

甘肃岷县山区气温变化趋势分析

王毅荣^{1,2}

1 中国气象局兰州干旱气象研究所 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 兰州 730020

2 甘肃省定西市气象局, 定西 743000

摘要 利用甘肃岷县气象站及其周围4站1937~2004年的68年逐月气温资料进行研究。结果表明: 岷县山区气温存在下降趋势, 对全球变暖的响应是异常的。该地区气温在20世纪50年代由暖转冷的突变十分明显, 30、40年代是最暖的阶段, 80年代为最冷的时期。从40年代起气温一直在下降, 到70年代末80年代初下降到最低, 80年代后才转为上升。预测未来气温有下降的可能。

关键词 西秦岭山地 气温变化 气温预测

文章编号 1006-9585 (2006) 01-0119-09 **中图分类号** P468 **文献标识码** A

The Temperature Change of the Mountainous Area of Minxian in Gansu Province

WANG Yi-Rong^{1,2}

1 Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020

2 Meteorological Bureau of Dingxi, Dingxi 743000

Abstract By investigating change of Minxian temperature during 1937—2004, recent 68 years, the result shows that its temperature was abnormal response to global warming change, one was being cold. The jump points were in the 1950s. The greatest warm was in the 1930s and the 1940s, the greatest cold in the 1980s during 68 years. The temperature decreased before its jump point, and increased after the jump point. The temperature would decrease from 2004 to 2020 by the forecasting model.

Key words a mountainous area of western Qinling, temperature change, temperature forecasting

1 引言

根据对近100多年全球气温资料的分析, 全球平均地面温度已升高 $0.4\sim 0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 从1860年以来全球平均气温升高 $0.6\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。近百年来最暖的年份均出现在1983年以后, 1998年是最暖的一年。20世纪北半球温度的增幅, 可能是过去1

000年中最高的。近百年来中国气温上升了 $0.4\sim 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 20世纪初到50年代是增温期, 50年代~70年代中期是气候振荡期, 70年代末进入全球增温阶段, 80、90年代增温异常剧烈^[1~7]。各区域对全球变化存在不同程度的响应, 并非全球一致, 地球系统及其各部分的面貌在不同空间尺度上的表现是多姿多彩的, 在不同时间尺度上也是多种多样的。全球变化总是由一系列过程和现象各异

收稿日期 2004-03-30 收到, 2005-05-16 收到修定稿

资助项目 科技部“中国干旱气象灾害监测预警方法研究”项目2004DIB5J196, 国家自然科学基金项目40205014和甘肃省科学技术攻关计划项目ZGS042-A44-017

作者简介 王毅荣, 男, 1967年出生, 高级工程师, 主要从事天气动力、气候变化和计算机软件工程研究。E-mail: werice@163.com

的区域变化构成, 因为区域变化不是孤立的, 所以全球变化并不是区域变化的简单集合, 而是存在着不同程度的区域响应^[8~10]。我国西北地区气温随全球变暖而随之升高, 并在 1986 年附近发生跃变^[11~18]。气候变暖存在许多不确定性^[19~21], 对甘肃中部进一步分析, 发现在以传统农业为主且城市化程度较低的地方, 气温变化与周边工业较发达且城市化程度较高地区不同。本文通过对甘肃岷县山区气温变化的分析, 可以得到一些有价值的结果。

岷县山区处于青藏高原与黄土高原接壤地带, 位于西秦岭山地的北部, 约 (34°N, 104°E) 左右, 地貌以石质山地为主, 大部分是海拔 3 000~3 940 m 的高山地, 其山地部分分布有河谷及山间小盆地, 拔海高度在 2 000 m 以上。

2 资料来源及方法

本文主要采用岷县气象站及其周围 4 站 1937~2004 年的 68 年月气温实测资料。岷县气象站 1937 年 1 月建站, 处于地势较平坦的洮河河川谷地带, 几次站址变化都是在河川地带移动。1937 年 1 月~1949 年 9 月地址为 (34°26'N, 104°05'E), 每天 3 次观测; 1949 年 9 月~1951 年 12 月为每天 6、9、12、14、18、21 时 (北京时, 下同) 6 次观测; 1952 年 1 月起为每天 3、6、9、12、14、18、21、24 时 8 次观测。1949 年 9 月~1956 年 11 月 22 日地址为 (34°23'N, 104°10'E), 1956 年以后为 (34°26'N, 104°01'E, 拔海高度 2 315.8 m)。在台站地理环境的变化中, 海拔高度的变化较小, 河谷走向有所变化, 观测次数有变化; 普查 1949 年之前的气象记录薄, 数据的记录和处理仔细, 数据具有可靠性。以观测次数和地址变动点分段, 用单因素方差分析 (该分析工具通过方差分析, 对两个以上具有相同平均值的样本总体平均值进行相等性假设检验), 可见相邻阶段没有显著的均值差异, 表明由观测次数和仪器变动等产生的系统误差并不显著, 因而可以将其视作同一序列, 用 Morlet 小波^[22~24]和滑动 t 检验方法, 分析气温 (岷县) 演变的周期、阶段性 (突变) 等特征。

3 气温变化

3.1 气温基本变化特征

岷县山区 68 年平均气温为 6.2 °C, 从表 1 可见, 其 20 世纪 50 年代平均气温等于均值, 90 年代略低于均值, 60~80 年代低于均值 0.6 °C; 而 30~40 年代为 7.8 °C, 远远高于历史均值, 因此岷县山区在 30、40 年代是 68 年中最暖的时期。结合图 1 看到, 在近 70 年中以 0.024 6 °C·a⁻¹ 速度下降的趋势显著, 从 40 年代后期气温开始下降, 直至 80 年代, 50 年代是下降最为明显的阶段, 80 年代后期到 90 年代缓慢上升, 1998 年升到 90 年代的最高点, 之后下降明显。

3.2 气温变化的空间对比

为避免系统误差和最暖 (气温高) 年 1998 年趋势分析中的“杠杆”作用, 选取 1952~1997 年的 46 年序列线性趋势和 1952~2004 年的 53 年序列各站气温差进行对比分析。

表 1 年代气温平均值
Table 1 The decadal means year temperature

年代 Times	气温平均值 Mean temperature/°C
1930s~1940s	7.8
1950s	6.2
1960s	5.6
1970s	5.6
1980s	5.6
1990s	6.1

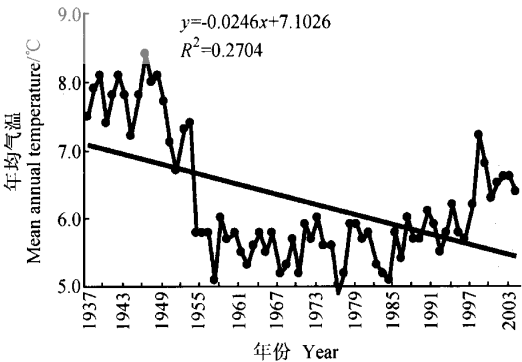


图 1 年气温时间序列及其线性回归
Fig. 1 Time sequence and its 1st order trend curve of the mean year temperature

在图 2 中可见, 1952~1997 年的 46 年间, 岷县、华家岭 (海拔 2 450.6 m)、临洮 (海拔 1 886.6 m) 年气温线的性变化率为负, 气温呈下降趋势, 岷县下降幅度最大 ($-0.0089\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$), 而周边地区线性趋势为正, 其气温对全球变暖响应一致。把岷县及其附近存在气温下降的地方统称岷县区域。在 1952~2003 年的 52 年间, 岷县与周围台站年气温差 (图 3) 的线性变化率中, 与华家岭最小 ($0.0006\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$), 几乎无变化; 与临洮次小 ($0.0025\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$); 与天水较大 ($0.0148\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$); 与兰州最大 ($0.0259\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$), 两地气温 10 年拉大 $0.259\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的差距, 比兰州自身增温 ($0.014\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$) 还快。这些站点的地理环境差别是显而易见的, 相对人口最多且工业化程度最高的是兰州 (省会城市), 天水 (地级市) 次之, 临洮 (县城郊外) 和华家岭 (山梁, 偏僻农村) 最小, 可见气温的变化与其有一定的正比关系。

岷县年气温在 1937~1951 年间线性趋势为负, 其间平均气温高于 1951 年以后的气温。1998 年气温比前一年猛增 $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 在 1937~2004 年间, 这样的增幅是绝无仅有的, 但变幅和具体气温值远未达到阶段极值, 而此之后气温呈明显下降趋势。用单因素方差分析 1998~2004 年阶段与 1952~1997 年阶段不存在显著性差异, 说明 1998 年及以后存在的较高气温并不是气温跃变到另一层次, 反映出近 70 年来岷县的气温变化仍然属于同一个气候吸引子^[25,26], 为正常波动。

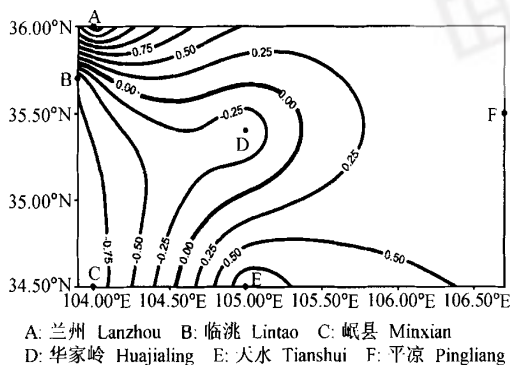


图 2 气温线性变化率的空间分布 (单位: $10^{-2}\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$)

Fig. 2 Spatial structures of the slope (units: $10^{-2}\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$) of temperature of Minxian area

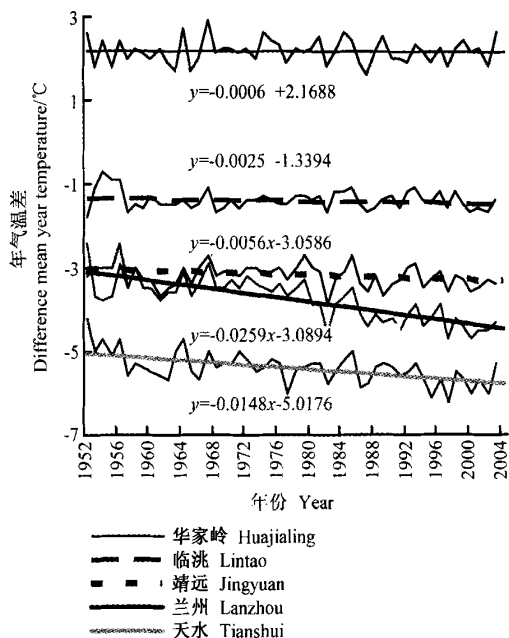


图 3 岷县与各站年气温差及其线性趋势

Fig. 3 Time sequence and its 1st order trend curve of the difference mean temperature year between Minxian station and others one

3.3 月气温变化特征

表 2 给出 1937~2004 年岷县逐月气温变化曲线的线性拟合斜率。岷县山区年、月平均气温均呈明显的下降趋势, 各月下降的速度在 $0.017\sim 0.038\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ 之间。其中冬季 (12、1、2 月) 及 3 月下降最快, 盛夏的 8、10 月下降也较快 (-0.027 、 $-0.026\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$), 4、5、6 月下降最慢 ($-0.015\sim -0.017\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$), 其余月份下降介于其间。

表 2 月、年均气温线性拟合斜率

Table 2 The slope of means of every month and year temperature

月份 Month	拟合斜率 Slope	月份 Month	拟合斜率 Slope
1	-0.038	7	-0.019
2	-0.025	8	-0.027
3	-0.029	9	-0.021
4	-0.017	10	-0.026
5	-0.017	11	-0.021
6	-0.015	12	-0.030

3.4 气温年代际变化特征

图4给出1、3、8、10月的气温10年滑动平均变化曲线,这4个月斜率绝对值较大,气温下降明显,它们又能一定程度上反映春夏秋冬四季气温的变化特点。其余月份气温变化曲线及其主值函数曲线趋势与以上相应季节内月份相似(图略)。从图中看出,代表分布的各月温度变化的共同特点是,20世纪40年代为暖时期,50年代明显下降,90年代回升。冬季(1月)50年代末~60年代初是近70年中最冷的时期,60~90年代为多波动时期;春季(3月)60年代末~70年代初是最冷的时期;夏季(8月)80年代末最冷;秋季(10月)50年代末最冷,90年代初次之,60~80年代属于多波动变化阶段。年气温变化趋势(图略)从30年代开始递减,直至80年代中期,90年代递增;夏季、秋季以及年气温曲线反映出90年代末已存在下降趋势,本世纪初的气温低于90年代后期,冬春季没有下降迹象。说明气温在80年代之前的变化趋势是明显下降,之后的变化趋势是上升,本世纪初又出现下降的征兆。

3.5 气温变化的阶段特征

年、月气温曲线的2阶主值函数与原序列间相关显著(通过 $\alpha=0.01$ 信度检验),主值函数对气温变化趋势具有很好的代表性。2阶主值函数的特点是其为严格单调函数,存在一个极小值点,在极值点之前是严格单调递减,之后是严格单调递增,递增之后的函数值小于50年代之前。

表3列出2阶主值函数极小值点对应的年份,1937年到极值点时段(表中称前段)的拟合斜率,极值点到2003年时段(表中称后段)的斜率。可见极小值基本在70年代后期,大多集中在1977年附近。1937年到极值点之间气温的斜率都小于0,下降趋势十分明显,年气温斜率为 -0.078 ,即年气温平均以 $0.078\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ 的速度下降,各月下降的速度在 $0.062\sim 0.119\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ 之间。其中,冬季(12、1、2月)下降最快,4、5月下降较慢。在极值点到2003年之间气温的斜率大于0,呈上升趋势,年气温斜率为 0.047 ,即年气温平均每年上升 $0.047\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$,各月上升的速度在 $0.006\sim 0.085\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ 之间。其中2、3、4月

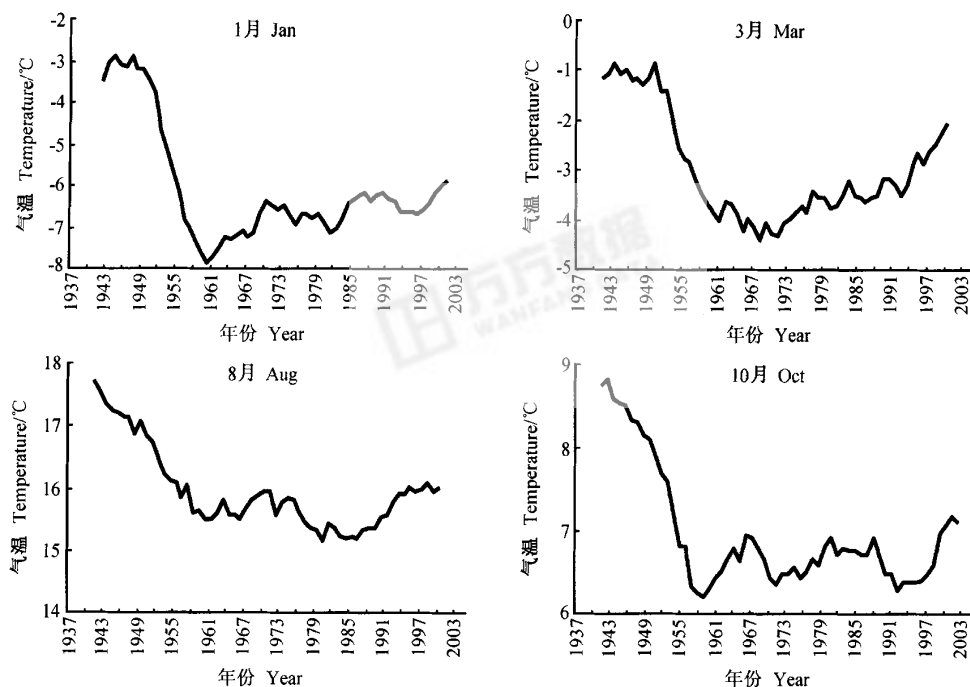


图4 1、3、8、10月气温10年滑动平均序列

Fig. 4 Time sequences of the 10-year moving-mean of January, March, August, October temperature

表 3 温度曲线 2 阶主值函数极小值点及阶段斜率和阶段长度
Table 3 Time peak of 2nd order trend curve and slope of the means of every month and year means of temperature and range length

月份 Month	极值点 (年份) Peak point (Year)	前段斜率 Fore slope / $^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$	后段斜率 After slope / $^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$	前段长度 Fore length period / a	后段长度 After length period / a
1	1977	-0.119	0.048	41	27
2	1974	-0.118	0.072	38	30
3	1981	-0.062	0.074	45	23
4	1980	-0.037	0.085	44	24
5	1977	-0.059	0.030	41	27
6	1975	-0.073	0.058	39	29
7	1975	-0.063	0.073	39	29
8	1978	-0.064	0.029	42	26
9	1979	-0.062	0.079	43	25
10	1979	-0.067	0.012	43	25
11	1975	-0.081	0.057	39	29
12	1977	-0.108	0.006	41	27
年平均 Annual mean	1977	-0.078	0.047	41	27

和 9 月上升较快，12 月份上升不明显，10 月份上升缓慢。在 68 年中 40 多年的时间处于下降，20 多年的时间是上升，上升速度不及下降速度的 2/3。

由此可见，岷县山区气温上升不论在时间长度和强度上都远远不及下降，可以说在近 68 年来，气温下降是主要的，下降的幅度也是明显的，与全球变暖相反，对全球变化响应异常。

4 气温变化的突变和周期

以小波分析结合滑动 t 检验方法找到突变(阶段)点。图 5 给出年气温时间小波分析(实部)，可见年气温在 10 年尺度上，1958/1959 年分为两个阶段，在图 1 中反映出 50 年代气温下降，1958 年到达低谷，1958 年之后以波动形式缓慢爬升，在演变形式上出现了跃变；由图 5 看到 1953~1958 年、1991~1998 年是两个过渡阶段，分别以 1953、1998 年为界前后分段。在滑动 t 检验中，通过 0.001 信度检验，表明在 1953 年和 1998 年附近发生了突变。在 1953 年之前是相对暖时期，1953~1997 年的 44 年间是相对冷时期，1998 年之后又转暖，但暖的程度(均值比较)远没有达到 50 年代之前。对 1953 年之前暖阶段和 1997 年之后的暖阶段进行单因素方差分析，结果表明二者均值差别显著，说明 2 个阶段暖的程度差别较大，换言之

1997 年之后的增暖远不及 1953 年之前。

调节小波的膨胀系数，由小波(图略)分析得到，20 世纪 90 年代之前 4 年左右的短周期突出，之后短周期不明显；40 年代 18、36 年左右的长周期明显，振幅也较大；50~60 年代存在比较明显的 13、18、29 年左右的长周期；70~80 年代主要有 13、18、29 和 52 年左右的长周期；90 年代主要是 16、29、55 年左右的长周期，在 90 年代 16 年左右的周期明显，振幅也较大。

表 4 为各月的突变点(都通过 0.001 信度的 t 检验)和突变前后的阶段均值。突变点主要集中在 50 年代中期，12 月突变最早在 1949 年附近，3 月最晚在 1960 年附近。突变前后气温均值相差很大，冬季尤其明显，比如 12 月前后相差 2.8 $^{\circ}\text{C}$ ，1 月前后相差 3.3 $^{\circ}\text{C}$ ；4~6 月相对较小，但相差都在 1.2 $^{\circ}\text{C}$ 以上。7 月气温在 1997 年附近存在由冷转暖的突变点(通过 0.001 信度的 t 检验)，除 8 月和 12 月外其余月份在 1997 年附近有转折，但达不到突变程度。

距平累计曲线夏季(8 月)、冬季(12 月)与年相似，不同的是曲线不如年的光滑，这说明 8 月和 12 月气温逐年波动幅度大于年的气温变动幅度，极小值点不突出。从 1953 年之后气温一直是负距平，处于相对冷阶段，再没有转到一个明显的暖阶段。

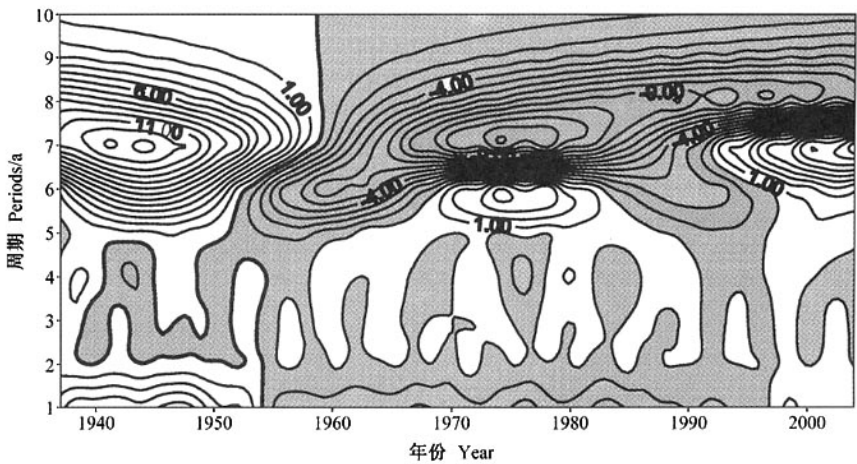


图 5 小波分析
Fig. 5 The analysis on wavelet of time series of the mean of year temperature

表 4 气温突变点及阶段均值
Table 4 The jump point and the mean period in the range of every month and year temperature

月份 Month	突变点 (年份) Jump point (Year)	突变前均值 Mean before jump point/℃	突变后均值 Mean after jump point/℃
1	1952	-3.3	-6.6
2	1956	-1.2	-3.5
3	1960	3.3	1.7
4	1954	8.2	7.0
5	1953	12.3	10.9
6	1954	15.2	13.8
7	1955/1997	17.5	15.9/17.4
8	1953	17.2	15.6
9	1956	13.2	11.6
10	1951	8.6	6.6
11	1954	2.4	0.6
12	1949	-2.2	-5.0
年平均 Annual mean	1953/1997	7.6	5.6/6.7

5 气温的未来变化趋势

在中国“代”尺度气候预测^[27]中应用小波分析方法。本文中用小波分析方法对年均气温的时间演变特征进行分析，利用小波分析的周期再结合均生函数进行预测，初步预测年气温的未来趋势。

利用小波分析的长周期对均生函数预测模型进行订正，得到修正的预测结果见图 6，从预测结果看，2015 年之前维持一段高值，之后到 21 世纪 30 年代气温的发展趋势是下降的。从实况和预测

值的 6 阶拟合曲线看到气温变化的周期性和单调性，20 世纪 30~40 年代是气温高峰期，21 世纪初是次高峰期，20 世纪 60~70 年代是气温的低谷期，有可能下一个低谷期出现在 21 世纪 20 年代。

6 主要结论和讨论

通过以上分析，得出主要结论：

(1) 岷县山区年、月平均气温均呈明显的下降趋势，以每年 0.025℃左右的速度下降，各月下降的速度在 0.017~0.038℃·a⁻¹之间；其中冬季下降最快，盛夏 8 月下降也较快，4、5、6 月下

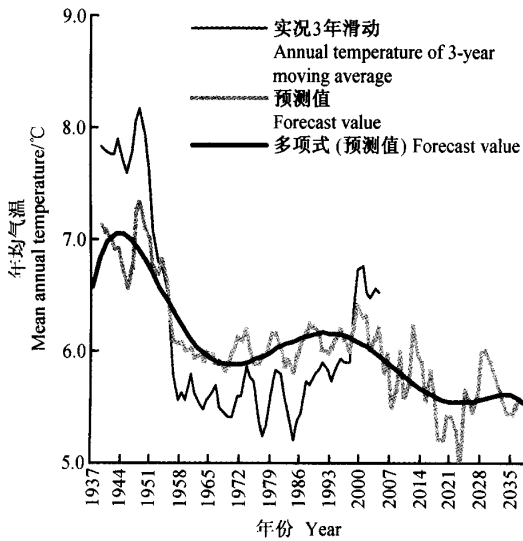


图6 年气温时间序列和预测及其6阶主值函数

Fig. 6 Time sequence, forecasting and its 6th order trend curve of the annual mean temperature

降最慢; 与城市地区的气温差随时间不断扩大。

(2) 在 68 年中, 20 世纪 40 年代为最暖的时期, 50 年代末~60 年代初是最冷的时期。其后在 80 年代之前气温明显下降, 80 年代之后才逐步回升。回升的速度小于下降的速度, 68 年中 62% 的时间气温是下降的。

(3) 在时间演变中, 20 世纪 50 年代中期发生突变, 由暖转冷, 90 年代由冷转向较暖, 本世纪初有下降的迹象。

(4) 据预测分析, 在 21 世纪初有可能是相对较暖的一段, 但远不及 20 世纪 40 年代, 21 世纪 40 年代左右有可能转入较冷的时段。

讨论:

西北近地面气温分布也受地形影响, 但地域性不及降水强。各地年及冬、夏季的气温均有准 8 年等的周期变化。在全球变暖的背景下, 西北地区近 30 年来的气温也在波动增长, 在 80 年代后 35°N 以北地区的增温更明显, 特别是冬季。气候在 1986 年发生突变, 降水减少、气温升高; 与我国东部地区相同, 西北地区也有冬季变暖, 夏季变凉, 气温年、日较差减小等非对称变化^[28~31]。岷县区域处于 35°N 以南, 增暖远不及西北其他地区明显, 1986 年附近没有出现增暖突变, 在 1997 年后进入较暖时期。这个暖的时期能持续多久?

从 1999 年到 2004 年间逐年下降的情况和对未来预测的结果看, 岷县局地自 1997 年后增温时段不会太长。

研究和数值模拟^[32~34]认为气候变暖的一个主要因素在于温室效应, 即主要是工业化负面结果, 而岷县山区地域偏僻、人口稀少, 工业化、城市化程度低, 当地还基本处于农耕生产状况, 人为因素对当地的气候变化影响很小, 主要反映出的是自然气候变化情况。岷县气温变化从另一方面是对温室效应观点的支持, 其与周围附近气温变化的比较中反映出工业化、城市化对气候的影响具有较强的局地性。

此外, 预测结果与未来 50 年我国北方可能呈“暖湿型”^[35~37]不一致, 文中使用预测方发粗略, 还有大量的工作有待于深入研究。

参考文献

- [1] Houghton J H, Ding Y, Griggs D J, et al. The scientific basis, contribution of working group I to the third assessment report of the Inter government panel on climate change. IPCC. *Climate Change* 2001. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2001. 101
- [2] 李崇银, 朱锦红, 孙照渤, 等. 年代际气候变化研究. 气候与环境研究, 2002, 7 (2): 209~219
Li Chongyin, Zhu Jinhong, Sun Zhaobo, et al. The study interdecadal climate variation. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2002, 7 (2): 209~219
- [3] 秦大河. 气候变化的事实与影响及对策. 中国科学基金, 2000, 17 (1): 1~3
Qin Dahe. Facts, impact, adaptation and mitigation strategy of climate change. *Bulletin of National Natural Science Foundation of China* (in Chinese), 2003, 17 (1): 1~3
- [4] 王绍武, 蔡静宁, 朱锦红, 等. 中国气候变化的研究. 气候与环境研究, 2002, 7 (2): 137~145
Wang Shaowu, Cai Jingning, Zhu Jinghong, et al. Studies on climate change in China. *Climatic and environmental research* (in Chinese), 2002, 7 (2): 37~145
- [5] 余振苏, 陈炯, 梁爽, 等. 中国气温涨落层次结构的区域性特征. 气候与环境研究, 2002, 7 (3): 339~344
She Zhensu, Chen Jiong, Liang Shuang, et al. Local characteristics of hierarchical structures in climate temperature fluctuations in China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2002, 7 (3): 339~344
- [6] 陈隆勋, 朱文琴, 王文, 等. 中国近 45 年来气候变化的研究. 气象学报, 1998, 56 (3): 257~271

- Chen Longxun, Zhu Wenqing, Wang Wen, et al. Studies on climate change in china in recent 45 years. *Acta meteorological sinica* (in Chinese), 1998, **56** (3): 257~271
- [7] 宋连春, 邓振镛, 董安祥, 等. 干旱. 北京: 气象出版社, 2003. 4~55
- Song Lianchun, Deng Zhenyong, Dong Anxiang, et al. *Arid* (in Chinese). Beijing: Meteorological Press, 2003. 4~55
- [8] Mccarthy J J, Canziani O F, Leary N A, et al. Impacts, adaptation and vulnerability, contribution of working group I to the third assessment report of the inter government panel on climate change. *IPCC. Climate Change* 2001. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2001. 1032
- [9] 符淙斌, 董文杰, 温刚, 等. 全球变化的区域响应和适应. *气象学报*, 2003, **61** (2): 245~249
- Fu Congbin, Dong Wenjie, Wen Gang, et al. Regional response and adaptation to global change. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2003, **61** (2): 245~250
- [10] Ye Duzheng, Jiang Yundi, Dong Wenjie. The Northward shift of climatic belts in China during the last 50 years and the corresponding seasonal responses. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, **20** (6): 959~967
- [11] 谢金南, 李栋梁, 董安祥, 等. 甘肃省干旱气候变化及其对西部大开发的影响. *气候与环境研究*, 2002, **7** (3): 359~369
- Xle Jinnan, Li Dongliang, Dong Anxiang, et al. Effects of gansu arid climate change on developing of the western China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2002, **7** (3): 359~369
- [12] 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, **25** (2): 135~142
- Li Dongliang, Wei Li, Cai Ying, et al. The present facts and future tendency of the climate change in northwest China. *Journal of Glaciology and Geocryology* (in Chinese), 2003, **25** (2): 135~142
- [13] 于淑秋, 林学椿, 徐祥德. 我国西北地区近 50 年降水和气温的变化. *气候与环境研究*, 2003, **8** (1): 9~18
- Yu Shuqiu, Lin Xuechun, Xu Xiangde. The climatic change in Northwest China in recent 50 years. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, **8** (1): 9~18
- [14] 王琼, 张铭. 中国及周边地区气温年代际变化的研究. *气候与环境研究*, 2003, **8** (4): 451~456
- Wang Qiong, Zhang Ming. A study of temperature change on decennary scale in China and peripheral area. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, **8** (4): 451~456
- [15] 程胜龙, 王乃昂. 近 70 年来兰州城市气温的变化. *干旱区地理*, 2004, **27** (4): 558~563
- Cheng Shenglong, Wang Naiang. Study on Air Temperature Change in Lanzhou City in Recent 70 Years. *Arid Land Geography* (in Chinese), 2004, **27** (4): 558~563
- [16] 马鹏里, 王若升, 王宝灵, 等. 我国西北地区地面最高和最低气温变化及分布的特征. *高原气象*, 2002, **21** (5): 509~513
- Ma Pengli, Wang Ruosheng, Wang Baoling, et al. The Characteristics of Maximum and Minimum Temperature Change and Distribution in Northwest China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2002, **21** (5): 509~513
- [17] 姚玉璧, 李耀辉, 王毅荣, 等. 黄土高原气候与气候生产力对全球气候变化的响应. *干旱地区农业研究*, 2005, **23** (2): 202~208
- Yao Yubi, Li Yaohui, Wang Yirong, et al. Effects of the climate and climatic productivity in the Loess Plateau of China on global climate change. *Agricultural Research in the Arid Areas* (in Chinese), 2005, **23** (2): 202~208
- [18] 王毅荣, 尹宪智, 袁志鹏. 中国黄土高原气候系统主要特征. *灾害学*, 2004, 19 (增刊): 39~45
- Wang Yirong, Yin Xianzhi, Yuan Zhipeng. The characteristics on climate system of China loess plateau. *Journal of Catastrophology* (in Chinese), 2004, **19** (Suppl.): 39~45
- [19] 王绍武, 龚道溢. 对气候变化问题争议的分析. *地理研究*, 2001, **20** (2): 153~160
- Wang Shaowu, Gong Daoyi. On debates concerning the global warming. *Geographical research* (in Chinese), 2001, **20** (2): 153~160
- [20] 龚道溢, 王绍武. 全球气候变暖研究中的不确定性. *地学前缘*, 2002, **9** (2): 401~406
- Gong Daoyi, Wang Shaowu. Uncertainties in the global warming studies. *Earth Science Frontiers* (in Chinese), 2002, **9** (2): 371~376
- [21] 李崇银, 翁衡毅, 高晓清, 等. 全球增暖的另一可能原因初探. *大气科学*, 2003, **27** (5): 789~797
- Li Chongyin, Weng Hengyi, Gao Xiaqing, et al. Initial investigation of another possible reason to cause global warming. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27** (5): 789~797
- [22] 王毅荣. 中国黄土高原干旱对全球气候变化的响应. *西北大学学报 (自然科学网路版)*, 2004, (8): 编号 90. <http://online.nwu.edu.cn>
- Wang Yirong. A study on response of arid over China loess plateau to global change. *Science Journal of Northwest University* (in Chinese), 2004, (8): No. 90. <http://online.nwu.edu.cn>
- [23] 朱乾根, 施能, 吴朝晖, 等. 近百年来北半球冬季大气活动中心长期变化及其与中国气候变化的关系. *气象学报*, 1997, **55** (6): 750~757
- Zhu Qiangen, Shi Neng, Wu Zhaohui, et al. The long-term change of atmospheric active centers in northern winter and its correlation with china climate in recent 100 year.

- Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1997, **55** (6): 750~757
- [24] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1998, **79**: 61~78
- [25] 刘式达, 郑祖光, 赵汉光. 气候层次和分数维. *气象学报*, 1993, **51** (3): 333~342
- Liu Shida, Zheng Zuguang, Zhao Hanguang. The climate levels and the fractal dimension. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1993, **51** (3): 333~342
- [26] 刘太中, 荣平平, 刘式达, 等. 气候突变的子波分析. *地球物理学报*, 1995, **38** (2): 158~162
- Liu Taizhong, Rong Pingping, Liu Shida, et al. Wavelet analysis of climate jump. *Acta Geophysica Sinica* (in Chinese), 1995, **38** (2): 158~162
- [27] Lin Zhenshan, Shi Xiangsheng. The decade-scale climatic forecasting in China. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, **20** (4): 604~611
- [28] 孙国武, 罗哲贤, 李兆元, 等. 中国西北干旱气候研究. 北京: 气象出版社, 1996. 1~394
- Sun Guowu, Luo Zhexian, Li Zhaoyuan, et al. *Study on Arid Climate over Northwest China* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press. 1996. 1~394.
- [29] 徐国昌. 中国干旱半干旱区气候变化. 北京: 气象出版社, 1997. 1~101
- Xu Guochang. *Climate Changes over China Drought and Semi-Drought Areas* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1997. 1~101
- [30] 白肇烨, 徐国昌, 陈乾, 等. 中国西北天气. 北京: 气象出版社, 1988. 1~442
- Bai Zhaoye, Xu Guochang, Chen Qian, et al. *Weather over northwest China* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1988. 1~442
- [31] 马晓波. 中国西北地区最高、最低气温的非对称变化. *气象学报*, 1999, **57** (5): 613~621
- Ma Xiaobo. The anti-symmetric changes of maximum and minimum surface air temperature over northwest China. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1999, **57** (5): 613~621
- [32] 高学杰, 赵宗慈, 丁一汇, 等. 温室效应引起的中国区域气候变化的数值模拟 I: 模式对中国气候模拟能力的检验. *气象学报*, 2003, **61** (1): 20~28
- Gao Xuejie, Zhao Zongci, Ding Yihui, et al. Climate change due to greenhouse effects in china as simulated by a regional climate model. Part I: Evaluation of the model simulations. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2003, **61** (1): 20~28
- [33] 高学杰, 赵宗慈, 丁一汇, 等. 温室效应引起的中国区域气候变化的数值模拟 II: 中国区域气候的可能变化. *气象学报*, 2003, **61** (1): 29~38
- Gao Xuejie, Zhao Zongci, Ding Yihui, et al. Climate change due to greenhouse effects in china as simulated by a regional climate model. Part II: Climate change. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2003, **61** (1): 29~38
- [34] 徐影, 丁一汇, 赵宗慈, 等. 我国西北地区 21 世纪季节气候变化情景分析. *气候与环境研究*, 2003, **8** (1): 19~25
- Xu Ying, Ding Yihui, Zhao Zhongci, et al. A scenario of seasonal climate change of the 21st century in Northwest China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, **8** (1): 19~25.
- [35] 秦大河. 中国西部环境演变评估综合报告. 北京: 科学出版社, 2002. 56~66
- Qin Dahe. *Colligate Report of Assessment in Environment Evolvement of West at China*. Beijing: Science Press, 2002. 56~66
- [36] 施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 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, **25** (3): 219~226
- Shi Yafeng, Shen Yongping, Hu Ruji. Preliminary study on signal, impact and foreground of climatic shift from warm-dry to warm-humid in Northwest China. *Journal of Glaciology and Geocryology* (in Chinese), 2002, **25** (3): 219~226
- [37] 汤懋苍, 柳艳香, 冯松. 一个新的千年暖期可能已经开始. *高原气象*, 2002, **21** (2): 128~131
- Tang Maocang, Liu Yanxiang, Feng Song. A new millenary warm period may be emerged. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2002, **21** (2): 128~131