

海流兔河径流特性变化及影响分析

董佳秋, 常亮

(中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘要: 采用海流兔河韩家崮水文站 1957-2010 年实测径流资料, 利用基流指数(BFI)方法计算了河流基流量, 并分时段分析了径流年际变化、年内分配不均匀系数、集中程度及变化幅度等特性。结果表明:①流域基流指数为 0.864, 即 80% 以上的河水来源于地下水的排泄。②20 世纪 50-60 年代, 年径流量较高; 70-80 年代, 年径流量有所下降; 90 年代, 年径流量持续下降至最低值; 而 2000 年以来, 年径流量有所回升。③径流年内分配比较均匀; 50-60 年代, 径流年内分配较不均匀; 70-90 年代, 径流年内分配趋于缓和; 而 2000 年以来, 径流年内分配极不均匀。

关键词: 年径流; 基流指数; 年际变化; 年内分配; 海流兔河

中图分类号: TV121

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)01-0144-04

Analysis of runoff characteristic change and influence for Hailiutu River

DONG Jiaqiu, CHANG Liang

(Xi'an Center of Geological Survey, CGS, Xi'an 710054, China)

Abstract: Based on the actual runoff data in Han Jiamao hydrologic station of Hailiutu river from 1957 to 2010, the paper calculated base flow by BFI method and analyzed some characteristics such as interannual variability of runoff, nonuniform coefficient of annual distribution, degree of concentration, and variation range in different period. The results showed that: ① the base flow index is 0.864, which means that more than 80% river water come from groundwater. ② Between 1950s and 1960s, the annual runoff was higher; from 1970s to 1980s, the annual runoff was decreasing; in 1990s, the annual runoff had a continuous declination, and reached the minimum; However, there has been an increase since 2000. ③ Totally, the annual distribution of runoff was relatively even; but it was nonuniform from 1950s to 1960s; it tended to uniform from 1970s to 1990s; the annual distribution of runoff has been very nonuniform since 2000.

Key words: annual runoff; base flow index; interannual variability; annual distribution; Hailiutu river

流域内径流的变化主要是受到气候、流域下垫面等自然条件以及人类活动共同作用的影响, 其演变的过程既表现出一定的确定性, 同时又有一定的随机性。不同河流或者同一河流的不同年份, 其径流的年际变化与年内分配的不均匀程度是不同的^[1]。径流特征的变化直接影响到流域内水资源可持续利用, 因此研究流域径流变化规律对合理开发利用水资源有着重要意义。

1 流域概况

研究区地处毛乌素沙地, 高程 1 020 ~ 1 480 m, 由东南向西北递增, 属半干旱气候, 多年平均气温为

8.1℃, 历史最高气温 38.6℃(1935), 最低气温 -32.7℃(1954)。多年平均日照时间为 2 926 h。根据流域内乌审旗气象站多年的数据统计, 多年平均降雨量为 340 mm(1985-2008), 其中最大年降雨量 616.3 mm(2002), 最小年降雨量 164.3 mm(1999)。受东南季风的影响, 降雨主要集中在每年的夏季和秋季。多年平均蒸发量为 2 184 mm(1985-2004)。

海流兔河发源于内蒙乌审旗陶利乡布耐乌素, 由北向东南流经乌审旗巴彦柴达木乡、补浪河、红石桥, 在红石桥乡柳卜台入无定河, 全长 85 km, 流域面积 2 600 km², 河谷宽 50 ~ 100 m, 河床比降

3.36‰。其支流不发育,主流由北西向南东流至谢家台,最大支流补浪河位于流域中部,由北而南注入形成“Y”字形水系(图 1)。

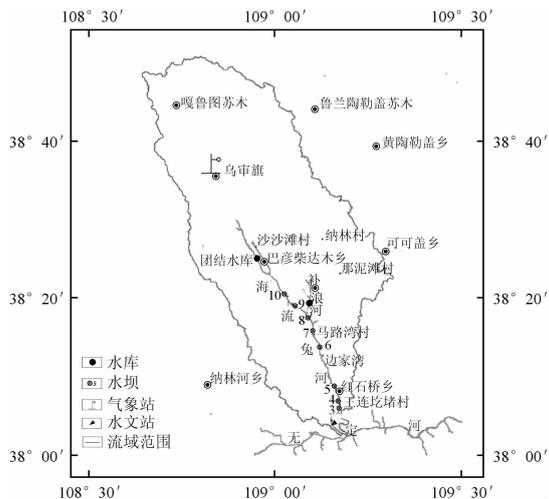


图 1 海流兔河流域地理位置图

据下游韩家崙水文站 1957 - 2010 年径流系列资料,多年平均流量 $2.73 \text{ m}^3/\text{s}$,平均含沙量 $5.6 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

该流域建有团结和圪流沟 2 个水库,前者位于河流上游,后者位于其支流补浪河,以及多个引水水坝(图 1,表 1)。

表 1 流域内水利工程(自下游向上游)信息表

序号	水利工程名称	建设时间	类型	用途	备注
1	团结	1971	水库	灌溉、供水	
2	圪流沟	1972	水库	灌溉	支流
3	王连圪堵	1995	水坝	灌溉	
4	柴草坝	1970	水坝	灌溉	
5	红石桥	1992	水坝	灌溉	
6	双红	1995	水坝	灌溉	
7	马路湾	1972	水坝	灌溉	
8	魏家崙	2008	水坝	灌溉	
9	吴家房	1997	水坝	灌溉	
10	曹家崙	1989	水坝	灌溉	

研究区地处风沙滩地区,地形平缓,地表多为风积沙,岩性以中、细砂为主,透水性强,有利于降雨入渗;下部为萨拉乌素组含水层,岩性以中、细砂为主,储水能力较好。因此,该流域降雨大部分入渗,地表产流较少。

2 径流总体特征

根据韩家崙水文站多年逐日实测径流资料(1957 - 2010),采用 Wahl, K. L 和 Wahl, T. L 编写的 BFI (Base Flow Index) 基流计算程序,计算河流

基流量。其基本原理是将每年(日历年或水文年)按 N 天为一时段进行划分,每一时段内的最小流量,如果某时段最小流量的一定比例值小于左右相邻时段内的最小流量值,则确定其为拐点,将个拐点直线连接,得出基流量过程线。过程线下方的面积确定为该年基流量^[2]。其中基流指数 BFI 的计算公式如下:

$$BFI = \frac{\sum_i b_i}{\sum_i d_i} \quad (1)$$

式中: b_i 为河流基流量; d_i 为河流径流量。计算结果见表 2。

表 2 基流分割计算结果表 亿 m^3/a , km^2 , mm/a

水文站	多年平均 径流量	基流量	BFI	流域 面积	基流 模数
韩家崙	0.861	0.744	0.864	2600	28.6

由表 2 可看出,海流兔河基流指数为 0.864,表明约有 85% 以上的河水来源于地下水的排泄。

3 径流年际变化特征

径流年际变化一般通过径流变差系数 C_V 和年径流极值比 K 来反映。其计算公式如下:

$$C_V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n}}, k_i = \frac{x_i}{\bar{x}} \quad (2)$$

$$K = \frac{x_{\max}}{x_{\min}} \quad (3)$$

式中: x_i 为各年径流量; \bar{x} 为多年平均径流量; x_{\max} 和 x_{\min} 分别为最大年径流量和最小年径流量。变差系数 C_V 值越大表明径流年际变化越大;极值比 K 越大表明径流多年变化幅度越大。

根据对径流系列资料(1957 - 2010)分析,计算结果见表 3。

表 3 径流年际变化特征值表 亿 m^3

统计年份	多年平均径流量	C_V	K
1957 - 2010	0.86	0.24	3.94
1957 - 1969	1.09	0.17	1.94
1970 - 1979	0.88	0.10	1.42
1980 - 1989	0.91	0.17	1.60
1990 - 1999	0.63	0.24	2.22
2000 - 2010	0.74	0.07	1.26

由表 3 可看出,1957 - 2010 年多年平均径流量

为 0.86 亿 m^3 , 变差系数 C_V 为 0.24, 极值比 K 为 3.94。分时段来看, 50-60 年代, 流域内尚未有水利工程建设活动, 径流量最高, 可认为是天然流量; 70-80 年代, 径流量有所下降, 维持在 0.9 亿 m^3 上下; 90 年代, 年径流量持续下降至 0.63 亿 m^3 ; 而 2000 年以来, 年径流量有所回升, 达到 0.74 亿 m^3 。

4 径流年内变化特征

4.1 径流年内分配特征指标

4.1.1 径流年内分配的不均匀性 本文采用径流年内分配不均匀系数 C_u 来反映径流年内变化^[3]。其计算公式为:

$$C_u = \frac{\sigma}{R} \quad (4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} (R_i - R)^2}{12}}, R = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} R_i$$

式中: R_i 为各月径流量; R 为年内平均月径流量。由式(4)可看出, C_u 值越大, 表明年内各月的径流量相差越悬殊, 径流年内分配越不均匀。

4.1.2 集中度和集中期 集中度 C_n 和集中期 D 是利用实测的月经流资料反映径流量年内分配集中的程度和集中的重心即最大径流量所出现的月份^[4]。

它是将月径流量看作向量, 月径流的大小和所处的月份分别作为向量的长度和方向。向量方向的确是把一年 365 d 看成一个圆周, 每天近似等于 0.986° , 把 1 月份径流向量所在位置定为零度, 1-12 月每月的方位角 θ_i 分别为 $0, 30, \dots, 330^\circ$, 将每月径流量分解成 x 和 y 两个方向上的分量, 则 x 和 y 方向上的向量合成及各月径流量的合成总向量可用下式表示^[5]:

$$\begin{cases} R_x = \sum_{i=1}^{12} R_i \sin\theta_i \\ R_y = \sum_{i=1}^{12} R_i \cos\theta_i \\ R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \end{cases} \quad (5)$$

式中: R_i 和 θ_i 为各月径流量的大小和方向; R_x 和 R_y 分别为 X 、 Y 方向合成向量; R 为 R_x 和 R_y 的合成总向量。

而集中度 C_n 和集中期 D 可定义为:

$$C_n = \frac{R}{\sum_{i=1}^{12} R_i}, D = \arctg\left(\frac{R_y}{R_x}\right) \quad (6)$$

由式(6)可看出, 集中度 C_n 反映了集中期径流量占年总径流量的比例, 而集中期 D 则近似表示了一年中最大径流量出现的时间。

4.1.3 汛期径流比例 径流年内分配特征还可以用汛期(6-9月)径流量占年内总径流量的比例表示, 以 C_d 表示:

$$C_d = \frac{Q_{6-9}}{Q} \quad (7)$$

式中: Q_{6-9} 为汛期径流量; Q 为年内总径流量, 由式(7)可看出, C_d 值越大表明汛期径流量越集中。

4.1.4 变化幅度 本文采用极大比 C_{\max} 和极小比 C_{\min} 来描述径流的年内相对变化幅度, 即最大月平均径流量 R_{\max} 、最小月平均径流量 R_{\min} 与年平均径流量之比^[6]。计算公式如下:

$$C_{\max} = R_{\max}/R, C_{\min} = R_{\min}/R \quad (8)$$

根据对径流系列资料(1957-2010)分析, 计算结果见表 4, 径流年内分配特征见图 2。

表 4 径流年内分配特征值表 (°)

统计年份	C_u	C_n	集中期 D		C_d	C_{\max}	C_{\min}
			度数	对应月份			
1957-2010	0.13	0.07	321	8	0.33	0.10	0.06
1957-1969	0.20	0.05	329	8	0.37	0.13	0.06
1970-1979	0.11	0.07	306	11	0.31	0.09	0.06
1980-1989	0.10	0.07	338	12	0.32	0.09	0.07
1990-1999	0.14	0.08	47	2	0.33	0.10	0.06
2000-2010	0.25	0.12	338	12	0.26	0.11	0.05

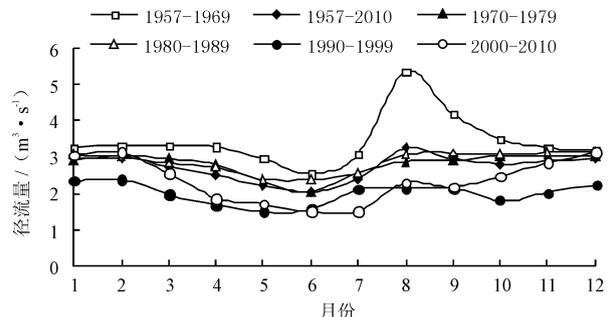


图 2 海流兔河流域径流年内分配特征

结合表 4 和图 2 可看出, 各时段 C_d 、 C_{\max} 和 C_{\min} 的值基本接近, C_d 维持在 0.3 上下, C_d 、 C_{\max} 和 C_{\min} 分别维持在 0.1 上下和 0.06 上下。总体来看, 径流年内分配较均匀。

由集中度和集中期可看出, 各时段的集中度 C_n 变化不大, 说明各时期径流量年内分配集中的程度基本一致; 在天然状态下(50-60年代)集中期为 8

月份,而70年代以后,集中期均有滞后的趋势。由径流年内分配不均匀系数 C_u 可看出,在天然状态下(50-60年代)呈现较高值,说明该时段为天然状态,年径流受到夏季降雨影响,径流年内分配较不均匀;70-90年代, C_u 值明显减小,与多年平均值接近,说明该时段径流年内分配趋于缓和,1971和1972年支流和干流上分别建设了圪流沟水库和团结水库,水库的作用是消减洪峰,从1971年开始径流均受到影响;2000年以来, C_u 值反而明显增大且高于天然状态下的 C_u 值,说明该时段径流年内分配极不均匀。

5 结 语

(1) 海流兔河多年平均径流量为0.861亿 m^3/a ,采用BFI(Base Flow Index)基流计算程序,计算出的河流基流量为0.744亿 m^3/a ,基流指数(BFI)为0.864,表明该河流80%以上的河水来源于地下水补给。由于该流域地处风沙滩地区,降雨大部分入渗,因此基流量较大。

(2) 通过对径流年际变化分析结果表明:50-60年代,流域内尚没有过多的人为活动干扰,多年平均径流量较大,为天然状态;70-80年代由于水库和水坝的修建,导致多年平均径流量有所下降;90年代,随着农田耕地面积的增大,地下水开采量增加,同时由于水利工程的持续建设与运行导致多年平均径流量持续下降,达到最低值;2000年以来,随着退耕还林政策的实施,林地取代耕地,耗水量降低,多年平均径流量有所回升,但仍未达到多年平均值。

(3) 通过对径流年内分配不均匀性、集中程度、变化幅度等的计算结果表明:总体来看,各时段 C_u 、

C_{max} 和 C_{min} 的值基本接近,说明该流域径流年内分配较均匀,汛期(6-9月)径流量仅占年内总径流量的30%左右。由集中度和集中期可看出,各时段的集中度 C_n 变化不大,说明各时期径流量年内分配集中的程度基本一致;在天然状态下(50-60年代),年内最大径流量出现在8月份,70年代后,由于水库和引水工程的修建,拦蓄汛期径流供农业灌溉,导致最大径流量出现时间滞后。由径流年内分配不均匀系数 C_u 可看出,在天然状态下(50-60年代)呈现较高值,说明该时段径流年内分配较不均匀;70-90年代,由于水库和引水工程的修建,使得流域对径流的调节能力增大,导致 C_u 值明显减小,径流年内分配趋于缓和;2000年以来,由于退耕还林政策的实施,使得3-6月植被蒸发蒸腾量增大,从而耗水量增加,导致这一时段径流量明显减少, C_u 值明显增大,径流年内分配极不均匀。

参考文献:

- [1] 宋晓波,伍勇,罗志远.金沙江流域径流特性变化及影响分析[J].黑龙江水利科技,2012,40(7):3-5.
- [2] 左海凤,左淑林,邵景力,等.山丘区河川基流BFI程序分割方法的运用与分析——以汾河流域河岔水文站为例[J].水文,2007,27(1):69-71.
- [3] 燕华云,杨贵林,汪青春.长江源区径流年内分配时程变化规律分析[J].冰川冻土,2006,28(4):526-529.
- [4] 杨远东.河川径流年内分配的计算方法[J].地理学报,1984,39(2):218-227.
- [5] 刘德林,刘贤赵,张继平,等.大沽夹河流域径流年内分配特征的量化研究[J].水土保持研究,2006,13(6):107-109+114.
- [6] 孙天青,张鑫,梁学玉,等.秃尾河径流特性及人类活动对径流的影响分析[J].人民长江,2010,41(8):47-50.