

大凌河流域径流演变规律分析

刘鑫^{1,2}

(1. 沈阳农业大学, 沈阳 110866; 2. 辽宁江河水利水电新技术设计研究院, 沈阳 110003)

摘要:利用大凌河流域 7 个主要水文站资料, 对大凌河近 50 a 径流年内变化, 年际变化分析, 探寻年径流演变规律。结果表明: 大凌河径流 7 月, 8 月占全年径流比例最大, 年内分配最不均匀是 1960s, 2000 年以后年内分配相差最小, 干流 3 站集中度在 2000 年以前同步性较好, 2000 年新建水库后, 同步性变差; 年际变化上整体处于下降→显著下降→上升→显著下降的趋势, 从典型站的趋势检验结果分析, 大凌河径流减少趋势明显, 干流凌海站突变点是 1980 年, 支流哈巴气站在置信区间内, 没有发生突变; 从周期性上分析, 干流的凌海站和支流的哈巴气站主周期都是 26 a, 周期性较明显。

关键词:大凌河流域; 径流; 演变规律

中图分类号: TV121

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)02-0165-06

Analysis of Variation Characteristics of Runoff in Dalinghe River Basin

LIU Xin^{1,2}

(1. Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; 2. Liaoningjianghe

Water Conservancy and Hydropower New Technology Design Research Institute, Shenyang 110003, China)

Abstract: The evolution regularities of the monthly runoff time-series of hydro-meteorological data from 7 stations distributing in different areas of Dalinghe River basin during the period of 1961—2010 were analyzed in this paper. The variation and skewness coefficients, Mann-Kendall trend test, complex Morlet wavelet and runoff concentration degree (RCD) were used to investigate the inhomogeneity, trends, cycle and concentration of the monthly runoff time-series. The results demonstrated that the most runoff flow presented in July and August and the most uneven distribution within a year occurred in 1960s, respectively. The RCD synchronization of three stations in the main stream maintained relatively good state before some new reservoirs were built. But after the operation of these reservoirs, the RCD synchronization gradually weakened and a decrease in annual distribution differences was found after 2000. With respect to the interannual variability, all the runoff time-series from 7 stations showed a significant dropping—dropping—increasing—dropping trend. Moreover, Mann-Kendall trend test proved that the runoff flow of Dalinghe River decreased obviously and the abrupt negative trend shift at Linghai station became significant around the year of 1980. Abrupt changes were not found at Habaqi station within the confidence interval. Periodic analysis via complex Morlet wavelet indicated a strong cycling was found in the runoff time-series with a 26-year main cycle from both Linghai and Habaqi.

Keywords: Dalinghe River basin; runoff; evolution law

大凌河流域介于东经 118°53′—121°52′, 北纬 40°28′—42°38′, 跨辽宁省、河北省、内蒙古自治区 3 个省区, 主要分布在辽宁省境内。流域山丘区面积占 98%, 平原区占 2%。大凌河上游分西南两支, 南支发源于建昌市水泉沟, 西支发源于河北省平泉县水泉子沟, 两支于喀左县大城子镇东南相汇, 流经朝阳、北票、义县, 于凌海的南圈河和南井子之间注

入渤海。大凌河全长 408 km, 流域面积 23 263 km²。在辽宁境内流域面积 19 998 km²。大凌河流域属中温带季风气候, 夏季多雨, 冬季少雨, 是辽宁省内干旱地区之一, 十年九旱。流域内洪水频繁, 主要来源于干流上窝堡以上以及下游左侧支流。大凌河义县以下河槽宽浅, 河宽达 4 km, 沙丘到处可见, 有的形成沙堤。

1 资料来源与研究方法

1.1 资料来源

根据大凌河流域 1961—2010 年 3 个主要干流水文站(大城子站、凌海站和朝阳站),4 个主要支流水文站(哈巴气站、阎家窑站、凉水河子站和复兴堡站)的逐月径流资料,对大凌河流域径流规律分析研究。各水文站资料如表 1 所示。

表 1 大凌河水文站

| 水文站 | 集水面积/km ² | 所在河流 |
|------|----------------------|-------|
| 凌海 | 23048 | 大凌河 |
| 复兴堡 | 2932 | 西河 |
| 大城子 | 5029 | 大凌河 |
| 朝阳 | 10236 | 大凌河 |
| 哈巴气 | 1821 | 大凌河西支 |
| 阎家窑 | 1461 | 老虎山河 |
| 凉水河子 | 736 | 凉水河 |

1.2 研究方法

1.2.1 径流年内分配特性分析方法 径流年内分配分析采用年内分配不均匀系数、集中度和集中期等指标从不同角度来衡量流域径流年内分配特性。径流年内分配不均匀系数(C_{vy})是反映河川径流年内分配不均匀性的一个指标。 C_{vy} 的大小反映径流的年内分配不均匀程度,越大表明不均匀程度越高^[1]。径流集中度(RCD)指各月径流量按月以向量方式累加,其各分量之和的合成量占年径流量的百分数,其意义是反映径流量在年内的集中程度。集中期(RCP)是指径流向量合成后的方位,反映全年径流量集中的重心所出现的月份,以 12 个月分量和的比值正切角度表示^[2-3]。

1.2.2 径流年际变化特性分析方法 分析径流的年际变化规律,选用反映河川径流在多年中变化情况的变差系数(C_V)、偏态系数(C_S)来衡量径流在时程上的分配不均匀性^[4-5]。径流距平百分率和采用 Mann-

Kendell 非参数检验方法对径流年际变化的趋势性和阶段性进行定性与定量分析^[6-10]。利用 Morlet 复小波对径流演变周期性小波分析^[11-12]。 C_V 反映多年径流分配情况,系数值越大表示该地区年际径流量相差越大,径流年际分配越不均匀。 C_S 反映各年径流在多年平均径流值两边的对称程度。距平法是一种常用的,可直观而准确地分析径流年际变化阶段性特征的方法。M-K 法最初用于检验序列的变化趋势,改进后,现在多用以突变点的检测,这种方法被广泛用于水文和气象序列的趋势检验研究中^[8]。小波分析是在傅里叶变换的基础上引入的函数,小波变化可以把一个时间序列分解成为时间和频率的贡献。它对获取一个复杂时间序列的周期性规律,分辨时间序列在不同尺度上演变特征非常有效。

2 结果与分析

2.1 年径流特性

大凌河干流 3 个水文站从上游至下游分别是大城子站、朝阳站、凌海站。支流 5 个水文站,多年平均径流总量大小为复兴堡>哈巴气>阎家窑>凉水河子。大凌河干流 3 站多年径流变化趋势基本一致,径流最大的 2 年出现在 1962 年和 1994 年,支流上除凉水河子的最大值在 1963 年以外,其他 3 站也均出现在与干流相同的年代。以 10 a 为周期,分析大凌河流域 7 个水文站年平均径流,见表 2。总体趋势是下降→下降→上升→下降,各站 1960s 均是流量最大的 10 a,最小的流量除复兴堡站是在 1980s,其他所有站均在 2000—2010 年,图 1 给出了干流 3 站的年径流变化曲线,也充分说明了干流径流的变化特点。产生这种变化有两个原因:① 1960s 有连续的几个大水年,而 1962 年是多数站有资料以来流量最大的年份,直接抬高了 1960s 的年平均径流量;② 1999—2000 年期间在大凌河兴建了白石水库和阎王鼻子两个大型水库,影响朝阳站和凌海站。

表 2 大凌河各水文站不同径流系列均值

10⁴ m³

| 年径流 | 1961—1970 年 | 1971—1980 年 | 1981—1990 年 | 1991—2000 年 | 2001—2010 年 | 1961—2010 年 |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 大城子 | 62047.05 | 44829.95 | 20974.29 | 42493.70 | 12002.17 | 36469.43 |
| 朝阳 | 107218.48 | 67452.22 | 36668.76 | 63880.68 | 19457.69 | 58935.57 |
| 凌海 | 221267.72 | 150285.46 | 77249.25 | 158953.46 | 38848.49 | 129320.88 |
| 复兴堡 | 25649.97 | 21303.37 | 10691.07 | 24467.16 | 12068.45 | 18836.00 |
| 哈巴气 | 19480.75 | 11641.24 | 8091.20 | 11284.33 | 3793.46 | 10858.19 |
| 阎家窑 | 13153.02 | 9375.94 | 6564.51 | 6762.62 | 3979.24 | 7967.07 |
| 凉水河子 | 6922.79 | 3509.44 | 2526.96 | 4458.24 | 1359.74 | 3755.44 |

2.2 径流年内分配特性

从大凌河流域各水文站月径流年内分配图(图

2)及各站多年月平均径流占年径流百分比(表 3),可以看出:1)大凌河干流朝阳、大城子站、支流复兴堡和

哈巴气站 7—10 月为径流连续最大的 4 个月,所占比例分别是 67.59%,64.31%,71.64%和 56.92%;凌海、阎家窑、凉水河子站 6—9 月 4 个月径流所占比例最大,分别为 70.02%,55.39%,59.17%。2)7,8 两月径流量占全年径流比例相差不大,两月合计占全年径流在大凌河流域 38%~55%左右。说明大凌河的径流的分配情况比较集中,年内不均匀,也不利水资源的开发利用。为了进一步分析径流在年内分配规律,本文将进行进一步的研究。

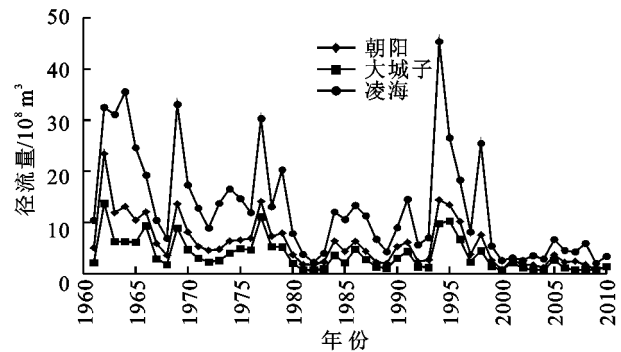


图 1 大凌河干流站径流变化

| 表 3 各水文站多年月平均径流占年径流百分比 | | | | | | | | | | | | % |
|------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 站名 | 1 月 | 2 月 | 3 月 | 4 月 | 5 月 | 6 月 | 7 月 | 8 月 | 9 月 | 10 月 | 11 月 | 12 月 |
| 大城子 | 3.30 | 3.19 | 4.07 | 3.29 | 2.76 | 5.99 | 21.17 | 27.51 | 11.44 | 7.46 | 5.62 | 4.20 |
| 朝阳 | 3.49 | 3.47 | 5.40 | 3.39 | 3.02 | 6.80 | 22.14 | 24.36 | 10.48 | 7.33 | 5.92 | 4.19 |
| 凌海 | 1.85 | 1.92 | 6.40 | 4.16 | 3.10 | 6.04 | 25.45 | 28.23 | 10.31 | 5.99 | 4.40 | 2.15 |
| 复兴堡 | 1.27 | 1.55 | 6.06 | 4.36 | 3.16 | 5.08 | 24.97 | 29.68 | 10.58 | 6.40 | 4.67 | 2.20 |
| 哈巴气 | 5.62 | 5.03 | 5.27 | 4.26 | 3.50 | 6.67 | 19.32 | 19.87 | 10.01 | 7.72 | 6.67 | 6.06 |
| 阎家窑 | 4.63 | 5.26 | 7.12 | 5.26 | 4.62 | 10.79 | 20.07 | 17.77 | 6.76 | 6.70 | 5.92 | 5.10 |
| 凉水河子 | 5.13 | 5.21 | 5.77 | 4.48 | 4.11 | 9.84 | 23.66 | 18.62 | 7.05 | 5.30 | 5.38 | 5.44 |

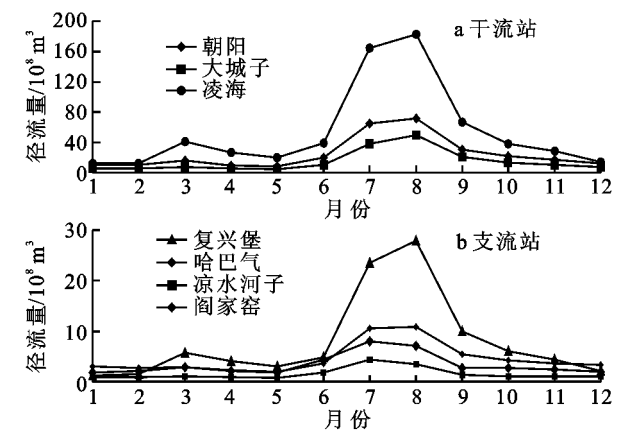


图 2 大凌河各水文站多年月平均径流分布

对大凌河各站年内分配分析,从表 4 看出,各站趋势大致相同,1960s 不均匀系数最大,其次是 1990s;年内分配相差最小的是 2000 年以后,均小于

多年平均值。产生这种差别的原因是径流总量的差异和 10 a 内径流的变化导致的。以大城子站为例,1960s 是径流最大的 10 a,其中超过或接近均值的有 6 a,最大为 1962 年的 137 372.46 万 m^3 ,是均值的 2.21 倍,最小是 1968 年 17 955.65 万 m^3 ,是均值的 28.9%,1960s 汛期径流占年径流的 73.59%,这就使不均匀系数相对比较大;相反年径流最小的 2000s,10 a 中超过平均径流的有 3 a,汛期径流占年径流的 50.74%。

表 4 给出了各站年内分配集中度,与年内分配不均匀系数具有较好的同步性变化规律,凡是不均匀系数较高的时期,集中度也较高,而集中度的变化幅度小于不均匀系数,不均匀系数在表示年内径流分布时更敏感。

表 4 大凌河各站年内分配特征值

| 时间段 | 大城子 | | 朝阳 | | 凌海 | | 哈巴气 | | 阎家窑 | | 凉水河子 | | 复兴堡 | |
|-----------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|
| | C_{zy} | RCD | C_{zy} | RCD | C_{zy} | RCD | C_{zy} | RCD | C_{zy} | RCD | C_{zy} | RCD | C_{zy} | RCD |
| 1961—1970 | 1.07 | 0.58 | 0.99 | 0.52 | 1.19 | 0.61 | 0.88 | 0.42 | 0.76 | 0.39 | 0.99 | 0.49 | 1.46 | 0.71 |
| 1971—1980 | 0.83 | 0.43 | 0.72 | 0.37 | 0.94 | 0.48 | 0.46 | 0.22 | 0.58 | 0.27 | 0.48 | 0.21 | 1.25 | 0.61 |
| 1981—1990 | 0.64 | 0.37 | 0.75 | 0.42 | 0.87 | 0.46 | 0.53 | 0.29 | 0.66 | 0.34 | 0.68 | 0.33 | 0.76 | 0.38 |
| 1991—2000 | 1.12 | 0.51 | 0.94 | 0.44 | 1.13 | 0.55 | 0.63 | 0.27 | 0.52 | 0.20 | 0.66 | 0.26 | 1.01 | 0.52 |
| 2001—2010 | 0.51 | 0.23 | 0.45 | 0.18 | 0.76 | 0.47 | 0.45 | 0.16 | 0.43 | 0.17 | 0.47 | 0.19 | 0.61 | 0.33 |
| 1961—2010 | 0.92 | 0.48 | 0.84 | 0.43 | 1.03 | 0.53 | 0.63 | 0.31 | 0.60 | 0.30 | 0.72 | 0.34 | 1.07 | 0.55 |

图 3 所示为大凌河干流 3 站 1961—2010 年 50 a 集中度年际变化图,从图中可以看出,这 3 个站

1961—1999 年趋势同步性显著,2000 年以后同步性变差,其主要原因是在 1999—2000 年在大凌河干流

新建了两处大型水库,即阎王鼻子水库和白石水库,其中阎王鼻子水库位于朝阳站上游,白石水库位于凌海站上游,水库的修建,人为改变了流域上下游集中度的一致性,很明显这两座水库的修建对调洪起到了显著的作用。

大凌河干流径流集中期一般在 8 月,如表 5 所示。径流较小时容易提前,径流较大时受个别年份大洪水时间影响较大。大凌河流域降雨的集中期是 7—8 月中旬,而从径流集中期分析,各站由降雨直接形成径流的可能性比较大。但各站断面以上因植被覆盖、上游水利工程、取水等情况不同,径流集中期也

产生不同。

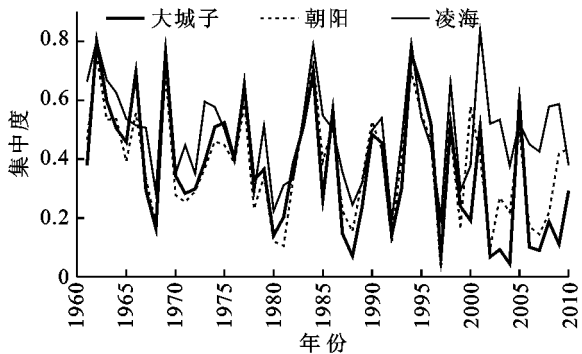


图 3 大凌河流域典型站集中度年际变化

表 5 各站年内分配集中期

| 年际 | 大城子 | 朝阳 | 凌海 | 哈巴气 | 阎家窑 | 凉水河子 | 复兴堡 |
|-----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|
| 1961—1970 | 8 月 7 日 | 8 月 6 日 | 8 月 4 日 | 8 月 8 日 | 7 月 28 日 | 7 月 26 日 | 8 月 9 日 |
| 1971—1980 | 8 月 17 日 | 8 月 14 日 | 8 月 3 日 | 8 月 26 日 | 7 月 18 日 | 7 月 26 日 | 7 月 31 日 |
| 1981—1990 | 8 月 23 日 | 8 月 13 日 | 8 月 7 日 | 8 月 19 日 | 7 月 21 日 | 7 月 24 日 | 8 月 12 日 |
| 1991—2000 | 8 月 16 日 | 8 月 14 日 | 8 月 6 日 | 8 月 15 日 | 7 月 13 日 | 7 月 26 日 | 8 月 7 日 |
| 2001—2010 | 8 月 15 日 | 7 月 25 日 | 7 月 4 日 | 8 月 4 日 | 7 月 10 日 | 6 月 13 日 | 7 月 26 日 |
| 1961—2010 | 8 月 13 日 | 8 月 10 日 | 8 月 3 日 | 8 月 13 日 | 7 月 22 日 | 7 月 24 日 | 8 月 5 日 |

2.3 径流年际变化特性

衡量径流年际变化的特征值,用变差系数、偏差系数和径流距平表示。从表 6 可看出除了阎家窑站 0.59 外,其他各站径流变差系数 C_v 均超过 0.7,说明除阎家窑站径流年际分布相对均匀,其他各站年际分配相差较大,最大为大城子站,达到 0.86;偏态系数 C_s 中阎家窑最大,是由于 1962 年的径流与其他年份差别非常大,1962 年阎家窑站径流总量是本站均值的 4.1 倍,导致同在老虎山河的德立吉水库(中型)垮坝。偏态系数均为正偏,说明径流中流量偏小的频率比较多,也就是径流偏少情况较多,而洪涝现象比较少,这与大凌河流域现状基本吻合。

表 6 各水文站径流年际 C_v 、 C_s 变化

| 水文站 | 变差系数 C_v | 偏态系数 C_s |
|------|------------|------------|
| 大城子 | 0.86 | 1.39 |
| 朝阳 | 0.79 | 1.51 |
| 凌海 | 0.80 | 1.26 |
| 复兴堡 | 0.75 | 1.78 |
| 哈巴气 | 0.79 | 2.38 |
| 阎家窑 | 0.59 | 3.00 |
| 凉水河子 | 0.70 | 1.53 |

凌河干流 3 站的径流距平百分率看图 4,丰枯情况基本一致。1962—1979 年共 18 a 主要表现为丰水过程,丰水年有 12 a,1962—1966 连续 5 a 丰水年,各

站径流距平均超过 50%,在 1962 年大城子站和朝阳站径流距平超过 250%,为系列最高水平;1980—1993 年共 14 a 间,主要表现为枯水过程,其中枯水年共 12 a,其中距平超过 -50% 的有 7 a,连续枯水年有 3 个时间段,分别是 1980—1985 年、1987—1989 年和 1992—1993 年段;在 1994—1998 年的 5 a 中,有 4 a 是丰水年,其中 1994—1996 年 3 a 连续,特别在 1994 年,大城子、朝阳距平在 150% 左右,凌海站超过 250%,说明 1994 年的洪涝灾害中,下游的洪水情况比上游严重;在 1999—2010 年 12 a 间,全部是枯水年,说明进入 21 世纪以后,大凌河干流河流趋于干旱。造成这一现象主要因为,进入 2000 年以后,大凌河流域内的降雨明显偏少,水资源利用量增大,造成水文断面上径流的减少。

用 M-K 法分析大凌河上两个代表站径流变化趋势,如图 5 所示,凌海在 1966 年之前径流量是不明显的上升趋势,1966—2010 年期间径流呈下降趋势,其中 1981—2010 年下降趋势显著,在 1983—1993 年和 2003 年以后甚至超过 0.001 显著水平 $\mu_{0.001} = \pm 2.56$,表明大凌河凌海站的径流的下降趋势是十分显著,在系列中凌海站径流有一次突变现象发生在 1980 年。支流哈巴气站的径流变化趋势与凌海站的趋势基本一致,均是在 1966 年以后呈现下降趋势,下降趋势显著的时间都是在 1980 年以后,而哈巴气站在 95% 的置信区间内,没有突变的时间。

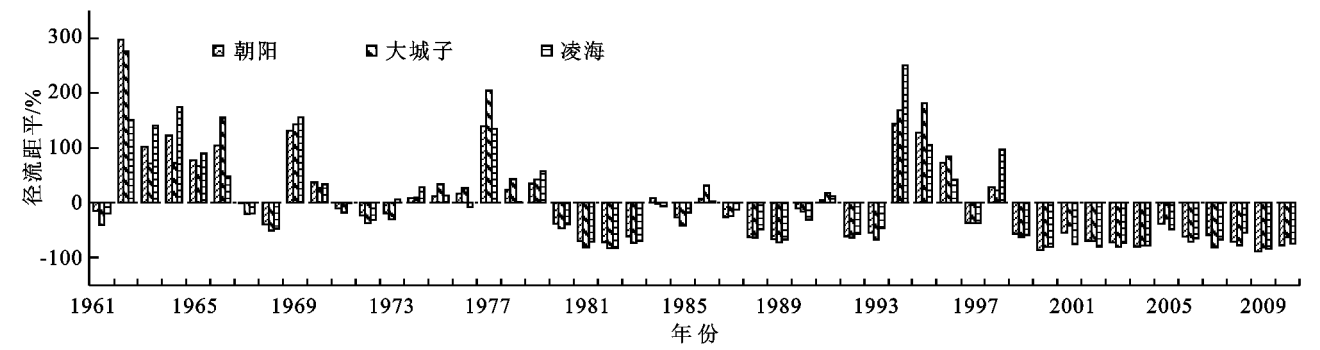


图 4 大凌河干流 3 站径流距平

基于 1961—2010 年流域 7 个水文站年径流量, 选取 Morlet 复小波进行一维连续小波变换, 计算小波方差, 并绘制凌海站和哈巴气站的小波系数实部等值线图和小波方差图(图 6—7)。由图可以看出: 1) 凌海站以上区间 20 世纪 70 年代中期以前主要存在 8 a 的周期变化, 90 年代存在约 5 a 的周期变化, 1975 年以后可见 14 a 左右的周期变化, 在 26 a 时间尺度上周期特性相对显著。2) 支流哈巴气站以上区域 20 世纪 70 年代以前存在 3 a 的周期性, 之后小尺度的周期性不明显, 在 26 a 的时间尺度上存在较明显的周期性。3) 从方差图上凌海站主周期和次周期分别是 26 a 和 14 a。4) 哈巴气站的径流小波方差图上看, 该站的主周期和次周期分别是 26 a 和 13 a。

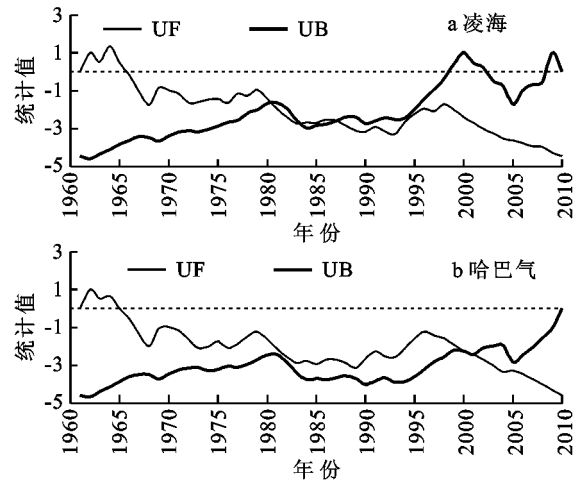


图 5 典型站 M-K 趋势曲线

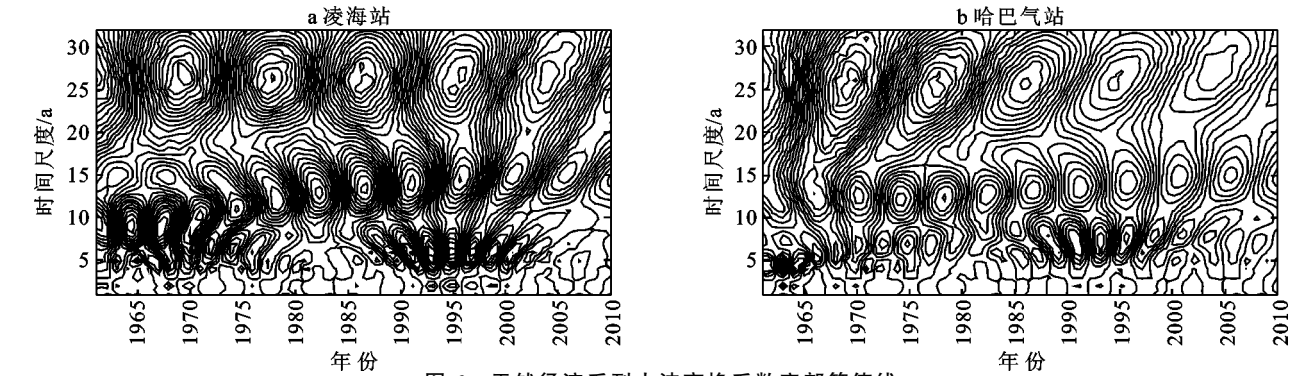


图 6 天然径流系列小波变换系数实部等值线

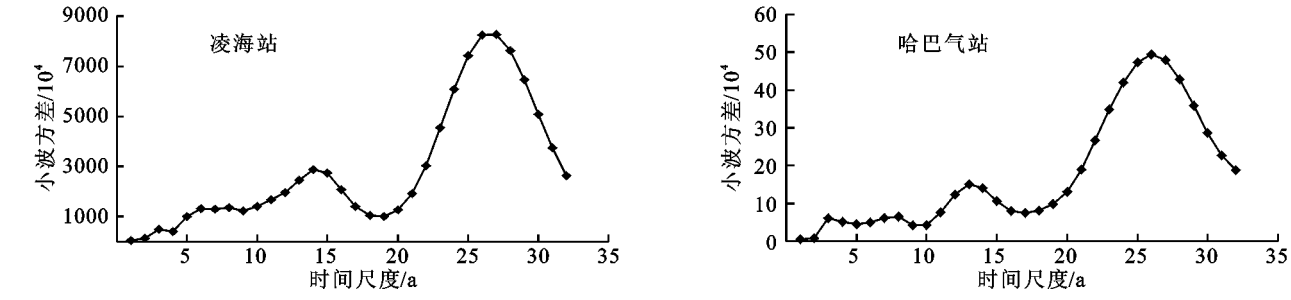


图 7 典型站径流序列小波方差

3 结论

大凌河流域径流年内分配不均匀, 且更多集中在 7, 8 月份。不均匀系数和集中度都可以表达这种不均匀性。纵向分析, 系列内径流总量大的时期, 年内

分布集中较高, 这是因为此时汛期径流占年径流的 70% 以上, 也就推高了径流年内集中度。横向看, 大凌河干流 3 站在 2000 年阎王鼻子水库和白石水库建成后, 年内分配发生变化, 水库调洪作用导致了这一变化。大凌河流域年际分配上看, 大凌河年径流总量

呈减少趋势,尤其是 1999 年以后径流量总量偏少且年际变化不大,趋势稳定。年际径流变化趋势比较明显,干流的凌海站和支流的哈巴气站的 M-K 检验显示,两站在 1966 年之后都进入径流减少趋势,而且大部分减少显著,尤其在 1999 年以后,这与径流年际分析结果一致,另 M-K 分析显示凌海站有明显的突变点,突变时刻为 1980 年,支流哈巴气站在置信区间没有突变。径流变化原因首先是降雨,降雨是径流的主要来源,在没有人工干涉时当降雨减少时,径流受到显著影响,比如 1980—1982 年大凌河流域连续 3 a 干旱,和 1994 年的洪涝,就是由降雨变化导致的;其次水利工程,人工干预也会影响径流,水库建成后,库区水面增大,增加了渗漏和蒸发;最后,近年来大凌河流域不断实施水土保持措施,这些措施使林草增加,增强了流域涵养水源的能力,使水分更多的在流域内被耗散和利用^[13],以叶柏寿站为例,在 1960s 初,森林覆盖率仅有 2%,而到 2006 年该流域的森林覆盖率已经上升到 30%^[14],这可能是进入 21 世纪,大凌河干流径流不断减少的另一个原因。从周期性上分析,干流的凌海站和支流的哈巴气站主周期都是 26 a,周期性较明显,次周期分别是 14 a 和 13 a,同步性不明显。

参考文献:

- [1] 宋晓林. 1950s 以来挠力河流域径流特征变化及其影响因素[D]. 北京:中国科学院研究生院,2012.
- [2] 潘扎荣,阮晓红,朱愿福,等. 近 50 年来淮河干流径流演

- 变规律分析[J]. 水土保持学报,2013,27(1):51-55.
- [3] 刘贤赵,李嘉竹,宿庆,等. 基于集中度与集中期的径流年内分配研究[J]. 地理科学,2007,27(6):791-795.
- [4] 卢路,刘家宏,秦大庸,等. 海河流域天然径流年际变化规律分析[J]. 水电能源科学,2011,29(6):11-13.
- [5] 郝婷婷,钟平安,魏蓬. 淮河流域近 50 年天然径流演变规律分析[J]. 水电能源科学,2011,29(9):4-7.
- [6] 段文明,穆兴民,高鹏,等. 嘉陵江流域近 50 年降水量演变规律分析[J]. 水土保持研究,2012,19(1):97-101.
- [7] 白桦,穆兴民,高鹏,等. 嘉陵江流域降水及径流演变规律分析[J]. 水土保持研究,2012,19(1):102-106.
- [8] 邵骏,范可旭,郇建平,等. 乌江干流年径流变化趋势及成因分析[J]. 水文,2013,32(6):86-91.
- [9] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,1999.
- [10] Mu X, Zhang L, McVicar T R, et al. Analysis of the impact of conservation measures on stream flow regime in catchments of the Loess Plateau, China[J]. Hydrological Processes,2007,21(16):2124-2134.
- [11] 王文圣,丁晶,李跃清. 水文小波分析[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [12] 胡昌华,张军波,夏军,等. 基于 MATLAB7. X 的系统分析与设计:小波分析[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2008.
- [13] 吴钦孝,刘国彬. 黄土高原森林植被水土保持机理研究[J]. 林业科学,2001,37(5):140-144.
- [14] 褚继东,朱玉春,张丽萍,等. 大凌河存在问题及治理对策[J]. 防护林科技,2006(1):69-70.



(上接第 164 页)

- [5] 欧向军,甄峰,秦永东,等. 区域城市化水平综合测度及其理想动力分析:以江苏省为例[J]. 地理研究,2008,27(5):993-1000.
- [6] 张金忠,马慧强,丛志颖. 辽宁省区域城市化水平综合测度分析[J]. 辽宁师范大学学报:自然科学版,2012,35(1):120-124.
- [7] 车晓翠,郭聃,张平宇. 吉林省综合城市化水平区域分异及其成因分析[J]. 地域研究与开发,2012,31(6):50-54.
- [8] 吕飞艳,余斌,刘大均. 2000—2010 年江西省城市化发展及其空间演化[J]. 长江流域资源与环境,2013,22(10):1257-1263.
- [9] 薛俊菲,邱道持. 2000 年以来中国城市化水平的空间分异研究:以市域为单元的分析[J]. 西南大学学报:自然科学版,2011,33(10):136-142.
- [10] 陈明星,陆大道,张华. 中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析[J]. 地理学报,2009,64(4):387-398.
- [11] 鲁迪,王世界,李道辉. 河南省城镇化空间差异及其影响因子分析[J]. 湖北农业科学,2013,52(2):472-483.
- [12] 国务院. 鄱阳湖生态经济区规划[EB/OL]. 北京:国务院,2009.
- [13] 邓雪,李家铭,曾浩健,等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 数学的实践与认识,2012,24(7):93-100.
- [14] 梁会民. 区域城市化水平综合测度调查与分析[J]. 安徽农业科学,2011,39(36):22485-22487.
- [15] 叶长盛,黄建军. 江西省县城农村居民收入空间差异研究[J]. 水土保持研究,2011,18(3):153-157.
- [16] 柯文前,陆玉麒. 基于县域的福建省经济空间格局演化[J]. 经济地理,2011,31(7):1081-1087.
- [17] 郑华伟,张锐,杨兴典,等. 基于 PSR 模型的土地利用系统健康评价及障碍因子诊断[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(9):1099-1105.