

运用雨洪规律进行洪水预报的探讨

陈 艳, 杨 逸, 宋正逵, 田 立, 王 偲

(江苏省水文水资源勘测局南通分局, 江苏 南通 226006)

摘要: 详细阐述应用超渗产流模型衰减曲线计算土壤补充水量及时段净雨量, 应用净雨生成洪水的转化规律进行洪水预报。以鲢鱼桥、鹤洲、白沙3个水文站为例, 运用实测降水量、洪水流量资料对洪水流量过程进行预测验证, 结果表明操作方法简单易行, 计算结果精度达标。

关键词: 雨洪规律; 净雨计算; 汇流参数; 算例分析

中图分类号: TV124

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2023)05-0048-0004

Discussion on flood forecasting by using the law of rainfall and flood

CHEN Yan, YANG Yi, SONG Zhengkui, TIAN Li, WANG Cai

(Nantong Branch of Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau,
Nantong 226006, China)

Abstract: The supplementary soil water volume and net rainfall in the period are calculated by using part of the attenuation curve of infiltration excess runoff model. Flood forecasting is carried out by using the transformation law of rainfall and flood. Taking the three hydrological stations of Lianyuqiao, Hezhou and Baisha as examples, the forecasting verification of flood flow process is done with measured rainfall and flood flow data. The results show that the operation method is simple and easy, and the accuracy of calculation results is up to standard.

Key words: law of rainfall and flood; net rainfall calculation; flow concentration parameter; example analysis

1 概 述

以江苏省常州市鲢鱼桥水文站、江西省吉安市鹤洲水文站、白沙水文站的实测降水量、洪水流量资料为依据, 进行洪水预报验证。应用净雨生成洪水流量的转化规律预报洪水流量, 根据双衰曲线超渗产流模型原理, 采用时段降水量减去土壤补充水量等于时段净雨量的水量平衡方法计算各时段净雨量, 应用雨洪转化规律进行降水—产流—汇流一体化洪水预报。

2 产流模型应用与净雨量计算

2.1 双衰曲线超渗产流模型

双衰曲线超渗产流模型原理是在1个闭合流域水循环运动中, 土壤蒸发和降水补充水量的持续过程。根据水量平衡原理, 需用水文站3~5 a实测降水、径流资料, 率定1条流域土壤蒸发与时间变量的关系曲线、1条不同参数的超渗产流衰减曲线^[1]。根据双衰曲线超渗产流模型的使用要求, 流域内降水要时空分布均匀, 为减轻因降水时空不均对产汇流

收稿日期: 2023-02-14

作者简介: 陈艳(1977—), 女, 高级工程师, 本科, 主要从事水文情报预报、水资源调查与评价工作。E-mail: ntswjcy@163.com

计算精度的影响,雨量站点应有足够大的密度,并以每个雨量站所代表的雨量计算权重独立计算。

2.2 净雨量计算

因受条件限制,在应用双衰曲线超渗产流模型计算净雨量时,把全流域作为1个洪水预报单元,将流域平均雨量当作面雨量,并省略了对双衰曲线有关率定分析环节,直接采用试错法选取流域超渗产流衰减曲线分段进行净雨量计算。设定在充分供水下,以50 h的土壤补充水量200 mm为假设条件,然后按时间变量从1.5~50 h,作倒数曲线函数积分,得到超渗产流衰减曲线函数的参数 $K_{土补}$ 。之后,按时序计算出各时段土壤补充水量,再用净雨公式计算净雨量。在试错计算过程中,若计算的净雨量系统偏大,则加大土壤补充水量 W 值,反之则减小。

3 思路与方法

3.1 雨洪规律基本思路

雨洪规律的基本思路是根据等流时线原理,在天然条件下,流域内的降雨时空分布均匀,时段降水产生的净雨量由体积转化为独立洪水过程时,假定涨水流量沿三角形斜边线性上涨,峰值流量为三角形的高,之后退水流量与时间变量呈倒数关系。 N 个时段的净雨形成 N 个独立的洪水过程,然后按时序把各个独立洪水过程中同时刻到达测流断面的流体叠加,把全流域同时刻到达测流断面的流体叠加,其最大值即为洪峰流量。这种从净雨转化生成洪水流量过程规律称为雨洪规律^[2-3]。

3.2 洪水预报方法

洪水预报主要是预测预报洪水的过程流量、洪峰流量及洪峰出现时间等洪水过程要素,具体方法如下:

(1)计算单峰过程流量。独立单峰过程流量由涨水流量、峰值流量和退水流量3部分组成。首先,计算峰值流量 Q_0 ,涨水段流量由于受降水时空分布不均影响,通常是呈折线状上涨,当雨量站网加密且降水时段长度较小时,可以假定降水时空分布均匀,根据等流时线原理,洪水呈线性上涨。因此以涨水段净雨水量体积 W_1 组成一个直角三角形面积,设涨水历时 T_m 为三角形底边长,峰值流量 Q_0 为三角形高。然后,计算涨水流量 $Q_{涨}$,根据涨水流量与三角形斜边是线性关系,再计算退水流量,根据退水流量与时间变量呈倒数曲线关系,把水量 W 转化为参数 K 值。

(2)计算断面总洪水流量过程。根据雨洪转化

规律,每场降水若有 N 个时段净雨量,就会转化生成 N 个独立的单峰流量过程,叠加同一时刻到达测流断面的各单峰流量之和为断面总流量。按时序连接各时刻的断面总流量过程为洪水的时间流量过程,在同一时刻到达测流断面的流体叠加最大值为洪峰流量,从涨水开始至洪峰出现时刻的时长为涨水历时(预见期)。

3.3 汇流参数分析

(1)涨(退)水量:时段净雨生成的流量过程,其出流量分为涨水段水量 W_1 和退水段水量 W_2 两部分。 W_1 调控净雨生成峰值流量的大小, W_2 调节退水流量走势形状的变化。 W_1 与 W_2 的水量分成比例,根据流域面积大小、流域中心距测流断面的距离远近、洪水涨落过程形状因素来选定。

(2)退水时段:退水时段 t_n 是指退水时间达到退水流量与退水段水量平衡的时间点,把 t_n 之后的退水流量可以忽略不参与退水过程计算,通常 t_n 的确定要根据峰值流量与退水末时段流量的比值关系而定。峰值流量与退水末时段流量比值关系,根据汇流特点及退水流量过程形状而选定。预报时段长指每个预报时段设置的时间宽度 Δt ,根据实际预报需要所定。

(3)汇流系数:汇流系数 β 是由净雨转变为径流量参数 K 值的计算系数。依据流域的面积、设置的涨退水量分成比例、退水时段等因素而定。

(4)径流量参数 K 值: K 值是由时段净雨水量转化生成流量计算中运用的关键参数。由此值推算峰值流量 Q_0 及退水过程流量 Q_i 。 K 值的涨水段 K_1 由 W_1 计算而得,退水段 K_2 由 W_2 计算而得。 K_1 与 K_2 应非常接近,最后取两者的平均 \bar{K} 作为计算参数使用。

4 实例分析

4.1 鲢鱼桥水文站

鲢鱼桥水文站位于江苏省常州市沙河水库上游、中舍田河下游,测流断面控制的流域面积为43.1 km²,属太湖流域湖西宜溧丘陵山区的一部分。流域内地势起伏较大,山脉多呈指状或串珠状,自南向北延伸,地貌类型主要为丘间谷地和河谷阶地。中田舍河是沙河水库最大的支流,上游源起苏皖交界的关山,下游2.5 km汇入沙河水库,河道全长10.04 km,河道平均比降为6.38%。中田舍河沿程建设多级滚水坝,其中距鲢鱼桥站测流断面上游最近的20 m处建有1座滚水坝,流域内仅鲢鱼桥1处雨量站。

鲢鱼桥站7月27日至28日逐时流量计算成果见图1。

4.2 鹤洲水文站

江西省吉安市鹤洲水文站流量断面以上是赣江中游左岸一级分支同江流域,集水面积374 km²。流域内地形以山岗丘陵为主,平均坡降22.0‰。植被良好,中上游山区内森林茂密,乔木种类繁多,下游以杂草为多。沿河两岸有大片的农田,少数山岗上被开垦种植经济作物。流域内设有鹤洲、赤谷、坂坡、油田、井头、社边、花桥7处雨量站。

鹤洲站5月8日至10日逐时流量计算成果见图2。

4.3 白沙水文站

白沙水文站流量断面以上是赣江中游右岸的

1条较大的分支孤江流域。孤江源于兴国县良村乡天心萍山脉中,于张家渡入赣江,主河长162 km,集水面积1 573 km²。域内地形以山区丘陵为主,平均坡降为12.6‰。植被良好,流域呈扇形。白沙站上游约6 km处建有1座滚水坝径流发电站,电站的发电蓄放水,在涨水段对下泄流量有明显的调节作用。流域内设有白沙、沙溪、君埠、龙岗、汉下、上固、谭头、双岭、上溪、南坪、螺田11处雨量站。在涨水段受到上游滚水坝蓄水发电调节下泄流量的影响下,实测的涨水流量与计算的流量间有滞后时间差,对涨水时间 T_m 与计算流量/实测流量($Q_{计}/Q_{实}$)的比值进行修正,修正后的计算流量精度效果改善明显。

白沙站7月6日至8日逐时流量计算成果见图3。

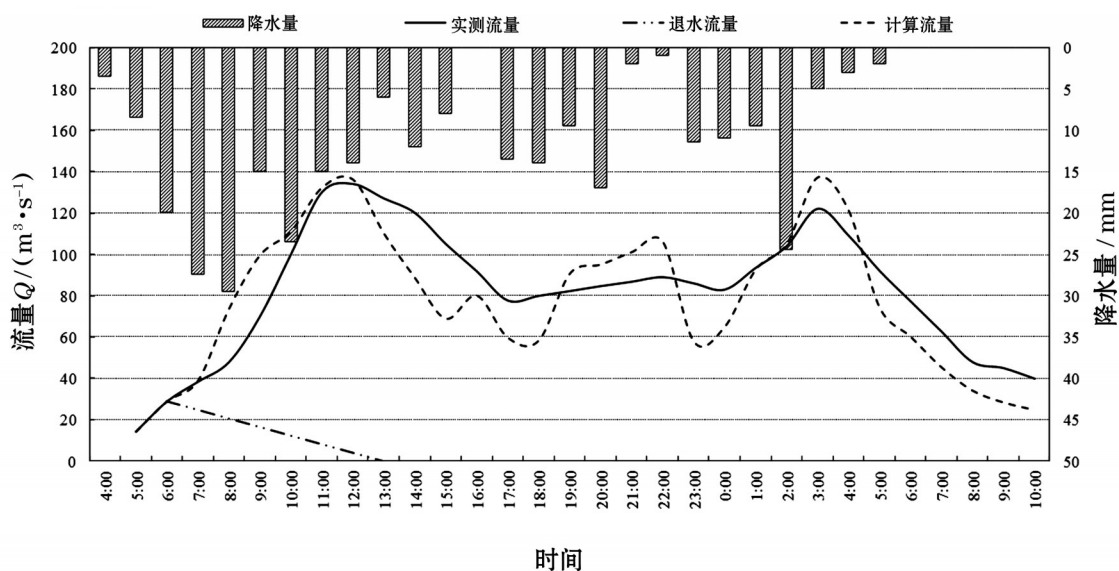


图1 鲢鱼桥站逐时流量过程线

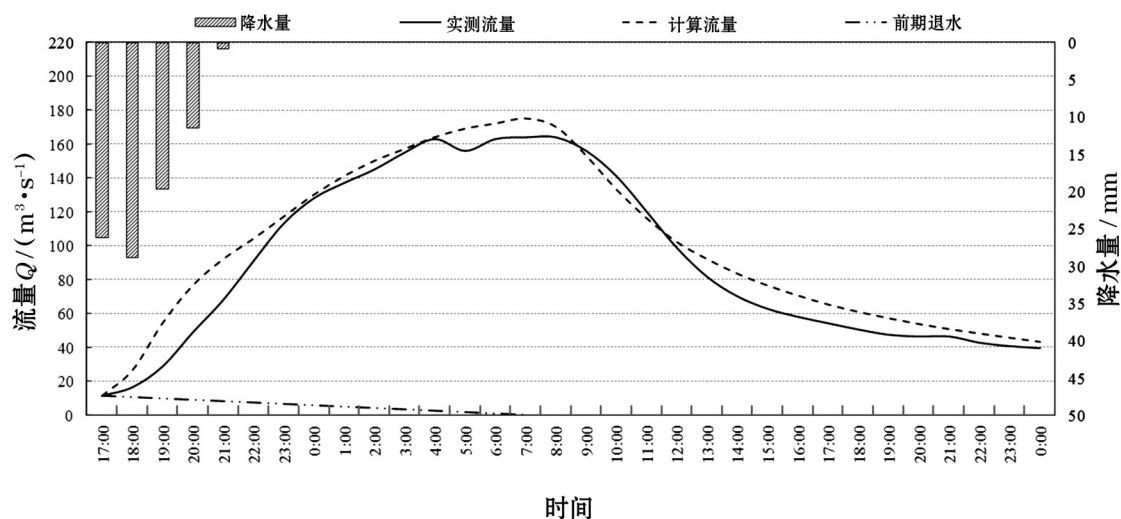


图2 鹤洲站逐时流量过程线

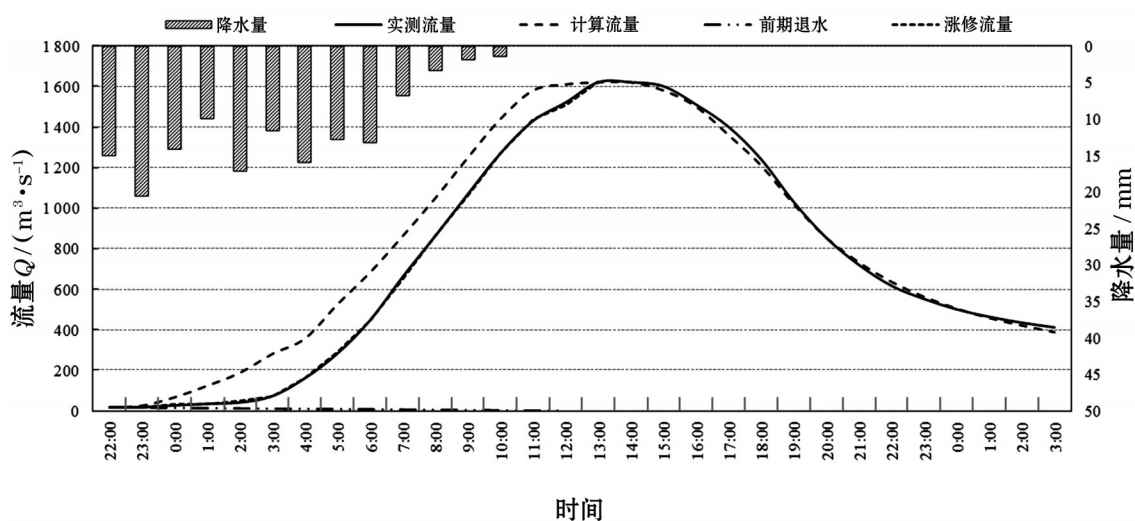


图3 白沙站逐时流量过程线

5 误差分析

5.1 预测精度分析

通过分析鲢鱼桥、鹤洲、白沙3个水文站3次洪水过程、共5个洪峰流量,并对计算的洪峰流量与实测值进行比对,发现相对误差均在20%之内,符合国家水文情报预报规范所规定的精度要求^[4]。其中3个相对误差值较小,控制在6.7%以内,相对误差最大的为19.1%。预测洪峰出现时间与实际发生时间完全同步,符合预报优秀等级精度(表1)。

5.2 误差原因分析

(1)流域内建有梯级滚水坝拦蓄水,调节流量的作用明显。鲢鱼桥站上游流域内建有多梯级滚水坝,具有拦蓄水作用。在降水产流后,首先满足各梯级水域的控制蓄水,余水下泄至下一级水域的逐级缓冲式泄流,各时段产生的径流量不能按正常畅流,这是产生计算流量与实测流量过程基本一致,但流量值大小不一致的主因。由于此次洪水是一个连续多峰洪水过程,第一个洪峰非常一致,后续的水量受到调蓄后各时的流量值发生变化,产生

表1 峰值流量误差计算结果

序号	站名	洪水编号	日期	时间	计算峰值流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	实测峰值流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	相对误差/%
1	鲢鱼桥站	20210727	7月27日	12:00	136	134	1.5
2				22:00	106	89	19.1
3			7月28日	3:00	137	122	12.3
4	鹤洲站	20220508	5月9日	7:00	175	164	6.7
5	白沙站	20180706	7月7日	13:00	1 620	1 620	0

计算值与实测值误差持续调节与累积,对后续第二个、第三个洪峰流量的误差产生一定影响。

(2)上游主河道建有径流发电工程,影响了涨水段流量的涨率变化。白沙水文站主河道上游约6 km处建有1座滚水坝式径流发电工程,洪水的涨水段流量被部分拦截发电后再下泄,导致涨水段流量实测值与计算值产生较有规律的滞后,直至临近于峰值时刻两者趋于接近。白沙站洪水涨水段流

量过程应用比值关系进行实时修正后,计算流量接近于实测流量,精度显著提高,能够达到较好的预测效果。

6 结 语

(1)运用雨洪规律预报洪水具有较高的实用价值。运用雨洪规律进行降雨—产流—汇流—体化

(下转第56页)

通航的闸坝、抽水站等各类测站的流量测验。即使设站条件差(河道不够顺直的)或测验条件不好(河道水流干扰多水流不平稳)的测站,通过设置位置改正系数也能取得很好的测流效果。浮体ADCP安装在水面上,只有探头部位入水,没有水压、水质对设备的性能及状态的不良影响,非监测时期也方便将ADCP取出清洁保养后存放仓库,有利于延长设备使用寿命。整个试验从2018年到2022年,没有因为设备及技术问题中断工作,系统运行稳定可靠,避免了水下座底安装ADCP设备始终在较深水下,水压、水质对设备的性能及状态都有不良影响。

双垂线法在线测流系统运用能坡模型计算流量,计算流量不需要比测率定,精度较高,适应性强,在弯曲河段通过设置位置改正系数,可以得到

比较精准的流量,较好解决了当前水文部门亟需的实时在线流量测量问题。

参考文献:

- [1] 张建云,唐镇松,姚永熙,等.水文自动化测报系统应用技术[M].北京:中国水利水电出版社,2005.
- [2] 章树安,张留柱,马湛.中美水文测验技术比较研究[J].水文,2007,27(6):70-87.
- [3] 韩新庆.能坡法流量实时在线自动监测系统在沈丘水文站的应用[J].水文,2017,37(1):79-82.
- [4] 韦立新,蒋建平,曹贯中.南京水文实验站ADCP流量测验方法改进研究[J].水利水电快报,2017,38(6):11-14.
- [5] 梁后军,刘小虎,蔡国成,等.二垂线式ADCP流量测量系统[J].水利信息化,2013(4):26-29.
- [6] 封一波,武宜壮,胡菲菲,等.小许庄水文站二线能坡法自动测流系统应用与分析[J].治淮,2019(9):14-16.

(上接第51页)

洪水预报演算,理论依据充分,方法简单实用,为实现洪水预报、水文数字孪生探讨提供了新型的预报方法,具有较高的实用价值。

(2)预测流量与实测流量过程相似度较好,洪水预报精度较高。运用雨洪规律计算的预测流量与实测流量过程变化相似度较好,基本同步一致,峰值流量预报精度较高。鲢鱼桥站有3个洪峰流量过程,而且还受多级滚水坝的水流调节影响,洪水预测难度大,但计算的各洪峰流量与实测值基本吻合,相对误差均在20%以内,峰现时间完全一致,说明在有大面积的调蓄水影响下,流域的降雨洪水也能应用雨洪规律进行洪水预报。鹤州、白沙两站的洪水是独立单峰流量过程,预测洪水的效果精度更高。

(3)受人类活动影响下的洪水预报有待探讨。

受人类活动影响下的洪水,未改变水流原来规律的,根据工况适当调整有关汇流参数后进行洪水预报,但对受人类活动干预影响下改变水流原本规律的洪水预报有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 颜开,陈树娥,陈信华.消退曲线超渗产流模型[J].水科学进展,1997,8(1):90-93.
- [2] 包为民.水文预报[M].5版.北京:中国水利水电出版社,2017.
- [3] 颜开.一种退水曲线公式的初步探讨[J].水文,1984(1):13-18.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.水文情报预报规范:GB/T 22482—2008[S].北京:中国标准出版社,2008.