

赵振国 陈国珍

(国家气象中心,北京 100081)

## 提 要

利用月平均环流资料,通过计算持续性概率,分析了北半球对流层环流持续性的时空变化规律及其影响持续性的各种因素。结果表明,环流的持续性,高层比低层好,低纬度比中高纬度好,东半球比西半球好。冬夏季持续性明显高于春秋季节,秋季环流最容易发生转折。持续性还存在着准2年、4年和6.5年的周期变化,这些准周期分别与QBO及厄尔尼诺现象和太阳活动的周期振荡相吻合。平流层为西风位相时对流层环流持续性增强,东风位相时减弱。对流层西风环流、副高、极涡的异常变化有利于环流持续。太阳活动异常、厄尔尼诺事件发生、火山爆发等往往导致环流的持续性减弱。

**关键词:** 环流 持续性 时空变化 影响因素

## 引 言

平均环流往往表现出明显的韵律性、持续性,某种大气环流型的持续、转折是大气运动的内在规律,研究和掌握这些规律性对长期天气预报是非常重要的。王绍武等<sup>[1]</sup>研究了月平均环流的持续性及其与下垫面冷热源的相互关系。本文用月平均环流资料,通过计算持续性概率,重点讨论大气环流持续性的时空变化规律,对流层环流异常和平流层QBO以及太阳活动、厄尔尼诺现象、火山爆发等因素对大气环流持续性的不同影响。

## 1 持续性的时空变化特征

## 1.1 持续性的空间变化

图1a是北半球100hPa(虚线)、500hPa(实线)、海平面气压(点虚线)持续性概率<sup>2)</sup>40年(1951—1990年)平均值的逐月变化情况。不难看出,100hPa的持续性概率最高,全年平均为0.65,7月最高0.68,9月最低也达

0.60。其次是500hPa,全年平均为0.58,明显低于100hPa,但略高于海平面气压场。海平面气压场持续性最差,全年平均0.57。这说明大气环流的持续性是随高度增加的,愈往高层,环流愈平直,稳定性愈好,持续性愈高,这是很容易理解的。

图1b是500hPa北半球(实线)、东半球(虚线)及北半球和东半球西风带(40—65°N)、副热带(10—35°N)地区持续性概率的逐月变化曲线,从图可以清楚看出,所有月份,副热带的持续性都大大高于西风带,北半球和东半球副热带地区的持续性概率全年平均分别为0.64、0.65,而北半球和东半球西风带地区都只有0.55,副热带比西风带高出0.10左右。从图2a北半球500hPa各纬圈持续性概率 $\geq 0.60$ 的频率的变化情况也看得十分清楚,40°N以北的各纬圈均在0.30左右,但35°N以南地区明显升高,10—20°N

1) 本工作由《长期天气预报理论和方法研究》项目资助。

2) 持续性概率即两个场距平符号的同号率。

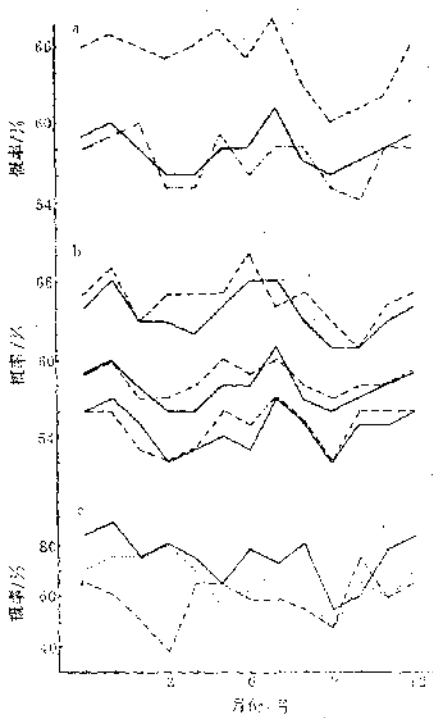


图1 持续性的逐月变化

- a. 实线: 北半球 500hPa 虚线: 北半球 100hPa 点线: 北半球海平面气压
- b. 实线: 北半球 500hPa 虚线: 东半球 500hPa (上: 副热带, 中: 半球, 下: 西风带)
- c. 实线: 西太平洋副高面积指数 虚线: 欧亚纬向环流指数 点线: 极涡面积指数

度带达 0.85~0.90, 这说明低纬度大气环流的持续性比中高纬地区好得多, 这可能与中高纬冷热源季节变化剧烈、低纬度海洋热源季节变化小密切相关。从图 2b 北半球 500hPa 各经圈持续性概率  $\geq 0.60$  的频率变化可以看出持续性随经度的变化情况。频率比较高的有 3 个地区: 第一是 10°~110°E 即欧亚大陆, 持续性最好, 各经圈  $\geq 0.60$  的频率大都接近或超过 0.50, 青藏高原附近地区最高, 达 0.56。其次是 160°E~150°W 即中太平洋地区, 持续性较好, 各经圈  $\geq 0.60$  的频率也多在 0.50 以上, 最高达 0.55, 但范围比欧亚大陆小。第三是 50°W 附近即大西洋中部地区, 仅个别经圈  $\geq 0.60$  的频率接近或等于 0.50, 显然其范围比前两个地区小得多。

频率比较低的也有三个地区, 最低出现在 110°W 附近即北太平洋与北美大陆交界的地方, 110°W 处  $\geq 0.60$  的频率仅 0.34, 表明这个地区持续性最差。频率次低值出现在 130°E 附近即北太平洋与欧亚大陆交界处, 130°E 经圈  $\geq 0.60$  的频率为 0.39, 表明持续性也比较差。第三个持续性稍差的地区在 10°W 附近即大西洋与欧亚大陆交界附近, 10°W 上  $\geq 0.60$  的频率等于 0.40。综上所述, 从持续性在东西方向的变化看, 持续好的地区依次为欧亚大陆, 太平洋和大西洋中部, 持续性差的地区依次为太平洋与北美大陆、太平洋与欧亚大陆和大西洋与欧亚大陆交界处。由此也不难看出, 欧亚大陆比北美大陆持续性好, 太平洋比大西洋持续性好; 东半球与西半球相比, 东半球  $\geq 0.60$  的频率比西半球高出 0.20 左右, 说明东半球比西半球持续性好。从上述我们还可以看出下列重要事实: 海洋或大陆均一下垫面上空大气环流持续性好, 而在大陆与海洋的过渡区大气环流持续性差。另外 3 个持续好的地方似乎与两大洋和青藏高原冷热源有一定联系。

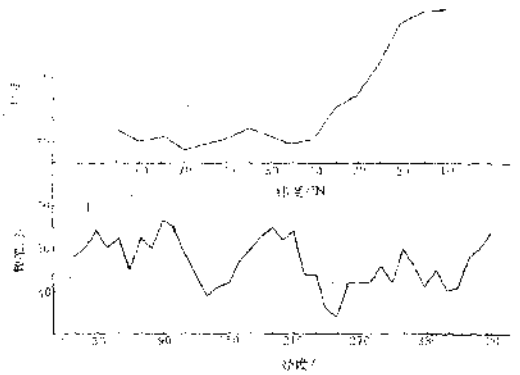


图2 各纬圈(a)、经圈(b)持续性概率  $\geq 0.60$  的频率变化

### 1.2 持续性的季节和年际振荡

由图 1a 可见, 海平面气压和 500hPa 层, 冬、夏季为持续性峰期, 春、秋季出现持续性谷点, 冬、夏季平均的持续性概率比春、秋季高出 0.01~0.03。但对于 100hPa 层, 冬、春、

夏持续性概率都比较高,平均持续性概率分别为0.66、0.66、0.65,仅秋季持续性概率比较低,仅为0.61,比冬、春、夏季低0.04—0.05。这表明对流层下部,大气环流在冬、夏季容易持续,春、秋季容易发生转折,一年中有两个持续性低点;但对流层上部,大气环流由冬到夏容易持续,秋季容易转折,一年中只有一个持续性低点,没有春季的持续性谷点。从图1b可进一步看到,在500hPa层,东半球以及北半球和东半球的西风带、副热带地区,其持续性的季节变化规律都与北半球类似,冬、夏季持续性好,春、秋季持续性差。夏季持续性最好的月份是7月,冬季持续最好的出现在1月份,1、7月副热带地区的持续性概率都在0.65以上,西风带在0.57以上。持续性最差,春季出现在3月或4月,秋季出现在9月或10月,持续性最差月份的持续性概率,副热带地区在0.61—0.62,西风带为0.52。持续性最好月份与最差月份的持续性概率相差0.04—0.06。另外从图1b还可以发现,西风带地区春、秋两个持续性低点都很明显,表明西风带环流春、秋两季都容易发生转折;但副热带特别是东半球副热带地区秋季的持续性低点比春季明显得多,说明副热带环流最容易在秋季发生转折。从图1c西太平洋副高面积指数(实线)、欧亚地区纬向环流指数(虚线)、欧亚地区极涡面积指数(点线)持续性概率的逐月变化也看得比较清楚,西风环流指数和极涡面积指数春季都有一个明显的持续性谷点,但副高面积指数秋季的持续性谷点显然比春季强得多。不少人<sup>[2]</sup>曾讨论过西太平洋副高的持续性问题,共同的结论是秋季容易发生趋势转折,其它季节特别是冬夏季容易持续,与本文结论基本吻合。

进而我们讨论持续性的年际振荡特征。图3a实线是1953年1月—1990年12月东半球500hPa月平均持续性概率的功率谱分析,不难看出,19.9—27.1月和42.6—54.2月是两个明显的峰值段,其谱值均超过红噪

音值,最大谱值分别出现在23.8月和49.7月,这表明2年和4年左右的周期非常显著。从图3b实线1953—1990年东半球500hPa年平均持续性概率的功率谱分析还可以看出第3类周期,即5.8—7.4年的峰值段,超过红噪音谱值,其最大谱值出现在6.5年,说明6—7年的周期也很显著。上述3种周期从实际资料的历史演变中也看得比较清楚,北半球500hPa年平均持续性概率的逐年变化(图4a实线)反映出2年左右的周期特征,东半球500hPa年平均持续性概率的3年滑动曲线(图4b)则反映了4年左右和6—8年的周期变化。

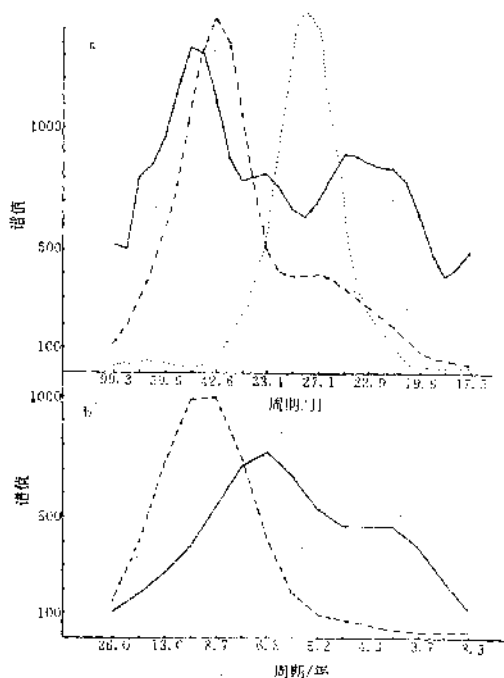


图3 功率谱分析

- a. 实线:持续性概率 虚线:Nino3区SST 点线:30hPa纬向风(月平均值)
- b. 实线:持续性概率 虚线:太阳黑子(年平均值)

另外,从图4b亦可发现,50—60年代初持续性最好,其次是70年代中后期,持续性也较好。80年代持续性较差,60年代持续性最差。进一步分析表明,50—60年代初持续

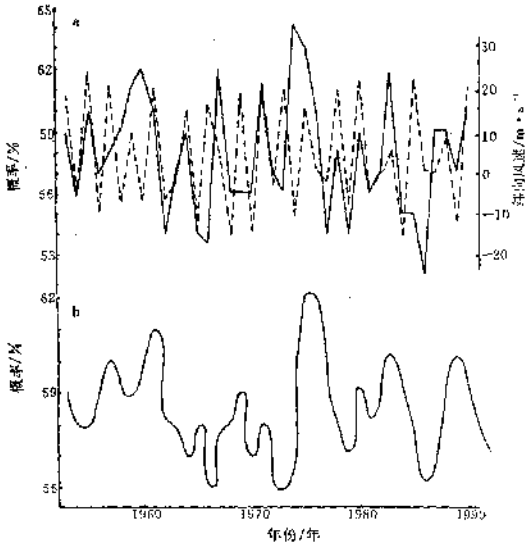


图4 年际变化

a. 实线:持续性概率 虚线:30hPa 纬向风(逐年变化)  
b. 持续性概率的3年滑动

性增强主要表现在西风带,副热带反映得不清楚,大致接近常年情况。而70年代则主要是副热带持续性明显增强,西风带反而有所减弱。在60年代和80年代持续性较差时期,西风带与副热带无明显差异。

## 2 环流异常与持续性变化

本节主要讨论在何种环流背景下大气环流更容易持续或转折,比如对流层环流异常和平流层东西风位相变化对持续性的影响。

以一年12个月中,北半球副高面积指数、北半球极涡面积指数及欧亚地区经纬向环流指数距平值 $\geq 0.56$ 的月份超过6个月以上作为该种环流异常的标准,分别选出副高明显偏强偏弱的年份各10年,极涡明显扩张和收缩的年份各9年,欧亚西风带纬向环流和经向环流明显发展的年份各8年,分别统计北半球、东半球范围及西风带、副热带地区持续性概率的变化情况。结果发现,无论是副高显著增强或减弱,纬向环流盛行或经向环流发展,持续性都呈现增强趋势;极涡扩张

持续性变化不明显,但极涡收缩使持续性显著加强。图5a给出了副高显著加强和减弱年(实线)、经纬向环流盛行年(虚线)、极涡明显收缩年(点线)的年平均持续性概率,不难看出,持续性概率降低的只有5年,占17%;其余83%的年份,除个别年份持续性概率维持平均状况外,绝大多数年份持续性概率明显升高。上述环流异常出现频次较多的主要集中在50年代和70年代中后期,这与上节所分析的这两个时段持续性较好的结论相吻合。同样,60—70年代初及80年代,环流发生异常的频次较少也正是持续性相对较差的时期。上述情况表明,环流异常一旦发生,某种优势环流型形成后相对比较稳定,持续性较好。在此前后环流多处于由一种型向另一种型的转换交替的不稳定时期,持续性较差。

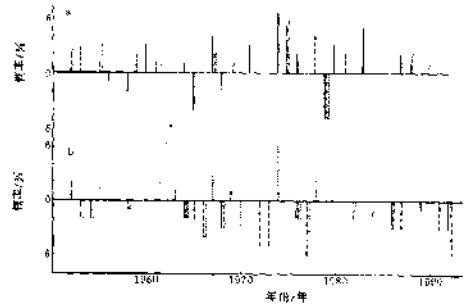


图5 各种条件下的持续性概率距平

a. 实线:副高 虚线:西风环流 点线:极涡  
b. 实线:太阳黑子 虚线:厄尔尼诺 点线:火山活动

前面已经提到,对流层500hPa位势高度距平的持续性存在着两年左右的准周期变化,功率谱分析的最大谱值出现在23.8月处。根据图3a 30hPa纬向风的功率谱分析(点线)可以看出,最大谱值出现在28.4月处,在20.6—39.7的谱值段超过红噪音谱值。显而易见,对流层环流持续性变化的准两年周期与平流层东、西风的准两年振荡(QBO)密切相关。从1953—1994年的38年,两者之间的相关概率达0.76,超过0.01的信度标准,表明相关显著。对照图4a 500hPa

年平均持续性概率(实线)与30hPa 纬向风年平均值(虚线)的逐年变化曲线,不难看出,两者的升降趋势在绝大多数年份相当一致。这些事实清楚地表明了对流层环流持续性的准两年周期与平流层 QBO 之间良好的对应关系,即平流层西风位相时,对流层 500hPa 位势高度距平持续性增强,东风位相时持续性减弱。这说明平流层西风盛行有利于对流层环流的稳定维持,东风发展有利于对流层环流的转折调整。但其影响过程尚不清楚,有待进一步探讨。

### 3. 大气外部物理因素对持续性的影响

首先选出太阳黑子高低值年份 8 年(1954、1958、1964、1968、1976、1981、1986、1989 年),厄尔尼诺开始年、次年共 22 年(1951—1952、1953—1954、1957—1958、1963—1964、1965—1966、1968—1969、1972—1973、1976—1977、1982—1983、1986—1987、1991—1992 年),火山爆发年 17 年(1951、1952、1953、1955、1956、1963、1964、1965、1966、1968、1973、1974、1975、1976、1979、1980、1982 年),然后分别统计其持续性概率的变化情况。结果见图 5b。由图清楚地看出,上述 3 种因素都使持续性呈现出明显的减弱趋势,使持续性概率升高的仅 7 年,占 23%;其余 77% 的年份,除个别年份持续性概率保持平均状态外,其它绝大多数年份持续性概率都降低。这表明太阳活动和海洋下垫面的异常以及火山的爆发往往会引起大气环流的调整或形态的更替。

前面也讲到,持续性概率除准两年周期外,还有 4 年左右的准周期,其功率谱最大谱值出现在 49.7 月处。图 3a Nino3 区海温的功率谱曲线(虚线),在 19.2—74.5 月处通过红噪音检验,最大谱值在 42.6 月处,这表明对流层 500hPa 位势高度距平的持续性所表现出的 4 年左右的准周期与厄尔尼诺现象 3—5 年的振荡周期相吻合,这进一步证实了厄尔尼诺事件对对流层环流持续性的影响。

由于厄尔尼诺事件的生命史一般为 1 年左右,第一年春季前后开始,次年春季前后结束,在开始年是赤道东太平洋海温由冷转暖的过程,结束年是由暖转冷的过程,海温的趋势转变往往要引起环流的转折,因而使持续性减弱,持续性概率在厄尔尼诺开始年的秋季降低得最明显,9、10 月份比平均情况降低 0.06—0.07。环流特别是副热带环流秋季转折已是众所周知的事实,不少研究<sup>[3-4]</sup>证实环流秋季转折与厄尔尼诺事件的发生密切相关,且是半年左右的滞后效应。所以在厄尔尼诺过程中,开始年秋季环流持续性最差。但并非整个厄尔尼诺过程持续性都降低,秋季过后进入盛行阶段,持续性概率则提高约 0.02—0.05,说明盛期持续性是增强的。同样统计结果也表明,反厄尔尼诺事件也导致持续性降低。王绍武<sup>[3]</sup>的研究表明,环流的持续性反映了下垫面非绝热影响即冷热源的作用,本文对此结论亦是一个很好的佐证。

太阳黑子极值年对流层环流持续性下降,与图 3b 所表明的持续性概率的 6.5 年左右的准周期现象基本吻合,它反映了太阳活动 11 年周期的双振动现象<sup>[5]</sup>对大气环流的影响,这是太阳活动 11 年周期最常见的一种波动,即 11 年内有两个波,极值年是一种状态,极值年之间是另一种状态。环流持续性变化可能与这种波动有关。不少人<sup>[3]</sup>的研究表明,副高强度和位置的周期振动的转折时期,大都出现在太阳活动极值年附近,这说明副高容易在太阳活动极值年附近发生趋势转折,这与本文所揭示的太阳活动极值年附近环流持续性下降的结论基本上是一致的。

许多学者都曾经指出,火山活动对大气环流的影响存在着 1 年左右的滞后效应。火山爆发对对流层环流持续性的影响也反映了明显的滞后效应,火山爆发的当年、次年环流持续性下降不明显,第三年持续性显著降低。

统计结果还表明,太阳活动、厄尔尼诺现象、火山爆发等因素对东半球环流持续性的

影响更明显,也就是这些因素发生异常时,东半球环流持续性减弱得更明显,这对于我们制作欧亚地区环流形势预报更有参考意义。

#### 4 主要结论

4.1 北半球对流层环流持续性表现出明显的空间差异,高层环流持续性比低层好,低纬度环流的持续性高于中高纬地区,东半球环流的持续性优于西半球。

4.2 环流的持续性还存在着显著的季节变化和年际振荡特征。对流层上部环流由冬到夏容易持续,秋季容易发生转折。对流层下部环流冬夏季持续性明显高于春秋季节,西风带环流春秋两个持续性低点都很明显,而副热带环流秋季持续性谷点比春季明显,尤其东半球更清楚。对流层环流的持续性还具有准两年、准4年和准6.5年左右的振荡周期和更长时间的阶段性变化,50年代—60年代初、70年代中后期持续性较好,60年代、80年代持续性较差。

4.3 对流层环流异常,如副高显著增强减

弱、经纬向环流异常发展、极涡明显北缩等均导致环流持续性增强。对流层环流持续性的准两年周期与平流层QBO密切相关,平流层西风位相时对流层环流持续性增强,东风位相时减弱。

4.4 厄尔尼诺事件的发生、太阳活动异常、火山爆发等均致使环流持续性减弱,持续性变化的准4年、准6.5年左右的周期分别与厄尔尼诺现象的3—5年周期和太阳黑子11年周期的双振动现象相吻合。

#### 参考文献

- 1 王绍武,月平均环流异常的持续性与韵律性和海气相互作用.气象学报,1983,41(1):33—42.
- 2 陈兴芳,副高秋季转折的初步讨论.大气科学,1980,4(3):276—280.
- 3 张先恭,西太平洋副热带高压的气候振动.气象科学研究院院刊,1988,3(1):1—8.
- 4 赵振国,太阳活动和厄尔尼诺现象对北半球大气环流和中国降水的影响.长期天气预报研究通讯,1993,3—4:59—64.
- 5 王绍武,长期天气预报基础.上海:上海科学技术出版社,1987:90—101.

## The Persistence of Monthly Mean Atmospheric Circulation in the Troposphere in the Northern Hemisphere

Zhao Zhenguo Chen Guozhen

(National Meteorological Center, Beijing, 100081)

#### Abstracts

The temporal and spatial characteristics of the persistence of monthly mean atmospheric circulation in the troposphere over the northern Hemisphere are investigated. It is indicated that the persistence is higher in upper-troposphere than in low-troposphere, in low-latitude than in high-latitude, in the eastern Hemisphere than in the western Hemisphere, in winter and summer than in spring and autumn. The factors influencing on the persistence are also analysed. It is found that the persistence links with solar activities, QBO, EL-Nino events and volcanic activities. Quasi-oscillations of 2 year, 4 year and 6.5 year of the persistence are closely connected with the above mentioned factors.

**Key Words:** atmospheric circulation persistence time and space feature influencing factors