

# 嫩江流域近 45 年来径流演变规律研究

唐 蕴, 王 浩, 严登华, 唐克旺

(中国水利水电科学研究院水资源研究所, 北京 100044)

摘要: 采用随机水文学方法对嫩江流域 1956~2000 年的年径流量序列演变特征进行分析。结果表明, 嫩江流域径流的水文周期是 32 a 整体而言, 45 a 径流序列不存在明显的趋势性。此外, 对嫩江流域用水性消耗程度进行分析。结果表明, 人类用水性消耗量对流域水循环整体影响程度为 5%, 但是在流域内部影响程度存在较大差异。洮儿河子流域影响因子达到 16%, 反映该地区人类取水消耗量较大。从年际分析, 整个流域在 70 年代的影响因子要高于其它年段, 呈现出越是枯水年段人类用水影响程度越大的现象。

关键词: 嫩江流域; 径流; 周期性; 趋势性; 人类用水

中图分类号: P333 文献标识码: A 文章编号: 1000-0690(2009)06-0864-05

嫩江流域是中国湿地分布较为集中的地区, 在乌裕尔河、洮儿河、霍林河等众多河流的尾间分布有大片、连片的湖泊湿地、沼泽湿地<sup>[1, 2]</sup>。如列入《具有重要国际意义湿地名录》的扎龙湿地自然保护区、向海湿地自然保护区。此外, 还有莫莫格湿地、科尔沁湿地等国家级自然保护区, 以及查干湖湿地、月亮泡湿地等湖泊湿地。这些湿地在保护珍稀物种、调节气候、维持区域水安全等方面发挥重要作用。

近一二十年来, 由于受全球气候变化的影响<sup>[3-8]</sup>, 特别是人类不合理的水土资源开发利用, 如在河流上游建设大量的蓄水、引水工程, 致使流域的水文循环过程发生改变, 使本应流向下游湿地的水量被上游区域夺走, 这是造成本区湿地减少的主要原因<sup>[8-12]</sup>。与此同时, 伴随湿地的退化与萎缩, 流域洪涝灾害事件频繁发生, 给流域的水安全及生态安全造成极大隐患<sup>[13, 14]</sup>。

水文条件的变化是制约湿地存在与发展的主要因子。为此, 本文重点以嫩江流域湿地水文控制站的年径流资料为基础, 采用近代随机水文学的方法<sup>[15, 16]</sup>, 探讨嫩江流域年径流序列的整体演变特征以及人类活动对径流演变的影响程度, 可为流域水土资源合理开发利用、湿地保护与恢复提供科学依据<sup>[16]</sup>。

## 1 区域环境背景概况

嫩江流域位于中国东北地区的中西部, 地跨黑龙江、吉林、内蒙古三省区。地理坐标  $119^{\circ}12' \sim 127^{\circ}54'E$ ,  $44^{\circ}02' \sim 50^{\circ}36'N$ , 总土地面积为  $298\,508\text{ km}^2$ 。流域北部、西部和南部三面地势较高, 东部与松花江平原连接, 形成广阔的松嫩平原。自西向东区内大体可分为大兴安岭山区、山区丘陵过渡地带、山前倾斜平原区、中部低平原区<sup>[18]</sup>。流域属寒温带半湿润大陆性气候, 冬季长而寒冷, 夏季短而多雨, 年均气温  $2 \sim 4^{\circ}\text{C}$ , 历史最低气温  $-39.5^{\circ}\text{C}$ , 最高气温达  $40.1^{\circ}\text{C}$ 。流域土壤类型以草甸土土类及暗棕壤土类为主, 其次分布较多的土壤类型有黑钙土土类、黑土土类、风沙土土类、沼泽土土类等。本区地带性植被类型为草甸草原。由于微地形和土壤水分状况的差异, 植被分布又呈现出非地带性。洼地周围及江河两岸分布有沼生植被, 在盐碱土上发育了盐生的耐盐碱植被, 在沙丘地带有沙生植被<sup>[18]</sup>。嫩江流域水系见图 1。

## 2 材料与方法

### 2.1 数据源

本次径流分析主要是对嫩江流域几个重要湿地的水量进口控制水文站径流变化特征进行分析。选择位于乌裕尔河下游扎龙湿地的依安站, 洮儿河

收稿日期: 2009-05-12 修订日期: 2009-08-18

基金项目: 国家自然科学基金(50779075)项目、中国水利水电科学院科研专项(20080802)资助。

作者简介: 唐 蕴(1968-), 女, 安徽铜陵人, 博士, 高级工程师, 主要从事水资源开发利用中的生态环境问题研究。E-mail tangyun@



图 1 嫩江流域水系

Fig 1 Sketch showing riverwater system ofNenjiang R river Basin

山区出口站洮南站, 霍林河山区出口站白云胡硕站, 研究区入口控制站阿彦浅水文站及流域出口控制站大赉水文站进行径流演变分析。

径流量数据来源于水文监测年鉴和水文监测数据库, 时间序列为 1956~ 2000年。

### 2.2 研究方法

本文主要研究了嫩江流域径流演变的周期性、趋势性及人类活动对径流演变的影响。周期性分析采用功率谱, 通过查找功率谱  $P(f)$  与频率  $f$  关系曲线上功率谱最大点确定径流序列的周期。趋势性分析采用斯波曼秩次相关检验法。

人类取用水对径流的影响主要是对比分析人类用水消耗量与还原处理后的天然径流量之间的差异, 揭示人类取用水对径流的影响程度。

实测径流量的还原计算非常复杂, 工作量也非常庞大, 涉及用水的各个方面, 一般需要专业水文人员进行此项工作。水利部于 2002 年开展了《全国水资源综合规划》工作, 为了对全国水资源进行新一轮的评价, 对全国各主要河流的主要水文站进行了还原计算。目前水资源调查评价阶段的成果已经通过了国家发改委、水利部等相关部委的审查。本文 5 个水文站的还原径流量数据采用了前

述已经审查的成果。

还原计算时段内天然年径流量的计算公式为:

$$W_{天然} = W_{实测} + W_{农灌} + W_{工业} + W_{城镇生活} \pm W_{引水} \pm W_{分洪} \pm W_{库蓄} \quad (1)$$

式中,  $W_{天然}$  为还原后的天然径流量;  $W_{实测}$  为水文站实测径流量;  $W_{农灌}$  为农业灌溉耗损量;  $W_{工业}$  为工业用水耗损量;  $W_{城镇生活}$  为城镇生活用水耗损量;  $W_{引水}$  为跨流域 (或跨区间) 引水量, 引出为正, 引入为负;  $W_{分洪}$  为河道分洪决口水量, 分出为正, 分入为负;  $W_{库蓄}$  为大中型水库蓄水变量, 增加为正, 减少为负。公式中只列出了对测站实测径流影响较大的还原项目, 各地可根据具体情况增减项目。

在对实测径流量进行还原计算时, 主要是还原生产和生活用水消耗量 ( $W_{用耗}$ ), 通过对比分析经还原处理后的天然径流量  $W_{天然}$  与用水消耗量  $W_{用耗}$  在一定程度上可以反映人类取用水对河川径流量的影响, 这里定义  $I_u$  为影响程度因子,  $I_u$  越大, 用水性消耗量越大, 表明人类取用水对水循环的影响程度越大。 $I_u$  计算公式如下:

$$I_u = W_{用耗} / W_{天然} = (W_{天然} - W_{实测}) / W_{天然} \quad (2)$$

## 3 结果与讨论

### 3.1 周期性分析

嫩江流域湿地的主要补给水源是大气降水和地表径流, 补给水源的周期性会直接影响湿地的淹水频率和持续时间, 因此地表入流量的周期性分析也很重要。选择嫩江干流上控制站阿彦浅站和大赉站, 以及直接影响湿地来水的控制站依安站、洮南站、白云胡硕站进行周期性分析。

径流周期确定采用了频谱分析中的功率谱方法。功率谱和频率计算公式如下:

$$P(f_i) = [ | X_T(f_i) |^2 ] / T = A_i^2 + B_i^2 \quad (3)$$

$$X_T(f) = A + jB \quad (4)$$

$$f_i = i/T = i/N, i = 0, 1, 2, \dots, N - 1 \quad (5)$$

式中,  $P(f)$  为功率谱,  $f$  为频率;  $T$  为时间序列的长度 (样本个数);  $X_T(f)$  为时间序列通过快速 Fourier 变换 (FFT) 后结果,  $A$  为  $X_T(f)$  的实部,  $B$  为  $X_T(f)$  的虚部。

将频率与功率谱对应起来, 就可以画出频谱图, 通过查找频谱曲线上的功率谱最大点, 就可以确定相应的频率, 进而可以转换成周期。通过这种方法画出的频谱图是完全对称的谱图, 因此本文只画出了左半边。

分析阿彦浅站、大赉站、依安站、洮南站、白云胡硕站功率谱图,可以看出这几个水文站径流量功率谱最大值点对应频率都是 0.03125,换算成周期,那么这几个站点径流量的周期成分与降水一致,也是 32 a(图 2)。

### 3.2 趋势性分析

受自然或人为因素影响,年径流序列可能会表现出一定变化趋势,它反映了河川径流演变的总体规律。采用 Spearman 方法对依安、洮南、白云胡硕、阿彦浅、大赉 5 个代表性水文站 1956~2000 年

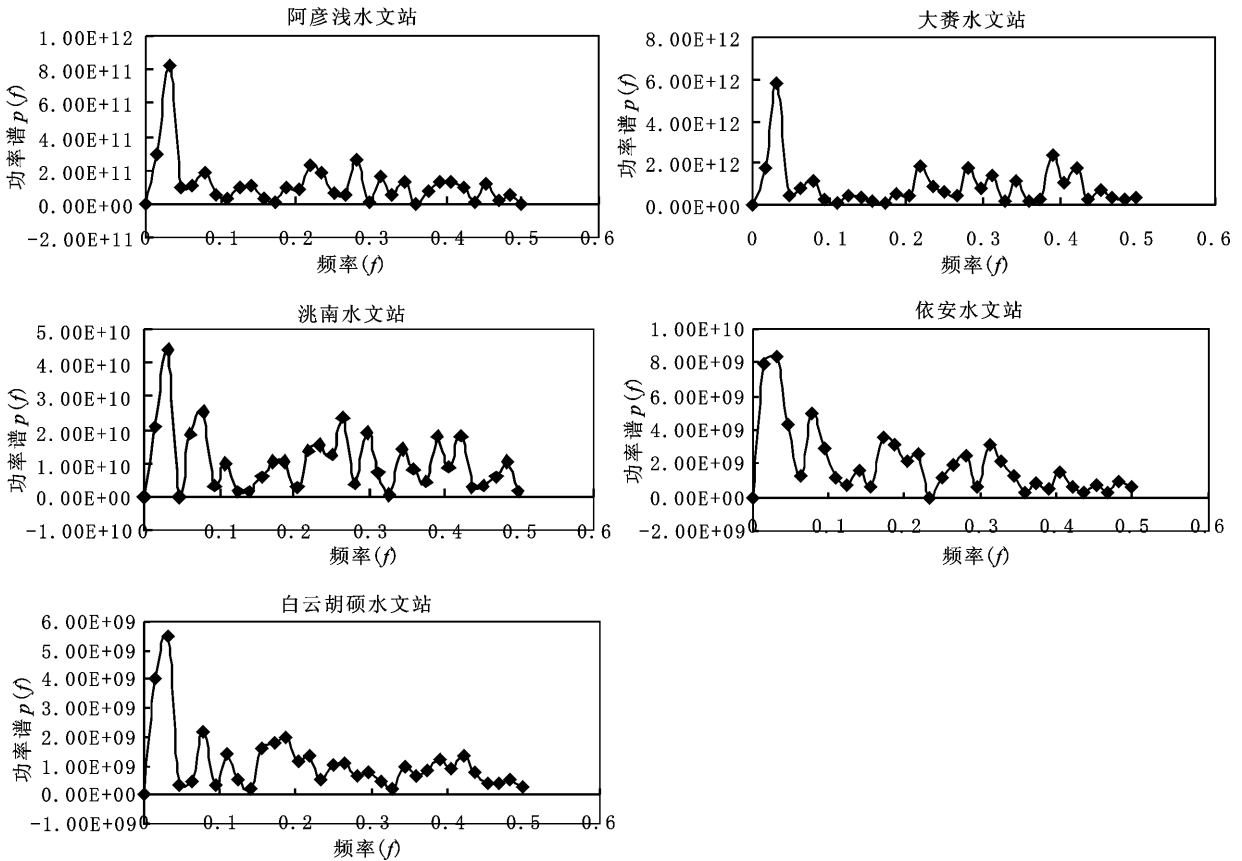


图 2 嫩江流域主要水文站径流频谱分析

Fig. 2 Frequency spectrum analysis diagram of runoff of major hydrometric stations of Nenjiang River Basin

45 a 实测径流序列的趋势性进行检验,其结果见表 1。

当显著水平  $\alpha = 0.05$  时,这 5 个水文站点的统计量绝对值  $|T| < t_{\alpha/2} = 2.009$  说明在 1956~2000 年期间径流变化的趋势性不显著。但是,径流在 1956~1980 年期间,这 5 个水文站的统计量绝对值  $|T| > t_{\alpha/2}$ ,径流均显示出强烈的减少趋势。而在 1981~2000 年期间,径流变化趋势不明显。

### 3.3 人类取用水对径流影响分析

1) 用水性消耗量整体上对流域水循环影响。在 1956~2000 年 45 a 期间,嫩江流域人类用水性消耗量对流域水循环整体影响程度:以流域出口控制水文站(大赉站)分析影响因子  $I_u$  约为 3%,影

响程度不大(表 2)。

在流域内部由于各区域社会经济发展水平不同,人类取用水对流域水循环影响程度也表现出空间差异性。洮儿河流域影响因子  $I_u$  为 15.9%,霍林河流域影响因子  $I_u$  为 9.8%,乌裕尔河流域影响因子  $I_u$  为 2.8%,而嫩江干流阿彦浅以上区域影响因子  $I_u$  为 0,表明在洮儿河流域人类用水性消耗量较其它区域强烈。

2) 不同年代用水消耗量对流域水循环影响。对比分析不同年代的影响因子  $I_u$ ,表明嫩江流域整体在 20 世纪 70 年代影响程度最大,如  $I_u$  在各年代的值分别是:50 年代 2.3%,60 年代 2.0%,70 年代 7.2%,80 年代 5.1%,90 年代 7.7%。

表 1 嫩江流域代表水文站径流趋势性检验结果

Table 1 Test result of trend for runoff of certain typical hydrometric stations of Nenjiang River Basin

水文站名称	时间段(年)	显著水平 $\alpha$	临界值 $t_{\alpha/2}$	统计量 $T$	相关系数 $r$	检验结果
依安	1956~ 2000	$\alpha = 0.05$	2.009	-1.765	-0.266	不显著
	1956~ 1980			-4.520	-0.700	显著
	1981~ 2000			-0.926	-0.225	不显著
洮南	1956~ 2000	$\alpha = 0.05$	2.009	-0.742	-0.115	不显著
	1956~ 1980			-4.359	-0.689	显著
	1981~ 2000			0.037	0.150	不显著
白云胡硕	1956~ 2000	$\alpha = 0.05$	2.009	0.127	0.020	不显著
	1956~ 1980			-5.770	-0.783	显著
	1981~ 2000			1.745	0.400	不显著
阿彦浅	1956~ 2000	$\alpha = 0.05$	2.009	-0.037	-0.006	不显著
	1956~ 1980			-5.245	-0.753	显著
	1981~ 2000			-0.842	-0.206	不显著
大赉	1956~ 2000	$\alpha = 0.05$	2.009	-1.091	-0.168	不显著
	1956~ 1980			-5.935	-0.790	显著
	1981~ 2000			-0.848	-0.207	不显著

各子流域也基本上表现出 20 世纪 70 年代较高的影响因子,其中洮儿河流域 70~ 90 年代的影响因子  $I_u$  分别达到 25.3%, 25.1%, 16.8%。霍林河流域在 70 年代影响因子  $I_u$  也高达 27.8%。

嫩江流域在整个 20 世纪 70 年代处于连续枯水段,降水量偏少,为了保证农田灌溉导致人类取用水量增大,因此,在整个流域均表现出 70 年代用水性消耗量对河川径流量影响程度远高于其余年代。

表 2 20 世纪嫩江流域水文站实测与还原径流量比较

Table 2 Comparison between measured and restored values of runoff of certain typical hydrometric stations of Nenjiang River Basin

年代	径流量	水文控制站名称				
	项目 ( $10^8 \text{ m}^3$ )	洮南	依安	白云胡硕	阿彦浅	大赉
50	实测	24.0	10.6	5.9	147.6	328.7
	还原	24.1	10.7	5.9	147.6	336.6
	$I_u$ 因子 (%)	0.4	0.9	0.0	0.0	2.3
60	实测	14.6	9.7	3.7	109.0	242.3
	还原	14.9	9.7	3.8	109.0	247.3
	$I_u$ 因子 (%)	2.0	0.0	2.6	0.0	2.0
70	实测	7.4	3.4	1.3	70.0	136.4
	还原	9.9	3.4	1.8	70.0	147.0
	$I_u$ 因子 (%)	25.3	0.0	27.8	0.0	7.2
80	实测	12.5	5.7	2.7	125.7	241.6
	还原	16.7	5.9	3.1	125.7	254.5
	$I_u$ 因子 (%)	25.1	3.4	12.9	0.0	5.1
90	实测	18.3	5.6	6.4	124.9	259.9
	还原	25.0	6.2	6.8	124.9	281.5
	$I_u$ 因子 (%)	26.8	9.7	5.9	0.0	7.7
平均	$I_u$ 因子 (%)	15.9	2.8	9.8	0.0	4.9

## 4 结 论

本文采用统计学方法对嫩江流域 1956~ 2000

年 45 a 年径流量序列进行分析,表明嫩江流域年径流序列的水文周期是 32 a。1956~ 2000 年 45 a 年径流序列不存在明显的趋势性,但是 1956~

1980年25 a年径流序列具有较显著的减少趋势。

对嫩江流域用水性消耗程度进行分析。表明在1956~2000年45 a嫩江流域人类用水性消耗量对流域水循环整体影响程度为5%。在流域内部影响程度有较大差异,洮儿河子流域影响因子达到16%,反映该地区人类取用水消耗量较大。其余子流域的影响因子分别是:霍林河流域10%、乌裕尔河3%。从年际分析,整个流域在70年代的影响因子要高于其它年段,呈现出越是枯水年段人类用水影响程度越大的现象。

## 参考文献:

- [1] 赵魁义,孙光友,杨永兴,等.中国沼泽志[M].北京:科学出版社,1999:69~73
- [2] 牛焕光,张养贞.东北地区沼泽[A]./黄锡畴.中国沼泽研究[M].北京:科学出版社,1988:46~58
- [3] 孙凤华,任国玉,赵春雨,等.中国东北地区及不同典型下垫面的气温异常变化分析[J].地理科学,2005,25(2):167~171.
- [4] 唐 蕴,王 浩,严登华,等.近50年来东北地区降水的时空分异研究[J].地理科学,2005,25(2):172~176
- [5] 杨素英,孙凤华,马建中.增暖背景下中国东北地区极端降水事件的演变特征[J].地理科学,2008,28(2):224~228
- [6] 苏安玉,李 衡,濮励杰,等.基于RAGA-BP神经网络模型的三江平原地下水资源预测研究[J].地理科学,2009,29(2):283~287.
- [7] 李晓峰,张树清,那晓东,等.基于Radon域描绘子乾安湖群湖泊形态变化遥感信息提取[J].地理科学,2009,29(3):421~426
- [8] 张 冉,刘晓东.中全新世暖期与未来气候变暖情景下东亚夏季降水变化相似型分析[J].地理科学,2009,29(5):679~693
- [9] 王国平,张玉霞.水利工程对向海湿地水文与生态的影响[J].资源科学,2002,24(3):26~30.
- [10] 卞建民,林连丰,汤 洁.吉林西部向海湿地环境退化及驱动机制研究[J].吉林大学学报(地球科学版),2004,34(3):441~444.
- [11] 马小凡,郭晓泽,王 菊,等.水坝工程建设与生态保护的利弊关系分析[J].地理科学,2005,25(5):621~625
- [12] 刘殿伟,宋开山,王丹丹,等.近50年来松嫩平原西部土地利用变化及驱动力分析[J].地理学报,2006,26(3):277~283
- [13] 孟宪民,崔保山,邓 伟,等.松嫩流域特大洪灾的警示:湿地功能的再认识[J].自然资源学报,1999,14(1):14~21.
- [14] 邓 伟.湿地与水资源系统安全的维持[J].科学中国人,2005(4):23~25.
- [15] 丁 晶,邓育仁.随机水文学[M].成都:成都科技大学出版社,1998.
- [16] 李子君,李秀彬.近45年来降水变化和人类活动对潮河流域年径流量的影响[J].地理科学,2008,28(6):809~818
- [17] 佟守正,吕宪国.松嫩平原重要湿地恢复研究进展[J].地理科学,2007,27(1):127~128
- [18] 宋长春,何 岩,邓 伟.松嫩平原盐渍土壤生态地球化学[M].北京:科学出版社,2003

## Evolutionary Regularity of Runoff of Nenjiang River Basin in Period 1956–2000

TANG Yun, WANG Haq, YAN Deng-hua, TANG Ke-wang

(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044)

**Abstract** This paper analyzed evolutionary features of annual runoff of the Nenjiang River Basin during the 45 years between 1956 and 2000 by applying random hydrologic method. The research indicated that hydrologic cycle of runoff in the basin was 32 years. On the whole, there existed no apparent runoff trend within the 45 years. Furthermore, the paper also studied consumable water usage of the basin, and it showed that the general impact extent of mankind water consumption to basin water cycle was 5%, but it varied greatly within the basin, such as the case of the Tao'er River Basin, rising to as high as 16%, showing greater mankind water consumption there. In terms of annual runoff analysis, impact factor during the 1970s in the whole basin was higher than any other decades, reflecting the fact that mankind water consumption exerted greater impact on water cycle during low flow period.

**Key words** runoff, periodicals, trend, mankind water consumption, Nenjiang River Basin