

张艳玲, 邵高曦. 汉江子午河流域洪水预警指标及阈值计算方法[J]. 陕西气象, 2017(6):1-5.

文章编号: 1006-4354(2017)06-0001-05

汉江子午河流域洪水预警指标及阈值计算方法

张艳玲, 邵高曦

(陕西省水文水资源勘测局, 西安 710068)

摘要: 利用汉江子午河流域水文站及雨量站监测资料, 采用区域临界雨量法、洪水与降雨频率分析法对预警断面临界雨量分析确定; 以警戒流量(水位)、保证流量(水位)等防汛特征值为目标, 结合洪水频率结果, 确定预警断面的临界流量(水位)。结果表明: 预警断面有水文站控制的采用临界流量(水位)为预警指标, 预警断面无水文站控制的采用临界雨量为控制指标, 并将结果应用于子午河流域预警发布, 取得了良好效果, 对秦岭北麓及汉江支流的洪水预警预报有一定的参考价值。

关键词: 中小河流洪水; 预警指标; 阈值; 计算方法

中图分类号: P338

文献标识码: A

随着超强厄尔尼诺现象发生, 极端天气频繁出现, 中小河流洪水呈多发频发之势, 造成的社会影响及经济损失也越来越大, 已成为防洪减灾的最薄弱环节, 也是今后防汛工作的重点和难点。建立中小河流洪水预警指标是中小河流洪水预警系统建设的主要目标之一, 也是中小流域洪水预警的有效方法。研究中小河流洪水预警阈值的目的是在洪水发生之前判断洪水的危险性及其可能发生的时间, 及时发出预警, 最大限度地采取防御措施, 使保护对象免受或减轻洪水灾害。为了满足决策指挥要求, 需要确定 2 个指标: 一是临界雨量或水位(流量), 即多大的降雨可能会导致洪水暴发; 二是预警响应时间, 即从发出预警到洪水暴发的时间是否能让保护对象安全转移^[1]。依据陕西省中小河流洪水成因及防汛减灾工作需要, 选取汉江子午河流域为代表流域, 研究秦岭北麓及汉江支流致灾洪水预警阈值, 为中小河流预警进行有益探索。

1 概况

1.1 流域水文特征

子午河系汉江上游北岸一级支流, 分属宁陕、

佛坪县管辖。主源汶水河发源于宁陕、周至、户县交界的秦岭南麓, 由东北向西南流经宁陕县境内, 在宁陕县与佛坪县交界处与蒲河、椒溪河汇合后称子午河, 子午河由北向南于石泉县三华石乡白沙渡附近入汉江。

子午河属山溪性河流, 主要流经秦岭深山区, 流域呈扇形。子午河全长 161 km, 流域面积 3 010 km², 河道平均比降 5.44‰。三河口以上汶水河全长 106 km, 流域面积 1 094 km², 河道平均比降 9.3‰; 椒溪河长 70 km, 流域面积 596 km², 河道平均比降 18.7‰; 蒲河长 58 km, 流域面积 496 km², 河道平均比降 26.6‰。

子午河流域年平均降雨量在 600~1 300 mm 之间, 多年平均降水量为 866.2 mm, 年降水较为丰沛, 为陕西降雨量高值区之一, 全年降雨多集中在 5—9 月, 这段时间内的降水占全年降水的 81%。一年中 7 月降水量最大, 多年平均为 186.4 mm, 占全年降水的 21%; 最小为 1 月, 多年平均为 2.7 mm, 最大月降水为最小月的 69 倍。多年平均径流量为 10.62 亿 m³。径流量主要集中在 5—10 月(汛期), 共 8.83 亿 m³, 占全年

收稿日期: 2017-06-27

作者简介: 张艳玲(1967—), 女, 汉族, 陕西大荔人, 学士, 正高级工程师, 从事水情工作及水文预警预报。

基金项目: 陕西省水利科技计划项目(2013slkj-26)

的 83.2%；非汛期累计径流量 1.79 亿 m^3 ，占 16.8%。径流量年内分配不匀。

1.2 流域水文站网

子午河流域 1963 年 3 月设有两河口水文站，2010 年 4 月设立大河坝专用水文站；自 1959 年起，先后设立了四亩地、钢铁、筒车湾、龙草坪、十亩地、新厂街、菜子坪、黄草坪、兴坪、佛坪等 10 处雨量站，2012 年将四亩地、筒车湾、佛坪 3 站改建为水文站。除四亩地、钢铁、筒车湾、新厂街、兴坪等 5 站有 30 a 以上的雨量资料，其余站点观测年限均较短。

1.3 资料搜集及处理

依据流域内水文站网情况，利用两河口水文站 1964—2015 年平均月降水量、月最大降雨量、实测降水量和洪水资料及大河坝水文站 2002—2015 年雨洪资料，分析研究子午河流域降雨径流特性及产流汇流特性。

根据两河口站 1964—2015 年实测洪水资料统计，年最大洪水 6 月出现的概率为 7.69%，7—9 月为 80.8%，10 月 9.6%，11 月 1.91%（表 1）。52 场洪水中单峰型 35 场，占 67.3%，双峰型和复峰型 17 场，占 32.7%；一次洪水过程单峰约 4 d，双峰及复峰约 6 d；实测最大洪峰流量 6 270 m^3/s （2002 年 6 月 9 日），为超 100 a 特大洪水，洪水过程洪量为 2.79 亿 m^3 。

表 1 1964—2015 年子午河两河口站年最大洪峰各月出现频次和概率

月份	6	7	8	9	10	11	合计
年最大洪峰出现频次/次	4	22	7	13	5	1	52
概率/%	7.69	42.3	13.5	25	9.6	1.91	100

搜集区域内已有最新最大 1 h、3 h、6 h、12 h、24 h 雨量均值等值线图、最大 1 h、3 h、6 h、12 h、24 h 雨量离差系数等值线图，查出对应的降雨量均值、离差系数 (C_v) 及偏态系数 (C_s)。离差系数为均方差与均值之比，是衡量系列相对离散程度的一个参数；偏态系数表示系列在均值两边分配不对称的程度。

2 预警指标确定方法

2.1 雨量预警指标

雨量预警指标确定方法主要包括：单站临界雨量分析法、区域临界雨量分析法、洪水与降雨频率分析法^[2]、动态临界雨量法^[3]。

单站临界雨量法：通过对不同雨量站长系列资料进行综合对比分析筛选，计算出临界雨量值，对雨量站和雨量站点资料精度要求较高。同时可以根据单站临界雨量推算出区域临界雨量。

区域临界雨量分析法：根据区域内各雨量站历史灾害发生的时间，整理对应的雨量资料，计算区域内与历史山洪灾害对应的各时段最大面平均雨量，区域临界雨量包括区域平均临界雨量、区域最小临界雨量和区域最大临界雨量。

洪水与降雨频率分析法：通过对洪水灾害场次调查，分析洪水灾害发生频率，分析计算与灾害相同频率的降雨量等值线图和变差系数等值线图，即可计算洪水灾害区域各频率设计雨量，取与洪水灾害发生频率相同的降雨量设计值即为临界雨量初值，这里假定灾害与降雨同频率。通过与周边邻近地区的临界雨量进行综合对比分析确定合理临界雨量值。

动态临界雨量法：洪水量级大小除了与降雨总量、降雨强度有关外，还和流域土壤饱和度或前期影响雨量指数 (API) 密切相关。因此，在建立洪水警戒临界雨量指标时，应考虑洪水防治区中小流域土壤饱和情况，给出不同初始土壤含水量条件下的警戒临界雨量。

2.2 流量预警指标

对于具有长系列水位与流量资料的地区，可以通过河道断面推求漫滩水位，将漫滩水位作为警戒水位；其次，建立河道水位与流量之间的相关关系，确定与警戒水位对应的警戒流量^[1]（可以通过水力计算获取，也可以通过实测资料直接建立相关关系获取）。

对于资料相对缺乏的地区，则可以通过推求洪峰流量的频率曲线，结合当地实际情况与相关规定，选取一定频率（即几年一遇）的流量作为警戒流量。

2.3 水位预警指标

有雨量、流量、水位资料(历史观测资料不少于 5 a)的流域,可以选取降雨径流相关图法、经验单位线法、马斯京根河道演算法、API 模型、新安江模型、GBHM 分布式水文模型等方法^[4]来确定水位预警指标。

有雨量和水位观测资料(历史观测资料不少于 5 a)但无流量资料,同时无法建立水位流量关系曲线的流域,可直接选用多元回归统计模型等数学模型建立雨量和水位的关系,进而直接预报水位。

不能满足上述两个条件的无资料或缺资料流域,可以根据已收集的场次洪水资料初步建立预报方案,或对现有资料进行延展,移用流域水文特性相近的其他流域水文模型参数建立预报模型方案,待观测资料逐步完善后重新率定参数或建立新的预报方案。

3 预警断面选择及预警指标选择

依据防汛重点、流域特性及水系站网,选择椒溪河佛坪、子午河两河口作为预警研究断面,并进行洪水灾害预警指标选择。

洪水灾害预警指标是指为预测洪水灾害发生时间及空间,定性与定量相结合的衡量指数或参考值。预警指标一般取临界雨量、临界水位或临界流量。

依据《中小河流洪水预报及水情服务系统建设技术指导意见》,流域汇流时间小于 1 h 的流域,应采用临界雨量作为预警指标;流域汇流时间大于 1 h 的流域,有雨量和水位观测资料(历史观测资料不少于 5 a),但无流量资料,同时无法建立水位流量关系曲线的流域,可直接选用多元回归统计模型等数学模型建立雨量和水位的关系,采用临界水位或雨量作为预警指标。采用经验推理公式计算流域汇流时间

$$\tau = \frac{0.278L}{mJ^{1/3}Q_m} \quad (1)$$

式中, J 为流域平均纵比降; Q_m 为洪峰流量(m^3/s); L 为河流最远点到出口断面的长度(km); m 为经验性汇流参数。经计算,预警断面汇流时间见表 2。

表 2 利用经验推理公式法计算的

断面名称	预警断面汇流时间			h
	警示流量级	警戒流量级	保证流量级	
佛坪	9.1	7.6	6.9	6.4
大河坝	20.9	18.8	17.6	15.8
两河口	24.4	20.5	18.5	17.2

综合考虑汇流时间、站网分布、信息收集等因素,对佛坪站预警断面采用临界雨量及临界水位作为预警指标;对两河口预警断面采用临界流量及水位作为预警指标。

4 预警指标确定

4.1 佛坪断面预警指标确定

4.1.1 临界雨量确定 佛坪断面以上 2012 年新建小南坪、上沙窝、下沙窝 3 个雨量站,加上原来龙草坪及佛坪 2 站共有 5 站降雨资料。其中龙草坪及佛坪 2 站资料超过 20 a,上沙窝、下沙窝、小南坪有 2013 年以后 4 a 资料,依据 2.1 雨量预警指标确定方法,采用区域临界雨量法及降雨频率法确定静态临界雨量。因 2012 年前佛坪为雨量站,选取两河口站 2000 年以后年最大流量在 1 000~4 000 m^3/s 致灾洪水日期,整理佛坪断面以上各雨量站对应的雨量,计算区域内与历史灾害对应的各时段最大面平均降雨量,区域临界雨量包括平均临界雨量、最小临界雨量及最大临界雨量。计算结果见表 3。

子午河两河口水文站 1964—2015 年共发生致灾洪水 14 次,致灾洪水频率(P)为 26.4%,根据最新水文分析计算查图得到佛坪雨量站 1 h、3 h、6 h、12 h、24 h 雨量均值分别为 27.8 mm、40.2 mm、50.9 mm、65.1 mm、72.0 mm,对应的 C_v 分别为 0.58、0.56、0.54、0.51、0.51,取 $C_s/C_v = 3.5$,计算得出 $P=26.4\%$ 时 1 h、3 h、6 h、12 h、24 h 致灾雨量分别为:32.4 mm、47.3 mm、59.2 mm、75.6 mm、84.5 mm。

雨量预警发布等级可分为蓝色预警、黄色预警及红色预警。蓝色预警表示降雨强度已达到临界雨量阈值范围,且降雨可能持续,可能发生致灾

表3 佛坪预警断面区域致灾洪水各时段面平均临界雨量

mm

致灾洪水发生日期	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
2002-06-09(极大值)	55.0	109.4	167.0	208.2	222.8
2003-08-29	15.6	29.6	42.6	76.6	106.6
2005-10-01	12.4	27.6	46.6	66.0	77.5
2007-07-05	—	—	51.4	69.0	118.3
2010-07-24	—	—	63.6	87.8	120.2
2011-09-11	16.8	21.2	38.6	65.8	77.7
2012-09-01	16.4	37.8	69.9	109.0	166.6
2013-07-18	23.2	51.4	69.4	84.6	109.1
2015-06-29	18.4	49.1	73.6	99.7	122.6
最小值	12.4	21.2	38.6	65.8	77.5
最大值	23.2	49.1	73.6	109.0	166.6
平均值	17.1	36.1	57.0	82.3	112.3

注:2002-06-09(极大值)未参与平均值的计算。

洪水,提醒相应机构、相关部门密切关注天气变化及河流变化情况,做好相关防御措施。黄色预警表示降雨强度已达到致灾洪水临界雨量阈值,且降雨可能持续,可能发生5~10 a一遇的洪水,相关部门进入防汛紧急状态,密切监视雨情、水情,及时对受灾害威胁的人员及财产进行撤离和转移。红色预警表示降雨强度已超过致灾洪水临界雨量阈值,且降雨可能长时间持续,已经发生了灾害性洪水,且态势发展严重,相关部门应启动防汛预案,保证受灾威胁的人员及财产在规定时间内迅速进行撤离和转移至安全地方,并实施抢险救灾。通过对临界雨量阈值(范围)对比,充分考虑雨强、历时等影响因素,确定蓝色预警、黄色预警阈值;依据调查历史暴雨洪水量级,参考流域内有关水文站的历史调查洪水信息,确定红色预警阈值。

依据以上分析,蓝色预警临界雨量阈值:1 h区域平均雨量达到20 mm或3 h雨量达到35 mm或6 h雨量超过45 mm。黄色预警临界雨量阈值:1 h区域平均雨量达到38 mm或3 h雨量达到55 mm或6 h雨量超过70 mm。红色预警临界雨量阈值:1 h区域平均雨量达到70 mm或3 h雨量达到100 mm或6 h雨量超过120 mm。

4.1.2 临界水位确定 佛坪站位于椒溪河中游佛坪县城,由陕西省水文水资源勘测局于2015年设立(建),该水文站断面较稳定,河段顺直,水流集中,无水利工程影响,现状可监测中、高水位。依据曼宁公式可计算水位流量关系。

依据《2016年陕西省城市防洪预案》,佛坪县城三级预警标准分别为:预警流量550 m³/s,洪水平滩,发布蓝色预警,对应佛坪站水位836.90 m;警戒流量700 m³/s,堤防及护岸部分临水,发布黄色预警,对应佛坪站水位837.31 m;超标洪水1200 m³/s,部分堤防可能决口,部分低洼地区受淹,发布红色预警,对应佛坪站水位838.78 m。

4.2 两河口断面预警指标确定

两河口水文站设立于1963年1月,位于石泉县两河口镇腰道河村,为子午河流域出口控制站,控制流域面积2816 km²,距河源131 km,距河口30 km。测验项目有水位、流量、雨量等。该站具有长系列水位与流量资料,有实时水情信息及相应的洪水预报方案,洪水预报方案等级为乙级,可以正式发布洪水预报,依据长系列资料可以确定预警流量及预警响应时间。

4.2.1 预警流量确定 依据安汛字〔2015〕32号文件《安康市洪水预警信号发布实施办法(试行)》

附件中“安康市主要江河洪水预警发布标准”,两河口站蓝色预警流量 $800 \text{ m}^3/\text{s}$,黄色预警流量 $1\,500 \text{ m}^3/\text{s}$,橙色预警流量 $2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$,红色预警流量 $4\,500 \text{ m}^3/\text{s}$,可进行实时及预报预警信号发布。实时信息为河道实时监控的水情;预报信息为两河口站洪水预报结果,将其作为断面预警信息发布的依据。

4.2.2 预警响应时间 分析子午河流域洪峰滞时,将洪峰滞时确定为预警响应时间^[6]。洪峰滞时是指净雨质心到洪峰出现时间的时距,可由实测资料直接统计出来。洪水滞时一是与降水空间分布有关,二是与流域下垫面情况有关,三是与前期影响雨量、雨型、时段平均降水强度等有关。经分析该区域洪水滞时与洪峰流量大小的关系不明显,与最大降雨强度之间存在较密切的联系,同时流域平均最大时段降雨量对洪水滞时的作用与流域暴雨中心最大时段降雨量的作用相近。

据统计,两河口断面以上最小洪峰滞时为 6 h;强度较大,降雨时段比较集中的降雨过程,洪峰滞时一般在 6~20 h;降雨历时较长,强度较小,降雨时段分散的降雨过程,洪峰滞时可达 80~90 h。综合确定预警响应时间为 6~20 h,有足够的时间让保护对象安全转移。

4.3 成果应用

2016年7月18日20时至19日2时,椒溪河6h累计面平均降雨量63.1mm,依据佛坪断面蓝色预警临界雨量阈值,6h雨量超过45mm,陕西省水文局于19日3时发布椒溪河雨量蓝色预警,提请沿河施工单位关注河道变化情况,做好相关防御措施。在此期间,子午河流域出现强降雨过程,主要雨区位于椒溪河中下游、蒲河中下游以及汶水河的下游,面平均降雨量58.9mm,依据子午河流域两河口站预报方案,预测两河口站7月19日10时将出现 $600\sim 800 \text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水,省水文局于19日4:30发布子午河两河口站蓝色预警信号,提请沿河相关单位及乡镇加强防范,做好防御及避险减灾工作。两河口站实际洪峰出现时间为19日10:30,洪峰 $640 \text{ m}^3/\text{s}$,提前6h发出预

警信号,受到安康市防办的表扬。

5 结论及建议

(1)雨量预警指标是重要的山洪预警指标,特别是对于预警响应时间短的小流域。确定合理的临界雨量阈值,可以为防御中小河流山洪争取宝贵时间。文中采用区域临界雨量法、洪水与降雨频率分析法两种方法确定的临界雨量阈值对子午河流域实际发生的洪水进行运用,与实际情况基本吻合,说明临界雨量阈值用于中小河流预警是合理可靠的。

(2)预警流量(水位)指标确定,主要以警戒流量(水位)、保证流量等防汛特征值为基础,结合实时河道水情及水文预报计算结果,确定相应的预警指标,符合防汛实际情况。

(3)临界雨量基本采用静态临界雨量,由于资料搜集难度大,对于动态雨量研究尚不成熟,对于前期影响雨量、降雨强度、土壤饱和度等因素未做仔细分析,建议在使用时综合考虑这几个因素的影响,使预警阈值更加合理。

(4)由于洪水调查资料缺乏,致灾洪水均以两河口水文站的洪水进行判断,与实际略有偏差,随着山洪灾害调查成果的公布,可修定预警阈值。

参考文献:

- [1] 梁家志,刘志雨. 中小河流山洪监测与预警预测技术研究[M]. 北京:科学出版社,2010:42-43.
- [2] 全国山洪灾害防治规划领导小组办公室. 山洪灾害临界雨量分析计算细则(试行)[A]. 北京:全国山洪灾害防治规划领导小组办公室,2004.
- [3] 刘志雨,杨大文,胡健伟. 基于动态临界雨量的中小河流山洪预警方法及其应用[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2010,46(3):317-321.
- [4] 刘志雨,李致家,杨大文,等. 中小河流洪水预警指标确定与预报技术研究[M]. 北京:科学出版社,2016:16-17.
- [5] 巨兴顺,孙夏利,顾钊,等. 引汉济渭工程施工期洪水预警预报研究报告[R]. 西安:陕西省水文水资源勘测局,2015:43-45.