

文章编号: 1007-6301 (2003) 06-0599-08

# 潮白河径流分布规律及人类活动 对径流的影响分析

姚治君, 管彦平, 高迎春

(中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101)

**摘 要:** 利用潮白河五个水文站 1956 年以来的径流资料, 应用多种数值分析方法, 详细分析了潮白河径流的年际、年内分配规律, 计算了人类活动对径流的影响。结果表明, 潮白河径流的年际变化剧烈, 丰水时段历时很短, 而枯水时段历时很长。应用累积滤波器和肯德尔秩次相关法, 对年径流变化趋势所作的定性和定量的结果表明, 潮白河年径流总体呈减少趋势, 且减少趋势显著。根据年径流累积曲线和回归分析, 人类活动是引起潮白河径流减少的主要因素。

**关 键 词:** 潮白河; 年径流; 变化趋势; 人类活动

**中图分类号:** P344

## 1 引言

水资源是制约区域经济发展的重要因素, 一个区域的水资源既受气候系统控制, 又受地表系统的影响, 人类活动明显改变了天然状态下的水循环过程, 在时间和空间上引起了水文循环要素和量的变化<sup>[1-3]</sup>。河川径流受气候、地貌、土壤、植被等自然条件以及人类活动的耦合作用, 其演变过程既表现出确定性的规律, 同时也有强烈的随机性。径流特征的变化必然影响水资源的开发利用, 并进而影响社会经济的发展<sup>[4]</sup>。降水空间与时间分布的不均匀性对径流的影响主要由下垫面产流特性的空间与时间不均匀性所决定<sup>[5]</sup>。不同河流及同一河流的不同年份, 其径流年内分配的不均匀程度不同, 这一径流变化特征直接影响着水利工程的规模与水资源的合理配置<sup>[6]</sup>。受天气及流域下垫面等系统的综合作用, 河川径流序列是一非线性、弱相依且高度复杂的动态系统。该系统受外界周期或非周期因子的强迫作用, 使得河川径流变化具有明显的时间上的多尺度性。研究河川径流的变化, 不可能也没必要跨越整个时间尺度, 而应侧重于不同时间尺度等级下的径流变化<sup>[7]</sup>。在自然因素和人类活动, 特别是对水资源的过度开发利用的共同作用下, 一些河流的季节化现象明显, 并导致了河道萎缩、河口淤积、下游河道枯竭断流、河流功能丧失等问题。因此, 从河川径

**收稿日期:** 2003-08; **修订日期:** 2003-10

**基金项目:** 中国科学院地理科学与资源研究所知识创新项目 (CXDG-E01-08-03-02) 资助。

**作者简介:** 姚治君 (1959-), 男, 辽宁沈阳人, 中国科学院地理科学与资源研究所研究员, 主要从事区域水资源及其合理配置等方面的研究工作。E-mail: yaozj@igsnrr.ac.cn

流量出发, 探讨地表水资源的变化趋势, 对于水资源的合理开发和高效、可持续利用具有重要的实践意义<sup>[8~10]</sup>。天然水循环特征因人类活动而改变, 并反过来影响水资源的开发利用。因此, 只有在认识水循环规律的基础上, 水资源的开发利用才有可能趋于合理和高效, 从而实现水资源的可持续利用<sup>[11]</sup>。

潮白河处于半湿润、半干旱区的华北平原, 为流经北京市北部、东部的重要河流, 与北运河、蓟运河在海河北系合成“北三河”, 属于海河水系。水系的北部、西部为燕山, 东部、南部为平原, 流域总面积为 19354km<sup>2</sup>, 其中山区占 87%, 平原占 13%。潮白河及其支流组成潮白河水系, 河道全长 458km, 自然落差 1706m。解放后, 在这一水系上修建了密云、怀柔 2 座大型水库和 5 座中型水库、33 座小型水库, 总库容 46.6867 亿 m<sup>3</sup>。以密云水库为引水源, 通向市区的京密引水渠为北京市的供水主动脉。

本文根据各个水文站点的实测资料, 对径流的年际年内分布规律进行了详细分析, 利用累积滤波和肯德尔秩次相关对年径流的变化趋势进行了定性和定量的分析, 最后定量分析计算了人类活动对径流量的影响。

## 2 资料来源

根据流域内水文站点的分布, 兼顾上游各支流、中游和下游, 以资料精度较高、观测历时较长、资料较为完整作为选择依据, 选取了下堡、三道营、戴营、张家坟和苏庄五个水文站的径流资料进行分析。戴营位于上游的潮河, 张家坟、下堡位于上游的白河; 三道营位于白河支流的黑河; 苏庄位于潮白河下游。各站点的资料见表 1:

表 1 代表站点一览表

Tab. 1 The representative stations of Chaobaihe River

站 点	河 流	经度/E	纬度/N	集水面积 (km <sup>2</sup> )	资料长度/a
下 堡	白 河	116 9	40 41	4015	45
三道营	黑 河	116 23	40 47	1600	42
戴 营	潮 河	117 8	40 45	4266	45
张家坟	白 河	116 47	40 37	8506	45
苏 庄	潮白河	116 45	40 04	17627	45

## 3 径流的年际年内变化

### 3.1 径流的年内分配

降水是潮白河径流的主要补给来源。因受降水的影响, 径流的年内分配差异很大, 夏秋两季是降水量较多而且集中的时期, 也是一年中径流较大的时期。根据分析, 潮白河的径流主要集中在 6~10 月, 占年径流总量的 59.21%~76.03%, 汛期水量占年总量的 51.47%~70.94%, 其中径流量最大的 7~8 月占年总量的比例为 32.59%~48.64%, 而最小月径流量除了苏庄出现在 1 月份外, 其余四个站点均出现在 5 月, 占年总量的 1.47%~

4.36%。各个站点各月径流量占年总量的百分比如表 2。

表 2 站点各月径流量占年总量的百分比  
Tab. 2 The percentage between runoff quantity in different month of a year and annual quantity of Chaobahe River

站名 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	汛期
下堡	5.16	5.11	7.28	6.53	4.36	7.74	14.89	17.70	9.92	8.96	6.63	5.73	51.47
三道营	3.28	2.92	3.53	2.63	2.14	4.34	17.08	31.56	14.03	8.79	5.58	4.13	70.36
戴营	2.78	2.98	4.32	3.17	1.47	5.09	18.31	30.77	13.40	8.46	5.51	3.73	70.94
张家坟	3.31	3.37	4.6	3.66	2.67	6.04	18.71	29.23	11.69	7.53	5.34	3.85	67.16
苏庄	3.60	3.16	4.28	4.88	11.03	10.26	16.82	21.75	9.49	5.98	5.10	3.65	54.04

### 3.2 径流的年际变化

#### 3.2.1 径流年际变化的特征值

径流年际变化的总体特征常用变差系数  $C_v$  或年际极值比(最大、最小年径流量比值)来表示。 $C_v$  反映了一个地区径流的相对变化程度,  $C_v$  值大表示径流的年际丰枯变化剧烈, 对水资源利用和抗旱防汛工作不利; 反之则表示径流的年际变化平缓<sup>[12]</sup>。经计算, 潮白河流域的年际变化特征值见表 3。可以看出, 潮白河径流的年际极值比和  $C_v$  值都很大,  $C_v$  值大的站点其年际极值比也大,  $C_v$  值最大为 0.99 (苏庄), 对应的年际极值比为 852.31。

#### 3.2.2 径流年际变化的长持续性

根据径流丰枯等级的划分标准<sup>[12]</sup>, 按距平百分率  $p$  来划分径流的丰枯等级, 其计算表达式为:  $p = \frac{\text{某年径流量} - \text{多年平均值}}{\text{多年平均值}} \times 100\%$ 。 $p > 20\%$  为丰水;  $10\% < p < 20\%$ , 为偏丰;  $-10\% < p < 10\%$  为平水;  $-20\% < p < -10\%$  为偏枯;  $p < -20\%$  为枯水<sup>[12]</sup>。

根据计算分析, 潮白河径流年际变化的过程中, 丰水时段历时较短, 通常只有 1~3 年; 而枯水时段历时很长, 最长可达 13 年。在 20 世纪 50 年代末, 流域处于丰水时期, 而在 20 世纪 80 年代, 流域基本处于枯水或者偏枯。

表 3 潮白河流域径流年际变化特征值  
Tab. 3 The characteristics value in annual change of the runoff of Chaobahe River

站名	控制面积 (km <sup>2</sup> )	多年平均流 量 (m <sup>3</sup> /s)	实测最大		实测最小		年际 极值比	$C_v$	统计年份
			流量 (m <sup>3</sup> /s)	年份	流量 (m <sup>3</sup> /s)	年份			
下堡	4015	5.95	19.7	1956	2.39	1989	8.23	0.57	1956~ 2000
三道营	1600	3.73	12.13	1959	0.92	2000	13.2	0.64	1959~ 2000
戴营	4266	8.92	28.74	1959	2.21	2000	13.05	0.66	1956~ 2000
张家坟	8506	17.82	63.75	1956	2.90	2000	21.97	0.74	1956~ 2000
苏庄	17627	26.49	136.37	1956	0.16	1984	852.31	0.99	1956~ 2000

## 4 径流的变化趋势分析

#### 4.1 方法原理

对潮白河年径流的趋势变化分析, 首先可以采用累积滤波器<sup>[13]</sup>, 原理如下:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n p_i/n}{p}$$

式中:  $S$  为累积平均值;  $p$  为径流的时间系列值;  $\bar{p}$  为径流时间系列的平均值;  $n$  为系列长度,  $n=1, 2, \dots, n_0$ .

累积滤波器能充分反映时间系列定性的变化趋势<sup>[13]</sup>。对系列趋势变化的定量说明, 则采用 Kendall 的秩次相关法<sup>[4]</sup>, 其基本原理如下:

$$\tau = \frac{4P}{N(N-1)} - 1 \quad \sigma_\tau^2 = \frac{2(2N+9)}{9N(N-1)} \quad M = \tau/\sigma_\tau \quad (1)$$

式中:  $M$  为秩次相关系数;  $P$  为径流系列所有对偶观测值 ( $R_i, R_j, i < j$ ) 中  $R_i < R_j$  出现的次数;  $N$  为系列长度。

根据各站年径流系列, 利用 (1) 式求出  $M$  值, 当  $n$  增加时,  $M$  很快收敛于标准化正态分布, 可在正态分布表中查出临界值 1.96, 若  $|M| > 1.96$  表示序列的趋势显著。当统计量  $M$  为正值, 说明序列有上升趋势,  $M$  为负值, 则表示有下降趋势<sup>[14]</sup>。

#### 4.2 计算结果

根据计算结果, 五个站点的年径流累积平均曲线图如图 1 所示, 累积滤波器反映的各个站点年径流变化趋势以及肯德尔秩次相关法所得结果如表 4 所示。

表 4 年径流变化趋势表

Tab. 4 Trend of the annual runoff at chosen stations

站 点	秩次相关法			累积滤波器法
	趋M 势	趋 势	显著性	
戴 营	- 2.262	减少	显著	减少
三道营	- 2.109	减少	显著	减少
下 堡	- 5.307	减少	显著	减少
张家坟	- 4.197	减少	显著	减少
苏 庄	- 4.101	减少	显著	减少

从图 1 可以看出, 各个站点的年径流随年份不同呈波动性变化, 但总体均具有明显的下降趋势。由表 4 看出, 累积滤波器反映的系列趋势变化同秩次相关法所得结果一致, 亦呈下降趋势。而肯德尔秩次相关法给出了一个量化指标  $M$  来反映系列趋势变化的显著程度。从计算结果看出, 五个站点的  $|M|$  均大于 1.96。因此各个站点年径流下降的趋势都非常显著。

## 5 人类活动对径流量的影响计算

通过绘制各水文站按时序排列的年径流累积曲线, 观察其变化规律。对于正常的水文

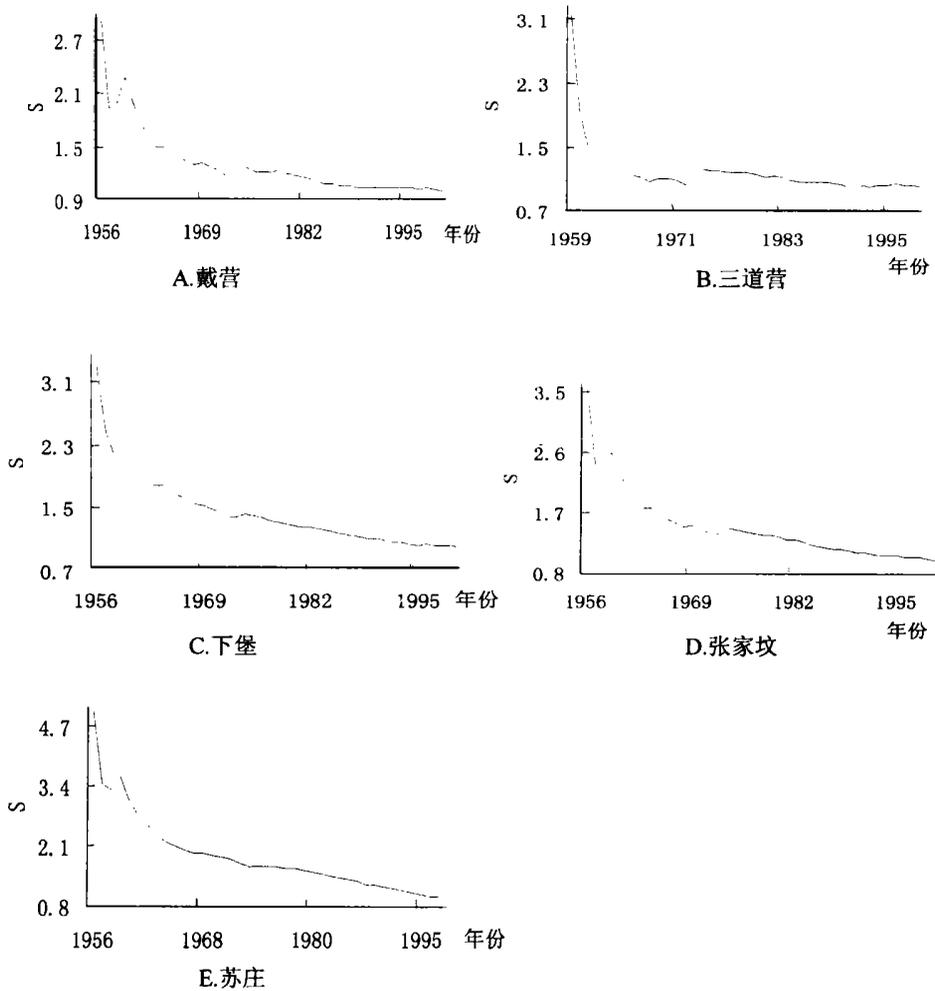


图1 各站点年径流系列累积平均曲线 (S 为年径流累积平均值)

Fig.1 Accumulative average curves of the annual runoff at chosen stations (A·Daiying, B·Sandaoying, C·Xiabao, D·Zhangjiafen, E·Suzhuang)

年份, 如果不受外界的影响, 每年的来水量虽然有丰枯变化, 径流量累积值点据有所波动, 但是没有系统偏离。如果受到外界人类活动的影响, 径流量累积值就会发生明显的系统偏离。通过对径流曲线是否发生明显系统偏离, 判断其是否受人类活动影响<sup>[15]</sup>。

为估算人类活动对流域年径流量的影响, 绘制了潮河戴营、白河张家坟以及下游潮白河苏庄三个水文站的年径流累积曲线图, 从而得出各个站点没有受人类活动影响的时间序列时段(戴营为 1956~ 1966 年; 张家坟为 1956~ 1966 和苏庄为 1956~ 1963 年)作为基准期。根据回归分析, 建立基准期年径流与年降水量的相关关系, 相关方程分别为:

戴营	$Y = 0.02163X - 7.805$	$R = 0.941$
张家坟	$Y = 0.04162X - 12.860$	$R = 0.926$
苏庄	$Y = 0.08534X - 30.872$	$R = 0.969$

根据相关方程可以计算出站点各年的计算径流量, 并将其作为近似天然径流量。利用基准期的实测降水、径流资料的平均值, 建立反映近似天然状况的降水~径流模式, 计算出各个不同时期的降水、实测径流、计算径流(天然径流)的平均值。各个时期的计算值与基准期计算值的差值即为此时段降水变化对径流的影响量, 各时段与基准期的实测差值减去降水变化的影响量即为人类活动的影响量<sup>[16]</sup>。计算结果见表 5。

表 5 人类活动对径流影响计算结果

Tab. 5 calculated results to annual runoff values affected by human activity

站名	起止年份	降水 (mm)	径流 (亿 m <sup>3</sup> )			降水因素		人类活动因素	
			实测值	计算值	总减少量	影响量 (亿 m <sup>3</sup> )	占总减少 (%)	影响量 (亿 m <sup>3</sup> )	占总减少 (%)
戴营	1956~ 1966	540.351	3.884						
	1967~ 1979	530.399	3.106	3.668	0.678	0.215	31.71	0.463	68.29
	1980~ 1989	451.683	1.575	2.392	2.309	1.491	64.57	0.818	35.43
	1990~ 2000	502.217	2.523	3.476	1.361	0.407	29.88	0.954	70.12
	1967~ 2000	498.129	2.467	3.230	1.417	0.653	46.08	0.764	53.92
张家坟	1956~ 1966	524.401	8.968						
	1967~ 1979	514.189	6.632	8.541	2.336	0.427	18.28	1.909	81.72
	1980~ 1989	456.059	2.937	6.121	6.031	2.847	47.21	3.184	52.79
	1990~ 2000	490.373	3.514	7.639	5.454	1.329	24.37	4.125	75.63
	1967~ 2000	489.387	4.536	7.537	4.431	1.431	32.29	3.001	67.71
苏庄	1956~ 1963	597.347	20.104						
	1964~ 1979	575.260	10.051	18.221	10.053	1.983	19.73	8.070	80.27
	1980~ 1989	509.615	1.651	12.619	18.453	7.485	40.56	10.968	59.44
	1990~ 2000	534.852	3.868	15.941	16.236	4.163	25.64	12.073	74.36
	1964~ 2000	545.507	5.942	16.029	14.162	4.075	28.07	10.087	71.23

戴营、张家坟和苏庄三个水文站人类活动对径流的影响量占总减少量的百分比分别为 53.92%、67.71%、71.23%。可见, 人类活动是引起潮白河流域径流减少的主要因素, 其次才是降水变化。而且, 人类活动在不同的时期, 对径流的影响程度亦不同。

## 6 结论

(1) 潮白河径流的年内分配主要集中在 6~ 10 月, 年际变化激烈; 丰水时段历时很短, 一般只有 1~ 3 年; 枯水时段历时很长, 最长可达 13 年。在 20 世纪 80 年代潮白河处于枯水或者偏枯时期。

(2) 潮白河的年径流总体上呈现出减少趋势, 而且减少的趋势显著。尤其是 20 世纪 80 年代初期以来更为显著。

(3) 人类活动是引起潮白河流域径流减少的主要因素, 其次才是降水变化。随着社会

经济的发展, 潮白河水资源利用率持续超过 40% 的上限, 且在不断上升<sup>[1]</sup>, 破坏了流域水循环系统。因此, 人类活动, 特别是对水资源的过度开发利用, 导致了断流、下游实测径流急剧减少, 以及一系列的生态和环境问题。

## 参考文献

- [1] 任立良, 张炜等. 中国北方地区人类活动对地表水资源的影响研究. 河海大学学报, 2001, 29 (4): 13~ 18.
- [2] 王劲峰, 陈红焱等. 区域发展与水环境利用透明交互决策系统. 地理科学进展, 2000, 19 (1): 9~ 16.
- [3] 梁涛, 张秀梅, 章申. 官厅水库及永定河枯水期水体氮、磷和重金属含量分布规律. 地理科学进展, 2001, 20 (4): 341~ 346.
- [4] 李丽娟, 郑红星. 华北典型河流年径流演变规律及其驱动力分析——以潮白河为例. 地理学报, 2000, 55 (3): 309~ 316.
- [5] 张士锋, 贾绍凤. 降水不均匀性对黄河天然径流量的影响. 地理科学进展, 2001, 12 (4): 354~ 363.
- [6] 冯国章, 李瑛等. 河川径流年内分配不均匀性的量化研究. 西北农业大学学报, 2000, 28 (4): 50~ 53.
- [7] 蒋晓辉, 刘昌明, 黄强. 黄河上中游天然径流多时间尺度变化及动因分析. 自然资源学报, 2003, 18 (2): 142~ 147.
- [8] 高迎春, 姚治君等. 密云水库入库径流变化趋势及动因分析. 地理科学进展, 2002, 21 (6): 546~ 553.
- [9] 何凡能, 王国. 海河流域季节化对地下水及生态环境的影响. 地理科学进展, 2001, 20 (3): 286~ 294.
- [10] 夏军. 华北地区水循环与水资源安全: 问题与挑战. 地理科学进展, 2002, 21 (6): 517~ 526.
- [11] 刘昌明, 郑红星. 黄河流域水循环要素变化趋势分析. 自然资源学报, 2003, 18 (2): 129~ 135.
- [12] 胡兴林. 甘肃省主要河流径流时空分布规律及其演变趋势分析. 地球科学进展, 2000, 15 (5): 516~ 520.
- [13] 陈仁升, 康尔泗等. 甘肃省河西地区近 50 年气象和水文系列的变化趋势. 兰州大学学报, 2002, 38 (2): 163~ 170.
- [14] 海米提等. 内流河流域水资源利用对径流年际年内变化影响的分析. 地理研究, 2000, 19 (3): 271~ 276.
- [15] 周红, 秦嘉轮. 人类活动对塔里木河年径流影响量的估算. 干旱区地理, 2002, 25 (1): 70~ 74.
- [16] 戴明英, 闫蕾. 延河水沙变化的分析研究. 黄河水沙变化研究论文集, 1993, 4: 38~ 71.

## Analysis of Distribution Regulation of Annual Runoff and Affection to Annual Runoff by Human Activity in the Chaobaihe River

YAO Zhijun, GUAN Yanping, GAO Yingchun

(Institute of geographic Sciences and Natural Resources research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** By the data of five hydrological observation stations, the paper analyzes the time - space distribution regulation of annual runoff. That is, for all of the hydrological observation, the annual runoff distributed unevenly. The runoff between July and October accounted for from 59.21% ~ 76.03% of the total annual runoff. Besides, to annual runoff quantity, rich water period was very short, generally, only 1~ 3years; but low water

period was very long, may last 13 years. To analysis the variance of more than 40 years annual runoff, two methods are applied. The two results indicate that the variance tendency of the annual runoff show obviously decline.

Using the data of the hydrological observation stations, the paper describes the accumulation curve of the annual runoff, which is divided into two parts in the various periods, one is not affected by human activity, and the other is affected by human activity. A correlation is founded between the annual runoff of affected by human activity and that of the stations unaffected by human activity. Through calculating accumulation value of affection by human activity of Daiying, Zhangjiafen, and Suzhuang hydrological observations, it accounts for 53.92%, 67.71%, and 71.23% of the total reduced value. The results demonstrate that human activity was the main factor leading to reduction of annual runoff compared with annual precipitation. Affected by human activity, especially the utilization of water resources, the natural ecology environment and the water recycle system had been deteriorating in recent several decade years. So reasonably utilization and optimal arrangements of water resources basing on systematic analysis are becoming more and more important. It will be urgent task to protect and use water resources rationally in the future.

**Key words:** Chaobaihe River; annual runoff; variance tendency; human activity