

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2012.04.013

额尔齐斯河流域降水变化特征

杨富程 夏自强 黄 峰 陈起川

(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 ;3. 河海大学国际河流研究所 ,江苏 南京 210098)

摘要 :选择额尔齐斯河流域 4 个气象水文测站(斋桑泊、塞米巴拉金斯克、鄂木斯克和塔帕)近 70 a (1936—2005 年)的降水系列资料 ,采用 5 a 滑动平均法、Mann-Kendall 法、复 Morlet 小波分析法和 R/S 分析法分析这 4 个气象水文测站的降水变化特征。结果表明 :这 4 个气象水文测站的年降水量呈现不同程度的上升趋势 ,其中鄂木斯克和塔帕存在显著的上升趋势 ;4 个气象水文测站的年降水存在 11 ~ 13 a 时间尺度的交替 ,表现出明显的周期特征 ,其次 7 ~ 9 a 以及 4 a 左右时间尺度的周期性也相对比较明显 ;Hurst 值表明未来斋桑泊气象水文测站年降水量总体上将呈减少趋势 ,但反持续程度很弱 ,其余 3 个气象水文测站的降水量仍将呈上升趋势。

关键词 :额尔齐斯河流域 ;年降水量变化特征 ;5 a 滑动平均法 ;Mann-Kendall 法 ;复 Morlet 小波分析法 ;R/S 分析法

中图分类号 :P426 文献标志码 :A 文章编号 :1000-1980(2012)04-0432-06

Variation characteristics of precipitation over Irtysh River Basin

YANG Fucheng , XIA Ziqiang , HUANG Feng , CHEN Qichuan

(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 ;
3. Research Institute of International Rivers , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : With the precipitation data from four hydrological and meteorological stations (Zaysan , Semipalatinsk , Omsk , and Thapa) in the Irtysh River Basin from 1936 to 2005 , the five-year moving average method , the Mann-Kendall method , the Morlet wavelet analysis method , and the R/S analysis method were used to analyze the variation characteristics of precipitation at these stations . The results show that the annual precipitation had an increasing trend at the four stations , and a significant upward trend at the Omsk and Thapa stations had ; the annual precipitation series had significant periodic variation and three evident characteristic time scales of annual precipitation variation with periods of 4 a , 7 ~ 9 a , and 11 ~ 13 a , and the characteristic time scale of 11 ~ 13 a was a dominant period ; and , based on the Hurst values , precipitation at the Omsk Station will have a downward trend at some time in the future , while the precipitation at the other three stations will still have an upward trend .

Key words : Irtysh River Basin ; variation characteristics of annual precipitation ; five-year moving average method ; Mann-Kendall method ; Morlet wavelet analysis method ; R/S analysis method

近年来 ,气候变化及其产生的影响已成为公众关注的话题 ,其中 2 个气候变化分量 ,即大气环流的年代际突变和全球快速变暖^[1] ,左右着北半球中高纬度气候演变的大格局。气候变化最明显的特征是全球气候变暖 ,伴随着这一现象 ,区域水循环形式将发生变化 ,其中一个最重要的表现就是降水的时空分布发生变化。降水又是水循环中一个主要组成部分 ,降水的不均匀分布必然会造成水资源的不均匀分布 ,为水资源的管理

和分配带来新的问题和挑战^[2-3]。

额尔齐斯河是我国唯一的 1 条自东向西流入北冰洋的跨界河流 ,起源于我国境内新疆富蕴县北部海拔 3 500 m 的齐格尔台达坂 ,自东向西流经中国、哈萨克斯坦、俄罗斯 ,在俄罗斯境内汇入鄂毕河 ,是鄂毕河的最大支流。额尔齐斯河全长 4 248 km ,流域面积为 164 万 km² ,流域的多年年均降水量为 200 ~ 500 mm ,河口处年均径流量为 950 亿 m³^[4]。跨境河流额尔齐斯河对所流经各国的经济和社会发展具有重要的意义 ,但是随着各国经济的发展以及人口的剧增 ,该额尔齐斯河流域水资源的开发利用矛盾也日益加剧。研究该流域降水变化的规律和形成原因 ,不仅可为该区域气候变化研究进一步提供基础 ,同时也可对该区域生态环境的改善、水资源的合理开发利用提供科学依据。

1 资料和方法

1.1 数据来源

本研究主要分析额尔齐斯河流域降水的长期变化特征 因此选取额尔齐斯河流域 4 个典型气象水文测站 1936—2005 年的逐日降水系列资料进行研究。这 4 个典型气象水文测站是 :斋桑泊(47°30′N ,84°54′E)、塞米巴拉金斯克(50°24′N ,80°12′E)、鄂木斯克(55°N ,73°24′E)和塔帕(57°N ,74°24′E) ,见图 1。

1.2 研究方法

a. Mann-Kendall 法。Mann-Kendall 法是一种非参数统计检验方法 ,是由国际气象组织(WHO)推荐的应用于环境数据时间序列趋势分析的方法 ,也是检验水文时间序列单调趋势的有效工具之一^[5] ,其研究方法见文献 [6-7]。

b. 复 Morlet 小波分析法。复 Morlet 小波为复数形式的小波 ,比实数形式的小波有更多的优点 ,由于实部与虚部相位相差 $\pi/2$,从而消除了实数形式小波在变换过程中系数模的振荡 ,且从其小波系数中可分离出模和位相。鉴于其优点^[8] ,本文选用复 Morlet 小波分析法分析额尔齐斯河流域年降水量序列的多时间尺度变化规律 ,研究方法详见文献 [9-10]。

c. R/S 分析法。R/S 分析法最早是由英国科学家赫斯特在研究尼罗河多年水文观测资料时提出的一种新的统计方法^[11]。后来经 Mandelbrot 与 Wallis 在理论上对该方法进一步补充和完善 ,把它发展成为研究时间序列的分形理论 ,其研究方法详见文献 [12-13]。

2 数据分析

2.1 降水变化特征分析

由额尔齐斯河流域年降水量变化曲线图(图 2)可以看出 (a)额尔齐斯河流域年均降水量在 200 ~ 500 mm 之间 ,4 个气象水文测站多年平均降水量分别为 306.0 mm ,266.6 mm ,368.0 mm 和 421.4 mm。(b)斋桑泊、塞米巴拉金斯克、鄂木斯克和塔帕 4 个气象水文测站的年降水量均呈上升趋势 ,且年际波动变化较大 ,10 a 的年降水量分别以 5.52 mm ,6.05 mm ,18.92 mm 和 11.71 mm 的速率增加 ,其中以鄂木斯克气象水文测站的上升趋势最为显著 ,其次为塔帕气象水文测站。(c)以斋桑泊气象水文测站为例 ,由 5 a 滑动平均曲线可以看出 :斋桑泊气象水文测站在 20 世纪 30 年代末到 40 年代初降水量呈现下降趋势 ,40 年代中期出现上升趋势 ,但在 40 年代末期出现短暂的下降趋势 ,50 年代降水总体呈上升趋势 ,60 年代初期到中期又出现一个短暂的下降趋势 ,60 年代中期到 70 年代初降水呈现频繁波动 ,但是总体呈上升趋势 ,从 70 年代初期到 70 年代中期 ,降水呈现相对较大的下降趋势 ,而后又出现了一个较大的上升趋势 ,从 80 年代开始频繁波动 ,直至 90 年代中期降水呈现下降趋势。

表 1 统计了额尔齐斯河流域 4 个气象水文测站在不同年代的降水量距平。从表 1 可知 ,20 世纪 40—



图 1 额尔齐斯河流域所选站点分布
Fig. 1 Distribution of selected stations in Irtysh River Basin



图2 额尔齐斯河流域年降水量变化曲线

Fig. 2 Annual precipitation variation in Irtysh River Basin

50年代4个气象水文测站的降水量距平都为负值,说明该时段降水量普遍偏少,鄂木斯克尤甚;60年代斋桑泊和塞米巴拉金斯克的降水量多于多年平均降水量,鄂木斯克和塔帕的降水仍偏少;70年代除了斋桑泊的降水少于多年平均值以外,其余3个气象水文测站都超过多年平均降水量;自80年代以来4个气象水文测站的年降水普遍都呈明显的上升趋势,仍然以鄂木斯克为甚。在2000—2005年这段时间内,4个气象水文测站的降水量都相对偏多,且塞米巴拉金斯克、鄂木斯克和塔帕的降水距平达到统计时段的最大值。

表1 额尔齐斯河流域不同年代降水量距平

Table 1 Annual precipitation decadal anomalies during different periods in Irtysh River Basin							mm
站名	1940— 1949年	1950— 1959年	1960— 1969年	1970— 1979年	1980— 1989年	1990— 1999年	2000— 2005年
斋桑泊	-12.4	-35.0	14.4	-19.5	24.0	20.4	7.2
塞米巴拉金斯克	-6.9	-37.0	15.4	7.4	-13.0	11.0	43.2
鄂木斯克	-43.0	-67.5	-13.9	39.3	27.8	31.0	69.4
塔帕	-16.4	-39.4	-6.3	34.5	14.6	11.9	41.8

对4个气象水文测站多年月平均降水的分布进行分析,发现塔帕和鄂木斯克降水量年内分配极不均匀,斋桑泊和塞米巴拉金斯克的年降水量相对均匀。4个气象水文测站的最大降水量月是7月,占全年降水量的14%~18%,最小月降水量(塞米巴拉金斯克为1月,其余3个气象水文测站为2月)占全年降水量的3%~5%。降水量主要集中在夏秋两季,两季降水量占全年降水量的60%~70%,连续最大降水量的4个月占全年降水量的40%~60%(斋桑泊为4—7月,塞米巴拉金斯克为5—8月,鄂木斯克和塔帕为6—9月),这与李捷等^[4]对额尔齐斯河流域气候气候变化特征进行分析的结果一致。

2.2 降水变化趋势分析

采用Mann-Kendall法对4个气象水文测站的年降水和月降水序列进行检验,检验结果见图3。由图3可以看出:(a)各站的年降水量均呈现上升趋势,其中斋桑泊和塞米巴拉金斯克的上升趋势不显著,未能通过置信度检验,鄂木斯克和塔帕年降水上升趋势显著,分别通过了99%和95%的置信度检验。(b)斋桑泊的月降水量在1—2月和11月有显著的上升趋势,在4—6月和8月存在不显著的下降趋势。(c)塞米巴拉金斯克7月降水量的上升趋势通过了90%的置信度检验,其余各个月份的降水趋势都不显著,其中4月和8—10月的降水量呈现下降趋势。(d)鄂木斯克的月降水量在1—3月和10—12月呈现出上升趋势,通过了95%的置信度检验,但在5—7月呈下降的趋势。(e)塔帕的月降水量在1—2月和11—12月有显著上升趋势,通过了99%的置信度检验,在5—7月呈下降趋势,且7月降水量的下降趋势通过了95%的置信度检验。



图 3 各时期降水量趋势的 Mann-Kendall 法统计检验结果

Fig. 3 Mann-Kendall test results of precipitation trends during different periods

2.3 年降水多时间尺度变化关系分析

图 4 为年降水序列 Morlet 小波系数的实部 ,图中虚线为负等值线 ,表示降水量偏少 ;实线为正或零等值线 ,表示降水量偏多或突变点。由图 4 可知 ,降水量序列的各时间尺度在时间域上分布不均 ,局部变化特征明显。图 4 的上部分等值线稀疏 ,对应较长尺度周期的振荡 ,下部分等值线相对稠密 ,对应较短尺度周期振荡 ,且大尺度变化嵌套着复杂的小尺度变化。

由图 4 可知 ,以斋桑泊为例 ,斋桑泊站在 10 ~ 12 a 的时间尺度上表现突出 ,其中心时间尺度为 11 a 左右 ,降水经历了 13 个丰枯循环交替 ,其中 1936—1941 年、1946—1950 年、1956—1961 年、1968—1973 年、1980—1986 年、1991—1995 年和 2000—2005 年降水量处于相对偏多时段 ,而 1942—1945 年、1951—1955 年、1962—1967 年、1974—1979 年、1987—1990 年和 1996—1999 年降水量相对偏少 ,此外降水还存在 7 ~ 8 a、28 a 和 4 ~ 5 a 的年际尺度的周期性变化 ,而塞米巴拉金斯克、鄂木斯克和塔帕站在 11 ~ 13 a 时间尺度表现突出 ,中心尺度在 12 a 左右。



图 4 额尔齐斯河流域年降水量距平序列小波变换的实部时频变化

Fig. 4 Time-frequency distributions of real parts of wavelet transform of annual precipitation anomalies in Irtysh River Basin

图 5 为额尔齐斯河流域年降水量距平序列小波变换方差图。斋桑泊站年降水距平小波方差图出现了 4 个峰值 ,分别对应 4 a、7 a、11 a 和 28 a 的时间尺度 ,第一峰值对应着 11 a 时间尺度 ;塞米巴拉金斯克站的小波方差图出现 3 个峰值 ,分别对应 4 a、8 a 和 12 a 的时间尺度 ,第一峰值对应着 12 a 的时间尺度 ;鄂木斯克站小波方差图有 3 个峰值 ,分别对应 4 a、9 a 和 12 a 的时间尺度 ,第一峰值也对应着 12 a 的时间尺度 ;塔帕站的小

波方差图出现了3个峰值,分别对应4a、8a和13a的时间尺度,第一峰值对应着13a的时间尺度。可知,斋桑泊的年降水距平存在11a左右的主周期,塞米巴拉金斯克和鄂木斯克存在12a左右的主周期,而塔帕存在13a左右的主周期,说明额尔齐斯河流域从上游到下游的降水距平的主周期可能逐渐变大。



图5 额尔齐斯河流域年降水量距平序列小波变换方差

Fig. 5 Variances of wavelet transform coefficients of annual precipitation anomalies in Irtysh River Basin

2.4 未来降水趋势持续性分析

由于Mann-Kendall秩次相关分析法只对过去的降水量变化趋势进行分析,故本文采用基于R/S分析法计算的Hurst指数来判断4个气象水文测站降水序列未来的变化趋势。对4个气象水文测站年降水进行R/S分析,得到相应的Hurst指数,见表2。从表2可看出:斋桑泊站的Hurst指数值小于0.5,表明斋桑泊未来降水量趋势将与过去相反,呈下降态势,但其反持续程度很弱;

塞米巴拉金斯克、鄂木斯克和塔帕3站的Hurst指数值均大于0.5,表明这3站的年降水量序列具有长程依赖性,其未来降水量的变化情况与过去70多年的趋势相同,呈上升趋势,且持续程度为:鄂木斯克>塔帕>塞米巴拉金斯克。

表2 降水量的R/S分析结果
Table 2 Analysis results of R/S method for precipitation

站名	降水 Hurst 值	未来趋势
斋桑泊	0.495	下降
塞米巴拉金斯克	0.697	上升
鄂木斯克	0.853	上升
塔帕	0.769	上升

3 结 论

a. 额尔齐斯河流域4个气象水文测站的年降水量趋势总体呈上升趋势,其中鄂木斯克和塔帕有显著的上升趋势;从月降水来看,4—6月和8—9月的降水趋势变化不明显,1—3月和11—12月的降水趋势变化明显,且均呈上升趋势。

b. 20世纪40—50年代额尔齐斯河流域4个气象水文测站的年降水量普遍偏少,自80年代以来4站的年降水量都有明显的上升趋势,其中以鄂木斯克最为显著,在2000—2005年这段时间内,4站降水量均相对偏多,除斋桑泊外,其余3站降水距平达到时代的最大。

c. 额尔齐斯河流域近70a来,年降水存在多时间尺度特征,且大尺度的周期变化中嵌套着小尺度的周期变化,4个气象水文测站的年降水量存在11~13a左右的主周期。

d. R/S分析表明,斋桑泊未来降水将呈现减少趋势,但其反持续程度很弱,其余3站的降水将仍呈上升

趋势。

参考文献:

- [1] MANN M E , BRADLEY R S , HUGHES M K. Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries[J]. Nature , 1998 , 392 : 779-787.
- [2] GROISMAN P Y , KNIGHT R W , EASTERLING D R , et al. Trends in intense precipitation in the climate record[J]. Journal of Climate , 2005 , 18(9) : 1326-1350.
- [3] 李淼,夏军,陈社明,等. 北京地区近 300 年降水变化的小波分析[J]. 自然资源学报, 2011, 26(6) : 1001-1008. (LI Miao , XIA Jun , CHEN Sheming , et al. Wavelet analysis on annual precipitation around 300 years in Beijing area[J]. Journal of Natural Resources , 2011 , 26(6) : 1001-1008. (in Chinese))
- [4] 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 Ziqiang , GUO Lidan , et al. Characteristics and trends of change in the climate of the Irtysh River Basin[J]. Journal of Hohai University : Nature Sciences , 2008 , 36(3) : 311-315. (in Chinese))
- [5] 张麟,李晶,任志远. 西北地区 1962 年至 2000 年降水量变化的时空特征分析[J]. 资源科学, 2010, 32(12) : 2298-2304. (ZHANG Chong , LI Jing , REN Zhiyuan. Spatial and temporal characteristics of precipitation changes from 1962 to 2000 in Northwestern China[J]. Resources Science , 2010 , 32(12) : 2298-2304. (in Chinese))
- [6] 曹建廷,秦大河,罗勇,等. 长江源区 1956—2000 年径流量变化分析[J]. 水科学进展, 2007, 18(1) : 29-32. (CAO Jianting , QIN Dahe , LUO Yong , et al. Discharge changes of the Yangtze River in source area during 1956-2000[J]. Advances in Water Science , 2007 , 18(1) : 29-32. (in Chinese))
- [7] 张润润. 香港地区降水趋势及其演变过程分析[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2010, 38(5) : 505-510. (ZHANG Runrun. Trend and evolution of precipitation in Hong Kong[J]. Journal of Hohai University : Nature Sciences , 2010 , 38(5) : 505-510. (in Chinese))
- [8] 黄峰,夏自强,张楠. 宜昌站主汛期流量及水温变化多时间尺度分析[J]. 水电能源科学, 2010, 28(4) : 16-18. (HUANG Feng , XIA Ziqiang , ZHANG Nan. Multiple time scale analysis of discharge and water temperature variation in main flood season of Yichang Hydrologic Station[J]. Water Resources and Power , 2010 , 28(4) : 16-18. (in Chinese))
- [9] 王文圣,丁晶,李跃清. 水文小波分析[M]. 北京:化学工业出版社, 2005 : 115-141.
- [10] 徐利岗,周宏飞,梁川,等. 中国北方荒漠区降水多时间尺度变异性研究[J]. 水利学报, 2009, 40(8) : 1002-1010. (XU Ligang , ZHOU Hongfei , LIANG Chuan , et al. Multi-time scale variability of precipitation in the desert region of North China[J]. Journal of Hydraulic Engineering , 2009 , 40(8) : 1002-1010. (in Chinese))
- [11] 冯新灵,罗隆诚,邱丽丽. 青藏高原冷暖气候变化趋势的 R/S 分析及 Hurst 指数试验研究[J]. 干旱区地理, 2008, 31(2) : 176-179. (FENG Xinling , LUO Longcheng , QIU Lili , et al. Fractal analysis of climate change and Hurst index experiment in Tibetan Plateau in future[J]. Arid Land Geography , 2008 , 31(2) : 176-179. (in Chinese))
- [12] 黄勇,周志芳,王锦国,等. R/S 分析法在地下水动态分析中的应用[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2002, 30(1) : 83-87. (HUANG Yong , ZHOU Zhifang , WANG Jinguo , et al. Application of R/S method to dynamic groundwater analysis[J]. Journal of Hohai University : Nature Sciences , 2002 , 30(1) : 83-87. (in Chinese))
- [13] 凌红波,徐海量,张青青,等. 1956—2007 年新疆玛纳斯河流域气候变化趋势分析[J]. 冰川冻土, 2011, 33(1) : 64-70. (LING Hongbo , XU Hailiang , ZHANG Qingqing , et al. Climate change in the Manas River basin , Xinjiang during 1956-2007[J]. Journal of Glaciology and Geocryology , 2011 , 33(1) : 64-70. (in Chinese))