

# 大沽夹河流域径流年内分配特征的量化研究

刘德林, 刘贤赵, 张继平

(鲁东大学地理与资源管理学院, 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, 根据变点分析结果, 将径流划分为水文变化特征相似的 4 个时段, 并分析了各时段年内分配不均匀系数、集中度和集中期及变化幅度等特性。结果表明: (1) 大沽夹河流域径流年内分配十分不均匀, 径流量主要集中在 6~ 10 月份, 11 月至次年 4 月所占比重不大。(2) 1966~ 1971 年和 1982~ 1996 年的年内分配特征比较接近, 1972~ 1981 年和 1997~ 2004 年的比较相似。(3) 1997~ 2004 年的径流年内分配特征发生了较大变化(年内分配极不均匀、集中度较高、变化幅度较大等), 致使流域水资源开发利用的难度加大。

**关键词:** 大沽夹河; 径流; 年内分配; Mann- kendall 法; 不均匀系数; 集中度

中图分类号: P332.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)06-0107-03

## A Study on the Quantification of Annual Runoff Distribution Characteristics in the Dagujia River Basin

LIU De-lin, LIU Xian-zhao, ZHANG Ji-ping

(College of Geography and Resource Management, Ludong University, Yantai, Shandong 264025, China)

**Abstract:** Mann- Kendall and minimum variance methods were applied to analyze the average value change-point of the runoff data in Dagujia River basin from 1966 to 2004, based on this results, the runoff was divided into four periods. And then the change of annual runoff distribution in Dagujia River basin was discussed by using the index of unevenness, degree and time concentration, and variation range etc. The results showed that: (1) The annual runoff distribution in Dagujia River was very uneventful, the runoff mainly concentrated in Jun to Oct. (2) The annual runoff distribution during 1966~ 1971 was very similar to that of 1982~ 1996, and the 1972~ 1981 was almost similar to 1997~ 2004. (3) The annual runoff distribution has changed a lot during 1997~ 2004, which caused more difficulty in exploiting and using the water resource.

**Key words:** Dagujia River; runoff; annual distribution; Mann- Kendall rank statistical method; nonuniform coefficient; concentration degree

河川径流的年内分配是水文水资源学研究的重要内容之一<sup>[1~3]</sup>, 它与河川径流的补给来源、流域的自然地理要素、几何特征以及人类活动等有着密切的联系, 是国民经济各用水部门必不可少的基础数据, 也是水资源评价、水文和水利化区划以及河流分类等研究的重要内容<sup>[4]</sup>。近半个世纪以来, 随着全球变暖和人类活动影响的加剧, 河川径流的年内分配特征也发生着相应的变化<sup>[5~7]</sup>, 这种变化不仅直接影响着水资源的开发利用与合理配置, 同时还影响着与其相关的一系列物理、化学和生物过程, 从而给水资源评价与管理、农业及流域等生态系统带来一系列的影响<sup>[8]</sup>。

大沽夹河发源于胶东半岛中部山地, 全长 75 km, 流域面积 2 220 km<sup>2</sup>, 是烟台市重要的淡水资源库。近 20 年来, 随着烟台市人口的增长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, 使大沽夹河流域的生态系统遭到了一定程度的破坏, 出现了水土流失、水量减少甚至径流断流等现象。这不仅制约了烟台地区社会经济的健

康发展, 同时也影响着该区工、农业和生活用水。鉴于此, 本文以大沽夹河流域福山水文站 1966~ 2004 年逐月实测径流数据资料为基础, 采用年内不均匀系数、集中度(期)及变化幅度等指标, 结合变点探索分析技术<sup>[9,10]</sup>, 定量分析流域内径流年内分配特征的变化规律, 以期能为流域水资源的合理开发利用提供科学依据。

### 1 流域概况

大沽夹河地处胶东半岛中部, 流经海阳、栖霞、蓬莱、福山、芝罘和莱山等县、市、区的一部分, 属暖温带大陆性季风气候。截至 2000 年底, 流域内共有大、中型水库和地下水库各 1 座, 扬水站 5 处, 拦河闸坝 6 座, 橡胶坝 7 处, 总控制面积为 146.4 km<sup>2</sup>。其中, 上游水库总拦洪能力达  $3.17 \times 10^7$  m<sup>3</sup>, 总蓄水能力为  $2.50 \times 10^7$  m<sup>3</sup>, 占多年平均径流量的 15.9% 左右。流域内山区和丘陵面积约占 85%, 平原仅占 15% 左右, 境内以沙质岩为主, 地表覆盖层岩, 两侧多系淤土, 有黄壤土, 黄土多分布在流域两侧的山丘地带, 厚度一般在 0.3~ 0.5 m。全

\* 收稿日期: 2006-03-29

基金项目: 山东省自然科学基金项目(Q02E03)资助

作者简介: 刘德林(1979-), 男, 山东潍坊人, 在读硕士研究生, 主要从事水土资源高效利用方面的研究工作。

境耕地面积约 1.67 万  $\text{hm}^2$ , 占总面积的 38% 左右。距地面 50 m 以上高程, 以植树造林为主, 主要是松树林, 其次是经济林, 总覆盖面积约 80%。近年来, 由于毁林造田, 新开工标准不高, 水土流失较以往有偏高趋势。其河道基本特征见表 1。

表 1 大沽夹河流域河道基本特征

干流长 度/km	流域平均 宽度/km	干流平 均坡度/( $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$ )	河网密度 / $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$	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

2 研究方法

水文(径流)现象是非线性现象, 为了比较准确、客观的分析大沽夹河流域径流年内分配特征, 首先应用变点探索分析技术, 采用 Mann-Kendall 法(简称 M-K)进行均值变点分析, 结合实际情况, 将径流划分为水文特征变化相似的时段。再选用年内分配不均匀系数、集中度(期)以及变化幅度等指标进行量化研究。

2.1 径流阶段的划分

变点检测的方法很多, 本文采用 M-K<sup>[9, 10]</sup> 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。

M-K 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。

在原假设  $H_0$ : 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:

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

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表示:

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

将新建序列  $d_k$  标准化得:

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

式中:  $U_{(dk)}$ ——标准分布, 若概率分布为  $\alpha_i = \text{prob}(|U| > |U_{(dk)}|)$ , 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,  $\overline{m_i}$  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  $\overline{m_i} = m_j$ , 则反序列的  $\overline{u_{(dk)}}$  由下式计算:

$$\begin{cases} \overline{u_{(di)}} = -u(d_j) \\ j = N + 1 - i \end{cases} \quad (i, j = 1, 2, \dots, N) \tag{4}$$

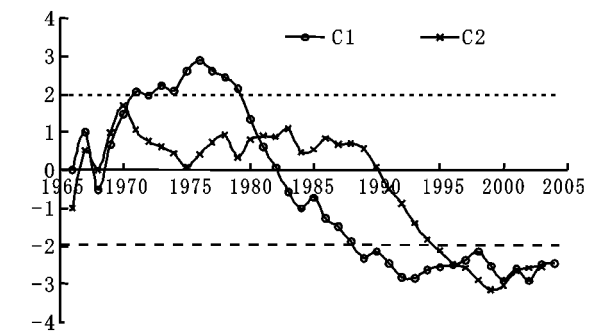


图 1 M-K 法径流变点计算图

给出  $\overline{u_{(dk)}}$  和  $\overline{u_{(di)}}$  随时间变化曲线图(分别以  $C_1$  和  $C_2$  表示), 如果曲线  $C_1$  和  $C_2$  的交点位于信度区间之内, 这点便是径流变点, 如果交点位于信度区间之外, 应对其进一步验

证, 确定是否为变点。

M-K 法的分析结果发现(图 1), 1968 年、1971 年和 1981 年 3 个交叉点显然是径流变点(通过置信度 95% 的检验), 采用最小二乘法, 对 1996 年与 2001 年两交点的进一步分析表明, 1966 年是径流变点, 而 2001 年则不是变点。

为客观、准确的分析径流年内分配规律, 根据变点分析结果, 结合实际情况, 将大沽夹河径流演变过程(1966~2004 年)划分为 4 个阶段, 即 1966~1971、1972~1981、1982~1996 和 1997~2004 年, 分别用时段 M、A、B、C 和 D 表示。

2.2 不均匀性

气候要素的季节性波动, 在一定程度上决定了径流年内分配的不均匀性。径流年内分配不均匀系数是综合反映河川径流年内分配不均匀性的重要指标, 它是均方差与时段平均径流量的比值<sup>[2]</sup>, 用下式计算:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \tag{5}$$

其中,  $\sigma = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (x_i - \bar{x})^2}$ ,  $\bar{x} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} x_{(i)}$

式中,  $x_i$ ——年内各月径流量( $i = 1, 2, 3, \dots, 12$ ),  $\bar{x}$ ——年内月平均径流量。由式(5)可知,  $C_v$  值越大, 表明年内各月径流量愈集中, 径流年内分配越不均匀。

2.3 集中度和集中期

集中度和集中期<sup>[1]</sup>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, 每天近似等于  $0.986^\circ$ , 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  $0, 30, \dots, 330^\circ$ , 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向量的合成总向量可用下式表示:

$$\begin{cases} R_x = \sum_{i=1}^{12} r_{xi} = \sum_{i=1}^{12} r_i \sin \theta_i \\ R_y = \sum_{i=1}^{12} r_{yi} = \sum_{i=1}^{12} r_i \cos \theta_i \\ R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{12} r_i \sin \theta_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{12} r_i \cos \theta_i\right)^2} \end{cases} \tag{6}$$

式中,  $r_i$  和  $\theta$ ——月径流量的大小和方向;  $R_x$ 、 $R_y$  分别为  $X$ 、 $Y$  方向合成向量;  $R$ —— $R_x$  和  $R_y$  的合成总向量。

集中度  $C_d$  和集中期  $D$  可定义为:

$$C_d = \frac{R}{\sum_{i=1}^{12} r_i} \times 100\%$$
$$D = \arctg\left(\frac{R_y}{R_x}\right) \tag{7}$$

由式(7)可以看出, 集中度( $C_d$ )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。

2.4 变化幅度

径流变化幅度的大小对区域水资源开发利用、水利调节以及水生生态系统的稳定性等都有很大的影响。径流年内变化幅度过大, 一方面, 会增加水资源开发利用的难度, 致使水利调节力度加大, 另一方面, 会导致水生生物环境的破坏(如影响水生生物的生长繁殖), 威胁生态安全。

对大沽夹河流域年内分配特征的研究, 本文采用相对变化幅度和绝对变化幅度两个指标, 分别用下式计算:

$$\begin{cases} C_m = Q_{\max} / Q_{\min} \\ \Delta Q = Q_{\max} - Q_{\min} \end{cases} \tag{8}$$

式中:  $C_m$  和  $\Delta Q$ ——相对和绝对变化幅度;  $Q_{\max}$  和  $Q_{\min}$ ——

年内最大月和最小月径流量。

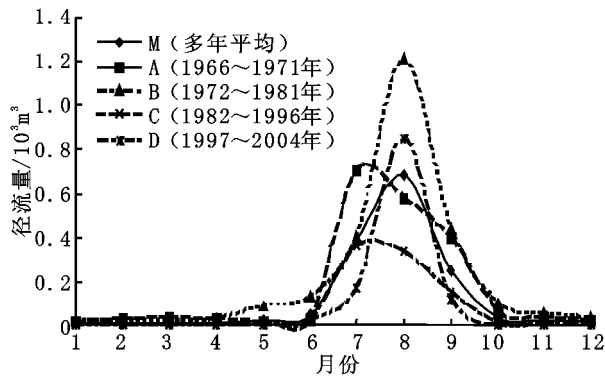


图 2 大沽夹河流域径流年内分配特征

3 结果分析

河川径流的年内分配,主要受径流补给条件的影响。大沽夹河流域地处温带大陆性季风气候区,降水是径流的主要补给来源,径流变化趋势与降水基本一致,随降水的变化而发生相应的变化。图 2 显示,各时段径流量主要集中在 6~

10 月份,11 月至次年 4 月所占比重不大(表 2),年内分配十分不均。其中,时段 D 径流年内分配最为集中,6~10 月份绝对径流量为  $1.156 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,占时段全年平均径流量的 99.91%,时段 B 年内分配相对比较均匀,但也占到该时段年均径流量的 88.98%,由表 2 可知,各时段 6~10 月份径流量占该时段年径流量百分比的变化范围为 88.98%~99.91%。对流域内已有降水资料的统计分析表明,降水量主要集中在 6~10 月份,除时段 C 的降水量占年降水量的百分比不足 70% 外,其余时段均在 70% 以上。径流和降水的相关分析表明,两者呈极显著相关关系,除时段 A 在 0.01 水平上有较显著的相关性外,其余时段均在 0.001 水平上达极显著相关。进一步回归趋势分析表明,两者呈线性回归关系(图 3),回归系数  $R^2$  变化在 0.585 2~0.944 9 之间,置信度较高,均在  $\alpha=0.01$  时达显著相关。同时,从图 3 还可以看出,降水对径流的影响是正向的,即随着降水量的增加对径流的影响作用也增加。此外,受温度变化的影响,6~10 月份的蒸发量虽也比较高(占全年蒸发量的 50% 以上),但对径流的影响不是很大,两者的相关分析表明,除时段 A 在 0.01 水平上呈显著负相关外,其余时段相关性均不显著。

表 2 大沽夹河流域水文特征及相关关系

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	年	百分比/%	6~10 月	年	百分比/%	6~10 月	年	百分比/%	径流与降水	径流与蒸发
M (多年平均)	1.404	1.156	92.61	558.92	729.40	76.62	579.75	1109.31	52.26	0.906**	0.054
A (1966~1971 年)	1.773	1.975	89.77	557.25	737.18	75.59	699.17	1219.25	57.34	0.965*	-0.939*
B (1972~1981 年)	2.288	2.571	88.99	454.37	623.31	72.89	581.75	1166.03	49.89	0.955**	-0.291
C (1982~1996 年)	0.892	0.929	96.02	430.80	624.61	68.97	553.57	1034.56	53.51	0.765**	-0.108
D (1997~2004 年)	1.156	1.157	99.91	492.00	669.09	73.53	533.50	1086.76	49.09	0.972**	0.318

\*\* 相关程度 0.001 水平上极显著,\* 在 0.01 水平上显著.\*\*\*

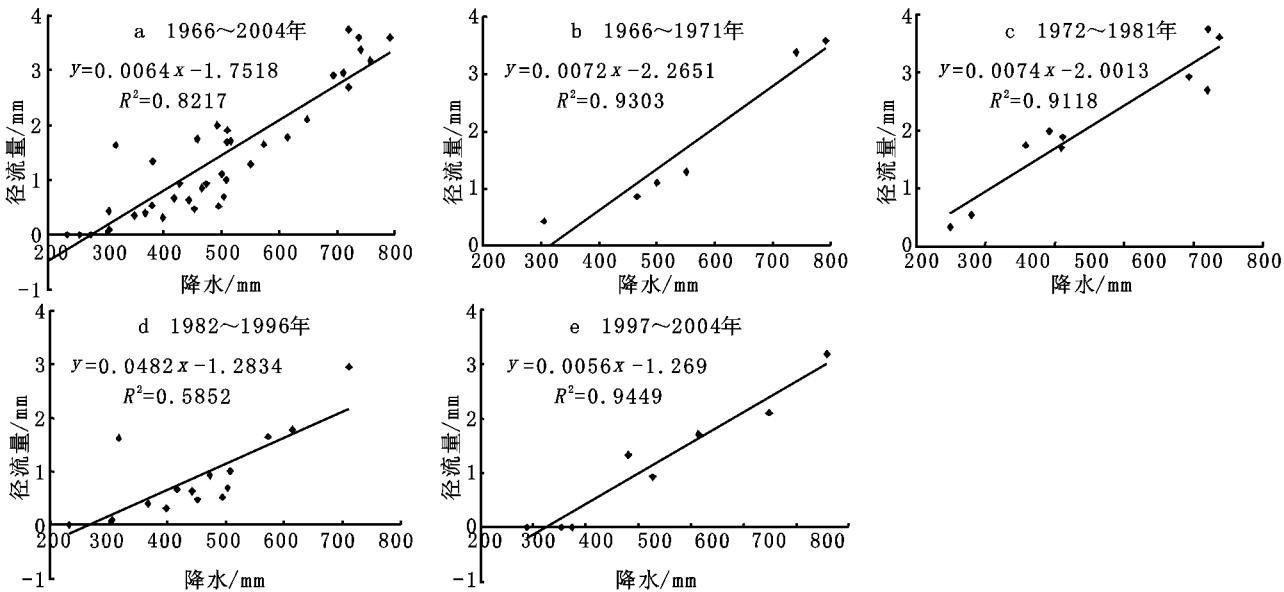


图 3 大沽夹河流域不同时段内径流和降水的相关分析

表 3 大沽夹河流域径流年内分配不均匀性

时 段	不均系 数/ $C_v$	集中度 /%	集中期(D)		相对变化 幅度/ %	绝对变化幅 度/ $亿 \text{ m}^3$
			合成 向量 的方向/ $^{\circ}$	最大径流 出现时间		
M (多年平均)	1.59	42.77	212.23	8月 2 日	59.01	0.6702
A (1966~1971)	1.44	32.63	175.26	6月 25 日	39.37	0.6839
B (1972~1981)	1.55	51.74	224.27	8月 13 日	54.45	1.1929
C (1982~1996)	1.65	33.05	178.00	6月 31 日	1267.07	0.3608
D (1997~2004)	2.41	71.34	231.36	8月 21 日	+ $\infty$	0.8465

对表 3 数据的分析进一步表明了大沽夹河流域径流年内分配的不均匀性。不论是年内分配不均匀系数还是相对变化幅度,其变化规律都基本相似,表现为时段 A 和时段 B 的不均匀性较小,时段 C 和时段 D 的不均匀性较高,其中以时段 D (1997 至今)的不均匀性为最高。从径流年内分配的集中度来看,时段 A 和时段 C 较小,时段 B 和时段 D 较大。其中时段 A 最小,为 32.63%,时段 D 最大,达 71.34%。就集中期而言,时段 A 和时段 C 最大径流出现时间比较接近,时段 B 和

(下转第 114 页)

双穗雀稗、蟛蜞菊、琼崖海棠、芦苇。

#### 4 结论与建议

台湾地区沿海砂丘地,尤其是指西部桃园、新竹、苗栗及中部彰化、云林等县沿海地区,因砂地土壤系单粒结构,本身胶结力低、保水力弱,故容易被风所吹动;而东部海岸主要以岩岸为主,虽然主要河川河口也有大量泥砂输送堆积,有广大三角洲分布,但砂地并不连续常呈点状,不过其规模并不小,因此东部海岸地区随处都有类似沙漠的景观。是以台湾海岸地区经常飞砂弥漫,而砂丘移动除对作物产生剧烈机械破坏作用外,尤以每年冬季季风期间,飞砂与盐风之作用致使村舍埋没,农作物生长受损、死亡,并严重影响当地之生活环境品质。再者,近年来由于气候变迁以及多起的强台由东参考文献:

- [1] 江永哲. 现存耕地防风林之功效探讨[J]. 中华水土保持学报, 1977, 8(2): 64– 77.
- [2] 江永哲, 游繁结, 黄隆明. 不同海岸防风林型态与风速之关系试验[J]. 中华水土保持学报, 1987, 8(1): 14– 26.
- [3] 李远钦. 桃园海岸林被害原因探讨及应加强之措施[J]. 台湾林业, 1984, 10(1): 10– 16.
- [4] 林信辉. 三种防风林植物在海岸逆境环境下之生理生态反应[M]. 台中: 中兴大学植物学研究所, 1987.
- [5] 林信辉. 水土保持植生工程[M]. 高立图书公司, 2001.
- [6] 林信辉, 欧辰雄. 海岸地区应用植物[M]. 经济部水利署, 2002.
- [7] 郭宝章. 台湾之防风林及其功效[J]. 台湾银行季刊, 1963, 14(2): 188– 216.
- [8] 陈财辉. 台湾海岸林之生态环境与造林技术[J]. 现代育林, 1987, 3(1): 49– 63.
- [9] 张俊斌, 林信辉. 泥岩地区植被建立与生态复育工法之设计[C]. 第八届大地工程学术研讨会, 1999. 1993– 2005.
- [10] 张俊斌, 李明儒, 刘大根. 台湾泥岩集水区整体生态经营策略之研究[J]. 水土保持研究, 2002, 9(3): 103– 108.

(上接第 109 页)

时段 D 较为一致,最大径流出现时间分别为 6 月下旬和 8 月中、下旬,两者相差近两个月,其中时段 D 集中期出现时间最晚,相对多年平均而言,径流集中期推迟约 19 d。从径流年内绝对变化幅度看,以时段 B 变化最大,时段 C 最小,但这并不能立即说明时段 B 的年内分配均匀性高于时段 C,应综合考虑各衡量指标。其原因是时段 C 的年内平均径流量明显低于时段 B,仅为时段 B 的 36.15%。总体上看,大沽夹河流域的径流年内分配规律基本相似,均呈单峰曲线(图 3),进一步分析发现,时段 A 和时段 C 较为相似,变化幅度较慢,其峰值出现在 7 月初,时段 B 和时段 D 变化幅度较大,其峰值出现时间较为一致,为在 8 月初,这主要是受流域汛期的影响,在一定程度上反映了气候波动对河川径流的影响。

#### 4 结论和讨论

(1) 应用变点探索分析技术,采用 Mann– Kendall 法和参考文献:

- [1] 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.
- [2] 冯光扬. 水文年内不均匀系数的探讨[J]. 山地研究, 1991, 9(1): 27– 32.
- [3] 郑红星. 黄河源区径流年内分配规律变化规律研究[J]. 地理科学进展, 2003, 22(6): 585– 590.
- [4] 施嘉炀. 水资源综合利用[M]. 北京: 中国水利出版社, 1995.
- [5] 张国胜, 李林, 时兴合, 等. 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.
- [6] 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.
- [7] 韩添丁, 叶柏生, 丁永建. 近 40a 来黄河上游径流变化特征研究[J]. 干旱区地理, 2004, 27(4): 553– 557.
- [8] A C Disalvo, et al. Climatic and stream– flow controls on tree growth in Western Montane Riparian Forest[J]. Environment Management, 2002, 30(5): 678– 691.
- [9] 项静恬, 史久恩. 非线性系统中数据处理的统计方法[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [10] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482– 493.

部进入,更造成河海岸地形之严重破坏,自然植被逐渐消失、裸露地增多;而至枯水干旱季时,裸露风砂尘藉由风力吹向沿海岸都会区,更造成严重之风砂灾害问题。因此,为有效防治此等灾害之持续发生,在防风定砂之植生工法与生态考量方面需配合地区之地形、气象等条件,于沿海风冲地区,建造海岸防风林、耕地防风林或拦砂篱构造物等,以减少风砂及盐雾,改善沿海地区作物和自然植被生长环境及居民生活品质,加速海岸地区经济开发。所以,河海岸地区的防风定砂乃为一急需解决之重要课题,而设置防风定砂植生可达到(1)减低风速、改变风向及增加蔽风范围。(2)防止沙土飞扬及砂丘移动。(3)保护作物生长及防止风力直接危害。(4)减少道路、村舍及港埠设施之危害。(5)营造河海岸之生物多样性之生态环境。

最小方差法,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 个阶段,减少了时段划分时主观因素的影响,使对年内分配特征的研究更加客观准确。

(2) 受径流补给条件(降水)的影响,大沽夹河流域径流年内分配十分不均,径流量主要集中在 6~ 10 月份,其变化趋势和降水基本一致,两者呈显著正相关关系。可见,降水是影响年内径流分配的主要气候因素。

(3) 从 1997 年至今,径流年内分配特征出现了较大的变化,具体表现在年内分配不均匀系数增大、集中程度提高、集中期出现时间推迟和变化幅度增大(年内出现径流断流)等特征,导致流域水资源开发利用难度的增加。因此,今后必须加大水利调控的力度,使流域水资源得到更合理的利用。

(4) 年内分配特征的衡量指标很多,从文中分析结果可知,各指标间既有一定联系,又不能相互替代,它们从不同的侧面反映了径流年内的分配特征。因此,径流年内分配特征指标的进一步研究,仍是水文学重点探讨的问题之一。