

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2021.03.001

基于短时临近降水集合预报的中小河流洪水预报研究

包红军^{1,2}, 曹 勇^{1,2}, 曹 爽^{1,2}, 王 蒙^{1,2}

(1. 国家气象中心, 北京 100081; 2. 中国气象局-河海大学水文气象研究联合实验室, 北京 100081)

摘要: 为了延长中小河流洪水预报预见期, 建立了基于短时临近精细化网格降水集合预报的中小河流洪水预报模型。模型采用百分位映射订正技术, 发展数值模式降水预报场与实况场映射关系, 结合 Bayesian 模型, 构建基于 GRAPES-3KM 模式和 Time-Lag-Ensemble 融合技术的短时临近降水集合预报(最优集成、最大(95%分位数)、最小(5%分位数))格点场, 作为 GMKHM(Grid-and-Mixed-runoff-generation-and-Kinematic-wave-based Hydrological Model)的降水驱动, 进行中小河流洪水逐小时实时滚动预报。选择新安江屯溪流域作为试验流域, 对 2020 年汛期流域大洪水进行实时预报。检验结果表明, 基于短时临近最优降水预报的中小河流洪水预报模型提前了 7 h 预报出屯溪断面洪峰, 洪峰误差为 5.6%, 峰现时差为 -1 h, 比不考虑预见期降水的中小河流洪水预报提前了 4 h; 基于短时临近最大、最小降水预报的中小河流洪水预报模型提前了 13 h 预报出洪峰区间, 并且自 7 月 7 日 9 时起滚动预报最大与最小预报跨度呈逐渐减少趋势。在中小河流洪水预报中引入短时临近集合预报降水, 对提升中小河流洪水风险防控能力有重要意义。

关键词: 中小河流洪水预报; 短时临近降水预报; GRAPES-3KM 模式; Time-Lag-Ensemble; 分布式水文模型; 屯溪流域

中图分类号: P338 文献标志码: A 文章编号: 1000-1980(2021)03-0197-07

Flood forecasting of small and medium-sized rivers based on short-term nowcasting and ensemble precipitation forecasts

BAO Hongjun^{1,2}, CAO Yong^{1,2}, CAO Shuang^{1,2}, WANG Meng^{1,2}

(1. National Meteorological Center, Beijing 100081, China;
2. CMA-HHU Joint Laboratory for Hydrometeorological Studies, Beijing 100081, China)

Abstract: A flood forecasting model for small and medium-sized rivers, based on the short-term nowcasting and fine ensemble gridded precipitation forecasts, is established for increasing the flood foresight period. The model adopts the percentile correction method to develop the mapping relationship between the precipitation forecast field of numerical model and the observed field. Based on the GRAPES-3KM model and the Time-Lag-Ensemble fusion technique, a short-term ensemble precipitation forecasting that is consist of three members (the optimal, maximum (95% quantile) and minimum (5% quantile)) is developed with the Bayesian model. Taking the developed ensemble precipitation forecasts as the driving force of GMKHM, the hourly real-time rolling forecasting of flood for small to medium-sized basin is performed. The Tunxi Basin of the Xin'anjiang River is selected as the experimental basin to test the real-time flood forecasting in 2020 flood season. Results show that the developed model performed well, the peak discharge of the Tunxi hydrological station was forecasted with 7 hours in advance, the relative error was 5.6%, and the peak time difference was -1 hour. Compared with that without considering the precipitation in lead-time period, the flood forecast lead-time can be increased by 4 hours with the optional precipitation forecasts and 13 hours with the maximum and minimum precipitation forecasts. The developed model has certain reference significance for the flood forecast of similar basin. The span between maximum and minimum forecasts presented the trend of decreasing gradually since 9:00 on July 7th. It is of great significance to improve the flood risk prevention and control ability of small and medium-sized rivers with introducing the ensemble nowcasting and short-term precipitation forecasts.

Key words: flood forecasting of small and medium-sized rivers; short-term nowcasting precipitation forecasts; GRAPES-3KM model; Time-Lag-Ensemble; distributed hydrological model; Tunxi Basin

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC1508102); 国家自然科学基金(41775111, 41875131)
作者简介: 包红军(1980—), 男, 正高级工程师, 博士, 主要从事水文气象预报与气象灾害风险预警研究。E-mail: baohongjun@cma.gov.cn
通信作者: 曹勇, 高级工程师。E-mail: caoyong@cma.gov.cn
引用本文: 包红军, 曹勇, 曹爽, 等. 基于短时临近降水集合预报的中小河流洪水预报研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2021, 49(3): 197-203.
BAO Hongjun, CAO Yong, CAO Shuang, et al. Flood forecasting of small and medium-sized rivers based on short-term nowcasting and ensemble precipitation forecasts [J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2021, 49(3): 197-203.

我国中小河流众多,洪水频发,灾害严重,已经成为当前洪水防控的薄弱环节^[1]。根据国务院《全国山洪灾害防治规划》,中小流域面积在 200 ~ 3 000 km² 之间,流域面积小,灾害突发性强,基础与观测资料不全,坡陡流急、汇流快、预见期短,预报预警难度大^[2]。目前,国内外中小河流洪水预报主要有精细化分布式水文模型预报法和致洪临界雨量阈值预警预报法两种^[3-5]。为了获得更长时效的预报预见期,引入预见期内的降水预报是提升中小河流洪水防控与减灾救灾的重要途径之一^[6]。中小河流汇流一般在 12 h 以内,如何提升面向中小流域 0 ~ 12 h 的短时临近降水精准性预报,成为中小河流洪水精细化预报与风险防控研究的重要前沿问题^[7-8]。

根据中国气象局 2017 年《全国短时临近预报业务规定》,短时临近降水预报分为 0 ~ 2 h 临近降水预报和 2 ~ 12 h 短时降水预报,不同时效的降水预报技术不尽相同^[9]。目前,国内外的临近降水预报主要是以观测信息或分析数据进行外推,外推方法以卢卡斯-卡纳德(Lucas-Kanade)光流法(简称 LK 光流法)为主,目前在天气业务中应用广泛^[10]。中小尺度天气系统短时降水预报能力的提升主要依赖于数值天气预报模式,特别是快速滚动更新的高分辨率中尺度模式^[11]。在国内,中国气象局 GPAPES-3KM 模式^[11]、华东中尺度模型(SMB-WARMS)^[12]和北京 RMAPS 模式^[13]是提升短时降水预报能力的主要途径之一。但中小尺度天气系统降水局地性、突发性强,确定性数值模式难以考虑其不确定性,而传统基于初始场扰动、多物理过程等的集合数值预报,耗时费力,时效性难以满足需求^[8]。

本文面向中小流域,构建基于短时临近精细化网格降水集合预报的中小河流洪水预报模型。模型以中国气象局雷达组网和 GRAPES-3KM 模式为基础,发展基于金字塔架构的 LK 光流技术和强度守恒约束的 Semi-Lagrangian 平流技术的雷达外推临近降水预报技术,提出基于 GRAPES-3KM 模式和 Time-Lag 融合的短时降水集成预报和集合预报方法,实现 0 ~ 12 h 逐小时降水集成与集合预报,驱动 GMKHM(Grid-and-Mixed-runoff-generation-and-Kinematic-wave-based Hydrological Model)^[14-16],建立中小河流洪水预报模型。以皖南山区新安江江屯溪以上流域(简称屯溪流域)为例,将洪水预报模型应用于 2020 年 7 月汛期洪水中进行实时预报,以探讨其对中小河流洪水预报精度与预见期延长的效果。

1 短时临近降水集合预报的中小河流洪水预报模型建立

基于短时临近降水集合预报的中小河流洪水预报模型包括短时临近降水集合预报和 GMKHM 两部分。基于多雷达组网和 GRAPES-3KM 模式,结合 Time-Lag-Ensemble 技术,发展短时临近降水三成员(最优集成、最大和最小)集合预报技术,以短时临近集合降水预报作为分布式水文模型的雨量驱动场,实现中小河流洪水预报。

1.1 短时临近降水集合预报

1.1.1 最优集成预报

短时临近降水最优集成预报包括改进的雷达 LK 临近(0 ~ 2 h)降水预报和基于 GRAPES-3KM 模式的短时(2 ~ 12 h)降水集成预报两部分。

1.1.1.1 改进的 LK 临近降水预报技术

目前,国内外主要应用 LK 光流技术进行雷达外推临近降水预报。传统的 LK 光流法难以解决估计无降水区域的最优风场、雨强衰减计算误差以及系统生效问题,这是制约降水临近预报精度提升的重要因素之一。本文基于金字塔架构改进传统的 LK 光流法,利用空间升尺度技术,构建金字塔结构物理量场,生成 8 种空间尺度的降水预报场,从底层到高层逐渐分辨率降低(自底层起 5 km×5 km 至最高层 30 km×30 km),再由上至下逐层利用 LK 光流技术获取当层的平流背景风场,并作为下一层的平流背景风场的初始场,实现最优估计无降水区域背景平流风场和有降水区域背景平流风场的精细结构。

用于降水临近外推的 Semi-Lagrangian 技术,往往由于降水的非网格点插值易导致计算的外推降水强度逐渐减弱。本文利用插值前后两时刻降水累积百分位匹配技术,保持降水强度守恒,并结合 GRAPES-3KM 模式环境场预报,建立前两个时次的降水生消变化及热力不稳定环境场定量关系,实时构建降水强度增减幅统计经验关系模型,实现在外推过程中降水强度订正计算。结合实时 Z-R 关系动态反演降水技术^[10],实现基于改进 LK 光流法的雷达外推临近降水预报。

1.1.1.2 基于 GRAPES-3KM 模式和 Time-Lag 融合的短时降水最优集成预报

GRAPES-3KM 模式是中国气象局国家级区域数值天气预报业务模式,自应用以来,大大提升了中央气象台中小尺度天气预报能力^[11]。目前,GRAPES-3KM 快速更新同化系统实现了逐 3 h 快速滚动更新预报,并实时同化最新观测资料,在短时降水预报中小尺度系统强降水预报中准确率高。将 GRAPES-3KM 模式预报作为短时定量降水预报的基础场,采用实时频率匹配订正技术,利用待订正量以及观测量样本资料,分别计算待订正量经验累积概率分布函数以及观测量经验累积概率分布函数,并利用两者在经验累积概率分布函数之间的差异,进行待订正量的数值订正,最终使得订正后待订正量的经验累积概率分布函数与观测量经验累积概率分布函数一致,具体计算公式如下:

$$x_c = F_o^{-1}(F_m(x_m))$$

(1)

式中: x_m ——待订正量; $F_m(x_m)$ ——待订正量的经验累积概率分布函数; $F_o^{-1}(F_m(x_m))$ ——观测量经验累积概率分布函数的逆函数; x_c —— x_m 对应的订正值。

Time-Lag 技术是针对某个预报时效、不同起报时刻的短时定量降水预报;Bayesian 模型根据前期降水预报与实况对应关系,计算出对应于某个预报时效各个起报时刻的短时定量降水预报融合权重系数,进行集成得到短时降水最优集成预报。基于 GRAPES-3KM 模式的预报实时偏差订正技术流程见图 1。

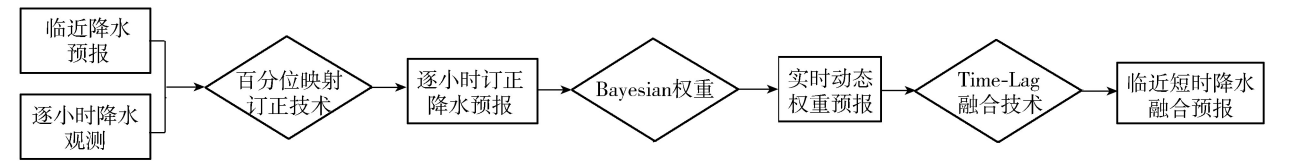


图 1 基于 GRAPES-3KM 模式的预报实时偏差订正技术流程

Fig.1 Flow chart of forecast real-time error correction technique based on GRAPES-3KM mode

1.1.2 最大、最小预报

考虑到天气过程固有的混沌效应以及预报技术对初始场的敏感性,相邻时刻起报的临近降水预报往往会有差异,这种差异表现为预报不确定。利用该特点,构建基于多起报时刻的时间滞后集合降水预报(Time-Lag Ensemble Forecast)。时间滞后集合降水预报的核心是基于快速更新同化系统构建集合成员,每一次循环更新将产生高频次的预报场,贡献新的集合成员,这一过程并不占用额外的计算机资源,成为一种经济实用的集合预报方案。

考虑到不同起报时刻的临近降水预报成员不多,一般使用 6 个成员。由于直接使用概率预报以及求解分位数极值存在跳跃误差,为此采用一致性排序技术以及线性插值技术,拟合集合概率分布曲线,并利用该曲线,构建最小可能降水(5% 分位)和最大可能降水(95% 分位),与最优集成降水预报,形成 3 个集合预报成员,提供短时临近降水预报的最优预报和最大、最小预报。

1.2 GMKHM 分布式水文模型

Bao 等^[14]在新安江水文模型的基础上,结合 DEM 和 RS 技术,构建基于 DEM 网格的分布式混合产流水文模型(GMKHM)。模型是将流域内的 DEM 网格作为水文响应过程的基本单元,并假设单元网格内地形地貌、陆面植被覆盖和土壤组成类型等下垫面条件和降水强迫空间分布一致,GMKHM 中只考虑 DEM 网格间水文要素的变异性。在网格水文单元中,植被冠层截留和蒸散发计算后得到的净雨量,经过混合产流计算与划分水源,根据河网逐网格汇流演算次序,依次将地表径流、壤中流与地下径流演算至流域出口断面,得到其水文过程。在单元网格垂直方向上分为 4 层:植被层、上层土壤、下层土壤、深层土壤。在植被层考虑植被截留,对 3 层土壤层采用新安江水文模型的 3 层蒸散发模型进行蒸散发计算。应用考虑蓄满与超渗两种产流机制的混合产流模型进行网格内产流计算;坡面汇流和河道汇流均采用逐网格的一维运动波水流演算模型。在逐网格分布式汇流模型中,将上游网格入流作为当前网格单元产流计算中降水量的一部分处理,当此网格为河道网格,径流量将按比例汇入河道^[15]。

2 模型应用

2.1 流域介绍及主要数据

选取新安江屯溪流域作为模型应用检验流域。屯溪流域位于新安江流域上游皖南山区,属于副热带季

风气候区,多年平均降水量约为1800 mm,为典型的湿润中小流域。屯溪水文站是新安江干流上游主要控制站,流域面积2693 km²,地势西高东低,坡陡流急,最大落差达1018 m,极易形成洪水。流域内植被良好,主要包括常绿针叶林、落叶阔叶林、混合林、灌木林、牧草地与耕地,土壤类型主要为壤土、砂质黏壤土、砂壤土和壤砂土。

新安江流域为山区型河流,雨期集中在4—7月,洪水暴涨暴落,洪峰持续时间短,汛期与降水量一致,其降水量占年降水总量的65%。屯溪流域面积占整个新安江流域面积的24.4%。屯溪水文站实测最大洪峰流量5780 m³/s(1969年5月5日)。屯溪流域1980—2013年间共34场次洪水,其中2008年的洪水最大,洪峰流量达5250 m³/s;用于中小河流实时洪水预报的2020年汛期洪水,洪峰流量为5040 m³/s。

本文使用的气象数据来自中国气象数据网,水文数据摘自《中华人民共和国水文年鉴》^[17],DEM数据来自美国地质调查局(USGS)提供的全球30"×30"分辨率的DEM数据^[18]。流域下垫面覆盖数据采用美国地质调查局提供的全球30"×30"土地覆盖数据^[19]。

2.2 模型参数空间估计

GMKHM参数呈现空间网格上的不均匀分布,如直接应用传统流域出口断面水文过程难以进行模型参数率定。GMKHM依据参数的物理意义,建立与流域地貌特征、土壤类型以及植被覆盖等之间的定量关系,减少了模型参数对流域出口断面水文资料的依赖,可以获得参数合理的空间分布^[19]。

GMKHM蒸散发参数中叶面指数、最大叶面指数、作物高度通过每个栅格单元的LADS直接获取^[20];深层蒸散发系数与栅格单元的植被覆盖率有关,在植被密集地区可取0.18,因此可假定其与植被覆盖率的比值为0.18^[21];蒸散发折算系数主要与测量水面蒸发所用的蒸发器有关,对于国内普遍采用的E-601蒸发皿而言,一般取1;地表曼宁糙率系数可由陆面地表覆盖类型得到^[22]。产流模型(含分水源)参数包括蓄满产流与超渗产流两类参数。单元栅格张力水容量、自由水蓄水容量根据赵人俊等^[23]比较新安江模型与SACRAMENTO模型后得出。壤中流的出流系数和地下水的出流系数根据赵人俊等^[23]的研究成果,其和表示自由水出流的快慢,与土壤类型有关。超渗产流计算中,Green-Ampt下渗方法参数的有效水力传导度、湿润锋面土壤吸力均根据水文学手册^[24]取值,饱和含水率由栅格单元的土壤类型获取^[25]。由于新安江屯溪流域为典型湿润流域,以蓄满产流为主,模型运行时关闭超渗产流计算模块。汇流参数包括河道曼宁糙率系数、地表坡度、河道坡度。河道曼宁糙率系数和河道坡度与上游汇水面积有关,地表坡度、河道坡度均可通过DEM数据求得^[17]。

2.3 模型应用与分析

2.3.1 对历史典型洪水的验证

选取1980—2013年间34场屯溪流域历史典型洪水,时间步长取为1 h,用GMKHM对其进行洪水模拟,探求模型的适用性。根据DEM与下垫面覆盖数据的分辨率(30"×30"),屯溪流域划分为3605个30"×30"的水文计算单元网格,流域降水资料采用反距离权重法插值到网格计算单元。表1为34场洪水模拟结果特征值。GMKHM参数直接由空间估计获取,减少了对历史资料的依赖。从预报结果可以看出,与新安江模型相比,GMKHM在屯溪流域洪水模拟效果评估中,根据GBT 22482—2008《水文情报预报规范》,均为甲等预报方案,应用效果良好;GMKHM与新安江模型模拟精度相当,径流量相对误差和峰现时差平均值GMKHM稍优,洪峰相对误差平均值相近。GMKHM是在新安江模型基础上发展的,应用于屯溪流域时,只保留蓄满产流,从1986-06-11、1989-05-01、1994-05-01、1999-05-21、2008-06-09、2013-06-27等模拟结果可以看出,模型对流域洪水预报精度良好,也证明了GMKHM应用的合理性和可靠性。

2.3.2 2020年汛期洪水实时预报

2020年6月23日至7月11日,屯溪流域历经13场较强降水过程,流域累计面雨量为710.4 mm,持续强降水致使屯溪水文站在7月7日16时流量达5040 m³/s,中小河流洪水灾害严重。本文以发展的短时临近降水逐小时滚动集合(最优、最大、最小)预报驱动GMKHM,对本次洪水过程进行逐小时实时滚动预报,探求对中小河流洪水预报预见期的延长效果。其中,洪水起报时间从7月7日2时开始,起报时间前使用实况降水,起报时间至峰现时间预见期内使用降水集合预报;以较强降水(5 mm/h以上)量级进行检验评估,0~2 h临近定量降水预报逐小时Threat Scores(TS)评分平均为0.15,高于传统LK光流法的0.07;2~12 h短时定量降水预报逐小时TS评分平均为0.12;12 h累计定量降水预报TS评分达0.51,高于GRAPES-3KM同预

表 1 屯溪流域洪水模拟特征值对比

Table 1 Characteristic comparison of flood simulation results in Tunxi Basin

序号	洪水 起始日期	累计 降水量/mm	实测洪峰流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	径流量相对误差/%		洪峰相对误差/%		峰现时差/h		确定性系数	
				G	X	G	X	G	X	G	X
1	1982-05-01	191.32	4280	-1.33	1.99	-0.2	2.8	1	0	0.98	0.97
2	1983-05-11	74.15	1300	-7.13	7.28	-10.1	2.5	0	-1	0.92	0.96
3	1983-05-14	74.59	1510	3.86	12.57	-15.3	-1.7	0	-1	0.98	0.95
4	1983-05-29	125.61	2490	8.72	15.47	11.1	18.7	-2	-3	0.95	0.85
5	1983-06-09	97.35	2170	-3.99	2.94	4.5	-6.0	-3	0	0.9	0.97
6	1984-05-01	89.6	1570	8.25	10.66	-26.0	-24.9	-1	-2	0.86	0.79
7	1984-08-26	135.93	2513	-4.48	-14.68	1.4	-0.7	4	4	0.97	0.96
8	1986-06-11	91.57	2260	0.73	-1.27	6.3	5.7	0	-1	0.94	0.92
9	1987-06-19	27.03	945	19.93	29.69	16.7	25.0	4	5	0.8	0.78
10	1988-05-07	77.30	1390	-6.65	-5.91	-16.1	-13.6	-1	-2	0.85	0.81
11	1988-06-11	40.19	1000	6.04	24.91	1.9	19.3	-1	-2	0.88	0.83
12	1989-05-01	78.92	1740	10.20	7.49	1.8	-8.2	0	-3	0.97	0.84
13	1989-06-12	113.47	2274	1.71	6.59	-10.8	-0.4	0	-1	0.97	0.98
14	1989-06-30	71.45	1740	2.31	17.36	1.4	13.5	0	-2	0.97	0.93
15	1989-07-22	89.2	1470	-6.53	-29.60	2.2	0.8	-2	-4	0.87	0.76
16	1990-05-01	52.67	1700	-9.41	3.34	14.8	15.8	-1	-2	0.96	0.93
17	1990-06-11	126.94	2500	5.32	7.66	-12.7	-6.8	3	1	0.94	0.98
18	1991-05-18	130.37	2220	8.96	3.96	-19.3	-14.6	-3	-4	0.9	0.84
19	1991-06-30	54.55	2060	2.79	10.46	22.6	30.7	-1	-2	0.87	0.84
20	1992-06-20	114.85	3150	9.10	-12.76	-2.2	-6.4	-1	-2	0.96	0.83
21	1993-05-27	193.61	4700	1.51	11.49	-18.0	4.7	0	-2	0.95	0.91
22	1994-05-01	154.68	4160	7.66	0.53	-0.8	-19.4	-1	-2	0.97	0.83
23	1995-05-15	113.24	4070	6.62	6.33	12.7	3.4	-3	-2	0.89	0.95
24	1996-06-01	180.69	6490	3.83	-5.28	14.3	-3.1	1	-3	0.96	0.87
25	1997-06-06	116.27	2730	-6.15	-1.83	0.9	18.9	-3	-4	0.95	0.84
26	1998-05-01	132.32	4270	15.69	-3.07	19.1	8.7	-1	-4	0.93	0.91
27	1999-05-21	91.26	2960	-2.50	16.26	4.3	3.6	1	-1	0.98	0.91
28	1999-06-22	131.23	3780	9.76	25.09	9.4	19.8	0	-4	0.96	0.82
29	1999-08-24	118.41	2890	0.24	11.28	-19.4	9.0	0	0	0.96	0.92
30	2001-05-01	72.36	1410	-25.73	14.41	-19.2	10.8	0	-1	0.87	0.88
31	2001-06-20	134.52	3640	-9.23	-15.33	-1.5	0	-3	-2	0.89	0.92
32	2002-05-13	123.81	2120	-8.31	9.40	-4.3	-1.2	0	1	0.86	0.94
33	2008-06-09	154.31	5250	-1.33	1.62	-0.2	0.3	1	1	0.98	0.98
34	2013-06-27	137.21	3980	-7.13	7.82	-10.1	9.1	0	0	0.92	0.93
绝对值平均				6.90	10.50	9.8	9.7	1.2	1.9	0.92	0.89

注:G代表GMKHM,X代表新安江水文模型。

报时效评分;以洪峰误差 20%、峰现时间误差为 1 h 衡量洪峰预报准确性。从表 2 和图 2 可以看出,7 月 7 日 2—7 时起报的降水预报精度相对不高,导致最优预报洪峰效果越来越差,但随着 7 时之后起报的降水预报精度逐步提升,洪水最优预报精度随着预见期临近越来越高;自 9 时起报的洪峰误差均在 10%,最优预报的峰现时间误差均小于 1 h,而不考虑预见期降水的中小河流洪水预报直到 13 时才预报出洪峰,且峰现时间误差为 1 h,对比预见期提前了 4 h;且自 2 时起报的最大预报与最小预报很好地包含了实况流量过程线,之间的跨度(最大与最小预报之差)越来越小,接近于实况过程。

3 结 语

为了延长中小河流洪水预报的预报预见期,发展了短时临近精细化网格降水集合预报(3 个成员:最优预报、最大预报、最小预报)技术,驱动 GMKHM,建立基于短时临近集合预报的中小河流洪水预报模型。以皖南山区新安江上游屯溪流域为验证流域,对流域 2020 年汛期大洪水进行实时滚动预报。结果表明,基于短时临近最优降水预报的中小河流洪水预报模型提前了 7 h 预报出屯溪洪峰,洪峰误差为 5.6%,峰现时差为 1 h,比不考虑预见期降水的中小河流洪水预报提前了 4 h;基于短时临近最大、最小降水预报的中小河流

表2 屯溪流域2020年实时预报洪水洪峰
Table 2 Flood peak of Tunxi Basin by real-time forecasting in 2020

序号	洪水起报时间	预报洪峰/(m ³ ·s ⁻¹)				最优预报 峰现时间/h
		最优	最大	最小	跨度	
1	7月7日2时	5333.3	9040.5	3242.0	5798.5	-4
2	7月7日3时	5488.9	6169.3	2529.2	3640.1	-3
3	7月7日4时	4537.3	5893.9	2663.6	3230.3	-3
4	7月7日5时	3943.1	6400.1	2964.5	3435.6	-2
5	7月7日6时	3433.7	5694.1	2867.9	2826.2	-2
6	7月7日7时	2967.1	4721.5	2134.8	2586.7	-2
7	7月7日8时	4360.5	4647.4	3459.9	1187.5	-2
8	7月7日9时	4777.9	5586.7	4063.3	1523.4	-1
9	7月7日10时	4887.9	5281.8	4089.2	1192.6	-1
10	7月7日11时	4910.0	5588.1	4414.6	1173.5	-1
11	7月7日12时	5085.8	5187.1	4456	731.1	0
12	7月7日13时	5017.3	5481.3	4816.2	665.1	0

洪水预报模型提前13 h 预报出洪峰区间,并自7月7日9时起,最大与最小预报之间跨度逐渐减少。

笔者认为,针对面向中小河流洪水预报的流域雨量场构建,仍需要进一步的研究。

a. 流域雨量实况场。中小流域水文气象监测不足,呈“东密西疏”“大密小疏”,空间代表性不够,基于天气雷达回波反演特别是在复杂地形地区的降水反演精度不够,难以准确捕捉中小河流致洪强降水的精细化分布。随着多源遥感技术的快速发展,基于天基、空基、地基等多源监测资料,研发复杂地形影响下不同水文气象分区基于大数据识别与融合同化技术的三维降水监测技术,是提升面向中小河流洪水预报的流域雨量场精度的重要手段之一。

b. 流域雨量预报场。降水是决定中小河流洪水预报精度和预见期的关键因素,目前,面向中小流域的高分辨率雨量预报场构建技术亟须加强。构建不同水文气象分区降水特征条件下多源信息融合的高时空分辨率雨量场,发展基于人工智能与数值模式的雷达智能外推短时临近降水预报技术,构建面向中小流域的无缝隙精细化智能网格降水预报,是中小河流洪水预报下一步要解决的关键技术。

参考文献:

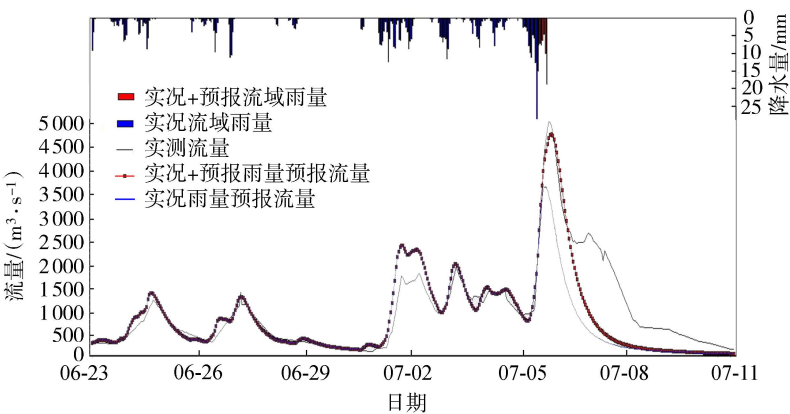
[1] 李致家,朱跃龙,刘志雨,等. 中小河流洪水防控与应急管理关键技术的思考[J]. 河海大学学报(自然科学版),2021,49(1):13-18. (LI Zhijia, ZHU Yuelong, LIU Zhiyu, et al. Thoughts on key technologies of flood prevention and emergency management in small and medium-sized rivers[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2021, 49(1): 13-18. (in Chinese))

[2] WAN Y, KONYHA K. A simple hydrologic model for rapid prediction of runoff from ungauged coastal catchments[J]. Journal of Hydrology, 2015, 528: 571-583.

[3] REED S, SCHAAKE J, ZHANG Z. A distributed hydrologic model and threshold frequency-based method for flash flood forecasting at ungauged locations[J]. Journal of Hydrology, 2007, 337(3/4): 402-420.

[4] GOLIAN S, SAGHAFIAN B, MAKNOON R. Derivation of probabilistic thresholds of spatially distributed rainfall for flood forecasting[J]. Water Resources Management, 2010, 24(13): 3547-3559.

[5] 包红军,林建,曹爽,等. 基于流域地貌的中小河流致洪动态临界面雨量阈值研究[J]. 气象, 2020, 46(11): 1495-1507.



雨量实况场(6月23日17时至7月7日9时)、雨量预报场(7月7日9—16时)

图2 2020年屯溪流域基于降水最优预报的洪水预报结果
Fig.2 Flood forecasting result based on optimal precipitation forecasts in Tunxi Basin in 2020

- (BAO Hongjun, LIN Jian, CAO Shuang, et al. Topography-based dynamic critical area rainfall threshold for small to middle-sized river flood warning[J]. Meteorological Monthly, 2020, 46(11): 1495-1507. (in Chinese))
- [6] LI J, CHEN Y, WANG H, et al. Extending flood forecasting lead time in a large watershed by coupling WRF QPF with a distributed hydrological model[J]. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 2016, 21: 1-45.
- [7] 刘佳, 邱庆泰, 李传哲, 等. 降水临近预报及其在水文预报中的应用研究进展[J]. 水科学进展, 2020, 31(1): 129-142. (LIU Jia, QIU Qingtai, LI Chuanzhe, et al. Advances of precipitation nowcasting and its application in hydrological forecasting [J]. Advances in Water Science, 2020, 31(1): 129-142. (in Chinese))
- [8] 包红军, 曹勇, 林建, 等. 山洪灾害气象预警业务技术进展[J]. 中国防汛抗旱, 2020, 30(9/10): 40-47. (BAO Hongjun, CAO Yong, LIN Jian, et al. A review: operational technology advances in meteorological early warning for flash flood disasters [J]. China Flood & Drought Management, 2020, 30(9/10): 40-47. (in Chinese))
- [9] 毕宝贵, 代刊, 王毅, 等. 定量降水预报技术进展[J]. 应用气象学报, 2016, 27(5): 534-549. (BI Baogui, DAI Kan, WANG Yi, et al. Advances in techniques of quantitative precipitation forecast [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2016, 27(5): 534-549. (in Chinese))
- [10] 金荣花, 代刊, 赵瑞霞, 等. 我国无缝隙精细化网格天气预报技术进展与挑战[J]. 气象, 2019, 45(4): 445-457. (JIN Ronghua, DAI Kan, ZHAO Ruixia, et al. Progress and challenge of seamless fine gridded weather forecasting technology in China [J]. Meteorological Monthly, 2019, 45(4): 445-457. (in Chinese))
- [11] 庄照荣, 王瑞春, 李兴良. 全球大尺度信息在 3 km GRAPES-RAFS 系统中的应用[J]. 气象学报, 2020, 78(1): 33-47. (ZHUANG Zhaorong, WANG Ruichun, LI Xingliang. Application of global large scale information to GRAEPS RAFS system [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2020, 78(1): 33-47. (in Chinese))
- [12] 徐同, 李佳, 王晓峰, 等. 2010 年汛期华东区域中尺度数值模式预报效果检验[J]. 大气科学研究与应用, 2011(2): 10-23. (XU Tong, LI Jia, WANG Xiaofeng, et al. Validation of mesoscale numerical model in East China during 2010 flood season [J]. Research and Application of Atmospheric Science, 2011(2): 10-23. (in Chinese))
- [13] 陶局, 赵海坤, 易笑园, 等. 基于 RMAPS 的一次局地强降水过程成因分析[J]. 气象科技, 2019, 47(2): 299-230. (TAO Ju, ZHAO Haikun, YI Xiaoyuan, et al. Causal analysis of a short-time strong rainfall based on RMAPS and observation data [J]. Meteorological Science and Technology, 2019, 47(2): 299-230. (in Chinese))
- [14] BAO Hongjun, WANG Lili, ZHANG Ke, et al. Application of a developed distributed hydrological model based on the mixed runoff generation model and 2D kinematic wave flow routing model for better flood forecasting[J]. Atmos Sci Lett, 2017, 18(7): 284-293.
- [15] 包红军, 李致家, 王莉莉, 等. 基于分布式水文模型的小流域山洪预报方法与应用[J]. 暴雨灾害, 2017, 36(2): 156-163. (BAO Hongjun, LI Zhijia, WANG Lili, et al. Flash flood forecasting method based on Distributed Hydrological Models in a small basin and its application [J]. Torrential Rain and Disasters, 2017, 36(2): 156-163. (in Chinese))
- [16] 包红军, 王莉莉, 李致家, 等. 基于 Holtan 产流的分布式水文模型[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2016, 44(4): 340-346. (BAO Hongjun, WANG Lili, LI Zhijia, et al. A distributed hydrological model based on Holtan runoff generation theory [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2016, 44(4): 340-346. (in Chinese))
- [17] 中华人民共和国水文年鉴: 安徽省新安江水文资料(1980—2013) [R]. 北京: 中华人民共和国水利部水文局, 2014.
- [18] U S Geological Survey (USGS). GTOPO30 [EB/OL]. [2006-02-10]. <http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/gtopo30.html>, 2005.
- [19] U S Geological Survey (USGS). Global land cover characteristics data base [EB/OL]. [2006-02-10]. http://edcdaae.usgs.gov/glec/globdoc2_0.asp, 2005.
- [20] Land Data Assimilation Schemes (LDAS), Mapped Vegetation Parameters [EB/OL]. [2015-07-12]. http://ldas.gsfc.nasa.gov/LDAS8th/MAPPED_VEG/LDASmapveg.shtml, 2010.
- [21] YAO Cheng, LI Zhijia, YU Zhongbo, et al. A priori parameter estimates for a distributed, grid-based Xinanjiang model using geographically based information [J]. Journal of Hydrology, 2012, 468/469: 47-62.
- [22] VIEUX B E. Distributed hydrologic modeling using GIS [M]. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic, 2001.
- [23] 赵人俊, 王佩兰. 新安江模型参数的分析 [J]. 水文, 1988(6): 2-9. (ZHAO Renjun, WANG Peilan. Parameter analysis of Xin'anjiang Model [J]. Journal of China Hydrology, 1988(6): 2-9. (in Chinese))
- [24] MAIDMENT D R. Handbook of hydrology [M]. New York: McGraw-Hill, 1993.
- [25] ANDERSON R M, KOREN V, REED S. Using SSURGO data to improve Sacramento Model a priori parameter estimates [J]. Journal of Hydrology, 2006, 320: 103-106.