洋洋面气压距平之差最大达到 $-6.0\text{hPa}$ 。

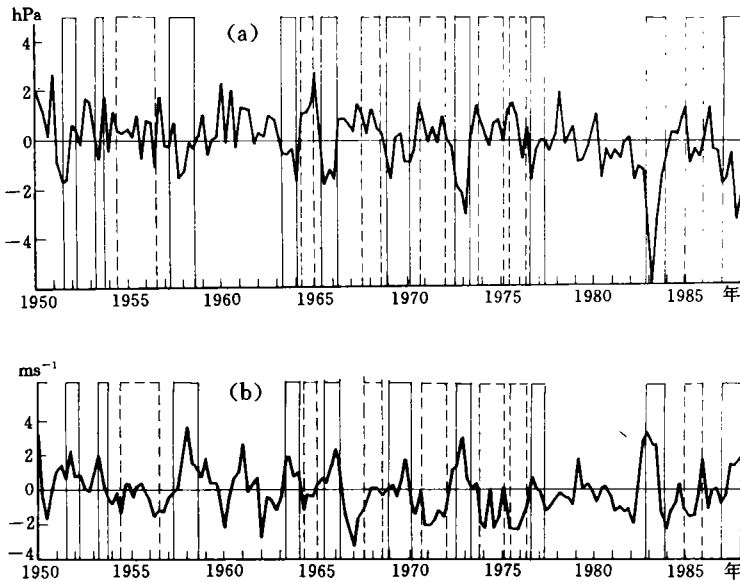


图 3 赤道东太平洋( $120-110^\circ\text{W}$ )与西太平洋( $150-160^\circ\text{E}$ )洋面气压距平之差演变曲线(a)和赤道中太平洋( $180-170^\circ\text{W}$ )洋面纬向风速距平演变曲线(b)(说明同图 2)

### 4.2 纬向风

赤道地区是信风区,风向和风速有明显的季节变化和年际变化。在北半球冬季,赤道西太平洋地区出现季节性西风分量;在北半球夏季,赤道东太平洋地区出现季节性西风分量,其强度和范围比赤道西太平洋西风要小得多。一般 El Niño 发生前 $3-6$ 个月到 El Niño 期间,赤道太平洋洋面西风逐渐增强,风速距平由负变正,El Niño 后期西风逐渐减

弱,风速距平由正变负。1982—1983 年 El Niño 事件最为明显,El Niño 期间赤道西太平洋洋暖池地区西风风速距平最大达  $4.8\text{ms}^{-1}$ 。1957—1958 年和 1972—1973 年 El Niño 期间,赤道中太平洋洋面西风风速距平最大  $3.8\text{ms}^{-1}$ 。La Niña 发生前到 La Niña 期间,东风逐渐增强,纬向风出现负距平,La Niña 后期东风减弱,风速距平逐渐由负变正。图 3b 是赤道中太平洋(180—170°W)洋面纬向风速距平演变曲线图。

### 5 洋面空气比湿和云

水文过程是海-气耦合过程中重要的物理过程,云和洋面空气比湿是反映这一过程的关键要素。

#### 5.1 比湿

海洋不断地蒸发是气候水分循环中水汽的主要来源。赤道太平洋洋面空气中水汽含量的分布与洋面温度有密切的关系,呈西高东低的特点,有明显的季和年际变化,在西部暖水区的变化比东部冷水区小。这是由于东部冷水区洋面温度变化较大的缘故。

赤道太平洋洋面空气比湿的变化与洋面温度变化有正响应关系,温度升高,蒸发加强,因而空气比湿增加。El Niño 发生前到 El Niño 期间,赤道中、东太平洋洋面空气比湿逐渐增加,由负距平变为正距平,El Niño 后期空气比湿逐渐减小。1982—1983 年 El Niño 期间赤道东太平洋地区比湿距平最大达  $3.6\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。La Niña 发生前到 La Niña 期间,情形相反。1973—1975 年 La Niña 发生前整个赤道太平洋洋面空气比湿从 1972—1973 年 El Niño 后期开始下降,到 La Niña 期间赤道中太平洋地区比湿负距平达  $-2.7\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。图 4a 是赤道东太平洋(120—110°W)洋面比湿距平演变曲线图。

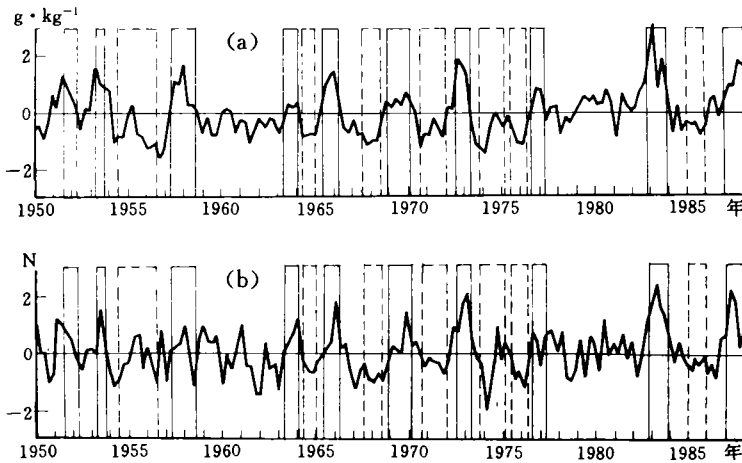


图 4 赤道东太平洋(120—110°W)洋面比湿距平演变曲线(a)和赤道中太平洋(180—170°W)地区云量距平(全天有云取为 10)演变曲线(b)(说明同图 2)

## 5.2 云

云的形成是一个很复杂的大气物理过程,云量的变化可以反映一个地区降水量的变化。赤道太平洋上空云的分布也具有西高东低的特点。由于云距离洋面较高,在海-气耦合过程中比洋面空气比湿更多地受到大气环流等大气中各种物理过程的影响,因此云量的变化与洋面温度的关系更为复杂。

一般说来,从 El Niño 发生前到 El Niño 期间,赤道中、东太平洋地区云量逐渐增加,由负距平变为正距平,尤其在赤道中太平洋地区云量变化最为明显。1982—1983 年 El Niño 发生前赤道中、东太平洋地区云量逐渐增加,1982 年夏季出现正距平,到 1983 年春夏季节赤道中太平洋地区云量正距平达到最大值 2.8。1972—1973 年和 1986—1988 年 El Niño 期间,云量最大正距平都达到 2.5。La Niña 的情形相反。1973—1975 年 La Niña 发生前赤道中、东太平洋地区云量从 1972—1973 年 El Niño 后期开始减少,1973 年夏季出现负距平,到 1974 年初负距平达 -2.1。图 4b 是赤道中太平洋地区(180—170°W)月平均云量距平演变曲线。从图中我们可以看到,在一些 El Niño 事件中个别月份出现云量负距平,在一些 La Niña 事件中个别月份出现云量正距平。这可以解释为一方面是由于在海-气耦合过程中,大气系统内部调节作用的结果;另一方面在 El Niño 和 La Niña 期间,洋面升温和降温的程度也在变化的缘故。

## 6 洋面热交换

洋面热交换是海-气耦合过程中的重要物理过程。热带海洋从太阳获得的热量一部分通过感热、潜热和长波辐射交换影响热带大气,一部分随洋流向高纬输送,释放大气中,影响大气环流和各种物理过程。海洋向大气释放热量受洋面温度的影响也影响着洋面温度。

### 6.1 射入太阳辐射

根据式(1),洋面射入太阳辐射受晴空时到达洋面的总辐射  $Q_0$ , 参数  $a$ , 洋面反射率  $r$  和云量  $n$  的影响。由于  $a$  随纬度变化,  $Q_0$  和  $r$  随纬度和季节变化, 因此洋面月平均射入太阳辐射通量距平的演变主要反映了云的影响(演变曲线图略)。

赤道太平洋洋面月平均射入太阳辐射通量距平一般在 -50 到  $50\text{Wm}^{-2}$ , 变化情形与云量相反。从 El Niño 发生前到 El Niño 期间, 赤道中、东太平洋洋面, 尤其是赤道中太平洋洋面射入太阳辐射逐渐减少, 由正距平变为负距平。1972—1973, 1982—1983 和 1986—1988 年 El Niño 期间, 赤道中太平洋洋面最大负距平都超过  $-45\text{Wm}^{-2}$ 。这是由于洋面温度升高时, 蒸发加强, 大气中水汽含量和对流不稳定增加, 引起云量增加和太阳辐射减少。La Niña 的情形相反。

### 6.2 有效长波辐射

赤道洋面不断地向大气发射长波辐射, 辐射通量一般在  $60\text{--}70\text{Wm}^{-2}$ 。影响洋面有效长波辐射的主要因子有比湿、云量、气温和海-气温差, 因此在海-气相互耦合作用下, 有效长波辐射和洋面温度变化的响应关系是复杂的。其距平变化不大, 一般为 -5 到  $5\text{Wm}^{-2}$ , 仅为射入太阳辐射通量距平的 1/10。

一般说来, 从 La Niña 到 El Niño, 赤道中、东太平洋洋面有效长波辐射逐渐减少, 通

量距平由正变负;从 El Niño 到 La Niña,情形相反。1972—1973 年和 1982—1983 年 El Niño 期间,赤道中、东太平洋洋面都出现大范围有效长波辐射负距平。1954—1956 年和 1973—1975 年 La Niña 期间,赤道中、东太平洋洋面都出现大范围正距平。这是由于洋面温度升高时蒸发加强、空气比湿和云量增加,因而洋面有效长波辐射减少;洋面温度降低时,蒸发减弱,空气比湿和云量减少,因而洋面有效长波辐射增加。图 5a 是赤道东太平洋(120—110°W)洋面有效长波辐射通量距平演变曲线图。

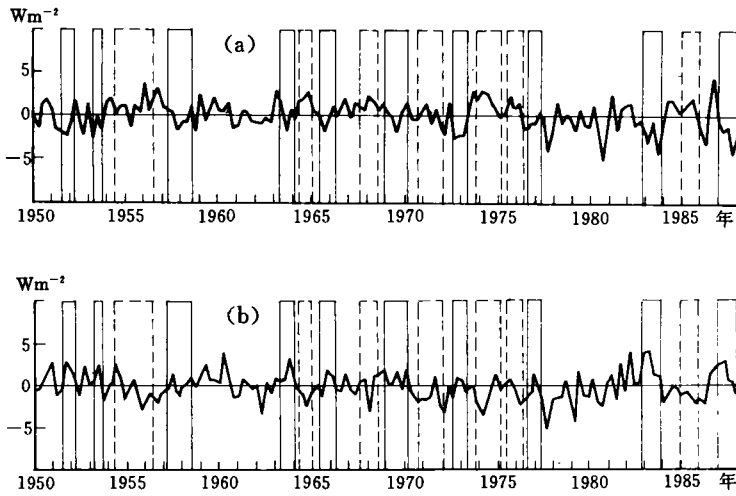


图 5 赤道东太平洋(120—110°W)洋面有效长波辐射通量距平和感热交换通量距平演变曲线图  
(a,有效长波辐射;b,感热。说明同图 2)

### 6.3 感热

洋面感热交换与海-气温差和风速有关。赤道洋面海-气温差和风速较小,感热通量也较小。在海-气热交换中,感热最弱,其通量在赤道太平洋面一般为 0 到  $10\text{Wm}^{-2}$ ,距平值在  $-5$  到  $5\text{Wm}^{-2}$ 。

与有效长波辐射的情形相反,一般说来,感热通量距平和洋面温度有正响应关系。从 La Niña 到 El Niño,赤道中、东太平洋洋面感热交换加强,通量增加,距平由负变为正;从 El Niño 到 La Niña,情形相反。1982—1983 年 El Niño 发生前从 1981 年秋季赤道东太平洋洋面感热通量一直在平均值以上摆动,El Niño 期间整个赤道太平洋洋面几乎都为正距平,东太平洋洋面最大正距平达到  $9\text{Wm}^{-2}$ 。图 5b 是赤道东太平洋((120—110°W)洋面感热通量距平演变曲线图。

### 6.4 潜热

潜热是热带海洋向大气输送热量的最大项,通量一般在  $90$ — $140\text{Wm}^{-2}$ ,超过有效长波辐射和感热通量之和。影响潜热交换的主要因子是风和海面比湿的垂直梯度。而比湿的垂直梯度与海-气温差有密切的关系。

赤道太平洋洋面潜热通量距平一般为  $-50$  到  $50\text{Wm}^{-2}$ ,与洋面射入太阳辐射能量距

平相当。El Niño 发生前赤道中、东太平洋洋面潜热交换逐渐加强, El Niño 期间有明显的正距平, El Niño 后期逐渐减弱, 尤其是东太平洋洋面。1982—1983 年 El Niño 期间, 赤道东太平洋 130°W 附近最大潜热通量距平达  $75\text{Wm}^{-2}$ 。从 El Niño 到 La Niña 情形相反, 赤道中、东太平洋洋面潜热交换又逐渐减弱, 正距平逐渐变成负距平。1970—1971 年和 1975—1976 年 La Niña 期间, 赤道东太平洋洋面最大负距平都超过  $-45\text{Wm}^{-2}$ 。这是由于 El Niño 和 La Niña 期间, 海—气温差变化大, 影响洋面空气比湿垂直梯度的结果。图 6a 是赤道东太平洋(120—110°W)洋面月平均潜热通量距平演变曲线图。

### 6.5 热量净收支

洋面热量净收支取决于洋面射入的太阳辐射和释放的总热量。射入太阳辐射和潜热通量是赤道洋面海—气热交换中两个最大项, 距平变化也最大, 有效长波辐射和感热通量距平较小, 且变化符号有相反的情形。因此赤道洋面热量收支距平主要反映了射入太阳辐射和潜热通量距平。图 6b 是赤道东太平洋(120—110°W)洋面热量净收支距平演变曲线。

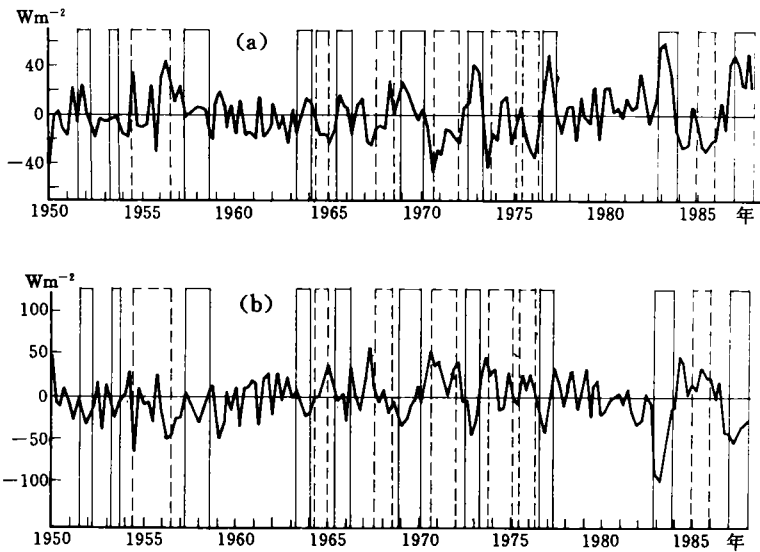


图 6 赤道东太平洋(120—110°W)洋面月平均潜热通量距平演变曲线和净热量收支距平演变曲线图

(a, 潜热, b, 净热量收支, 说明同图 2)

赤道太平洋洋面热量净收支距平一般在  $-60$  到  $60\text{Wm}^{-2}$ 。El Niño 发生前到 El Niño 期间, 赤道中、东太平洋洋面净获得(损失)热量逐渐减少(增加), 正距平逐渐减弱变为负距平, El Niño 后期负距平逐渐减弱。1982—1983 年 El Niño 期间最为典型, 赤道东太平洋和中太平洋洋面热量净收支最大负距平分别达到  $-100$  和  $-80\text{Wm}^{-2}$ 。这主要由于洋面射入太阳辐射减少和释放潜热增加的缘故。La Niña 的情形相反。

## 7 两种反馈机制



根据上面计算的结果和分析,El Niño 过程中,赤道太平洋洋面上气压梯度减小,信风减弱,赤道中、东太平洋洋面上感热和潜热交换加强,空气中水汽含量和云量增加,洋面有效长波辐射和射入太阳辐射减少,净获得(损失)热量减少(增加);La Niña 过程中,情形相反。因此,我们可以概括 El Niño-La Niña 循环的海-气耦合反馈机制如下:

当赤道太平洋洋面上气压梯度和信风减弱时,引起西太平洋暖水向东扩展,赤道东太平洋冷水上翻减弱,因而洋面温度升高;冷水区海温的升高进一步使气压梯度和信风减弱,加强暖水的向东扩展和抑制冷水区海水上翻,使赤道东太平洋海面温度异常升高,形成 El Niño。反之,当赤道太平洋洋面上气压梯度和信风增强时,西太平洋暖水区收缩,东太平洋冷水上翻加强和海面温度降低;冷水区海面温度的降低进一步使气压梯度和信风增强,暖水区收缩和冷水区海水上翻加强,引起赤道东太平洋海面温度异常降低,形成 La Niña。这是 El Niño-La Niña 循环中的一种正反馈机制。另一方面,El Niño 过程中,赤道中、东太平洋洋面海面温度升高,会引起洋面感热和潜热交换加强,空气中水汽和云量增加,洋面有效长波辐射和射入太阳辐射减少,结果洋面净获得(损失)热量减少(增加),使洋面温度下降,有利于 La Niña 的形成;La Niña 过程中,赤道中、东太平洋洋面温度降低会引起感热和潜热交换减弱,空气中水汽和云量减少,洋面有效长波辐射和射入太阳辐射增加,结果洋面净获得(损失)热量增加(减少),使洋面温度上升,有利于 El Niño 的形成。这是一种负反馈机制。在热带太平洋面海-气耦合过程中,这两种正反馈和负反馈机制相互影响,相互制约,促成了 El Niño-La Niña 循环。图 7 是这两种反馈机制概念图。

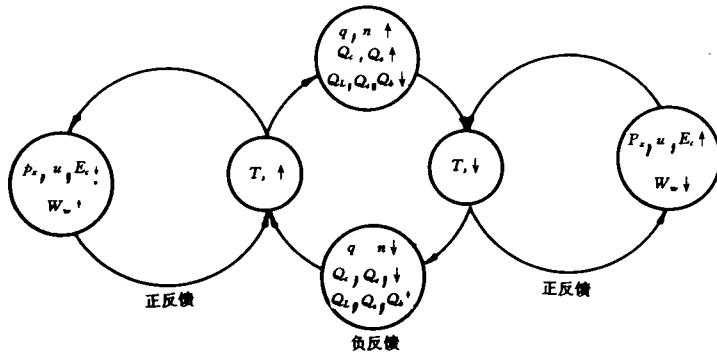


图 7 El Niño-La Niña 循环中两种反馈机制概念图

• ( $p_x, u, w_w$  和  $E_e$  分别表示赤道太平洋洋面上纬向气压梯度,西风风速,西部暖水和东部冷水,  $\uparrow$  表示增加,加强或暖水向东扩展或冷水上翻加强,  $\downarrow$  表示减弱,减少或暖水向西收缩或冷水上翻减弱)

### 8 结论

现在可以得到以下两点结论:

(1) El Niño 过程中,赤道太平洋洋面上气压梯度减小,信风减弱,赤道中、东太平洋洋面上感热和潜热交换加强,空气中水汽含量和云量增加,洋面有效长波辐射和射入太阳辐射减少,洋面净获得(损失)热量减少(增加);La Niña 过程中,情形相反。

(2) 在热带太平洋洋面海-气耦合过程中,两种包括动力过程、热力过程和水文过程的正反馈和负反馈机制相互影响,相互制约,促成了 El Niño-La Niña 循环。

### 参考文献

- [ 1 ] Bjerknes J . A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature. *Tellus* . 1966. 18: 820—829.
- [ 2 ] McCreary J P. A model of tropical ocean-atmosphere interaction. *Mon Wea Rev.* 1983. 111: 370—387.
- [ 3 ] McCreary J P and Anderson D L T. A simple model of El Niño and the Southern Oscillation . *Mon Wea Rev.* 1984. 112: 934—946.
- [ 4 ] Fu C et al. Characteristics of the response of sea surface temperature in the central Pacific associated with warm episodes of the Southern Oscillation. *Mon Wea Rev.* 1986. 114: 1716—1738.
- [ 5 ] 蒲书箴, 徐洪达. 热带西太平洋水温对厄尔尼诺的响应. *海洋学报*. 1987. 9: 262—266.
- [ 6 ] Schopf P S and Suarez M J. Vacillations in coupled ocean-atmosphere model. *J Atmos Sci.* 1988. 45: 549—566.
- [ 7 ] Ma Kaiyu, et al. Study on air-sea heat exchange mechanism in El Niño and La Niña events. *Acta Meteorologica Sinica.* 1993. 7 (1).
- [ 8 ] Bunker A. Computation of surface energy flux and annual air-sea interaction cycles of the North Atlantic Ocean. *Mon Wea Rev.* 1976. 104: 1121—1140.
- [ 9 ] Budyko M I. *Climate and Life*. Academic Press. 1974.
- [ 10 ] ENSO 监测组. El Niño 事件的分类指标. *气象*. 1989. 15: 37—38.

## MECHANISM STUDY OF EL NINO-LA NINA CYCLE IN THE COUPLED AIR-SEA SYSTEM

Ma Kaiyu Pan Yinong

(*Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, 210008*)

Li Ji

(*National Climate Center, Beijing, 100081*)

### Abstract

In this paper,  $2^{\circ} \times 2^{\circ}$  mean monthly COADS grid data from 1950 to 1987 are used to compute the averages and deviations of the temperature, pressure, zonal wind, special humidity, cloud and the components of heat budget on the equatorial Pacific surface ( $5^{\circ}\text{S} - 3^{\circ}\text{N}$ ). In the processes of El Niño, the pressure gradient and trade decreased on the equatorial Pacific surface, the sensible and latent heat exchanges increased, the net longwave radiation and incident solar radiation decreased and the net gain (loss) of heat reduced (increased) on the central and eastern equatorial Pacific surface. In the processes of La Niña the circumstances were opposite. Finally, two feedback mechanisms of El Niño-La Niña cycle which include the dynamic, thermal and hydrological processes in the coupled air-sea system are summarized.

**Key words:** El Niño-La Niña cycle, Air-sea coupling, Equatorial Pacific.