

从全球海平面气压场的变化分析 厄尔尼诺形成的大气环流条件

郭其蕴 王日昇

(中国科学院地理研究所, 北京) (北京师范大学)

摘要

本文根据南北半球 ($60^{\circ}\text{N}-50^{\circ}\text{S}$) 月平均海平面气压图, 研究了赤道东太平洋 ($0^{\circ}-10^{\circ}\text{S}$, $180^{\circ}-90^{\circ}\text{W}$) 海表温度与前期12个月各月大气环流异常的关系, 发现无论是南半球还是北半球, 均是冬季大气环流对以后的海温变化影响大. 又对比了厄尔尼诺年及反厄尔尼诺年前期大气环流的差异, 如以接近厄尔尼诺峰值的11月为例, 则在此之前的12个月内, 大气环流的影响可分为三个阶段. 第一个阶段自上一年的11月至当年1月, 与海温相关最大的地区在北半球的大陆上; 第二个阶段自2月至5月, 为过渡阶段, 相关区不稳定, 但大部分显著相关区在南半球; 第三个阶段自6月到10月, 为加强影响阶段, 相关区稳定在南半球, 反映出南方涛动的特征. 最后对环流异常影响厄尔尼诺的物理过程进行了讨论.

厄尔尼诺虽然是一个海洋现象, 但它的形成、发展、消亡以及对环境的影响等, 无不与大气环流异常有密切关系. 60年代末, Bjerknes^[1] 首次把厄尔尼诺现象与南方涛动 (SO) 联系起来, 指出厄尔尼诺的发生与沃克环流减弱有关. Quinn^[2] 也认为, 当 SO 减弱时厄尔尼诺发生. Luther^[3] 的研究表明, 厄尔尼诺发生前, 太平洋上信风突然减弱, Lau 等^[4] 则认为, 厄尔尼诺的发生, 可能是热带大气 30—50 天低频振荡增幅减频的结果. 李崇银¹⁾ 得到, 与冬季东亚寒潮活动频繁并向赤道中、西太平洋地区的能量频散有关. 而杨桂英等²⁾ 的研究正相反, 她们认为, 东亚地区冬季冷空气活动异常偏弱有利于厄尔尼诺发生. 此外, 在 Angell^[5] 的研究中还得到, 秋季 SO 与其后冬季赤道东太平洋海温相关系数信度超过 95% 显著水平. 在寻求预报 SO 的指标时, Wright^[6] 发现, 用上一年 12 月至当年 2 月的气象要素预报当年 4 月到下年 3 月达尔文气压较好. Vanloon 等^[7] 指出, 厄尔尼诺前一年夏天新西兰附近海平面气压低, 南太平洋气压高. 虽然这些研究都说明厄尔尼诺的发生与大气条件的变化有关, 但仍存在一些不明确的问题和看法. 如东亚的冷空气活动强还是

本文于1988年7月15日收到, 修改稿于1989年3月13日收到.

• 国家自然科学基金和国家气象局季风科研基金资助项目.

1) 李崇银, The actions of frequent and stronger East-Asia trough in wintertime and the occurrence of the El Niño event, 1987.

2) 杨桂英、章淹, 东亚冬季冷空气活动异常对 ENSO 的影响, 1987.

弱更有利于塔尔尼诺发生? 哪个季节的SO对埃尔尼诺影响更明显? 除东亚冷空气活动和SO外是否还有其他地区的环流条件起作用? 为了更好地回答这些问题, 还需要对影响埃尔尼诺发生的大气环流条件做进一步研究. 本文目的就是尝试通过分析全球各月海平面气压场的变化, 探讨影响埃尔尼诺发生的大气环流条件, 及其空间和季节变化特点, 为预测埃尔尼诺现象的发生和发展提供依据.

一、资料和分析方法

我们主要使用了1950年1月到1986年12月的月平均海平面气压(简称SLP)和海温资料, 其中南半球资料是1951—1980年³⁾. 用 0° — 10° S、 180° — 90° W范围内平均海表温度代表赤道东太平洋海表温度(简称SST). 埃尔尼诺时期, 月平均SST距平等于或大于 0.5°C , 因此SST的变化能够很好地反映出埃尔尼诺现象. SLP资料的范围从 60° N— 50° S, 为10度纬度和10度经度的网格点资料. 为了研究SLP场变化对埃尔尼诺形成的作用, 我们计算了SLP场与SST从同期相关到SLP超前SST 1到12个月各月的相关系数. 对每个月的SST就有13张相关场图, 12个月共有156张相关场图. 根据这些图, 研究了SST对SLP场变化的响应状况, 在此基础上又专门分析了1951年以来各次埃尔尼诺事件形成前和发展过程中SLP场的变化特征.

二、SST对SLP场变化的响应

分析156张相关图后发现, 无论是SLP与SST同时的相关系数, 或超前1—12个月的相关系数, 都存在置信度 $\geq 95\%$ 的点. 但对不同的SST以及SLP超前月数不同时, 相关系数的符号、大小以及分布, 特别是南北半球之间都有明显差异. 为了对比清楚, 我们分南(0° — 50° S)北(10° — 60° N)半球统计了各月SLP与同期和超前SST 1—12个月的相关点数(表1), 以及各月SST与同期及前期(超前1—12个月)SLP的相关点数(表2). 这两个表的资料是一份, 但排列方法不同. 表1是固定SLP看12个月之中, 哪一个月的SLP对后期SST影响大. 表2则是固定SST看12个月之中, 哪一个月SST受前期SLP影响大. 这两个表都可以反映出SLP影响后期SST最大的超前月数. 由于每个半球都有216个网格点, 因此置信度 $\geq 95\%$ 的相关点数 ≥ 20 个即可认为两者有关. 因为如果两者的关系是随机的, 粗略讲, 平均约有10个点达到信度. 显然若20个点以上达到信度, 则点数超过随机情况一倍. 从表1中看到, 点数 ≥ 20 时与SLP所在月有关, 北半球主要出现在冬半年(10月—5月), 一般是同期和超前1—2个月, 很少超前3个月. 1月例外, 超前2个月即下降, 但超前8—12个月相关点数又明显增加. 南半球相关点数 ≥ 20 的月数比北半球多, 而且几乎分布在每个月. 仔细分析, 其分布特点与北半球大体相似. 除2月和10月各超前月的相关点数几乎都 ≥ 20 外, 11—4月的超前月数都在半年左右, 而5—9月特别是6—8月(南

3) 南半球资料1951—1959年取自Notos, 其余系作者根据Monthly Climate Data For The World以及Newletter等杂志补充.

半球冬季)超前月数都在8个月以上。因此可以说,无论是北半球还是南半球,都是冬季的环流对SST作用明显,而且对各自的半球来说,也是冬半年环流的作用时效比夏半年长。

下面分析表2,可以看出,对北半球冬半年(10—5月)的SST变化与其前期SLP的关系比较好,但时效只有1—2个月,个别情况有3—4个月。南半球有所不同,几乎各月的SST与SLP都有比较好的关系,但对不同月的SST作用的时效不完全同。具体说,对1—4月的SST,超前1个月到半年的SLP与之关系比较好,对5—12月的SST,则主要是当年前期各月的SLP有影响。

综上所述,从固定月的SLP对各月SST的影响来看,无论南半球或北半球总是冬半年大气环流对SST影响较大。但北半球SLP的影响时间短,南半球则作用时间较长。此外北半球冬季的SLP对次年秋、冬季的SST也有影响。从固定SST看前期的SLP影响,也得到类似结论:11—4月SST受前期北半球SLP影响大,而南半球SLP则对其后9—4月SST作用明显。因此可以认为,反映埃尔尼诺事件的SST的变化与前期南、北两个半球大气环流的发展均有密切关系。为了认识SLP对SST影响的过程和机制,还必须分析什么地区的SLP对SST影响最大。因此下面一节专门研究了埃尔尼诺事件前期的SLP变化特征。

三、埃尔尼诺形成的大气环流条件

一些研究表明^{[8], 4)} 当月平均SST距平值达到 0.5°C 时,埃尔尼诺事件开始。按照该标准,1951年至今共出现了10次埃尔尼诺事件,即:1951, 1953, 1957/58, 1963, 1965, 1968/69, 1972, 1976, 1982/83, 1986/87。约2—7年出现一次,平均每次事件持续一年左右,并且在11—12月达到峰值。从上节的计算结果也看到11月SST受前期两个半球SLP影响也比较明显。因此,为了便于分析,以各埃尔尼诺年11月的SST变化与前期12个月各月SLP的关系来分析两者的联系。为了对比明显,还与文献[8]定义的6个反埃尔尼诺年(1955, 1964, 1967, 1970, 1973, 1975)做了对比分析。我们主要分析了相关最密切区(称之为相关区)所对应的环流特征,并规定相关区必须由置信度 $\geq 95\%$ 的4个或4个以上相连的相关点构成。分析表明,与埃尔尼诺年有关的前期各月的相关区虽然各月不同,但有一定的变化规律,大体可划分为三个阶段。图1(a)—(c)为各阶段相关区分布。可以看到,三个阶段的相关区分布确实有一定差别。第一阶段除上年11月南太平洋上有一片负相关区外,相关区主要分布在北半球陆地上。第二阶段相关区主要分布在南半球,但不稳定,各月之间差异比较明显。第三阶段相关区分布在南太平洋、澳大利亚和北太平洋,几乎各月都出现在相同地区,尤以6、7、8三个月表现突出。

第一阶段相关区所对应的环流特征,在前冬主要是亚洲大陆冷高压,北太平洋东部至北美的高压和南太平洋高压。为了说明这些地区环流变化的特征,我们绘制了5个埃尔尼诺年和5个反埃尔尼诺年的前一年11月平均SLP图(2a、b)。对比两幅图可以看到,在埃尔尼诺年前期(图2a),亚洲冷高压比反埃尔尼诺年前期(图2b)明显加强,且中心位置偏向东南。这时我国东部冬季风强度指数在埃尔尼诺年明显高于反埃尔尼诺年,相应地气

4) 赵汉光等, 埃尔尼诺与我国气候异常, 1988。

表1 各月SLP超前SST 0°—12个月各月的相关点数分布(信度 ≥ 95%)

SLP超前月数	月 份												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
0°	27	22	18	23	28	6	2	19	12	30	23	21	北半球 (10—60°N)
1	22	32	25	22	12	8	7	16	18	32	19	19	
2	9	25	15	5	23	4	6	21	12	30	12	24	
3	8	16	10	7	19	7	8	12	16	35	18	22	
4	9	14	5	8	32	5	13	13	17	15	22	13	
5	9	11	5	9	11	5	3	18	20	13	18	6	
6	9	8	6	6	21	7	6	14	17	15	15	6	
7	11	9	4	6	18	17	10	10	13	4	7	2	
8	22	10	8	8	28	14	23	18	7	7	23	11	
9	23	12	4	16	30	4	27	10	3	8	15	10	
10	21	14	5	16	6	21	8	6	2	15	11	9	
11	19	19	7	12	18	9	7	10	1	12	16	13	
12	20	32	2	35	14	5	11	6	4	10	16	11	
0°	37	20	36	33	18	35	27	25	44	23	16	32	南半球 (0—50°S)
1	46	11	50	12	27	25	28	38	47	31	15	31	
2	34	28	19	14	20	25	42	25	48	23	15	41	
3	26	24	15	17	16	36	34	24	52	32	18	28	
4	10	32	6	12	24	18	29	31	41	41	18	34	
5	19	38	7	20	22	23	39	25	32	36	51	7	
6	7	46	8	17	21	32	41	23	34	51	16	1	
7	8	28	8	18	14	35	22	14	35	17	24	5	
8	8	41	8	16	12	38	14	43	9	37	17	4	
9	10	46	8	15	20	10	24	26	8	37	27	1	
10	9	32	13	18	14	30	7	14	5	34	36	4	
11	16	26	19	14	13	6	1	7	8	43	27	4	
12	12	32	5	23	9	3	0	17	9	34	37	0	

• 0是同期相关。

表2 1—12月各月SST与超前0°—12个月SLP的相关点数分布(信度 ≥ 95%)

SST所在月	月 份													
	0°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12
1	27	19	12	35	17	18	6	17	28	16	5	19	20	北半球 (10—60°N)
2	22	22	24	18	15	20	14	10	14	30	16	7	32	
3	18	32	9	22	22	13	17	10	23	4	6	12	2	
4	23	25	25	8	13	18	15	13	18	27	21	18	35	
5	28	22	15	16	9	6	15	4	7	10	8	9	14	
6	6	12	5	10	14	9	6	7	7	3	6	7	5	
7	2	8	23	7	5	11	9	2	23	8	2	10	11	
8	19	7	4	19	8	5	8	11	11	15	15	1	6	
9	12	16	6	7	32	9	6	9	22	10	11	12	4	
10	30	18	21	8	5	11	6	4	10	23	9	16	10	
11	23	32	12	12	13	5	21	6	8	12	21	13	16	
12	21	19	30	16	13	3	7	18	8	4	14	19	11	
1	37	31	15	32	41	25	41	25	12	15	13	26	12	南半球 (0—50°S)
2	20	46	41	18	41	32	23	22	37	20	18	19	32	
3	36	11	34	28	18	36	34	14	13	10	14	14	5	
4	33	50	28	26	34	51	51	35	43	24	30	13	23	
5	18	12	19	24	10	7	16	17	9	26	7	6	9	
6	35	27	14	15	32	19	1	24	37	8	14	1	3	
7	27	25	20	17	6	38	7	5	17	37	5	7	0	
8	25	28	25	16	12	7	46	8	4	27	34	8	17	
9	44	38	42	36	24	20	8	28	8	1	36	43	9	
10	23	47	25	34	18	22	17	8	41	10	4	27	34	
11	16	31	48	24	29	23	21	18	8	46	9	4	39	
12	32	15	23	52	31	39	32	14	16	8	32	16	0	

• 0是同期相关。

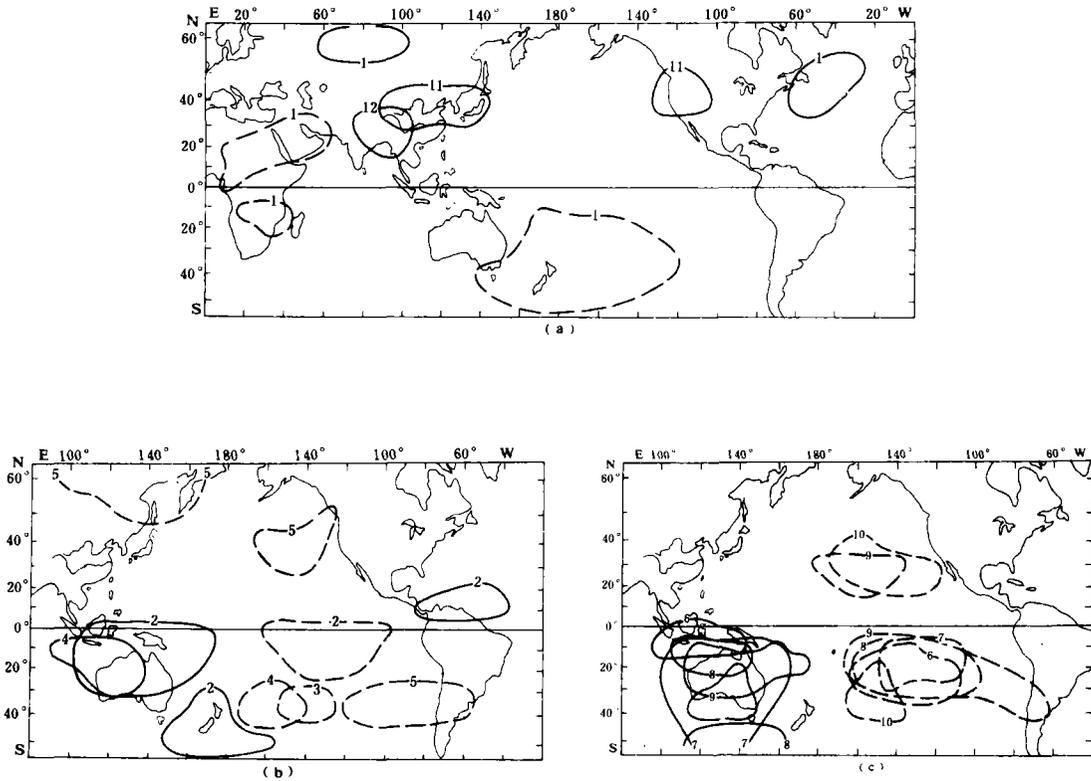


图 1 各阶段的相关区

(a) 第一阶段 (11—1月) (b) 第二阶段 (2—5月) (c) 第三阶段 (6—10月)

(实线为正相关区, 虚线为负相关区, 线端数字为月)

温也比较低(资料略).北太平洋副高与北美高压在埃尔尼诺年前也都比反埃尔尼诺年前强,并且合并为一个高压伸向北美大陆东部.南太平洋高压则减弱,范围收缩,澳大利亚东南部的低压槽加深,因此从澳大利亚至南美西岸经向型环流发展.反埃尔尼诺年前期,这一地区纬向型环流明显.上述差异在12月和1月的图(略)上也有表现,但不如11月明显.另外从图1(a)中还看到,1月北非是一负相关区,北大西洋有一正相关区,它们反映了从大西洋经北非到欧亚大陆大气环流的变化.尤其是北非的负相关区,正是亚洲大陆高压、冰岛低压、亚速尔高压和赤道低压相互作用的地区.因此该地区气压的变化与这4个活动中心强弱和位置的变化有密切关系.计算的格点值表明,在埃尔尼诺年和反埃尔尼诺年这一带SLP差异非常明显.例如在北大西洋中部(30°N, 50°W)埃尔尼诺年气压比反埃尔尼诺年约高4 hPa,北非到中东(30°N, 40°—50°E)则低3 hPa,沿10°N从北非到印度洋也普遍偏低3—4 hPa.而且这个相关区对其后SST的影响可持续1年左右,说明这个因

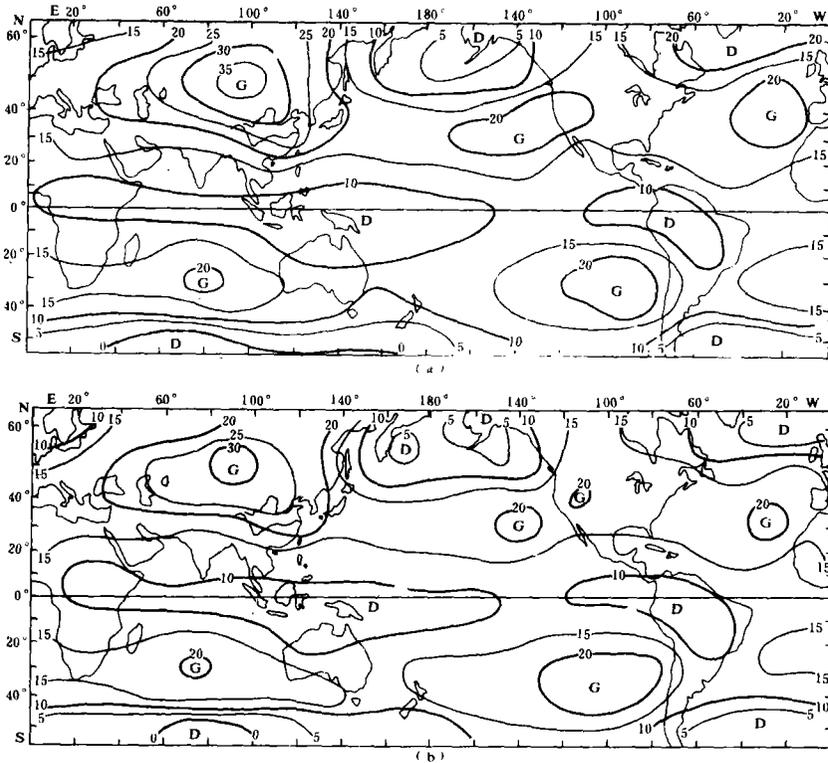


图2 11月SLP合成图

(a) 5个埃尔尼诺年前一年(1956, 1962, 1971, 1975)平均,

(b) 5个反埃尔尼诺年前一年(1954, 1963, 1966, 1972, 1974)平均

子是比较稳定的。

第二阶段的相关区主要位于海洋上,特别是在南半球更日线两侧的相关区有时符号相反,西边为正,东边为负,正好是SO的西支和东支所在位置。因此这种分布反映了SO的影响已经开始,但还不典型。2月南美北岸的正相关区,反映了大西洋高压位置的变化,当高压偏南时,半年后埃尔尼诺发展。5月有三片负相关区,分别位于我国东北及其邻近地区、南太平洋东部和北太平洋东部,相应地环流系统为东北低压、南太平洋副高和北太平洋副高。图3(a)和(b)是5个埃尔尼诺年和5个反埃尔尼诺年平均5月SLP图,可以看到,埃尔尼诺年时,东北低压比反埃尔尼诺年明显加深,范围广,向东可达库页岛以东的海洋上。南北太平洋上的副高都比较弱,因而南、北半球的信风都相应减弱,这些环流条件的变化对埃尔尼诺的发展都是有利的。

第三阶段〔图1(c)〕的一个突出特点是相关区主要在南半球,更日线以西是各月位置大体相同的正相关区(与SO的西支相对应),以东是负相关区(与SO的东支相对应)。因此这种分布特征说明此阶段主要是SO对埃尔尼诺的发展起作用,即SO弱有利于埃尔尼诺进一步发展。为了更好地说明这一事实,我们又分析了各月SST与超前1—12个月各月SO的相关系数变化。根据作者的分析〔4〕,我们选择 10° — 20° S、 100° — 140° E范围内(A区)

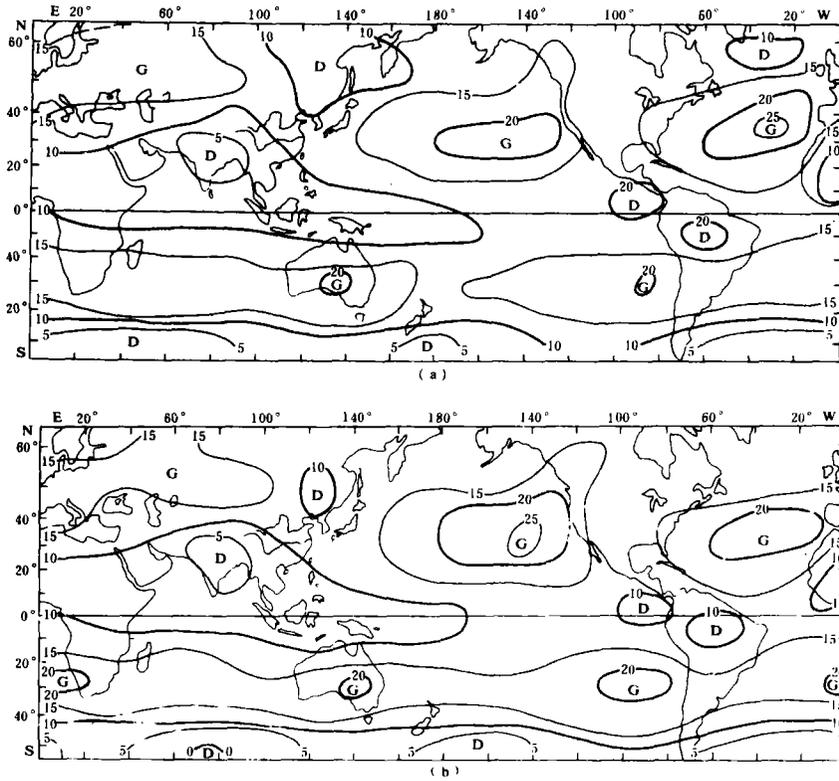


图3 5月SLP合成图

(a) 5个厄尔尼诺年(1957, 1963, 1968, 1972, 1976)平均

(b) 5个反厄尔尼诺年(1955, 1964, 1967, 1973, 1975)平均

10点平均气压代表SO西支, $20^{\circ}-30^{\circ}\text{S}$ 、 $100^{\circ}-140^{\circ}\text{W}$ 范围内(B区)10点平均气压代表SO东支.分别求出各月A区和B区10点平均的相关系数 r ,若两个区的 $|r| \geq 0.36$ (置信度0.05),则认为SO明显,若只有一个区 $|r| \geq 0.36$,则认为SO不典型,两个地区的 $|r|$ 都达不到0.36,则认为SO不明显.现以10月SST的变化为例(图4),可以看到,以SO超前半年的关系明显,尤以超前1—4个月,也就是6—9月SO变化对SST的作用最

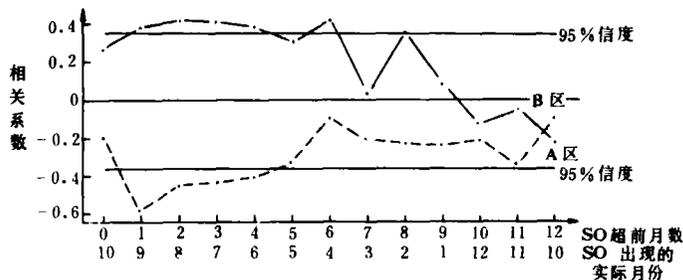


图4 10月SST与超前1—12个月各月A区和B区内SLP的相关系数变化

明显。由于多数埃尔尼诺在6—9月已经开始发展,因此6—9月SO对后期SST影响最大并不一定意味着SO是埃尔尼诺发生的原因,也可能埃尔尼诺对SO减弱也有反馈作用。但无论如何埃尔尼诺一般是在11—12月达到峰值,所以6—8月SO减弱对埃尔尼诺的发展至少起到一定的促进作用。

四、讨 论

根据以上分析不难看出,南、北半球大气环流条件的变化都会对埃尔尼诺的形成和发展有影响。但由于海洋和大气无时无刻不在密切相互作用之中,而且每次埃尔尼诺的发生过程,持续期和强度又都有自己的特点,因此很难归纳出一个对各类埃尔尼诺生成都适合的环流条件。不过通过这个分析可以认为,影响埃尔尼诺的环流因子在近期和远期不同。在埃尔尼诺形成的前冬亚洲冬季风强度变化有一定作用,冬季风偏强埃尔尼诺发生的可能性大。但同时还要注意南太平洋及隆冬1月北非地区环流的变化。但埃尔尼诺是否能继续发展和加强,还要看当年春夏季的各种环流指标,特别是6—8月SO是否减弱。

为什么这些地区的环流在不同时期会对埃尔尼诺的发生有影响?以及通过什么样的物理过程产生影响?下面提出一些初步看法。首先为什么初冬东亚冬季风强有利于第二年埃尔尼诺发生?根据文献[10]的分析,东亚冬季风经圈环流能加强低纬度的哈得莱环流,因而也加强了低层的东北信风。所以在初冬冬季风偏强的年,季风经圈环流也必然比常年强,更有利于信风加强。这与一些研究所指出的,埃尔尼诺发生前太平洋上信风加强是一致的。这也可能就是为什么东亚冬季风的强度变化与埃尔尼诺的发生存在一定联系。但埃尔尼诺的发生是一个相当复杂的问题,绝不是单纯一个冬季风环流因子可以圆满解释的。如从图1(a)中看到,前冬南太平洋上还有一大片负相关区,从它所对应的环流特征来看,在埃尔尼诺发生年,南太平洋上经向环流发展,西风飘流弱,因而不利于风生冷洋流沿南美海岸向北流,这为埃尔尼诺发生创造了有利条件。埃尔尼诺发生年当年的1月,北非的负相关区则反映了赤道太平洋至印度洋地区赤道低压的变化。在埃尔尼诺年前期,此低压要加深,印尼一带对流旺盛,沃克环流处于加强阶段,低空赤道东风盛行,这与前冬冬季风环流的作用一致。这些环流特征,都为埃尔尼诺的发生创造了有利条件。

2月以后,与埃尔尼诺有关的环流条件发生了明显变化。从相关区的分布特征[图1(b)]可以看到,这期间与埃尔尼诺发生有关的环流条件,主要在澳大利亚、印度尼西亚群岛及其东南太平洋上的广大地区。2月相关区所对应的环流特征,极类似于南方涛动的形势,涛动强时,埃尔尼诺发展,但这种形势并不稳定。

6月到10月的相关区分布[图1(c)],则十分稳定,它所对应的环流特征表明,南方涛动减弱不利于南美沿岸冷洋流向低纬度输送。同时9月和10月北太平洋上的负相关区,则反映了这时北太平洋高压弱,相应地太平洋上的偏东信风继续减弱,这也正是埃尔尼诺发展盛期的风场特征。诚然,对大多数埃尔尼诺年来说,这一时期埃尔尼诺已经发生,因此可以说埃尔尼诺与上述环流处于相互作用状态。不过我们取的是11月的SST,正是埃尔尼诺发展最盛的时期。因此若6—8月SO稳定减弱,9、10月北太平洋副高也稳定减弱,

则对埃尔尼诺是否会进一步发展和加强,仍有一定的预报意义。

由于我们只对海平面气压场做了分析,有关大气环流条件对埃尔尼诺影响的物理过程和机制还需要深入研究。通过这个分析所揭露的一些事实,对进一步研究埃尔尼诺的形成和探讨埃尔尼诺的预报问题都有裨益。

参 考 文 献

- [1] Bjerknes, J., Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific, *Mon. Wea. Rev.*, **97** (1969), 163—172.
- [2] Quinn, W. H., Monitoring and predicting El Nino invasions, *J. Appl. Meteor.*, **13** (1974), 825—830.
- [3] Luther, D. S., D. E. Harrison, R. A. Knox, Zonal winds in the Central Equatorial Pacific and El Nino. *Science*, **222** (1983), 327—330.
- [4] Lau, K. M., and P. H. Chan, The 40—50day oscillation and the El Nino/Southern Oscillation. A new perspective, *Bulletin A. M. S.* **67** (1986), 533—534.
- [5] Angell, J. K., Comparison of variations in atmospheric quantities with sea surface temperature variations in the equatorial eastern Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, **109** (1981), 230—243.
- [6] Wright, P. B., Precursors of the Southern Oscillation Proceedings Of The First WMO Workshop On the Diagnosis and Prediction of Monthly and Seasonal Atmospheric Variations over the Globe, 1986, 275—281.
- [7] Van Loon, H. and H. Von Storch, Observed and modeled precursors on the Southern Hemisphere to a warm event in the Southern Oscillation, *Proceedings of the Eleventh Annual Climate Diagnostics Workshop*. 1987, 101—106.
- [8] 臧恒范, 王绍武, 赤道东太平洋水温对低纬大气环流的影响, *海洋学报*, **6** (1984), 16—24.
- [9] Guo Qiyun, The East Asia monsoon and the Southern Oscillation, 1871—1980. *The Climate of China and Global Climate*. 1987, 249—256.
- [10] 杨金杨, 北半球平均经圈环流和季风经圈环流, *地理集刊* 9号 (1965), 113—127.