

辽河径流萎缩程度分析

杨 杨

(辽宁省本溪水文局,辽宁 本溪 117200)

摘要:为了解辽河流域径流萎缩情况,通过收集查证水利志、地方志等文献资料,依据工程情况及流域取用水调查,采用 Kendall 秩次相关检验法和 Spearman 秩次相关检验分析方法,考虑到降水径流及水资源利用率等特性,定量分析辽河干流段流域面积 50 km² 以上的山区性河流萎缩情况。结果表明:辽河干流段 6 条较大支流中,重度萎缩河流有 3 条,中度萎缩河流有 1 条,轻度萎缩河流有 2 条。
关键词:水文过程;径流萎缩;程度分析;辽河流域
中图分类号:P33 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2017)S1-0082-03

水文过程是一种动态的自然过程,年际间变化较大,在大的时间尺度上水文情势会发生较大幅度的变化。实测年径流的减少最能直观表征河流萎缩程度,因此 1949 年至今的萎缩趋势可采用水文站实测年径流进行长系列定量分析。本文以辽河流域为例,分析流域面积 50 km² 以上河流的演变、萎缩趋势及其萎缩程度。

辽河为我国七大江河之一,是辽宁省第一大河流。发源于内蒙古自治区克什克腾旗芝瑞镇,流经内蒙古、吉林、辽宁等地的 24 县(市、区)。在康平县山东屯乡进入辽宁省境内,在大洼县汇入渤海。流域面积 191 946 km²,河长 1 383 km;其中辽宁省境内面积 40 988 km²,长度 554 km。集水面积 50 km² 以上的河流 201 条。

1 分析方法

1.1 Kendall 秩次相关检验法

Kendall 秩次相关检验法是一种非参数秩次相关统计检验法,用于检验时间序列是否存在趋势性,其具体方法和原理如下:对于序列 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 先确定所有对偶值 $(x_i, x_j, j > i)$ 中的出现 $x_i < x_j$ 的个数(设为 P),顺序 (i, j) 的子集为

$$\begin{cases} (i = 1, j = 2, 3, \dots, n) & n - 1 \\ (i = 2, j = 3, 4, \dots, n) & n - 2 \\ \vdots & \\ (i = n - 1, j = n) & 1 \end{cases}$$

如果按顺序前进的值大于前一个值,是一种上

升趋势,则 P 值为 $(n-1) + (n-2) + \dots + 1$,总和为 $\frac{1}{2}(n-1)n$;如果序列全部倒过来,即由大到小排列,则 $P=0$,为下降趋势,(说明 P 数值不能太多,也不能太少)。

P 的数学期望(值)为构造 Kendall 统计量:

$$U = \frac{\tau}{\text{var}(\tau)^{1/2}} \tag{1}$$

$$E(P) = \frac{1}{4}(n-1)n \tag{2}$$

其中
$$\tau = \frac{4P}{n(n-1)} - 1 \tag{3}$$

$$\text{var}(\tau) = \frac{2(2n+5)}{9n(n-1)} \tag{4}$$

当 $n \rightarrow \infty$ $U \rightarrow N(0,1)$ $\alpha \rightarrow U_{\alpha/2}$
当 $|U| < U_{\alpha/2}$ 时,接受原假设,系列无趋势;当 $|U| > U_{\alpha/2}$ 时,拒绝原假设。

统计量 $|U|$ 可以作为水文序列趋势性大小衡量的标度, $|U|$ 越大,则在一定程度上可以说明序列的趋势性变化越显著。

1.2 Spearman 秩次相关检验法

Spearman 秩次相关检验主要是通过分析水文序列 X_i 与其时序 i 的相关性而检验水文序列是否存在趋势性。在运算时, X_i 用其秩次 R_i (即把序列 X_i 从大到小排列时, X_i 所对应的原来序列中的序号 i), i 仍为时序 $(1, 2, \dots, n)$ 。

秩次相关系数为

$$r = 1 - \frac{6 \sum_{t=1}^n (R_t - t)^2}{n^3 - n} \tag{5}$$

显然,如果秩次 R_t 与序号 t 相近时,则 d_t 小,秩次相关系数大, r 接近 1,趋势显著;若反过来,则 Σd_t^2 达最大, r 接近-1。

通常采用 t 检验法检验序列的趋势性是否显著,统计量 T 的计算公式为

$$T = r\sqrt{(n - 4)/(1 - r^2)} \tag{6}$$

T 服从自由度为 $n-2$ 的 t 分布,假设原水文时间序列没有变化趋势,则根据水文序列的秩次相关系数计算出 T 统计量,然后选择显著水平 α ,在 t 分布表中查出临界值 $t_{\alpha/2}$,当 $|T| \leq t_{\alpha/2}$ 时,则接受原假设,该时间序列的趋势不显著;反之,拒绝原假设,说明该时间序列有显著变化趋势。

2 定量指标确定

选取典型河流代表水文站,统计其 1949 年以来的实测年径流,系列长度在 52 ~ 62 a 之间,用 Kendall 秩次相关检验法和 Spearman 秩次相关检验法分别计算参数,参数成果见表 1 及表 2。

表 1 典型河流代表站实测径流 Kendall 秩次
相关检验法参数

河流	站名	n 值	U 值	U 标准值	趋势
辽 河	福德店	64	-3.43	1.96	下降
辽 河	铁 岭	57	-2.99	1.96	下降
辽 河	六间房	57	-2.95	1.96	下降
招苏台河	王宝庆	56	-1.76	1.96	无
亮子河	庆云堡	33	-1.58	1.96	无
清 河	开 原	57	-1.91	1.96	无
柴 河	柴河水库坝下	58	-1.58	1.96	无
秀水河	公主屯	62	-3.23	1.96	下降
柳 河	新 民	57	-6.43	1.96	下降
绕阳河	东白城子	62	-4.99	1.96	下降

表 2 典型河流代表站实测径流 Spearman
秩次相关检验法参数

河流	站名	n 值	T 值	T 标准值	趋势
辽河	福德店	63	4.04	1.84	下降
辽 河	铁 岭	57	2.84	1.82	下降
辽 河	六间房	57	2.88	1.82	下降
招苏台河	王宝庆	55	1.37	1.84	无
亮子河	庆云堡	49	-0.3	1.82	无
清 河	开 原	57	1.64	1.82	无
柴 河	柴河水库坝下	57	1.99	1.82	下降
秀水河	公主屯	62	3.1	1.78	下降
柳 河	新 民	57	8.71	1.82	下降
绕阳河	东白城子	62	5.96	1.78	下降

比较表 1 和表 2 可见,两种检验方法得到的实测径流趋势基本一致。以 Spearman 秩次相关检验法参数作为典型河流萎缩趋势评价的依据。

Spearman 秩次相关检验法计算的 T 值越大,说

明实测年水量萎缩趋势越明显, T 值为负值代表趋势是上升的。为便于分析比较,将实测年径流萎缩趋势进行分级,定义 T 值不小于 4.5 为萎缩趋势严重, T 值介于 4.5 ~ 2.5 之间具有中度萎缩趋势, T 值介于 2.5 ~ T 标准值之间具有轻度萎缩趋势,小于 T 标准值的不具有萎缩趋势。

3 径流萎缩趋势分析

3.1 年径流系列萎缩趋势分析

通过实测年径流长系列趋势检验,辽河干流福德店—六间房河段呈中度萎缩趋势;右侧支流秀水河呈中度萎缩趋势;柳河、绕阳河均呈严重萎缩趋势,其他河段没有萎缩趋势。

3.2 枯水期系列萎缩趋势分析

对辽河流域支流的不受大中型水库工程影响的水文站,因不受水库放水的影响,其枯水季节的流量变化更能反映河流的萎缩趋势。统计水文站 1949 年以来的 4 月份实测月平均流量,系列长度在 52 ~ 62 a 之间,用 Spearman 秩次相关检验法计算参数,参数成果见表 3。

表 3 典型河流代表站月平均实测流量 Spearman
秩次相关检验法参数

河流	站名	N 值	T 值	T 标准值	趋势
招苏台河	王宝庆	54	1.44	1.84	无
亮子河	庆云堡	33	1.58	2.02	无
清 河	八棵树	52	0.85	1.78	无
清 河	耿王庄	52	0.36	1.78	无
清 河	松 树	54	1.55	1.84	无
柴 河	柴 河	57	2.42	1.82	下降
柳河支流	石门子	55	8.5	1.84	下降

由表 3 可见,柳河支流枯水期流量萎缩趋势最明显,柴河也有萎缩趋势,其他支流没有萎缩趋势。

3.3 萎缩趋势原因分析

其年降水长系列没有明显的萎缩趋势说明年径流萎缩不是由年降水量减少引起的,辽河干流自福德店~河口段径流均呈中度萎缩,与 1965 年西辽河上修建红山水库,20 世纪六七十年代辽河主要支流陆续修建的南城子、清河、柴河、榛子岭水库及 2005 年干流修建的石佛寺水库等工程有关。

4 现状径流萎缩程度分析

4.1 萎缩程度指标确定

现状河流萎缩程度用径流分析最为直观可靠。近 10 年是辽宁省经济快速发展的 10 年,各项用水量比以往任何时期都要多。以近 10 年实测径流均值代表现状河流水量,因辽宁省绝大部分水利工程多在 1949 年后开始逐渐兴建,多年平均天然年径流可代表 20 世纪 50—80 年代的实际径流。以近 10 年实测径流占多年平均天然径流的百分比为指标判

断河流萎缩程度。因国际上公认的水资源利用率极限为40%,考虑到降水径流及水资源利用率等特性,将河流的萎缩情况分为4级:近10年实测径流占多年平均天然径流的百分比100%~85%、85%~65%、65%~45%、45%以下对应的萎缩程度分别为没有萎缩、轻度萎缩、中度萎缩、重度萎缩。

4.2 萎缩程度分析

辽河干流铁岭站最近10年实测径流为15.86亿m³,1956—2012年多年平均天然径流为32.73亿m³,最近10年水量为多年平均天然径流的48.5%。辽河下游的六间房站最近10年实测径流为19.07亿m³,多年平均天然径流为40.63亿m³,最近10年水量为多年平均天然径流的46.9%。辽河干流水量均属中度萎缩。辽河支流清河开原站最近10年的实测水量6.85亿m³,为天然径流的69.3%,因此清河下游属轻萎缩。支流柳河新民站最近10年实测径流为0.699亿m³,多年平均天然径流为2.76亿m³,最近10年水量为多年平均天然径流的25.3%,因此柳河水量属重度萎缩(表4)。

表4 典型河流萎缩程度统计

河流	近10年实测径流占多年平均天然径流百分比/%	萎缩级别
辽河	46.9	中度
清河	69.3	轻度
柴河	80.7	轻度
秀水河	41.4	重度
柳河	25.3	重度
绕阳河	29.0	重度

4.3 萎缩特性分析

采用套汇水文站各年代实测大断面的方法分析,自20世纪60年代以来,每个年代选取1年的实测断面进行套汇。辽河铁岭水文站大断面套绘如图1。经过比较,表现为2000年、2010年河道主槽较之前右移,铁岭站断面形态呈现变窄的趋势,中泓线有向左岸偏移的趋势,特别是迁站前表现较为明显。

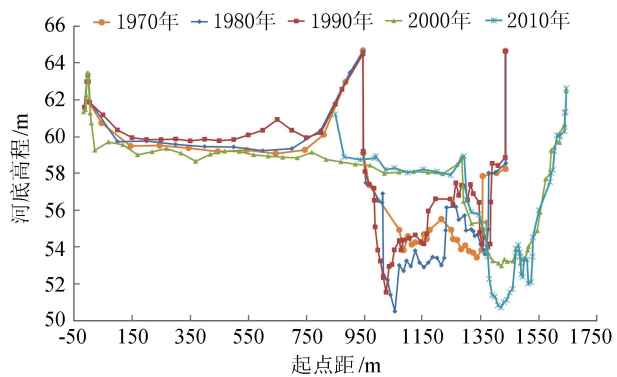


图1 辽河铁岭水文站大断面套绘图

5 结语

辽河干流段6条较大支流中,重度萎缩河流有

3条;中度萎缩河流有1条;轻度萎缩河流有2条。河流水量萎缩的主要原因是:①1949年后不断修建的水库、水闸、橡胶坝等水利工程拦截了部分河流量,使下游水量不断减少,甚至断流;②工农业发展需要,对河流的取用水逐年增加,无节制地开采地下水,沿河布设的大量取水泵站及取水井工程开采使用,使河流量不断减少。

参考文献:

[1] 张爱静. 东北地区流域径流对气候变化与人类活动的响应特征研究[D]. 大连:大连理工大学,2013.
[2] 陈春田,王本德. 考虑人类活动影响的流域水文模型参数的确定[J]. 大连理工大学学报,1995, 35(3): 400-404.
[3] 张淑兰,王彦辉,于澎涛,等. 定量区分人类活动和降水量变化对泾河上游径流变化的影响[J]. 水土保持学报,2010(4):53-58.

(收稿日期:2017-12-01 编辑:徐 娟)

(上接第81页)

水行政主管部门还要继续做好灌区水利用系数测试工作,不断强化区域供水计划执行监督考核,确保“十三五”末,江阴灌溉水有效利用系数提高并保持在0.7,真正实现节能减排、节水降本、减负增效愿景^[6]。

3 结语

江阴发展农业节水灌溉已取得长足进步,但目前依然存在着诸多不足。因此,面对新形势下增强农业可持续发展和绿色发展能力的新要求,必须从加强领导、加快改革、强化建设、力促精管等方面重点改进,以期深入推进农业供给侧结构性改革,持续强化农业节水灌溉发展,切实推动丰水地区传统农业走向精准化和生态化。

参考文献:

[1] 卢建法,何兴才. 江阴市水利农机志(2001—2010)[M]. 南京:河海大学出版社,2012
[2] 江阴市统计局. 2016年江阴市国民经济和社会发展统计公报[R]. 江阴:江阴市统计局,2017.
[3] 周顺,徐苏明,朱金华,等. 江阴市深化小型水利工程管理体制改革的实践与思考[J]. 江苏水利,2016(5):68-72.
[4] 周顺,宋建村,叶键,等. 苏南丰水地区农业用水管理提质增效对策研究:以江阴市为例[J]. 中国水利,2016(9):62-64.
[5] 江阴市水利农机局. 江阴市“十三五”高效节水灌溉总体实施方案[R]. 江阴:江阴市统计局,2017.
[6] 江阴市水利农机局. 江阴市“十三五”水利发展规划[R]. 江阴:江阴市统计局,2016.

(收稿日期:2017-12-08 编辑:王 芳)