

中东太平洋赤道地区风场 的变化与埃尔尼诺

高士英 王静曙 许淙 薛振和

(国家海洋局海洋环境预报中心)

提 要

本文利用 COADS 资料，对中东太平洋赤道地区 u 、 v 风场与东太平洋赤道地区的海温进行了相关分析。指出，该地区的西风异常对埃尔尼诺的发生起了重要作用。同时也指出，该地区经向风的异常同样对埃尔尼诺的发生起了十分重要的作用。

一、引言

东太平洋赤道地区及其南美沿岸海温大幅度升高的现象称之为埃尔尼诺。Rasmusson^[1] 对6个埃尔尼诺事件进行综合分析，指出了埃尔尼诺发生前东太平洋赤道地区风场的变化特征。Wyrtki^[2] 分析了东南信风与埃尔尼诺的关系，指出埃尔尼诺发生前1—2年，中太平洋出现持续的东风异常，造成暖水在西太平洋堆积，一旦东风减弱后，堆积在西太平洋的暖水流向东太平洋，造成埃尔尼诺发生。Hurlburt^[3] 指出，太平洋赤道地区东风减弱后，激发赤道开尔文波，开尔文波东传在东边界造成海水下沉使埃尔尼诺发生。McCreary^[4] 作了数值实验，发现纬向对称的赤道东风减弱对形成埃尔尼诺是不重要的，只有非对称性的减弱，可以引起越赤道的输送，这时海洋斜温性的减弱不是扩散到强迫区域之外，而是集中在赤道地区，因此对形成埃尔尼诺才是重要的。潘怡航^[5] 和符淙斌等^[6] 曾讨论过东太平洋海温的高低与纬向环流的关系，以及纬向环流与经向环流的相互制约。

本文通过对中东太平洋赤道地区风场与东太平洋海温的相关分析，进一步讨论该地区纬向环流和经向环流与东太平洋海温变化的关系。

二、资料和方法

本文利用了综合海洋大气资料(COADS)，这是一份全球海洋气象资料，全部资料记录在 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 的网格点上。我们计算了 $1950-1979$ 年 $0-10^{\circ}\text{N}, 180-140^{\circ}\text{W}$ ； $0-10^{\circ}\text{S}, 180-140^{\circ}\text{W}$ 地区的 u, v 和 $0-10^{\circ}\text{S}, 180-80^{\circ}\text{W}$ 地区的海温逐月平均值和距平值，做出了风场距平变化的11个月滑动平均曲线。将风场距平序列与东太平洋海温距平序列进行了相关分析。选取 $1951, 1957, 1965, 1969, 1972, 1976$ 年六个埃尔尼诺年进行综合，将某要素在埃尔尼诺发生前一年、发生年和次一年

1986年10月18日收到、1987年6月8日收到再改稿。

的距平值取平均，作为该要素在厄尔尼诺发生过程的平均变化。

1950—1979年东太平洋($0-10^{\circ}\text{S}$, $180-80^{\circ}\text{W}$)海温逐月距平如图1。

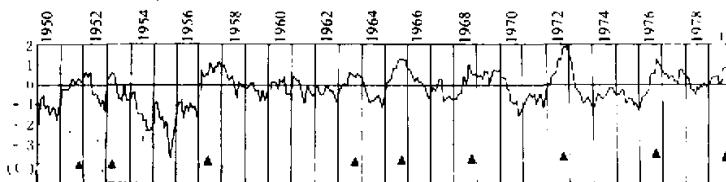


图1 1950—1979年东太平洋($0-10^{\circ}\text{S}$, $180-80^{\circ}\text{W}$)海温月距平的变化

1951—1952, 1953, 1957—1958, 1963, 1965—1966, 1968—1969, 1972—1973, 1976—1977, 1979年东太平洋海温为明显的正距平，这些年定义为厄尔尼诺年。其中1957—1958, 1965—1966, 1972—1973为较强的厄尔尼诺年，其余几次较弱。图2给出了经过6次厄尔尼诺综合的东太平洋海温在厄尔尼诺发生前一年、发生年和次一年的变化。

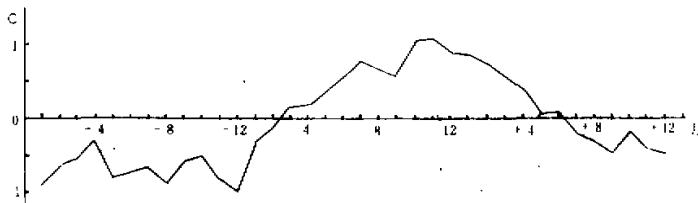


图2 经过6次厄尔尼诺综合的东太平洋海温距平在厄尔尼诺前一年、发生年和次一年的变化

年、发生年和次一年的平均变化。厄尔尼诺发生前一年到发生年的2月，东太平洋海温为持续的负距平。从发生年3月开始，东太平洋海温转为正距平，7月达到第一次峰值，11月份出现第二次峰值。11月以后，正距平逐渐减小，次年6月再次转为负距平，一次厄尔尼诺结束。

三、中东太平洋赤道地区风场的变化

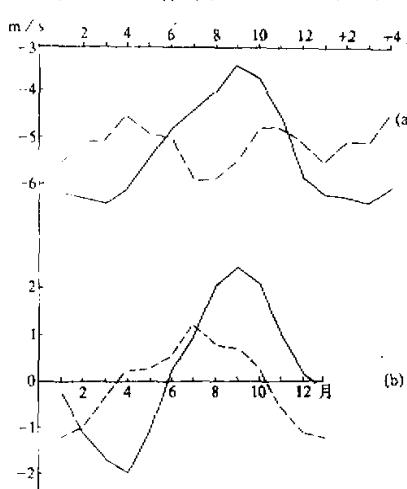
1. 平均变化

图3是中东太平洋赤道地区纬向风和经向风1950—1979年的平均变化。

$0-10^{\circ}\text{N}$, $180-140^{\circ}\text{W}$ 的 u , 3月东风最强, 9月东风最弱。 $0-10^{\circ}\text{S}$, $180-140^{\circ}\text{W}$ 的 u 变化幅度比 $0-10^{\circ}\text{N}$, $180-140^{\circ}\text{W}$ 地区小得多, 7月东风最强, 4月东风最弱, 1月还有一个东风的次最大值。上述两地区纬向风平均变化反映了南北太平洋信风变化的特点, 各自于所在半球的冬季达到极值。 $0-10^{\circ}\text{N}$, $180-140^{\circ}\text{W}$ 的 v 在4月北风最大, 9月南风最大。 $0-10^{\circ}\text{S}$, $180-140^{\circ}\text{W}$ 的 v 在7月份南风最大, 最大北风出现在1月份。赤道以南经向风极值比赤道以北提前2—3个月出现。中东太平洋赤道地区风场的变化特点是, 赤道北侧变化的幅度比赤道南侧大得多, 经向风的变化幅度比纬向风大得多。

2. 纬向风的变化

图 4 a、b 给出了 $0-10^{\circ}\text{N}$, $180-140^{\circ}\text{W}$ 和 $0-10^{\circ}\text{S}$, $180-140^{\circ}\text{W}$ 地区纬向风距平 11 个月的滑动平均曲线。



由图可见, 1951, 1957—1958, 1963, 1965—1966, 1968—1969, 1972—1973, 1976—1977 年的埃尔尼诺年, 赤道两侧均有纬向风异常与之对应, 而在埃尔尼诺发生前一年, 该地区均出现了纬向风负距平即东风异常。

经过 6 次埃尔尼诺的综合后, 得到 $0-10^{\circ}\text{N}$, $180-140^{\circ}\text{W}$ 和 $0-10^{\circ}\text{S}$, $180-140^{\circ}\text{W}$ 纬向风在埃尔尼诺发生过程中的平均变化(图 5). $0-10^{\circ}\text{N}$, $180-140^{\circ}\text{W}$ 的纬向风在埃尔尼诺发生前一年为持续的东风异常。发生年 1—4 月出现第一次西风异常, 5—6 月西风异常减弱, 甚至又变为东风异常, 8—10 月出现第二次西风异常的峰值后, 迅速变为东风异常, 且持续到埃尔尼诺结束。 $0-10^{\circ}\text{S}$, $180-140^{\circ}\text{W}$ 地区纬向风的变化与 $0-10^{\circ}\text{N}$, $180-140^{\circ}\text{W}$ 地区有很大不同, 埃尔尼诺发生前一年该地的东风异常比赤道北侧更强烈, 且一直持续到埃尔尼诺发生年的 2 月, 4—5 月出现西风异常后, 7—8 月份

图 3 1950—1979 年中东太平洋赤道地区纬向风(a)和经向风(b)的平均变化
实线表示 $0-10^{\circ}\text{N}$, $180-140^{\circ}\text{W}$ 地区, 虚线代表 $0-10^{\circ}\text{S}$, $180-140^{\circ}\text{W}$ 地区。

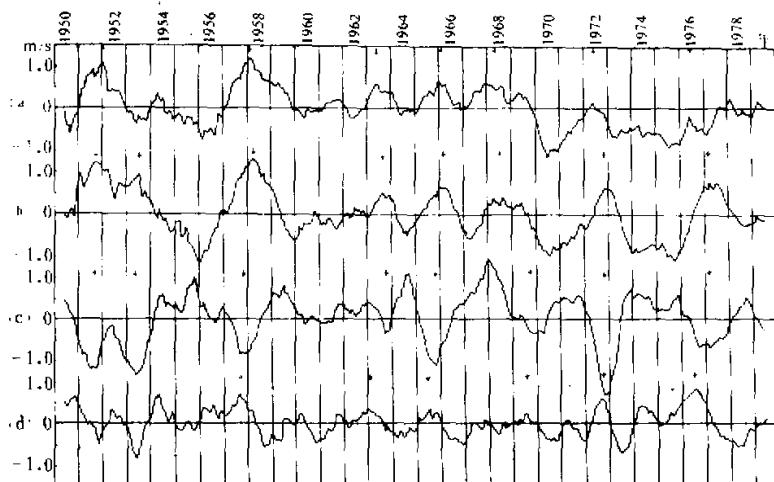


图 4 中东太平洋赤道地区风场各要素, 月距平序列的 11 个月滑动平均曲线

(a) $0-10^{\circ}\text{N}$, $180-140^{\circ}\text{W}$ 的 u ; (b) $0-10^{\circ}\text{S}$, $180-140^{\circ}\text{W}$ 的 u ;
(c) $0-10^{\circ}\text{N}$, $180-140^{\circ}\text{W}$ 的 v ; (d) $0-10^{\circ}\text{S}$, $180-140^{\circ}\text{W}$ 的 v .

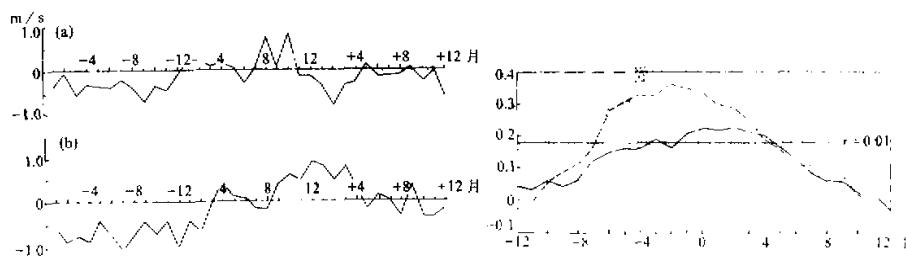


图5 经过6次厄尔尼诺综合的 0° — 10° N, 180° — 140° W (a) 和 0° — 10° S, 180° — 140° W (b) 的纬向风距平在厄尔尼诺发生前一年、发生年和次一年的平均变化

图6 0° — 10° N, 180° — 140° W 地区(实线)和 0° — 10° S, 180° — 140° W 地区(虚线)的纬向风距平序列与东太平洋海温距平序列的相关系数

又转为东风异常，9月以后西风异常显著加强，12月达到峰值，且一直持续到厄尔尼诺结束。西风异常峰值出现的时间也比赤道以北有大约两个月的滞后，特别在厄尔尼诺发生年的11月以后，赤道以北的纬向风已迅速转为东风异常，这时赤道以南仍维持强烈的西风异常。因此在中东太平洋赤道地区存在着强烈的纬向风切变。

将 0° — 10° N, 180° — 140° W 和 0° — 10° S, 180° — 140° W 纬向风距平序列与东太平洋海温的距平序列求相关，相关系数列于图6。 0° — 10° N, 180° — 140° W 的 μ 与-1至+4个月(海温滞后后为正)的东太平洋海温正相关，置信水平为0.01。 0° — 10° S, 180° — 140° W 的 μ 与-6至+3个月的东太平洋海温正相关，置信水平

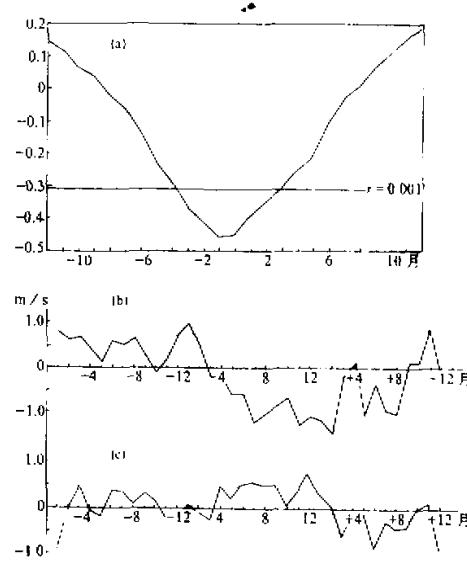


图7 0° — 10° N, 180° — 140° W 经向风月距平序列与东太平洋海温月距平序列的相关系数(a)和经过6次厄尔尼诺综合的 0° — 10° N, 180° — 140° W 的经向风距平(b)与 0° — 10° S, 180° — 140° W 的经向风距平(c)在厄尔尼诺发生前一年、当年和次一年的平均变化

也为 0.01。这表明中东太平洋赤道地区纬向风为东风异常时，东太平洋海温为负距平。而该地纬向西风异常可以激发赤道开尔文波，使后期的海温升高，反过来，东太平洋海温升高后，使纬向沃克环流减弱即该地区西风异常加大。但是，东太平洋海温对赤道以北西风异常的响应更强烈，而赤道以南的纬向风异常对东太平洋海温的响应更强烈。这可能是赤道以南纬向西风异常的峰值滞后于赤道以北两个月的原因。

3. 经向风的变化

图 4c、d 给出了 $0 - 10^{\circ}\text{N}, 180 - 140^{\circ}\text{W}$ 和 $0 - 10^{\circ}\text{S}, 180 - 140^{\circ}\text{W}$ 经向风月距平序列 11 个月的滑动平均曲线。对于 1951, 1953, 1957, 1963, 1965, 1969, 1972 和 1976 的埃尔尼诺年， $0 - 10^{\circ}\text{N}, 180 - 140^{\circ}\text{W}$ 的经向风均出现北风异常的峰值。而 1957, 1963, 1965, 1969, 1972 和 1976 的埃尔尼诺年也均有 $0 - 10^{\circ}\text{S}, 180 - 140^{\circ}\text{W}$ 的经向风南风异常的峰值与之对应。这说明中东太平洋赤道地区的经向风异常也与埃尔尼诺有着密切的联系。1972 年，该地区纬向西风异常并不是很强，但该年是强埃尔尼诺年。该年 $0 - 10^{\circ}\text{N}, 180 - 140^{\circ}\text{W}$ 地区出现了 30 年中最强的北风异常， $0 - 10^{\circ}\text{S}, 180 - 140^{\circ}\text{W}$ 地区也相应有较强的南风异常。说明由两半球指向赤道的经向风异常，特别是赤道北侧的北风异常对东太平洋海温的升高有很大的影响。1967, 1968, 1969 年，该地区连续三年为西风异常，但 1967 年东太平洋海温为负距平，只是到了 1968 年下半年，才出现正距平。这可能是由于 1967 年 $0 - 10^{\circ}\text{N}, 180 - 140^{\circ}\text{W}$ 地区存在着强的南风异常，而 $0 - 10^{\circ}\text{S}, 180 - 140^{\circ}\text{W}$ 地区存在着北风异常，造成赤道地区辐散使得海水上翻，以致东太平洋海温为负距平。这种情况直到 1968 年底才改变，赤道以北出现北风异常，赤道以南出现南风异常，东太平洋海温才转为正距平。

将 $0 - 10^{\circ}\text{N}, 180 - 140^{\circ}\text{W}$ 经向风距平与东太平洋海温距平序列求相关，相关系数列于图 7a 中。该地区经向风与 -3 至 +3 个月的东太平洋海温负相关（海温滞后为正），置信水平为 0.001。最大相关发生在同时和经向风滞后一个月。这个相关表明了东太平洋海温与中东太平洋经向风的相互作用。当东太平洋海温为负距平时，该地区经向为南风异常，哈德莱环流弱；当东太平洋海温为正距平时，该地北风异常加强，哈德莱环流强。反过来，该地北风异常加强即哈德莱环流强时，有利于东太平洋海温的升高。

图 7b、c 给出了 $0 - 10^{\circ}\text{N}, 180 - 140^{\circ}\text{W}$ 和 $0 - 10^{\circ}\text{S}, 180 - 140^{\circ}\text{W}$ 地区经向风距平在埃尔尼诺发生过程中的平均变化。埃尔尼诺发生前一年，中东太平洋赤道地区基本上为南风异常，特别在赤道北侧，南风异常更强烈。表明这时该地区哈德莱环流弱，很可能存在一个在北半球 ITCZ 地区上升而在南半球副热带地区下沉的经向环流圈。埃尔尼诺发生年初，赤道北侧的南风异常达到峰值，而赤道南侧的经向风出现北风异常。表明这时可能存在一个赤道地区下沉，在两半球副热带上升的反哈德莱环流圈。赤道南北两侧的北风和南风异常是这种反哈德莱环流在底层的反映。

埃尔尼诺发生年，上述经向风异常发生了根本的变化。从埃尔尼诺发生年的 2 月

以后，中东太平洋赤道地区出现由两极指向赤道的经向风异常，赤道北的北风异常更强烈，表明这时哈德莱环流开始加强。这种指向赤道的经向风异常，在埃尔尼诺发生年底达到最大。 $0 - 10^{\circ}\text{N}$, $180 - 140^{\circ}\text{W}$ 的北风异常一直持续到埃尔尼诺结束。而 $0 - 10^{\circ}\text{S}$, $180 - 140^{\circ}\text{W}$ 的经向风从次年2月以后也开始变为北风异常。就是说，次年2月以后，中东太平洋赤道地区出现了北风异常。

概括中东太平洋赤道地区经向风在埃尔尼诺过程的变化，它经历了由南风异常→指向赤道的经向风异常→北风异常的变化。

四、讨 论

综合前面的讨论，我们对中东太平洋地区风场的变化与东太平洋海温的关系作一个总结。

埃尔尼诺发生前一年，中东太平洋赤道地区出现持续的东风异常，沃克环流加强。强的赤道东风，由于地转偏向力的作用引起赤道地区海水向两侧辐散，造成海水上翻，使赤道地区海温降低。由东向西流的海水，造成西太平洋的暖水堆积，形成西高东低的海平面分布。这时太平洋赤道地区哈德莱环流减弱，中东太平洋赤道地区很可能存在

表1 $0 - 10^{\circ}\text{N}$, $180 - 140^{\circ}\text{W}$ 地区经向风
距平与东太平洋海温距平相关系数表

v的 月份	SST 滞后的月数												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-0.54	-0.50	-0.42	-0.04	0.07	0.20	0.35	0.35	0.37	0.38	0.36	0.36	0.55
2	-0.74	-0.56	-0.38	-0.31	-0.13	0.01	0.01	0.11	-0.04	0.02	0.11	0.15	0.15
3	-0.53	-0.46	-0.39	-0.21	-0.10	-0.16	-0.16	-0.17	-0.16	-0.06	0.10	-0.01	0.05
4	-0.30	-0.26	-0.04	-0.03	-0.04	0.09	-0.02	0.03	0.04	-0.01	-0.02	-0.00	0.04
5	-0.17	-0.16	-0.10	-0.06	-0.06	-0.20	-0.17	-0.19	-0.17	-0.13	-0.13	0.02	0.21
6	-0.47	-0.44	-0.50	-0.45	-0.44	-0.54	-0.44	-0.45	-0.48	-0.48	-0.31	-0.22	0.03
7	-0.45	-0.46	-0.36	-0.43	-0.44	-0.45	-0.45	-0.54	-0.33	-0.27	-0.03	0.07	0.11
8	-0.66	-0.54	-0.58	-0.59	-0.63	-0.63	-0.58	-0.37	-0.22	-0.08	-0.05	0.00	0.12
9	-0.23	-0.21	-0.25	-0.34	-0.35	-0.51	-0.36	-0.15	0.08	0.06	0.11	0.17	0.21
10	-0.44	-0.38	-0.43	-0.44	-0.48	-0.44	-0.23	-0.11	-0.02	0.08	0.04	0.17	0.08
11	-0.52	-0.52	-0.52	-0.55	-0.38	-0.09	0.15	0.14	0.29	0.26	0.32	0.29	0.26
12	-0.47	-0.48	-0.51	-0.44	-0.18	0.00	0.18	0.45	0.31	0.39	0.30	0.36	0.30

着一个北半球 ITCZ 地区上升南半球副热带地区下沉的经向环流圈。该地区底层为南风异常，且赤道北侧比赤道南侧强烈得多。赤道北侧的南风异常加强了辐散作用，有利于赤道地区海温降低；同时使海水由南向北流，在赤道附近形成一个赤道槽，而在

赤道北侧形成一个高度脊。这样在经向形成赤道地区低而两侧高于赤道的海平面分布。埃尔尼诺发生前一年年底至发生年初，赤道北侧的南风异常达到峰值，而赤道以南出现北风异常，加强了由赤道指向两极的辐散，使上述海平面分布进一步加强。埃尔尼诺发生前的东风异常和由赤道指向极地的经向风异常，使东太平洋赤道地区的冷水舌进一步西伸和向赤道两侧发展。

埃尔尼诺发生年，中东太平洋赤道地区出现了西风异常。西风异常激发开尔文波东传，使几个月后的东太平洋海温升高。2月份以后，该地区的经向风出现由两极指向赤道的经向风异常，表明哈德莱环流加强，赤道北侧的北风异常尤为明显。这十分有利于在赤道地区造成暖水堆积，使海温升高。我们计算了 $0 - 10^{\circ}\text{N}$, $180 - 140^{\circ}\text{W}$ 地区逐月经向风距平与滞后 $1 - 12$ 个月的东太平洋海温的相关系数（表1）。6月份以后，该地区经向风与滞后数月的东太平洋海温负相关的置信水平均超过0.001。这表明赤道以北的北风异常确实对东太平洋的海温升高起了重要作用。

我们认为，埃尔尼诺发生年中东太平洋赤道地区由两极指向赤道的经向风异常有两个作用：一是使堆积于赤道两侧的暖水流向赤道，造成赤道附近海水的堆积和海温升高；二是堆积于赤道的暖水只利于在这时西风异常的情况下东传，而不能向中高纬传输。这样随着西风异常和指向赤道的经向风异常的发展，东太平洋赤道地区的海温持续上升，从而引发埃尔尼诺。

随着赤道以北北风的加强，纬向东风异常首先于埃尔尼诺发生年底在赤道以北重新建立。埃尔尼诺发生次一年2月以后，赤道以南也开始出现了北风异常。这时赤道以南的西风异常依然维持。按照季节变化，这时为经向北风盛行期，因此中东太平洋赤道地区开始出现由北向南的越赤道气流。随着赤道以北东风异常的加强，上翻运动加强。经向风的变化也使得赤道地区的暖水迅速向南半球中高纬度输送，东太平洋赤道地区的海温逐渐下降，从而一次埃尔尼诺结束。

因此，不仅中东太平洋赤道地区纬向风的变化对埃尔尼诺的发生有重要的作用，经向风的异常变化同样对埃尔尼诺的发生起了十分重要的作用。

参 考 文 献

- [1] Rasmusson, E. and T. 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.
- [2] Wyrtki, K., 1975. El Niño—the dynamic response of the equatorial Pacific Ocean to atmospheric forcing. *J. Phys. Oceanogr.*, **5**, 572 — 584.
- [3] Hurlburt, H. E., J. C. Kindle and J. T. Obrien, 1976. A numerical simulation of the onset of El Niño. *J. Phys. Oceanogr.*, **6**, 621 — 634.
- [4] McCreary, J., 1976. Eastern tropical ocean response to changing wind systems. With application to El Niño. *J. Phys. Oceanogr.*, **6**, 632 — 645.
- [5] 潘怡航, 1978. 太平洋赤道纬圈环流在热带海洋影响中纬度西风强度中的作用, 大气科学, **2**, 246 — 252.
- [6] 符棕斌、孙翠霞、张金枝, 1979. 赤道海温异常与大气的垂直环流圈, 大气科学, **3**, 50 — 57.