

汾河流域气候变化及其对径流影响探讨

兰跃东¹, 康玲玲², 董飞飞², 王云璋²

(1. 山西省水土保持生态环境建设中心, 山西 太原 030002;

2. 黄河水利科学研究院 水利部黄河泥沙重点实验室, 河南 郑州 450003)

摘要: 在分析汾河径流量变化趋势、20世纪70年代以来断流气候背景,以及气温、降水变化与径流趋势联系和80年代中期以来气候变化特点基础上,建立了河津站天然年径流量计算公式,探讨了气候变化对径流的影响。结果表明:①自20世纪50、60年代丰水期之后径流量总体呈递减趋势;②20世纪70年代以来汾河水量偏枯和断流趋势发展乃是以北半球增暖效应为背景;③20世纪80年代中期以来气候较前期变化有气温升高、尤其冬季最甚,降水减少、特别是汛期及夏、秋季最显著之特点;④气候变化引起径流量平均每年减少5.67亿m³(24.9%),其中气温影响8.6%,降水影响16.3%。因此,汾河流域气候变化及其对径流的影响较为显著。

关键词: 径流变化; 气候变化; 断流影响; 汾河流域

中图分类号: TV121; P333

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)02-0070-03

Effect of climatic change on runoff in Fenhe watershed

LAN Yuedong¹, KANG Lingling², DONG Feifei², WANG Yunzhang²

(1. Center for Environmental Construction, Soil and Water Conservation Bureau,

Taiyuan 030002, China; 2. Key Laboratory of Yellow River Sediment Research, MWR,

Institute of Hydraulic Research, YRCC, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Based on analysis of runoff variation trend, climate background in the Fenhe watershed since 1970s, the relationship among temperature, precipitation and runoff, the climate change on characteristics since the mid-1980s, the natural annual runoff computational formula was established for the Hejin station, the effect of climatic change on runoff was discussed. The results showed that: (1) There was obvious decline in runoff after the high-water periods in 1950s or 1960s; (2) River exhaustion and zero flow in the Fenhe River since 1970s were taken as the background of the heating effect in northern hemisphere; (3) Compared with earlier the raising temperatures in winter, and what the most, the reduce precipitation especially during flood season, or summer and autumn, were most significant; (4) The reduce amount of runoff, which was caused by the climatic change, was 567 million m³/a (24.9%), of which the temperature influence was about 8.6%, rainfall influence was about 16.3%. Therefore, the climate change and its effect on runoff in Fenhe Watershed were significant.

Key words: runoff variation; climatic change; rivers cutoff effect; Fenhe river watershed

汾河是黄河第二大支流,也是山西省境内的最大河流,其流域面积占山西省总面积的25.5%。由于汾河流域是山西经济最发达、人口密度最高、城镇最集中的区域,故将其称之为山西人民的母亲河。

随着气候变暖和人口增长,迅速增长的工农业和城市取水量将汾河水量大部分被消耗,使得地区间供水矛盾加剧,水资源状况日趋恶化。尤其自20世纪70年代开始下游河津站出现了断流现象,从而对流域生态环境的安全和区域经济的可持续发展构

成了相当大的威胁。

尽管针对汾河流域降水、气温变化特点和环境变化对径流影响等方面的研究已有很多^[1-4],但着重就20世纪80年代中期以来气候变化特点及其对径流影响的分析并不多见。为此,作者以岚县、太原、介休、临汾和侯马等站作为代表站,并利用各站历年逐月降水、气温资料,经对部分缺测数据由水文、气象站资料插补延长后,获得汾河流域1951年至2010年各月降水量和平均气温,并连同河津站天然径流量和断流天

收稿日期:2011-11-20; 修回日期:2011-12-20

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划“黄河流域水沙变化情势评价研究”(2006BAB06B01-04-06)

作者简介:兰跃东(1966-),男,山西芮城人,高级工程师,主要从事水土保持工作。

数作为本文分析研究的基本资料。

1 近80年汾河径流量变化趋势

图1给出了汾河河津站自有实测记录以来天然径流量演变及趋势曲线。很显然,近期径流量演变呈现出较为明显的递减趋势,尽管在最近40年里尚能看到如1977年、1988年和1996年明显高于多年平均值的丰水年,但自20世纪50、60年代丰水期之后总体呈下降趋势,并由趋势方程式可推算出天然年径流量每十年递减量为 0.61 亿 m^3 。

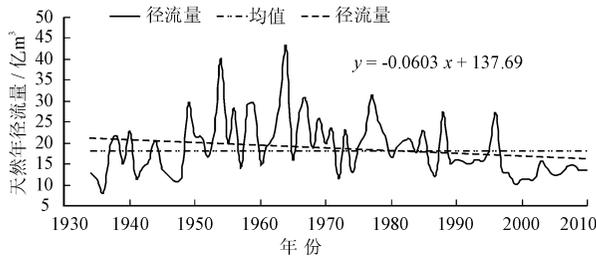


图1 河津站天然年径流量历史演变曲线

2 汾河断流的气候背景

气候变暖是当前全球气候变化中最明显并起主导作用的因素,在全球变暖的大趋势下,干旱化在近期可能还会继续^[5]。著名气候学家施雅风早在20世纪90年代初的上述预言,已被近期汾河流域干旱化和断流发展趋势的事实所证明。

汾河最早出现断流在1958年,那是中游义棠水文站于1958年4月27日设立时河道即处于断流状况,并一直持续至5月10日。而下游河津站断流则始于1971年,当年断流11d。为分析全球变暖背景与汾河断流变化的联系,作者利用1971年以来河津站断流天数(其中1997年以来断流天数参考报汛资料)等资料,绘制了北半球气温距平^[6]与河津断流天数(5年滑动平均)演变曲线(详见图2)。

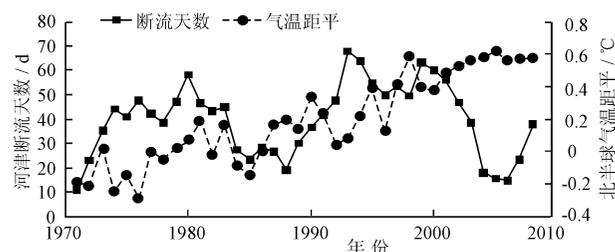


图2 北半球气温距平与河津断流天数演变曲线

由图2可见,尽管2000年以来由于山西省开展了水量统一调配、启动“复流工程”等人为干预措施后断流天数增多势头有所缓和,并出现了相对低谷,

但总体上断流天数的变化趋势与北半球气温距平基本一致,即自20世纪70年代以来基本上呈上升趋势,而同期天然径流量呈现出减少趋势(详见图3)。这就充分表明,自20世纪70年代以来汾河水量偏枯和断流趋势发展乃是以北半球增暖效应为背景。

至于断流原因,杨军生等^[7]已有分析与讨论,并认为主要有:①中上游修建多座大、中型水库和沿线许多小型水库与引水工程,以及众多灌区、机电灌站等的取用水对断流具有决定性作用。②地下水超采引起基流减少,并改变和破坏了水文循环体系,乃是断流的另一个重要因素。③流域内采煤漏水加速了断流的发展。

但作者认为,自20世纪80年代中期以来汾河流域降水量明显较前期减少,同时气温随着全球增暖趋势而明显升高,则是汾河连年枯水和断流趋势发展更为重要而直接的原因。

3 气温、降水变化与径流趋势的联系

图3给出了1951年以来汾河流域年降水量、天然年径流量、年平均气温和冬季平均气温的距平累积曲线。

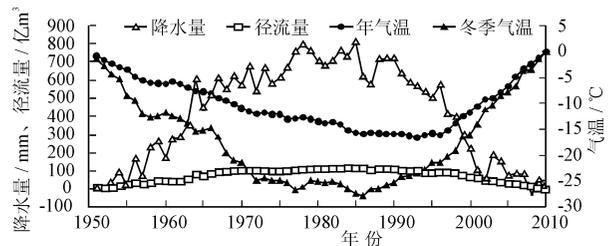


图3 汾河流域年降水量、天然径流量和气温的距平累积曲线

由图3不难看出,大约在20世纪80年代中期为图中曲线的转折点,尤其表现为1985、1986年以来,降水量和天然径流量距平累积曲线呈现出由上升改为下降趋势,而气温特别是冬季气温累积曲线呈现出明显的由下降改为上升趋势。这充分说明,20世纪80年代中期之前的数十年里,流域降水量和天然径流量多数为正距平,而气温呈现出以负距平居多,即可称之为气温偏低的多雨丰水段;而之后的二十多年期间,不论是降水量或者天然径流量都是以负距平居多,而气温特别是冬季呈现出暖冬为主,即可称之为气温偏高的少雨枯水段。

4 20世纪80年代中期以来气温、降水的变化

根据上述分析,将1985年及其以前时段称之为

前期,将1986年以来称之为近期,并统计了全年各月、季、汛期(6-9月,下同)、非汛期的前期、近期降水量与平均气温及其较多年均值的距平,以及近期较前期的变化率或变化值(表1、2)。根据表1、2,结合各月距平及变化率(值)统计表(略)和统计资料分析,气温、降水变化的主要特点可归纳为几点:

(1)前期气温不论是月平均或全年、四季及汛期、非汛期平均值都呈负距平,并以冬季及2月偏低最为显著,其负距平接近 -1.0°C 。

(2)前期降水量无论是月或全年、四季及汛期、非汛期大多呈正距平,并以秋季及7、9月最为显著(7.6%~9.6%);而冬、春季属正常略偏少,其中1月和6月为负距平1.8%,3月和12月偏多约1%。

(3)近期气温距平与前期相反,都呈明显正距平,其中冬季增暖最显著,不论季或月平均气温,都较多年均值偏高 1°C 以上。

(4)近期降水除1月和6月较常年分别偏多2.6%与2.5%外,其余都呈明显负距平,尤其秋季、汛期及7、9月,其负距平达8.1%~12.3%。

(5)近期气温、降水较前期变化大体上可用“前期气温偏低、降水偏多;近期增暖明显、降水显著偏少”来概括,并有气温升高,尤其冬季最甚;降水减少,特别是汛期及夏、秋季最显著之特点。

表1 近期时段气温及其较前期的变化 $^{\circ}\text{C}$

时段	全年	冬季	春季	夏季	秋季	汛期	非汛期
多年均值	11.4	-2.3	12.7	24.0	11.2	22.5	5.9
前期平均	11.0	-3.1	12.3	23.8	10.9	22.2	5.3
距平	-0.4	-0.8	-0.4	-0.2	-0.4	-0.3	-0.5
近期平均	12.0	-1.2	13.3	24.3	11.8	22.9	6.6
距平	0.6	1.1	0.6	0.3	0.5	0.4	0.7
较前期变化	1.1	1.9	1.0	0.5	0.9	0.7	1.3

表2 近期时段降水量及其较前期的变化 mm, %

时段	年	冬	春	夏	秋	汛期	非汛期
均值	477.2	13.6	78.3	267.9	117.4	336.4	140.8
前期	500.4	13.7	79.7	280.7	126.3	355.8	144.6
距平	4.9	0.5	1.8	4.8	7.6	5.8	2.7
近期	444.8	13.5	76.4	250.1	104.9	309.3	135.5
距平	-6.8	-0.7	-2.5	-6.7	-10.7	-8.1	-3.8
变化	-11.1	-1.2	-4.1	-10.9	-17.0	-13.1	-6.3

5 气候变化对径流量影响分析

由1951-1985年河津站水文年(即当年7月至次年6月)天然径流量与同期流域降水量及平均气

温相关关系的计算结果表明:①径流量与气温具有较好反相关;②径流量与降水量呈显著正相关关系。并据此建立了河津站天然年径流量计算公式:

$$W = 11.20119 - 1.68354X_1 + 0.039098X_2 + 0.034655X_3 \quad (1)$$

式中: w 为河津站天然年径流量,亿 m^3 ; x_1 为年平均气温, $^{\circ}\text{C}$; x_2 为年降水量,mm; x_3 为7-9月降水量,mm;其复相关系数为0.81。

将1986年以来降水量、平均气温代入上式,即可计算出逐年天然年径流量,并统计出1986年以来各时段平均值,将其与前期年径流量(22.75亿 m^3)相减,便可得到气候变化对径流的影响量(表3)。

表3 气候变化对天然年径流影响量计算表 亿 m^3 , %

起止时间	实际值	计算量	较前期 变化量	变化率
1951-1985	22.75	22.75		
1986-1989		18.51	-4.24	-18.6
1990-1999		16.77	-5.98	-26.3
2000-2010		16.83	-5.92	-26.0
近期	当气温降水变化时	17.08	-5.67	-24.9
	当降水不变时	20.80	-1.95	-8.6
	当气温不变时	19.04	-3.71	-16.3

由表3不难看出,20世纪80年代中期以来气候变化引起汾河天然年径流量平均每年减少5.67亿 m^3 ,其影响幅度达24.9%,当降水不变仅由气温变化计算获得的径流量为20.8亿 m^3 (较前期减少1.95亿 m^3),而当气温不变仅由降水变化计算获得的径流量为19.04亿 m^3 (较前期减少3.71亿 m^3),其减少幅度分别为8.6%和16.3%。

综上所述,近期气候变化对径流量的影响在不断增强,而且至今已造成汾河径流量较前期减少1/4左右,其中气温升高、蒸发增强乃是加速汾河径流偏少趋势发展的重要因素,同时说明降水偏少则是造成汾河径流量偏枯、断流天数增多的主要原因。

6 结语

(1)本文仅就河津站断流的气候背景、近期气候变化及20世纪80年代中期以来对径流影响进行统计分析,尽管方法较简单,结论也是初步的,但径流量减少趋势与全球增暖特征基本吻合。因此随着全球气候继续增暖,汾河流域干旱化趋势还有可能进一步发展,必须引起相关部门高度重视,并采取各种节水措施,积极加强水资源协调管理,维护汾河健康生命,确保流域经济可须持续发展。(下转第76页)

通过图6可以发现,随着防渗墙深度的增加渗流量和渗透坡降都在显著的减少,但当防渗墙深度到达一定尺寸之后,再增加防渗墙的深度对减小渗流量作用已不是太明显。从图中可以看出当防渗墙深度达到坝前水头的6~10倍的时候,再增加防渗墙深度已经不能有效的减少坝基的渗流量;当防渗墙达到有效深度后,坝基的渗流量逐渐趋于稳定,再增加防渗墙深度意义也不是很大。

5 结 语

非均质无限深透水地基的渗流控制是水工地基渗流的重要组成部分,本文通过模型实验对给问题做了初步分析和研究,通过研究发现,防渗墙的位置变化对坝基的渗流量有显著影响,且越靠近坝基上游,其防渗效果越好;当悬挂式防渗墙的有效深度大约为6~10倍坝前水头时,坝基的渗流量明显减少的趋势变小,当悬挂式防渗墙的有效深度大约为18~20倍坝前水头时,坝基的渗流量基本趋于稳定。

本文虽然是以新疆某水库为研究对象,但对其他建在非均质无限深透水地基上的水库也有很高的

参考价值。在具体的工程中防渗墙的深度选取不但要考虑其防渗作用,还要综合考虑它的经济效益与对生态环境影响等多方面因素。

参考文献:

- [1] 张家发,李思慎,王文新.长江重要提防垂直防渗工程[C]//.长江护岸及提防防渗工程论文选集.北京:中国水利水电出版社,2003.
- [2] 夏细禾,刘白兴,等.长江提防防渗工程施工研究及其应用[M].北京:中国水利水电出版社,2004:75-76.
- [3] 丛嵩森.地下连续墙的设计施工与应用[M].北京:中国水利水电出版社,2001.
- [4] 毛海涛,侍克斌.无限深透水地基上土石坝防渗墙位置对坝基渗流的影响[J].水力发电,2008,34(1):45-47.
- [5] 毛海涛,侍克斌.土石坝防渗墙深度对透水地基渗流的影响[J].人民黄河,2009,31(2):84-86.
- [6] 陈西安.悬挂式防渗墙防身效果的模拟实验研究[J].岩石力学与工程学报,2008,27(增):2767-2771.
- [7] 毛海涛,侍克斌.新疆透水地基上土石坝防渗墙有效深度研究[J].人民长江,2008,39(19):81-84.

(上接第72页)

(2)据预测,在未来100年中全球平均气温将每10年升高 $0.12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[8]。因此,若就气温增暖而言,汾河径流量会进一步减少,断流趋势还会发展。但是文献[8]还提出“降水也会发生明显变化”,因此要是汾河流域降水增多幅度大于气温增暖趋势,人类对于径流需求增长趋势有所减缓,同时因“复流工程”实施而对流域水循环破坏有所控制的话,前者发生的可能性就会降低,伴随的灾害也会相对减少。

(3)有研究认为大暖期又常是湿润多水时期,在气候剧烈转变期间水旱灾害将会进一步加剧^[5],如1996年汾河洪水致使两岸堤防有10多处决口及滩地积水达40多天,2010年8月9日赵城汾河段发生近14年来最大洪水流量(即 $1\ 500\ \text{m}^3/\text{s}$)就是例子,因此在积极采取措施防御干旱影响的同时,还需积极开展气候、水文监测和预报,为抗拒小概率洪涝灾害的发生做好必要准备。

(4)本文所指气温、降水变化对径流量影响幅度分别为8.6%和16.3%是近期资料分析的结果,正如众多敏感性分析成果一样,事实上影响流域水量丰枯甚至断流的因素很多,气候变化对径流影响

的问题非常复杂,因此还需进一步加强研究与综合性分析。

参考文献:

- [1] 杨萍果,郑峰燕.汾河流域50年降水量时空变化特征[J].干旱区资源与环境,2008,22(12):108-111.
- [2] 赵学敏,胡彩虹,张丽娟,等.汾河流域降水变化趋势的气候分析[J].干旱区地理,2007,30(1):53-59.
- [3] 梁丽霞,任志远,王丽霞,等.汾河流域气温变化时空特征分析[J].干旱区资源与环境,2010,24(1):52-57.
- [4] 王国庆,张建云,何瑞敏.环境变化对黄河中游汾河径流情势的影响研究[J].水科学进展,2006,17(6):853-858.
- [5] 施雅风,范建华.中国中纬度地带气候暖干化对水资源的影响[J].水科学进展,1991,2(4):217-223.
- [6] 严少敏,左文朴,朱绮霞,等.近百年来全球气候变暖的倾向和甲型流感病毒神经氨酸酶进化的倾向(英文)[J].广西科学,2010,17(1):80-84.
- [7] 杨军生,梁述杰,王箐.关于汾河断流的分析[J].人民黄河,1998,20(3):3-6.
- [8] IPCC. Climate change, impacts, adaptation, and vulnerability[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.