

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2012.01.017

中亚湖泊地区气温变化特征

陈起川^{1 2} 夏自强^{1 2} 郭利丹^{1 2} 王景才^{1 2}

(1.河海大学国际河流研究所,江苏 南京 210098;2.河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098)

摘要:根据中亚地区不同经纬度的 5 个湖泊气象站(从低纬度到高纬度的顺序排列分别为里海、咸海、巴尔喀什湖、阿拉湖、斋桑泊)的 20 世纪中后期及 21 世纪初的实测逐日气温资料,采用距平分析法、5 年滑动平均法、Spearman 秩相关系数法、Mann-Kendall 秩次相关分析检验法以及相关的水文统计方法,对这个区域的气温特征、变化趋势及趋势显著性进行了分析。结果表明:在所研究的 5 个站点中,年均气温存在不同程度的上升现象,并且纬度越高,年均气温升高趋势越显著,整个区域的气温呈上升趋势,增温过程主要发生在冬季,年最低气温升温显著,年最高气温也呈上升趋势,但是不显著。

关键词:中亚地区;湖泊地区;气温;变化趋势

中图分类号:P339;P457.3 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-1980(2012)01-0088-07

Characteristics of temperature variation in lake zones of Central Asia

CHEN Qi-chuan^{1 2}, XIA Zi-qiang^{1 2}, GUO Li-dan^{1 2}, WANG Jing-cai^{1 2}

(1. *Research Institute of International Rivers, Research Academy of Hohai University, Nanjing 210098, China*;
2. *College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China*)

Abstract:Based on observed daily temperature data from the meteorological stations of five lakes in Central Asia in the middle and late 20th century and the early 21th century, the Caspian Sea, Aral Sea, Balkhash Lake, Alar Lake, and Zaysan Lake, ranked from low latitudes to high latitudes, the anomaly analytical method, the five-year moving average method, the Spearman test method, the Mann-Kendall test method, and the hydrological statistical method were used to identify the characteristics of temperature, change trends, and the significance of the trends. The results show that the annual average temperature had an increasing trend at the five stations, and the higher the latitude was, the more significant the increasing trend was. On the whole, the temperature throughout the region had an increasing trend. The warming process mainly occurred in winter. The annual minimum temperature increased significantly, and the annual maximum temperature also had an increasing trend, which was not significant.

Key words:Central Asia;lake zone;temperature;change trend

气候变暖问题是全世界所关注的重大问题之一^[1]。政府间气候变化问题小组 IPCC(2007)的报告指出:全球平均气温在 19 世纪末以来升高了 0.4~0.8℃^[2]。增暖主要发生在 1910 年到 1940 年及 1970 年到现在的 2 个阶段^[3]。全球变暖具有普遍性,但是不同的地区也具有一定的差异^[4-6],全球气温变化的区域性特征明显。中亚地区深居内陆,远离海洋,属于干旱半干旱地区,它的气温变化情况,却少有人知。本文在全球变暖的大背景下,分析中亚地区不同纬度地区的气温变化差异,旨在探究干旱半干旱地区湖泊的气温变化情况,也为研究不同纬度地区的气候变化提供依据^[7]。

收稿日期:2011-08-04

基金项目:水利部公益性行业科研专项(201001052)

作者简介:陈起川(1987—),男,河北衡水人,硕士研究生,主要从事水资源利用及生态水文研究。E-mail:chenqc2010@126.com

1 研究对象和研究方法

1.1 研究区域概况

选取中亚地区的里海、咸海、巴尔喀什湖、阿拉湖、斋桑泊 5 个湖泊(图 1)作为研究对象,分析并研究 20 世纪中后期及 21 世纪初的气温变化特征及其变化趋势。

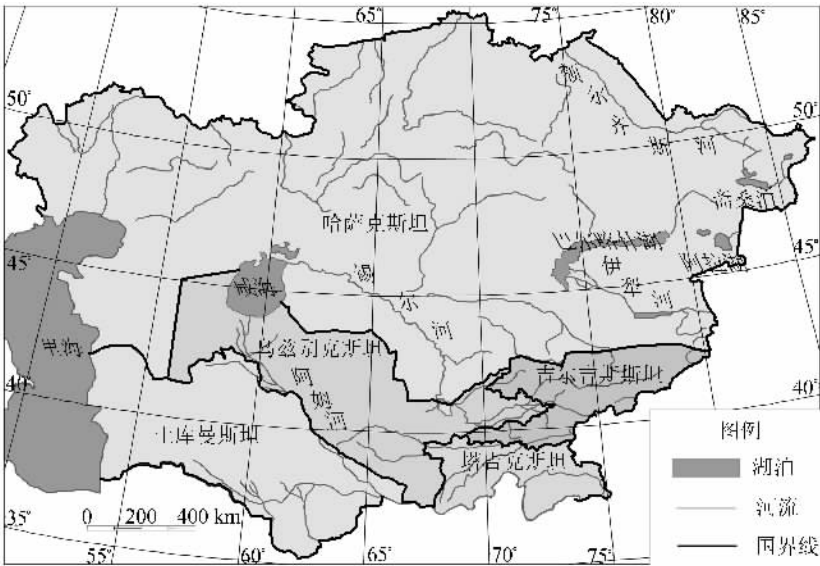


图 1 研究区域

Fig. 1 Diagram of study area

里海,是世界最大的湖,并且是咸水湖,位于亚欧大陆腹地,亚洲与欧洲之间。里海北部位于温带大陆性气候带,而里海中部以及南部大部分区域则位于温热带,西南部受副热带气候影响,东海岸以沙漠气候为主,从而气候多变。咸海,是位于中亚地区的一内流咸水湖,坐落于哈萨克斯坦和乌兹别克斯坦两国交界处,为世界第 4 大水体,属于沙漠大陆型气候。巴尔喀什湖,位于哈萨克斯坦东部,是哈萨克斯坦境内第 3 大水体,由于深居亚欧大陆腹地,海洋上的气流很难流入,呈现出典型的温带大陆型气候。阿拉湖,是哈萨克斯坦境内的盐湖,在巴尔喀什湖东 180 km 处,接近中国新疆维吾尔自治区边界,属于典型的干旱半干旱地区。斋桑泊,是哈萨克斯坦境内东北部的一淡水湖,位于阿尔泰山西麓,额尔齐斯河流经此湖。

1.2 研究资料

本文采用里海站、咸海站、巴尔喀什湖站、阿拉湖站、斋桑泊站这 5 个气象站 20 世纪中后期及 21 世纪初的逐日平均气温、逐日最高气温、逐日最低气温等资料对研究区域进行分析。所选择的 5 个气象站的地理坐标分别为:里海 43.0°N 47.6°E;咸海 46.8°N 61.7°E;巴尔喀什湖 46.8°N 75.1°E;阿拉湖 46.2°N 80.9°E;斋桑泊 47.5°N 84.9°E。

1.3 研究方法

本文主要采用距平分析法^[8]、5 年滑动平均法^[9-11]对各站的年平均气温、年最高最低气温的四季变化和年最高气温、最低气温的变化特征进行分析;采用 Spearman 秩相关系数法^[12]、Mann-Kendall 秩次相关分析检验法^[13-14]对气温变化趋势的显著性进行检验。

2 气温的变化特征分析

2.1 气温的年际和年代际变化

各站年均气温统计特征值列于表 1。由表 1 可以看出,中亚地区的年平均气温的变化特征,从空间上说,呈现出从南到北、从西到东逐渐降低的特点,由西南部里海的 12.01℃降低到处于东北部的斋桑泊的 4.41℃。最高年均气温与最低年均气温的极值比和极值差以及变差系数 C_v 都呈现出从南到北增大的特点,这说明年平均气温的年际变化程度具有从南到北逐渐增大的特点。

在统计系列中,斋桑泊的气温上升增幅最大,1936—2005 年间多年平均气温为 4.41℃,年均气温上升了

2.43℃,年均上升率为7%,平均每年上升0.04℃;里海的多年平均气温变化最不明显,1882—2006年间里海的年均气温上升了0.12℃,年均上升率为0.29%,平均每年上升0.00096℃.对各站气温变化趋势采用Spearman秩相关系数法和Mann-Kendall秩次相关分析检验法进行的趋势显著性检验结果(表2)表明,纬度越高,年平均气温上升越显著.气温较高且排在前10位的年份,在1980—2005年这一时段内所占比例分别为里海4年、咸海10年、巴尔喀什湖8年、阿拉湖8年、斋桑泊9年.这表明,咸、巴、乌、斋4站20世纪80年代以后气温升高趋势是非常明显的.

表1 各站年均气温统计特征值

Table 1 Statistical characteristics of annual average temperatures at five stations

站名	统计历时	最高年均 气温/℃	最低年均 气温/℃	极值比 K	极值差/ ℃	多年平均 气温/℃	C_v	C_s/C_v
里海	1882—2006年	13.97	10.43	1.34	3.55	12.01	0.06	2
里海	1942—1992年	13.97	10.57	1.32	3.41	12.07	0.06	2
咸海	1932—2005年	10.76	5.39	2.00	5.37	7.77	0.16	2
巴尔喀什湖	1936—2005年	7.96	3.59	2.22	4.37	5.69	0.16	2
阿拉湖	1949—2005年	8.89	4.89	1.82	4.00	7.06	0.14	2
斋桑泊	1936—2005年	6.50	1.94	3.35	4.56	4.41	0.25	2

表2 各站年平均气温变化的趋势性检验

Table 2 Trend tests of changes of annual average temperatures at five stations

站名	统计历时	$ T $	R_T	$ U $	R_U	趋势性	变化量/ (℃·a ⁻¹)
里海	1882—2006年	1.63	2.01	1.56	1.96	不显著	0.001
里海	1942—1992年	1.49	2.01	1.50	1.96	不显著	-0.010
咸海	1932—2005年	5.49	2.01	4.91	1.96	显著	0.030
巴尔喀什湖	1936—2005年	3.45	2.01	3.41	1.96	显著	0.040
阿拉湖	1949—2005年	5.74	2.01	4.84	1.96	显著	0.040
斋桑泊	1936—2005年	4.67	2.01	4.11	1.96	显著	0.040

注: $|T|$ 表示Spearman统计量; $|U|$ 表示Kendall统计量; R_T 和 R_U 分别表示Spearman和Kendall的检验临界值.

采用距平分析法分析不同年代年均气温的变化.由表3可见,20世纪70年代后,各站年代均温距平为正,而70年代以前基本为负值,说明70年代后较70年代前年代均温呈上升趋势,即中亚地区的气温是从70年代开始升高的,并且各站在70年代以后偏离均值的情况越来越严重,说明气温还存在进一步升高的趋势.

对年均温采用差积曲线-秩检验联合识别法^[15]进行变异点检验,得出秩统计量 U (表4), U 服从正态分布.若 $|U| < U_{0.05/2} = 1.96$,表明变异点不显著;否则,表明变异点显著.由表4可以看出,各站气温均在20世纪70年代发生突变.这说明该研究区域的气温由低转高的突变点在20世纪70年代.

表3 各站20世纪30年代后平均气温距平结果

Table 3 Anomaly of average temperatures at five stations during different decades after 1930s

表4 变异点分析结果

Table 4 Analysis results of change points

站名	30年代	40年代	50年代	60年代	70年代	80年代	90年代	21世纪初	站名	可能变异点	统计量 $ U $	临界值	显著性	是否变异点
里海	-0.02	-0.13	-0.15	0.22	0.00	0.35	-0.14	0.50	里海	1978年	1.98	1.96	显著	是
咸海	-0.85	-0.31	-0.82	-0.40	-0.08	0.47	0.67	1.92	咸海	1976年	4.63	1.96	显著	是
巴尔喀什湖	-0.81	-0.04	-0.43	-0.20	-0.40	0.44	0.28	0.95	巴尔喀什湖	1977年	4.39	1.96	显著	是
阿拉湖			-1.01	-0.51	0.28	0.19	0.43	1.01	阿拉湖	1970年	4.43	1.96	显著	是
斋桑泊	-1.06	-0.08	-0.85	-0.36	-0.02	0.29	0.93	0.88	斋桑泊	1976年	4.32	1.96	显著	是

2.2 20世纪70年代前后年内月平均气温变化

以20世纪70年代为界,对70年代前后逐月平均气温进行比较,结果见图2.

由图2可知,5个站70年代前后逐月平均气温变化量基本均为正值,只有个别月份的平均气温为负值.这说明,70年代后各月的平均气温较70年代前均存在不同程度的升高现象.其中,咸海、阿拉湖、斋桑泊的各月平均气温均有升高,里海的5月、6月、7月、8月和10月的变化量为负值,巴尔喀什湖只有3月和7月的气温有所降低,但降幅不大.

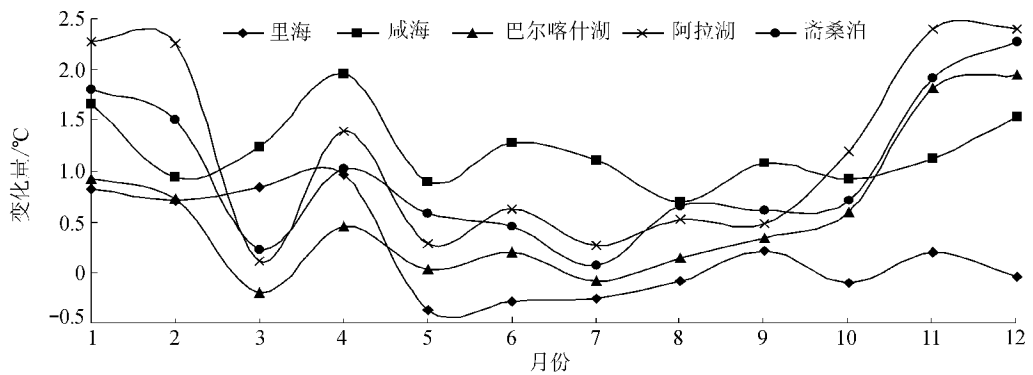


图 2 各站 70 年代前后逐月平均气温变化量对比

Fig. 2 Variation of monthly average temperatures at five stations before and after 1970s

2.3 年内四季变化

通过分析可知,在所研究的 5 个站中,四季的平均气温均存在上升下降现象,其中,春、夏、秋三季的平均气温变化相对微弱,没有明显的上升下降趋势,而冬季的升温现象比较显著,见图 3.

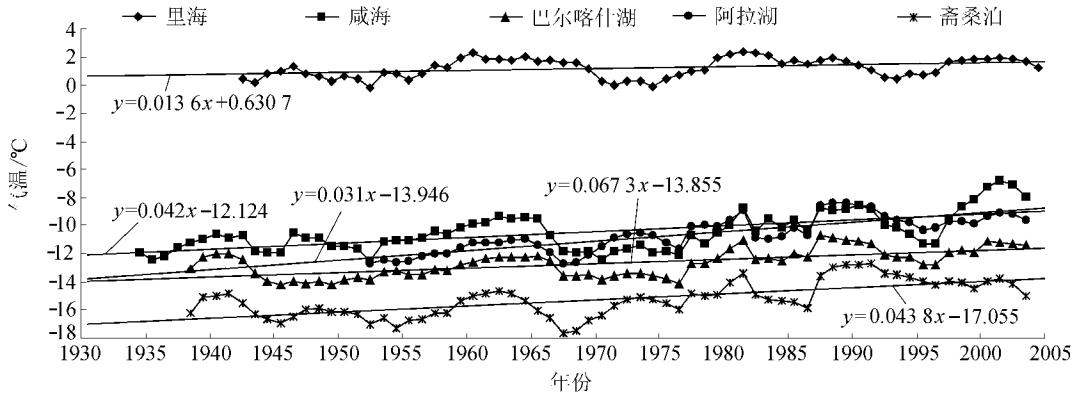


图 3 各站逐年冬季气温 5 年滑动平均过程及其趋势线

Fig. 3 Five-year moving average processes of annual temperatures in winter and their trends at five stations

从均温变化曲线来看,各站冬季气温呈上升趋势,变化基本上一致。各站冬季 5 年滑动平均气温趋势线斜率均大于 0,说明 5 个站冬季均呈升温趋势。阿拉湖冬季气温上升最快,其次是斋桑泊、咸海、巴尔喀什湖,而里海升温趋势缓慢得多,线形趋势线斜率是最小的,仅为 0.0136,是阿拉湖的 1/5 左右。对巴尔喀什湖逐年冬季均温的趋势显著性检验结果表明, Spearman 检验和 Kendall 检验统计量分别为 $|T|=3.57$ 和 $|U|=3.30$, 分别大于显著水平为 $\alpha=0.05$ 时的临界值 2.01 和 1.96,说明冬季气温上升趋势显著。

由表 5 可知,春季,各站气温均呈上升趋势,其中咸海和阿拉湖显著升温;夏季,咸海、巴尔喀什湖、阿拉湖、斋桑泊 4 站表现为升温,咸海和阿拉湖显著升温,而里海呈降温趋势,但是不显著;秋季,各站气温均呈上升趋势,其中里海和斋桑泊的升温不显著。

表 5 各站四季均温变化趋势及显著性

Table 5 Change trends of seasonal average temperatures and their significances at five stations		春		夏		秋		冬	
站名	统计历时	趋势	显著性	趋势	显著性	趋势	显著性	趋势	显著性
里海	1882—2006 年	升温	不显著	降温	不显著	升温	不显著	升温	显著
里海	1942—1992 年	升温	不显著	降温	不显著	升温	不显著	升温	不显著
咸海	1932—2005 年	升温	显著	升温	显著	升温	显著	升温	显著
巴尔喀什湖	1936—2005 年	升温	不显著	升温	不显著	升温	显著	升温	显著
阿拉湖	1949—2005 年	升温	显著	升温	显著	升温	显著	升温	显著
斋桑泊	1936—2005 年	升温	不显著	升温	不显著	升温	不显著	升温	显著

2.4 年最高温最低温月份平均气温变化

年最高平均气温发生在夏季(6—8月),年最低平均气温发生在冬季(12月—次年2月),对各站年最高温最低温月份5年滑动平均气温变化趋势进行分析,并利用 Spearman 和 Kendall 秩次相关检验法检验趋势的显著性,结果列于表 6。

表 6 各站年最高温最低温月份平均气温变化趋势及显著性

站名		12月		1月		2月		6月		7月		8月	
		趋势	显著性	趋势	显著性	趋势	显著性	趋势	显著性	趋势	显著性	趋势	显著性
里海	1882—2006年	升温	不显著	升温	显著	升温	不显著	降温	不显著	降温	显著	降温	不显著
里海	1942—1992年	升温	不显著	升温	不显著	升温	不显著	降温	不显著	降温	不显著	降温	不显著
咸海	1932—2005年	升温	显著	升温	显著	升温	不显著	升温	显著	升温	显著	升温	不显著
巴尔喀什湖	1936—2005年	升温	显著	升温	不显著	升温	不显著	升温	不显著	降温	不显著	升温	不显著
阿拉湖	1949—2005年	升温	显著	升温	不显著	升温	显著	升温	不显著	升温	不显著	升温	不显著
斋桑泊	1936—2005年	升温	显著	升温	显著	升温	显著	升温	不显著	升温	不显著	升温	显著

由表 6 可见:里海 19 世纪末到 21 世纪 1 月和 7 月的气温升降显著,其他研究月份均温的上升下降趋势均不显著;咸海所研究月份均有升温现象,但 2 月和 8 月升温趋势不显著;巴尔喀什湖只有 12 月升温显著;阿拉湖 12 月和 1 月升温显著,其他月份升温但不显著;斋桑泊 6 月和 7 月升温不显著,其他月份均表现为显著升温。

2.5 极端年最高最低气温变化

对 5 个站的极端年最高、极端年最低气温进行 5 年滑动平均分析,结果见图 4 和图 5。

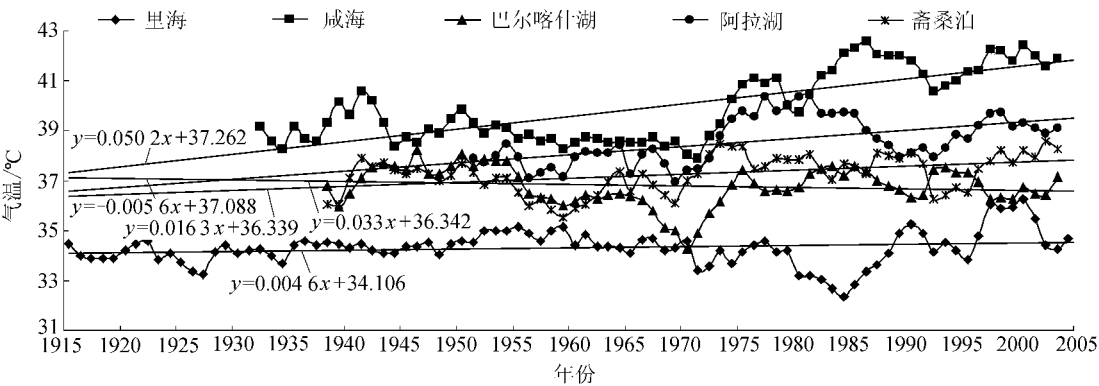


图 4 各站极端年最高气温 5 年滑动过程及其趋势线

Fig. 4 Five-year moving processes of annual maximum temperatures and their trends at five stations

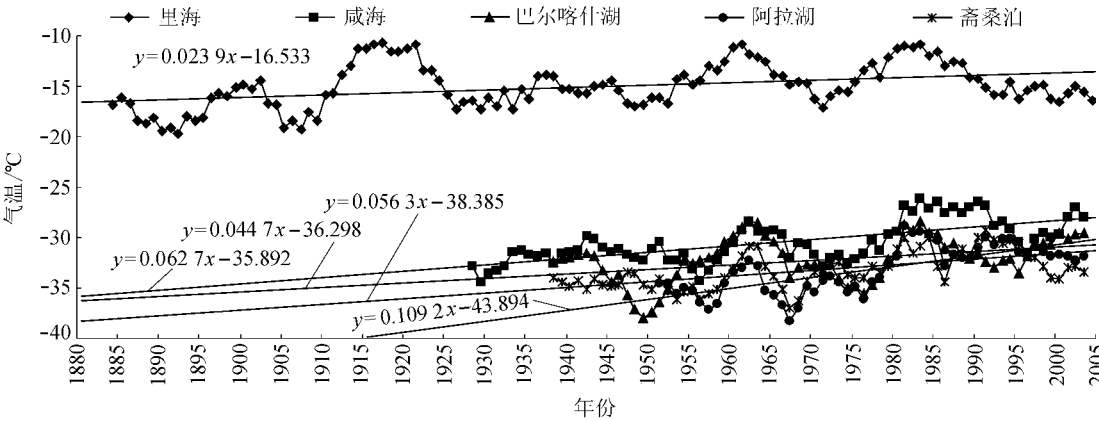


图 5 各站极端年最低气温 5 年滑动过程及其趋势线

Fig. 5 Five-year moving processes of annual minimum temperatures and their trends at five stations

由图 4 和图 5 可见 :巴尔喀什湖的极端年最高气温呈下降趋势 ,但是降幅很小 ,极端年最低气温呈上升趋势 ;其他各站的极端年最高气温和极端年最低气温均呈上升趋势 .用 Spearman 和 Kendall 秩次相关检验法检验了趋势显著性 ,结果见表 7.

由表 7 可知 :咸海和阿拉湖的极端年最高最低气温上升趋势显著 ;里海的极端年最高最低气温上升均不显著 ;巴尔喀什湖的极端年最高气温呈下降趋势 ,但不显著 ,极端年最低气温持升高态势 ,但不显著 ,斋桑泊的极端年最高气温上升不显著 ,但是其极端年最低气温的升高趋势显著 .

由表 8 可见 20 世纪 70 年代后平均极端年最高气温较 70 年代前 ,除里海降低了 0.1℃外 ,其他 4 站均存在不同程度的升高现象 ,总体来讲 ,极端年最高气温呈升高趋势 ;极端年最低气温一致升高 ,变化区间为 (1.11℃ 3.74℃) ;极端年最高气温差值在 0~2.7℃ 之间变化 ,巴尔喀什湖呈持平状态 ;极端年最低气温 5 个站表现为一致性升高 ,变化区间为 (1.2℃ 3.9℃) .

表 8 各站 20 世纪 70 年代前后极端年最高最低气温统计结果
Table 8 Statistical results of annual maximum and minimum temperatures at five stations before and af

站名	平均年最高气温/℃		平均年最低气温/℃		最高年最高气温/℃		最低年最低气温/℃	
	70 年代前	70 年代后	70 年代前	70 年代后	70 年代前	70 年代后	70 年代前	70 年代后
里海	34.38	34.29	-15.34	-14.23	37.60	38.70	-26.50	-22.60
咸海	38.99	41.14	-31.60	-28.93	42.90	44.80	-37.90	-36.70
巴尔喀什湖	36.83	36.84	-32.81	-31.45	40.90	40.90	-41.20	-38.70
阿拉湖	37.79	39.07	-35.55	-31.80	40.90	43.60	-43.70	-41.10
斋桑泊	36.76	37.69	-34.40	-32.11	40.20	42.00	-40.90	-39.40

总体来讲 ,20 世纪 70 年代后的极端年最高气温和极端年最低气温较 70 年代前都表现为升高趋势 ,并且极端年最高气温比极端年最低气温的升高趋势更加明显 .

3 结 论

5 个站年均气温的年际变化均随着纬度的升高而变大 ,平均气温多年来呈上升趋势 ,而且纬度高的站点气温升高趋势较为明显 ,斋桑泊的升温趋势最为显著 .纬度最高的斋桑泊在 1936—2005 年间年均气温上升了 2.43℃ ,年均上升率达 7% ,而纬度较低的阿拉湖、巴尔喀什湖、咸海的年均上升率只有 2% ,纬度最低的里海表现为降温 ,但降幅很小 .春、夏、秋三季呈增温趋势 ,增幅比较小 ;冬季 ,各站均温均呈上升趋势 .年最高气温方面 ,只有咸海和阿拉湖的年最高气温呈显著升高趋势 ,其他站的年最高气温升降不显著 ,其中巴尔喀什湖的年最高气温呈下降趋势 ,但是降幅不大 ,年最低气温基本呈升高趋势 ,其中 ,里海和巴尔喀什湖升高趋势不显著 .各站的年均气温由低转高的转折点均在 20 世纪 70 年代 .

中亚地区主要湖泊的年均气温整体呈上升趋势 .主要表现为年最低气温的升高 ,年最高气温并无很明显的升高现象 ,升温过程主要发生在冬季 ,其他季节的气温增幅不大 ,且纬度越高 ,升温越显著 .

参考文献 :

[1] 王邵武 . 近百年我国及全球气温变化趋势[J]. 气象 ,1990 ,16(2) :11-15.(WANG Shao-wu . Variations of temperature in China for the 100 year period in comparison with global temperatures[J]. Meteorological Monthly , 1990 ,16(2) :11-15.(in Chinese))
[2] Intergovernmental Panel on Climate Change . Climate change 2007[R]. Paris :IPCC , 2007 .
[3] 辛渝 ,张广兴 ,俞剑蔚 ,等 . 新疆博州地区气温的长期变化特征[J]. 气象科学 , 2007 ,27(6) :610-617.(XIN Yu , ZHANG Guang-xing , YU Jian-wei , et al . Secular variation feature of air temperature over Bole Region in Xinjiang[J]. Scientia Meteorologica Sinica , 2007 ,27(6) :610-617.(in Chinese))
[4] NICHOLSON S E . Climatic and environmental change in Africa during the last two centuries[J]. Climate Res , 2001 , 17 :123-144 .

- [5] BARLOW M , CULLEN H , LYON B. Drought in central and south-west Asia : La Nina , the warm pool , and Indian Ocean precipitation [J]. J Climate , 2002 , 15 : 697-700.
- [6] NICHOLSON N. The changing nature of Australian drought[J]. Climate Change , 2004 , 63 : 323-336.
- [7] 唐志坚 , 夏自强 , 郭利丹 , 等 . 中北亚地区气候纬向变化特征[J]. 河海大学学报 : 自然科学版 , 2009 , 37(3) : 271-275.(TANG Zhi-jian , XIA Zi-qiang , GUO Li-dan , et al. Characteristics of latitudinal climate change in Central-North Asia[J]. Journal of Hohai University : Natural Sciences , 2009 , 37(3) : 271-275.(in Chinese))
- [8] 谭徐明 . 近 500 年我国特大旱灾的研究[J]. 防灾减灾工程学报 , 2003 , 23(2) : 77-83.(TAN Xu-ming. Study of major drought catastrophes in China in recent 500 years[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering , 2003 , 23(2) : 77-83.(in Chinese))
- [9] 裴益轩 , 郭民 . 滑动平均法的基本原理及应用[J]. 火炮发射与控制学报 , 2001(1) : 21-23.(PEI Yi-xuan , GUO Min. The fundamental principle and application of sliding average method[J]. Gun Launch & Control Journal , 2001(1) : 21-23.(in Chinese))
- [10] 丁晶 , 刘权授 . 随机水文学[M]. 北京 : 中国水利水电出版社 , 1997.
- [11] 王文圣 , 丁晶 , 金菊良 . 随机水文学[M]. 北京 : 中国水利水电出版社 , 2008.
- [12] 王开军 , 黄添强 . 基于趋势秩的 Spearman 相关方法[J]. 福建师范大学学报 : 自然科学版 , 2010 , 26(1) , 38-41.(WANG Kai-jun , HUANG Tian-qiang. Spearman rank correlation method based on trend rank[J]. Journal of Fujian Normal University : Natural Science Edition , 2010 , 26(1) : 38-41.(in Chinese))
- [13] MANN H B. Non-parametric tests against trend[J]. Econometrica , 1945 , 13(3) : 245-259.
- [14] LIBISSELLER C , GRIMVALL A. Performance of partial Mann-Kendall test for trend detection in the presence of covariates[J]. Environmetrics , 2002 , 13(1) : 71-84.
- [15] 邹悦 , 张勃 , 戴声佩 , 等 . 黑河流域莺落峡站水文过程变异点的识别与分析[J]. 资源科学 , 2011 , 33(7) : 1264-1271.(ZOU Yue , ZHANG Bo , DAI Sheng-pei , et al. Identification and analysis of mutation of hydrological processes at the Yingluoxia Station in the Heihe River Basin[J]. Resources Science , 2011 , 33(7) : 1264-1271.(in Chinese))