

# 城市化对兰州气温变化影响的定量分析<sup>①</sup>

程胜龙<sup>1,2</sup>

(1. 兰州大学资源环境学院, 兰州 730000; 2. 广西大学社会科学与管理学院)

## 提 要

利用兰州市 70 年来的气温记录, 采用城郊对比的方法定量的研究了城市化对兰州气温的影响。利用主成分分析的方法提取气温变化的主要控制因子——低温控制因子、高温控制因子。利用两个控制因子的城郊对比, 定量的揭示城市化对城市气温变化的影响。另外任何区域气候变化不仅有城市化等人为因素的影响, 而且带有大范围的气候背景的影响, 所以在讨论城市发展对气温的影响之前, 首先通过滑动  $t$ -检验研究了兰州市气温变化的大的趋势, 得出兰州城市气温的 11 年变化周期, 对于这一现象初步认为这与太阳的黑子活动的周期性有关。

**关键词:** 气温变化  $t$ -检验 周期 趋势 因子分析

## 引 言

兰州市是我国西北地区仅次于西安的第二大城市, 近代工业化以来城市有很大的发展。工业及城市的发展对城市的小气候必然产生较大的影响。由于兰州处于我国干旱、半干旱过渡区, 周围植被条件差, 生态环境的自我调节能力弱, 人为因素对气候的影响更容易显现。而且兰州近于封闭的河谷地形限制城市发展的空间, 使得城市容量更加拥挤, 同时河谷地形本身在人类对气候的影响上起了很好的配合作用, 所以兰州城市气温的变化更具典型性。本文利用兰州市 70 年来的气温记录, 采用城郊对比的方法定量的研究了城市化对兰州气温的影响。在研究的指标的选取上, 在分析了年平均气温和各特征气温的相关性的基础上, 利用主成分分析的方法提取气温变化的主要控制因子——低温控制因子、高温控制因子。利用两个控制因子的城郊对比, 定量的揭示城市化对气温变化的影响。

另外, 兰州市的气候变化不仅有城市化等人为因素的影响, 而且带有大范围气候背

景的影响, 所以在讨论城市发展对气温的影响之前, 首先通过滑动  $t$ -检验研究了兰州市气温变化的大的趋势, 得出兰州城市气温的 11 年变化周期, 对于这一现象初步认为与太阳黑子活动的周期性有关。由于以往在西北地区关于城市化对城市气候的影响方面的研究较少, 本文对兰州市气温变化规律的研究和揭示, 不仅对兰州市环境保护与生态建设和今后城市规划提供参考, 也希望对西部干旱地区其它河谷型城市有一定借鉴意义。

## 1 兰州地区多年来的温度变化

关于西北地区的气候变化有许多的文献, 看法基本一致。施雅凤提出西北地区从 20 世纪的暖干向暖湿转型<sup>[1]</sup>之后, 许多学者对西北地区的气候做了研究<sup>[2~6]</sup>。施雅凤、沈永平<sup>[1,2]</sup>认为自 1987 年气候突然变化开始了西北气候转型; 近 50 年的实测记录表明, 中国西部气温以  $0.2^{\circ}\text{C}/10\text{a}$  趋势上升, 特别 20 世纪 80~90 年代升温迅速, 90 年代被公认为近 1000 年来最暖的 10 年, 以 1987~2000 年与 1961~1986 年相比, 西北地区 128 个站的平均气温升高了  $0.7^{\circ}\text{C}$ , 变暖季节主

① 基金项目: 本文受国家重点基础研究发展规划(G2000048701)资助

要在冬季;宋连春<sup>[7]</sup>等认为近百年来降水、温度有显著的3a、8a、11a、14a及29a的周期,目前正处于干燥期,气温由冷向暖。在这样的大背景下兰州市的气候变化既带有区域气候变化的特点,又有城市化等人为因素的影响,具有双重性。

1.1 温度变化的周期性

李栋梁等<sup>[8]</sup>根据50年代以来的气象记录,研究了兰州市每10年的各季的气温变化特征。为了更客观的对气候变化进行分段比较,本文根据1933年以来的各年温度气象记录,针对宋连春等人提出的气温3a、8a、11a、14a周期波动,我们对年平均温度分别做 $n_1 = n_2 = 3, 8, 11, 14$ 等级滑动 $t$ -检验。滑动 $t$ -检验的基本思想是考察基点前后的总体均值差异是否显著来检验突变,计算中把前后子序列的平均值看作总体均值。

利用上述方法对兰州市1933年以来的年平均气温进行滑动 $t$ -检验,其中 $n_1 = n_2 =$

3、14的检验效果不明显,所以略去。根据 $n_1 = n_2 = 11$ 等级 $t$ -滑动统计量的变化特征,本文得到1933年来的年平均气温变化四个一级突变点:1956、1964、1975、1986;4个二级突变点:1950、1962、1973、1983,都通过自由度为20, $\alpha = 0.001$ 的显著水平的检验。其中1952、1956年的有迁址的影响因素,但1952不是突变点,1956年之所以被定为突变点是因为1954、1957年都超过自由度为20, $\alpha = 0.001$ 的显著水平的检验。突变点间隔平均为11年,所以兰州市气温的时间序列上表现非常明显的11年周期变化的特征,这与宋连春<sup>[7]</sup>关于西北地区温度的11年的周期变化的结论一致。 $n_1 = n_2 = 8$ 年的等级滑动 $t$ -检验,检测出两个一级突变点:1941、1955,均超过自由度为16, $\alpha = 0.001$ 的显著水平检验,但检验结果显示的8年周期变化在兰州市不明显。具体显示如图1。

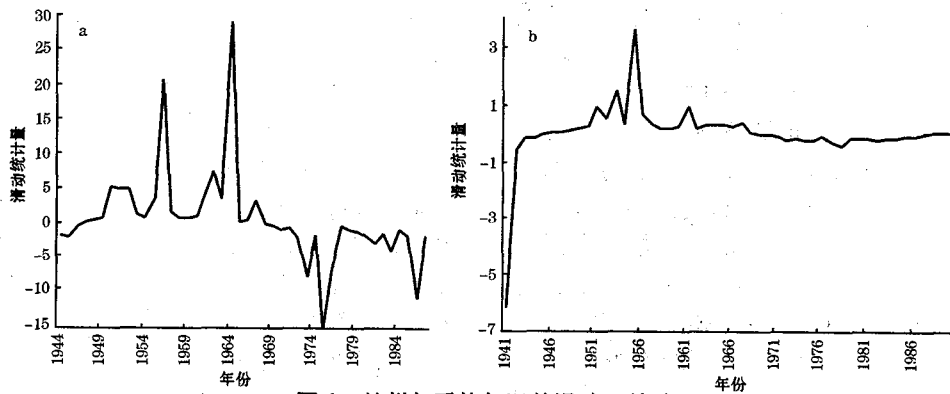


图1 兰州年平均气温的滑动 $t$ -检验  
a为 $n_1 = n_2 = 11$ , b为 $n_1 = n_2 = 8$ 等级滑动

1.2 温度变化的阶段性

根据以上结果,依据上述的6个一级突变点将1933年以来的年平均气温的变化划分为6个时段。从表1中可以看出兰州64年以来的气温变化。30年代年平均气温接近于总体平均值,40年代到50年代中期气温升高明显,夏季较前一阶段增温 $0.4^{\circ}\text{C}$ ,冬季达 $0.9^{\circ}\text{C}$ ;从50年代中期到70年代中期气温先降而后略有上升,在50年代中期到

60年代初期为降温期,与其前期比较降温幅度明显,冬季高达 $1.5^{\circ}\text{C}$ ,夏季达 $0.9^{\circ}\text{C}$ ,而后,60年代初期到70年代中期为转折期,升温不太明显;70年代中期至今气温升高迅速,与前期相比较,冬、夏增幅达到 $1.2^{\circ}\text{C}$ 、 $0.8^{\circ}\text{C}$ ,全年均温增幅也达 $0.7^{\circ}\text{C}$ ,其中冬季的气温的距平由 $-0.2$ 转为 $1.5$ 。从整体的气温变化看,冬季气温升温在前且升幅大,夏季升温在后且升幅较小。

表1 兰州年、夏、冬气温各时段的比较

(单位:℃)

特征气温	1933~1940	1941~1955	1956~1963	1964~1974	1975~1985	1986~1997	1933~1997	
全年变化	均温	9.3	9.7	9.0	9.0	10.1	10.1	9.4
	增值		0.4	-0.7	0.0	+0.9	+0.9	
	距平	-0.1	+0.3	-0.4	-0.4	+0.7	+0.7	
夏季变化	均温	22.7	23.1	22.3	22.2	22.5	22.5	22.4
	增值		+0.4	-0.9	-0.1	+0.8	+0.8	
	距平	+0.3	+0.7	-0.1	-0.2	+0.1	+0.1	
冬季变化	均温	-7.1	-6.2	-7.7	-6.5	-4.8	-4.8	-6.3
	增值		+0.9	-1.5	+1.2	+1.2	+1.2	
	距平	-0.8	+0.1	-1.4	-0.2	+1.5	+1.5	

2 兰州年平均气温与各月特征气温的相关性分析

兰州各季的气温变化趋势也不一样,春秋相对较平稳,冬夏变化较大。为了探讨年平均气温变化的原因,对年平均气温变化与四季气温变化做了相关性分析。表2中显示年平均气温与1月、7月平均气温变化表现出很大的相关性,尤其与年平均最低、最高气温具有很大相关性。而年平均最高气温变化不大,为了更进一步研究年平均气温的变化,本文用1月、7月气温距平值代表冬夏气温变化,以年平均最低、最高气温代表1年气温变化大势,绘出1951年以来它们的变化曲线如图2。图中显示7月、年平均最高气温无明显的升高,而1月、年平均最低气温升温幅度较大。可以看出年平均最低气温的变化趋

势与年平均气温的变化趋势非常符合。对比年平均气温与各特征气温的相关性,可以看出尽管年平均最高气温与年平均气温的相关性较大,但它是作为背景值出现的与年平均气温的变化关系不大。

表2 兰州市年平均气温变化与各月特征气温的相关性

特征气温	与年均温的相关系数	与其不相关的概率
1月平均气温	0.663	0.000
1月最低气温	0.626	0.000
4月平均气温	0.170	0.254
7月平均气温	0.444	0.002
7月最高气温	0.418	0.003
10月平均气温	0.351	0.015
年平均最低温	0.840	0.000
年平均最高温	0.798	0.000

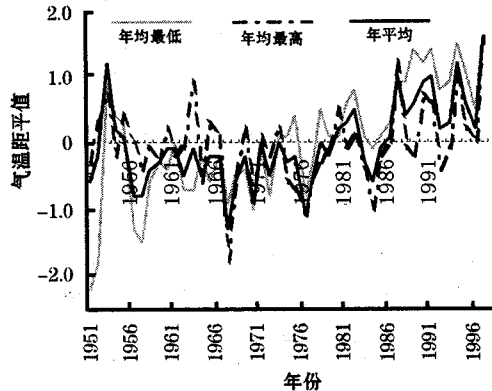
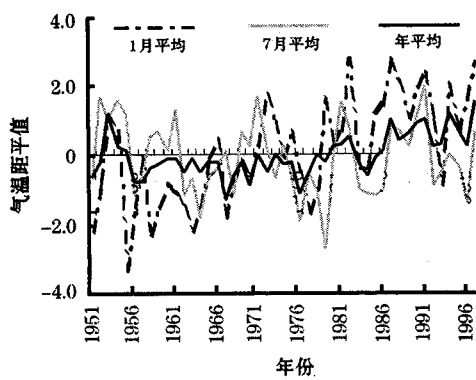


图2 兰州年平均气温变化与特征气温的比较

还是按照以上的气候分段方法,将各段气温加以比较,如表3。表中显示年平均最低气温的增幅大而稳定,年均增温达0.5℃/

10年以上,其中80年代中后期到90年代末增温幅度高达1℃。这反映了城市发展对城市小气候的强烈的影响。兰州是一座历史古

表3 兰州市年平均最高、最低气温与  
年均温的比较 (单位:℃)

特征气温		1951~ 1955	1956~ 1963	1964~ 1974	1975~ 1985	1986~ 1997
年均最 低气温	均值	-7.2	-7.7	-6.5	-6.0	-4.8
	增值		+0.5	+0.5	+0.5	+1.2
	距平	-1.0	-1.5	-0.3	+0.2	+1.4
年均最 高气温	均值	30.2	29.3	29.1	28.5	29.4
	增值		-0.9	-0.2	-0.6	+0.9
	距平	+1.0	+0.1	-0.1	-0.7	+0.2
各年平 均气温	均值	9.5	9.0	9.0	9.2	10.1
	增值		-0.5	0.0	+0.2	+0.9
	距平	-0.1	-0.4	-0.4	-0.2	+0.7

城,1941年正式设市,当时面积为16km<sup>2</sup>、人口不过8.6万。1949年兰州解放时的人口也只有21万。1953年兰州被列为国家重点建设的城市之一。一五、二五期间国家分别对兰州投资了5.01亿、12亿,兰州基本形成了以石油化工为主,包含有色冶金、机电、纺织等工业部门的综合重工业城市。改革开放以后兰州市发展迅速,到1996年市区人口已经增加到169万,城区面积达170多km<sup>2</sup>,工业总产值已由1949年的1681万元增长到3457298万元(重工业的产值为2953642万元)。建筑密度连年增加,水泥路面在延展,城区道路从1950年的65.7万m<sup>2</sup>增加到1998年的913万m<sup>2</sup>;同时市区车辆在迅速地增加,到1996年公交、出租车辆已达6622辆。城市工业、人口的集中,人们生产、生活产生了大量的人为热,城市建筑改变了城市下垫面的热力性质和粗糙度,增加了地面接受热量的能力,同时由于城市高大建筑减小了地表风力降低了热量扩散的强度,加之兰州独特的近封闭的河谷地形的配合,这些因素综合起来对城市的气温产生了很大影响。至于人为因素对高、低温因素的影响不一致,可能是由于城市高大建筑的荫护作用、城市建筑物内容量对大气增温、减温的缓冲作用和城市风力减小的配合使得城市的极端气温的变化有减缓的效果。所以许多城市夏季市中心有凉岛出现,而热岛效应在冬春主要表现为低温的升高。总之,年平均最低气温在气温的变化中起关键作用。这也与有关城市

气候变化的一些的结论<sup>[9,10]</sup>一致。

### 3 城市化对兰州气温的影响

年平均气温的升高既有区域气候变化的因素,又有城市化的影响。为了弄清两者对年平均气温增高的作用,以靖远站的气温变化代表区域的气温变化,做研究兰州城市化对气温影响的参照。

#### 3.1 兰州、靖远气温变化的比较

兰州测站位于36°03'N、103°53'E,海拔1517.2m虽经1952,1956年两次迁址,但观测资料的连续性较好,靖远测站位于36°34'N,104°40'E,海拔1397.8m,两者位于同一气候区,都处于黄河谷地,位置、地形相似具有可比性。由于本文关心的是兰州气温的时间变化趋势,距平值能消除均值差异的影响,更好的反映气温的变化趋势,所以为了更好的反映这一问题,本文用两者的气温距平代替气温实测值来研究其相对变化趋势。这里采用兰州的特征气温距平值减去靖远的相应气温距平值,以其差值变化表征城市化对兰州气温变化的影响(图略)。兰州城市化对气温的升高的影响非常明显。两地年平均气温的距平的差值从50年代的-0.5℃稳步增长到90年代的0.7℃,其增长的趋势是非常显著的;然而特征气温的距平之差的变化却不同,4、7、10月及年平均最高气温距平值的差呈起伏变化,增长只在80年代中后期比较明显,这反映了改革开放以来随着国民经济发展人为因素对兰州城市气候影响的力度明显增加;年平均最低气温、1月平均气温的距平之差自50年代中后期以来呈较稳定增加趋势,这也反映了低温值的升高是城市气候增温的关键因素。从图3上也可以大致的判断出城市化对气温影响的转折点在70年代的末期。图3中的正负并不代表两地气温的高低,要得出两地气温的具体的差值只须加上两者的平均值的差,另外还要考虑海拔,如1月平均最低气温的距平之差1997为1.7,加上两者平均值的差1.7℃,海拔影响取为0.6℃,则两者温差为4.0℃。可以看出城市化对气温的作用是非常显著的。

3.2 各特征气温变化的因子分析

以上分析了城市化对兰州气温的影响, 为了进一步揭示两地气温变化的趋势差异的实质, 本文选取年平均最低气温、年平均最高气温、1月平均气温、1月平均最低气温、7月平均气温、7月平均最高气温、4月平均气温、10月平均气温的距平值9项指标做了因子分析。在公因子的提取中采用主成分法, 因子分析中采用指标的协方差矩阵。为了得到满意的结果对得到的初始共性因子采用最大方差旋转。在计算因子得分中采用回归法。通过运算提取两个公因子, 其解释的方差占总方差的百分比分别为75.131%、11.235%, 累积达86.366%。结合公因子的得分(表3), 本文对公因子解释是:  $F_1$  (公因子1) 为低温控制因子,  $F_2$  (公因子2) 为高温控制因子, 据此我们可以给出其表达式:

$$F_1 = 0.381T_1 + 0.683T_{1min} + 0.048Y_{min} + 0.053T_4 - 0.172T_7 - 0.109T_{7max} + 0.001Y_{max} - 0.086T_{10} + 0.011Y_a$$

$$F_2 = -0.218T_1 - 0.356T_{1min} + 0.163Y_{min} + 0.007T_4 + 0.515T_7 + 0.342T_{7max} + 0.041Y_{max} + 0.344T_{10} + 0.101Y_a$$

( $T_1$ : 1月平均温距平值的差值;  $T_{1min}$ : 1月平均最低温距平值的差;  $Y_{min}$ : 年平均最低温距平值的差值;  $T_4$ : 4月平均气温距平值的

差值;  $T_7$ : 7月平均气温距平值的差值;  $T_{7max}$ : 7月平均最高气温距平值的差;  $Y_{max}$ : 年平均最高气温的距平值的差;  $T_{10}$ : 10月平均气温距平值的差值;  $Y_a$ : 年平均气温距平值的差值。)

表3 公因子得分情况表

项目	公因子1,2(主成份)得分	
1月平均气温距平的差值	0.381	-0.218
1月平均最低温距平的差	0.683	-0.356
年平均最低温距平的差值	0.048	0.163
4月平均气温距平的差值	0.053	0.007
7月平均气温距平的差值	-0.172	0.515
7月平均最高温距平的差	-0.109	0.342
年平均最高温的距平的差	0.001	0.041
10月平均气温距平的差值	-0.086	0.344
年平均气温距平值的差值	0.011	0.101

由此, 计算出多年  $F_1$ 、 $F_2$  的值并绘出其变化曲线(图3), 从图中可以看出低温控制因子是决定两地温度差异的主要因素。其变化是逐年增加的。图中的数值的正负并不代表两地温差的正负。因为本文用的是距平的差值, 其数值的大小代表着温差大小的变化趋势。通过以上的分析, 从数学的角度验证兰州市的热岛效应主要是由低温控制因子的变化引起的。需要解释的是低温控制因子指的是一个综合的指标, 它在很大程度上受控于1月平均最低气温和1月平均气温的两地相应值的差值。

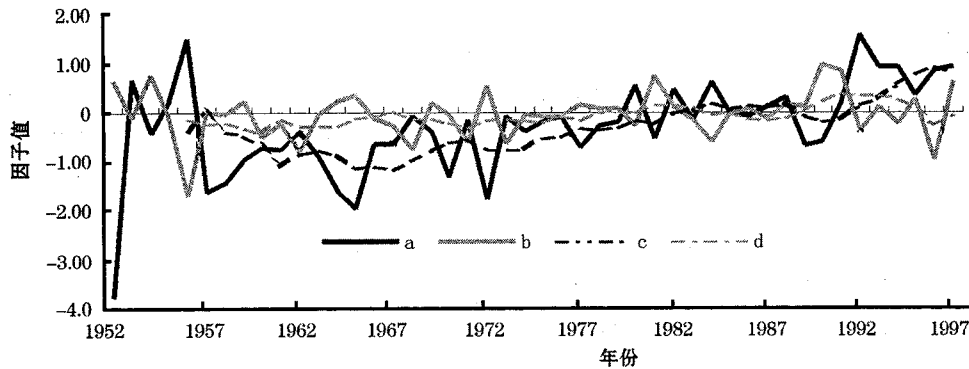


图3 高、低温因子变化曲线

a为低温控制因子, b为高温控制因子, c为a的5年平滑, d为b的5年平滑

## 4 结 论

通过以上的分析可以得出以下结论:

(1)兰州气温的变化具有非常明显的11年周期变化的规律。

(2)30年代年平均气温接近于总体平均值,40年代到50年代中期气温升高明显,夏季较前一阶段增温 $0.4^{\circ}\text{C}$ ,冬季达 $0.9^{\circ}\text{C}$ ;从50年代中期到70年代中期气温先降而后略有增加,在50年代中期到60年代初期为降温期,与其前期比较降温幅度明显,夏季达 $0.9^{\circ}\text{C}$ ,冬季高达 $1.5^{\circ}\text{C}$ ,而后60年代初期到70年代中期为转折期,其升温不太明显;70年代中期至今气温升高迅速与前一期相比较冬、夏增幅达到 $1.2^{\circ}\text{C}$ 、 $0.8^{\circ}\text{C}$ ,全年均温增幅也达 $0.9^{\circ}\text{C}$ ,其中冬季的气温的距平由 $-0.2^{\circ}\text{C}$ 转为 $1.5^{\circ}\text{C}$ 。

(3)随着城市发展人为因素对兰州城市气候的影响的力度明显的增加,城市发展对气温影响的转折点在70年代的中后期。

(4)兰州城市气温增高主要是由于低温因子的变化引起的。

## 参考文献

- 1 施雅风,沈永平等.西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨.冰川冻土,2002,(7):219~226.
- 2 施雅风,沈永平,李栋梁等.中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨.第四纪研究,2003,(3):152~164.
- 3 李栋梁,魏丽,蔡英等.中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望.冰川冻土,2003,(4):135~142.
- 4 袁玉江,穆桂金.新疆天山山区近40年春季气候变化特征与平原区的比较.干旱区地理,2004,(3):25~27.
- 5 汤懋苍,高晓清,朱德琴.本世纪西北气候可能转型的依据和原因分析.冰川冻土,2003,(4):170~173.
- 6 胡汝骥,姜逢清,王亚俊等.新疆气候由暖干向暖湿转变的信号及影响.干旱区地理,2002,(9):194~200.
- 7 宋连春,张存杰.20世纪西北地区降水量变化特征.冰川冻土,2003,(4):143~148.
- 8 李栋梁,彭素琴.兰州温度变化的气候特征.高原气象,1993,(3):18~26.
- 9 周淑贞,束炯.城市气候学.北京:气象出版社,1994:244~262.
- 10 周淑贞.城市气候学及其应用,城市气候与区域气候.上海:华东师范大学出版社,1989:265~283.

## Urbanization Effect on Air Temperature Change in Lanzhou City for Recent 60 Years

Cheng Shenglong<sup>1,2</sup>

(1. College of Geographical Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000;

2. College of Social Science & Management, Guangxi University)

### Abstract

The influence to the city climate is researched quantitatively through the meteorological log in recent 70 years by the method of comparison between the urban and the suburban's. And the principle components (high, low temperature components) of air temperature are extracted by the method of the principle component analysis. The influence of the urbanization to the city air temperature in Lanzhou is analyzed quantitatively. Certainly, the cause of the air temperature change is not only by the influence of human but also by the change of the more large-scale climatic background. So, before analyzing the change of the city climate, the trend of the large-scale area climate by T-test is discussed and the variation of the region climate has the characteristic of 11-years cycle is obtained.

**Key Words:** temperature variation T-test period tendency principle component analysis