第 19 卷第 3 期
1996 年 9 月

南 京 气 象 学 院 学 报
Journal of Nanjing Institute of Meteorology

Vol. 19 No. 3
Sep. 1996

# 北半球大气环流特征量的长期趋势及年代际变化[‡]

施 能 朱乾根
(南京气象学院气象学系, 南京 210044)

摘 要 用 1951 ~1995 年的北半球大气环流特征量资料, 计算了它们的长期趋势变化。结果表明, 近 45 年西太平洋副高与极涡强度都趋加强, 纬向环流趋于加强, 经向环流则趋减弱。这种环流的长期趋势变化及年代际变化是我国冬季气温长期趋势变化的一个直接原因。突变分析表明, 不连续变化主要发生在 1976 年及 80 年代初。

关键词 趋势变化, 年代际变化, 大气环流
分类号 P448

近百年来, 北半球平均气温已上升了 0.3～0.6℃, 这种变化目前仍在继续[1]。许多学者指出, 温室气体剧增是全球气温上升的主要原因。然而, 天气气候异常总量与大气环流异常密切相关, 在年际时间尺度下, 大气环流异常与天气异常的关系的研究已相当多。对更长时间尺度, 大气环流的异常情况我们目前了解还不多, 如大气环流有无长期趋势变化? 有无环流(如高度场)的突然增强或减弱发生? 在什么年代发生? 目前, 大气环流的年代际变化主要集中在研究热带及北太平洋地区[2~7]。施能等* 研究了北半球 500 hPa 月、季高度场的趋势变化及年代际变化。而在我国气象业务中经常使用的 500 hPa 高度环流特征量, 如亚洲地区经向、纬向环流指数; 亚欧地区经向、纬向环流指数; 北半球极涡强度指数; 西太平洋副高面积指数的长期趋势及年代际变化特征还没有研究。这些指标广泛地用于气象研究、分析及预报中。至今, 气象月刊逐月连续发布其数值。本文研究并揭示这些特征量的长期趋势变化特征及年代际变化特征并初步研究了它们与我国冬季气温变化的关系。

## 1 资料及方法

### 1.1 资料

环流特征量资料取自中国气象局出版的逐月资料, 近期的取自气象月刊。资料年代 1951 年 1 月～1995 年 2 月。春季(3～5 月)、夏季(6～8 月)、秋季(9～11 月)、冬季(12～2 月)用相应月份求平均得季平均值。季、月资料均有 44 年, 1951/1952～1994/1995。

### 1.2 方法

为了研究气象要素的长期趋势变化并进行统计检验, 计算了气候趋势系数 $r_{xt}$, 它定义为要素序列 $x_i$ 与自然数列 1, 2, …, $N$ 之间的相关系数。$N$ 为年数; $x_i$ 为第 $i$ 年的要素值。当 $r_{xt}$ 为

‡ 国家自然科学基金 49475265 资助项目
收稿日期: 1995-09-21; 改回日期: 1996-04-12

* 施 能, 李月洪. 近 43 年北半球 500 hPa 高度场的趋势变化及年代际变化. 气象学报, 待发表

正(负)时,表示要素在计算的时段内线性增加(减弱)。可以用 $t$ 分布检验 $r_{xt}$ 是否显著,从而确定长期变化存在明显趋势还是一种随机振动。线性回归方程表示为

$$\hat{x}_t = a_0 + a_1 t \tag{1}$$

趋势系数 $r_{xt}$ 与回归系数的关系是

$$a_1 = r_{xt} \frac{\sigma_x}{\sigma} \tag{2}$$

$\sigma_x$、$\sigma_t$ 分别是要素 $x$ 及自然数列的均方差。$a_1$ 通常称为气候倾向率,单位为要素单位/年。$r_{xt}$、$a_1$ 均可用来表示要素的长期趋势变化,但趋势系数 $r_{xt}$ 更具优越性。首先,$r_{xt}$ 就是相关系数,显著性检验比回归系数方便得多。其次,$r_{xt}$ 是没有单位的量,其绝对值大小直接说明了趋势变化的强、弱。因此,可以对不同空间点计算 $r_{xt}$,作趋势图,而 $a_1$ 则不能,因 $a_1$ 是有单位的量,不同测站、不同要素之间无法比较。

在气象要素的长期变化中存在着不连续现象,它通常表现为两个时段平均值之间的显著的差异,相邻两时段时间尺度在 10 年以上,称为气候突变。计算气候突变方法较多[7,8],本文使用常用的 3 种方法。

(1) 累积距平曲线　在样本中某时刻 $t$ 的累积距平 $I(t)$ 定义为 $\sum_{i=1}^{t}(x_i - \bar{x})$。将 $I(t)$ 绘成随时间 $t$ 变化的曲线称为累积距平曲线。

(2) 移动 $t$ 检验方法　将样本资料划分为两个相邻的时段,前 $N_1$ 个资料,后 $N_2$ 个资料,$N_1 + N_2 = N$。对这两个样本用 $t$ 检验方法进行样本均值的差异显著性检验,得出对应 $(N_1, N_2)$ 的 $t$ 统计量值。这种计算在时段 $N_1 = 10, 11, \cdots, N - 10$(对应 $N_2 = N - 10, N - 11, \cdots, 11, 10$)上重复进行,得到 $N - 20 + 1$ 个 $t$ 值,分别对应每个 $(N_1, N_2)$ 对,选出最大绝对值的 $t$,如果达到 0.05 以上显著性,就认为是一种突变。

信噪比为

$$\frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sigma_1 + \sigma_2}$$

$\bar{x}_1, \bar{x}_2$; $\sigma_1, \sigma_2$ 分别为两相邻时段的均值与均方差。滑动计算信噪比数值,Yamamoto[8]将信噪比绝对值大于 1.0 定义为突变,是比较严格的标准。

## 2　500 hPa 环流特征量的趋势变化

表 1 为逐月环流特征量的趋势系数 $r_{xt}$,其中 1, 2 月份用 45 年资料,其余的用 44 年资料。由表 1 看出

(1) 亚洲地区、亚欧地区纬向环流趋势变化不大。仅 3 月份亚洲地区纬向环流表现出明显减弱的趋势。

(2) 亚洲地区、亚欧地区经向环流的趋势值也不大,但是几乎所有月份全是负值的特征表明近 45 年以来,亚洲及亚欧地区各月(除 10、6 月)经向环流均有不同程度的负趋势(减弱)。

(3) 北半球极涡中心强度,除 11 月份以外,均表现出较清楚的高度负趋势,表明极涡加强。

(4) 西太平洋副高各月均为强的正趋势,表明逐月西太平洋副高强度趋于加强。

表 2 是季特征量的趋势系数(比逐月的清楚)。可以看出,经向环流减弱(冬季更显著);纬向环流(主要是亚欧地区)加强;北极涡强度加强;西太平洋副热带高压加强明显,几乎都达 0.01 以上信度。图 1 为北半球极涡中心强度、西太平洋副高面积指数在各季的时间曲线及线

性趋势。

表 **1**　大气环流特征量的趋势系数(月)

Table 1　Trend coefficients of monthly characteristics of 1951～1995 northern winter circulations

| 指数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 亚洲地区纬向环流 | 0.1 | 0.11 | -0.38* | -0.04 | -0.05 | -0.07 | -0.14 | -0.00 | -0.13 | -0.12 | 0.06 | 0.13 |
| 亚欧地区纬向环流 | 0.2 | 0.13 | -0.11 | -0.05 | 0.08 | -0.14 | -0.08 | 0.14 | 0.03 | 0.04 | 0.19 | 0.19 |
| 亚洲地区经向环流 | -0.26 | -0.17 | 0.11 | -0.24 | -0.14 | 0.10 | -0.12 | -0.23 | -0.28 | 0.12 | -0.19 | -0.20 |
| 亚欧地区经向环流 | -0.09 | -0.17 | -0.03 | -0.27 | -0.10 | 0.11 | -0.23 | -0.34* | -0.36* | 0.09 | -0.23 | -0.17 |
| 极涡强度指数 | -0.24 | -0.14 | -0.26 | -0.24 | -0.19 | -0.17 | -0.23 | -0.31* | -0.07 | -0.12 | 0.03 | -0.15 |
| 西太平洋副高面积 | 0.26 | 0.26 | 0.50* | 0.39* | 0.44* | 0.40* | 0.36* | 0.39* | 0.35* | 0.56* | 0.41* | 0.40* |

* 为达到 0.05 以上信度

* Asterisks denote the significance at α= 0.05

表 **2**　大气环流特征量的趋势系数(季) **1951/1952～1994/1995**

Table 2　Trend coefficients of seasonal characteristics of 1951/1952～1994/1995 northern winter circulation

| 指　数 | 春 | 夏 | 秋 | 冬 |
|---|---|---|---|---|
| 亚洲地区纬向环流 | 0.13 | 0.10 | 0.16 | 0.22 |
| 亚欧地区纬向环流 | -0.13 | -0.03 | 0.17 | 0.28 |
| 亚洲地区经向环流 | -0.13 | -0.15 | -0.25 | -0.33* |
| 亚欧地区经向环流 | -0.23 | -0.25 | -0.30* | -0.26 |
| 极涡强度指数 | -0.35* | -0.36* | -0.07 | -0.25 |
| 西太平洋副高面积 | 0.48* | 0.40* | 0.57* | 0.36* |

* 为达到 0.05 以上信度

* Asterisks denote the significance at α= 0.05

## 3　500 hPa 季环流特征量的突变及年代际变化

为了解 500 hPa 季环流特征的不连续变化, 我们用前述的方法对季环流特征量计算了 $t$ 统计量值及噪声比(见表 3)。表中负值表示第 2 时段的平均值比第 1 时段小。$t$ 统计量检验未达到 0.05 信度的未列出。由表 3 看出

(1) 纬向环流指数(亚洲地区、亚欧地区) 在 70 年代初明显减弱, $t$ 检验达 0.05 显著性。

(2) 北极涡中心强度值 1976 年以后有明显降低(夏季开始于 60 年代初), 表示北极涡 1976 年以后加深、加强。

(3) 西太平洋副高面积指数, 1976 年后逐渐加大, 表示副高在 1976 年以后有突然增强的变化。$t$ 检验信度达 0.01。

(4) 从季节看, 冬季在 1976 年, 副高转强, 极涡转强, 1980 年后, 经向环流减弱, 纬向环流加强。图 2 是西太平洋副高面积指数的累积距平曲线(箭头所指) 及时间演变曲线。可以清楚地看出 1976 年以后西太平洋副高发生突变增强的特征。

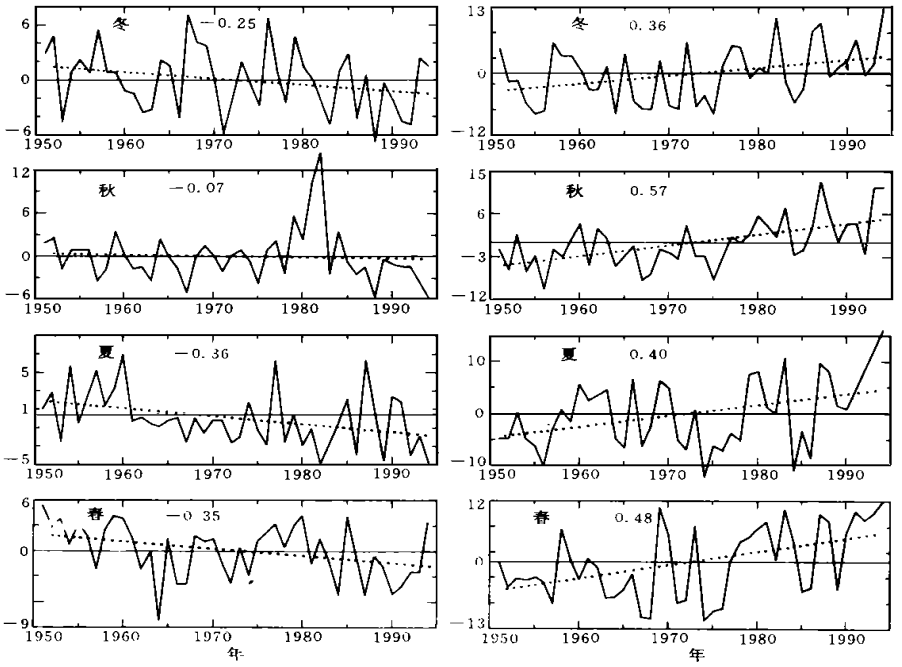


图1 半北球极涡中心强度(左)及西太平洋副高面积指数(右)距平曲线(实线)及线性趋势函数(虚线)
左、右图的纵坐标分别为极涡中心强度(dagpm)和副高面积指数;图中数字为趋势系数

Fig. 1 Anomalies (full line) and linear trend function (dotted) for the central intensity of the northern polar vortex (left panel) and area index of the western Pacific subtropical high (right) The ordinate is the intensity and area index, respectively, shown in the left (right) panel, and numbers thereof are the trend coefficients

表 3 大气环流特征量(季)的突变检验(移动 $t$ 检验及噪声比)

Table 3 Seasonal circulation characteristics tested for abrupt change through moving $t$-test and signal to noise ratio

| 指数 | 移动 $t$ 检验 | | | | 噪声比 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 春 | 夏 | 秋 | 冬 | 春 | 夏 | 秋 | 冬 |
| 亚洲地区纬向环流 | 1970 (−3.3) | | | | −0.5 | | | |
| 亚欧地区纬向环流 | 1970 (−2.1) | | | 1985 (3.1) | | | | 0.63 |
| 亚洲地区经向环流 | | | 1970 (2.3) | 1984 (−3.4) | | | | −0.51 |
| 亚欧地区经向环流 | 1964 (−2.3) | | 1970 (−2.2) | 1982 (−2.5) | | | | −0.50 |
| 极涡强度指数 | 1984 (−2.4) | 1960 (−3.4) | 1977 (−2.5) | 1976 (−2.3) | −0.41 | −0.57 | −0.55 | −0.38 |
| 西太平洋副高面积 | 1977 (4.6) | 1979 (3.8) | 1977 (5.1) | 1976 (3.5) | 0.73 | 0.52 | 0.79 | 0.54 |

# 4 我国气候变化与 500 hPa 环流特征量长期趋势及突变关系的研究

## 4.1 我国冬季气温长期变化与亚欧环流特征量长期变化的关系

用 1951/1952～1993/1994 年我国 160 个测站的冬季(12～2 月)平均气温,逐站地计算趋势系数 $r_{xt}$,制成 $r_{xt}$ 的等值线图(见图 3a)。由图看出,近 43 年以来,我国西北、东北、华北都是非

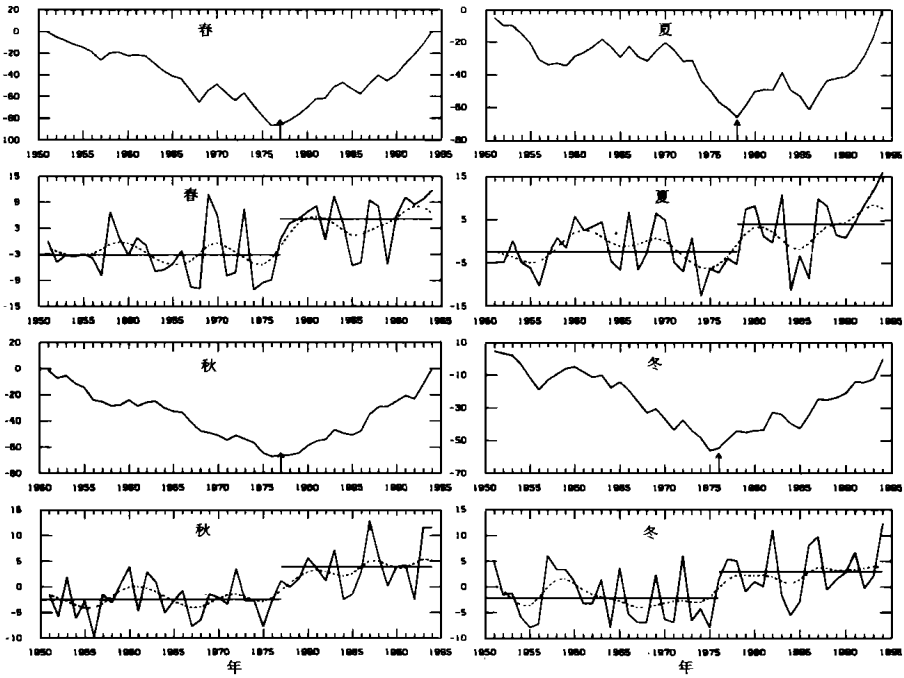


图 2　4 季副热带高压面积指数的累积距平曲线及时间演变曲线(实线)和高斯 9 点滑动曲线(虚线)
纵坐标为副高面积指数; ↑所对应的年份为突变发生年

Fig. 2　Accumulated anomaly curve and temporal evolution (solid line) and Gaussian 9 point running mean (dotted) for the subtropical high area index on a seasonal basis
The ordinate is the area index. The ↑ points out year when the abrupt change occured

常明显的正趋势(增温), $r_{xt}$中心值大于 0.50。西南地区是负趋势(减温)。110 °E 以东的长江以南地区, 趋势变化不明显。这种长期趋势变化特征能否用亚洲地区环流特征量变化模拟出来? 为此, 用冬季亚洲地区经向、纬向环流指数, 北极涡中心强度, 西太平洋副高面积指数作为自变

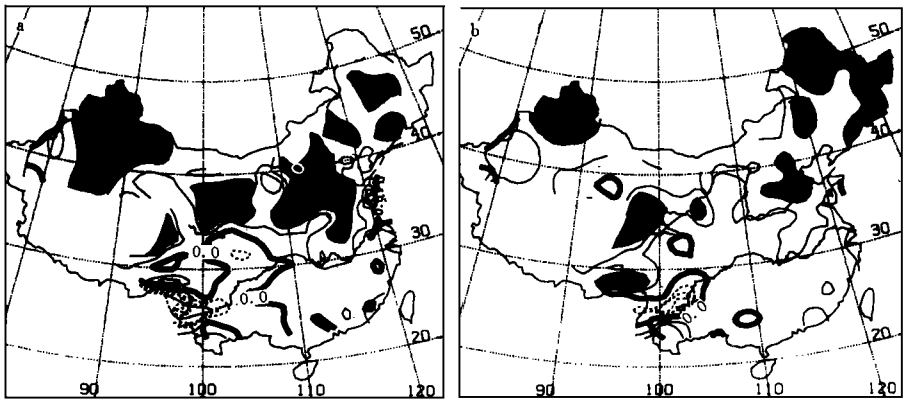


图 3　我国冬季气温趋势系数(a)以及环流特征的模拟结果(b)
粗黑线为 0 线; 间隔为 0.1; 虚线为负值; 黑区的绝对值大于 0.3

Fig. 3　Winter temperature trend coefficients (a) and simulated circulation features (b) for China
Bold black line is the zero line, contour spacing is 0.1,
dotted lines give negative values and the solid area denotes the absolute value of > 0.3

量分别建立 160 个冬季气温测站的 160 个回归方程。结果表明, 4 个变量的回归方程的复相关系数可达 0.65 左右, 最高达 0.75, 能较好地反映气温年际变化特征。再用 160 个测站的冬季气温的回归方程的拟合计算值去计算气候趋势系数(见图 3b)。将图 3b 与实况图(图 3a)相比较看出, 它们是非常相似的。我国冬季"三北"地区的正趋势较清楚地模拟出来了, 但面积范围较实况小些; 西南地区亦是负趋势, 长江以南无明显趋势也能正确反映出来。据此可以认为, 我国冬季气温长期趋势特征基本上可以从环流长期演变趋势变化中得到合理解释。

### 4.2 1976/1977 年后副高突变加强对秋季气候的影响

由图 1 看出, 秋季北半球副热带高压面积指数正趋势达 0.57, 而图 2 表明 1976 年的突变增强非常明显。1976 年以后, 即使在年际变化呈下降的年份, 如 1981、1982、1984、1989、1992 年, 副高面积指数仍然比较大, 比 1976 年以前的年份强得多, 所以研究 1976 年前后两时段我国气候差异特征是有意义的。

表 4 给出秋季气温、降水两时段(1977～1993, 1951～1976)均值差异显著性检验达信度的测站数。可以看出 1977 年以后, 我国大部分台站秋季气温增加, 多数测站降水减少。降水减少在统计上不显著, 而气温升高极其显著, 我们认为这是由于环流年代际变化造成的, 1977 年以后, 西太平洋副高突变增强是直接原因。

表 4 我国秋季降水(气温)两时段(1977～1993、1951～1976)的差异显著检验及达信度的站数

Table 4 Significance tests of difference (1977～1993 minus 1951～1976) in autumn rainfall (temperature) over China and the number of stations have passed 0.05, 0.01, 0.001 significance tests

| | 正值的站数 | 信度 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 0.05 | 0.01 | 0.001 |
| 气温 | 124 | 35 | 20 | 11 |
| 降水 | 59 | 7 | 2 | 0 |

图 4 给出 1977～1993 年时段减 1951～1976 年时段, 我国秋季气温场的 $t$ 统计量分布图。可以看出明显的升温区位于西北、华北东部、中部, 西南地区、长江上游是弱的负区, 东北、长江中下游是不显著区。

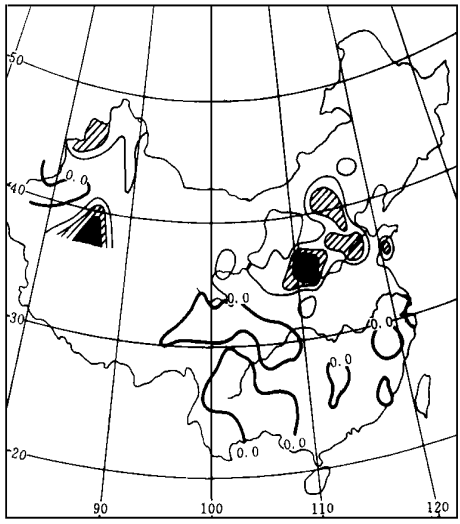


图 4 我国秋季气温的 $t$ 统计量分布
(1977～1993 与 1951～1976 时段之差)
单斜线区为 0.05 信度; 黑区为 0.01 信度
Fig. 4 Distribution of $t$-statistics of autumn tempaerature in China (1977～1993 minus 1951～1976)
The hatched (solid) area stands for significance of 0.05 (0.01)

## 5 总 结

(1) 近 43 年来, 亚洲、亚欧 500 hPa 环流特征量有明显的长期变化趋势。月、季的西太平洋副高面积指数增加, 表明季、月西太平洋副高加强的趋势。北极涡中心强度也表现为加强的趋势(高度值负趋势), 特别是春、夏、冬 3 季。经向环流则表现为负趋势(特别是冬季), 纬向环流为正趋势。

(2) 近 43 年亚欧地区环流特征量也发生了不连续变化。表现为 1976 年西太平洋副高突变加强(各季), 和北极涡中心强度加深。随后, 80 年代初纬向环流突变增强而经向环流突变减

弱。

(3) 我国近 43 年来冬季气温的长期变化与亚欧环流的长期变化关系密切。用环流特征量拟合的冬季气温场的年际变化及长期趋势变化与实况非常吻合。

(4) 环流突变可以引起气候突变。1976 年后, 我国秋季气温在华北中部、西北的明显增温与 1976 年以后发生的西太平洋副高的增强, 北极涡的加深有关。

## 参　考　文　献


1 王绍武. 近百年气候变化与变率的诊断研究. 气象学报, 1994, 52: 261～273

2 Trenberth K E. Recent observed interdecadal climate change in the Northern Hemisphere. Bull Meteor Soc, 1990, 71: 988～993

3 Douglas A V, Cayan D R, Namias J. Large-scale change in north Pacific and north American weather patterns in recent decades. Mon Wea Rev, 112: 851～862

4 Nitta T, Yoshimura J. Trends and interannual and interdecadal variation of global land surface air temperature. J Meteor Soc of Japan, 1993, 71(3): 367～375

5 Shi Neng, Tu Qipu, Chen Jiaqi. Temperature and rainfall and the their anomalies in China in the 20th century cold-warm background. ACTA Meteor Sinica, 1995, (4): 445～455

6 施　能, 朱乾根. 大气环流年代际变化问题. 气象科技, 1995, (3): 12～17

7 Shi Neng, Zhu qiangen. An abrupt change in the intensity of the East Asian summer monsoon index and its relationship with temperature and precipitation over East China. International Journal of Climatology, 1996, 16(1): 1～8

8 Yamamoto R, Iwashima T, Sanga N K. An analysis of climate Jump. J Meteor Soc Japan, 1986, 273～280


# SECULAR TRENDS AND INTERDECADAL VARIATION OF CHARACTERISTIC QUANTITIES OF ATMOSPHERIC CIRCULATIONS FOR NORTHERN WINTER


Shi Neng　Zhu Qiangen

(Department of Meteorology, NIM, Nanjing　210044)



**Abstract**　In the context of 1951～1995 characteristic quantities of northern circulations the secular trends of circulation variations were investigated. It turns out that for the past 45 years or so the western Pacific subtropical highs and polar vortices were intensified, and so were zonal circulations as opposed to meridional ones. Abrupt-change investigation shows that discontinuity occurred largely in 1976 and early in the 1980s. The secular trends and decadal variation in these circulations represent one immediate cause of the evolution in winter temperature trend in China on a long-term basis.



**Keywords**　variation in trend, interdecadal change, atmospheric circulation