

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2015.04.010

1990—2013 年湖南四水入洞庭湖汛期径流量的变化规律

刘培亮¹,毛德华,周 慧^{1,2},邓晓磊¹

(1. 湖南师范大学资源与环境科学学院,湖南 长沙 410081; 2. 湖南省水文水资源勘测局,湖南 长沙 410007)

摘要:根据湖南四水(湘江、资水、沅江、澧水)主要代表水文站 1990—2013 年汛期月径流量实测数据,应用滑动平均法、小波分析法和 Mann-Kendall 非参数趋势检验法、分配不均匀系数和变化幅度等方法和指标,分析四水流域汛期径流量的年际和年内变化规律,对汛期内分配指标与湖南省水旱灾害状况进行了灰色关联度分析。结果表明:①湖南四水入洞庭湖汛期径流量年际分配极不均匀,入湖汛期径流量呈现逐渐减少的趋势。②湘潭站和桃江站的第一主周期均为 6 a,桃源站和石门站的第一主周期均为 4 a。③桃江站和桃源站分别于 2003 年和 2004 年发生了突变,湘潭站和石门站均未发生过突变。④四水入湖径流量在汛期内各月之间分配极不均匀,但随时间的推移,逐渐趋向均匀;汛期内各月径流量呈现波动递减的趋势;4 站各项分配指标值总体上呈现下降的趋势。⑤四水入湖径流量汛期内分配特征指标与流域水旱灾害的灰色关联度极高,并在一定程度上反应流域汛期水旱灾害情况。

关键词:汛期径流量;水旱灾害;小波分析;Mann-Kendall;灰色关联度分析;湖南四水

中图分类号:TV121+.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2015)04-0052-10

Variation law of runoff in flood seasons into Dongting Lake from Four Rivers in Hunan Province during 1990—2013

LIU Peiliang¹, MAO Dehua¹, ZHOU Hui^{1,2}, DENG Xiaolei¹

(1. College of Resources and Environmental Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China;
2. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Hunan Province, Changsha 410007, China)

Abstract: According to the data of runoff of the Four Rivers (Xiangjiang River, Zishui River, Yuanjiang River, Lishui River) measured by main hydrological station during 1990—2013, we analyze the annual variation law of runoff in flood season of the Four River and conduct a gray correlation degree analysis over the distribution of indicators in the flood season and floods and droughts situation in Hunan Province with the methods of moving average, wavelet analysis, Mann-Kendall mutation test, non-uniformity coefficient and amplitude of variation, etc. The results indicate that: (1) the distribution of inter-annual flood season's runoff into Dongting Lake from the Four Rivers was quite uneven, while the flood season's runoff into Dongting Lake presented a trend of decreasing in general. (2) For Xiangtan station and Taojiang station, the first main cycle was 6 years; for Taoyuan station and Shimen station, the first main cycle was 4 years. (3) At Taojiang station and Taoyuan station, mutations occurred in 2003 and 2004, respectively. For Xiangtan station and Shimen station, there had been no mutation. (4) During the flood season, the distribution of runoff into Dongting Lake from the Four Rivers was quite uneven, however, the runoff distribution tended to be even over time. The monthly runoff showed a decreasing trend with fluctuation. As a whole, the indicators from the four stations presented a decreasing trend. (5) The grey correlation degree of the runoff distribution characteristics index value of Four River into Dongting Lake during the flood season and river

基金项目:教育部 2012 年高等学校博士学科点专项科研基金(20124306110009);湖南省重点学科建设项目(2011-001);湖南省自然科学基金重点项目(12JJ2026)

作者简介:刘培亮(1989—),男,硕士研究生,研究方向为水资源与水环境,水旱灾害。E-mail: lpl198938@163.com

通信作者:毛德华,教授。E-mail: mdh408122@sohu.com

basin's flood and drought disasters was extremely high, reflecting the situation of the basin's flood and drought disasters.

Key words: runoff in flood season; flood and drought disasters; wavelet analysis; Mann-Kendall; grey correlation degree analysis; Four Rivers in Hunan Province

河川径流量的变化规律是近几十年水文水资源研究的热点^[1],也是河流水文过程和区域水资源可持续利用研究的关键问题^[2]。在气候变化以及人类活动的驱动下,河川径流量会发生年内和年际分配的变化,这种变化必然给水资源管理利用、农业以及生态系统带来一系列的影响^[3-4]。特别是近几十年来,全球气温不断升高,中国各种极端气候频繁出现,发生强降水、洪涝和干旱事件的频率增加^[5],由此带来的河川径流量的变化,对经济和社会的可持续发展产生了严重影响。

湖南四水(湘江、资水、沅江、澧水)作为湖南省主要河流和长江重要支流,其流域覆盖湖南省大部分地区,径流量占洞庭湖入湖径流量的 54.6%。近几十年来,由于自然因素和人类活动的影响,湖南省水旱灾害发生的频率呈加剧趋势^[6],因此研究四水流域径流量的变化规律对整个湖南省和洞庭湖流域的区域经济和社会的可持续发展有着重要意义。国内学者也纷纷对湖南四水流域或洞庭湖出入径流的规律做了大量的探讨^[7-10],但他们大多是对湖南四水流域或洞庭湖出入径流的年内分配或年际变化规律进行分析,专门针对汛期径流量变化规律方面的研究很少。笔者认为南方河川径流量汛期变化特征能够很好地反映流域内的水旱灾害情况。

湖南省受季风环流和地形因素的影响,年降水集中在 4—9 月(即汛期),降水量约占全年降水总量的 69%,并且以局地性或全省性暴雨形式出现,促使山岭地区发生山洪灾害,并在洞庭湖平原区汇集成巨大的灾害性洪水^[11]。湖南省农业地域类型属于水稻种植业类型,7—9 月正值农作物需水高峰期,平均气温均在 35℃ 以上,而降水量一般只占全年降水量的 20%,极易产生夏秋连旱的现象。特别是 20 世纪 80 年代以来,年年水旱灾害交替演进的趋势日趋明显^[12]。根据相关研究成果^[13-15],20 世纪 90 年代,长江流域来水整体偏丰,进入 21 世纪以来,长江流域来水整体偏枯,而近十多年的来水可能是水文系列“丰枯交替”中的枯水系列,因此,本研究以影响流域水旱灾害的汛期径流量为研究对象,采用长江流域河流近期一次“丰枯交替”的时间序列,这对湖南省水资源的开发和管理、经济和社会的可持续发展以及水旱灾害的防治有重要的意义。

利用湖南四水主要水文控制站湘潭站(湘江)、

桃江站(资水)、桃源站(沅江)和石门站(澧水)4 个水文站 1990—2013 年 24 a 汛期(4—9 月)月径流量实测资料,应用 5 年滑动平均法、小波分析法和 Mann-Kendall 非参数趋势检验法,分析四水汛期径流量的年际变化规律,同时采用分配不均匀系数和变化幅度等指标分析四水汛期径流量的年内变化规律,并对这些指标与湖南省水旱灾害状况进行了灰色关联度分析,以期认识湖南四水入湖汛期径流量变化规律,为流域水资源开发利用和水旱灾害的防治提供依据。

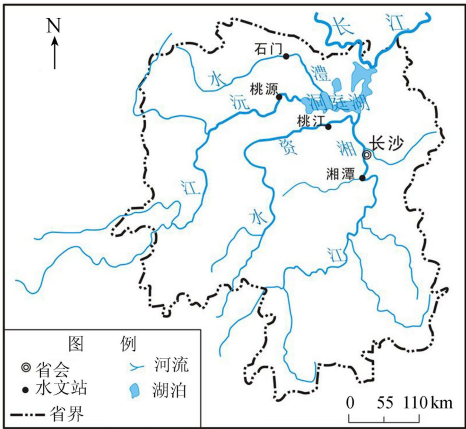


图 1 湖南四水代表性控制站位置

1 数据来源和研究方法

1.1 数据来源

本研究以湘潭水文站、桃江水文站、桃源水文站、石门水文站 1990—2013 年的实测数据作为湖南四水入洞庭湖汛期径流量变化规律分析的基础(图 1),其中长时间序列汛期径流量数据和月径流量数据均来源于湖南省水文水资源勘测局,湖南省水旱灾害情况来源于各年《湖南统计年鉴》。

1.2 研究方法

1.2.1 径流年际变化规律研究方法

a. 滑动平均法。当时间序列的数值由于受周期变动和随机波动的影响,起伏较大,不易显示出事件的发展趋势时,使用滑动平均法可以消除这些因素的影响,显示出事件的发展方向与趋势(即趋势线)。具体计算方法参照文献[16]。

b. 小波分析。小波分析是一种时频窗均可改变、表征信号特征能力的时频局域化分析方法,借助小波变换的时频局部化优势可在多时间尺度下寻找

周期,具体介绍和方法计算参考文献[17-18]。

c. Mann-Kendall (M-K) 非参数趋势检验法。M-K 非参数趋势检验法很少受异常值干扰,也不受数据分布特征的影响,只要满足时间序列随机独立即可,因此被广泛应用于水文和气象时间序列的变化趋势分析,具体计算参考文献[19-20]。

1.2.2 年内分配变化规律研究方法

a. 不均匀性。采用不均匀系数(C_v)和完全调节系数(C_r)来衡量四水汛期内各月径流量分配变化规律。具体计算方法参考文献[21],但文献[21]中分析的是全年径流量年内变化特征,采用12个月份的资料,而笔者分析汛期径流量,采用4—9月共计6个月的资料,因此对公式进行了修改。

径流量汛期内分配不均匀系数(C_v)计算公式为

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{R}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{6} \sum_{t=1}^6 (R_t - \bar{R})^2}}{\left(\frac{1}{6} \sum_{t=1}^6 R_t\right)} \quad (1)$$

径流量汛期内分配完全调节系数(C_r)计算公式为

$$C_r = \frac{\sum_{t=1}^6 \psi(t) [R_t - \bar{R}]}{\sum_{t=1}^6 R_t}$$
$$\psi(t) = \begin{cases} 0 & R_t < \bar{R} \\ 1 & R_t \geq \bar{R} \end{cases} \quad (2)$$

式中: t 为时间尺度($t=1,2,\cdots,6$); R_t 为汛期内各月径流量, m^3 ; $\bar{R}$ 为汛期内月平均径流量, m^3 。

从公式中可以看出, C_v 和 C_r 值越大,汛期内各月径流量相差越悬殊,汛期内径流量分配越不均匀。

b. 变化幅度。采用相对变化幅度和绝对变化幅度两个指标来衡量四水汛期径流量变化幅度,具体计算方法参考文献[22]。

1.2.3 径流量汛期内分配特征与水旱灾害关系的分析

灰色关联度分析法主要是用灰色系统模型对系统发展态势的相互关系进行分析,实质上是将无限空间问题利用有限数列取代,其基本思路是根据曲线间的相似程度来判断其关联程度,具体计算方法参考文献[23-24]。

2 结果分析和讨论

2.1 四水流域汛期径流量年际变化规律

2.1.1 年际趋势分析

为分析湖南四水入洞庭湖汛期径流量年际变化趋势,分别对流域代表站湘潭站、桃江站、桃源站、石门站的1990—2013年汛期径流量进行了线性趋势分析和5年的滑动平均处理(图2)。

从图2可以看出:线性趋势线和5年滑动平均曲线均明显显示出4站(湘潭站、桃江站、桃源站、石门站)汛期径流量呈现下降的趋势,说明湖南四水入洞庭湖汛期径流量逐渐减少。这主要受近些年四水流域兴建的大量水利工程和流域水土保持工程等对汛期径流量的调节所致^[7]。从趋势线方程看出,桃源站递减速率最快($7.0061 \text{ 亿 m}^3/\text{a}$),湘潭站

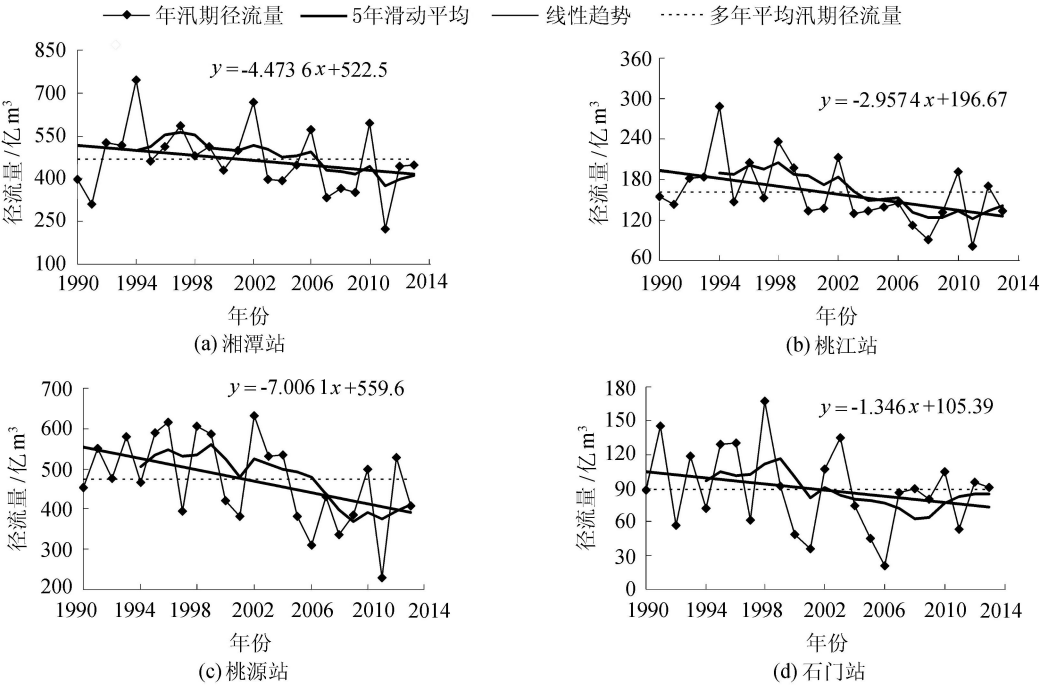


图2 四水流域汛期径流量变化趋势

次之(4.473 6 亿 m^3/a),桃江站紧随其后(2.957 4 亿 m^3/a),石门站最慢(1.346 0 亿 m^3/a)。湘潭站和桃江站汛期径流量随时间波动变化的趋势基本一致,桃源站和石门站变化趋势一致。前两站相对后两站的波动频率和幅度较小,滑动曲线多成“U”字型,后两站多成“V”字型。湘潭站和桃源站分别在2010年和2004年前后汛期径流量发生了较大幅度的变化;湘潭站在2010年前后几年汛期径流量均处于平均值之下,而在2010年迅速超过了平均值;桃源站在2004年之后汛期径流量基本处于平均值之下。这种变化特征主要是受湖南省地形地势的影响所致。湖南省东、西、南3面山岭相连,中部多为丘陵和盆地,起伏和缓;北部为平原,地势低平。从总体上看,全省恰似一个3面高、中部低、朝北部敞开的“马蹄形”盆地。湘江和资水多流经丘陵平原区,而沅江和澧水多流经山区,并且沅江和澧水流域位于夏季风的迎风坡,夏季降水的幅度变化大,导致了这种变化特征的形成。

4站最大汛期径流量分别出现在1994年、1994年、2002年和1998年,最小汛期径流量前3站均出现在2011年,石门站出现在2006年;前3站最大汛期径流量和最小汛期径流量之间均相差3~4倍,石门站甚至相差8倍,说明1990—2013年湖南四水入湖汛期径流量的年际变化幅度较大,其年际分配极不均匀。4站汛期径流量变化曲线基本位于多年平均径流量之上与之下的变化时间分别是2007年、2003年、2005年和2004年,说明在这个时间点之前四水流域处于丰水期,在这时间之后处于枯水期,而目前正处于枯水期。

2.1.2 小波周期分析

为了分析湖南四水入洞庭湖汛期径流量的周期变化,分别对流域代表站湘潭站、桃江站、桃源站、石门站的1990—2013年汛期径流量进行了小波周期分析(图3,图4)。

从图3和图4可以看出:4站汛期径流量在演化过程中存在多时间尺度特征。对湘潭站来说,在径流演化过程中存在着3 a、5~6 a、10~16 a和22~24 a的4类尺度的周期变化规律。其中,在5~6 a时间尺度上出现了5次明显的丰枯交替振荡,在2010年处有个明显的丰水周期;在10~16 a时间尺度上出现了2次振荡;22~24 a时间尺度上出现了1次振荡。同时可以看出,5~6 a和10~16 a的丰枯交替较为明显;10~16 a和22~25 a时间尺度的周期变化具有全局性。从图4(a)看出:湘潭站在周期上表现出4个很明显的峰值,依次对应着3 a、6 a、15 a和24 a的时间尺度。其中,最大峰值对应着6 a

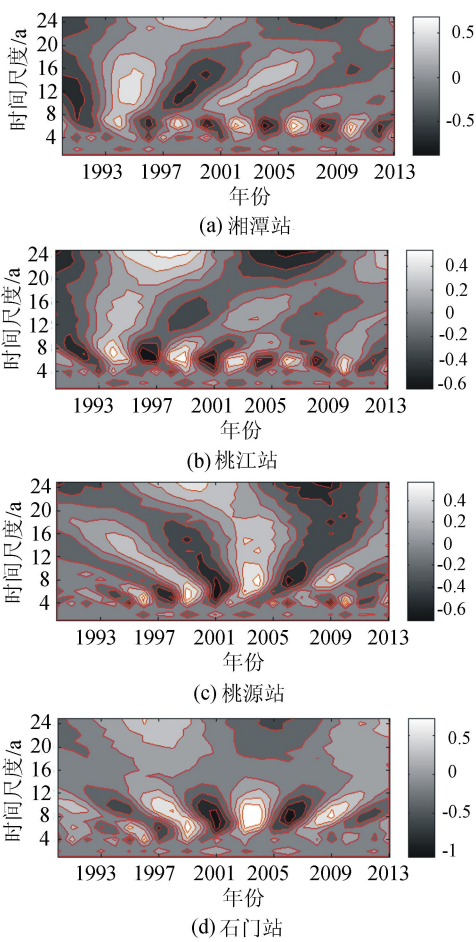


图3 4站小波系数等值线图

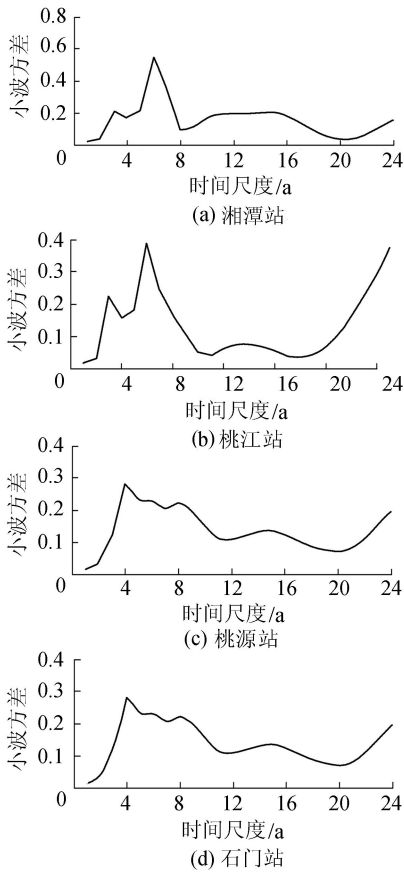


图4 4站小波方差图

的时间尺度,说明 6 a 左右的周期振荡最强,为湘江汛期径流变化的第一主周期。

对桃江站来说,在径流演化过程中存在着 2 ~ 3 a、6 ~ 8 a、12 ~ 16 a 和 20 ~ 24 a 的 4 类尺度的周期变化规律。其中,在 6 ~ 8 a 尺度上出现了丰枯交替的 6 次振荡,在 1999 年处出现了明显的丰水周期,前后也有很明显的枯水周期;在 12 ~ 16 a 时间尺度上出现了 2 次振荡;在 20 ~ 24 a 时间尺度上出现了 1 次振荡。6 ~ 8 a 和 22 ~ 24 a 的丰枯交替较为明显,12 ~ 16 a 和 20 ~ 24 a 时间尺度具有全局性。从图 4 (b) 看出:桃江站在周期上表现出 4 个很明显的峰值,依次对应着 3 a、6 a、14 a 和 24 a 的时间尺度,其中,最大峰值对应着 6 a 的时间尺度,说明 6 a 左右的周期振荡最强,为资水汛期径流变化的第一主周期。

对桃源站来说,在径流演化过程中存在着 4 ~ 16 a 和 22 ~ 24 a 的 2 类尺度的周期变化规律。其中,在 4 ~ 16 a 尺度上出现了丰枯交替的 5 次振荡,在 2004 年处出现了明显的丰水周期,前后也有很明显的枯水周期;在 22 ~ 24 a 时间尺度上出现了 1 次振荡。4 ~ 16 a 的丰枯交替较为明显,2 类时间尺度都具有全局性。从图 4(c) 看出:桃江站在周期上表现出 4 个很明显的峰值,依次对应着 4 a、8 a、15 a 和 24 a 的时间尺度,其中,最大峰值对应着 4 a 的时间尺度,说明 4 a 左右的周期振荡最强,为沅江汛期径流变化的第一主周期。

对石门站来说,在径流演化过程中存在着 4 ~ 7 a、7 ~ 12 a 和 20 ~ 24 a 的 3 类尺度的周期变化规律。其中,在 4 ~ 7 a 尺度上出现了丰枯交替的 2 次振荡;在 7 ~ 12 a 时间尺度上出现了 4 次振荡,在 2003 年处出现了明显的丰水周期,前后也有很明显的枯水周期;在 20 ~ 24 a 时间尺度上出现了 1 次振荡。7 ~ 12 a 的丰枯交替较为明显,20 ~ 24 a 时间尺度具有全局性。从图 4(d) 看出:石门站在周期上表现出 3 个很明显的峰值,依次对应着 4 a、9 a 和 24 a 的时间尺度,其中,最大峰值对应着 4 a 的时间尺度,说明 4 a 左右的周期振荡最强,为澧水汛期径流变化的第一主周期。

湖南四水这些变化周期主要是受集水流域降水的影响,出现 11 a 和 22 a 左右的周期变化主要是与本文选取的资料恰好是流域一个“丰—枯”周期有关,即与太阳黑子活动的准 11 a 和准 22 a 周期相吻合;出现 6 a 左右的周期则与 ENSO 事件的 5 ~ 7 a 的准周期相联系;出现 2 ~ 3 a 周期振荡与平流层大气环流的准 2 a 周期振荡(QBO)存在一致性关系^[25]。

2.1.3 突变点分析

为进一步分析湖南四水入洞庭湖汛期径流量年

际变化规律,分别对流域代表站湘江湘潭站、资水桃江站、沅江桃源站和澧水石门站汛期径流量进行了 Mann-Kendall 趋势检验和突变分析(图 5)。

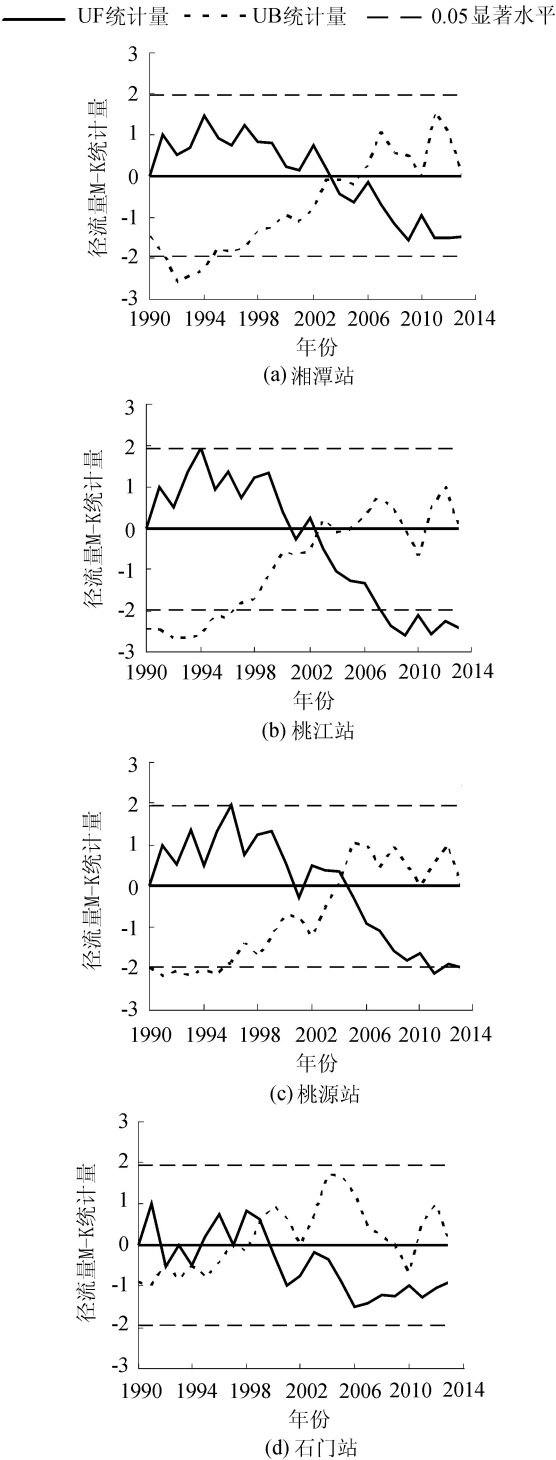


图 5 四水流域汛期径流量 M-K 检测统计值

根据 M-K 检验结果,湘潭站在 2003 年之前、桃江站在 2000 年之前、桃源站在 2004 年之前和石门站在 1995 ~ 1999 年之间的 UF 统计量为正值,即这些年份各站汛期径流量呈现上升趋势,但均在 95% 的置信区间内,所以增加的趋势不明显。4 站其他年份 UF 统计量为负值,表明这些年份呈现下降的变化趋势。只有桃江站在 2007—2013 年和桃源站

在 2011—2013 年突破了 95% 负值置信区间,该时间内汛期年径流量呈现显著下降趋势。其他两站 UF 统计量均处于 95% 置信区间内变化,说明该时间内汛期年径流量上升或下降的趋势不明显。湘潭站的 UF 和 UB 曲线在 2003 年发生了相交,但在其后几年内 UF 曲线均未突破 95% 置信区间,说明湘江入湖汛期径流量未发生突变。桃江站的 UF 和 UB 曲线在 2003 年发生了相交,UF 曲线随后在 2007 年突破了 95% 置信区间,说明资水入湖汛期径流量在 2003 年发生了突变。桃源站的 UF 和 UB 曲线在 2004 年发生了相交,UF 曲线随后在 2011 年突破了 95% 置信区间,说明沅江入湖汛期径流量在 2004 年发生了突变。石门站的 UF 和 UB 曲线先后发生了 4 次相交,但在其后几年内 UF 曲线均未突破 95% 置信区间,说明,澧水入湖汛期径流量在 1990—2013 年间没有发生过突变。

从 20 世纪 90 年代以来,四水流域水利水保工

程建设逐渐增多,人类活动对径流量的干扰的作用逐渐积累加强,加之气候变化,降水减少这另一主导因素的共同作用,资水在 2003 年发了突变,沅江在 2004 年发生了突变。湘江由于支流多(2 157 条),流域面积广(94 660 km²),并实行了 48 个梯级开发,所以入湖汛期径流量未发生突变。澧水由于流经山区和 20 余座大中型水库的调节,也未发生突变。

2.2 四水流域汛期径流量年内变化规律

2.2.1 汛期径流量月变化特征

湖南四水属于亚热带季风气候区河流,夏季降水多,冬季降水少,河流以降水补给为主。受降水条件、蒸发、流域自然地理特征和人类活动等的影响,四水流域入湖径流量在汛期内各月之间分配极不均匀^[7,11]。从湘潭站、桃江站、桃源站和石门站 4 站汛期内各月径流量变化曲线图(图 6)可以看出:

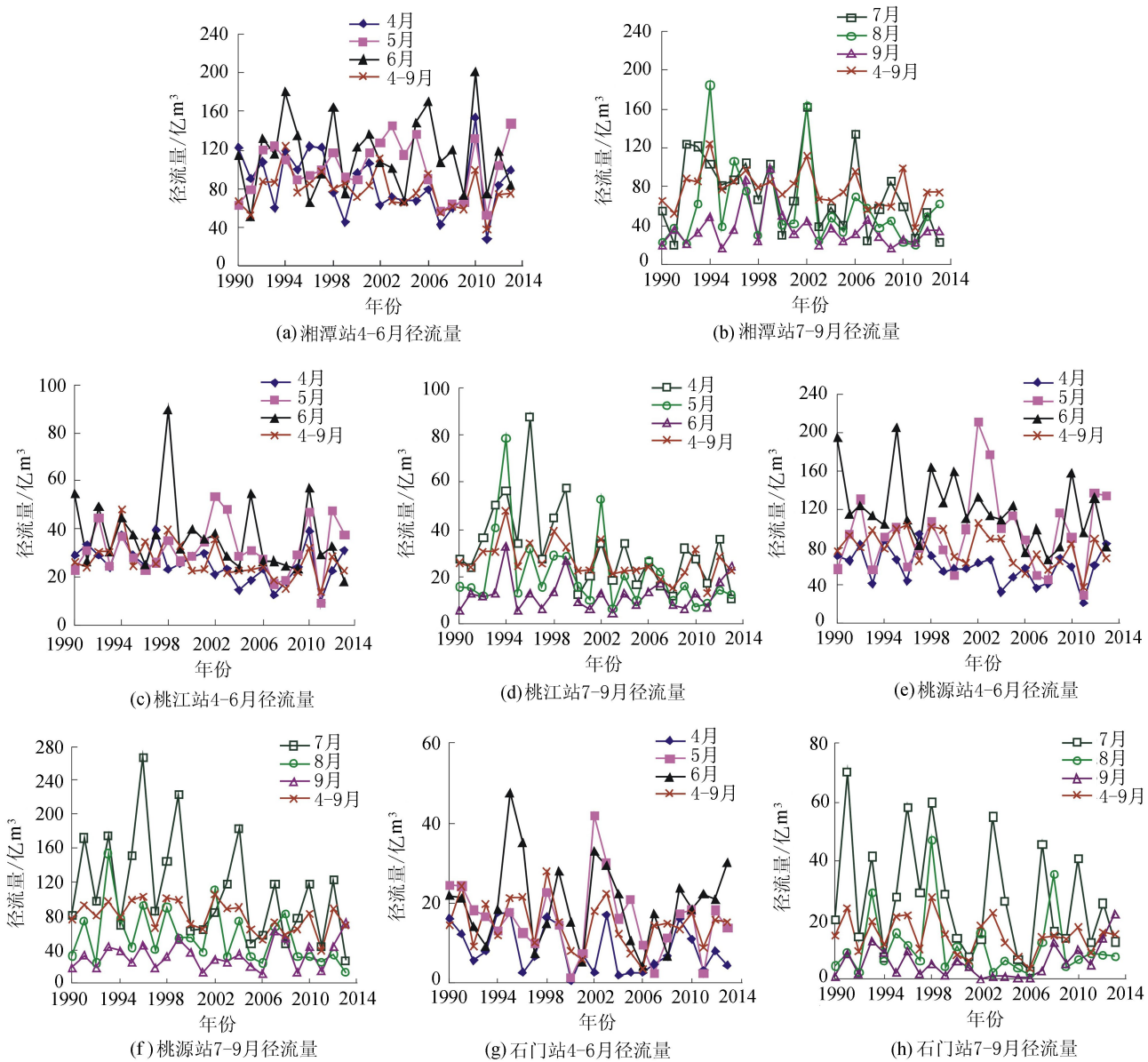


图 6 四水流域径流量汛期内各月变化趋势

总体上,4 站各月径流量呈现波动中递减的趋势,其中 7 月和 8 月递减的趋势比较明显。各月径流量的波动变化的幅度不一,其中 6 月、7 月、8 月波动幅度较大,特别是 7 月的最小径流量和最大径流量相差最悬殊,年际分配最不均匀;4 月径流量变化曲线与 4—9 月平均径流量曲线基本吻合,9 月径流量变化曲线基本位于 4—9 月平均径流量曲线之下,可见 4 月和 9 月波动幅度较小,年际分配最为均匀,5 月次之。24 年间,湘潭站月最大径流量出现在 2010 年的 6 月,桃江站最大径流量出现在 1998 年 6 月,桃源站最大径流量出现在 1996 年的 7 月,石门站最大径流量出现在 1991 年 7 月。

从表 1 统计情况可以看出,4 站 4—7 月径流量之和均占汛期径流量之和的 78% 以上,说明 4—7 月是湖南四水入洞庭湖的主汛期。其中湘潭站 4—5 月所占比重最大,但与 6—7 月的相差不大,为 39.96%,其他 3 站均为 6—7 月所占比重最大,分别达到 42.95%、48.47%、53.17%。从 4 站多年平均径流量来看,近 24 年湖南四水入洞庭湖年均汛期径流量的总量为 1 186.88 亿 m³,其中湘江占总量的 39.31%,资水为 13.46%,沅江为 39.77%,澧水为 7.46%。

表 1 四水流域多年平均汛期径流量分配

水文站	4—9 月		4—5 月		6—7 月		8—9 月	
	径流量/ 亿 m ³	百分比/%	径流量/ 亿 m ³	百分比/%	径流量/ 亿 m ³	百分比/%	径流量/ 亿 m ³	百分比/%
湘潭	466.58	39.96	186.48	39.96	186.38	39.95	93.72	20.09
桃江	159.70	35.67	56.97	35.67	68.59	42.95	34.14	21.38
桃源	472.03	32.83	154.97	32.83	228.78	48.47	88.28	18.70
石门	88.57	28.00	24.80	28.00	47.09	53.17	16.68	18.83

2.2.2 径流量的汛期内分配特点

为进一步分析 1990—2013 年湖南四水入洞庭湖的汛期径流量年内变化特征,对流域代表站湘潭站、桃江站、桃源站和石门站的不均匀系数、完全调节系数、相对变化幅度和绝对变化幅度等指标进行统计,见图 7 和表 2。

表 2 四水流域径流量汛期内分配特征多年平均指标值

水文站	不均匀系数	完全调节系数	相对变化幅度	绝对变化幅度/ 亿 m ³
湘潭	0.52	0.20	4.96	101.45
桃江	0.50	0.19	4.81	35.38
桃源	0.59	0.22	6.05	122.62
石门	0.77	0.29	17.74	31.19

从图 7 中不均匀系数和完全调节系数可以看出:4 站各自的不均匀系数和完全调节系数变化趋势基本相似,湘潭站、桃江站和桃源站之间的不均匀系数和完全调节系数变化规律也基本相似,石门站与其他 3 站相差很大。湘潭站、桃江站和桃源站的

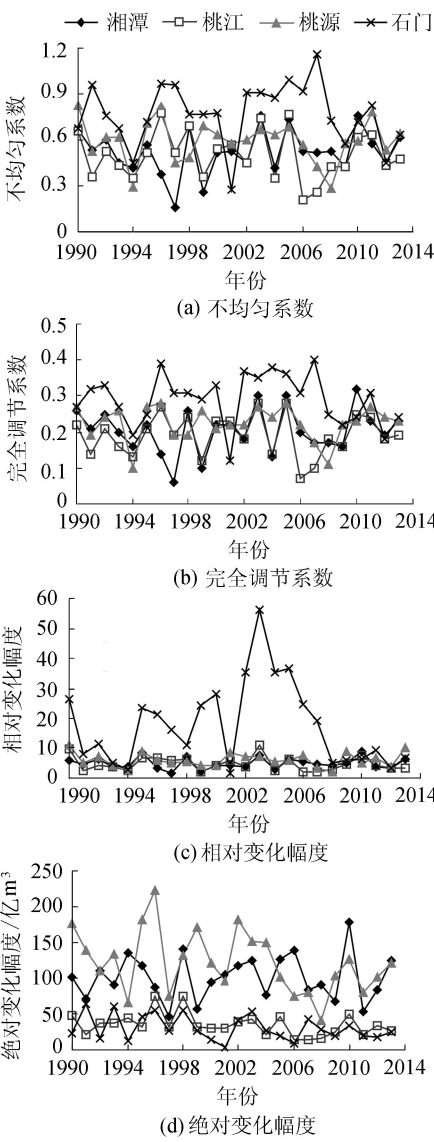


图 7 四水流域流量汛期内分配特征指标值

不均匀系数和完全调节系数在 1991—1994 年、1999—2002 年和 2006—2009 年数值相对较小,而石门站只是在 1994 年、2001 年和 2012 年数值较小,即这些年份径流量在汛期各月之间的分配较为均匀。从图 7 中相对变化幅度和绝对变化幅度可以看出:湘潭站、桃江站和桃源站相对变化幅度值大多在 3~10 之间变化,波动幅度较为平稳;石门站有些年份值很小,有些年份相当大,甚至超过了 50,波动幅度极大。由于四水各自入湖流量的巨大差异,4 站绝对变化幅度差别较大,但从波动趋势来看,湘潭站和桃江站较为相似,沅江和澧水较为相似。

对比图 7 中的各个指标可以看出:4 站各项指标波动变化幅度均较大,变化曲线均由多个“V”字组成,说明四水入洞庭湖径流量汛期内分配有些年份极不均匀;4 站各项指标总体呈现出下降的趋势,说明四水入洞庭湖径流量汛期内分配随时间增加逐渐向均匀化转变,这主要是由于随着社会经济的发展要

求,加强了对流域水资源的管理,以及水利工程的建设等,都使得流域径流汛期内分配趋向于均匀化。

从表 2 多年平均值和图 6 变化曲线来看,不均匀系数、完全调节系数和相对变化幅度,石门站数值最高,桃源站次之,湘潭站随后,桃江站最低,说明石门站的汛期内径流量分配最不均匀,湘潭站和桃江站的最较为均匀。受澧水地形和地势条件的影响,经常产生气旋雨和锋面雨,且降雨强度大,在时空分布上也不均匀,加上澧水河流较短,上中游河道坡度陡,洪水暴涨暴落,极易发生山洪,所以澧水汛期径流量的汛期内分配极不均匀。其他 3 条河流由于河流较长,流域范围较大,干流上多较大型水库和水电站,所以径流量汛期内分配比石门站较为均匀。

2.2.3 径流量汛期内分配特征与水旱灾害的关系分析

为分析湖南四水入湖汛期径流量变化特征与流域的水旱灾害的关系,采用湘潭站、桃江站、桃源站和石门站的不均匀系数、完全调节系数、相对变化幅度和绝对变化幅度等径流量汛期内分配指标值与湖南省受水灾和旱灾面积进行灰色关联度分析,分析结果见表 3。

从表 3 中可以看出流域的水灾、旱灾、水旱灾害之和状况与 4 站的各项分配特征指标的灰色关联度分别均高于 0.78、0.81、0.84,说明湖南四水入湖径流量汛期内分配特征指标值与流域水旱灾害的面积关联度极高,变化曲线相似,其中旱灾比水灾的关联度高,水旱灾害之和又比前两者高,这与南方地区经常发生的干旱为伏旱有一定的关系。4 站各项指标与水旱灾害的关联度之间的差别大都在 0~1.5,说明 4 者指标值的大小一定程度上均能反映流域的水旱灾害状况。

从图 7 中得到 1994 年和 2012 年是湖南四水入洞庭湖径流量汛期内分配较为均匀的年份(4 站 4 项分配指标值均较小),这两年湖南省受水旱灾害的面积较小,1994 年受水旱灾面积 153.393 万 hm²,2012 年受水旱灾面积 106.462 万 hm²。四水入洞庭湖径流量汛期内分配极不均匀的年份(4 站 4 项分配指标值均较大)为:1990 年、1996 年、1998 年、2003 年、2005 年、2010 年。经查各年《湖南统计年

鉴》,1996 年、1998 年和 2010 年湖南省出现了较大的洪涝灾害,1996 年受水灾面积 123.666 万 hm²,1998 年受水灾面积 213.41 万 hm²,2010 年受水灾面积 201.133 万 hm²;1990 年和 2003 年湖南省出现了较为严重的干旱灾害,1990 年受旱灾面积 148.533 万 hm²,2003 年受旱灾面积 189.508 万 hm²;2005 年《湖南统计年鉴》只有水灾受灾面积数据,为 59.413 万 hm²,无旱灾受灾面积数据,但是 4 站 7—9 月的径流量均不足正常年份的 1/2,说明湖南省发生了严重的旱情。因此,湖南四水入洞庭湖径流量汛期内分配特征能较好地反映当年湖南省水旱灾害情况,如若反映径流量汛期内分配不均匀性的 4 项指标出现异常偏大值情况,说明当年发生水旱灾害的可能性大。由于缺少湖南省具体的 4—9 月水旱灾害情况资料,此结论有待进一步研究。

3 结 论

a. 1990—2013 年湖南四水入洞庭湖汛期径流量年际分配极不均匀,4 站汛期径流量变化曲线呈现下降的趋势,湖南四水入湖汛期径流量逐渐减少。湘潭站和桃江站汛期径流量的随时间的波动变化趋势基本一致,而桃源站和石门站的变化趋势一致。

b. 小波周期分析显示 4 站汛期径流量在演化过程中存在多时间尺度特征。湘潭站的变化周期为 3 a、5~6 a、10~16 a 和 22~24 a,第一主周期为 6 a;桃江站的变化周期为 2~3 a、6~8 a、12~16 a 和 20~24 a,第一主周期为 6 a;桃源站的变化周期为 4~16 a 和 22~24 a,第一主周期为 4 a;石门站的变化周期为 4~7 a、7~12 a 和 20~24 a,第一主周期为 4 a。

c. 桃江站在 2007—2013 年和桃源站在 2011—2013 年年突破了 95% 负值置信区间,该时间内汛期年径流量呈现显著下降趋势。其他两站 UF 统计量均处于 95% 置信区间内变化,该时间内汛期年径流量上升或下降的趋势不明显。桃江站和桃源站分别于 2003 年和 2004 年发生了突变。湘潭站和石门站没有发生过突变。

d. 1990—2013 年湖南四水入湖径流量汛期内分布极不均匀。4—7 月是湖南四水入洞庭湖的主汛期;总体上,4 站各月径流量呈现波动中逐年递减

表 3 灰色关联度统计结果

项目	关 联 度															
	不均匀系数				完全调节系数				相对变化幅度				绝对变化幅度			
	湘潭	桃江	桃源	石门	湘潭	桃江	桃源	石门	湘潭	桃江	桃源	石门	湘潭	桃江	桃源	石门
水灾	0.8137	0.8143	0.8128	0.8419	0.8120	0.8210	0.8271	0.8456	0.8216	0.7852	0.7893	0.7608	0.8320	0.8177	0.8124	0.8434
旱灾	0.9033	0.8964	0.9052	0.8539	0.8996	0.8869	0.8927	0.8617	0.8980	0.9190	0.9183	0.8611	0.8737	0.8815	0.8931	0.8161
水旱之和	0.9291	0.9203	0.9181	0.8942	0.9212	0.9205	0.9158	0.9007	0.9234	0.9010	0.9100	0.8420	0.9060	0.9136	0.9086	0.8484

的趋势。24 a 湖南四水入洞庭湖年平均汛期径流总量为 1186.88 亿 m^3 , 其中湘江占总量的 39.31%, 资水为 13.46%, 沅江为 39.77%, 澧水为 7.46%。

e. 4 站各自的不均匀系数和完全调节系数变化趋势基本相似, 湘潭站、桃江站和桃源站在 1991—1994 年、1999—2002 年和 2006—2009 年的径流量汛期分配较为均匀, 而石门站只是在 1994 年、2001 年和 2012 年的分配较为均匀。湘潭站、桃江站和桃源站相对变化幅度值大都在 3~10 之间变化, 波动幅度较为平稳; 石门站有时超过 50, 波动幅度极大; 石门站汛期内分配最不均匀。4 站各项指标总体呈现下降的趋势, 说明四水入洞庭湖径流量汛期内分配随时间增加逐渐向均匀化转变。

f. 湖南四水入湖径流量汛期内分配特征指标与湖南省水旱灾害的灰色关联度极高。汛期内分配特征指标能较好反映当年流域汛期水旱灾害情况, 如若四水入湖径流量汛期内分配不均匀性的 4 项指标出现异常偏大, 则当年发生水旱灾害的可能性较大。

参考文献:

[1] 王浩, 严登华, 贾仰文, 等. 现代水文水资源学科体系及研究前沿和热点问题[J]. 水科学进展, 2010, 21 (4): 479-489. (WANG Hao, YAN Denghua, JIA Yangwen, et al. Subject system of modern hydrology and water resources and research frontiers and hot issues [J]. Advances in Water Science, 2010, 21 (4): 479-489. (in Chinese))

[2] 胡四一. 现代水文学及水资源的学科前沿和研究需求[J]. 水文, 2006, 26 (3): 1-4. (HU Siyi. The academic foreland and research demand of hydrology and water resources [J]. Journal of China Hydrology, 2006, 26 (3): 1-4. (in Chinese))

[3] 鄢波, 夏自强, 周艳先, 等. 黑龙江哈巴罗夫斯克站径流变化规律[J]. 水资源保护, 2013, 29 (3): 29-33. ((YAN Bo, XIA Ziqiang, ZHOU Yanxian, et al. Variation of runoff at Khabarovsk Station on Heilongjiang River [J]. Water Resources Protection, 2011, 27 (4): 48-54. (in Chinese))

[4] 王浩, 贾仰文, 王建华, 等. 人类活动影响下的黄河流域水资源演化规律初探[J]. 自然资源学报, 2005, 20 (2): 157-162. (WANG Hao, JIA Yangwen, WANG Jianhua, et al. Evolutionary laws of Yellow River Basin's water resources under the impact of human activities [J]. Journal of Natural Resources, 2005, 20 (2): 157-162. (in Chinese))

[5] 任国玉, 姜彤, 李维京, 等. 气候变化对中国水资源情势影响综合分析[J]. 水科学进展, 2008, 19 (6): 772-779. (REN Guiyu, JIANG Tong, LI Weijing, et al. An integrated assessment of climate change impacts on China's water resources [J]. Advances in Water Science,

2008, 19 (6): 772-779. (in Chinese))

[6] 谢炼, 朱毅. 湖南水旱灾害频繁成因浅析[J]. 湖南水利水电, 2005 (5): 11-12. (XIE Lian, ZHU Yi. Frequent flood and drought disasters' cause analyses of Hunan Province [J]. Water Resources & Hydropower of Hunan Province, 2005 (5): 11-12. (in Chinese))

[7] 覃红燕, 谢永宏, 邹冬生. 湖南四水入洞庭湖水沙演变及成因分析[J]. 地理科学, 2012, 32 (5): 609-615. (QIN Hongyan, XIE Yonghong, ZOU Dongsheng. Changes of runoff and sediment discharge into Dongting Lake from the four rivers in Hunan Province [J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32 (5): 609-615. (in Chinese))

[8] 李晖, 尹辉, 白旸, 等. 近 60 年洞庭湖区水沙演变特征及趋势预测[J]. 水土保持研究, 2013, 20 (3): 139-142. (LI Hui, YIN Hui, BAI Yang, et al. Research on evolution characteristics and tendency prediction of runoff and sediment in recent 60 years in Dongting Lake [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2013, 20 (3): 139-142. (in Chinese))

[9] 毛北平, 梅军亚, 张金辉, 等. 洞庭湖三口洪道水沙输移变化分析[J]. 人民长江, 2010, 41 (2): 38-46. (MAO Beiping, MEI Junya, ZHANG Jinhui, et al. Analysis of water and sediments transportation of three river-outlets flood channels from Yangtze River to Dongting Lake [J]. Yangtze River, 2010, 41 (2): 38-46. (in Chinese))

[10] 胡光伟, 毛德华, 张旺, 等. 60 年来湘江干流径流泥沙过程变化及驱动力分析[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2014, 37 (2): 12-37. (HU Guangwei, MAO Dehua, ZHANG Wang, et al. Analysis on variation characteristics and driving forces of annual runoff and sediment in the Xiangjiang River over the past 60 years [J]. Journal of Natural Science of Hunan Normal University, 2014, 37 (2): 12-37. (in Chinese))

[11] 毛德华, 李景保, 龚重惠, 等. 湖南省洪涝灾害研究[M]. 长沙: 湖南师范大学出版社, 2000: 96-133.

[12] 李景保, 王克林, 朱宁, 等. 湖南省水旱灾害与暴雨径流资源的调控[J]. 自然资源学报, 2004, 19 (6): 716-724. (LI Jingbao, WANG Kelin, ZHU Ning, et al. Flood & drought disaster and regulation of storm-runoff resources in Hunan Province [J]. Journal of Natural Resources, 2004, 19 (6): 716-724. (in Chinese))

[13] 戴仕宝, 杨世伦. 近 50 年来长江水资源特征变化分析[J]. 自然资源学报, 2006, 21 (4): 501-506. (DAI Shibao, YANG Shilun. Variations in water resources of the Yangtze River over the last five decades [J]. Journal of Natural Resources, 2006, 21 (4): 501-506. (in Chinese))

[14] 张建业, 章四龙, 王金星, 等. 近 50 年来中国六大流域年际径流变化趋势研究[J]. 水科学进展, 2007, 18 (2): 230-234. (ZHANG Jianyun, ZHANG Silong, WANG Jinxing, et al. Study on runoff trends of the six larger basins in China over the past 50 years [J]. Advances in Water Science, 2007, 18 (2): 230-234. (in Chinese))

[15] 胡光伟,毛德华,李正最,等. 三峡工程建设对洞庭湖的影响研究综述[J]. 自然灾害学报,2013,22(5): 44-52. (HU Guangwei, MAO Dehua, LI Zhengzui, et al. Research overview on the influence of the Three Gorges Project construction on Dongting Lake [J]. Journal of Natural Disasters,2013,22(5): 44-52. (in Chinese))

[16] 赫振平,赵春. 桑干河流域径流年际变化规律[J]. 水资源保护, 2011, 27(3): 54-57. (HE Zhenping, ZHAO Chun. Study on interannual variation of runoff in Sanggan River Basin [J]. Water Resources Protection, 2011, 27(3):54-57. (in Chinese))

[17] 刘宇峰,孙虎,原志华. 基于小波分析的汾河河津站径流与输沙的多时间尺度特征[J]. 地理科学,2012,32(6): 764-770. (LIU Yufeng, SUN Hu, YUAN Zhihua. Multitime scale features of runoff and sediment discharge on wavelet analysis at Hejin Station of Fenhe River Basin [J]. Scientia Geographica Sinica,2012,32(6): 764-770. (in Chinese))

[18] 刘二佳,张晓萍,张建军,等. 1956—2005 年窟野河径流变化及人类活动对径流的影响分析[J]. 自然资源学报, 2013, 28(7): 1159-1168. (LIU Erjia, ZHANG Xiaoping, ZHANG Jianjun, et al. Variation of annual streamflow and the effect of human activity in the Kuye River during 1956 to 2005 [J]. Journal of Natural Resources,2013,28(7): 1159-1168. (in Chinese))

[19] 叶许春,张奇,刘健,等. 鄱阳湖流域天然径流变化特征与水旱灾害[J]. 自然灾害学报,2012,21(1): 140-147. (YE Xuchun, ZHANG Qi, LIU Jian, et al. Natural runoff change characteristics and flood/drought disasters in Poyang Lake catchment basin[J]. Journal of Natural Disasters,2012,21(1): 140-147. (in Chinese))

[20] 马聪,鲁春霞,李亦秋,等. 安康水库下游径流演变及水库运行对径流影响分析[J]. 长江流域资源与环境, 2013,22(11): 1433-1440. (MA Cong, LU Chunxia, LI Yiqiu, et al. Runoff change in the lower reaches of Ankang Reservoir and the influence of Ankang Reservoir on its downstream [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2013,22(11):1433-1440. (in Chinese))

[21] 郭巧玲,杨云松,畅祥生,等. 1957—2008 年黑河流域径流年内分配变化[J]. 地理科学,2011,30(5): 550-556. (GUO Qiaoling, YANG Yunsong, CHANG Xiangsheng, et al. Annual variation of Heihe River runoff during 1957—2008 [J]. Progress in Geography, 2011, 30(5): 550-556. (in Chinese))

[22] 陆志华,夏自强,于岚岚,等. 松花江干流中游段径流年内分配变化规律[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2012, 40(1): 63-69. (LU Zhihua, XIA Ziqiang, YU Lanlan et al. Changes of annual runoff distribution in middle reaches of Songhua River [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2012, 40(1): 63-69. (in Chinese))

[23] 李雯,赵宝峰,王杰,等. 基于灰色关联度法的泾河径流量变化因素分析[J]. 水资源与水工程学报,2009,20(2):92-94. (LI Wen, ZHAO Baofeng, WANG Jie, et al. Analysis on the change factors of runoff in Jinghe River based on grey correlation degree [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2009, 20(2): 92-94. (in Chinese))

[24] 朱金峰,梁忠民,汤晓芳. 湖南省农村水资源保护现状评价与趋势预测[J]. 南水北调与水利科技,2013,11(3): 6-11. (ZHU Jinfeng, LIANG Zhongming, TANG Xiaofang. Evaluation of current status and trend prediction of rural water resources protection in Hunan Province[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(3): 6-11. (in Chinese))

[25] 张剑明,章新平,黎祖贤,等. 湖南省 46 年来降水的气候特征[J]. 热带气象学报, 2008, 24(5): 512-518. (ZHANG Jianming, ZHANG Xinping, LI Zuxian, et al. Climatological features of annual precipitation in Hunan Province during 46 years [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2008, 24(5): 512-518. (in Chinese))

(收稿日期:2014-11-27 编辑:彭桃英)

• 简讯 •

第五届全国水工抗震防灾学术交流会将在湖北宜昌召开

2015 年 11 月 6-8 日,第五届全国水工抗震防灾学术会议将在湖北省宜昌市举行。会议主办单位:中国水力发电工程学会抗震防灾专业委员会;会议承办单位:三峡大学,水资源高效利用与工程安全国家工程研究中心,湖北省水力发电工程学会;会议协办单位:河海大学,清华大学,武汉大学等。

我国是一个多地震国家,目前全国已建或在建的高于百米的大坝数量已经一百多座,一批在建和拟建的 200~300 m 级战略性水电工程,规模巨大、地震烈度高,抗震防灾成为工程建设中的关键。总结水电工程抗震的关键技术和经验教训具有重要意义。本次水工抗震防灾学术会议将就水工建筑物抗震设计、分析理论,地震震后水工建筑物震损调查、震害分析、灾害评估及修复加固,水工结构现场检测与监测、健康诊断与鉴定,水库引发地震、地震预测和预警,水电工程抗震措施、抗震安全评价体系,水工结构工程振动、爆炸与冲击等关键科学技术问题,进行广泛的交流探讨。

(本刊编辑部供稿)