

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2009.06.002

老哈河流域水文要素变化研究

方秀琴,任立良,李琼芳

(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)

摘要:对老哈河流域近 50 a 的水文要素进行了年际变化、年代际变化和线性变化趋势的研究。结果表明:(a)年降雨量的年际变化幅度最均匀、离散度最小,而年径流深和年径流系数的年际变化不均匀、离散度大。降雨量是影响径流的主要因素,但并不是唯一因素,在某些年份径流还受到其他因素的强烈干扰。另外,年径流深不仅受年降雨总量的影响,也受降雨的年内时空分布的影响。(b)从 20 世纪 60 年代到 21 世纪初,各要素的年代际变化不一致:年降雨量变化为少—多—少—多—少,年径流深和年径流系数变化为多—少—少—多—少,年降雨量年代际距平变化最小,变化幅度较平缓,而年径流深和年径流系数的年代际变化都比年降雨量的年代际变化大得多。(c)降雨量没有明显的增减变化,而径流却具有显著的减少趋势,其中年径流深通过了 95% 的置信度检验,年径流系数通过了 99% 的置信度检验。分析结果表明,径流的变化除了受降雨量的影响之外,还可能受气温变化和人类活动等其他因素的影响。

关键词:降水;径流;年际变化;年代际变化;线性变化;老哈河流域

中图分类号: P333.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1980(2009)06-0620-05

北方地区气候干旱化是我国最为严峻的生态环境问题之一,制约着东北商品粮基地发展和老工业基地振兴^[1]。辽河流域是我国七大流域之一,位于东北地区南部,是我国重要的重工业、能源和商品粮生产基地,近年来,水资源供需矛盾尖锐,水资源短缺已成为制约流域经济发展的重要因素^[2]。降水和径流是水循环的重要环节,降水为水资源量提供补给,而径流的变化则直接关系到水资源量的变化,因而降水和径流是重要的流域水文要素,有必要对其变化进行分析。本文选择辽河上游的重要支流——老哈河流域为研究区,分析降水与径流的变化,为揭示北方干旱化形成机理的生态-水文耦合模型提供重要的输入条件,为流域内水资源可持续利用和流域社会经济可持续发展提供决策依据。

1 研究区域及数据源

老哈河位于内蒙古东部,是西辽河的源头西拉木伦河的一级支流,流域面积约为 1.9 万 km²,位于北纬 41°~43°,东经 117°~120°,流域形状为不对称扇形。流域属中温带半干旱大陆性气候,干燥少雨多风沙,年降雨量和年平均气温分别从西北部山地的 300 mm 和 2℃变化到东南部低地的 600 mm 和 7℃。流域内降水量时空分布不均,丰枯变化大,5~10 月为雨季,11~4 月为旱季。流域下垫面多为黄土丘陵区,地表植被覆盖率较低,水土流失较严重^[3]。

本文收集了老哈河流域内 52 个雨量站 1960~2005 年(其中 1961~1963 年数据缺测)共 43 a 的日降雨观测数据,并在流域出口控制站兴隆坡水文站收集了 1960~2005 年观测的日流量数据。

本文以降雨量、径流深和径流系数作为表征降水和径流变化的参量,其中,流域面平均降雨量的计算是根据泰森多边形分别确定各降雨站点的权重后利用加权平均法计算,径流深为径流总量与流域面积的比值,径流系数为径流深与降雨量的比值。分别从年际变化、年代际变化和线性变化趋势 3 个方面进行分析,探究各水文要素近 50 a 来的变化情况。

收稿日期:2008-10-07

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2006CB400502);河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室创新基金(1069/40304033);高等学校学科创新引智计划(B08048);教育部长江学者创新团队资助(IRT0717)

作者简介:方秀琴(1978—),女,安徽池州人,讲师,硕士,主要从事遥感信息提取以及遥感和 GIS 在水文水资源领域的应用研究。

2 结果与分析

2.1 年际变化

图1为年降雨量、年径流深和年径流系数各年的值.首先,对年降雨量、年径流深和年径流系数值选取变差系数 C_V 进行分析,考察各要素年际变化幅度^[4-7].变差系数 C_V 计算公式为

$$C_V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2}{n - 1}}$$

(1)

式中: n ——观测年数; K_i ——第 i 年的变率,即第 i 年的值与数据序列多年平均值的比. C_V 可反映数据序列的总体系列离散程度,其值在0~1之间. C_V 越大,离散度越大,说明数据序列的年际变化越剧烈; C_V 越小,离散度越小,数据分布越均匀^[5].老哈河流域1960~2005年的年降雨量、年径流深和年径流系数序列计算出的 C_V 值分别为0.16、0.64和0.55,表明年降雨量的年际变化最均匀、离散度最小,年径流深和年径流系数的年际变化较不均匀,其中尤以年径流深的变化离散度最大.

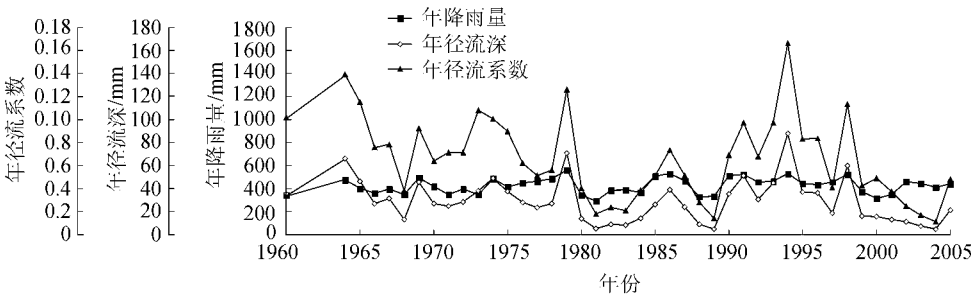


图1 年降雨量、年径流深和年径流系数各年值

Fig. 1 Values of annual precipitation , annual runoff depth and annual runoff coefficient

然后,分别对各要素作距平百分率分析^[8],进一步探讨各要素的年际变化(图2).由图2可知,年降雨量的距平百分率年际变化幅度不大,一般在±30%之内,而年径流深和年径流系数的距平百分率年际变化幅度较大,1964年、1979年、1994年和1998年变化幅度都在90%以上,其中在1994年达到最高值:年径流深和年径流系数的距平百分率分别为198.5%和151.6%.另外,从图2还可以看出,年径流深和年径流系数并不与年降雨量的增减同步变化:在大部分年份年径流深和年径流系数随着年降雨量的增加而增加,但是响应的程度各不相同,表明降雨量仍然是影响径流的主要因素,但并不是唯一因素,而在1975~1978年、1995~1997年以及1999~2002年期间年径流深和年径流系数的变化却与年降雨量的变化相反,表明在这些年份里径流并不完全由降雨控制,还受到其他因素的强烈干扰.

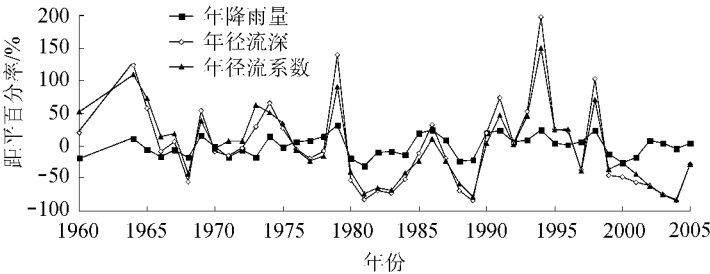


图2 年降雨量、年径流深和年径流系数距平百分率随时间的变化

Fig. 2 Anomalous percentages of annual precipitation , annual runoff depth and annual runoff coefficient with time

结合图1和图2,1994年的降雨量虽然高于多年均值,达到531.7 mm,但低于1979年的降雨量(560.7 mm),而1994年的径流深和径流系数却均高于1979年的值,为43 a中的最高值.对1979年和1994年的日观测资料分析,可以发现同1979年相比,1994年的降雨具有主雨更集中、强度更大的特点.以老哈河流域“94.7”暴雨洪水为例,此次洪水对应的主雨时间为7月12~14日,但是此次洪水之前的9 d之内有连续4次较大的降雨过程,并且流域内大多数站点都有降雨出现,前期降雨和径流使得流域表层土壤接近饱和状态,河道径流增加,使得该次洪水的洪峰流量和径流系数较大^[3].由此可见,年径流不仅受降雨的年内总量的

影响,也受降雨的年内时空分布的影响.

2.2 年代际变化

以 2000~2005 年代表 21 世纪最近 10 年(简称 00 年代),分别计算 20 世纪 60 年代、70 年代、80 年代、90 年代和 21 世纪 00 年代的各要素的年代际平均值,以分析流域水文要素的年代际变化,如表 1 所示.

由表 1 可见,年降雨量经历了少—多—少—多—少的变化过程,其中 20 世纪 70 年代和 90 年代是丰水期,而 60 年代、80 年代和 21 世纪 00 年代是相对枯水期,尤其 20 世纪 80 年代年降雨量最少.与年降雨量变化趋势不同,年径流深和年径流系数年代际变化趋势一致,两者都经历了多—少—少—多—少的变化,但幅度不完全一致.3 种水文要素均以 20 世纪 80 年代为最小,年降雨量和年径流深以 90 年代为最大,径流系数则以 60 年代为最大.

对各年代际的降雨和径流要素作距平百分率分析,结果如表 2 所示.由表 2 可知,3 个要素中年降雨量距平变化最小,在 $\pm 10\%$ 之内.年降雨量距平最高的是 20 世纪 90 年代,增加了 9.8%,而其余 4 个年代际与均值相比变化都在 $\pm 6\%$ 之内,可见年降雨量年代际变化幅度小,变化较平缓.年径流深和年径流系数的年代际变化都比年降雨量的年代际变化大得多,均在 $\pm 20\%$ 以上,其中年径流深的距平百分率在 21 世纪 00 年代达到了 -58.3% ,是所有要素距平百分率中的最大值.

表 1 和表 2 数据显示 20 世纪 60 年代的年降雨量较小,而年径流深、年径流系数却较高,表明同样的降雨量在 60 年代的产流比其他年代要高,揭示 60 年代流域下垫面条件比其他年代更有利于产流.20 世纪 70 年代年降雨量高于 60 年代,而年径流深和年径流系数却低于 60 年代,表明径流受降雨之外的其他因素影响.20 世纪 80 年代年降雨量最少,年径流深和年径流系数也较小,但仍高于 21 世纪 00 年代.20 世纪 90 年代年降雨量最多,年径流深也达到历史最大.21 世纪 00 年代年降雨量较少,仅高于 20 世纪 80 年代,而年径流深和年径流系数却为历史最低.20 世纪 80 年代的年降雨量比 21 世纪 00 年代小,但是年径流深和年径流系数却是高于 21 世纪 00 年代,表明 20 世纪 80 年代流域下垫面条件比 21 世纪 00 年代更有利于产流.

2.3 线性变化趋势

利用 Mann-Kendall 法(简称 M-K 方法)检测要素序列的线性变化趋势.M-K 方法为非参数检验,不受数据缺失或数据极值的影响,能够有效地检测序列的变化趋势^[9-10].M-K 趋势分析的计算方法^[11]为

设序列为 $x_1, x_2, \dots, x_N$, m_i 表示样本 $x_i > x_j$ ($1 \leq j \leq i$) 的累计数.定义一个统计量:

$$d_k = \sum_{i=1}^k m_i \quad (2 \leq k \leq N)$$

(2)

在原序列的随机独立等假定下, d_k 的均值 $E(d_k)$, 方差 $V(d_k)$ 分别为

$$\begin{cases} E(d_k) = k(k-1)/4 \\ V(d_k) = k(k-1)(2k+5)/72 \end{cases} \quad (2 \leq k \leq N)$$

(3)

将 d_k 标准化:

$$u(d_k) = (d_k - E(d_k)) / \sqrt{V(d_k)}$$

(4)

所有的 $u(d_k)$ ($1 \leq k \leq N$) 将组成一条曲线,通过置信度检验可知其是否具有变化趋势.

对降雨和径流各要素序列进行 M-K 方法检测,计算出 M-K 统计量,其中正值表示增加,负值表示减少,并对其计算置信度,进行置信度检验.得到年降雨量、年径流深和年径流系数的 M-K 统计量分别为 0.74, -0.23 和 -2.83 ,置信度分别为 $\alpha > 0.1$, $\alpha = 0.05$ 和 $\alpha = 0.01$,表明年降雨量未能通过 90% 的 M-K 置信度检

表 1 降雨和径流各要素的年代际值

Table 1 Decadal values of precipitation, runoff depth and runoff coefficient

时 间	年降雨量/ mm	年径流深/ mm	年径流 系数
20 世纪 60 年代	413.6	38.3	0.090
20 世纪 70 年代	439.4	35.5	0.080
20 世纪 80 年代	400.8	15.4	0.036
20 世纪 90 年代	467.9	41.8	0.086
21 世纪 00 年代	404.7	12.3	0.031

表 2 降雨和径流各要素年代际距平百分率

Table 2 Anomalous percentages of decadal values of precipitation, runoff depth and runoff coefficient

时 间	年降雨量	年径流深	年径流系数
20 世纪 60 年代	-3.0	30.1	35.3
20 世纪 70 年代	3.1	20.6	20.9
20 世纪 80 年代	-6.0	-47.8	-45.7
20 世纪 90 年代	9.8	42.0	29.9
21 世纪 00 年代	-5.1	-58.3	-52.7

验,即没有较强的变化趋势,年径流深通过了95%的M-K置信度检验,具有显著减少的趋势,年径流系数通过99%的M-K置信度检验,也具有显著的减少趋势。由此可见,在年降雨量没有明显增减的情势下,年径流深和年径流系数却有显著的减少趋势。

3 结 论

a. 从年际变化看,年降雨量的年际变化幅度最均匀、离散度最小,而年径流深和年径流系数的年际变化不均匀、离散度大。降雨量仍然是影响径流的主要因素,但并不是唯一因素,在某些年份里径流除了受降雨影响之外,还受其他因素的强烈干扰。另外,年径流不仅受年降雨总量的影响,也受降雨的年内时空分布影响。

b. 从年代际看,从20世纪60年代到本世纪初,各要素的年代际变化不一致:年降雨量经历了少—多—少—多—少的变化过程,其中20世纪70年代和90年代是丰水期,而60年代、80年代和21世纪00年代是相对枯水期,其中尤其20世纪80年代年降雨量最少,年径流深和年径流系数都经历了多—少—少—多—少的变化过程。3者均以20世纪80年代为最小,年径流深以90年代为最大,年径流系数以60年代为最大。在这3个要素中,年降雨量年代际距平变化最小,变化较平缓,年径流深和年径流系数的年代际变化都比年降雨量大得多。各要素的年代际变化分析揭示20世纪60年代流域下垫面条件比其他年代更有利于产流,21世纪00年代流域下垫面条件比20世纪80年代更有利于产流。年代际分析同样显示降雨是影响径流的主要因素,但并不是唯一影响因素。

c. 从线性变化趋势来看,年降雨量没有明显的变化趋势,而年径流深和年径流系数均具有显著减少的趋势,其中年径流深通过了95%的置信度检验,年径流系数通过了99%的置信度检验。

可见,在年降雨量没有明显增减的情势下,年径流深和年径流系数却有显著的减少,表明径流除了受降雨总量和降雨时空分布的影响外,还受其他因素的影响。这些因素可能包括气温等气象要素和人类活动。气象要素的变化会导致流域蒸散发量的变化,进而影响水量平衡中的径流因子。另外,该流域人类活动的影响较大,例如流域中部毁草、毁林开荒,超载过牧,草场退化,流域南部的燕山低山丘陵区,农耕历史悠久,是主要的产粮区和干鲜水果品产地,也出现了过度开垦,坡耕地较多,水土流失较严重的现象^[12]。人类活动对径流的影响表现为一方面通过生产和生活用水改变了河道径流,另一方面通过土地利用变化改变流域下垫面条件,从而改变流域产流机制。这些降雨量之外的其他因素对流域径流的影响的定量分析对于流域水资源的可持续利用以及流域社会经济发展有着重要的意义,亟待进一步的研究。

参考文献:

- [1] 符涂斌,延晓冬,郭维栋.北方干旱化与人类适应:以地球系统科学观回答面向国家重大需求的全球变化的区域响应和适应问题[J].自然科学进展,2006,16(10):1216-1223.(Fu Cong-bin,YAN Xiao-dong,GUO Wei-dong.Aridification in Northern China and Human Adaptation[J].Advances in Natural Science,2006,16(10):1216-1223.(in Chinese))
- [2] 闫百兴,宋新山,闫敏华,等.辽河流域水资源演化趋势分析[J].水土保持通报,2000,20(6):1-5.(YAN Bai-xing,SONG Xin-shan,YAN Min-hua,et al.Evolutional of water resources in Liaohe River catchmen[J].Bullent of Soil and Water Conservation,2000,20(6):1-5.(in Chinese))
- [3] 张炜,陈彬,丁山,等.老哈河、教来河流域“94.7”暴雨洪水分析[J].内蒙古水利,1998(2):33-35.(ZHANG Wei,CHEN Bin,DING Shan,et al.“Analysis of heavy rainfall “94.7” over Laohahe River Basin and Jiaolaihe River Basin[J].Inner Mongolia Water Resources,1998(2):33-35.(in Chinese))
- [4] 董晓辉,姚治君,陈传友.黄河源区径流变化及其对降水的响应[J].资源科学,2007,29(3):67-73.(DONG Xiao-hui,YAO Zhi-jun,CHEN Chuan-you.Runoff variation and responses to precipitation in the source regions of the Yellow Rive[J].Research Research,2007,29(3):67-73.(in Chinese))
- [5] 李道峰,田英,刘昌明.GIS支持下的黄河河源区降水径流要素变化分析[J].水土保持研究,2004,11(1):144-147.(LI Dao-feng,TIAN Ying,LIU Chang-ming.Analysis of rainfall-runoff factor change of the source regions of the Yellow River with supporting of GIS[J].Research of Soil and Water Conservation,2004,11(1):144-147.(in Chinese))
- [6] 郭利丹,夏自强,李捷,等.巴尔喀什湖流域气候变化特征分析[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 climatic change in the Balkhash Lake Basin[J].Journal of Hohai University:Natural Sciences,2008,36(3):316-321.(in Chinese))
- [7] 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(5) :311-315.(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] 白晓华,刘伟龙.岷江上游季风期水文要素趋势分析[J].中国科技信息 ,2009(15) :21-23.(BAI Xiao-hua ,LIU Wei-long.Trend of hydrological factors in upstream of Minjiang river during the past 30 years[J].China Science and Technology Information 2009(15) :21-23.(in Chinese))
- [10] 蔡锡填,徐宗学,李占玲.漳卫南运河流域水文气象要素长期变化趋势分析[J].资源科学 ,2008 ,30(3) :363-370.(CAI Xi-tian ,XU Zong-xue ,LI Zhan-lin.Analyzing long-term trend of hydrological and meteorological changes in Zhangweinan river basin[J].Resources Science 2008 ,30(3) :363-370.(in Chinese))
- [11] 符淙斌,王强.气候突变的定义和检测方法[J].大气科学 ,1992 ,16(4) :482-492.(FU Cong-bin ,WANG Qiang.The definition and detection of the abrupt climatic change[J].Chinese Journal of Atmospheric Sciences ,1992 ,16(4) :482-492.(in Chinese))
- [12] 王阳.西辽河流域赤峰段水资源现状及保护对策[J].内蒙古环境保护 ,2004 ,16(4) :35-38.(WANG Yang.Current situation and measures of water resources conservation of Chi Feng section in Liao River Basin[J].Inner Mongolian Environmental Protection 2004 ,16(4) :35-38.(in Chinese))

Variations of hydrological elements in Laohahe River Basin

FANG Xiu-qin , REN Li-liang , LI Qiong-fang

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

Abstract : The annual variation , decadal variation and linear variation trend of the hydrological elements in the Laohahe River Basin over the last 50 years were studied. The results show the following : (a) The variation of the annual precipitation is the most uniform and its discrete degree is the smallest , while the variations of the annual runoff depth and coefficient are not uniform and their discrete degrees are large. The precipitation is the main factor but not the only factor affecting the runoff. In some years , the runoff is strongly influenced by other factors. The runoff depth is also influenced by the total amount of the annual precipitation and its annual spatio-temporal distribution. (b) From the 1960s to the early 2000s , the decadal variations of various hydrological elements have been different : the variation of the annual precipitation is small-large-small-large-small , and the variations of the annual runoff depth and annual runoff coefficient are large-small-small-large-small. The decadal variation of the annual precipitation is the smallest and the variation amplitude is also small , while the decadal variations of the annual runoff depth and the annual runoff coefficient are much larger. (c) The precipitation amount has no obvious variation , but the runoff shows a significant decrease. The annual runoff depth is verified at a confidence level of 95% , and the runoff coefficient is verified at a confidence level of 99% . The analytic results indicate that the variation of runoff in the Laohahe River Basin is mainly influenced by precipitation and also by other factors , such as variations of air temperature and human activities.

Key words : precipitation ; runoff ; annual variation ; decadal variation ; linear variation ; Laohahe River Basin