

泾河平凉市区段径流量变化特征及其影响因素分析

赵晨宇¹, 王应祥², 温珍珠², 胡广录¹, 陈宏祥¹

(1. 兰州交通大学 环境与市政工程学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 平凉市水务局, 甘肃 平凉 744000)

摘要: 基于平凉水文站(1974–2015年)径流量、温度、降水量和崆峒水库水文站(1977–2015年)径流量资料, 应用多种统计分析方法, 对泾河平凉市区段径流量年内分配的不均匀性和径流量的年际变化进行了分析, 同时对影响径流量变化的因素进行了讨论。结果表明: 泾河平凉市区段径流量年内变化呈现不均匀分配, 但不均匀性有减小的趋势; 泾河平凉市区段径流量年际变化较大, 枯水年明显多于丰水年, 径流量总体呈现出减小的趋势; 影响泾河平凉市区段径流量变化的因素主要为上游崆峒水库站年径流量, 人为活动对泾河平凉市区段径流量的影响主要在1993年以后; 1994–2009年起到减小的作用, 2010–2015年起到增大的作用。

关键词: 径流量; 年内分配; 年际变化; 影响因素; 泾河; 平凉市

中图分类号: TV121

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)03-0036-06

Analysis of runoff variation and influencing factors in Pingliang reach of Jinghe river

ZHAO Chenyu¹, WANG Yingxiang², WEN Zhenzhu², HU Guanglu¹, CHEN Hongxiang¹

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China;

2. Water Conservancy Bureau of Pingliang Prefecture, Pingliang 744000, China)

Abstract: Based on the runoff, temperature and precipitation data from Pingliang Hydrologic Station (1974 – 2015) and runoff data from Kongtong Reservoir Hydrologic Station (1977 – 2015), this paper used the multiple statistical methods to analyze the annual distribution and interannual variation of runoff, as well as the influencing factors. The results show that: the annual distribution is uneven in Pingliang reach of Jinghe river, but it has a tendency to decrease; the runoff interannual variation changes a lot and shows a decreasing trend. Besides, the low flow years are more than high flow years in Pingliang reach of Jinghe river; The runoff of Kongtong Reservoir Hydrologic Station has the most important impact on the runoff of Pingliang Hydrologic Station. The influence of human factors on the runoff of Pingliang reach of Jinghe River is mainly after 1993. The human factors has a reducing effect in 1994 – 2009 and increasing effect in 2010 – 2015 on the runoff of Pingliang reach of Jinghe river.

Key words: runoff; annual distribution; interannual variation; influencing factor; Jinghe river; Pingliang city

河川径流是水文循环的重要环节, 对资源环境和区域经济发展具有重要意义。河川径流量的变化不仅影响流域水资源的合理配置、开发利用, 还影响着河流生态系统的物理、化学和生物过程^[1-3]。凌红波等^[4]利用叶尔羌河源流区近50a的逐月降水量与径流量资料, 借助非参数检验、小波分析等方法分析了叶尔羌河年径流量与降雨量的集中性及时间尺

度的相关关系; 董起广等^[5]利用北洛河交口水文站1964–2008年实测月径流量资料对北洛河流域径流年内分配的不均匀性、集中程度、变化幅度进行了分析, 同时应用Mann–Kendall方法分析了该流域径流量的年际、季节变化趋势, 并对丰水年和枯水年的径流量进行了突变分析; 朱佳君等^[6]根据洮河流域上、中、下游的4个控制水文站点实测月、年径流

收稿日期: 2017-03-03; 修回日期: 2017-04-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(41161082、41561102)

作者简介: 赵晨宇(1992-), 男, 山西晋城人, 硕士研究生, 主要从事生态水文方面研究。

通讯作者: 胡广录(1966-), 男, 甘肃靖远人, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事生态水文、水文水资源方面的研究。

量资料,运用不同指标对洮河干流径流量的变化规律和趋势进行了分析。综上,用水文统计学相关方法对径流数据进行处理,有利于准确地探寻随机水文现象的统计规律。泾河从平凉市区穿流而过,平凉市区的主要用水水源来自于泾河径流量,因此,掌握泾河径流量的变化规律对平凉市区合理利用水资源具有重要意义。本文基于平凉水文站(1974-2015年)径流量、温度、降水量和崆峒水库水文站(1977-2015年)径流量等资料,对泾河平凉市区段径流量年内分配的不均匀性和径流量的年际变化特征进行了分析,同时对影响径流量的因素进行了初步探讨,旨在为平凉市区合理有效的开发利用水资源提供科学依据。

1 研究区概况

泾河是黄河十大水系之一,横跨宁夏、甘肃、陕西三省部分地区,流域面积45 421 km²,其中甘肃境内面积30 979 km²。泾河发源于宁夏回族自治区泾源县六盘山东麓的老龙潭,河流由西北流向东北,在崆峒峡进入平凉市境内,横贯平凉市、泾川县,在庆阳地区的长安桥以下4 km进入陕西省高陵县汇入渭河。平凉市区位于泾河流域上游地区,地理坐标介于105°21′-107°25′E,34°54′-35°46′N之间。该区年平均气温8.6℃,最高气温37.6℃,最低气温-27.5℃;多年平均降水量553.6 mm,主汛期(7-9月份)多年平均降水量323.9 mm,占全年降水总量的59.03%;多年平均蒸发量1 512 mm,日照时数可达2 260~2 450 h;无霜期171 d,最大冻土深100 cm。平凉市共辖泾川、灵台、崇信、华亭、庄浪、静宁6县和崆峒1区,截止2015年底,平凉市总土地面积1.1万km²,总人口209.8万人,其中城镇人口76.09万人,农村人口133.71万人;全市经济作物主要为油料、水果、蔬菜、中草药等,耕地面积34.91万hm²,全年粮食产量113.21万t;2015年全年全部工业完成增加值57.01×10⁸元,主要以煤、电、建材三大行业为主。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文采用的数据来源于平凉水文站和崆峒峡水库水文站多年实际观测资料。平凉水文站设站时间为1974年1月,断面位置在平凉市崆峒区八里桥,控制流域面积为1 305 km²,可得到1974-2015年间实测径流量、降水量、气温等数据。崆峒峡水库站

设站时间为1977年7月,断面位置在崆峒水库坝下,控制流域面积597 km²,可得到1977-2015年间实测径流量的数据。平凉市城区附近水系及水文站分布如图1所示。

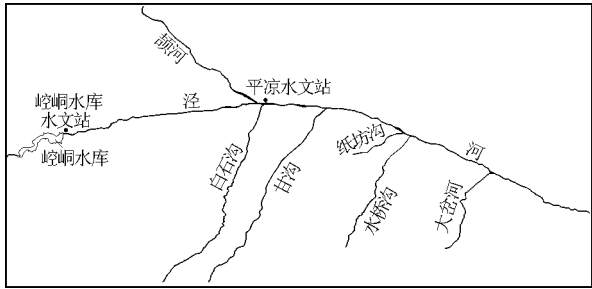


图1 平凉城区附近水系及水文站分布

2.2 研究方法

本文选取年内分配完全调节系数 C_r 、集中度 C_d 和集中期 D 、径流变化幅度 C_m 等指标^[7-10],对流域内径流的年内分布特性进行分析。同时,采用累积距平法^[11-12]分析径流量年际变化,相关分析法^[13-14]分析径流量的影响因素。

2.2.1 年内分配完全调节系数 水文上通常用年内分配完全调节系数 C_r 来衡量径流年内分配的不均匀性,其计算公式^[15]如下:

$$C_r = \frac{\sum_{i=1}^n \psi_i (x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n x_i}, \psi_i = \begin{cases} 1, & x_i \geq \bar{x} \\ 0, & x_i < \bar{x} \end{cases} \quad (1)$$

式中: x_i 为第*i*月实测径流量,m³; $\bar{x}$ 为年平均径流量,m³; n 为月份数, $n=12$ 。由式(1)可知, C_r 值越大,其年内分配越不均匀。 C_r 值介于0~1之间, C_r 越接近1,径流年内分配愈不均匀;反之, C_r 越接近0,径流年内分配越均匀。

2.2.2 集中度与集中期 利用实测的月径流量资料,计算径流年内分配的集中程度和集中重心,分别用集中度 C_d 和集中期 D 表示。

集中度与集中期就是将1年内各月径流量作为向量进行分析,矢量的模和方向分别为该月径流量大小和所处月份代表的方位角(表1列出了全年各月包含的角度及月中代表的角度值),年径流集中度与年径流集中期的具体计算公式^[16]为:

$$C_d = \frac{\sqrt{R_x^2 + R_y^2}}{\sum_{i=1}^{12} R_i}, D = \arctan\left(\frac{R_x}{R_y}\right) \quad (2)$$

式中: $R_x = \sum_{i=1}^{12} R_i \sin \theta_i$; $R_y = \sum_{i=1}^{12} R_i \cos \theta_i$, R_x 、 R_y 分别

为每个月的月径流量在 x 和 y 两个方向上的分量。 R_i 为第 i 月实测径流量;由于正弦值、余弦值在不同象限中具有的正负号不同,因此集中期 D 的角度值在计算时要视 R_x 和 R_y 的正负号而定,径流量的集中程度用 C_d 值表示,当 C_d 等于 1 时为最大极限值,表明该流域全年的径流量集中在某 1 个月内。当集中度为 0 时是最小极限值,说明 1 年内每个月的径流量都相等,所以, C_d 值越接近 1,其年内分配越不均匀。

表 1 全年各月包含的角度及月中代表的角度值(°)

月份	包含角度	代表角度
1	345 ~ 15	0
2	15 ~ 45	30
3	45 ~ 75	60
4	75 ~ 105	90
5	105 ~ 135	120
6	135 ~ 165	150
7	165 ~ 195	180
8	195 ~ 225	210
9	225 ~ 255	240
10	255 ~ 285	270
11	285 ~ 315	300
12	315 ~ 345	330

2.2.3 相对变化幅度 采用相对变化幅度 C_m 来衡量径流的变化幅度。相对变化幅度的计算式^[17]为:

$$C_m = R_{\max}/R_{\min} \tag{3}$$

式中: $R_{\max}$ 和 $R_{\min}$ 分别为当年最大月平均流量和最小月平均流量, m^3 。 C_m 值越大,说明年内最大径流量和最小径流量相差较大,径流分配越不均匀;反之, C_m 值越小,说明年内最大径流量和最小径流量相差较小,径流分配越均匀。

2.2.4 累积距平法 由每年径流量减去多年平均径流量得到年径流量距平序列,再将距平序列累加得到累积距平序列,从而绘制累积距平曲线。当累积距平持续增大时,表明该时段内径流量距平持续为正;当累积距平持续不变时,表明该时段距平持续为零即保持平均;当累积距平持续减小时,表明该时段内径流量距平为负。据此,可以较为直观而准确地确定径流量的阶段性变化。

3 结果与分析

3.1 径流量年内变化

图 2 为多年月平均径流量变化情况。图中显示:年径流量主要集中在 6 - 10 月,尤其是 7 - 9 月

的径流量达 $780.7 \times 10^6 \text{ m}^3$, 占当年总径流量的 43.1 %, 9 月份径流量达到最大值, 为 $292.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。从季节上看,径流量主要集中在夏、秋两季,这两季径流量占全年径流量的 70.1 %, 径流量最少的季节是冬季,仅占全年径流量的 11.9 %, 春季径流量占全年径流量的 18.0 %。

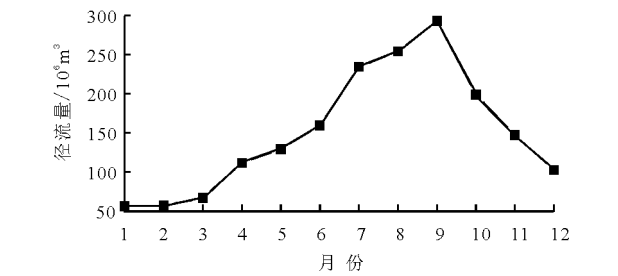


图 2 平凉水文站多年平均径流量年内分配

由计算得到的逐年 C_r 、 C_d 参数值并绘制变化曲线,结果见图 3。由图 3 可知,1974 - 2015 年径流量年内分配完全调节系数 C_r 的平均值为 0.41,最大值出现在 2003 年,为 0.78,说明该年内大于年平均径流量的径流总和占到全年总径流量的 78%, 该年径流的年内分配最不均匀;最小值出现在 2008 年,为 0.09,说明该年大于年平均径流量的径流总和只占总径流量的 9%, 该年径流量年内分配相对均匀。

集中度 C_d 的平均值为 0.67,最大值出现在 1998 年,为 0.84,表明该年内径流主要集中在 2 ~ 3 个月内,故而此年径流年内分配最不均匀;最小值出现在 1993 年,为 0.48,该年内分配相对均匀。总体上看,两种统计参数的变化趋势大体相同,峰、谷值基本同时出现,体现了这两种参数对径流量年内分配不均匀性描述是一致的。

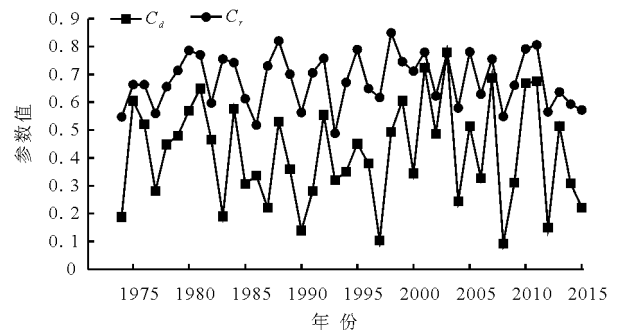


图 3 平凉水文站径流完全调节系数和集中度年际变化

将平凉水文站实测月径流量资料按年代划分时间段,各年代参数值如表 2 所示。年内分配完全调节系数 C_r 在 1981 - 1990 年为最大值,也就是大于年径流量的径流总和所占比例最大,即年内分配最不均匀,从 1981 - 1990 年之后的 3 个年代此参数是

逐渐减小的,但从 2011 年开始,此参数有增大的趋势,说明 2011 年以后,径流量年内分配有向不均匀方向发展的趋势;从集中度 C_d 看,2001 - 2010 年径流最为集中,1991 - 2000 年径流量分配最为均匀。另外,合成向量方位角变化幅度比较大,对应的集中期也不尽相同,除了 1981 - 1990 年、1991 - 2000 年的最大径流量在 8 月份以外,其余年代的最大径流量都出现在 9 月份,这与图 2 中多年月平均径流量出现的峰值也是一致的。从变化幅度上看,1981 - 1990 年的相对变化幅度是最大的,最大、最小月径流量的比值达到了 22.76,而最大、最小月径流量差距最小的是 2011 - 2015 年,比值只有 7.14,另外,此参数从 1981 - 1990 年之后的 4 个时段中呈现逐渐减小的趋势,说明径流的年内变化趋于平缓,这可能与此时段内人为调节有关。

表 2 平凉水文站年代际径流年内分配统计表

时段	C_r	C_d	合成向量 方位角/(°)	集中期 D/ 月份	C_m
1974 - 1980	0.41	0.45	237.34	9	17.45
1981 - 1990	0.46	0.35	222.35	8	22.76
1991 - 2000	0.45	0.29	195.86	8	11.39
2001 - 2010	0.35	0.48	246.77	9	8.85
2011 - 2015	0.43	0.31	228.47	9	7.14
多年平均	0.42	0.38	226.16	9	13.52

3.2 径流量年际变化

图 4 为 1974 - 2015 年泾河平凉水文站年径流量变化过程线。经数据统计分析,泾河平凉水文站多年平均径流量 $111.45 \times 10^6 \text{ m}^3$,从图 4 可以看出,实测径流量年际变化呈锯齿形,流域内径流量年际变化幅度很大,稳定性极差。最大径流量出现在 1976 年,达到 $291.70 \times 10^6 \text{ m}^3$,最小径流量为 1995 年的 $5.21 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。

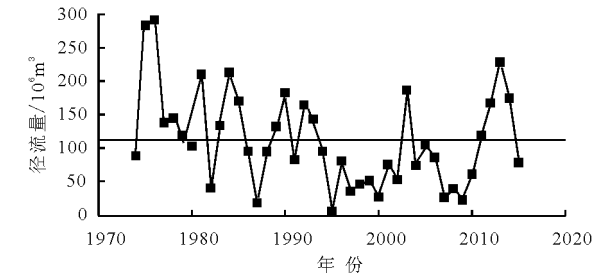


图 4 平凉水文站径流量年际变化过程

此外,从图 5 中的年径流距平累积曲线可以看出,40 多年来泾河平凉水文站的径流量呈现出相对

明显的阶段性变化特征,1974 - 1981 年、2011 - 2014 年距平明显上升,为两个显著的丰水期;1982 - 1994 年间累积距平曲线呈现出变化幅度不大的锯齿状,说明这个时段内的径流量呈现丰枯交替的变化特征;1995 - 2010 年间除了在 2003 年有个明显的上升突变以外,累计距平曲线整体趋势为下降,属于显著的枯水期;结合图 6 各年径流量的距平值,1976 年距平值最大,即这一年年径流量最大;在 1994 年之前丰水年明显多于枯水年,而在这之后,除了 2003 年和 2011 - 2014 这几个年份,其余年份距平值均为负,在 1995 年达到了 $-106.25 \times 10^6 \text{ m}^3$,枯水年明显多于丰水年;总体来看,年径流量距平为正值年份占总年数的 43%,距平为负值的年份占总年数的 57%,说明泾河平凉市区段枯水年多于丰水年,这可能与区域气候变暖和人为活动的干扰有关。

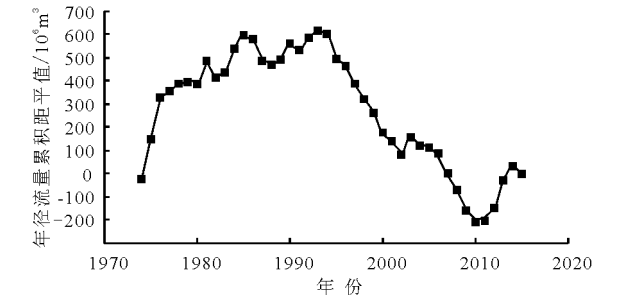


图 5 平凉水文站径流量距平累积曲线

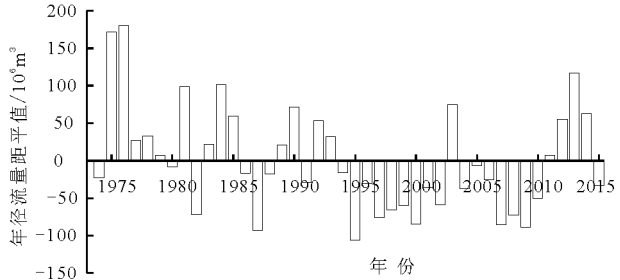


图 6 平凉水文站径流量距平值

4 泾河平凉市区段径流量的影响因素

径流量的变化主要受到气候、人为等多方面因素的影响,随着社会经济的不断发展,各种水利工程建设等人类活动对河川径流量的影响越来越显著,正确分析河川径流量变化的影响因素,对掌握径流量的变化规律以及对径流量的预测亦有重要意义^[18-19]。

选取平凉水文站年降水量、年平均气温以及崆峒水库水文站年径流量 3 个自然影响因子,计算泾

河平凉市径流量与各因子之间的相关系数。利用线性回归分析法分别建立 1974 - 2015 年平凉站年径流量与年降水量、年平均气温之间以及其与崆峒水库站年径流量之间的回归方程。结果如图 7 所示。

从图 7 中可以看出:平凉水文站年径流量与年降水量之间呈正相关, $R^2 = 0.2154$, 与多年平均气

温之间呈负相关, $R^2 = 0.2068$, 但相关程度都不显著;而崆峒水库站年径流量对平凉站年径流量的影响最为显著, $R^2 = 0.9172$ 。说明平凉水文站年降水量、多年平均气温对本站年径流量影响不大,崆峒水库的下泄水量是泾河平凉市区段径流量的主要影响因素。

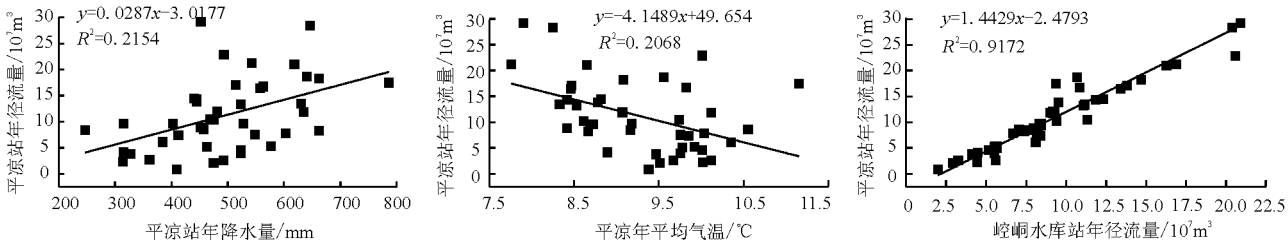


图7 平凉水文站年径流量与影响因子线性分析

除此之外,从流域形状和面积看(图1),崆峒水库控制流域面积 597 km²,平凉水文站以下还有 708 km² 的产汇流面积,但此部分面积上的河流、支沟大部分属于季节性河流,只有在汛期降雨期间才有径流汇集形成,且径流量较小。调查还发现这些支沟流域由于长期实施水土保持综合治理措施,自 20 世纪 90 年代后基本无大的径流出现,有些年份曾出现过短历时的较大径流,但这些河流、支沟上没有设置水文测站,无径流量观测数据,因此,无法定量分析其径流量变化对平凉水文站径流量的影响,本文分析中也将此部分面积产生的径流量忽略不计,这可能会对研究结果产生一定的影响,影响如何? 尚需进一步搜集相关资料来研究分析。

为了进一步说明影响程度,采用双累积曲线法^[20]分析崆峒水库水文站年径流量对平凉市区段径流量的影响。双累积曲线法的基本原理是两个变量按同一时间长度逐步累加,一个变量作为横坐标,另一变量作为纵坐标,拐点可作为分析变量阶段性变化的依据,按照 Kohler 提出的原则^[21]:图 7 中的回归方程可知,平凉水文站的年径流量与崆峒水库水文站的年径流量之间有高度相关性,相关系数达 0.9172,且两者呈正比关系,两个水文站在整个观测期数据都有可比性。因此可点绘崆峒水库水文站年径流量与平凉水文站年径流量的双累积曲线(图 8)。

从图 8 可以看出,1994 年之前曲线没有明显的偏转,只有 1982 年有轻微的右转,斜率由 1.316 减小为 1.189,说明假如崆峒水库下泄水量不变的话,泾河平凉市区段径流量有减小的趋势;在 1994 年和 2003 年曲线发生了比较明显的右转,1994 年斜率减小为 0.924,2003 年斜率减小到 0.809,说明平凉水

文站实测径流量小于理论径流量,此时间段内人为因素对泾河平凉市区段径流量的影响是显著的,即人类活动对泾河平凉市区段径流量起到减小的作用;2010 年曲线发生了明显的左转,斜率由 0.809 增大为 1.367,说明 2010 年开始,人类活动对泾河平凉市区段径流量起到增大的作用。

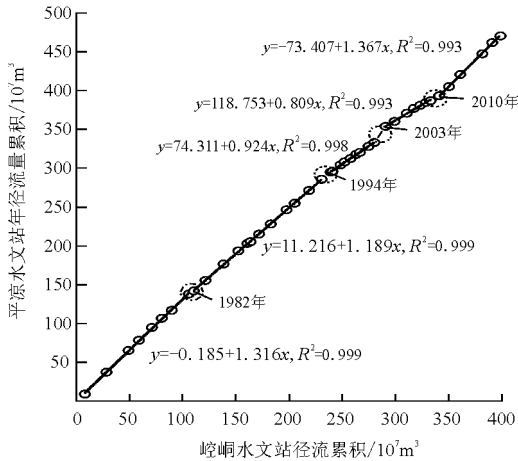


图8 崆峒-平凉站径流双累积曲线

泾河平凉水文站位于泾河上中游区,距离其上游崆峒站约 10 km,靠近平凉市中心城区,20 世纪 90 年代之后受基础设施建设、旅游开发和商品经济的影响,河道内砂船林立,河道外大兴土木,周边垃圾遍地,污水横流,河道生态环境遭到严重破坏,河道径流减小,所以 1994 年曲线有比较明显的右转。针对这些人为活动对河流环境的影响,平凉市政府于 2000 年开展了泾河河道生态综合治理工程,2012 年又将这项工程纳入城市基础设施配套建设项目和重点水利工程项目,重视修复河流的自然景观和生态系统,使泾河平凉市区段得到了全方位的综

合治理,所以泾河平凉市区段径流量在2010有增大的趋势,这说明平凉市政府一系列的工程措施对市区径流量有增大的作用。

5 结 论

(1)泾河平凉市区段径流量年内分配不均,凸显单一峰值,多年平均径流量43.1%集中在7-9月,且最大径流量一般出现在9月; C_r 、 C_d 变化曲线峰、谷值基本同时出现,对径流量年内分配不均匀性的描述基本一致,即2000年之前年内分配不均,之后呈现出更均匀的趋势。

(2)泾河平凉市区段径流量年际变化幅度很大,且呈现出相对明显的阶段性变化特征,1974-1981年、2011-2014年为两个显著的丰水期,1982-1994年出现小幅度的丰枯交替,1995-2010年为显著的枯水期,总体枯水年明显多于丰水年,这可能与区域气候变暖和人为活动的干扰有关。

(3)泾河平凉市区段径流量的主要影响因子是崆峒水库站径流量,两者相关关系达0.917;人类活动对泾河平凉市区段径流量的影响主要在1993年之后,1994-2009年对径流量有减小的作用,2010-2015年对径流量有增大作用,这也说明经过河道治理工程以后,泾河平凉市区段径流量有了明显的提升。

参考文献:

- [1] 宋小燕,穆兴民,高鹏,等. 松花江哈尔滨站近100年来径流量变化趋势[J]. 自然资源学报, 2009(10): 1803-1809.
- [2] Sivakumar B, Jayawardena A W, Fernando T M K G. River flow forecasting: use of phase-space reconstruction and artificial neural networks approaches[J]. Journal of Hydrology, 2002, 265(1-4): 225-245.
- [3] Acreman M C, Dunbar M J. Defining environmental river flow requirements-a review[J]. Hydrology & Earth System Sciences, 2004, 8(5): 861-876.
- [4] 凌红波,徐海量,张青青,等. 叶尔羌河年径流量与降水量的集中性及相关性分析[J]. 中国沙漠, 2012, 32(6): 1757-1764.
- [5] 董起广,周维博,刘雷,等. 北洛河径流量变化特征分析[J]. 人民黄河, 2014, 36(2): 20-22.
- [6] 朱佳君,张钰,唐颖丰,等. 洮河干流径流变化特征分析[J]. 人民黄河, 2012, 34(1): 27-30.
- [7] 张丹蓉,郭勉辰,夏冬梅,等. 海流兔河径流量年内分配及变化趋势分析[J]. 水文, 2013, 33(3): 85-90.
- [8] 谢成俊,范晓梅,王一博. 渭河上游径流量年内分配变化规律分析[J]. 人民黄河, 2010, 32(12): 51-53.
- [9] 陆志华,夏自强,于岚岚,等. 松花江干流中游段径流量年内分配变化规律[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2012, 40(1): 63-69.
- [10] 张跃华,徐刚,张忠训,等. 嘉陵江年径流量时间序列趋势分析[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2011, 28(5): 33-36.
- [11] 焦玮,朱仲元,宋小园,等. 近50年气候和人类活动对锡林河流域径流的影响[J]. 中国水土保持科学, 2015, 13(6): 12-19.
- [12] 胡广录,刘鹄,赵文智. 童子坝河流域水文特征与降水量的关系研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(3): 58-60.
- [13] 胡广录,张济世,樊立娟. 基于SPSS软件的黑河正义峡下泄水量预报分析[J]. 人民黄河, 2013, 35(4): 22-24.
- [14] 段义字,吕惠明. 纸坊沟小流域水文特征与降水量关系初步分析[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 257-260.
- [15] 徐长江,范可旭,肖天国. 金沙江流域径流特征及变化趋势分析[J]. 人民长江, 2010, 41(7): 10-14.
- [16] 陆志华,夏自强,于岚岚,等. 松花江干流中游段径流量年内分配变化规律[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2012, 40(1): 63-69.
- [17] 徐东霞,章光新. 嫩江径流年内变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(7): 48-51.
- [18] Zhang Aijing, Zhang Chi, Fu Guobin, et al. Assessments of impacts of climate change and human activities on runoff with SWAT for the Huifa River Basin, Northeast China[J]. Water Resources Management, 2012, 26(8): 2199-2217.
- [19] Chen Zhongsheng, Chen Yaning, Li Baofu. Quantifying the effects of climate variability and human activities on runoff for Kaidu River Basin in arid region of northwest China[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2013, 111(3): 537-545.
- [20] 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.
- [21] 穆兴民,张秀勤,高鹏,等. 双累积曲线方法理论及在水文气象领域应用中应注意的问题[J]. 水文, 2010, 30(4): 47-51.