

连云港市降雨径流关系特征分析

吴晓东, 徐立燕, 周 云, 王桂林

(江苏省水文水资源勘测局连云港分局, 江苏 连云港 222004)

摘要: 基于连云港市水文资料整编成果, 选取 1956 ~ 2013 年降雨量和径流量数据, 分析连云港市降雨径流关系特征, 采用不均匀系数、完全调节系数等指标分析连云港市降雨径流年内变化关系, 采用 Mann-Kendall 检验法分析降雨径流年际变化关系。

关键词: 降雨; 径流; 特征; 变化

中图分类号: TV125 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2017) 01-0022-05

Characteristics analysis of relation between rainfall and runoff in Lianyungang

WU Xiaodong, Xu Liyan, ZHOU Yun, WANG Guilin

(Lianyungang Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Jiangsu Province,
Lianyungang, 222004, Jiangsu)

Abstract: Based on the hydrological data in Lianyungang, rainfall and runoff data from 1956 to 2013 are selected to analyze the characteristics of relation between rainfall and runoff. The non-uniform coefficient, completely adjustment coefficient and other indexes are used to analyze the variation of rainfall runoff in a year of Lianyungang. The Mann-Kendall test method is used to analyze interannual variability of rainfall runoff.

Key words: rainfall; runoff; characteristic; change

1 概述

连云港市位于我国沿海中部的黄海之滨, 地处淮河流域沂沭泗水系最下游, 地势由西北向东南倾斜, 地形以低山丘陵和平原洼地为主。境内河网水系发达, 现有 605 条县乡河道, 总长度 2425km, 有大型水库 3 座、中小型水库 143 座, 分属于沂河、沭河、滨海诸小河三大水系, 汛期承泄上游近 8.0 万 km² 洪水入海。

本文根据连云港市水文资料整编成果, 选取连云港市 1956 ~ 2013 年降雨量和径流量资料, 分析连云港市降雨径流关系, 掌握和了解连云港市水资源特征, 以便更好地对水资源进行科学管理和合理利用, 也为制定水资源开发利用规划方案提供科学依据。

2 年内分配特征

采用不均匀系数、完全调节系数、集中度和集中期等指标从不同角度分析连云港市降雨和径流的年内分配特征变化规律。

(1) 不均匀系数

年内降雨不均匀系数 C_{ur} , 计算公式为:

$$C_{ur} = \sqrt{\sum_{i=1}^{12} \left(\frac{K_i}{\bar{K}} - 1 \right)^2 / 12}$$

式中:

C_{ur} —降雨年内分配不均匀系数;

K_i —一年内各月降雨量;

\bar{K} —一年内月平均降雨量;

C_{ur} 值越大表明年内各月降雨量相差越悬殊, 降雨年内分配也越不均匀;

收稿日期: 2016-04-19

作者简介: 吴晓东 (1984-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为水资源开发利用及经济管理。

径流的年内分配特征也根据径流年内不均匀系数 C_{ur} 来衡量。

(2) 完全调节系数

降雨完全调节系数 C_{ur} 计算公式如下:

$$C_{ur} = \sum_{i=1}^{12} \varphi(i) [R(i) - \bar{R}] / \sum_{i=1}^{12} R(i)$$

式中:

$$\varphi(i) = \begin{cases} 0, & R(i) < \bar{R} \\ 1, & R(i) \geq \bar{R} \end{cases}$$

(3) 集中度和集中期

集中度和集中期的计算是将一年内各月的降雨量(或径流量)作为向量,月降雨(或径流)的大小为向量的长度,所处的月份为向量的方向。从1月到12月每月的方位角度分别为 $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, \dots, 330^\circ$,并把每个月的降雨量(径流量)分解为 x 和 y 两个方向上的分量,则 x 和 y 方向上的向量合成分别为:

$$R_x = \sum_{i=1}^{12} R(i) \cos \theta_i; R_y = \sum_{i=1}^{12} R(i) \sin \theta_i$$

则降雨(径流)的合成成为 $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$,集中度和集中期定义如下:

$$C_d = R / \sum_{i=1}^{12} R(i); D = \arctan(R_y / R_x)$$

合成向量的方位表示一年中最大月径流量出现的月份,即集中期;集中度反映了集中期径流值占年总径流的比例。

连云港降雨、径流年内分配特征值成果见表1。

(2) 通过分析,集中度与不均匀系数变化规律一致,反映出集中度与不均匀系数具有一定相关性,即降雨径流集中度越高,其年内分配越不均匀。对比降雨和径流的集中度可见径流量集中度相对降雨量分布更为集中。

(3) 由集中期成果可见,连云港市降雨径流重心基本一致,分布在7月中上旬,且径流集中期相对于降雨集中期在时间上稍有延迟,这与降雨形成产汇流过程所需时间基本一致。

3 年际变化特征

Mann-Kendall 检验法是时间序列的变化趋势和突变情况主要研究方法之一,它可以确定突变的准确年份,检测范围宽,人为影响少,定量化程度高。本文采用 Mann-Kendall 检验法分析连云港市降雨径流年际变化演变规律。

3.1 总体变化趋势检验

在 Mann-Kendall 检验中,原假设 H_0 为时间序列数据 (x_1, x_2, \dots, x_n) ,是 n 个独立的、随机变量同分布的样本,备择假设 H_1 是双边检验。对于所有的 $k, j \leq n$,且 $k \neq j$, x_k 和 x_j 的分布是不相同的。定义检验统计量 S 的计算式为:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(X_i - X_j)$$

表1 连云港市降雨径流年内分配特征值

区域	特征值	不均匀系数		完全调节系数		集中度		集中期	
		降雨	径流	降雨	径流	降雨	径流	降雨	径流
全市	1956 ~ 1970	0.96	1.65	0.39	0.63	0.57	0.866	7.24	7.47
	1971 ~ 1985	0.92	1.69	0.36	0.60	0.55	0.862	7.17	7.35
	1986 ~ 2000	0.86	1.61	0.34	0.61	0.51	0.848	7.10	7.42
	2001 ~ 2013	1.02	1.72	0.40	0.66	0.59	0.884	7.18	7.49
	多年平均	0.93	1.65	0.37	0.61	0.55	0.864	7.18	7.44

根据表1特征值成果分析可知:

(1) 由不均匀系数和完全调节系数成果可见连云港市降雨和径流年内分配不均匀,径流比降雨年内分配更不均匀,各月差异更大,但变化过程基本一致,总体表现为2000年之前减小,2000年之后有所增加,说明径流量大小受降雨量的影响。

式中:

$$\text{Sgn}(X_i - X_j) = \begin{cases} +1, & X_i - X_j > 0 \\ 0, & X_i - X_j = 0 \\ -1, & X_i - X_j < 0 \end{cases}$$

S 为正态分布,其均值为0,方差 $\text{Var}(S) = n(n-1)(2n+5)/18$ 。当 $n > 10$ 时,标准的正态统计变量通过下

式计算:

$$Z = \begin{cases} (S-1)/\sqrt{\text{Var}(S)}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ (S+1)/\sqrt{\text{Var}(S)}, & S < 0 \end{cases}$$

α 在双边趋势检验中, 对于给定的置信水平 α , 若 $|Z| \geq Z_{1-\alpha/2}$, 则原假设 H_0 是不可接受的, 即在置信水平 α 上, 时间序列数据存在明显的上升或下降趋势。 Z 为正值表示增加趋势, 负值表示减少趋势。 Z 的绝对值在大于等于 1.28、1.64、2.32 时表示分别通过了信度 90%、95%、99% 的显著性检验。M-K 值成果见表 2。

表 2 连云港市降雨和径流系列 M-K 值统计成果

系列	全年	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
降雨	-0.93	-0.28	1.52	-0.23	-1.58	1.62	-0.36	-0.22	0.08	-0.59	-1.72*	-0.54	0.97
径流	-0.54	-0.44	-0.14	-0.13	-1.60	0.92	0.38	-0.35	0.23	-0.54	-0.54	-0.64	0.73

注: * 表示通过信度 95% 的显著性检验。

由表 2 可见降雨和径流的年际变化总体趋势为:

(1) 连云港市年均降雨量和径流量检验值均为负值, 表明连云港市降雨量和径流量年际变化总体为减小趋势, 且降雨量年际减小趋势大于径流量减小趋势, 但均未突破 95% 的显著性检验值, 说明减小趋势不显著。

(2) 通过对比, 连云港市各个月的降雨量和径流量增大和减小的变化过程及程度虽然总体基本相近, 但个别月份存在差异, 说明径流量年际变化除受降雨量影响外, 还可能受其他因素影响。

(3) 通过显著性检验分析, 连云港市降雨量和径流量显著性检验有所差异。降雨量通过 95% 检验的为 10 月份; 通过 90% 检验的有 2 月、4 月和 5 月, 其中降雨量 2 月和 5 月年际变化显著增大, 4 月和 10 月显著减小; 径流量通过 90% 检验的仅有 4 月份, 其年际变化为显著减小。

3.2 不同年代变化趋势检验

设序列为 x_1, x_2, \dots, x_n , S_k 表示第 i 个样本 $x_i > x_j$ ($1 \leq j \leq i$) 的累计数, 定义检验统计量为:

$$S_k = \sum_{i=1}^k r_i, r_i = \begin{cases} 1, & x_i > x_j \\ 0, & x_i \leq x_j \end{cases}$$

($j = 1, 2, \dots, i; k = 1, 2, \dots, n$)

定义统计变量:

$$UF_k = [S_k - E(S_k)] / \sqrt{\text{var}(S_k)}$$

式中:

$$E(S_k) = k(k-1)/4, \text{var}(S_k) = k(k-1)(2k+5)/72, 1 \leq k \leq n$$

UF_k 为标准正态分布, 给定显著性水平 α , 若 $|UF_k| \geq U_\alpha$, 则表明序列存在明显的趋势变化。将时间序列 x 按逆序排列, 再按照上式计算, 同时要求:

$$\begin{cases} UB_k = -UF_{k'}, (k = 1, 2, \dots, n) \\ k' = n+1-k \end{cases}$$

通过分析统计序列 UF_k 和 UB_k 可以进一步分析序列的趋势变化。若 UF_k 大于 0, 则表明序列呈上升趋势, 小于 0 则表明呈下降趋势; 当他们超过临界直

线时, 表明上升或下降趋势显著。如果 UF_k 和 UB_k 这两条曲线出现交点, 且交点在临界直线之间, 那么交点对应的时刻就是突变开始的时刻。

连云港市年降雨径流 M-K 趋势检验成果见图 1。

通过图 1 分析可知:

(1) 连云港市降雨和径流变化趋势规律基本相近, 即连云港市降雨径流在 20 世纪 60 年代初、中期以及 70 年代初、中期基本呈现上升趋势, 1976 年之后呈现下降趋势。

(2) 连云港市降雨和径流自 20 世纪 70 年代中期开始至 2000 年左右, UF_k 值均为负值, 且有增加的趋势, 甚至在 1995-2000 年期间均突破临界值, 说明在此期间, 连云港市降雨量和径流量呈较明显下降趋势, 这可能与全球气候变化和改革开放后地方经济建设快速发展有关。2000 年之后, UF_k 值虽然为负值但下降趋势减小, 说明 2000 年之后降雨量和径流量开始有所增加。

(3) 通过 M-K 趋势检验分析, 连云港市年降雨量和径流量均在 1966 年、1971 年、2005 年左右发生突变。

4 降雨径流关系影响因素分析

影响连云港市降雨径流关系的因素主要有自然因素和人为因素两大类。

(1) 自然因素

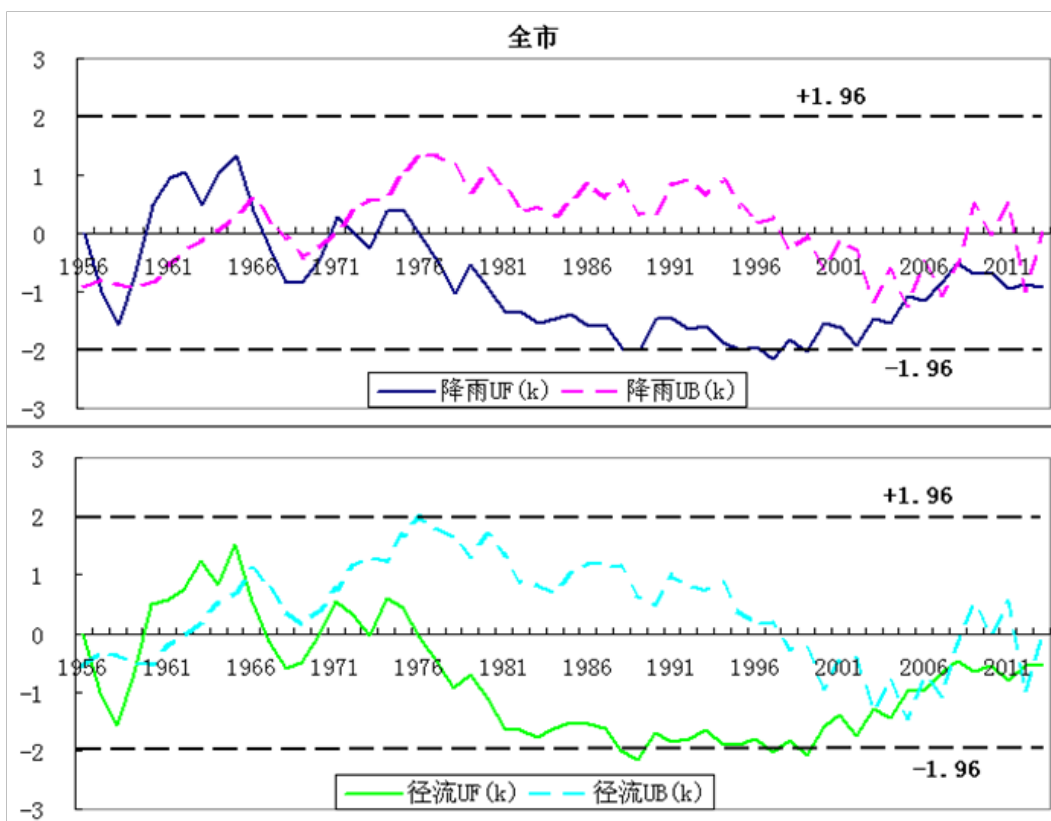


图 1 连云港年降雨径流 M-K 趋势检验成果

主要包括气候、地质地貌以及植被覆盖物等因素。气候是影响径流的最基本和最重要的因素,其降水和蒸发要素直接影响到径流的形成和变化,如降雨量级别、强度、雨型及前期降雨量的不同均可导致降雨量和径流量关系发生变化;地质地貌主要指地表各类岩石、土壤、地层结构、各种水体以及地表覆盖物的表面形态和高度、地理位置等,如同样降水量在不同区域、不同环境、不同地质结构产生的径流量会出现较大差异;植被覆盖物主要指植被种类、大小及密度等,其对径流的影响主要体现在:一是植被在降雨过程中可截留一定水分;二是可以涵养一定水量,从而增加降水过程的入渗损失量,进而影响径流形成过程。

(2) 人为因素

包括水利工程建设、农田建设、城市建设、水土保持以及水资源开发利用等因素。人为建设从多方面改变原有的水文下垫面状况,如改变透水性、减小地面坡度、破坏地表原有天然植被,水库建设改变了下游原有水文过程,农田建设改变了原有径流方式,城市建设则大大减小了降雨入渗,增大了城市内涝概率;梯田及小流域水土保持综合治理,改变了土壤结构及地质构造,增加地面植被,对产汇流产生影响;连云港市水资源开发利用程度不同,部分区

域地下水超采严重,地下水位大大下降,包气带缺水增大,从而导致地表径流量的衰减,影响降雨径流关系。

目前,对影响降雨径流关系的自然因素和人为因素的具体影响程度的区分还缺少客观可信的方法,基于此,本文仅从降雨量变化来分析降雨对径流的影响程度。

根据连云港市经济发展情况,结合上述 M-K 趋势检验成果,初步认为 1971 年以前区域受人类活动影响较小或基本没有受到人类活动影响。选取突变点之前 1956 ~ 1971 年这一时段作为研究时段的基准期,采用回归分析,建立连云港市天然状态下年降雨量和径流量相关关系为: $Y=147.41X^{0.331}$ ($R^2=0.8456$)。根据该降雨径流关系推求 1972 ~ 2013 年均天然径流量为 255.9 mm,较 1956 ~ 1971 年间减少 44.5 mm; 1972 ~ 2013 年平均实测降雨量 884.2 mm,较 1956 ~ 1971 年间减少 70.6 mm,由降雨量变化导致径流量变化的贡献率为 63%。

5 结论

本文从不同角度分析了连云港市降雨量和径流量年内、年际变化特征,其结论如下:

