

The Variation Characteristics of Temperature in the Three Georges Reservoir Area during the Past Nearly 100 Years

Tianyu Zhang¹, Jianping Zhang², Zhenghong Chen³

¹Chongqing Climate Center, Chongqing 401147, China

²Chongqing Institute of Meteorological Sciences Chongqing 401147, China

³Wuhan Heavy Rain Institute of CMA, Wuhan 430074, China

Email: zhangtianyu821227@hotmail.com

Received 2013

Abstract: By using the Three Gorges reservoir area's temperature data of the Chongqing and Yichang station (from 1924 to 2011), the variation characteristics of temperature in the Three Georges Reservoir Area during the past 88 years are analyzed. The results demonstrate: the linear trend, decadal variation, sudden change and the cycle analysis shows that the temperature changing characteristics of Chongqing station and Yichang is highly the same in the last 88 years, the two significantly warmer periods are the mid-1920s to the 1940s and the mid-1990s to the present. The Three Gorges reservoir area can be represented by the average values of Chongqing and Yichang, the temperature change in phases of the reservoir area is basically the same with Chongqing, Yichang. The significant warming phenomenon appeared since the late 1990s is later than the China average warming started at the year around 1986. The seasonal temperature changes have some differences, the latest warming of the four seasons mainly concentrated in periods of the mid-1990s and later 1990s. There are two sudden changes of the Three Gorges reservoir area's temperature during the recent 88 years: one is a cooling trend around the year 1947, one is a warming trend around 1996. The 2 – 4 a cycle changes of the Three Gorges reservoir area's average temperature is the most significant, the 4a cycle changes are becoming very significant since the later 1980s. There is a 16 – 20 a decadal period between the 1920s and the 1980s, but its energy is weaker than the annual period. The Three Gorges reservoir area's temperature changes are different with the global temperature changes greatly during the past 88 years, comparing the latest significant warming time, the former is about 10 years behind the later.

Keywords: The Three Gorges Reservoir Area; Chongqing; Yichang; Temperature Change

三峡库区近百年来气温变化特征

张天宇¹, 张建平², 陈正洪³

¹重庆市气候中心, 重庆, 中国 401147

²重庆市气象科学研究所, 重庆, 中国 401147

³中国气象局武汉暴雨研究所, 武汉, 中国 430074

Email: zhangtianyu821227@hotmail.com, xuchonghai@126.com

收稿日期: 2013

摘要: 利用 1924—2011 年重庆和宜昌站气温资料, 分析了三峡库区近百年来气温变化特征, 结果表明: 从线性趋势、年代变化、突变和周期分析表明近 88 年重庆和宜昌气温的变化特征是比较一致的, 两段显著偏暖的时期分别是 20 世纪 20 年代中期至 40 年代和 20 世纪 90 年代中期至今。用重庆和宜昌站的平均来代表三峡库区, 库区气温阶段变化与重庆、宜昌站基本一致, 20 世纪 90 年代中后期至今出现的显著增温现象迟于我国 1986 年前后开始的普遍增温。库区各季节气温变化存在差异, 四个季节最近一次增暖主要集中在 20 世纪 90 年代中期

资助信息: 中国气象局气候变化专项 (CCSF201220)、三峡工程环境保护补偿经费 (SX2009-004)、国际科技合作项目 (2010DFA21340) 共同资助; 重庆市气象局科技计划项目 “《重庆市气候业务技术手册》相关科学技术研究资助

或中后期。近 88 年来三峡库区年平均气温发生两次突变, 1947 年左右突变为降温趋势; 1996 年左右突变为增暖趋势。三峡库区年平均气温 2~4 a 周期变化最为显著, 4 a 左右的周期 1980 年代后期开始显著。1920 年代到 1980 年代存在的 16~20 a 的年代际周期, 但能量较年际周期弱。近 88 年三峡库区与全球气温变化存在较大差异, 最近一次显著增暖时间比较, 三峡库区比全球滞后约 10 年。

关键词: 三峡库区; 重庆; 宜昌; 气温变化

1 引言

气候变化是当今国际社会普遍关注的全球性问题, 日益引起社会公众和政府的关注。三峡库区位于长江中上游, 全长约为 600 km, 跨长江两岸数公里的狭长区域。长江三峡特殊的地形、地貌条件形成了富有特色的峡谷气候, 且三峡水利枢纽工程举世瞩目, 库区的气候变化及其影响是人们极为关注的科学问题。

近年来对三峡库区气候变化尤其是气温变化的研究已有不少的研究工作, 陈正洪^[1]利用宜昌站 1924—1997 年气温资料研究表明根据宜昌 20 年代(1924—1930 年)平均气温为本世纪虽大正距平可推测宜昌与武汉几乎同时在 1919—1922 年有一次较强突变。王梅华等^[2]选取库区 15 个气象站分析表明三峡地区各站的温度变化在各时段都具有很好的 consistency, 基本符合正态分布的特点。张强等^[3]利用三峡坝区附近 6 个气象站气温资料研究表明三峡坝区年平均气温在 20 世纪 90 年代之后有显著上升趋势。廖要明等^[4]利用 5 个气象站分析了三峡库区 1951—2006 年的夏季平均气温和最高/最低气温的变化, 表明其年代际变化特征显著。陈鲜艳等^[5]研究三峡库区局地气候表明近 20 年来三峡库区年平均气温存在明显上升趋势, 且变幅明显增大。郭渠等^[6]分析表明 1924—2007 年来重庆市平均气温微弱变冷, 与全国平均温度相比线性变化趋势存在一定差异。平均最高和平均最低气温、极端最高和极端最低气温的非对称变化显著。张天宇等^[7]利用库区 17 个站资料分析库区气候变化特征表明库区增温主要从 20 世纪 90 年代开始, 且有加快趋势。以往研究多数集中在近 50 年来的变化, 更长的时间尺度仅仅是用宜昌站或重庆站单站来研究, 本文将利用三峡库区重庆和宜昌站的近百年气温资料, 对比分析重庆和宜昌气温长期变化的异同, 揭示三峡库区近百年气温的年际和年代际变化特征及其与全球气候变暖的

关系。由于地理和气候的差异, 我国各地气温的长期变化具有不同的特征, 通过深入了解三峡库区近百年来气温的变化, 不仅对充分认识该地区气候背景状况和气候资源变化有重要作用, 而且对三峡库区监测及整个长江流域可持续发展有重要参考意义。

2 资料和方法

三峡库区有百年以上记录的气象台站只有 2 个, 即重庆站和宜昌站。两站的月平均气温资料来自重庆市和湖北省气象局气象档案馆、中国气象科学数据共享服务网。重庆站, 即沙坪坝气象站, 国家基本站, 位于重庆市沙坪坝区(市区), 北纬 29° 35′、东经 106° 26′, 海拔高度为 259.1 m。沙坪坝站是重庆市一个基本气象观测中心站, 历史悠久, 观测门类齐全, 探测的气象要素较多, 设备精良, 从未迁过站。其气温观测资料是从 1924 年开始的。宜昌站, 国家基本站, 最近 1 次迁站时间为 1971 年 1 月 1 日, 现址宜昌市东山山顶, 东经 111° 18′, 北纬 30° 42′, 海拔 133.1 m。宜昌站气温观测也是从 1924 年开始的, 日本侵华期间, 气象记录被迫中断, 1938 年 5 月—1946 年 12 月的月平均气温资料是由陈正洪^[1]插补完成的。本文资料年限是 1924—2011 年共 88 年, 文中也称“近百年”。在计算气温距平值时, 参考气候值为 1971—2000 年的 30 a 气温平均值; 四季的时段分别为: 冬季(上年 12 月—本年 2 月)、春季(3—5 月)、夏季(6—8 月)、秋季(9—11 月)。

3 气温变化

图 1 给出了 1924—2011 年重庆、宜昌和三峡库区年平均气温距平变化, 曲线为 10 年二项式平滑线^[8]。可见重庆与宜昌近 88 年来气温的线性变化趋势都不明显, 两者的相关系数为 0.64, 通过了 99.9% 的信度检验。两者阶段变化是比较一致的, 两段显著增暖的时期分别是 20 世纪 20 年代中期至 40 年代和 20 世

纪 90 年代中期至今。差异主要体现在 20 世纪 60 年代中期到 70 年代中期, 此段时期重庆气温偏高年份明显多于宜昌, 波动更明显 (图 1 (a) 和 (b))。从逐年代对比来看 (表 1), 1970 年代重庆偏高, 而宜昌偏低, 其他年代距平符号都是一致的。1920 年代、1930 年代、1940 年代和 2000 年代同为显著偏暖的年代; 1950 年代和 1980 年代同为偏低的年代, 1980 年代偏低更为显著。

由于站点资料的限制, 库区接近百年观测资料仅重庆和宜昌 2 站, 本文用这两个代表站的平均来表示三峡库区 (下同), 计算了重庆、宜昌和三峡库区年平均气温的相关系数分别是 0.89 和 0.93, 远超 99.9%

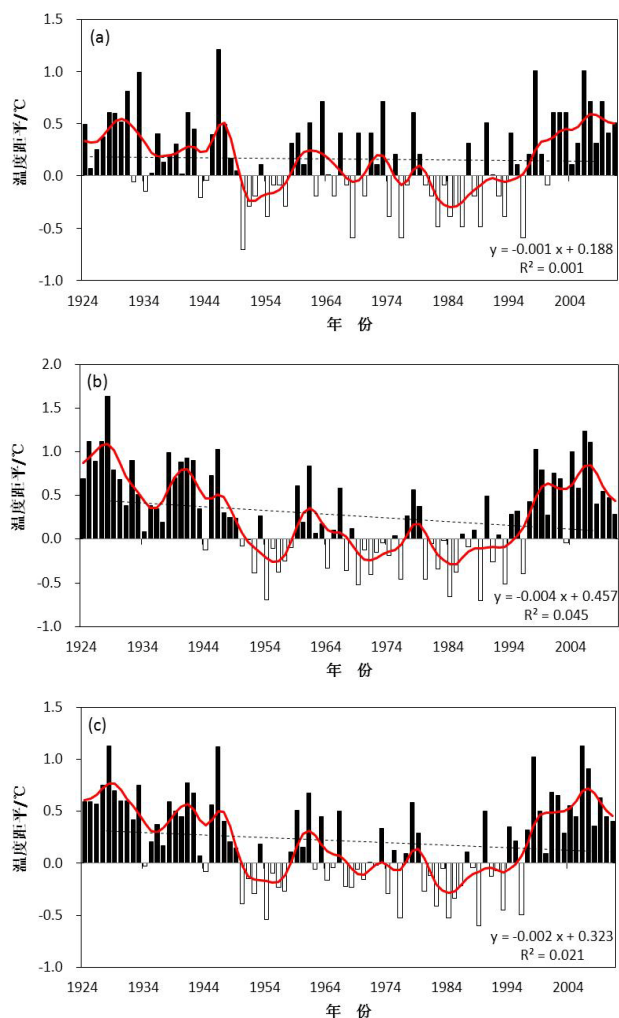


Figure 1. The anomaly variations of average temperature during 1924—2011 in Chongqing(a), Yichang (b) and the Three Georges Reservoir(c)

图 1. 1924—2011 年重庆(a)、宜昌(b)和三峡库区(c)年平均气温距平变化 (相对于 1971—2000 年, 虚线为线性趋势, 曲线为 10 年二项式平滑)

Table 1. The decadal anomalies of seasonal average temperature in Chongqing, Yichang and the Three Georges Reservoir
表 1. 重庆、宜昌和三峡库区每 10 年平均的年平均气温距平 (相对于 1971—2000 年)

年代	重庆	宜昌	三峡库区
1920s	0.42	0.99	0.70
1930s	0.27	0.54	0.40
1940s	0.24	0.45	0.35
1950s	-0.04	-0.08	-0.06
1960s	0.08	0.06	0.07
1970s	0.11	-0.04	0.03
1980s	-0.18	-0.16	-0.17
1990s	0.07	0.20	0.14
2000s	0.54	0.68	0.61

的信度检验。库区近 88 年年气温的线性趋势变化不明显, 为 $-0.024^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。阶段变化明显, 20 世纪 20 年代中期至 40 年代和 20 世纪 90 年代中期至今为显著偏暖阶段, 而 20 世纪 50 年代至 90 年代中前期以偏冷为主的时期也出现了阶段偏暖的时段, 比如 1958—1966 和 1973—1979 为短暂的偏暖时期 (图 1 (c))。

三峡库区 20 世纪 90 年代中后期至今出现的显著增温现象在时间上迟于我国 1986 年前后开始的普遍增温^[9]; 说明三峡库区气温变化与全球及全国气候变暖存在非同步性。库区显著偏暖的 10 年包括 1920 年代、1930 年代、1940 年代和 2000 年代。与全国相比, 全国气温 W 序列的 1920 年代、1940 年代和 2000 年代显著偏暖是一致的, 但是全国 T 序列 1920 年代的暖期不明显^[10], 而全国 1990 年代的显著偏暖与三峡库区不一致, 说明三峡库区 20 世纪 90 年代的增暖是明显滞后于全国增暖的。三峡库区近百年平均气温最高年份出现在 2006 年, 2006 年重庆遭遇百年一遇的高温干旱, 而全国平均气温最高的年份为 2007 年^[11]。

图 2 还给出了三峡库区年平均最高和最低气温的变化, 平均最高气温在 20 世纪 80 年代之前为偏高时段, 80 年代到 90 年代中前期为偏低时段, 90 年代中期至今为另一偏高时段 (图 2 (a))。而平均最低气温的变化与之存在差异, 20 世纪 90 年代中期之前为一段长时期的偏低时段, 之后为偏高时段 (图 2 (b))。与年平均气温变化对比发现, 相似的是 20 世纪 80 年代都为偏低时段, 90 年代中期至今都为显著偏高时段, 说明 20 世纪 80 年代后三峡库区年平均最高/最低气温与年平均气温变化的一致性很好。

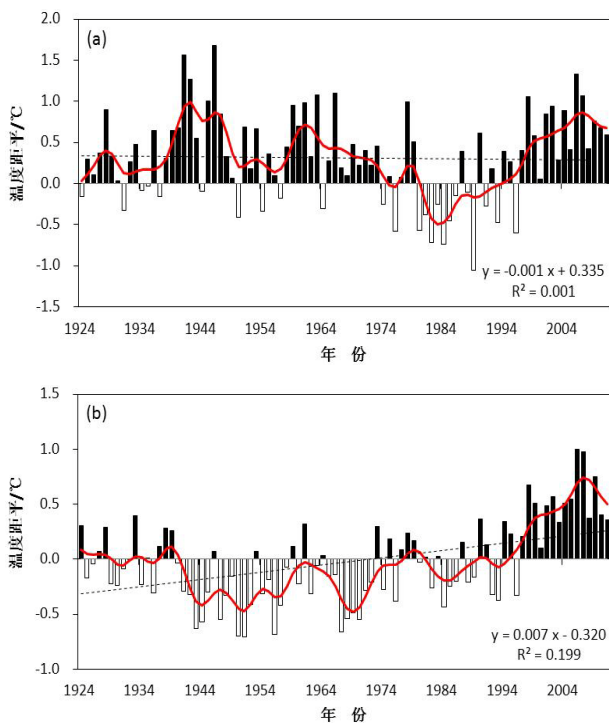


Figure 2. The anomaly variations of average max temperature(a), average min temperature(b) during 1924—2011 in the Three Georges Reservoir

图 2. 1924—2011 年三峡库区年平均最高气温(a)和最低气温(b)距平变化(相对于 1971—2000 年, 虚线为线性趋势, 曲线为 10 年二项式平滑)

除了年平均气温外, 还分析了库区四季气温的变化。图 3 给出了 1924—2011 年三峡库区四季平均气温距平变化, 表 2 还给出了三峡库区每 10 年平均的气温距平及 1924—2011 年的线性趋势。各季节气温变化存在差异, 从线性趋势看, 1924—2011 年三峡库区春、夏、秋、冬的线性变化分别为 $-0.019^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $-0.070^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $-0.028^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $0.005^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。逐年代变化来看, 三峡库区春季 1950 年代和 1980 年代偏低, 其他年代均偏高。夏季 1980 年代和 1990 年代偏低, 其他年代均偏高。秋季 1970 年代略偏低, 1980 年代偏低, 其他年代均偏高。冬季 1950 年代、1960 年代、1970 年代和 1980 年代偏低, 其他年代均偏高。总的来看, 三峡库区四个季节 1920 年代、1930 年代、1940 年代和 2000 年代都为温度偏高期, 1980 年代温度都偏低。四个季节最近一次增暖主要集中在 20 世纪 90 年代中期或中后期, 1990 年代冬季偏暖相比其他季节最多, 说明冬季增暖时间较其他季节提前。从 2000 年代偏暖程度来看, 春季增暖相比最显著, 夏季相比增暖最不明显。

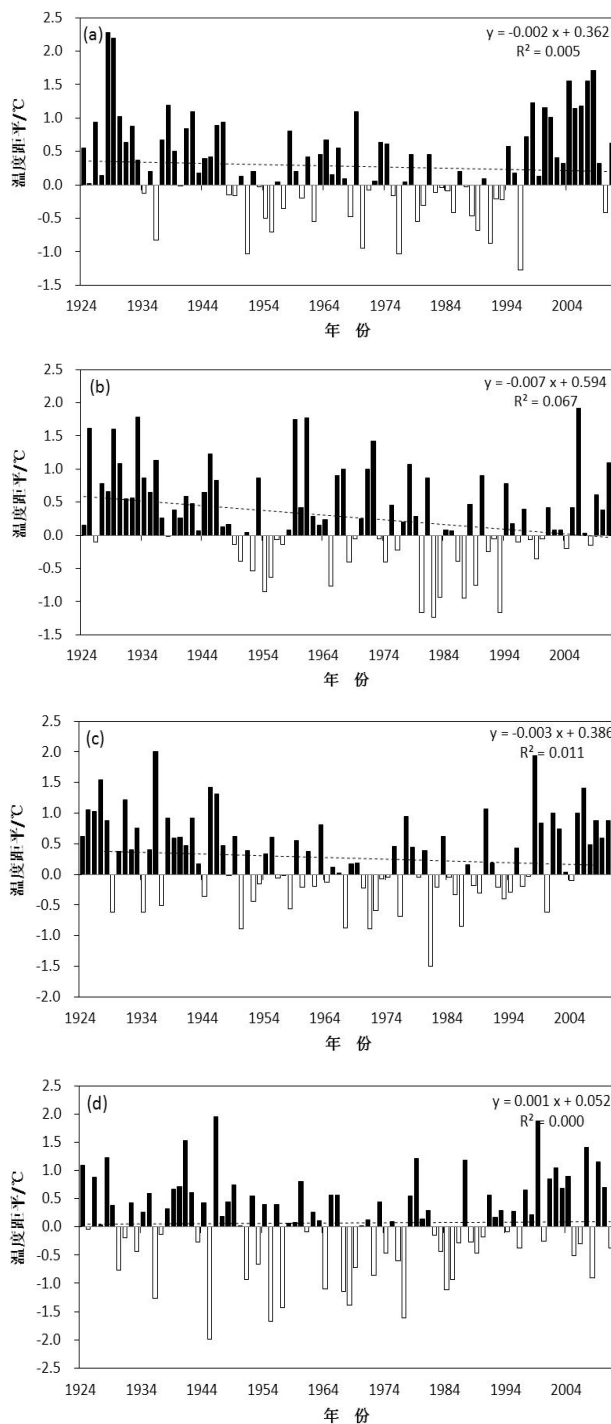


Figure 3. The anomalies of seasonal average temperature between 1924 and 2011 year relative to the average of 1971—2000

图 3. 1924—2011 年三峡库区 (a) 春; (b) 夏; (c) 秋和 (d) 冬季平均气温距平(相对于 1971—2000 年, 虚线为线性趋势)

4 突变和周期分析

用来检测气候突变的统计方法, 选用滑动 t 检验方法^[12], 它是用来检验两随机样本平均值的显著性差

Table 2. The decadal anomalies of seasonal average temperature and tendency rate during 1924—2011 in the Three Georges Reservoir

表 2. 三峡库区每 10 年平均的平均气温距平及 1924—2011 年的线性趋势(°C/10 a) (相对于 1971—2000 年)

	春季	夏季	秋季	冬季	全年
1920s	1.02	0.83	0.70	0.40	0.70
1930s	0.35	0.64	0.58	0.09	0.40
1940s	0.46	0.36	0.41	0.36	0.35
1950s	-0.16	0.09	0.04	-0.24	-0.06
1960s	0.15	0.33	0.03	-0.29	0.07
1970s	-0.03	0.26	-0.01	-0.10	0.03
1980s	-0.11	-0.19	-0.16	-0.24	-0.17
1990s	0.14	-0.07	0.17	0.33	0.14
2000s	0.88	0.36	0.69	0.50	0.61
2011	0.62	1.10	0.72	-0.37	0.40
1924~2011年线性趋势	-0.019	-0.070	-0.028	0.005	-0.024

异。本文讨论的是年代际突变，两子序列长度都取 11 a。图 4 给出了三峡库区年和四季平均气温的 11 a 滑动 t 检验曲线，图中两虚线为 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平线。从图 4 (a) 可见，重庆、宜昌和三峡库区三者的年平均气温滑动 t 检验统计曲线变化非常一致，近 88 年来发生两次突变，第一次突变发生于 1947 年，突变为降温趋势，与陈正洪^[1]得出的宜昌站在 1947—1950 年有转为降温的结论是一致的；第二次突变发生于 1996 年，突变为增暖趋势，与长江三峡库区气候变化影响评估报告的结论也是吻合的^[13]。各季节来看，春季平均气温与年平均气温的两次突变时间都非常吻合。夏季在 1946 年左右突变为降温趋势。秋季在 1948 年左右突变为降温趋势，1996 年突变为增暖趋势未能通过 0.01 的信度，只能通过 0.05 的信度，说明秋季平均气温在 20 世纪 90 年代中后期的突变较春季不明显。冬季在给定的 $\alpha = 0.01$ 的信度下检验不到突变点。结合图 1 和图 3，发现所检验的突变点是很清晰的。

为了分析三峡库区气温的周期，采用小波分析的方法。本文采用的是 Torrence C^[14]的小波功率谱，与小波能量谱^[15]的分析结果是一致的。结果表明，重庆站、宜昌站和三峡库区年平均气温的周期变化是比较一致的，年平均气温 2~4 a 周期变化最为显著，4 a 左右的周期 1980 年代后期开始非常显著。1920 年代到 1980 年代存在的 16~20 a 的年代际周期，但能量较年际周期弱；重庆的年代际周期较宜昌强，且显著

(图略)。

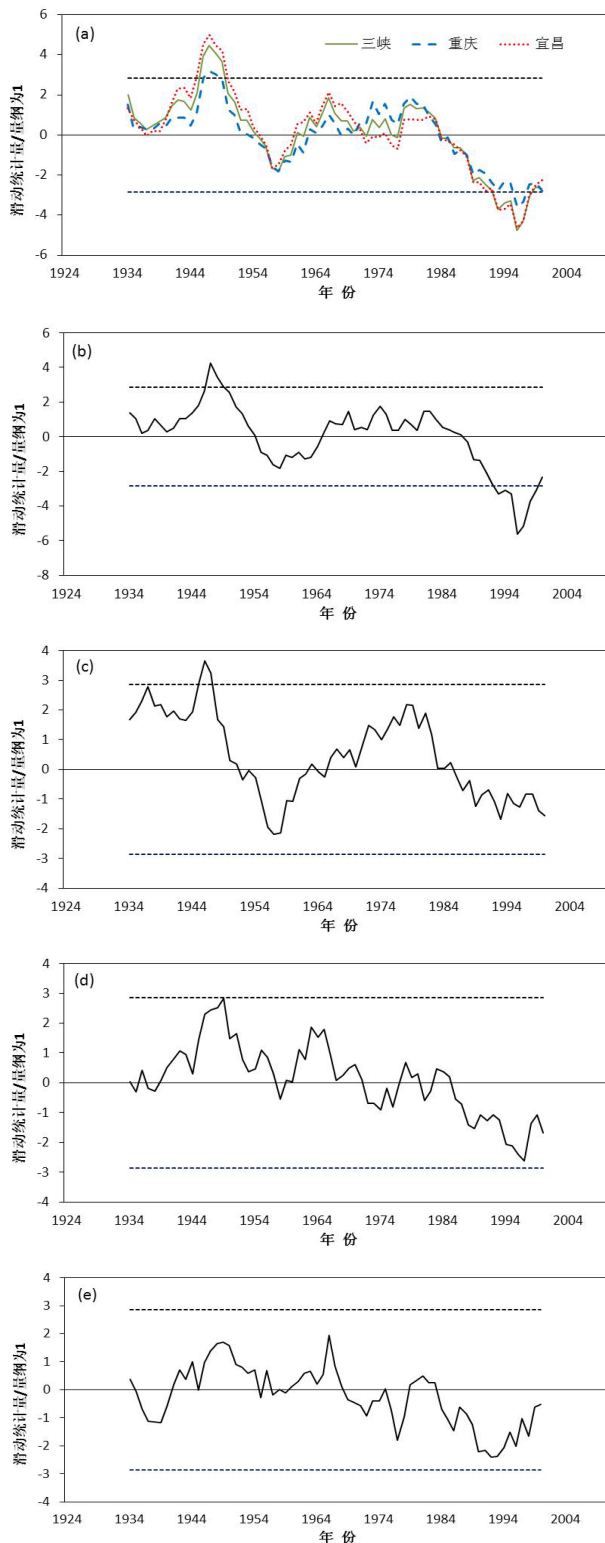


Figure 4. The Moving t-test technique curve of annual and seasonal average temperature between 1924 and 2011 year (a) annual; (b) spring; (c) summer; (d) autumn; (e) winter

图 4. 1924—2011 年三峡库区年和四季平均气温的滑动 t 检验曲线 (a) 年; (b); 春季 (c); 夏季 (d); 秋季 (e); 冬季

5 三峡库区气温变化与全球气候变暖的关系

IPCC 第 4 次评估报告指出, 自 1861 年以来, 全球表面年平均温度不断上升, 近 100 年来的上升幅度为 $0.74 \pm 0.18^{\circ}\text{C}$ ^[16]。气候变化具有很强的地域特征, 在全球气候变暖的大背景下, 各地气候变化趋势与强度并不完全一致。图 5 给出了 1924—2011 年三峡库区与全球气温变化距平图, 全球平均气温序列来自美国国家气候资料中心 (National Climatic Data Center), 是作为国际上常用的 3 个序列之一^[17]。由图可见, 1924 年以来三峡库区与全球气温变化存在较大差异, 两者相关系数仅为 0.07。最近一次显著增暖时间比较, 从 20 世纪 80 年代中期开始, 全球气温转为持续正距平时期; 而三峡库区比全球也滞后约 10 年, 在 20 世纪 90 年代中期后转为持续正距平时期 (见图 5 中两实心圆)。表 3 还给出了三峡库区和全球年平均温度逐年代距平变化, 对比发现, 1920—1940 年代三峡库区为正距平, 而全球为负距平; 1950 年代、1960 年代和 1970 年代全球气温明显偏低, 而同期三峡库区仅略偏低/高; 1980 年代三峡库区气温显著偏低, 而全球已经开始增温, 距平为略偏高; 1990 年代全球偏高程度高于三峡库区; 到了 21 世纪初即 2000 年代, 全球气温增温显著, 不过三峡库区增温幅度明显高于全球。

6 小结

(1) 对比分析了 1924—2011 年三峡库区重庆和宜昌气温的变化特征, 线性趋势、年代变化、突变和周期分析表明两者变化是比较一致的, 两段显著偏暖的时期分别是 20 世纪 20 年代中期至 40 年代和 20 世纪 90 年代中期至今。差异主要体现在 20 世纪 60 年代中期到 70 年代中期, 此段时期重庆气温偏高年份

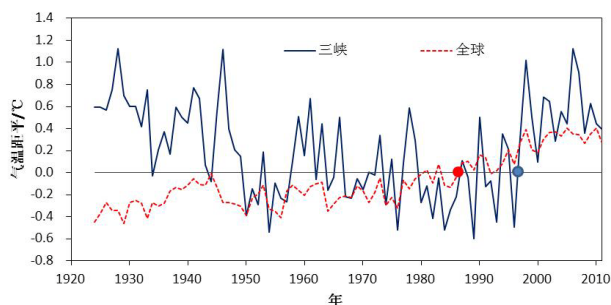


Figure 5. The anomalies of average temperature in global and the Three Georges Reservoir during 1924—2011

图 5. 三峡库区和全球平均气温距平 (相对于 1971—2000 年)

Table 3. The decadal anomalies of seasonal average temperature during 1924—2011 in the Three Georges Reservoir and Global
表 3. 三峡库区和全球每 10 年平均的年平均温度距平 (相对于 1971—2000 年)

年代	三峡	全球
1920s	0.70	-0.36
1930s	0.40	-0.24
1940s	0.35	-0.19
1950s	-0.06	-0.23
1960s	0.07	-0.19
1970s	0.03	-0.16
1980s	-0.17	0.01
1990s	0.14	0.16
2000s	0.61	0.35

明显多于宜昌站, 波动更明显。

(2) 用重庆和宜昌的平均来代表三峡库区, 库区阶段变化与重庆、宜昌站基本一致, 20 世纪 90 年代中后期至今出现的显著增温现象迟于我国 1986 年前后开始的普遍增温。各季节的气温变化存在差异, 四个季节最近一次增暖主要集中在 20 世纪 90 年代中期或中后期, 冬季增暖时间较其他季节提前。进入 21 世纪以来, 春季增暖相比最显著, 夏季相比增暖最不明显。

(3) 近 88 年来三峡库区年平均气温发生两次突变, 1947 年左右突变为降温趋势; 1996 年左右突变为增暖趋势。春季平均气温与年平均气温的两次突变时间都非常吻合。夏季平均气温在 1946 年左右突变为降温趋势。秋季平均气温在 1948 年左右突变为降温趋势, 1996 年突变为增暖趋势不明显。冬季平均气温未发生明显突变。周期分析表明重庆站、宜昌站和三峡库区年平均气温的周期变化是比较一致的, 年平均气温 2~4 a 周期变化最为显著, 4 a 左右的周期 1980 年代后期开始显著。1920 年代到 1980 年代存在的 16~20 a 的年代际周期, 但能量较年际周期弱; 重庆的年代际周期较宜昌强, 且显著。

(4) 1924—2011 年三峡库区与全球气温变化存在较大差异。最近一次显著增暖时间比较, 从 20 世纪 80 年代中期开始, 全球气温转为持续正距平时期; 而三峡库区比全球也滞后约 10 年, 在 20 世纪 90 年代中期后转为持续正距平时期。

参考文献 (References)

[1] 陈正洪. 武汉、宜昌 20 世纪平均气温突变的诊断分析[J].

三峡库区近百年来气温变化特征

- 长江流域资源与环境, 2000, 9(1): 56-62.
- [2] 王梅华, 刘莉红, 张强. 三峡地区气候特征[J]. 气象, 2002, 31(7): 68-71.
- [3] 张强, 万素琴, 毛以伟, 等. 三峡库区复杂地形下的气温变化特征[J]. 气候变化研究进展, 2005, 1(4): 164-167.
- [4] 廖要明, 张强, 陈德亮. 1951—2006年三峡库区夏季气候特征[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(6): 368-372.
- [5] 陈鲜艳, 张强, 叶殿秀, 等. 三峡库区局地气候变化[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(1): 47-51.
- [6] 郭渠, 孙卫国, 程炳岩, 等. 重庆市气温变化趋势及其可能原因分析[J]. 气候与环境研究, 2009, 14(6): 646-656.
- [7] 张天宇, 范莉, 孙杰, 等. 1961—2008年三峡库区气候变化特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(Z1): 52-61.
- [8] 李少娟, 河大明, 傅开道. 澜沧江与下湄公河水位过程的关联分析[J]. 科学通报, 2006, 51(增): 40~47.
- [9] 林学椿, 于淑秋, 唐国利. 中国近百年温度序列[J]. 大气科学, 1995, 19(5): 525-534.
- [10] 《第二次气候变化国家评估报告》编写委员会. 第二次气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [11] 中国气象局. 中国气象局 2011 年年度报告[R]. 2012.
- [12] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 57-60, 71-82.
- [13] 蔡庆华, 刘敏, 何永坤, 等. 长江三峡库区气候变化影响评估报告[M]. 北京: 气象出版社, 2010.
- [14] C. Torrence, G. P. Compo. A practical guide to wavelet analysis. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79(1): 61-78.
- [15] 吴洪宝, 吴蕾. 气候变率诊断和预测方法[M]. 北京: 气象出版社, 2005.
- [16] IPCC. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge. United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press, 2007.
- [17] 唐国立, 王绍武, 闻新宇, 等. 全球平均气温序列比较[J]. 气候变化研究进展, 2011, 7(2): 85-89.