

巴尔喀什湖流域气候变化特征分析

郭利丹^{1 2} 夏自强^{1 2} 李 捷^{1 2} 唐志坚²

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室 江苏 南京 210098 ;
2. 河海大学水文水资源学院 江苏 南京 210098)

摘要 根据巴尔喀什湖流域 5 个气象站 20 世纪的逐月气温和降水资料 ,利用滑动平均法和差积曲线法 ,分析流域 20 世纪的气候变化特征及其与巴尔喀什湖自身水文特征的联系 ,并从能量转换角度进行解释 .结果表明 :空间上 ,年均气温从南向北、从东向西逐渐降低 ,年际变化从南向北变大 ,年降水量从四周向中心腹地逐渐减小 ,年际变化从北向南变大 .时间上 ,年均气温总体上升且大致具有 10 ~ 23 a 的周期性 ,年降水量整体上表现为增长 ,20 世纪 90 年代初期略有减少 .年内月均气温的最低和最高值分别出现在 1 月和 7 月 ,且低温月份气温上升趋势较高温月份明显 ,降水量的年内分布呈双峰型 .20 世纪 50 年代中期至 70 年代中期 ,整个流域的气候要素变化较大 .

关键词 :气候变化 ;气温 ;降水 ;巴尔喀什湖流域

中图分类号 :P461⁺.5 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2008)03-0316-06

巴尔喀什湖是哈萨克斯坦境内第 3 大水体 ,在中亚地区的气候调节中起着重要作用 .由于深居亚欧大陆腹地 ,海洋上的气流很难进入 ,巴尔喀什湖流域呈现典型的温带大陆性气候^[1] .本文选取流域不同地理位置(图 1)上的阿拉木图、巴尔喀什、卡拉干达、潘菲洛夫、乌切阿拉尔等 5 个气象站 (以下分别简称为阿站、巴站、卡站、潘站和乌站)20 世纪的逐月气温和降水资料 ,采用滑动平均法和差积曲线法^[2] 进行分析 ,以期揭示巴尔喀什湖流域 20 世纪的气候变化特征 .

对于引起 20 世纪中后期巴尔喀什湖水位持续下降的气候因素 ,秦伯强^[3] 认为可能与冬季趋暖影响了西风带的南移位置致使冬季降水减少有关 ,本文则试图从能量转换角度进行解释 .由于 20 世纪中后期巴尔喀什湖流域人类活动加剧 ,不仅改变了流域的水循环路径 ,也改变了流域的下垫面特性 ,影响到流域的热力学特性 ,使热量平衡发生改变^[4-5] ,进而可能导致局部气候的变化 .

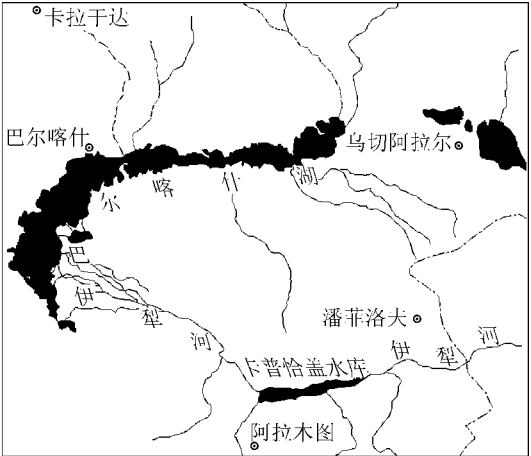


图 1 巴尔喀什湖流域所选站点分布
Fig.1 Distribution of the selected stations
in Balkhash Lake Basin

1 气候要素的年际和年代际变化

1.1 年均气温变化

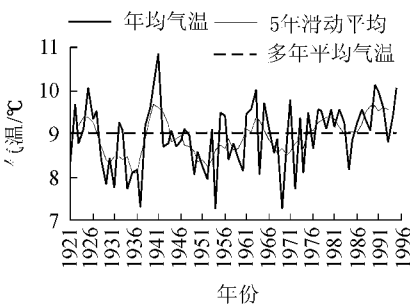
巴尔喀什湖流域的年均气温变化从空间上 ,大致有从南到北(从阿站到卡站 ,从潘站到乌站)从东到西(从潘站到阿站 ,从乌站到巴站)逐渐降低的特点 ,从东南部潘站的 9.1℃ 降低到西北内陆丘陵地区卡站的 2.9℃ .最高年均气温与最低年均气温的极值比和极值差以及变差系数 C_v 等都表现为从南向北逐渐增大 ,说明年均气温的年际变化有从南部山区向北部平原丘陵区逐渐变大的特点(表 1) .

从长期历史来看 ,巴尔喀什湖流域的年均气温整体呈上升趋势 ,并且大致具有 10 ~ 23 a 的周期性 .从图 2

收稿日期 2007-06-13
基金项目 国家自然科学基金(50379007 ,30490235)
作者简介 郭利丹(1983—) ,女 ,河南洛阳人 ,硕士研究生 ,主要从事水文水资源及生态水文研究 .

表 1 各站年均气温统计特征值

Table 1 Statistical characteristics of mean annual temperature at each station								
站名	统计历时	最高年均气温/℃	最低年均气温/℃	极值比	极值差/℃	多年平均气温/℃	C_v	C_s/C_v
阿站	1921~1995 年	10.8	7.3	1.5	3.5	9.0	0.09	2.0
巴站	1936~1995 年	7.3	3.6	2.0	3.7	5.6	0.15	2.0
卡站	1936~1995 年	5.2	0.8	6.5	4.4	2.9	0.35	2.0
潘站	1930~1995 年	11.1	6.8	1.6	4.3	9.1	0.12	2.0
乌站	1936~1995 年	8.9	4.7	1.9	4.2	6.8	0.15	2.0



可以看出,阿站 1921~1995 年的年均气温总体呈波浪式上升趋势,且气温变化周期逐渐减短、变幅逐渐减小,特别是从 20 世纪 70 年代后期开始基本上都高于多年平均气温.其余站的年均气温变化特征相似(图略).

图 2 阿站年均气温及其 5 年滑动平均过程

Fig.2 Mean annual temperature and its five-year moving average process at Alma-Ara station

为进一步分析巴尔喀什湖流域的气温变化规律,图 3 绘出了阿、潘、乌 3 站的年均气温差积曲线(巴站与阿站相似,卡站与潘站相似).分析表明,阿、巴 2 站分别于 1974 年和 1977 年发生转折,潘、卡 2 站同时于 1960 年出现转折,乌站在 1970 年转折,并在 1960 年出现了一个极小值.各站在其转折点之前气温差积变化趋势大致为下降(负距平偏多),之后表现为升高(主要为正距平),且在下降和上升的 2 个不同阶段都同时出现了几个突变点,如 1938 年的极低点及 1983 年和 1992 年的极高点等.这些现象说明巴尔喀什湖流域各地区的气温变化整体上具有一致性,且 1960~1977 年是整个流域气温发生较大变化的时期.

对于流域南部靠近山区的阿站和潘站,多年平均气温相差无几(分别为 9.0℃和 9.1℃).然而在 1960 年之前,阿站的年均气温几乎都高于潘站,只有偶尔几年偏低,1960 年之后却一直低于潘站,特别是 20 世纪 80 年代初期以来,2 站的年均气温之差维持在 0.8℃左右(图 4).这可能是由于 20 世纪 70 年代前后阿拉木图地区水利工程的修建和灌溉农业的快速发展造成的.引水灌溉使得流域水体及土壤含水量增加,一方面,水分最终又以蒸散发的形式输送给大气,增加了水循环过程中的水汽含量,导致陆面水文过程发生改变;另一方面,土地利用的增加使得植被覆盖率和土壤含水量增加,致使达到地面的太阳净辐射增强^[4],土壤热容量增大、储热能力加强,对地表温度的调节速率减缓,从而影响陆气相互作用.此外,伊犁河谷卡普恰盖水库的修建(1970 年建成)^[16],使河流的水流交换速度明显减慢,水面面积增加,陆面面积减少,陆面蒸发向水面蒸发的转化使得蒸发损失量加大,蒸发潜热增大,大气中水汽含量增多.水汽作为一种温室气体^[7],蒸发时要吸收大量潜热,并强烈吸收长波辐射,使灌溉区域的气温可能发生改变,也就造成了阿站气温相对潘站有所降低.

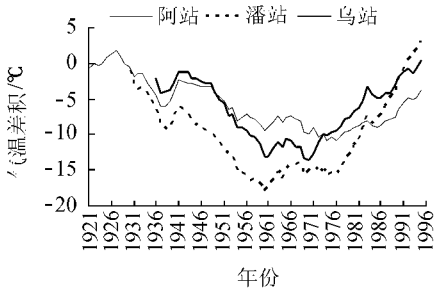


图 3 阿、潘、乌 3 站年均气温差积曲线

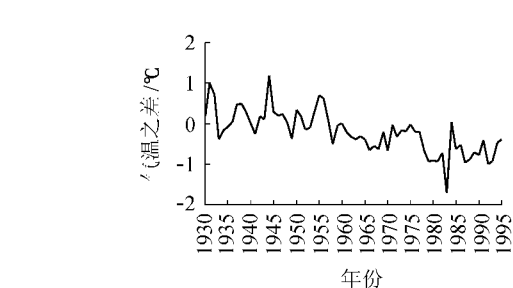


图 4 阿、潘 2 站逐年气温之差

Fig.3 Residual mass curve of mean annual temperature at Alma-Ara, Панфилов and Уч-Арал stations

Fig.4 Difference between the yearly temperature at Alma-Ara and Панфилов stations

巴尔喀什湖流域的年代平均气温在 20 世纪 30~50 年代经历了一个先升后降的过渡,自 50 年代开始整体表现为上升(特别是南部山区的阿、潘 2 站),唯有卡站和乌站 80~90 年代前期气温稳定,巴站 30~90 年代前期一直呈升降交替的起伏变化(表 2).统计各站 1970~1995 年的年均气温,发现潘、巴、阿、卡 4 站的气温上升趋势比较明显,每 10 年的升温幅度依次为 0.496℃、0.320℃、0.301℃、0.288℃,尽管乌站的气温上升趋势不如前者明显,但 1970~1995 年的年均气温仍比 1936~1969 年高出 0.9℃.1980~1989 年的年均气温与 1970~1979 年相比,除乌站降低 0.1℃外,其余各站升温幅度在 0.2~0.8℃之间.

表2 各站年代平均气温和年代平均降水量统计

Table 2 Statistics of mean decadal temperature and mean decadal precipitation at each station

统计历时	平均气温/℃					平均降水量/mm				
	阿站	巴站	卡站	潘站	乌站	阿站	巴站	卡站	潘站	乌站
1921~1929年	9.0					556.3				
1930(1936)~1939年 ^①	8.5	4.9	2.4	8.2	5.9	515.2	80.5	259.5	169.4	239.6
1940~1949年	9.1	5.7	2.5	9.0	6.8	596.1	102.6	247.2	145.3	266.0
1950~1959年	8.6	5.3	2.3	8.4	6.1	603.9	124.4	281.9	185.5	272.3
1960~1969年	8.9	5.5	3.0	9.2	6.6	641.3	133.6	333.1	163.8	286.3
1970~1979年	9.0	5.3	3.1	9.4	7.4	634.3	123.4	304.0	193.8	271.3
1980~1989年	9.2	6.1	3.6	10.0	7.3	693.1	142.8	344.1	193.1	268.8
1990~1995年	9.7	6.0	3.6	10.3	7.3	596.7	127.7	316.3	194.4	338.4

注 ①阿、潘2站指1930~1939年,巴、卡、乌3站指1936~1939年。
总体来说,根据目前的统计资料分析,巴尔喀什湖流域20世纪的气候趋于变暖。

1.2 年降水量变化

巴尔喀什湖流域年降水量的地区差异性较大^[1],南部山区的阿站最大(超过600 mm),其余站则多数都不足阿站的一半(表3),整个地区的多年平均降水量从四周向中心腹地逐渐减小(巴站最小,仅为122.6 mm)。从年最大降水量与年最小降水量的极值比来看,卡站的极值比最大,降水量的丰枯变化最大,这与其深居内陆的地理位置有关。再考虑变差系数 C_v ,潘、巴2站年降水量的年际变化较为剧烈(极值比和 C_v 值较大),阿站相对最为稳定(极值比和 C_v 值最小)。说明该流域在多年平均降水量少的地区,降水量的年际变化大;在多年平均降水量多的地区,降水量的年际变化小。

表3 各站年降水量统计特征值

Table 3 Statistical characteristics of annual precipitation at each station

站名	统计历时	最大年降水量/mm	最小年降水量/mm	极值比	多年平均降水量/mm	C_v	C_s/C_v
阿站	1921~1995年	924.4	327.2	2.8	605.7	0.23	2.0
巴站	1936~1995年	220.6	52.8	4.2	122.6	0.32	2.0
卡站	1936~1995年	517.8	105.4	4.9	300.6	0.28	2.0
潘站	1930~1995年	341.9	80.3	4.3	176.9	0.33	2.0
乌站	1936~1995年	417.9	132.3	3.2	277.2	0.25	2.0

从长期历史看,巴尔喀什湖流域的年降水量大致呈增加趋势。在1957(1958)年之前各站的年降水量低于多年平均降水量,之后,各站的年降水量尽管在过程曲线上表现为有升有降,但多数年份的降水量都高于各自的多年平均值,1988年前后表现略微降低。20世纪90年代前期(1990~1995)的平均降水量与80年代相比,除了乌、潘2站分别增加69.6 mm和1.3 mm外,其余3站均减少(表2)。以阿站为例(图5),相对于多年平均降水量来说,在20世纪50年代中期以前降水量偏少,之后偏多,尤其是80年代中后期降水量增长速度明显,而90年代初期却有所降低,特别是1991年整个地区都为枯水年^[8]。

从图6的年降水量差积曲线也可以看出,阿、巴、卡3站(图6(a))均于1957年出现转折,相对各自的多年平均值来说,转折点之前降水量偏少,之后降水量整体偏多;同样,潘站在1957年以前降水量偏少,1968年以后开始表现整体偏多。由于潘站1959年的降水量曾高达280.4 mm,在图6(b)中就出现了一个从1960年极高点到1968年极低点的突变;乌站在1945年以前降水量偏少,1945~1985年间降水量在多年平均值上下波动且波动幅度逐渐增大,1985年之后降水量偏多,直到1993年才略微降低。

总的来说,20世纪30~90年代前期巴尔喀什湖流域各地区的年降水量和年代平均降水量整体上趋于增加,偶尔出现的减少,应该属于正常摆动现象(表2)。20世纪50年代中后期整个流域的降水量变化较大。

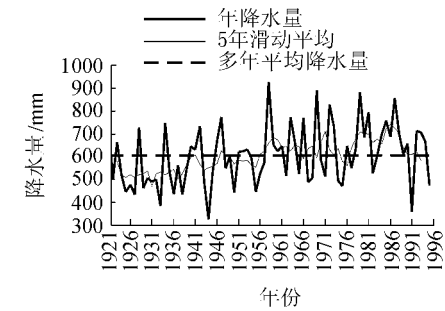


图5 阿站年降水量及其5年滑动平均过程
Fig.5 Annual precipitation and its five-year moving average process at Alma-Ara station

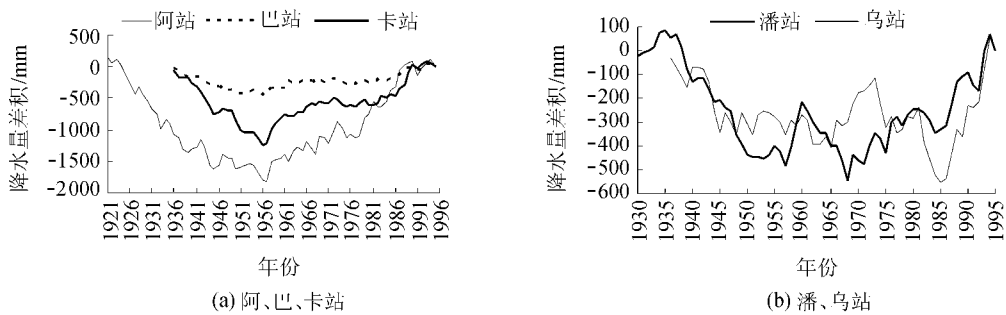


图 6 各站年降水量差积曲线

Fig. 6 Residual mass curve of annual precipitation at each station

研究^[6]表明,以上现象可以从能量角度来解释,流域内的人类活动改变了下垫面的水分状况,地面反射率随之改变,并且由于地表温度的改变,辐射平衡及地表的感热、潜热也均发生改变,从而影响气柱中的能量和水分平衡及大气中的水分,最终导致降水量的变化。

2 气候要素的年内分布特征分析

2.1 气温的年内分布

巴尔喀什湖流域的年内最低月均气温出现在 1 月,最高月均气温出现在 7 月,图 7 给出了流域从最南到最北的阿、巴、卡 3 站逐月平均气温。据此,可以以 1 月和 7 月的平均气温资料进行年内极端气温分析。

分析表明,巴尔喀什湖流域的 1 月平均气温,南部(阿、潘 2 站)明显高于北部(巴、乌、卡 3 站);7 月平均气温亦为北部内陆丘陵地带最低(卡站仅为 20.4℃),比中部的巴、乌 2 站以及南部的潘站低 3.9℃,比南部的阿站低 3.2℃(表 4)。由图 8 可以看出(以流域南北两端的阿、卡 2 站为例),1 月和 7 月平均气温都呈上升趋势,但 1 月气温上升趋势更为明显,7 月气温长期以来变化不大。可见,年均气温的上升主要是由于低温月份的升温所致。

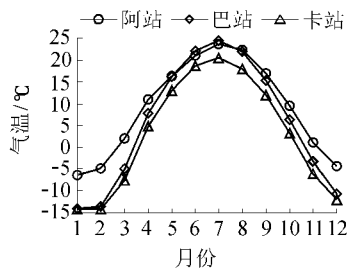


图 7 阿、巴、卡 3 站逐月平均气温

Fig.7 Mean monthly temperature at Алма-Ата ,
Башхаш and Караганда stations

表 4 各站年内最低和最高月均气温统计

Table 4 Statistics of minimal and maximal monthly temperature at each station °C		
站名	最低月均气温(1 月)	最高月均气温(7 月)
阿站	- 6.4	23.6
巴站	- 14.1	24.3
卡站	- 14.2	20.4
潘站	- 8.9	24.3
乌站	- 13.0	24.3

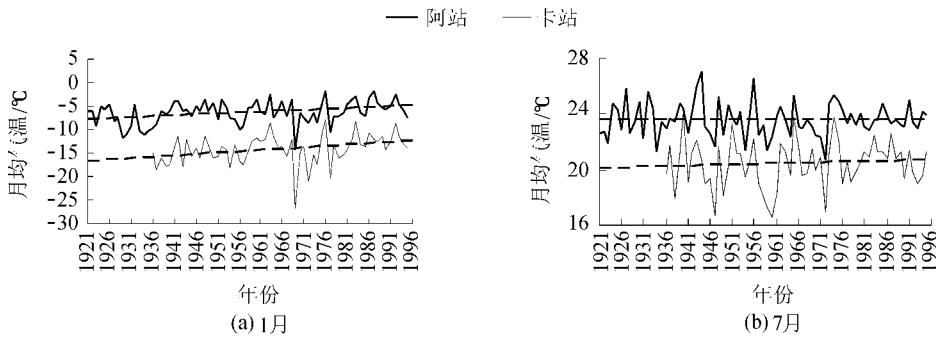


图 8 阿、卡 2 站 1 月和 7 月平均气温及其趋势

Fig.8 Mean temperature in January and July and their trends at Алма-Ата and Караганда stations

2.2 降水量的年内分布

巴尔喀什湖流域降水量的年内分布曲线呈双峰型^[8](图9),尤以阿站降水量的年内不均匀性更为明显.该地区多雨期一般为春夏交替的4~7月和秋冬交替的10~12月,少雨期一般在夏秋换季的8~9月和冬季的1~2月.阿站的春雨所占比例较大(占全年降水量的43.1%)4~5月降水量最丰(占全年降水量的32.5%),潘、卡2站则是夏季降水量比例较大(占全年降水量的30%以上),但这3个站的冬季降水量都较少.相对来说,水域附近的巴、乌2站降水量的年内分布较为均匀(表5).

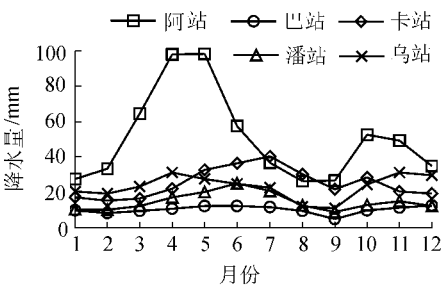


图9 各站降水量的年内分布
Fig.9 Distribution of annual precipitation at each station

表5 各站不同时段降水量占全年降水量的比例

Table 5 Distribution of annual precipitation in different periods at each station %

站名	冬季	春季	夏季	秋季	最大连续2个月				少雨月份		
					4,5月	5,6月	6,7月	10,11月	11,12月	1月	2月,9月
阿站	15.8	43.1	19.9	21.2	32.5			13.9		4.6	8.7(8,9月)
巴站	25.1	26.4	27.4	21.1		20.1			19.6	6.7	4.0
卡站	17.1	23.8	35.6	23.5			25.6			5.0	7.3
潘站	18.4	28.0	33.0	20.6			25.9			5.7	5.0
乌站	25.0	29.6	21.4	24.0	21.2				21.9	6.9	8.2(8,9月)

3 巴尔喀什湖水位变化与流域气候变化特征的关系

巴尔喀什湖水位随气候变化经历着多年的周期变化^[16,9].从图10可见,自19世纪至21世纪初,按最低水位出现了1840~1885年、1885~1946年和1946~1987年3个完整周期,按最高水位出现了1810~1852年、1852~1909年、1909~1961年和1961~2005年4个完整周期,而在世纪内周期的上升和下降阶段中又存在着不同长度的短期多年周期变化(2~22a不等)^[6].这些世纪和短期的多年周期的形成与湖泊自身的水平衡要素有关,而湖泊水平衡要素的变化又受制于气候变化^[6,10].

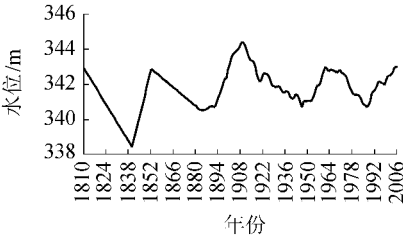


图10 巴尔喀什湖1810~2006年水位过程
Fig.10 Water level of Balkhash Lake from 1810 to 2006

从某种程度上,巴尔喀什湖水位的变化也反映了该地区的气候变化特点^[6].在几乎完全天然的状态下,巴尔喀什湖曾于1885年出现最低水位,在流域水资源利用程度较小的情况下,也于1946年达到最低水位,在受到人类活动影响(20世纪70~80年代卡普恰盖水库、阿拉木图干渠、阿克达拉运河的修建以及大型灌区的发展等^[16,11])后,又于1987年再次出现最低水位.自19世纪中期以来,巴尔喀什湖水位变化的周期长度逐渐减短,涨落幅度逐渐减小.就是说,在无人类活动影响或影响较小的条件下,湖泊水位在自然气候影响及湖泊自身调节下尚且出现周期较长、幅度较大的涨落变化,而在经历了20世纪后期人类活动剧烈影响的现代气候条件下,湖泊水位的涨落变化更为频繁.

另外,巴尔喀什湖水位变化也必将影响到该地区的局部小气候.从巴尔喀什湖流域的气候变化特征(图2和图5)可知,在20世纪年降水量大体上趋于增加而无明显周期性,90年代前期还出现减少迹象,年均气温却在上升过程中呈现了大致以10~23a不等的4个周期,且周期长度越来越短、变化幅度越来越小,差不多2个气温变化周期包含于1个巴尔喀什湖水位变化周期之内,即气温变化比湖泊水位变化更为频繁.

由图10可知,自20世纪末以来巴尔喀什湖处于水位上升阶段,该时期流域的降水量应该比20世纪90年代丰富,但在全球变暖、气温不断升高的条件下,再考虑人类的不断取水,必将影响到湖泊的水文要素.根据巴尔喀什湖水位周期规律预测,在经历了2005年343.01m的高水位之后,目前巴尔喀什湖正进入水位下降阶段,而水位的下降又会反过来影响其对流域气候的调节.

4 结 论

a. 巴尔喀什湖流域20世纪的年均气温总体呈上升趋势,正向一个较暖时期过渡,并且大致具有10~23a

的周期性.一年中最冷月份为 1 月,最热月份为 7 月,1 月气温的上升趋势较 7 月明显,低温月份的升温是导致年均气温上升的主要因素.降水量的年际、年内以及时空分布很不均匀.流域 20 世纪的年降水量总体上呈波浪式增长趋势,90 年代前期略有减少.整个流域的年降水量从四周向中心腹地逐渐减小.北部丘陵地区降水量的年际变化相对稳定,东南部低山区相对剧烈.降水量的年内分布曲线呈双峰型,多雨期一般为 4~7 月和 10~12 月,少雨期为 8 月、9 月或 1 月、2 月.20 世纪 50 年代中期至 70 年代中期,整个流域的气候要素变化较大.

b. 巴尔喀什湖流域气候变化特征同巴尔喀什湖自身的水量、水位等水文要素紧密联系、相互影响.在受到巴尔喀什湖调节和人类活动影响的条件下,气温变化更加频繁.

c. 从能量转换角度来看,巴尔喀什湖流域 20 世纪后半期的气候变化特征与流域 20 世纪 70~80 年代的人类活动加剧造成流域水循环和流域下垫面的改变有关.引水灌溉使流域水体及土壤含水量增加,最终以蒸散发的形式输送给大气,增加了水循环过程中的水汽含量,而陆气相互作用又引起大气的温湿变化,从而导致天气和气候的变化.

参考文献：

[1] 加帕尔·买合皮尔,谢维尔斯基 И.В. 人类活动对亚洲中部水资源和环境的影响及天山积雪资源评价[M]. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1996:3-62.

[2] 胡彩虹,郭慕平,任健美,等.近 50 年汾河流域气候变化特征分析[J]. 水利水电科技进展,2006,26(增刊 1):1-6.

[3] 秦伯强.近百年以来亚洲中部内陆湖泊演变及其原因分析[J]. 湖泊科学,1999,11(1):11-19.

[4] 马喜荣.黄河流域水循环流路的改变对物质输送及能量交换的影响[D]. 南京:河海大学,2005.

[5] 张雁.能量与水分循环:气候研究的热点[J]. 气象,2001,27(9):9-17.

[6] 于龙娟.巴尔喀什湖流域生态水文问题研究[D]. 南京:河海大学,2004.

[7] 高吉喜,王家骥,张林波,等.对全球气候变化原因及发展趋势之浅见[J]. 农村生态环境,1997,13(4):43-47.

[8] 叶玮,袁玉江.新疆伊犁地区现代气候特征与 300 a 来的干湿变化规律[J]. 中国沙漠,1999,19(2):97-103.

[9] 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.

[10] 秦伯强.中亚近期气候变化的湖泊响应[J]. 湖泊科学,1993,15(2):118-127.

[11] KEZER K ,MATSUYAMA H. Decrease of river runoff in the Lake Balkhash basin in Central Asia[J]. Hydrological Processes,2006,20(20):1407-1423.

Characteristics of climatic change in the Balkhash Lake Basin

GUO Li-dan^{1,2}, XIA Zi-qiang^{1,2}, LI Jie^{1,2}, TANG Zhi-jian²

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China ;

2. College of Hydrology and Water Resources , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : In order to identify the characteristics of climatic change in the Balkhash Lake Basin and their relationship with the hydrological characteristics of the lake from the point of view of energy conversion , monthly temperature and precipitation data of five meteorological stations in the basin in 20th century were analyzed using the moving average method and residual mass curve method. The results show that the annual mean temperature decreases from south to north and from east to west , while inter-annual variation increases from south to north. The annual precipitation decreases gradually from the periphery to the centre , while the inter-annual variation increases from north to south. The mean annual temperature increased in a cycle of between 10 a and 23 a. Annual precipitation in the region increased over the century as a whole , even though it decreased in the early 1990s. The minimum and maximum mean monthly temperatures appear in January and July , respectively , and the value in low-temperature months has ascended greatly while that in high-temperature months only slightly. The inter-annual precipitation curve is of a two-peak type. Climatic factors from the mid-1950 s to the mid-1970s have changed significantly.

Key words : climatic change ; temperature ; precipitation ; Balkhash Lake basin