

# ENSO 发生前与发展初期赤道西太平洋 西风异常的爆发问题

张祖强 丁汇 赵宗慈

(国家气候中心, 北京, 100081)

## 摘 要

利用 NCEP/NCAR 再分析资料, 通过对 El Nino 与 La Nina 发生前与发展初期低层风场的合成分析, 发现在赤道中东太平洋增暖当年的春季与夏季, 赤道西太平洋存在两次显著的西风局地(140 E ~ 180)增强过程。其原因并不仅仅在于印度洋的西风异常东移, 更在于南北半球的经向风在该地区强烈辐合, 造成局地气压梯度增强, 促进西风加强并向东爆发; 同时由于地球自转效应的作用, 来自北半球的东北风到达赤道附近后转西北风, 南半球的东南风转西南风, 直接加强了西风的强度。对比分析南北半球经向风的作用表明, 南半球东南风的强度与位置更稳定, 对赤道西风两次增幅过程的贡献更大。这支南半球的经向气流来自高纬极区, 与中高纬度气压场异常有直接的关系。

关键词: 赤道西风爆发, 经向风异常, ENSO, 南方涛动。

## 1 引 言

关于 ENSO 的成因, 人们较早就发现它与热带西风异常有关。Wyrski<sup>[1]</sup>为此提出西风爆发的概念, 认为 El Nino 是海洋对西风与信风张弛的响应。Rasmusson 和 Carpenter<sup>[2]</sup>发现每次 El Nino 发生前冬春季西太平洋有西风异常, 并激发东传的 Kelvin 波, 导致 El Nino 发生。丁一汇<sup>[3]</sup>分析了 TOGA-COARE IOP 时期(1992年11月 ~ 1993年2月)赤道太平洋风场特征, 也证实稳定的大范围强西风出现是 El Nino 事件发生和维持的一个基本条件。因此, 弄清西风爆发的原因, 对于成功的预测 ENSO 有着十分重要的意义。

国内外许多学者都曾研究过西风异常的起因。Keen<sup>[4]</sup>认为中西太平洋赤道两侧的双气旋对是西风异常的成因。Barnett<sup>[5]</sup>指出 El Nino 发生前地面风与海平面气压的异常均产生于赤道印度洋, 然后缓慢东移。Lau<sup>[6,7]</sup>认为30 ~ 60 d 振荡在东传的西风扮演了重要角色, 可以触发 El Nino。近年来的研究表明, El Nino 的形成与热带外地区大气环流的异常有密切关系。Reiter<sup>[8]</sup>和 T. N. Krishnamurti(私人通信)都曾注意到 El Nino 发生前经向风的异常, 但并未把它同西风异常联系起来考虑。陈烈庭(学术报告)也注意到南半球经向风对西风异常的作用。Chu<sup>[9,10]</sup>的研究表明, 来自中纬度的冷涌气流可以加强赤道西太平洋地区的海平面气压梯度, 导致西风爆发。在赤道地区, 气压梯度力是气流顺梯度流动的主要动力。李崇银<sup>[11]</sup>则强调冬季东亚寒潮的强烈向南爆发, 造成西太平洋对流加强,

信风减弱, 激发异常的 Kelvin 波和30~60 d 振荡; 傅云飞和黄荣辉<sup>[12]</sup>通过资料分析认为中纬度的西风向赤道传播是西风异常的另一因素。事实上, 上述因素都可能存在, 但是否还有别的途径导致赤道出现西风异常呢? 各种因素中何者为主, 何者为次, 在不同区域是否表现为不同的主次关系等许多问题, 都需要进一步分析才能回答。

本文目的是利用再分析资料来探讨 El Nino 与 La Nina 发生前及初期低层风场的异常, 并重点寻找赤道西风异常的来源, 从而为 ENSO 的预测研究提供一些前兆信号。

## 2 资料说明

本文使用的是 NCEP/NCAR 的逐日和月平均再分析全球风场与高度场资料, 其中逐日资料长度为1979年1月至1998年8月, 月平均资料年代从1958年到1997年, 共40年。资料的水平分辨率是  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ ; 垂直方向共17层(1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10 hPa)。海温场分别来自威斯康星大学(1958~1981年)及 NCEP 的客观插值资料(1981年1月~1998年8月), 范围均覆盖全球洋面, 水平分辨率为  $1^\circ \times 1^\circ$ 。Nino 3 指数取自 Internet 上 NOAA 有关站点, 资料长度1950年1月到1998年9月。

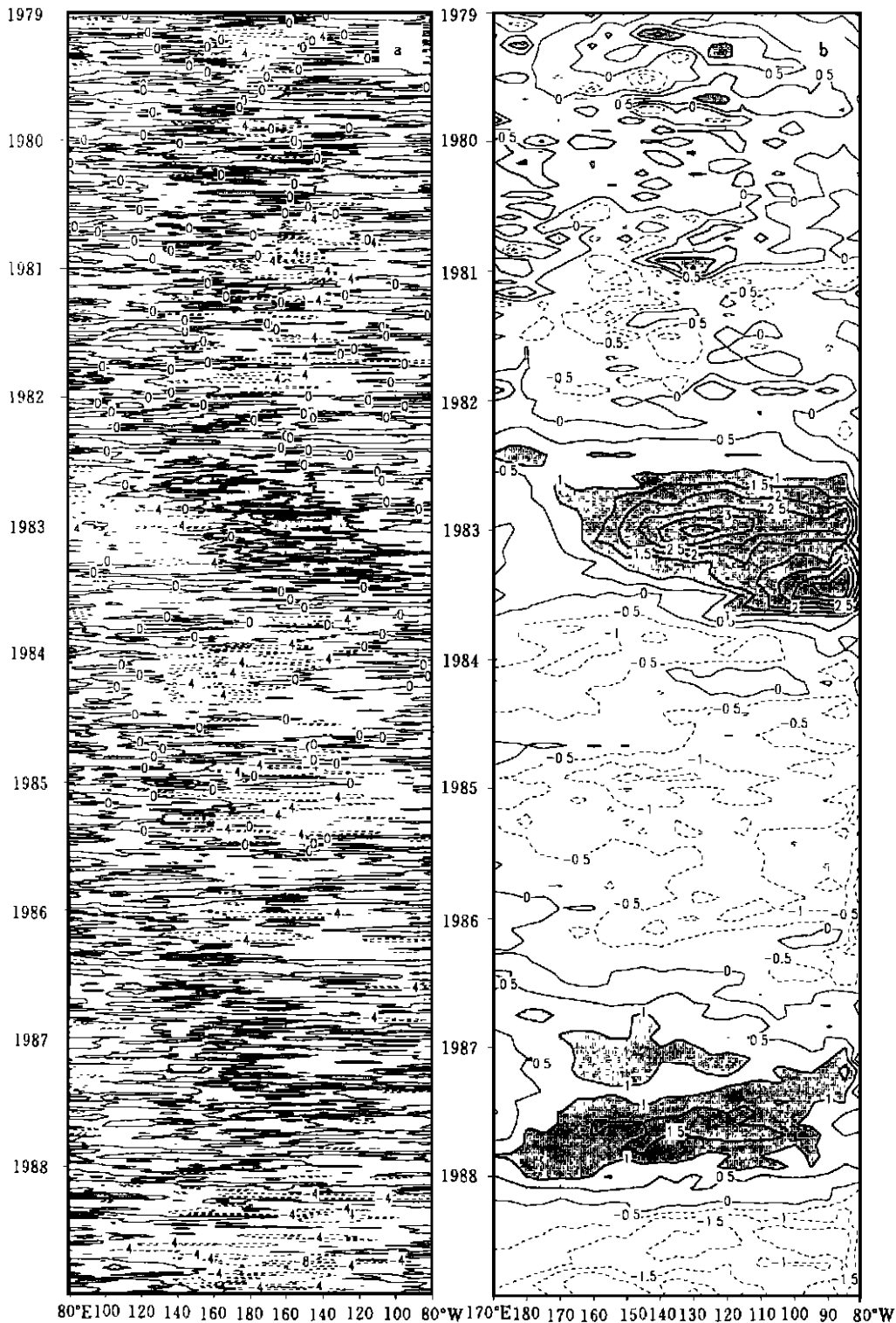
## 3 ENSO 发生前和发展初期纬向风场的演变特征

图1给出的是1979~1998年沿赤道( $5^\circ \text{S} \sim 5^\circ \text{N}$ ) 纬向风异常和海温距平的经度时间剖面, 其中纬向风是根据再分析逐日资料求出的侯平均值。由图可见, 在最近20 a 来发生的6次 El Nino 事件之前(1982/1983, 1986/1987, 1991/1992, 1993/1994, 1994/1995, 1997/1998年), 在850 hPa 上无一例外的都有西风沿赤道自西向东传播, 而对于1979~1980年未能充分发展的增暖事件之前也同样有西风异常东传的现象。

然而, 赤道西太平洋西风异常并非仅仅在 El Nino 发生之前才出现。图中显示, 不少时段100~140 E 区域也有西风距平存在, 但随后却并没有 El Nino 事件发生, 甚至出现 La Nina, 如1980/1981, 1984/1985, 1988/1989年的冬春季。因此并非西太平洋一旦有西风出现就会触发中东太平洋海温升高, 这其中的关键在于西风异常在夏季能否顺利发展与加强, 并向东传播。在有 El Nino 发生的年份, 如1982, 1986, 1987, 1991, 1994, 1997年的夏季, 赤道太平洋的中西部西风均显著增强且向东传播, 最终促使 El Nino 在当年冬季发展成熟。

比较这6次 El Nino 事件的增温区域发现1982/1983, 1997/1998年两次的增暖中心位置明显比其他4次偏东, 强度也偏强。究其原因, 一种可能是这两次西风异常的强度比其他4次都强, 并且东传到达了东太平洋120 W 附近。而其他4次的西风中心滞留在赤道太平洋中部, 没有继续向东传播。因此, 赤道西风异常的强弱与能否东传及东传所到达的经度都对海温的增暖有显著影响。其次, 侯平均资料还清楚地反映出西风异常在强度上的不连续, 即西风并非始终维持较强的距平, 而是强弱相间, 表现为多次强西风爆发的特征。值得注意的是, 这种西风爆发发生在西太平洋地区, 并不都是从西边传播而来。具有很强的局地性, 因此可以称之为西风的局地增幅。

为了进一步分析西风局地增幅的时间与位置, 对1958~1997年间发生的ElNino与



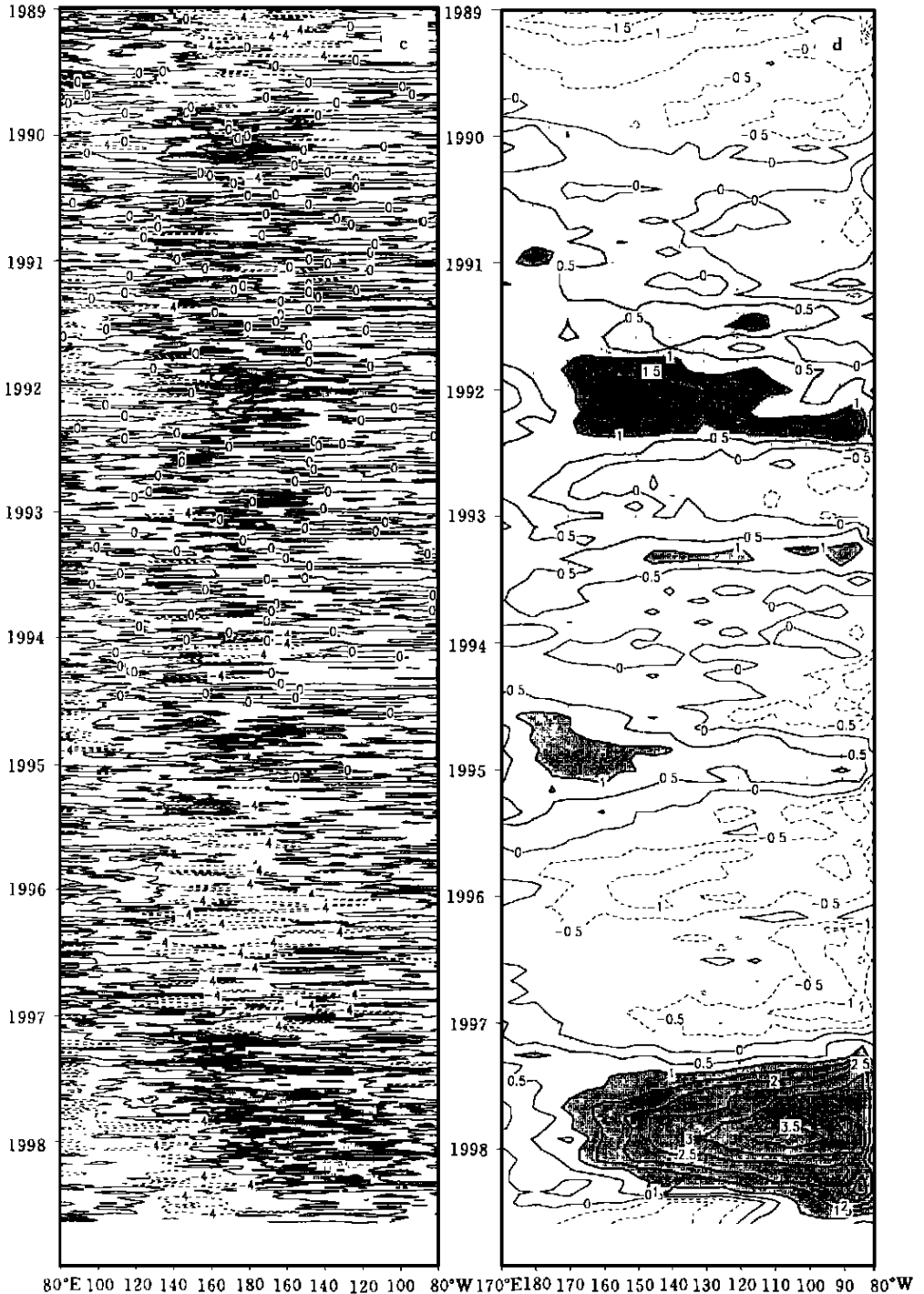


图1 区域平均850 hPa 纬向风距平与海温距平的时间-纬度剖面图

(a, c. 纬向风距平的区域平均(5 S ~ 5 N), 单位: m/s, 阴影区为西风距平;

b, d. 海温距平的区域平均(5 S ~ 5 N), 单位: , 阴影区为正海温距平)

La Nina 进行合成分析。确定 Nino3 指数由负变为正, 并且达到 0.5 以上的年份为 El Nino 发生年, 反之, 低于 0.5 的年份为 La Nina 年。由此定义出的 El Nino 年有 1963, 1965, 1968, 1972, 1982, 1986, 1991, 1994, 1997 年, La Nina 年有 1961, 1964, 1967, 1970, 1971, 1973, 1975, 1984, 1988 年。本文以后所指的合成均对上述年份计算得出。图 2 给出了 El Nino 发生当年赤道太平洋不同区域平均的西风异常强度合成的逐月变化。图中 3 个区域平均的西风强度随时间的变化各不相同。在  $100 \sim 140^{\circ}\text{E}$  地区, 1~3 月为西风异常, 春季迅速减弱, 夏季西风又重新增强, 秋冬季转变为东风异常;  $140^{\circ}\text{E} \sim 180$  经度内, 3~5 月和 7~9 月西风各有一次十分明显的增幅, 其中风速的跃升分别发生在 5 月份和 8 月份; 中东太平洋上的西风异常出现在 4 月份, 然后则呈现出逐月攀升的特点。

显然, 在 El Nino 发生当年春季和夏季, 赤道西太平洋西风强度明显增强, 并且  $140^{\circ}\text{E} \sim 180$  的西风强于左右两侧的区域。因此,  $140^{\circ}\text{E} \sim 180$  是西风局地增幅的关键区, 在春季与夏季共出现两次增幅。

#### 4 西风异常的来源

鉴于西风异常与赤道中东太平洋海温的关系密切, 因此研究它们形成的起源就显得特别重要。为此, 本文用 1979~1995 年 850hPa 候平均风场, 分别计算  $5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$  之间,  $100 \sim 120^{\circ}\text{E}$ ,  $120 \sim 140^{\circ}\text{E}$ ,  $140 \sim 160^{\circ}\text{E}$ ,  $160^{\circ}\text{E} \sim 180$  这 4 个区域平均的纬向风强度指数, 并分别同全球纬向风场、经向风场求滞后相关, 然后用求出的两个相关系数作为经纬向分量, 就得到如图 3 所示的相关矢量分布。图 3 中的纬向风指数落后于经纬向风场 2 个月( 滞后 1 个月与

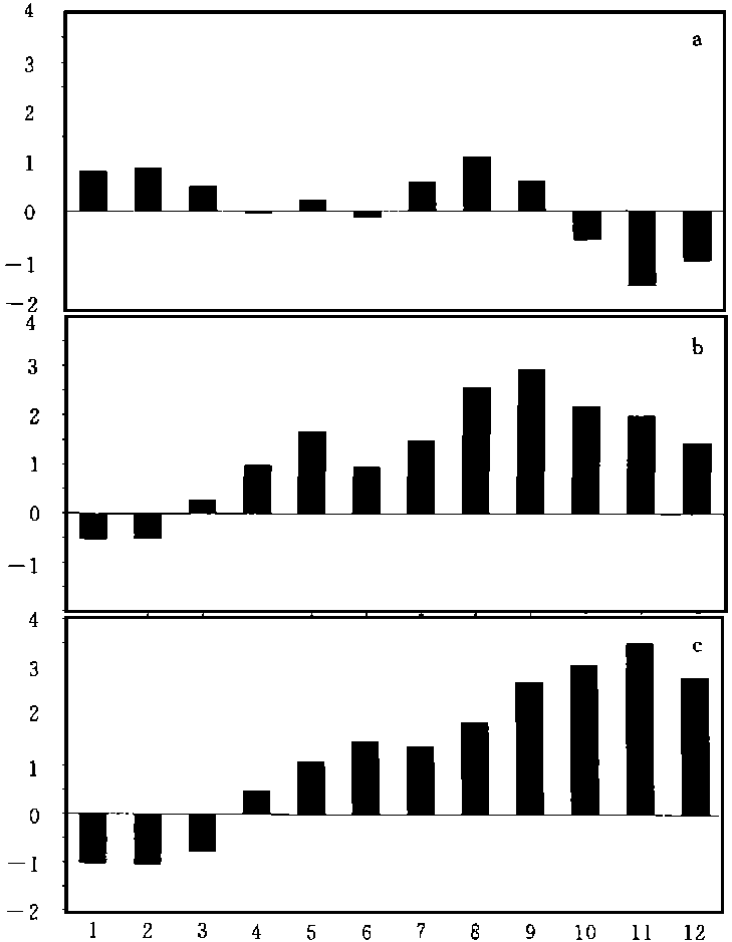


图2 El Nino 发生年赤道太平洋中西部850hPa 纬向风逐月的区域平均距平

(a.  $5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$ ,  $100 \sim 140^{\circ}\text{E}$ ; b.  $5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$ ,  $140^{\circ}\text{E} \sim 180$ ; c.  $5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$ ,  $180 \sim 120^{\circ}\text{W}$ 。

横坐标代表月份, 纵坐标表示风速距平值, 单位: m/s)

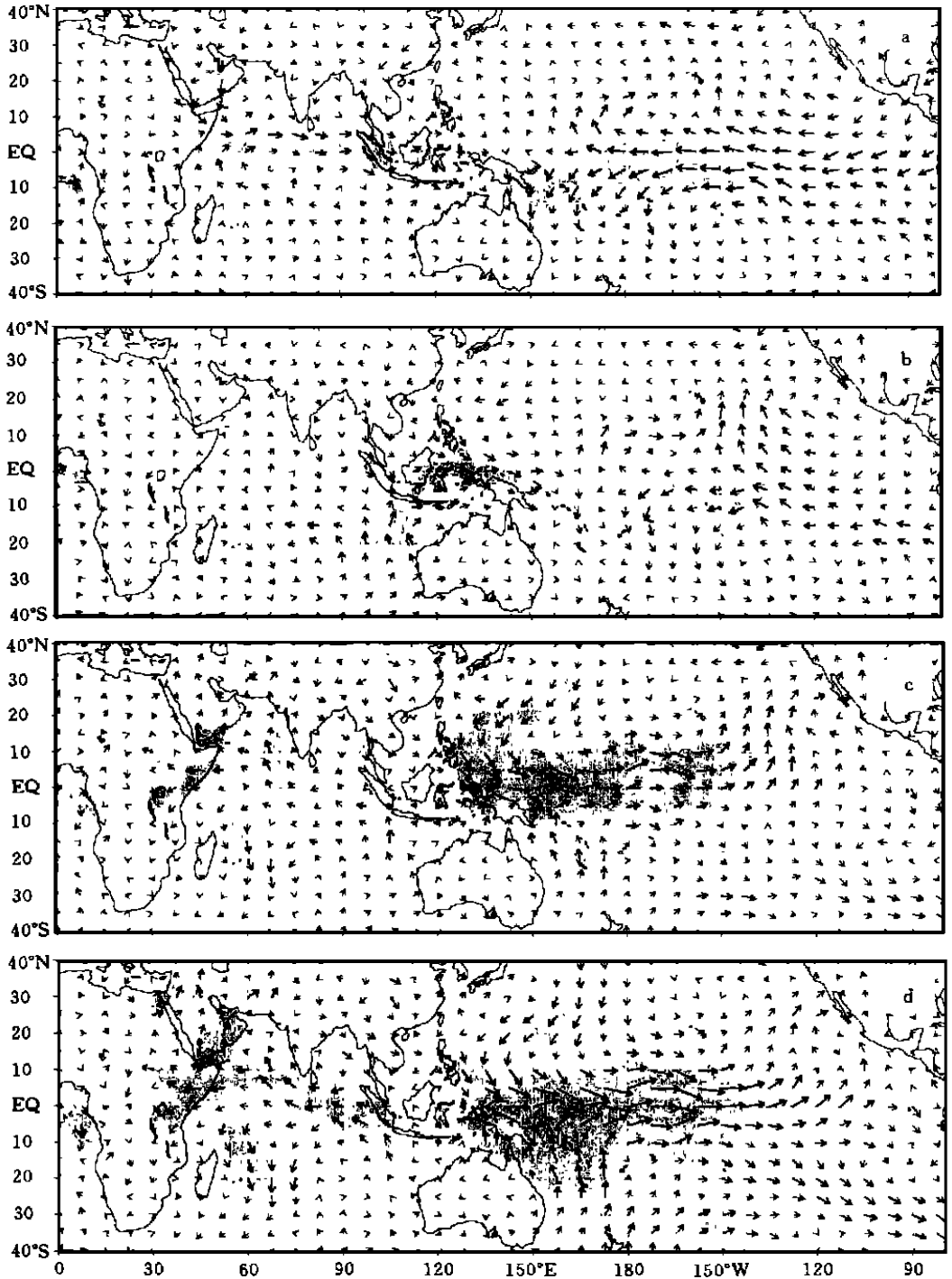


图3 区域平均850hPa纬向风指数同纬向风场、经向风场的滞后相关矢量图

(a. 5°S~5°N, 100~120°E; b. 5°S~5°N, 120~140°E; c. 5°S~5°N, 140~160°E; d. 5°S~5°N, 160°E~180)

同期相关的图略), 阴影区格点的两个相关系数中至少有一个通过95% 信度标准。可以清

楚的看出,无论是同期还是滞后的相关图,图3a, b与图3c, d的形势都截然不同。也就是说,当西风异常出现在 $140^{\circ}\text{E}$ 以西之前 $1\sim 2$ 个月,赤道印度洋就已经有西风距平产生,并且向东传播到西太平洋,同时中东太平洋上空的信风明显增强。西风距平与增强的信风在西太平洋辐合。相比之下,在西风出现前 $1\sim 2$ 个月,经向风的辐合不太明显(图3a, b)。由此说明,印度洋上的西风异常是 $100\sim 140^{\circ}\text{E}$ 经度上西风异常的一个重要来源。然而,对于 $140^{\circ}\text{E}$ 以东的赤道太平洋,西风异常出现之前,赤道中东太平洋信风已经减弱,印度洋是东风距平区。因此,来自印度洋的东传西风距平已不再明显,相反南北半球中纬度的东南风与东北风十分强劲。两支经向气流在赤道暖池上空辐合,造成空气堆积,形成局地向东的气压梯度,从而促进西风的向东爆发;同时在地球自转效应的作用下,来自两半球的偏东气流越过赤道后转变为偏西气流,直接导致局地西风加速。应该指出的是,图3c, d图中北半球东北风来自于太平洋中部,而非传统认为的东亚寒潮爆发区。此外,热带外地区的西风异常向赤道传播的现象在图中并不明显。只是在近赤道地区,经向气流在地球自转效应作用下转向后,才有西风分量在 $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 范围内向赤道传播。相反在菲律宾-澳大利亚以东的经向风辐合区,甚至有东风距平向赤道传播。

因此, $140^{\circ}\text{E}$ 东西两侧西风异常的来源有所不同。对 $140^{\circ}\text{E}$ 以西的西风异常而言,赤道印度洋的西风距平东传是其一个重要的来源,同时来自东亚沿岸和澳洲大陆东侧的经向风辐合也有一定的贡献;对于西风局地增幅的地区( $140^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}$ ),来自两半球中纬度的东北风与东南风辐合的贡献比较重要,而印度洋的西风东传相对较弱。对整个赤道太平洋而言,热带以外地区西风向赤道传播都不明显。

## 5 南北半球经向风的相对重要性比较

如前所述,在El Nino发生前及发展初期, $140^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}$ 的赤道西风各有一次显著的增强,而该地区的西风异常又主要来源于两半球中纬度经向风异常向赤道的辐合。因此有必要分析在El Nino发生过程中经向风异常的演变情况以及与纬向风的关系,进一步寻找 $140^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}$ 范围内西风异常同经向风辐合之间相互联系的证据。

图4合成分析了El Nino发生的前一年(-1)、当年(0)和次年(+1)经向风沿赤道的时-经度剖面。图4a是南半球各经度上 $2.5\sim 20^{\circ}\text{S}$ 范围内经向风的线性累加。由图可见在赤道东印度洋 $90\sim 110^{\circ}\text{E}$ 和西太平洋 $150\sim 170^{\circ}\text{E}$ 分别有一个经向风正距平中心存在,其中印度洋上的中心从前一年10月一直维持到次年4月才消失,太平洋上从当年4月出现并维持到次年7月。值得注意的是,这两个中心的强度在当年4月和7月两次突然加强,尤以太平洋上更为显著。这与赤道西太平洋西风两次局地加速的时间正好吻合。图4b反映赤道各经度上来自北半球的经向风的强弱。在当年1月份东亚大陆沿岸所在经度( $100\sim 140^{\circ}\text{E}$ )存在北风距平中心,表明冬季东亚冷空气活动偏强。此外,当年4月和7月又各有一次北风增强,位置在 $120\sim 150^{\circ}\text{E}$ 附近。与图4a比较,El Nino发生前北半球北风异常强度相对较弱,并且中心位置随时间逐渐东移。当年1月位于 $100^{\circ}\text{E}$ ,4月东移到 $140^{\circ}\text{E}$ ,10月份到达 $170^{\circ}\text{E}$ 附近,次年1月最终移到中东太平洋后减弱消失。而图4a中的南风距平中心则相对稳定得多,基本维持在澳洲大陆东侧洋面上。图4c是图4a与图4b的差,反映的是赤道上经向辐合的强弱分布。可以看出早在前一年夏末秋初,赤道印度洋上就有经向辐合中心产生,

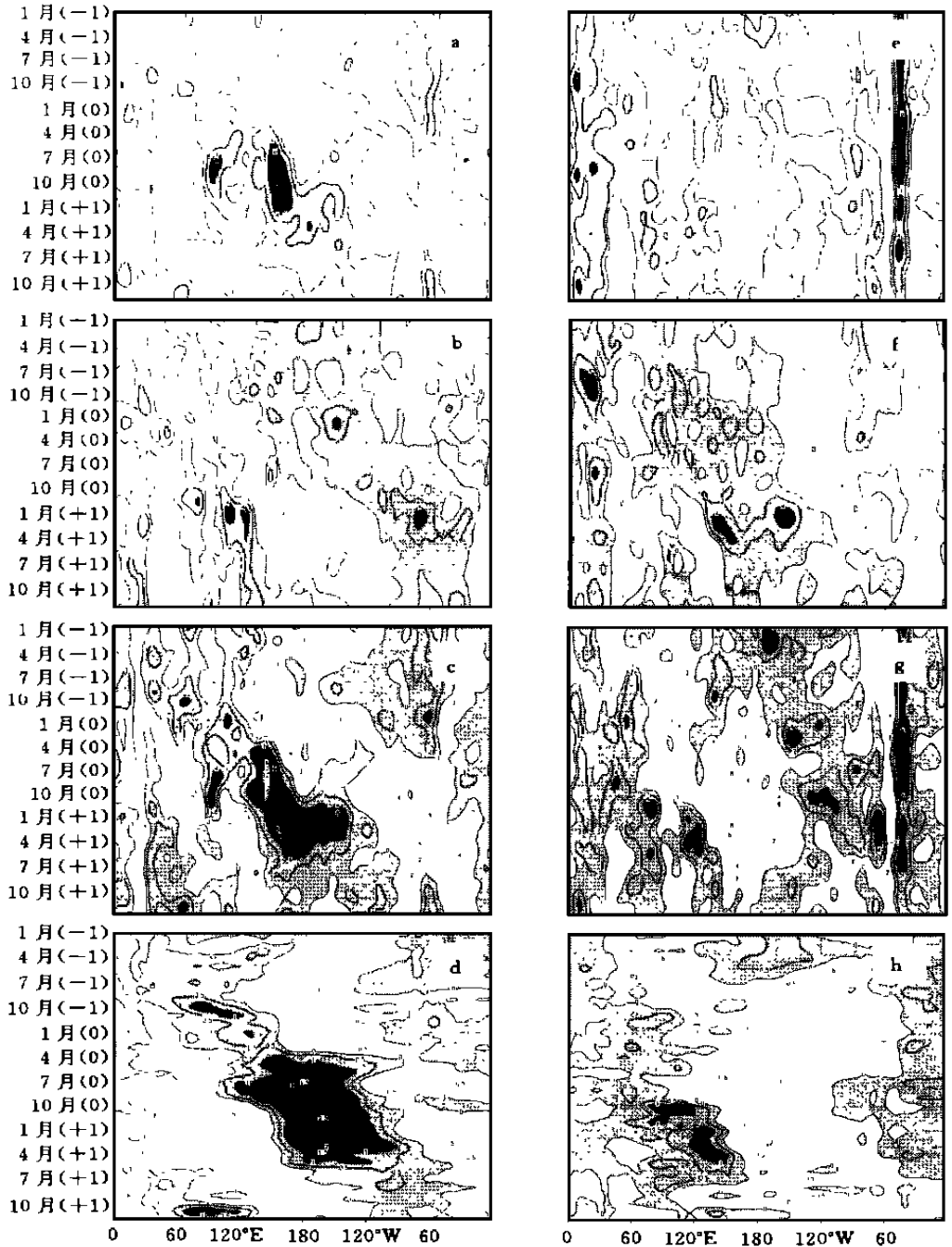


图4 El Niño、La Niña 发生前一年(-1)、当年(0)、次年(+1) 850hPa

经向风、纬向风距平合成的时间-经度剖面

(a, e. 南半球经向风的累加(2.5~20°S); b, f. 北半球经向风的累加(2.5~20°N);

c, g. 南、北半球经向风累加的差; d, h. 区域平均的纬向风(10°S~10°N); 其中 a~d 对应 El Niño 的形势;

e~h 对应 La Niña 的形势; 单位: m/s。图中实线代表西风或南风, 虚线代表北风或东风)



并逐渐减弱东移。冬季辐合中心到达马来半岛一带。此时北半球冬季北风偏强, 导致辐合重新加强, 随后又减弱向东移动。4月份到达 $140 \sim 160^{\circ} \text{E}$  经度后辐合再次加强, 然后略有削弱。7月份位于 $150 \sim 170^{\circ} \text{E}$ , 在来自南半球偏南风的作用下辐合进入盛期, 并一直维持至 El Nino 的成熟位相。整个生命史经历了4次增强减弱的过程。同经向辐合强度和中心位置的变化一致, 图4d 所示的纬向风异常剖面图上, 纬向西风也相应在前一年秋季、冬季和当年春季、夏季先后4次增强然后减弱, 并且位置一次比一次偏东。因此, 触发 El Nino 的西风异常主要来源于南北半球经向风的辐合以及印度洋上西风的东移。相比之下, 经向辐合的贡献更为显著, 尤其是在 $140^{\circ} \text{E}$  以东地区, 它是造成 El Nino 当年春季、夏季赤道西风在西太平洋上两次加速的原因所在, 其中南半球中纬度南风的贡献更稳定和重要。

上述结论也适用于 La Nina 的发展过程, 只是各要素距平的符号同 El Nino 时的符号

相反。图4e 中 $160^{\circ} \text{E}$  附近的北风异常在 La Nina 发生当年1月出现后就十分稳定, 并在4月进一步加强。图4f 中北半球的经向风以南风为主, 从 La Nina 发生前一年到发生后次年, 南风中心自西向东移动。因此, 从 La Nina 发生到消亡, 赤道中西太平洋的经向风以辐散为主。与 El Nino 发生前的风场不同的是, 触发 La Nina 的东风异常是从太平洋东西两端向中部传播的(如图4h), 而且来自东太平洋的东风似乎更强。就赤道剖面看, El Nino 发生前赤道西风异常是从西太平洋向东传播的。

图5是南北半球经向风与纬向风和 Nino3 指数的交叉相关, 由此可以更清楚地分辨出南北半球经向风对于赤道西风异常的相对重要性。图5a 中虚线代表南半球经向风

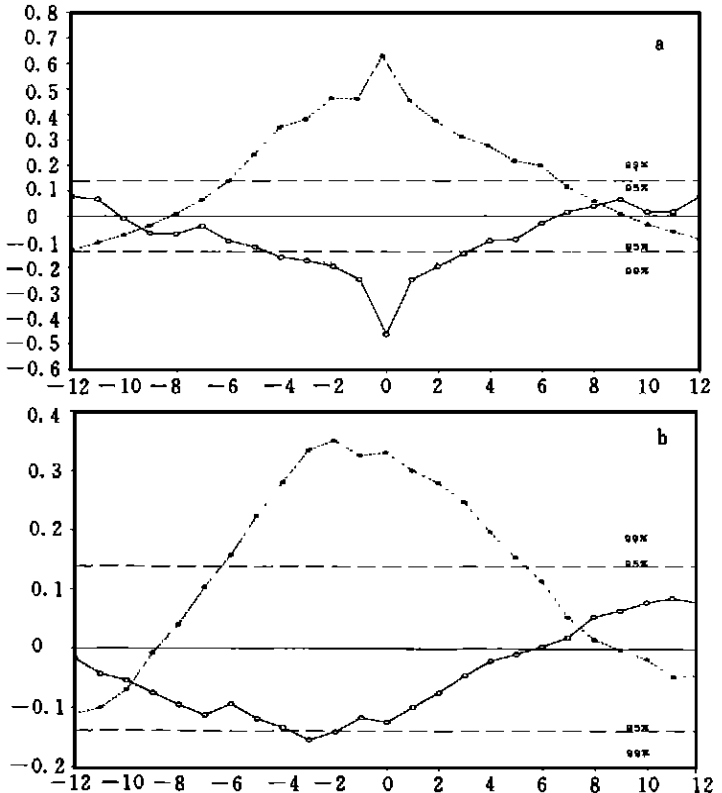


图5 南、北半球的850hPa 经向风同纬向风、Nino 3指数的交叉相关

- (a. 实线: 北半球的经向风( $0 \sim 20^{\circ} \text{N}$ ,  $120 \sim 160^{\circ} \text{E}$ ) 与纬向风( $5^{\circ} \text{S} \sim 5^{\circ} \text{N}$ ,  $140^{\circ} \text{E} \sim 180^{\circ}$ ) 的相关, 虚线: 南半球的经向风( $20^{\circ} \text{S} \sim 0^{\circ}$ ,  $130 \sim 170^{\circ} \text{E}$ ) 与纬向风( $5^{\circ} \text{S} \sim 5^{\circ} \text{N}$ ,  $160^{\circ} \text{E} \sim 160^{\circ} \text{W}$ );

b. 同图 a, 但为经向风与 Nino 3指数的相关。

横坐标为超前或滞后的月数, 正值月表示经向风超前, 负值月则滞后。

图中长虚线、点线代表95%与99% 的信度标准)

距平同赤道西风距平的交叉相关。可以看出两者相关是显著的,并且超过95%信度的滞后时间可长达6个月。最强相关出现在两者的同期变化上,其次在经向风超前纬向风变化两个月时相关达到第二个峰值。对于相同的滞后时间,如2个月,经向风超前时的相关系数高于纬向风超前时的值,从而说明经向辐合对赤道西风的加速作用在前,而纬向风对经向风可能存在的反馈作用在后。相比之下,北半球经向风与赤道西风异常的相关较差,而且仅当经向风超前/滞后3个月内相关系数才能通过信度检验。图5b是南北半球经向风同 $N_{in}3$ 指数的交叉相关。在95%的显著水平上,南北半球经向风异常后,赤道中东太平洋海温都将出现异常,但南半球经向风同海温的相关关系远强于北半球经向风。

由此可见,在El Nino发生前与发展初期,赤道太平洋西风异常不仅来自于印度洋东传的西风距平,更重要的是受南北半球经向风辐合的影响,尤其是从澳洲大陆东北部洋面上吹向赤道的东南风的贡献。这两支经向气流到达低纬地区后,东南风转西南风,东北风转西北风,直接加强西太平洋赤道西风强度;另一方面还导致该地区局地气压升高,向东的气压梯度加大,推动西风在局地加速向东爆发。

## 6 南半球经向风异常产生原因的初析

在中高纬度地区,地转风关系是近似成立的,因此南半球中纬度经向风异常在气压场上应该有所反映。为此我们合成分析了El Nino发生当年3~7月1000hPa气压距平分布及相应的850hPa风场异常。图6、7给出了4月和7月的情况。由图可见,El Nino发生前及初期,南极大陆北部大范围高度负距平向北向东移动,6、7月份到达中纬度南太平洋,同时南

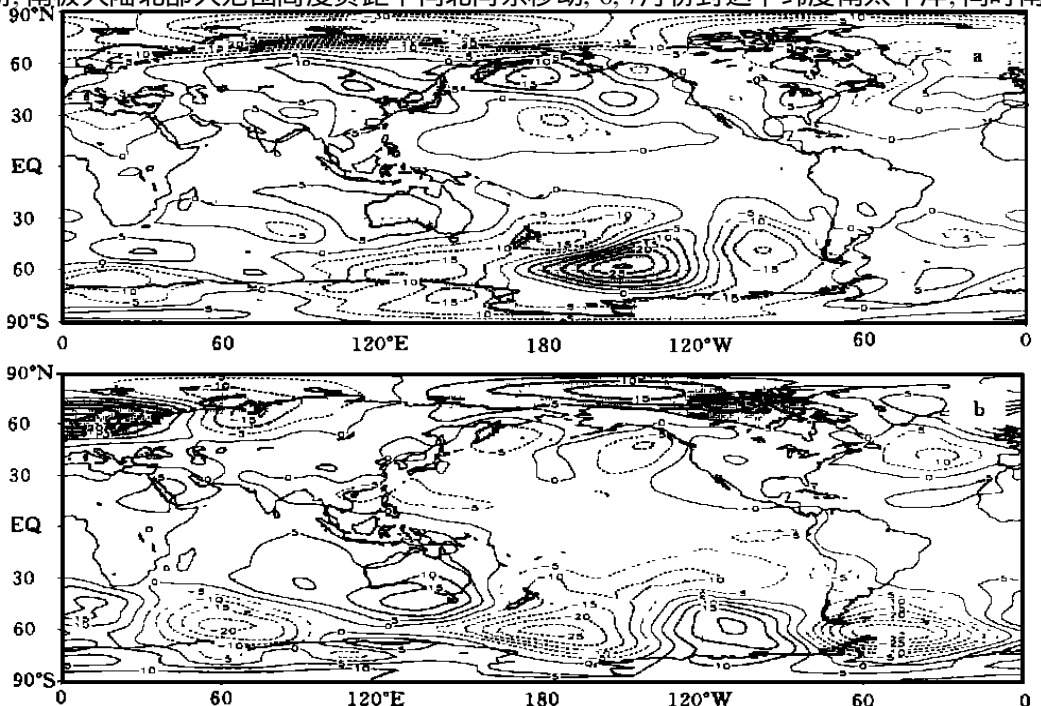


图6 El Nino发生前和发展初期1000hPa全球位势高度距平合成  
(a. 4月; b. 7月。单位: gpm, 阴影区代表正负距平超过5gpm的区域)

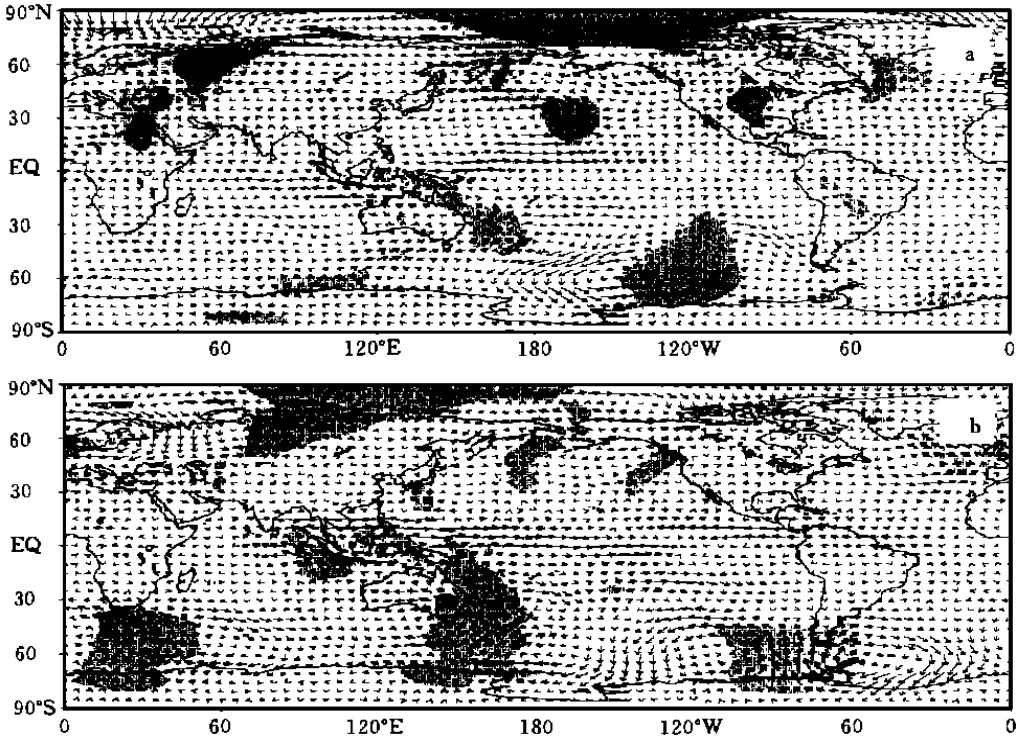


图7 El Nino 发生前和发展初期850hPa 风场距平合成

(a. 4月; b. 7月. 单位: m/s, 阴影区代表南风距平区)

印度洋上有正距平中心减弱东移, 在澳大利亚上空滞留维持。这种气压场的异常分布即为所谓的南方涛动, 此时 SOI 指数为负值。在这两个纬向排列的正负气压距平系统之间, 即澳大利亚东侧洋面上, 形成自西向东的气压梯度, 从而产生出南风与之相适应。这一气压梯度分别在4月与7月两次增强, 因而激发出的东南风也两次达到峰值。值得注意的是, 这种气压场与风场的分布型持续时间很长, 直到12月份还明显存在。类似的, 1~3月, 东亚大陆沿岸也存在这种东西向的气压梯度, 只是强度较弱, 激发出的东北风也较弱。4~7月, 北半球东西向的气压梯度更加微弱, 对北半球中纬度流向低纬的经向气流的推动也更弱。

联系到7月正值南半球隆冬季节, 澳洲大陆受冷高压控制, 因而在 El Nino 发展初期, 澳大利亚冷高压比较强盛, 它东侧的南太平洋上低压加深, 说明澳洲冬季风偏强。由图7可以看出, 澳洲东侧的东南风起源于高纬度极区。有意思的是, 在南半球高纬度, 自西向东, 分别在非洲、澳洲和南美洲大陆南端, 顺序排列着左、中、右3个南风距平中心。这一现象表明高纬这3个地区的冷空气活动频繁, 有冷空气向中纬度输送。其中左右两个中心的向北输送在30°S受阻, 转而流向东西两侧, 并各有一支汇入澳洲南侧的南风中心, 然后一起沿150~170°E的经向通道流向低纬度和赤道地区。这也就是澳洲南侧南风中心强于左右两侧中心的缘故。由于高纬冷空气向低纬的输送表现为一次次冷空气爆发过程, 因此对赤道西风的加速必然也是以强弱相间脉动的形式出现。这极可能就是赤道西风在候平均图1上表现出一次又一次加强过程的原因。

图8, 9表明, La Nina 前期的气压场与风场有类似的分布, 只是符号正好相反。4月份南极极区的高度正距平向中纬度移动, 然后稳定维持在中纬度南太平洋。同时南印度洋的负距平向东移动, 滞留在澳大利亚上空。两者构成自东向西的气压梯度, 促使大气产生北风异常与之相适应。北半球在东亚大陆到太平洋上没有这么明显的纬向气压梯度。图9显示澳洲东侧的北风异常十分稳定和强盛, 有利于赤道西太平洋的气压降低和中东太平洋的东风向西传播。同样, 在南半球高纬度非洲、澳洲和南美洲大陆南端的洋面上, 也排列着3个较强的北风中心, 向极区输送动量和能量。相比之下, 北半球的南风异常相当微弱, 位置也不固定。

由此进一步证实, 本节得到的 El Nino 和 La Nina 发生前期的气压场和风场特征, 的确代表着全球海气相互作用下大气的两种极端状态, 今后应研究产生这两种极端分布形成的机制及其影响。

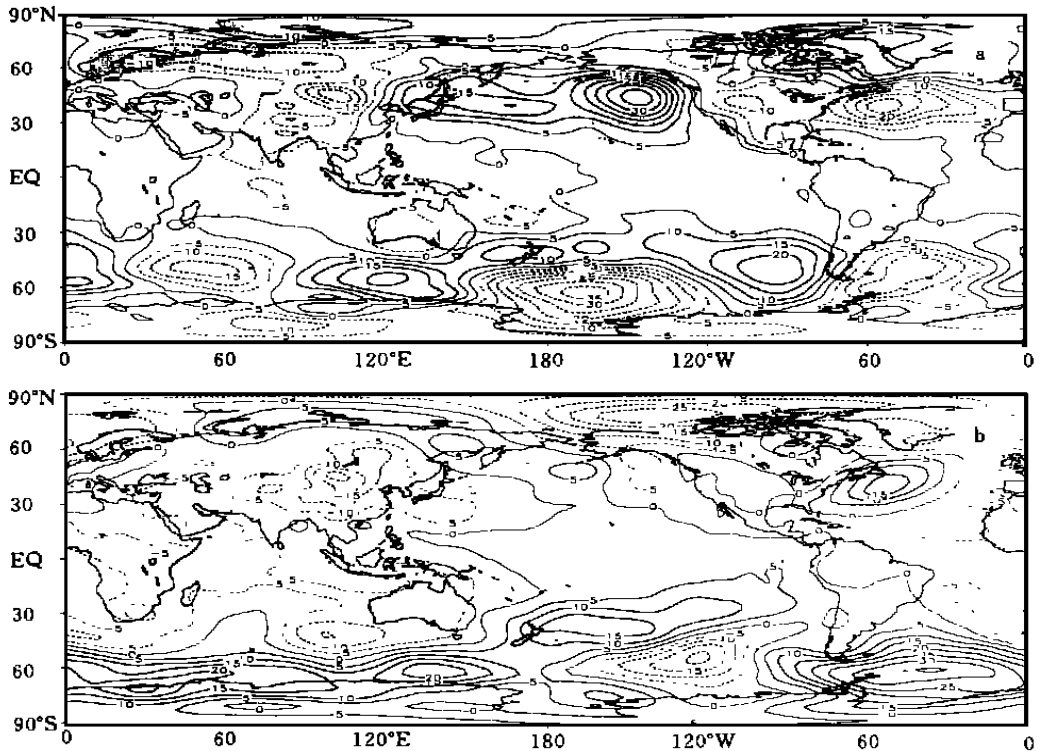


图8 同图6, 但为 La Nina 时的形势

## 7 结论与讨论

通过对 El Nino 与 La Nina 发生前与发展初期低层风场的合成分析, 得到以下结论:

1) 在赤道中东太平洋增暖的当年4月与7月, 赤道西太平洋发生两次季节尺度的西风局地增强过程, 具体发生在  $140^{\circ}\text{E} \sim 180^{\circ}$  范围内。

2) 这种西风增强的原因并不仅仅是印度洋的西风异常东移, 更在于南北半球的经向风在该地区强烈辐合, 造成局地气压梯度增强, 推动西风加强并向东爆发。同时由于地球

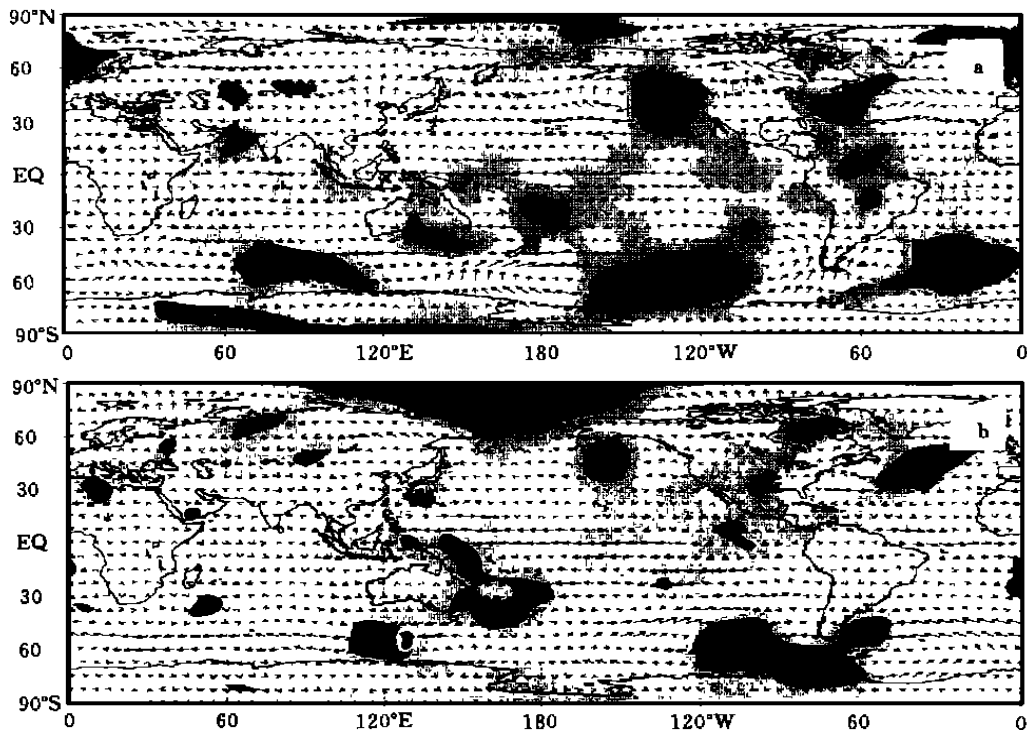


图9 同图7, 但为 La Niña 时的形势

自转效应的作用, 来自北半球的东北风到达赤道附近后逐渐转为西北风, 南半球的东南风转西南风, 直接加强了西风的强度。

3) 对比分析南北半球经向风作用表明, 来自南半球的东南风的强度与位置更稳定, 对赤道西风两次增幅过程的贡献更大。这支南半球的经向气流起源于高纬极区, 与中高纬度的气压场异常有直接的关系。

4) 在冷事件出现前和发展初期大气风场也有类似的演变特征。随着南太平洋中纬度自东向西的纬向气压梯度建立, 澳大利亚东侧就产生北风异常与之适应。这支流向南半球中高纬的经向气流有利于赤道西太平洋气压降低, 为东风的自东向西传播创造了有利条件。

5) 就赤道纬向来看, El Niño 事件从发生到消亡, 西风异常都是从西太平洋向东传播的; 对 La Niña 而言, 东风异常是从赤道太平洋东西两端向中部传播的, 并且以东端的更为强盛。

与前人的工作相比, 本文的结果更强调来自南半球的经向气流对赤道西风的贡献。相比之下, 北半球经向风的强度较弱, 位置也不稳定, 与纬向风及海温的相关也较差。这是因为南半球的经向风可以因中纬度东西向的气压梯度稳定存在而长时间维持。北半球东西向的气压梯度十分微弱, 持续时间较短, 因此相应的经向风强度偏弱, 经向风出现的经度也由西向东移动。由此推测, 南北半球经向风异常产生的机制可能不尽相同, 其中南半球经向风与南方涛动关系密切。

此外还需指出的是,南北半球的经向风都不仅仅只在冬季出现,然后在其它季节就消失。事实上,澳洲东侧的东南风早在 El Nino 发生当年3月就出现,4月份达到一次峰值。夏季结束后继续存在,直到 El Nino 成熟期之后才消失。气压场的异常也是如此。同样,来自北半球的经向气流也维持到 El Nino 发生后的次年才结束。在这个意义上判定,东亚冬季风与澳大利亚冬季风异常偏强未必就是造成两半球经向风异常的根本原因,相反,冬季风系统的异常只是两半球经向风异常在特殊的位置和季节的特殊表现而已。导致 El Nino 与 La Nina 发生前两半球经向风异常的根本原因与年际尺度上大尺度气压场异常传播有关,我们将另文讨论。

## 参考文献

- 1 Wyrski K. El Nino-the dynamic response of the equatorial Pacific Ocean to atmospheric forcing. *J Phys Oceanogr*, 1975, 5: 572- 584
- 2 Rasmusson E M, T H Carpenter. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/ El Nino. *Mon Wea Rev*, 1982, 111: 517- 528
- 3 丁一汇. TOGA- COARE IOP 时期大尺度流场的分析. *气象学报*, 1998, 56: 284 ~ 295
- 4 Keen R A. The role of cross equatorial tropical cyclone pairs in the Southern Oscillation. *Mon Wea Rev*, 1982, 110: 1405- 1416
- 5 Barnett T P. Interaction of the monsoon and Pacific trade wind system at interannual time scales. Part II : The tropical band. *Mon Wea Rev*, 1984 10: 2380- 2400
- 6 Lau K M, Chan P H. The 40 ~ 50 day oscillation and the El Nino/ Southern Oscillation : A new perspective. *J Atmos Sci*, 1986, 67:533- 534
- 7 Lau K M, Chan P H. Interannual and intraseasonal variation of tropical convection : A possible link between the 40 ~ 50 day mode and ENSO. *J Atmos Sci*, 1988, 45: 506- 521
- 8 Reiter E R. Long-term wind variability in the tropical Pacific: its possible causes and effects. *Mon Wea Rev*, 1978, 106: 324- 330
- 9 Chu P S. Extratropical forcing and the burst of equatorial westerlies in the Western Pacific, a synoptic study. *J Meteor Soc Japan*, 1988, 66: 549- 564
- 10 Chu P S, Frederick J. Westerly wind burst and surface heat fluxes in the equatorial Western Pacific in May 1982. *J Meteor Soc Japan*, 1990, 68: 523- 537
- 11 李崇银. 频繁的东亚大潮活动与 El Nino 的发生. *中国科学( B)*, 1988, 667 ~ 674
- 12 傅云飞, 黄荣辉. 东亚西风异常活动对热带西太平洋西风爆发及 ENSO 发生的作用. *大气科学*, 1997, 21: 485 ~ 492

# ON THE WESTERLY WIND OUTBURSTS IN EQUATORIAL WESTERN PACIFIC DURING THE ONSET AND DEVELOPMENT PHASES OF ENSO AND BEFORE

Zhang Zuqiang Ding Yihui Zhao Zongci

( *National Climate Center, Beijing, 100081* )

## Abstract

By the aid of NCEP/NCAR Reanalysis data sets, the low level wind fields are explored during the onset and development phase of ENSO and before. Evidences show that westerly anomalies in the western equatorial Pacific ( 140°E ~ 180° ) experience two remarkable enhancements in the spring and summer of the year when El Niño emerges. The enhancements of westerlies are not only due to the eastward propagation of the westerlies in equatorial Indian Ocean, but also caused by the strong convergence of the meridional wind from two hemispheres, which leads to the regionally intensified zonal pressure gradient so as to result in the reinforcement and bursts of westerly wind. On the other hand, as the influence of the Earth-self-rotation, the north-easterly (south-easterly) wind from northern (southern) hemisphere changes into north-westerly (south-westerly) wind gradually in the near-equatorial zone, strengthening the westerly wind directly. Comparing the contributions of the meridional wind from both hemispheres to the enhancements of westerly anomalies, we find that south-easterly wind of southern hemisphere, appearing to the east of Australia, is stronger in vigor and more stable, which originates from the southern pole area and is related with Southern Oscillation.

**Key words:** Equatorial westerly outburst, Meridional wind anomalies, ENSO, Southern Oscillation.