

# 胶东山丘区典型流域径流年内分配特征量化研究

刘德林<sup>1</sup>, 刘贤赵<sup>1\*</sup>, 李嘉竹<sup>1</sup>, 宿庆<sup>2</sup>

(1. 鲁东大学地理与规划学院, 山东 烟台 264025; 2. 鲁东大学图书馆, 山东 烟台 264025)

**摘要:** 采用 Mann-Kendall法和最小方差法, 对大沽夹河流域 1966~2004年逐月实测径流数据进行均值变点分析。根据分析结果, 将径流划分为水文变化特征相似的 A(1966~1971年)、B(1972~1981年)、C(1982~1996年)、D(1997~2004年)4个时段。在此基础上借鉴年降水年内分配的向量法, 提出了量化径流年内分配的集中度和集中期。结果表明: 1. 大沽夹河的不同水文年, 其径流年内分配的特征不同。时段 A 集中度最小, 时段 D 最大, 4个时段变差系数为 0.12。时段 A 和时段 C 的集中期比较接近, 最大径流出现的时间均在 7月下旬, 时段 B 和时段 D 的集中期比较相似, 最大径流出现的时间在 8月中下旬。径流年内分配与降水年内分配两者呈显著正相关。2. 用月径流量计算的集中度比径流年内不均匀系数具有更高的分辨能力和有效性, 用月径流量计算的集中期对应的月份与月径流最大值出现的实际月份完全一致, 径流集中度、集中期能够充分定量地表征径流在年内分配的非均匀性。

**关键词:** 径流年内分配; Mann-kendall法; 径流集中度; 径流集中期; 不均匀系数

**中图分类号:** P333.3

**文献标识码:** A

河川径流的年内分配是水资源评价、水文区划、水利规划、农业区划以及河流分类的重要指标之一, 也是国民经济与各用水部门必不可少的基础数据。众所周知, 河川径流的年内分配是不均匀的, 不同的河流及同一河流的不同年份, 径流年内分配的不均匀程度不同, 这种客观存在的水文现象不仅直接影响着水利工程的规模与水资源的开发利用<sup>[1]</sup>, 还将增加对水文预报、防洪治涝、水库调度和工农业用水的难度。随着气候变暖和人类活动的影响, 河川径流年内分配的不均匀性还可能进一步加剧<sup>[2-4]</sup>。然而, 迄今为止, 对径流年内分配的这一重要径流特性的精确定量研究还相当薄弱。目前, 常见的径流年内分配不均匀性的定量指标多采用各月、各季平均径流量占全年径流总量的百分数表示, 或采用季节以及洪、枯水期的相对数表示, 也有在地表水资源调查评价中采用连续 4个月最大值所占年径流量的百分数表示年径流年内分配的<sup>[5]</sup>。用年径流不均匀系数表示年径流年内分配的方法, 也有过不少单位

应用<sup>[6]</sup>。事实上, 水文特征的年内分配往往集中出现在一年中的一个或几个时期, 在该时期中又往往集中出现在某一数值附近。上述方法虽然很直观, 很方便, 但它们均不能反映水文特征年内分配的这种特点。为此, 本文在前人研究的基础上, 利用胶东丘陵大沽夹河典型流域 1966~2004年逐月实测径流资料, 结合变点探索分析技术, 借鉴年降水量年内分配的向量法, 用径流集中度(RCD)和径流集中期(RCP)定量分析流域径流年内分配特征, 辅之以不均匀系数( $C_I$ )进行比较并进一步加以说明, 以期为流域水资源的合理开发利用提供数据基础。

## 1 资料来源与流域概况

所用资料是烟台水文水资源勘测局提供的 1966~2004年大沽夹河流域福山站逐月实测径流数据, 流域径流、降水、气温和蒸发多年月平均值变化如图 1。大沽夹河发源于胶东半岛中部山地, 是

收稿日期(Received date): 2006-12-01; 改回日期(Accepted): 2007-03-20.

基金项目(Foundation item): 山东省自然科学基金项目(Q2002E03)资助。[Supported by the Nature Science Project of Shandong Province(Q2002E03)]

作者简介(Biography): 刘德林(1979-), 男, 山东潍坊人, 硕士研究生, 主要从事水土资源研究。[Liu Delin(1979-), Male, from Weifang County, Shandong Province. Master student Major on soil and water resource. Email liudel1999@yahoo.com.cn]

\* 通讯联系人: xianzhao li@sina.com (Tel): 0535-6693671

烟台市重要的淡水资源库。该流域属暖温带季风气候,流域内山区和丘陵面积约占 85%,平原仅占 15%,干流长 75 km,流域面积 1 072 km<sup>2</sup>,在烟台市区与经济技术开发区注入黄海(套子湾),河道基本特征如表 1。所选福山水文站(设立于 1951 年)位于大沽夹河流域下游至入海河口 11 处,控制面积约 970 km<sup>2</sup>,在胶东半岛北部具有很好的代表性。近 20 a 来,随着烟台市人口的急增和社会经济的快速发展,各种需水、用水量剧增,加之气候变暖、降水量减少,地区涵养水分能力降低和蒸发加剧等环境因素的影响,全年的降水和径流在时间分配上变得极不均匀,年内降水总量的 76.6% 和年内径流总量的 92.6% 均集中在 6~10 月,近年来受人类活动的影响,径流年内分配的不均匀性进一步加剧。

## 2 研究方法

河川径流是一种非线性现象,单站不同水文年的径流年内分配应该具有显著差异。为了比较准确、客观地分析大沽夹河流域径流年内分配特征,首先以 1966~2004 年实测逐月径流量作为基础资料,采用 Mann-Kendall 法(简称 M-K)进行均值变点分析<sup>[7,8]</sup>,划分径流时段,然后再选用集中度、集中期、年内分配不均匀系数等指标进行量化研究。

### 2.1 径流时段划分

M-K 法是 Mann 和 Kendall 提出的一种时间序列趋势检验法。该法以径流时间序列平稳为前提,遵从正态分布且各样本间相对独立。即在原假设 H<sub>0</sub>:

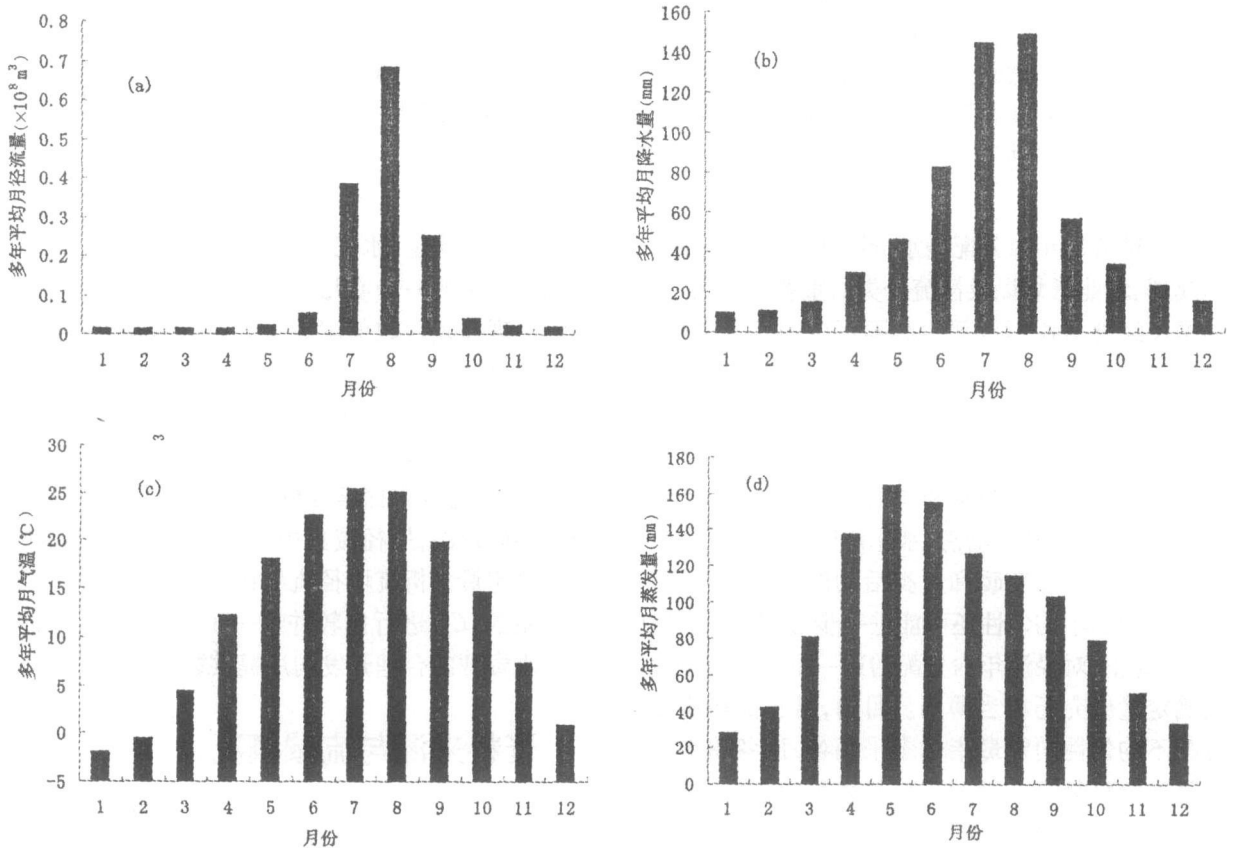


图 1 大沽夹河流域福山水文站多年平均月径流量、降水量、气温和蒸发量

Fig 1 Average monthly runoff precipitation, temperature and evaporation of Fushan Hydrological station at the Dagujia River basin

表 1 大沽夹河流域河道基本特征

Table 1 The basic characteristics of riverway in Dagujia River basin

干流长度 (km)	流域平均宽度 (km)	干流平均坡度	河网密度 (km/km <sup>2</sup> )	河道弯曲系数	河道不对称系数	河流形状指数	流域形状	河道断面形状
75.0	16.1	1.17‰	0.07	1.58	-0.25	0.26	长条形	梯形

径流时间序列平稳的前提下, 设径流序列为  $x_1, x_2, \dots, x_N$ ,  $m_i$  表示第  $i$  个样本  $x_i$  大于前面样本的累计数, 表示为

$$d_k = \sum_{i=1}^k m_i \quad (2 \leq k \leq N) \quad (1)$$

在原序列随机、独立和平稳的假定下,  $d_k$  的均值和方差可用下式估计

$$\begin{cases} E_{(d_k)} = \frac{k(k-1)}{4} \\ Var_{(d_k)} = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72} \end{cases} \quad (2 \leq k \leq N) \quad (2)$$

将新建序列  $d_k$  标准化得

$$U_{(d_k)} = \frac{[d_k - E_{(d_k)}]}{\sqrt{Var_{(d_k)}}} \quad (3)$$

式中  $U_{(d_k)}$  为标准分布, 若概率分布为  $\alpha = prob(|U| > |U_{(d_k)}|)$ , 给定一定显著水平  $\alpha_0$ , 如果  $\alpha_1 > \alpha_0$ , 接受原假设  $H_0$ , 若  $\alpha_1 < \alpha_0$ , 则拒绝原假设  $H_0$ , 这说明该序列存在明显变化趋势。

将上述方法应用到反序列中,  $\bar{m}_i$  表示第  $i$  个样本  $x_i$  大于后面样本的累计数, 设  $j = n + 1 - i$  令  $\bar{m}_i$

$= m_j$ , 则反序列的  $\bar{u}_{(d_j)}$  由下式计算

$$\begin{cases} \bar{u}_{(d_j)} = -u(d_j) \\ j = N + 1 - i \end{cases} \quad (i, j = 1, 2, \dots, N) \quad (4)$$

用  $c_1$  和  $c_2$  分别表示  $U_{(d_k)}$  和  $\bar{u}_{(d_j)}$  随时间变化的曲线, 若曲线  $c_1$  和  $c_2$  的交点位于信度区间内, 该点即是径流突变点, 若交点位于信度区间外, 应采用最小二乘法对其进一步验证是否为突变点。

从 M - K 法的分析结果 (图 2) 可以发现, 1968 年、1971 年和 1981 年 3 个交叉点显然是径流突变点 (通过置信度 95% 的检验), 进一步采用最小二乘法, 对 1996 年与 2001 年两交点的进一步分析表明, 1996 年是径流突变点, 而 2001 年则不是。根据变点分析结果, 结合大沽夹河年径流量过程线 (图 3) 和影响径流时段划分的因素 (大气降水、气温、径流开发、水土保持和生产生活用水等)<sup>[9]</sup>, 将径流演变过程划分为 1966~1971 年、1972~1981 年、1982~1996 年和 1997~2004 年 4 个时段, 共分别用 A、B、C、D 表示。

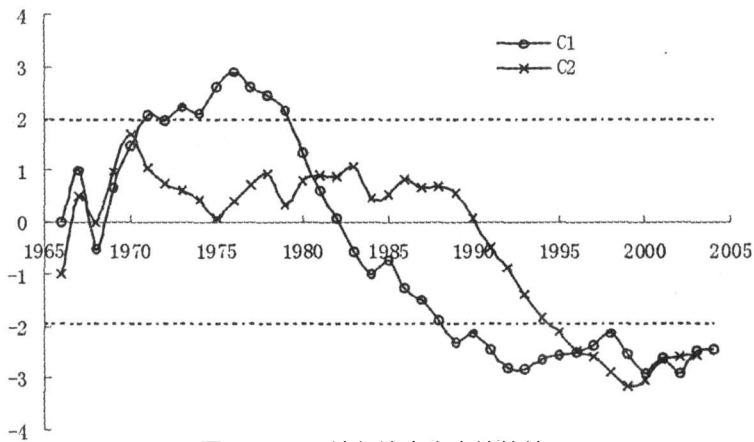


图 2 M - K 法径流突变点计算结果

Fig 2 The abrupt change points of runoff computed by M - K method

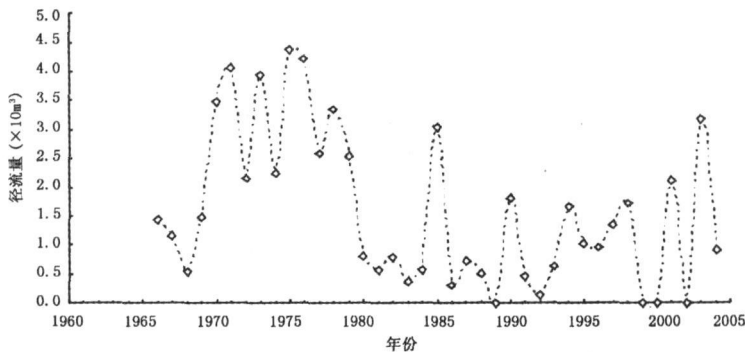


图 3 大沽夹河年径流量过程线 (1966~2004)

Fig 3 Yearly runoff process line of Dagujia River (1966~2004)

### 2.2 集中度与集中期的计算原理

借鉴年降水量年内分配的向量法<sup>[10]</sup>定义径流集中度和集中期。径流集中度和集中期是用逐月径流量反映年内径流量集中程度和最大径流出现时段的重要指标。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。向量方向的确定是把一年 365 d 看成一个圆周,每日近似于 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  $\theta_i$  分别为 0°, 30°, ..., 330°,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  $R_x$ 、 $R_y$  及各月径流向量的合成总向量  $R$  可用下式表示

$$\begin{cases} R_x = \sum_{i=1}^{12} r_{xi} = \sum_{i=1}^{12} r_i \sin\theta_i \\ R_y = \sum_{i=1}^{12} r_{yi} = \sum_{i=1}^{12} r_i \cos\theta_i \\ R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} + \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{12} r_i \sin\theta_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{12} r_i \cos\theta_i\right)^2} \end{cases} \quad (5)$$

式中  $r_i$  和  $\theta_i$  分别为月径流量的大小和方向。集中度  $RCD$  和集中期  $RCP$  可定义为

$$\begin{cases} RCD = \frac{R}{\sum_{i=1}^{12} r_i} \times 100\% \\ RCP = \arctg\left(\frac{R_y}{R_x}\right) \end{cases} \quad (6)$$

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

## 3 结果与分析

### 3.1 径流年内分配的不均匀性分析

利用上面提出的径流集中度和径流集中期的计算方法,分别计算了大沽夹河流域福山水文站 4 个

时段的径流集中度和集中期,并与传统反映河川径流年内分配不均匀性的重要指标——不均匀系数 ( $C_i$ ) 进行比较,结果列于表 3。从表 3 可以看出,大沽夹河流域不同时段径流集中度和集中期具有较大差异,尤其是集中期。从径流年内分配的集中度看,时段 A 最小,时段 D 最大,时段 B、C 介于二者之间,变差系数为 0.12。就集中期而言,时段 A 和时段 C 比较接近,时段 B 和时段 D 较为一致。二者最大径流出现的时间分别为 7 月下旬和 8 月中、下旬,时段 D 集中期出现的时间相对多年平均值 (08-10~11) 推迟约 10 d,变差系数达 28.2。上述分析结果与采用 M-K 法对大沽夹河流域 1966~2004 年划分的 4 个时段径流年内分配情况基本一致 (图 4)。这种河川径流年内分配的不均匀性主要与径流补给条件有关。大沽夹河流域地处温带大陆性季风气候区,年内蒸发对径流年内分配的影响较小,降水是径流的主要补给来源,不同时段年内径流分配与年内降水分配基本一致,相关系数除时段 C 外均在 0.95 以上,两者在 0.01 和 0.001 水平上呈极显著正相关关系 (表 4),这在一定程度上蕴示了气候波动对河川径流的影响。

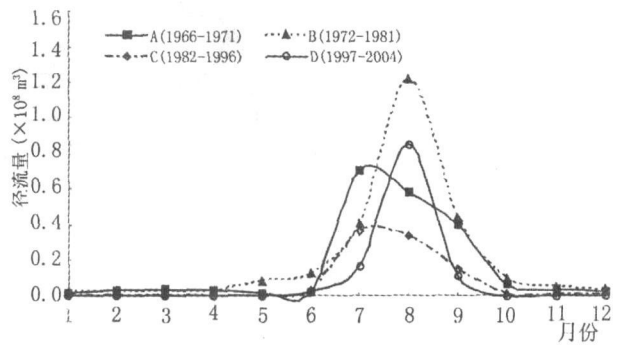


图 4 大沽夹河流域不同时段径流年内分配特征

Fig 4 Distribution characteristics of annual runoff at the different period in the Daguja River basin

表 3 大沽夹河流域不同时段径流年内分配特征

Table 3 Annual runoff allocation characteristics at the different period in the Daguja River basin

时段	月平均流量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> /s)												RCD	RCP		C <sub>i</sub>
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月		合成向量	出现时间	
A	0.77	1.14	1.36	1.24	0.67	1.02	26.2	21.7	15.4	2.51	1.50	1.02	0.695	203.1°	07-25	0.57
B	0.87	0.96	0.80	1.13	2.85	4.47	14.8	41.6	15.3	3.42	1.95	1.25	0.763	224.3°	08-13	0.59
C	0.23	0.19	0.16	0.02	0.01	1.14	13.6	12.9	6.21	0.61	0.44	0.37	0.866	209.0°	07-31	0.73
D	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	1.20	8.31	42.1	6.03	0.12	0.00	0.00	0.973	231.4°	08-21	0.81

表 4 大沽夹河流域不同时段水文特征及相关关系

Table 4 The hydrological characteristics and correlative relation at the different period in Dagujia River basin

时段	径流量 ( $10^8\text{m}^3$ )		降水量 (mm)		蒸发量 (mm)		相关系数	
	6~10月	占全年百分数 (%)	6~10月	占全年百分数 (%)	6~10月	占全年百分数 (%)	径流与降水	径流与蒸发
A	1.773	89.77	557.25	75.59	699.17	57.34	0.965	-0.239
B	2.288	88.99	454.37	72.89	581.75	49.89	0.955	-0.291
C	0.892	96.02	430.80	68.97	553.57	53.51	0.765	-0.108
D	1.156	99.91	492.00	73.53	533.50	49.09	0.972	0.318

表示相关程度在 0.001 水平上极显著, 表示在 0.01 水平上显著。 Denotes the correlation coefficient significant at 0.001 level presents correlation coefficient significant at 0.01 level

表 5 1966~2004 年大沽夹河流域径流年内分配计算成果

Table 5 Annual runoff allocation characteristics in the Dagujia River basin (1966~2004)

年	月平均流量 ( $10^4\text{m}^3/\text{s}$ )												RCD	RCP	$C_I$
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月			
1966	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.77	11.8	15.9	13.1	5.21	3.80	1.76	0.76	221.3°	0.51
1967	1.74	2.72	1.96	0.81	2.23	0.81	6.32	20.5	3.34	1.19	0.92	0.92	0.53	203.9°	0.45
1968	0.71	0.76	0.73	0.59	0.19	0.06	5.21	9.35	0.60	0.71	0.51	0.68	0.61	203.6°	0.56
1969	0.92	1.81	2.70	5.49	1.51	0.17	1.68	33.2	4.78	1.64	0.98	0.54	0.58	204.8°	0.53
1970	0.38	0.72	0.40	0.01	0.00	0.46	96.9	10.2	16.8	2.32	1.18	1.16	0.87	191.5°	0.70
1971	0.84	0.83	2.36	0.54	0.06	1.84	35.3	40.8	54.0	3.97	1.59	1.04	0.82	216.1°	0.66
1972	1.09	1.58	1.98	0.42	0.57	0.31	15.8	38.9	6.25	2.28	2.01	1.64	0.74	208.9°	0.59
1973	1.29	1.03	0.51	0.93	21.5	9.83	8.14	23.5	60.3	9.37	2.79	1.77	0.63	215.2°	0.50
1974	1.08	1.10	0.88	1.01	2.32	4.59	10.4	42.9	5.03	2.35	1.78	1.71	0.74	205.4°	0.54
1975	1.02	0.77	0.56	0.73	0.85	1.50	5.44	104	22.2	7.69	6.86	3.28	0.84	219.8°	0.65
1976	1.23	1.82	2.08	0.81	0.49	10.5	23.4	71.4	26.3	3.9	2.06	1.39	0.80	208.7°	0.58
1977	1.15	1.07	0.56	0.18	0.40	1.73	22.0	41.4	8.26	1.28	1.39	0.74	0.83	205.3°	0.64
1978	0.55	0.45	0.26	0.00	0.00	7.59	37.9	32.9	20.7	2.13	1.22	0.69	0.84	202.6°	0.63
1979	0.66	1.08	0.47	6.85	2.26	6.62	7.64	50.0	1.98	4.83	0.87	0.68	0.71	199.3°	0.51
1980	0.33	0.21	0.20	0.32	0.13	2.05	5.25	3.35	1.96	0.34	0.50	0.60	0.65	195.8°	0.49
1981	0.34	0.53	0.47	0.09	0.00	0.00	12.4	7.39	0.29	0.00	0.00	0.00	0.85	190.1°	0.75
1982	0.05	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.30	22.8	1.35	0.00	2.33	2.08	0.81	221.5°	0.70
1983	0.60	0.58	0.75	0.10	0.00	0.00	0.79	3.42	7.37	0.39	0.00	0.00	0.68	231.3°	0.60
1984	0.01	0.14	0.11	0.00	0.00	0.00	3.89	11.7	2.61	1.43	0.49	0.67	0.83	215.3°	0.61
1985	0.43	0.47	0.31	0.00	0.00	0.00	7.87	66.4	33.2	3.73	1.52	0.94	0.90	220.2°	0.70
1986	0.91	0.70	0.40	0.00	0.00	0.00	56.8	4.04	0.36	0.00	0.00	0.00	0.93	181.6°	0.82
1987	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.78	19.5	0.32	0.62	0.59	0.94	235.4°	0.78
1988	0.35	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	12.1	3.74	2.17	0.00	0.00	0.00	0.89	193.1°	0.73
1989	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	60.0°	0.92
1990	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.2	5.63	14.8	2.17	0.62	0.49	0.87	198.4°	0.70
1991	0.41	0.35	0.26	0.01	0.00	1.93	8.11	1.09	3.46	0.38	0.54	0.45	0.67	196.5°	0.54
1992	0.49	0.25	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.79	0.00	0.00	0.00	0.72	249.6°	0.76
1993	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.6	8.56	10.5	0.78	0.10	0.00	0.00	0.92	191.3°	0.71
1994	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.17	33.8	21.6	0.49	0.00	0.00	0.00	0.95	188.0°	0.74
1995	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.4	3.0	0.50	0.29	0.20	0.97	213.7°	0.81
1996	0.19	0.19	0.19	0.18	0.17	5.36	26.9	2.16	0.2	0.16	0.12	0.07	0.92	177.0°	0.73
1997	0.05	0.06	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	49.1	0.89	0.01	0.00	0.00	0.99	210.5°	0.90
1998	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	7.37	47.2	9.12	0.21	0.00	0.00	0.96	210.8°	0.74
2001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.7	47.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.97	198.3°	0.83
2002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	210.0°	0.92
2003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.02	8.46	78.8	24.9	0.45	0.00	0.00	0.93	211.3°	0.70
2004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.34	29.8	1.24	0.07	0.00	0.00	0.00	0.98	208.3°	0.80
平均	0.46	0.52	0.50	0.52	0.88	2.03	15.1	26.8	10.1	1.60	0.95	0.65	0.83	203.1°	0.68

\* 1999年、2000年全年各月平均流量均为 0 略去。

### 3.2 集中度、集中期量化径流年内分配的有效性

为了说明集中度、集中期量化径流年内分配的有效性,表 5 列出了 1966~2004 年大沽夹河流域径流年内分配的计算结果。从表 5 可以看出,集中期对应的月与平均月径流最大值出现的实际月一致。如 1982 年福山水文站计算的集中期是 221.5°, 换算成日期大约是 08-12~13, 而实际最大月径流量也发生在 08-12 二者完全一致。从集中度与不均匀系数的计算成果看,二者具有较好的同步性变化规律,凡是集中度数值高的,不均匀系数值也高(见表 3 表 5),但是径流集中度比不均匀系数具有更高的分辨能力(或敏感性),这一点可以从不均匀系数  $C_i$  一般性计算公式<sup>[7]</sup>得到证实

$$C_i = \left( \sum_{i=1}^n Q_i - nQ_0 \right) / 12Q_0 \quad (7)$$

式中  $Q_0$  为年平均径流量,  $Q_i$  为各月径流量。由式(7)可以看出,在大于年平均流量  $Q_0$  的所有月份当中,尽管各月流量  $Q_i$  大小组合不同,但只要大于平均值  $Q_0$  的各月流量  $Q_i$  和不变,在相同的  $Q_0$  条件下均能得到同一个  $C_i$ ; 而相应的  $RCD$  则不一样,尽管各月流量  $Q_i$  之和相等,但组成不同时  $RCD$  值不会相等。这说明年径流不均匀系数对年内径流分配的敏感性不如集中度灵敏,同时也不能象集中期那样反映最大径流出现的确切时间,从而证实采用集中度和集中期更能充分地反映年径流年内分配的特点,表明用集中度、集中期表示年径流年内分配更为合适,具有很好的有效性和自明性。

## 4 结论

1. 应用变点探索分析技术,采用 Mann-Kendall 法和最小二乘法,将大沽夹河流域近 40 年来逐月径流数据划分为水文变化特征相似的 4 个时段,减少了时段划分时主观因素的影响,使对径流年内分配特征的研究更加客观准确。

2. 大沽夹河的不同水文年,其径流年内分配的特征不同。时段 A 集中度最小,时段 D 最大,4 个时段变差系数为 0.12。就集中期而言,时段 A 和时段 C 最大径流出现的时间均在 7 月下旬,时段 B 和时段 D 最大径流出现的时间在 8 月中下旬,其中时段 D 集中期出现的时间相对多年平均值(08-10~11)推迟约 10 d。径流年内分配与降水年内分配两者呈显著正相关。

3. 径流年内分配特征的量化指标较多,本文从

借鉴降水量年内分配的向量法提出的表示径流年内分配特征的集中度和集中期比径流年内不均匀系数具有更高的分辨能力和有效性,它能够从不同侧面揭示径流年内分配特征,并用集中期来表示径流最大值出现的时间,与实际结果完全一致。这对于水文预报、防洪治涝、水库调度以及农作物的合理安排等都具有重要的实际意义。

## 参考文献 (References)

- [1] Shi Jiayang. Comprehensive Utilization of Water Resources [M]. Beijing: China Irrigation Work Press, 1995. 58~78 [施嘉扬. 水资源综合利用 [M]. 北京: 中国水利出版社, 1995. 58~78]
- [2] Zhang Guosheng, Li Lin, Shi Xinghe. Climatic changes over the upper Yellow River and its effects on water resources [J]. *Advances in Water Science*, 2000, 11(3): 277~283 [张国胜, 李林, 时兴合. 黄河上游地区气候变化及其对黄河水资源的影响 [J]. 水科学进展, 2000, 11(3): 277~283]
- [3] Yan Heye. Study on the impact of human activities on runoff in Qin River basin [J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2003, 36(6): 5~7 [燕荷叶. 人类活动对沁河流域径流影响研究 [J]. 水利水电技术, 2003, 36(6): 5~7]
- [4] Han Tianding, Ye Baisheng, Ding Yongjian. Study on the change of stream flow in the upper reaches of the Yellow River in recent 40 years [J]. *Arid Land Geography*, 2004, 27(4): 553~557 [韩添丁, 叶柏生, 丁永建. 近 40 年来黄河上游径流变化特征研究 [J]. 干旱区地理, 2004, 27(4): 553~557]
- [5] Feng Guangyang. A discussion on coefficient of nonuniformity in hydrologic year [J]. *Mountain Research*, 1991, 9(1): 27~32 [冯光扬. 水文年内不均匀系数的探讨 [J]. 山地研究(现《山地学报》), 1991, 9(1): 27~32]
- [6] Yang Yuandong. The calculation methods of annual runoff distribution [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1984, 39(2): 218~227 [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]
- [7] Li Jianping, Chou Jifan, Shi Jiuen. Detecting method on the mean value jump of the climate [J]. *Journal of Beijing Meteorological College*, 1996, 2: 16~21 [李建平, 丑纪范, 史久恩. 气候均值突变的检测方法 [J]. 北京气象学院学报, 1996, 2: 16~21]
- [8] Li Jianping, Shi Jiuen. The detection and analysis of the abrupt change of the global climate during the 100 years [J]. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1993, 17(suppl): 132~140 [李建平, 史久恩. 一百年来全球气候突变的检测与分析 [J]. 大气科学(增刊), 1993, 17: 132~140]
- [9] Liu Delin, Liu Xianzhao, Li Xiguo. Analysis of runoff decreasing trend and driving force for the typical basin of hilly area in Jiaodong Peninsula [J]. *Journal of China Hydrology*, 2006, 5: 61~64 [刘德林, 刘贤赵, 李希国. 胶东半岛丘陵陵区典型流域径流衰减态势及驱动力分析 [J]. 水文, 2006, 5: 61~64]
- [10] Zhang Lujin, Qian Yongfu. Annual distribution features of the yearly precipitation in China and their inter annual variations [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2003, 17(2): 146~163

# A Quantification Study on Distribution Characteristics of Inner Yearly Runoff of the Representative Drainage Basin in Jiaodong Massif Area

LU Delin<sup>1</sup>, LU Xianzhao<sup>1</sup>, LI Jiazhu<sup>1</sup>, SU Qing<sup>2</sup>

( 1. College of Geography and Plan, Ludong University, Yantai 264025, China; 2. Library of Ludong University, Yantai 264025, China )

**Abstract** Mann-Kendall and minimum variance methods are used in this study to analyze the mean value change-point of the runoff data observed by Fu-Shan hydrological station in Dagu jia River basin from 1966 to 2004. Based on the calculated results the runoff time series is divided into four periods A ( 1966~ 1971), B ( 1972~ 1981), C ( 1982~ 1996) and D ( 1997~ 2004) with the similar hydrological variation characteristics. Runoff-concentration degree ( $RCD$ ) and runoff-concentration period ( $RCP$ ) were put forward by means of vector composition computing annual distribution of yearly precipitation. The results indicated that are follow: (1) The inner annual runoff distribution characteristics in the Dagu jia River basin were different under the condition of different hydrology year. The  $RCD$  of period A was least and the  $RCD$  of period D was most. The change-variation coefficient was 0.12 at the four periods. The  $RCP$  of period A was very close to period C, the runoff maximum appeared at the last ten-day of July. The period B was very similar to the period D in  $RCP$ , the runoff maximum appeared at the middle ten days or the last ten-day of August. (2) The  $RCD$  calculated by monthly runoff volume was higher resolving power and validity than that of non-uniform coefficient denoting annual runoff distribution. The month corresponding runoff concentration period computed by monthly runoff was closely consistent with actual month that maximum of monthly runoff appeared. It was proved that runoff concentration degree and concentration period could well display the non-uniformity in the annual distribution of runoff.

**Key words** annual runoff distribution; Mann-Kendall method; runoff concentration degree; runoff concentration period; non-uniform coefficients