

变化环境下滇中地区典型流域水资源演变特征

丁文荣

(云南师范大学 旅游与地理科学学院, 云南 昆明 650500)

摘要: [目的] 以典型流域为研究对象, 揭示变化环境下滇中地区水资源的演变特征, 为区域水资源综合管理服务。[方法] 以滇中地区蜻蛉河流域 1963—2012 年的月值径流实测资料为基础, 采用线性倾向估计、Mann-Kendall 非参数检验、小波分析和 R/S 分析等作为主要研究方法。[结果] (1) 蜻蛉河流域径流量年内分配极不均匀, 主要集中在夏秋两季, 而冬春两季占全年的百分比均较小; (2) 自 20 世纪 60 年代以来, 蜻蛉河流域径流量总体呈现出了减少的趋势, 速率为 $4.80 \times 10^7 \text{ m}^3/10 \text{ a}$, 但其变化趋势的尚未达到 0.05 的显著性水平; (3) 研究时段内蜻蛉河流域径流量的变化经历了“多—少—多—少”的演变过程, 2010 年为一个典型突变年份; (4) 从多时间尺度特征来看, 蜻蛉河流域径流量变化局域性特点较为突出, 没有贯穿整个研究时段的周期性波动, 相对较为明显的周期性变化为 15 a; (5) 蜻蛉河流域年径流量的变化存在比较显著的赫斯特现象, 未来持续减少的概率较大。[结论] 蜻蛉河流域水资源季节性分布不均, 年际波动幅度大, 未来一段时间内将继续维持减少趋势, 需提前做好合理规划。

关键词: 变化环境; 滇中地区; 水资源; 蜻蛉河

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)02-0274-04

中图分类号: TV312.9, K903

文献参数: 丁文荣. 变化环境下滇中地区典型流域水资源演变特征[J]. 水土保持通报, 2017, 37(2): 274-277. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.041; Ding Wenrong. Evolutions of Water Resources in Typical Basin of Central Yunnan Province Under Changing Environment[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(2): 274-277. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.041

Evolutions of Water Resources in Typical Basin of Central Yunnan Province Under Changing Environment

DING Wenrong

(College of Tourism and Geography Science, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650500, China)

Abstract: [Objective] A typical basin was taken as study area, we demonstrated the evolution of water resources in Central Yunnan Province, to supply scientific support for integrated water resources management. [Methods] Runoff data was collected in Qingling River basin of central Yunnan Province. Linear trend estimation, Mann-Kendall non parameter test, wavelet analysis method and R/S analysis were used. [Results] (1) Runoff is extremely non-uniform at the annual scale, and concentrating on the summer and winter. (2) Since 1960s, runoff of Qingling River basin showed a decreasing trend with a of $4.80 \times 10^7 \text{ m}^3/10 \text{ a}$, but the trend not yet reached the significant level of 0.05. (3) The periodical evolution of runoff experienced “rich—lack—rich—lack” processes, in 2010, an abrupt change occurred. (4) From the aspect of multi-time scale variation, it was locally prominent but not over all covered. Comparatively a 15 year-periodical variation was obvious. (5) A significant Hurst phenomenon existed for annual runoff of Qingling River basin, whereby the decrease probability in the future was great. [Conclusion] Water resources in Qingling River basin are unevenly distributed in seasonal and inter-annual time scale. A decrease trend will continue in the next period, hence rational planning is important.

Keywords: changing environment; Central Yunnan Province; water resource; Qingling River

近百年来,地球系统正经历着以气候变暖为主要特征的显著变化,加之剧烈的人类活动影响,不同程度改变了水文循环过程,严重威胁着人类生存和社会发展。由此,变化环境下的水资源效应受到各国学者的广泛关注,成为当今国际水科学研究的前沿课题^[1]。自 20 世纪 80 年代以来,关于变化环境对水文过程影响的研究已经在国内外积累了丰富的研究成果^[2],为缓解乃至解决当今人类社会所面临的水资源、水环境、水生态和水灾害问题提供了途径。滇中地区是云南省的政治、经济和文化中心与交通枢纽。2015 年的统计结果表明,该区域人口 1 702.8 万人,占该省总人口的 37.4%;GDP 占该省的 57.8%,人均 GDP 约为 19 400 元,是该省人均 GDP 的 1.55 倍,已成为云南的名副其实经济核心区。滇中地处金沙江、南盘江、红河 3 大水系分水岭地带,多年来在气候变化和土地利用/覆被变化(LUCC)等人类活动的双重影响下,滇中地区流域水资源时空分布发生了深刻的变化,资源型、工程型和水质型缺水日益凸显,不仅影响区内人民生活水平的提高,也严重制约着全省社会经济的可持续发展^[3-4]。鉴此,本研究以滇中地区典型区域蜻蛉河流域为研究对象,采用多种时间序列分析方法,系统探讨该流域水资源的时间变化规律,以期为区内水资源的综合管理提供决策参考。

1 研究区概况

蜻蛉河为龙川江左岸最大的一级支流,发源于楚雄彝族自治州姚安县太平乡海拔 2 525 m 的黎梅山,进入大姚县境后折向东北方向,最后在元谋县黑泥坡村汇入龙川江。河流全长 132 km,多克(二)站以上流域面积 3 546 km²,位于 101°04′—101°47′E 和 25°20′—26°10′N,地处北亚热带季风气候区域,属典型亚热带干燥气候,具有气候温和,日照充足,干湿季明显,无霜期长等气候特点。年均气温 15.6℃,日照 2 526 h,无霜期年均 309 d,相对湿度 65%。多年平均降水 796.3 mm,雨日 113 d。研究区基岩主要是三叠纪页岩、砂岩和少量的花岗岩、石灰岩和第四纪沉积物,地貌表现为中山、丘陵、盆地相间分布的格局。土壤类型以北亚热带山原红壤为主,在海拔 1 700 m 以下的干热河谷区发育有燥红土。植被主要为亚热带常绿阔叶林,自 20 世纪 50 年代以来,受人类活动的影响,原生植被已消失殆尽,目前云南松人工次生林广泛分布,是区内荒山绿化和迹地更新的主要林种。

2 数据与方法

所用径流量资料为蜻蛉河下游国家基本水文站

多克(2)站 1963—2012 年的月值径流实测序列,数据来源于云南省水文水资源局,经过了可靠性、一致性与代表性检验。其中 1988 年 10—12 月缺测值以多年平均值进行插补,分析时间序列长度为 50 a。水资源变化趋势采用线性倾向方程来表示,即:

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 t \quad (1)$$

式中:Y——待分析资料序列; t ——时间; α_1 ——线性趋势项,若该值为正,表明为增加趋势,反之则为减少趋势, $\alpha_1 \times 10$ 表示水资源每 10 a 的变化量。

突变过程检测采用 Mann-Kendall 非参数检验方法,该法因不需要确定样本服从的分布,也不受外界异常因素的影响而被广泛应用^[5]。

水资源时间序列变化的周期性分析采用小波分析方法,该方法通过伸缩平移运算对信号逐步进行多尺度细化,自动适应时频信号分析的要求,从而可聚焦到信号的任意尺度,最终达到高频处时间细分,低频处频率细分的目的^[6]。

水资源的未来演变趋势采用了 R/S 分析方法,该方法假设一个时间序列 $\xi(t)$, $t=1, 2, 3, \dots$, 对于任意整数 $\tau > 1$, 先指定时均序列 $\langle \xi \rangle_\tau$, $t=1, 2, 3, \dots$, 然后计算累计离差 $X(t, \tau)$ 、级差 $R(\tau)$ 和标准差 $S(\tau)$ 。赫斯特曾证明了 $R(\tau)/S(\tau)$ 随 τ 的增长呈 $1/2$ 的指数率关系^[7], 在比值 $R(\tau)/S(\tau) = R/S$ 中, R 随 τ 的增长呈发散状态,即:

$$R/S \propto (\frac{\tau}{2})^H \quad (2)$$

式中: H ——赫斯特指数,可以揭示水资源时间序列的未来演变趋势。

3 结果与分析

3.1 年内变化特征

地处云南高原的北部边缘,蜻蛉河流域地表径流的主要补给源为大气降水。冬春季水汽源为中纬度干旱大陆,空气干燥降水稀少,而夏秋季则有孟加拉湾和北部湾的暖湿气流,雨量充沛^[8]。受到降水这种年内变化特征的控制,蜻蛉河流域 6 月上旬进入汛期而 10 月下旬汛期基本结束,河川径流量主要集中在每年的 6—10 月,该时段径流量占全年的 81.06%,而每年的 1—5 月与 11—12 月的径流量只占全年的 18.94%。年内径流量的变差系数 C_v 值为 1.12,表明径流年内分配极不均匀。按滇中地区气候季节划分的时间节点,将蜻蛉河流域径流量对应地划分为春夏秋冬四季。分别是春季 3—5 月,夏季 6—8 月,秋季 9—11 月和冬季 12 月至翌年 2 月。径流量的年内季节变化计算结果表明,蜻蛉河流域径流量主要集中

在夏秋两季,分别占全年径流量的 49.62% 和 42.25%,而冬春两季占全年的百分比均较小。尤其是春季,由于此时正值农业大春播种,土壤缺墒,加之气温缓慢升高蒸发加剧,而该季节地表径流量仅占全年的 2.69%,成为流域内一年中缺水最为突出的季节。

3.2 年际变化趋势

自 20 世纪 60 年代以来,蜻蛉河流域径流量总体呈现出了减少的趋势,变化速率为 $4.80 \times 10^7 \text{ m}^3/10 \text{ a}$ (图 1)。特别是进入 21 世纪以来减少更为明显,尤其是 2011 年径流量仅为 $5.00 \times 10^7 \text{ m}^3$,相当于丰水年份 1966 年 $1.39 \times 10^9 \text{ m}^3$ 的 3.60%。然而,采用 Mann-Kendall 检验对年径流量的变化趋势进行显著性检验后发现,其变化趋势的 Z 值为 -1.88,尚未达到 0.05 的显著性水平。

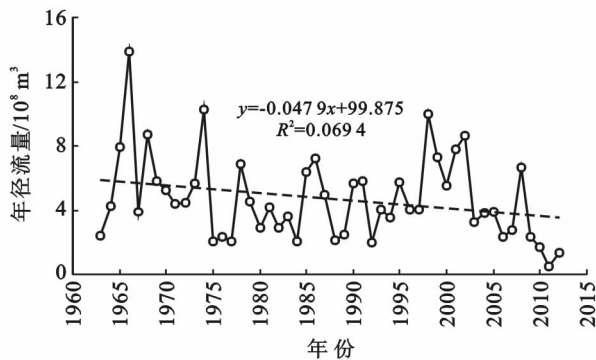


图 1 蜻蛉河流域年径流量的变化趋势

从不同年代的变化也可以看出(表 1),蜻蛉河流域径流量冬春两季占全年的比例均较少,春季尤为突出,而夏秋两季占全年的比例均超过 90%。而从夏秋季来看,两个季节占全年的比例相差不大,夏季略多。此外,从 20 世纪 60 年代至今,春夏季两季径流量占全年的比例略有增加,秋冬两季略有减少,但总体而言不同季节径流量占年径流总量的比例并没有发生明显的变化。

表 1 研究区不同季节径流量占年径流总量的比例 %

时段	春季	夏季	秋季	冬季
1963—1970 年	2.12	49.28	42.57	6.03
1971—1980 年	2.33	49.00	43.51	5.17
1981—1990 年	1.87	48.70	44.34	5.09
1991—2000 年	2.56	49.85	42.35	5.24
2001—2012 年	4.18	50.92	39.19	5.72

3.3 突变分析

采用 Mann-Kendall 非参数检验方法进行突变分析时,当统计量 UF 和 UB 构成的曲线超过了正负临界值直线,则表明原序列具有显著的上升或下降趋

势,反之趋势不明显。若 UF 和 UB 在正负临界值之间出现交点,则表明原序列存在跳跃变异(突变),且两曲线相交点的时刻即为突变开始的时刻。从图 2 中 UF 曲线的变化可以看出,自 20 世纪 60 年代中期至 1983 年,蜻蛉河流域径流量以减少趋势为主,1983—1997 年为小幅波动而没有明显的趋势,1997 年以来有增加的趋势并维持到 2002 年左右,然后持续减少至今。研究时段内径流量的变化经历了“多—少—多—少”的演变过程。此外,从图 2 还可以看出,UF 和 UB 曲线在 2010 年有一个交点,2010 年后逆序序列 UB 曲线超过了 UF 曲线且 UF 曲线呈下降趋势,表明径流量呈现出减少趋势。此外,该交点在正负临界值之间,表明 2010 年为一个突变年份。经过计算也发现,2010 年后径流量由多年平均值 $4.72 \times 10^8 \text{ m}^3$ 骤减至 $1.18 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右。这与 2009 年以来中国西南地区遭遇百年不遇的极端干旱是相对应的^[9-10]。

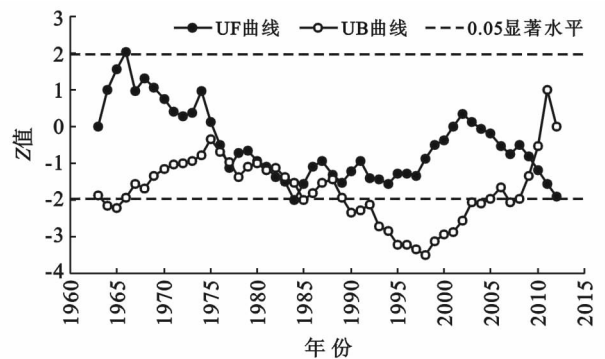


图 2 蜻蛉河流域年径流量的 M-K 检验

3.4 演变周期

研究表明,用复值 Morlet 小波进行时间序列分析时,小波系数实部的变化趋势与待分析信号的起伏基本一致,而 Morlet 小波系数模值的大小代表某一尺度成分的多少,反映了它所对应时段的周期性强弱^[11]。由于小波系数模值都是大于或等于零的实数,因此周期性的强弱可通过模值的大小反映出来,模值越大则周期性越显著,反之不显著。由图 3 蜻蛉河流域年径流量的复值 Morlet 小波系数实部可以看出,在研究时段内,蜻蛉河流域径流量变化区域性特征较为突出,没有贯穿整个研究时段的周期性波动。较为明显的是 15 a 左右的周期性变化,存在 2 个明显的丰水中心和少水中心年份,丰水中心年份分别是 1970 和 1985 年,2 个少水中心年份分别为 1977 和 1992 年。蜻蛉河流域径流量变化的复值 Morlet 小波变换系数模反映了径流量变化在各时间尺度的局

部化特征(图 3)。由图 3 可以看出,15 a 时间尺度的振荡在研究时段内相对明显。而其它尺度则局部化

特征很强,如 20 a 尺度的振荡最弱,5 a 尺度的振荡在局部性特征尤为突出。

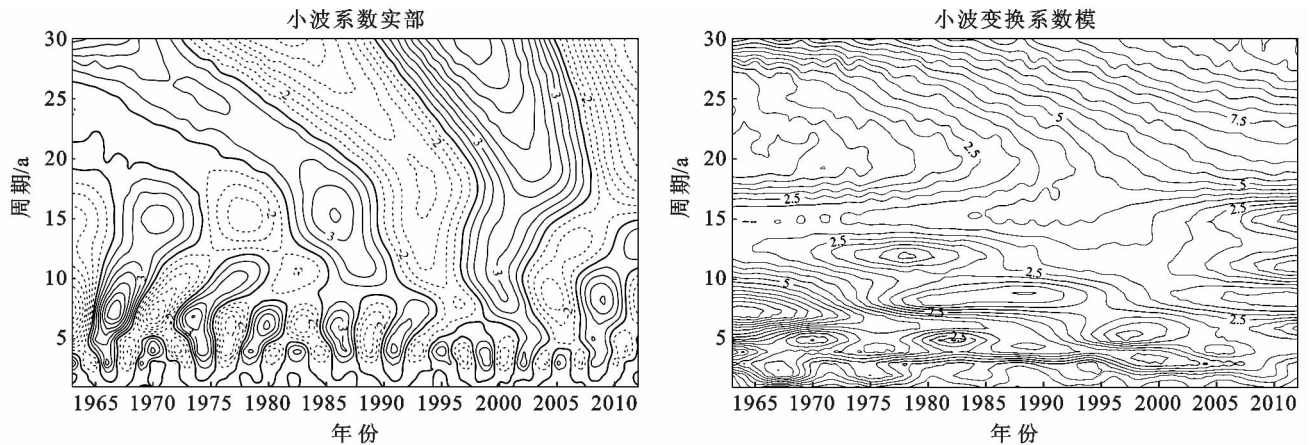


图 3 蜻蛉河流域径流量的复值 Morlet 小波系数

3.5 演变趋势

Mandelbrot 等^[12]对赫斯特指数 H 的大小与未来发展趋势之间的关系进行了探讨,表明 $H=0.5$ 是一个临界值,当 $0.5 < H < 1$ 时,时间序列存在长期记忆性,未来的趋势与过去一致,而当 $0 \leq H < 0.5$ 时,时间过程具有反持续性,意味着未来的总体趋势将与过去相反。蜻蛉河年径流量计算结果表明,其赫斯特指数 H 为 0.66,说明蜻蛉河的径流量存在比较明显的赫斯特现象,即未来的水资源延续过去变化趋势的可能性很大。具体而言,自 20 世纪 60 年代以来,年径流量为减少趋势,故未来维持减少趋势的概论比增加趋势的概率要大。

4 结论

(1) 蜻蛉河流域地表径流年内时间分配极不均匀,主要集中在夏秋两季,而冬春两季占全年的比例均较小。

(2) 自 20 世纪 60 年代以来,蜻蛉河流域径流量总体呈现出了减少的趋势,速率为 $4.80 \times 10^7 \text{ m}^3/10 \text{ a}$,但其变化趋势的尚未达到 0.05 的显著性水平。

(3) 自 20 世纪 60 年代中期至今,蜻蛉河流域径流量的变化经历了“多—少—多—少”的演变过程,2010 年为一个明显的突变年份。

(4) 在研究时段内,蜻蛉河流域径流量变化区域性特征较为突出,没有贯穿整个研究时段的周期性波动,相对而言较为明显的是 15 a 左右的周期性变化。

(5) 蜻蛉河流域年径流量的赫斯特指数大于 0.5,表明存在比较显著的赫斯特现象,故将维持前期的演变趋势。自 20 世纪 60 年代以来蜻蛉河流域径流量为减少趋势,故未来持续减少的概率较大。

[参 考 文 献]

- [1] Oki T, Kanae S. Global hydrological cycles and world water resources[J]. Science, 2006, 313(5790): 1068-1072.
- [2] Boyer C, Chaumont D, Chartier I, et al. Impact of climate change on the hydrology of St. Lawrence tributaries[J]. Journal of Hydrology, 2010, 384(1/2): 65-83.
- [3] 冯少辉,李靖,朱振峰,等. 云南省滇中地区水资源脆弱性评价[J]. 水资源保护, 2010, 26(1): 13-16.
- [4] 伍立群,王超. 滇中地区水资源特性与水安全问题分析[J]. 水文, 2009, 29(S1): 28-30.
- [5] Burn D H, Elnur M A H. Detection of hydrologic trends and variability[J]. Journal of Hydrology, 2002, 255(1/4), 107-122.
- [6] 吴创收,杨世伦,黄世昌,等. 1954—2011 年珠江入海水沙通量变化的多尺度分析[J]. 地理学报, 2014, 69(3): 422-432.
- [7] Lloyd E H, Hurst H E, Black R P, et al. Long-term storage: An experimental study[J]. Journal of the Royal Statistical Society, 1966, 129(4): 591.
- [8] 曹杰,李华宏,姚平,等. 北半球夏季印度洋和太平洋水汽交汇区及其空间分异规律研究[J]. 自然科学进展, 2009, 19(3): 302-309.
- [9] 贺晋云,张明军,王鹏,等. 近 50 年西南地区极端干旱气候变化特征[J]. 地理学报, 2011, 66(9): 1179-1190.
- [10] 黄慧君,李庆红,高月忠. 云南省 2009/2010 年秋季冬季罕见干旱诊断分析[J]. 热带地理, 2011, 31(1): 28-32.
- [11] 尤卫红. 气候变化的多尺度诊断分析和预测的多种技术方法研究[M]. 北京:气象出版社, 1998.
- [12] 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.