J. Lake Sci.(湖泊科学),2011,**23**(3):445-453
http://www.jlakes.org. E-mail:jlakes@niglas.ac.cn
© 2011 by *Journal of Lake Sciences*

鄱阳湖流域水文极值演变特征、成因与影响*

张　强[1,2],孙　鹏[1,2],江　涛[1,2]
(1:中山大学水资源与环境系,广州 510275)
(2:中山大学华南地区水循环与水安全广东省普通高校重点实验室,广州 510275)

摘　要: 选用11种概率分布函数,系统分析了鄱阳湖流域"五河"的6个水文站年最大径流量与连续3d、7d最大平均日流量,函数参数以及拟合优度分别由线性矩法与柯尔莫哥洛夫-斯米尔诺夫方法检验,选出最适合该区流量极值分布函数.在此基础上,对引起该流域水文极值变化的原因及其影响作了有益的探讨.结果表明:(1)韦克比分布是用于研究鄱阳湖流域水文极值的最佳概率分布函数;(2)各水文站重现期对应的流量在水库建设前后变化并不一致,具体为建库后外洲站小于30a重现期、虎山站大于70a重现期和万家埠站小于20a重现期洪水流量发生概率小于建库前发生的概率,而其余各站点各重现期在建库后发生洪水的概率大于建库前发生的概率,这与不同支流水文气象条件以及人类活动差异性有关;(3)降雨量和水利枢纽工程是影响鄱阳湖流域水文极值变化的重要因素.极端降雨和降雨强度的增加是导致洪水发生概率增大的最主要的因素,水利工程特别建设在干流的大型水利设施能减少洪水流量,而森林对洪水流量的影响并不明显.
关键词: 频率分析;概率分布函数;极值流量;鄱阳湖流域

Changing properties, causes and impacts of extreme streamflow in Lake Poyang basin, China

ZHANG Qiang[1,2], SUN Peng[1,2] & JIANG Tao[1,2]
(1:*Department of Water Resources and Environment, Sun Yat-sen University, Guangzhou* 510275, *P. R. China*)
(2:*Key Laboratory of Water Cycle and Water Security in Southern China of Guangdong High Education Institute, Sun Yat-sen University, Guangzhou* 510275, *P. R. China*)

Abstract: We analyzed the statistical properties of maximum mean 7-day streamflow in Lake Poyang basin using eleven probability distribution functions. Estimate of parameters was performed using the L-moment technique. Goodness-of-fit was done based on Kolmogorov-Smirnov statistic *D*. Mann-Kendall trend test was used to detect the trends within the streamflow extreme series. The research results indicate that: (1) Wakeby distribution is the good choice for description of the statistical behaviors of streamflow extremes in the study region; (2) Changing properties are varying from one station to another, implying different fluvial geomorphological features, climate changes and human activities; (3) Rainfall and hydraulic engineering is an important factor in effect the changes of extreme streamflow in the Lake Poyang basin. Higher frequency of hydrological and meteorological extremes may cause higher probability of floods in the study region. While hydraulic engineering, especially the construction of large-scale water conservancy facilities in the river, reduce the flood discharge. The impact of forest on flood flows is not obvious.
Keywords: Frequency analysis; probability distribution functions; streamflow extremes; Lake Poyang basin

全球变暖以及由此引起的全球水循环变异,已经导致区域乃至全球范围内日益频繁的旱涝灾害等气候水文极值事件的发生,以极端水灾害与气象灾害发生规律与机理为重大科学问题的全球变化研究已成为当

* 广东省自然科学基金项目(2009-37000-4203384)、国家自然科学基金项目(40701015, 41071020)、中山大学理工科青年教师重点培育计划项目(2009-37000-1132381)和中国科学院知识创新工程项目(KZCX1-YW-08-01)联合资助.2010-09-02收稿;2010-12-07收修改稿.张强,男,1974年生,博士,教授;E-mail:zhangq68@mail.sysu.edu.cn.

今重大科学前沿之一[1-3]. 由于近些年来旱灾、洪灾、台风、雪灾等气候极端事件频发,国内外许多学者对气候变化和人类活动的双重影响下,江河洪水演变规律及成因做了大量有意义的研究工作[4-7]. 鄱阳湖是中国最大的淡水湖泊,同时是亚洲最大的淡水湿地,对长江的防洪调蓄发挥了重要作用[8-9]. 鄱阳湖流域水灾非常严重,1949 - 2007 年平均每年雨洪灾害的农作物受灾面积为 5800km^2,特别是 1990s 以来受灾面积最严重,有 7 年农作物水灾受灾面积远大于平均值[10]. 随着国务院正式批复《鄱阳湖生态经济区规划》,鄱阳湖生态经济区建设已上升为国家战略,因而鄱阳湖的气候、生态以及水文过程已备受关注. 鉴于鄱阳湖对于长江防洪以及长江流域湿地生态保护等的特殊地位,许多学者对鄱阳湖流域的气象、水文等方面做了大量研究,并取得了丰硕的研究成果[11-13]. 陈永勤等运用检验方法选取流域内拟合度最好的理论线型[14-15],理论线型的参数估计对理论线型的拟合精度的影响很大,本文运用线性矩估计理论线型参数有很好的效果.

前人的研究主要对鄱阳湖流域极端事件的趋势及原因进行了探讨,针对某一具体的洪水年份的洪水特征进行研究. 但过去的研究只局限于几个水文站或者某几个小流域,并没有对整个鄱阳湖流域进行全面而系统的研究. 本文通过对该区域长序列水文极值的概率分析,在系统搜集水库资料和以及水文数据的基础上,揭示流域气候变化和人类活动对水文极值的影响机制,并对水文极值发生对区域经济社会发展的影响做了简要评述. 该项研究对于科学理解在当前气候变化与人类活动双重影响下,鄱阳湖流域的防洪、生态环境演变与湿地研究具有重要科学与现实意义.

1 数据来源

本文所分析数据为鄱阳湖流域的主要五条河流的 6 个水文站(图 1)的年最大流量、最大连续 3d 和 7d 平均流量,数据均来自江西水文局,部分缺失数据通过与相邻水文站水文序列建立回归关系进行插补(R^2 >

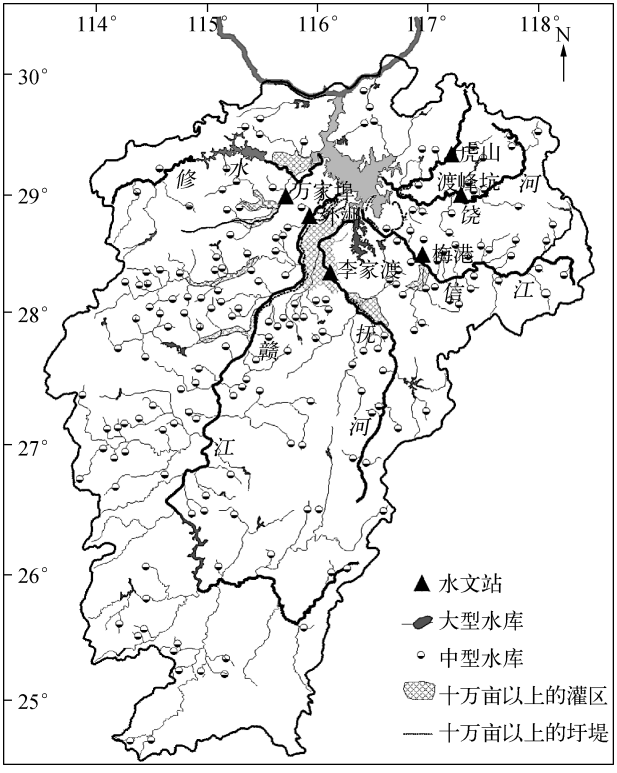


图 1 鄱阳湖流域、水文站点、主要水库以及灌区地理位置示意图

Fig. 1 Location of the Lake Poyang, hydrological stations, reservoirs and irrigation areas in Lake Poyang basin

0.8)(其中饶河虎山站缺 1977－1978 年和 1981 年 1－8 月资料;渡峰坑站缺 1987 年 9－12 月和 1988 年资料). 鄱阳湖流域大型水库(库容大于 $1\times10^8 m^3$)的位置、建库时间、库容以及所属的支流情况见表 1.

表 1 鄱阳湖流域水库资料*

Tab. 1 Detailed information of water reservoirs in Lake Poyang basin

水库	所在流域(经纬度)	建库时间(年)	库容($\times10^8 m^3$)	功能
柘林水库	修水(29°12′N, 115°30′E)	1958－1985	50.170	防洪、灌溉发电、航运养殖
大坳水库	修水(28°39′N, 114°34′E)	1987－1992	1.146	防洪、灌溉航运、养殖旅游
江口水库	赣江(27°44′N, 114°50′E)	1958－1960	3.460	防洪、灌溉养殖、供水旅游
社上水库	赣江(27°23′N, 114°16′E)	1969－1981	1.432	防洪、灌溉、发电
南车水库	赣江(26°46′N, 114°36′E)	1992－2001	1.532	灌溉、发电、防洪
上犹江水库	赣江(25°49′N, 114°24′E)	1955－1957	7.210	发电、防洪航运、景观渔业
万安水库	赣江(26°33′N, 114°41′E)	1958－1990	11.160	防洪、灌溉、发电
长冈水库	赣江(26°19′N, 115°26′E)	1969－1970	2.510	发电、防洪、灌溉、养殖
紫云山水库	赣江(27°47′N, 115°49′E)	1958－1960	1.160	防洪、灌溉发电
上游水库	抚河(27°42′N, 116°22′E)	1958－1959	1.350	防洪、灌溉发电、养殖旅游
洪门水库	抚河(27°17′N, 116°26′E)	1958－1978	5.418	发电、防洪灌溉
大坳水库	信江(28°11′N, 117°57′E)	1995－1997	2.757	防洪、发电、灌溉、备用水源
七星水库	信江(28°10′N, 118°19′E)	1985－1991	0.998	防洪、养殖发电
七一水库	信江(28°49′N, 118°16′E)	1958－1960	2.489	灌溉、防洪发电、养殖供水
共产主义水库	饶河(29°13′N, 117°25′E)	1958－1962	0.825	防洪、灌溉发电、养殖

* 水库详细资料来源于江西水文局编写的《江西水系》.

2 研究方法——Kolmogorov-Smirnov 检验与参数估计

本文选用韦克比分布、威布尔分布、皮尔逊Ⅲ分布、对数正态分布、对数逻辑分布、广义帕累托分布、广义极值分布、极值分布、β 分布、指数分布、锐利分布等 11 种分布分别拟合 6 个水文站的年最大径流量以及连续 3d、7d 最大平均日流量序列,并用 K-S D 值检验分布拟合优度[16],同时用拟合最好的概率分布函数分析 6 个水文站水文极值重现期及其对应的流量. 检验总体的分布函数是否服从某一函数 $F_n(x)$ 的假设条件为:$H_0: F(x)=F_n(x)$, $H_1: F(x)\neq F_n(x)$. 如果原假设成立,那么 $F(x)$ 和 $F_n(x)$ 的差距就较小. 当 n 足够大时,对于所有的 x 值,$F(x)$ 和 $F_n(x)$ 之差很小这一事件发生的概率为 1,即:$D_n=\max\limits_{-\infty<x<\infty}|F(x)-F_n(x)|$;$P\{\lim\limits_{n\to\infty}D_n=0\}=1$. 式中 $F(x)$ 与 $F_n(x)$ 分别为理论与经验分布函数. 若 $D_n<D_{n,\alpha}$(显著水平为 α,容量为 n 的 K-S 检验临界值),认为理论分布与样本序列的经验分布拟合较好,无显著差异. 显著水平 α 为 0.05,样本序列长度为 51、53 年的 K-S 检验临界值为 0.190、0.187. 11 种分布函数的参数统一用线性矩法来估计. 线性矩法是目前洪水频率分析参数估计的新方法也是最为稳健的方法之一[17]. 它最大的特点是对洪水序列中的极大值和极小值远没有常规矩那么敏感[18]. 对 6 个水文站的年最大流量、最大连续 3d、7d 平均流量序列进行自相关检验,结果发现所分析序列无显著自相关现象,外洲站水文极值自相关分析结果见图 2.

3 结果分析

3.1 流量基本统计特性

鄱阳湖流域 6 个水文控制站年最大流量水文序列基本统计特征见表 2,其中四分位区间距(IQR, Interquantile Range)定义为样本数据 75% 和 25% 分位数之差. 如果数据中没有奇异值,则 IQR 较标准差更适合描述水文序列的波动特征. 表 2 中其他统计量的变化与 IQR 的变化具有较好的一致性,外洲站年最大流量波动变化较其他水文站点大,万家埠年最大流量波动变化最小. 从变化趋势看,外洲和渡峰坑的年

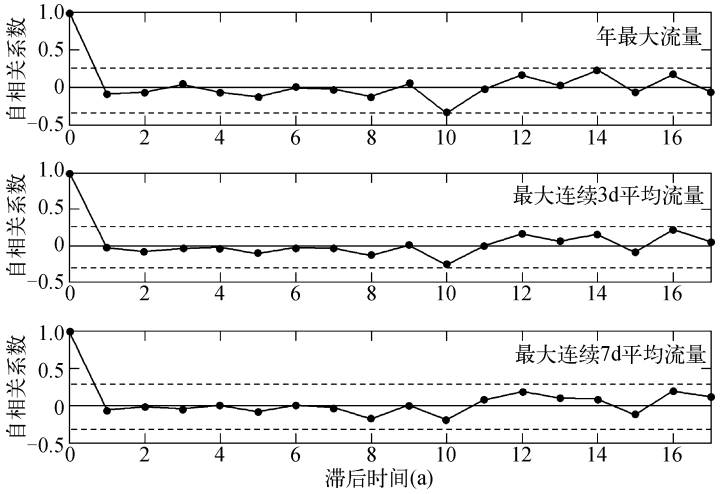


图 2 外洲站的年最大流量、最大连续 3d、最大连续 7d 平均流量自相关分析结果

Fig. 2 Autocorrelation analysis of annual maximum streamflow, annual mean maximum 3-day and 7-day streamflow at the Waizhou Station

最大流量有减小趋势,特别是外洲站,年最大流量减少幅度最大. 各水文站点年最大径流序列中最大值和最小值出现的时间并不一致,反映出各支流在降水、人类活动、地貌以及产汇流特征等诸多方面的差异性.

表 2 鄱阳湖流域 6 个水文站年最大流量(m^3/s)基本水文统计特征

Tab. 2 Basic statistical properties of annual maximum streamflow at 6 stations of Lake Poyang basin

站名	序列长度(a)	均值	中位数	内四分极值	斜率	年最大流量(年份)	年最小流量(年份)
外洲	51	11616	11500	5645	-18.28	20400(1982 年)	3500(1963 年)
梅港	53	6668	6300	3843	5.96	13600(1955 年)	3000(2001 年)
李家渡	51	4488	4220	3475	8.25	9950(1998 年)	1190(1963 年)
虎山	53	3474	3070	2230	2.29	10100(1967 年)	1270(1985 年)
渡峰坑	53	3039	2800	1830	-5.00	8600(1998 年)	945(2005 年)
万家埠	51	1670	1420	1065	5.66	5600(1997 年)	528(1965 年)

我们研究了本文所选择的三个流量指标(即年最大流量、最大 3d 与 7d 平均日流量)对鄱阳湖流域实际发生洪水的反映情况. 最大连续 3d 和 7d 平均流量发生的年份基本与该流域的洪水年相对应的有 1955 年 6 月中旬信江、饶河、修水发生特大洪水;1964 年赣江发生大洪水;1968 年赣江发生特大洪水;1996、1998、1999 年全流域发生特大洪水[19](表 3). 与年最大流量(表 2)和最大连续 3d 平均流量比较(表 3),最大连续 7d 平均流量所对应的年份都是大洪水年,而年最大流量和最大连续 3d 平均流量对应的年份不一定是大洪水年,所以,最大连续 7d 平均流量能较好地反映流域洪水发生实际情况,鉴于此,本文只分析连续最大 7d 平均流量(下面将简称极值流量)的变化,以分析鄱阳湖流域大洪水的变化特征.

3.2 概率分布函数选择

运用线性矩法估计 11 个分布函数的参数,并用柯尔莫哥洛夫法进行拟合优度检验(表 4),结果表明 11 种分布函数大部分都拟合良好,但是韦克比分布较其他分布函数相比拟合的更好. 这主要是由于韦克比分布有 5 个参数,较其他分布函数相比在描述水文极值分布特征方面灵活性更强.

表3 水文站最大连续3d和7d平均流量统计特征

Tab. 3 Statistical properties of maximum mean 3-day and 7-day streamflow at the 6 hydrological stations of Lake Poyang basin

站名		均值	中位数	四分位区间距	最大平均流量(m^3/s)(年份)	MK趋势
外洲	3d	11054	10800	5719	19367(1968年)	-0.67
	7d	9620	9171	5061	16929(1964年)	-0.74
梅港	3d	5754	5560	4020	11710(1955年)	0.10
	7d	4239	3831	2795	10666(1998年)	0.02
李家渡	3d	3838	3420	2963	8407(1998年)	0.08
	7d	2933	2687	2277	7064(1998年)	-0.02
虎山	3d	2743	2447	1908	6023(1967年)	-0.12
	7d	1870	1515	1446	4716(1955年)	-0.14
渡峰坑	3d	2115	1800	1214	5940(1996年)	-0.07
	7d	1380	1147	840	3621(1999年)	0.06
万家埠	3d	1193	1024	624	2933(1955年)	0.58
	7d	779	655	487	1790(1955年)	0.05

表4 最大连续7d平均流量11种概率分布的K-S D统计量*

Tab. 4 K-S's statistic D for the 11 probability distribution functions describing the statistical properties of the maximum mean 7-day streamflow

概率分布	K-S D统计量					
	外洲	梅港	李家渡	虎山	渡峰坑	万家埠
韦克比分布(Wakeby(5P))	**0.041**	**0.046**	**0.068**	0.093	0.063	**0.081**
威布尔分布(Weibull(3P))	0.080	0.074	0.077	0.088	0.065	0.092
皮尔逊Ⅲ分布(Pearson Ⅲ(3P))	0.077	0.072	0.071	**0.079**	**0.058**	0.083
对数正态分布(Log-normal(3P))	0.055	0.084	0.079	0.083	**0.053**	**0.078**
对数逻辑分布(Log-logistic(3P))	0.082	0.070	0.085	**0.082**	0.063	**0.081**
广义帕累托分布(General Pareto(3P))	**0.044**	**0.049**	**0.068**	0.093	0.070	0.084
广义极值分布(General Extreme Value(3P))	0.074	0.065	0.093	0.101	0.060	0.090
极值分布(Maximum Extreme Value(3P))	0.059	0.081	0.088	0.100	0.074	0.088
β分布(Beta(4P))	0.088	0.063	0.075	0.120	0.117	0.137
指数分布(Exponential(2P))	0.352	0.117	0.146	0.105	0.142	0.140
瑞利分布(Rayleigh(2P))	0.045	0.076	0.077	0.148	0.112	0.143

* 外洲站、李家渡站和万家埠站的K-S D的临界值是0.190($n=51$, $1-\alpha=95\%$),梅港站、虎山站和渡峰坑站的K-S D的临界值是0.187($n=51$, $1-\alpha=95\%$);黑体的数值所对应的概率分布函数是最适合水文站年最大流量的分布函数;K-S统计的D值越小表示概率分布函数越适合AMS.

运用线性矩法估计的鄱阳湖流域6个水文站极值流量的韦克比分布参数及相应的K-S D的值见表5. 在6个水文站中有4个站水文极值韦克比分布拟合的最好,其次是皮尔逊Ⅲ型分布、对数正态分布、广义逻辑分布. 我国水文统计中应用最为广泛的是P-Ⅲ型分布,但该研究显示P-Ⅲ型分布的拟合效果较韦克比分布差一些,显示韦克比分布较P-Ⅲ型分布在描述水文极值变化特征方面更为灵活,适应性更强. 研究中比较了几个概率分布函数理论分布曲线与经验分布曲线(图3),可以明显看出韦克比函数对水文极值的描述更符合水文极值

表5 极值流量的韦克比分布参数估计(线性矩)

Tab. 5 The annual maximum 7-day means streamflow of individual stations parameter estimate (L-Moment) of Wakeby

外洲	144200	19.55	7541.5	-0.54	1872.7
梅港	4331	0.67	108.9	0.54	1412.9
李家渡	198910	195.06	2765.1	-0.44	0
虎山	1337	0.20	0	0	755.8
渡峰坑	413550	199.72	822.3	-0.03	-1480.8
万家埠	30403	94.37	526.5	-0.14	0

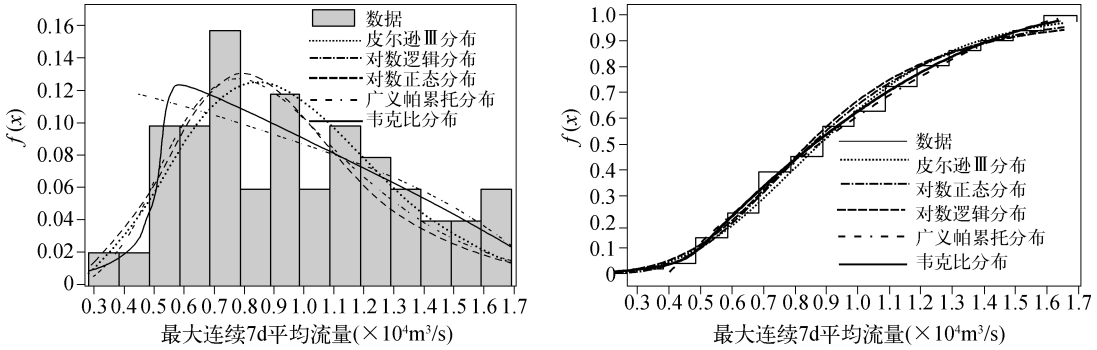


图3 外洲站最大连续7d平均流量的理论与经验概率分布曲线及相应的累积分布函数曲线

Fig. 3 Probability and cumulative distribution functions of the maximum mean 7-day streamflow at the Waizhou Station

实际分布情况,基于此,该文运用韦克比分布函数研究鄱阳湖流域极值流量变化特征.

3.3 不同重现期对应的流量变化

对比表6与表7可以看出,建库前后各水文站重现期对应流量的变化趋势略有差异. 水库建设后外洲站小于30a重现期、虎山站大于70a重现期和万家埠站小于20a重现期对应的流量小于建库以前的流量,其余各水文站在水库建设后各重现期对应的流量均大于水库建设前相应流量. 对于同一支流来讲,外洲、虎山、万家埠水库建设前后重现期对应的最大连续7d平均流量的变化小于梅港、李家渡、渡峰坑的流量变化,其中渡峰坑的重现期对应的极值流量变化最大,大于同流域虎山流量的变化. 6个水文站年极值流量在水库建设前后对应的重现期表明,外洲和万家埠极值流量对应的重现期在水库建设前后没有很大的变化;李家渡和渡峰坑流量对应的重现期变化最显著,李家渡1998年和渡峰坑1999年极值流量均是建库后最大流量,其重现期在水库建设后是42a一遇和18a一遇,但是还原到建库前的重现期均大于100a;梅港和虎山极值流量对应的重现期在建库前后相差十多年(表8). 这些水文极值变化的成因将在讨论中进一步阐述.

表6 水库建设前水文站各重现期对应极值流量(m^3/s)的设计值*

Tab. 6 Designed maximum mean 7-day streamflow and related return periods before construction of reservoirs

站名	$T=10$a	$T=20$a	$T=30$a	$T=50$a	$T=70$a	$T=90$a	$T=100$a
外洲	14833	16134	16707	17279	17581	17778	17852
梅港	6758	7585	7992	8438	8694	8871	8940
李家渡	4740	5005	5099	5177	5212	5232	5239
虎山	3068	3663	3994	4394	4648	4834	4910
渡峰坑	2082	2520	2781	3116	3339	3510	3581
万家埠	1351	1634	1796	1997	2127	2225	2265

* 外洲站控制流域最大水库建成时间是1990年,运行前后的时间段分界点是1990年;李家渡站控制的流域内的洪门水库建成时间是1978年,水库运行前后的时间段分界点是1978年;其余4站控制的流域范围内水库建设时间主要集中在1990年以前,水库运行前后的时间段分界点是1990年.

表7 水库建成后水文站各重现期对应极值流量(m^3/s)的设计值

Tab. 7 Designed maximum mean 7-day streamflow and related return periods after construction of reservoirs

站名	$T=10$a	$T=20$a	$T=30$a	$T=50$a	$T=70$a	$T=90$a	$T=100$a
外洲	14590	16052	16723	17418	17797	18049	18145
梅港	8104	9425	10103	10867	11318	11635	11760
李家渡	4995	5768	6204	6776	7188	7530	7681
虎山	3546	4015	4236	4468	4592	4684	4717
渡峰坑	3125	3703	3999	4336	4536	4677	4732
万家埠	1316	1633	1833	2101	2289	2435	2498

表 8 水文站年极值流量在水库建设前后对应重现期

Tab. 8 Return periods of maximum mean 7-day streamflow before and after construction of reservoirs

站名	连续 7d 最大流量(m^3/s)	发生年份	水库建设前对应重现期(a)	水库建设后对应重现期(a)
外洲	16929	1964 年	36	35
梅港	10666	1998 年	43	25
李家渡	7064	1998 年	>100	42
虎山	4007	1998 年	31	20
渡峰坑	3621	1999 年	>100	18
万家埠	1699	1998 年	21	23

4 讨论

外洲站建设水库后小于 30a 重现期极值流量小于水库建设前(表 7,表 8). 1964 年赣江洪水在水库建设前后重现期基本一致. 从 1990s 开始,鄱阳湖流域夏季暴雨频率和夏季降水量增加趋势非常的明显,饶河、信江和赣江下游是 1961 - 2000 年间鄱阳湖流域气候变化最为显著的地区;夏季信江、饶河和修水暴雨日数从 1980s 开始增加趋势比较明显[20]. 1990s 是 1949 年以来洪涝灾害发生频繁的年代,年最高水位超过 21.00m 的 5 次事件中有 3 次出现在 1990s,比历史上任何时段都更为频繁[10]. 赣江流域的 107 座水库(库容$75.13\times10^8 m^3$)在五河中数量和库容量居五河之首,使得赣江流域的降雨与流量的自相关系数小于 0.8[21]. 赣江的极值流量在水库建设前后呈减少趋势,建库后流量减少趋势大于建库前,在 1990s 极端降雨增加的趋势下,建库后赣江在 30a 以下的重现期对应流量小于建库前,1990 年建成的万安水库(库容 $22.16\times10^8 m^3$)对赣江的洪水削减发挥重要的作用. 例如 1990s 以来,赣江上游多次发生洪峰流量超过 $10000m^3/s$ 的洪水,水库发挥调洪作用,平均削峰率达 15% . 尤其 1994 年 6 月拦蓄洪水 $6.3\times10^8 m^3$,削减洪峰 21% ,降低中下游洪水位 0.4 - 1.3m,减轻中下游的防洪压力[22].

1980s 以来鄱阳湖流域实行山江湖工程、退耕还林工程、长(珠)防林工程、中德造林工程以及各种人造林工程,流域内森林覆盖率提高到 60.05% . 森林可以在一定程度上削减中小洪水的洪峰流量,但对全流域长历时暴雨所造成的特大洪水的削减作用是极其有限的[23-24]. 同时,1990s 后鄱阳湖流域森林覆盖率增加,但森林质量下降、森林结构不合理. 1990s 初幼龄、中龄林面积占到总森林面积的 90% ,而初幼龄、中龄林面积并没有成熟林对降雨的截留明显,森林覆盖率的提高并没有显著减少洪水流量. 饶河流域是“五河”中森林覆盖率最高的地区[25],虎山和渡峰坑是饶河流域 2 个控制站,但是 2 个水文站在 1990s 前后极值流量重现期对应流量的变化稍有差异,而极值流量趋势变化基本一致. 饶河流域 1990s 的降雨量发生突变,平均暴雨量和降雨量增加显著[11,26]. 变差系数能很好反映河川流量在多年中的波动变化情况,虎山站 1990s 前后变差系数分别为 0.50 和 0.49;渡峰坑站 1990s 前后极值流量变差系数分别为 0.78 和 0.60,表明渡峰坑极值流量变化幅度大于虎山站. 结果显示研究区极值流量呈减少趋势,但大部分水文站建库后极值流量增加,这表明鄱阳湖流域极端气候发生频繁. 渡峰坑站 1990s 平均流量为 $2089m^3/s$,远大于整个序列的平均值 $1380m^3/s$. 虎山站 1990s 前后极值流量变化不明显,发生 5 次大于 10a 一遇的洪水中在建库前有 3 次;而渡峰坑发生 8 次大于 10a 一遇洪水中 1990s 以前发生 4 次. 无论从发生的总次数上还是建库后发生次数所占比重来看,渡峰坑比虎山发生洪水的机率大,洪水次数和洪水量级对流域洪水频率的影响非常大. 虎山建库前 70a 以后重现期对应流量大于建库后,主要受极值流量大小的影响,序列流量最大值出现在 1955 年,极值流量的大小对重现期大的流量有较大影响. 渡峰坑站控制的昌江流域拥有中型以上水库 4 座(库容 $1.72\times10^8 m^3$),小于虎山控制的乐安河流域(有 12 座大中型水库,库容 $4.36\times10^8 m^3$),这也是虎山站流量变化比渡峰坑站稳定的重要原因之一.

万家埠 1990s 重现期对应的流量变化没有梅港、李家渡和渡峰坑变化明显,因为万家埠的上游修建潦河灌区工程,该工程是一座以防洪、排涝、灌溉为主的大型灌溉工程,整体抗洪能力不足 10a 一遇,而且潦河流域只有 7 座中型水库,这些水库都以灌溉为主,并没有专门的防洪功能,潦河流域的洪水受水利工程影响最小. 潦河位于赣西北暴雨区[25],河床坡降大,流域洪水汇流快,易于形成洪水. 潦河 1990s 前后流量减少的趋

势相近,1990s 以前万家埠极值流量发生 10a 一遇的洪水 5 次,其中 1970s 发生 3 次,1990s 后发生 2 次. 李家渡大于 10a 一遇洪水的次数在建库前后分别发生 1 次和 2 次,但是 1982 年和 1997 年的洪水流量远远大于 1976 年的洪水流量,极端流量的数量对频率曲线的影响显著. 外洲和万家埠大于 10a 一遇洪水的次数在建库前后数量差别不明显,渡峰坑在 1990s 前后洪水数量差别很大,这也是 1990s 前后重现期对应的流量变化不同的原因. 1978 年在饶河的一级支流黎滩河修建了库容 $12.14\times10^8\ m^3$ 的洪门水库,但是修建水库后的重现期对应的流量大于修建水库前的流量,并没有减少重现期对应的极值流量,洪门水库对中下游地区洪水的防洪效益没有万安水库那么明显.

5 结论

运用 11 种概率分布函数对鄱阳湖流域五条主要河流的 6 个水文站极值流量进行系统分析,柯尔莫哥洛夫检验结果表明韦克比函数拟合优度最优,表明 5 参数韦克比分布较其他概率函数相比更为灵活,适用性更好. 鄱阳湖流域极值流量能很好的反映大的洪水年份,各水文站 1990s 极值流量均是该年代中的最大值,从流量方面进一步说明 1990s 降雨总量增加显著. 1990s 极端降雨增加导致整个流域的大部分水文站的洪水频率呈增加趋势,但是每个站点的洪水频率变化不一致,外洲站重现期 30a 以前、虎山重现期 70a 以后和万家埠重现期 20a 以前洪水发生的频率在建库后有所降低,而其余各站点各重现期洪水发生的机率增大,尤其是饶河的昌江流域洪水发生机率增加最明显.

在影响洪水频率的因素中,大型水利枢纽工程对洪水重现期的影响最大,万安水库的建成使得小于 30a 重现期的极值流量小于建库前,提高下游防洪标准,由于水库的移民问题没有解决,水库设计防洪库容并没有达到设计标准 $10.2\times10^8\ m^3$. 提高下游吉安至南昌段防洪标准到 50a 一遇的目标没有实现. 修建在支流的水库虽然能在一定程度上减少洪水发生的机率,但是并没有干流上的水库有效,而鄱阳湖流域大部分水库都建在小的支流上,这极大的减弱了水库的防洪效果. 森林植被对连续强降雨造成的洪水的截留能力有限,对洪水发生机率影响不显著. 在未来水循环加剧,鄱阳湖流域水文气象极端事件发生频率增大的情况下,鄱阳湖流域将面临更为严峻的防洪形势.

6 参考文献

[1] Milly PCD, Wetherald PT. Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature*, 2002, **415**(6871): 514-517.

[2] Palmer TN, Räisänen J. Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate. *Nature*, 2002, **415**: 512-514.

[3] Easterling DE, Meehl AG, Parmesan C *et al.* Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science*, 2000, **689**: 2068-2074.

[4] Zhang Q, Marco G, Chen J. Climate changes and flood/drought variation and flood risk in the Yangtze Delta, China. *Quaternary International*, 2008, **176-177**: 62-69.

[5] Beniston M, Stephenson DB. Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions. *Global and Planetary Change*, 2004, **44**: 1-9.

[6] Zhang Q, Chen YD, Chen J. Flood/drought variability in the Yangtze Delta and association with the climatic changes from the Guliya ice core: A wavelet approach. *Quaternary International*, 2008, **189**: 163-172.

[7] Zhang Q, Liu CL, Xu CY. Observed trends of annual maximum water level and streamflow during past 130 years in the Yangtze River basin, China. *Journal of Hydrology*, 2006, **324**: 255-265.

[8] Nakayama T, Watanabe M. Role of flood storage ability of lakes in the Changjiang River catchment. *Global and Planetary Change*, 2008, **63**: 9-22.

[9] Hu Q, Song F, Guo H. Interactions of the Yangtze river flow and hydrologic processes of the Lake Poyang, China. *Journal of Hydrology*, 2007, **347**: 90-100.

[10] 谢 军,黄智权,杨巧言. 江西省自然地理志. 北京:方志出版社,2003:213-219.

[11] 郭 华,姜 彤,王国杰等. 1961 - 2003 年间鄱阳湖流域气候变化趋势及突变分析. 湖泊科学,2006,**18**(5):443-451.

[12] 李世勤,闵 骞,谭国良等. 鄱阳湖 2006 年枯水特征及其成因研究. 水文,2008,**6**:73-76.

[13] 王　凤，吴敦银，李荣昉. 鄱阳湖区洪涝灾害规律分析. 湖泊科学，2008，**20**(4)：500-506.
[14] 陈永勤，黄国如. 基于线性矩法的东江流域区域枯水频率分析. 应用基础与工程科学学报，2005，**13**(4)：409-416.
[15] 周　芬，郭生练，熊立华等. 枯水频率分析线型的比较研究. 水文，2006，**26**(1)：28-33.
[16] Zhang Q, Xu CY, Chen YD *et al*. Extreme value analysis of annual maximum water levels in the Pearl River Delta, China. *Front Earth Sci China*, 2009, **3**(2): 154-163.
[17] 郭生练. 设计洪水研究进展与评价. 北京：中国水利水电出版社，2005.
[18] Hosking JRM. L-moments: analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *Journal of the Royal Statistical Society*(*Series B*), 1990, **52**: 105-124.
[19] 张　伊，汤维增，吴官正. 江西省水利志. 南昌：江西科学技术出版社，1995：389-340.
[20] 王怀清，赵冠男，彭　静等. 近 50 年鄱阳湖五大流域降水变化特征研究. 长江流域资源与环境，2009，(7)：615-619.
[21] Zhao G, Georg H, Nicola F *et al*. Streamflow trends and climate variability impacts in Lake Poyang Basin, China. *Water Resour Manage*, 2010, **24**: 689-706.
[22] 吉安市水文局(http://www.jasw.com.cn/sw/list.asp?unid=1267).
[23] 许炯心. 长江上游干支流的水沙变化及其与森林破坏的关系. 水力学报，2000，(1)：72-80.
[24] 史立人. 水土保持是江河治理的根本. 中国水土保持，1998，**11**：13-16.
[25] 江西文明信息库(http://ziliaoku.jxwmw.cn/huanpoyanghu/pohuliuyu/)，2008.
[26] 郭　华，姜　彤. 鄱阳湖流域洪峰流量和枯水流量变化趋势分析. 自然灾害学报，2008，(6)：75-80.