

大气活动中心长期变化的阶段性

张庆云 杨鉴初 林学椿

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文根据 1871—1970 年全球一月、七月海平面的月平均气压,讨论了全球各大气活动中心长期变化的阶段性,同时还讨论了阶段性与太阳黑子数的关系及阶段性在统计学上的意义。我们得到以下几个主要结果:

1. 大气活动中心的长期变化存在着阶段,这种阶段一般持续为 40—60 年。
2. 本世纪 30 年代许多大气活动中心发生了较明显的阶段转折。
3. 大气活动中心及气候要素的阶段转折与太阳黑子数的变化有一定的关系。

一、引 言

本文首先讨论大气活动中心在长期变化中的阶段性;其次讨论阶段的持续性、阶段内的准周期性、阶段间的过渡期及阶段转折与太阳黑子数的关系;最后探讨了阶段性在统计学上的意义。

在讨论大气活动中心的变化时,我们取活动中心的最高、最低气压代表中心强度,并用这个点所在的经、纬度作为活动中心地理位置的变化指标,然后分别对它们作十年滑动平均。分析中用到的 1871—1970 年共 100 年一月、七月的月平均海平面气压资料,均由北京大学等单位提供。这些资料的来源和收集情况王绍武^[1]已作说明。

二、大气活动中心长期变化的阶段性

(一) 气候要素的演变过程,存在着阶段变化,是大气环流发展过程中的一个客观规律,因而把各要素的演变过程进行阶段划分,这对我们认识大气环流发展过程的特点有一定帮助。

首先我们根据各活动中心的要素演变状态即按要素时间序列曲线的跳跃,把大气活动中心的长期变化作了阶段划分。图 1 和图 2 给出的是 1 月和 7 月全球各大气活动中心的经度、纬度、气压三要素中阶段性表现最清楚的情况。从图 1—2 中,我们可以看到,各大气活动中心的长期变化都清楚地呈现出阶段性,从这两张图上我们能够看到以下三个基

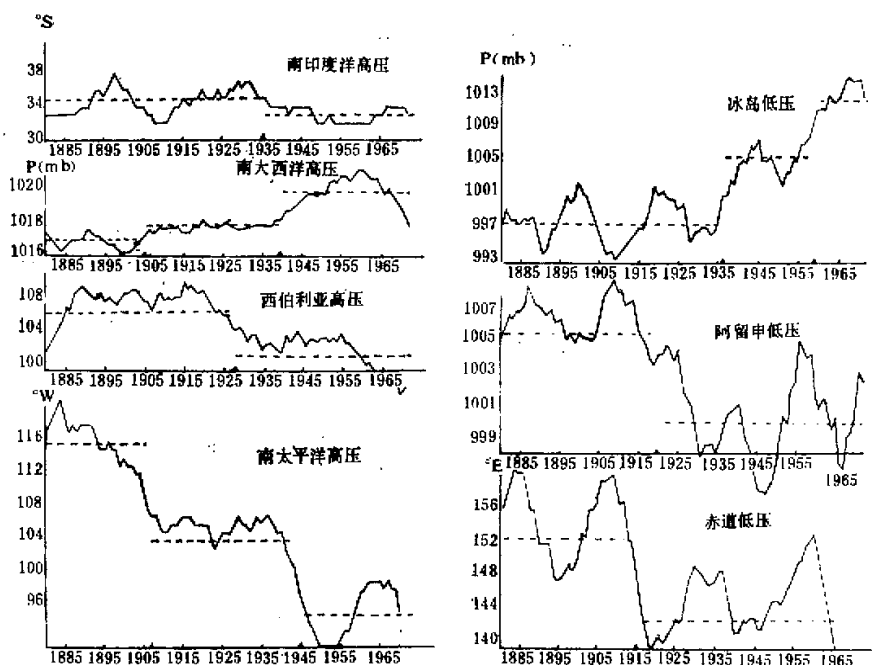


图 1 1871—1970 年 1 月全球各大气活动中心各要素的阶段性变化

虚线表示各个阶段的要素平均值,黑三角表示阶段转折年,下同。

本事实:

(1) 大气活动中心的长期变化都是由各种阶段变化完成,如图 1 中的冰岛低压、阿留申低压,图 2 中的北太平洋高压、南印度洋高压等的长期变化都是由 2—3 个阶段变化来完成的。我们仅用一月份西伯利亚高压中心所在经度的变化情况来说明。如第一阶段 1880—1927 年该活动中心所处的经度在东经 105.3 度附近摆动;而 1928—1970 年的第二个阶段,该活动中心所处的经度在东经 99.9 度附近摆动。显然该活动中心近百年来变化,是由二个阶段完成的。同样,其它大气活动中心的长期演变过程也都是由显著的阶段性变化来完成的,这从图 1—2 中清楚可见。

(2) 每个阶段都由 2—3 个性质相近的准周期变化组成,每个准周期过程平均约为 20 年左右。如图 1 和图 2 中所示,一月赤道低压的经度、阿留申低压的气压、七月北太平洋高压的气压等活动中心的阶段变化,都表明各要素在各自阶段内的变化是相似的。例如在图 1 中,我们看到阿留申低压在 1920 年前那个阶段,气压值的变化是由二个相似过程完成的,在这个阶段内,它的气压值几乎都在 1004.5 毫巴以上变动;1920 年后转为另一个阶段,这时气压值的演变过程又由另外二个相似过程完成,而在这个阶段内气压值几乎都在 1004.0 毫巴以下变化。

(3) 在同一个阶段内要素值的变化较小,并都围绕着自己所在的那个阶段的平均值附近振动,而阶段间要素值的变化较大。这从图中可见,如赤道低压活动中心在 1915 年

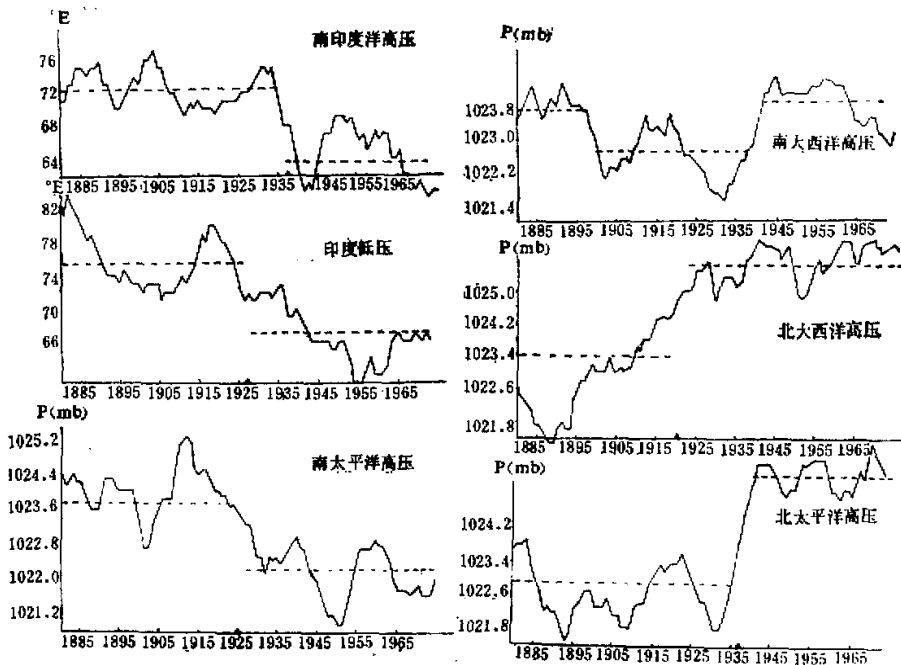


图2 1871—1970年7月全球各大气活动中心各要素的阶段性变化

前那个阶段,活动中心平均经度为 151.7°E ,位置较偏东,而1915年后这个阶段,活动中心所在的平均经度为 141.7°E ,这二个阶段之间平均经度相差达10度,显然1915年后该活动中心所在的经度是西移了。

以上三个基本事实说明,大气活动中心的长期变化是由阶段变化来完成的,而每个阶段却又由几个性质相似的准周期过程组成。在每个阶段内要素值的变化较小,而不同阶段间要素量的变化显著。我们认为阶段间要素值的变化显著,是由于天气过程不同而引起的,因此各要素的量的变化,实际是天气气候变化的反映。

(二) 通过上面讨论,我们已看到各活动中心长期变化都存在着阶段性,同时我们把大气活动中心的长期变化作了阶段划分,为了证实这些阶段划分的合理性,我们对每个活动中心阶段的要素均值及方差分别作 t 检验和 F 检验——即检验相邻阶段要素的均值和方差是否有显著性变化。根据 t 检验和 F 检验公式 (n 大于30)

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}}$$

其中:

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum x_{1i}}{n_1} \quad \bar{x}_2 = \frac{\sum x_{2i}}{n_2}$$

$$n_1 s_1^2 = \sum_i (x_{1i} - \bar{x}_1)^2 \quad n_2 s_2^2 = \sum_i (x_{2i} - \bar{x}_2)^2$$

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$$

在对活动中心各阶段内的要素均值、方差进行 t 、 F 检验时, 公式中下标 1 和 2 分别表示第一阶段和第二阶段。在进行 F 检验时, 我们总是把方差较大的放在分子上, 方差较小的放在分母上——无论方差较大的是表示第一阶段或是第二阶段, 同理, 方差较小的亦然。计算结果分别列在表 1 和表 2 中。

表 1 1871—1970 年一月大气活动中心阶段划分及其他

指标 大气活动中心	阶段	年份	要素均值	计算 t 值	$t_{0.001}=3.37$	计算 F 值	准周期年	过渡年
赤道低压 (经度)	1	1880—1915	151.7°E	4.97	大于	1.99	21 年 25 年	5 年
	2	1916—1970	141.7°E					
南印度洋高压 (纬度)	1	1880—1935	34°S	2.01*	小于	1.42	23 年 19 年	6 年
	2	1936—1970	32°S					
南太平洋高压 (经度)	1	1880—1905	114.7°E	4.9	大于	1.30	23 年 14 年	8 年 6 年
	2	1906—1945	102.6°E					
	3	1946—1970	94.0°E	3.6	大于	1.66	14 年	
南大西洋高压 (气压)	1	1880—1905	1016.5mb	2.08*	小于	1.51	15 年	6 年
	2	1906—1939	1017.4mb					
	3	1940—1970	1019.5mb	4.34	大于	2.02	15 年	
西伯利亚高压 (经度)	1	1880—1928	105.3°E	4.09	大于	1.21	20 年 26 年	7 年
	2	1929—1970	99.9°E					
阿留申低压 (气压)	1	1880—1920	1005.3mb	4.1	大于	1.61	21 年 21 年	5 年
	2	1921—1970	999.9mb					
冰岛低压 (气压)	1	1880—1936	997.3mb	5.8	大于	1.00	19 年	7 年
	2	1937—1959	1005.8mb					
	3	1960—1970	1011.8mb	1.99*	小于	1.06	20 年	

注: 表中 1970 年是本资料结束年, 并不意味着阶段到 1970 年止。下同。

* 表示 t 值达到 5% 信度标准。

从表 1 和表 2 中的 t 值看, 除南印度洋高压、冰岛低压和南大西洋高压的 t 值显著性水平达 5% 外, 其它大气活动中心的 t 值显著性水平都达到 0.1%, 即当 $t > t_0$ 时, 它们分别以 $\alpha = 0.05$ 、 $\alpha = 0.001$ 的信度否定原假设, 故大气活动中心各阶段要素均值的差别是显著的, 我们下这样的结论可能犯错误的概率为 α 。

F 检验是对方差进行检验。方差可以看作衡量随机变量的可能取值与平均数的平均平方离差程度的一种数字表征, 它反映了某种过程波动的程度。在本文的 F 检验中, 我们采用显著性水平 $\alpha = 10\%$, n_1 和 n_2 均大于 30, 查得上限为 $F_{\frac{\alpha}{2}} = 1.64$ 。从表 1—2 中所

表 2 1871—1970 年七月大气活动中心阶段划分及其他

大气活动中心 \ 指标	阶段	年份	要素均值	计算 t 值	$t_{0.001}=3.37$	计算 F 值	准周期年	过渡年	
南印度洋高压 (经度)	1	1880—1935	72.5°E	4.42	大于	1.30	17 年	6 年	
	2	1936—1970	63.7°E				16 年		
南太平洋高压 (气压)	1	1880—1925	1023.7mb	4.29	大于	1.06	17 年	6 年	
	2	1926—1970	1022.1mb				15 年		
南大西洋高压 (气压)	1	1880—1898	1023.7mb	2.63*	小于	1.05	12 年	8 年	
	2	1899—1940	1022.7mb	3.15*		1.06	20 年	8 年	
	3	1941—1970	1023.9mb				21 年		
印度低压 (经度)	1	1880—1927	75.4°E	4.51	大于	1.02	22 年	6 年	
	2	1928—1970	67.1°E				15 年		
北太平洋高压 (气压)	1	1880—1937	1022.9mb	7.3	大于	1.12	21 年	5 年	
	2	1938—1970	1025.7mb				13 年		
北大西洋高压 (气压)	1	1880—1920	1023.4mb	5.88	大于	1.19	15 年	7 年	
	2	1921—1970	1025.6mb				20 年		

* 表示 t 值达到 2% 信度标准

列的 F 检验结果看,几乎所有 F 值均小于 $F_{0.05} = 1.64$, 故在这样的信度下,我们接受原假设,认为二总体的标准差基本相等,即在各个阶段的要素平均数上,它们的波动是稳定的,这就从统计意义上检验了阶段内要素的量的变化较小。

以上二个检验分别表明,阶段间要素的均值变化较大,而要素在各个阶段的平均值的水平上变化时,它们的波动却是比较稳定。因此在同一个阶段内,要素的变化则具有稳定性(持续性)、相似性和周期性。

(三) 大气活动中心的要素变化在每个阶段内所具有的持续性,从图 1—2 中清楚可见,在每个阶段内都嵌套着 2—3 个性质相近的准周期变化,而每个准周期过程大约 20 年左右(详见表 1—2),故我们认为大气活动中心每个阶段持续时间一般约为 40—60 年。另外,阶段间转折过渡时间却是较短,一般为 6—7 年就可完成(详见表 1—2)。6—7 年的过渡年,与每个阶段所持续的 40—60 年相比是很短的,故我们认为,阶段间过渡时间快,要素演变较激烈。

(四) 在表 1—2 中,我们已给出了各大气活动中心阶段划分的年份。从表中可知,有近 1/2 左右的大气活动中心阶段转折发生在 30 年代。由于我们的资料从 1873—1934 年是应用 A. 西拉(Serra)的海平面气压图,而 1935—1960 年的图是利用各种资料补绘出^[1],这样就产生了 30 年代发生的阶段转折是大气过程实际存在的呢? 还是因资料的不连续而引起的? 为了说明这个问题,我们用了几个其它来源的连续性资料来佐证关于 30 年代一些大气活动中心发生阶段转折的现象。

图 3a^[2] 给出的是大西洋-欧洲区域 8 个地区深厚气旋(中心气压在 990 毫巴)年频率的距平曲线。从图中可见, 1932 年前, 绝大多数年份的深厚气旋总数低于标准值; 1932 年后, 深厚气旋的频率显然高于标准值。如果我们按深厚气旋的频率进行阶段划分, 显然 1932 年就是该要素的阶段性转折年。

图 3b^[2] 给出的是 1900—1968 年巴黎 1 月平均气温积分曲线, 从图中可见, 1930 年前, 气温偏低, 1930 年后气温急剧上升。如果把气温变化曲线进行阶段划分, 我们发现 1930 年就是该要素的阶段性转折年。

图 3c^[2] 给出的是 E 型(东方型)和 W 型(西方型)的年频数距平(日数)。从图中可见, 二种型的距平变号都发生在 30 年代。如把它们年频数的距平进行阶段划分, W 型的年频数距平在 1936 年前是正距平, 1936 年后转为负距平, 故 1936 年是该要素的阶段转折年。E 型的年频数距平在 1933 年前为负距平, 1933 年后转为正距平, 故 1933 年为该型距平发生阶段性转折年。其它还有上海、天津、台南的温度变化趋势^[3] (1900—1960) (图略)

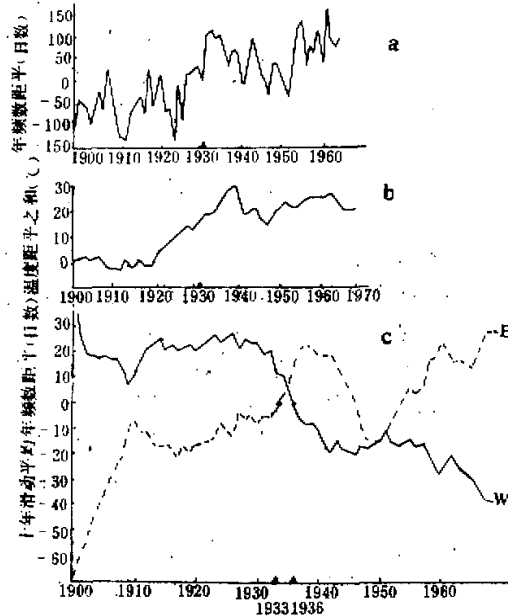


图 3 a 为大西洋-欧洲区域 8 个地区深厚气旋年频率的距平; b 为巴黎 1 月平均气温距平积分曲线; c 为 E 型和 W 型年频数距平曲线。

均在 30 年代明显地发生了转折, 即在 30 年代气温增暖显著。从以上这些各种来源的多种要素转折变化看, 我们认为在 30 年代可能是由于大气环流发生了很大变化(纬向过程转成了经向过程)导致了不同区域的诸要素也发生了转折。故我们认为在 30 年代某些大气活动中心的要素发生阶段性转折基本是可靠的, 并不是因为资料的不连续而引起的虚假现象。

但是为什么在 30 年代诸多的大气活动中心发生阶段性转折的情况要比其它年代更

集中呢?这除了与大气环流发生了较大变化有关外,许多研究认为:太阳活动对天气的影响——特别是对气压系统的位置、强度的影响较为明显。我们在此讨论太阳黑子数的阶段性变化与各要素阶段性变化之间的关系。

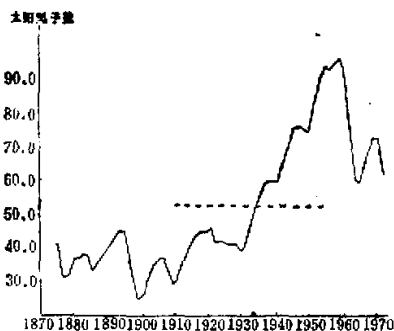


图4 太阳黑子相对数十年滑动平均曲线
虚线表示100年平均。

图4给出的是1871—1970年太阳黑子相对数的十年滑动平均曲线。由图可见,在1934年前,太阳黑子相对数低于100年平均值,1934年后,太阳黑子相对数急剧增大,很快高于100年平均值。如把该要素进行阶段划分,我们发现1934年前太阳黑子数的变化可称为一个阶段,1934年后的演变状态可称为另一个阶段。这样从太阳黑子数的变化来看,也是在30年代发生了阶段性转折。因此我们认为一些大气活动中心及其它气候要素,如温度、降水等在30年代发生了较为显著的阶段转折,可能都与太阳黑子相对数在30年代发生了阶段性转折有关。

三、阶段性对统计预报的影响

目前长期预报的方法之一,就是天气学加统计学方法。用这种预报方法,经常所遇到的一个重要问题,就是相关系数的不稳定性,即相关系数随时间的变化。在统计预报中,人们经常看到这样一种现象,某种统计预报方法用历史资料拟合时,关系很好,而在以后几年试报中,关系也不错,但一到付诸实际应用时,预报和实况就相差较大,有时则完全相反。我们认为这并不说明方法本身不好,而是在用历史资料拟合时与试报的这几年的天气过程可能处于同一个阶段,而当实际应用时,天气过程可能已转为另一个阶段,这时如果还用前个阶段的统计关系来表示后个阶段的情况,就可能出现相关系数的不稳定性。

(一) 相关系数不稳定性最显著的表现形式为正、负号的变化。从我们分析结果看,相关系数从正号转成负号、或从负号转为正号,恰好反映了大气环流演变过程从一个阶段转变到另一个阶段。因而我们认为相关系数的不稳定性(符号变化)与大气过程的阶段性有关。

相关系数某种符号的持续,也是我们在统计预报中经常要碰到的一个问题。从分析结果看,我们认为相关系数符号的持续,表明了天气过程这时正演变于同一个阶段内。所以就同种符号的相关系数值看,仍有明显的波动。这恰好说明,同个阶段内的演变过程是由几个性质较相近的准周期过程组成,因而使得同种符号相关系数的值发生波动。

另外,相关系数的符号变化,也是在较短时间内完成的。这是因为相关系数的符号在发生变号时,并没出现反复现象,而是突变。这可能与长期过程在发生阶段性转折时,是在短时间内完成有关,因而也决定了相关系数的符号转变是突变。故我们认为不仅相关

系数的稳定性要受到阶段性的制约,而且相关系数变号时的现象,也体现了阶段转折时的特点。

(二) 为了说明相关系数的不稳定性、持续性与气候要素的阶段性的关系及要素变化的阶段性是一种全球现象,我们分别在南半球上选用 1 月赤道低压活动中心和 7 月南印度洋高压活动中心历年的经度变化;在北半球上选用 1 月阿留申低压活动中心和 7 月北太平洋高压活动中心历年气压变化来表示活动中心长期过程的阶段性变化。相关系数是用与这四个活动中心相对应的四点的气压值与宜昌流量求取(即赤道低压与 10°S 、 150°E 点相应;阿留申低压与 50°N 、 180° 点相应;南印度洋高压与 20°S 、 70°E 点相应;北太平洋高压与 30°N 、 150°E 点相应)。其目的企图说明相关系数的不稳定性与宜昌流量关系不大,而与各活动中心的要素阶段性变化基本一致。1 月份的相关系数是用 1 月海平面气压与 7 月宜昌流量求取;7 月份的相关系数是用上年 7 月海平面气压与次年 7 月宜昌流量求取。滑动相关系数用下式计算:

$$R_{n-t} = \frac{\sum_{i=t-n+1}^t (x_i - \bar{x}_t) \cdot (y_i - \bar{y}_t)}{\sqrt{\sum_{i=t-n+1}^t (x_i - \bar{x}_t)^2 \cdot (y_i - \bar{y}_t)^2}}$$

其中:

$$\bar{x}_t = \frac{1}{n} \sum_{i=t-n+1}^t x_i, \quad \bar{y}_t = \frac{1}{n} \sum_{i=t-n+1}^t y_i$$

$$t = n, n+1, n+2, \dots$$

n 为滑动年数。计算结果绘于图 5。图 5 给出了与这四个活动中心相对应的四点历年(1881—1970) 20 年滑动相关系数变化曲线。从图中可见,相关系数随时间的变化,呈现出不稳定性(正、负号变化)。如果我们把相关系数某种符号所持续的时间也称为一个阶段,那么相关系数的这种不稳定性就呈现为阶段变化。如 10°S 、 150°E 这点逐年相关系数的变化,在 1914 年前,都是正相关系数,1915 年后变成了负相关,故 1915 年是此相关系数序列的转折年。从图 1 中我们看到,1915 年正是赤道低压活动中心经度变化的阶段转折年,从该活动中心的二个阶段所在的平均经度来看,第二阶段比第一阶段所在的平均位置西移了 10 个经度。从这可以看出,当活动中心的要素发生了阶段性转折后,由于要素值有了显著性变化,引起了相关系数发生符号变化。故我们认为相关系数的符号变化,与活动中心的要素发生阶段转折有一定关系。

从图 1 中,我们还看到阿留申低压中心气压的历年变化,在 1920 年前这个阶段,平均气压为 1005.3 毫巴;1920 年后该活动中心气压变化处于另一个阶段,在这个阶段内其平均气压为 1000.0 毫巴。故我们把 1920 年看作是阶段转折年。与此活动中心相对应的 50°N 、 180° 这点的相关系数序列曲线,在 1926 年前,都是负相关系数,1926 年后转为正相关系数,此相关系数序列以 1926 年为界,被分成二个阶段。从这里也可以看到,当活动中心发生阶段转折后,与该活动中心有关的相关系数随之也产生了相应变化。

北太平洋高压中心的历年气压变化在图 2 中已给出。该中心气压在 1871—1937 年间平均为 1022.9 毫巴;1938—1970 年间气压均值达到 1025.7 毫巴。我们把 1937 年看作

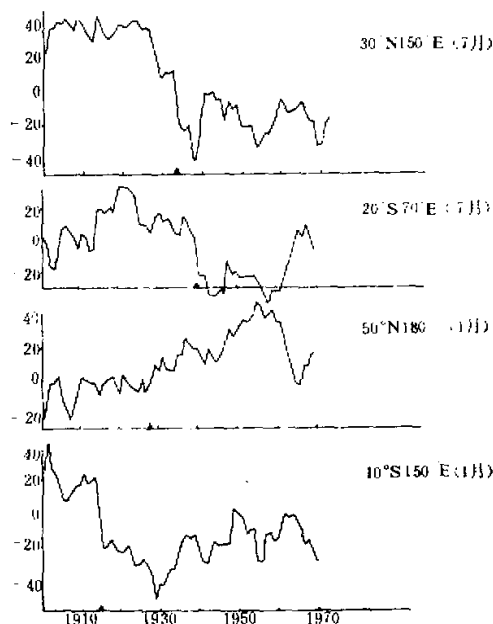


图 5 四点气压与宜昌流量 20 年滑动相关系数

是该活动中心气压发生阶段性变化的转折年。与该活动中心所对应的点 30°N 、 150°E 的相关系数序列(见图 5) 在 1933 年前为正相关系数, 1933 年后转为负值。从这也不难看出, 活动中心的气压发生阶段性转折与相关系数序列的符号变化存在着一定关系。

在图 2 中, 我们还看到南印度洋高压中心所在的经度变化, 以 1935 年为界, 该要素变化被分成二个阶段, 二个阶段的均值差达 9 个经度。再看图 5 中 20°S 、 70°E 这点的相关系数序列变化, 在 1939 年此相关系数序列由正值转成了负值, 从而我们看到, 该活动中心所在的经度发生阶段转折与相关系数发生符号变号的时间, 也基本对应。

(三) 以上四个例子说明, 尽管这四点上相关系数的计算都与 7 月宜昌流量有关, 但相关系数序列的变号时间并不一致。这说明相关系数的不稳定性, 不完全是由宜昌流量所决定, 而可能各个活动中心要素的阶段性变化起更重要的作用。因为相关系数的符号变化都与活动中心要素的阶段性变化基本一致。

另外我们还看到, 活动中心的某要素发生阶段性转折与相关系数符号发生变号的时间有正负 5 年之差。产生这种误差的原因, 可能是由于活动中心某要素在发生阶段性转折的那段时间, 既保留了前个阶段的特征, 又具有后个阶段的特色。如果在发生转折的那段时间内, 保留了前个阶段的特征较多, 则相关系数的变号可能比该活动中心的要素发生阶段转折要落后几年; 反之, 若在发生阶段性转折的那段时间内, 更多地具有下个阶段的特色, 则相关系数的变号可能比该活动中心的要素发生阶段性转折要提前几年。

综上所述, 我们认为由于气候要素的变化存在着阶段性, 就造成了与该要素有关的相

关系数的不稳定性。因而统计预报中经常碰到的相关系数的不稳定,是长期过程中某要素发生阶段性转折的反映。

结 束 语

关于阶段的划分,有各种各样的方法,本文对大气活动中心要素演变过程的阶段划分,首先是根据各要素时间序列曲线的位相变化来定的,而后对每个阶段分别作统计检验。检验结果表明,阶段间要素变化显著,这说明我们的这种阶段划分还是较为合理的。尽管这样,我们还是看到,各个阶段内的演变状况都不可能完全相似。因此我们认为,把某要素演变过程进行阶段划分,只不过是把性质较为相近的特征更集中在一起,以便充分突出过程的主要特点。这不但牵涉到对大气过程本质的理解,而且还是一种有用的资料处理方法。从而使我们能够更好地认识、揭露大气环流演变发展中各要素变化时的一些自然规律。

本文中滑动相关系数是采用了 20 年滑动,这是因为大气活动中心大约有着 20 年左右的准周期性变化。必须指出,对于不同的气候要素,在计算相关系数时,采用多少年滑动平均为宜,是值得研究的。根据经验,一般来讲,对某个要素较长的时间序列,采用 15—30 年为宜,因为少于 10 年相关系数的变化往往并不显著;这可能正如杨鉴初所指出的那样,在历史变化中,并非时常出现转折点,往往在 10 年或 20 年以上方出现一次。因此对某要素相关系数的计算,采用多少年滑动平均为宜,需根据天气-气候学的背景来作出考虑。

气候要素在演变过程中发生阶段性转折,是受到诸多因素影响的结果,因此目前还难以完善地进行预报。从我们的讨论中发现,太阳黑子数的变化,大气环流型对各要素的阶段转折,有着不同程度的影响,我们认为这是一个值得进一步研究的问题。

参 考 文 献

- [1] 王绍武,近 90 年大气环流的振动(上),气象学报,34 卷 486 页,1964.
- [2] A. A. 吉尔斯,大气环流的多年振动及其长期水文气象预报,科学出版社,1976.
- [3] 张家诚等,气候变迁及其原因,科学出版社,1976.

THE STAGES IN LONG-RANGE VARIATIONS OF THE ATMOSPHERIC CENTRES OF ACTION

Zhang Chingyun Yang Jianchu Lin Xuechun

(*Institute of Atmospheric physics, Academia Sinica*)

Abstract

Based on the global monthly-mean sea-level pressure data of January and July during the years 1871—1970, the characteristics of long-range variations in the atmospheric centres of action have been examined. The relationship between the stages of variation and the sunspot number, and the influence of the stage's characteristics on statistical forecast have been discussed.

The results we have obtained are as follow:

1. The characteristics of long-range variations in the global atmospheric centres of action vary obviously with stages and these stage's characteristics normally persist for 40—60 years.
2. In the 1930s a number of atmospheric centres of action underwent a remarkable stage-turning.
3. The stage-turning of the atmospheric centres of action and the climatic elements in a certain degree are related to the change of sunspot number.