

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2011.04.007

巴尔喀什湖流域 1936—2005 年气温特征

肖婷婷^{1,2},夏自强^{1,2},郭利丹^{1,2},王志坚^{2,3},胡静奎¹

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

摘要 根据巴尔喀什湖流域 4 个代表站 1936—2005 年的逐日气温资料,应用滑动平均法、气候倾向率法和距平分析法对该流域年均气温进行年际和年代际变化特征分析,运用 R/S 分析法对年极端气温及其频数的年际变化进行未来趋势的预测.结果表明:该流域年均气温的年际变化呈增加趋势,且气温上升的倾向率从南向北、从东向西逐渐降低.年均气温年代距平值由负变正,变幅逐渐增大.以阿拉木图站为例,其年极端最高、最低气温均呈上升趋势,且未来年极端气温将呈持续上升趋势,未来年极端最低气温上升持续性强.

关键词 巴尔喀什湖流域 年均气温 年极端气温

中图分类号 P339 **文献标志码** A **文章编号** 1000-1980(2011)04-0391-06

巴尔喀什湖位于哈萨克斯坦东南部(东经 $73^{\circ}20'$ ~ $79^{\circ}11'$,北纬 $45^{\circ}00'$ ~ $46^{\circ}44'$),是一个内陆冰川堰塞湖,为世界第 4 长湖.该湖东西长 605 km,南北宽 8 ~ 70 km,其中最宽处达 74 km,总面积 1.83 万 km^2 .该流域光热资源充足,气温变幅大,蒸发能力强,降水稀少,属极端干旱的大陆性气候.伊犁河是流经中国和哈萨克斯坦两国的国际性内陆河,上游处于我国境内^[1],从南面注入巴尔喀什湖的西半部,流入水量占总流入水量的 78.4%,湖水位变化主要取决于伊犁河入湖水量的变化^[2].伊犁—巴尔喀什湖流域在 20 世纪中后期人类活动影响加剧后,生态问题日益突出,其中巴尔喀什湖的水量、水质都受到了不同程度的影响^[3].因此,本文对该流域 1936—2005 年气温变化特征和趋势的分析研究,有助于揭示该区域生态环境的演变趋势,可以为重建流域生态环境提供理论依据.

1 研究资料与分析方法

1.1 研究资料

研究所采用的资料为巴尔喀什湖流域不同地理位置的阿拉木图(东经 $76^{\circ}54'$,北纬 $43^{\circ}12'$)、巴尔喀什(东经 $74^{\circ}12'$,北纬 $45^{\circ}6'$)、卡拉干达(东经 $73^{\circ}6'$,北纬 $49^{\circ}54'$)和乌切阿拉尔(东经 $80^{\circ}30'$,北纬 $45^{\circ}24'$)4 个代表站(以下分别简称阿站、巴站、卡站和乌站,其位置分布见图 1)1936—2005 年的逐日气温资料.为了更有效地分析说明该流域气温特征变化规律,本文根据郭利丹等^[4]对巴尔喀什湖 5 个代表站 20 世纪气候变化特征的分析结果,对阿站、巴站、卡站和乌站 4 个代表站 1996—2005 年的逐日气温资料进行了更新.

1.2 分析方法

主要采用滑动平均法^[5]、最小二乘法估计^[6-7]对 4 个站的年均气温、年极端气温和年极端气温频数进行线性倾向分析,并对以上

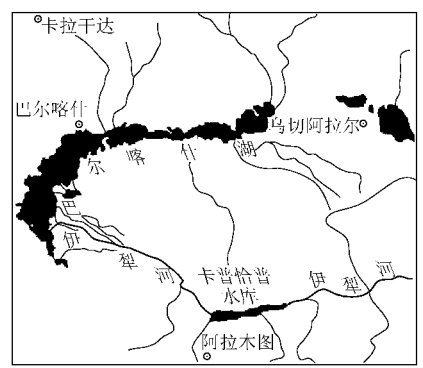


图 1 巴尔喀什湖流域所选站点分布
Fig. 1 Distribution of selected stations in Balkhash Lake Basin

数据的时间序列进行年代和季节的划分,分析不同时间尺度下数据的变化发展趋势,最后运用 R/S 分析法^[8-10] 预测极端气温的走势.

2 结果分析

2.1 年均气温的年际变化特征

由于逐年年均气温曲线很不平滑,不能由其直观地看出 4 个代表站所研究指标的变化趋势,故采用 5 a 滑动平均法绘制了年均气温曲线,结果如图 2 所示.从表 1 可以看出:多年平均气温由北部卡站的 3.25°C 逐渐升高到南部阿站的 9.17°C ,由西部巴站的 5.85°C 逐渐升高到东部乌站的 7.01°C ;气温倾向率均为正值,即 4 个代表站的多年平均温度均呈上升趋势,但上升幅度不同.其中增幅最大的是北部的卡站,气温倾向率为 $0.272^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$ 增幅最小的是西部的巴站,气温倾向率为 $0.147^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$.图 2 表明,进入 21 世纪后,各站年均气温增幅明显变大.

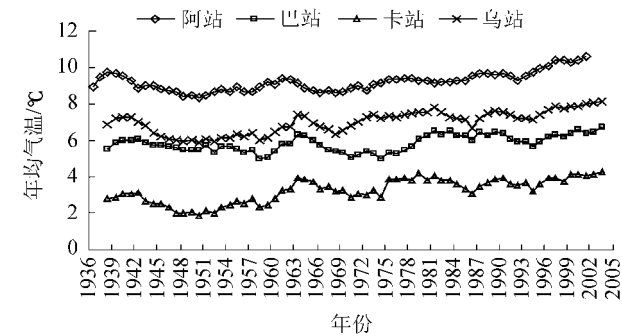


图 2 各站年均气温 5a 滑动平均变化曲线
Fig. 2 Five-year moving average process of annual average temperature at each meteorological station

年代,阿站偏低 0.4%,卡站偏低 18.7%,其余 2 个站均偏高,偏大幅度小于 10%;50 年代,除巴站偏高,其余各站均偏低,其中卡站偏低明显,为 24.1%;60 年代,除卡站偏高不到 10%外,其余 3 个站均偏低,偏低幅度小于 5%;70 年代,阿站偏低 0.2%,卡站偏低 5.4%,偏高偏低的站点各占一半;80 年代—2005 年,4 个站均偏高,且偏高趋势明显增强.

2.3 年极端气温及其频数的变化特征

鉴于 4 个代表站资料样本数量一致,本文以阿站为例,将其 1936—2005 年的样本资料逐年日最高(低)气温按照降(升)序排列,将保证率 5%所对应的值定义为该站的年极端最高(低)气温阈值.据此,将 1936—2005 年逐年日最高(低)气温阈值的平均值定义为年极端最高(低)气温总阈值^[12],并且将大于年极端最高气温总阈值的温度平均值定义为年极端最高气温,小于年极端最低气温总阈值的温度平均值定义为年极端最低气温,大于年极端最高气温总阈值的温度平均值定义为年极端最高气温频数,小于年极端气温总阈值的温度平均值定义为年极端最低气温频数.

2.3.1 年极端气温的年际变化特征

从图 4(a)可以看出,1936—2005 年,阿站年极端最高气温总体呈上升趋势,但增温幅度不明显,且基本都在总阈值之上,倾向率为 $0.095^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$.图 4(a) 10 a 滑动平均变化曲线表明,20 世纪 30 年代中期偏高,60 年代初期偏低最明显,80 年代末偏低明显,70 年代末开始偏高,90 年代末偏高明显.总体上,20 世纪 50—70 年代为偏低时期,90 年代—21 世纪为偏高时期.其中,1972 年最低,1997 年最高,2000 年和 2005 年比 1997 年稍低.

表 1 各代表站气温倾向率
Table 1 Trend rate of mean temperature at each meteorological station

站名	多年平均气温/ $^{\circ}\text{C}$	气温倾向率/ $(^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1})$
阿站	9.17	0.214
巴站	5.85	0.147
卡站	3.25	0.272
乌站	7.01	0.234

2.2 年均气温的年代际变化特征

采用距平分析法^[11] 分析巴尔喀什湖流域各代表站年均气温的年代际变化特征.由图 3 可知:20 世纪 30 年代,各站年代平均气温较 70 a 的平均气温偏低;40

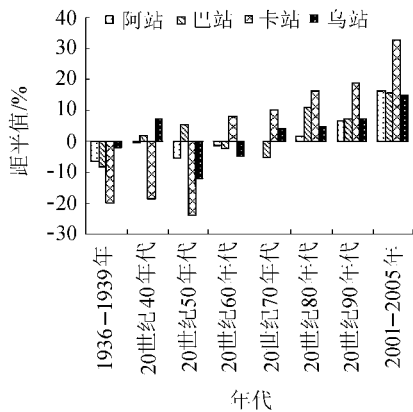


图 3 各站年代气温的距平变化分析结果
Fig. 3 Distance average analysis of age's temperature during different periods at each station

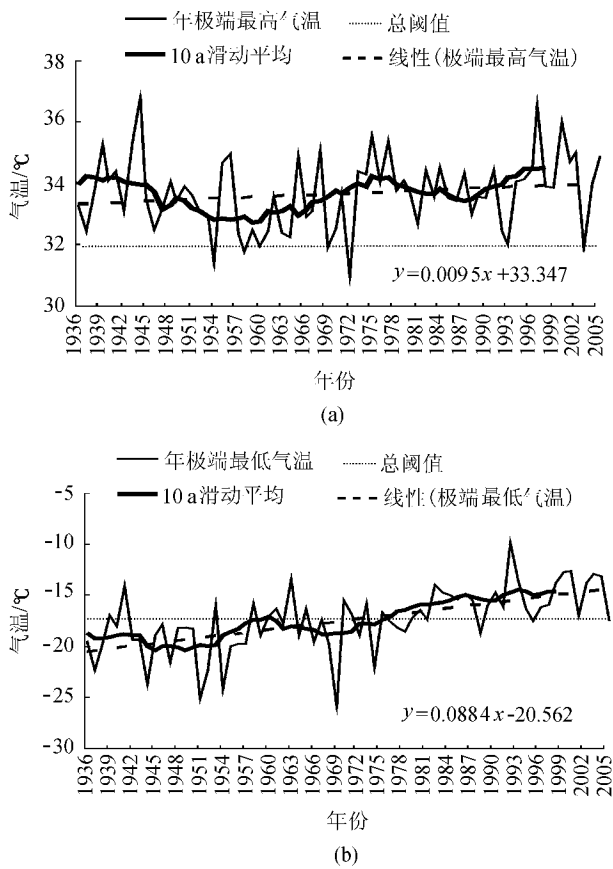


图 4 阿站年极端气温年际变化曲线

Fig. 4 Interannual variations of annual extreme maximum and minimum temperatures at Alma-ata station

从图 4(b)可以看出,1936—2005 年,阿站年极端最低气温总体也呈上升趋势,增温幅度比较明显,倾向率为 $0.884^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$,且大多在总阈值之下.图 4(b) 10 a 滑动平均变化曲线与其总阈值线在 20 世纪 70 年代中期出现交点,即 70 年代中期之后,年极端最低气温上升至较其平均值高的程度.与年极端最高气温变化趋势不同,年极端最低气温经历了一个从低到高的年代际变化过程.20 世纪 30—50 年代中期,出现一个温度下降的过程,年极端最低气温在 50 年代中期—60 年代出现一个明显上升的过程,70 年代中期开始持续上升,90 年代开始增幅变大.总体上,20 世纪 30—50 年代中期为偏低时期,40 年代最低,90 年代至今为偏高时期,1996 年以后偏高非常明显.其中,1944 年最低,2000 年最高.

总的来说,阿站年极端气温均呈上升趋势,其中年极端最低气温增幅明显,与全球变暖大背景一致.

2.3.2 年极端气温频数的年际变化特征

从图 5(a)可以看出,1936—2005 年,阿站年极端最高气温频数总体呈增加趋势,增幅较小,倾向率为 $0.366\text{ d}/(10\text{ a})$.年极端最高气温频数变化趋势与年极端最高气温变化趋势类似,20 世纪 30—40 年代中期以及 70 年代均有偏高的过程,50 年代初期偏低明显,80 年代也有偏低的过程,90 年代开始偏高.总体上,20 世纪 50—70 年代为偏低时期,50 年代偏低最为明显,70 年代和 90 年代以后为偏高时期.

从图 5(b)可以看出,1936—2005 年,阿站年极端最低气温频数呈减少趋势,且变化非常明显,倾向率为 $-1.706\text{ d}/(10\text{ a})$,20 世纪 70 年代中期开始剧烈减少.总体上,20 世纪 40 年代中期—50 年代初为偏高时期,70 年代中期以后为偏低时期.

总的来说,阿站年极端最高气温频数呈增加趋势,而年极端最低气温频数减少明显.这与该站年极端最低气温的变化趋势相一致,也与全球气候变暖的事实相符合.

2.3.3 年极端气温及其频数年际变化的 R/S 分析

R/S 分析方法^[8-10]是数学家 Hurst 在大量实证研究的基础上提出的一种根据 Hurst 指数 H 来判断研究对象变化趋势的方法.由该方法的基本原理可知:当 $H = 0.5$ 时,研究对象指标完全独立,相互没有依赖;当 $H > 0.5$ 时,研究对象未来变化趋势与过去一致,即过程具有持续性或长程相关性, H 值越接近于 1,持续

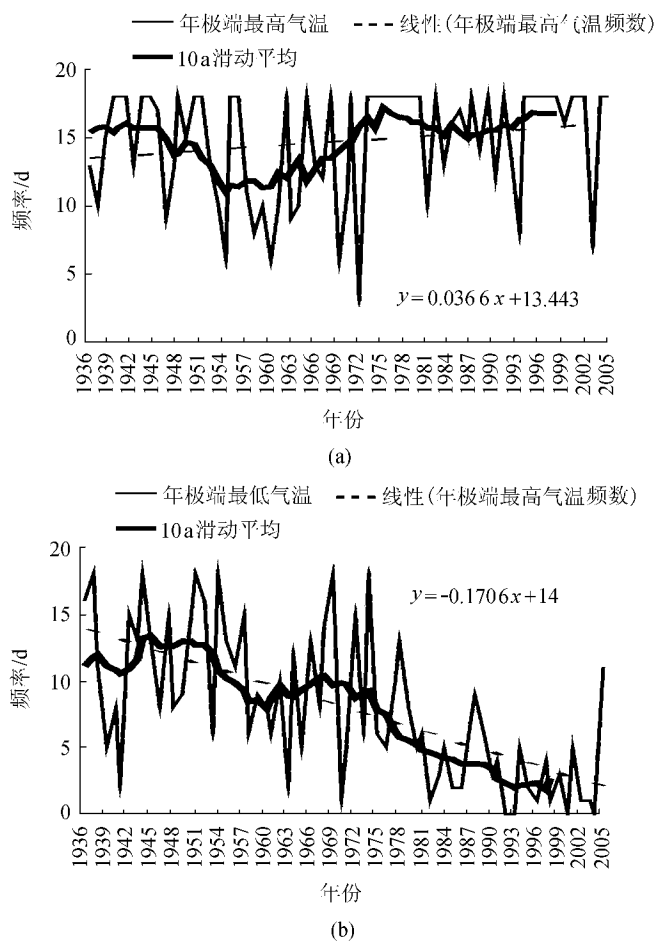


图 5 阿站年极端最高和最低气温频数年际变化曲线

Fig. 5 Interannual variations of annual extreme maximum and minimum temperature frequencies at Alma-ata station

性就越强；当 $H < 0.5$ 时，研究对象未来变化趋势与过去相反，即过程具有反持续性， H 值越接近于 0，反持续性就越强。因此，本文采用 R/S 分析方法来分析年极端气温及其频数年际变化趋势。

图 6 和图 7 分别给出了阿站极端气温及其频数年际变化的 R/S 分析结果。其中： R 为极端气温及其频数时间序列的极差序列； S 为极端气温及其频数时间序列的标准差序列； τ 为时间序列；直线回归方程中直线的斜率为 H 。

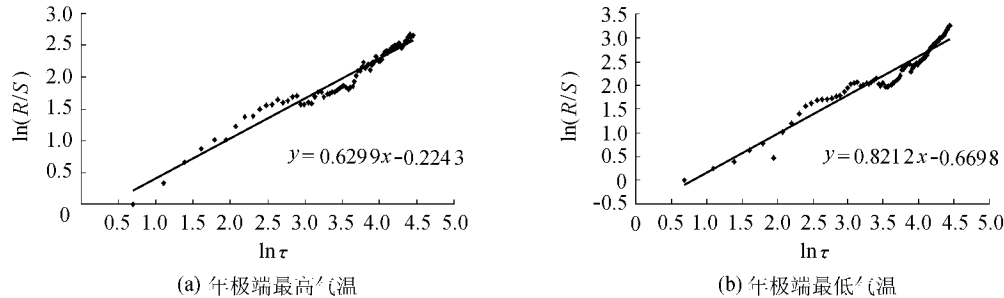


图 6 阿站年极端最高气温和极端最低气温年际变化的 R/S 分析结果

Fig. 6 R/S analysis results of annual extreme maximum and minimum temperatures at Alma-ata station

由图 6 和图 7 可知，阿站年极端最高气温、年极端最低气温、年极端最高气温频数和年极端最低气温频数的 H 值分别为 0.6299, 0.8212, 0.6836, 0.8253，均大于 0.5。这说明，阿站 4 项气温要素均存在赫斯特现象，具有状态持续性。由此可知，阿站的年极端气温及其频数的未来变化趋势与过去变化趋势会比较一致，即除极端最低气温频数保持下降趋势外，其余 3 项指标均呈上升趋势。其中，年极端最低气温的 H 值为 0.8212，

与 1 较为接近,且年极端最低气温频数的 H 值为 0.825 3,表明未来年极端最低气温升高的持续性较强,暖冬现象会更加明显.

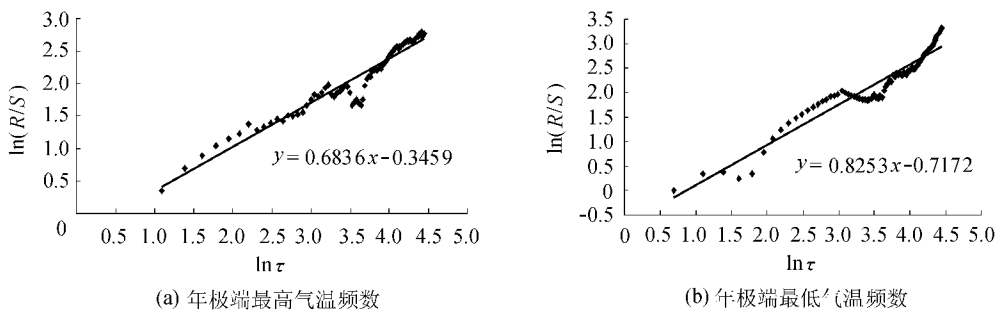


图 7 阿站年极端最高气温频数和极端最低气温频数年际变化的 R/S 分析结果

Fig. 7 R/S analysis results of annual extreme maximum and minimum temperature frequencies at Alma-ata station

3 结 论

a. 1936—2005 年,巴尔喀什湖流域年均气温总体呈上升趋势,且气温上升倾向率从南到北、从东到西逐渐降低.其中 升温速度最快的是卡站,气温倾向率为 $0.272^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$ 升温速度最慢的是巴站,气温倾向率为 $0.147^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$.

b. 以阿站为例,1936—2005 年,年极端气温呈上升趋势 年极端最低气温在 20 世纪 70 年代上升明显,同时期年极端最低气温频数开始急速下降 年极端气温及其频数的未来变化趋势与过去变化趋势比较一致,未来极端最低气温上升持续性强说明冬季气温升高明显.

c. 巴尔喀什湖流域年均气温年代划分下的趋势分析结果与 1936—1995 年的增幅趋势相符合,4 个代表站的年均气温仍呈逐年上升趋势.

参考文献:

[1] 叶佰生,赖祖铭,施雅风.气候变化对天山伊犁河上游河川径流的影响[J].冰川冻土,1996,18(1):29-36. (YE Bai-sheng, LAI Zu-ming, SHI Ya-feng. The effect of climate change on runoff in the Yil river in the Tianshan mountain [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1996, 18(1): 29-36. (in Chinese))

[2] 杨川德. 巴尔喀什湖水位变化及其原因[J].干旱区地理,1993,16(1):36-42. (YANG Chuan-de. The reasons of water level change in Balkhash Lake [J]. Arid Land Geography, 1993, 16(1): 36-42. (in Chinese))

[3] 付颖昕,杨恕.苏联时期哈萨克斯坦伊犁-巴尔喀什湖流域开发述评[J].兰州大学学报:社会科学版,2009,37(4):16-24. (FU Ying-xin, YANG Shu. Commentary on the development of Kazakhstan Ili-Balkhash Basin during the Soviet Period [J]. Journal of Lanzhou University: Social Sciences, 2009, 37(4): 16-24. (in Chinese))

[4] 郭利丹,夏自强,李捷,等.巴尔喀什湖流域的气候变化特征分析[J].河海大学学报:自然科学版,2008,36(3):316-321. (GUO Li-dan, XIA Zi-qiang, LI Jie, et al. Characteristics of climate change in the Balkhash Lake Basin [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2008, 36(3): 316-321. (in Chinese))

[5] 徐晓,林盛吉,张徐杰,等.气候变化对衢州水文站洪水频率分析的影响[J].河海大学学报:自然科学版,2010,38(6):625-628. (XU Xiao, LIN Sheng-ji, ZHANG Xu-jie, et al. Impact of climate change on flood frequency analysis at Quzhou hydrological station [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2010, 38(6): 625-628. (in Chinese))

[6] 普宗朝,张山清,纪冬梅,等.近 30 年乌鲁木齐地区的气候变化[J].新疆气象,2005,28(4):14-16. (PU Zong-chao, ZHANG Shan-qing, JI Dong-mei, et al. The climate change in Urumqi Area in last 30 years [J]. Xinjiang Meteorological Monthly, 2005, 28(4): 14-16. (in Chinese))

[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] 冯新灵,罗隆诚,邱丽丽.成都未来气候变化趋势的 R/S 分析[J].长江流域资源与环境,2008,17(1):83-87. (FENG Xin-ling, LUO Long-cheng, QIU Li-li. R/S analysis on future climate change in the city of Chengdu [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin [J]. 2008, 17(1): 83-87. (in Chinese))

- [9] 赵晶,王乃昂,杨淑华.兰州城市化气候效应的 R/S 分析[J].兰州大学学报:自然科学版,2000,36(6):122-128.(ZHAO Jing,WANG Nai-ang,YANG Shu-hua. R/S analysis of urbanization effect on climate in Lanzhou[J]. Journal of Lanzhou University: Natural Science,2000,36(6):122-128.(in Chinese))
- [10] 李海娟,夏自强,章洁,等.额尔齐斯河流域年降水量时间序列分析[J].水资源保护,2010,26(5):29-32.(LI Hai-juan,XIA Zi-qiang,ZHANG Jie,et al. Analysis of time series of annual precipitation in Irtysh River Basin[J]. Water Resources Protection,2010,26(5):29-32.(in Chinese))
- [11] 李捷,夏自强,郭利丹,等.额尔齐斯河流域气候特征及变化趋势分析[J].河海大学学报:自然科学版,2008,36(3):311-315.(LI Jie,XIA Zi-qiang,GUO Li-dan,et al. Characteristics and trends of change in the climate of the Irtysh River Basin[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences,2008,36(3):311-315.(in Chinese))
- [12] 李玲萍,薛新玲,李岩瑛,等.1961—2005年河西走廊东部极端气温事件变化[J].冰川冻土,2010,32(1):43-50.(LI Ling-ping,XUE Xin-ling,LI Yan-ying,et al. Changes in the extreme temperatures in the east of Hexi Corridor in 1961—2005[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2010,32(1):43-50.(in Chinese))

Temperature characteristics in the Balkhash Lake Basin from 1936 to 2005

XIAO Ting-ting^{1,2}, XIA Zi-qiang^{1,2}, GUO Li-dan^{1,2}, WANG Zhi-jian^{2,3}, HU Jing-kui¹

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China ;

2. Research Institute of International Rivers, Hohai University, Nanjing 210098, China ;

3. School of Law, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract : According to the daily temperature data from 1936 to 2005 in four meteorological stations in the Balkhash Lake Basin, the interannual and interdecadal variations of average temperature were analyzed using moving average, climatic inclination rate and distance average analysis methods. and the interannual variations of the annual extreme temperature and its frequency were predicted using the R/S method. The results show that the annual average temperature increases interannually, and inclination rate decreases from south to north and from east to west ; the decadal anomaly value of the annual average temperature increases from negative to positive ; and the change range increases gradually. Taking the Alma-ata station as an example, its annual extreme maximum and minimum temperatures both increase, their future values will continue increasing, and the annual extreme minimum temperature will continuously increases.

Key words : Balkhash Lake Basin ; annual climatic change ; annual extreme temperature