

百年来上海、北京气候突变的初步分析

李月洪 张正秋

(中国气象科学研究院)

提 要

本文应用Mann-Kendall方法对1873—1989年上海、北京的气温、降水时间序列进行了突变检验。其结果表明,上海、北京的百年气温分别在1932年和1919年出现冷转暖的气候突变。同时,还判明上海降水在1906年发生突变,其后进入一个相对多雨时段。北京降水突变在1903年,而后进入一个相对少雨时段。另外,还用其它方法对突变点加以验证说明。

一、前 言

近年来,气候突变作为重要的气候变化规律之一受到越来越多的重视。在气候突变研究中,最基本的工作乃是发现气候突变的史实,寻找更多的气候突变的证据。

如何认识气候突变?人们一直有不同的观点。目前,对气候突变的定义多从两个方面论述,一种是从气候变化状态考虑,另一种则是从统计角度来定义。例如,地质学家A. Ghazi (1982)^[1]认为气候突变是冰期与间冰期之间,某个50—200年期间温度差达到整个冰期与间冰期温度差的一半,即可认为出现“突变”。Yamamoto等(1986)^[2]用统计检验方法寻找长序列中的气候突变,认为气候突变是气候记录从一个平均值到另一个平均值期间的急剧的变化,是一种气候记录的不连续。

这几年来,我国气候学界开始对长期气候变化过程中突变事实及影响进行研究。如张丕远等(1990)^[3]利用500年旱涝资料对我国历史时期旱涝灾情进行了突变研究,指出旱涝灾情突变点主要分布在5个阶段:

1500—1550年、1600—1650年、1720—1740年、1800—1830年和1900—1940年。吴祥定等(1991)^[4]采用两类资料(旱涝等级和树木年轮表资料)分析历史时期黄河中游地区的气候突变,指出第二旱涝分布型在1777年产生突变,其结果是使该地区南旱北涝特征更为明显。严中伟等(1990)^[5]认为北半球温度和降水在本世纪60年代期间出现突变。到目前为止,对我国百年气候突变事实的揭露尚不多见,为此,本文对1873—1989年上海、北京的气温、降水序列进行突变判别,以揭示这两站百年气候变化突变更史实,并作了比较和验证。

二、资料和方法

本文采用1873—1989年上海、北京的温度和降水资料,其中短缺的资料已作了处理,具体补缺方法可参阅文献[6]。

在统计学上,有多种方法可以用来判断一个序列是否存在着变量独立性和概率分布的不连续性,即突变现象的存在。

这里应用“Mann-Kendall”检验方法^[7],这是一种非参数检验。假设所讨论

的样本序列是平稳随机序列，其序列的气候值必须是独立的，且概率分布应相同。

给定一个时间序列 x_i ($1 \leq i \leq N$)

概率 $\alpha_1 = P[|U| < |U(d_N)|]$

$\alpha_1 > \alpha_0$ (α_0 一般给定为0.05)

其中 $U(d_N)$ 为检验的标准化值

$$U(d_N) =$$

$$[d_N - E(d_N)] / \sqrt{\text{Var}(d_N)}$$

$$d_N = \sum_{i=1}^N m_i, \quad m_i \text{ 是 } 1 \text{ 至 } i \text{ 之间, 小}$$

于 x_i 的总个数。

$$m_i = \{x_j : x_j < x_i \text{ 且 } j < i\}$$

在零假设条件下， d_N 的分布为渐近正态，其中期望值和方差分别是

$$E(d_N) = N(N-1)/4$$

$$\text{Var}(d_N) = N(N-1)(2N+5)/72$$

如果零假设被拒绝，也就说明在时间序列内确实存在着变化，表示该序列在某时刻发生突变。根据 $U(d_N)$ 的符号，我们还可以确定变化的方向。当 $U(d_N) > 1.96$ 时，序列是朝着增加的方向变化。 $U(d_N) < -1.96$ 时，序列是朝着减小的方向变化。

利用这种简单的客观方法，将连续统计的 $U(d_i)$ ($1 \leq i \leq N$) 值沿时间轴点绘成曲线 C_1 ，而后，将序列反向，统计 $U'(d_i)$ 值，在同一张图上绘成曲线 C_2 ，若曲线 C_1 与 C_2 的交叉点位于 ± 1.96 临界值的置信区间内（信度水平为0.05），此点则为突变点，以此判断该序列的突变，更进一步，如果交叉后两曲线位于置信水平0.05检验值以上（ >0 的一侧），则序列存在一个趋势的变化。这种非参数检验既方便又客观。

三、气温变化的突变事实

限于资料，本文着重讨论我国东部两个代表站点上海、北京百年来气温的突变事实。

图1a是上海年平均气温的Mann-Mendall检验曲线，图1b是上海逐年温度变化值（距平）。

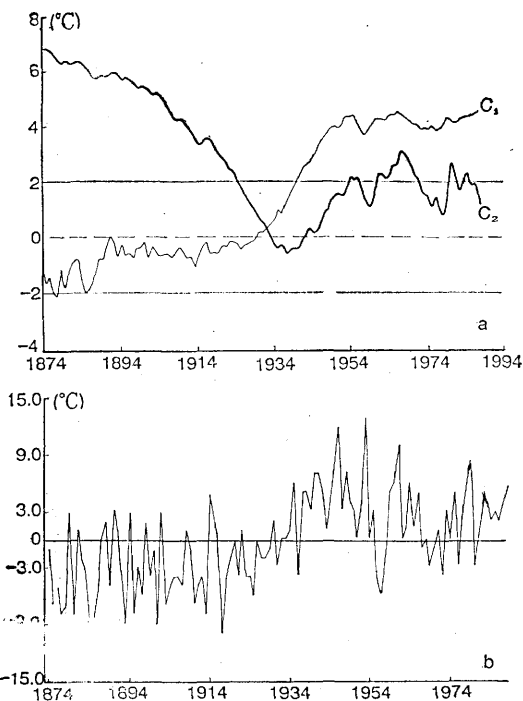


图1 上海年平均气温的突变判别
a. 年平均气温的检验曲线 b. 年平均气温距平

图1a中 C_1 是 $U(d_N)$ 逐年计算值， C_2 是反向序列 $U'(d_N)$ 的逐年计算值。（-1.96，1.96）为0.05信度水平。从图1a中可见，显然 C_1 和 C_2 曲线在 ± 1.96 临界值之间有一个显著的交点，该点位于1932年。由于 C_1 向 $U(d_N)$ 正方向变化，并拒绝零假设，说明这是一个变量值增大的突变，因此可以认为1932年代表了百年上海气温突变的开始，在该年之后进入一个较暖期。

为了检测 Mann-Kendall 方法所判别出的突变点是伪还是真，这里对1932年上海气温突变点作了信度检验。表1是上海气温突变点前后阶段性检验。表中参数 M 和 N 分别为突变点（1932年）前、后的不同长度， T 为 t 检验的统计量， t_α 为检验信度 α 下的 t 的

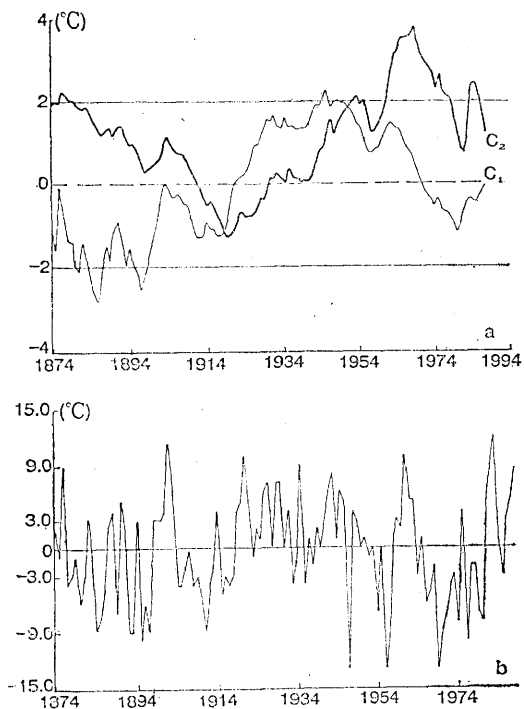
表1 上海气温突变前后时期阶段性检验

M	N	T
22	10	4.023**
22	20	5.741**
22	30	5.147**
22	40	4.991**
22	50	4.933**

信度超过0.01

临界值。若 $|t| > |t_{\alpha}|$, 则拒绝假设, 即认为1932年前后两段的总体平均值差异是显著的, 便确信该突变点是真实的。从表中可见, 各阶段的检验信度均达到0.01信度水平, 这充分说明了1932年的突变点是可信的。

用同样的方法来揭示百年来北京气温的突变事实。图2是1873—1989年北京年平均

图2 北京年平均气温的突变判别
说明同图1

气温的Mann-Kendall检验。从图中可清楚地看出, 曲线 C_1 与 C_2 有两个交叉点, 分别为1919年和1953年, 但是1953年的交叉点没有达到信度要求。因此, 在 $\alpha = 0.05$ 的检验

水平下, C_1 和 C_2 曲线在 ± 1.96 临界值之间只有一个显著的交点, 时间为1919年。这一年代表了北京气温突变, 同时曲线 C_1 向 $U(d_N)$ 正方向变化并拒绝零假设, 可以认为这个突变向着增暖的方向变化。至于这一突变是否真实, 还需对其作信度检验。

表2是北京气温突变点前后时期阶段性检验。从表2中可见, 除 $M = 22, N = 40$ 时, $t > t_{\alpha}$ 只通过 $\alpha = 0.10$ 的信度水平外, 其余的均可通过 $\alpha = 0.01$ 的信度水平检验。由此可知, 1919年的突变点在1874—1949年这段历史时期内是可信的。

表2 北京气温突变点前后时期阶段性检验

M	N	T
22	10	3.071**
22	20	2.759**
22	30	2.815*
22	40	1.851

信度超过0.01

由上可知, 用Mann-Kendall方法判别上海、北京年平均气温突变时间, 分别在1932年和1919年。为了验证其结果, 我们参阅了王绍武分析的“近百年我国及全球气温变化趋势”一文〔8〕, 该文中给出了4个站(哈尔滨、北京、上海、广州)的10年平均气温距平直方图, 从这4个我国最长的序列来看, 气温变化各有不同。从图中(图略)可知, 1870—1988年上海气温10年平均距平在20世纪30年代由负距平明显地转变为正距平。北京气温10年平均距平在20世纪20年代有显著的转折(由负距平转为正距平), 并且达到95%信度的 t 检验。另外, 丁裕国等人(1989)〔9〕指出我国近百年气温具有阶段性, 认为本世纪20年代前后, 在我国近百年年平均气温场第1主成分(PC_1)及冬季气温场第1主成分(WPC_1)似乎都有一个转折点, 即在此时期以前与其后, 历史变化曲线差异很大。并对其作均值或方差差异性

显著性的统计检验，得出 t 检验的显著性差异的判断。此外，郑斯中等人（1989）〔6〕分析了1873—1980年1月北京、上海气温变率的多年变化，指出在1891—1920年的30年都出现气候变率的最高点，表现为气温的异常。关于近百年我国气温场变化是否确有阶段性，可以杨鉴初等人（1982）〔10〕对研究大气活动中心演变规律的部分结论加以佐证。他们曾指出，在1930年前后，许多大气活动中心发生了阶段性变化。从这些分析中进一步证实了本文用 Mann-Kendall 方法判别出上海、北京的百年气温在本世纪20—30年代前后发生的突变事实是可信的。

这里还需指出的是，北京百年气温突变时间比上海早，这个观测事实与郑斯中等人（1986）〔6〕分析的气温变率的平稳期和异常期在北京开始得早，然后逐渐向南传播到上海、香港的论点较吻合。

四、降水变化的突变事实

图3给出1873—1989年上海年平均降水

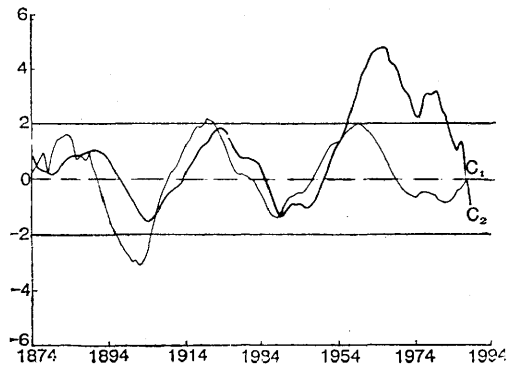


图3 上海年平均降水量的突变判别

量的突变判别。由图中可见， C_1 和 C_2 曲线的交点位于 ± 1.96 临界值之内，时间分别为1887、1906、1939和1955年，这些交点代表了突变的开始。根据 C_1 向 $U(d_N)$ 的正、负方向变化，可以知道突变后降水偏多或偏少的趋势。为了进一步验证突变点是伪或是真，这里分别对这4个突变点做了 t 检验，

如表3所示。从表中可见，1887年、1939年和1955年突变点的 t 检验都较小，不能满足 $|t| > |t_\alpha|$ 的条件，只有1906年突变点是可信的，通过了0.05信度检验。

表3 上海降水突变点前后期阶段性检验

突变点(年)	M	N	T
1887	12	15	-1.581
1887	6	15	-1.735
1906	12	10	3.358**
1906	12	20	2.168*
1939	12	10	1.535
1939	22	10	1.497
1955	12	10	-0.981
1955	12	20	-2.001

*,**信度分别超过0.05、0.01

图4给出百年来北京年平均降水量的突

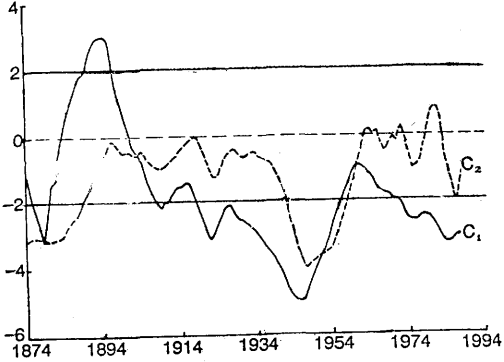


图4 北京年平均降水量的突变判别

变判别。由图中可见，曲线 C_1 和 C_2 在置信区间内有两个显著交叉点，第一个突变点的时间为1903年，突变点之后曲线 C_1 向 $U(d_N)$ 负方向变化，并拒绝零假设，说明了这是一个变量值减小的突变，即由相对多雨期转入相对少雨期。另外，在1960年还有一个突变点，其后曲线 C_1 也是向 $U(d_N)$ 负方向变化，说明1960年后北京降水偏少，为一个相对干旱期。

为了验证北京降水突变点的伪真，这里分别做了 t 检验，如表4所示。其结果表明

1903年突变点是可信的。

表4 北京降水突变点前后阶段性检验

突变点(年)	M	N	T
1903	22	40	-2.516*
1903	22	50	-2.483*
1960	22	20	-1.535
1960	32	20	-1.244

* 信度超过0.05

综上所述,近百年上海、北京降水的突变时间分别在1906年和1903年。前面已用统计方法对突变点前后两个差异显著的变化阶段作了均值或方差差异显著性的统计检验。为了进一步验证,这里采用了中国近五百年旱涝等级资料来统计上海、北京降水突变点前后时段旱(4—5级)和涝(1—2级)占所统计年数的百分比进行对比分析,如表5所示。从表中可知,上海降水突变点(1906

表5 上海、北京降水突变前后时段旱涝指数比率的对比

站点	突变点前时段	旱(4-5级)	涝(1-2级)	突变点后时段	旱(4-5级)	涝(1-2级)
上海	1894-1905	42%	20%	1907-1926	20%	45%
北京	1881-1902	13%	36%	1904-1953	50%	20%

年)前段涝等级的比率为20%,而其后时段增到45%,这可以说明上海降水在1906年前后时段内涝的比率由小增大,结果证明突变点前后上海由一个相对少雨期转入相对多雨期。同样,从表中还可知,北京降水的突变点(1903年)前时段内是一个相对多雨期转入一个相对少雨期。由此可知,上海、北京降水的突变时间前、后时段内旱、涝等级比率有明显上升,从而进一步说明通过Mann-Kendall方法寻找上海、北京降水序列的突变点是可行的,也表征了这两站确实出现气候突变现象。

在一段历史时期内(1874—1949年)是可信的。

另外,还判别出上海降水的突变点在1906年,其后进入一个相对多雨期;北京降水在1903年出现突变,其后进入相对少雨期。并且,它们通过信度检验。还应该指出的是,本文用Mann-Kendall方法检验气温和降水的突变事实,发现这两个地点降水的突变特征均不如气温清晰,这可能是降水变化序列不如气温变化平稳所致。

参考文献

(1) A. Chazi, Palaeoclimate Research and Models, Report and Proceedings of the Workshop held in Brusseles, December, 15—17, 1982.

(2) Yamamoto, R., Iwashima.T., and Sanga N.K., An Analysis of climatic Jump, Journal of Meteorological Society of Japan, Vol.64, No.2, 273-281, 1986.

(3) 张丕远、葛全胜, 气候突变, 有关概念的介绍及一例分析——我国旱涝灾情的突变, 地理研究, Vol.9, No.2, 92—100, 1990.

(4) 吴祥定、严训绍, 历史时期黄河中游地区旱涝

五、结 语

本文应用Mann-Kendall方法对百年来上海、北京气温和降水序列进行突变判别,发现了新的观测事实,确有气候突变现象的存在。

百年来上海、北京年平均气温突变时间分别在1932年和1919年。同时,还表现出这是一个增暖的突变。为了进一步检验其结果,还对突变点做信度检验,事实表明上海气温的突变是可信的,北京气温的突变只是

的气候突变, 黄河流域环境演变与水沙运行规律文集(第二集), 地质出版社, 1991。

- (5) 严中伟、叶笃正, 60年代北半球夏季气候突变——I. 降水和温度变化, 中国科学, B辑, No.1, 97—103, 1990。

- (6) 郑斯中、冯丽文, 北京、上海和香港近百年气候变率的变化, 气候学研究, 57—65, 气象出版社, 1989。

- (7) W.H. Berger, L.D. Labeyrie (eds), How to recognize an abrupt climatic change? Abrupt climatic change—Evidence

and Implication, D. Reidel Publishing Company, 1987.

- (8) 王绍武, 近百年我国及全球气温变化趋势, 气象, Vol.18, No.2, 15—18, 1980。

- (9) 丁裕国、余军, 我国近百年气温变化的周期特性与成因探讨, 气候学研究, 66—73, 气象出版社, 1985。

- (10) 张庆云、杨肇初、林学椿, 大气活动中心长期变化的阶段性, 大气科学, Vol.7, No.4, 364—373, 1983。

A preliminary analysis on abrupt climatic change in Shanghai and Beijing for the last 100 years

Li Yuchong

Zhang Zhengqiu

(Academy of Meteorological Science)

Abstract

In this paper, some abrupt changes of the air temperature and precipitation from 1873 to 1989 in Shanghai and Beijing have been tested using Mann-Kendall method. It is showed that the temperature series in Shanghai and Beijing contained abrupt changes from cool to warm in 1932 and 1919, respectively. Meanwhile, it is found that the abrupt change of precipitation in Shanghai occurred in 1906, hereafter the precipitation become more. The abrupt change of precipitation in Beijing occurred in 1903 which was a turn from wet to dry. In addition, other methods have also been used to verify the points of abrupt changes.