

Analysis on Base Flow Changes of Key Tributary in the Middle Reaches of the Yellow River

Shuili Tian¹, Hongwen Zhou¹, Wenxing Lv^{1*}, Can Zhang²

¹Hydrology Bureau, YRCC, Zhengzhou Henan

²Beijing Branch of China Water Resources Pearl River Planning Surveying and Designing Limited Company, Beijing
Email: 86608640@qq.com, *489428073@qq.com

Received: Jun. 13th, 2017; accepted: Jun. 30th, 2017; published: Jul. 4th, 2017

Abstract

Based on the daily runoff data records from the dawn of observation records to 2010 from hydrological station of five tributaries in the middle reaches of the Yellow River, the average daily flow process line was used for cutting base flow and the base flow variation trend of the five tributaries was studied. The results show that the base flow and surface runoff of the five tributaries have a trend of decrease, which demonstrates three relatively stable time frame (before 1980, 1981-1998 and 1999-2010). The ratios of base flow reduction to runoff reduction from high to low are 57.8%, 32.0%, 20.3% and 15.2% for Tuwei, Jialu, Kuye, Gushan and Huangfu rivers, respectively. From north to south and from east to west, in the reduction of runoff, the proportion of groundwater recharge is decreased. On this basis, the influence factors such as landform, geological structure, hydrological and meteorological and human activities on river base flow are discussed. The artificial factors such as water used by production and construction and exploitation of groundwater are the main control factors on the changes of regional river base flow trend.

Keywords

Base Flow, Base Flow Index, Change Law, Middle Reaches of the Yellow River

黄河中游重点支流基流变化研究

田水利¹, 周鸿文¹, 吕文星^{1*}, 张 灿²

¹黄河水利委员会水文局, 河南 郑州

²中水珠江规划勘测设计有限公司北京分公司, 北京
Email: 86608640@qq.com, *489428073@qq.com

作者简介: 田水利(1962-), 男, 河南人, 高级工程师, 研究方向: 水文水资源。
*通讯作者。

收稿日期：2017年6月13日；录用日期：2017年6月30日；发布日期：2017年7月4日

摘要

利用黄河中游河龙间5条入黄一级支流水文站自有观测纪录以来至2010年日径流资料，采用逐日平均流量过程线进行了基流切割，研究了五支流基流变化趋势。结果表明，五支流基流和地表径流均呈减少趋势，呈现出1980年前、1981~1998年、1999~2010年三个相对平稳的时段，第一时段和第三时段基流减少与径流减少的比值从高到低依次为：秃尾河57.8%、佳芦河37.2%、窟野河32.0%、孤山川20.3%、皇甫川15.2%，由北向南、由东向西，在河川径流减少量中，地下水补给减少的比重升高。在此基础上探讨了地形地貌、地质构造、气象水文和人类活动等对河川基流的影响，认为区域生产建设用水和地下水开采等人为因素是区域河川基流趋势性变化的主要控制因素。

关键词

基流，基流指数，变化规律，黄河中游

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

黄河中游皇甫川、孤山川、窟野河、秃尾河和佳芦河5条入黄一级支流(以下简称“五支流”)，位于黄河中游鄂尔多斯盆地东缘，地跨陕西省、内蒙古2省(区)，处于我国北温带大陆性半干旱气候区，降水稀少，蒸发强烈，生态环境脆弱，荒漠化和水土流失问题非常严重。河川基流量是地下水补给河川径流的水量，对河川径流形成和维持具有重要作用，五支流基流的来源主要为大气降水，不同地形地貌和地质条件，降水入渗能力有所差别。由于自然和人为活动的影响，区域河川基流呈趋势性减少，并呈现出各自不同的特点。根据五支流皇甫、高石崖、温家川、王道恒塔、新庙、申家湾、高家川和高家堡等8个水文站日径流资料，采用逐日平均流量过程线切割法[1]，对有观测记录以来至2010年的基流进行切割，分析了各支流基流变化特点和趋势，并对基流变化原因进行了探讨。

2. 基流变化分析

由图1可见，自20世纪50年代以来，五条支流的基流量均呈减少趋势，各支流地表产流同样也呈不断减少趋势，变化规律近似地呈现出三个时段，即1980年前，1981~1998年，1999~2010年。从各支流基径指数变化趋势来看具有不同的特点，皇甫川皇甫站基流指数呈下降趋势，窟野河温家川站和孤山川高石崖站呈先降后升趋势，而秃尾河高家川站和佳芦河申家湾站呈平稳趋势。五支流平均基流指数为38%，各支流基流指数从高到低依次为：秃尾河基流指数最高达66%、佳芦河43%、窟野河31%、孤山川18%、皇甫川仅为11%。

由表1可见，五支流三个时段基流量之和分别为5.8亿 m^3 、3.7亿 m^3 、2.2亿 m^3 ，基流指数分别为38%、36%和49%。通过第一时段与第二时段、第二时段与第三时段、第一时段与第三时段基流减少与径流减少的数量相比，五支流分别为41.9%、26.1%、33.5%，但该指标在各支流的差异极为明显，第一时段和第三时段相比从高到低依次为：秃尾河该比值达57.8%、佳芦河37.2%、窟野河32.0%、孤山川20.3%、皇甫川仅为15.2%。

五支流年径流量之和

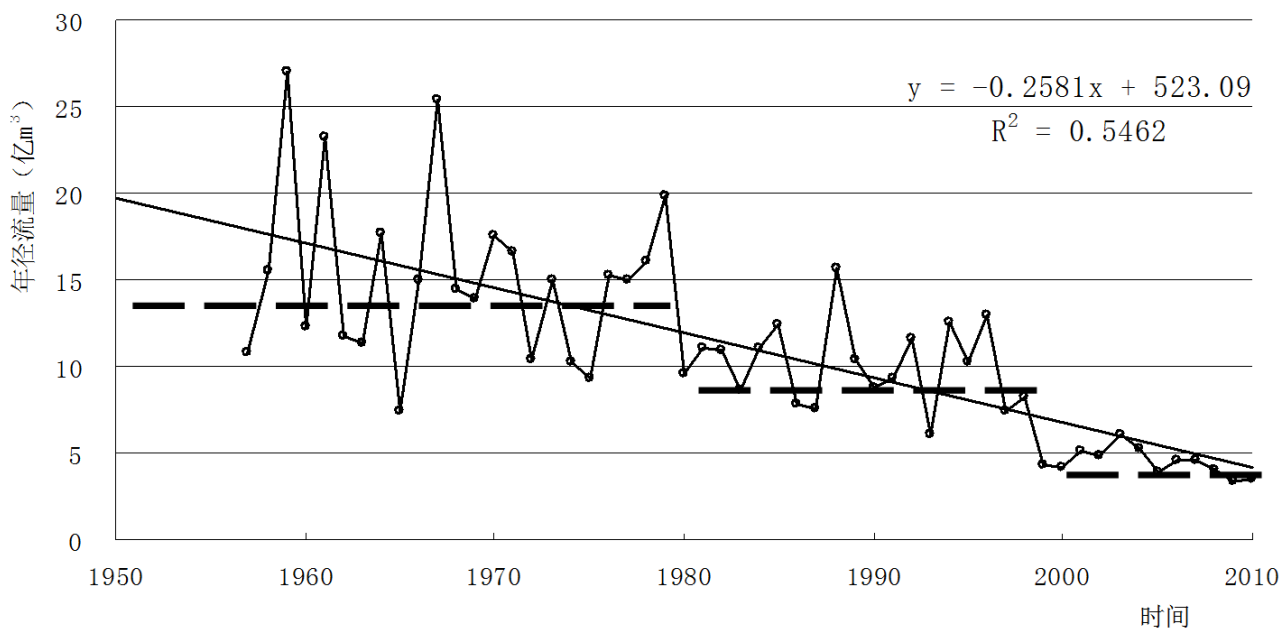


Figure 1. The change trend of the sum of five tributaries' runoff in the study area
图 1. 研究区五支流径流量之和变化趋势

从五支流对黄河径流量的贡献来看,窟野河径流量占五支流径流量的比例由原来接近 50%下降至近 10 年的 37%,而秃尾河由多年平均 29%上升为近 10 年的 47%;窟野河基流占五支流基流的比例由多年平均的 39%下降为 26%,而秃尾河基流占比由多年平均的 49%上升为近 10 年的 68%,由此可以看出,维持秃尾河的基流量具有重要意义。

2.1. 皇甫川

由图 2 可见,根据皇甫站观测数据统计分析,皇甫川流域基流量的总体特点是从 1953~2010 年基流量呈逐渐减少趋势,基流指数也呈不断下降的趋势,扣除基流后,地表产流也呈逐渐减少趋势。1953~1980、1981~1998、1999~2010 年三个时段平均年基流量分别为 2567 万 m³、865 万 m³、102 万 m³;基流指数分别为 13%、8%、3%。第一时段和第二时间相比、第二时段和第三时段相比、第一时段和第三时段相比,基流减少与径流减少的比例分别为 21.5%、9.2%、15.2%。

皇甫站年基流指数多年均值为 11%,最大值为 28%,2009-2010 年基流量仅为 9 万 m³和 2 万 m³。尤其是 2010 年,基流指数为 0.3%,为建站以来最小值。

从长时段看,皇甫川年降水量呈减少趋势,第 3 时段较第 1 时间减少了约 30%,第 3 时段均值较多年均值减少了 22%。

2.2. 孤山川

由图 2 可见,根据高石崖站观测数据统计分析,孤山川基流量呈逐年下降态势,但在 1999 年后径流量和基流量均相对平稳。1953~1980、1981~1998、1999~2010 年三个时段平均年基流量分别为 1995 万 m³、655 万 m³、286 万 m³;基流指数分别为 20%、12%、17%。第一时段和第二时间相比、第二时段和第三时段相比、第一时段和第三时段相比,基流减少与径流减少的比例分别为 29.7%、9.5%、20.3%。

Table 1. The calculation results of the various tributaries of the research district
表 1. 研究区各支流基流计算结果统计表

站名	时间	年均径流量 (10 ⁸ m ³)	年均基流量 (10 ⁴ m ³)	基流指数 BFI (基流/径流%)	年均降水量 (mm)	五支流径流 占比(%)	五支流基流 占比(%)	基流减少/径流减少(%)
皇甫川 皇甫	1953~1980	19,385	2567	13	430	12.7	4.4	
	1981~1998	11,480	865	8	366	11.3	2.3	21.5
	1999~2010	3187	102	3	298	7.1	0.5	9.2
孤山川 高石崖	1953~2010	13,580	1529	11	383	12.0	3.5	15.2
	1953~1980	10,110	1995	20	451	6.6	3.4	
	1981~1998	5600	655	12	387	5.5	1.8	29.7
	1999~2010	1701	286	17	369	3.8	1.3	9.5
窟野河 温家川	1953~2010	6970	1226	18	414	6.1	2.8	20.3
	1953~1980	73,523	23,925	33	394	48.3	41.2	
	1981~1998	50,882	14,150	28	353	49.9	38.2	43.2
窟野河 王道恒塔	1999~2010	16,515	5683	34	378	36.9	25.7	24.6
	1953~2010	54,702	17,117	31	377	48.2	39.2	32.0
	1959~1980	24,660	7779	32	416	16.2	13.4	
	1981~1998	16,265	4662	29	414	16.0	12.6	37.1
窟野河 新庙	1999~2010	6492	2622	40	404	14.5	11.9	20.9
	1959~2010	17,561	5510	31	413	15.5	12.6	28.4
	1966~1980	13,290	2501	19	399	8.7	4.3	
佳芦河 申家湾	1981~1998	8583	1477	17	400	8.4	4.0	21.8
	1999~2010	2537	616	24	416	5.7	2.8	14.2
	1966~2010	8540	1588	19	403	7.5	3.6	17.5
秃尾河 高家川	1957~1980	8385	3302	39	428	5.5	5.7	
	1981~1998	4373	1883	43	397	4.3	5.1	35.4
	1999~2010	2274	992	46	426	5.1	4.5	42.5
秃尾河 高家堡	1957~2010	5669	2284	43	417	5.0	5.2	37.8
	1957~1980	40,797	26,303	64	412	26.8	45.3	
	1981~1998	29,585	19,452	66	387	29.0	52.6	61.1
五支流合计	1999~2010	21,103	15,032	71	327	47.1	68.0	52.1
	1957~2010	32,683	21,514	66	386	28.8	49.3	57.2
	1967~1980	34,070	23,545	69	430	22.4	40.5	
五支流合计	1981~1998	23,417	17,108	73	381	23.0	46.2	60.4
	1999~2010	17,998	14,508	81	395	40.2	65.7	48.0
	1967~2010	25,329	18,447	73	401	22.3	42.2	56.2
五支流合计	1967~1980	152,201	58,091	38		5.5	44.8	
	1981~1998	101,920	37,004	36		4.7	56.6	41.9
	1999~2010	44,780	22,094	49		2.8	56.0	26.1
五支流合计	1953~2010	113,605	43,669	38		4.8	47.3	33.5

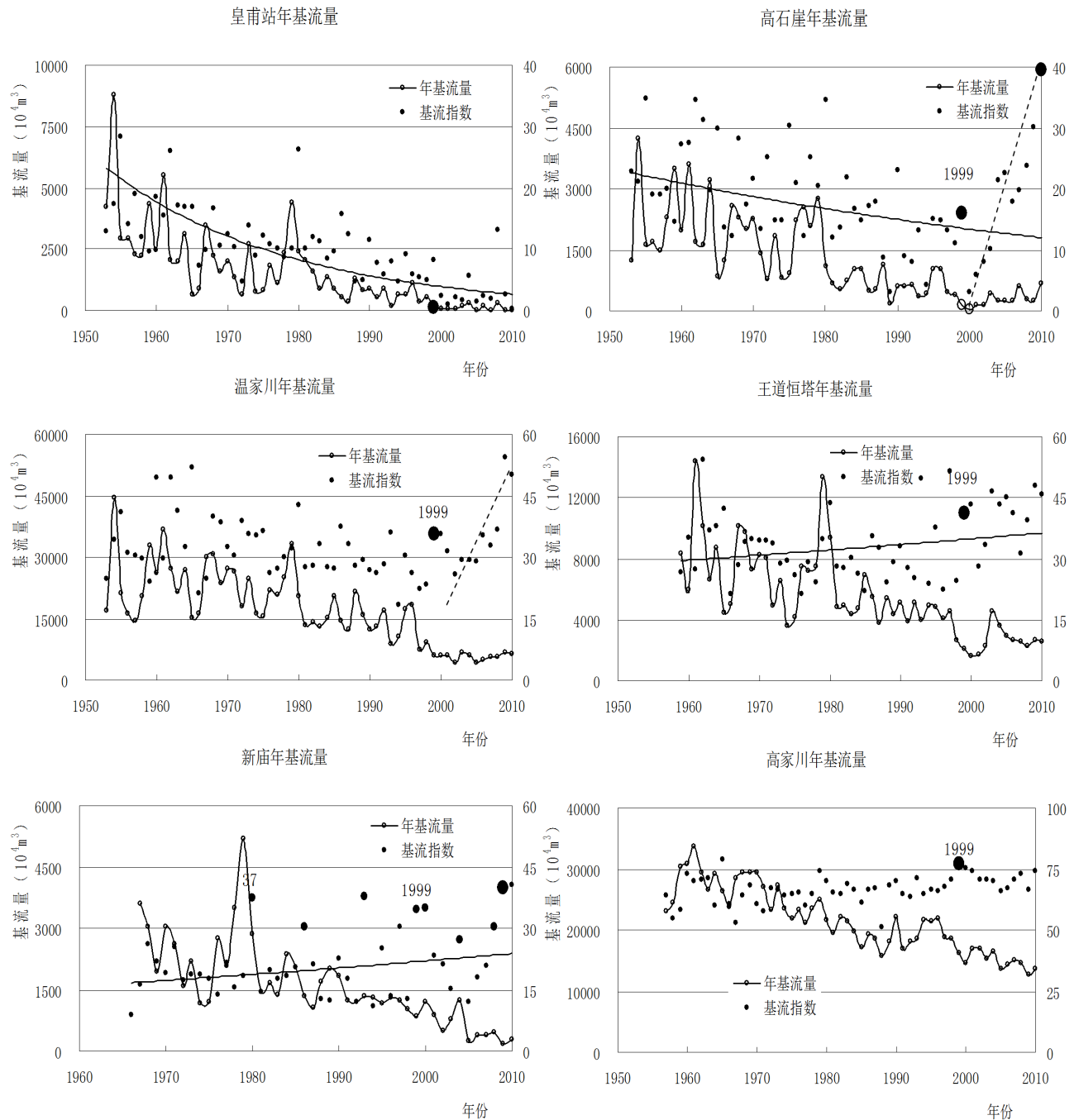
注：径流占比合计为五支流占吴堡径流比例，基流占比合计为头道拐至吴堡间径流比例。

高石崖站基流指数多年均值为 18%。值得注意的是, 1999 年后, 基流指数由下降转为快速上升趋势, 且在 2010 年达到历史高值 40%, 说明 2010 年后孤山川在河川径流相对平稳的情况下, 基流不断增加, 而地表产流仍呈减少趋势。

从长时段看, 孤山川年降水量呈减少趋势, 第 3 时段较第 1 时间减少了约 18%, 第 3 时段均值较多年均值减少了 11%。

2.3. 窟野河

由图 2 可见, 根据温家川站观测数据统计分析, 窟野河基流量呈下降趋势, 1999 年后大幅减少, 并呈平稳



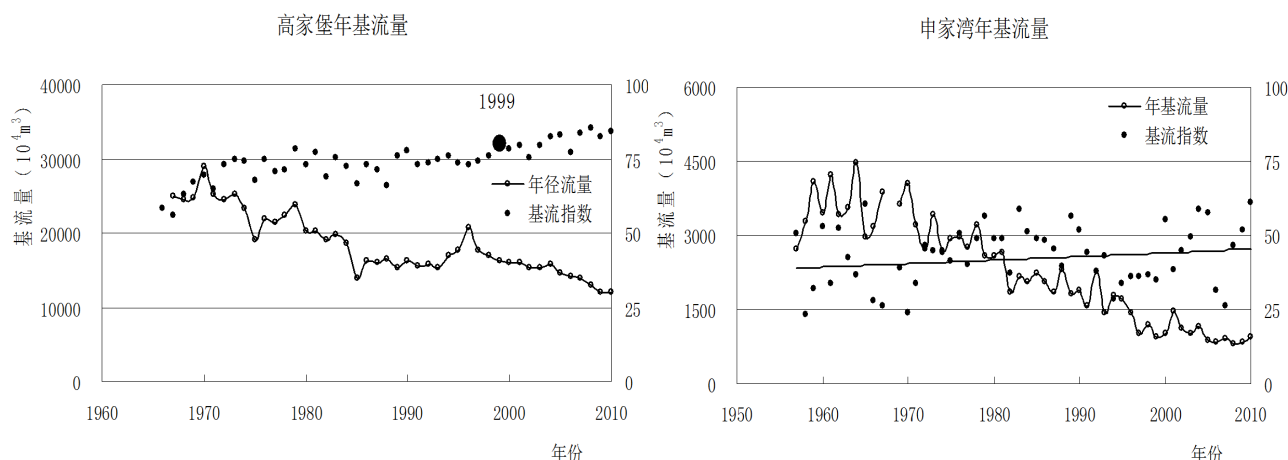


Figure 2. The change trend of annual base flow rate and basis flow index of the hydrological station in the five tributaries
图 2. 五支流各水文站年基流量及基流指数变化趋势

态势。1953~1980、1981~1998、1999~2010 年三个时段平均年基流量分别为 23,925 万 m³、14,150 万 m³、5683 万 m³；基流指数分别为 33%、28%、34%。第一时段和第二时间相比、第二时段和第三时段相比、第一时段和第三时段相比，基流减少与径流减少的比例分别为 43.2%、24.6%、32.0%。

温家川站基流指数多年均值为 31%，1999 年前相对平稳，1999 年后呈上升趋势。可以看出，1999 年后在河川径流平稳的情况下，基流量不断增加，而地表产流不断减少。2009 年基流指数达建站以来最站值 54%。

由图 2 可见，根据窟野河支流乌兰木伦河王道恒塔站观测数据统计分析，乌兰木伦河基流量呈下降趋势，2000 年基流量为 1645 万 m³，为有观测记录以来的最小值。1953~1980、1981~1998、1999~2010 年三个时段平均年基流量分别为 7779 万 m³、4662 万 m³、2622 万 m³；基流指数分别为 32%、29%、40%。第一时段和第二时间相比、第二时段和第三时段相比、第一时段和第三时段相比，基流减少与径流减少的比例分别为 37.1%、20.9%、28.4%。

王道恒塔站基流指数多年均值为 31%，1999 年前相对平稳，1999 年后呈上升趋势。1997 年基流指数最高，达 51%。1999 年后地表产流相对平稳，年均 3870 万 m³。

由图 2 可见，根据窟野河支流牯牛川新庙站观测数据统计分析，牯牛川基流量呈下降趋势。1953~1980、1981~1998、1999~2010 年三个时段平均年基流量分别为 2501 万 m³、1477 万 m³、616 万 m³；基流指数分别为 19%、17%、24%。第一时段和第二时间相比、第二时段和第三时段相比、第一时段和第三时段相比，基流减少与径流减少的比例分别为 21.8%、14.2%、17.5%。

新庙站基流指数多年均值为 19%，1999 年前相对平稳，1999 年后呈上升趋势。2010 年基流指数最高，达 41%。1999 年后，地表产流仍呈减少趋势，2009 年 255 万 m³，为有观测记录以来最小值。

2.4. 秃尾河

由图 2 可见，根据秃尾河高家川站观测数据统计分析，秃尾河基流量呈下降趋势，2009 年基流量为 12,696 万 m³，为有观测记录以来的最小值。1953~1980、1981~1998、1999~2010 年三个时段平均年基流量分别为 26,303 万 m³、19,452 万 m³、15,032 万 m³；基流指数分别为 64%、66%、71%。第一时段和第二时间相比、第二时段和第三时段相比、第一时段和第三时段相比，基流减少与径流减少的比例分别为 61.1%、52.1%、57.2%。

高家川站基流指数多年均值为 66%，从长系列看，基流指数呈相对平稳，缓慢上升的态势。秃尾河是五支流中唯一一条基流量大于地表产流的支流，地表产流呈趋势性下降。从高家川和高家堡年径流变化情况可以看出，高家堡以下年径流无较大变化，因此秃尾河径流减少量主要在上游高家堡以上。

由图 2 可见, 根据秃尾河高家堡站观测数据统计分析, 秃尾河上中游基流量呈下降趋势, 2009 年基流量为 12,025 万 m^3 , 为有观测记录以来的最小值。1953~1980、1981~1998、1999~2010 年三个时段平均年基流量分别为 23,545 万 m^3 、17,108 万 m^3 、14,508 万 m^3 ; 基流指数分别为 69%、73%、81%。第一时段和第二时间相比、第二时段和第三时段相比、第一时段和第三时段相比, 基流减少与径流减少的比例分别为 60.4%、48.0%、56.2%。

高家堡站基流指数多年均值为 73%, 从长系列看, 基流指数呈缓慢上升的态势, 而地表产流呈趋势性下降。2008 年, 基流指数达到 86%, 为有观测记录以来的最高值。

孤山川下游年降水量呈减少趋势, 第 3 时段较第 1 时间减少了约 20%, 第 3 时段均值较多年均值减少了 15%。上游高家堡以上年降雨量呈先减后增趋势, 第 3 时段较第 1 时间减少了约 8%, 第 3 时段均值较多年均值相比基本无变化。

2.5. 佳芦河

由图 2 可见, 根据佳芦河申家湾站观测数据统计分析, 佳芦河基流量呈下降趋势, 2008 年基流量为 796 万 m^3 , 为有观测记录以来的最小值。1953~1980、1981~1998、1999~2010 年三个时段平均年基流量分别为 3302 万 m^3 、1883 万 m^3 、992 万 m^3 ; 基流指数分别为 39%、43%、46%。第一时段和第二时间相比、第二时段和第三时段相比、第一时段和第三时段相比, 基流减少与径流减少的比例分别为 35.4%、42.5%、37.8%。

申家湾站基流指数多年均值为 43%, 从长系列看, 基流指数呈缓慢上升的态势, 而地表产流呈趋势性下降。2010 年, 基流指数达到 61%, 为有观测记录以来的最高值。

佳芦河年均降水量无明显增减趋势。

3. 基流变化影响因素分析

受特定的地形地貌、地质构造、气象水文以及人类活动等条件的制约和影响, 五支流“三水”转化是具有单向特征的动态平衡系统, 河川基流减少也是时段水均衡的表现形式之一, 而河川基流锐减只有在气候条件发生较大的变化、大规模的水利水电工程建设和地下水开采量发生较大变化的前提下才可能出现[2]。该区域从地形地貌和地质构造等方面可划分为盖沙低山丘陵区、沙漠滩区和黄土丘陵沟壑区三类, 下面对三类地区分别从降水、地下水、地质及人为影响因素等方面对基流的影响进行综合分析。

3.1. 盖沙低山丘陵地区

盖沙低山丘陵地区主要分布于窟野河支流乌兰木伦河, 为一构造剥蚀高原, 高原表面广泛覆盖着现代风积沙, 厚度在数米至数十米间不等, 第四系风积沙下均以河流相砂岩沉积为主。据有关研究, 地下水补给以大气降水入渗为最主要补给方式[3], 大气降水入渗系数约为 0.15, 降水入渗补给占总地下水总补给量的 96%以上, 地表水渗漏对地下水的补给作用较小, 不到总补给量的 1%, 亦不存在地下水侧向补给条件, 灌溉入渗补给量仅占地下水补给总量的 1.5%左右, 全年大气凝结水为 15.1 mm, 约占全年降水量的 5%, 基本不参与包气带水分运移, 还有相当一部分水量白天被蒸发, 对地下水不会形成补给。区域地下水的排泄方式有蒸发蒸腾、向地表水溢出、人工开采和侧向断面径流。由于区域地形相对平缓、水位埋藏深度较小, 潜水的蒸发排泄是最主要排泄方式。其中蒸发排泄占总排泄量的 60.92%, 向地表水排泄占 26.83%, 其他排泄仅占 12.25%。

综合分析, 影响该区域地下水动态变化的自然因素主要为降水与蒸发, 窟野河王道恒塔以上年均降雨量无趋势性增减变化, 但暴雨减少, 雨强有所降低, 丰水年和枯水年减少, 平水年增加; 蒸发量呈缓慢减小趋势, 年际间波动加剧; 该区域大规模的煤炭开采导致大量疏干地下水[4], 国民经济各产业用水也呈逐渐增长态势。该区域基流模数由 1980 年前的 $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 下降到近 10 年的 $0.68 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。经调查分析, 2009 年乌兰木伦河径流量为 0.55 亿 m^3 , 基流量为 0.26 亿 m^3 , 煤矿疏干水排放量约 0.27 亿 m^3 。初步认为, 该区基流动态反映出自然因素和人为影响双重作用的结果, 降水因素在影响着基流的波动变化, 地下水人工开采控制着基流

的趋势性变化,而矿井疏干水排放成为区域河川径流的重要组成部分。

3.2. 沙漠滩地区

沙漠滩地区主要分布于窟野河考考乌苏沟以南、秃尾河高家堡以西,位于毛乌素沙漠的东南部[1]。地区地下水的径流与排泄主要受地形条件制约,地下水从周边分水岭地带接受补给后,向沟域中心径流。在窟野河考考乌素沟和秃尾河中游侏罗系砂泥岩因煤层自燃时变质而成的烧变岩分布区,降水在沟脑部位补给发育的裂隙空洞,形成强径流带而汇集成泉排泄,或以第四系泉水和溢流的形式在谷坡脚排泄。局部地段受煤炭开采的影响,煤矿采空区顶板形成的部分冒落带裂隙与侏罗系碎屑岩裂隙含水层沟通,引发周围裂隙地下水往井巷、采空区径流,集聚成煤矿矿坑排水抽出地表[5]。

该区地下水以泉和渗流的方式排泄,在水位浅埋处尚存在蒸发排泄。基流指数由1980年前的69%上升到近10年的81%。秃尾河流域高家堡以上年均降雨量1980年后比1980年前减少约8%,1980年后丰枯期波动减小;该区域基流模数由1980年前的 $11.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 下降到近10年的 $6.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。初步认为,基流动态反映出降水减少和人为活动的双重影响,地下水开采等人为因素是1980年后基流减少的主要原因。

3.3. 黄土丘陵沟壑区

黄土丘陵沟壑区分布于五支流其它区域。黄土丘陵沟壑区地面切割强烈,河流、沟谷密集,呈现出波状起伏的黄土丘陵地貌景观。该区地下水补给来源有大气降水入渗补给,黄土丘陵区因地势高差大,地形破碎,不利于大气降水直接入渗,降水大部以地表径流排泄,补给地下水的水量非常少;侏罗系烧变岩分布带地下水主要接受上覆第四系萨拉乌苏组和黄土地下水的补给,烧变岩带是良好的集水和导水通道,在构造有利区段形成强富水区,水位高于侵蚀基准面后,以下降泉的形式排泄。

该区影响地下水动态变化的主要因素是降水、蒸发、农灌及地下水开采等。该区域降水对地下水的补充一般为冰雪消融后的3~4月份和雨季9~10月,且与降水和蒸发关系极为密切。基流变化趋势除与降水量减小、工农业用水持续增加有关外,随着河川径流量减小到极点,矿井疏排水对其影响逐渐加大。

4. 结论

(1) 根据五支流皇甫、高石崖、温家川、王道恒塔、新庙、申家湾、高家川和高家堡等8个水文站日径流资料,采用逐日平均流量过程线切割法,对有观测记录以来至2010年的基流进行切割,分析了各支流基流变化特点和趋势。自20世纪50年代以来,五支流的基流量均呈减少趋势,扣除基流后地表产流同样也呈不断减少趋势,这与钱云平等[6]研究结论一致。五支流基流指数变化趋势不同,皇甫川皇甫站基流指数呈下降趋势,窟野河温家川站和孤山川高石崖站呈先降后升趋势,而秃尾河高家川站和佳芦河申家湾站呈平稳趋势。基流指数从高到低依次为:秃尾河66%、佳芦河43%、窟野河31%、孤山川18%、皇甫川11%,表明黄土丘陵区地表径流组成主要为地表洪峰流量,沙漠滩区径流组成主要为河川基流,从黄土丘陵区到沙漠滩区,地表、地下水转化关系愈为密切。

(2) 基流变化规律近似地呈现出三个时段,即1980年前,1981~1998年,1999~2010年,第一时段和第三时段基流减少与径流减少的比值从高到低依次为:秃尾河57.8%、佳芦河37.2%、窟野河32.0%、孤山川20.3%、皇甫川15.2%,由北向南、由东向西,在河川径流减少量中,地下水补给减少的比重升高。

(3) 秃尾河是五支流中基流量大于地表产流的唯一支流,高家堡以下年径流无较大变化,因此秃尾河径流减少量主要在高家堡以上。从五支流年径流、断流、基流和洪量的分析显示,1996~1999年4年间五支流径流大幅减少2/3,约11亿 m^3 ,期间皇甫川、孤山川、窟野河、秃尾河和佳芦河洪量减少占径流减少的比例分别为94.3%、85.5%、77.1%、52.8%、60.9%。

(4) 综合来看, 河川基流的演变规律, 既受自然条件的控制, 又受社会环境、特别是人类活动的影响而发生变化。研究区不在我国地震带上, 不存在偶然和急剧的地质变动引起水位或流量较大的变动, 地质对河川基流的影响是相对稳定的一个因素。区域采煤疏干地下水、生产生活开采地下水等导致地下水位持续下降, 基流量减少; 而农田灌溉引起潜水位持续上升, 修建水库、塘坝和拦河坝等拦蓄了地表径流等, 可能对基流产生正反方向的影响, 钱云平等[6]研究曾结论类似; 采矿改变了区域地下水补给、径流和排泄循环规律。在不同区域不同时段, 降水因素影响河川基流的波动变化, 区域用水量和地下水开采量不断增加成为一种常态的现实情况下, 人为因素控制着基流的趋势性变化。

参考文献 (References)

- [1] 陈利群, 刘昌明, 李发东, 等. 基流研究综述[J]. 地理科学进展, 2006, 25(1): 1-15.
CHEN Liqun, LIU Changming, LI Fadong, et al. Reviews on base flow researches. Progress in Geography, 2006, 25(1): 1-15. (in Chinese)
- [2] 王雁林, 王文科, 钱云平, 等. 黄河河川基流量演化规律及其驱动因子探讨[J]. 自然资源学报, 2008, 23(3): 479-486.
WANG Yanlin, WANG Wenke, QIAN Yunping, et al. Change characteristics and driving forces of base flow of Yellow River basin. Journal of Natural Resources, 2008, 23(3): 479-486. (in Chinese)
- [3] 朱芮芮, 郑红星, 刘昌明, 等. 黄土高原典型流域地下水补给-排泄关系及其变化[J]. 地理学报, 2010, 30(1): 108-112.
ZHU Ruirui, ZHENG Hongxing, LIU Changming, et al. Changes of groundwater recharge and discharge in watershed of the Loess Plateau. Scientia Geographica Asinica, 2010, 30(1): 108-112. (in Chinese)
- [4] 雷泳南, 张晓萍, 张建军, 等. 窟野河流域河川基流量变化趋势及其驱动因素[J]. 生态学报, 2013, 33(5): 1559-1568.
LEI Yongnan, ZHANG Xiaoping, ZHANG Jianjun, et al. Change trends and driving factors of base flow in Kuye river catchment. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(5): 1559-1568. (in Chinese)
- [5] 吕新, 王双明, 杨泽元, 等. 神府东胜矿区煤炭开采对水资源的影响机制[J]. 煤田地质与勘探, 2014, 42(2): 54-61.
LYU Xin, WANG Shuangming, YANG Zeyuan, et al. Influence of coal mining on water resources: A case study in Kuye river basin. Coal Geology & Exploration, 2014, 42(2): 54-61. (in Chinese)
- [6] 钱云平, 蒋秀华, 金双彦, 等. 黄河中游黄土高原区河川基流特点及变化分析[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(2): 88-91.
QIAN Yunping, JIANG Xiuhua, JIN Shuangyan, et al. Analysis on the characteristic and variation of base flow in loessial plateau of the middle reaches of Huanghe River. Journal of Earth Sciences and Environment, 2004, 26(2): 88-91. (in Chinese).