

# 气候变化和人类活动对东鱼河流域径流影响的探析

张翠荣

(菏泽市东鱼河流域工程管理处, 山东 菏泽 274000)

**【摘要】** 20世纪80年代以来,山东东鱼河流域径流出现显著减小趋势,本文运用 Mann-Whitney-Pettitt 突变点分析法和 Mann-Kendall 检验法对东鱼河流域降水量和径流量序列突变点进行分析,并通过弹性系数法和水文模拟法对气候变化和人类活动对东鱼河流域径流的影响过程及结果进行探讨。结果表明,人类活动是引起东鱼河流域径流量减小的主要原因。

**【关键词】** 东鱼河流域; 径流; 气候变化; 人类活动

中图分类号: TV211

文献标志码: A

文章编号: 2096-0131(2017)07-0066-04

## Analysis on influence of climate change and human activity on runoff in Dongyu River basin

ZHANG Cuirong

(Heze Dongyuhe River Basin Engineering Management Office, Heze 274000, China)

**Abstract:** Shandong Dongyu River basin runoff suffers from significant decreasing trend since the 1980s. In the paper, Mann-Whitney-Pettitt mutational site analysis method and Mann-Kendall test method are applied for analyzing precipitation and runoff sequence mutational sites in Dongyu River basin. The influence process and results of climate changes and human activities on runoff of Dongyu River basin are discussed through elastic coefficient method and hydrological simulation method. Results show that human activities are main reasons leading to runoff reduction in Dongyu River basin.

**Key words:** Dongyuhe River Basin; runoff; climate change; human activities

## 1 资料和研究方法

### 1.1 河流基本情况及数据选取

东鱼河是山东省内最大的人工河流,西起菏泽东明县刘楼村,向东流经牡丹区、曹县、定陶、成武、单县等县市及济宁市属金乡县,于鱼台县城东部的西姚入昭阳湖。东鱼河全长约 172km,流域面积 5923km<sup>2</sup>,河流深 2.7 ~ 5.0m,河口宽 29 ~ 240m,比降为 0.07‰ ~

0.18‰,东鱼河最大流量 950 ~ 2450m<sup>3</sup>/s,主要靠降水补给,径流变差系数和年径流量变化较大。流域内自然条件较为恶劣,降水少、蒸发大,水资源短缺,生态环境脆弱,再加上人类开荒、兴修水利水电工程等活动的不断影响,引起流域内水资源供需极不平衡,流域内气象条件、下垫面一致性等均遭到一定程度的破坏。

为了保持各个站点资料序列的一致性,选取东鱼河流域典型测站 1970—1989 年和 1990—2010 年两个

时段的年均降水量与年径流量相关资料,对气候变化和人类活动对东鱼河流域径流的影响进行研究。

## 1.2 气候变化和人类活动对径流影响的估算方法

### 1.2.1 弹性系数法

以天然时期流域实测径流量为基准,则径流量实测值与基准值之差是由气候变化和人类活动导致的,根据式(1)可定量求得气候变化与人类活动对径流的影响程度。

$$\Delta R_E = R_M - R_B = R_C + R_H \quad (1)$$

式中  $\Delta R_E$ ——径流量变化量;

$R_M$ ——径流量实测值;

$R_B$ ——径流量基准值;

$R_C$ 、 $R_H$ ——气候变化和人类活动所引起的径流量变化量,其中  $R_C$  计算公式为

$$R_C = \frac{\partial R}{\partial P} \Delta P + \frac{\partial R}{\partial E_0} \Delta E_0 \quad (2)$$

式中  $\Delta P$ ——降水量变化量;

$\Delta E_0$ ——潜在蒸散发;

$\frac{\partial R}{\partial P}$ ——径流对降水量的敏感系数;

$\frac{\partial R}{\partial E_0}$ ——径流对潜在蒸散发的敏感系数。

### 1.2.2 水文模拟法

建立东鱼河流域水文模型,采用气候变化和人类活动影响前的实测水文资料进行模型参数的率定,并用以反映东鱼河流域天然产流状况。模型参数不变的情况下,逐步将气候变化和人类活动显著影响后的气象要素输入模型,计算相应时期流域天然径流量。通过对比实测净流量和还原的天然径流量,便可分离出气候变化和人类活动对流域径流的影响程度。

水文模拟法对所建立流域水文模型的精确度与适应性有较高要求,可以采用美国农业部研发的综合考虑了降水、气温、湿度、风速、太阳辐射等气象因子变动情况的 SWAT(soil and water assessment tool) 模型进行东鱼河流域水文模拟,并定量分析气候变化和人类活动对东鱼河流域径流的影响。

$$\eta_H = \frac{R_H}{\Delta R_E} \times 100\% \quad (3)$$

$$\eta_C = \frac{R_C}{\Delta R_E} \times 100\% \quad (4)$$

$$R_H = R_{SWH} - R_{OWH} \quad (5)$$

式中  $\eta_H$ ——人类活动对东鱼河流域径流的影响程度;

$\eta_C$ ——气候变化对东鱼河流域径流的影响程度;

$R_{SWH}$ ——消除人类活动影响因素的天然径流量;

$R_{OWH}$ ——人类活动影响下的径流量实测值。

## 2 分析与结果

### 2.1 径流量序列突变点分析

#### 2.1.1 Mann-Whitney-Pettitt 突变点分析法

Mann-Whitney-Pettitt 突变点分析是检验时间序列突变点常用的非参数统计方法,既可分析出突变点最可能出现的位置,又能判断出突变点的显著性特征,公式如下:

$$U_{t,n} = U_{t-1,n} + \sum_{i=1}^n \text{sgn}(x_t - x_i) \quad (t = 2, 3, \dots, n) \quad (6)$$

其中

$$U_{t,n} = \sum_{i=1}^n \text{sgn}(x_t - x_i)$$

$$\text{sgn}(x_t - x_i) = \begin{cases} 1 & (x_t - x_i) > 0 \\ 0 & (x_t - x_i) = 0 \\ -1 & (x_t - x_i) < 0 \end{cases}$$

式中  $x_i$ ——统计样本;

$t$ ——观测时间;

$n$ ——序列长。

当  $|U_{t,n}|$  取最大值时,  $t$  即是可能的突变点,突变点附近显著性统计量为

$$p_t \cong 2 \exp[-6U_{t,n}^2 / (n^3 + n^2)] \quad (7)$$

显著性水平  $\alpha$  既定时,如果  $p_t < \alpha$ ,则说明在此显著性水平该序列突变显著,为了验证突变的可靠性,还可以对序列  $x$  突变前后的显著性作  $t$  检验。

#### 2.1.2 Mann-Kendall 检验

Mann-Kendall 检验作为常用的时间序列趋势检验

方法,主要用于检验不遵从分布规律的非正态分布序列的趋势性。设水文序列为  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , 则 Mann-Kendall 检验的统计量  $Z$  为

$$Z = \begin{cases} (S - 1) / \sqrt{\text{var}(S)} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ (S + 1) / \sqrt{\text{var}(S)} & S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

其中

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i)$$

$$\text{var}(S) = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_t (t-1)(2t+5) \right]$$

$Z > 0$  表示水文序列  $X$  呈上升趋势;  $Z < 0$ , 则表示  $X$  呈下降趋势。在显著性水平为  $\alpha$  时, 若  $|Z| > Z_{(1-\alpha/2)}$  ( $Z_{(1-\alpha/2)}$  为概率大于  $\alpha/2$  时的标准正态分布值), 则说明水文序列  $X$  趋势性显著, 否则说明  $X$  序列无显著的趋势性。

### 2.1.3 径流变化趋势

东鱼河流域降水主要集中在7—8月主汛期, 其中7月降水量年内最大, 约为145mm, 主汛期降水量约占年内降水量的一半以上。受降水因素影响, 径流主要集中在汛期, 主汛期径流量约占全年径流的50%。图1为东鱼河流域参政站实测径流量及降水量与蒸发量的年内分配情况。

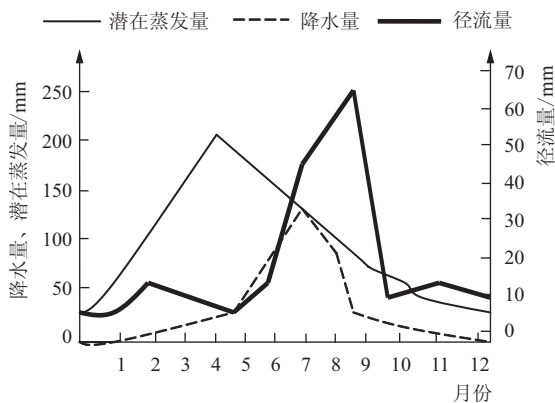


图1 东鱼河流域参政站潜在蒸发量、降水量和径流量的年内分配

采用 Mann-Whitney-Pettitt 突变点分析法与 Mann-

Kendall 检验法对东鱼河流域年平均降水量、径流量及潜在蒸发量进行趋势及突变检验, 结果见表1。

表1 降水量、径流量及潜在蒸发量趋势检验及结果 (显著性水平  $\alpha = 0.05$ )

指 标	年平均值/mm	变化率/(mm/a)	MK 检验 Z 值
降水量	488.5	0.23	0.10
径流量	65.5	-1.25	-3.27
潜在蒸发量	1211.8	-4.32	-5.15

趋势及突变检验结果显示, 东鱼河流域降水量呈缓慢上升趋势, 变化率为  $0.23\text{mm/a}$ ; 径流量下降趋势显著, 变化率为  $-1.25\text{mm/a}$ ; 潜在蒸发量下降趋势显著, 变化率为  $-4.32\text{mm/a}$ 。一般情况下, 径流量与年平均降水量正相关, 而与蒸发量负相关, 而表1趋势检验结果表明, 东鱼河流域年平均降水量缓慢上升的情况下蒸发量显著减少, 按照一般规律径流量应该呈增加趋势, 但径流量实测值反而呈下降趋势, 由此可以推断, 降水量与蒸发量并不是引起东鱼河流域径流量下降的主要原因。

### 2.1.4 径流量序列突变点分析

利用 Mann-Whitney-Pettitt 突变点分析法确定东鱼河流域降水量、径流量突变点后, 采用 T 检验法进行突变点前后序列一致性检验。结果表明, 东鱼河流域降水量突变发生在1972年, 且  $p_i = 0.655$ ; 径流量突变发生在1984年, 且  $p_i = 0.001$ 。显著性水平  $\alpha = 0.05$  时, T 检验结果表明在突变点后径流量序列显著下降, 这说明东鱼河流域径流量突变并非由降水突变引起的。

根据 Mann-Whitney-Pettitt 突变点分析结果, 将1970—1984年设为天然基准期, 1985—2010年设为人类活动影响期, 并将人类活动影响期划分为1985—1994年、1995—2004年和2005—2010年三个时段。

## 2.2 气候变化和人类活动对径流的影响

采用弹性系数法和水文模拟法计算气候变化和人类活动对东鱼河流域径流量的影响, 结果见表2。由计算结果可知, 在1985—2010年整个人类活动影响期间, 两种方法所求得的气候变化和人类活动对径流的

影响基本一致,弹性系数法求得气候变化和人类活动对东鱼河流域径流量的贡献分别为 -11.2% 和 110.7%,而水文模拟法求得的结果分别为 -8.7% 和

105.5%,气候变化对径流量产生积极影响,而人类活动对径流量产生负面影响,且人类活动所引起的径流减少量远大于气候变化所引起的径流增加量。

表2 气候变化和人类活动对东鱼河流域径流量的影响程度

时 段	弹性系数法				水文模拟法			
	气候变化的影响		人类活动的影响		气候变化的影响		人类活动的影响	
	$\Delta R_C / (\text{mm/a})$	$\eta_C / \%$	$\Delta R_H / (\text{mm/a})$	$\eta_H / \%$	$\Delta R_C / (\text{mm/a})$	$\eta_C / \%$	$\Delta R_H / (\text{mm/a})$	$\eta_H / \%$
1985—1994 年	-8.5	16.2	-45.7	85.2	-25.5	50.2	-20.8	50.1
1995—2004 年	18.1	-85.7	-33.9	188.1	44.5	-201.7	-60.6	308.8
2005—2010 年	2.7	-3.9	-62.8	141.5	-12.7	15.5	-52.7	82.7
1985—2010 年	4.3	-11.2	-45.1	110.7	3.8	-8.7	-45.5	105.5

### 2.3 人类活动对径流的影响分析

人类活动对径流量的不利影响主要表现为城市不透水面积增加、入渗量减少、洪峰流量增大、工农业生产用水量增加、水库工程等造成径流量减小,人类活动对东鱼河流域径流量的影响包括以下几方面。

#### 2.3.1 土地利用情况改变

从东鱼河流域土地利用情况看,1985—2005 年东鱼河流域未开发荒地面积不断减少,而耕地、林地、草地面积不断增加,森林覆盖面积提高,到 2006 年,耕地、林地和草地占比分别为 60.5%、22.7% 和 16.5%,灌溉田与坝田面积大大增加,用水量增大,径流量减少,所以东鱼河流域森林覆盖度提高与耕地面积增加引起该流域径流量的减小。

#### 2.3.2 工程截流与蒸散发损失

东鱼河流域治理工程国家共投资 6632 万元,兴建桥、涵、闸、水库等建筑物 108 座,水库库容约 0.163 亿  $\text{m}^3$ ,扬水站 55 处,装机容量 3675kW。此外,东鱼河流域塘坝、提灌站更是不计其数,因此上游的节流也是造成东鱼河流域径流量减小的原因。

#### 2.3.3 人工取用水

据统计,1995 年以后东鱼河流域用水量显著上升,东鱼河水文站所控制的周围地区用水量从 1990 年

的 2.13 亿  $\text{m}^3$  增加到 2010 年的 4.21 亿  $\text{m}^3$ ,增长幅度高达 100%,其中,城镇生产生活用水占比较大,约占 55.33%,而农业生产生活用水约占 44.21%,这充分表明随着当地城镇化进程的加快,城镇人口数量增加,从而加大了用水量。

## 3 结 论

文章运用弹性系数法和水文模拟法对气候变化和人类活动影响东鱼河流域径流量的过程与结果进行了量化分析,两种方法的结果具有一致性:气候变化引起流域径流量缓慢增加,人类活动导致径流量减小,其中人类活动是引起东鱼河流域径流量减小的主要原因,包括土地利用情况的改变、流域水利工程截流与蒸散发损失、城镇人口取用水量的增大等方面。◆

### 参考文献

- [1] 张伟丽. 气候变化和人类活动对永定河流域径流的影响[J]. 人民黄河,2015,37(5):27-30.
- [2] 刘晨,董增川,方庆,等. 气候变化与人类活动对滦河流域径流变化响应[J]. 水电能源科学,2013(9):12-15.
- [3] 李刚. 浅论菏泽市东鱼河水利工程施工中的防渗技术[J]. 中国水运,2014(3):236-238.