

岳城水库控制流域暴雨洪水的时程分布规律及分期划分研究

邹 鹰^{1,2}, 郭 方², 沈国昌², 王银堂²

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 南京水利科学研究所, 江苏 南京 210029)

摘要: 从两个方面全面分析了岳城水库控制流域的暴雨洪水时程分布及分期规律: 一是根据实测水文资料, 通过统计暴雨日数, 典型历年最大降水量、年最大洪峰流量和 5 日洪量在各旬出现的频率, 对流域暴雨洪水时程分布特性进行了多方面的综合分析; 二是通过对流域所处地区暴雨形成的天气成因分析, 为前述的统计分析结果提供必要的成因基础。还利用旬平均降雨量的相对系数来确定汛期的起止时间。分析结果表明, 岳城水库控制流域的暴雨洪水时程分布具有比较明显的变化规律, 其中有一个时期暴雨洪水出现的次数多、量级大, 主汛期特征显著, 汛期可以划分为 3 个分期, 即前汛期、主汛期和后汛期。

关键词: 暴雨洪水; 汛期; 分期; 岳城水库; 分布规律

中图分类号: TV122.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-6791(2006)02-0265-06

目前, 在水库的调度运用实践中, 考虑防洪安全是首要的, 兴利效益只是在确保防洪安全的前提下才可以考虑。基于这样的调度运用方式就要求水库在整个汛期(长达数月之久)必须以较低的汛限水位迎汛, 其结果往往导致水库汛期空库引汛, 汛后无水可蓄。实际上, 每年汛期来水虽是随机的, 但是在汛期内的不同时候, 发生洪水的量级大小还是有一定差别的。因此, 传统的在整个汛期对水库仅设定一个汛限水位的做法是否符合汛期暴雨洪水的发生规律, 是否能够利用这种变化规律, 通过分期调度运用和汛限水位的动态控制运用, 以发挥水库的综合利用潜力, 实现洪水资源安全利用, 是值得深入探讨的一个关键问题。本文以海河流域漳河水系的岳城水库控制流域作为研究对象, 试图从暴雨洪水的统计特性和气候成因两个方面来分析水库控制流域暴雨洪水在汛期的时程变化规律, 并利用这些变化规律来探讨水库汛期合理的分期划分方案。

1 岳城水库概况

岳城水库位于漳河干流出山口处, 控制流域面积 18 100 km², 占漳河流域面积的 99.4%。水库控制流域呈扇形, 太行山主脉南北贯穿流域中部, 将流域分东、西两个不同自然地理特性的区域。东区地处太行山东麓, 对东南方向来的暖湿气流有明显的抬升作用, 易产生大暴雨, 是漳河流域产生大洪水的主要地区。西区位于太行山西麓, 东南暖湿气流因受太行山脊线的阻挡对其影响较弱, 影响该区的暖湿气流主要来自西南方向, 出现大暴雨的机会相对较少, 量级也比东区要低。针对上述特点, 以下分析将分东区和西区来讨论。

2 岳城水库暴雨洪水的时程分布统计特性分析

岳城水库入库洪水是由暴雨所致, 研究水库控制暴雨洪水发生的时程变化规律, 是进行水库汛期分期划分的基础。因此, 为了分析岳城水库控制流域的暴雨洪水时程变化规律, 在水库控制流域内选择了 12 个代表性

收稿日期: 2004-11-26; 修订日期: 2005-02-20

基金项目: “十五”国家重大科技攻关计划资助项目(2001BA610A-03); 水利部“948”计划技术创新与转化资助项目(CT200323)

作者简介: 邹 鹰(1961-), 男, 贵州都匀人, 南京水利科学研究所教授级高级工程师, 博士研究生, 主要从事流域水文模拟、工程水文分析计算以及防洪调度决策等研究。E-mail: yzou@nhri.cn

雨量站(其中东区 6 个、西区 6 个)自 1950–2001 年的逐日降水量资料作为暴雨时程变化规律分析的基础资料。另外,选择水库入库洪水控制站观台水文站的天然洪水系列资料作为年最大洪峰流量和典型时段洪量时程变化特征分析的基础资料。

2.1 暴雨日数的时程分布特征

在一般情况下,只有当水库控制流域的降水过程达到暴雨标准时,才有可能产生比较明显的入库洪水过程,因此,暴雨特征在一定程度上可以反映出水库的入库洪水特性。暴雨日数是反映暴雨特征的一个重要指标。暴雨日数是指一年内日雨量达到和超过暴雨标准(50 mm)的降水日数^[1]。根据暴雨日数统计可以分析暴雨在年内出现的频繁程度和集中程度。通过对 12 个雨量站逐年逐日降水资料的统计分析,得到各雨量站暴雨日数的时程分布统计结果,见表 1。从表中可以看出各雨量站的暴雨日数时程分布具有如下特点:

表 1 岳城水库控制流域的暴雨日数表

Table 1 Number of rainstorm days in the drainage basin for Yuecheng Reservoir

项 目	东 区						西 区					
	观台	涉县	下交漳	松烟	天桥断	辛安	横岭	石栈道	蟠龙	故县	石梁	长子
全年暴雨日数	75	61	54	56	56	37	45	37	32	39	43	43
年平均暴雨日数	1.42	1.20	1.10	1.17	1.24	0.76	0.90	0.77	0.65	0.81	0.86	1.08
7月~8月暴雨日数	66	53	49	46	48	34	39	28	27	33	35	32
占全年的百分数	88%	87%	91%	82%	86%	92%	87%	76%	84%	85%	81%	74%
7下~8上暴雨日数	34	25	25	21	25	12	15	12	12	14	16	11
占全年的百分数	45%	41%	46%	38%	45%	32%	33%	32%	38%	36%	37%	26%
7上~8中暴雨日数	63	49	42	40	43	34	34	25	22	29	34	31
占全年的百分数	84%	80%	78%	71%	77%	92%	76%	68%	69%	74%	79%	72%
6下~9上暴雨日数	72	59	53	50	51	36	43	35	30	36	39	40
占全年的百分数	96%	97%	98%	89%	91%	97%	96%	95%	94%	92%	91%	93%
6月~9月暴雨日数	75	60	54	55	55	37	45	37	32	38	42	43
占全年的百分数	100%	98%	100%	98%	98%	100%	100%	100%	100%	97%	98%	100%

(1) 暴雨的发生时间比较集中 7月至8月这两个月多站平均暴雨日数占全年的百分比东区为 88%、西区为 81%,其中7月上旬至8月中旬东区为 80%、西区为 73%。

(2) 多年平均暴雨日数相对较少 多站多年平均暴雨日数东区约为 1.15 d,西区仅约为 0.85 d,这表明岳城水库控制流域东区每年平均就 1 到 2 个暴雨日,西区仅接近 1 个暴雨日。

(3) 暴雨日数的地域分布有所不同 上述统计结果表明,岳城水库控制流域东区暴雨发生时间比西区集中,东区暴雨出现的频次大于西区。

2.2 典型历年最大降水量的时程分布特征

通常 1~7 d 的中长历时暴雨可以形成中等和面积流域的大洪水,本文主要分析 1 d 和 3 d 的年最大降水量在各旬出现的频率。通过这些统计频率,可以从一个方面来反映暴雨的时程变化特征。根据多站平均逐日降水资料分别统计 1 d 和 3 d 的年最大降水量在各旬出现的次数,然后计算其相应的频率,结果列于表 2。

在进行统计时,1 d 的年最大降水量分别取大于 50 mm 和 100 mm 两种暴雨强度作为计次标准,3 d 的分别取大于 70 mm 和 100 mm 作为计次标准(由于岳城水库控制流域面积较大,局部短历时强降雨难以形成水库入库控制站的大洪水过程,另外,通过对岳城水库几次典型洪水的降水过程分析,3 d 的降雨过程中,其中有 1 d 相对比较大外,其余两天相对平均,因此在本文的分析中,没有进一步考虑 3 d 的年最大降水量时程分配过程)。从表中可以看到,1 d 和 3 d 的年最大降水量大于 50 mm 和 70 mm 出现频率超过 80% 以上的时段集中在 7 月上旬至 8 月中旬;1 d 和 3 d 的年最大降水量大于 100 mm 的出现时间全部发生在 7 月上旬至 8 月中旬。通过此项统计分析结果可以看到,岳城水库控制流域 6 月份和 8 月中旬以后发生暴雨的机率比较小,发生大暴雨的情况在所统计的资料中没有出现,这也说明大暴雨发生的时间特别集中。

表 2 岳城水库控制流域典型历时年最大降水量各旬出现频率
 Table 2 Occurrence frequencies of the annual maximum rainfall of typical duration
 in the drainage basin for Yuecheng Reservoir during various ten day

%

时间	1 d		3 d		时间	1 d		3 d	
	> 50 mm	> 100 mm	> 70 mm	> 100 mm		> 50 mm	> 100 mm	> 70 mm	> 100 mm
6 下	5.3				8 中	7.9	9.1	15.8	15.0
7 上	10.5	18.2	13.2	15.0	8 下	5.3		2.6	
7 中	18.4	9.1	7.9	5.0	9 上	7.9		2.6	
7 下	21.1	9.1	31.6	30.0	9 中			2.6	
8 上	23.7	54.5	21.1	35.0	9 下			2.6	

2.3 年最大洪峰流量和典型历时洪量的时程分布特征

岳城水库观台站在 1913- 2001 年期间, 有 89 年不连续年最大洪峰流量和 5 d 洪量系列, 年最大洪峰流量和 5 d 洪量的多年平均值分别约为 1900m³/s 和 2.30 亿 m³。在这 89 年的不连续系列中, 能确定年最大洪峰流量和 5 d 洪量发生时间的有 69 年。根据这 69 年的资料统计分析, 年最大洪峰流量和 5 d 洪量在各旬出现的次数和相应的频率列于表 3。由表可见, 年最大洪峰流量在 7 月上旬至 8 月中旬共出现 53 次, 占整个洪峰系列的 74.7%; 超过其多年平均值在 7 月上旬至 8 月中旬共出现 12 次, 占超过多年平均值系列的 70.6%。5 d 洪量在 7 月上旬至 8 月中旬共出现 54 次, 占整个洪量系列的 78.3%; 超过其多年平均值在 7 月上旬至 8 月中旬共出现 14 次, 占超过多年平均值系列的 77.8%。年最大洪峰流量和 5 d 洪量超过多年平均值在 9 月份出现过 4 次, 年份分别为 1928、1937、1943 年和 1971 年, 其中除 1971 年外, 其它 3 年均均为调查洪水。

表 3 岳城水库年最大洪峰流量和 5 d 洪量在各旬出现的次数和频率
 Table 3 Occurred times and frequencies of the annual maximum flood peak discharges and five day
 flood volumes in the drainage basin for Yuecheng Reservoir during various ten day

年最大洪峰流量								年最大 5 d 洪量									
时间	I		II		时间	I		II		时间	I		II				
	次数	频率/%	次数	频率/%		次数	频率/%	次数	频率/%		次数	频率/%	次数	频率/%			
6 上	2	2.9			8 中	10	14.5			6 上	1	1.4					
6 中	1	1.4			8 下	6	8.7	1	5.9	6 中			8 下	3	4.3		
6 下					9 上	5	7.2	3	17.6	6 下			9 上	4	5.8		
7 上	5	7.2			9 中	2	2.9			7 上	6	8.7	9 中	2	2.9		
7 中	11	15.9	3	17.6	9 下	1	1.4	1	5.9	7 中	8	11.6	3	16.7	9 下	2	2.9
7 下	8	11.6	3	17.6	10 上					7 下	11	15.9	3	16.7	10 上	1	1.4
8 上	17	24.6	6	35.3	10 中	1	1.4			8 上	21	30.4	8	44.4	10 中	2	2.9

注: I 和 II 分别表示全系列和大于多年平均值系列。

3 暴雨洪水形成的天气成因

前面对暴雨洪水统计特性进行了分析, 从中可以看出暴雨洪水发生的时间是比较集中的, 尤其是量级较大的暴雨洪水过程。这样一种统计特性与华北地区暴雨形成的气候条件是一致的。每年 7 月中下旬, 我国雨带北跳到华北北部, 并从 7 月下旬至 8 月中旬一直在华北北部至东北南部停滞少动, 造成华北盛夏雨季。因此, 7 月和 8 月是华北最容易发生暴雨的两个月。我国雨带的移动与副热带高压脊线的移动密切相关。当副热带高压脊线已移动到 30°N 以北, 并且中心位于黄海到日本海一带的情况下, 尤其是当副热带高压稳定少动并配合长波槽加深或西南涡(或西北涡)缓慢移动时, 常常在华北地区造成持续性暴雨。另外, 在 7 月和 8 月间, 特别是 7 月中旬到 8 月中旬, 有时在一定的环流条件下, 热带气旋可以到达华北, 直接(或与西风槽共同作用)造成暴雨; 或是热带气旋尚在较低纬度, 热带气旋倒槽与西风槽相遇也可造成暴雨。

产生华北夏季暴雨的天气系统按成因可分为两类, 一类为西风带系统, 主要包含高空槽(相伴有冷锋)、切变、低涡等; 另一类为热带气旋。西风带系统是造成海河流域产生暴雨机会最多的天气系统, 但其降雨量相对较小。热带气旋形成的暴雨量级很大, 海河流域特大暴雨多与热带气旋有关。岳城水库有实测资料的较大洪水

有 1956、1963、1982、1996 年洪水, 发生时间均在 7 月下旬至 8 月上旬间, 其中 1956、1982、1996 年洪水均为热带气旋所致。

导致 1963 年特大洪水形成的暴雨是从 8 月 1 日开始, 10 日终止, 历时 10 d, 其中绝大部分降水集中在 8 月 2~8 日的 7 d 之内, 可见持续时间还是比较长的。促成本次特大暴雨的因素很多, 其中主要的因素有稳定的环流形势和有利的流场; 天气系统连续叠加及中尺度系统的配合, 本次暴雨大致有 5 个降雨天气过程; 丰沛的水汽条件^[2]。由此可见, 要形成大洪水或特大洪水, 需要具备有利于降水形成的气候条件和多个天气系统的叠加活动。

4 汛期定量起止时间

在我国水利行业, 长期以来一直沿用的汛期的概念是指“江河等水域汛水自始涨到回落的时期。”由于我国各河流所处地理位置和降雨季节不同, 汛期长短不一, 同一条河流的汛期各年也有早有迟。为了做好防汛工作, 相关政府部门根据主要江河涨水情况规定了一个汛期的起止时间, 如海河(南运河)为每年的 6 月 1 日~9 月 30 日^[3]。可以看出, 这个汛期的起止时间划定主要是根据江河涨水情况而做出的一种定性规定。

为了从定量的角度界定雨季和汛期的起止日期, 我国气象部门定义了一个反映旬降水量变化的相对系数作为度量指标^[4]:

$$C_R = R/\bar{R}$$

式中 C_R 为反映旬降水量变化的相对系数; R 为某个站点年内某旬的多年平均降水量; \bar{R} 为某个站点年内平均每旬降水量, 即将该站点的多年平均降水量均匀地分摊到年内的每个旬, 各旬应有的降水量。

当某个站点连续 2 旬或 2 旬以上的时段内, 每旬多年平均降水量大于或等于年内平均每旬降水量的 1.5 倍, 即 $C_R \geq 1.5$ 时, 称为汛期。如果某个站点有两个汛期, 则把出现旬降水量最大峰值的那个时段称为主汛期。

根据上述定义, 利用岳城水库控制流域各代表性雨量站 6 月上旬至 9 月下旬的降雨资料统计得到各站旬降水量变化相对系数的时程分布, 所得结果列入表 4。由表可知, 按气象部门的定义, 岳城水库控制流域各代表站汛期开始于 6 月下旬; 结束时间各站不一, 最早的结束于 8 月下旬, 最迟的结束于 9 月上旬, 东区各站结束时间一般要比西区各站稍早 1 旬。采取外包的原则, 可以定量确定岳城水库控制流域汛期起止时间为 6 月下旬至 9 月上旬。由此可见, 定量确定的汛期起止时间短于前述相关政府部门的规定时间。从表 4 中还可以看出, 7 月上旬至 8 月中旬, 各站的相对系数明显大于其它各旬, 这也充分反映了该段时间的降水特别集中。

表 4 岳城水库控制流域旬平均降雨量相对系数

Table 4 Relative coefficients of ten day average rainfall in the drainage basin for Yuecheng Reservoir

站名	东 区						西 区					
	观台	涉县	下交漳	松烟	天桥断	辛安	横岭	石栈道	蟠龙	故县	石梁	长子
6 月上旬	1.19	0.97	1.26	1.17	0.93	1.22	1.30	1.04	1.24	1.02	1.06	1.38
6 月中旬	0.89	0.69	1.22	0.99	0.90	1.10	1.24	1.01	1.02	1.04	1.03	1.00
6 月下旬	2.33	1.87	1.95	2.50	1.82	2.32	2.25	2.32	2.10	1.95	2.07	2.19
7 月上旬	3.25	3.40	2.75	3.04	3.35	3.02	2.91	2.75	3.44	3.12	3.28	3.14
7 月中旬	2.81	2.77	3.21	2.99	2.92	2.68	3.09	2.58	2.79	2.71	2.56	2.60
7 月下旬	3.44	4.55	3.55	3.69	3.72	3.11	3.38	3.95	3.65	4.09	3.43	3.47
8 月上旬	3.65	4.83	4.30	3.89	4.04	2.42	3.04	2.84	3.28	2.58	2.68	2.82
8 月中旬	2.46	2.68	2.83	2.65	2.62	3.26	2.53	2.86	2.61	2.67	2.45	2.55
8 月下旬	2.22	1.91	2.50	2.58	2.20	2.05	2.59	2.42	2.32	2.45	2.16	2.35
9 月上旬	1.39	1.20	1.66	1.37	1.18	1.68	1.99	1.73	1.55	1.58	1.69	1.83
9 月中旬	1.43	1.03	1.34	1.34	1.23	1.25	1.33	1.45	1.35	1.40	1.48	1.51
9 月下旬	0.89	0.86	1.06	0.89	1.00	1.22	1.14	1.09	1.05	1.11	1.20	1.01

根据上述的汛期定量起止时间, 可以利用表 1、表 2 和表 3 的数据统计该时段各种暴雨洪水的特征指标占全年的百分比, 其中暴雨日数多站平均为 94.1%; 1 d 和 3 d 年最大降水量大于 50 mm 和 70 mm 分别为 100% 和

94.8%, 大于100mm的全部集中在该时段;年最大洪峰流量和5d洪量超过多年均值分别为94.1%和94.4%。由此可见,在该时段内,上述各项特征指标都超过了90%。参照“具体划定各站汛期起、止时段的,则是以控制90%以上大洪水(这里所指的‘大洪水’是指大于和等于年最大洪峰流量多年均值的洪水)次数为准则,……”^[1],我们认为在水库实际调度运用过程中,可以将6月下旬至9月上旬作为水库实际汛期发生时间来参考运用。当然,从上述分析也可以看出,在6月至9月期间,除在6月下旬至9月上旬外,其余时间也有出现洪水的可能,但是不论从前述的统计结果,还是从暴雨洪水形成的天气成因来看,出现大量级暴雨洪水的可能性非常小。

5 汛期分期划分方案与讨论

综合前面的暴雨洪水统计特性分析结果和天气成因分析,可以看到岳城水库控制流域的暴雨洪水时程变化具有如下特点:

(1) 从暴雨日数的时程分布上看,基本上呈单峰型分布,峰值时间出现在8月上旬,全年的暴雨日数大部分出现在7月上旬至8月中旬,东区尤为明显。

(2) 典型历时年最大降水量出现时间主要集中在7月上旬至8月中旬,1d和3d的年最大降水量大于100mm强度的出现时间全部发生在该段时间内。

(3) 从年最大洪峰流量和5d洪量的时程分布可以看出,在7月上旬至8月中旬,洪峰流量出现超过多年平均值的次数占70.6%;5d洪量出现超过多年平均值的次数占77.8%。

(4) 从暴雨洪水形成的天气成因来看,7月和8月是华北最容易发生暴雨的两个月。有实测资料记录的几次大洪水发生时间均在7月下旬至8月上旬间。

基于上述特点,可以看出岳城水库控制流域汛期暴雨洪水具有比较明显的时程变化特征和分期规律,特别是主汛期特征明显。因此,建议岳城水库的汛期可以划分为3个分期,前汛期、主汛期、后汛期。前汛期为6月份;主汛期为7月上旬至8月中旬,后汛期为8月下旬至9月下旬。值得特别注意的是,从8月中旬之后,降水开始明显减少,因此主汛期向后汛期过渡时,有必要安排一个过渡期,该过渡期安排在主汛期的最后一旬是比较适宜的。这种安排主要是考虑从8月中旬之后,水库控制流域的降水开始明显减少,如果不能抓住主汛期的降水,后汛期的蓄水时机不多,而且从暴雨洪水的气候成因来看,水库出现量级较大的洪水都是需要一个比较复杂的天气过程的配合,而现在的水文气象监测技术完全有能力预测预报这种复杂的天气过程,过渡期的具体蓄水策略完全可以通过实时预报调度手段来加以考虑。

另外,从汛期定量判定指标可以看出实际汛期一般应该介于6月下旬至9月上旬,这个结果的意义在于在前汛期的前期和后汛期的后期,水库遭遇较大洪水的可能性是非常小的,这时水库调度应该注重水库蓄水的有效利用和抓住时机增加水库蓄水,同时密切监视天气系统的变化,一旦可能出现多个天气系统的叠加活动或是热带气旋的移动路径有可能影响华北地区,水库立即采取预泄措施及时预泄水库超蓄水量,以策安全。

水库汛期的防洪兴利调度问题十分复杂,特别是提高水库的兴利蓄水效益不应该以牺牲水库的防洪安全作为代价,而是应该探索如何更好地利用暴雨洪水的时程变化特征来协调防洪安全与兴利蓄水的矛盾。本文正是基于这样一种考虑做了一些探索工作,研究的内容实际上只是从规划的层面上探讨了水库汛期防洪兴利调度中的一些关键问题,要真正实现洪水资源的安全利用,还需要进一步研究实时调度层面上的问题。

参考文献:

- [1] 王家祁. 中国暴雨[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.
- [2] 冯 炎. 中国江河防洪丛书——海河卷[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993. 482- 483.
- [3] 中国水利百科全书[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991. 2261.

- [4] 包澄澜, 王德瀚. 暴雨的分析与预报[M]. 北京: 农业出版社, 1981. 75- 190.
- [5] 国家防汛抗旱总指挥部办公室, 水利部南京水文水资源研究所. 中国水旱灾害[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997. 122.

Study on temporal distributing characteristics of rainstorm flood and partition of flood season in the drainage basin of Yuecheng Reservoir^{*}

ZOU Ying^{1,2}, GUO Fang², SHEN Guo-chang², WANG Yi-rong²

(1. *State Key Laboratory of Hydrology-Water Resource and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;*

2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: In this paper, the temporal distributing characteristics of the rainstorm floods in the drainage basin of Yuecheng Reservoir are discussed in two aspects. On the one hand, the temporal distributing characteristics are identified by counting the number of rainstorm days, the estimated frequencies of the annual maximum typical duration rainfall, the flood peak discharge, and the five day flood volume in various terr day according to the observed daily rainfall data and the flood events data. On the other hand, the weather factors of the rainstorm in the drainage basin described in order to validate further the temporal distributing characteristics. The starting and ending time still determined by using the relative coefficients of terr day average rainfall. The results show that there is a distinct pattern of the temporal distributing characteristics in the drainage basin of Yuecheng Reservoir. The rainstorms occur frequently with more volume during one period, so there is an obvious main flood season. The flood season in the drainage basin of Yuecheng Reservoir may be partitioned three flood seasons, namely, the former flood season, the main flood season, and the latter flood season.

Key words: rainstorm flood; flood season; partition of flood season; Yuecheng Reservoir; distribution characteristics

* The study is financially supported by the National Key Technologies R&D Program of China during the 10th Five year Plan Period (2001BA610A-03)