

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2017.05.013

窟野河流域径流变化及其影响因素研究

郭巧玲¹, 韩振英¹, 丁斌², 苏宁¹

(1. 河南理工大学资源环境学院, 河南 焦作 454003; 2. 黄河水利委员会信息中心, 河南 郑州 450003)

摘要:依据窟野河入黄控制站——温家川水文站 1955—2013 年实测径流和降水数据, 通过线性趋势、累积距平曲线、R/S 等分析方法, 分析了窟野河年、汛期、非汛期径流变化特性。同时, 采用 M-K 秩相关检验、双累积曲线法分析了降水及人类活动对年、汛期、非汛期径流变化的影响。结果表明: ①年、汛期、非汛期径流量总体上均表现出减少趋势, 且未来一段时间 3 个时段径流量均有持续减少的态势; ②年、汛期和非汛期径流量的阶段性变化特征为 1955—1978 年处于明显上升阶段, 1979—1995 年在微弱的波动中下降, 1996—2013 年呈现显著的下降趋势; ③1979—1995 年, 降水对年、汛期径流量减少的影响值分别为 0.868 亿 m³ 和 0.810 亿 m³, 是影响径流量减少的主要原因之一; 1996—2013 年, 人类活动成为影响年、汛期径流量减少的主导因素, 影响值分别高达 4.622 亿 m³ 和 3.198 亿 m³。对于非汛期, 1979 年以来, 人类活动一直是影响径流量减少的主导因素且呈增加趋势。

关键词:径流变化; 累积距平曲线; R/S 分析; M-K 秩相关检验; 双累积曲线法; 窟野河

中图分类号:TV121 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2017)05-0075-06

Study of runoff variation characteristics and influence factors in Kuye River

GUO Qiaoling¹, HAN Zhenying¹, DING Bin², SU Ning¹

(1. Institute of Resource & Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China;

2. Information Center of Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Based on the actual measurement of precipitation and runoff data in Wenjiachuan hydrological station during the year of 1955—2013, the variation of annual, flood season and non-flood season runoff were studied by Linear trend, cumulative anomaly curve, R/S analysis. Meanwhile, the effects of precipitation and human activities on annual, flood season and none-flood season runoff variation were analyzed by M-K correlation test and double mass curve method. The results showed that: (1) the runoff of annual, flood season and non-flood season in Kuyeriver had a decreasing tendency, and this decreasing trends would continue during certain period of time in the future. (2) The stage change characteristics of annual, flood season and non-flood season runoff rise significantly in 1955—1978, decrease with the weak fluctuation in 1979—1995, and displays the significant downward trend in 1996—2013. (3) In 1979 - 1995, precipitation was one of the main factors to influence the runoff variation of annual and flood season, and the influence values reached to $0.868 \times 10^8 \text{ m}^3$ and $0.810 \times 10^8 \text{ m}^3$ respectively. In 1996 - 2013, human activities became the main force to affect the annual and flood season runoff decrease, and the influence values had come to $4.622 \times 10^8 \text{ m}^3$ and $3.198 \times 10^8 \text{ m}^3$ respectively. For the non-flood season, human activities have been the dominant factor to affect the runoff change since 1979 and its influence are on the increase.

Key words: runoff variation; cumulative anomaly curve; R/S analysis; M-K correlation test; Kuye River

基金项目: 国家自然科学基金(41201020); 河南省高校科技创新团队支持计划项目(15IRTSTHN027)

作者简介: 郭巧玲(1978—), 女, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事水文水环境方面的研究。E-mail: guoqiaoling@hpu.edu.cn

河川径流是自然界的重要水资源之一,径流变化将直接影响流域水资源的配置和利用,对当地经济、生态环境产生重大影响^[1]。近年来,在人类活动和气候变化的影响下,我国大部分河流的径流过程发生了变化^[2]。窟野河地处干旱半干旱地区,近年来河川径流显著减少。已有学者对河川径流的年际变化做了大量研究^[3-6],而对汛期、非汛期径流变化规律,及其对年径流变化影响的研究少见。本文对窟野河年、汛期(5—10月)、非汛期(11月—翌年4月)3个时段的径流变化进行研究,了解不同时段径流的变化规律,年径流量不断减少的影响时段,以期为流域水资源合理配置和利用提供参考。

1 研究区概况

窟野河发源于内蒙古自治区东胜区境内的巴定沟,流经伊金霍洛旗,在陕西省神木县店塔镇与悖牛川交汇,于神木县贺家川乡沙峁头村汇入黄河,干流全长242 km,是黄河中游一级支流。流域面积8 706 km²,年均降雨量在393 mm左右,年均蒸发量达1 325 mm^[7]。流域下垫面条件复杂,上游是风沙草原区,中下游是黄土沟壑区,地形破碎,是黄河中游水土流失严重的多沙粗沙支流之一^[8]。受大陆性季风的影响,流域内春季干旱、少有降雨,夏季时有暴雨发生,秋季降霜且结冻较早,冬天寒冷且降雪稀少^[9]。

2 数据来源与研究方法

研究所用数据为入黄控制站——温家川水文站(以下简称温家川站)1955—2013年径流和降水资料,这些资料来自温家川站的实际观测。研究方法包括线性趋势分析、累积距平曲线、M-K统计检验^[10]、R/S分析法^[11-12]、双累积曲线法^[13]等。

3 径流变化分析

3.1 径流基本特性

极值比、变差系数是描述径流变化特征的2个重要指标。极值比、变差系数的值越大,表明径流分配越不均匀。从表1可以看出,温家川站最大年径流量出现在1959年(13.706 2亿m³),最小年径流

量出现在2010年(1.129 7亿m³),变差系数、极值比分别为0.56和12.13。温家川站最大汛期径流量(1959年)为11.478 2亿m³,最小汛期径流量(2009年)是0.616 9亿m³,变差系数、极值比分别为0.71和18.61。温家川站最大非汛期径流量是3.090 2亿m³,出现在1961年,最小非汛期径流量是0.433 3亿m³,出现在2010年,变差系数、极值比分别为0.40和7.13。变差系数、极值比的大小顺序依次是汛期、年和非汛期,说明汛期径流分配最为不均匀。

分析不同时期温家川站年、汛期、非汛期径流量变化特征及汛期、非汛期径流量比例变化,结果见表2。20世纪50—70年代,年平均径流量均在7亿m³以上,到80年代减少到5.326 8亿m³,90年代进一步减少到4.482 3亿m³,21世纪迅速减少到1.934 1亿m³。汛期径流量20世纪70年代以前在5亿m³左右,80—90年代在3亿m³以上,21世纪快速下降到1.163 4亿m³。非汛期径流量20世纪70年代以前在2亿m³以上,到了80—90年代下降到1亿m³以上,21世纪已不足1亿m³。20世纪期间,径流量占年径流量的比例范围,汛期是65.58%~71.46%,非汛期是28.54%~34.42%;到了21世纪,汛期径流量占年径流量的比例迅速下降到60.15%,而非汛期则上升到39.85%。

表2 不同时期汛期、非汛期径流量占年径流量比例

时段	年平均径流量/ 亿 m ³	汛期		非汛期	
		径流量/ 亿 m ³	百分比/ %	径流量/ 亿 m ³	百分比/ %
1955—1959	7.139 7	5.101 7	71.46	2.038 0	28.54
1960—1969	7.329 1	4.884 0	66.64	2.445 1	33.36
1970—1979	7.229 5	4.972 2	68.78	2.257 3	31.22
1980—1989	5.326 8	3.493 3	65.58	1.833 5	34.42
1990—1999	4.482 3	3.005 0	67.04	1.477 3	32.96
2000—2013	1.934 1	1.163 4	60.15	0.770 7	39.85
1955—2013	5.194 1	3.480 4	67.01	1.713 8	33.00

3.2 径流变化趋势

温家川站年、汛期、非汛期径流量变化趋势,见图1。从图1可以看出,年、汛期、非汛期径流量总体上均呈现减少的趋势,各自的线性趋势系数分别

表1 温家川站不同时段径流年际变化特征

时段	多年均值/ 亿 m ³	变差系数	最大年径流量			最小年径流量			极值比
			年份	径流量/ 亿 m ³	与多年 均值比	年份	径流量/ 亿 m ³	与多年 均值比	
全年	5.261 7	0.56	1959	13.706 2	2.604 9	2010	1.129 7	0.214 7	12.13
汛期	3.558 9	0.71	1959	11.478 2	3.225 2	2009	0.616 9	0.173 3	18.61
非汛期	1.702 7	0.40	1961	3.090 2	1.814 9	2010	0.433 3	0.254 5	7.13

为 -0.1122 、 -0.0787 、 -0.0335 。进一步采用累积距平曲线分析年、汛期、非汛期径流量的阶段变化特征(图2),发现温家川站年、汛期、非汛期径流量阶段性变化基本一致。1955—1978年期间,年、汛期、非汛期径流量都呈现明显增加趋势;1979—1995年期间,各时段径流量均在微弱的波动中下降;1996—2013年期间,各时段径流量出现显著的下降。

3.3 径流量持续性

R/S 分析法是分析径流序列未来变化趋势的重要方法,其中, R/S 为重标极差, n 为增量区间长度(图3)。温家川站年、汛期、非汛期的 Hurst 指数分别为 0.8686 、 0.8082 、 0.9335 , 3 个时段的 Hurst 值均大于 0.5 , 表明在气候变化及人类活动等因素按

照现在趋势发展的情况下,温家川站年、汛期、非汛期径流量将继续呈现递减状态,尤其是非汛期径流量,其 Hurst 指数接近 1 , 表明该序列在未来一段时间内持续递减的趋势较为强烈。

4 径流变化影响因素分析

4.1 降水对径流变化的影响

依据径流突变年份,将年、汛期、非汛期径流量和相应的降水量划分为 3 个时期,并进行 M-K 秩检验(表3),分析不同时期降水对径流的影响。在 M-K 秩检验中,若统计量 $|Z_c| \leq Z_{(1-\alpha/2)}$, 说明径流序列没有显著性趋势;当 $Z_c > Z_{(1-\alpha/2)}$ 时,径流序列有显著下降趋势;当 $Z_c < -Z_{(1-\alpha/2)}$ 时,径流序列有显著

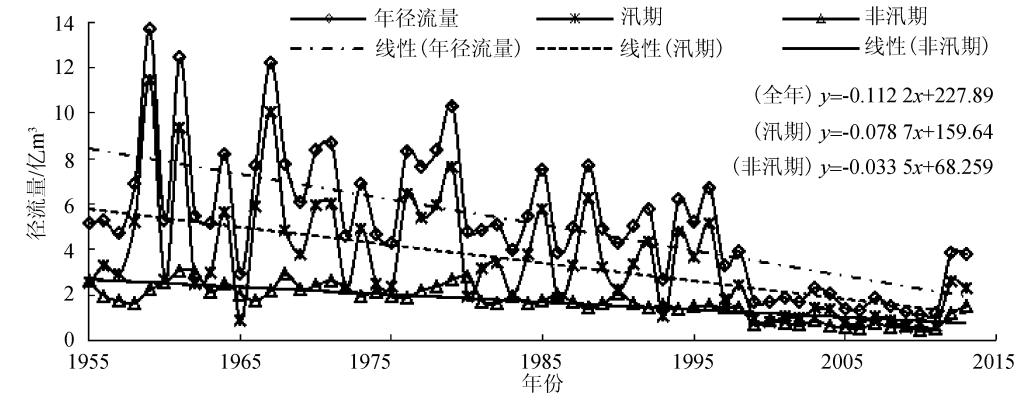


图1 温家川站年、汛期、非汛期径流变化趋势

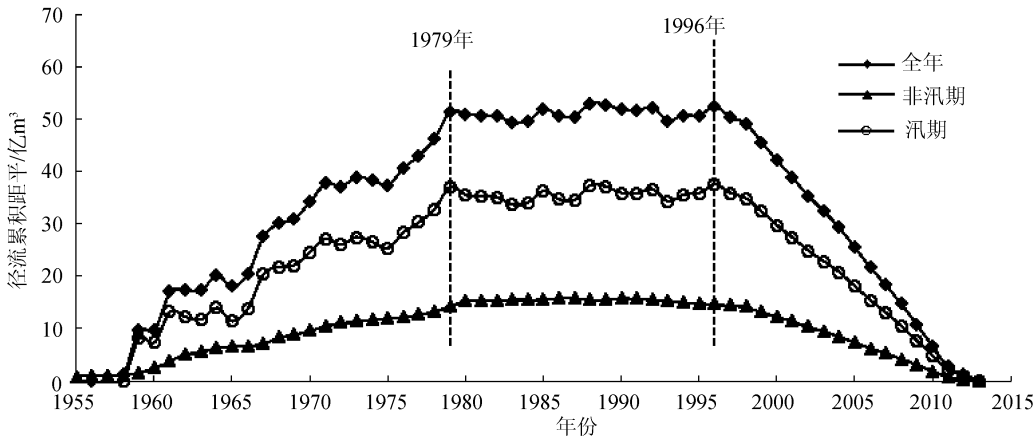


图2 温家川站年、汛期、非汛期径流累积距平曲线

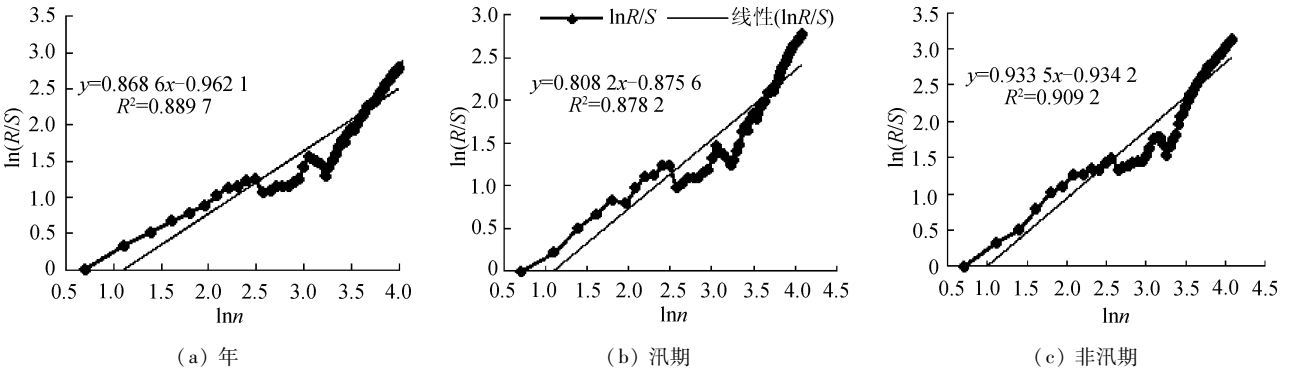


图3 温家川站年、汛期、非汛期径流序列 R/S 分析

上升趋势,其中 α 表示显著性水平,当 $\alpha = 0.05$ 时, $Z = 1.96$ 。由表 3 可知,1955—1978 年期间,年、汛期、非汛期径流量和相应的降水量都呈现增加趋势,但其值均未通过显著性检验,说明径流的变化特征与降水基本一致,降水是影响径流变化的主要因素之一。1979—1995 年期间,年、汛期径流量和相应的降水量继续呈现增加趋势;非汛期降水量出现减少趋势,径流量呈减少趋势且通过显著性检验,说明人类活动对径流变化产生一定的影响作用。1996—2013 年期间,年、汛期降水量为增加趋势,非汛期为减少趋势,且均未通过显著性检验,而年、汛期、非汛期径流量均呈现显著减少趋势,各时段径流序列变化与降水序列明显不同,说明降水对径流的影响逐渐减弱,人类活动对径流的影响不断增强。

4.2 人类活动对径流的影响

双累积曲线是将两个变量按同一时间长度逐步累加,一个变量作为横坐标,另一个变量为纵坐标,其拐点作为分析变量阶段性变化的依据^[14]。降水-径流双累积曲线可用来分析人类活动对径流量影响的阶段性变化情况,如果仅有降水变化而无其他因素影响时,曲线为一条直线;当受到人类活动等因素的影响时,曲线将发生偏移^[15]。温家川站 1955—2013 年的年、汛期、非汛期降水-径流双累积曲线见图 4,曲线均在 1979 第一次发生偏移。以 1955—1978 年作为基准期,依据降水-径流双累积曲线的拐点将年、汛期、非汛期径流量序列分别划分为 3 个阶段(表 4)。对基准期(1955—1978 年)累积降水量和累积径流量进行回归分析,建立基准期内年、汛期、非汛期累积降水量和累积径流量序列的相关方程为

年:
$$\sum R = 0.0173 \sum P - 1.9422$$
$$(R^2 = 0.9991) \tag{1}$$

汛期:
$$\sum R = 0.0133 \sum P - 1.2766$$
$$(R^2 = 0.9983) \tag{2}$$

非汛期:
$$\sum R = 0.0504 \sum P - 2.048$$
$$(R^2 = 0.9903) \tag{3}$$

表 3 温家川站全年、汛期、非汛期径流量和降雨量序列 M-K 检验

时段	类别	序列长度/a	年		汛期		非汛期	
			Z_c	显著性	Z_c	显著性	Z_c	显著性
1955—1978	径流量	24	0.56	不显著	1.62	不显著	1.83	不显著
	降雨量		0.20	不显著	0.91	不显著	1.07	不显著
1979—1995	径流量	17	0.08	不显著	0.25	不显著	-2.97	显著
	降雨量		0.03	不显著	0.06	不显著	-0.66	不显著
1996—2013	径流量	18	-2.01	显著	-1.98	显著	-2.23	显著
	降雨量		1.72	不显著	1.72	不显著	-0.48	不显著
1955—2013	径流量	59	-5.70	显著	-4.78	显著	-7.37	显著
	降雨量		-0.03	不显著	-0.02	不显著	-0.58	不显著

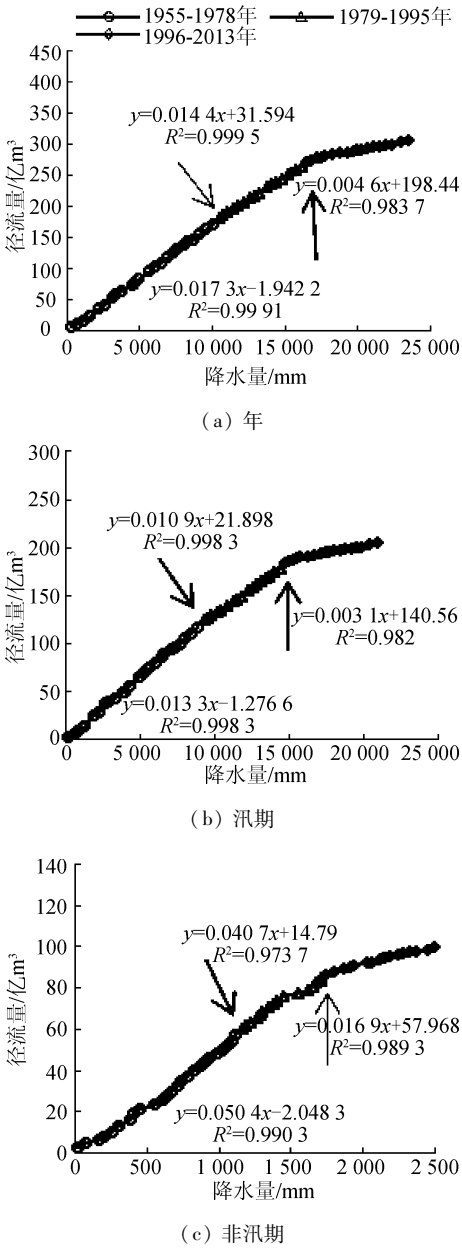


图 4 温家川站年、汛期、非汛期降水-径流双累积曲线
式中: R 为径流量,mm; P 为降水量,mm。
根据基准期年、汛期、非汛期的降水和径流数据,建立基准期内降水、径流序列的相关方程,即,
年: $R = 0.0159P + 0.5158$;汛期: $R = 0.0171P - 1.5076$;非汛期: $R = 0.0009P + 2.2321$ 。

表 4 降水和人类活动对温家川站全年、汛期、非汛期径流影响

时段	降水量/mm	径流量/亿 m ³		总减少/ 亿 m ³	降水		人类活动	
		计算值	实测值		影响值/ 亿 m ³	影响率/%	影响值/ 亿 m ³	影响率/%
年	1955—1978 年	416. 808	7. 123					
	1979—1995 年	360. 935	6. 255	1. 664	0. 868	52. 18	0. 796	47. 82
	1996—2013 年	407. 472	6. 995	4. 750	0. 128	2. 70	4. 622	97. 30
	1979—2013 年	384. 869	6. 635	3. 872	0. 488	15. 00	2. 764	85. 00
汛期	1955—1978 年	371. 575	4. 850					
	1979—1995 年	324. 441	4. 040	1. 193	0. 810	67. 87	0. 383	32. 13
	1996—2013 年	362. 133	4. 685	3. 363	0. 165	4. 92	3. 198	95. 08
	1979—2013 年	343. 826	4. 372	2. 309	0. 478	20. 72	1. 831	79. 28
非汛期	1955—1978 年	45. 233	2. 273					
	1979—1995 年	36. 494	2. 265	0. 471	0. 008	1. 64	0. 463	98. 36
	1996—2013 年	45. 339	2. 273	1. 387	-0. 000 3	-0. 02	1. 388	100. 02
	1979—2013 年	41. 043	2. 269	0. 942	0. 004	0. 38	0. 939	99. 62

依据基准期降水量和径流量的相关方程,推求温家川站年、汛期、非汛期突变年份之后的理论平均径流量,此值为仅考虑降水影响时该时段的径流量。基准期实测值与各时期计算值的差值为该时期降水对径流变化的影响量;基准期实测值与不同时期实测值的差值是该时期径流总减少量,径流总减少量减去降水影响量即为人类活动对径流变化的影响量;影响率则用影响量与径流总减少量的数值百分比来表示。

由表 4 可知,不同时期降水和人类活动对径流量的影响程度不同。对于年、汛期径流量,降水的影响和人类活动的影响基本一致,表现为降水对径流量的影响逐渐减小,影响率分别由 1979—1995 年的 52. 18%、62. 87% 下降至 1996—2013 年的 2. 70% 和 4. 92%;人类活动的影响程度不断增强,影响率相应地由 47. 82%、32. 13% 迅速增加到 97. 30% 和 95. 08%,成为影响年、汛期径流变化的主要原因;对于非汛期,1979 年以来人类活动一直是影响径流变化的主导因素且影响程度呈增加的趋势。

在窟野河流域,主要的人类活动包括矿产资源开采和水土保持治理。20 世纪 70 年代末大规模实施的水土保持措施,主要包括修筑堤坝、植树造林、梯田建设等^[16],起到一定的减水作用。20 世纪 80 年代末,流域沿岸开始了煤炭开采;20 世纪 90 年代以来,开采量呈显著增加趋势,由 1991 年的 0. 06 亿 t 增至 2011 年的 1. 73 亿 t,是 1991 年的 29 倍^[17]。大量的煤炭开采引起地表塌陷,产生规模不等的地裂缝,改变了流域下垫面条件,破坏水资源的储存环境及排泄方式,直接表现为地表径流减少,甚至出现断流现象^[18-19]。

5 结 论

a. 近几十年来,窟野河流域年、汛期、非汛期径

流量均呈现减少的趋势。年、汛期、非汛期径流量阶段性变化基本一致。1955—1978 年,各时段径流量均表现为明显增加的趋势;1979—1995 年,各时段径流量均在微弱的波动中下降;1996—2013 年,各时段径流量呈现显著的下降趋势。

b. 窟野河流域年、汛期、非汛期径流序列均具有较强的状态持续性,各时段径流序列的 Hurst 指数分别达到 0. 868 6、0. 808 2、0. 933 5。若气候变化及人类活动等因素按目前趋势发展,各时段径流序列在未来一段时间内将呈持续递减的趋势。

c. 流域内年、汛期、非汛期径流量持续减少是降水和人类活动共同作用的结果。年、汛期径流量受降水和人类活动影响的变化趋势较为一致。1979—1995 年,降水是影响径流变化的主要原因,对年、汛期径流量的影响值分别为 0. 868 亿 m³ 和 0. 810 亿 m³。1996—2013 年,人类活动成为影响径流减少的主导因素,对年、汛期径流量的影响值分别高达 4. 622 亿 m³ 和 3. 198 亿 m³。就非汛期而言,1979 年以来,人类活动一直是影响径流变化的主要因素且呈增加的趋势。

d. 采用降水-径流双累积曲线分析气候变化和人类活动对径流变化的影响时,由于在气候因素中仅考虑降水因素,并未考虑蒸发、气温等其他因素影响,因此这是对径流影响量的粗略估算。

参考文献:

[1] 李二辉,穆兴民,赵广举. 1919—2010 年黄河上中游区径流量变化分析[J]. 水科学进展,2014,25(2):155-163. (LI Erhui, MU Xingmin, ZHAO Guangju. Temporal changes in annual runoff and influential factors in the upper and middle reaches of Yellow River from 1919-2010 [J]. Advances in Water Science, 2014, 25(2): 155-163. (in Chinese))

[2] 郭巧玲,杨云松,畅祥生,等. 1957—2008 年黑河流域

- 径流年内分配变化[J]. 地理科学进展, 2011, 30(5): 550-556. (GUO Qiaoling, YANG Yunsong, CHANG Xiangsheng, et al. Annual variation of Heihe river runoff during 1957-2008 [J]. Progress in Geography, 2011, 30(5): 550-556. (in Chinese)).
- [3] 刘二佳, 张晓萍, 张建军, 等. 1956—2005 年窟野河径流变化及人类活动对径流的影响分析[J]. 自然资源学报, 2013, 28(7): 1159-1168. (LIU Erjia, ZHANG Xiaoping, ZHANG Jianjun, et al. Variation of annual streamflow and the effect of human activity in the Kuye River during 1956 to 2005 [J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28(7): 1159-1168. (in Chinese))
- [4] 郭巧玲, 韩振英, 杨琳洁, 等. 煤矿开采对窟野河地表径流影响的水文模拟[J]. 水利水电科技进展, 2015, 35(5): 19-23. (GUO Qiaoling, HAN Zhenying, YANG Linjie, et al. Hydrological simulation of impacts of coal mining on surface runoff in Kuye River[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2015, 35(5): 19-23. (in Chinese))
- [5] 郭巧玲, 熊新芝, 郝彬, 等. 近 50 年来窟野河径流年内分配及变化趋势研究[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(7): 35-40. (GUO Qiaoling, XIONG Xinzhi, HAO Bin, et al. Variation trends of seasonal runoff distribution in Kuyehe Basin over the past 50 years[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(7): 35-40. (in Chinese))
- [6] 刘晓琼, 刘彦随, 李同昇, 等. 高强度能源开发区河流径流量演变及其减流成因: 以窟野河为例[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2014, 50(3): 299-304. (LIU Xiaoqiong, LIU Yansui, LI Tongsheng, et al. Changes and reduction causes of annual runoff in intensive energy development area: a case study of Kuye River[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2014, 50(3): 299-304. (in Chinese))
- [7] 白乐, 李怀恩, 何宏谋. 窟野河径流变化检测及归因研究[J]. 水力发电学报, 2015, 34(2): 15-22. (BAI Le, LI Huaen, HE Hongmou. Analysis on detection and attribution of runoff change in Kuye River Basin [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2015, 34(2): 15-22. (in Chinese))
- [8] 王国庆, 张建云, 李岩, 等. 窟野河流域径流演变及其驱动因素分析[J]. 水资源与水工程学报, 2014, 25(2): 7-12. (WANG Guoqing, ZHANG Jianyun, LI Yan, et al. Analysis of runoff evolution and factor of driving force in Kuye River catchment[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2014, 25(2): 7-12. (in Chinese))
- [9] 郭巧玲, 陈新华, 刘培旺, 等. 窟野河流域径流变化及人类活动对其的影响率[J]. 水土保持通报, 2014, 34(4): 110-113, 117. (GUO Qiaoling, CHEN Xinhua, LIU Peiwan, et al. Variation of runoff and influence of human activity rate in Kuye River Basin [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2014, 34(4): 110-113, 117. (in Chinese))
- [10] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999.
- [11] 李建林, 咎明君, 李宝玲. 基于 R/S 分析的黑河出山年径流量灰色预测[J]. 地域研究与开发, 2014, 33(5): 127-131. (LI Jianlin, ZAN Mingjun, LI Baoling. Grey prediction of out-mountainous annual runoff of Heihe river based on R/S analysis [J]. Areal Research and Development, 2014, 33(5): 127-131 (in Chinese))
- [12] 燕爱玲, 黄强, 刘招. R/S 法的径流时序复杂特性研究[J]. 应用科学学报, 2007, 25(2): 214-217. (YAN Ailing, HUANG Qiang, LIU Zhao. Complicated property of runoff time series studied with R/S method[J]. Journal of Applied Science, 2007, 25(2): 214-217. (in Chinese))
- [13] 邱玲花, 彭定志, 徐宗学, 等. 气候变化和人类活动对黑河中游流域径流的影响分析[J]. 中国农村水利水电, 2015(9): 17-22. (QIU Linghua, PENG Dingzhi, XU Zongxue, et al. The estimation of climate changes and human activities impacting on runoff variation in the middle reach of Heihe River Basin[J]. China Rural Water and Hydropower, 2015(9): 17-22. (in Chinese))
- [14] YUE S, PILON P, PHINNEY B. Canadian stream flow trend detection: impacts of serial and cross correlation[J]. Hydrological Science Journal, 2003, 48(1): 51-63.
- [15] 郭巧玲, 陈新华, 窦春峰, 等. 近 60 年来窟野河全流域年径流变化及其影响因素分析研究[J]. 水土保持学报, 2016, 20(3): 90-95. (GUO Qiaoling, CHEN Xinhua, DOU Chunfeng, et al. Study on the variation of annual runoff and influencing factors in Kuye River during the past 60 years[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2016, 20(3): 90-95. (in Chinese))
- [16] 赵晓坤, 王随继, 范小黎. 1954—1993 年间窟野河径流量变化趋势及其影响因素分析[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(5): 32-36. (ZHAO Xiaokun, WANG Suiji, FAN Xiaoli. Analysis on the change trend of runoff and influence factors in Kuye River Basin from 1954 to 1993 [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2010, 21(5): 32-36. (in Chinese))
- [17] 朱金方, 全占军, 王琦, 等. 乌兰木伦河径流量衰减驱动因素研究[J]. 水土保持研究, 2014, 21(1): 34-38. (ZHU Jinfang, QUAN Zhanjun, WANG Qi, et al. Study on the driving factors on the runoff reduction of Ulan Moron River[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2014, 21(1): 34-38. (in Chinese))
- [18] 蒋晓辉, 谷晓伟, 何宏谋. 窟野河流域煤炭开采对水循环的影响研究[J]. 自然资源学报, 2010, 25(2): 300-307. (JIANG Xiaohui, GU Xiaowei, HE Hongmou. The influence of coal mining on water resources in the Kuye River Basin [J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(2): 300-307. (in Chinese))
- [19] 王小军, 蔡焕杰, 张鑫, 等. 窟野河季节性断流及其成因分析[J]. 资源科学, 2008, 30(3): 475-480. (WANG Xiaojun, CAI Huanjie, ZHANG Xin, et al. Analysis on the seasonal drying-up causes of Kuye River [J]. Resources Science, 2008, 30(3): 475-480. (in Chinese))

(收稿日期: 2016-10-24 编辑: 彭桃英)