

三屯河流域面向防洪决策洪水智能预报系统构建与问题

贾 君

昌吉市水利管理站 新疆 昌吉 831100

摘要: 本文聚焦三屯河流域,详细阐述了该流域概况,包括地理位置、地形地貌、水系分布及水源地特征等。深入探讨了面向防洪决策的洪水智能预报系统模型原理,涵盖流域空间划分、气象数据修正、产流计算、蒸散发计算、超渗与蓄满产流、水源划分以及汇流计算等方面。通过多个验证案例将预报成果与实际进行对比分析,指出降雨代表性不足、气温预报偏差、预报降雨数据与实测偏差大等问题,并提出加密水库雨量站点布设、加强数据质控工作等建议,旨在为三屯河流域防洪决策提供更精准的洪水预报支持。

关键词: 三屯河流域; 防洪决策; 洪水智能预报系统; 模型原理; 问题与建议

1 引言

洪水灾害是自然界中极具破坏力的灾害之一,对人类生命财产安全和生态环境造成严重威胁。准确及时的洪水预报是防洪减灾的关键环节,能够为防洪决策提供科学依据,有效降低洪水灾害带来的损失。三屯河流域作为一条具有独特地理和水文特征的中小型内陆河,其洪水预报对于保障流域内居民生命财产安全和经济社会稳定发展具有重要意义。然而,由于该流域地形复杂、气象条件多变等因素,传统的洪水预报方法难以满足现代防洪决策的需求。因此,构建面向防洪决策的洪水智能预报系统具有重要的现实意义。

2 三屯河流域概况

三屯河发源于天山北麓中段的天格尔峰,自南向北流经昌吉市后消失于古尔班通古特大沙漠,全长约230km,属于雨雪混合补给的山溪性中小型内陆河。三屯河渠首以上干流长约110km,流域面积2180km²,地理坐标位于北纬43°16'至43°57',东经86°18'至7°07'之间。流域地形复杂,地势南高北低,由西南向东北倾斜,河道深切,沟梁相间,呈狭长形。河谷迎向水汽来源方向,主要支流众多,包括大三屯河、小三屯河等。高山区海拔在2800m以上,天格尔峰海拔4562m,分布着大小冰川102条,冰川资源丰富。中山区位于1700m至2800m间,雨量较多,气候适宜,水系发达,河流下切强烈,河谷狭窄。低山区在800m至1700m,多为丘陵地形,岩石风化强烈,年降水量较中山区少,支流水系以大洪沟为主。

3 模型原理

3.1 流域空间划分

利用流域数字高程模型数据,提取三屯河干流与主要支流的河网分布,并划分不同的子流域。根据实际情况,将三屯河流域划分为34个子流域,其中三屯河水库

以上30个,三屯河水库与努尔加水库之间1个,努尔加水库以下渠首以上3个。考虑到流域海拔落差大、气象分层明显,在子流域基础上按500m高差进一步划分成106个等高带,每个等高带内再按面积比划分积雪区、常规区和不透水区,并考虑积雪区面积的季节变化。

3.2 气象数据修正

三屯河水库上游现有12个气象站(雨量站),涵盖各个子流域的不同等高带。实际应用中,以现有12个气象站为参照站,各等高带根据参照站高程对气象数据进行修正^[1]。每个等高带可设置多个参照站,不同参照站根据泰森多边形法确定其面积权重,气象数据主要包括降雨、蒸发和气温。

3.3 产流计算

降水包括降雨和降雪两种形式。对于非积雪区,降雪量转换成等效降雨量,不考虑积雪融雪过程;对于积雪区,当气温大于雪面温度时,高温融雪与降雨融雪参与产流计算;当气温小于雪面温度时,降雨转为降雪,积雪覆盖不产流。

3.4 蒸散发计算

以等高带为单位,采用三层模型计算实际蒸散发。将区域实际平均蓄水量分为上层、下层和深层蓄水量,相应的平均蓄水容量分为三层最大蓄水容量,蒸散发也分为上层、下层和深层蒸散发量。

3.5 超渗产流与蓄满产流

在北方干旱区,采用超渗产流与蓄满产流垂向组合的方式计算产流量,同时考虑不透水地面的直接产流作用。

3.6 水源划分

利用蓄满产流计算相应的径流系数,采用四水源划分,分别计算蓄满地表径流、壤中流、快速地下径流和慢速地下径流^[2]。超渗地表径流量与蓄满地表径流合为地

表径流，快速地下径流和慢速地下径流合为地下径流。

3.7 汇流计算

(1) 坡面汇流计算：地表径流采用纳什单位线法进行汇流计算，壤中流和地下径流采用线性水库法进行汇流计算。(2) 河道汇流计算：河道采用马斯京根法进行汇流计算。

4 预报成果与实际比对

4.1 验证案例分析

4.1.1 案例一：2023年6月1日-6月5日

6月1日有1.8mm降雨，主要集中在14时-18时。模拟流量从 $11\text{m}^3/\text{s}$ 上升至 $16\text{m}^3/\text{s}$ 后回落到 $12\text{m}^3/\text{s}$ ，实测流量基本维持 $11\text{m}^3/\text{s}$ 不变。模拟日均值($11.5\text{m}^3/\text{s}$)和实测值日均值($10.5\text{m}^3/\text{s}$)接近。5月至6月初降雨较小时出现流量降低现象，可能是降雨天气温度下降导致融雪径流减小，而降雨径流不足以补偿。

4.1.2 案例二：2023年7月21日-7月26日

7月20日有2.5mm降雨，主要集中在19时-23时。实测洪峰出现在7月21日13时，流量为 $47.8\text{m}^3/\text{s}$ ，模拟值洪峰也出现在7月21日13时，流量为 $45.8\text{m}^3/\text{s}$ ，模拟值和实测值在洪水峰值和起落过程较为贴合。

4.1.3 案例三：2023年8月10日-8月14日

8月12日凌晨大洪沟雨量站监测到降雨22.4mm，小洪沟雨量站监测到降雨0.6mm。人工观测洪峰出现在8月12日2时，流量为 $34.2\text{m}^3/\text{s}$ ，模拟值洪峰出现在8月12日3时，流量为 $41\text{m}^3/\text{s}$ 。8月13日凌晨大洪沟雨量站监测到降雨5.8mm，小洪沟雨量站监测到降雨0.2mm。人工观测洪峰出现在8月13日4时，流量为 $6\text{m}^3/\text{s}$ ，模拟值洪峰出现在8月12日4时，流量为 $8\text{m}^3/\text{s}$ ，考虑到人工观测误差，模拟值和实测值较为贴合。

4.1.4 案例四：2025年5月24日-5月26日

系统平台显示5月24日有5.6mm降雨，主要集中在18时-23时。模拟结果中5月25日8时出现洪峰，流量为 $24.5\text{m}^3/\text{s}$ ，但碾盘庄实测流量数据中未直接体现该次降雨。5月24日各雨量站均监测到明显降雨，面雨量达5.9mm，但碾盘庄实测流量在降雨后没有产生明显来洪过程，可能是由于降雨代表性不足。

4.2 原因分析

4.2.1 降雨代表性不足

三屯河上游集水片区面积大、地形差异大，降雨时空分布变异性强，降雨区域集中于雨量站分布地区时，雨量站监测值能较好反映降雨情况，模拟精度较高，反之则难以反映真实降雨情况，模拟流量与真实流量易产生较大偏差。例如，2023年8月13日和14日雨量

站监测到较大降雨(13日面雨量5.49mm，14日面雨量10.73mm)，图1实测降雨与实测径流(2023年8月13日-8月18日)显示，随后几天碾盘庄水文站流量较为稳定，在 $27\text{m}^3/\text{s}$ 上下，未出现明显洪水过程，即雨量站监测到明显降雨但碾盘庄水文站未出现相应洪水过程；再如，2024年7月19日至23日雨量站只监测到较小降雨(19日面雨量3.45mm)，实测降雨与实测径流(2024年7月19日-7月23日)显示，随后几天碾盘庄水文站流量增大明显，一度超过 $100\text{m}^3/\text{s}$ ，出现明显洪水过程，即雨量站未监测到明显降雨但碾盘庄水文站出现明显洪水过程。



图1 实测降雨与实测径流(2023年8月13日-8月18日)

4.2.2 气温预报偏差

二是气温由预报转实测且比实际低，这是无降雨时流量偏差的重要原因^[3]。系统2024年7月前气温数据为碾盘庄实测，之后为预报数据转存，预报气温与实测气温趋势大致相同，但普遍低5摄氏度左右(图2，红色点为实测，蓝色点为预报)。在模型输入2024年8月全月降雨量为0，分别用实测和预报气温测试，发现二者产流趋势大致相同，但预报数据产流普遍比实测小 $10\text{m}^3/\text{s}$ ，无降雨时偏差大、有降雨时偏差小；无降雨时模拟流量与碾盘庄实测 $25\text{-}30\text{m}^3/\text{s}$ 较接近；因模拟无降雨时土壤比真实干旱，产流稍小；8月6日-7日等有降雨时段，温度降低后产流也降低且有一定滞后，符合逻辑。



图2 碾盘庄实测日均气温和预报日均气温对比

4.2.3 预报降雨数据和实测降雨数据偏差较大

预报降雨数据和实测降雨数据存在较大偏差。由于

降雨预报数据随时间变化,基于其计算的结果也相应改变,且预报与实测值均由系统平台提供。其中,雨量站预报值是案例计算时模型输入的数据,模型据此计算得出产汇流等结果;雨量站实测值则是案例发生后各雨量站实际监测到的降雨量。以2024年8月28日19时-8月30日19时的降雨数据为例,对主要雨量站分析发现:在降雨总量和空间分布上,预报显示有较大降雨且范围几乎覆盖全部区域,部分雨量站超30mm,而实测降雨量小、范围小;在降雨时间分布上,对比该时间段预报值和实测值,除二道水雨量站和大洪沟雨量站预报降雨在雨量大小上比较接近外,三屯河水库雨量站、碾盘庄雨量站、阿什里雨量站、努尔加雨量站、孔萨拉雨量站偏差都比较大,且预报降雨过程与雨量站监测的降雨过程也存在偏差。

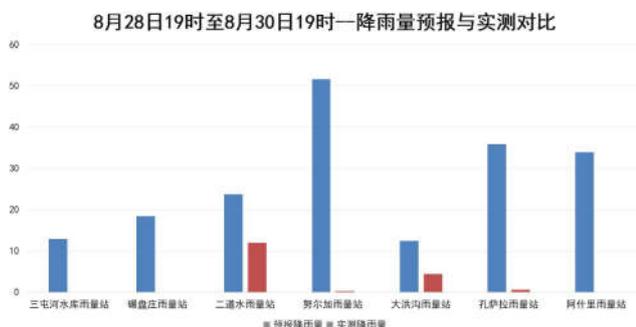


图3 降雨量预报与实测对比 (8月28日19时-8月30日19时)

5 应对建议

5.1 加密水库雨量站点布设

雨量站点是捕捉流域降雨空间分布的“感知触角”,其布设密度与代表性直接决定降雨输入数据的准确性。当前灌区渠首及上游集水区域雨量站点明显数量不足,空间覆盖存在盲区。三屯河水库以上集水面积1636平方公里,目前仅有12个雨量站,部分山区、丘陵等地形复杂区域(如灌区支流源头、坡地汇流区)未布设站点,导致局地突发降雨(如短时强对流雨、地形雨)无法被监测——这类降雨虽范围小但强度大,若恰好落在汇流条件敏感区域,会快速形成洪峰,而预报模型因缺乏该区域降雨数据,无法提前计算产流量,直接

导致洪水峰值、出现时间预报偏差。

5.2 加强数据质控工作

降雨监测数据是洪水预报的“原始素材”,若质控环节存在疏漏,数据的准确性、完整性无法保障,会直接传导至后续产汇流计算,导致预报结果失真,在三屯河流域,主要存在以下情况:数据完整性缺失。受通信信号、设备故障等影响,部分站点常出现“缺报”“迟报”问题——例如碾盘庄雨量站因设备故障数据缺失,模型无法获取该站的降雨输入,在进行预报时只能认定该区域未产生降雨导致流域平均降雨量计算失真,进而影响汇流时间、洪水总量的预报精度^[4]。建议在进行预报前先进行人工复核,对原始数据经过科学处理后再进行预报模型,结合周边相邻站点数据,判断数据真伪,确认异常的直接剔除,无法确认的,暂不用于预报计算。

结语

经过两年多的模型建设及试运行,短期洪水预报已能够满足系统调用模型进行计算的要求,且已初步实现上游水库来水预报功能。未来,随着科技的不断进步和数据的不断积累,三屯河流域洪水智能预报系统将不断完善和优化。可以进一步引入先进的遥感技术、人工智能算法等,提高系统的预报精度和时效性。同时,加强与其他相关系统的集成和共享,实现信息的互联互通,为流域防洪决策提供更加全面、准确、及时的支持,更好地保障流域内居民的生命财产安全和经济社会可持续发展。

参考文献

- [1]官学文,流域洪水智能预报预警预演关键技术及实践.湖北省,长江水利委员会水文局,2022-02-27.
- [2]朱跃龙,基于水文气象特征挖掘的中小河流洪水预报与智能平台关键技术.江苏省,河海大学,2021-12-01.
- [3]云奥婷,张静芳,张浩斐,等.基于人工智能技术的洪水预报调度模型关键技术与应用[J].内蒙古水利,2021,(06):15-17.
- [4]陈舸.河流洪水预报调度智能系统的建设及关键技术[J].内蒙古水利,2021,(01):32-33.