

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20190128

西江流域灾害性暴雨洪水特征及成因分析

陈立华^{1,2,3}, 陈云瑶^{1,2,3}, 滕翔^{1,2,3}

(1.广西大学土木建筑工程学院,广西 南宁 530004; 2.广西防灾减灾与工程安全重点实验室,广西 南宁 530004;
3.广西大学工程防灾与结构安全教育部重点实验室,广西 南宁 530004)

摘要:为探究西江流域暴雨洪水发生规律,根据1994、1998、2005和2008年四场灾害性暴雨洪水实测资料,对暴雨洪水过程进行分析。通过计算暴雨时间、空间变差系数、相对中心和洪水集中度等特征指标定量分析暴雨洪水特性,结合洪水组合和遭遇情况分析洪水成因。分析结果表明:四场暴雨雨量分布不均,降雨历时均大于10d,且暴雨相对中心值呈减小趋势,暴雨中心沿河流向移动易导致灾害性洪水。1998和2005年两场100年一遇洪水均为全流域大量级洪水遭遇导致。两场暴雨均有雨量大、时间变差系数 V_t 值小,时间分布均匀和雨峰系数 C_p 值大,主雨峰峰现时间迟的特点;暴雨中心均有向下游转移的趋势,空间变差系数 V_p 值均趋于增加,空间分布趋于集中。研究结果可为西江流域的水库群联合防洪调度提供科学依据。

关键词:暴雨洪水;特征指标;成因分析;西江流域

中图分类号:TV122+.1

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2020)05-0071-07

西江是珠江流域干流,全长2075km,流域集水面积 $35.31 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。广西境内西江水系干流主要包括红水河、黔江和浔江河段,主要一级支流包括柳江、郁江和桂江。流域内地势西高东低,夏季暴雨强度大、历时长、次数多,洪涝灾害频繁^[1]。根据珠江水利委员会修编的《珠江流域综合规划(2012~2030年)》^[2],1994年西江流域发生了50年一遇大洪水,1998年发生了100年一遇特大洪水,超过100万人受灾,2005年发生的100年一遇特大洪水造成广西、广东共计1260万人受灾,2008年又发生了20年一遇较大洪水。有必要深入分析梧州水文站1915~2015年中大于20年一遇的上述四场灾害性暴雨洪水规律,为西江流域的防汛抗洪工作提供参考。

国内外对暴雨洪水的分析主要是针对单场洪水,利用实测降雨、流量资料,定性分析暴雨洪水过程及特性,总结洪水成因。曲鹏禄^[3]等依据暴雨洪水资料,分析了吉林温德河流域“2010·07”暴雨洪水的特性及水利工程对洪水的调控作用,并对比分析了历史最大暴雨和最大洪水。张锦堂等^[4]通过整理2016年长江流域

安徽段一场暴雨洪水的资料,对暴雨过程、洪水过程及成因进行了分析,并与历史特征年进行了比较。上述研究对暴雨洪水特性的分析是基于实测数据的定性总结,未见定量分析。一些学者利用实测流量资料,对洪水组成和遭遇进行了深入分析。甘富万等^[5]依据多年实测洪水资料,考虑洪水传播时间,全面分析了广西境内西江流域洪水的年内分布特性、组成、干支流洪水遭遇频次及量级等特性。张洪刚等^[6]研究了长江宜昌站、汉口站、大通站的洪水来源与地区组成,探讨了长江上游干支流洪水遭遇和长江上游与中游宜昌-汉口区间两种洪水遭遇情况的类型及其概率,揭示了导致上述洪水遭遇发生的暴雨类型。陈璐等^[7]基于多维Copula函数分别建立了长江流域屏山站、高场站、北碚站及宜昌站洪水发生时间和量级的联合分布,以此估计干支流洪水发生时间和量级遭遇的可能性及条件概率。与实测资料的比较表明,该方法计算结果合理可信。

本研究根据西江流域1994、1998、2005和2008年四场灾害性暴雨洪水的实测降雨、流量数据,分析

收稿日期:2019-04-26

基金项目:国家自然科学基金项目(51669003);广西重点研发项目(桂科AB16380284);国家重点研发计划项目(2017YFC0405900)

作者简介:陈立华(1980-),男,福建三明人,教授,博士,研究方向为流域水文预报与水库优化调度。E-mail:zgfjch@163.com

其降雨和洪水过程,流域干支流及所采用的7个水文站分布情况如图1所示,30个气象站分布情况如图2所示。通过计算降雨时空特征系数、径流系数等特征指标,定量分析降雨时空不均匀程度和流域产流情况,结合干支流来水组合和洪水遭遇情况,对比分析洪水成因,为西江流域的水库群联合防洪调度提供科学依据。

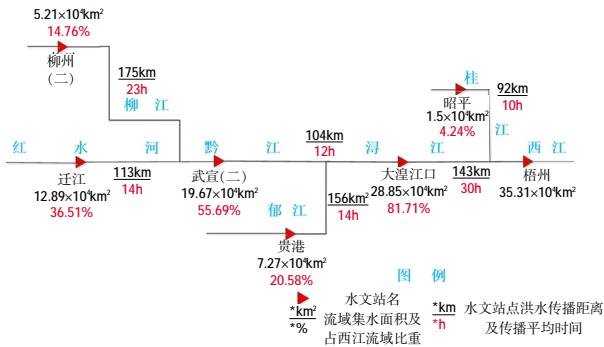


图1 西江流域干、支流及代表水文站分布

Fig.1 Distribution of mainstreams and tributaries and representative hydrometric stations in the Xijiang River basin

1 暴雨洪水特征指标

1.1 暴雨时空特征指标

为了定量表征暴雨洪水时空变化,选取暴雨时间、空间变差系数、洪水集中度等特征指标进行计算。

1.1.1 暴雨时间特征指标

(1)时间变差系数(V_t)^[8]:

$$V_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - 1)^2}{n-1}} \quad (1)$$

式中: S_i 为第*i*天降雨量与该场暴雨平均日降雨量之比; n 为雨量站个数。 V_t 值越大,表明暴雨时间分布越不均匀。

(2)雨峰系数(C_p)^[9]:

$$C_p = \frac{t_m}{T} \quad (2)$$

式中: t_m 为主雨峰出现时间(d); T 为降雨历时(d)。 C_p 值越大,表明雨峰出现位置越靠后。

1.1.2 暴雨空间特征指标

(1)空间变差系数(V_p)^[10]:

$$V_p = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \alpha_i (P_i - P_a)^2}}{P_m} \quad (3)$$

式中: α_i 为泰森多边形面积权重因子; P_i 为第*i*个雨量站的降雨量(mm); P_a 为流域面雨量(mm); n 意义同式(1)。 V_p 值越大,表明暴雨空间分布越不均匀。

(2)相对中心(R_c)^[11]:

$$R_c = \frac{\sum_{i=1}^n P_i L_i}{1000 \times \sum_{i=1}^n P_i} \quad (4)$$

式中: P_i 意义同式(3); L_i 表示第*i*个雨量站到流域出口的直线距离(km)。 R_c 值越大,表明暴雨相对中心距离流域出口越远。

1.2 洪水特征指标

1.2.1 洪水集中度(F_c)^[12]

$$F_c = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} / F_v \quad (5)$$

$$F_x = \sum_{i=1}^n F_{t,i} \times \sin \theta_i \quad (6)$$

$$F_y = \sum_{i=1}^n F_{t,i} \times \cos \theta_i \quad (7)$$

式中: F_v 为洪水总量(m^3); $F_{t,i}$ 为日洪水量(m^3); θ_i 为第*i*天对应的方向,将区间视为一个圆周,逐日平均分配角度。 F_c 值越大,表明洪量集中程度越大。

1.2.2 径流系数 α

根据西江梧州站流量过程线,以场次洪水由起涨到消退的过程为计算时段,用斜线分割法划分地面、地下径流,并计算地面径流深 R 。地面径流深 R 与相应时段的流域面雨量 P_a 的比值为径流系数 α ,其计算公式如下:

$$\alpha = \frac{R}{P_a} \quad (8)$$

2 暴雨洪水过程

2.1 暴雨过程

根据从中国气象网获取的西江流域30个气象站实测降雨数据,利用泰森多边形法计算流域面雨量。统计四场降雨要素如表1所示,气象站点和总降雨量

表1 降雨要素统计

Table1 Essential factors statistics of the rainstorms

场次	历时/d	暴雨中心	暴雨中心总点雨量/mm	总面雨量/mm	日均面雨量/mm	最大1d面雨量/mm	最大3d面雨量/mm	最大3d面雨量占总面积比例
1994	14	融安	610.0	225.3	16.1	37.8	108.2	48.03%
1998	13	融安	865.0	248.3	19.1	45.7	80.7	32.52%
2005	23	柳州	535.7	336.0	14.6	39.6	93.6	27.85%
2008	11	桂林	504.7	225.1	20.5	59.7	97.0	43.09%

分布如图 2 所示。

2.1.1 “94·6”暴雨过程

降雨过程为 6 月 7~20 日,雨量主要集中于柳江和桂江,由东北向西南递减,暴雨中心柳江融安站总点雨量达 610.0mm。降雨区域 7~8 日集中在流域上游北盘江,9~11 日移至下游浔江和西江。12 日红水河及桂江上游降大到暴雨,13~17 日降雨量剧增,降雨区域扩大。13~14 日暴雨区域集中于柳江,13 日暴雨中心河池站点雨量 242.4mm,为本场降雨最大单站日点雨量。15~16 日暴雨区域扩大至红水河中下游、柳江和桂江,15 日面雨量 37.8mm 为本场最大。17 日暴雨区域移至黔江、郁江及桂江上游,18~20 日降雨基本结束。

2.1.2 “98·6”暴雨过程

降雨 6 月 15 日开始,27 日结束。降雨主要集中于柳江和桂江上游,暴雨中心融安站总点雨量达 865.0mm。暴雨区域 16 日位于红水河上游和柳江,17 日移至柳江、郁江和桂江上游。18 日桂江桂林站降大暴雨,点雨量达 204.3mm,19~20 日暴雨区域位于红水河中下游。22 日柳江融安站降特大暴雨,点雨量达 281.5mm,为本次降雨最大单站日点雨量。24 日流域中下游普降大到暴雨,暴雨中心红水河都安站点雨量 214.9mm,流域面雨量达最大值 45.7mm。25 日暴雨区域分散于柳江、桂江和西江,26~27 日降雨减弱。

2.1.3 “05·6”暴雨过程

降雨 6 月 1 日开始,23 日结束,雨量主要集中于红水河下游、柳江、黔江、桂江和浔江,自东向西递减,暴雨中心柳江柳州站总点雨量为 535.7mm。郁江龙州站 2 日降大暴雨。暴雨区域 4 日分散于红水河上游、柳江及郁江,5 日集中于红水河中游、桂江及西江下游。6 日暴雨区域集中至郁江,流域面雨量 39.6mm,为场次最大日面雨量。10~12 日局部地区降暴雨。14~18 日大部地区降中到暴雨,暴雨区域分散于红水河、郁江和西江。19 日暴雨区域集中于桂江和柳江,20 日移至红水河下游、柳江和黔江上游,暴雨中心柳州站总点雨量 181.0mm,为本场降雨最大单站日点雨量。21 日郁江、黔江和浔江降暴雨,22~23 日降雨逐渐结束。

2.1.4 “08·6”暴雨过程

降雨过程为 6 月 7~17 日,降雨区域集中于红水河中下游、柳江和桂江,暴雨中心桂林站总点雨量 504.7mm。暴雨区域 8~9 日分散于红水河、郁江和桂江,10 日集中至桂江和黔江、浔江交界处。12 日流域内普降暴雨到大暴雨,暴雨区域笼罩红水河中下游、柳江、郁江和桂江,暴雨中心桂林站点雨量 243.6mm,流域面雨量达 59.7mm,为本场降雨最大单站日点雨量和流域日面雨量。13 日暴雨区域移至红水河下游、柳江、黔江、桂江、浔江上游及西江下游,16 日集中至红

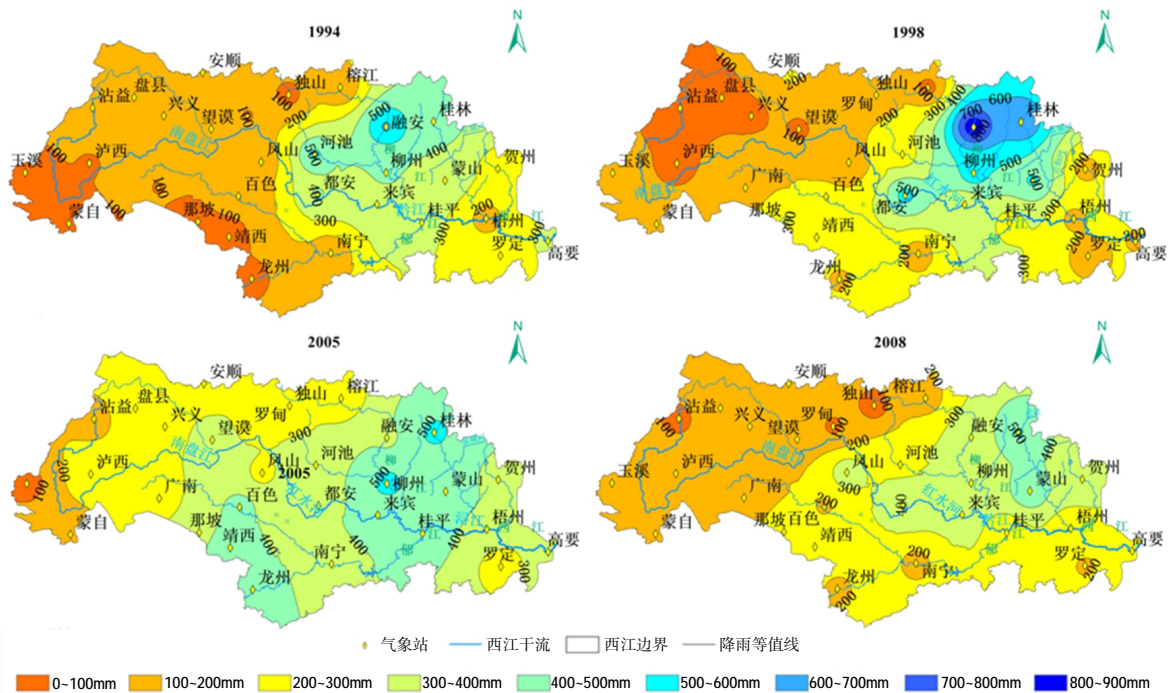


图 2 四场暴雨总降雨量分布 Fig.2. Distributions of the total precipitation of the four rainstorms

水河中游、柳江及郁江中游,17日仅浔江降暴雨。

2.2 洪水过程

根据西江流域7个水文站的实测日平均流量数据分别绘制洪水过程如图3所示,统计梧州站洪水要素如表2所示。

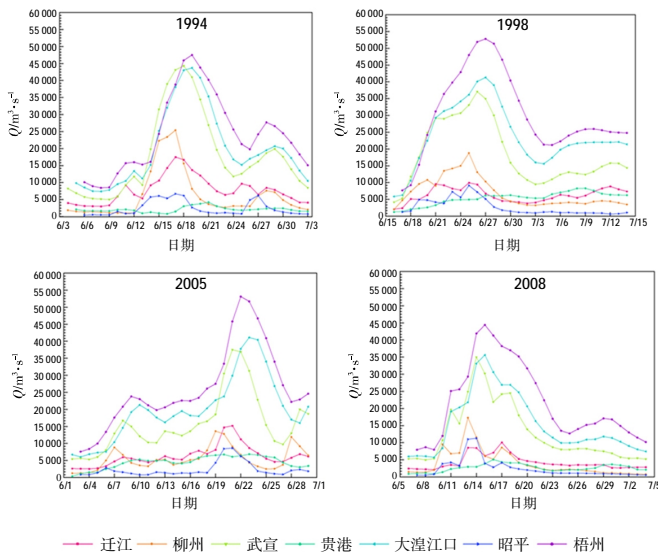


图3 四场洪水过程

Fig.3 The process of four floods

表2 梧州站要素统计

Table2 Essential factors statistics of Wuzhou hydrometric station

场次	起涨日	峰现日	涨洪历时/d	起涨日日均流量/m³·s⁻¹	峰现日日均流量/m³·s⁻¹
1994	6.09	6.19	10	8 590	47 500
1998	6.17	6.27	10	7 670	52 800
2005	6.03	6.22	19	7 590	53 100
2008	6.09	6.15	6	7 970	44 400

2.2.1 “94.6”洪水过程

红水河、黔江、浔江、桂江和西江洪水8~9日起涨,12~17日,流域内降雨量骤增。柳江洪水12日起涨,13日起干支流洪水涨率增大,17~19日达到最大日均流量,分别为17 500m³/s和25 400m³/s;18日黔江武宣站和桂江昭平站达到最大日均流量,分别为44 300m³/s和6 707m³/s;19日浔江大湟江口站和西江梧州站达到最大日均流量,分别为43 700m³/s和47 500m³/s。

2.2.2 “98.6”洪水过程

干支流洪水15~17日起涨,25~27日达到最大日均流量。15日红水河和柳江起涨,16日黔江和浔江起涨,17日桂江和西江起涨。25日红水河迁江站、柳江柳州站和桂江昭平站最大日均流量分别为9 950m³/s、

18 800m³/s和9 134m³/s;黔江武宣站26日最大日均流量37 100m³/s;27日浔江大湟江口站和西江梧州站最大日均流量分别为41 300m³/s和52 800m³/s。

2.2.3 “05.6”洪水过程

干支流洪水3~4日起涨,支流红水河、柳江、桂江于6~8日出现第一次最大日均流量,干流黔江、浔江、西江8~10日达到第一次最大日均流量。柳江柳州站19日最大日均流量13 600m³/s;21日红水河迁江站、黔江武宣站和桂江昭平站最大日均流量分别为15 200m³/s、37 500m³/s和8 638m³/s;浔江大湟江口站23日最大日均流量41 100m³/s;西江梧州站22日最大日均流量53 100m³/s。

2.2.4 “08.6”洪水过程

干支流洪水8~9日起涨,柳江10日达到第一次最大日均流量,13日涨至场次最大日均流量17 300m³/s。红水河迁江站13日达到第一次最大日均流量,17日最大日均流量10 100m³/s。14日桂江昭平站和黔江武宣站最大日均流量分别为11 300m³/s和35 000m³/s;15日浔江大湟江口站和西江梧州站最大日均流量分别为35 600m³/s和44 400m³/s。

3 暴雨洪水特征定量分析

根据式(1)~(8)计算四场暴雨洪水的场次特征指标(见表3),计算暴雨逐日特征指标、面雨量,与梧州站流量过程如图4~7所示。

由表3可以看出,“94.6”暴雨 V_t 值最大,时间分布最不均匀。表1显示最大3d面雨量占总面雨量的48.03%。7~12日面雨量均小于20mm,13~17日面雨量均大于25mm。柳江和桂江、红水河,黔江和浔江、西江分别于12、13、14日出现洪水涨率骤增。降雨过程 V_p 值较大,降雨空间分布不均,总点雨量400~700mm区域仅占流域面积10.73%。表2中1994年起涨流量最大,降水前土壤湿润。12~18日强降雨时段 R_c 值呈减小趋势,暴雨中心由红水河上游逐步向柳江、黔江、桂江转移,移动方向与河流流向基本一致。13~17日 V_p

表3 暴雨洪水特征统计

Table3 Characteristics statistics of the rainstorm flood events

场次	V_t	V_p	R_c	C_p	F_c	α
1994	0.853	0.681	0.336	0.643	0.285	0.446
1998	0.570	0.819	0.345	0.769	0.269	0.504
2005	0.633	0.330	0.369	0.913	0.240	0.463
2008	0.768	0.536	0.352	0.545	0.252	0.496

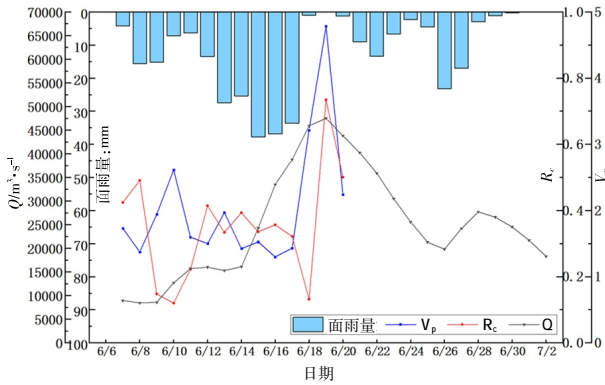


图4 “94.6”暴雨洪水
Fig.4 The “94.6” rainstorm flood

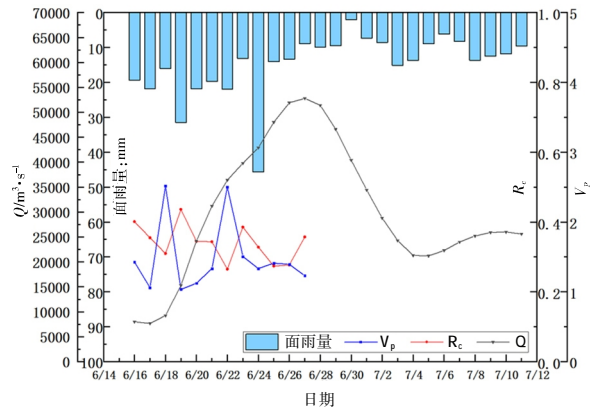


图5 “98.6”暴雨洪水
Fig.5 The “98.6” rainstorm flood

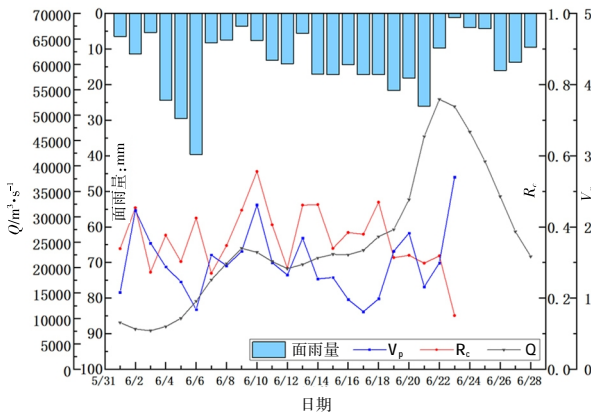


图6 “05.6”暴雨洪水
Fig.6 The “05.6” storm flood

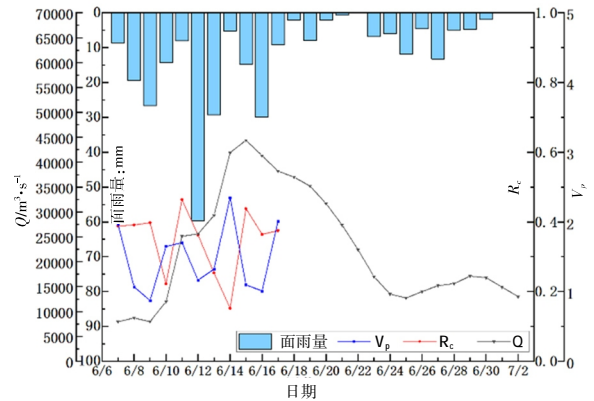


图7 “08.6”暴雨洪水
Fig.7 The “08.6” rainstorm flood

值呈减小趋势,降雨空间分布趋于均匀,由13日柳、桂江集中强降雨转为17日覆盖红水河、柳江、黔江、郁江、桂江等的大面积强降雨。表3中1994年 F_c 值最大,梧州站洪水14~17日以 $5\,300\sim 9\,200\text{ m}^3/\text{s}/\text{d}$ 的涨率急剧上涨,19日涨至洪峰。

“98.6”暴雨 V_1 值最小,降水时间分布均匀,9d面雨量为10~25mm。最大3d面雨量占总面雨量的32.52%,明显少于1994年。同时, V_p 值最大,降雨空间分布不均,总点雨量600~900mm区域仅占流域面积4.1%。由表1~3可知,1998年起涨流量较小,但日均面雨量达19.10mm, α 值最大。 R_c 值按16~18日、19~22日、23~26日分为三个阶段,各阶段内呈递减趋势,暴雨中心向下游转移。19~22日面雨量均大于15mm, V_p 值呈增加趋势,由19日笼罩红水河、柳江和郁江流域的暴雨转为22日集中于柳江上游的大暴雨。黔江、浔江17~20日洪水涨率均大于 $4\,000\text{ m}^3/\text{s}/\text{d}$,梧州站流量18~21日以 $5\,200\sim 8\,900\text{ m}^3/\text{s}/\text{d}$ 涨率上涨。

“05.6”暴雨 V_1 值较小,降水时间分布较均匀。11~

20日间,除13日外,面雨量均为10~25mm。降雨过程 V_p 值最小,降雨空间分布均匀,总点雨量300~600mm区域占流域面积64.28%。 C_p 值最大,主雨峰于21日才出现。2~6日和10~17日的 R_c 值上下波动,暴雨中心在上下游来回摆动, V_p 值呈减小趋势,降雨空间分布趋于均匀。18~23日, R_c 值呈减小趋势,暴雨中心从红水河上游向桂江、柳江、浔江转移, V_p 值呈增加趋势,降雨趋于集中。相应地,19日红水河、柳江和桂江洪水达到最大涨率,分别为 $6\,540\text{ m}^3/\text{s}/\text{d}$ 、 $3\,030\text{ m}^3/\text{s}/\text{d}$ 和 $4\,125\text{ m}^3/\text{s}/\text{d}$ 。19~21日黔江日均涨率为 $9\,500\text{ m}^3/\text{s}/\text{d}$ 。2005年 F_c 值最小,19日以前洪水涨率为 $900\sim 4\,200\text{ m}^3/\text{s}/\text{d}$,涨势较平缓,19~22日以 $5\,900\sim 12\,400\text{ m}^3/\text{s}/\text{d}$ 涨率骤涨至洪峰。

“08.6”暴雨 V_1 值较大,降水时间分布不均。2008年最大1d面雨量为 $4a$ 最大,占最大3d面雨量的61.53%。降雨过程除8~9、12~13和16日以外,其余7d面雨量均小于15mm。 V_p 值较小,降雨空间分布较均匀,总点雨量300~600mm区域占流域面积26.95%。分析表1~3可知,2008年起涨流量较大,前期土壤含水

量较大,日均面雨量最大, α 值较大。 C_p 值最小,雨峰于降雨中期12日出现。 R_c 值按7~10、11~14和15~17日分为三个阶段,各阶段内呈递减趋势,暴雨中心向下游转移。8~9、12~13、16日 V_p 值均较小,为全流域强降雨, R_c 值除13日外均较大,暴雨区域位于红水河、柳江、郁江和桂江。12日红水河、柳江和桂江涨幅为场次最大,分别为 $5\,390\text{m}^3/\text{s}$ 、 $10\,310\text{m}^3/\text{s}$ 和 $7\,690\text{m}^3/\text{s}$,13日黔江、浔江和西江洪水涨幅均大于 $10\,000\text{m}^3/\text{s}$ 。

4 洪水组成及遭遇分析

4.1 洪水组成分析

采用水文分析法,以四场洪水为研究对象,根据最大值法选样,基于各站点的洪水平均传播时间逆向推算,分析梧州站发生洪峰流量时上游各代表站相应的洪水流量,及其占梧州站洪峰的比例。分析结果如图8所示。

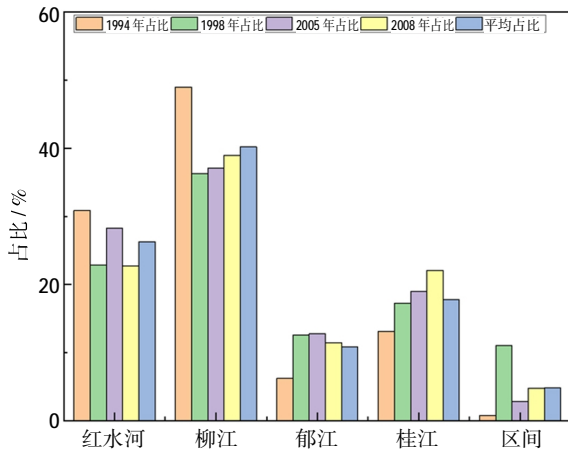


图8 各代表站实测洪峰占比统计

Fig.8 Statistics of flood peak measured by each main representative station

由图8可以看出,上述四场洪水中红水河和柳江来水为西江洪水的主要组成部分,桂江对西江的顶托作用明显。

4.2 洪水遭遇分析

根据4场典型洪水的洪峰数据,基于各站点的洪水平均传播时间逆向推算,分析梧州站上游各代表站相应的洪峰流量,作为梧州各场典型洪水的组合流量。收集各水文站50a以上的长系列洪峰资料,资料在整编过程均进行了“可靠性、代表性、一致性”审查。分析皮尔逊III型频率曲线参数后,计算出各水文站四场洪水遭遇的重现期^[13]。各站频率参数如表4所示,洪水遭遇计算结果见表5。

表4 各水文站洪水频率参数^[13]

Table4 Frequency parameters of each hydrological station

站名	均值 / $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	C_v	C_s	C_s/C_v	站名	均值 / $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	C_v	C_s	C_s/C_v
迁江	13 400	0.3	1.05	3.5	柳州	15 200	0.36	1.26	3.5
武宣	26 900	0.32	1.12	3.5	贵港	9 500	0.32	1.28	4
大湟江口	28 181	0.25	0.71	2.8	昭平	7 055	0.45	2.03	4.5
梧州	32 000	0.23	0.69	3	-	-	-	-	-

由表5可以看出,1994年柳江和红水河遭遇洪水分别为25年一遇和8年一遇,均为4a最大量级,遭遇后黔江洪水达24年一遇。即使郁江、桂江为常量洪水,西江洪水仍达45年一遇。1998年红水河洪水量级小于2005年,柳江、郁江遭遇洪水量级与2005年相近,至浔江洪水分别20年一遇和24年一遇。浔江洪水分别与桂江5年一遇和7年一遇洪水遭遇后,西江洪水为104年一遇和125年一遇。2005年为全流域大量级洪水遭遇,1998年红水河和桂江洪水量级略小于2005年。2008年红水河、柳江和郁江常量洪水汇至浔江洪水频率仅为6年一遇,与桂江9年一遇洪水遭遇后致西江23年一遇洪水。

5 结论

通过计算西江流域四场灾害性暴雨洪水的特征指标定量分析了暴雨洪水特性,结合洪水组合和遭遇情况对比分析了洪水成因,得到的主要结论如下:

表5 洪水遭遇统计^[13]

Table5 Statistics of flood coincidence

年份	迁江	重现期/a	柳州	重现期/a	武宣	重现期/a	贵港	重现期/a	大湟江口	重现期/a	昭平	重现期/a	梧州	重现期/a
1994	17 900	8	26 600	25	44 400	24	3 050	1	43 800	37	7 244	3	49 200	45
1998	10 200	1	19 700	5	37 500	9	5 130	1	41 300	20	9 134	5	52 900	104
2005	15 900	4	16 400	3	38 500	10	6 300	1	41 800	24	10 200	7	53 700	125
2008	9 360	1	17 300	4	33 300	5	2 840	1	34 300	6	11 000	9	46 000	23

(1)西江流域降雨空间分布不均,呈东北向西南递减趋势,柳江和桂江是流域的暴雨中心。红水河和柳江流量之和占梧州洪水比例超过 50%,是西江洪水的主要组成部分。

(2)四场暴雨历时均大于 10d,长历时降雨填充土壤含水量,增加流域产流量。暴雨过程 R_c 值呈减小趋势,暴雨中心向下游转移易使洪水沿程汇集,导致西江发生大洪水。 C_p 值越大,主雨峰位置越靠后,洪水峰值越大。

(3)1994、2008 年降雨总量较小且 V_t 值大,时间分布不均,仅支流红水河、柳江和桂江发生大量级洪水,未导致西江超量级洪水。

(4)洪水量级最大的 2005 年降雨前两阶段暴雨中心在上下游来回摆动,形成多次叠加。1998 和 2005 年两场 100 年一遇洪水的降雨均有雨量大、 V_t 值小,时间分布均匀和 C_p 值大,主雨峰出现晚的特点, R_c 值均有减小趋势, V_p 值均有增加趋势,暴雨中心逐日向流域出口转移,且空间分布趋于集中,导致全流域大量级洪水遭遇,下游干流洪水骤涨,最终造成 100 年一遇大洪水。

洪灾的发生是流域下垫面条件、降雨历时、强度、时空分布和干支流洪水遭遇等因素综合影响的结果。如何考虑洪水量级对洪水传播时间的影响,精确计算干支流洪水遭遇流量,定量分析洪灾风险传递规律,预测洪水峰值及出现时间仍是需要进一步研究的科学问题。

参考文献

- [1] 广西壮族自治区水利电力勘测设计研究院, 武汉大学水资源与水工程科学国家重点实验室. 广西西江流域水库群联合防洪优化调度研究[R]. 2014. (Guangxi Water & Power Design Institute, State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University. Study on optimal operation of reservoir group combined flood control in Xijiang River basin in Guangxi [R]. 2014. (in Chinese))
- [2] 水利部珠江水利委员会. 珠江流域综合规划(2012-2030年)[R]. 2013. (Pearl River Water Resources Commission of the Ministry of Water Resources. Comprehensive planning for the Pearl River basin (2012-2030) [R]. 2013. (in Chinese))
- [3] 曲鹏禄,王宇丽,韩丽芹,等. 温德河流域“2010·07”暴雨洪水分析[J]. 水文, 2012,32(2):91-94. (QU Penglu, WANG Yuli, HAN Liqin, et al. Analysis of “2010·07” storm flood in Wendehe River basin[J]. Journal of China Hydrology, 2012,32(2):91-94. (in Chinese))
- [4] 张锦堂,李京兵,方泓,等. 长江流域安徽段 2016 年暴雨洪水成因分析[J]. 水文, 2017,37(6):91-96. (ZHANG Jintang, LI Jingbing, FANG Hong, et al. Genesis analysis of rainstorm flood in Anhui Reach of Yangtze River in 2016 [J]. Journal of China Hydrology, 2017,37(6):91-96. (in Chinese))
- [5] 甘富万,胡秀英,刘欣,等. 广西境内西江流域洪水特性分析[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2015,40(1):244-250. (GAN Fuwan, HU Xiuying, LIU Xin, et al. Analysis on flood characteristics of the Xijiang River in Guangxi [J]. Journal of Guangxi University: Nat Sci Ed, 2015,40(1):244-250. (in Chinese))
- [6] 张洪刚,郭海晋,欧应钧. 长江流域洪水地区组成与遭遇规律研究[J]. 人民长江, 2013,44(10):62-65. (ZHANG Honggang, GUO Haijin, OU Yingjun. Research on composition and encounter laws of flood in Yangtze River Basin [J]. Yangtze River, 2013,44(10):62-65. (in Chinese))
- [7] 陈璐,郭生练,张洪刚,等. 长江上游干支流洪水遭遇分析[J]. 水科学进展, 2011,22(3):323-330. (CHEN Lu, GUO Shenglian, ZHANG Honggang, et al. Flood coincidence probability analysis for the upstream Yangtze River and its tributaries[J]. Advances in Water Science, 2011,22(3):323-330. (in Chinese))
- [8] 林木生,陈兴伟,陈莹. 晋江西溪流域洪水与暴雨时空分布特征的相关分析[J]. 资源科学, 2011,33(12):2226-2231. (LIN Musheng, CHEN Xingwei, CHEN Ying. Regression analysis of flood response to the spatial and temporal variability of storm in the Jinjiangxixi watershed [J]. Resources Science, 2011,33(12):2226-2231. (in Chinese))
- [9] 胡子琛,刘曙光,钟桂辉,等. 太湖流域平原河网降雨时程分布变化的洪水响应[J]. 长江科学院院报, 2018,35(11):46-51. (HU Zichen, LIU Shuguang, ZHONG Guihui, et al. Flood response to temporal variation of precipitation in Plain River network region in Taihu Lake drainage basin [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2018,35(11):46-51. (in Chinese))
- [10] 魏林宏,郝振纯,李丽. 降雨空间尺度对径流模拟的影响研究[J]. 水资源与水工程学报, 2006,(6):19-23. (WEI Linhong, HAO Zhenchun, LI Li. Study on effects of spatial scale of rainfall to runoff simulation [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2006,(6):19-23. (in Chinese))
- [11] Neil McIntyre, Aisha Al-Qurashi, Howard Wheat. Regression analysis of rainfall-runoff data from an arid catchment in Oman [J]. Hydrological Sciences Journal, 2007,52(6):1103-1118.
- [12] 胡彩虹,王纪军,詹发竹,等. 中小流域汛期降水时空分布集中度与洪水关系研究[J]. 水文, 2009,29(4):14-21. (HU Caihong, WANG Jijun, ZHAN Fazhu, et al. Study on relationship between flood and precipitation concentration degree in time and space in medium-and small-sized river basins [J]. Journal of China Hydrology, 2009,29(4):14-21. (in Chinese))
- [13] 陈立华,滕翔,潘子豪,等. 西江流域梧州站干支流洪水组成及遭遇规律分析[J]. 水文, 2019,39(6):80-84. (CHEN Lihua, TENG Xiang, PAN Zihao, et al. Composition and encountering law of floods at Wuzhou station from main stream and tributaries in Xijiang River basin [J]. Journal of China Hydrology, 2019,39(6):80-84. (in Chinese))