

# 月平均环流异常的持续性与韵律性 和海气相互作用\*

王绍武 赵宗慈 陈振华

(北京大学 地球物理系)

## 提 要

首先,讨论了环流异常的形成与海气相互作用的关系。指出在明显洋流区,尤其是暖洋流区,海洋为热源,对环流异常的形成有重要影响。在大洋中部的非洋流区,更大程度上是海洋热状况受大气环流控制。

其次,研究了环流异常的持续性。发现中纬度 3—4 月及 9—10 月有两次持续性的最低点,并且指出,这与冷热源的月际变化在春秋期间最大有关。但在低纬度,尤其在大洋上的暖洋流区,一年中只有一次持续性最低点,发生在夏末秋初。分析表明,这与那里冷热源强度的年变程有关。

最后,根据相似分析,讨论了环流及海温异常变化的韵律性问题。发现当两个月的环流异常相似时,以后并不是随着时间的推移相似性愈来愈小,而是在相隔 4—5 个月及 9—11 个月时相似性较大。这种大气与海洋的韵律活动在长期预报中有重要作用。

## 一、引 言

月平均环流与月平均天气有密切关系<sup>[1-3]</sup>。大气环流异常往往被看做天气异常形成的直接原因。所以研究环流异常的形成与发展是比较重要的。现在大家都认为海洋是长期天气变化的重要因子。因此本文想就环流异常与海气相互作用的关系进行一些探讨,希望能增进对长期天气过程的了解,并对长期环流形势预报工作有所裨益。

## 二、海气相互作用与大气环流异常的形成

Sawyer<sup>[4]</sup>在讨论长期天气异常的形成因子时,把海水温度列为第一位。他的看法是有相当代表性的。Namias 在 1953 年的总结<sup>[2]</sup>发表以后将近三十年时间里,几乎把全部注意力都集中于研究海洋与大气环流的相互作用。其他如英国、日本、苏联等国的长期预报工作者对海温也很重视。这一节我们想着重讨论海气相互作用随时间及空间的变化及其与环流异常形成的关系。

作者过去在讨论海气相互作用<sup>[5]</sup>及其季节变化<sup>[6]</sup>时,曾强调指出洋流区与非洋流区

\* 本文于 1980 年 6 月 12 日收到,1981 年 12 月 3 日收到修改稿。

的差别。图 1 给出海平面气压及 500—1000 毫巴厚度与海温的相关概率<sup>1)</sup>分布。图中相关概率用 % 表示, 凡  $>40\%$  或  $<-40\%$  的地区用实斜线及虚斜线画出。从图 1 可以看出, 在冷暖洋流区, 特别在黑潮暖流区, 海温与厚度正相关明显, 并且冬季相关大。在东太平洋副热带的冷洋流区, 则夏季相关大。而同时, 在这些地区, 海温与海平面气压则为负相关, 如图 1 a 的黑潮区及图 1 c 的北太平洋东部。海温与厚度为正相关, 与气压为负相关, 这可能是海洋做为非绝热因子影响大气的结果。例如, 最近关于海气相互作用的数值试验<sup>[7]</sup>就清楚地证明, 海温偏高的地区气温高而气压低。海温偏低的地区则气温低气压高。既然洋流区海气的这种关系最明显, 那末很可能这里海洋对大气的的影响也最强烈。

然而, 在北太平洋中部的非洋流区情况就完全不同了。海温与厚度关系不大, 海温与气压却是正相关。海温与厚度相关不大, 说明大气与海洋的热状况彼此直接影响不明显。而海温与气压为正相关则可能说明大气环流对海洋的控制作用。因为, 海平面气压高说明反气旋活动增强(或气旋活动减弱), 云量减少, 海洋能得到更多的直接太阳辐射。同时, 反气旋环流因摩擦作用(受风牵引的海水运动偏向风的方向右侧约  $90^\circ$  角度)而造成海水辐合, 使海水下翻, 亦有利于海水温度上升。因此, 在海温与气压为正相关的地区, 特别当海温与气温关系不明显时, 在海气相互作用中, 大气环流的控制作用可能更重要。

洋流区与非洋流区海气相互作用的差异从冷热源的研究可以得到进一步的解释。计算冷热源的作者很多<sup>[8-11]</sup>。所有这些计算大都采用动力方法, 即用计算大气垂直运动及平流来推算的。由于垂直运动计算的不准确以及大型涡旋等项的忽略等, 各人的计算结果有若干出入。但是冷热源的主要特征基本上还是一致的。由于朝仓与片山<sup>[10]</sup>同时也用所谓物理方法计算了冷热源。所以我们引用他们的两种计算结果来进行讨论。为了与图 1 比较, 图 2 转绘了[10]中计算的结果。比较图 1 和图 2 可以看出, 在黑潮暖流区, 无论冬夏均为热源, 尤其在中纬度 1 月热源强度比 7 月大。而且在图 1 d 的东太平洋冷洋流区  $\Delta H \sim T$  有较大正相关的地区, 图 2 d 上也是一个热源区。另外, 北太平洋的非洋流区则为热汇区。虽然两种方法计算的冷热源有所不同, 但大体上热源区与海洋影响大气的地区一致, 热汇区则与大气影响海洋的地区相近。在海洋供给大气热能的地区海洋影响大气为主, 在大气供给海洋热量的地区大气控制海洋。这从物理过程上是比较容易理解的。

此外, 最近一些随机动力气候模式的结果也是对海气相互作用空间变化的又一佐证。Reynolds<sup>[12]</sup>根据 Hasselmann 的模式研究北太平洋海温距平的预报, 用一级自回归模式, 认为海温距平受局地大气白噪声影响。结果表明主要在太平洋中部, 模式可以解释 50% 以上距平变化。但在强洋流区则失败了。这也清楚地说明, 在强洋流区海洋影响大气为主, 而在北太平洋中部的非洋流区, 则以大气影响海洋为主。

如上所述, 海气异常的天气气候分析, 冷热源的计算及随机动力模式的试验是三个性质不同的工作, 但是却得到了几乎完全一致的结论。因此, 我们可以认为洋流区与非洋流区海气相互作用存在差异的观点基本上得到了证实。

认识了这个问题对研究长期环流异常有两点启示; 第一, 海气之间只能说是一种相互

1) 相关概率  $\rho = \frac{n_+ - n_-}{N}$ ,  $n_+$  及  $n_-$  为同号及异号次数,  $N$  为总次数。

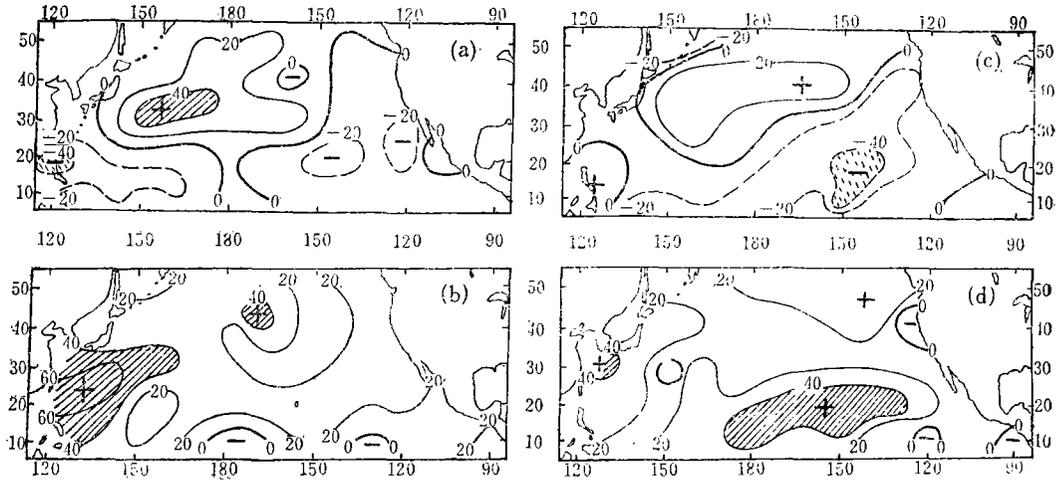


图 1 海平面气压( $P$ )和 500—1000 毫巴厚度( $\Delta H$ )与海温( $T$ )的相关概率分布(%)

(a, 1—3 月  $P \sim T$ ; b, 1—3 月  $\Delta H \sim T$ ;  
c, 7—9 月  $P \sim T$ ; d, 7—9 月  $\Delta H \sim T$ )

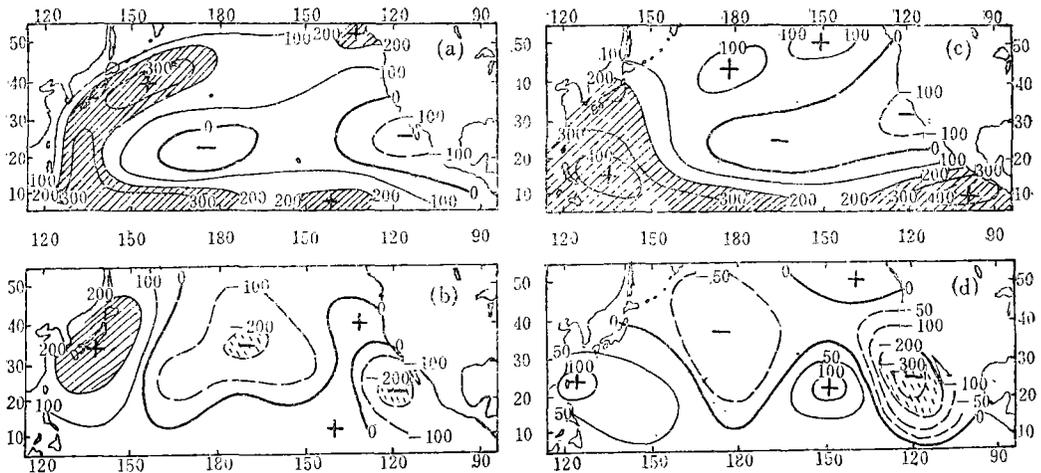


图 2 用物理方法( $Q_p$ )及动力方法( $Q_d$ )计算的冷热源(朗/天)

(a, 1 月  $Q_p$ ; b, 1 月  $Q_d$ ; c, 7 月  $Q_p$ ; d, 7 月  $Q_d$ )

作用的关系,而不能总是把海洋看做主动施加影响的方面。第二,海气的相互作用随时间与空间的变化与大气冷热源的分布有密切关系。因此,进一步深入研究大气冷热源,特别是研究其季节变化与年际变化对了解长期环流异常的形成是十分重要的。

### 三、大气环流异常的持续性与冷热源的季节变化

环流异常能否持续存在,什么时候容易发生突变,是长期预报工作者最关心的问题之

一。一般研究持续性多采用计算相关系数的办法。Namias(1952)<sup>[13]</sup>最早计算了北美气温,降水及700毫巴环流形势的持续性。发现这三种要素冬夏两季持续性均超过了偶然性所能达到的水平。但4—5月,10—11月持续性最小。500毫巴月平均图上西风指数及超长波的研究<sup>[14]</sup>亦发现,4—5月及9—11月西风强度持续性最小,而超长波则4—5月及10—11月持续性最小。Colyate<sup>[15]</sup>在讨论北大西洋海平面气压的预报时指出,相邻月份的气压之间,以3—4月及10—11月相关最差。

为了进一步全面研究持续性,我们利用近25年(1951—1975)的资料对下列五种要素进行了分析;1,北半球10°N以北500毫巴月平均高度,2,北半球10°N以北月平均海平面气压,3,北半球10°N以北500—1000毫巴月平均厚度,4,10°N以北的北太平洋月平均海面温度,5,北大西洋9个船舶观测站月平均海面温度。资料来源见[5]。

首先对每种要素算出25年的逐月距平图,然后计算1月—2月,2月—3月……12月—1月的相关概率分布图。例如正相关22,表示有61%同符号,39%异号。61%—39%=22%。所以采用相关概率一方面为了消除个别较大距平的影响,也为了做区域及北半球的相关平均。为了反映持续性的概貌,图3给出五种要素的平均持续相关概率。其中500毫巴高度,厚度及海平面气压都是257个点的平均值,太平洋海温为58个点平均,大西洋为I.J.K三个船舶站的平均(这三个站大致位于15°—20°W,40°—60°N之间。为了去掉年变程中2—3个月的小波动,对算得的相关概率做3个月加权滑动平均。例如 $R_{3-4}$ 代表3—4月的相关概率,则滑动平均相关概率:

$$R'_{3-4} = \frac{1}{4}(R_{2-3} + 2R_{3-4} + R_{4-5})$$

其中 $R_{2-3}$ 及 $R_{4-5}$ 分别为2—3月及4—5月的相关概率。下面的所有年变程分析都做了这样的处理,不再一一说明。

图3反映出持续性有很规则的年变程。从图3可以看到两个特点;1,大气环流在3—4月及9—10月有两个持续性最低点,即每年有两个环流异常最容易破坏的时期。2,海温没有春季持续性低点,仅有秋季持续性最小,但比环流的秋季持续性低点提前,约在8—9月。

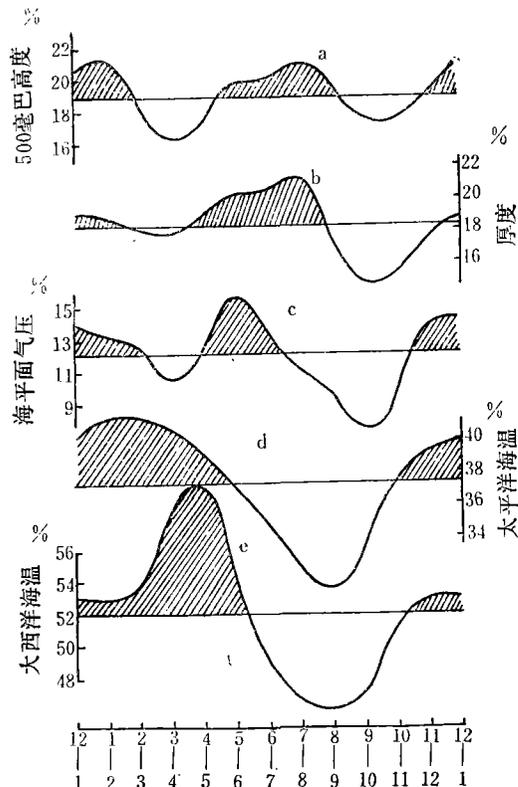


图3 相邻月持续相关概率(%)年变程  
(a,500毫巴高度; b,500—1000毫巴厚度;  
c,海平面气压; d,太平洋海温; e,大西洋海温)

第一个特点与过去其他作者的结论大体相同。问题是如何解释这个现象。1952年Namias<sup>[13]</sup>就曾指出, 3—4月及10—11月对流层中层西风指数月际变化最大, 而正是这两时期大气环流与气候异常持续性最小。这就是说当环流特征本身变化大时, 环流异常不容易持续。但为什么环流特征在一定的月份变化激烈呢? 可能根本的原因还在于冷热源的强烈改变。因为一般认为大气过程本身的持续性(有人称之为记忆力)不超过两周。所以, 这个月的环流异常如能持续到下个月, 大多数情况主要不是环流本身的持续性造成的, 而是反映了下垫面的非绝热影响, 即冷热源的作用。也就是说可能是冷热源本身的持续性使得环流异常能够维持。显然当冷热源的分布有较大变化时, 冷热源的异常不再持续, 环流异常当然也就不能持续了。确实, 冷热源是有明显的季节变化的<sup>[9-11, 16]</sup>。然而, 是不是大气环流异常的持续性与冷热源的季节变化有关呢? 为了弄清楚这个问题, 需要知道大气环流异常持续性的季节变化在什么地方最明显。为此做了图4。图中右侧给出10°N—70°N纬圈平均持续相关概率的年平均平均值。左侧为每个月对年平均的偏差。显然, 中纬度持续性的季节变化最明显。并且春秋两季持续性的低点(图4左侧的负区)也最突出。因此, 我们主要对比中纬度冷热源与大气环流持续性的季节变化。

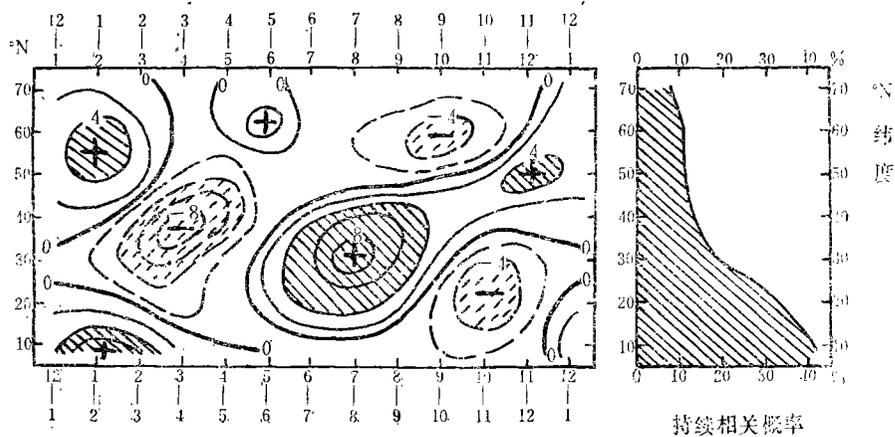


图4 500毫巴高度持续相关概率(%)纬圈平均的年平均平均值(右)及季节变化(左)

图5给出40°N平均500毫巴高度(a), 500—1000毫巴厚度(b)及海平面气压(c)的持续相关概率(%)年变程。同时给出冷热源月际变化的年变程(d)。图中的d是这样求得的。先从[9]的逐月北半球冷热源图上读出沿40°N 36个经度点(每个相距10°经度)上的冷热源数值, 求出各点的月际变化, 然后求月际变化的均方差 $\sigma$ ,

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{36} (\Delta H_i)^2}{36}}$$

其中 $\Delta H_i$ 即第*i*个经度点上冷热源的月际变化。从图5不难看出春秋两季持续性最低时, 冷热源的月际变化也最大。这就证明了上述观点, 中纬度大气环流异常在春秋两季持续性最低与过渡季节冷热源的激烈变化有关。

现在再讨论第二个特点。即海温只有一个秋季的持续性低点, 同样我们也要先研究

一下,是否海洋上所有地区都是只有一个秋季持续性最低点。回答是否定的。仔细分析发现,这种情况主要发生在北太平洋的黑潮暖流区及北大西洋的墨西哥湾流区。这也是可以理解的。因为中纬度海陆对比明显,冷热源季节变化激烈,在春秋季节冷热源符号都会改变。因此造成一年两次持续性最低点。而黑潮暖流区纯为海洋,一年四季基本上是热源,所以主要是热源强度影响大气环流及海洋的持续性。夏半年,特别是夏末秋初,黑潮区热源强度很弱,或变为很弱的冷源,所以也还是这时黑潮区海温持续性最小。

由此看来,大气环流异常的能否持续与大气冷热源及其季节变化有密切关系。中纬度冷热源季节变化激烈,所以过渡季节环流异常最不容易持续,而低纬地区几乎终年为热源,特别在暖洋流区冬半年热源强烈,环流异常持续性大。所以没有春季的持续性低点,夏半年则随热源强度之减弱,持续性大为下降。因此形成秋季的持续性低点。

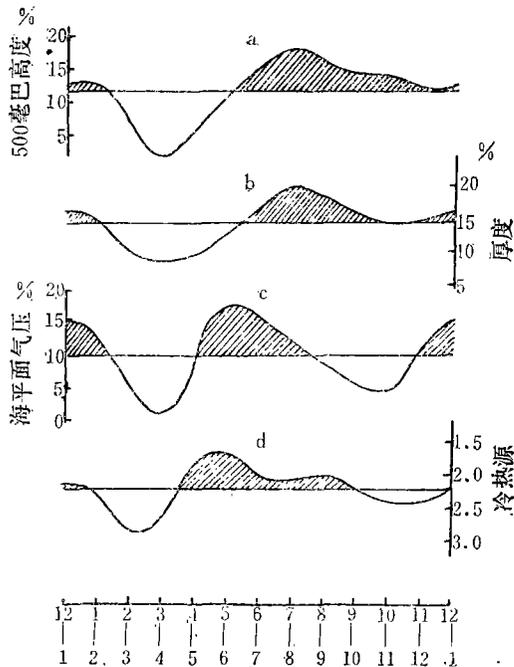


图 5 40°N 大气环流持续相关概率(%)及冷热源( $10^{-5}$  卡克 $^{-1}$ 秒 $^{-1}$ )月际变化的年变程(a, 500 毫巴高度; b, 500—1000 毫巴厚度; c, 海平面气压; d, 冷热源)

#### 四、月平均环流演变的韵律性

虽然大气环流异常有一定持续性,但是单纯依靠持续性来做长期预报是有困难的。首先,如上所述环流异常的维持是有限度的。如我们所最关心的中纬度,每到春、秋经常要发生较大变化。这说明环流异常一般不过维持数月之久。Kraus 等<sup>[17]</sup>的数值实验证明,月平均环流异常符号可维持 4 个月。Г. В. Алексеев 及 Ю. В. Николаев(1979)<sup>[18]</sup>的工作也强调具有 65—70% 准确率的气压月平均值预报时效为 3—5 个月。其次,如上节所介绍,环流异常虽有持续性,但持续相关是不大的。假定有 0.4 的相关,而每个月只与前一个月有关的话,隔一个月相关就只有  $0.4 \times 0.4 = 0.16$  了。因此从相关的数值大小也可以看出,单纯依靠持续性做长期环流形势预报是很难的。

但是,我国的长期预报,经常是由冬报夏,或由夏报冬,而且有一定效果,人们称呼这种关系为韵律<sup>[19]</sup>。为了检查大气环流异常是否存在这种关系,我们做了相似分析。所用方法类似于 Lorenz 关于中期预报的研究<sup>[20-22]</sup>。首先,对 1951—1975 年逐月北半球 500 毫巴距平图找相似。例如自 1951—1975 年共有 25 张 1 月的距平图,两两计算相关概率,很容易可以找出若干对达到 5% 信度的相似年份。然后,看每一对相似年的下一个月即 2 月相关有多大。再看下一个月 3 月相关有多大,如此一直到第 18 个月之后。一般每个月

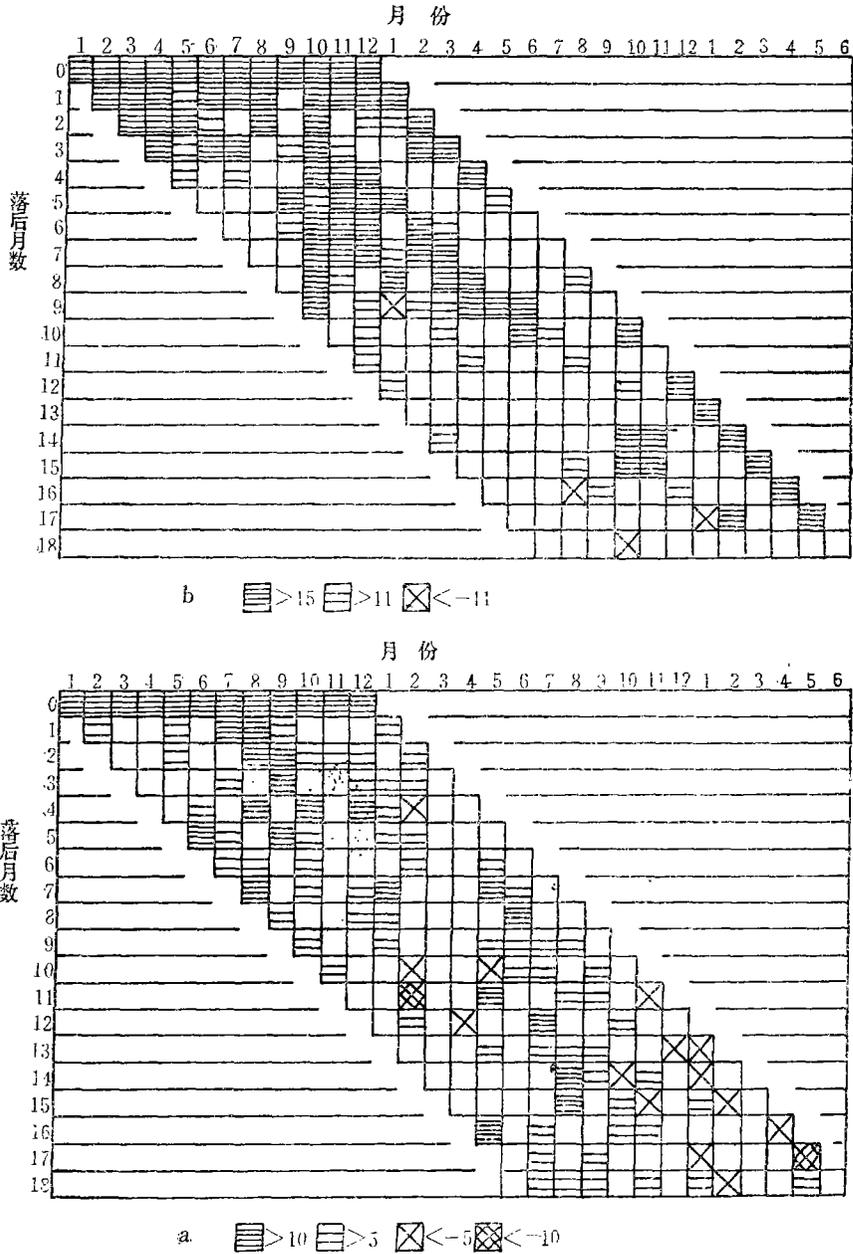


图 6 500 毫巴高度(a)与太平洋海温(b)异常相似性(%)的变化

如 1 月, 2 月……各选 5—10 对相似年, 凡达到 5% 信度的相似年太少时、降低标准用 10% 信度的补充。然后把这 5—10 对相似年自 0—18 个月之相关概率平均。计算相关概率时采用符号相关, 所以平均相关概率时用简单的算术平均。最后, 对 1 月、2 月、3 月……12 月都做了这类统计, 得到图 6 a。图中横座标为月份。纵座标为落后的月份, 自 0 (即同时) 到 18 (即落后一年半)。图中相似月画成斜的梯形是为了保持纵座标的月份

不变。例如 1 月落后 3 个月为 4 月, 2 月落后 2 个月为 4 月, 3 月落后 1 个月为 4 月。4 月的一列四个格子即代表这 4 种情况。

从图 6 a 可以看出, 并不是随着时间的推移相似性愈来愈小。图中有四条横线的格子为达到 5% 信度(相关概率 > 10%), 有二条横线的格子为达到 10% 信度(相关概率 > 5%) 的月份。以 1 月为例, 其后 2—4 个月相关均不大, 但从第五个月开始相似性又增加了。特别第五个月及第七个月均达到 5% 信度。这就是说 1 月与其后的 6 月及 8 月关系较好。如果某两年 1 月相似, 则当年的 6 月及 8 月相似的可能性也较大。这证明大气环流异常是有韵律性的。不过从图 6 也可以看出来各月的韵律是不同的。有趣的是海洋也有类似的韵律, 而且似乎还更清楚一些。图 6 b 给出北太平洋海温的相似分析结果。为了看的更清楚, 图 7 给出半年平均的相似性变化曲线。可见春夏的海温(a)半年韵律最明显, 秋冬的海温(b)则无韵律可谈。冬春的环流(c) 5 个月韵律突出, 夏秋的环流则韵律长到 9—11 个月。

为什么大气环流异常会有韵律性, 这是一个饶有兴趣的问题。当然, 这可能与海温的韵律性有关。Марчук<sup>[23,24]</sup> 及 Мусаев-Лян<sup>[25,26]</sup> 就持有这样的看法。不过从图 7 可见环流与海洋的韵律也有差异, 所以韵律过程可能是比较复杂的。但是月平均环流异常有韵律性却似乎是真实的。这种韵律性在海水温度上表现尤其明显。因此, 进一步研究韵律与海气相互作用的关系是很有意义的。

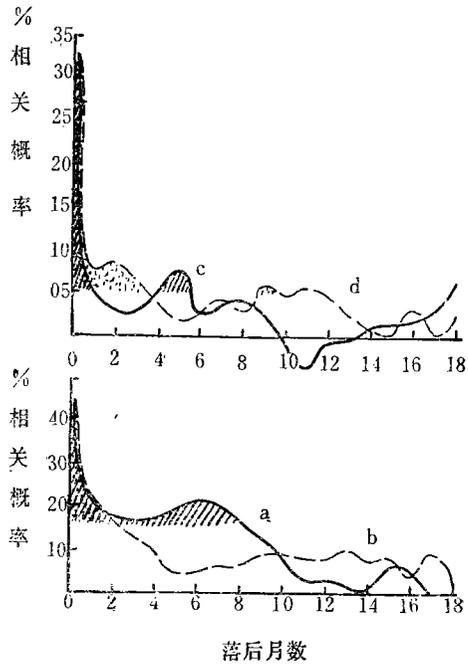


图 7 半年平均相似性%的变化  
(a, 3—8 月海温; b, 9—2 月海温; c, 12—5 月 500 毫巴高度; d, 6—11 月 500 毫巴高度)

### 五、结 束 语

本文不是直接提供预报方案, 而只是讨论长期环流异常形成, 维持与演变有关的一些问题。特别注意大气非绝热加热, 即冷热源的作用。由于海洋是大气的主要能量供应者之一, 因此我们主要讨论了海气相互作用对长期环流异常的影响, 这课题范围很广, 我们仅就其中三个问题提出一些看法。还需要从不同角度, 应用各种不同的方法, 逐渐加深我们的认识, 以便在更坚实的基础上, 把长期预报工作推进一步。

## 参 考 文 献

- [1] J. Namias., *Trans. Am. Geophys. Union.*, 29, 777—788, 1948.
- [2] J. Namias, *Met. Monographs*, Vol. 2. No. 6, 1953.
- [3] 张先恭、袁子兴, 长期天气预报的几个问题, 农业出版社, 1963年。
- [4] J. S. Sawyer, W. M. O. *Tech. Note*, No. 66, 227—248, 1964.
- [5] 王绍武、赵宗慈、陈振华、魏松林、于平书, 海洋学报, 第2卷, 第2期, 1980。
- [6] 赵宗慈、王绍武、陈振华, 大气与海洋相互作用的季节变化(1979年全国中长期预报会议文集), 气象出版社, 1982。
- [7] R. M. Chervin, J. E. Kutzbach, D. D. Honghton and R. G. Gallimore, *J. Atmos. Sci.*, 37, 308—332, 1980.
- [8] 朱抱真, 气象学报, 28卷, 2期, 1957。
- [9] 朱抱真、刘瑞芝、纪立人, (动力气象学论文集), 科学出版社, 1961年。
- [10] T. Asakura, and A. Katayama, *J. Met. Soc. Japan*, 42, 209—244, 1964.
- [11] 长期天气数值预报协作组, 北半球月平均加热场的研究, (1979年全国中长期预报会议文集), 气象出版社, 1982。
- [12] R. W. Reynolds, *Tellus*, 30, 97—103, 1978.
- [13] J. Namias, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 33, 279—285, 1952.
- [14] 北京大学地球物理系气象教研室, (天气分析与预报)第二十五章, 科学出版社, 1976。
- [15] M. G. Colyate, *Quart. J. R. Meteor. Soc.*, 101, 267—280, 1975.
- [16] M. A. Geller, and S. K. Avery, *Mon. Wea. Rev.*, 106, 629—636, 1978.
- [17] E. B. Kraus, and E. N. Lorenz, *J. Atmos. Sci.*, 23, 3—12, 1966.
- [18] Г. В. Алексеев и Ю. В. Николаев, *Метео. и Гидро.* № 5. 1979.
- [19] 王绍武, 长期天气过程的尺度结构及形成原因。水文气象预报文集, 第三期, 长江流域规划办公室, 1982。
- [20] E. N. Lorenz, *Meteo. Monog.*, Vol. 8, No. 30, 1—3, 1968.
- [21] E. N. Lorenz, *J. Atmos. Sci.*, 26, 636—646, 1969.
- [22] E. N. Lorenz, Third Conference of probability and statistics in atmospheric science, June, 19—22, 1973.
- [23] G. I. Marchuk, World Climate Conference, Geneva, 12—23, February, 1979.
- [24] Г. И. Марчук и Г. П. Курбаткин, *Метео. и Гидро.* № 11. 1977.
- [25] Ш. А. Мусаелян. Гидрометеонздат. 1978.
- [26] Ш. А. Мусаелян. *Метео. и Гидро.* № 3. 1980.

# THE PERSISTENCE AND THE RHYTHM OF ANOMALIES OF MONTHLY MEAN ATMOSPHERIC CIRCULATION IN RELATION TO OCEAN-ATMOSPHERIC INTERACTIONS

Wang Shao wu, Zhao Zong ci, Chen Zhen hua

*(Department of Geophysics, Peking University)*

## Abstract

The formation of anomalies of monthly mean atmospheric circulation was examined in relation to the interactions between the atmosphere and sea-surface temperature. It is indicated that in the current regions the ocean as a heat source exerts a deep influence on the formation of the anomalies of atmospheric circulation. But in the un-current regions thermal regime of the oceans are controlled by the atmospheric circulation.

The persistence of anomalies of the atmospheric circulation was investigated. It has been found that in the temperate latitudes there are two minima in the annual course of persistence at Spring and Autumn. It is shown that March-April and September-October minima of persistence are very closely connected with the two maxima in the annual course of variation of heat source and sinks. In the lower latitudes there is only one minimum of persistence in the annual course. Analysis indicated that it may have some link with the annual variation of intensities of heat source over the Kuro-shio.

The investigation of natural analogies showed that when the circulation or sea surface temperature anomalies for two month had similar characteristics, then the following months also had some similarity, but the similarity did not decreased monotonously with increasing of the time interval. In the 4th to 5th month or in the 9th to 11th month apart from the beginning the similarity was much bigger than preceding and following months. From results mentioned above, it may conclude that only this very rhythm in atmosphere and ocean, indeed, makes the long-range weather forecasting possible.