

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.03.013

桑干河流域径流年际变化规律

赫振平¹,赵 春^{1,2}

(1. 山西省大同市册田水库管理局,山西 大同 037300; 2. 山西省水文水资源勘测局大同水文分局册田水文站,山西 大同 037300)

摘要 采用滑动平均法、变差系数法、差积曲线-秩检验联合法、Mann-Kendall 统计检验等方法,对桑干河流域册田站 1956—2005 年径流年际变化规律进行分析。结果表明,该流域天然年径流量呈周期性显著减小趋势,年际变幅也显著减小。研究为流域内水资源的规划利用以及防洪安全管理提供有价值的资料。

关键词 桑干河流域;径流量;年际变化;Mann-Kendall 检验法;差积曲线;秩检验法

中图分类号 P333 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2011)03-0054-04

Study on interannual variation of runoff in Sanggan River Basin

HE Zhen-ping¹, Zhao Chun^{1,2}

(1. Cetian Reservoir Administration Bureau of Shanxi Province, Datong 037300, China; 2. Cetian Hydrometric Station, Datong Branch of Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Shanxi Province, Datong 037300, China)

Abstract: The interannual variation law of runoff was analyzed for the runoff data from 1956 to 2005 in Cetian hydrometric station using the moving average method, the coefficient of variation method, the combination of residual mass curve and rank test, and Mann-Kendall statistical test. The results showed that the natural annual runoff had the reducing trend periodically and significantly, and the inter-annual variation significantly reduced. This study provided valuable information for water resources planning and utilization and flood safety administration in the Sanggan River Basin.

Key words Sanggan River Basin; runoff; interannual variation; Mann-Kendall test; residual mass curve; rank test

由于全球变暖、气候变迁以及人类活动等因素影响,地球作为一个整体平衡的水循环系统正在发生较大变化,对局地性气候影响十分显著。我国河川径流年内、年际分布特征也发生了明显改变。水资源的规划与利用关系到工业、农业、城市生活以及跨流域输水等事关国民经济发展问题,其中水文的中长期预报在水资源的规划利用中占有十分重要的位置。联合国在 1997 年《对世界淡水资源的全面评价》报告中就已经指出:“缺水问题将严重地制约 21 世纪经济和社会发展,并可能导致国家间的冲突”^[1],因此对河川径流变化规律的研究尤为重要。

笔者采用滑动平均法、变差系数法、差积曲线-

秩检验联合法、Mann-Kendall 统计检验法等方法,对桑干河流域径流年际变化规律进行研究,以期得出较为准确的水文规律特征,对流域的径流规律有一个全面的认识,为流域内水资源的规划利用以及防洪安全提供有价值的资料。

1 流域概况

桑干河流域隶属于海河流域,属高原温带半湿润、半干旱大陆性季风气候,具有水资源总量少、降水时空分布不均,经常出现连续枯水年和水资源量明显减少的特点。受地理位置、地形、地貌等自然条件的制约,该区的降雨成因十分复杂,有天气系统的

因素,也有地形、地貌及人类活动等的影响,其中天气系统的影响占主导地位,对流域年际径流量影响关系十分复杂^[2-3]。

研究流域大部分位于山西省境内,其中册田站是桑干河中游的一座控制性水文站,流域面积 1.67 万 km²,河长 241 km。笔者主要应用桑干河册田水文站 1956—2005 年共 50 年的天然年径流序列资料,对农业灌溉、工业用水、水量蒸发、渗漏损失以及向北京市输水等进行水量平衡还原后,采用下述几种方法,对该流域径流的年际变化规律特征进行研究。

2 主要研究方法

2.1 滑动平均法

滑动平均法,一般是通过 5 a 或 10 a 滑动平均,部分消除研究序列的波动影响,能够较直观地分析一个时间序列在某一时间段内变化的整体趋势与局部特征。因为太阳黑子周期约为 11 a,笔者取滑动长度为 5 a 与 11 a,拟从中发现一些规律,滑动平均表达式如下:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_{i+j-1} \tag{1}$$

式中: $\bar{x}_j$ 为滑动平均值; k 为滑动长度; $j=1,2,\dots,n-k+1$ 。

2.2 年际变幅与年际极值比法

径流多年变化的趋势与幅度,可用径流的年际变幅或年际极值比来反映^[4],通常用年径流变差系数 C_v 与年极值比 C_m 来表示:

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

$$C_m = Q_{\max}/Q_{\min} \tag{3}$$

其中 $K_i = \frac{Q_i}{Q_0}$ (4)

式中: K_i 为年径流变率; n 为观测年数; Q_i 为年径流量; Q_0 为平均径流量; $Q_{\max}$ 、 $Q_{\min}$ 分别为研究时段内径流的极大值与极小值。

2.3 Mann-Kendall 统计检验法

Mann-Kendall 统计检验法是一种非参数统计检验方法,非参数检验方法也称为无分布检验,其优点是:不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,更适用于类型变量和顺序变量。一般取检验置信水平 $\alpha=0.05$,其原理与计算方法可见文献^[5]。

2.4 差积曲线-秩检验联合识别法^[6]

差积曲线又称为累积距平曲线,通过对累积距平曲线分析可以划分变化的阶段性。在水文研究中一般被用于划分径流的丰水期、枯水期和平水期。差积曲线上表示丰水期;下降表示枯水期;没有明

显的变化则表示平水期,其表达式为:

$$p_t = \sum_{i=0}^t (p_i - \bar{p}) \tag{5}$$

式中: $p_i \in (p_1, p_2, \dots, p_n)$; $\bar{p}$ 是序列 $p_i \in (p_1, p_2, \dots, p_n)$ 的均值; n 是序列的长度; p_t 是前 t 项之和; $i \in (1, t)$; $t \in (1, n)$ 。

秩检验是将 1 个序列 $(y_1, y_2, \dots, y_n)$ 分成了 $(y_1, y_2, \dots, y_r)$ 和 $(y_{r+1}, y_{r+2}, \dots, y_n)$ 2 个序列,其中序列中样本个数小者为 n_1 ,较大者为 n_2 ,即 $n_1 < n_2$,再由 n_1 、 n_2 得出秩统计量 U :

$$U = \frac{W - n_1(n_1 + n_2 + 1)/2}{\sqrt{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)/12}} \tag{6}$$

式中: W 为 n_1 中各数值的秩之和,即将原序列 $(y_1, y_2, \dots, y_n)$ 按从小到大排序,然后把序列 $(y_1, y_2, \dots, y_r)$ 在原序列对应的秩相加就可以得到 W 值。若 $|U| > U_{0.05/2} = 1.96$,表明变异点显著。

3 径流分析

径流年际变化分析是对径流的多年变化规律的研究,一般指年际间的变化趋势、变化幅度以及多年变化过程,而多年变化包括年径流丰、平、枯水的特征及其循环等^[4]。

3.1 径流年际整体趋势特征

册田站 1956—2005 年天然年径流变化过程与径流量 5 a、11 a 滑动平均如图 1、图 2。

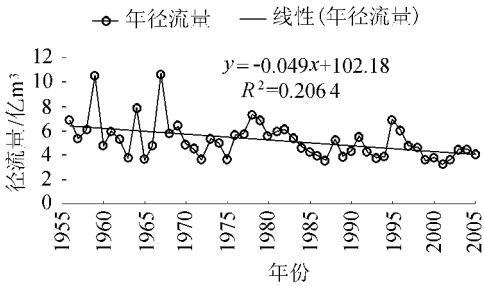


图 1 1956~2005 年册田站天然年径流变化过程

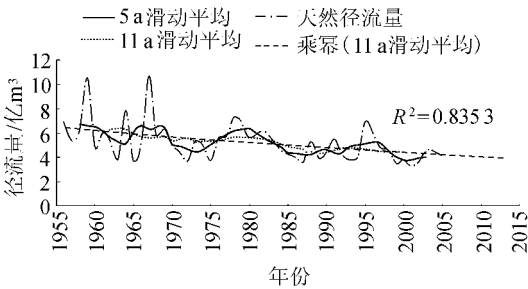


图 2 径流量 5 a、11 a 滑动平均值

图 2 中,天然径流变化 5 a 和 11 a 2 组滑动平均曲线表明,年径流量呈逐年减少趋势。年径流量变化 10 a 递减率分别为:9.39%、-4.73%、20.63%、

6.21% ,仅在 1976—1985 年间局部上升(见表 1)。

表 1 不同时段径流变化情况

时段	平均径流量/亿 m ³	差值/亿 m ³	10 年递减率/%	<i>U</i>	显著性判别
1956—1965	6.03			-1.173	否
1966—1975	5.46	0.566	9.39	-1.605	否
1976—1985	5.72	-0.258	-4.73	-1.052	否
1986—1995	4.54	1.18	20.63	-2.322	显著
1995—2005	4.26	0.282	6.21	-3.058	显著

5 a 滑动平均变幅大 ,表明天然年径流量呈周期性减少趋势 ,周期约为 9~14 a ,线性回归相关性不明显。

11a 滑动平均回归曲线相关指数 $R = 0.91$,在 $N_1 = 40$ 或 $N_2 = 11$ 时 , R 均大于显著性水平 $\alpha = 0.001$ 下的相关系数临界值 $R_{N_1-2}^{0.001} = 0.501$ 和 $R_{N_2-2}^{0.001} = 0.847$,相关性特别显著^[7] ,说明平均径流量下降趋势明显。

由 M-K 值分析可知 ,1956—2005 年 M-K 值均为负数 ,表明桑干河流域从 1956 年以来年径流量一直呈下降趋势(表 1)。

3.2 径流年际局部特征分析

3.2.1 径流量突变点检验

册田站天然径流系列 M-K 值变化过程见图 3 ,年径流变差系数变化过程见图 4 ,年径流累积距平曲线见图 5。分析这 3 图 ,认为可能存在 3 个变异点 ,即 1969、1975 和 1983 年。

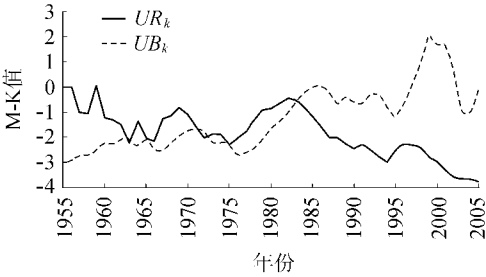


图 3 册田站天然径流系列 M-K 值变化过程

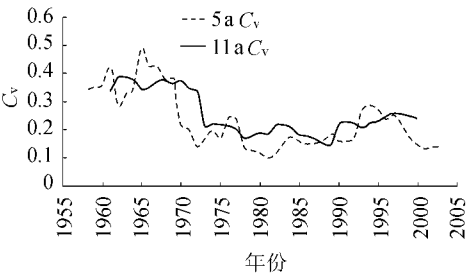


图 4 年径流变差系数 (C_v) 变化过程

统计量 UF_k 和 UB_k 曲线的交点为 1983 年 ,位于给定置信区界限 $U_{0.05} = \pm 1.96$ 以内 ,说明年径流量在 1983 年发生了突变 ,径流量呈下降趋势 ,至 1987 年 UF_k 曲线整体突破 $\alpha = 0.05$ 置信区间 ,1983 年前后平均径流量变率达 33% ,递减率达 24.5% ,反映出年径流量减小趋势十分明显(表 2)。

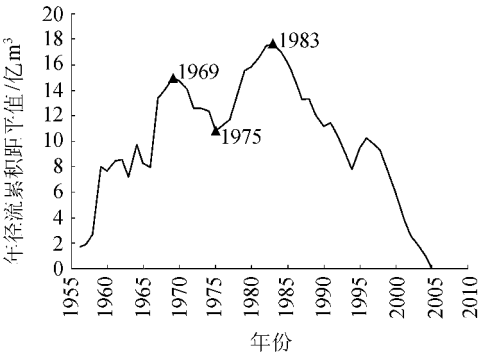


图 5 径流累积距平曲线

表 2 径流量突变点检验

时段	平均径流量/亿 m ³	差值/亿 m ³	分时段递减率/%	<i>U</i>	显著性判别
1956—1969	6.2846			-1.22	否
1970—1975	4.4949	1.79	28.5	-1.78	否
1976—1983	6.0507	-1.56	34.6	-1.06	否
1984—2005	4.4029	1.65	27.2	-2.54	显著
1956—1983	5.8300			-1.30	否
1984—2005	4.4000	1.43	24.5	-2.54	显著
1956—1995	5.4402			-1.54	否
1996—2005	4.2612	1.18	21.7	-3.06	显著

3.2.2 变差系数变异点检验

由图 4 可知 , C_v 以 1969 年为分界较为明显。1969 年前 $\bar{C}_v = 0.37$,之后 $\bar{C}_v = 0.17$,降低 113% ;5 a C_v 的 M-K 值 1969 年前平均为 -0.12 ,之后为 -3.78 ,超出 $\alpha = 0.05$ 置信区间较大 ,表明径流变化幅度从 1969 年开始变小 ,幅度较大(表 3)。

表 3 1969 年前后年径流系数 C_v 对比

时段	$\bar{C}_v$	变率/%	$U(5a C_v)$	显著性判别
1956—1969	0.37		-0.12	否
1970—2005	0.17	113	-3.78	特别显著

3.2.3 径流丰、枯周期变化

由图 5 可知 ,1956—1969 年、1976—1983 年为丰水期 ,1970—1975 年、1984—2005 年为枯水期 ,周期为 9~14 a。M-K 检验表明 ,径流量只在 1983 后才呈现出显著性(见表 2) ,而 1983 年前的丰水期只是在天然年径流量整体下降情势下的相对丰水。

4 结 论

a. 该流域的径流变化从整体上来说 ,天然年径流量呈逐年减少趋势 ,减少趋势较大 ,11 a 滑动平均回归曲线相关指数 R 达 0.91 ,相关呈显著性水平。

b. 年际径流特征存在 1969 年与 1983 年 2 个变异点。其中 ,1969 年主要是年际变差系数 C_v 开始减小 ,减小幅度较大 ,表明径流年际间的变幅趋于平稳发展 ;1983 年是年径流量突变点 ,1983 年前后径流量下降率达到 24.5% ,至 1987 年天然年径流量突

破 $\alpha = 0.05$ 置信水平 ,呈现出显著性减少趋势。这也从一个侧面印证了“近百年来 ,中国气温增暖的突变点在 1987 年 ,从 1987 年我国才开始出现明显增暖突变(全球突变点是 1979 年)”这一结论^[8]。

c. 5a 径流量滑动平均与累积距平曲线均反映出一定的周期性变化规律 ,周期约为 9 ~ 14 a ,而其他资料的研究表明 ,海河流域径流周期约为 35 a (18 a 枯 ,17 a 丰)^[4] ,因本次资料序列较短 ,未能进行更深研究。

河川径流的变化可以反映出气候变化 ,但是同时也受到其他诸如地理位置、流域面积大小、植被情况、人类活动等因素影响 ,关系比较复杂 ,仅通过有限、局域、短期、单一的指标对整个流域长期的规律进行研究 ,并不能作出较大区域乃至全球性气候变化的结论。海河流域作为我国水资源对气候变化最为脆弱的流域之首^[9] ,有必要采用更多的资料对整个流域的水文特征作进一步研究。

参考文献 :

[1] 何俊仕 ,林洪孝.水资源规划及利用[M].北京 :中国水利

水电出版社 2008 :1-2.

[2] 范世平 ,徐明 ,周喜.山西桑干河水资源管理及可持续利用研究[J].水利经济 2007 25(4) :58-61.
[3] 王林旺.山西省暴雨成因及时空分布研究[J].中国水利 2003(12) :34-36.
[4] 胡方荣 ,侯宇光.水文学原理[M].北京 :水利电力出版社 ,1988 :129-131.
[5] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京 :气象出版社 2007 :69-73.
[6] 于延胜 ,陈兴伟.水文序列变异的差积曲线-秩检验联合识别法在闽江流域的应用[J].资源科学 2009 ,31(10) :1717-1721.
[7] 常柏林 ,李效羽 ,卢静芳 ,等.概率与数理统计[M].2 版.北京 :高等教育出版社 2007 :116-118.
[8] 尤卫红 ,段旭 ,邓自旺 ,等.全球、中国及云南近百年气温变化的层次结构和突变特征[J].热带气象学报 ,1998 ,14(2) :173-180.
[9] 中国国家发展改革委员会.中国应对气候变化国家方案[M].北京 :科学技术出版社 2007 :18.

(收稿日期 2010-05-28 编辑 徐 娟)

(上接第 27 页)分蘖期和拔节孕穗期在淹水初期应尽量避免地表排水 ,抽穗开花期和乳熟期则应尽量避免地下水排水。

e. 本试验是在有底测坑内进行的 ,不同强度的渗漏量都能实现 ,但是在大田条件下 ,由于犁底层的存在 ,往往较大的渗漏量很难实现 ,在生产实践中可以通过降低农沟水位或划破犁底层的办法增加稻田渗漏量。

参考文献 :

[1] 高超 ,张桃林.农业非点源磷污染对水体富营养化的影响及对策[J].湖泊科学 ,1999 ,11(4) :369-375.
[2] 马永生 ,张淑英 ,邓兰萍.氮、磷在农田沟渠湿地系统中的迁移转化机理及其模型研究进展[J].甘肃科技 2005 ,21(2) :114-115.
[3] 郭相平 ,张展羽 ,殷国玺.稻田控制排水对减少氮磷损失的影响[J].上海交通大学学报 :农业科学版 ,2006 ,24(3) :307-310.
[4] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].4 版.北京 :中国环境科学出版社 2002 :243-248.
[5] 章二子.蓄水控灌模式下稻田磷素流失规律研究[D].南京 :河海大学 2009.
[6] 季亚辉 ,俞双恩.水位管理对稻田地表水 TP 的影响[J].河海大学学报 :自然科学版 2008 ,36(6) :777-780.
[7] 张志剑 ,王光火 ,王柯 ,等.模拟水田的土壤磷素溶解特

征及其流失机制[J].土壤学报 2001 38(1) :139-143.

[8] SANYAL S K ,DE DATA S K. Chemistry of phosphorus transformations in soil[J]. Advances in Soil Science ,1991 ,16 :1-118.
[9] SHAIPILEY H L A ,CHUREK W. A conceptual approach for integrating phosphorus and nitrogen management at watershed scales[J]. J Environ Qual 2000 29 :158-166.
[10] MOZAFFARI M ,SIMS J T. Phosphorus availability and sorption in an Atlantic coastal plain watershed dominated by animal-based agriculture[J]. Soil Science ,1994 ,157(2) :97-107.
[11] 罗良国 ,闻大中 ,沈善敏.北方稻田生态系统养分渗漏规律研究[J].中国农业科学 2000 33(2) :68-74.

(收稿日期 2010-04-01 编辑 高渭文)

