

# 北半球 500 毫巴月平均环流特征及演变 规律的研究——西风指数\*

王紹武

(北京大学地球物理系)

## 提 要

本文是作者研究近 10 年大气环流特征及演变规律工作的第一部分。应用 1951—1960 年北半球 500 毫巴月平均图计算了历年逐月  $35^{\circ}$ — $55^{\circ}$ N 西风指数。主要结果如下:

(1) 近 10 年中纬度西风强度比 40 年代约增强 5—10%，西半球 ( $180^{\circ}$ — $10^{\circ}$ W) 主要是夏半年 (5 月—10 月) 增强, 东半球 ( $0^{\circ}$ — $170^{\circ}$ E) 却在冬半年 (11 月—4 月) 增加最多。但比 1900—1939 年稍有减弱。

(2) 北半球西风指数 ( $I$ ) 的半年平均值有明显的周期性振动, 主要周期为 10 年、5.5 年及 26 个月三种。前两种可能与太阳活动 11 年周期有关。

(3) 东半球与西半球半年平均西风指数 ( $I_E$  与  $I_W$ ) 之间, 夏半年为正相关 (0.77), 冬半年为负相关 (-0.54)。这可能与环极气流中心偏离北极有关。

(4) 夏半年与其后之冬半年  $I_E(I_W)$  有负(正)相关, 由冬半年到夏半年变化趋势相反。

(5) 这种半年之间的联系实际即造成东西两半球西风指数的两年周期, 因为半球之间只有  $90^{\circ}$  位相差, 故北半球亦有显著两年周期。

(6) 夏半年内或冬半年内西风指数经常维持同一特征。东半球高指数形势持续性强, 西半球则低指数形势持续性强。

## 一、引 言

由于观测资料的积累, 目前已经有可能对较长时期的对流层中层大气环流状况进行综合研究。因此, 应用近 10 年 (1951—1960 年) 北半球 500 毫巴月平均图, 对大气环流的特征从不同角度做一些分析, 并着重探讨其长期演变的规律。希望能对大气环流的理论研究及长期天气预报工作有所裨益。

所用资料来源为中央气象局所出版的 1951—1958 年北半球 500 毫巴月平均图<sup>[1]</sup>, 及作者按文献 [2] 的记录绘制的 1959—1960 年 500 毫巴月平均图。

描述大气环流特征的指标有很多种, 历史最久, 应用最广泛的的就是所谓“西风指数”。二十多年来, 人们曾经用不同的公式对不同高度与地区进行计算。西风指数, 目前无论在实际预报工作中或在理论研究中都占有重要地位。有关这方面的历史及研究成果, 文献 [3] 中有不少记载, 这里不赘述。仅想指出, 西风指数固然表示了大气环流特征的一个主

\* 本文 1963 年 3 月 15 日收到。

要方面,但并没有能描述所有重要特征,至少象槽脊位置等就反映不出来<sup>1)</sup>,因此还需要其它指标。不过,无论如何,西风指数终究是一个很重要的指标,所以仍然从它开始讨论。

## 二、10年平均西风指数

西风指数有各种不同的计算方法,我们采用最经典的定义:北纬 $35^{\circ}$ 与 $55^{\circ}$ 的高度差。对北半球及其东( $0^{\circ}$ — $170^{\circ}$ E)、西( $180^{\circ}$ — $10^{\circ}$ W)两部分计算,得到 $I$ 、 $I_E$ 与 $I_W$ (附表1—3)。

附表1 东半球( $0^{\circ}$ — $170^{\circ}$ E) 西风指数距平(位势什米/ $1^{\circ}$ 纬距)

年 代 \ 月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全 年
1951	-0.03	0.05	0.03	-0.26	0.06	-0.05	-0.10	-0.05	-0.16	-0.17	-0.06	-0.12	-0.072
1952	0.15	-0.11	0.07	0.15	-0.07	0.17	-0.13	-0.05	0.10	0.22	0.17	0.17	0.070
1953	-0.12	0.07	-0.08	-0.31	-0.15	-0.05	0.07	0.03	-0.01	-0.06	0.08	-0.01	-0.045
1954	0.02	-0.05	-0.01	-0.07	0.12	-0.11	-0.10	0.02	0.02	-0.16	-0.11	-0.29	-0.060
1955	-0.06	0.27	0.21	0.09	-0.01	0.08	0.09	-0.13	0.05	-0.12	-0.10	0.21	0.048
1956	-0.07	-0.27	-0.04	0.24	0.17	0.05	0.11	0.13	0.06	-0.04	-0.02	-0.33	-0.001
1957	-0.12	-0.21	-0.11	-0.01	-0.24	-0.15	-0.06	0.08	-0.08	0.00	0.00	0.07	-0.069
1958	0.10	0.12	0.30	0.25	0.15	0.04	0.07	-0.10	0.09	-0.02	-0.01	0.19	0.098
1959	-0.01	-0.23	-0.27	0.06	-0.11	-0.03	-0.08	-0.06	-0.16	0.16	-0.09	0.17	-0.064
1960	0.10	0.35	-0.06	-0.10	0.09	0.07	0.17	0.17	0.11	0.21	0.11	-0.11	0.093
1951—1960	1.56	1.58	1.49	1.37	1.17	0.90	0.90	0.99	1.23	1.49	1.70	1.69	1.339

附表2 西半球( $180^{\circ}$ — $10^{\circ}$ W) 西风指数距平(位势什米/ $1^{\circ}$ 纬距)

年 代 \ 月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全 年
1951	0.40	0.14	-0.24	-0.22	-0.09	-0.17	-0.07	-0.07	0.05	0.03	0.13	0.10	-0.001
1952	0.25	-0.10	-0.01	0.14	-0.20	0.12	-0.06	-0.12	-0.15	0.13	-0.33	-0.23	-0.047
1953	0.08	0.10	0.08	-0.17	0.05	-0.12	0.00	0.06	0.05	0.14	0.08	0.31	0.055
1954	0.05	0.31	0.01	0.21	-0.08	0.00	0.04	-0.04	0.01	-0.13	-0.04	-0.29	0.004
1955	-0.10	-0.16	0.00	-0.05	0.21	-0.17	-0.10	0.01	0.15	0.10	-0.16	-0.22	-0.041
1956	-0.52	-0.12	0.38	-0.11	0.34	0.11	-0.07	0.01	-0.02	-0.03	-0.25	0.09	-0.016
1957	0.14	0.20	-0.15	-0.04	-0.13	-0.09	-0.15	-0.15	-0.24	-0.39	-0.15	0.01	-0.095
1958	-0.19	-0.41	-0.49	-0.16	0.01	0.06	0.11	0.11	0.15	-0.08	0.17	0.03	-0.058
1959	0.00	0.30	0.42	0.22	-0.04	0.06	0.07	0.00	-0.08	0.17	0.15	0.21	0.123
1960	-0.07	-0.31	0.04	0.20	-0.06	0.17	0.24	0.15	0.08	0.04	0.41	0.01	0.075
1951—1960	1.86	1.78	1.64	1.53	1.34	1.31	1.17	1.26	1.47	1.71	1.89	2.07	1.586

首先我们来讨论西风指数10年平均值的年变程及年际变率,从图1及图2可以看出如下几点。

1) 虽然有的作者指出槽脊位置与西风强度有一定关系,但是分析表明这些关系却往往不是唯一的,这将在我们以后的工作中讨论。

附表 3 北半球西风指数距平(位势什米/1°緯距)

年 代	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全 年
1951	-0.18	0.10	-0.11	-0.24	-0.02	-0.10	-0.09	-0.05	-0.06	-0.07	0.03	-0.01	-0.037
1952	0.20	-0.10	0.03	0.14	-0.14	0.15	-0.10	-0.08	-0.02	0.17	-0.08	-0.02	0.012
1953	-0.02	0.09	-0.01	-0.24	-0.05	-0.08	0.03	0.05	0.02	0.04	0.08	0.15	0.005
1954	0.04	0.13	0.00	0.07	0.01	-0.05	-0.03	-0.01	0.01	-0.14	-0.08	-0.29	-0.028
1955	-0.08	0.05	0.10	0.02	0.09	-0.04	-0.01	-0.06	0.10	-0.01	-0.13	0.00	0.003
1956	-0.29	-0.19	0.17	0.06	0.25	0.08	0.02	0.08	0.02	-0.03	-0.14	-0.12	-0.008
1957	0.01	0.00	-0.13	-0.02	-0.19	-0.12	-0.11	-0.03	-0.16	-0.20	-0.07	0.04	-0.082
1958	-0.04	-0.14	-0.10	0.05	0.08	0.06	0.08	0.01	0.12	-0.05	0.08	0.11	0.022
1959	0.00	0.04	0.07	0.14	-0.08	0.02	-0.01	-0.03	-0.12	0.17	0.02	0.19	0.034
1960	0.02	0.02	-0.02	0.05	0.01	0.12	0.20	0.17	0.10	0.13	0.26	-0.05	0.084
1951—1960	1.71	1.68	1.57	1.45	1.26	1.10	1.04	1.12	1.35	1.60	1.80	1.88	1.463

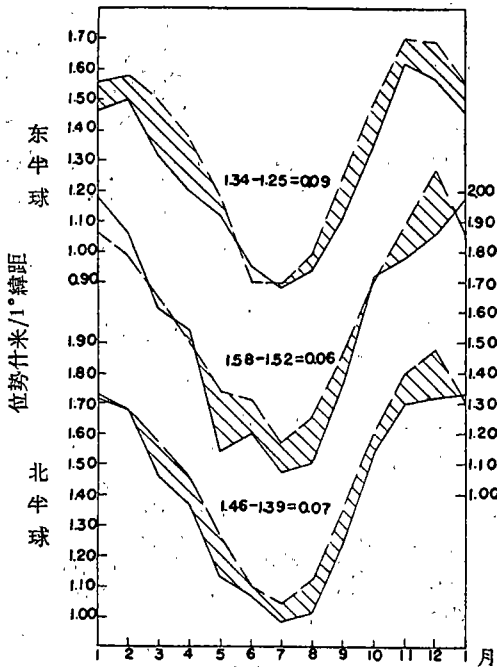


图 1 西风指数的年变程(一)

——1951—1960年, ---1947—1953年

1. 无论  $I$  或  $I_E$  与  $I_W$ , 12月都比1月大, 因此在前冬形成西风指数年变程的峰点. 西风的最低点普遍出现于7月. 月际变化4—5月及9—10月最大.

2. 各月  $I_W$  均比  $I_E$  大, 冬季(12—2月)及夏季(6—8月)差别最大. 年平均

$$\frac{I_W}{I_E} = 119\%$$

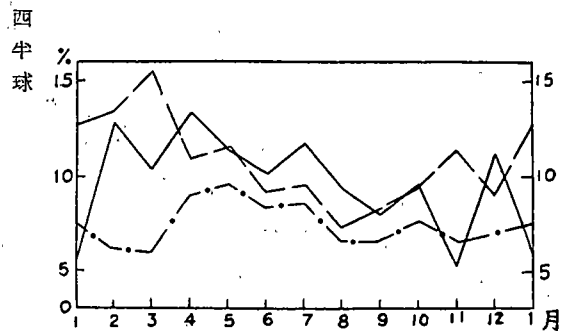


图 2 西风指数的均方差

——东半球 ---西半球 ····北半球

3. 从各月均方差来看(以占该月西风指数的百分率表示), 月平均西风的年际变率约为 10% 左右. 一般春季变率最大, 秋季有一个次高点. 夏半年  $I_E$  的变率比  $I_W$  大, 冬半年相反.

其次, 为了检查计算结果的代表性, 又按文献[4]及[5]的资料计算了各月及年平均西风指数. 图1及图3中实线分别为1947—1953年平均与1900—1939年平均, 虚线为1951—1960年平均, 当后者数值较大时用斜线划出. 显然, 三者的年变程及绝对值基本上是接近的. 但是也稍有差别, 例如,  $I_W$  在其它两个时期最高点都在1月.

更有趣的是这三个时期西风强度的差异。A. JI. 卡茨 (Kau) 的资料<sup>[4]</sup>比我们的早, 它们的差别主要反映 40 年代末到 50 年代的环流变化。图 2 表明, 近 10 年西风强度较前为大, 但  $I_E$  差别主要在冬半年,  $I_W$  则夏半年增加较多。差别最大的是 12 月, 后一时期与前一时期西风指数的比值为  $I_E$ —108%、 $I_W$ —111%、 $I$ —109%。年平均西风指数之比值  $I_E$ —107%、 $I_W$ —104%、 $I$ —105%。但是, 这两种资料年代相差不多。另外, 在 A. JI. 卡茨领导下出版了 1938—1957 年东亚 500 毫巴高空图并计算了第一自然天气区西风指数<sup>[3]</sup>, 李小泉应用同一资料计算了东亚西风指数<sup>[6]</sup>。它们可以说明 40 年代与 50 年代西风的差异。图 4 给出他们计算的结果, 比较前后两个 10 年, 冬半年西风普遍增强, 12 月增加 30%, 年平均值的生长对不同地区虽然有所不同, 但均在 5—10% 之间。因此可以相信, 近 10 年较之 40 年代西风确实是增强了。关于西半球, 同样也有资料<sup>[7]</sup>证明, 700 毫巴中纬度西风近来夏季增强, 冬季减弱。

与 I. 加考布斯 (Jacobs)<sup>[5]</sup>订正到 1900—1939 年的资料比较 (图 3), 近 10 年比以前西

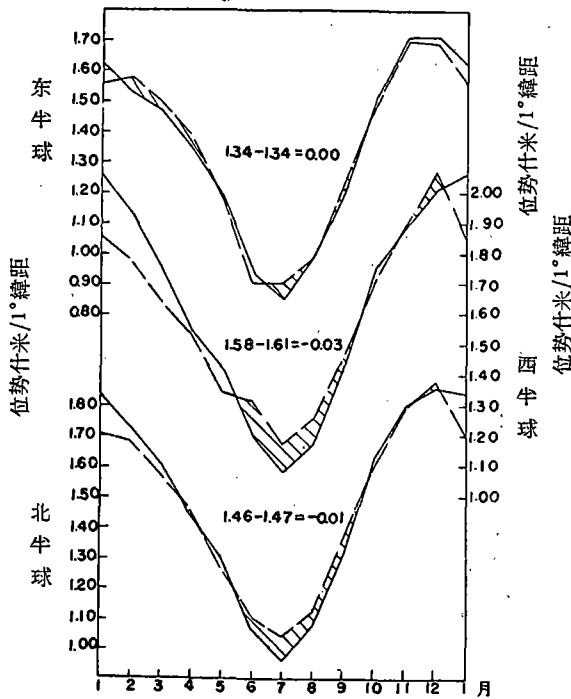


图 3 西风指数的年变程(二)  
 ---1951—1960 年  
 ———1900—1939 年

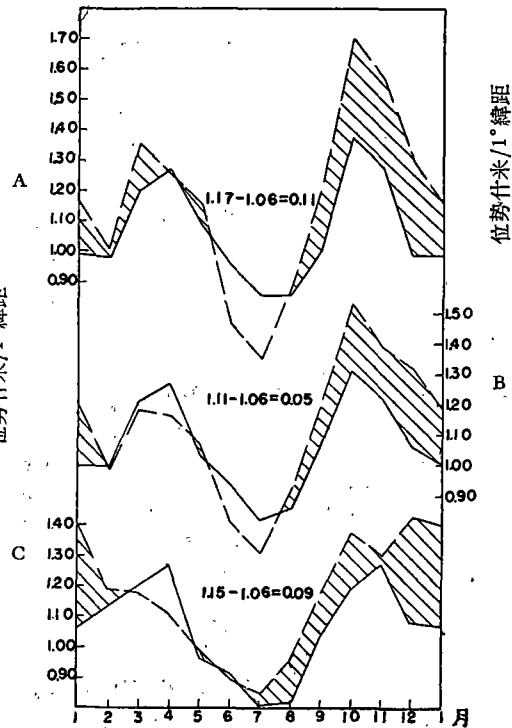


图 4 西风指数的多年变化  
 A—1941—1950 年, ---1951—1960 年  
 60°—150°E, 45°—65°N  
 B—1941—1950 年, ———1951—1960 年  
 0°—150°E, 45°—65°N  
 C—1938—1947 年, ---1948—1957 年  
 30°W—110°E, 35°—70°N

风指数略低,  $I_E$  基本无差别,  $I_W$  则夏半年比前高, 冬半年比前低。此外八重樫佐平<sup>[8]</sup>也证实, 1946—1956 年西风比过去弱。所有这些都说明, 近 10 年西风虽然比 40 年代强, 但是与本世纪前几十年相比则仍较弱。这也同其他作者关于近来大气环流经向形势增加的

結論一致<sup>[9,10]</sup>。順便指出，無論我国或世界广大地区都是 40 年代气温最高，近 10 年气温下降<sup>[11,12]</sup>，亦可做为上述結論的旁証。

### 三、西风指数振动的周期

图 5 給出 1951—1960 年历年平均西风指数。可見，年平均值仍有很大变化，現在就来研究其变化規律。但是，由于只有 10 年資料，用年平均值討論 10 年以內的变化过于粗略，故用半年平均。下面还要談到，西风指数距平在冬半年与夏半年內有一定持續性，过渡季节持續性最小，因此取每年 5 月到 10 月为夏半年，11 月到下一年 4 月为冬半年（例如，1951 年 11 月到 1952 年 4 月称为 1951 年冬）。这样又应用了 1961 年 1—4 月的图，計算出 1951—1960 年 10 个夏半年与 10 个冬半年共 20 个平均西风指数。为了簡短起見，这一节只討論  $I$  的变化規律。

图 6 中最下边一条折綫即为  $I$  月距平的半年平均值。为了找出其振动的主要周期，求出假定周期长为 1.5 年、2 年…… 6 年的振幅，做出周期图(图 7)。显然 2 年及 5.5 年周期最清楚。然而这只是粗略的周期长度，所以用初位相差<sup>1)</sup>来确定 2 年周期的精确长度。由此求出

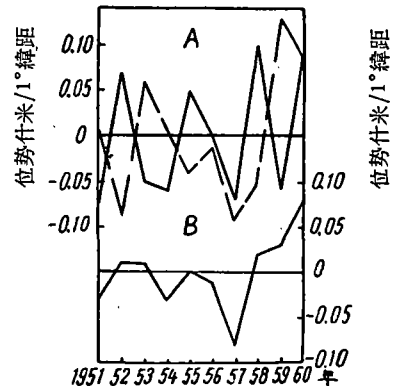


图 5 年平均西风指数

A, — 东半球 --- 西半球 B, 北半球

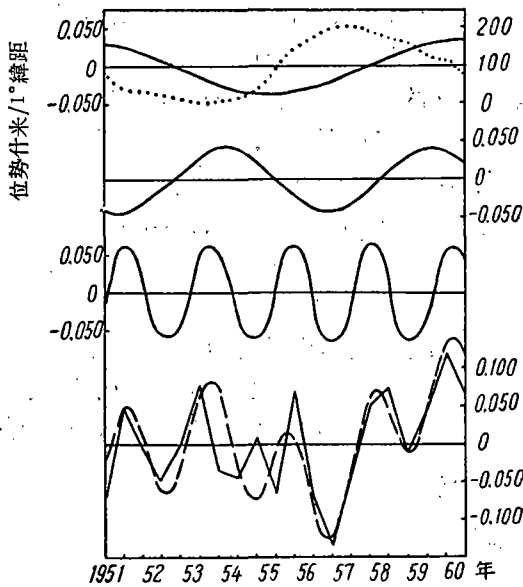


图 6 北半球西风指数的振动

— 实况 --- 計算值

精确周期长度为 26 个月。因为資料时期太短，不可能进一步求出 5.5 年周期的精确长度，但是这对以下的計算估計不会有很大影响。此外从图 6 可以看出， $I$  还可能 有 10 年左右的周期，参考 1961—1962 年的資料，計算証明 10 年周期确实最显著（周期图从略）。这三种周期（26 个月，5.5

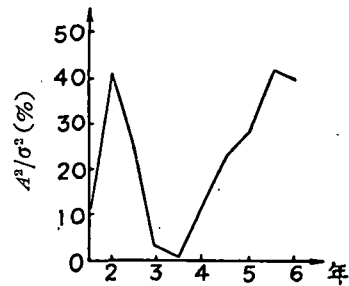


图 7 北半球西风指数振动的周期图

1) 图 8 纵坐标为每个 2 年周期的初始位相，横坐标为周期顺序，10 年共包括 5 个 2 年周期，故顺序为 1 到 5。用平均位相差  $\beta$ ，按下式即可定出精确周期长度。

$$p = \frac{p'}{1 + \frac{\beta}{2\pi}}$$

$p$  及  $p'$  为精确及粗略周期长度， $\beta$  即图 8 直綫斜率——平均初位相差，这里  $\beta = -37^\circ$ 。

年及 10 年)振幅平方与  $I$  的均方差之比分别为 109%, 42% 及 31%, 总和 182%, 与理想

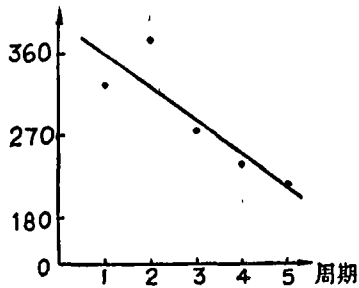


图 8 2 年周期的初位相变化

情况  $n = 1, m = 2$  很一致<sup>[11]</sup>。所以可以认为西风指数振动主要由这三种周期组成。试用这三种周期计算  $I$ ; 结果与实况很相近(图 6 中虚线), 用文献[11]中类似的方法检查,  $\rho = 0.6, Q = 46\%$ 。

下面分别讨论这几种周期的性质。首先, 10 年周期可能即为太阳活动 11 年周期的反映, 因为最近两个太阳活动周期(第 18, 19 周)较短, 恰好都是 10 年。但是这并不一定要求太阳活动与西风指数振动的位相完全一致。图 6 中最上面一条点线为最近 10 年相对黑子数的半年平均值(据文献[13]和[14]求出)。显然它与西风指数的 10 年周期振动有一位相差。太阳黑子的最大值出现在 1957 年冬, 而西风指数 10 年周期的峰点却在 1960 年冬, 即大约晚了三年。但西风最弱时, 仅比黑子最少时期晚二年, 这是因为太阳黑子上升快而下降缓慢的缘故。作者分析大型环流与太阳活动的关系时, 亦曾发现有类似位相差。

其次, 5.5 年周期可能就是所谓双振动(Doppelschwankung)<sup>[15]</sup>的表现, 并且与 H. 穆勒-安南(Müller-Annén)<sup>[16]</sup>的结论一致。从 F. 鲍尔(Baur)的结果来看, 强环流多出现在太阳活动最高年(M 年)到最低年(m 年)之间, 而弱环流多在 M 年左右, 可能就是没有把 11 年周期与 5—6 年周期分开来的结果。从我们的资料概括的看也会得到同样结论, 但实际是 11 年与 5—6 年两种周期迭加的结果。关于 5—6 年周期问题, 作者曾详细讨论过<sup>[17]</sup>, 这里不再重复。仅再补充一点, 近来有人注意到平流层温度有 6 年周期<sup>[18]</sup>。

至于 26 个月周期, 一般称为两年周期。气象要素的两年周期在上一世纪末就引起了不少作者的注意。但是直到最近才证实大气环流亦有两年周期<sup>[19-21]</sup>。有趣的是近来不少作者发现, 低纬平流层东风有十分明显的 26 个月周期<sup>[22-24]</sup>。所有这些都说明, 大气环流具有这种周期性振动是无可怀疑的, 不过其产生原因目前还不很清楚, 只有 H. A. 别林斯基(Белинский)<sup>[19]</sup>曾提出一种假说, 认为它是大气环流本身调整的结果。T. B. 鲍克罗芙斯卡娅(Покровская)<sup>[21]</sup>支持了这个观点。下一节还要再讨论这个问题。

总之, 从近 10 年资料来看, 西风指数振动有明显的周期性, 而且与前几十年或更长时期的规律是一致的。但是, 还要注意, 周期的长度随时间会有一定变化, 不仅 11 年周期长度有改变, 两年周期也不例外。如 S. W. 维赛(Visser)<sup>[25]</sup>就曾指出, 太阳活动强时(M 年相对黑子数超过 85)两年周期平均长度短, 弱时平均长度长。

#### 四、东西两半球西风指数的关系

E. B. 沃罗毕耶娃(Воробьева)<sup>[26]</sup>在最近的研究中指出, 北美西风强时, 欧亚大陆上西风往往较弱, 反之亦然。Ю. В. 斯彼利多诺娃(Спиридонова)<sup>[27]</sup>也指出大陆与海上经向与纬向环流之差异。实际上, 如 G. T. 瓦克(Walker)<sup>[28]</sup>早就指出北大西洋涛动与北太平洋涛动之间无密切关系。Г. Я. 万根盖依姆(Вангенгейм)<sup>[29]</sup>亦发现, 太平洋与大西洋环流振动之间差异甚大。为了确定不同地区是否存在任何联系或差异, 现在将  $I_E$  与  $I_W$  做一对比分析。

表 1 东半球与西半球西风指数的相关系数

相关种类	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$I_E$ 与同月 $I_W$	-0.01	<b>-0.58</b>	<b>-0.64</b>	0.10	0.37	0.49	0.21	0.12	0.42	0.27	0.01	-0.07
$I_E$ 与前一个月 $I_W$	<b>0.61</b>	-0.12	<b>-0.55</b>	-0.15	-0.10	0.20	0.27	0.08	<b>0.55</b>	-0.38	0.18	0.08
$I_E$ 与前二个月 $I_W$	<b>0.62</b>	-0.01	-0.18	-0.43	-0.05	0.08	<b>0.72</b>	0.43	0.42	0.05	-0.19	0.35
$I_E$ 与后一个月 $I_W$	-0.26	-0.33	-0.37	0.24	0.37	0.15	<b>0.78</b>	-0.37	-0.15	0.04	0.09	-0.54
$I_E$ 与后二个月 $I_W$	-0.22	-0.22	0.07	0.44	0.36	0.30	0.48	-0.25	0.02	-0.07	0.45	-0.16

表 1 给出各月  $I_E$  与  $I_W$  的相关系数<sup>1)</sup>, 很明显, 冬半年多为负相关, 而夏半年多为正相关。但是仅只 2 月及 3 月的负相关较可靠。至于非同时的关系, 则一般  $I_W$  与其后的  $I_E$  有正相关,  $I_E$  与以后的  $I_W$  相关较小, 但 4—7 月为正相关, 12—2 月为负相关。这些非同时的相关只有个别月份较大。而且总的说来, 夏半年多正相关, 冬半年多负相关。这可能与西风的持续性有关, 下一节还要详细讨论。

如果把  $I_E$  与  $I_W$  亦求半年平均(图 9), 即可发现, 冬半年之负相关与夏半年之正相关均十分明显, 相关系数分别为 -0.54 及 0.77。除去了季节内的变化后, 得到这样密切的关系是使人惊异的。特别引起兴趣的是: 为什么夏半年与冬半年关系不同? 我们认为, 这是环极气流中心偏离北极的结果, N. E. 莱肖尔 (La Seur)<sup>[31]</sup>曾指出, 环流极偏离北极大时, 一般为高指数。检视历年月平均图亦可看出, 冬半年偏离较多。此外如 H. 弗隆 (Flöhn)<sup>[32]</sup>亦发现, 冬季北极地区冷中心有偏向亚洲或美洲一方面的趋势。关于偏极问题, 将在以后专门讨论。这里仅想指出, 只是由于各纬度偏极情况不同, 中纬度又有强西风带存在, 偏极才造成了东西两个半球的西风差异。

从图 9 还可以看到一个有趣的现象: 由夏半年到冬半年  $I_E$  距平经常由正变负, 或由负变正, 而  $I_W$  距平符号往往不变。计算相关系数分别为 -0.89 及 0.59, 但是如果计算由冬半年到夏半年的相关系数则得到完全不同的结果 0.41 及 -0.12。这就是说,  $I_E$  由冬到夏是有持续性的, 而  $I_W$  则由夏到冬才比较经常维持同一趋势。

Д. А. 德罗加依采夫 (Дрогайцев)<sup>[33]</sup>曾提出一种看法, 认为在大气与海洋的相互影响中, 前冬季大气环流起主导作用, 而在以后的春夏季

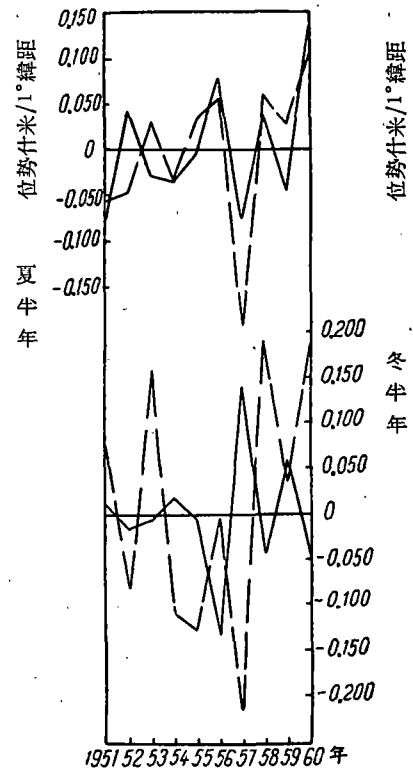


图 9 东西两半球西风指数  
——东半球 ——西半球

1) 这里我们采用所谓顺序相关系数(文献 [30] 中 235 页),  $r = 1 - \frac{6\sum d^2}{N(N^2 - 1)}$ ,  $d$  为两列数值序数之差,  $N$  为记录年数, 在我们的计算中  $N = 10$ ,  $N = 10$  时,  $r = 0.55$  及  $r = 0.63$  分别相当显著性  $> 0.10$  及  $> 0.05$  的情况。凡超过 0.55 的在表中以黑体字印出。

节,则以海洋影响大气环流为主. 因此,前冬形成的水温特征,由于其持续性对以后大气环流产生影响. 他讨论的巴伦支海正好在东半球的西部高纬度,所以也许可能用来说明  $I_E$  由冬到夏的正相关. 但是  $I_W$  为什么是由夏到冬为正相关呢? 我们推想,同样这也可能从海洋的影响得到解释. 因为本文所讨论的西半球包括了大西洋全部(从东西方向来说),大半个太平洋,而这些地区,副热带高压的影响是终年不衰的. 显然后者又与海洋的热力状况有密切关系. 不仅如此,众所周知,墨西哥暖洋流对西半球环流及北美以至欧洲气候的影响,远大于黑潮洋流对东亚环流及气候的影响. 这就是说,对西半球来讲,海洋影响可能主要来自低纬. 综上所述,可知  $I_W$  会由夏到冬持续性较大了. J. 纳米阿斯(Namias)最近的研究<sup>[34-35]</sup>,可做为这种观点的证实. 自然,这问题还需进一步研究. 另外,  $I_E$  由夏到冬的极大负相关目前也还不能解释.

但是,需要指出,这种半年之间相关的变化,实际即造成两年周期,如果用+及-分别表示高指数及低指数情况,显然在连续两年内

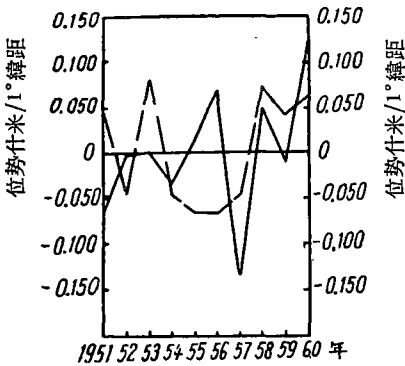


图 10 北半球夏半年与冬半年西风指数  
——夏半年 --冬半年

	夏	→	冬	→	夏	→	冬	→	夏
$I_E$	+		-		-		+		+
$I_W$	+		+		-		-		+

正好完成一个循环. 不过,由于  $I_E$  与  $I_W$  夏半年为正相关,冬半年为负相关,所以  $I_E$  与  $I_W$  的位相差  $90^\circ$ . 因此,北半球平均仍然表现出明显的两年周期. 自然,并不是说这样就完全解释了两年周期,但是可能为进一步研究这个问题提供一些线索. 谢义炳等<sup>[36]</sup>(1959)曾发现西风指数有一年内准守恒现象. 从北半球来看,1957年以前确实如此(图10),但以后就不同了,这主要是两个半球间复杂关系所致. 总之,所有这些说明,两年周期的产生原因可能主要在大气本身或是

地球上的环境影响,至少也与它们有密切联系.

### 五、季节内西风指数的持续性及承继关系

分析历年逐月西风指数距平发现:经常连续数月距平符号不变. 此外,前后转变亦似乎有一定规则. 为了具体研究这问题,将各月10年的西风指数分为三级,最强的(最大正距平)三年为1级称为高指数,最弱的(最大负距平)三年为3级,称为低指数,其余四年为2级(表2).

首先,计算连续1个月、2个月、3个月……出现同一级的次数(表3). 表中括弧内数字为纯由偶然性产生之持续月数<sup>1)</sup>. 比较可见,1级与3级连续出现1—3个月的情况,比按偶然性应出现的少或与之接近,但2级连续出现1—3个月的次数却较多. 连续4个月以上出现同一级的情况相反,1级与3级多,而2级少. 各级的平均连续出现时间也说明1级与3级的持续性大,2级的持续性小. 但是,这只是粗略的说明可能有持续性. 为

1) 按文献[30]的311页方法计算.



表 2 1951—1960 年各月西风指数级别

地 区	年 代	月 份											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
东 半 球	1951	2	2	2	3	2	2	3	2	3	3	2	3
	1952	1	2	1	1	2	1	3	2	1	1	1	2
	1953	3	2	3	3	3	3	2	2	2	2	1	2
	1954	2	2	2	2	1	3	3	2	2	3	3	3
	1955	2	1	1	2	2	1	1	3	2	3	3	1
	1956	3	3	2	1	1	2	1	1	2	2	2	3
	1957	3	3	3	2	3	3	2	1	3	2	2	2
	1958	1	1	1	1	1	2	2	3	1	2	2	1
	1959	2	3	3	2	3	2	2	3	3	1	3	1
	1960	1	1	2	3	2	1	1	1	1	1	1	2
西 半 球	1951	1	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1
	1952	1	2	2	2	3	1	2	3	3	1	3	3
	1953	2	2	1	3	1	3	2	1	2	1	2	1
	1954	2	1	2	1	2	2	2	2	2	3	2	3
	1955	3	3	2	2	1	3	3	2	1	2	3	3
	1956	3	2	1	2	1	1	2	2	2	2	3	2
	1957	1	1	3	2	3	2	3	3	3	3	2	2
	1958	3	3	3	3	2	2	1	1	1	3	1	2
	1959	2	1	1	1	2	2	1	2	3	1	1	1
	1960	2	3	2	1	2	1	1	1	1	2	1	2
北 半 球	1951	1	1	3	3	2	3	3	3	3	3	2	2
	1952	1	3	2	1	3	1	3	3	2	1	3	2
	1953	2	1	2	3	2	3	1	1	2	2	1	1
	1954	1	1	2	1	2	2	2	2	2	3	2	3
	1955	3	2	1	2	1	2	2	3	1	2	3	2
	1956	3	3	1	2	1	1	2	1	2	2	3	3
	1957	2	2	3	3	3	3	3	2	3	3	2	2
	1958	3	3	3	2	1	2	1	2	1	2	1	1
	1959	2	2	1	1	3	2	2	2	3	1	2	1
	1960	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	3

表 3 西风指数不同持續长度的頻次

級 別	持續月数			1	2	3	4	5	6	平均持續期 (月)
	地 区									
1 級	东 半 球	9	5	2	0	1	1	2.00		
	西 半 球	17	3	3	1	0	0	1.50		
	北 半 球	16	5	0	1	0	1	1.57		
	偶然性持續次数	(17.65)	(5.29)	(1.58)	(0.48)	(0.14)	(0.04)	(1.43)		
2 級	东 半 球	18	6	3	1	1	0	1.66		
	西 半 球	21	6	2	1	1	0	1.55		
	北 半 球	19	8	1	0	2	0	1.60		
	偶然性持續次数	(17.29)	(6.91)	(2.76)	(1.10)	(0.45)	(0.17)	(1.67)		
3 級	东 半 球	11	7	1	2	0	0	1.72		
	西 半 球	10	3	2	2	0	1	2.00		
	北 半 球	11	6	1	0	2	0	1.80		
	偶然性持續次数	(17.65)	(5.29)	(1.58)	(0.48)	(0.14)	(0.04)	(1.43)		

了做出結論还需进一步討論,由于各种情况次数較少,无法采用  $\chi^2$  檢驗,所以計算了所謂

表 4 西风指数持續性比

級 別	地 区			显著性 5% 的界限
	北半球	东半球	西半球	
1	1.10	1.40	1.00	0.90—1.13
2	0.96	1.00	0.93	0.87—1.17
3	1.26	1.20	1.40	0.90—1.13

“持續性比”<sup>1)</sup>,列于表 4。表中同时給出显著性 5% 的界限。显然, I 与  $I_E$ 、 $I_W$ , 3 級的持續性均超过此界限甚多,但 1 級仅  $I_E$  持續性較大。2 級則无任何持續性可言。特別有意思的是,东半球高指数持續性大,而西半球則低指数持續性大。从北半球来看,低指数之持續性大于

高指数,后者甚至沒有超过显著性 5% 的界限。

其次,注意这些連續出現同一級的情况(在表 2 中用方框括出),即可看出,它們大部分出現于夏半年內或冬半年內,很少橫跨过渡季节的情况。为了进一步分析持續性随季节的变化,又計算了 12 个月,各月出現某一級,而以后 1 个月或几个月仍連續出現同一級的次数及出現其它級的次数,得到表 5。表中最下面一行为由偶然性造成持續之次数。很明显,4 月与 10 月是两个持續性最小的月份。以北半球西风指数为例,由 4 月到 5 月,10 次之中就有 8 次轉为另一級,10 月的情况更为突出,10 次中有 9 次在 11 月轉为另一級。 $I_E$  与  $I_W$  的情况也大致类似。相邻月西风指数的相关系数也說明同一問題(表 6)。

以上只是討論了西风指数的持續性,現在再看一看它的承繼关系。表 7 給出承繼关系的百分率,由于資料仅 120 个月,各类承繼关系到第三个月出現已多在 10 次以下,所以沒有討論 4 个月或更长的承繼关系。表 7 中数字說明,西风指数月际轉变經常是逐漸进行的,而不是突然发生的。I 的 1→3 及 3→1 分別占 19% 及 17%,而根据偶然性至少也要有 30%, $I_E$  与  $I_W$  出現类似情况也很少。如果考虑了发展历史,即前一个月的情况,則此特征尤为突出。例如  $I_W$ , 3→3→1 的沒有一次, $I_E$  的 1→1→3 亦仅 6%。此外,虽

1) 按文献[30]的 314—315 頁,持續性比 =  $1 + R_B$ ,  $R_B = \frac{1 - P}{1 - P_1} - 1$ , P 及  $P_1$  为一般出現概率及出現后繼續出現概率。

表 5 西风指数持续性的季节变化

月 份	地区 持续月数	东半球						西半球						北半球					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1		4	2	2	1	1	0	6	3	0	1	0	0	3	5	1	0	1	0
2		4	4	1	1	0	0	7	0	3	0	0	0	8	1	0	1	0	0
3		6	2	1	1	0	0	5	4	0	0	0	1	6	2	1	0	1	0
4		6	3	1	0	0	0	9	0	0	0	1	0	8	1	0	1	0	0
5		7	3	0	0	0	0	5	3	0	1	1	0	7	1	1	0	1	0
6		5	4	0	0	0	1	6	1	1	2	0	0	4	2	1	1	1	1
7		7	1	0	1	1	0	4	1	3	2	0	0	4	3	1	1	1	0
8		6	2	1	1	0	0	4	4	2	0	0	0	7	1	1	1	0	0
9		5	3	2	0	0	0	7	2	1	0	0	0	5	4	1	0	0	0
10		3	5	2	0	0	0	8	1	1	0	0	0	9	1	0	0	0	0
11		8	2	0	0	0	0	6	3	1	0	0	0	5	4	0	1	0	0
12		6	1	1	1	1	0	6	3	1	0	0	0	7	2	1	0	0	0
偶然性出现次数		6.60	2.22	0.76	0.26	0.10	0.04	6.60	2.22	0.76	0.26	0.10	0.04	6.60	2.22	0.76	0.26	0.10	0.04

表 6 西风指数的持续相关系数

指数类别	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		$I_E$	A	0.25	0.44	0.47	0.42	0.30	0.26	0.31	0.21	0.38	<b>0.68</b>
	B	0.42	-0.27	0.53	0.50	0.36	-0.20	0.50	0.26	0.46	0.31	-0.15	-0.09
$I_W$	A	<b>0.56</b>	0.24	0.43	-0.27	-0.07	<b>0.60</b>	<b>0.66</b>	<b>0.71</b>	0.01	0.06	0.43	0.47
	B	-0.32	0.36	0.47	0.48	0.10	0.33	0.35	0.20	0.52	0.44	0.25	0.29
$I$	A	0.37	-0.15	0.54	-0.01	0.26	0.42	<b>0.81</b>	0.41	0.13	0.05	0.33	0.16
	B	-0.43	-0.31	0.46	<b>0.71</b>	0.52	0.20	<b>0.72</b>	-0.02	0.13	0.20	<b>0.62</b>	0.07

A为相邻两月的相关,例如1月一行表示1月与2月相关

B为隔一个月的相关,例如1月一行表示1月与3月相关

然  $I_E$  的 3→2 及  $I_W$  的 1→2 也较多,但连续三个月来看,  $I_E$  的 3→2→1 及  $I_W$  的 1→2→3 并不常见,这说明月平均西风指数由高到低或由低到高的过程一般不是在三个月内完成的。  $I_E$  的 1→1→1, 2→1→1, 及 3→3→2, 2→3→3 较多,  $I_W$  的 1→2→1, 2→1→2, 及 2→3→3 与 3→3→3 较常见也说明,环流有长期维持类似特征的趋势。

总之,通过本节分析,可以看出以下几点:

1. 高指数与低指数的持续性较大,西风环流的转变是逐渐进行的,这些都说明大气环流的演变中,在季节变化外,确实存在某种长期过程(表现为月距平的持续性及承继关系)。
2. 此长期过程之作用与季节有密切关系,例如在过渡季节,环流的异常一般不能维持其原有特征,这不仅是指西风指数而言,几乎对整个大气环流来讲都是正确的<sup>[37]</sup>。
3. 东半球高指数持续性大,西半球低指数持续性大,虽然目前还不了解其原因,但是,很可能与两个半球海陆分布不同有关。例如,经常造成持续低指数形势的阻塞高压就多

表 7 西风指数的承继关系 (括弧中为百分率)

西 半 球	东 半 球	北 半 球
$\begin{array}{l} \begin{array}{l} 1 \begin{array}{l} \nearrow 1 (39) \\ \rightarrow 2 (46) \\ \searrow 3 (15) \end{array} \\ \begin{array}{l} 1 \begin{array}{l} \rightarrow 2 (50) \\ \searrow 3 (24) \end{array} \\ \begin{array}{l} \nearrow 1 (20) \\ \rightarrow 2 (40) \\ \searrow 3 (40) \end{array} \end{array} \\ \\ \begin{array}{l} 2 \begin{array}{l} \nearrow 1 (40) \\ \rightarrow 2 (50) \\ \searrow 3 (10) \end{array} \\ \begin{array}{l} 2 \begin{array}{l} \rightarrow 2 (35) \\ \searrow 3 (24) \end{array} \\ \begin{array}{l} \nearrow 1 (18) \\ \rightarrow 2 (36) \\ \searrow 3 (46) \end{array} \end{array} \\ \\ \begin{array}{l} 3 \begin{array}{l} \nearrow 1 (33) \\ \rightarrow 2 (34) \\ \searrow 3 (33) \end{array} \\ \begin{array}{l} 3 \begin{array}{l} \rightarrow 2 (36) \\ \searrow 3 (23) \end{array} \\ \begin{array}{l} \nearrow 1 (0) \\ \rightarrow 2 (35) \\ \searrow 3 (65) \end{array} \end{array} \end{array}$	$\begin{array}{l} \begin{array}{l} 1 \begin{array}{l} \nearrow 1 (50) \\ \rightarrow 2 (44) \\ \searrow 3 (6) \end{array} \\ \begin{array}{l} 1 \begin{array}{l} \rightarrow 2 (33) \\ \searrow 3 (27) \end{array} \\ \begin{array}{l} \nearrow 1 (17) \\ \rightarrow 2 (50) \\ \searrow 3 (33) \end{array} \end{array} \\ \\ \begin{array}{l} 2 \begin{array}{l} \nearrow 1 (62) \\ \rightarrow 2 (15) \\ \searrow 3 (23) \end{array} \\ \begin{array}{l} 2 \begin{array}{l} \rightarrow 2 (42) \\ \searrow 3 (35) \end{array} \\ \begin{array}{l} \nearrow 1 (13) \\ \rightarrow 2 (33) \\ \searrow 3 (54) \end{array} \end{array} \\ \\ \begin{array}{l} 3 \begin{array}{l} \nearrow 1 (20) \\ \rightarrow 2 (40) \\ \searrow 3 (40) \end{array} \\ \begin{array}{l} 3 \begin{array}{l} \rightarrow 2 (44) \\ \searrow 3 (38) \end{array} \\ \begin{array}{l} \nearrow 1 (13) \\ \rightarrow 2 (54) \\ \searrow 3 (33) \end{array} \end{array} \end{array}$	$\begin{array}{l} \begin{array}{l} 1 \begin{array}{l} \nearrow 1 (46) \\ \rightarrow 2 (31) \\ \searrow 3 (23) \end{array} \\ \begin{array}{l} 1 \begin{array}{l} \rightarrow 2 (45) \\ \searrow 3 (12) \end{array} \\ \begin{array}{l} \nearrow 1 (17) \\ \rightarrow 2 (50) \\ \searrow 3 (33) \end{array} \end{array} \\ \\ \begin{array}{l} 2 \begin{array}{l} \nearrow 1 (29) \\ \rightarrow 2 (53) \\ \searrow 3 (18) \end{array} \\ \begin{array}{l} 2 \begin{array}{l} \rightarrow 2 (38) \\ \searrow 3 (33) \end{array} \\ \begin{array}{l} \nearrow 1 (23) \\ \rightarrow 2 (23) \\ \searrow 3 (54) \end{array} \end{array} \\ \\ \begin{array}{l} 3 \begin{array}{l} \nearrow 1 (17) \\ \rightarrow 2 (66) \\ \searrow 3 (17) \end{array} \\ \begin{array}{l} 3 \begin{array}{l} \rightarrow 2 (39) \\ \searrow 3 (35) \end{array} \\ \begin{array}{l} \nearrow 1 (6) \\ \rightarrow 2 (50) \\ \searrow 3 (44) \end{array} \end{array} \end{array}$

出现于西半球的大西洋及阿拉斯加两地区。

致謝 楊鑑初先生,陶詩言先生曾对本文提出宝贵意见,肖文俊同志为本文繪图一并致謝。

参 考 文 献

[1] 历年逐月平均气压形势图 (第五分册), 北半球 500 毫巴高度, 中央气象局气候资料研究室, 1960.  
 [2] Monthly climatic data for the world, 1959, 1960.  
 [3] Кац, А. Л., Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы, Гидрометеониздат, 1960.  
 [4] Кац, А. Л., Морской, Г. И., Семенов, В. Г., Труды ЦИП вып. 49, 1957.  
 [5] Jacobs, I., Meteorologische Abhandlungen, Band IV/Heft 2, 1958.  
 [6] 李小泉, 气象学报, 33 (1963), 第 1 期, 1—14.  
 [7] O'connor, J. F., Monthly Weather Rev., 89 (1961), 211—228.  
 [8] 八重樫佐平, 气象集誌 19 (1961), No. 5, 348—358.  
 [9] Гирс А. А., Метеорология и Гидрология, № 10, 1956.  
 [10] Müller-Annen, H., Meteor. Rdsch., 13 (1960), 169—172.  
 [11] 王紹武, 气象学报, 32 (1962), 第 4 期, 322—336.  
 [12] Mitchell, J. M., Ann. N. Y., Acad. Sci., 95 (1961), 235—250.  
 [13] Chernosky, E. J. and M. P. Hagan, J. Geophys. Res., 63 (1958), 775—788.  
 [14] J. Geophys. Res., 64—67, 1959—1962.

- [15] Baur, F., *Physikalisch-statistische Regeln als Grundlagen für Wetter-und Witterungsvorhersagen*, Band I, 1956.
- [16] Müller-Annen, H., *Meteor. Rdsch.*, **13** (1960), 172—178.
- [17] 王紹武, 大气环流振动周期与太阳活动的关系, 气象学若干问题的进展, 科学出版社, 1963.
- [18] Warnecke, G., *Meteor. Abhandl.*, XXVIII, Nr. 3, 1962.
- [19] Белинский Н. А., Использование некоторых особенностей атмосферных процессов для долгосрочных прогнозов, Гидрометеиздат, 1957.
- [20] 朱和周、张先恭、李振华, 气象学报, **30** (1959), 第 4 期, 336—349.
- [21] Покровская Т. В., Труды ГГО вып. 89, 1959.
- [22] Veryard, R. G. and R. A. Ebdon, *Meteorol. Mag.*, **90** (1961), 125—143.
- [23] Angell, J. K. and J. Kopshover, *Monthly Weather Rev.*, **90** (1962), 127—132.
- [24] Reed, R. J. and D. G. Rogers, *J. Atmosph. Sci.*, **19** (1962), 127—135.
- [25] Visser, S. W., *Geofisica pura e applicata*, **43** (1959), 302—318.
- [26] Воробьева Е. В., Сопряженность атмосферных процессов в северном полушарии, Гидрометеиздат, 1962.
- [27] Спиридонова Ю. В., Сопряженность атмосферных циркуляции в разных частях северного полушария, Издв. АН СССР, 1962.
- [28] Montgomery, R. B., *Monthly Weather Rev.*, Sep. No. 39, 1940.
- [29] Вангенгейм Г. Я., *Изв. АН СССР серия географ. и геофиз.*, 5, 1946.
- [30] Brooks, C. E. P., *Handbook of statistical methods in meteorology*, 1953.
- [31] La Seur, N. E., *J. Met.*, **11** (1954), 43—57.
- [32] Flöhn, H., *Polar Atmosphere Symposium*, Part I, 1958, 62—79.
- [33] Дрогайцев Д. А., Долгосрочные гидрометеорологические прогнозы на основе учета колебаний температуры, Гидрометеиздат, 1959.
- [34] Namias, J., *J. Geophys. Res.*, **64** (1959), 631—646.
- [35] Namias, J., *Scientific contributions to the Rossby memorial Volume*, 1959, 240—248.
- [36] 謝义炳、陈受鈞、王耀生、戴武杰, 气象学报, **30** (1959), 第 4 期, 316—322.
- [37] Namias, J., *Bull. Amer. Met. Soc.*, **33** (1952), 279—285.

# A PRELIMINARY STUDY ON THE CHARACTERISTICS AND EVOLUTION OF MEAN MONTHLY CIRCULATION, I. ZONAL INDEX

WANG SHAO-WO

(Department of Geophysics Peking University)

## ABSTRACT

This paper is the first report of a research project concerning the characteristics and evolution of the general circulation in recent ten years. The results of the analysis of the monthly zonal index in the temperate latitude belt ( $35^{\circ}$ — $55^{\circ}$ N) derived from the mean monthly 500 mb charts show that the zonal circulation is characterized by:

1. The mean zonal index in the period from 1951 to 1960 is about 5—10% higher than that in the period from 1941 to 1950, but slightly lower than that in the period from 1900 to 1939. In western hemisphere ( $180^{\circ}$ W— $10^{\circ}$ W) the westerlies is strengthened mainly in the summer half year (May—October), whereas in the eastern hemisphere ( $0^{\circ}$ — $170^{\circ}$ E) this trend is more pronounced in the winter half year (November—April).

2. The half yearly mean zonal index shows a clear periodic fluctuation, the length of most prominent periods are 10 years, 5.5 years and 26 months. It is highly probable that the first two periods are related to the 11-years sunspot cycle.

3. In the summer half year there exists a high positive correlation between the half yearly mean index of eastern hemisphere and that of western hemisphere, the correlation coefficient is about 0.77. But in the winter half year the correlation becomes negative and its value is about  $-0.54$ . Other analysis suggests that this may be due to the asymmetry of circumpolar current.

4. The summer half yearly mean index has a negative (positive) correlation coefficient with that of following winter half year in eastern (western) hemisphere. But from winter to summer there is a reverse trend in the change of zonal index.

5. This association of zonal index from one half year to another, indeed, induces a binnial oscillation. This is not only concerned in eastern and western hemisphere separately, but also in northern hemisphere as a whole, because the oscillations of the zonal index in eastern and western hemisphere are  $90^{\circ}$  out of phase.

6. The monthly mean zonal index has a tendency to keep the same characteristic through-out the winter or summer half year period. Moreover in eastern hemisphere the high zonal index pattern shows a greater persistence than the low zonal index pattern, while in western hemisphere, to opposite of this, the low zonal index pattern usually persists from month to month.