

# 1955—2012 年南北疆气温、降水及相对湿度趋势分析

何毅, 杨太保, 陈杰, 冀琴, 徐旻

(兰州大学 资源环境学院 冰川与生态地理研究所, 兰州 730000)

**摘要:**利用新疆境内的 12 个国家标准气象站 1955—2012 年温度、降水和相对湿度数据,通过气候趋势分析、气候突变分析及 Morlet 小波分析方法,研究近 60 a 来南北疆气候变化特征。结果表明:1) 近 60 a 来南北疆的温度总体呈上升趋势,并以北疆增温幅度较南疆明显;不同温度指标的增幅大小排列为:年平均最低温度( $T_{\min}$ )>年平均温度( $T_{\text{mean}}$ )>年平均最高温度( $T_{\max}$ );2) 南北疆的年平均温度( $T_{\text{mean}}$ )、年平均最高温度( $T_{\max}$ )、年平均最低温度( $T_{\min}$ )均有突变发生。其中,北疆的突变时间均在 1987—1989 年,南疆的突变时间均在 1993—1994;3) 南北疆年降水量的变化趋势不如气温变化明显,总体上呈增加趋势,北疆降水量变化相对稳定,而南疆呈增加趋势;南疆的年均降水量在 1981 年发生突变;而北疆的正反序列曲线均未超过 95% 置信度线,未出现突变点;4) 北疆年均相对湿度总体上呈减少趋势,而南疆总体上呈增加趋势;南北疆相对湿度总体经历了“增加—减少—增加—减少”的变化。从全区来看,进入 21 世纪南北疆相对湿度均急剧减少;5) Morlet 小波分析结果显示,南北疆的气温均存在 4 a 和 8 a 的明显周期,降水量、相对湿度均存在 3 a、6 a 和 16 a 左右的周期变化规律。

**关键词:**气候变化; 温度和降水; 相对湿度; Morlet 小波分析; 南北疆

**中图分类号:** P467; P461.2; P333.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2015)02-0269-09

## Long-term Trend of Temperature, Precipitation and Relative Humidity in the Northern and Southern Regions of the Xinjiang from 1955 to 2012

HE Yi, YANG Taibao, CHEN Jie, JI Qin, XU Min

(College of Earth and Environmental Sciences, Institution of Glaciers and Ecogeography, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** By connecting temperature, precipitation and relative humidity data of twelve national standard meteorological stations which evenly distributed in the northern and southern regions of the Xinjiang from 1955 to 2012 with the existing climatic regionalization of the Xinjiang, rate of linear tendency and Mann-Kendall test were used to illustrate the change trends and detect abrupt changes of meteorological elements, respectively. We investigated climate change of the northern and southern regions in Xinjiang in the last 60 years. The results showed that: 1) the trend of obvious temperature increase existed in these regions in the last 60 years, the warming rates were higher in the north, the warming rates were increasing in the order of annual average maximum temperature ( $T_{\max}$ )<annual mean temperature ( $T_{\text{mean}}$ )<annual average minimum temperature ( $T_{\min}$ ); 2) the abrupt change occurred both in the northern and southern regions of the Xinjiang from 1987 to 1989 in the north, from 1993 to 1994 in the south; 3) the change trend of annual precipitation was not more significant than that of the temperature changes, the overall increasing trend change was insignificant in the southern and northern regions of Xinjiang, the annual available precipitation showed the stable change in the north, but it presented the increase trend in the south, the abrupt change of average annual rainfall in southern Xinjiang occurred in 1981, while the northern curve of the positive and negative sequence did not exceed the 95% confidence level line, the abrupt change point did not appear; 4) the annual average relative humidity decreased in the north, showing an increasing trend in the whole southern border, the annual relative humidity showed a increase-reduce-increase-reduce change pattern; with respect of the entire re-

收稿日期: 2014-05-08

修回日期: 2014-07-15

资助项目: 国家自然科学基金资助项目“黄河上游晚更新世河流阶地和冰川演化对千年尺度气候变化的响应”(41271024); 中央高校自由探索—优秀研究生创新项目(Lzujbky-2014-274); 中央高校基本科研业务费专项资金(Lzujbky-2012-137); 国家基础科学人才培养基金项目(J1210065)

第一作者: 何毅(1987—), 男, 甘肃会宁人, 博士生, 主要研究环境演变与全球变化。E-mail: heyi11@lzu.edu.cn

通信作者: 杨太保(1962—), 男, 山西人平陆县人, 博士, 教授/博导, 主要从事自然地理环境变化研究。E-mail: yangtb@lzu.edu.cn

gion, the sharp reduction of relative humidity had been observed since the 21st century; 5) results of Morlet wavelet analysis showed that in the north and south of Xinjiang, the presence of temperature changes existed the period of 4 a and 8 a, precipitation and relative humidity existed the cycle of 3 a, 6 a and 16 a around the periodic variation.

**Keywords:** climate change; temperature and precipitation; relative humidity; Morlet wavelet analysis; the northern and southern regions of Xinjiang

气候变化将对人类生存环境、经济发展和社会进步产生深远的影响,因而成为各领域研究的热点和重大问题<sup>[1-3]</sup>。IPCC 第四次评估报告显示,到 21 世纪末,全球地表将平均增温 1.1~6.4℃<sup>[4]</sup>。但各地的升温幅度并不完全相同。一般认为,北半球大于南半球,高纬度地区大于低纬度地区<sup>[5-6]</sup>。同一纬度地区,因受地形等多种因素的影响,各区域的升温幅度也存在一定的差异。近年来,我国乃至全球气候灾害严重,气候变化加剧,极端天气出现频率增加<sup>[7-8]</sup>,尤其雅江源区升温特别显著<sup>[9]</sup>。研究指出,随着气候变暖,干旱、半干旱地区将遭受降水和水资源的进一步减少<sup>[10]</sup>。在全球气候变暖的背景下,我国西北地区气候也发生了很大变化,由暖干向暖湿转型<sup>[11-12]</sup>。新疆位于西北地区,属于典型的干旱、半干旱气候,水汽来源少,水资源匮乏。独特的降水时空分布特征对水资源形成和生态环境产生了十分明显的影响<sup>[13]</sup>。近些年,新疆的气候发生了较明显的变化,大部分地区出现气温升高、降水增多,气候总体呈“暖湿化”趋势<sup>[14-15]</sup>。虽然新疆气候变化与中国西北地区气候变化趋势基本一致,但由于新疆复杂的地形分割作用,而产生区域气候的差异,必将导致在同一全球气候变化背景下新疆不同地区的气候变化特征不会完全相同。因此,我们将新疆省划分为南北疆来揭示其气候变化特征,对于指导当地农林业发展以及制定应对区域气候变化的战略和行动计划更具有重要的理论和实践意义。

## 1 研究区概况

新疆维吾尔自治区位于中国的西北部,是我国行政面积最大的省区。自北向南分别是:阿尔泰山,准格尔盆地,天山,塔里木盆地,昆仑山。新疆沙漠广布,以温带草原带为主,远离海洋,四周高山环抱,是典型的温带大陆性干旱气候,年平均气温 10.4℃,年均降水量 188.1 mm,是全国降水量最少的地区。夏季高温、干旱少雨;冬季寒冷,昼夜温差大。新疆三大山脉的积雪、冰川孕育汇集为 500 多条河流,分布于天山南北的盆地,其中较大的有塔里木河(我国最大的内陆河)、伊犁河、额尔齐斯河(流入北冰洋)、玛纳

斯河、乌伦古河、开都河等 20 多条,河流流量季节变化比较大,夏季径流量大,补给水源为高山冰雪融水,冬季净流量小。农业类型以绿洲农业和灌溉农业为主;植被以干旱半干旱草原、亚寒带针叶林和温带落叶阔叶林为主,但是因为新疆有很多山地,山地的植被随海拔的变化而变化,垂直自然带明显。本文利用新疆境内的 12 个国家标准气象站 1955—2012 年的温度、降水和相对湿度资料,研究近 60 a 来南北疆的年际变化、气候突变特征及周期性分析;在此基础上,综合比较南北疆之间的气候变化特征。以其为南北疆适应气候变化对策的制定提供科学依据。

## 2 试验材料与方法

### 2.1 数据来源

气象数据由中国气象科学数据共享服务网提供(<http://cdc.cma.gov.cn>),选取分布在新疆境内的 12 个国家标准气象站(北疆 5 个,南疆 7 个)1955—2012 年温度、降水和相对湿度资料研究新疆南北气候的变化特征。

### 2.2 处理方法

2.2.1 数据分析和处理 采用回归分析(Regression Analysis)揭示气候变化规律;利用 SPSS 18.0 和 Excel 统计软件分析气象数据;运用 ArcGIS 10 和 Origin 8.1 绘制新疆南北气象各站点分布简图及气候变化图。趋势分析采用一元回归求取线性趋势的方法,做出年际变化曲线、气候倾向率。

2.2.2 气候倾向率 气象要素  $y$  的长期变化趋势采用线性回归方程来描述,计算公式:

$$y_i = a + bt_i$$

式中: $t$ ——年份序列号( $i = 1, 2, \dots, n$ ); $a$ ——回归常数; $b$ ——回归系数。回归系数  $b$  的符号表示气候变量  $x$  的趋势倾向。当  $b > 0$  时,说明随时间  $t$  的增加, $x$  呈上升趋势;当  $b < 0$  时,说明随时间  $t$  的增加, $x$  呈下降趋势。 $b$  值表示上升或下降的倾向程度,通常称为倾向值,其大小反映了上升或下降的速率,这种方法叫做线性倾向估计。 $y_i$  表示气象要素的拟合值; $bt_{10}$  称为气候倾向率,表示气象要素每 10 a 的变化率。

2.2.3 气候要素变化趋势的显著性检验及突变检测

采用 Mann-Kendall(M-K)法研究气温和降水量变化趋势的显著性及突变情况<sup>[16]</sup>,其公式如下:

$$Z_c = \tau / \sigma_r^2; \tau = \frac{4P}{n(n-1)-1}; \sigma_r^2 = \frac{2(2n+5)}{9n(n-1)}$$

式中: $Z_c$ ——秩相关系数; $\tau$ ——检验统计变量; $p$ ——数据序列所有对偶观测值( $R_j, R_i, j < i$ )中  $R_j < R_i$  出现的次数; $n$ ——序列长度; $\sigma_r^2$ ——方差。

在 M-K 检验中,若统计量  $|Z_c| \leq Z_{(1-\alpha/2)}$ ,则认为序列没有显著趋势;当  $Z_c < Z_{(1-\alpha/2)}$  时,表明序列有显著下降趋势;当  $Z_c > Z_{(1-\alpha/2)}$  时,表明序列有显著上升趋势。 $\alpha$  表示显著性水平,当  $\alpha = 0.05$  时,  $Z_{(1-\alpha/2)} = 1.96$ 。M-K 突变检验中,在正序列曲线超过临界值置信线的前提下,若正序列和反序列 2 个统计量序列仅有一个明显的交叉点,且位于置信线之间,则表明该交叉点为突变点,且在统计上显著;若交叉点位于置信线区域之外,或者是存在多个明显的交叉点,则不确定是否为突变点。

2.2.4 小波分析 小波分析是一种时、频多分辨率分析方法,是时间和频率的区域变换,能有效的从信号中提取信息,通过伸缩和平移等运算功能对函数或信号进行多尺度细化。用来做小波变换的小波有好几种,这里简单采用 Morlet 能谱小波函数,具体方法如下:

$$\Psi(t) = e^{-2\pi i t} \exp[-(2\pi/k\Phi)^2 |t|^2]$$

小波变换系数为:

$$\xi(t', a) = a^{-1/2} \int f(t) \Psi^*(t/a - t'/a) dt$$

式中: $\xi(t', a)$ ——小波系数; $f(t)$ ——时间序列; $\Psi^*$ —— $\Psi$  的共轭函数<sup>[17]</sup>。

3 结果与分析

3.1 气温年际变化特征

对南北疆逐月观测数据进行整理,获得年际尺度温度数据,绘制气温变化图,运用一元线性回归拟合气温变化趋势,分析南北疆年平均气温( $T_{mean}$ )、年平均最高气温( $T_{max}$ )和年平均最低气温( $T_{min}$ )变化趋势,结果见图 1,图 2 和图 3。

由图 1 可知,1955—2012 年期间,北疆年均气温为 6.7℃,年均最高气温为 13.5℃,年均最低气温为 0.7℃;南疆分别为 10.3℃,17.8℃和 3.5℃,可以看出,南疆总体温度较北疆高。年际尺度上南北疆的年平均气温( $T_{mean}$ )、年平均最高气温( $T_{max}$ )和年平均最低气温( $T_{min}$ )总体上呈上升趋势,均通过  $p < 0.05$  显著性检验,并且年际温度最大值均发生在 2000 之后,这与国内学者研究<sup>[18]</sup>提出的我国进入 21 世纪以后处于较温暖阶段的结论相吻合。南北疆增温幅度总体均表现为  $T_{min} > T_{max} > T_{mean}$ ,但北疆增温幅度较南疆明显(表 1)。由 10 a 趋势滑动分析结果可知,北疆  $T_{mean}$ ,  $T_{max}$  和  $T_{min}$  均经过 5 次波动,在 1965,1985,1989,1998,2007 年达到波峰,在 1954,1970,1984,1994,2002 年达到波谷。南疆  $T_{mean}$  和  $T_{max}$  均经过 6 次波动,在 1963,1972,1978,1990,1999,2007 年达到波峰,在 1961,1967,1975,1986,1994,2002 年达到波谷;而  $T_{min}$  经过 4 次波动,在 1973,1980,1988,2006 年达到波峰,在 1969,1975,1984,1993 年达到波谷。说明南北疆的气温变化存在波动性差异。

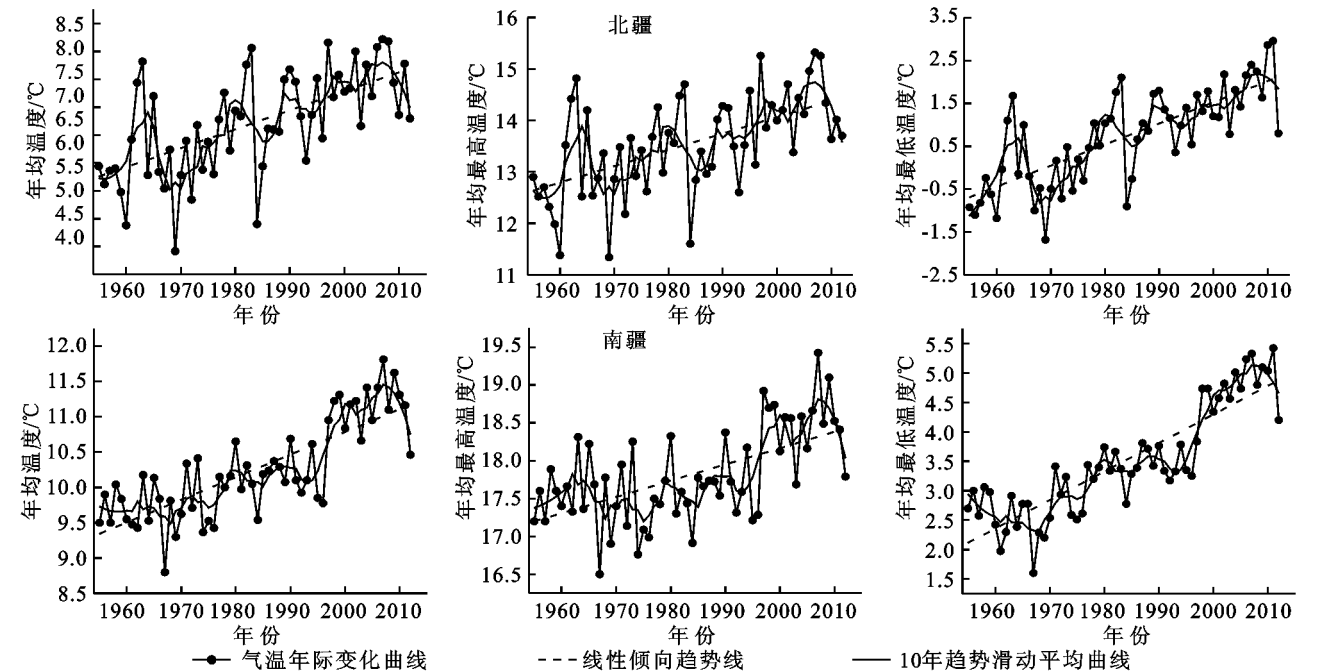


图 1 南北疆温度逐年变化特征

表 1 南北疆年际温度变化及其突变点分析

气候区	温度因子	增温幅度/(℃/10 a)	最大值发生年份	突变点	显著性升高开始年份
北疆	$T_{\text{mean}}$	0.340***	1997,2008		1989
	$T_{\text{max}}$	0.318***	2006	1987—1989	1989
	$T_{\text{min}}$	0.492***	2010		1980
南疆	$T_{\text{mean}}$	0.320***	2009		1988
	$T_{\text{max}}$	0.215***	2007	1993—1994	2003
	$T_{\text{min}}$	0.485***	2011		1981

注：\*\*\*表示  $P<0.001$ 。

从各年代来看(表 2),总的来说南北疆气候变化总趋势以变暖为主,20 世纪 80,90 年代以来气温有明显上升, $T_{\text{mean}}$ ,  $T_{\text{max}}$  和  $T_{\text{min}}$  逐年代都在增加,70 年代与 60 年代相比略有增加。 $T_{\text{mean}}$ ,  $T_{\text{max}}$  和  $T_{\text{min}}$  在各年代

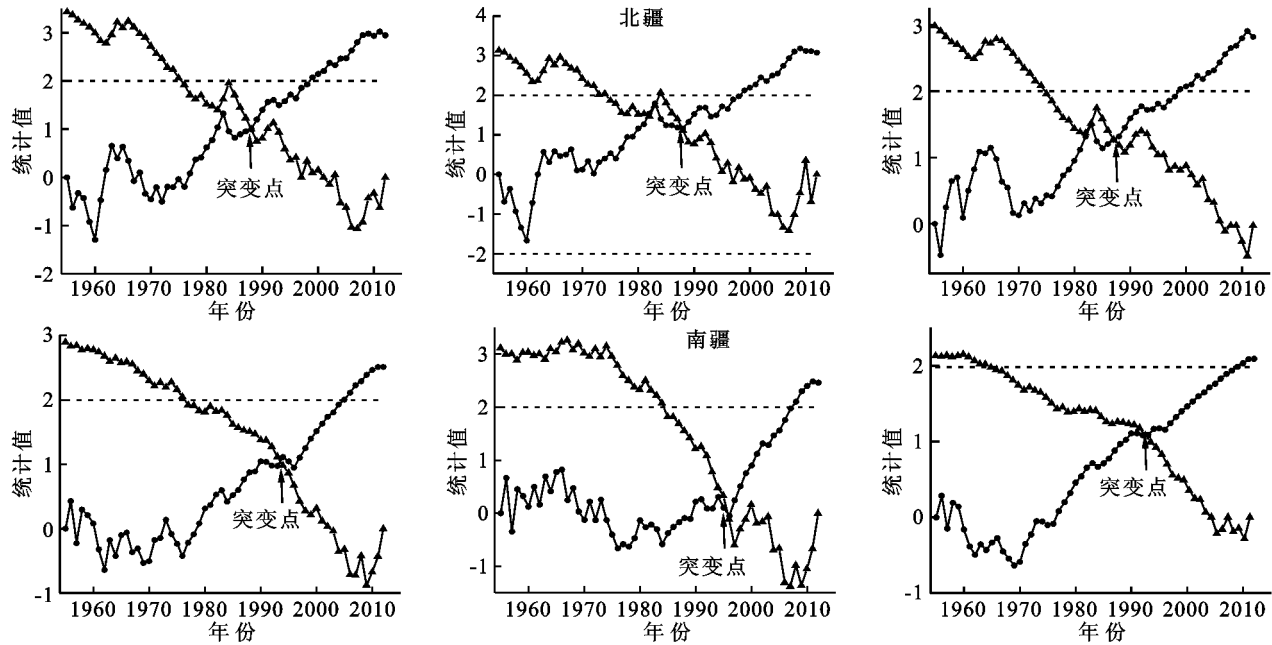
增温幅度也都呈现  $T_{\text{min}}>T_{\text{mean}}>T_{\text{max}}$ ;南北疆对比来看, $T_{\text{max}}$  增温幅度均是北疆快于南疆, $T_{\text{mean}}$  和  $T_{\text{min}}$  增温幅度在 80,90 年代北疆显著,而 70 年代和 21 世纪南疆显著。

表 2 各年代平均气温、平均最高气温和平均最低气温分别与 60 年代的差值℃

温度	70 年代		80 年代		90 年代		21 世纪	
	北疆	南疆	北疆	南疆	北疆	南疆	北疆	南疆
年均温( $T_{\text{mean}}$ )	0.22	0.22	0.74	0.52	1.15	0.80	1.48	1.52
年均最高气温( $T_{\text{max}}$ )	0.32	-0.09	0.55	0.09	1.04	0.49	1.42	0.96
年均最低气温( $T_{\text{min}}$ )	0.39	0.46	1.23	0.92	1.55	1.20	2.13	2.33

南北疆的气温 M-K 显著性检验显示,整体升温趋势明显,北疆年平均气温 1977 年出现了增加趋势,1989 年之后达到了显著水平,而南疆年平均气温 1979 年出现了增加趋势,1990 年之后达到了显著水平;南北疆的气温 M-K 突变检测显示(图 3),北疆年平均气温( $T_{\text{mean}}$ )、年平均最高气温( $T_{\text{max}}$ )和年平均最低气温( $T_{\text{min}}$ )的正序列曲线在 20 世纪末期均超过

95%置信度线,而南疆其正序列曲线在 2005 年之后超过 95%置信度线,且它们正反序列曲线在置信度区间内均存在一个交叉点(图 3),显示出南北疆均有突变发生,但发生突变的时间有所不同,以北疆地区发生较早,约在 1990 年前 1~2 a 左右,与锡林浩特市地区相一致<sup>[19]</sup>。南疆则在 1995 年前 1~2 a 左右(图 3),表明北疆先进入了一个相对偏暖的气候状态。



(上下两虚直线为  $\alpha=0.05$  显著性水平临界值信度线;带圆点的实线为正序列;带三角的实线为反序列),下图同。

图 2 1955—2012 年新疆南北气温的 Mann-Kendall 突变检测

3.2 降水量年际变化特征

对新疆南北逐月观测数据进行整理,获得年际尺度降水量数据,绘制降水变化图,运用一元线性回归

拟合降水变化趋势,分析南北年均降水量变化趋势,结果见图 4 和图 5。由图 4 可知,1955—2012 年,南北疆年降水量的变化趋势不如气温变化趋势明显,总

体上来看呈现增加趋势,分别为 35.96 mm/10 a 和 54.51 mm/10 a,以北疆增幅较南疆大;由 10 a 趋势滑

动分析结果可知,北疆年均降水量经过 3~4 次大的波动。而南疆年均降水量波动性频繁,规律性较差。

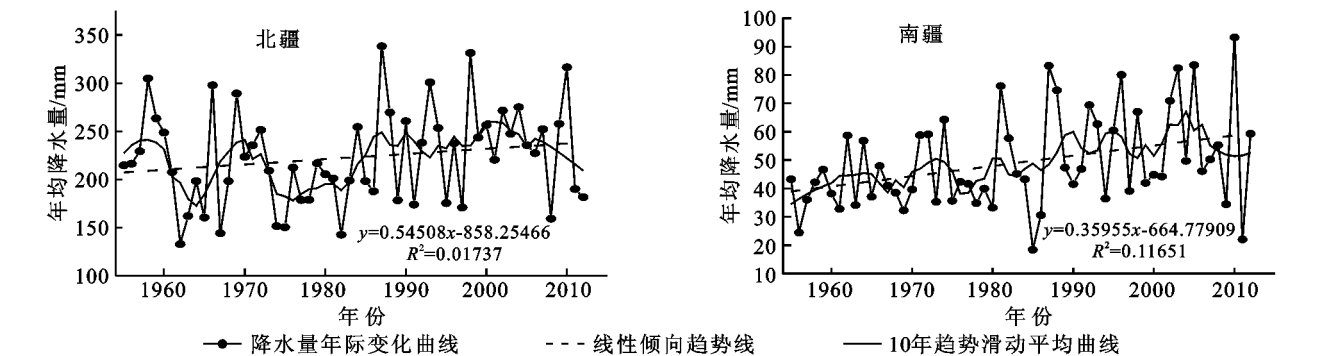


图 3 新疆南北降水量逐年变化特征

从各年代来看(表 3),北疆降水量总体变化相对稳定,而南疆在各个年代都呈现增加趋势。南北疆降水量 M-K 突变检测显示(图 4),南疆的正序列曲线在 20 世纪 90 年代中期超过 95% 置信度线,且

正反序列曲线在置信度区间内存在一个交叉点(图 4),出现在 1981 年,表明南疆在 1981 年发生突变;而北疆的正反序列曲线均未超过 95% 置信度线,未出现突变点。

表 3 各年代年均降水量和相对湿度与 60 年代的差值

指标	70 年代		80 年代		90 年代		21 世纪	
	北疆	南疆	北疆	南疆	北疆	南疆	北疆	南疆
年均降水量/mm	-17.08	4.48	-0.38	10.29	20.71	13.88	18.91	15.96
相对湿度/%	-0.36	1.42	0.20	1.04	0.12	3.39	-1.39	0.11

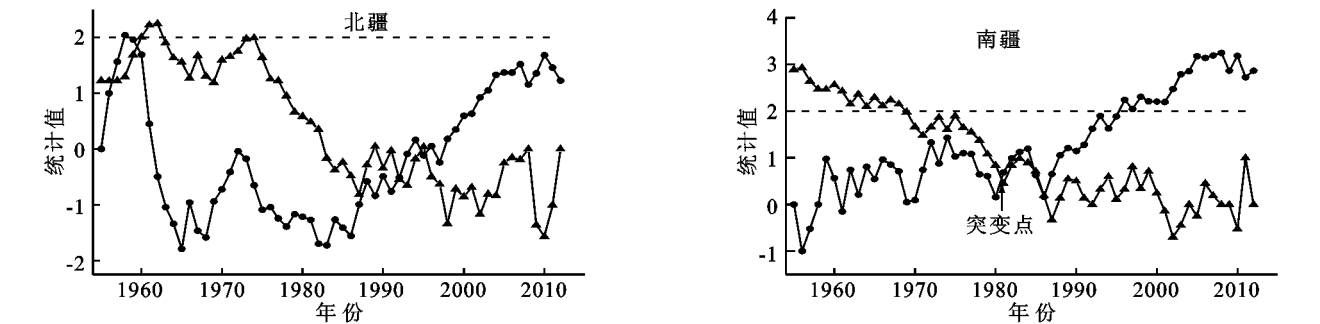


图 4 1955—2012 年新疆南北降水量的 Mann-Kendall 突变检测

3.3 相对湿度年际变化特征

对新疆南北逐月观测数据进行整理,获得年际尺度相对湿度数据,绘制相对湿度变化图,运用一元线性回归拟合相对湿度变化趋势,分析南北疆年均相对湿度变化趋势,结果见图 5 和图 6。

由图 5 可知,从总体上来看,1955—2012 年北疆

年均相对湿度呈下降趋势,而南疆呈上升趋势;由 10 a 趋势滑动分析结果可知,北疆年均相对湿度经过 4 次大波动,在 1960,1971,1989,2003 年达到波峰,在 1963,1976,1997,2012 年达到波谷;南疆年均相对湿度也经过 4 次波动,在 1962,1975,1992,2002 年达到波峰,在 1966,1983,1992,2009 年达到波谷。

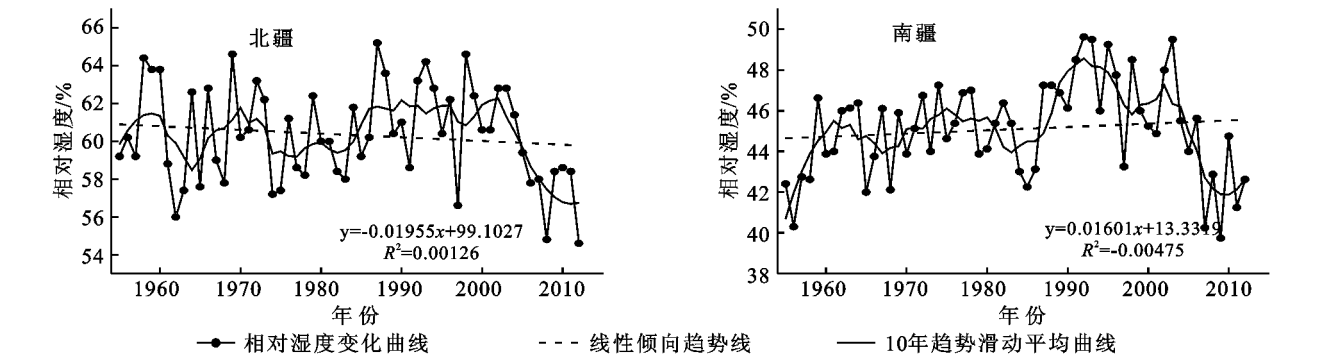


图 5 新疆南北相对湿度逐年变化特征

从各年代来看(表3),北疆相对湿度总体经历了“减少—增加—减少—减少”的变化,而南疆经历了“增加—减少—增加—减少”的变化。从全区来看,进入21世纪南北疆相对湿度均急剧减少。

南北疆相对湿度 M-K 突变检测显示(图6),南北疆的正反序列曲线均超过 95% 置信度线,并且正反序列曲线在置信度区间内存在一个交叉点(图6),分别出现在 1958 年和 1969 年,表明南疆在 1958 年发生突变,而北疆在 1969 年发生突变。

### 3.4 周期性分析

3.4.1 气温周期性 采用 Morlet 小波对南北疆 1955—2012 年气温多时间尺度进行了分析。图7、8 为小波变换系数实部在时—频域及小波方差

分布图。从图7中可以看出北疆的气温演变均存在着 4 a、8 a 和 14 a 的周期变化规律,但年均最高气温还存在 30 a 的周期,在 8 a 左右的尺度上,周期变化具有较好的连续性,经历了 4 个气温增大、减小的交替时期;而在 14 a 左右的尺度上,气温的演变时域上的连续性较差,经历 2 次比较明显的一个正值区和一个负值区组成的准一次振荡。还可以看出不同时段各时间尺度的信号强弱分布,其中贯穿于整个时间域 8 a 左右的尺度信号最强,此外,14 a 尺度的信号也较强,周期变化最为明显,且连续性强;其次是 4 a 尺度信号;其余则较弱。这表明北疆的气温在 4 a、8 a 和 14 a 时间尺度范围内存在比较明显的周期变化。

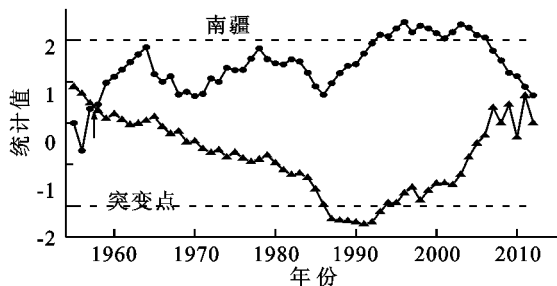
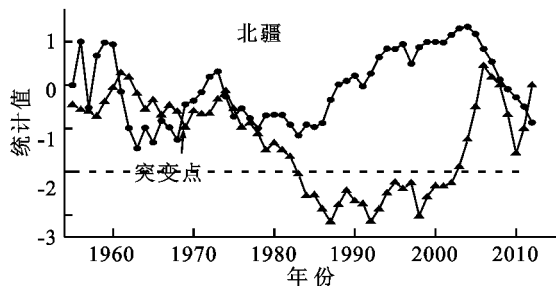


图6 1955—2012 年新疆南北相对湿度的 Mann-Kendall 突变检测

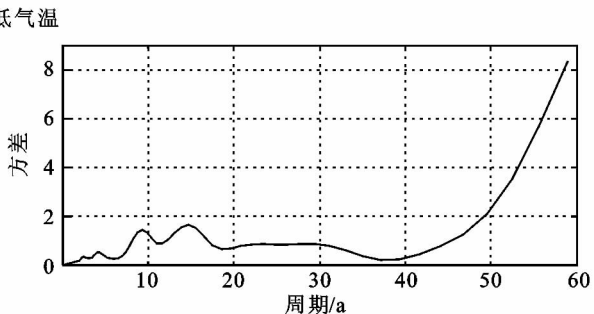
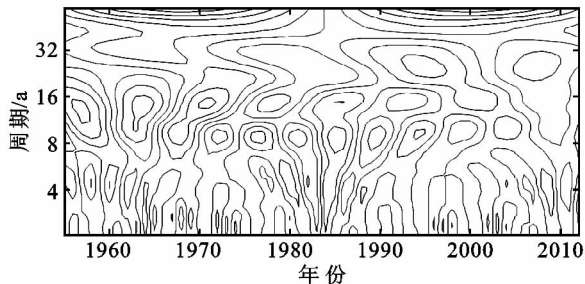
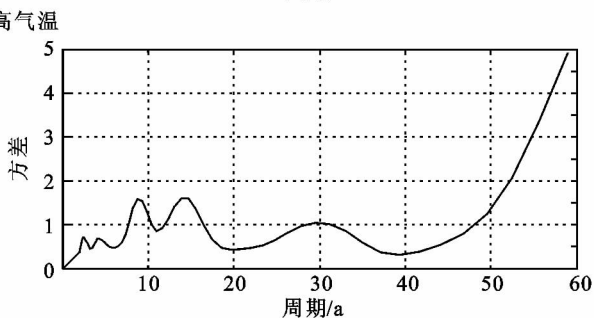
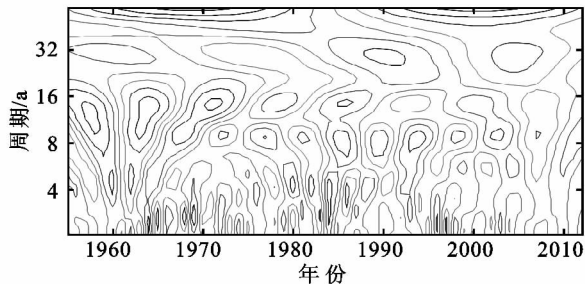
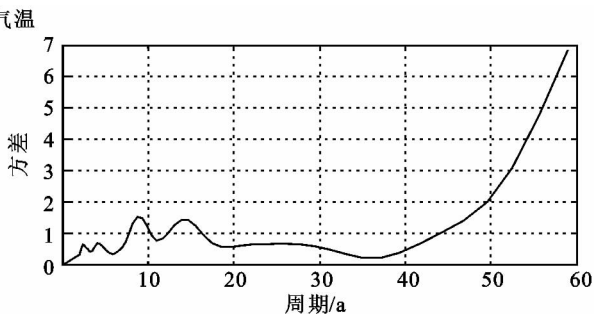
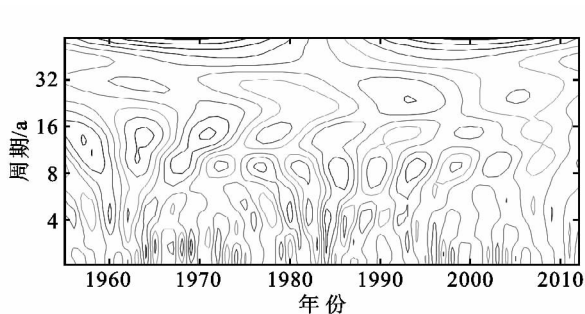


图7 北疆的温度 Morlet 小波换小波系数实部的时频分布

从图 8 中可以看出南疆气温演变均存在着 8 a 和 28 a 的周期变化规律,但年均最高气温不存在 28 a 的周期,在 28 a 左右的尺度上,气温的演变时域上的连续性较差,经历 2 次比较明显的一个正值区和一个负值区组成的准一次振荡。贯穿于整个时

间域 8 a 左右的尺度信号最强,周期变化最为明显,且连续性强。

这表明南疆的年均气温和年均最高气温在 8 a 和 28 a 时间尺度范围内存在比较明显的周期变化,而最低气温只存在 8 a 的明显周期。

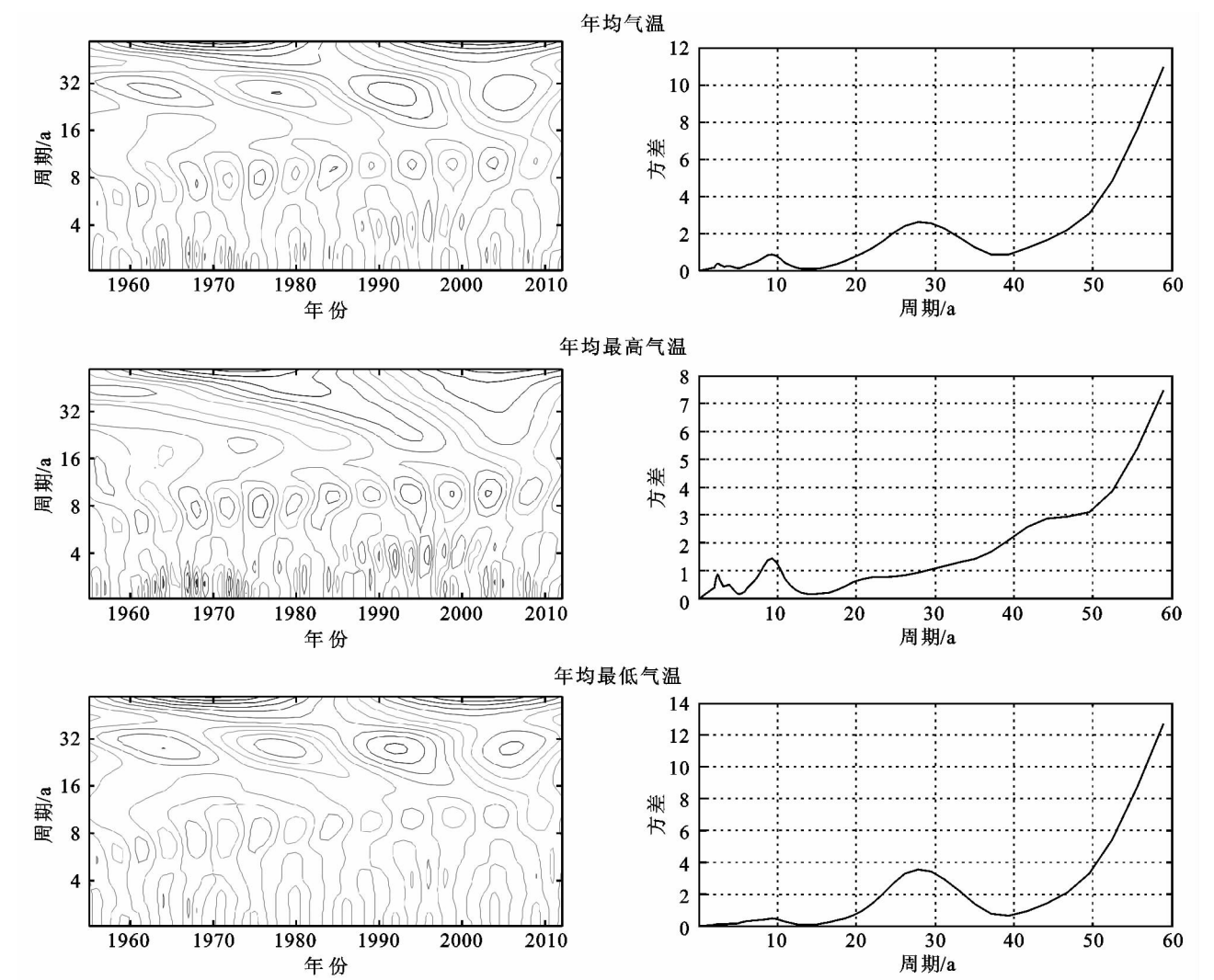


图 8 南疆的温度 Morlet 小波变换小波系数实部的时频分布

3.4.2 降水量周期性 采用 Morlet 小波对南北疆 1955—2012 年降水量多时间尺度进行了分析。图 9 为小波变换系数实部在时—频域及小波方差分布图。从图 9 中可以看出北疆降水量演变均存在着 3 a, 6 a, 16 a 及 40 a 左右的周期变化规律,在 3 a 和 6 a 的尺度上,周期变化具有较好的连续性,而在 40 a 左右的尺度上,降水量的演变时域上的连续性较差。贯穿于整个时间域 16 a 左右的尺度信号最强,周期变化最为明显,且连续性强;表明北疆的降水量在 3 a, 6 a 和 16 a 时间尺度范围内存在比较明显的周期变化;由图 9 可以显示,南疆降水量演变均存在着 3 a, 6 a 和 8 a 左右的周期变化规律,且在 8 a 的尺度上信号最强,周期变化最为明显,且连续性强。表明南疆的

降水量在 6 a 和 8 a 时间尺度范围内存在比较明显的周期变化;

3.4.3 相对湿度周期性 采用 Morlet 小波对南北疆 1955—2012 年相对湿度多时间尺度进行了分析。图 10 为小波变换系数实部在时—频域及小波方差分布图。从图 10 中可以看出北疆相对湿度演变均存在着 3 a, 6 a, 14 a 及 32 a 左右的周期变化规律,在 6 a 和 14 a 的尺度上,周期变化具有较好的连续性,而在 32 a 左右的尺度上,相对湿度的演变时域上的连续性较差。贯穿于整个时间域 6 a 和 14 a 左右的尺度信号最强,周期变化最为明显且连续性强;表明北疆的相对湿度在 3 a, 6 a 和 14 a 时间尺度范围内存在比较明显的周期变化;由图 10 可以显示,南疆相对湿度演变均存

在着 3 a、6 a、12 a 和 26 a 左右的周期变化规律,且在 12 a 和 26 a 左右尺度上信号最强,周期变化最为明

显且连续性最强。表明南疆的相对湿度在 12 a 和 26 a 时间尺度范围内存在比较明显的周期变化。

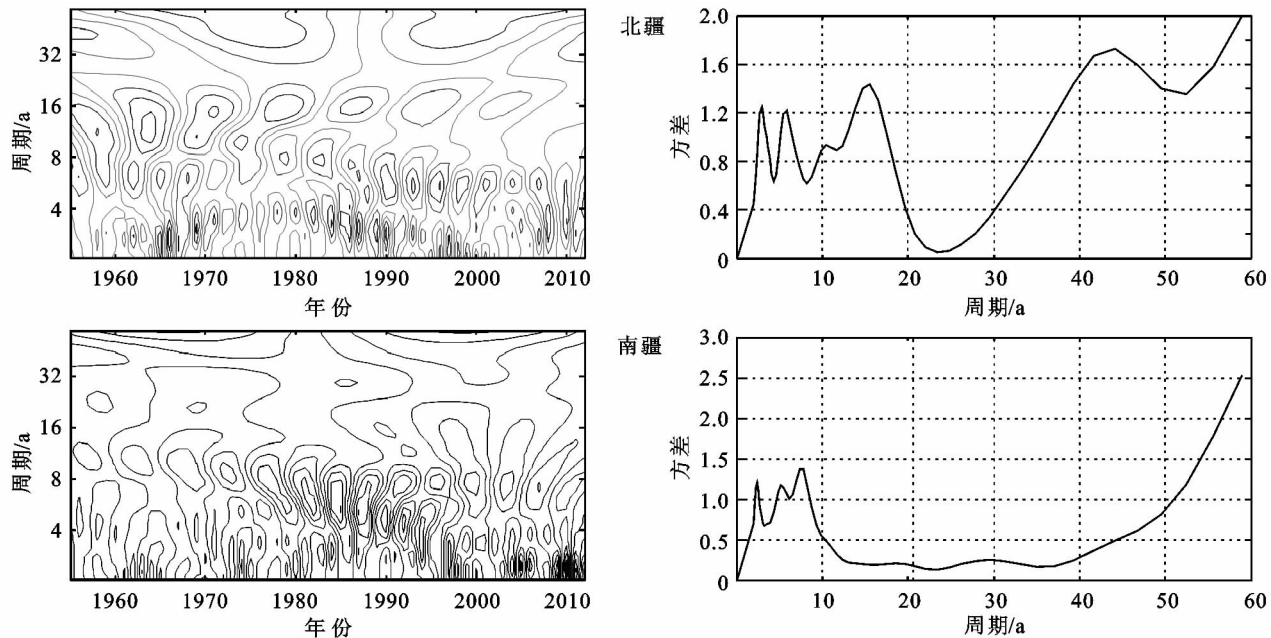


图 9 南北疆降水量 Morlet 小波换小波系数实部的时频分布

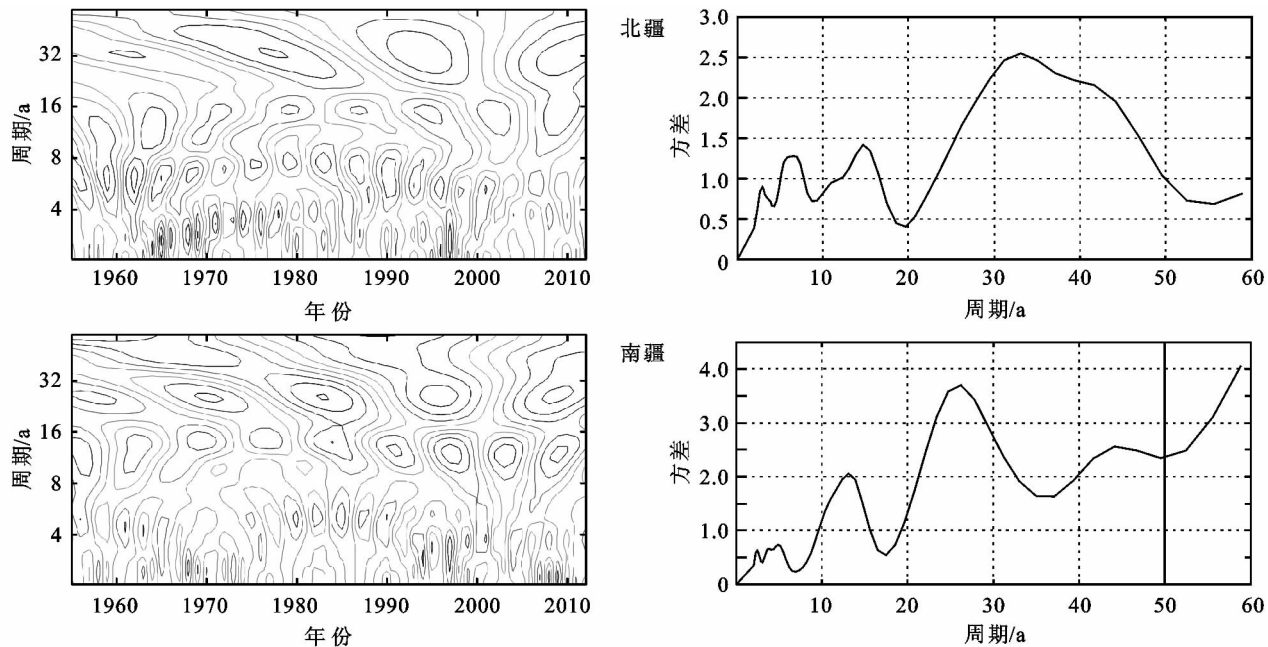


图 10 南北疆的相对湿度 Morlet 小波换小波系数实部的时频分布

## 4 结论

1) 在全球气候变暖背景下,南北疆的气温均呈显著上升趋势,以北疆增幅大于南疆。这与刘波等<sup>[20]</sup>研究 1960—2005 年新疆气候变化的基本特征得出的结论相一致。不同温度指标结果是年平均最低温度( $T_{\min}$ )>年平均温度( $T_{\text{mean}}$ )>年平均最高温度( $T_{\max}$ )。

2) 南北疆年平均温度发生突变的时间分别在 20

世纪 90 年代初、80 年代末期,以北疆较早发生突变;北疆的气温突变点与尹云鹤<sup>[21]</sup>等提出的我国气候发生突变的时间(1989 年)基本一致,而南疆推迟大概 3 a;南北疆的气温突变后较 20 世纪 60 年代有明显增加。

3) 南北疆年降水量的变化趋势不如气温变化趋势明显,总体上呈增加趋势,变化差异不大,而以北疆增幅大于南疆,这与刘波等的研究结论相一致<sup>[20]</sup>。北疆近 40 a 的降水量总体经历了“减少—增加—增加—减少”的年代间变化,但未出现明显的年际突变



点;南疆在各个年代都呈现增加趋势,且年均降水量在1981年发生突变,降水量出现明显增加。

4) 年均相对湿度总体上呈北疆减少显著、南疆略有增加;南北疆相对湿度总体经历了“减少—增加—减少—减少”的变化;从全区来看,进入21世纪南北疆相对湿度均急剧减少。

5) 利用时、频多分辨率 Morlet 小波分析发现,北疆的气温存在4 a、8 a和14 a的周期,降水量、相对湿度均存在3 a、6 a和16 a;南疆的年均温和年均最高温存在8 a和28 a的明显周期,而最低温只存在8 a,降水量存在6 a和8 a,相对湿度存在3 a、6 a、12 a和26 a左右的周期变化规律。

#### 参考文献:

- [1] 海全胜,阿拉腾图娅,宁小莉,等. 内蒙古正蓝旗草地的区域生态足迹分析[J]. 干旱区研究,2011,28(3):532-536.
- [2] 丁勇,侯向阳,吴新宏,等. 温带草原区气候变化及其对植被影响的研究进展[J]. 中国农学通报,2012,28(17):310-316.
- [3] 韦惠兰,欧阳青虎. 气候变化对中国半干旱区农民生计影响初探:以甘肃省半干旱区为例[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(1):117-121.
- [4] 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.
- [5] Solomon S, Qin D, Manning M, et al, Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC[M]. Cambridge University Press, 2007.
- [6] Mendelsohn R, Emanuel K, Chonabayashi S, et al. The impact of climate change on global tropical cyclone damage[J]. Nature Climate Change, 2012,2(3):205-209.
- [7] 王澄海,李健,李小兰,等. 近50a中国降水变化的准周期性特征及其未来的变化趋势[J]. 干旱区研究,2012,29(1):1-10.
- [8] 韩芳,刘朋涛,牛建明,等. 50a来内蒙古荒漠草原气候干燥度的时空分布及其演变特征[J]. 干旱区研究,2013,30(3):449-456.
- [9] 李海东,沈渭寿,余光辉,等. 雅鲁藏布江源区近35年气候变化特征[J]. 水土保持研究,2010,17(5):63-67.
- [10] Dai A, Trenberth K E, Qian T. A global dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870-2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming[J]. Journal of Hydrometeorology, 2004,5(6):1117-1130.
- [11] 成鹏. 乌鲁木齐地区近50a降水特征分析[J]. 干旱区地理,2010,33(4):580-587.
- [12] 胡汝骥,姜逢清. 新疆气候由暖干向暖湿转变的信号及影响[J]. 干旱区地理,2002,25(3):194-200.
- [13] 李雪梅,姜逢清,李兰海,等. 塔里木河北源及干流区域降水变化趋势与多尺度特征对比[J]. 冰川冻土,2010(2):285-294.
- [14] 张家宝,史玉光. 新疆气候变化及短期气候预测研究[M]. 气象出版社,2002.
- [15] 普宗朝,张山清,王胜兰,等. 近36年天山山区潜在蒸散量变化特征及其与南、北疆的比较[J]. 干旱区研究,2009(3):424-432.
- [16] 易湘生,尹衍雨,李国胜,等. 青海三江源地区近50年来的气温变化[J]. 地理学报,2011,66(11):1451-1465.
- [17] 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.
- [18] 秦大河. 进入21世纪的气候变化科学:气候变化的事实,影响与对策[J]. 科技导报,2004,22(7):4-7.
- [19] 李春兰,包玉海,包刚,等. 近57年锡林浩特市平均最高,最低气温变化特征分析[J]. 水土保持研究,2013,20(5):257-260.
- [20] 刘波,冯锦明,马柱国,等. 1960~2005年新疆气候变化的基本特征[J]. 气候与环境研究,2011,14(4):414-426.
- [21] 尹云鹤,吴绍洪,陈刚. 1961—2006年我国气候变化趋势与突变的区域差异[J]. 自然资源学报,2009,24(12):2147-2157.