

黄河中游黄土高原区河川基流特点及变化分析

钱云平¹, 蒋秀华², 金双彦², 张培德²

(1. 北京师范大学 环境科学研究所, 北京 100875; 2. 黄河水利委员会 水文局, 河南 郑州 450004)

[摘要] 由于气候变化和人类活动的影响, 黄土高原河川基流呈显著下降趋势, 对黄河径流量减少产生一定影响。采用日流量过程线切割法计算了河龙区间黄土高原主要支流的基流量, 结合地形地貌、水文地质条件, 分析了不同地貌类型支流基流的特点, 初步分析了影响基流变化的各种因素, 认为河龙区间基流变化对黄河水资源影响较大。

[关键词] 黄土高原; 基流; 日流量过程线切割法; 基流指数

[中图分类号] P641.8 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)02-0088-04

[作者简介] 钱云平(1965—), 男, 湖南邵阳人, 黄河水利委员会水文局高级工程师, 北京师范大学博士研究生, 现从事水文水资源研究工作。

河川基流是指由地下水补给河川的水量。在黄河流域, 非汛期河川径流主要由基流补给, 基流在黄河径流量中占有相当大的比重。近年来, 由于气候变化和人类活动的影响, 河川基流大幅减少, 对黄河径流量减少产生较大影响, 特别是近年来, 由于黄河来水量明显偏小, 黄河下游断流频繁, 严重影响流域经济的发展和破坏流域生态环境, 因此, 研究流域各地区基流变化及影响因素, 对合理开发利用流域水资源、加强水资源管理具有重要的意义。

1 河龙区间黄土高原概况

黄河中游河龙区间(河口镇—龙门)地处黄土高原干旱、半干旱地区, 为黄土丘陵沟壑区, 该地区黄土层深厚、土质疏松、植被稀少, 暴雨集中且强度大, 水土流失严重, 是黄河泥沙特别是粗沙的主要来源区。本区间支流水系发育, 主要支流有皇甫川、孤山川、窟野河、秃尾河、佳芦河、无定河、清涧河等。

该区间年降水量为 300 ~ 550 mm, 汛期(7 ~ 10

月)降水占全年 74% 左右, 在空间分布上, 降水南多北少, 降水多以暴雨形式出现, 且历时短, 强度大, 最大日暴雨可达 100 ~ 600 mm, 因此常形成尖瘦的高含沙洪水过程线。

区内各种黄土侵蚀地貌发育典型, 黄土斜梁沟壑、黄土梁峁沟壑及黄土峁状丘陵分布广泛。

20 世纪 70 年代以来, 黄土高原开展了水土保持, 兴建了大量水利水保工程, 发挥了较好地减水减沙作用。

2 水文地质条件

本区内地下水的形成与分布, 主要受水文、气象、地质、地貌和构造等因素控制, 各含水岩类的分布及富水性均有较大差异。

区内大多为黄土丘陵沟壑区, 广泛分布第四纪黄土, 厚度范围 50 ~ 200 m, 以黄土梁峁为主, 沟谷非常发育, 切割很深, 深切至基岩, 地下水补给条件差, 排泄条件好, 不利于地下水的储存, 大气降水多由地表流失, 加之降水量较小, 因此除较宽阔的河谷、沙漠草原区稍富地下水外, 其他地区地下水均较贫乏。

在黄土梁峁区, 广泛分布风积、洪积黄土层孔隙、裂隙水, 含水层主要为下更新统黄土, 地下水埋深较大, 从几十米至百余米, 水量小, 地下水主要为

[收稿日期] 2003-06-25

[基金项目] 国家重点基础研究发展规划(973)项目
(G1999043606)

大气降水补给, 排泄以泉水形式向沟谷排泄, 由于水循环条件较好, 所以水质好。

在定边、榆林、神木一带的沙漠草原, 分布风积冲湖积粉细砂、粉土孔隙潜水, 由于基岩的起伏和古河道的变迁, 致使含水层厚度及岩性变化较大, 一般沙漠草原含水层厚度为 15~80 m, 最大可达 160 m, 水位埋深较浅, 一般埋深仅几米。地下水以降水入渗补给为主, 其次为凝结水和地表水灌溉入渗补给, 主要以向河水排泄为主。

在无定河等较宽阔的河谷川道, 分布冲积砂、砂砾卵石孔隙水, 含水层为中更新至全新统的砂、砂砾卵石层, 厚度 3~30 m, 水位埋深 5~20 m。地下水补给主要来自降水及河水, 水质较好。

在靖边、延安、黄陵以东广大梁峁区, 还分布砂岩、页岩互层裂隙孔隙水。

3 基流切割方法

河川径流量由地表径流和地下径流排出量(基流)两部分水量组成, 由于两者的成因和径流的条件不同而具有不同的退水规律, 地表径流退水快而陡(在流量过程线上反映), 地下径流即基流退水慢且平缓, 因此, 根据这种规律, 可用分割流量过程线的方法切割基流。

常用的基流计算方法是采用逐日平均流量过程线切割法, 其计算精度较高, 成果较可靠, 但资料要求也高, 要求有较长系列的日流量资料。

传统日平均流量过程线切割一般由人工在日平均流量过程图上, 逐年进行手动切割, 工作量非常大。笔者采用 Tony L. Wahl 和 Kenneth L. Wahl 编写的《基流 BFI 计算程序》^[2,3] 进行基流计算, 该方法具有自动计算、速度快等优点, 可计算历年和水文年的基流量, 特别适合处理长系列资料。

4 基流计算及变化分析

研究中选取黄甫川、孤山川、窟野河、秃尾河、佳芦河、无定河、清涧河等支流进行基流计算, 这些河流代表了黄土高原不同地貌类型的河流(表 1)。

基流计算按水文年系列进行计算, 各支流具体基流计算结果见表 2。

根据计算结果, 基流指数(基流量与径流量的

比值)BFI 较大的河流主要为位于本区南部的秃尾河、无定河等, 其中秃尾河 BFI 平均为 0.68。这些河流基流比重较大的主要原因, 是这些河流的上中游, 是草滩区和风沙区, 其中秃尾河流域草滩区和风沙区占流域面积的 50%, 无定河风沙区占流域面积的 54%, 这两个类型区, 地势较平坦, 林草覆盖较好, 有利于地下水补给, 一般降水不产生地表径流, 即使发生暴雨, 地表径流也很小, 大部分降水都补给地下水, 地下水资源丰富, 水位埋深较浅, 其补给河流的水量较大。本区北部的河流如黄甫川、孤山川和窟野河, 由于流域基本都属黄土丘陵沟壑区, 植被条件差, 沟谷深切, 补给条件差, 排泄条件好, 不利于地下水储存, 地下水贫乏, 加上流域降水量小, 且以暴雨形式出现, 主要形成地表径流, 因此这些河流基流所占年径流的比例非常低, 如黄甫川、孤山川基流指数分别平均仅为 0.11, 0.18, 这些河流也是水土保持效益不太明显的河流。

表 1 基流计算所选支流情况

Table 1 Information of streams selected for calculating base flow

河名	控制站名	主要地貌类型	日流量系列
黄甫川	黄 甫	黄土丘陵沟壑区	1953~1997
孤山川	高石崖	黄土丘陵沟壑区	1955~1997
窟野河	温家川	沙质、砾质、黄土丘陵沟壑区	1954~1997
秃尾河	高家川	草滩区、风沙区、盖沙区、黄土丘陵沟壑区	1956~1997
佳芦河	申家湾	风沙区、黄土丘陵沟壑区	1957~1997
无定河	白家川	风沙区、河源梁涧区、黄土丘陵沟壑区	1958~1997
清涧河	延 川	黄土丘陵沟壑区	1954~1997

从各支流基流量变化趋势分析, 基本上随年代呈显著下降趋势, 特别是上世纪 70 年代以来, 下降更为显著。如无定河白家川站, 基流量也由上世纪 60 年代 $8.4\times 10^8\text{ m}^3$ 减少到 90 年代 $5.3\times 10^8\text{ m}^3$, 与 60 年代相比, 基流下降了 37%; 相应径流量也大幅下降, 60 年代, 白家川站实测径流量 $15.5\times 10^8\text{ m}^3$, 到 90 年代仅 $9.6\times 10^8\text{ m}^3$, 下降了 38%。其他河流均有此相似变化, 如窟野河温家川站基流量、径流量分别由 60 年代 $2.75\times 10^8\text{ m}^3$, $8.0\times 10^8\text{ m}^3$, 减少到 90 年代 $1.5\times 10^8\text{ m}^3$, $5.1\times 10^8\text{ m}^3$ 。

据分析, 影响河龙区间各河流基流量变化的因素主要有气候变化和人类活动影响等。

从表 2 中可以看出, 河流基流量的变化与降水量的变化有较好地对应关系。各流域降水量基本

表 2 基流计算结果统计

Table 2 Calculation results of base flow of streams					
河名 站名	年代 (水文年)	年均 径流量 / 10^8 m^3	年均 基流量 / 10^8 m^3	降水量 / mm	基流指数 BFI (基 流/径流)
黄甫川 黄甫	1953.07~1960.06	2.42	0.40	474.1	0.16
	1960.07~1970.06	1.98	0.25	428.8	0.13
	1970.07~1980.06	1.98	0.14	390.1	0.07
	1980.07~1990.06	1.49	0.17	372.9	0.11
	1990.07~1997.06	1.17	0.07	355.5	0.06
	年均	1.80	0.20	401.9	0.11
孤山川 高石崖	1955.07~1960.06	1.01	0.22	487.8	0.22
	1960.07~1970.06	1.12	0.24	454.3	0.21
	1970.07~1980.06	0.95	0.18	418.2	0.19
	1980.07~1990.06	0.57	0.08	391.2	0.13
	1990.07~1997.06	0.60	0.07	366.0	0.12
	年均	0.84	0.16	418.7	0.18
窟野河 温家川	1954.07~1960.06	8.24	2.68	478.7	0.33
	1960.07~1970.06	7.24	2.60	428.5	0.36
	1970.07~1980.06	7.07	2.40	410.1	0.34
	1980.07~1990.06	5.07	1.60	381.1	0.32
	1990.07~1997.06	5.10	1.47	365.5	0.29
	年均	6.53	2.16	408.9	0.33
秃尾河 高家川	1956.07~1960.06	3.62	2.43	478.7	0.67
	1960.07~1970.06	4.38	2.97	428.5	0.68
	1970.07~1980.06	3.85	2.56	410.1	0.66
	1980.07~1990.06	3.04	2.10	381.1	0.69
	1990.07~1997.06	2.92	2.08	365.5	0.71
	年均	3.58	2.44	408.9	0.68
佳芦河 申家湾	1957.07~1960.06	0.99	0.31	427.6	0.32
	1960.07~1970.06	0.99	0.39	431.4	0.39
	1970.07~1980.06	0.80	0.32	395.6	0.40
	1980.07~1990.06	0.41	0.20	374.7	0.48
	1990.07~1997.06	0.39	0.16	379.7	0.40
	年均	0.67	0.27	396.9	0.40
无定河 白家川	1958.07~1960.06				
	1960.07~1970.06	15.52	8.43	444.9	0.54
	1970.07~1980.06	12.13	6.70	396.9	0.55
	1980.07~1990.06	10.43	6.05	390.2	0.58
	1990.07~1997.06	9.59	5.32	358.2	0.55
	年均	12.24	6.75	401.6	0.55
清涧河 延川	1954.07~1960.06	1.50	0.26	486.6	0.18
	1960.07~1970.06	1.63	0.41	521.5	0.25
	1970.07~1980.06	1.47	0.40	470.5	0.27
	1980.07~1990.06	1.14	0.49	474.2	0.43
	1990.07~1997.06				
	年均	1.41	0.41	487.2	0.29

呈减少变化趋势,特别是 90 年代,降水量减少最明显;基流量随降水量的减少而减少,如无定河 60 年代,降水量平均为 444 mm,基流量平均为 $8.43\times 10^8\text{ m}^3$,而 90 年代降水量年均仅 358 mm,基流量减少到 $5.32\times 10^8\text{ m}^3$,其他河流均有类似变化。这是因为流域地下水主要由当地降水量补给,降水量的减少,导致地下水补给量减少,相应河流基流量也随之减少。

基流减少的另一个主要原因是流域地下水开采量和非汛期灌溉引水量的增加。近年来,在定边、榆林、神木一带的沙漠草原区,井灌面积不断扩大,地下水开采量大量增加,部分地区地下水位下降 1~2 m,由于地下水位下降,地下水量减少,使补给该地区河川的基流也相应减小。此外,在各流域沟谷地带傍河地下水开采量和非汛期河道灌溉引水量也大量地增加,无疑造成河川基流量的减少。

上世纪 70 年代以来黄土高原开展的大规模水土保持,对流域基流的增加有一定作用,特别在水利水保效益比较明显的河流,但河川基流量大小主要决定于流域降水量大小,水土保持作用对基流的影响主要反映在基流所占径流比例 BFI 的变化上。如无定河、佳芦河、清涧河等,基流指数 BFI 均呈增加的趋势,这是由于水利水保工程的拦水拦沙作用,部分被拦截的水量入渗补给地下水,使基流量有所增加,因此 70 年代以后,这些河流基流所占比例相应增加,如无定河,60 年代为 0.54,80 年代基流指数增大到 0.58;佳芦河 60 年代为 0.39,80 年代基流指数增大到 0.48,清涧河等也有类似的变化,但这些河流 90 年代基流指数有所下降,这与 90 年代发生了较大的洪水有关,对大洪水,水利水保工程减水作用明显降低,遇大暴雨,并不会减少产流,相反还会增加产流^[1],因此基流所占比例相应就低。

为更好说明这个问题,以无定河为例,其径流量与基流指数 BFI 过程线图(图 1,图中年份为水文年,即 1959 年代表 1958.07~1959.07),从图 1 可以看出,年径流量随年代基本呈下降趋势,但基流指数稳中有升,同时 70 年代以来,基流指数与径流量之间关系变化有明显地规律性,在图上两者基本呈对称性分布,径流量越小,基流指数越大,这反映水利水保措施对不同强度降水量的拦水作用,在降水量强度较小时,拦水作用明显,产流少,有利于下渗,相应基流指数 BFI 增大,反之,基流指数 BFI 就

低。而北部皇甫川、孤山川和窟野河等河流的基流指数没有这种变化, 一方面是因为这些流域的水保效益不明显, 拦水作用不明显, 同时这些地区地下水位埋藏较深, 加上此区域气候干旱, 减少的水量主要以蒸发形式损失掉, 对地下水的补给作用很小。

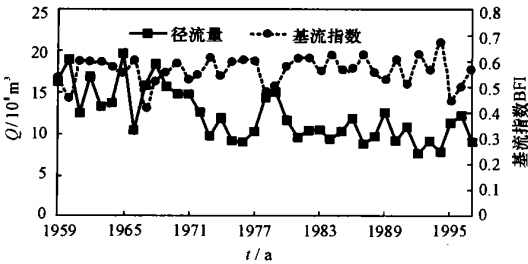


图 1 无定河径流量与基流指数 BFI 过程线

Fig. 1 Hydrograph of runoff and base flow index of Wuding river

5 结论

根据河龙区间各支流基流计算结果及其分析, 可得出以下结论:

- (1)河龙区间基流量, 决定于流域的气候、地形地貌和地质、水文地质条件, 本区南部的秃尾河、无定河基流指数较大, 而北部皇甫川、孤山川等支流基流指数较小。
- (2)河龙区间各支流基流变化基本呈显著减少

的趋势, 基流减少的原因主要有两方面, 一方面是气候变化, 上世纪 70 年代来流域降水量呈减少趋势; 另一个原因是流域内地下水开采量和非汛期河道引水量的大幅增加, 使地下水补给河流量减少。

(3)上世纪 70 年代以来黄土高原开展的大规模水土保持工作, 对流域基流的增加有一定作用, 反映在基流指数的增大, 特别是水土保持效益较好地河流, 如无定河等, 与 60 年代相比, 70~80 年代基流指数有所上升; 而水土保持效益不太明显的河流如皇甫川、孤山川等支流, 基流指数增加则不明显。

(4)基流变化对黄河水资源影响较大。由于气候和人类活动影响, 河川基流减少, 必将减少黄河径流量。因此, 应加强黄河流域基流变化的研究。

成文中, 得到长安大学王文科教授的指导, 在此谨表谢意。

[参 考 文 献]

[1] 汪岗, 范昭. 黄河水沙变化研究(第二卷)[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002. 131~165.

[2] Wahl K L, Wahl T L. Detemining the flow of comal springs at new braunfels[A]. Texas water ' 95, American society of civil engineers [Q]. Texas: San Antonio, 1995. 16~17, 77~86.

[3] Wahl K L, Wahl T L. Effects of regional ground-water declines on streamflows in the oklahoma Panhandle[A]. American water resources association. symposium on water-use data for water re-sources management[C]. Tucson, Arizona: 1988. 239~249.

Analysis on the characteristic and variation of base flow in loessial plateau of the middle reaches of Huanghe River

QIAN Yun-ping¹, JIANG Xiu-hua², JIN Shuang-yan², ZHANG Pei-de²

(1. Institute of Environmental Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Hydrology Bureau, Yellowriver Conservancy Commission, Zhengzhou 450004, China)

Abstract Base-flow of the rivers in loessial plateau of Huanghe basin has been decreasing obviously because of change of climate and effects of human activities in the recent years which has great influence on the decrease of the runoff of Huanghe river. In this paper, the base-flow of the main rivers between Hekouzhen and Longmen of Huanghe river were calculated by using daily discharge hydrograph separation method. Combined with the local topography and hydrogeology condition, the feature of base flow in the area and the influences of climate and human activities on the variations of base-flow are analyzed.

Key words: loessial plateau; base-flow; daily discharge hydrograph separation method; base flow index

(英文审定: 苏生瑞)