

云南近百年来温度雨量的变化特征分析^{*}

郑建萌¹, 任菊章², 张万诚²

(1. 云南省气候中心, 云南 昆明 650034; 2. 云南省气象科学研究所, 云南 昆明 650034)

摘 要: 用气候倾向率、Morlet 小波方法, 对云南 10 个站 1901–2007 年的年降水和平均温度资料分析表明: 100 年来云南平均增温速率为 $0.031^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。近 50 年来全省平均增温速率为 $0.242^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 略高于全国的增温, 增温最大的是滇中的昆明、滇南的普洱, 分别为 $0.442^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.409^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 并且西部明显高于东部。100 年来云南年降水呈减少趋势, 平均速率为 $7.288\text{ mm}/10\text{a}$, 近 50 年来, 年降水量减少平均速率为 $6.66\text{ mm}/10\text{a}$ 。但云南降水的区域分异非常明显, 云南的东部、中部降水减少; 而滇西北和滇东南地区降水增加。云南气温明显的年代际变化是 32 年, 发生了 3 次突变。年降水呈明显的年代际及年际振荡, 具有 16~32 年、4~8 年周期。

关键词: 温度; 年雨量; 突变; 年际和年代际变化; 云南

中图分类号: P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000–811X(2010)03–0024–08

IPCC 第四次评估报告显示, 过去 100 年(1906–2005 年)全球地表平均气温升高 0.74 ($0.56\sim 0.92$) $^{\circ}\text{C}$, 人类活动很可能是导致气候变暖的主要原因^[1]。最近 50 年, 在气候变化和人类活动的双重影响下, 中国西部生态环境进一步恶化, 引发水资源紧缺、水土流失、冰川萎缩、河川断流等一系列水资源环境恶化问题^[2]。1990 年代以来, 云南西双版纳及思茅等地已成为云南省大风、冰雹等气象灾害发生频率最高的地区之一, 几乎为全省平均频数的 3~5 倍; 年降水日数由 1950 年代的每年 270 d 锐减到目前年降水日数仅有约 150 d; 年雾日数由 180 d 减少到 30 d, 热带雨林气候正在发生明显变化。连续的干旱和植被破坏已使元谋、巧家等金沙江河谷地区干旱日趋明显, 水土流失和荒漠化进程显著加速等。因此, 研究区域气候变化特征具有重要意义。

在全球变化背景下, 地球环境的许多要素也发生了变化^[3]。近几年来, 云南天气气候极端异常事件出现频繁。干旱、洪涝、低温冷害等气象灾害频繁发生, 并呈加剧的趋势, 给全省的国民经济造成巨大的损失。2004 年 3 月全省高温突出, 49 个县(市)月平均气温突破历史最高记录, 33 县(市)极端最高气温破历史最高记录。2005 年 4 月上旬至 6 月上旬全省大部地区降水偏少、气温偏高, 出现 50 年来最严重的初夏干旱, 造成工农业经济损失 133 亿元。2006 年 1–4 月上旬全省降水持续偏少, 气温偏高, 出现严

重的冬春连旱, 致使森林火灾发生频繁。2008 年 2 月云南大范围出现罕见的雨雪冰冻灾害。2009 年 9 月–2010 年 2 月, 全省降水较常年偏少 53.2%, 气温较常年同期偏高 1.4°C , 发生了自有气象记录以来最严重的秋冬连旱, 目前干旱还在发展。据云南省防汛抗旱指挥部截止 2010 年 3 月 7 日统计, 严重干旱已造成秋冬播农作物 212 万 hm^2 受灾, 绝收 89 万 hm^2 , 因旱全省农业直接经济损失超过 127.88 亿元。

100 年来云南气候变化的事实是各级政府决策以及实施可持续发展战略非常重视的问题, 气象工作者对气温、降水变化做过一些研究, 且主要集中在对昆明气温和降水的研究或所用资料样本较短^[4–6]。彭贵芬等^[7]分析云南干旱的变化趋势, 而陶云等^[8–9]分析 46 年来的四季降水及气温特征, 发现云南夏秋季降水减少, 春冬季降水增加; 而四季气温增温明显。由于全球气候变化受地形、人为活动的影响, 区域或特定地区的气候变化特征具有时间和空间的特殊性。本文在前人研究的基础上, 分析 100 年来, 特别是最近 50 年云南区域的气候变化特征, 为云南省各级政府制定防灾减灾规划提供决策依据。

1 资料与方法

1.1 资料

考虑到一些气象观测站的资料受迁站的影响,

^{*} 收稿日期: 2010–01–26

基金项目: 国家自然科学基金(40965006, u0933603); 中国气象局气候变化专项(CCSF–09–18)

作者简介: 郑建萌(1966–), 女, 云南个旧人, 高级工程师, 主要从事短期气候预测及诊断研究. E-mail: hhzth@sina.com

研究范围取云南昆明、昭通、沾益、蒙自、丽江、香格里拉、大理、普洱、临沧、腾冲 10 个气象站点(图 1)。资料为上述 10 个站 1901–2007 年的年平均温度和年降水量资料, 其中大理、腾冲、蒙自、昆明、沾益、丽江、昭通站(1951–2007 年), 普洱(1952–2007 年)、临沧(1954–2007 年)、香格里拉(1958–2007 年)站有实测资料, 其余时段的数据为云南省 85 攻关课题子课题“云南干湿、冷暖气候变化趋势的分析与预测 85A03201”的研究成果^[4,10]。



图 1 云南省 47 年的年平均气温变化幅度(单位:℃)

1.2 方法简介

(1)线性倾向估计: 用一元线性回归拟合观测要素的时间序列和气候变量的关系。

$X(i) = a + bx(i)$, ($i = 1, 2, \cdots, n$), (1)
式中: $x(i)$ 表示第 i 年的气候变量, b 称为气候变量的倾向率, 其正负说明变化趋势的方向。

(2)用 Morlet 小波变换^[11]作温度、雨量的年际及年代际变化及突变点检测。Morlet 小波变换方法主要介绍如下:

$$\psi(t') = a^{-\frac{1}{2}} e^{ic t'} e^{-\frac{t'^2}{2}},$$
 (2)

表 1 10 个站每 10 年平均的温度距平(℃)及 1901–2007 年的变化倾向率(℃/10a)

	昆明	昭通	沾益	蒙自	丽江	香格里拉	大理	普洱	临沧	腾冲	区域平均
1901–1910	−0.6	−0.4	−0.6	−0.6	−0.3	−0.7	0.3	−0.8	−0.4	−0.5	−0.46
1911–1920	−0.6	−0.4	−0.5	−0.5	0.1	−0.4	0.7	−0.6	−0.1	−0.1	−0.24
1921–1930	0.6	−0.4	0.8	0.5	0.5	0.0	1.2	−0.2	0.3	0.4	0.37
1931–1940	0.8	−0.3	1.0	0.7	0.5	−0.1	1.1	−0.3	0.2	0.3	0.39
1941–1950	0.8	0.9	1.0	0.7	0.1	−0.1	0.7	−0.5	−0.1	−0.1	0.34
1951–1960	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	−0.2	0.6	−0.8	−0.2	−0.3	−0.03
1961–1970	−0.4	−0.1	−0.1	−0.1	−0.1	−0.7	0.0	−0.6	−0.3	−0.4	−0.28
1971–1980	−0.5	0.0	−0.1	−0.2	−0.1	−0.4	−0.1	−0.6	−0.2	−0.2	−0.24
1981–1990	−0.1	−0.1	−0.1	0.0	0.0	0.0	−0.1	0.1	0.0	−0.1	−0.04
1991–2000	0.7	0.1	0.0	0.1	0.1	0.3	0.0	0.4	0.3	0.3	0.23
2001–2007	1.2	0.7	0.3	0.7	0.6	0.8	0.4	0.9	0.7	0.7	0.70
107 年倾向率	0.071	0.017	0.006	0.035	0.009	0.079	−0.092	0.105	0.041	0.040	0.031
47 年倾向率	0.442	0.143	0.096	0.194	0.161	0.383	0.084	0.409	0.251	0.261	0.242

2.2 近 50 年来的温度变化

表 1 中的 57 年为 1951–2007 年时段的数据,

式中: $t' = (t - t_0)/a$, 其中 $a > 0$, 为尺度参数; t_0 为时间位置参数; c 为常数。 $\psi(t')$ 反映的是波长约为 $2a$ 的波动信号。对于任意要研究的一维号 $f(t)$ 的小波变换可以表示为:

$$\psi(t_0, a) = C^{-1} \int a^{\frac{1}{2}} f(t) \tilde{\psi}(t') dt,$$
 (3)

式中: $\tilde{\psi}(t')$ 是 $\psi(t')$ 的复共轭, C^{-1} 是比例常数, 由实际序列与恢复序列的方差确定。刘太中等证明小波系数穿过零的点即为 $f(t)$ 的突变点^[12]。用小波变换与统计检验结合的方法确定多尺度气候突变点。

2 温度变化趋势

2.1 100 年来的温度变化

对云南区域 10 个代表站 1901–2007 年的年平均温度作时间趋势分析, 从表 1 可看出, 除大理呈 $-0.092\text{℃}/10\text{a}$ 下降外, 其余地区为上升趋势, 增暖幅度最大的是滇南的普洱为 $0.105\text{℃}/10\text{a}$, 其次是滇西北香格里拉为 $0.079\text{℃}/10\text{a}$ 。从每 10 年代的距平(平均值为 1971–2000 年)可看出, 云南在 20 世纪以来主要经历了两个冷期和两个暖期: 1920 年代以前和 1960–1970 年代的冷期, 1920–1950 年代和 1990 年代以来的暖期, 这与全国、北半球、全球的变化基本相似^[13]。有趣的是香格里拉和普洱在 1980 年代以前均为偏冷期, 1990 年代以来快速增温, 而大理在 1960 前都为偏暖期。1901–2007 年全省平均增温速率为 $0.031\text{℃}/10\text{a}$, 低于全国平均的增温速率 $0.05 \sim 0.08\text{℃}/10\text{a}$ (1905–2001 年), 但普洱($0.105\text{℃}/10\text{a}$)高于全国平均增幅, 其它地区低于全国增温速率, 说明 100 年来全省的温度变化趋势与全国大体一致。

考虑到云南大部份站从 1951 年后才有统一的观测资料, 为了便于与其它研究成果比较, 取 1961–

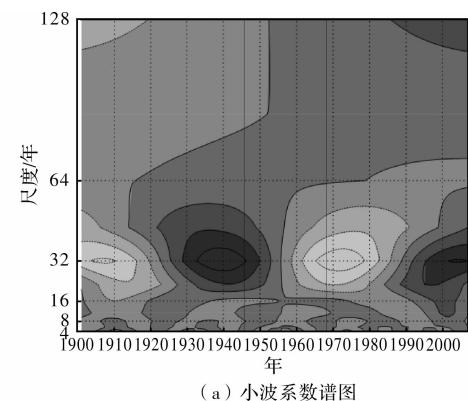
2007 年(47 年,下同)的资料对云南的气温变化作分析。从表 1 可看出,云南区域 10 个代表站 47 年以来呈增温趋势,全省平均增温速率为 $0.242^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,和文献[9]的基本一致,略高于最近 50 年(1951 – 2001 年)全国平均的增温速率 $0.22^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ [13];增温最大的是滇中的昆明、滇南的普洱,分别为 $0.442^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.409^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,其次是滇西北的香格里拉增温为 $0.383^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,而滇西南的临沧、滇西西南部的腾冲增暖也较明显在 $0.25^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 以上。从表 1 可知,从 1990 年代以来云南各地变暖趋势明显,2001 年以来,各地增暖尤其明显,与 21 世纪以来云南冬春干旱加重明显相对应[7],但与全国增暖主要发生在 1980 年代中期后[13]略有不同。从图 1 可看出,47 年以来云南气温上升幅度为 $0.40 \sim 2.08^{\circ}\text{C}$,滇中、滇南、滇西北、滇西南及滇西西南部气温增加最快在 1.18°C 以上,昆明最高为 2.08°C ,而且增温幅度明显高于全国平均(1.1°C) [13],云南东部以及西部的大理、丽江增温缓慢在 $0.4 \sim 0.91^{\circ}\text{C}$ 低于全国平均增幅。从整体上看,全省增温幅度分布西部明显高于东部,说明云南的温度变化具有明显的区域特征。

2.3 温度多尺度特征

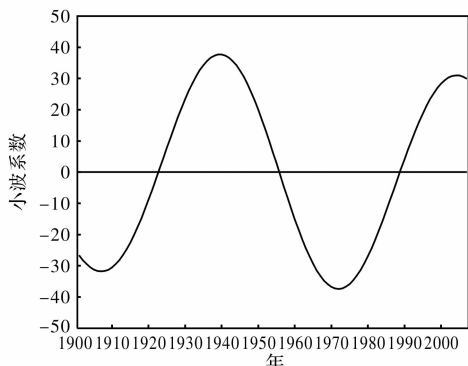
图 2a 是 1901 – 2007 年昆明年平均温度 Morlet 变换的小波系数,图的上半部分为低频,对应长周期的变化,下半部分为高频,对应短周期的变化(下同)。

在年代际尺度(10 年以上)有 2 高 2 低中心,就 32 年的大尺度而言,最明显的高值中心(气温偏高)在 1980 年代末至今,次高值中心在 1923 – 1955 年;最明显的低值中心(气温相对偏低)在 1201 – 1920 年,次低中心在 1950 年代中期至 1980 年代末,表明 1920 年代前气温相对较低,1920 – 1950 年代中期气温相对偏高,1950 年代中期至 1980 年代末气温偏低,从 1990 年代开始至今处于气温相对上升阶段,这与尤卫红[6]得到的近百年来昆明的气温变化主要经历(32 年尺度)1919 年以前的偏冷期,1920 年至 1954 的偏暖期,1987 年以后的偏暖期基本一致;从 16 年的尺度来看,1901 年以来气温由 3 个相对偏高和 3 个偏低时期构成,总体来说最明显的偏低时段在 1920 年代以前和 1975 – 1991 年间,最明显的增温时段在 1920 – 1936 年以及 1992 年至今。在年际尺度(10 年以下)上,8 年尺度表现相对较为明显,明显的高值时段有 5 个(1907 – 1913、1934 – 1938、1947 –

1954、1980 – 1988、1998 – 2006 年),低值有 4 个(1914 – 1920、1955 – 1962、1971 – 1979、1989 – 1997 年)。



(a) 小波系数谱图



(b) 时间尺度为 32 年的小波变换

图 2 昆明年平均温度的 Morlet 变换

图 2b 是昆明年平均温度取 32 年时间尺度的小波变换,小波系数通过零的点有 1923、1955、1988 年 3 个,按照小波的奇异特性可知,年平均温度在 1923、1955、1988 年发生了突变,统计结果表明 1923 年前(1901 – 1922 年)后(1923 – 1955 年)的距平平均值分别为 -0.5 和 0.7 ,1988 年前(1956 – 1988)后(1989 – 2007)的距平平均值分别为 -0.3 和 0.8 ,突变前后的状态对应着非线性系统的高低吸引子;1923 年前后的 t 统计量值为 2.99 (显著性水平 0.05 的 t 是 2.0),1955 年前后的 t 为 3.22 ($\alpha=0.05$ 时 t 为 1.98),1988 年前后的 t 是 2.55 ($\alpha=0.05$ 的 t 为 2.0),均超过显著性水平 $\alpha=0.05$ 的检验,对应于这种大尺度的冷暖交替,昆明的气温变化表现出十分明显的突变特征,与文献[6]中昆明发生了 3 次突变大体一致。若时间尺度取 16 年时,小波系数通过零的突变点有 5 个,温度高低时段中均含有较小尺度的冷暖交替,若时间尺度取 8 年时,出现间隔更小的 14 个突变点,这就构成了多尺度层次的谱系结构。表 2 列出 10 个站时间尺度 32 年、16 年、8 年的突变点划分的时段。

表 2		云南 10 个代表站温度(℃) 多尺度层次的突变时段									
		昆明	昭通	沾益	蒙自	丽江	香格里拉	大理	普洱	临沧	腾冲
32 年	1901 – 1922	1901 – 1923	1901 – 1923	1901 – 1922	1901 – 1917	1901 – 1919	1901 – 1918	1901 – 1915	1901 – 1916	1901 – 1916	1901 – 1916
	1923 – 1955	1924 – 1957	1924 – 1957	1923 – 1955	1918 – 1951	1920 – 1951	1919 – 1954	1916 – 1947	1917 – 1949	1917 – 1949	1917 – 1949
	1956 – 1988	1958 – 1991	1958 – 1990	1956 – 1989	1952 – 1985	1952 – 1984	1955 – 1990	1948 – 1981	1950 – 1983	1950 – 1983	1950 – 1983
	1989 – 2007	1992 – 2007	1991 – 2007	1990 – 2007	1986 – 2007	1985 – 2007	1991 – 2007	1982 – 2007	1984 – 2007	1984 – 2007	1984 – 2007
16 年	1901 – 1919	1901 – 1902	1901 – 1902	1901 – 1902	1901 – 1917	1901 – 1915	1901 – 1915	1901 – 1917	1901 – 1917	1901 – 1917	1901 – 1917
	1920 – 1936	1903 – 1921	1903 – 1920	1903 – 1920	1918 – 1935	1916 – 1931	1916 – 1932	1918 – 1935	1918 – 1935	1918 – 1935	1918 – 1935
	1937 – 1955	1922 – 1948	1921 – 1946	1921 – 1940	1936 – 1955	1932 – 1947	1933 – 1948	1936 – 1954	1936 – 1953	1936 – 1955	1936 – 1955
	1956 – 1974	1949 – 1966	1947 – 1967	1941 – 1965	1956 – 1976	1948 – 1964	1949 – 1962	1955 – 1973	1954 – 1973	1956 – 1975	1956 – 1975
	1975 – 1991	1967 – 1982	1968 – 1984	1966 – 1981	1977 – 1995	1965 – 1991	1963 – 1975	1974 – 1990	1974 – 1992	1976 – 1993	1976 – 1993
	1992 – 2007	1983 – 1997	1985 – 2000	1982 – 1996	1996 – 2007	1992 – 2007	1976 – 1987	1991 – 2007	1993 – 2007	1994 – 2007	1994 – 2007
		1998 – 2007	2001 – 2007	1997 – 2007			1988 – 2001				
时 段							2002 – 2007				
	1901 – 1906	1901 – 1905	1901 – 1906	1901 – 1906	1901 – 1904	1901 – 1903	1901 – 1906	1901 – 1903	1901 – 1904	1901 – 1904	1901 – 1904
	1907 – 1913	1906 – 1913	1907 – 1913	1907 – 1913	1905 – 1913	1904 – 1913	1907 – 1914	1904 – 1913	1905 – 1914	1905 – 1913	1905 – 1913
	1914 – 1920	1914 – 1921	1914 – 1921	1914 – 1921	1914 – 1922	1914 – 1921	1915 – 1922	1914 – 1922	1915 – 1922	1914 – 1922	1914 – 1922
	1921 – 1927	1922 – 1930	1922 – 1929	1922 – 1931	1923 – 1930	1922 – 1929	1923 – 1930	1923 – 1929	1923 – 1930	1923 – 1930	1923 – 1930
	1928 – 1933	1931 – 1942	1930 – 1943	1932 – 1943	1931 – 1939	1930 – 1937	1931 – 1938	1930 – 1937	1931 – 1937	1931 – 1938	1931 – 1938
	1934 – 1938	1943 – 1951	1944 – 1952	1944 – 1951	1940 – 1948	1938 – 1945	1939 – 1946	1938 – 1944	1938 – 1945	1939 – 1946	1939 – 1946
	1939 – 1946	1952 – 1960	1953 – 1961	1952 – 1960	1949 – 1956	1946 – 1955	1947 – 1955	1945 – 1953	1946 – 1953	1947 – 1954	1947 – 1954
	1947 – 1954	1961 – 1969	1962 – 1970	1961 – 1969	1957 – 1964	1956 – 1967	1956 – 1964	1954 – 1961	1954 – 1960	1955 – 1963	1955 – 1963
	1955 – 1962	1970 – 1980	1971 – 1979	1970 – 1978	1965 – 1973	1968 – 1975	1965 – 1973	1962 – 1970	1961 – 1968	1964 – 1973	1964 – 1973
	1963 – 1970	1981 – 1990	1980 – 1989	1979 – 1988	1974 – 1981	1976 – 1982	1974 – 1981	1971 – 1979	1969 – 1978	1974 – 1982	1974 – 1982
	1971 – 1979	1991 – 1999	1990 – 1998	1989 – 1998	1982 – 1989	1983 – 1990	1982 – 1989	1980 – 1989	1979 – 1989	1983 – 1990	1983 – 1990
	1980 – 1988	2000 – 2007	1999 – 2007	1999 – 2007	1990 – 1998	1991 – 1998	1990 – 1997	1990 – 1998	1990 – 1998	1991 – 1998	1991 – 1998
	1989 – 1997				1999 – 2007	1999 – 2007	1998 – 2006	1999 – 2006	1999 – 2007	1999 – 2007	1999 – 2007
	1998 – 2006							2007 –	2007 –		
	2007 –										

滇东北(昭通)、滇东(沾益)温度的小波变换的谱系数图上(图略), 滇东北的年代际变化与昆明相似, 具有 2 高 2 低中心。32 年尺度上, 温度最明显的偏高时段在 1924 – 1957 年、1990 年代初至今。16 年尺度和 8 年尺度的温度变化与昆明相似, 但温度高低出现的时间略有差异。由表 2 可见, 在 32 年的尺度上小波系数通过零点有 3 个, 在 1923、1957 及 1991 年, 突变时间与昆明大体一致; 16 年的尺度上小波系数通过零的突变点有 6 个, 而在年际尺度 8 年上, 出现间隔更小尺度的 12 个突变点, 温度高低时段中均含有较小尺度的冷暖交替。

滇东南蒙自的温度在年代际、年际尺度上的冷暖变化的时间与滇东北、昆明基本一致, 最明显的偏高时段在 1923 – 1955 年、1990 年代初至今; 出现突变时间也基本一致, 在 1923、1955 年及 1989 年。

云南西部(丽江、香格里拉、大理)的年代际尺度小波谱(图略)也呈 2 高 2 低分布, 对于 32 年尺度上, 温度最明显的偏高时段在 1910 年代末至

1950 年代初期、1980 年代中期后至今; 16 年尺度和 8 年尺度的温度变化与昆明相似, 但温度高低出现的时间略有差异。从表 2 可见, 在 32 年尺度上的突变点有 3 个, 在 1918 年前后、1950 年代初、1980 年代中期; 16 年的尺度上有 5 ~ 7 个突变点, 而在年际尺度 8 年上, 出现更小尺度的 13 个突变点, 温度高低时段中均含有较小尺度的冷暖交替。

滇南、滇西南及滇西西南部(普洱、临沧、腾冲)在年代际尺度的小波谱(图略)也呈 2 高 2 低分布, 在 32 年尺度上, 最明显的升温时期在 1980 年代初至今、1910 年代末至 1940 年代末; 16 年尺度和 8 年尺度的温度变化与昆明相似。在 32 年的尺度上有 3 个突变点(表 2), 在 1915 – 1916 年、1947 – 1949 年、1981 – 1983 年, 16 年的尺度上有 6 个突变点, 而在年际尺度 8 年上, 出现 12 ~ 13 个突变点。

综上所述, 云南 100 年来的气温变化最明显的年代际变化呈 2 高 2 低分布。在 32 年的尺度上, 云南中部及东部(滇中、滇东、滇东北、滇东南)

出现偏高时段基本在 1980 年代末至今、1920 年代初期至 1950 年代中期，而西部、南部偏高时段基本在 1980 年代中期前后至今、1910 年代中期以后至 1940 年代末。发生了 3 次突变，但东西部出现的时间不同，东部出现在 1923、1955 – 1957 年间、1988 – 1991 年间，西部大致出现在 1916 – 1919 年间、1950 – 1954 年间及 1982 – 1985 年间。在 16 年尺度上，东西部则增加了更多的突变点。

3 降水变化趋势

3.1 100 年来的降水变化

从表 3 中可看出，100 年以来云南大部份地区

年降水呈减少趋势，减少最多的是滇西大理为 27.366 mm/10a。其次是滇南的普洱减少 22.977 mm/10a，东部的昭通、沾益、蒙自减少在 7.9 mm/10a 以上，但滇西北香格里拉、滇西西南部的腾冲呈增加趋势，腾冲地区增加最大为 5.629 mm/10a，其它地区降水呈微弱减少趋势。从表 3 可知，在 1950 年代前、1960 和 1990 年代云南大部降水量偏多，1950 年代、1970 – 1980 年代云南大部降水偏少，整体上具有明显的年代际变化，这与气候变化国家评估报告^[13]基本一致。1901 – 2007 年全省年降水呈减少趋势，平均速率为 7.288 mm/10a，与近 100 年(1905 – 2001 年)全国年降水量趋势变化不显著^[13]不同。

表 3	10 个代表站每 10 年平均的降水距平 (mm) 及 1901 – 2007 年的变化倾向率 (mm/10a)										
	昆明	昭通	沾益	蒙自	丽江	香格里拉	大理	普洱	临沧	腾冲	区域平均
1901 – 1910	– 63.3	– 31.5	26.2	11.6	– 6.6	– 12.9	159.0	99.9	– 8.6	– 76.1	9.77
1911 – 1920	98.7	74.8	83.1	70.3	50.2	– 11.3	168.5	222.4	– 15.3	– 84.5	65.69
1921 – 1930	41.5	110.1	66.7	131.2	66.8	19.2	261.1	163.4	65.6	46.3	97.19
1931 – 1940	– 33.5	10.4	2.9	49.7	27.4	– 19.8	315.8	121.8	2.0	– 64.3	41.24
1941 – 1950	7.7	37.1	22.9	– 12.4	38.5	– 35.6	310.1	83.4	– 57.0	– 133.0	26.17
1951 – 1960	– 63.3	32.3	– 73.0	– 80.0	– 47.8	– 51.0	– 21.5	17.7	– 38.0	– 43.1	– 36.77
1961 – 1970	22.0	44.9	114.6	– 25.5	10.0	– 32.6	91.2	51.0	41.0	– 139.7	17.69
1971 – 1980	23.7	19.5	32.4	– 24.2	– 29.3	– 15.2	6.7	– 28.2	– 6.3	– 18.2	– 3.91
1981 – 1990	– 61.3	5.8	– 20.1	6.9	– 23.3	– 34.0	– 63.3	24.6	– 7.5	18.1	– 15.41
1991 – 2000	37.6	– 25.3	– 12.4	17.3	52.6	49.2	56.6	3.6	13.7	0.1	19.3
2001 – 2007	– 19.2	– 99.2	– 65.3	– 24.9	36.6	– 17.9	2.5	– 76.3	– 18.2	– 1.3	– 28.32
107 年倾向率	– 1.741	– 8.162	– 7.891	– 8.785	– 1.735	0.796	– 27.366	– 22.977	– 0.645	5.629	– 7.288
47 年倾向率	– 9.163	– 30.199	– 42.147	3.559	17.177	12.596	– 8.363	– 28.648	– 9.882	28.471	– 6.660

3.2 近 50 年的降水变化

从表 3 可看出，47 年来云南的东部及东北部、中部、南部及西部部分地区降水量呈减少趋势，减少最多的是滇东的沾益，其变化速率为 42.147 mm/10a，其次是滇东北的昭通和滇南的普洱，分别为 30.199 mm/10a 和 28.648 mm/10a，滇中的昆明、滇西南的临沧和滇西大理减少速率在 9 mm/10a 左右；云南其它地区年降水与全国(1956 – 2000 年)相似呈增加^[13]趋势，增加最大的是滇西西南部的腾冲为 28.471 mm/10a，其次是滇西北的丽江、香格里拉，增加为 12.6 mm/10a 以上。全省平均的降水变化率为 6.66 mm/10a，呈下降趋势，总体趋势和文献[8]的结论一致，但比全国年降水量(1951 – 2002 年)减少 5.69 mm/10a^[14]的幅度略大。

云南降水量变化区域分异非常明显，47 年来滇东、滇东北、滇南、滇中和滇西部分地区(图略)降水减少幅度为 39.3 ~ 198.1 mm，减少幅度最

大的是滇东北；而滇西北、滇东南和滇西西南部地区降水增加幅度为 16.7 ~ 133.8 mm，增加幅度最大的区域位于滇西西南部腾冲及滇西北地区。

3.3 降水多尺度特征

图 3a 是滇东北昭通 1901 – 2007 年的年降水小波谱系数图。在年代际尺度 16 ~ 32 年上，呈 2 高 3 低分布，最强的降水期在 1910 年代初至 1920 年代末以及 1960 年代末至 1980 年代初期，降水偏少期主要在 1910 年代前和 1990 年代初至今；在年际尺度上，以 4 ~ 8 年尺度的周期最明显，由多个偏多期和偏少期构成。图 3b 是年降水为 16 年尺度时的小波变换，发生了 6 次突变，分别是 1912、1928、1944、1959、1974、1990 年，统计检验表明突变前后的状态对应着非线性系统的高低吸引子；若时间尺度取 8 年时，突变点有 14 个。表 4 列出 10 个站用时间尺度 32 年、16 年、8 年的突变点划分出的时段。

表 4 云南 10 个代表站雨量 (mm) 多尺度层次的突变时段

	昆明	昭通	沾益	蒙自	丽江	香格里拉	大理	普洱	临沧	腾冲
32 年	1901	1901 - 1903	1901 - 1926	1901 - 1906	1901 - 1916	1901 - 1908	1901 - 1920	1901	1901 - 1931	1901 - 1910
	1902 - 1933	1904 - 1931	1927 - 1957	1907 - 1940	1917 - 1950	1909 - 1943	1921 - 1955	1902 - 1934	1932 - 1962	1911 - 1942
	1934 - 1964	1932 - 1957	1958 - 1988	1941 - 1974	1951 - 1985	1944 - 1977	1956 - 1991	1935 - 1964	1963 - 1993	1943 - 1976
	1965 - 1992	1958 - 1986	1989 - 2007	1975 - 2007	1986 - 2007	1978 - 2007	1992 - 2007	1965 - 1990	1994 - 2007	1977 - 2007
	1993 - 2007	1987 - 2007						1991 - 2007		
16 年	1901 - 1909	1901 - 1912	1901 - 1906	1901 - 1922	1901 - 1911	1901 - 1902	1901 - 1914	1901 - 1908	1901 - 1904	1901 - 1916
	1910 - 1925	1913 - 1928	1907 - 1922	1923 - 1942	1912 - 1929	1903 - 1919	1915 - 1931	1909 - 1924	1905 - 1921	1917 - 1931
	1926 - 1941	1929 - 1944	1923 - 1933	1943 - 1960	1930 - 1951	1920 - 1937	1932 - 1948	1925 - 1939	1922 - 1940	1932 - 1945
	1942 - 1953	1945 - 1959	1934 - 1944	1961 - 1977	1952 - 1971	1938 - 1954	1949 - 1964	1940 - 1950	1941 - 1959	1946 - 1960
	1954 - 1964	1960 - 1974	1945 - 1959	1978 - 1994	1972 - 1988	1955 - 1971	1965 - 1980	1951 - 1963	1960 - 1978	1961 - 1976
8 年	1965 - 1978	1975 - 1990	1960 - 1976	1995 - 2007	1989 - 2005	1972 - 1987	1981 - 1996	1964 - 1979	1979 - 1995	1977 - 1993
	1979 - 1994	1991 - 2007	1977 - 1991		2006 - 2007	1988 - 2004	1997 - 2007	1980 - 1995	1996 - 2007	1994 - 2007
	1995 - 2007		1992 - 2007			2005 - 2007		1997 - 2007		
	1901 - 1906	1901 - 1907	1901 - 1905	1901 - 1907	1901 - 1907	1901 - 1908	1901 - 1905	1901 - 1904	1901 - 1907	1901 - 1911
	1907 - 1911	1908 - 1914	1906 - 1913	1908 - 1915	1908 - 1917	1909 - 1918	1906 - 1913	1905 - 1913	1908 - 1919	1912 - 1919
时 段	1912 - 1918	1915 - 1921	1914 - 1921	1916 - 1923	1918 - 1926	1919 - 1927	1914 - 1921	1914 - 1924	1920 - 1926	1920 - 1927
	1919 - 1927	1922 - 1929	1922 - 1930	1924 - 1931	1927 - 1934	1928 - 1935	1922 - 1928	1925 - 1934	1927 - 1934	1928 - 1934
	1928 - 1936	1930 - 1937	1931 - 1940	1932 - 1939	1935 - 1941	1936 - 1944	1929 - 1936	1935 - 1943	1935 - 1941	1935 - 1942
	1937 - 1945	1938 - 1945	1941 - 1950	1940 - 1947	1942 - 1945	1945 - 1952	1937 - 1945	1944 - 1948	1942 - 1948	1943 - 1950
	1946 - 1954	1946 - 1949	1951 - 1959	1948 - 1955	1946 - 1952	1953 - 1961	1946 - 1952	1949 - 1956	1949 - 1956	1951 - 1958
8 年	1955 - 1960	1950 - 1954	1960 - 1968	1956 - 1962	1953 - 1960	1962 - 1969	1953 - 1958	1957 - 1964	1957 - 1963	1959 - 1968
	1961 - 1970	1955 - 1962	1969 - 1976	1963 - 1968	1961 - 1969	1970 - 1978	1959 - 1965	1965 - 1972	1964 - 1971	1969 - 1977
	1971 - 1977	1963 - 1970	1977 - 1984	1969 - 1974	1970 - 1978	1979 - 1987	1966 - 1972	1973 - 1979	1972 - 1979	1978 - 1984
	1978 - 1985	1971 - 1977	1985 - 1992	1975 - 1980	1979 - 1988	1988 - 2000	1973 - 1980	1980 - 1987	1980 - 1986	1985 - 1992
	1986 - 1994	1978 - 1985	1993 - 2001	1981 - 1986	1989 - 1996	2001 - 2007	1981 - 1987	1988 - 1994	1987 - 1994	1993 - 1999
时 段	1995 - 2002	1986 - 1993	2002 - 2007	1987 - 1994	1997 - 2004		1988 - 1994	1995 - 2001	1995 - 2002	2000 - 2007
	2003 - 2007	1994 - 2000		1995 - 2002	2005 - 2007		1995 - 2002	2002 - 2007	2003 - 2007	
		2001 - 2007		2003 - 2007			2003 - 2007			

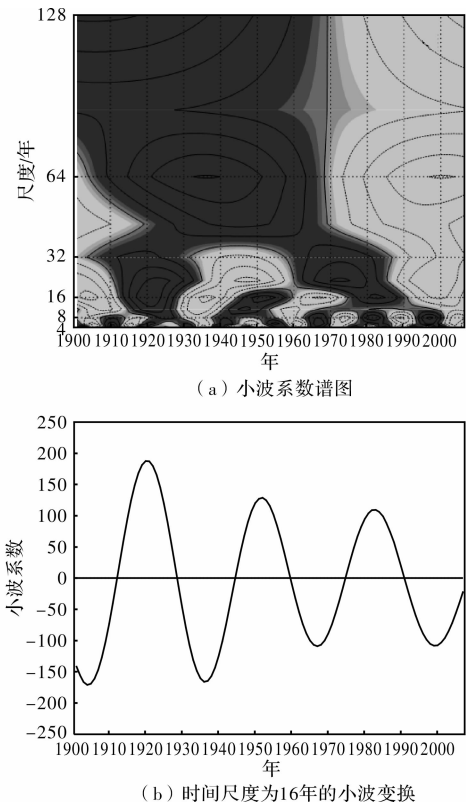


图 3 昭通年雨量的 Morlet 变换

滇中昆明年降水量在年代际尺度 16 年尺度上 (图略) 呈 2 高 3 低, 主要的降水期在 1910 年初至 1920 年代中期以及 1990 年代中至末期, 偏少期主要在 1910 年代前和 1970 年代末至 1990 年代中期前; 在年际尺度上, 以 4 ~ 8 年尺度的周期最明显, 出现了数次干湿交替变化, 降水最明显的是 1990 年代末至 21 世纪初, 偏少期在 21 世纪初开始至今。昆明在 16 年尺度的突变点是 1910、1926、1942、1953、1964、1979、1995 年 7 个; 时间尺度为 8 年时, 突变点有 13 个。昆明降水的年代际变化趋势及发生突变时间上与尤卫红^[6]基本一致。

滇东南蒙自和滇东沾益降水变化与滇东北变化基本一致, 在年代际尺度 16 ~ 32 年尺度上 (图略) 上为 2 高 3 低分布; 在年际尺度 4 ~ 8 年上的周期最明显, 由数个降水偏多期和偏少期交替变化组成。在 16 年尺度的突变点是 5 ~ 6 个; 时间尺度为 8 年时的突变点有 14 个。

滇南 (普洱) 和滇西南 (临沧) 的降水变化趋势一致, 在 16 ~ 32 年尺度上 (图略), 也呈 2 高 3 低中心, 主要的降水偏多期在 1920 年代初至 1930 年

代末、1960 年代初至 1970 年代末, 明显的偏少期在 1940 年代初至 1950 年代末; 在 4~8 年的周期最明显, 最明显的降水是 1960 年代末中期至 1970 年代中期, 偏少期在 21 世纪初至今。在 16 年尺度的突变点是 6 个; 时间尺度为 8 年时的突变点有 13 个。

滇西北与滇西西南部(腾冲)降水趋势基本一致, 在 16~32 年尺度上(图略)呈 2 高 2 低分布, 主要的降水偏多期在 1920 年代初至 1930 年代末、1990 年代初至今, 明显的偏少期在 1950 年代末至 1970 年代初; 4~8 年的周期最明显, 降水最明显的是 1990 年代末至 21 世纪初, 明显的偏少期在 1950 年代末至 1960 年初。在 16 年尺度的突变点有 6 个; 时间尺度为 8 年时的突变点有 12~13 个。

综上所述, 100 年来云南的年降水量呈明显的年代际及年际振荡, 在 16~32 年的尺度上, 云南东部、南部及西部部份地区呈 2 高 3 低分布, 偏多的降水期在 1910~1920 年代末、1960~1970 年代, 偏少期主要在 1910 年代前和 1990 年代末至今, 发生了 5~7 次突变, 出现的时间大致相同; 滇西北部及滇西西南部呈 2 高 2 低分布, 主要的降水偏多期在 1920~1930 年代末、1990 年代初至今, 明显的偏少期在 1970 年代, 发生了 6~7 次突变, 具体出现的时间略有不同。4~8 年的周期较明显。这与西南纵向岭谷地区降水量的主要集中在 3.5~7 年的高频振荡内以及 28 年的年代际变化的结果基本一致^[15]。

4 结论与讨论

(1) 100 年来云南平均增温速率为 $0.031^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 近 50 年来全省平均增温速率为 $0.242^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 略高于最近 50 年全国平均的增温速率。增温最大的是滇中、滇南, 分别为 $0.442^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.409^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 云南西部的增温幅度分布明显高于东部。

(2) 100 年来云南年雨量呈减少趋势, 平均速率为 $7.288\text{ mm}/10\text{a}$ 。近 50 年全省年雨量减少平均速率为 $6.66\text{ mm}/10\text{a}$, 比全国年降水量减少的幅度略大。云南降水的区域分异非常明显, 东部、中部及西部部分地区降水减少, 滇东北地区减少幅度最大; 而滇西西南部、滇西北和滇东南地区降水增加, 最大的区域位于滇西西南部腾冲及滇西北地区。云南降水的空间持续性低, 全省平均会掩盖地区差异, 且降水量变化对所取的时间段比较敏感。

(3) 100 年来云南气温具有明显的年代际变化, 最明显的是 32 年, 呈 2 高 2 低分布, 发生了 3 次突变, 但东西部出现的时间不同。温度的年际尺度不明显。

(4) 100 年来云南的年降水量呈明显的年代际及年际振荡, 在 16~32 年的尺度上, 云南东部、南部及西部部份地区呈 2 高 3 低分布, 发生了 5~7 次突变; 滇西北及滇西西南部呈 2 高 2 低分布, 发生了 6~7 次突变, 但出现的时间略不同。年际变化上主要是 4~8 年。

云南温度的变化具有明显的区域特征, 其东部增暖幅度小于西部可能与冷空气活动(如昆明静止锋)增强有关。昆明气温上升幅度最大可能与人类活动造成的测站周围观测环境的改变有关。云南的降水变化比气温变化要复杂得多。

进入 21 世纪以来, 全省增温非常明显, 而雨量普遍减少, 与之对应的是干旱加剧, 如 2009 年秋季至今的干旱, 有关这方面的研究作者将另文所述。

参考文献:

- [1] 秦大河, 陈振林, 罗勇, 等. 气候变化科学的最新认知[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(2): 63-73.
- [2] 李爱贞, 刘厚凤, 张桂芹. 气候系统变化与人类活动[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 1-29.
- [3] 秦大河, 丁一汇, 王绍武, 等. 中国西部生态环境变化与对策建议[J]. 地球科学进展, 2002, 17(3): 314-318.
- [4] 王宇. 云南气候变化概论[M]. 北京: 气象出版社, 1996.
- [5] 尤卫红, 段旭, 杞明辉. 全球、中国及云南近百年气候变化的层次结构和突变特征[J]. 热带气象学报, 1998, 14(2): 173-180.
- [6] 尤卫红, 段旭, 杞明辉. 连续小波变换在云南近百年气温和降水变化分析中的应用[J]. 高原气象, 1999, 18(1): 47-56.
- [7] 彭贵芬, 刘瑜, 张一平. 云南干旱的气候特征及变化趋势研究[J]. 灾害学, 2009, 24(4): 40-44.
- [8] 陶云, 程建刚, 何群. 云南降水量时空分布特征对气候变暖的响应[J]. 云南气象, 2007, 27(3): 13-19.
- [9] 刘瑜, 赵尔旭, 黄玮, 等. 云南近 46 年降水与气温变化趋势的特征分析[J]. 灾害学, 2010, 25(1): 39-44.
- [10] 张万诚, 严华生, 郑建萌. EOF 方法恢复历史气候要素场的研究[J]. 高原气象, 1994, 13(4): 479-484.
- [11] Kumar P, Foufoula-Georgiou E. Wavelet analysis in geophysics: an introduction [M]. San Diego: Academic Press, 1994: 1-43.
- [12] 刘太中, 荣平平, 刘式达, 等. 气候突变的子波分析[J]. 地球物理学报, 1995, 38(2): 158-162.
- [13] 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 气候变化国家评估报告(I): 中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 1-9.
- [14] 王英, 曹明奎, 陶波, 等. 全球气候变化背景下中国降水量空间格局的变化特征[J]. 地理研究, 2006, 25(6): 1031-1040.
- [15] 张万诚, 万云霞, 肖子牛. 中国西南纵向岭谷区近百年降水的时空变化特征[J]. 自然资源学报, 2006, 26(5): 802-809.

Analysis on Variation Characteristics of Temperature and Rainfall in Yunnan in the Last 100 Years

Zheng Jianmeng¹, Ren Juzhang² and Zhang Wancheng²

(1. *Yunnan Climate Centre, Kunming 650034, China;*

2. *Meteorological Sciences Institute of Yunnan Province, Kunming 650034, China*)

Abstract: By methods of climatic trend rate and Morlet wavelet transform, temperature and rainfall data of ten stations of Yunnan from 1901 to 2007 are analyzed, and the average incalcescence rate is shown as 0.031 °C/10a. The average incalcescence rate of the province is 0.242 °C/10a in the last 50 years, which is slightly higher than that of China. Temperature increase most in Kuming in central Yunnan and Pu'er of south Yunnan are 0.442 °C/10a and 0.409 °C/10a respectively, and temperature of the west area is obviously higher than that of the east area. There is a decreasing trend in annual precipitation of Yunnan in the past 100 years, and the average rate is 7.288 mm/10a, but in the past 50 years, the average rate is decreased to 6.66 mm/10a as a result of the decrease of annual precipitation. Annual precipitation of Yunnan, decreases in the east and central areas, but increases in the northwest and southeast areas, are of obvious regional differentiation. Obvious decadal variation of the province is 32 years and three generally remarkable mutations happened in the past 100 years. As to the annual precipitation, it mainly has a decadal oscillation of 4–8 years and an annual oscillation of 16–32 years.

Key words: temperature; annual precipitation; mutation; annual and decadal variations; Yunnan

(上接第 19 页)

A Method and Its Realization to Earthquake Disaster Quick Evaluation Based on Macroeconomic Indicators

Liu Shuangqing¹, Qiu Hu¹ and Wang Xiaoqing²

(1. *Earthquake Administration of Tianjin Municipality, Tianjin 300201, China;*

2. *Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China*)

Abstract: Matlab software and Office subassembly function are used to compile a computer program, which can evaluate earthquake disasters according to macroeconomic indicators and automatically produce a WORD report for the evaluation results. This computer program not only can make full use of resources of high-density strong earthquake network in Tianjin area, but also can get evaluation results based on theoretic calculated intensities. Foundational data used in the program are mainly statistical data concerning population of towns and GPD of counties, and could be maintained and renewed reliably and economically. According to comparison of evaluation results of the program and of 342 artificial earthquakes in earthquake emergency evaluation system in the 10th Five-year Plan in Tianjin, it is shown that the system and the program are closely correlated, but the calculating speed of the program is faster one order of magnitude. Data processing and calculating method presented in the program is suitable for quick evaluations on earthquake disasters in big cities and city clusters.

Key words: quick evaluations on earthquake disasters; grid data; strong earthquake network