

从海平面气压场的波谱分析比较南、 北半球大气环流的变化*

郭 其 蕴

(中国科学院地理研究所)

提 要

本文应用沿纬圈的谐波分析,对1951—1960年各年逐月南、北半球海平面气压进行分解,对比两个半球的副热带(30°N, 30°S)及中纬度(50°N, 50°S)的超长波活动发现:(1)南、北两个半球月平均大气环流都存在有性质不同的两类变化,即季节性变化与非季节性变化。在海陆对比明显的北半球,不论西风带还是副热带季节性变化都比较清楚。而南半球仅副热带季节性变化明显,西风带则是非季节性变化占优势。(2)南、北两个半球大气环流的季节变化,都有明显的年际差异。通常,北半球夏季建立(南半球是夏季结束)的年际差异大,北半球夏季结束(南半球是夏季建立)的年际差别较小。(3)超长波位置的年际变化与海陆分布有密切关系。陆地面积大的地区,占优势的超长波位置比较稳定,在几乎全为海洋的50°S,则超长波无论占优势与否,波槽位置的年际变化都较大。

一、引 言

作者等^[1]曾利用多年平均全球海平面气压图,分析了南、北半球大气环流的特征,并通过对比两个半球以及同一半球不同纬度的平均环流的异同,来讨论东亚季风形成的问题。本文则利用10年逐月的全球海平面气压场,分析其超长波变化规律来认识两个半球环流变化的特征,这对进一步探讨东亚季风的形成问题,也是有益的。

由于应用的是月平均图,所以我们只能研究月的尺度以上的大气环流变化。这种大气环流的变化,基本上可以分为两类,一类是季节性变化,这是大气环流最基本的变化。研究大气环流的季节变化,会帮助我们认识海陆分布等因子在大气环流形成中的作用。另一类是非季节性变化,可称为年际变化,它表现为不同年的相同月份环流特征的差异。研究年际变化,可以使我们进一步认识大气环流变化的条件。本文即尝试从这两个方面,对南、北半球大气环流的变化进行一些对比分析。

所用的资料是1951—1960年逐年1—12月各月海平面气压图,范围从60°N—60°S。用谐波分析方法对各纬圈的气压波进行分解,取分解后的各个参数,即绝对振幅 A_n ,相对振幅 P_n 和波槽位置 θ_n ($n=1,2,\dots,6$)来描述逐年各月气压场的特征。具体计算方法见[1]。同时[1]中的图1表明,不论南半球或北半球,各纬圈气压的波谱特征,都可以用40°纬度作为分界,比40°高的纬度与比40°低的纬度变化特征有很大的差异。另外,

* 本文于1979年11月17日收到,1980年3月5日收到修改稿。

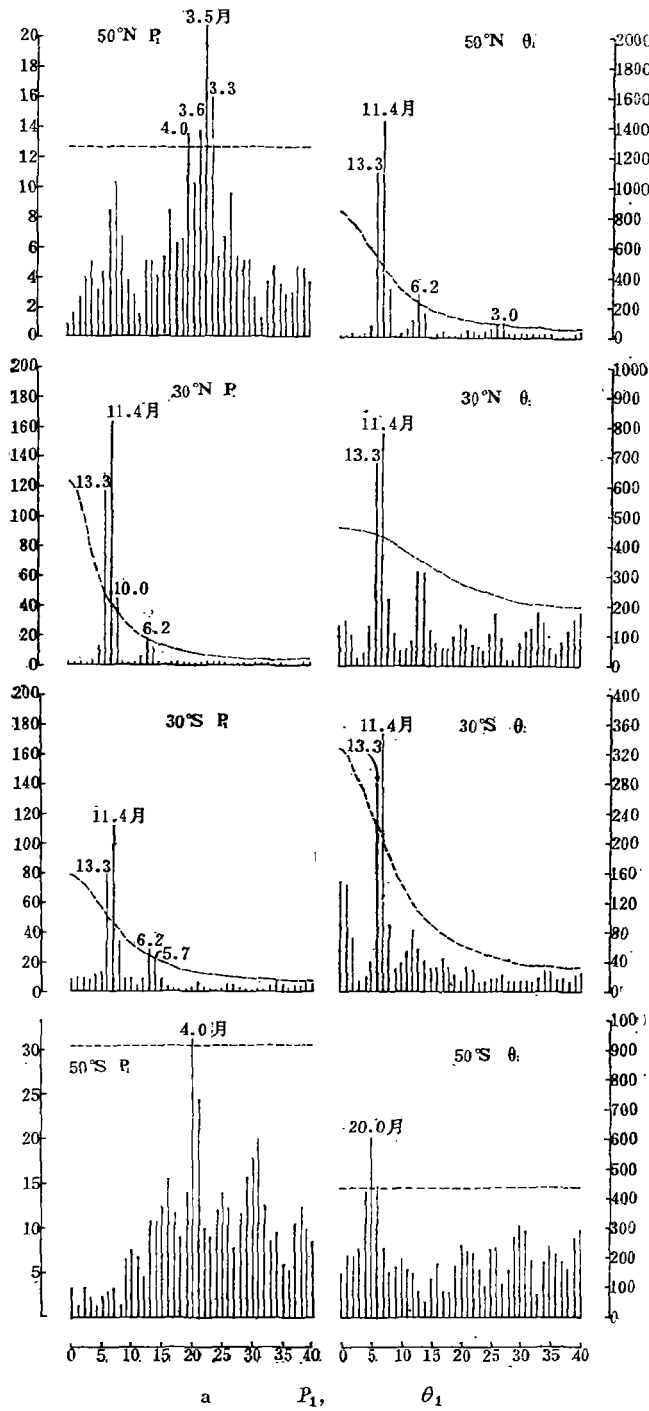


图 1 a

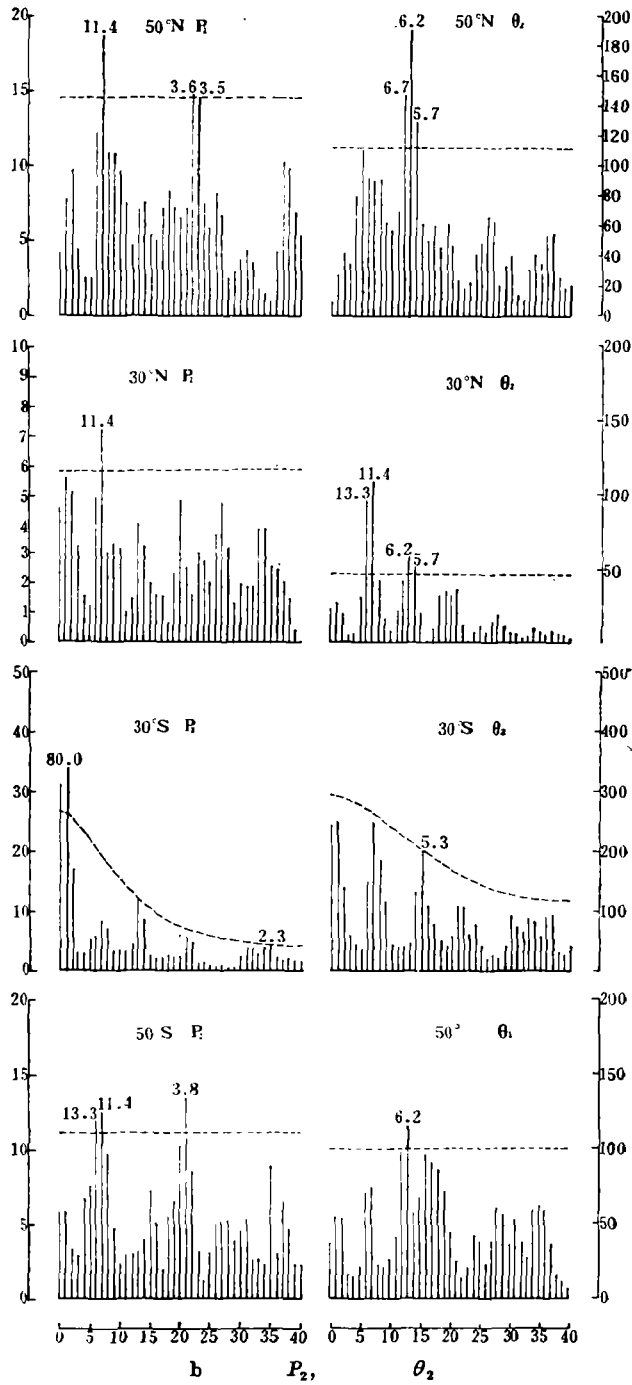


图 1 b

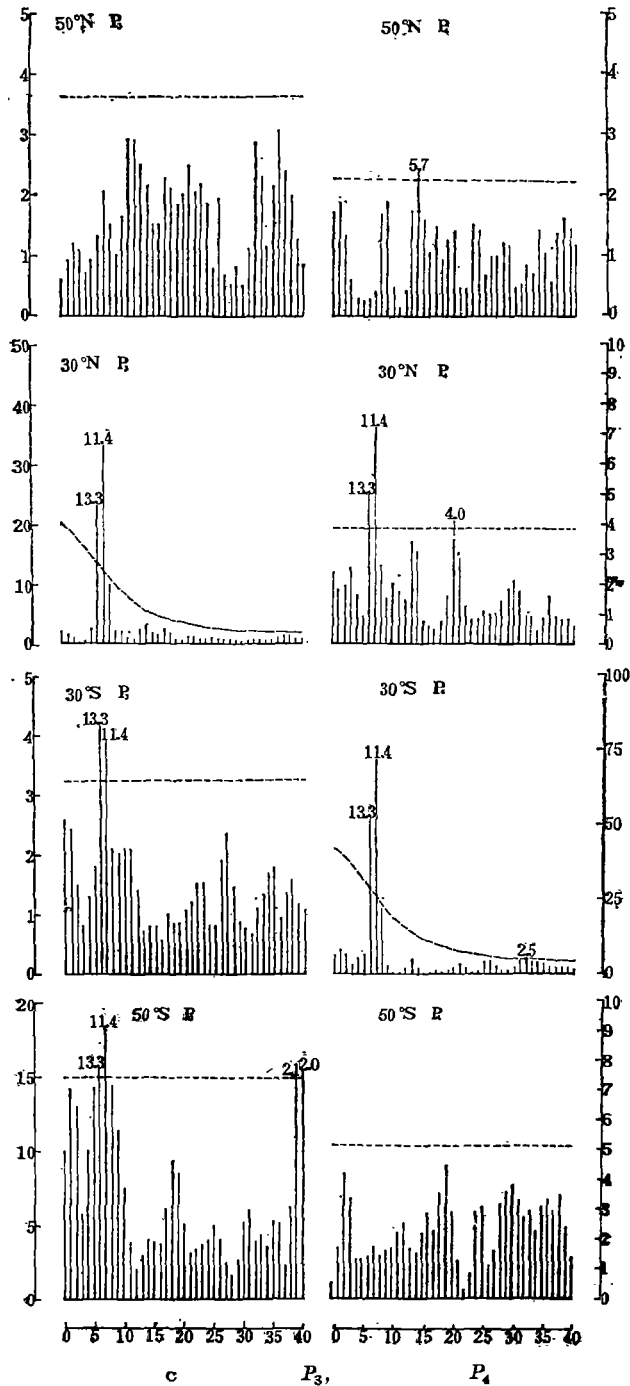


图 1 c

图 1 不同纬度上各种特征量的功率谱
(横坐标是波数, 纵坐标是谱值, 信度界限是 5%)

从海平面气压图^[2]也可以看出, 30°S 各季均为副高所在纬度, 50°S 为西风带。北半球除夏季付热带高压稍偏北外, 大致与南半球相当。因此, 为了各月之间对比, 在本文中, 取30°N(S)代表副热带, 取50°N(S)代表西风带, 主要对这四个纬圈的波谱进行分析。从分解出的气压波来看, 各纬圈绝大多数月的前四个波, 基本上已占到总方差的90%, 也就是说, 各纬圈的前四个波就能够描述环流的主要特征。其中, 前两个波所占比重尤大。所以我们在讨论中, 更多的注意1波和2波的变化。

二、大气环流的季节性变化与非季节性变化

大气环流的季节性变化与非季节性变化, 在物理成因上可能是不同的。因此, 分析南、北半球大气环流的变化特征, 看看在什么地区季节性变化明显, 什么地区非季节性变化更占优势是很必要的。我们对10年逐月的海平面气压场超长波特征量的变化周期进行谱分析, 即计算每个纬圈1—4波的相对振幅(P_1, P_2, P_3, P_4)以及1—2波的位相角(θ_1, θ_2)的功率谱, 具体计算方法可参考[3]。这样每个纬圈有6个特征量, 4个纬圈共做了24个功率谱。图1(a-c)分别为1波、2波振幅和位相角以及3波、4波振幅的功率谱。表1列出了各纬圈上各特征量变化的主要周期(信度取5%)。从表1中看出, 共有七种周期性变化, 其中12个月左右与6个月左右的变化, 属于季节性变化, 其余大都应视为非季节性变化。因为3个月或4个月左右的周期并不一定对一年内的某些月份是固定

表1 不同纬圈超长波特征量变化的主要周期长度(月*)

特征量 \ 周期长度(月) \ 纬度	50°N	30°N	30°S	50°S
P_1	4	12, 6	12, 6	4
P_2	12, 4	12	80, 2	4, 12
P_3		12	12	12, 2
P_4	6	12, 4	12, 2	
θ_1	12, 6, 3	12	12	20
θ_2	6	12, 6	6	6

* 所列周期长度, 一般指其前后一个时段, 如12个月是11.5—13.3个月。同时最明显的周期放在前, 次要者列在后。

的, 故列入非季节性变化。值得注意的是, 在南、北半球以及同一半球的副热带与西风带变化不同。30°N年周期最为突出, 在各种波中均有表现, 尤以占优势的1波(图1a)最明显。这说明, 北半球副热带的季节变化是非常突出的, 不能不说是季风因素在这里起了重要的作用。同样, 在30°S、 P_4 (图1c)的年周期也很清楚, 在50°N则 θ_1 及 P_2 年周期明显。相反, 50°S大部分月占优势的1波并不存在年周期, 只有2波和3波的振幅略有年周期变化。这再一次证明, 作者等^[1]过去的结论: 低纬比高纬季节变化明显, 北半球比南半球季节变化明显。现在的工作表明, 不仅对多年平均而言上述的结论是对的, 就逐年来看, 这个结果也仍然是正确的。

至于非季节性变化，则南半球表现最清楚，尤其是 50°S ，占优势的 1 波的变化周期（4 个月和 20 个月）都是非季节性的。北半球以及南半球的副热带也有 2 个月、3 个月、4 个月以及 80 个月的非季节性变化，但与季节性变化相比，则处于次要地位。

关于季节性变化和非季节性变化产生的原因，是一个需要进一步研究的问题。不过分析不同纬度上地形高度的波谱，并与环流的变化对比，也可以看出一些问题。图 2 a 为 60°N 到 60°S 地形高度的波谱，地形高度取自 [4]。在图 2 中还顺便给出 [1] 中计算的多年平均 1 月及 7 月海平面气压波谱。很清楚， 50°S 地形高度不存在超长波（图 2）。实际上， $45-55^{\circ}\text{S}$ 海陆面积的比为 49:1，几乎可以说全部为海洋。因此，这里的超长波年变化也不明显。而 50°N 地形 2 波明显，气压 2 波的年变化也非常清楚（表 1）。 30°S 地形 4 波占优势，气压 4 波的年变化也很大（表 1）。这些事实说明，海陆分布在大气环流的季节变化中起了重要作用。

谈到 3, 4 个月和 20 个月及 80 个月的非季节性变化，显然就不能直接用海陆热力作用年变化来解释了。也许，3, 4 个月的变化能视为热力作用年变化的非线性作用产生的谐波，但这还需要进一步研究。不过特别是在北半球，数十年来，人们就发现了许多 3—5 个月的韵律活动，并且成为目前长期天气预报的依据之一。这类变化在两个半球中、高纬度表现也更清楚一些，因此很可能与两极的冷空气活动有关。因为，在苏联研究较多的 3 个月和 5 个月韵律，是针对超极地冷高压活动的，而我国在预报中，应用较多的 148 天韵律等，亦反映的是冷空气活动。舒列金（Шулейкин）^[5] 就曾用海陆热力作用的自振来解释大气韵律活动。当然这个问题还需要深入研究才能证实。而 20 个月左右或 80 个月左右的较长时间变化，现在还缺少物理的说明，所用资料仅 10 年，探讨这个问题也嫌不足，留待以后再进一步研究。

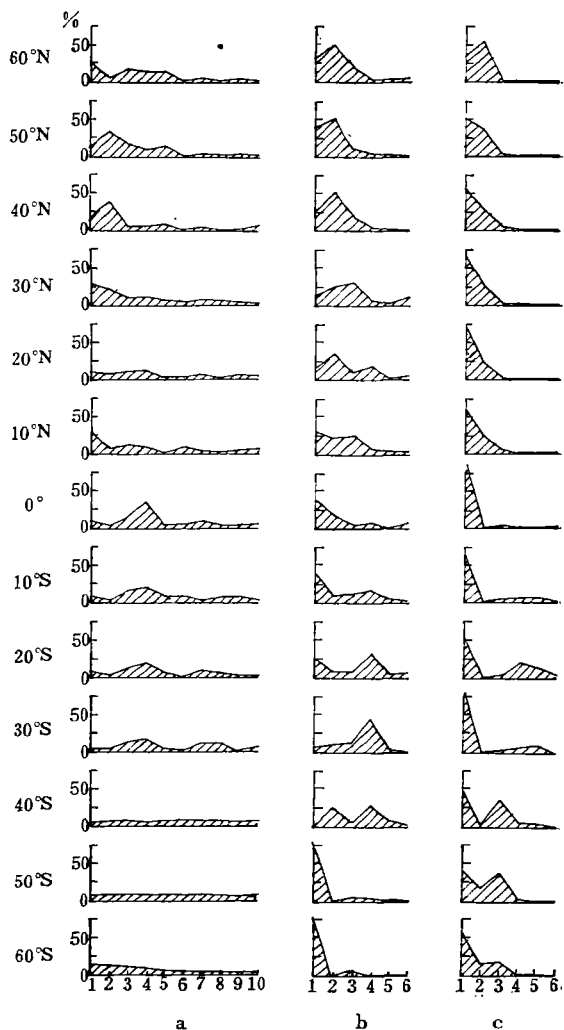


图 2 a-c 地形高度(a)、多年平均 1 月(b)和 7 月(c)海平面气压的波谱
(横坐标为波数, 纵座标是相对振幅)

三、南、北半球大气环流的季节变化特征

上面简略分析了各纬度带环流的两类变化,指出超长波季节变化明显,北半球低纬度尤其突出。所以,这里我们主要从超长波的特征量来讨论大气环流的季节变化。为了便于各月之间的比较,我们仍取各超长波相对振幅的变化和波槽位置作为划分季节的标准。根据各相邻月波谱的共同特点和波槽的稳定经度,分别定出各纬度的季节。表2给出所划分的各季波谱和波槽位置的主要特征。

表 2 不同纬度各季长短及超长波的主要特征

	春	夏	秋	冬
50°N	4—5月(2个月) $P_1 > P_2$ θ_1 位于 180° 以东。	6—8月(3个月) $P_1 > P_2$ θ_1, θ_2 基本上稳定在东亚大陆上。	9月(1个月) $P_1 > P_2$ θ_1, θ_2 接近冬季的位置。	10—3月(6个月) 多数月 $P_2 > P_1$, θ_1 稳定在北美西部。 变化范围不超过 10 个经度, θ_2 稳定在太平洋中部和西欧。
30°N	3—4月(2个月) P_1 显著增加但小于 50% θ_1 位于 90°E 以西的大陆上。	5—9月(5个月) $P_1 > 50\%$ $P_3 + P_4 < 10\%$ θ_1 移至 70—80°E 季内变化 < 10 个经度。	10月(1个月) $20\% < P_1 < 50\%$ θ_1 移到春季的位置。	11—2月(4个月) $P_1 < 20\%$ $P_3 + P_4 > 40\%$ θ_1 活动于东太平洋,位置不稳定。
30°S	9月(1个月) $20\% < P_1 < 50\%$ $20\% < P_2 < 35\%$	10—3月(6个月) $P_1 < 10\%$ $P_4 > 40\%$ θ_4 非常稳定,变化范围不超过 3 个经度。	4月(1个月) 波谱分布特征与春季类似。	5—8月(4个月) $P_1 > 60\%$ θ_1 位于南太平洋上。 变化范围为 20 个经度。
50°S		9—3月(7个月) $P_1 > 70\%$ $P_3 < 10\%$ θ_1 不稳定。	4—5月(2个月) $P_1 > 60\%$ $20\% > P_3 > 15\%$	6—8月(3个月) $P_1 < 40\%$ $P_3 > 20\%$ θ_1 稳定在 60°E 附近。

对比两个半球的特点可以看出,北半球的季节变化最明显。随着波谱的改变,占优势波的波槽位置也发生了明显的变化,不论是副热带还是西风带,1波槽位置冬夏变化可达 130 个经度以上。所以,在划定季节时,更多的考虑 P_1 及 θ_1 。南半球副热带冬夏 1 波槽位置虽然也有变化,但变化幅度比北半球小,但 P_1 的年变化明显,所以在划季节时,主要看 P_1 所占的比重。同时 4 波槽在夏季却非常稳定,因此亦用做反映夏季的指标。50°S 则是另一种变化特点,在这里占绝对优势的 1 波盛行达 7 个月之久,而 1 波槽的变化冬夏不超过 30 个经度。所以,把 P_1 占绝对优势做为冬季。

这样划分的结果,南、北半球不同纬度各季的长短是不同的。对副热带(30°)来说,南半球春季 1 个月,夏季 6 个月;北半球则春季 2 个月,夏季 5 个月,冬季则各为 4 个月。西风带(50°)的情况差别更大。除了 50°S 划不出春季以外,更主要的是 50°S 夏季和冬季的长短与 50°N 正好相反;50°S 的夏季比冬季长,50°N 则冬季比夏季长。南、北半球冬、夏长短的不同,有可能从南、北半球的海平面平均温度纬圈平均值之差^[6]得

到说明。因为根据[6]中的图，冬半年各月(北半球为10—3月，南半球为4—9月)南半球比北半球暖， 50° 附近尤为显著，约差 12°C ，而夏半年则南半球比北半球冷。这是由于在 40° — 60° 纬度带内，南半球的陆地所占面积不足这一纬度带总面积的10%，而北半球相应纬度带的陆地面积在50%以上。北半球冬季陆地冷却快，有利于大范围冷空气堆积。所以，北半球冬季比南半球冷，这样南半球的冬季就短了。同时，南半球又没有明显的春季，所以夏季较长。

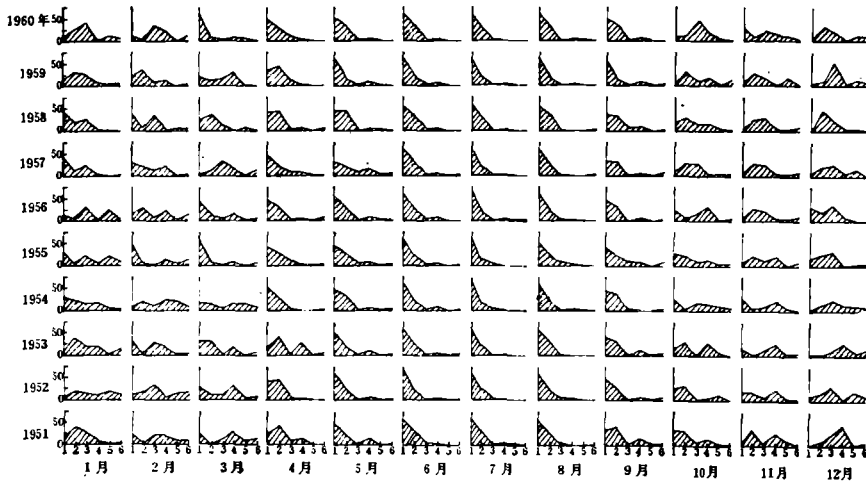
以上是多年平均情况。下面我们来看逐年环流的季节变化，显然它比多年平均要复杂。

首先，比较 50°N 与 50°S 逐年的季节变化。在 50°S 逐年波谱上(图略)，看不出有规律性的季节变化。这与上一节的分析结果是一致的，即 50°S 环流的非季节性变化是主要的。与此相反， 50°N 逐年环流的季节变化却十分明显，各年与多年平均很相近，即1月都盛行2波，7月盛行1波和2波。特别是由夏到冬的过渡，表现得十分稳定，几乎各年都是9月开始过渡、10月建立冬季环流型。这进一步证明，中高纬度大陆的作用在冬季更明显^[11]。

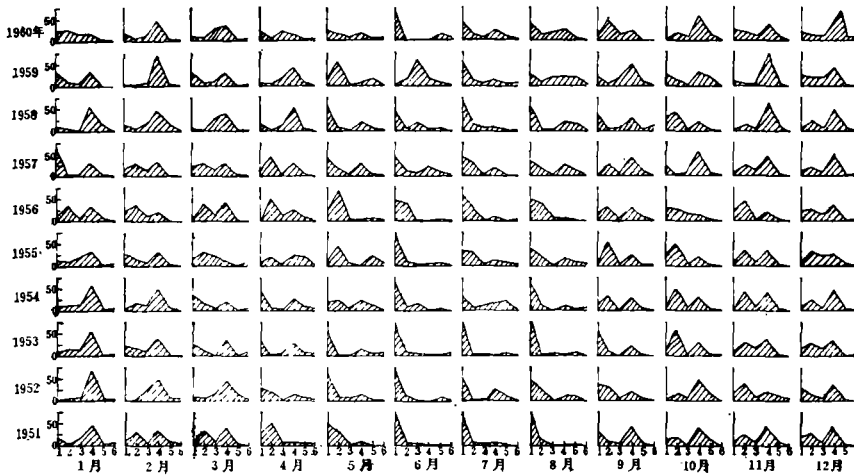
其次，比较两个半球副热带逐年环流的季节变化。从图3(a-b)可看出，不论是南半球或北半球，虽然各年各季都有一定的盛行波，但其年际变化还是比较大的，例如北半球多年平均，夏季(5—9月)盛行1波(见表2 $P_1 > 50\%$)，但个别年(图3a)，如1960年，则早至3月 P_1 就开始占优势。相反，有的年则迟至6月， P_1 才盛行，如1958年，但南半球则与此不同。从表2看到， 35°S 平均10—3月4波占优势，这时 P_1 小于10%，与5—8月($P_1 > 60\%$)形成明显对比。但对个别年来说(图3b)，这一型式可早至2月结束，如1954年；而有些年则迟至5月才结束，如1955年、1959年，早晚可相差三个月。这就是说，北半球夏季来临早晚，以及南半球夏季结束早晚，年际变化大。而北半球夏季结束及南半球夏季开始，则年际变化较小。虽然我们现在还不能对这个很有兴趣的问题做出圆满的解释，但以上分析启示我们：北半球夏季结束期各年差别小，可能与北半球巨大的大陆的作用有关。因为夏至以后，大陆降温迅速，有利于冷空气的堆积和爆发。这一事实也与亚洲冬季风每年来临日期相差不到一个月^[7]，即最早在第49候，最迟在第52候是一致的。南半球夏季结束年际差异大，则可能因为南半球无类似于亚欧的大陆。至于为什么正是北半球夏季结束比较稳定时，南半球夏季开始也比较稳定，同时北半球夏季开始年际变化大时，南半球夏季结束年际变化也大，这可能与两个半球之间的相互作用有关。虽然北半球夏季结束时期并不就是南半球夏季开始，或北半球夏季开始就是南半球夏季结束。但如作者过去曾指出^[8]，东亚夏季风的活动与南半球大气环流的变化是有关系的。

此外， 30°S 还存在更长周期的变化，如1951—1954年夏季的长度多为5—6个月，冬季长度为3—5个月，而1955—1960年，夏季则可盛行7—9个月，冬季只有1—2个月，这可能与周期较长的非季节性环流的变化有关。

总的看来， 30°S 的11—12月(南半球的夏季)和 30°N 的6—8月各年的波谱特征差异较小，尤其是 30°N ，各年相当一致(图3a)，而且1波的绝对振幅各年变化也不大。这些事实，不但说明大陆起了重要作用，而且进一步证明，低纬度大陆的作用夏季



a



b

图 3 沿 30°N(a)和 30°S(b)1951—1960 年逐年各月的波谱
(横坐标为波数, 纵坐标是相对振幅(%))

更明显^[1]。因为同是这两个纬度, 但冬季波谱的年际变化就比夏季大, 尤其是 30°S, 冬季环流盛行期的长短各年差异更大。

四、南北半球大气环流的年际变化与环流异常的持续性

这一节主要讨论两个半球环流的非季节性变化。

首先我们比较两个半球超长波槽位置的年际变化。图 4 为 1 月及 7 月 30°N(S) 和 50°N(S) 1 波槽经度位置(θ_1)的年际变化。很显然, 北半球的年际变化小于南半球, 并且以 30°N 7 月年际变化最小。这再次表明, 南半球的非季节性变化要大于北半球。如果分析各纬度占优势波的波槽位置(图 5), 则可以发现, 30°N θ_3 的年际变化最小, 也就是最稳定。有意思的是 30°S θ_4 也非常稳定, 特别是在南半球的夏季(1 月), θ_4 的年

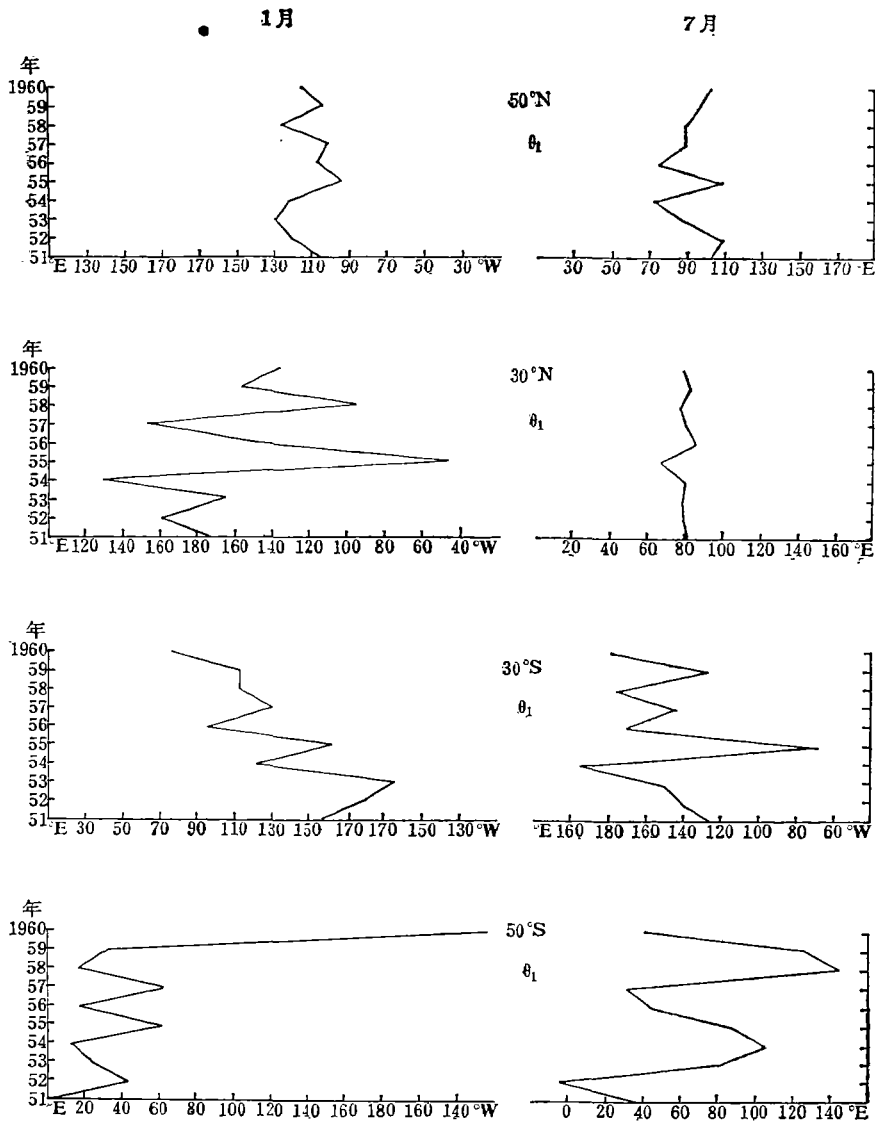


图 4 1,7月 30°N(S)和 50°N(S) θ_1 的 annual 变化

表 3 各纬度 1, 7月盛行波绝对振幅的稳定度

冬		季		夏		季	
1月		7月		7月		1月	
30°N	50°N	30°S	50°S	30°N	50°N	30°S	50°S
A_3	A_2	A_1	A_1	A_1	A_1	A_4	A_1
0.19	0.20	0.30	0.52	0.04	0.14	0.22	0.26

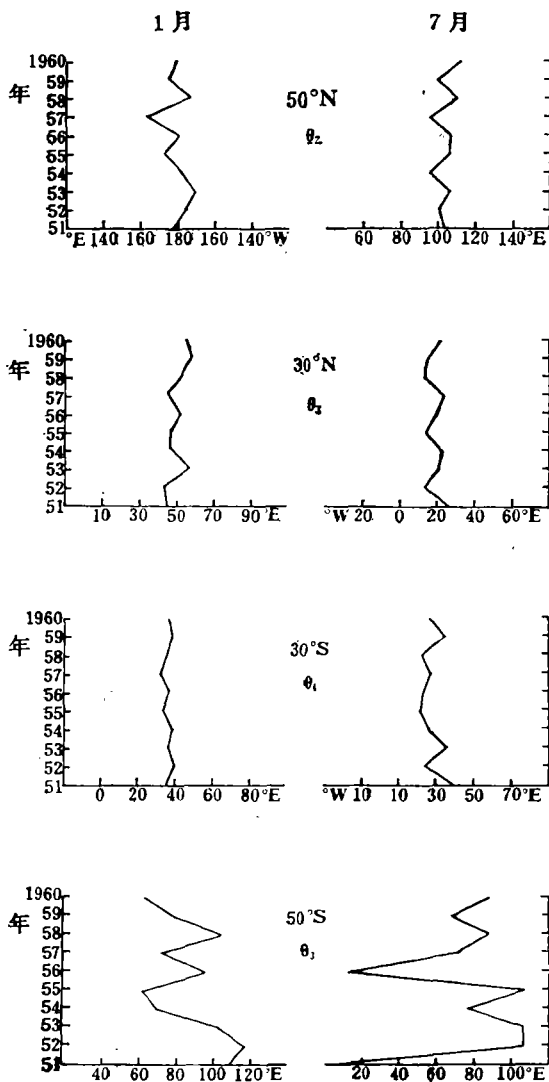


图 5 1,7月各纬度占优势的波槽位置(θ_n)的年际变化

从表 1 还可看到,在南半球的非季节性变化中,除了 2 个月及 4 个月的变化外,尚有更长周期的变化,即 20 个月和 80 个月的变化。因环流异常而产生的这种长周期变化,必然反映出环流有明显的持续性。因此我们计算了各纬度前 4 个波的持续性比。1 波和 2 波各单独作为一类,3 波和 4 波都比较少,故合并为一类。这样就把 1—4 波分作三类,分别计算了三类的持续性比^[9],计算结果列于表 4。若持续性比大于 5% 信度的上界,则表示有持续性,小于 5% 信度的下界,则表示没有持续性。按照这一标准检查,总的情况表明,南半球 50°S 1—4 波的持续性均大于北半球,而且均达到信度标准,其中 3,4 波的持续性尤为突出。30°S 2 波持续性较 30°N 也大得多。这不能不说是由于海洋的影响。因为持续性是指去掉年变化后距平的持续,所以持续性愈大,说明非季节性作用明显。这再次说明,南半球大气环流受年变化因子控制远不如北半球强烈。至

际变化不超过 10 个经度。作者^[1]曾指出过,30°S 夏季 4 波占优势,与澳洲,南美洲和非洲三块大陆有密切关系。由于大陆的位置是固定不变的,因此与其相联系的各年的 θ_n 也应该稳定少变。值得注意的是 50°S 波槽位置的年际变化,不论是 1 波槽(图 4)还是占优势波的 3 波槽(图 5)位置,其年际变化都最大,也就是说,这里的环流最不稳定。这与功率谱分析的结果(表 1)一致,即 50°S 的环流以非季节性变化为主。

其次,为了进一步说明两个半球大气环流稳定性的差异,我们又计算了不同纬度各种波的绝对振幅(A_n)的稳定度,用 S/M 表示, $S = \sqrt{\frac{\sum(\Delta A_n)^2}{N}}$ 为第 n 个波绝对振幅的均方差, N 为资料年数, $M = \frac{\sum A_n}{N}$ 为第 n 个波的 N 年平均绝对振幅。显然, S/M 数值愈小,说明环流愈稳定。表 3 是对不同纬度计算的 1,7 月盛行波绝对振幅的稳定度。从表 3 看出,不论冬季或夏季,都是北半球比南半球稳定;对同一半球来说,则是副热带比西风带稳定。即季节变化明显的北半球以及两个半球的副热带稳定性大,南半球的中高纬度稳定性小。

表 4 各纬度 1—4 波的持续性比

波数 \ 纬度	30°N	50°N	30°S	50°S	5%信度的界限
1	1.18	0.98	1.16	1.15	0.92—1.10
2	1.08	1.03	1.58	1.13	0.92—1.09
3, 4	1.23	0.81	1.06	1.55	0.92—1.10

于为什么南半球的环流异常得以持续, 也许与海洋的热力作用有关。海洋是巨大的热量储存库, 显然对大气环流的异常起着调节作用。南半球海洋面积大, 这种调节作用也就更为突出。

五、结 论

总结上面的分析, 得到以下初步结果:

(1) 南、北半球月平均大气环流都存在有性质不同的两类变化, 即季节性变化与非季节性变化。在海陆对比明显的北半球与南半球副热带季节性变化明显, 其中北半球的副热带尤为突出; 南半球的西风带则是非季节性变化占优势。

(2) 南、北半球环流的季节变化都有明显的年际差异。通常, 北半球夏季建立(南半球夏季结束)的时间各年之间差别大; 北半球夏季结束(南半球夏季建立)的年际差别小。

(3) 南半球超长波位置的年际变化大于北半球, 这种环流异常一旦发生, 也是比较容易持续的。因此, 南半球环流异常的持续性大于北半球。

致谢: 叶笃正先生对本文提出宝贵意见, 谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] 郭其蕴、叶维明, 气象学报, 37 (1), 86—95, 1979.
- [2] Taljaard, J. J. et al, Climate of the Upper air, Southern Hemisphere, vol. I, U. S. Dept. of commerce, ESSA, EDS., 1969.
- [3] Mitchell, J. M. et al, Climatic Change, W. M. O. Tech. Note 79, 33—38, 1966.
- [4] Berkofsky, L., E. A. Bertoni, Bull. Amer. Meteor. Soc., 36, 350—354, 1955.
- [5] 舒列金, B. B., 海洋物理学, 上册, 456 页, 科学出版社, 1963.
- [6] Van Loon, H., Temperature in the Southern Hemisphere, In: Meteorology of the Southern Hemisphere, Meteorol. Monogr. of the AM. Meteorol. Soc., 13, №35, 25—58, 1972.
- [7] 徐淑英、季劲钧, 地理集刊 (9), 85—101, 科学出版社, 1965.
- [8] 郭其蕴, 地理集刊(9), 43—55, 科学出版社, 1965.
- [9] Brooks, C. E. P., Handbook of statistical methods in meteorology, London, 309—321, 1953.

A COMPARATIVE STUDIES ABOUT GENERAL CIRCULATIONS IN NORTHERN AND SOUTHERN HEMISPHERES IN RELATION TO THE SEA- LEVEL PRESSURE HARMONICS

Guo Qi-yun

(Institute of Geography, Academia Sinica)

Abstract

Zonal harmonic analysis are carried out for monthly sea-level pressure along four latitude belts (30°N , 30°S , 50°N , 50°S) for period from 1951 to 1960. The characteristics of the caculated ultra-long wave show that: (1) there are two kinds of variations of the general circulation, seasonal and un-seasonal. In the Northern Hemisphere, in which the continent-ocean contrast is large, the seasonal variation is significant in both subtropical and temperate belts. In the Southern Hemisphere it is dominant only in the subtropical belt, while in the temperate belt the un-seasonal variation is more evident. (2) There are significant interannual variations of the seaaonal course in both Southern and Northern Hemispheres. The beginning of summer in the Northern Hemisphere and the ending of summer in the Southern Hemisphere are changed obviously from one year to another. But the beginning of northern summer has much greater stability and so does the ending of southern summer. (3) The interannual variation of the positions of ultra-long waves associated closely with the distribution of continent and ocean. The dominant ultra-long waves are more stable in the latitude belt in which the continents occupy a great portion of the area. In the 50°S belt, in which the ocean consist of 90% or more of the area of latitude belt, the postions of ultra-long waves variate greatly from one year to another, independent of whether they are dominanting or not in this latitude belt.