

新疆吐鲁番 60 a 气温变化基本特征

张慧琴¹, 杨艳玲², 余 华¹

(1. 新疆吐鲁番地区气象局, 新疆 吐鲁番 838000; 2. 新疆哈密地区气象局, 新疆 哈密 839000)

摘 要:利用 1952~2011 年吐鲁番气象站年、季、月平均气温, 年最高最低气温、酷热日数资料, 采用线性回归、9 a 滑动平均和滑动 t 检验方法分析了吐鲁番 60 a 气温演变特征。研究表明: 60 a 来吐鲁番年平均气温呈显著上升趋势, 线性增暖率为 $0.359\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 在 1996 年存在暖突变; 4 季气温均呈增暖趋势, 冬季气温增幅最大, 秋季、春季次之, 夏季最小; 各月气温变化中除 7 月、8 月呈下降趋势外其它月份均呈增暖趋势, 2 月增幅最大; 最低气温的增温趋势明显高于最高气温; 酷热日数以 $1.28\text{ d}/10\text{ a}$ 线性趋势增加。

关键词:气候变化; 温度; 趋势; 突变

中图分类号: P468.0⁺21

文献标识码: A

引 言

近百年来, 全球气候系统正经历着一次以变暖为主要特征的显著变化^[1], 全球温度升高了 $0.562\sim 0.92\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。我国气候变暖与全球气候变化同步, 尤其近 50 a 来, 中国大部分地区变暖更加明显, 以北方增温最为显著^[2-5]。王鹏祥、任朝霞等^[6-7]对气候变化趋势的研究也表明近 50 a 中国西北干旱区年平均气温和年降水量变化均呈上升趋势; 左敏、戴新刚^[8-10]等研究指出, 新疆气温呈线性变暖趋势; 张学文^[11]等指出北疆地区年平均气温以 $0.36\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 上升; 蒲云锦、胡文峰、赵勇等^[12-15]研究指出石河子和若羌绿洲气象要素综合表现为显著的暖湿化趋势, 鄯善县境内的库姆塔格沙漠气温呈升高趋势, 这些研究对认识新疆气候变化特征和规律、合理使用太阳能资源、水资源等有重要意义。

吐鲁番位于东经 $88^{\circ}5'\sim 89^{\circ}54'$, 北纬 $41^{\circ}20'\sim 43^{\circ}35'$, 地形闭塞, 干旱少雨, 风沙天气多, 夏季温度高且持续时间长, 素有“火炉”之称, 年平均气温 $15.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 年降水量 15.3 mm , 最高气温 $47.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 最低气温 $-28.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。特殊的地理条件造就了吐鲁番特殊的气候特点, 与北疆气候迥异, 也与盆地东面的哈密地区气候有较大差异。在全球气候变暖的大背景下对吐鲁番的气候变化特征做详细分析, 有利于合理

利用气候资源, 对理解吐鲁番盆地及东疆气候变化特征、葡萄等农作物种植结构和极端天气事件的发生具有参考价值, 为更全面的认识区域气温变化规律提供科学依据。

1 资料与方法

利用 1952~2011 年吐鲁番气象站年、季、月平均气温、年最高最低气温、酷热日数资料, 建立 60 a 吐鲁番年、季、月平均气温、年最高最低气温和酷热日数的时间序列, 统计出吐鲁番气象站各要素, 以时间为自变量, 要素为因变量, 建立一元线性回归方程, 分析吐鲁番气温变化趋势。春、夏、秋、冬季分别取 3~5 月、6~8 月、9~11 月、12 月到次年 2 月。运用滑动 t 突变检验法^[16]对年平均气温进行突变检验。本文平均值均指 1981~2010 年平均。

2 气温

2.1 年平均气温

吐鲁番年平均气温是 $15.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。图 1 是 1952~2011 年吐鲁番年平均气温距平、线性趋势及 9 a 滑动平均。吐鲁番 60 a 的平均气温以 $0.359\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 趋势明显上升, 通过 0.001 信度检验, 这一变化趋势与新疆气温的变化趋势相一致。增幅最快的阶段是 1994~2011 年, 以 $0.073\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 的速率快速上升, 进

收稿日期: 2012-05-18; 改回日期: 2012-08-14

作者简介: 张慧琴(1976-), 女, 工程师, 从事天气预报工作. E-mail: tlfmaozhen@126.com

入本世纪后的近十多年增幅有所减缓,但仍以 0.041 °C/a 的速率上升。1952 ~ 1996 年气温以负距平为主,1950 ~ 1970 年代是负距平最大区,是相对较冷时期,本世纪则以正距平为主,1996 年以后仅 2003 年是负距平,本世纪的 12 a 里气温均值比平均值高 0.6 °C,年平均最高的是 2007 年 16.3 °C,比平均值高 1.2 °C。

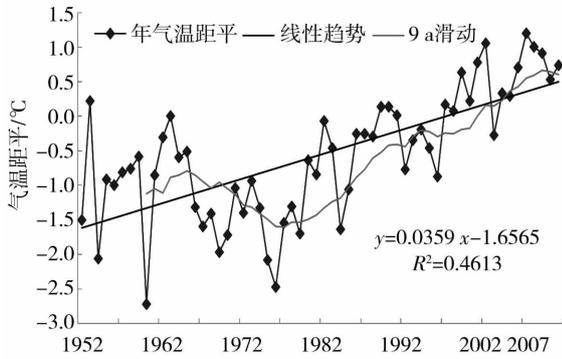


图1 吐鲁番 1952 ~ 2011 年平均气温距平变化
Fig.1 The yearly change of annual average temperature departure during 1952 - 2011 in Turpan of Xinjiang

2.2 季平均气温

从表 1 中看出春、夏、秋、冬季气温均呈线性增暖趋势,线性增暖率分别为 0.259 °C/10 a、0.00005 °C/10 a、0.418 °C/10 a、0.799 °C/10 a,其中春、秋、冬季均通过 0.001 信度检验,夏季未通过信度检验,冬季增暖幅度明显大于春、夏、秋季,夏季变化最微弱。4 季气温年代际变化(图略)各有差异,春季气温在 1950 ~ 1980 年代气温偏低,1970 年代最低,低于平均值 -1.0 °C,1992 ~ 2001 年与平均值持平,2002 ~ 2011 年气温升高最快,高出平均值 0.6 °C;夏季气温在 1970 ~ 1990 年代均偏低,1950 ~ 1960 年代、2002 ~ 2011 年均偏高,且幅度都不大;秋季气温从 1950 ~ 1990 年代近半个世纪都是偏低,1960 年代最低,低于平均值 1.6 °C,进入本世纪则偏高 1.1 °C;冬季气温 1950 ~ 1980 年代均偏低,且幅度较大,1950 年代最低,低于平均值 3.4 °C,1990 年代到本世纪都偏高,1990 年代最高,偏高 0.7 °C。

2.3 月平均气温

从表 1 看出月平均气温除 7 月和 8 月线性倾向率为 -0.072 °C/10 a 和 -0.003 °C/10 a 呈下降趋势外,其它月份都呈增暖趋势,尤以 2 月增暖幅度最大,线性增暖率达 0.871 °C/10 a,其次是 12 月、1 月、11 月、10 月和 3 月,4 月、5 月、9 月、6 月增暖幅

度依次减小,其中 2 月、10 ~ 12 月均通过 0.001 信度检验,1 月和 3 月通过了 0.01 信度检验,4 月和 5 月通过了 0.1 信度检验,而 6 ~ 9 月均未通过任何信度检验。此外通过各月之间相关性计算,只有 1 月和 2 月,8 月和 9 月相关系数分别是 0.568 和 0.538 外,且均通过 0.001 信度检验,其余相关系数的绝对值都较小,说明各月之间气温相关性并不大。

表 1 吐鲁番季、月气温相关分析表
Tab.1 Correlation analysis between the seasonal and monthly temperature in Turpan

月	气温倾向率 / (°C/10 a)	相关系数 R	季	气温倾向率 / (°C/10 a)	相关系数 R
12 月	0.711	0.471 ***	冬季	0.799	0.6155 ***
1 月	0.692	0.4025 **			
2 月	0.871	0.5794 ***			
3 月	0.326	0.3306 **	春季	0.259	0.4266 ***
4 月	0.282	0.2956 *			
5 月	0.170	0.2274 *			
6 月	0.075	0.1225	夏季	0.00005	0.0001
7 月	-0.072	0.1273			
8 月	-0.003	0.0045			
9 月	0.121	0.1559	秋季	0.418	0.5659 ***
10 月	0.459	0.4961 ***			
11 月	0.675	0.5967 ***			

注: *、**、*** 分别指通过 0.10、0.01、0.001 信度检验

2.4 年最高气温

吐鲁番夏季持续时间长,一般 5 月进入夏季,到 9 月才结束。年最高气温在 42.1 ~ 47.8 °C 之间(图 2),多出现在 6、7、8 月。1952 ~ 2011 年吐鲁番年最

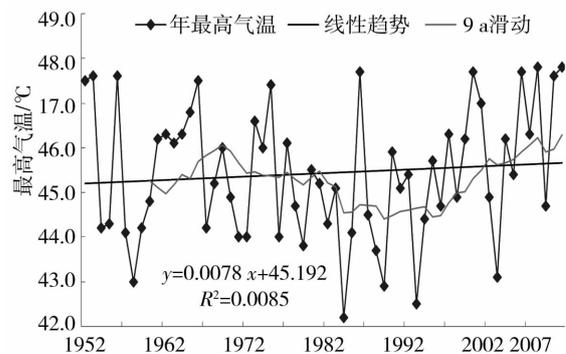


图2 吐鲁番 1952 ~ 2011 年年最高气温变化
Fig.2 The maximum temperature change during 1952 - 2011 in Turpan

高温以 $0.078\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 趋势缓慢升高,未通过信度检验。通过计算,1952~1995年吐鲁番市年最高气温以 $0.034\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 趋势下降,仅1986年达到峰值 $47.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,而1996~2011年则以 $0.109\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 趋势上升,2008和2011年分别出现过2次 $47.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。20世纪后50 a里 $\geq 47\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的年极值仅出现过6次,进入2000年后的12 a里就出现了6次。进入21世纪极端最高气温频繁出现,加之酷热日数增加,吐鲁番夏季是名副其实的火炉。

2.5 年最低气温

吐鲁番冬季时间短,最低气温在 $-11.8\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -28.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间(图3),多出现在1月。1952~2011年吐鲁番低温以 $1.353\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ (通过0.01信度检验)趋势升高,升温幅度远大于年最高气温。这表明夜间气温有较强的增温趋势,白天增温趋势较弱,温度日较差减小。极端低温多出现在1970年代以前,历史上仅出现过4次 $< -25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温,分别是1954、1959、1960和1975年,最冷的是1960年为 $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。从9 a滑动平均分析,1980年代初到1990年代初低温升幅最大,进入本世纪,低温波动趋势平稳。最低气温的快速升高是年平均气温上升的主要因素之一。

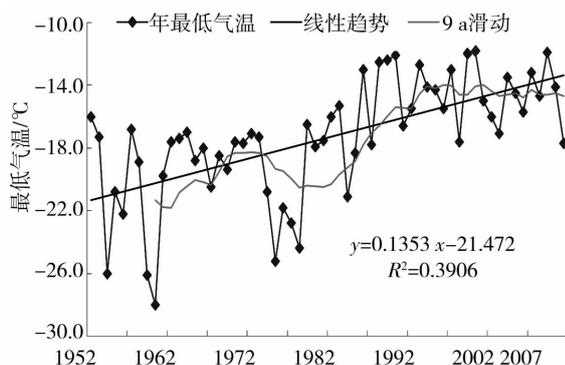


图3 吐鲁番1952~2011年年最低气温变化曲线

Fig. 3 The minimum temperature change during 1952-2011 in Turpan

2.6 酷热日数

以日最高气温 $\geq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为高温酷热天气,统计出1981~2010年吐鲁番酷热日数是37 d,一般出现在6~8月,偶有5月出现。图4是吐鲁番近60 a酷热日数距平曲线,吐鲁番的酷热日数以 $1.2\text{ d}/10\text{ a}$ 趋势增加,未通过信度检验,大致分为3个阶段,在1952~1962年之间波动较大,1965~1992年波动较为平稳,而且在平均值以下居多,夏季相对比较凉爽,1993~2011年之间波动最大,酷热日数增加明

显,经过计算,1952~1992年酷热日数以 $0.331\text{ d}/\text{a}$ 减少,而1992~2011年则以 $1.446\text{ d}/\text{a}$ 快速增加,可见近20 a气候变暖现象明显。酷热日数较多的年份多集中在21世纪,2000~2011年酷热日数平均值为47 d,2011年酷热日数64 d也为吐鲁番站有历史记录以来最多的年份。

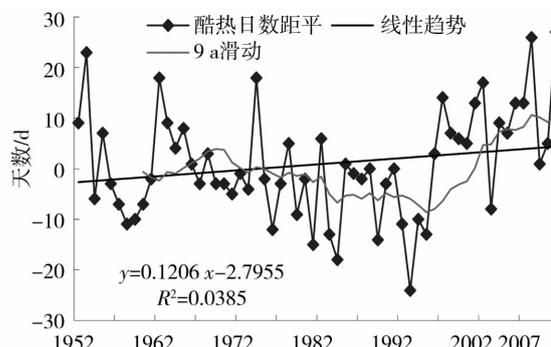


图4 吐鲁番1952~2011年酷热日数距平变化

Fig. 4 The change of yearly extremely hot days departure during 1952-2011 in Turpan

3 气温突变分析

气候突变是指一种稳定气候状态经短时间跳跃式地转变成另一种稳定气候状态的现象。滑动 t 检验其基本思想是把一气候序列中2段子序列均值有无显著差异看做来自2个总体均值有无显著差异的问题来检验。如果2段子序列的均值差异超过了一定的显著性水平,可以认为均值发生了质变,有突变发生。

用滑动 t 检验检测1952~2011年吐鲁番年平均气温序列的突变。从图5可以分析出,滑动步长 $N=5$ 时分别在1965年和1996年出现2个 $|t|$ 超过临界值的最值 ($N=5$ 时,1965年 $|t| = 5.88 > t_{\alpha=0.001} = 5.04$; 1996年 $|t| = 4.78 > t_{\alpha=0.001} = 4.32$),说明吐鲁番年平均气温在近60 a来出现过2次明显的突变,1960年代中期经历了一次冷突变,1990年代中期经历了明显的暖突变;滑动步长 $N=7$ 时仅在1996年出现 $|t|$ 超过临界值的最值 ($N=7$ 时,1996年 $|t| = 3.29 > t_{\alpha=0.01} = 3.06$),也说明在1990年代中期经历一次暖突变。当 $N=5$ 和7时,都在1996年 $|t|$ 超过了0.01显著性检验的临界值,说明在1996年吐鲁番发生了显著的暖突变,突变时间与新疆策勒绿洲区1996年发生的气温突变时间^[17]相同,比文献[13]中若羌绿洲增温突变早1 a。

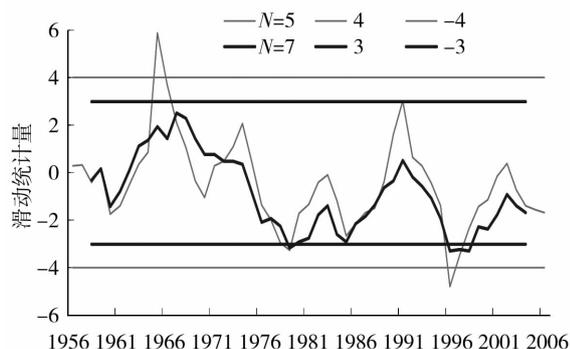


图5 吐鲁番滑动 t 检验统计量曲线

(直线为 $\alpha = 0.01$ 显著性水平临界值)

Fig. 5 The slide t test statistical curve in Turpan

(the straight line stands for the confidence level threshold more than $\alpha = 0.01$)

4 结 论

(1) 1952 ~ 2011 年新疆吐鲁番年平均气温呈明显上升趋势, 线性增暖率为 $0.349\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 温度变化与全球变暖的大背景相一致, 但增温幅度明显高于 $0.27\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的新疆平均水平^[18]。年平均气温在 1996 年发生了一次增温突变现象。

(2) 冬季气温增暖幅度明显大于春、夏、秋季, 线性增暖率分别为 $0.799\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.259\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.00005\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $0.418\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。

(3) 月平均气温除 7 月和 8 月呈下降趋势外, 其它月份均呈增暖趋势, 尤以 2 月增暖幅度最大。各月之间相关性只有 1 月和 2 月, 8 月和 9 月相关性较大, 其余月份之间气温相关性较小。

(4) 吐鲁番年最高最低气温的线性增暖率分别为 $0.078\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $1.353\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。极端最高温度分别在 2008 和 2011 年出现 ($47.8\text{ }^{\circ}\text{C}$), 1952 ~ 1995 年有下降趋势, 1996 以后则呈上升趋势。极端低温最低是 1960 年的 $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$, 最冷的时期是 1950 年代为 $-21.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 比近 10 a 的 $-14.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低 $6.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(5) 吐鲁番酷热日数以 $1.28\text{ d}/10\text{ a}$ 趋增加势, 极端高温在本世纪频繁出现, 也使得酷热日数快速增加, 2011 年酷热日数 64 d 是吐鲁番站有历史记录以来最多的年份。

参考文献:

- [1] 秦大河. 气候变化科学的最新进展[J]. 科技导报, 2008, 26(7): 1.
- [2] IPCC. IPCC 第四次评估综合报告[R]. 2007.
- [3] 左洪超, 吕世华, 胡隐樵. 中国近 50 年气温及降水量的变化趋势分析[J]. 高原气象, 2004, 23(2): 238 - 244.
- [4] 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152 - 163.
- [5] 李维京, 赵振国, 李想, 等. 中国北方干旱的气候特征及其成因的初步研究[J]. 干旱气象, 2003, 21(4): 1 - 4.
- [6] 王鹏祥, 杨金虎, 张强, 等. 近半个世纪来中国西北地面气候变化基本特征[J]. 地球科学进展, 2007, 22(6): 649 - 655.
- [7] 任朝霞, 杨达源. 近 50 a 西北干旱区气候变化趋势研究[J]. 第四纪研究, 2006, 26(2): 299 - 300.
- [8] 左敏, 陈洪武, 江远安, 等. 新疆近 50 a 气温变化趋势和演变特征[J]. 干旱气象, 2010, 28(2): 160 - 166.
- [9] 戴新刚, 任宜勇, 陈洪武. 近 50 年新疆温度降水配置演变及其尺度特征[J]. 气象学报, 2007, 65(6): 1003 - 1010.
- [10] 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, 2009, 14(7): 414 - 425.
- [11] 张学文, 张家宝. 新疆气象手册[M]. 北京: 气象出版社, 2006. 191.
- [12] 蒲云锦, 赵桢柳, 韩春光. 新疆石河子近 40 a 气候变化特征[J]. 干旱气象, 2008, 26(4): 56 - 60.
- [13] 胡文峰, 何清, 金莉莉, 等. 若羌绿洲近 55 a 气候变化基本特征[J]. 干旱气象, 2011, 29(3): 297 - 301.
- [14] 范丽红, 何清, 崔彦军, 等. 近 40 a 石河子地区气候暖湿化特征分析[J]. 干旱气象, 2006, 24(1): 14 - 27.
- [15] 赵勇, 何清, 霍文. 库姆塔格沙漠周边气候变化特征分析[J]. 干旱气象, 2010, 28(3): 291 - 269.
- [16] 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. 58.
- [17] 刘海涛, 李秀东, 曾华, 等. 策勒绿洲区 1960 - 2008 年气温及降水变化特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2011, 5(1): 29 - 33.
- [18] 苏红超, 魏文寿, 韩萍. 新疆近 50 年来的气温和蒸发变化[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 174 - 178.

(下转第 634 页)

- [8] Allen S J, Vincent R A. Gravity waves activity in the lower atmosphere: Seasonal and latitudinal variations [J]. *J Geophys Res*, 1995, 100 (D1): 1327–1350.
- [9] Vincent R A, Allen S J, Eckermann S D. Gravity – wave parameters in the lower stratosphere [A]. In: Hamilton K ed. *Gravity Wave Processes and Their Parameterization in Global Climate Models* [M]. Heidelberg: Springer – Verlag, 1997. 7–25.
- [10] 卞建春, 陈洪滨, 吕达仁. 用垂直高分辨率探空资料分析北京上空下平流层重力波的统计特性 [J]. *中国科学 D 辑, 地球科学*, 2004, 34 (8): 748–756.
- [11] 王雪莲, 陈泽宇, 吕达仁, 等. 热带下平流层重力波的季节和年际变化特征 [J]. *自然科学进展*, 2006, 16 (12): 1583–1590.
- [12] Zhang S D, Yi F. Latitudinal and seasonal variations of inertial gravity wave activity in the lower atmosphere over central China [J]. *J Geophys Res*, 2007; 112. D05109, doi: 10. 1029/2006JD007487
- [13] Zhang S D, Yi F, Huang C M, et al. Latitudinal and seasonal variations of lower atmospheric inertial gravity wave energy revealed by US radiosonde data [J]. *Annales Geophysicae*, 2010, 28: 1065–1074.
- [14] Hines C O. Tropopause mountain waves over Arecibo: A case study [J]. *J Atmos Sci*, 1989, 46 (4): 476–488.
- [15] Holton J R. *An Introduction to Dynamic Meteorology* [M]. Fourth edition, San Diego: Elsevier Academic Press, 2004. 207–208.
- [16] Eckermann S D. Hodographic analysis of gravity waves: Relationships among Stokes parameters, rotary spectra and cross – spectral methods [J]. *J Geophys Res*, 1996, 101 (D14): 19169–19174.

Brief Introduction of a Method to Extract Atmospheric Gravity Wave Parameters Using Temperature and Wind Profile

DENG Shaoge¹, YANG Wen¹, ZHONG Zhong², YANG Manli¹

(1. 68028 Troops of the Lanzhou Military Area Command, Lanzhou 730058, China;
2. Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101, China)

Abstract: The gravity waves play an important role on the distribution and propagation of the momentum and mass. Analysis of the gravity wave parameters' characteristics is in favor of studying the gravity wave's generating mechanisms and the relationship between it and the weather phenomena evolution. The theory using temperature profile and wind profile to extract atmospheric gravity wave parameters is introduced in detail in this paper.

Key words: gravity wave; wave parameters; temperature profile; wind profile

(上接第 603 页)

Temperature Changes Characteristic of Turpan in Recent 60 Years

ZHANG Huiqin¹, YANG Yanling², YU Hua¹

(1. Turpan Meteorological Bureau of Xinjiang, Turpan 838000, China;
2. Hami Meteorological Bureau of Xinjiang, Hami 839000, China)

Abstract: Based on the annual, seasonal and monthly mean temperature, and the maximum and minimum temperature and annual hot days data during 1952–2011 from meteorological stations in Turpan of Xinjiang, the time series tendency of temperature was analyzed by using linear tendency, 9 years moving average and slide t test. The results showed that temperature of Turpan increased obviously with the rate of 0.359 °C/10 a in recent 60 years, and in 1996 it had an abrupt change. The maximum warming amplitude was in winter and the minimum was in summer, the monthly temperature increased except in July and August, and in February temperature increased most. The minimum temperature increased more obviously than maximum temperature. The hot days also increased with the rate of 1.28 days/10 a.

Key words: climate changes; temperature; tendency; abrupt change