

60年来洞庭湖区进出湖径流特征分析

胡光伟^{1,3}, 毛德华¹, 李正最², 田朝晖³, 冯 畅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; 3. 湖南省国土资源规划院, 湖南 长沙 410007)

摘要: 采用集中度与集中期、M-K趋势检验法、变差系数法等方法对洞庭湖入湖径流河流(荆江三口、湖南四水)和出湖径流(城陵矶)年径流量序列进行分析。结果显示:① 洞庭湖区径流集中期为每年6~7月份,最大径流出现时间为6月底7月初;径流集中期合成向量方向介于103.2~190.2°之间,均能够反映各河流进出湖径流量最大值出现的月份。② 径流变差系数介于0.194~0.761之间,说明径流年际变率大。各河流径流极值比均在0.6以上,径流量衰减较为明显。③ 从径流的丰枯交替规律来看,湖南四水水量分配相对较为平均。荆江三口以藕池口丰水年和枯水年概率最大,分别占到32.79%和57.38%,径流年际变化较为剧烈,不利于水资源的合理利用。

关键词: 径流特征; 旱涝灾害; 集中度与集中期; M-K趋势检验; 洞庭湖区

中图分类号: K903 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2014)01-0089-08

1 研究区域概况

洞庭湖坐落于湖南省东北部,长江干流荆江南岸,跨湘鄂两省,长江中游与洞庭湖的关系密切。洞庭湖水体面积2 625 km²,是中国第二大淡水湖泊,在长江中游调蓄洪水占有重要地位。洞庭湖北有松滋口、太平口、藕池口和调弦口(1958年冬封堵)分泄长江来水来沙,南有湘、资、沅、澧四水入汇,周边有汨罗江、新墙河等中小河流直接入湖,经洞庭湖调蓄后由城陵矶注入长江,形成复杂的江湖关系(图1)。

洞庭湖区降水季节分布不均,汛期4~9月降水量约占全年的65%以上,且暴雨过程多,导致流域性水灾。径流年际变化大,旱涝灾害发生几率高,特别是在大水年也会出现干旱等极端天气,旱涝灾害是洞庭湖区最为严重的灾害之一,据统计,因水灾每年造成农业直接经济损失达18.58×10⁸元^[1]。1954、1996和1998年的大洪水是洞庭湖流域60 a来最为严重的洪水事件^[2,3];1960、1963和1968年湖区发生大旱,1970~2005年共发生特大干旱事件有

5 a,1998和2002年为极涝年,1969、1973、1980、1993、1995和1999年为大涝年^[4,5]。进入21世纪,湖区的干旱程度越来越严重,2003、2006和2011年洞庭湖均为持续干旱年,洞庭湖严重缺水威胁湖区居民的用水安全和工农业生产供水安全,引起学者们高度关注。针对洞庭湖流域水沙已经有很多研究,主要集中在对洞庭湖水文输沙过程响应,降水、蒸发、气候等方面的分析,还有建立水动力学模型模拟水沙演变,本文利用洞庭湖入湖荆江三口(松滋口、太平口、藕池口)和湖南四水(湘潭站、桃江站、桃源站、石门站)以及出湖城陵矶(七里山站)等主要水文控制站径流长时间序列数据对径流特征进行分析,讨论了径流变化与流域旱涝灾害的关系。

2 研究数据

文章以荆江三口松滋口(新江口、沙道观)、太平口(弥陀寺)和藕池口(康家岗、管家铺)5个水文站、湖南湘、资、沅、澧四水(湘潭、桃江、桃源、石门)4个水文站和洞庭湖出湖城陵矶(七里山)

收稿日期: 2013-04-08; **修订日期:** 2013-06-10

基金项目: 2012年湖南省研究生科研创新项目(CX2012B210)、2012年度高等学校博士学科点专项科研基金项目(20124306110009)、湖南省重点学科建设项目(2011001)资助。

作者简介: 胡光伟(1983-),男,河南固始人,博士研究生,主要从事湖泊水资源与水环境、水旱灾害、水土资源利用等研究。E-mail: huguangwei5188@163.com

通讯作者: 毛德华,教授。E-mail: mdh408122@sohu.com

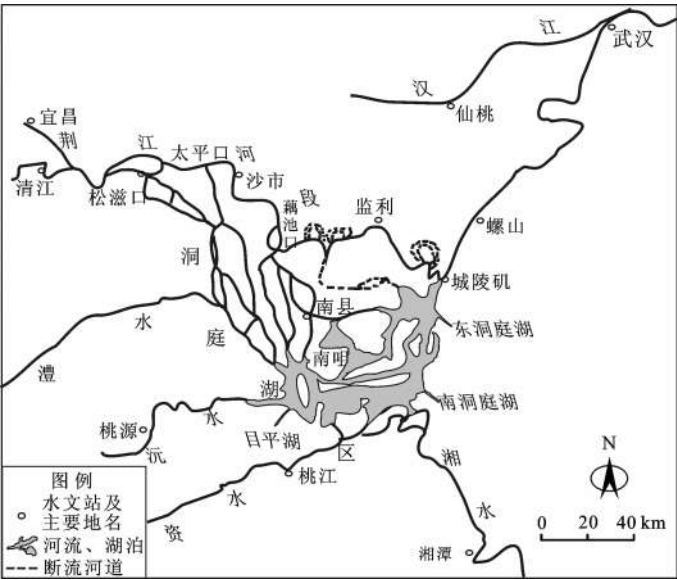


图1 研究区域
Fig.1 Location of the study area

1951~2011 年的实测数据作为洞庭湖进出湖径流特征分析的基础数据,其中年内分析所用数据为逐月数据。长时间序列径流数据和月径流数据均来源于湖南省水文水资源勘测局和《长江泥沙公报 2000~2011》。

3 洞庭湖区进出湖径流特征

3.1 径流年内变化特征

集中度与集中期分析法是最早应用于气象领域内分析气象因素在年内分配的一种向量方法,1982年汤奇成^[6]等人把集中度与集中期分析法引入到河流月径流年内分配规律中来,并成功分析中国河川径流年内分配规律,之后被应用到不同的流域中^[7-10]。集中

度反映了径流年内的非均匀分布特征,集中期则反映了全年径流量集中出现的时期(月份),具体计算方法参照文献[11],计算结果见表1。

由表1可知,洞庭湖流域进出湖径流年内分配具有较为明显的不均匀性,荆江三口洪道径流年内分配不均匀性更显著,三口径流集中度在 66.9%~85.2%之间,其中安乡河(康家岗)最大,松滋河西支(新江口)最小。湖南四水径流集中度介于 32.2%~43.7%之间,城陵矶出湖径流集中度相对较小为 37.8%。径流集中期荆江三口为 7 月,四水集中期为 5~7 月,城陵矶径流集中期为 7 月。径流集中期合成向量方向介于 103.2~190.2°之间,均能够反映各河流进出湖径流量最大值出现的月份,与

表1 洞庭湖进出湖径流年内分配特征统计值
Table 1 Statistic characteristics of annual runoff in and out Dongting Lake

水文站	时段(年)	集中度(%)	合成向量方向(°)	所在月份	相对变化幅度(10 ⁸ m ³)	绝对变化幅度(10 ⁸ m ³)
新江口	1955~2011	66.9	175.4	7月	166.8	70.0
沙道观	1955~2011	75.1	181.1	7月	639.9	28.6
弥陀寺	1955~2011	69.3	179.6	7月	362.0	36.9
康家岗	1955~2011	85.2	190.2	7月	/	7.3
管家铺	1955~2011	75.3	178.9	7月	2626.3	80.4
湘潭	1956~2011	38.2	106.5	5月	5.0	91.1
桃江	1956~2011	32.2	103.2	5月	3.8	25.8
桃源	1956~2011	41.0	145.3	6月	6.1	94.8
石门	1956~2011	43.7	180.4	7月	8.9	24.5
城陵矶	1951~2011	37.8	170.1	7月	6.7	402.5

“/”为断流情况,径流量为0。

实际径流年内分配统计数据相一致。从径流年内变化幅度看,相对变化幅度以藕池河最大,资水最小,各河流径流相对变化幅度相差较大。绝对变化幅度以城陵矶出湖 $402.5 \times 10^8 \text{m}^3$ 为最大,安乡河 $7.3 \times 10^8 \text{m}^3$ 最小,四水中湘江和沅江的绝对变化幅度较为一致,资水和澧水的绝对变化幅度较为一致,这与四水各河流的集水面积与流域控制面积大小有着密切关系,河流流域控制面积大则变化幅度也相应较大。

总体上看(图2),湖南四水流域各河流径流年内变化具有很好的一致性,4~5月四水开始进入多雨期,径流量迅速增加,汛期径流量峰值出现在5月底6月初,在形态上表现出较为对称的单峰形态。荆江三口各洪道径流年内变化表现出较为一致,5~6月逐渐进入汛期,7月经流量达到最大峰值,其中,松滋河西支和藕池河汛期峰值较大。城陵矶出湖受荆江三口和四水汛期峰值的交替影响,出湖汛期相对较长,在4~5月逐渐进入汛期,峰值出现在6月底7月初,峰值出现的时间介于三口和四水峰值出现时间之间,8月底径流量减少,随后进入枯季。

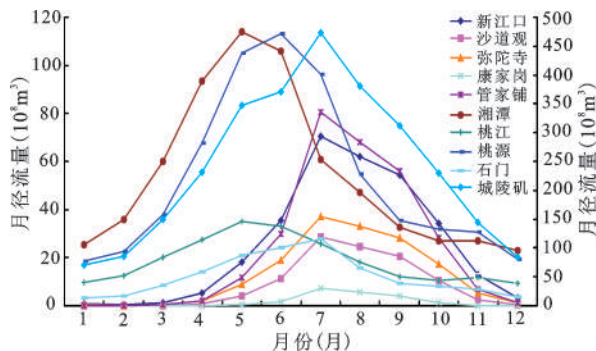


图2 洞庭湖进出湖各河流主要控制站
径流量年内分配统计

Fig.2 Monthly distribution characteristics of main
rivers' runoff in and out Dongting Lake

3.2 径流序列年际变化

径流年际变化特征常用变差系数(Cv)与年际极值比来表示。变差系数Cv是样本序列的标准差与算术平均值的比值,它是反映径流年内变化不均匀性的重要指标,具体计算方法参照文献[12~14],计算结果见表2。根据计算,洞庭湖进出湖各河流主要控制站变差系数介于0.194~0.761之间,洞庭湖流域各河流变差系数普遍较大,特别是荆江三口变差系数最大,可以说明洞庭湖流域径流年际变率大,径流量稳定性较差。荆江三口与四水差异较大,荆江三口以藕池口0.761为最大,四水以澧水0.277最大。

3.3 径流序列趋势性分析

用于诊断连续水文序列趋势性方法较多,应用最广、简便直观的方法有滑动平均法、M-K趋势分析法等,本文采用Mann-Kendall趋势分析法对洞庭湖进出湖径流趋势性进行分析。M-K趋势检验法因为不要求原始数据服从特定概率分布,只满足时间序列随机独立即可,因此受到水文学者的广泛认可,具体计算参照文献[15,16]。

图3、4给出Mann-Kendall趋势检验结果。由图3可知,湘江径流UF和UB统计曲线于信度区间内发生了4交叉,根据检验统计意义,1955、1980、1983和1987年是湘江径流可能发生突变的时间,其中1957~1994年UF曲线为负,但是并未突破信度区间,下降趋势不明显,其余时间段都呈上升趋势。资水径流UF和UB曲线在信度区间内发生了5次交叉,1955、1962、1967、1972和1978年是资水径流可能发生突变的时间。沅江UF和UB曲线在信度区间内有7个交叉点,是沅江可能发生突变的时间。澧水径流变化趋势比较复杂,UF和UB曲线在信度区间内多次交叉,而且波动较大,但均处于信度区间内,变化趋势并不显著。

表2 洞庭湖进出湖各主要控制站径流均值和变差系数(10^8m^3)

Table 2 Average and variation coefficient of rivers in and out Dongting Lake(unit: 10^8m^3)

水文站	统计年份(年)	多年平均值	年最大值	年份	年最小值	年份	Cv	极值比
湘潭	1951~2011	654	1035	1994	281	1963	0.251	0.73
桃江	1951~2011	227	372	1954	103	1956	0.229	0.72
桃源	1951~2011	636	1030	1954	379	2011	0.194	0.63
石门	1951~2011	146	264	1954	83	1992	0.277	0.69
松滋口	1951~2011	409	750	1954	119	2006	0.272	0.84
太平口	1951~2011	155	270	1954	34	2006	0.333	0.87
藕池口	1951~2011	333	1156	1954	29.12	2006	0.761	0.97

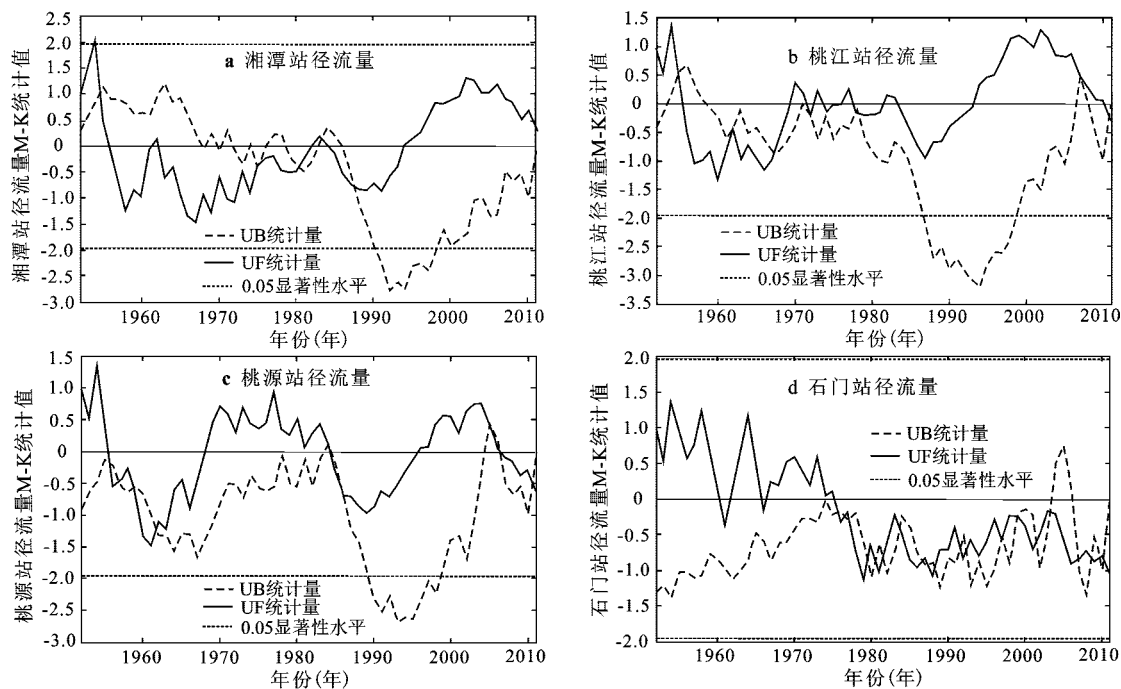


图3 湖南四水径流量M-K趋势分析

Fig.3 The M-K trend analysis of Four Rivers runoff of Hunan Province

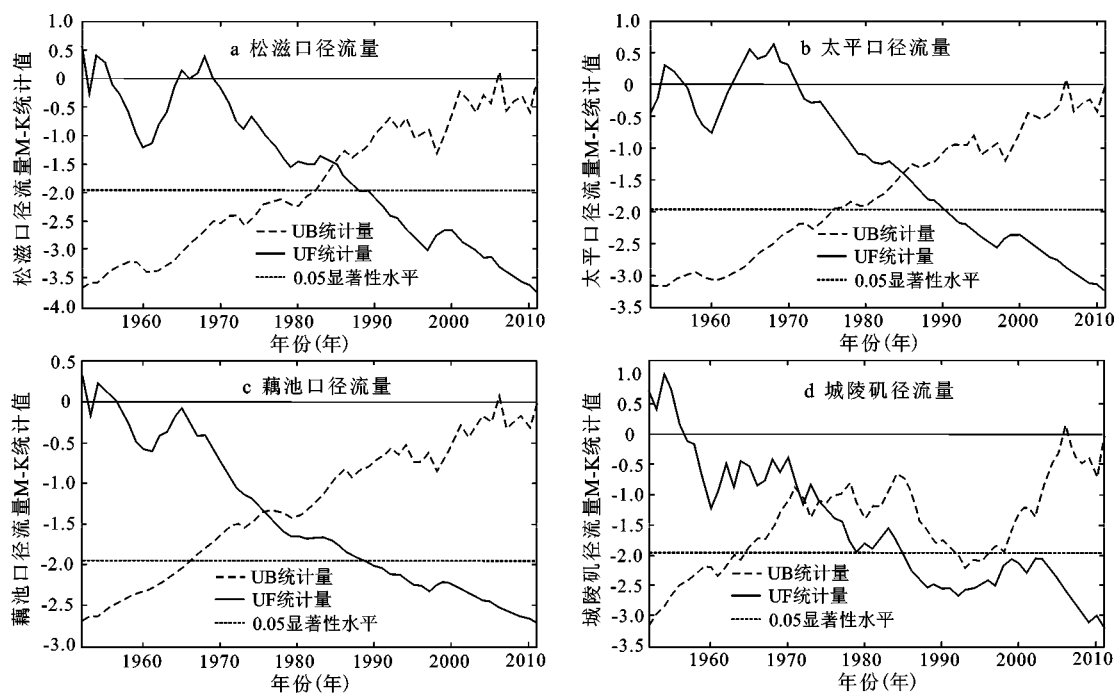


图4 荆江三口和城陵矶径流量M-K趋势分析

Fig.4 The M-K trend analysis of runoff of three outlets and Chenglingji

由图4可知,松滋口径流UF曲线和UB曲线于置信区间内($-1.96 \sim +1.96$)交点发生在1985年,突变后UF曲线迅速越过信度线,根据统计意义,

说明松滋口径流在1985年附近发生了突变,可见松滋口径流变化是连续累积性的衰减变化,且有明显的突变。松滋口径流量的转折是经过30多年

的连续累积后,在1981年葛洲坝水利枢纽建成后的4 a前后表现为突变,之后持续衰减并发生显著性变化。太平口径流突变发生在1985年,并于1990年突破信度线表现为显著衰减趋势。藕池口径流发生突变的时间比松滋口和太平口突变的时间要早,藕池口径流UF曲线和UB曲线于置信区间内交点发生在1975~1976年之间,于1989年突破置信区间表现为显著衰减趋势。1967~1972年下荆江裁弯全面完成,藕池口径流衰减变化受下荆江裁弯工程影响较大。由图3d可知,洞庭湖出湖径流突变点发生在1974~1975年之间,随后呈持续振荡性减少,并在1985年越过信度线,表现为显著衰减变化。

为了验证M-K突变分析结果的准确性,下面通过均值差异 T 检验方法检验可能发生突变年份的科学性。根据均值差异 T 检验结果,松滋口、太平口、藕池口和城陵矶径流序列 t 统计量分别为6.533、7.660、10.156和4.366,均通过显著性检验,显著性水平 $\alpha=0.01$,临界值为2.704。湖南四水各站未发生突变,径流序列均未通过显著性检验。

3.4 径流序列丰枯水年阶段性变化分析

为找出径流序列丰、枯水年阶段性变化规律,根据水利部信息中心编制的水文预报规范,将径流量距平百分率 K_i 划分为5个级别, K_i 计算方法参照文献[13,17,18],5个级别分别是: $K_i < -20\%$ 为枯水, $-20\% \leq K_i < -10\%$ 为偏枯, $-10\% \leq K_i \leq 10\%$ 为平水, $10\% < K_i \leq 20\%$ 为偏丰, $K_i > 20\%$ 为丰水。

依据湖南四水主要控制站年径流距平百分率计算结果(图5、表3),四水径流丰枯交替变化平缓,其中平水年出现概率分别占22.95%,40.98%,36.07%和27.87%,其中,湘江5个级别的概率分别占22.95%,11.48%,22.95%,18.03%和4.59%,说明湘江61 a来径流丰枯更替较为平均;资水平水年概率为40.98%,说明资水既很少有汛情也少有干旱;澧水丰水年和枯水年有相同的概率,且与平水

年出现概率保持一致,澧水的径流变化年际分配极为平均,对流域的水资源利用十分有利。

依据荆江三口径流距平百分率计算结果可知(图5,表3),松滋口平水年出现概率32.79%,丰水年和枯水年概率21.31%和24.59%,年际变化较大;太平口5个级别的概率分别为24.59%,9.84%,22.95%,18.03%,和24.59%,太平口径流年际变化表现平缓;藕池口丰水年和枯水年概率分别为32.79%和57.38%,可以看出藕池口径流年际变化较为剧烈。荆江三口枯水年概率有增大趋势,特别是藕池口枯水年概率最大,藕池口洪道有断流不断增大的风险,对洞庭湖水资源利用带来威胁。洞庭湖出湖城陵矶站径流丰枯变化较为均匀,平水年概率为37.7%,偏丰年和偏枯年为16.39%,丰水年和枯水年概率为14.75%。可以看出,出湖径流变化较为平缓。

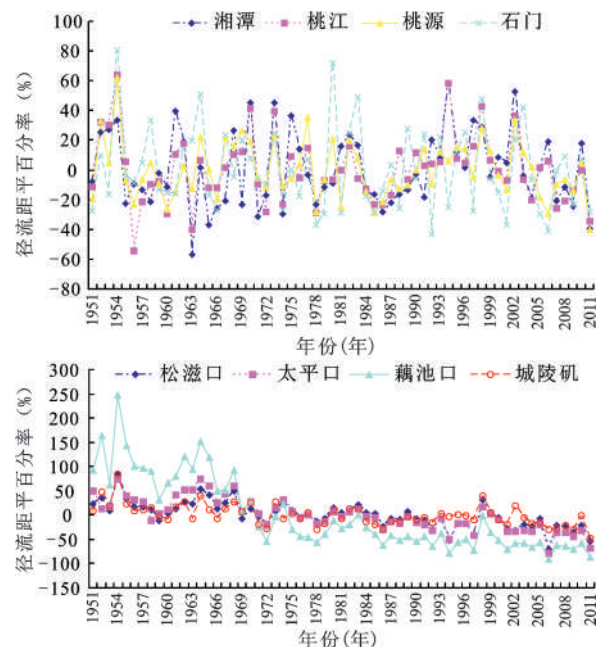


图5 洞庭湖进出湖主要控制站年径流距平百分率

Fig.5 Percentage of runoff anomaly in Dongting Lake

表3 洞庭湖进出湖主要水文站年径流分级统计(单位:a)

Table 3 Runoff classified statistics of main hydrological stations in Dongting Lake (unit:a)

水文站	丰水年	偏丰年	平水年	偏枯年	枯水年	水文站	丰水年	偏丰年	平水年	偏枯年	枯水年
松滋口	13	7	20	6	15	湘潭站	14	7	14	11	15
太平口	15	6	14	11	15	桃江站	8	9	25	6	13
藕池口	20	0	4	2	35	桃源站	10	9	22	12	8
城陵矶	9	10	23	10	9	石门站	16	3	17	9	16

为了进一步找出洞庭湖进出湖径流阶段性特征,通过计算年径流序列累积距平百分数,并作出曲线图(图6),可以得出具体的径流分阶段特征。

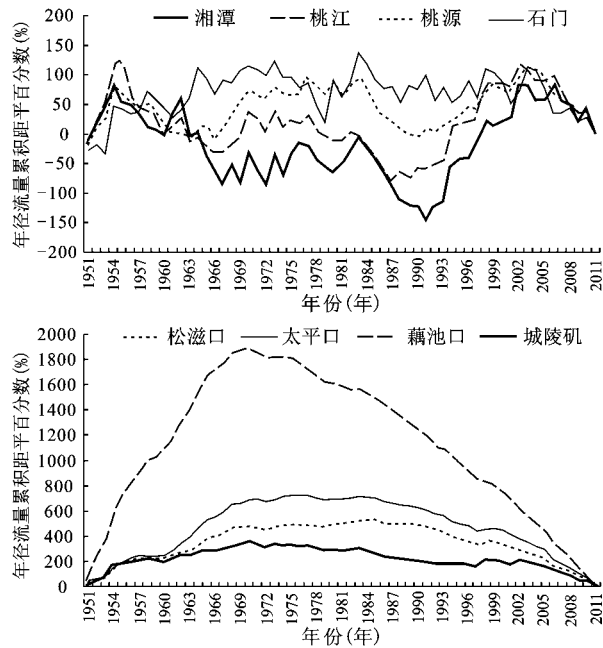


图6 洞庭湖进出湖主要控制站年径流累积距平百分数

Fig. 6 Percentage of runoff cumulative anomaly in Dongting Lake

从图中可以看出,进入21世纪后湖南湘、资、沅、澧四水年径流量先后进入一个少水期阶段,多年平均径流量分别为 $594 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $198 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $548 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $139 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。从这一阶段四水各站曲线的斜率上看,四水各站斜率的绝对值变化较为一致,说明四水各站径流减少的速率一致,呈缓慢减少趋势。湘潭站径流分为4个阶段:1951~1954年、1992~2002年为多水期,1955~1991年、2003~2011年为少水期;桃江站径流分为4个阶段:1951~1955年、1988~2002年为多水期,1956~1987年、2003~2011年为少水期;桃源站径流序列分为6个阶段:1951~1954年、1964~1983年、1991~2003年为多水期,1955~1963年、1984~1990年、2004~2011年为少水期;石门站径流分为4个阶段:1951~1973年、1980~1983年为多水期;1974~1979年、1984~2011年为少水期。

根据荆江三口年径流序列的累积距平百分数绘制曲线(图6),松滋口、太平口和藕池口在1970s和1980s先后进入少水期,其中,藕池口径流衰减开始于1971年,为三口中径流衰减开始最早的洪

道口,特别是进入21世纪,藕池口径流衰减非常显著,曲线斜率绝对值达到最大,松滋口和太平口径流分别于1986和1978年开始减少,年际变化较为平缓,曲线斜率较小。根据三口径流的阶段性统计可知,松滋口径流可以分为2个阶段:1951~1985年为多水期,1986~2011年为少水期;太平口径流分为2个阶段:1951~1977年为多水期,1978~2011年为少水期;藕池口分为2个阶段:1951~1970年为多水期,1971~2011年为少水期。

引起年径流阶段性变化的原因有人为因素也有自然因素,根据前人的研究^[19-21],气候因素是引起洞庭湖径流阶段性演变的主导因素,水土流失和水利工程建设等人类活动^[22]也在一定程度上加速了径流演变的进程。作者通过采用小波分析方法对洞庭湖进出湖主要控制站径流量进行周期分析(限于文章篇幅,结果未在本文呈现),湘潭站径流具有多时间尺度的周期性,其中30~40a的周期性最为显著,这一结果与阶段性分析结果相一致;同样桃江站径流有30~40a的第一主周期,桃源站径流8~15a左右的周期最为稳定,石门站径流20~27a左右的周期性最明显,与阶段性分析结果保持一致。小波分析得出松滋口、太平口和藕池口径流分别存在着25~40、22~40和25~40a的大尺度时间周期变化,与前文分析径流阶段性特征保持一致,说明荆江三口径流将保持少水期特征,同时预示下一个阶段即将进入新的周期。

4 结论与讨论

河流径流能够反映降雨量补给河流湖泊等流域的水量,同时也能够体现流域截流、土壤下渗和水体蒸发等水文现象,流域蓄水量等变化过程是一个流域气候条件(如降水丰枯)变化、水利工程建设等人类活动以及土壤下垫面特性等因素综合作用的结果。

1) 洞庭湖区径流集中期主要集中在每年的6~7月份,其最大径流出现时间为6月底7月初,洪水发生时间主要集中在7月中下旬,这是由于洞庭湖洪水受荆江三口和湖南四水流域洪峰的交替控制。四水各流域内降水多属同一天气系统,降水集中在5~8月,降水从上游向下游传递或上下游同时发生,外河洪水抵达下游尾闾堤垸时,一般堤垸内也正是降雨时期,往往形成内外水患夹击。而荆江三口年径流在5~6月份逐渐进入汛期,7月份径

流量达到最大峰值,四水和三口洪峰叠加后使湖区水位上升,洞庭湖出湖径流受长江洪水顶托,湖水出流不畅,导致城陵矶水位抬升,加剧洪涝灾害的发生危害。洞庭湖区1996和1998年大洪水是荆江三口和四水洪水相互叠加的结果。

2) 洞庭湖进出湖各河流主要控制站变差系数介于0.194~0.761之间,洞庭湖流域各河流变差系数普遍较大,特别是荆江三口变差系数最大,可以说明洞庭湖流域径流年际变率大,径流量稳定性较差。各河流径流极值比均在0.6以上,尤其以荆江三口极值比最大,说明荆江三口年际变化显著,径流量衰减明显。荆江三口径流减少是造成洞庭湖季节性缺水的重要原因,进一步加重了湖区的干旱灾害,给湖区工农业生产供水和人民生活用水带来威胁。

3) 湖南省四水水系径流的丰枯交替变化较为平缓,其中平水年出现概率分别占22.95%,40.98%,36.07%和27.87%,平水期持续时间较长,其次是丰水期和枯水期,但是每一级别的成组出现的时间不长,因此,四水径流的持续性表现并不是很明显,也就是说湖南四水水量分配相对较为平均。荆江三口年径流丰枯交替变化规律来看,松滋口年际变化较大,太平口径流年际变化表现的较为平缓,藕池口丰水年和枯水年概率分别占到32.79%和57.38%,径流年际变化较为剧烈,不利于水资源的合理利用。荆江三口枯水年概率有增大趋势,特别是藕池口枯水年概率最大,藕池口洪道有断流不断增大的风险,对洞庭湖水资源利用带来威胁。洞庭湖径流的丰枯变化受大气层大气环流周期运动、降水过程变化、ENSO事件以及太阳活动密切相关。

4) 根据M-K检验结果,四水径流在统计年限内均发生了突变,年径流量有上升和下降的波动趋势,但未突破信度区间,变化并不显著。可以看出,四水流域大量水利工程的兴建和流域水土保持工程等措施在流域范围内发挥着重大的生态效应。松滋口径流于1985年发生突变,之后径流表现为显著性衰减变化,这可能与1981年葛洲坝水利枢纽建成有很大关系。太平口径流和松滋口径流突变时间较为一致,均发生在1985年,并于1990年突破信度线表现为显著衰减趋势。藕池口径流于1989年突破置信区间表现为显著衰减趋势。1967~1972年下荆江裁弯全面完成,藕池口径流衰

减变化受下荆江裁弯工程影响较大。

5) 引起年径流阶段性变化的原因有人为因素也有自然因素,气候因素是引起洞庭湖径流阶段性演变的主导因素,水土流失和水利工程建设等人类活动也在一定程度上加速了径流演变的进程。从气候因素来看,四水与四口洪水遭遇是导致洞庭湖洪涝灾害的重要原因。20世纪90s以来,长江流域经历几次较大的降水过程,四水和三口径流峰值相互叠加,进湖水量大幅增加,加上长江洪峰的顶托,使洞庭湖水位雍高,造成严重的洪涝灾害。1954和1998年大洪水是两股洪水遭遇叠加导致湖区洪涝灾害的例子。人类活动因素中,四水流域产水量大,径流序列波动幅度小,年际变化不大;但下荆江裁弯、葛洲坝水利枢纽建设和三峡蓄水运用等水利工程的兴建,洞庭湖与长江中游特别是荆江三口的关系发生多次大的调整,荆江三口入湖水量衰减迅速,导致洞庭湖季节性缺水问题突出。以上结论表明,湖区洪水的出现是荆江三口来水和四水洪水叠加后的结果,并且汛期延长还受长江洪水的顶托作用控制。在径流长期变化中,气候因素是主导因素,水利工程建设等人类活动加速径流演变。

参考文献:

- [1] 李景保,郑云有,高昌海.论湖南省水旱灾害的地理规律性[J].自然灾害学报,2000,9(4):115~120.
- [2] 程琳.1998年鄱阳湖和洞庭湖洪水简析[J].水文,1998,(增刊):110~113.
- [3] 薛光达,陈欣.湖南省1998年洪水与1954、1996年洪水的对比分析[J].湖南水利,1999,(2):40~42.
- [4] 张剑明,章新平,黎祖贤,等.近47年来洞庭湖区干湿的气候变化[J].云南地理环境研究,2009,21(5):56~62.
- [5] 张剑明,黎祖贤,章新平,等.湖南省近46年来降水时空分布特征及趋势分析[J].水文,2009,29(4):73~78.
- [6] 汤奇成,程天文,李秀云.中国河川月径流的集中度和集中期的初步研究[J].地理学报,1982,37(4):383~393.
- [7] Zhang L J, Qian Y F. Annual distribution features of the yearly precipitation in China and their interannual variations[J]. Acta Meteorological Sinica, 2003, 17(2): 146~163.
- [8] 丁瑾佳,许有鹏,潘光波.杭嘉湖地区城市发展对降水影响的分析[J].地理科学,2010,30(6):886~891.
- [9] 张秋变,路紫.旅游网站信息流距离衰减的集中度研究[J].地理科学,2011,37(7):886~890.
- [10] 白红英,侯钦磊,马新萍.50年来秦岭金钱河流域水文特征及其对降水变化的响应[J].地理科学,2012,32(10):1230~1235.
- [11] 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.

- [12] 李丽娟,李海滨,王 娟.澜沧江水文与水环境特征及其时空分异[J].地理科学,2002,22(1):49~56.
- [13] 姚治君,管彦平,高迎春.潮白河径流分布规律及人类活动对径流的影响分析[J].地理科学进展,2003,22(6):599~607.
- [14] 黄振平.水文统计学[M].南京:河海大学出版社,2003:108~125.
- [15] 王传辉,周顺武,唐晓萍,等.近48年青藏高原强降水量的时空分布特征[J].地理科学,2011,31(4):471~477.
- [16] 张 强,陈桂亚,姜 彤,等.近40年来长江流域水沙变化趋势及可能影响因素探讨[J].长江流域资源与环境,2008,17(2):257~263.
- [17] 胡兴林.甘肃省主要河流径流时空分布规律及演变趋势分析[J].地球科学进展,2000,15(5):516~521.
- [18] 李栋梁,张佳丽,全建瑞,等.黄河上游径流量演变特征及成因研究[J].水科学进展,1998,9(1):22~28.
- [19] 翟盘茂,任福民,张 强.中国降水极值变化趋势检测[J].气象学报,1999,57(2):208~216.
- [20] 刘学华,季致建,吴洪宝,等.中国近40年极端气温和降水的分布特征及年代差异[J].热带气象学报,2006,22(6):618~624.
- [21] 王叶红,王谦谦,赵玉春.长江中下游降水异常特征及其与全国降水和气温异常的关系[J].南京气象学院学报,1999,22(4):685~691.
- [22] 李景保.洞庭湖区1996年特大洪涝灾害的特点与成因分析[J].地理学报,1998,53(2):166~173.

Analysis on the Runoff Characteristics in and Out Dongting Lake in Recent 60 Years

HU Guang-wei^{1,3}, MAO De-hua¹, LI Zheng-zui², TIAN Zhao-hui³, FENG Chang¹

(1. Hunan Normal University Resources and Environmental Science Institute, Changsha, Hunan 410081, China;

2. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Hunan Province, Changsha, Hunan 410007, China;

3. Hunan Planning Institute of Land Resources, Changsha, Hunan 410007, China)

Abstract: In order to explore the runoff change characteristics in and out of the Dongting Lake Basin, using the annual runoff time series data, time series analysis was performed for nine stream flow gauging stations located at the main rivers of three outlets and Four Rivers (Xiang River, Zi River, Yuan River and Li River) in the Dongting Lake. The concentration degree and concentration period, Mann-Kendall trend test method, variation coefficient method and the runoff anomaly percentage were performed to analysis the annual runoff series of the main control hydrological station in Dongting Lake Area. The results showed that: ① The runoff concentration period of Dongting Lake Area mainly concentrated in June-July of each year, and the maximum runoff time is the end of June and early July. The flood occurred mainly in mid to late July. Runoff period synthetic vector directions are ranged from 103.2° to 190.2°, which can reflect the maximum runoff of the rivers in and out of the lake. The concentration period was in consistent with the actual runoff during the year distribution statistics. ② There is great variation of yearly runoff, with variation coefficient ranging from 0.194 to 0.761. It tells that the runoff stability is poorer. The ratios of extreme values are all above 0.6, and river runoff attenuation is more obvious. ③ Judging from the alternation regularity of runoff, frequency of enormously wet and dry year of Four Rivers Basin is lower than that of normal hydrological year. Namely, the frequency of normal hydrological year is relatively low in Four Rivers Basin. Frequency of enormously wet and dry year of Ouchikou is relatively high, accounted for 32.79% and 57.38% respectively. The interannual variation of runoff is relatively severe, which is not conducive to the rational use of water resources. It also implies that Dongting Lake Area is more frequent to encounter drought and flood disasters. Above conclusions show that the flood of the Dongting Lake is the emergence of flood the three outlets and Four Rivers Basin. But the flood is also controlled by the flood from the upper and middle reaches of Changjiang River. The long-term trend changes of stream runoff are controlled by the variation of climate changes, and impact caused by human activities and water conservancy project construction.

Key words: runoff characteristic; drought and flood disasters; concentration and centralization; M-K trend test; Dongting Lake Area