

The Analysis of Temperature Change Drift for Altay Area in Xinjiang

Zhengbo Zhao, Yongbo Lin, Xiaoyan Chen

Altay Meteorological Bureau, Altay
Email: zhaozhb@163.com

Received: May 14th, 2014; revised: Jun. 18th, 2014; accepted: Jun. 25th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Having the average temperature data (1961-2009) sourced from 7 weather stations in Altay in Xinjiang, we analyze the temperature using Mann-Kendall drift test, cubic function, Mann-Kendall mutation check, R/S analysis and Morlet small wave transformation. The results indicate that: 1) The result of Mann-Kendall drift test is similar to linearity drift methods. Each year and season's temperature increased obviously except spring. The drift of temperature's increasing is different from each station. 2) Cubic function of temperature takes on the monotonous trend of escalation basically, the time of decreased temperature change to the elevation of temperature is in the middle of 1970s, it has great difference among stations. 3) The annual average temperature had the remarkable mutation around 1976, also in summer, autumn and winter around 1972, 1974 and 1984. There is no remarkable mutation in Altay station, the majority of stations changed in the middle of 1970s, having no remarkable mutation in spring. 4) The average temperature of year and each season has different remarkable change in the cycle of age and year. 5) Temperature diversification is counter-durative.

Keywords

Temperature Change, Mann-Kendall Drift Test, Cubic Function, Mann-Kendall Mutation Check, R/S Analysis, Morlet Small Wave Transformation

新疆阿勒泰地区气温变化趋势分析

赵正波, 林永波, 陈小燕

新疆阿勒泰地区气象局, 阿勒泰

Email: zhaozhb@163.com

收稿日期: 2014年5月14日; 修回日期: 2014年6月18日; 录用日期: 2014年6月25日

摘要

采用新疆阿勒泰地区7个气象观测站1961~2011年月平均气温资料,运用Mann-Kendall趋势检验、Cubic函数、Mann-Kendall突变检测、R/S分析、Morlet小波变换法对该地区气温进行了分析。结果表明,1) Mann-Kendall趋势法与线性趋势法计算的结果基本一致;除春季外,年和各季的气温均呈显著的增暖趋势;各区域中增暖趋势存在差异。2) 气温的Cubic函数基本呈单调上升趋势;除秋季外,降温到升温转型的时间基本在70年代初中期,各区域存在着较大的差异。3) 年平均气温在1976年前后、夏秋冬季分别在1972、1974、1984年前后发生了显著突变;各区域中,阿勒泰站无显著突变,大部分站集中在70年代中期;春季气温无显著的突变点。4) 年平均及各季气温存在不同显著的年代际和年际周期变化。5) 气温变化具有反持续性。

关键词

气温变化, Mann-Kendall趋势检验, Cubic函数, Mann-Kendall突变检测, R/S分析法, Morlet小波变换

1. 引言

随着全球变暖的日益显著,以气候变暖为代表的全球性环境问题已越来越受到科学界、社会公众和各国政府的关注。IPCC第4次评估中指出:近100a(1906~2005年)全球平均地表气温上升了 0.74°C ,1850年以来最暖的12个年份有11个出现在近期的1995~2006年,过去50a升温率几乎是过去100a的2倍[1]。我国近年来也出现了显著变暖,近100年我国年平均地面气温明显增加,升温幅度比同期全球平均值略高[2]-[4],近50a年平均地表气温变暖幅度比全球或半球同期平均增温速率明显偏高[5]。施雅风等[6]指出西北气候由暖干向暖湿转型;任朝霞等[7]利用1961~2000年资料研究了近50a西北的气候变化趋势,认为干旱区年平均气温呈上升趋势($0.22^{\circ}\text{C}/10\text{a}$),1986年后气温明显升高。苏宏超等[8]指出新疆近50a来的气温呈上升趋势,平均增长率为 $0.27^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,其中北疆地区为 $0.36^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,1987年以后的平均气温较以前有明显升高,各季平均气温的变幅以冬季为最大,夏季最小,但各季总体上均呈上升趋势。何清[9]、张家宝等[10]研究指出,近40a来新疆气温呈明显上升趋势,降水量变化的总趋势是增加明显。庄晓翠等[11]利用阿勒泰地区1960~2003年的月平均气温资料研究指出,阿勒泰地区平均气温呈变暖趋势,以 $0.53^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的倾向率变暖;四季中冬季增暖最为显著,夏季最弱。然而,已有的工作或仅限于其中的某省区,或分析的侧重点不同,尤其是对阿勒泰地区气温的突变、周期等缺少研究,在全球气候变暖的大背景下有必要详细分析阿勒泰地区气温的变化特征,这对了解该地区气候背景,充分认识和利用气候资源、对生态环境与社会经济等具有重要意义,并为短期气候预测提供依据。

2. 资料及分析方法

2.1. 资料

利用新疆阿勒泰地区1961~2011年完整的7个国家级基准、基本气象站(图1)的月平均气温资料。以7站的平均值代表阿勒泰地区。根据阿勒泰地区气候及农牧业生产特点,以4~5月为春季,6~8月为夏季,

9~10月为秋季,11月~次年3月为冬季来统计资料。气候值取世界气象组织(WMO)设定的标准气候值时段(1971~2000年)的平均值。

2.2. 方法

在趋势检验法中采用 Mann-Kendall [12] [13]非参数检验法和线性趋势检验法;用 Cubic 函数即三次多项式曲线[14],定性分析气温变化的转型特征,极小值对应要素值由下降转为上升,反之为上升转为下降的转型时间;突变采用 Mann-Kendall(简称 M-K)方法[15];用 R/S 法[16]-[18]分析气温变化的持续性;用 Morlet 小波变换[19]-[22]法对气温进行周期分析。

3. 结果与分析

3.1. 气温的 Mann-Kendall 趋势特征

本文采用 Mann-Kendall 趋势检验法,计算每个实测站点的 M 值。M = 1.96 和 2.56 时,变化趋势分别达到 95%和 99%的信度检验被认为存在显著的变化趋势;M 值为正,表明具有上升或增加趋势,M 值为负,则意味着下降或减少的趋势[13]。由表 1 可知,阿勒泰地区年平均气温呈显著的增暖趋势(表 1),

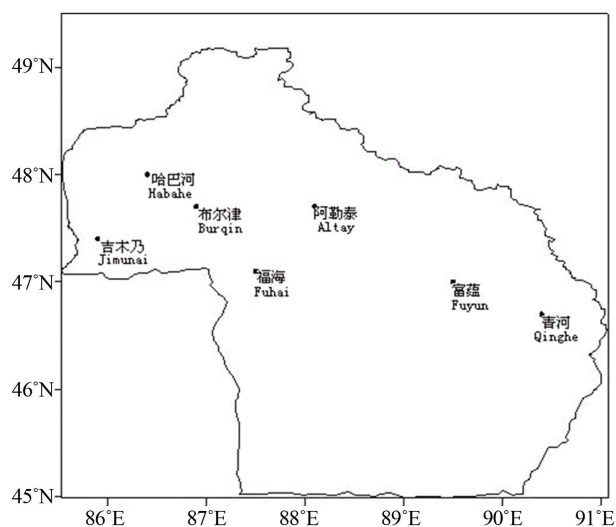


Figure 1. The position distribution of 7 observation stations in Altay region

图1. 阿勒泰地区7个观测站的位置分布

Table 1. Mann-Kendall drift test of year and each season's temperature change in Altay from 1961 to 2011

表 1. 1961~2011 年阿勒泰地区年及各季气温变化 Mann-Kendall 趋势检验

	阿勒泰 ALTAY	吉木乃 JIMUNAI	哈巴河 HABAHE	布尔津 BURQIN	福海 FUHAI	富蕴 FUYUN	青河 QINGHE	全区 REGION
年 Year	2.3791*	4.603*	3.8617*	3.5859*	4.5168*	4.9995*	4.4996*	4.2927*
春季 Spring	0.6222	2.0087#	1.9198	1.7065	2.2576*	2.1331#	2.0087#	1.7421
夏季 Summer	-0.4977	3.5019*	3.093*	2.3642#	2.9686*	5.1017*	4.3374*	3.3597*
秋季 Autumn	0.7466	3.4486*	2.9508*	2.1865#	3.6974*	3.8396*	2.9508*	3.093*
冬季 Winter	2.017#	2.6549*	2.1377#	1.8964	2.586*	3.3795*	2.2929#	2.6032*

Note: #The 0.05 significant level; *The 0.01 significant level.

注: #表示通过 0.05 信度检验; *表示通过 0.01 信度检验。

均通过了 0.01 的显著检验, 增暖最显著的是富蕴站, 其次是吉木乃站, 阿勒泰站增温相对最慢。这与文献[11]的结论基本一致。

四季中总体来说, 除春季外均呈显著的增暖趋势, 夏季增暖最快(与文献[11]不同), 春季最慢, 但存在较大的区域差异。由表 1 可知, 冬季除布尔津站、夏秋季除阿勒泰站、春季有 3 个站没通过检验外, 其它都通过了显著性检验; 增暖最快站: 夏秋冬季是富蕴站, 春季是福海站; 阿勒泰站增温相对最慢, 只有冬季通过了显著性检验。

3.2. 气温趋势变化特征

3.2.1. 年气温趋势变化特征

由图 2 可知, 近 50a 来阿勒泰地区年平均气温线性增暖趋势极显著($r = 0.546$, 通过 $\alpha = 0.0001$ 显著性检验), 增温率 $0.41^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 高于西北和新疆其它地区; 各区域中增温最快的是富蕴站($0.650.41^{\circ}\text{C}/10\text{a}$), 最慢的是阿勒泰站 $0.190.41^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (表略), 与文献[11]基本一致。全区 Cubic 函数在 1971 年达到极小值 (2.82°C), 2002 年达到极大值(4.69°C)。表明该地区从 20 世纪 70 年代开始发生降温到升温转型, 在 2000 年代初(2003 年以后)气温有些下降趋势。气温的这种演变趋势在区域分布上有一定差异, 除福海站外, 其它站对全区气温变化的贡献均较大(图略), 转型时间与全区基本一致, 即极小值出现在 1971 前后, 极大值出现在 2002 年前后, 福海站 2000 年代中期发生了转型。

3.2.2. 各季气温趋势变化特征

从各季来看(表略), 冬季线性增温最显著($r = 0.349$, 通过 $\alpha = 0.05$ 显著性检验)增温率 $0.49^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 夏季相对最慢, 增温率 $0.29^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 接近文献[11]但通过 $\alpha = 0.001$ 显著性检验, 春季没通过显著性检验。各区域, 阿勒泰站各季趋势变化不显著, 春季阿勒泰、布尔津和青河站, 冬季阿勒泰、哈巴河、布尔津站, 夏秋季阿勒泰站没通过显著性检验; 其它时期及各站均呈显著的增暖趋势, 增温最快的春季是吉木乃站, 其它季节是富蕴站。

各季气温的 Cubic 函数基本呈大(1960 年代初)、小(1970 初、中期)、大(2000 年代初中期)趋势(图 3), 但在时空分布存在差异。春季在 1970 年代初中期达到极小值(10.29°C), 2000 年代初达到极大值(11.71°C)。在区域分布上(图略), 阿勒泰站极小值出现 1976 年, 吉木乃和福海站极大值出现在 2000 年代中后期, 比全区要滞后, 其它站基本与全区气温变化一致。夏季极小值出现在 1968~1972 年, 极大值出现在 2009 年, 即夏季气温在 1960 年代末到 1970 年代初发生了由冷到暖的转型; 在区域分布上, 富蕴、青河、布尔津

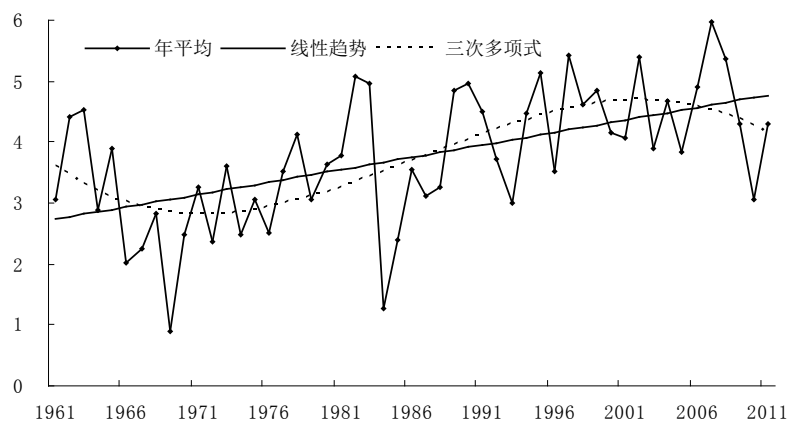


Figure 2. Annual average temperature change drift in Altay from 1961 to 2011
图 2. 1961~2011 年阿勒泰地区年平均气温变化趋势

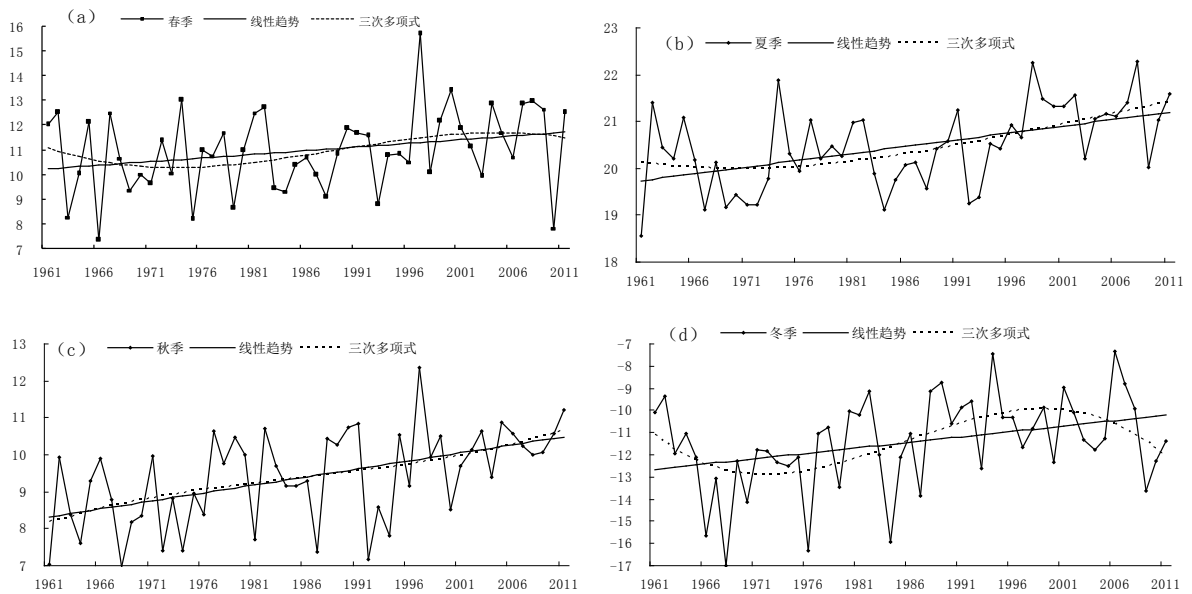


Figure 3. Average temperature change drift in each season in Altay from 1961 to 2009

图 3. 1961~2011 年阿勒泰地区各季平均气温变化趋势

站转型的时间接近全区；阿勒泰站转型时间在 1980 年代后期，比全区滞后了近 20 年；哈巴河、福海、吉木乃站转型时间在 1960 年代初中期比全区超前。秋季全区及区域分布一致，极小值出现在 1961 年，极大值出现在 2011 年，呈单调上升趋势。冬季极小值出现在 1971~1973 年，极大值出现在 1997~2001 年；各区域分布与全区基本一致，呈 1960 年代较暖、1970 年代最冷、1990 年代后期到 2000 年代初最暖，然后呈下降趋势。由此可见，各季在气温转型的时间存在一定的差异，总体上，秋季呈单调上升趋势，夏季在 1960 年代末到 70 年代初中期由冷转为暖；冬季 1970 年代初有冷转暖，在 2000 年前后达峰值，之后略有下降；春季转暖的时间与冬季一致，但峰值出现的时间有较大的差异。

3.3. 气温的突变分析

气候突变是指在短时期内由一种相对稳定的气候状态过渡到另一种气候状态的变化，它是气候系统非线性性质的一种表现。用 M-K 突变检测对阿勒泰地区近 49a 年气温时间序列进行突变检测。由图 4 可知，C1 和 C2 曲线于 1976 年相交于信度为 0.01 的置信线 ± 2.56 之间，并且 C1 自 1976 年以来基本持续呈上升趋势，并于 1981 年由负值转为正值，1989 年 C1 值甚至超过了 +2.56 的信度线，说明 1976 年以来气温上升趋势十分显著，因此，1976 年是近 49 年阿勒泰地区气候变暖的突变点。各区域中，阿勒泰站无显著的突变点，其它站在 1973~1977 年发生了突变，且通过了 0.01 的检验。

从各季来看(图略)，春季平均气温无显著的突变点；各区域中福海和东部在 1973、1974 年发生了突变，通过 0.05 的显著性检验。夏季平均气温在 1974 年发生了显著的突变，通过了 0.01 的检验；各区域中除阿勒泰站无显著突变外，其它站在 1974、1975 年发生了显著的突变，均通过了 0.05 及以上显著性检验。秋季平均气温在 1972 年发生了显著的突变，通过了 0.01 的检验；各区域中除阿勒泰站无显著突变外，其它站在 1965~1975 年发生了显著的突变，均通过了 0.05 及以上显著性检验。冬季平均气温在 1984 年发生了显著的突变，通过了 0.01 的检验；各区域中除阿勒泰和布尔津站外，其它站在 1979~1984 年发生了显著的突变，均通过了 0.05 及以上显著性检验。由此可见，冬季突变的时间比夏秋季约晚 10 年。

3.4. 气温的周期变化

3.4.1. 年气温的周期分析

由图 5(a)可知,全区年平均气温一直存在着明显的年代际和年际尺度的周期变化,年代际变化以 33~36a、27a、13~18a 尺度的周期信号最明显,模值均 >0.5 ,且变化是全时域的。对比分析图 5(b)可知,在 13~18a 尺度上 60 年代和 70 年代最强,之后较弱,但模值均 >0.5 (图 5(b))。由图 5(a)可见,年平均气温还存在着 10a 和 6a 的年际尺度的显著周期变化。6a 左右尺度的周期变化在 80 年代中期到 90 年代初表现得较明显,其它时间较弱,但均较显著,从模值的变化也反映了这点(图 5(b))。

就各站而言(图略),阿勒泰、布尔津、富蕴站具有显著的 31~37a 的年代际周期;另外除阿勒泰和福海站外,还有 22~23a 周期,除吉木乃站外,还有 15~17a 的年代际周期变化均较显著。除吉木乃站外都有 10a 的年际周期变化;除布尔津和富蕴站外都有 8a 左右的年际周期变化。从模值来看上述周期信号都较显著,模值均 >0.5 。另外,各站还存在其它不同的年代际和年际显著周期变化。

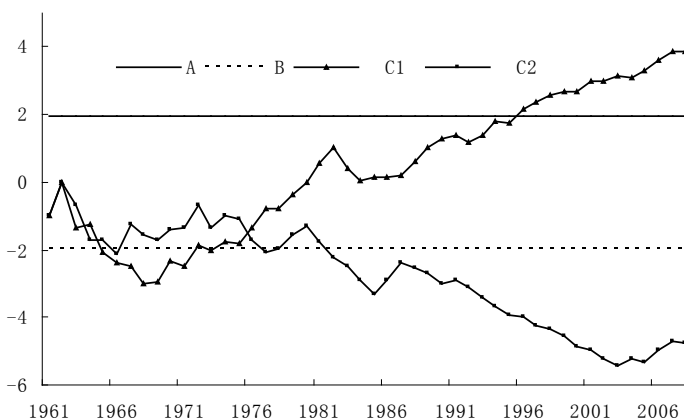


Figure 4. Mann-Kendall mutation check of annual average temperature in Altay

图4. 阿勒泰地区年平均气温的M-K突变检测

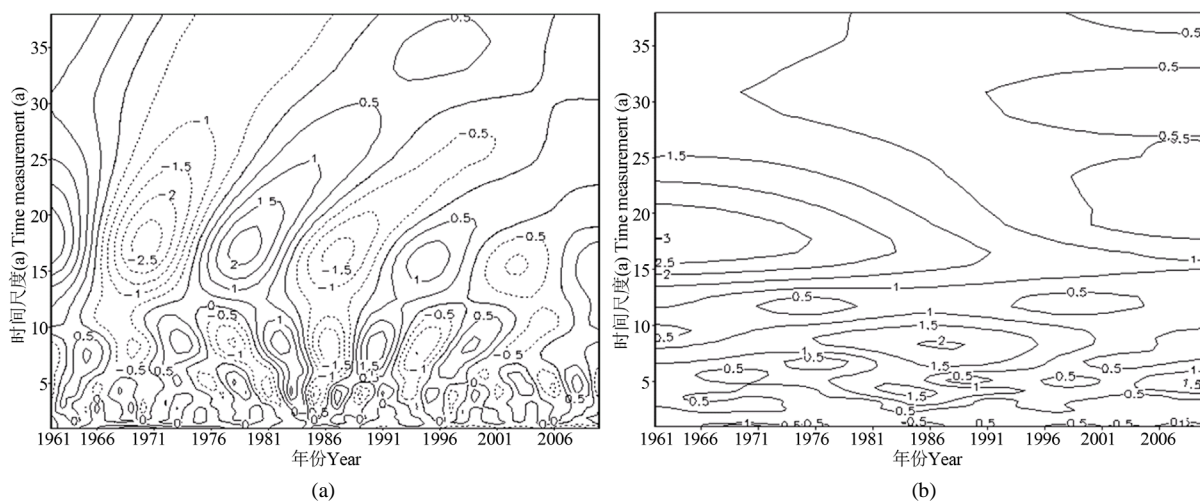


Figure 5. Annual average temperature's small wave transformation: real component (a), module value (b) in Altay from 1961 to 2011

图5. 1961~2011年阿勒泰地区年平均气温小波变换: 实部(a)、模值(b)

3.4.2. 各季气温的周期分析

春季平均气温存在着 35~37a、20~22a、15a 的年代际周期和 9~11a、4a 年际尺度的显著周期变化。各站而言, 吉木乃和哈巴河站具有 28~33a, 其它站均有 36~37a 的显著年代际周期变化, 另外, 各站具有 15a 左右的显著年代际周期, 西部三站还有 19~22a 的年代际周期变化; 福海站无年际周期变化, 其它站均具有 10a 左右的年际周期变化。从模值来看上述周期信号都较显著, 模值均 >0.5 (图略)。

夏季平均气温存在着 28~33a、16~23a 的年代际周期和 10~12a、7~8a 年际尺度的周期变化; 18~20a 的周期变化最强最显著, 小波系数的正负中心均匀出现在所讨论的时域中, 信号都比较强, 其模值 >2.0 , 而其它周期模值 >0.5 (图 6(b))。各站而言, 都具有 16~21a, 除富蕴站外, 具有 29~32a 年代际周期变化; 均具有 11a 的年际周期变化, 除富蕴站外, 都有 8a 左右的年际周期(图 5)。

秋季平均气温存在着 28~35a、24a、18~20a 的年代际周期和 7a 的年际尺度的周期变化。各站而言(图略), 除阿勒泰、富蕴外, 均具有 30~35a 的年代际周期; 除阿勒泰和布尔津外, 10a 的年际尺度的周期变化较显著; 布尔津站无年际尺度的周期。

冬季平均气温存在着 28~38a、15~18a 和 10~12a、7a 的年代际和年际周期变化(模值 >0.5), 以 28~38a 的周期最显著, 模值 >1.5 。各站中, 都具有 31~38a 的年代际周期, 除福海站外都具有 11a 的年际周期变化, 除富蕴外, 具有 8a 左右的年际周期变化, 以上周期变化模值均 >0.5 。

除上述周期外, 各站还存在其它不同显著的年代际和年际周期变化。

3.5. 气温变化的持续性分析

根据 R/S 分析[16]-[18]基本原理, 对阿勒泰地区年及各季平均气温变化的持续性进行了分析, 计算相应的 H 指数, 结果见表 2。可知, 阿勒泰地区年及各季气温 Hurst 指数均在 $0 < H < 0.5$, 说明过去 49a 气温的增暖趋势在未来会逐渐转为变冷趋势。四季中春季的 Hurst 指数最小, 表明在未来春季平均气温的反持续性相对其它季节要强, 其次是夏季; 秋季的反持续性相对弱。各站中, 年平均气温是福海站、春夏冬季是布尔津站、秋季是阿勒泰站最小, 表明在未来这些站的气温在相应的季节反持续性相对较强。由此可见, 增暖最强的区域在未来变冷的趋势并不一定是强的。

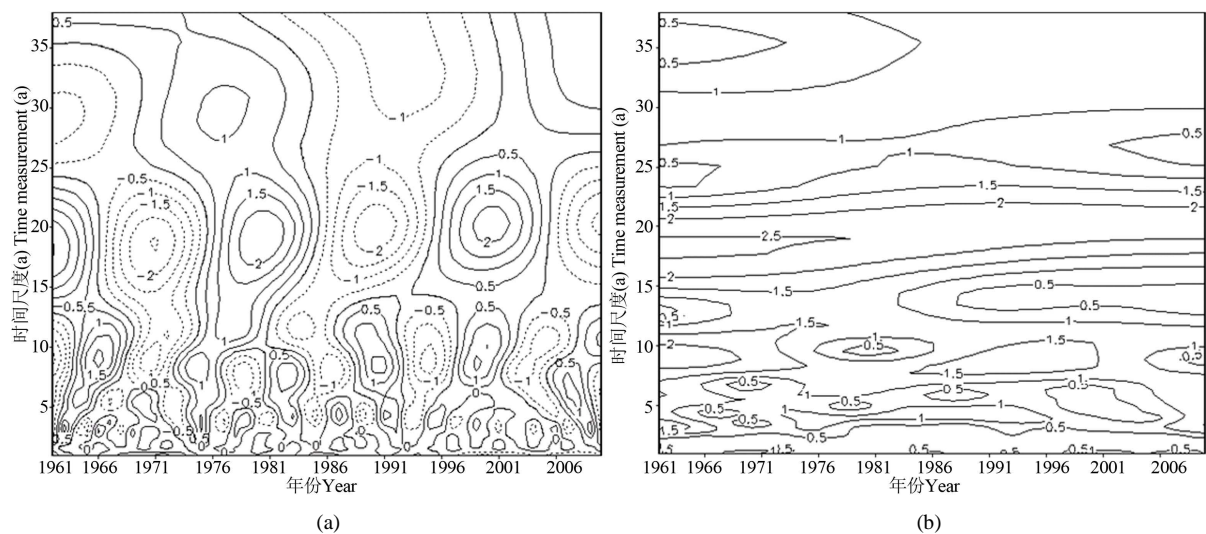


Figure 6. Summer's average temperature's small wave transformation: real component (a), module value (b) in Altay from 1961 to 2011

图6. 1961~2011年阿勒泰地区夏季平均气温小波变换: 实部(a)、模值(b)

Table 2. Hurst index (H) of annual average temperature and each season in each station for Altay
表 2. 阿勒泰地区各站年平均气温及各季的 Hurst 指数 (H)

	阿勒泰 ALTAY	吉木乃 JIMUNAI	哈巴河 HABAHE	布尔津 BURQIN	福海 FUHAI	富蕴 FUYUN	青河 QINGHE	全区 REGION
年 Year	0.242	0.288	0.239	0.202	0.201	0.234	0.229	0.239
春季 Spring	0.259	0.209	0.242	0.148	0.205	0.235	0.22	0.181
夏季 Summer	0.272	0.336	0.237	0.204	0.297	0.238	0.224	0.188
秋季 Autumn	0.21	0.252	0.273	0.372	0.24	0.314	0.296	0.284
冬季 Winter	0.218	0.232	0.252	0.208	0.24	0.235	0.223	0.223

4. 结论与讨论

1) Mann-Kendall 趋势法与线性趋势法计算的结果基本一致；除春季外，年和各季的气温均呈显著的增暖趋势；各区域中增暖趋势存在差异。

2) 气温的 Cubic 函数拟合基本呈单调上升趋势，除秋季外，降温到升温转型的时间基本在 70 年代初中期，各区域分布存在着一定的差异。

3) 年平均气温在 1976 年前后、夏秋冬季分别在 1974、1972、1984 年前后发生了显著突变，春季无显著的突变点；各区域突变时间不同。

4) 年平均及各季气温存在不同显著的年代际和年际周期变化。

5) R/S 分析表明，气温增暖趋势在未来会逐渐转为变冷趋势。未来春季平均气温的反持续性相对最强，秋季最弱；各区域反持续性强度有所不同。增暖最强的区域在未来变冷的趋势并不一定是最强的。

气候增暖的原因是一个非常复杂的问题，目前一般认为 20 世纪我国的增暖可能与太阳活动、火山活动和人类活动有关[23]。在与人类活动有关的诸多因子中，城市化热岛效应的影响比较严重[24]。阿勒泰地区位于欧亚大陆腹地，地域辽阔，不同区域气候差异较大。近二三十年来，该地区城市化进展较快，原来位于城郊的一些国家基本观测站逐渐变为被水泥建筑物包围的城市站。如富蕴站，城市化发展可能是该站增暖最显著的原因之一；而位于城郊的阿勒泰基准站，由于其观测环境变化不大，除冬季外，增暖趋势不显著，其原因有待进一步研究。

基金项目

公益性行业科研专项“新疆北部致灾暴雪成因分析和预报技术研究”(GYHY201106007)。

参考文献 (References)

- [1] 沈永平 (2007) IPCC WGI 第四次评估报告关于全球气候变化的科学要点. *冰川冻土*, **1**, 212.
- [2] 丁一汇, 任国玉, 石广玉 (2007) 气候变化国家评估报告(I): 我国气候变化的历史和未来趋势. *气候变化研究进展*, 增刊, 1-5.
- [3] 唐国利, 任国玉 (2005) 近百年来我国地表气温变化的再分析. *气候与环境研究*, **4**, 791-798.
- [4] 秦大河, 陈振林, 罗勇, 等 (2007) 气候变化科学的最新认知. *气候变化研究进展*, **2**, 63-73.
- [5] 任国玉, 徐铭志, 初子莹, 等 (2005) 近 54 年我国地面气温变化. *气候与环境研究*, **4**, 717-727.
- [6] 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等 (2003) 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*, **2**, 152-164.
- [7] 任朝霞, 杨达源 (2006) 近 50a 西北干旱区气候变化趋势研究. *第四纪研究*, **2**, 299-300.
- [8] 苏宏超, 魏文寿, 韩萍 (2003) 新疆近 50a 来的气温和蒸发变化. *冰川冻土*, **2**, 174-178.

- [9] 何清, 杨青, 李红军 (2003) 新疆 40 年来气温、降水和沙尘天气变化. *冰川冻土*, **4**, 423-427.
- [10] 张家宝, 史玉光 (2002) 新疆气候变化及短期气候预测研究. 气象出版社, 北京.
- [11] 庄晓翠, 郭城 (2006) 阿勒泰地区气候变化特征分析. In: 气候变化与气候变异: 生态 - 环境演变及可持续发展论文集, 气象出版社, 北京, 285-290.
- [12] 王绍武 (1994) 气候系统引论. 气象出版社, 北京.
- [13] 刘敏, 沈彦俊, 曾燕, 等 (2009) 近 50 年中国蒸发皿蒸发量变化趋势及原因. *地理学报*, **3**, 259-269.
- [14] 丁裕国, 江志红 (1998) 气象数据时间序列信号处理. 气象出版社, 北京, 194-201.
- [15] 符淙斌, 王强 (1992) 气候突变的定义和检测方法. *大气科学*, **6**, 482-493.
- [16] 张晓伟, 沈冰, 孟彩侠 (2008) 和田绿洲水文气象要素分形特征与 R/S 分析. *中国农业气象*, **1**, 12-15.
- [17] 张利平, 王德智, 夏军, 等 (2005) R/S 分析在洪水变化趋势预测应用研究. *中国农村水利水电*, **2**, 3840.
- [18] 庄晓翠, 赵正波, 杨森, 等 (2010) 西北干旱区阿勒泰地区暖季干湿气候变化及 R/S 分析. *干旱地区农业研究*, **5**, 259-265.
- [19] 李耀辉, 李栋梁, 赵庆云 (2001) 中国西北地区秋季降水异常的特征分析. *高原气象*, **2**, 158-164.
- [20] 邓自旺, 林振山, 周晓兰 (1997) 西安市近 50 年来气候变化多时间尺度分析. *高原气象*, **1**, 81-93.
- [21] 陈志芳 (2002) 佛山降水变化的小波特征. *气象科技*, **4**, 214-217.
- [22] 刘海涛, 张向军, 李绣东 (2009) 和田河流域 1954~2007 年气温及降水气候特征分析. *沙漠与绿洲气象*, **4**, 26-30.
- [23] 赵宗慈, 王绍武, 徐影, 等 (2005) 近百年我国地表气温气势变化的可能原因分析. *气候与环境研究*, **4**, 808-817.
- [24] 任国玉, 初子莹, 周雅清 (2005) 中国气温变化研究最新进展. *气候与环境研究*, **4**, 701-716.