

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2025.01.003

浙江省主要流域洪峰流量特征及其统计参数 空间变化分析

黄志珍, 敖 谦, 元晓华, 吴珍梅

(浙江省水文管理中心, 浙江 杭州 310009)

摘要: 为提升浙江省水灾害防御能力, 从全省主要流域角度分析了洪峰流量及其统计参数(变差系数和洪峰模数)的空间变化特征, 并建立了不同频率洪峰流量及其统计参数与集水面积的相关关系。结果表明: 各流量站流量频率分析结果与相关规划设计值一致性较好; 各流量站不同频率流量及流量平均值与集水面积呈正相关关系, 且不同频率流量和集水面积间的正相关关系可用幂指数表示、双对数线拟合; 变差系数、洪峰模数与集水面积呈负相关关系; 在双对数拟合线图中, 台风雨径流区拟合线位于最上端, 梅雨径流区次之。

关键词: 洪峰流量特征; 统计参数; 空间变化; 浙江省

中图分类号: TV125

文献标志码: A

文章编号: 1000-1980(2025)01-0018-07

Spatial variation analysis of peak discharge characteristics and statistical parameters in main basins of Zhejiang Province

HUANG Zhizhen, AO Qian, YUAN Xiaohua, WU Zhenmei

(Hydrology Administration Center of Zhejiang Province, Hangzhou 310009, China)

Abstract: To improve the capability of water disaster prevention and control in Zhejiang Province, the spatial distributions and variations of the peak discharge of different frequencies and its statistical parameters in different river basins were analyzed, and the correlations between different peak discharge frequencies and its statistical parameters and catchment areas were established. The results show that calculated results of peak discharge frequencies are in good agreement with design values in relevant planning, verifying the reasonability of the calculated results. For all the discharge stations, the peak discharge of different frequencies and the average value of the peak discharge are positively correlated with the catchment area. For the positive correlation between peak discharge frequencies and the catchment area, it could be expressed by a power exponent equation and fitted by a double logarithmic line. The coefficient of variation and the peak modulus are negatively correlated with the catchment area. In the figure of the double logarithmic line, the fitted line for the typhoon runoff region is located at the top, below which is the fitted line for the Meiyu runoff region.

Key words: peak discharge characteristics; statistical parameters; spatial variation; Zhejiang Province

浙江省地处我国东南沿海, 位于长江三角洲经济发达地区, 近年 GDP 一直稳居全国第 4 位。然而因其独特的自然地理条件、气候条件及大规模的人类活动, 浙江洪涝台潮多种水灾害多发、频发。作为水灾害防御的“耳目”和“哨兵”——水文, 从其长期积累的大数据中对灾害发生特点及规律进行分析, 将大大助力水灾害防御能力提升。洪峰流量是洪水的重要特征之一, 它不仅反映了洪水强度, 也预示了防洪级别。基于历史长系列数据的洪峰流量特征和统计参数空间变化分析对汛期汛情研判、科学合理的调度决策至关重要。

已有的水文流量特征研究有两类: 第一类, 关注流量的时序变化特征, 也是研究较多的一类, 如李华贞等^[1]分析了北江流域日流量序列的突变性和趋势性; 周炜兴等^[2]基于 6 个水文站日均流量资料, 分别统计各水文站流量经验频率分布, 检验 8 种概率密度函数适用性, 并讨论了三峡水库蓄水前后流量频率分布特征

作者简介: 黄志珍(1979—), 女, 正高级工程师, 博士, 主要从事水文水资源研究。E-mail: jennyhz@126.com

引用本文: 黄志珍, 敖谦, 元晓华, 等. 浙江省主要流域洪峰流量特征及其统计参数空间变化分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2025, 53(1): 18-24.

HUANG Zhizhen, AO Qian, YUAN Xiaohua, et al. Spatial variation analysis of peak discharge characteristics and statistical parameters in main basins of Zhejiang Province[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2025, 53(1): 18-24.

与造床流量的关系;郭华等^[3]分析了鄱阳湖流域年最大流量、高于阈值的洪峰流量和枯水流量的变化趋势;韩长峰^[4]采用 Mann-Kendall(以下简称 MK)趋势检验和 Morlet 方法分析了腰古站年平均流量趋势及多时间尺度周期变化;王欢^[5]运用线性趋势分析、回归分析等方法分析了黄河源区流量变化特征,并研究了气候因子变化对流量的贡献;顾西辉等^[6]分析了主要低频气候因子对珠江流域年均流量和洪峰流量的影响及其影响量级;叶婷等^[7]采用高流量、平均流量和低流量等 7 个流量指标表征径流变化特征,运用 MK 趋势检验、滑动 T 检验识别各流量指标的突变年份,并利用推导出的流量指标变化微分方程定量识别气候变化与人类活动对径流变化的贡献率,分析人类活动对径流特征变化的驱动机制;沈嘉聚等^[8]采用机器学习方法计算径流对降水与气温变化的敏感性,并与多元线性回归法和 Budyko 框架法进行对比,分析降水与气温变化对径流变化的贡献。此类研究主要对某一流域或某一水文站单对象的日、年时间尺度最大或平均流量的时序性周期变化特征进行分析并研究气候等相关因素的影响,但对省域层面多个流域各代表站年尺度最大流量特征进行分析的报道较少。第二类,关注流量的空间变化规律,如吴承君等^[9]以乌江流域为例,通过建立河道控制断面生态流量与流域面积的相关关系,研究生态流量的空间变化规律;胡可可等^[10]以 3 条典型季节性内陆河为研究对象,利用 QP 法、Tennant 法等水文学方法,计算确定河流生态基流,并据此分析其时空分异特征与影响因素。此类研究以生态流量方面居多,但对年最大流量的空间变化规律研究少见报道。

防汛实战中,尤其省域层面的防汛决策、指挥调度,不仅需关注多个流域构成的复杂对象,还需掌握全省流量特征及其统计参数的空间变化规律,因此本文以省域层面水灾害防御需求为导向,从全省主要流域空间尺度,结合长系列历史资料,分析浙江省主要流域年最大流量特征及其统计参数在不同类型降水区域的空间变化规律,建立各频率流量及其统计参数与集水面积的相关关系,以期掌握浙江省水灾害发生特点及汛期汛情快速研判、调度决策提供参考。

1 研究区概况

浙江省陆域面积 10.56 万 km^2 ,地形为“七山一水二分田”。地势自西南向东北倾斜,西南高,东北低,西南山地主要山峰海拔多在千米以上。中部以丘陵为主,大小盆地错落于丘陵河谷之间。北部和东部为冲积平原,地势平坦,河湖相连,水网密布。按地表形态的相似性和地域间的差异性,全省大致可分为浙北平原、浙西丘陵、浙东丘陵、中部金衢盆地、浙南山地、东南沿海平原及滨海岛屿等 6 个地形区。浙江的山脉属岭南山系,分北、中、南 3 支进入浙江,这些山脉不仅构成浙江地貌的基本骨架,而且多是省内各江河的发源地。浙江独特的地形地貌形成了发达的水系,河湖众多;集水面积 1 000 km^2 以上的水系主要有 8 条:钱塘江、甌江、椒江、苕溪、甬江、飞云江、鳌江和运河(杭嘉湖东部平原)。八大水系中,除苕溪及长兴平原水系流入太湖,其余均流入东海。浙江山溪性河流因其独特的地势而呈现源短坡陡流急的特点,如遇大暴雨,山溪性河流往往暴涨暴落,洪峰流量极大,其洪峰模数在全国亦属高值区。平原河网主要分布于杭嘉湖、萧绍甬及温台等地区^[11-12]。

浙江省属于典型的亚热带季风气候,降水丰沛,多年平均年降水量为 1 603.8 mm,为全国降水量较多地区。浙江省降水时空分布不均,自西向东、自南向北递减,山区大于平原,沿海山地大于内陆盆地。降水年内分配很不均匀,主要集中在 4—9 月的梅汛期和台汛期,降水量占全年的 65%,易发生洪涝、洪潮等灾害。按降水成因大致可将全省分为梅雨主控区、台风雨主控区和梅雨台风雨兼容区 3 大雨区。梅雨主控区主要包括苕溪、钱塘江中上游、甌江中上游丽水以上地区,降水年内分配呈单峰,雨峰出现在 3—6 月或 4—7 月。台风雨主控区主要包括甬江、曹娥江下游、椒江中下游、甌江下游及飞云江、鳌江一带,降水年内呈双峰,雨峰分别出现在 3—6 月(春雨、梅雨)和 8—9 月(台风雨)。梅雨台风雨兼容区主要包括钱塘江下游、椒江上游、甌江中游丽水以下地区,降雨年内呈双峰,雨峰分别出现在 3—6 月和 8—9 月^[13]。

2 研究数据与方法

2.1 研究数据

综合浙江省省情、水雨情、地形地貌条件,从浙江省八大水系中选取对防洪影响较重要的山区河流及典型平原作为研究区域,并选取 21 个代表流量站的流量作为研究对象(图 1)。流量资料均源自经过合理性分析、整编、复审、汇编正式刊布的《中华人民共和国水文年鉴》。实测流量资料大多在 60 年以上,涵盖丰、平、

枯水年;部分站点历史上受水利工程等影响,测站控制明显改变,使水文资料的连续性、一致性遭到破坏,不得已进行迁站,这部分站点取用长系列流量资料时,采用面积指数法做统一转换修正,从而延长资料系列。综上,所选资料总体而言具有较好的可靠性、代表性、连续性和一致性。

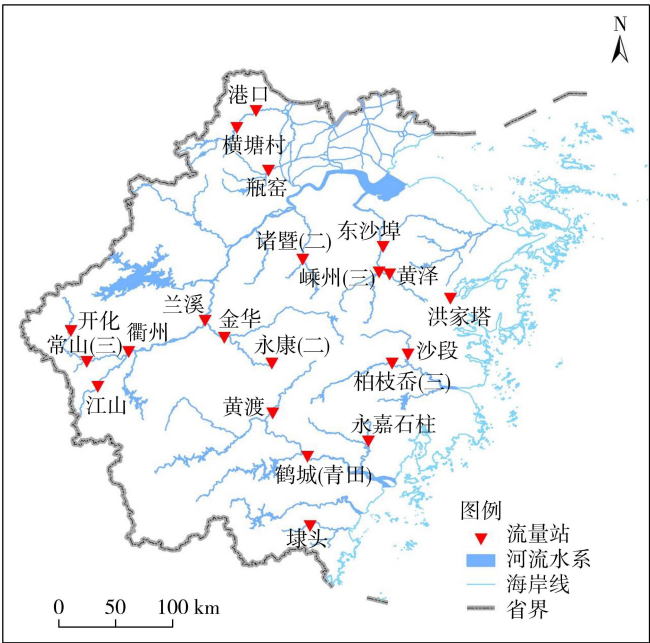


图 1 浙江省 21 个代表流量站分布

Fig. 1 Distribution map of 21 representative discharge stations in Zhejiang Province

2.2 研究方法

2.2.1 流量特征及其统计参数空间变化分析方法

a. 不同频率的流量计算。采用年最大值法取样,获得各防洪控制站流量频率分析的实测样本系列。实测流量系列经补充、修正、连续性分析,同时为增强有限统计年份中样本代表性,加入历史调查大洪水资料,从而组成流量频率分析的数据系列。采用 P-Ⅲ型曲线适线,计算全省 21 个流量站 1%、2%、5%、10%、20%、50% 共 6 种频率流量,得到相应的统计参数变差系数 C_v 、偏态系数 C_s ,并将各频率流量值与流域综合规划、流域防洪规划、城市防洪规划中相关结果作比照,验证结果合理性。

b. 流量特征及其统计参数空间变化。采用不同频率流量、流量平均值、 C_v 、洪峰模数与集水面积相关关系,不同频率流量与集水面积的幂指数关系,分析流量特征及其统计参数空间变化。

2.2.2 连续性分析方法

流量特征分析的首要前提是流量系列资料的连续性分析,尤其当水文测站在河流上下游迁移时,要将迁移前后资料统一到一个系列进行分析。

流量系列转换与延长方法主要有流量直接移用法和面积指数法。本文将迁站前站点定义为参照站,迁站后站点定义为计算站。①流量直接移用法,即当参照站和计算站集水面积相差不大(两站集水面积差值占计算站集水面积比例在 3% 以内(含 3%)),且两站区间无较大支流汇入时,参照站流量可直接移用,作为计算站流量。如,苕溪流域港口流量站集水面积 1970 km²,于 1997 年 1 月 1 日从上游范家村站(集水面积 1940 km²)迁至此,两站集水面积差值占计算站集水面积比例在 3% 以内,加之两站间河段的槽蓄作用,洪水未发生漫滩,故范家村站流量直接移用为港口站流量,不作修正。②面积指数法,即 $Q_1 = (F_1/F_2)^n Q_2$,其中 F_1 、 F_2 分别为迁站前后两站集水面积, Q_1 、 Q_2 分别为迁站前后两站洪峰流量, n 为指数,由流量站多年实测资料统计分析推求,本文取 0.6(集水面积在 500 km² 以上)。当参照站和计算站集水面积相差较大,即两站集水面积差值占计算站集水面积比例超过 3%,但不大于 20%,且暴雨分布较均匀时,流量资料不直接移用,需要采用面积指数法将参照站流量转换为计算站流量^[14-15]。如,钱塘江流域江山站集水面积 1454 km²,从下游双塔底站(集水面积 1561 km²)迁来,两站集水面积差值占计算站集水面积比例为 3% 以上。故将双塔底站流量采用面积指数法转换为江山站流量。

全省 21 个流量站中历史上发生过迁站且需进行流量系列转换延长的站点主要包括苕溪流域港口站,钱塘江流域开化、常山(三)、江山、永康(二)、武义、嵊州(三)、东沙埠站,椒江流域沙段站和瓯江流域鹤城(青田)站。

3 结果与分析

3.1 历史调查大洪水流量资料

流量系列资料频率分析前,除需对资料作系列一致性分析外,对历史上洪涝台灾害频发,尤其是发生过历史大洪水的站点,还需进一步补充历史调查大洪水洪峰流量数据。为提高流量频率分析精度,必须扩大样本容量、展延实测系列,在各流量站实测流量系列中加入历史调查大洪水流量资料,扩充流量频率分析的样本总体,增强资料代表性。经查阅资料^[16-17],相关站点的历史调查大洪水洪峰流量及峰现时间见表 1。

3.2 不同频率流量

对各流量站作频率适线,得出各站频率流量(表 2)。全省 21 个流量站统计参数取值: C_v 的取值范围,全省为 0.44~0.98,平均为 0.66,其中横塘村站最大(0.98),洪家塔其次(0.95),永康(二)第三(0.90),其余均在 0.90 以下。为遵循浙江省地区规律和工程设计值分布规律,且适线方便,根据经验, C_s 一般取 C_v 的倍数(0.5 的若干倍),全省取 $2C_v$ 、 $2.5C_v$ 或 $3C_v$ 。各流量站频率流量分析成果与流域综合规划、防洪规划、排涝工程规划中相关结果一致性较好,故各流量站不同频率的流量计算结果总体较合理。

表 1 代表站历史调查大洪水洪峰流量及峰现时间

Table 1 Flood peak discharge and appearance time of historical flood investigation for representative stations

流 域	迁站前 站名	调查数据		可靠程度	迁站后 站名
		洪峰流量/ (m ³ /s)	峰现 时间		
苕溪	范家村	1 310	1922 年	可靠	港口
		1 150	1938 年	可靠	
		1 080	1956 年	可靠	
		976	1954 年	可靠	
		1 250	1963 年	实测	
钱塘江	双塔底	4 400	1942 年	较可靠	江山
		2 960	1955 年	可靠	
		2 520	1969 年	实测	
瓯江	垵仁	30 400	1912 年	较可靠	鹤 城
		25 400	1912 年	较可靠	
		23 000	1952 年	可靠	
		22 500	1922 年	较可靠	
		17 300	1900 年	较可靠	
		16 100	1962 年	实测	

表 2 21 个流量站各频率流量和统计参数计算结果

Table 2 Calculated results of discharge and statistical parameters for 21 discharge stations

流域	站 名	集水面积/km ²	频率流量/(m ³ /s)						C_v	C_s/C_v
			1%	2%	5%	10%	20%	50%		
苕溪	瓶窑	1 420	1 088	993	861	753	635	444	0.44	2.0
	横塘村	1 316	3 773	3 160	2 362	1 773	1 206	518	0.98	2.5
	港口	1 970	1 711	1 547	1 320	1 137	939	625	0.50	2.0
钱塘江	开化	816	4 244	3 751	3 084	2 564	2 022	1 234	0.59	2.5
	常山(三)	2 336	7 634	6 871	5 826	4 996	4 109	2 755	0.48	2.5
	江山	1 454	4 256	3 733	3 034	2 497	1 950	1 189	0.58	3.0
	衢州	5 424	11 603	10 386	8 732	7 438	6 080	4 080	0.47	3.0
	永康(二)	978	2 767	2 307	1 713	1 281	872	403	0.90	3.0
	金华	5 953	8 167	7 277	6 068	5 115	4 111	2 620	0.54	2.5
	兰溪	18 233	20 560	18 605	15 915	13 766	11 454	7 880	0.45	2.5
	诸暨(二)	1 719	1 980	1 768	1 482	1 258	1 024	682	0.48	3.0
	嵊州(三)	2 280	5 749	4 926	3 844	3 033	2 232	1 205	0.72	3.0
	黄泽	542	2 874	2 461	1 915	1 503	1 090	548	0.81	2.5
	东沙埠	3 302	7 718	6 667	5 277	4 227	3 176	1 791	0.67	3.0
	柏枝岙	2 475	11 522	9 988	7 944	6 381	4 790	2 612	0.72	2.5
椒江	沙段	1 482	6 698	5 696	4 379	3 391	2 414	1 159	0.86	2.5
	黄渡	1 270	6 914	5 807	4 372	3 318	2 310	1 113	0.85	3.0
瓯江	青田(鹤城)	13 448	27 827	24 500	20 027	16 586	13 057	8 108	0.56	3.0
	永嘉石柱	1 273	11 780	10 111	7 903	6 230	4 553	2 330	0.79	2.5
鳌江	埭头	346	4 317	3 848	3 206	2 696	2 151	1 319	0.60	2.0
浙东沿海诸河	洪家塔	151	2 834	2 382	1 793	1 356	932	412	0.95	2.5

注:为更精准分析第 3.3 节中流量特征及其统计参数空间变化,表中流量数值不进行有效位数修约。

3.3 流量特征及其统计参数空间变化规律

各地降水成因的不同造成各地径流年内分配差异明显。对应 3 大雨区,全省可分为 3 大径流区:梅雨径

流区、台风雨径流区、梅雨台风雨兼容径流区^[18]。由表3可知,台风雨径流区和梅雨台风雨兼容径流区流量的 C_v 平均值(反映流量的平均相对离散程度)总体比梅雨径流区大,其中台风雨径流区最大。 C_v 主要与径流区的主控雨型空间分布均匀性有关,相对台风雨而言,梅雨往往空间覆盖面更广、降雨更均匀、持续时间更长,故梅雨期往往会发生一个水系的多个干支流或多个水系同时发生洪水,因此梅雨径流区流量的平均相对离散程度较小;而台风雨影响范围受台风活动路径及风圈规模、活动方式影响,一般降雨影响范围较集中,持续时间较短,故台风雨径流区和梅雨台风雨兼容径流区流量平均相对离散程度较大。

本文将从两大方面分析流量特征及其统计参数的空间分布规律:①各流量站不同频率流量及其统计参数(平均值、 C_v 、洪峰模数)与集水面积相关关系,②各流量站不同频率流量与集水面积的幂指数相关关系。

3.3.1 不同频率流量及统计参数与集水面积相关关系

洪峰模数定义为控制站的洪峰流量与该控制站以上集水面积的比值,即单位面积上通过的洪峰流量;分析其分布规律是防汛指挥决策中对洪灾进行定量分析、开展山洪灾害治理常用的重要手段和便捷方法之一。本文引入洪峰模数及频率分析中常见的统计参数平均值和 C_v ,对流量特征及统计参数空间变化规律进行分析。以代表站较多的钱塘江干流为例,分析各主要防洪控制站的1%频率流量、流量平均值、 C_v 和洪峰模数与集水面的相关性。

由图2(以1%频率流量为例,开化、常山(三),衢州、兰溪流量站的集水面积分别为816、2336、5424、18233 km²)可知,从干流上游开化站至中游兰溪站,1%频率流量和流量平均值均随着集水面积增大呈上升趋势,即与集水面积成正相关关系; C_v 和洪峰模数则随着集水面积增大呈下降趋势,即两者与集水面积均为负相关关系。 C_v 的空间变化符合“对于一般水文变量(如流量、径流量、降水等),通常集水面积大的流域 C_v 比小流域的小,如下游站比上游站 C_v 要小一些”的规律,这同时也表明表2的参数 C_v 取值总体较合理,由此确定出的流量频率分析成果也总体较合理。

3.3.2 不同频率流量与集水面积幂指数相关关系

因各流量站不同频率的洪峰流量与其集水面积间存在较好的正相关关系,且两者数值基本呈同步数量级增长,因而本文采用双对数坐标分析两者间关系(图3,以1%频率流量为例)。根据全省径流类型分区,将21个流量站按3种径流区分类,其中台风雨径流区代表站包括柏枝岙、沙段、青田(鹤城)、永嘉石柱、埭头、洪家塔,梅雨径流区代表站包括瓶窑、横塘村、港口、开化、常山(三)、江山、衢州、永康(二)、金华、兰溪,梅雨台风雨兼容径流区代表站包括诸暨(二)、嵊州(三)、黄泽、东沙埠、黄渡。因梅雨和台风雨兼容径流区代表站与梅雨径流区代表站较接近,故将其合并入梅雨径流区统一拟合趋势线。图3中呈现的两条比较清晰的双对数关系拟合线分别为台风雨径流区和梅雨径流区的1%频率流量与集水面积关系线。

金华江代表站(永康(二)、金华)较为特殊,1%频率流量值比台风雨、梅雨径流区偏低。原因主要为:①两站

表3 不同径流区流量统计参数变化范围

Table 3 Variation ranges of discharge statistical parameters for different runoff regions

径流区	C_v		C_s/C_v
	范围	平均	
梅雨径流区	0.44~0.98	0.59	2.0,2.5,3.0
台风雨径流区	0.56~0.95	0.75	2.0,2.5,3.0
梅雨台风雨兼容径流区	0.48~0.85	0.71	2.5,3.0

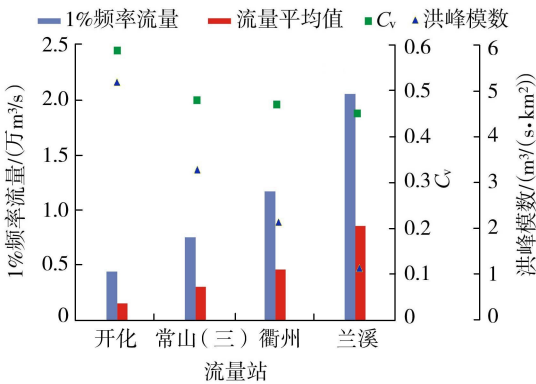


图2 钱塘江干流各代表站1%频率流量、流量平均值、 C_v 及洪峰模数分布

Fig. 2 Distributions of discharge with frequency of 1%, average value, C_v and flood modulus for representative stations in Qiantang River main stream

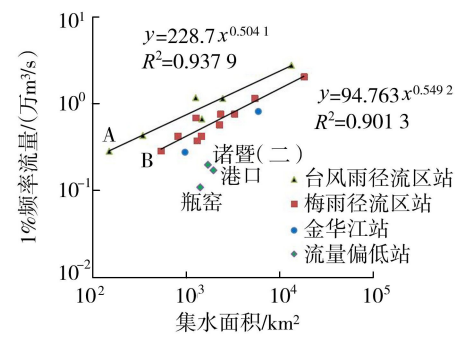


图3 浙江省各径流区代表站1%频率流量和集水面积双对数拟合图

Fig. 3 Double-logarithmic fitting diagram of 1% frequency discharge and catchment area for different runoff regions in Zhejiang Province

上游有多座大型或中型水库,拦蓄了较多洪水,起到较好的拦洪削峰作用,使得流经两站流量减少;②两站所处区域为梅雨和台风雨径流区交界处,非梅雨最集中区域,同时东面的大盘山对台风从海上带来水汽有一定的阻挡作用,因此比全省其他区域降水量偏少,故两站的 1% 频率流量比台风雨、梅雨径流区偏低。此外,瓶窑、港口、诸暨(二)3 个站更为特殊,1% 频率流量值为全省低值,比台风雨、梅雨径流区、金华江站点明显偏低,原因主要有:①瓶窑站。一是苕溪上游南、中、北苕溪共建有 1 座大型水库(青山水库)和 3 座中型水库(里畈、水涛庄和四岭),拦蓄了较多洪水,起到了较好的拦洪削峰作用,使得瓶窑站流量减少;二是当苕溪上游来水洪峰流量大时,位于瓶窑站上游的余杭站附近有南湖、北湖蓄滞洪区开闸蓄洪,也减少了瓶窑站流量;三是苕溪流至瓶窑站地势较低平,因此造成流经瓶窑站的流速明显减缓、流量减小,故而瓶窑站的 1% 频率流量比全省其他站流量明显偏低;②港口站。因西苕溪上游共有 5 座水库,老石坎、赋石 2 座大型和凤凰、大河口、天子岗 3 座中型水库,起到较好的拦洪削峰作用,加之港口站所处地势已明显降低,又受下游太湖水位顶托影响,造成港口站的流速放缓、流量明显减小,1% 频率流量比全省其他站流量明显偏低;③诸暨(二)站。与瓶窑类似,一是浦阳江上游共建有石壁、陈蔡 2 座大型水库和通济桥、安华、仙华、金坑岭、巧溪、八都 6 座中型水库,拦蓄了较多洪水;二是当浦阳江上游来水洪峰流量特别大时,位于诸暨(二)站附近的高湖蓄滞洪区开闸蓄洪,因此造成流经诸暨(二)站的流量明显减小、1% 频率流量也比全省其他站流量明显偏低。

图 3 的 1% 频率流量与集水面积间的双对数关系线,不仅反映了浙江省主要江河防洪控制站的流量特征及统计参数空间变化的分布规律,同时也可进一步印证各站频率分析成果及参数取值总体较合理。因此,该方法也可作为防洪控制站频率分析及统计参数取值合理性检查的方法。

4 结 语

浙江全省 21 个流量站 1%、2%、5%、10%、20%、50% 频率流量计算值与各相关规划中的现状值和规划值的比较分析验证了计算结果的合理性。因此,在防汛工作中,当已知某站实时流量时,可快速查表得出相应的频率(重现期)。运用不同频率流量、变差系数、洪峰模数与集水面积的相关关系,不同频率流量与集水面面积幂指数相关关系,分析浙江省域范围各主要江河防洪控制站的流量特征及统计参数空间变化规律。

流量特征及统计参数空间变化分析成果在今后应用时,需注意两方面问题,一是流量频率分析成果与系列的连续性、历史调查特大值是否纳入计算样本及其特大值的可靠程度均密切相关;当所选用数据系列与本研究不一致时,需进一步分析与本研究成果的可比性;二是当需要分析阈值范围内的洪峰流量重现期时,可参考本文成果,但当需分析值超出阈值范围时,需进一步核实。

参考文献:

[1] 李华贞,张强,顾西辉,等. 北江流域洪水量级、频率和峰现时间时空特征及影响因子[J]. 武汉大学学报(理学版),2016,62(4):389-400. (LI Huazhen, ZHANG Qiang, GU Xihui, et al. Flooding processes in the North River Basin; magnitude, frequency, timing and influencing factors[J]. Journal of Wuhan University (Natural Science Edition), 2016, 62(4): 389-400. (in Chinese))

[2] 周炜兴,孙昭华,周坤,等. 三峡水库蓄水前后长江中下游流量频率分布特征及其对洪水造床作用的影响[J]. 湖泊科学,2022,34(2):616-629. (ZHOU Weixing, SUN Zhaohua, ZHOU Kun, et al. Characteristics of discharge frequency and their effects on flood channel formation in the middle and lower reaches of the Yangtze River before/after the impoundment of the Three Gorges Reservoir[J]. Journal of Lake Sciences, 2022, 34(2): 616-629. (in Chinese))

[3] 郭华,姜彤. 鄱阳湖流域洪峰流量和枯水流量变化趋势分析[J]. 自然灾害学报,2008,17(3):75-80. (GUO Hua, JIANG Tong. Trend analysis of flood peak/dry season flowrate in Poyang Lake Basin[J]. Journal of Natural Disasters, 2008, 17(3): 75-80. (in Chinese))

[4] 韩长峰. 近 50a 腰古站流量变化特征分析[J]. 广东水利水电,2021(7):7-12. (HAN Changfeng. Analysis on the characteristics of flow change at Yaogu Station in the past 50 years[J]. Guangdong Water Resources and Hydropower, 2021(7): 7-12. (in Chinese))

[5] 王欢. 近 60 年黄河源区流量变化特征及其影响因子的研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2014.

[6] 顾西辉,张强,孔冬冬,等. 低频气候变化引起的珠江流域年均和洪峰流量变化特征及灵敏度分析[J]. 中山大学学报(自然科学版),2017,56(1):138-144. (GU Xihui, ZHANG Qiang, KONG Dongdong, et al. Low frequency climate variability induced annual mean and annual maxim streamflow variations and related sensitivity across the Pearl River Basin [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2017, 56(1): 138-144. (in Chinese))

[7] 叶婷,石朋,钟华,等. 基于 Budyko 假设和微分方程的淮河上中游径流变化归因分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2022,50(5):25-32. (YE Ting, SHI Peng, ZHONG Hua, et al. Attribution analysis of runoff change in the upper and middle Huaihe River based on Budyko hypothesis and differential equation[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2022,50(5):25-32. (in Chinese))

[8] 沈嘉聚,杨汉波,刘志武,等. 长江上游径流对气象要素变化的敏感性分析[J]. 水资源保护,2023,39(1):119-126. (SHEN Jiaju, YANG Hanbo, LIU Zhiwu, et al. Sensitivity analysis of annual runoff to annual variation of meteorological elements in upper reaches of the Yangtze River[J]. Water Resources Protection,2023,39(1):119-126. (in Chinese))

[9] 吴承君,王仲梅,来志强. 乌江流域生态流量计算及其时空演变规律研究[J]. 人民长江,2023,54(5):94-100. (WU Chengjun, WANG Zhongmei, LAI Zhiqiang. Ecological flow calculation method and its application in Wujiang River Basin[J]. Yangtze River,2023,54(5):94-100. (in Chinese))

[10] 胡可可,何建村,赵健,等. 近 40 a 昆仑山北麓典型河流生态基流时空特征[J]. 长江科学院院报,2024,41(1):44-51. (HU Keke, HE Jiancun, ZHAO Jian, et al. Spatial and temporal characteristics of ecological base flow in typical rivers at the northern slope of Kunlun Mountains in the past four decades[J]. Journal of Changjiang River Scientific Research Institute,2024,41(1):44-51. (in Chinese))

[11] 《浙江通志》编撰委员会. 浙江通志·水利志[M]. 杭州:浙江人民出版社,2020.

[12] 浙江省水利厅. 浙江省河流手册[M]. 北京:中国水利水电出版社,2016.

[13] 黄志珍,楼峰青,丁伯良,等. 浙江省降水特征及其参数空间变化分析[J]. 水资源保护,2022,38(4):117-123. (HUANG Zhizhen ,LOU Fengqing, DING Boliang, et al. Spatial variation analysis of precipitation characteristics and statistical parameters in Zhejiang Province[J]. Water Resources Protection,2022,38(4):117-123. (in Chinese))

[14] 水利部水文局. 水文水资源分析计算[M]. 北京:中国水利水电出版社,2018.

[15] 黄志珍,吕耀光,黄涵,等. 环境变化影响下水文系列资料连续性分析研究[J]. 浙江水利科技,2018,46(1):15-18. (HUANG Zhizhen, LYU Yaoguang, HUANG Han, et al. Continuity analysis of hydrological data under the influence of varying environment[J]. Zhejiang Hydrotechnics,2018,46(1):15-18. (in Chinese))

[16] 骆承政,陈树娥,周一敏,等. 中国历史大洪水调查资料汇编[M]. 北京:中国书店,2006.

[17] 浙江省水文总站. 中华人民共和国调查洪水资料 第一卷〈河段调查洪水成果〉浙江省洪水调查成果表[R]. 杭州:浙江省水文总站,1983.

[18] 浙江省水文局. 浙江省水资源[R]. 杭州:浙江省水文局,2007.

(收稿日期:2024-04-01 编辑:刘晓艳)

(上接第 17 页)

[35] 石朋,唐汉,瞿思敏,等. 西南地区气象干旱向水文干旱传播的特征[J]. 水资源保护,2023,39(1):49-56. (SHI Peng, TANG Han, QU Simin, et al. Characteristics of propagation from meteorological drought to hydrological drought in Southwest China [J]. Water Resources Protection,2023,39(1):49-56. (in Chinese))

[36] 薛联青,白青月,刘远洪. 人类活动影响下塔里木河流域气象干旱向水文干旱传播的规律[J]. 水资源保护,2023,39(1):57-62. (XUE Lianqing, BAI Qingyue, LIU Yuanhong. Propagation law from meteorological drought to hydrological drought in the Tarim River Basin under the impact of human activities[J]. Water Resources Protection,2023,39(1):57-62. (in Chinese))

[37] 李帅,曾凌,张存杰,等. 长江上游近 120 年来气象干旱和水文干旱时空变化关系及其传递特征[J]. 气候变化研究进展, 2023,19(3):263-277. (LI Shuai, ZENG Ling, ZHANG Cunjie, et al. Spatio-temporal variations and propagation from meteorological to hydrological drought in the upper Yangtze River basin over last 120 years[J]. Climate Change Research,2023, 19(3):263-277. (in Chinese))

[38] GUO Yi, HUANG Shengzhi, HUANG Qiang, et al. Propagation thresholds of meteorological drought for triggering hydrological drought at various levels[J]. Science of the Total Environment, 2020,712:136502.

[39] 刘永佳,黄生志,方伟,等. 不同季节气象干旱向水文干旱的传播及其动态变化[J]. 水利学报,2021,52(1):93-102. (LIU Yongjia, HUANG Shengzhi, FANG Wei, et al. Propagation and dynamic change of meteorological drought to hydrological drought in different seasons[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2021,52(1):93-102. (in Chinese))

[40] 高放,刘冀,陈威,等. 淮河流域上游分区气象-水文干旱传播特征及响应概率研究[J]. 水土保持研究,2023,30(5):257-265. (GAO Fang, LIU Ji, CHEN Wei, et al. Study on propagation characteristics and response probabilities of meteorological and hydrological drought zones in the upper reaches of Huai River[J]. Research of Soil and Water Conservation,2023,30(5):257-265. (in Chinese))

(收稿日期:2024-03-06 编辑:刘晓艳)