

近50 a 青海西宁气温变化特征

梅朵^{1,2},高原²,马艳²,韩辉福³

(1. 青海省重点防灾减灾实验室,青海 西宁 810001;2. 青海省都兰县气象局,青海 都兰 810016;3. 青海省贵南县气象局,青海 贵南 813100)

摘要:利用西宁市1961~2010年年平均温度、平均最高最低温度、极端最高最低温度,研究西宁气温变化的气候特征。结果表明,近50 a来西宁市4季和全年的平均气温都呈上升趋势,近些年来略有回落,其中冬季增温最明显。西宁市最高最低气温变化在线性增温趋势的稳定性、倾向率和突变现象均有明显的非对称性特征:各季节的平均最高气温的线性趋势均稳定,平均最低气温在冬季和夏季线性增温趋势稳定,最高气温的倾向率在各个季节或年平均上比最低气温的倾向率大得多,冷季的线性倾向率明显大于暖季;极端最高气温线性趋势呈上升态势,极端最低则为弱的下降趋势;极端最低和年平均最低气温突变发生较早,在1963年附近,极端最高和年平均最高气温突变时间大体一致发生在1990年代。

关键词:气温变化;最高气温;最低气温;非对称变化;突变

文章编号:1006-7639(2013)-01-0100-07 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-01-0100

中图分类号:P423.3

文献标识码:A

引言

近年来,气候变暖已成为科学家和公众共同关心的重大问题,IPCC第4次评估报告指出,过去100 a来全球地表温度升高了 $0.74\text{ }^{\circ}\text{C}$,变暖幅度自20世纪90年代以来明显加速,1850年以来最暖的12 a中有11 a出现在1995~2006年,未来100 a全球气温可能会升高 $1.1\sim 6.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在全球变暖背景下,中国各地气候也在发生变化。有些研究表明在20世纪80年代气温有变暖突变^[1-3],一些省份和地区也具有同样的变暖趋势^[4-6]。王绍武等^[7]指出:我国各地对气候变暖的响应并不相同,气温变化具有明显的季节性和区域性差异;谢庄等^[8]分析了北京的最低和最高气温发现:1月份最低气温的倾向率为 $4.08\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ a}$,7月份最高气温的倾向率为 $-0.245\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ a}$;刘莉红等^[9]发现全国各地1月与7月气温变化均有这种非对称性;江志红等^[10]对比分析了上海近百年来最高温度和最低温度,发现最低、最高温度都显著增加,但最低温度的上升趋势明显高于最高温度;这

种最高、最低气温的非对称变化在我国西北地区也存在^[11]。另外极端温度也存在显著的变化趋势,20世纪90年代以来,全球极端温度事件频繁发生^[12]。与气候平均态相比,极端气候事件对气候变化更敏感,其频率和强度的改变对社会和环境的影响也更为严重^[13-14]。

当前,研究气候冷暖变化趋势一般都只使用平均气温。然而仅用平均气温来表现气候的冷暖变化趋势是远远不够的,因为平均气温只代表了冷暖变化的一种状态。要全面的表现冷暖变化的状态和趋势,是不能抛开平均最低气温、平均最高气温、极端最低气温和极端最高气温这4项气候要素的,这4项气候要素和平均气温综合在一起,所表现出的状态以及冷暖变化趋势才是客观而科学的。本文用最新的气象资料详细地分析了西宁市4季和年温度年代际变化、异常特征和变化趋势。

1 资料方法

西宁地处青藏高原河湟谷地南北2山对峙之间,统属祁连山系,四面环山,三川会聚,是青藏高原

收稿日期:2011-11-29;改回日期:2012-05-18

作者简介:梅朵(1981-),女(蒙古族),青海省海南州人,工程师,主要从事大气探测业务和应用气象研究工作。E-mail:meiduocwztf@ sina.com

的东方门户及青海省的政治、经济、文化、交通中心。位于东经 $101^{\circ}49'$ ，北纬 $36^{\circ}34'$ ，海拔 2 261 m，属高原高山寒温性气候，夏季平均气温 $17 \sim 19^{\circ}\text{C}$ ，气候宜人，是消夏避暑胜地，有“中国夏都”之称。

选取西宁市 1961 ~ 2010 年年平均气温 (\bar{T})、平均最高气温 (\bar{t}_{\max})、平均最低气温 (\bar{t}_{\min})、极端最高气温 (t_{\max}) 和极端最低气温 (t_{\min}) 为研究对象。对各个序列用 Mann - Kendall 方法 (以下简称 M - K 方法) 进行突变检验，用来分析西宁气

温的跃变现象。

2 结果与分析

2.1 平均温度变化特征

2.1.1 基本气候特征

西宁的年平均温度为 6.0°C ，1、4、7 和 10 月的月平均温度分别为 -7.5 、 7.9 、 17.1 和 6.6°C ，这表明西宁 4 季分明。平均温度标准差冬季最大，秋季次之，夏季最小 (表 1)。

表 1 西宁 1961 ~ 2010 年季度及年平均温度

Tab. 1 The annual and seasonal averaged temperature in Xi'ning from 1961 to 2010

	春季 (3 ~ 5 月)	夏季 (6 ~ 8 月)	秋季 (9 ~ 11 月)	冬季 (12 月至 2 月)	年
平均值/ $^{\circ}\text{C}$	7.4	16.4	6.0	-6.0	6.0
标准差/ $^{\circ}\text{C}$	0.64	0.60	0.71	1.11	0.51

2.1.2 平均温度主要特征

以零距平线为界，一个阶段维持正距平则称之为暖期，反之称之为冷期^[15]。从年平均气温的距平曲线图上可以看到 (图 1)，西宁自 1961 年以来大体经历了 2 个暖期和 2 个冷期，但长短不一，强度和变化幅度不同。第一暖期在 1978 ~ 1994 年，维持了 17 a，平均偏高 0.4°C ，其中有 2 a 为负距平，温度偏高幅度较小；第二暖期在 2006 ~ 2010 年，平均偏高 0.2°C ，增温幅度不明显。50 a 来年平均温度最高的是 1994 年，距平为 1.1°C 。第一冷期在 1961 ~ 1977 年，持续时间达 17 a，平均偏低 0.3°C ，1967 年为建站以来最冷的年份，偏低 1.2°C ；第二冷期在 1995 ~ 2005 年，平均偏低 0.3°C ，正距平年份有 2 a，但偏高幅度仅为 $0.1 \sim 0.3^{\circ}\text{C}$ ，其中 1995 年和 1996 年为建站以来次冷的年份，均偏低 1.1°C 。同全国其他地方^[16-17]相比，1960 年代均为一个冷期，

有较好的一致性；与 1980 年代中期以来为一个长时期的暖期不相同。

从表 2 可以看出，近 50 a 来西宁市 4 季和全年的平均气温都呈上升趋势，这是对全球气候变暖的响应。50 a 来春季和秋季的略上升趋势相差无几，夏季温度的长期变化趋势也不明显，冬季均温升高最明显，线性趋势为 $0.29^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ，通过 0.001 显著性水平检验，是春秋上升幅度的 15 倍，是年趋势的 3 倍。年升温趋势仅次于冬季，线性趋势为 $0.10^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ，通过 0.001 显著性水平检验，然而低于全球 ($0.13^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$) 及全国 ($0.22^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$) 同期的增温率^[18]，表明西宁的增暖趋势与全球增暖一致，但增暖幅度不明显。西宁的气候变暖中，冬季贡献率较大。从西宁与全国的气温变化速率^[19]对比可以看出，西宁 4 季和全年的增温速率均低于全国平均水平，尤其是春季 (增温速率比全国平均低 $0.23^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$) 和秋季 (增温速率比全国平均低 $0.18^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)。

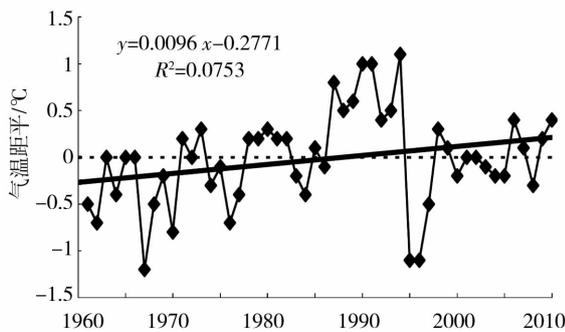


图 1 年平均气温变化及其线性趋势

Fig. 1 The annual average temperature change and its linear trend

表 2 近 50 a 西宁与全国平均气温变化速率对比 (单位： $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)

Tab. 2 The comparison of change rate of average temperature between Xi'ning and China in the last 50 years (Unit: $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)

	春季	夏季	秋季	冬季	全年
西宁	0.02	0.05	0.02	0.29	0.10
全国平均	0.25	0.15	0.20	0.39	0.25

2.1.3 气候异常特征

按世界气象组织对气候异常的判断标准,即距平 ≥ 2 倍标准差者作为气候异常,介于标准差的1.5~1.9倍者作为接近气候异常。

从表3中可以看到,西宁年平均温度的异常(含接近异常,下同)冷年集中在1960年代中期到1970年代初,异常暖年集中在1980年代中期以后的8a。另外,4季均可发生异常,50a来各季一般发生7~8a异常,发生异常的概率为14%~16%。异常偏冷主要集中时期:春、夏季在1960年代初和1990年代末,秋季在1960年代末和1990年代末21世纪初,冬季在1960年代。4季异常偏

暖基本均在1980年代到1990年代初期。从1961~2010年的50a中,按年代来划分,1990年代以来发生异常的频次最高(17次,含年异常,下同),其次是1960年代(11次),1980年代和21世纪初发生异常的频次相同(4次),最少的是1970年代(3次)。其中1994年4季和年均发生异常,这是50a来绝无仅有的。

自1961年以来,西宁最暖的5a依次是1994,1991,1990,1987和1989年(当年平均温度相同,夏季温度高年为先);最冷的5a是1967,1995,1996,1970和1962年(当年平均温度相同,冬季温度低年为先)。

表3 西宁市年和各季平均温度异常的年份

Tab.3 The anomalous years of annual and seasonal mean temperatures in Xi'ning

	接近异常 $1.5 \leq \sigma < 2.0$	异常 $2.0 \leq \sigma$
春季	1962(-)1964(+), 1969(+), 1994(+), 1995(-), 1998(+), 2008(+)	1970(-), 1996(-)
夏季	1964(-), 1966(+), 1976(-), 1981(+), 1995(-), 1996(-), 2006(+)	1991(+)
秋季	1966(-), 1967(-), 1983(+), 1994(+), 2000(-)	1990(+), 1997(-)
冬季	1961(-), 1964(-), 1967(-), 1990(+), 1994(+), 2008(-)	1987(+)
年	1970(-), 1987(+)	1967(-), 1990(+), 1991(+), 1994(+), 1995(-), 1996(-)

注: + 表示暖, - 表示冷

2.2 平均最高、最低气温的非对称变化

由表4可见,西宁平均最高、最低气温存在着明显的非对称变化现象。西宁 \bar{t}_{\max} (图2a)在1961~2010年中有较明显的增加,增加速率为 $0.30 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ a}$,高于全国增加速率 $0.12 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ a}$ ^[20]。50a来西宁 \bar{t}_{\max} 为 $13.9 \text{ } ^\circ\text{C}$,其中,最高为 $15.0 \text{ } ^\circ\text{C}$,出现在1998年和2004年;最低为 $12.1 \text{ } ^\circ\text{C}$,出现在1967年。 \bar{t}_{\max} 在各季都呈现整体的增温趋势,冬季最为明显,秋季稍弱,夏季和春季为弱的增加趋势。

西宁 \bar{t}_{\min} (图2b)上升趋势没有 \bar{t}_{\max} 变化明显,近50a上升速率仅为 $0.04 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ a}$,这与其他地区^[21-23] \bar{t}_{\min} 明显高于 \bar{t}_{\max} 不同。1961~2010年 \bar{t}_{\min} 为 $0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$,其中,最高为 $1.7 \text{ } ^\circ\text{C}$,出现在

1989年和1994年;最低为 $-1.3 \text{ } ^\circ\text{C}$,出现在1996年。最低气温在冬季增温最为明显为 $0.23 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ a}$,夏季较弱,而春季和秋季则表现出弱的降低。

表4 1961~2010年西宁年和季节平均最高、最低气温变化幅度速率(单位: $^\circ\text{C}/10 \text{ a}$)

Tab.4 The variation rate of annual and seasonal mean maximum, minimum temperature in Xi'ning during 1961-2010(Unit: $^\circ\text{C}/10 \text{ a}$)

	年平均	春季	夏季	秋季	冬季
最高气温	0.3	0.08	0.32	0.53	0.4
最低气温	0.0	-0.06	0.40	-0.23	0.7
日较差	0.3	0.14	-0.08	0.76	-0.3

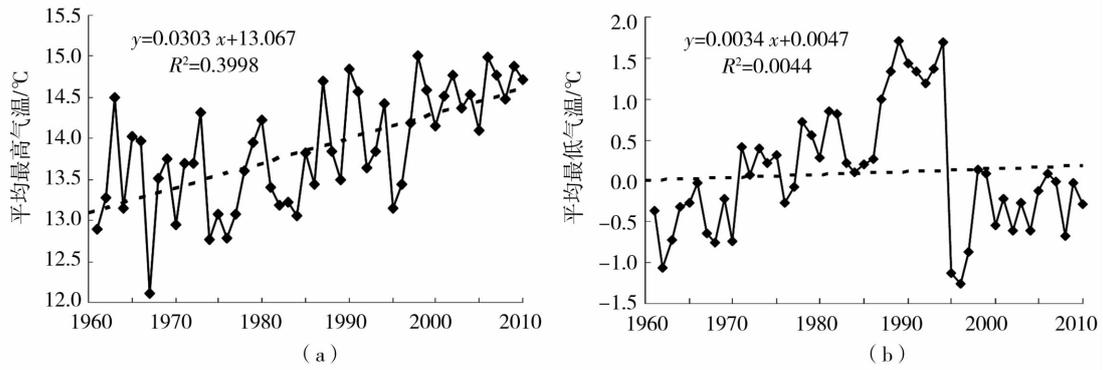


图 2 西宁市平均最高(a)和最低气温(b)变化

Fig. 2 The average maximum(a) and minimum temperatures(b) change from 1961 to 2010

1960 ~ 1989 年平均最低气温变化速率远比 1990 ~ 2010 年平均最低气温变化速率高,相反,1960 ~ 1989 年间平均最高气温变化速率比 1990 ~ 2010 年间平均最高气温变化速率低,这表明在 1960 ~ 1980 年代的增暖主要由最低气温,即夜间增温作出贡献。反之,1990 年代后,最高气温,即白昼增温,对增暖有明显贡献。这和近年研究表明,全球变暖主要发生在夜间,即最低气温增加远比最高气温增加的结论不一致。

由于平均最高气温增加比最低气温快,西宁年平均日较差呈上升趋势。其中春、秋季为增加趋势,夏季和冬季则表现为降低,冬季的下降趋势最为明显。

2.3 极端最高气温、极端最低气温的非对称变化

近 50 a 西宁极端气温的变化表现为, \bar{t}_{emax} 与 \bar{t}_{max} 趋势相同为上升, \bar{t}_{emin} 与 \bar{t}_{min} 变化相反,呈下降趋势,表明西宁的极端气温变化正趋于恶化。 \bar{t}_{emax} 多出现在 7 月中下旬和 8 月上旬,极端最高气温为 36.5 °C,出现在 2000 年。1999 年后 \bar{t}_{emax} 均在 30 °C 以上,说明西宁近些年的高温天气活动较频繁。 \bar{t}_{emin} 多出现在 1 月下旬,极端最低气温为 -24.9 °C,出现在 1975 年。

\bar{t}_{emax} 已由 1960 年代的 32.4 °C 上升到 21 世纪初的 36.5 °C,相反, \bar{t}_{emin} 则由 1980 年代的 -19.9 °C 下降到 21 世纪的 -23.3 °C, \bar{t}_{emax} 的增暖趋势明显大于 \bar{t}_{emin} 的增暖趋势,这与全球增暖的大背景不太一致。即 \bar{t}_{emax} 在 1960 年代最低,在 2010 年代最高; \bar{t}_{emin} 在 1980 年代最高,在 2010 年代最低。一个值得注意的现象是:西宁极端最低气温和最高气温的极小值进入 21 世纪以来处于显著下降态势,而最低气温和最高气温的极大值在进入 21 世纪以后仍然保持在较高水平上。

2.4 气温的突变特征

气候突变是普遍存在于气候变化中的一个重要现象,是气候预测与模拟要考虑的重要因素。符淙斌等^[24]给出气候突变的普适定义。最基本的气候突变有 4 种类型,即:均值突变、方差突变、跷跷板突变和转折突变,实际的突变往往是它们的组合。目前对气候突变的检测比较客观、准确的方法是 Mann-Kendall 方法(简称 M-K 法),对均值突变的检测较有把握。下面用 M-K 法对西宁 50 a 来各个温度是否存在突变进行分析,其特点是不需要检验样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰。

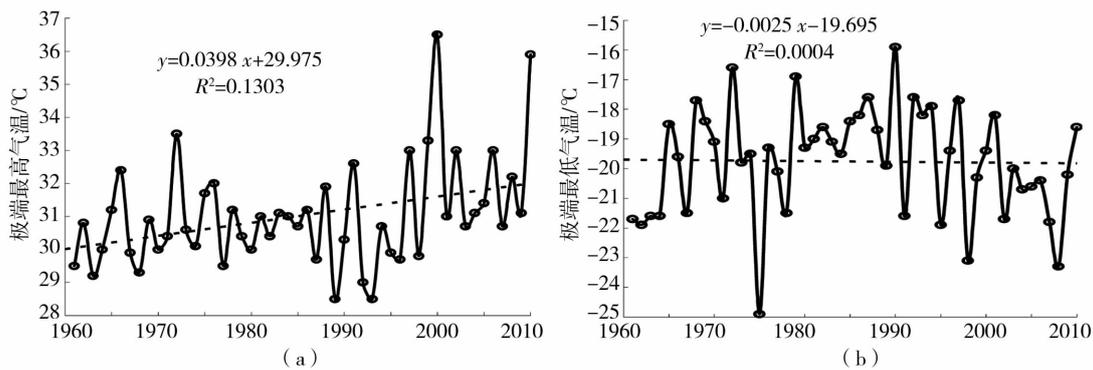


图 3 西宁极端最高(a)和最低(b)温度变化趋势

Fig. 3 The change trend of extreme maximum (a) and minimum (b) temperature in Xi'ning from 1961 to 2010

由图4可知,西宁各温度都存在突变现象。图4a显示出 \bar{T} 呈现上升趋势, UF 和 UB 在1970年有一个交叉点,且在置信区间内,说明西宁平均气温在1970年发生突变,1978年超过0.05显著水平线,上升趋势显著,说明从1978年开始一直存在增温趋势;尤卫红^[25]的研究表明,近百年来全球气温增暖的突变点是1979年,而中国气温增暖的突变点在1987年。西宁在气温增暖上的突变点早于全国及全球,很可能因为高原是全球变化的敏感区域,其变暖的趋势及速率较其它地区的速率更快,也有可能是因为序列长度和时间段划分不同而受影响。西宁秋季、冬季平均气温的突变时间(图略)与平均气温基本一致,分别为1968年和1970年;春季和夏季平均气温不存在突变现象(图略),由此可以判定秋冬季温度的

升高导致西宁变暖。

年平均最低气温和极端最低气温突变时间大体一致,且增温突变时间最早开始于1963年。 \bar{t}_{min} 于1974年附近高于临界值,上升趋势显著,之后从1994年开始持续下降,这与图2b显示的 \bar{t}_{min} 从1994年开始下降一致; \bar{t}_{emin} 在1966~1975和1983~1997年增温显著,与 \bar{t}_{min} 变化相同,从20世纪90年代中期持续下降。年平均最高气温和极端最高气温突变时间偏晚都在1990年代,发生在1990年前后的突变是 \bar{t}_{max} 唯一被检测到的增温突变信号,且从1990年代后 \bar{t}_{max} 上升趋势显著高于临界值;从图4中可以看到虽然 UF 和 UB 在置信区间内有多处交叉点,但只有在1997年相交后 UF 超过临界值,所以可以认定 \bar{t}_{emax} 只发生了一次突变现象,即1997年为其突变点。

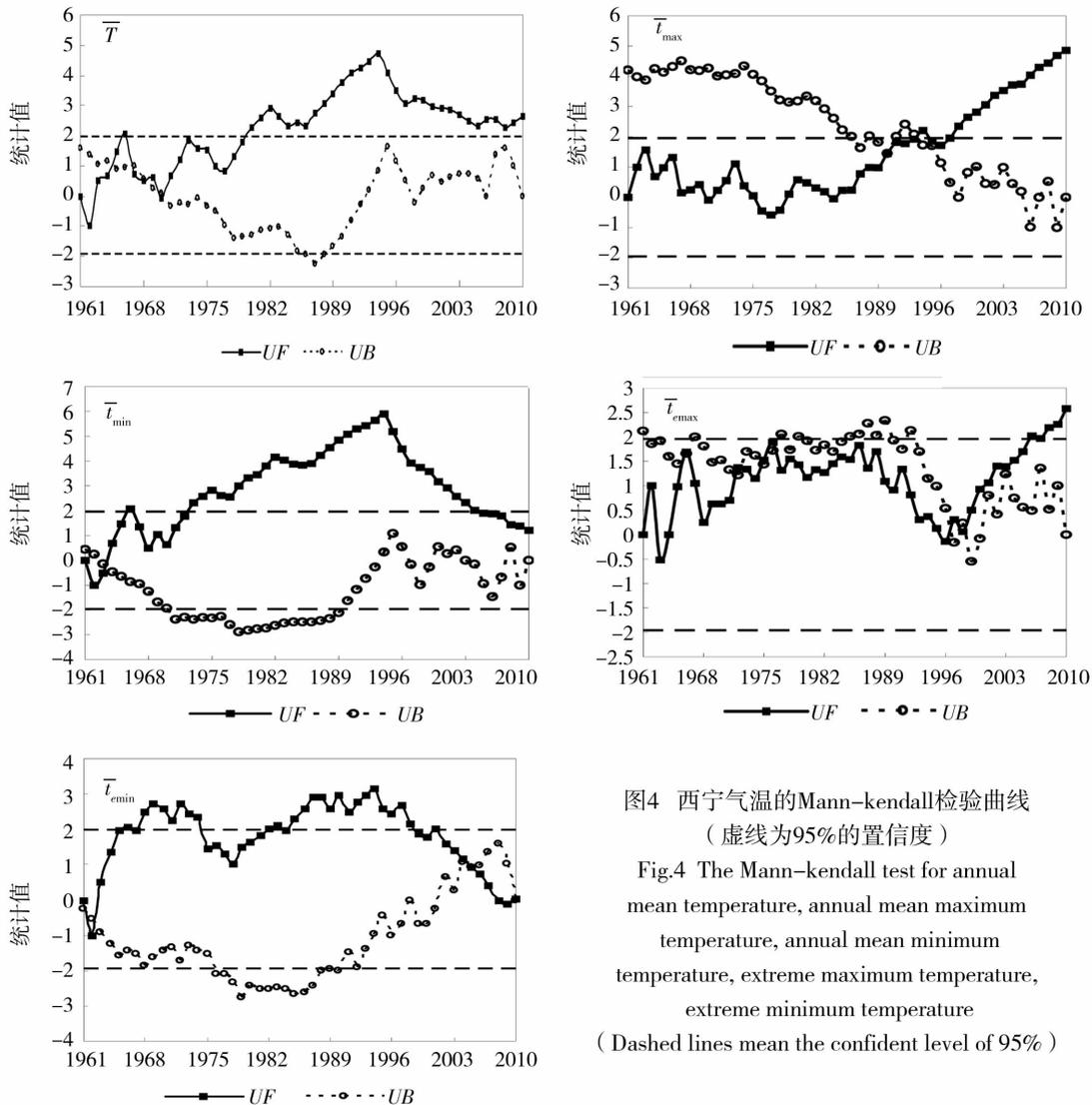


图4 西宁气温的Mann-kendall检验曲线
(虚线为95%的置信度)
Fig.4 The Mann-kendall test for annual mean temperature, annual mean maximum temperature, annual mean minimum temperature, extreme maximum temperature, extreme minimum temperature (Dashed lines mean the confident level of 95%)

3 结 论

(1)1961~2010年西宁4季和年平均气温均表现为升温的变化特征, \bar{T} 增温速率约为 $0.39\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,冬季均温升高最明显,是春秋季节上升幅度的15倍,是年趋势的3倍。50 a来西宁主要的变暖均是从1970年代中期之后开始,在1994年达到历史新高,之后略有回落。

(2)近50 a来年平均最高和平均最低气温变化存在阶段性和不对称性。 \bar{t}_{\max} 升温显著,是 \bar{t}_{\min} 的10倍,在各季都呈现整体的增温趋势,1990年代后 \bar{t}_{\max} 全部为正距平。 \bar{t}_{\min} 上升趋势没有 \bar{t}_{\max} 变化明显,近50 a上升速率仅为 $0.03\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,1994年达到最大后开始下降,1995年起 \bar{t}_{\min} 距平基本为负值。

(3)1961~2010年西宁极端最高和极端最低气温也呈非对称变化, \bar{t}_{emax} 的增暖趋势明显大于 \bar{t}_{emin} 的增暖趋势。

(4)近50 a西宁出现了2个暖期,1960~1980年代的增暖主要发生于夜间,1990年代后则是白天增温明显大于夜间。

参考文献:

- [1] 刘学华,季致建,吴洪宝,等.中国近40年极端气温和降水的分布特征及年代际差异[J].热带气象学报,2006,22(6):618-624.
- [2] 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.
- [3] 姚玉璧,肖国举,王润元,等.近50年来西北半干旱区气候变化特征[J].干旱区地理,2009,32(2):159-162.
- [4] 王文,张薇,蔡晓军.近50a北京市气温和降水的变化[J].干旱气象,2009,27(4):350-353.
- [5] 蒲云锦,赵桢柳,韩光春.新疆石河子近40年的气候变化特征[J].干旱气象,2008,26(4):56-60.
- [6] 卞韬,连志鸾.石家庄地区近46a温度变化特征[J].干旱气象,2008,26(2):57-62.
- [7] 王绍武,蔡静宁,朱锦红,等.中国气候变化的研究[J].气候与环境研究,2002,7(2):137-145.
- [8] 谢庄,曹鸿兴.北京最高、最低气温的非对称变化[J].气象学报,1996,54(4):501-507.
- [9] 刘莉红,郑祖光.我国1月和7月气温变化的分析[J].热带气象学报,2004,20(1):32-38.
- [10] 江志红,丁裕国.近百年上海气候变暖过程的再认识—平均温度与最低、最高温度的对比[J].应用气象学报,1999,10(2):151-159.
- [11] 马晓波.中国西北地区最高最低气温的非对称变化[J].气象学报,1999,57(5):613-621.
- [12] 梅新建,孙菀,魏慧娟,等.驻马店极端气温分析[J].气象与环境科学,2007,30(增刊):98-101.
- [13] 翟盘茂,章国材.气候变化与气象灾害[N].科技导报,2004,(7):11-14.
- [14] 胡宜昌,董文杰,何勇.21世纪初极端天气气候事件研究进展[J].地球科学进展,2007,(10):1066-1075.
- [15] 林纾,吴红.全球气候变暖背景下兰州地面平均气温的变化[J].高原气象,2005,24(5):816-822.
- [16] 龚道溢,王绍武.1998年:近百年来中国最暖的一年[J].气象,1999,25(8):1-3.
- [17] 王永波,贾艳辉.哈尔滨市气温的多时间尺度变化特征[J].黑龙江气象,1999,(4):4-6.
- [18] 张顺利,黄晓清.拉萨40余年温度变化的气候特征[J].高原气象,1997,16(3):312-318.
- [19] 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.
- [20] 任国玉,初子莹,周雅清,等.中国气温变化研究最新进展[J].气候与环境研究,2005,10(4):701-716.
- [21] 郑焯芳,丁海燕,范水勇.北京1960-2008年气候变暖及极端气温指数变化特征[J].气候变化研究进展,2011,7(3):189-196.
- [22] 周伟东,朱洁华,史军.华东地区最高最低气温时空变化特征[J].气象与环境科学,2009,32(1):16-21.
- [23] 吴胜安,张永领,杨金虎.海南岛最高和最低气温的非对称变化[J].热带气象学报,2006,22(6):667-671.
- [24] 符淙斌,王强.气象突变的定义和检测方法[J].大气科学,1992,16(4):482-493.
- [25] 尤卫红,段旭,等.全球、中国及云南近百年气温变化的层次结构和突变特征[J].热带气象学报,1998,14(2):173-180.

