

TIGGE 降雨信息在柴河流域洪水预报中可利用性评估

刘 硕, 王国利, 张 琳

(大连理工大学 水利工程学院, 辽宁 大连 116024)

摘 要: 基于全球多模式集合预报(TIGGE)资料, 以柴河流域为研究区域, 采用 TS 评分、Brier 评分和 Talagrand 分布等方法对欧洲中期天气预报中心(ECMWF)、美国国家环境中心(NCEP)和英国气象局(UKMO)三个中心集合预报的 6h、12h、24h 短期降雨量进行定量评估和对比, 并分别以实测降雨和 NCEP 预报降雨驱动新安江模型模拟洪水过程, 据此探讨了集合降雨预报的可利用性。得到两个重要结论: ECMWF、NCEP 和 UKMO 对低雨量级降雨的预报效果较好, 各雨量级的预报效果有随预见期增长而增加的趋势, 且普遍存在空报率较高、漏报率偏低的情况; 集合降雨预报信息可应用于新安江模型进行洪水预报, 并能够有效的延长洪水预报的预见期。研究成果可在适当条件下推广应用至其它流域的洪水预报作业中。

关键词: TIGGE 集合预报; 短期降雨预报; 可行性评估; 新安江模型; 洪水预报

中图分类号: P333

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2018)05-0017-06

降雨信息是水文预报模型的重要驱动数据, 其精度在很大程度上决定水文预报的精度^[1], 一般降雨数据主要通过地面雨量站网获取, 但以实测降雨数据驱动预报模型来进行水文预报时, 预见期主要由流域内降雨特点、下垫面条件等因素决定, 影响了水文预报的预报时效。为此, 准确、及时、定量的降雨预报逐渐成为驱动水文预报的重要依据, 并开始有学者尝试将降雨预报信息用于流域洪水预报作业中, 如张洪刚在长江三峡水库区间流域进行了预报降雨与洪水预报模型的耦合实验^[2], 包红军将集合降雨预报应用到淮河流域的洪水预报中^[3]。降雨预报结果的可靠性是决定洪水预报的关键性因素, 目前采用较多的是单一的确定性数值降雨预报, 由于该方法存在初值误差、模式误差以及大气本身的混沌特性, 其预测结果存在较大的不确定性, 而集合预报技术的出现为避免预报结果的不确定性提供了新的思路^[4]。多模式、多成员的扰动预报技术将单一的定值预报转变成为多模式、多集成的概率预报^[5], 对于降雨预报准确率的提高以及预见期的延长有着极为重要的意义。

近年来, 柴河流域下垫面发生了显著变化, 洪水预报作业的难度也相应增加, 同时对柴河水库上游洪水预报的精度和预见期都提出了更高的要求。本文以柴河流域为对象, 选取了 TIGGE 中 ECMWF、NCEP、UKMO 三种集合降雨预报产品。依据实测降雨资料, 通过 TS 评分、Brier 评分以及 Talagrand 分布图等多种评测指标评估了三种模式的短期预报效果。同时, 以 NCEP 降雨预报和实测降雨分别驱动新安江模型进行洪水过程模拟, 通过对比模拟效果, 进一步验证集合降雨预报在洪水预报中的可利用性。

1 研究区域概况及资料整理

1.1 研究区域概况

柴河水库位于辽宁省铁岭市境内, 是一座以防洪、灌溉、工业和城市供水为主, 兼顾发电、养鱼综合利用的大型水利枢纽工程。该水库总库容为 $6.36 \times 10^8 \text{m}^3$, 集水面积 1355km^2 , 流域多年平均降水量 737mm , 多年平均径流量 $3.73 \times 10^8 \text{m}^3$ 。植被覆盖类型有水田、旱地、森林、水域等。本次研究主要数据来流域内 5 处雨量站, 分布如图 1。柴河流域属温带半湿润半干旱大陆

收稿日期: 2017-03-20

作者简介: 刘硕(1990-), 男, 山东滨州人, 硕士研究生, 主要研究方向为水文预报及调度。E-mail: ls_dut@foxmail.com

通讯作者: 王国利(1964-), 男, 辽宁大连人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为区域水资源综合利用。E-mail: wanggl@dut.edu.cn

性季风气候,降雨有从东向西减少的趋势,且年内分配不均,主要集中在夏季,尤其是7、8月份,且多为历时短、雨量强的暴雨,也是形成柴河流域洪水的主要因素。除此以外,流域内地形多山坡地,导致汇流时间短、洪水预见期较短,因此水库实时洪水调度中迫切需要延长洪水预见期,以降雨预报信息为驱动进行洪水预报,提高水库防洪综合效益。



图1 柴河雨量站的分布

Fig.1 The distribution of the precipitation stations in the Chaihe River basin

1.2 TIGGE 资料整理

选取柴河流域2010~2016年3~10月各雨量站每小时的降雨观测资料,预报资料为TIGGE中心的ECMWF、NCEP、UKMO三种集合预报降雨资料,最小预报累计时间为6h,空间分辨率为 0.5° 。由于TIGGE降雨预报资料均为格点资料,而实测资料为站点资料,且落入柴河流域内的格点较少,代表性不强,因此在检验降雨预报可利用性之前,需要将格点资料通过双线性插值法转化为站点资料。

另外,本次选取了TIGGE中心提供的降雨预报资料的预见期分别为6h、12h、24h,而现有雨量分级标准主要为1h、12h和24h时段,因此需要进一步划分雨量级。本文以“同一降雨量级,不同累积时段降雨量值随着时段的增加而成倍递增”为原则,由1h和12h降雨量分级标准插值得到6h降雨量等级标准^[6],另外考虑到柴河流域大暴雨以上级别的降雨次数较少,将其归入暴雨级别,因此本文的雨量级划分如表1所示。

表1 降雨量级标准(mm)

Table1 The classification of rainfall grade

雨量级预见期	无雨	小雨	中雨	大雨	暴雨
24h	<0.1	0.1~9.9	10.0~24.9	25.0~49.9	≥ 50.0
12h	<0.1	0.1~4.9	5.0~14.9	15.0~29.9	≥ 30.0
6h	<0.1	0.1~3.9	4.0~11.9	12.0~24.9	≥ 25.0

2 预报评估方法及分析

集合预报作为不确定性预报,具有定量预报和概

率预报的综合特征。故本节主要结合TS和偏差Bias来分析定量预报的预报效果,即准确率、空报率和漏报率;其次,分别应用Brier评分和CRPS评分对概率预报的预报精度和预报技巧进行合理的评估。

2.1 TS评分和偏差Bias分析

TS(Threaten Score)评分^[7],又称临界成功指数CSI,也即准确率,用于度量预报某事件发生和观测某事件发生的一致性,是国内降雨评估最常用的一个评价工具。在集合预报中,可以用来评估集合平均或中值预报的结果。TS值越大表示预报的准确率越高。计算公式为:

$$TS = N_A / (N_A + N_B + N_C) \quad (1)$$

TS评分仅考虑某事件预报发生的次数,且对命中频数敏感,不能有效分析预报误差的原因。而偏差Bias结合了漏报与空报两种情况,恰恰弥补了TS评分的不足。偏差Bias的取值以1为标准,等于1时,表示预报结果理想,大于1时,表示预报存在空报,小于1时表示预报存在漏报。计算公式为:

$$Bias = (N_A + N_B) / (N_A + N_C) \quad (2)$$

式中: N_A 、 N_B 和 N_C 分别为预报降雨的报对次数、空报次数和漏报次数。

图2、图3分别为三家机构集合降雨预报的TS评分和偏差Bias。可以看出“无雨”预报TS评分较高,均在0.95以上,表明无雨预报效果理想,可以直接利用。其他量级的评价结果显示,三家机构的TS评分整体上呈现随预报时长的增加而提高的趋势。另一方面除无雨和暴雨两种雨量级外,其他量级普遍存在偏差Bias大于1的现象,表明空报率较高,也即预测值有明显大于实测值的趋向。至于暴雨级别偏差Bias小于1的原因,考虑是实测数据中暴雨级别降雨的次数较少,影响了数据的代表性。此外,ECMWF在无雨和大雨量级的TS表现优于其他两家机构,而其他量级中各家机构的预报能力表现不一,仍需要结合以下方法进一步评估降雨预报的可利用性。

2.2 Brier评分和CRPS评分

Brier评分^[8,9]是对概率预报结果进行综合性评价的指标,因此可以用来检验集合预报的预报效果。

$$Brier = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2 \quad (3)$$

式中: N 为某量级事件的总预报次数; P_i 为预报概率; O_i 为观测概率。若该量级事件发生, O_i 记为1,反之则为0。Brier评分取值范围为0~1,Brier越小,概率预报的预

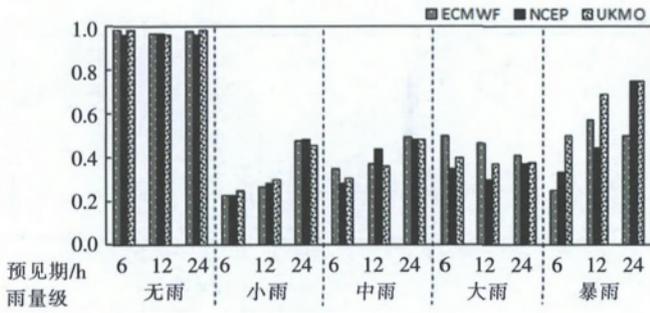


图2 TS 评分结果

Fig.2 The results of TS

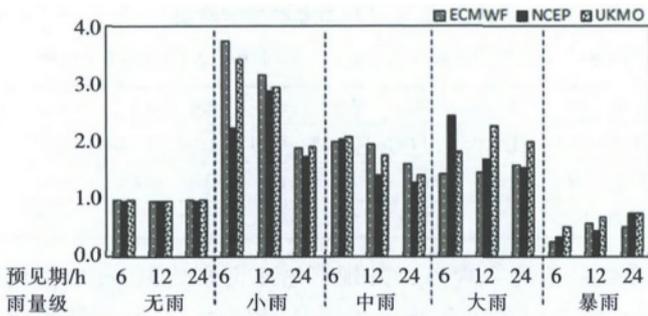


图3 Bias 评分结果

Fig.3 The results of Bias

报效果越好,当 Brier=0 时,预报效果理想,Brier=1 则表示预报失效。Brier 评分是对某一量级事件的评估,进一步分解为对集合预报性能的可靠性、分辨率和不确定性的衡量。而连续等级概率分数 (continuous ranked probability score, CRPS)^[10]则用于衡量集合预报的整体性能。CRPS 评分^[11, 12]表示预报值和实测值的累积分布函数的差别,当预报值为确定的单一值时,CRPS 等同于预报值绝对误差的平均。CRPS 与 Brier 评分的结合能够更加直观地表示该预报模式的预报性能。在实际应用中,CRPS 一般取各量级事件 Brier 评分的几何平均值,其计算公式如下:

$$\overline{CRPS} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \int_{-\infty}^{\infty} [F_i(t) - H(t - y_i)]^2 dt \quad (4)$$

式中: N 为各雨量级数; $F(t)$ 为预报累积分布函数; $H(t - y_i)$ 为实况累积分布函数; y_i 为实况。

图 4、图 5 分别为三家机构集合降雨预报的 Brier 评分和 CPRS 评分结果。观察发现:三家机构在同一雨量级下,Brier 评分有随预见期增长而上升的趋势,说明集合预报效果随预见期增长而下降;同时,可以看出 Brier 评分整体上随雨量级增加而减小,表明预报效果与雨量级成正比例相关;另一方面,在小雨之后,Brier 评分出现较大幅度下降,特别是当预报等级为暴雨时,Brier 评分接近于 0,预报理想,充分体现了 Brier 评分

对极端事件敏感的特性。单就 Brier 而言,NCEP 对无雨量级降雨的预报效果为三家机构中最优,而对于小雨级别的预报效果却明显劣与其他两家,侧面说明了各家机构对于不同降雨量级的预报能力存在一定差异性,但综合 CRPS 评分来看,三家机构评分均在 0.1 左右,差异性不大,预报效果比较理想。

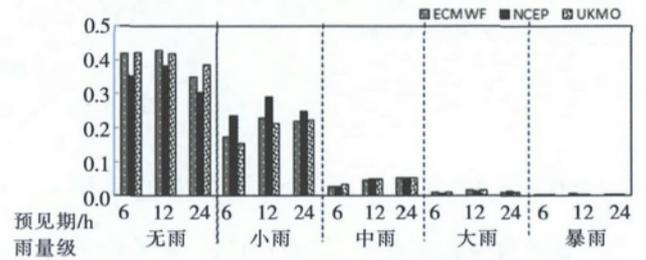


图4 Brier 评分结果

Fig.4 The results of Brier

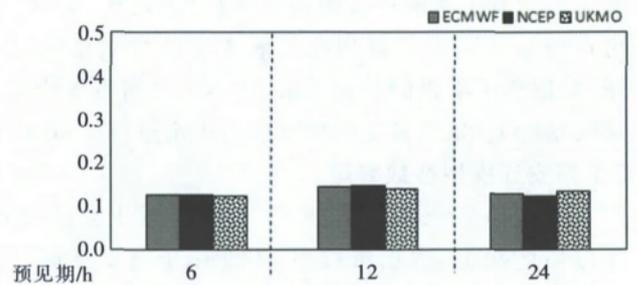


图5 CRPS 评分结果

Fig.5 The results of CRPS

2.3 Talagrand 分布图

Talagrand 分布图^[13, 14]又称排名直方图,是一种用集合成员与实测值的离散度来表示集合预报系统可靠性的检验方法。离散程度越平均,则分布图越平坦,也表明集合预报系统越可靠。计算方法:将各集合成员预测值按升序排列后统计实测值落入每个区间的频数。如集合预报共有 M 个成员,则可划分为 $M+1$ 个区间,实测值必然会落在某个区间中。计算公式为:

$$Frequency_i = f_i / N \quad (5)$$

式中: $Frequency_i$ 为落入区间的概率; f_i 为落入区间的样本数; N 为样本总数。

如图 6 为各机构 Talagrand 分布图。一般情况下,若 Talagrand 分布图呈现一条水平线,如图中的水平虚线,则表示集合成员分布均匀,发散状况理想,预测效果理想;本例中,三家机构的 Talagrand 分布图呈现“L”型,表示实测值落入前端的比例较大,表明集合预报对于小雨量级别的降雨有预报偏大的趋势,这与上文分析的偏差 Bias 的表现形式基本吻合,从安全的角度考虑,说明预报结果具备较高的可靠度。

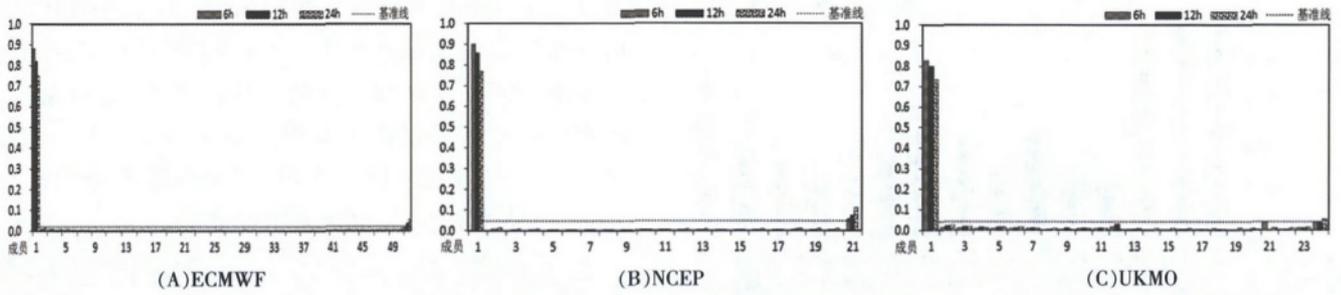


图6 各机构 Talagrand 分布检验结果

Fig.6 The results of Talagrand distribution

3 TIGGE 降雨信息在洪水预报中的应用

柴河流域位于北方半湿润地区，流域内植被覆盖面积广，涵养水分多，产流方式主要为蓄满产流，因此考虑应用基于蓄满产流的新安江模型；此外，文献^[15]也重点分析了新安江模型在柴河水库洪水预报中的应用，并取得了不错的预报效果；故本文在借鉴该研究方法的基础上，采用新安江模型进行洪水过程模拟。

3.1 新安江模型参数率定

本次研究采用 TIGGE 中心的降雨主要为 2007 年以后的数据，数据量较小，不能用于新安江模型的参数率定，因此本次研究选取了柴河流域自 1975~2006 年间 17 场历史洪水进行率定，并选取 2007~2013 年间的 4 场洪水进行率定检验。经过遗传算法的反复迭代，最终结果趋于稳定，确定的主要参数如表 2 所示。

根据《水文预报》^[16]中新安江模型参数说明，分析

表2 新安江模型参数率定结果

Table2 The calibration parameters of the Xinanjiang model

产流	S_m	W_m	U_m	L_m	B	I_m	K	C
参数	21.64	177.95	14.45	72.85	0.14	0.04	0.64	0.14
汇流	K_I	E_x	C_i	C_g	C_s	X_e	L	C_r
参数	0.63	1.27	0.06	0.95	0.51	0.31	1.57	0.68

参数取值的合理性，发现不透水面积比例 I_m 取值偏大，这是因为近年来受人类活动影响，随着不透水面积的增加，该值也有明显增大的趋势，因此本文认为其值仍在合理范围以内；另外 W_m 取值较大，明显超出了相邻流域的平均水平，考虑是柴河流域以稻田为主的耕地较多且逐年增长，对雨水的截留作用明显，间接的增加了土壤的蓄水能力，因此认为参数合理。除此以外，其他参数均在合理范围以内，可以应用于洪水预报作业。

用于检验的 4 场历史洪水(实测降雨)中产流、汇流全部合格，预报精度较高。产、汇流结果见表 3。

表3 新安江模型产汇流检验结果(实测降雨)

Table3 The verification results of the runoff yield and flow concentration of the Xinanjiang model (the observed precipitation)

洪号	产流检验					汇流检验						
	实测径流/mm	径流绝对误差/mm	径流相对误差/%	产流系数	合格	实测洪峰/ $m^3 \cdot s^{-1}$	洪峰绝对误差/ $m^3 \cdot s^{-1}$	洪峰相对误差/%	峰现时间	峰现时间绝对误差	确定性系数	合格
20070808	21.8	3.74	17.17	0.32	Y	304.5	-57.08	-18.74	5	0	0.74	Y
20100726	28.2	3.70	13.09	0.77	Y	330.5	-50	-15.13	3	0	0.91	Y
20100821	103.6	-1.03	-1.00	0.96	Y	1046.5	-188.55	-18.02	5	0	0.97	Y
20130816	60.6	8.85	14.59	0.68	Y	512	44.73	9.74	4	-1	0.88	Y

3.2 集合预报驱动新安江模型

三家机构预报效果相当，但均存在一定程度上的数据缺失，因此本节选用数据相对完整的 NCEP 集合降雨数据驱动新安江模型，并对产、汇流进行检验，检验结果如表 4，洪水过程模拟如图 7(a-d)。

洪水的形成与降雨历程息息相关，洪水的流量过

程可以更加直观的反映出降雨预报的精确性。分析表 4 得到，应用 NCEP 预报降雨驱动新安江模型进行洪水检验时，四场洪水汇流过程中，20070808 场次洪水因洪峰预测值超过实测洪峰 20% 的许可标准，而被判定为不合格，其余三场均在合格范围以内，预报精度较高。除此以外，模拟结果中 20130816 场洪水洪峰值偏

表4 新安江模型产汇流检验结果(NCEP预报降雨)

Table4 The verification results of the runoff and flow concentration of the Xinanjiang model (NCEP precipitation)

洪号	产流检验					汇流检验						
	实测径流/mm	径流绝对误差/mm	径流相对误差/%	产流系数	合格	实测洪峰/ $m^3 \cdot s^{-1}$	洪峰绝对误差/ $m^3 \cdot s^{-1}$	洪峰相对误差/%	峰现时间	峰现时间绝对误差	确定性系数	合格
20070808	21.8	8.07	37.04	0.26	N	304.5	-70.91	-23.29	5	0	0.65	N
20100726	28.2	5.46	19.35	0.71	Y	330.5	-54	-16.52	3	0	0.81	Y
20100821	103.6	2.77	2.67	0.92	Y	1046.5	-203.08	-19.41	5	0	0.97	Y
20130816	60.6	2.54	4.19	0.72	Y	512	14.63	2.86	4	-1	0.86	Y

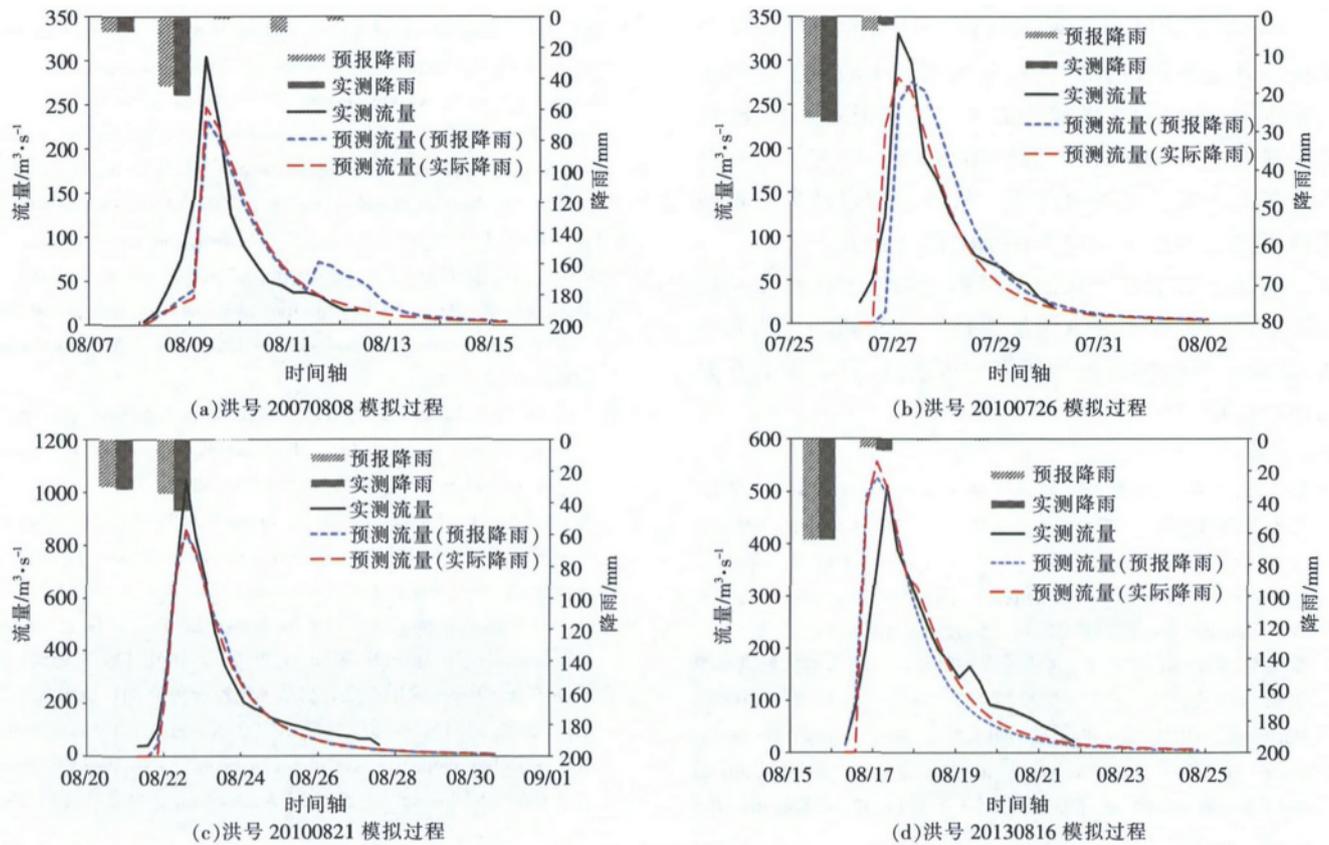


图7 场次洪水模拟效果

Fig.7 The results of floods simulation

大,正偏差为 2.86%,而其余 3 场洪峰值均小于实测值,最小负偏差为-23.29%,考虑是对集合预报成员求均值的过程中,过滤了部分降雨极值,从而对预测洪峰产生了影响。另一方面对比两种驱动数据下的洪水模拟过程发现:两者的洪水过程线整体上吻合度较高,也间接说明集合预报降雨准确度较高,预测效果比较理想。而相对比实测降雨驱动的洪水预报,采用集合降雨预报的预见期提前了至少 6h,也即洪水预见期相应的延长了 6h 以上。

总体上,TIGGE 降雨预报在柴河流域洪水预报中取得了较为理想的预报效果,并有效的延长了洪水的预见

期,可以为水库以后的综合调度提供重要的参考信息。

4 结论

本文以柴河流域为研究区域,并以实测降雨资料为基础,对 TIGGE 中 ECMWF、NCEP、UKMO 三家机构提供的短期集合降雨数据进行了可利用性分析,主要采用 TS、Brier 评分以及 Talagrand 分布图等多种评测指标对三家机构提供的短期预报效果做了评估;为探讨集合降雨预报在洪水预报中的可利用性,本文还以集合降雨数据驱动新安江模型的方式进行了实例论证,得到以下主要结论:

(1)三家预报机构中对于小雨量级别预报精度较高,预报效果理想,而对大雨以上级别的预报效果较差,存在不同程度的空报率和漏报率,考虑是因为流域处于半湿润、半干旱地区,高雨量级别的实测降雨数据的缺乏,影响了评估结果的代表性。

(2)通过分析新安江模型的洪水预报结果,基于集合预报的洪水预报与基于实测降雨数据的洪水预报效果相当,且有效的延长了洪水的预见期,可以为实际的防洪预报调度提供有利参考。

(3)本文研究主要采用集合平均的方式处理集合预报各成员的预报数值,对预报数值中的极值起到了过滤作用,影响了对极端恶劣天气的预报效果,反映在洪水预报中,即洪峰预测值的偏小倾向,因此下一步还需要在集合成员的取舍方式、权重分配以及集合预报应用于洪水预报中的风险评估上展开研究。

因此,应用集合降雨预报驱动洪水预报模型来进行洪水预报为水库防洪调度提供了一套新的思路和方法,增强了气陆耦合模型研究的可能性,具有十分重要的理论价值和前景。

参考文献:

- [1] 胡彩虹,张青山,杨帆,等. 雷达在水文预报应用中的研究进展[J]. 气象与环境科学, 2009,32(1):75-81. (HU Caihong, ZHANG Qingshan, YANG Fan, et al. Review and prospect on the application of radar in hydrological forecast [J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2009,32(1):75-81. (in Chinese))
- [2] 张洪刚,郭生练,周芬,等. 考虑预见期降水的三峡水库区间洪水预报模型研究 [J]. 长江科学院院报, 2005, (1):9-12. (ZHANG Honggang, GUO Shenglian, ZHOU Fen, et al. Flood forecasting model for three gorges reservoir intervening basin by considering precipitation prediction [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2005,(1):9-12. (in Chinese))
- [3] 包红军,赵琳娜. 基于集合预报的淮河流域洪水预报研究[J]. 水利学报, 2012,43 (2):216-224. (BAO Hongjun, ZHAO Linna. Flood forecast of Huaihe river based on TIGGE ensemble predictions [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012,43(2):216-224. (in Chinese))
- [4] 杜钧,陈静. 单一值预报向概率预报转变的基础:谈谈集合预报及其带来的变革[J]. 气象, 2010,11:1-11. (DU Jun, CHEN Jing. The corner stone in facilitating the transition from deterministic to probabilistic forecasts—ensemble forecasting and its impact on numerical weather prediction [J]. Meteorological Monthly, 2010,11:1-11. (in Chinese))
- [5] 王萍. 耦合降水集合预报的洪水预报研究 [D]. 大连:大连理工大学, 2013. (WANG Ping. The Study of Flood Forecasting Coupled with Ensemble Rainfall Forecast [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2013. (in Chinese))
- [6] 王聪璋. 英那河水库降雨预报信息可利用性研究及应用[D]. 大连:大连理工大学, 2016. (WANG Conghui. Study and Application of Rainfall Forecast Information in the Yingna River Reservoir [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2016. (in Chinese))
- [7] Brill K F, Mesinger F. Applying a general analytic method for assessing bias sensitivity to bias-adjusted threat and equitable threat scores [J]. Weather & Forecasting, 2009,24(6):1748-1754.
- [8] Casati B, Wilson L J. A new apatial-scale decomposition of the Brier score: application to the verification of lightning probability forecasts [J]. Monthly Weather Review, 2007,135(9):3052-3069.
- [9] Ferro C A T. Comparing probabilistic forecasting systems with the Brier score [J]. Weather & Forecasting, 2007,22(5):1076-1088.
- [10] Hersbach H. Decomposition of the continuous ranked probability score for ensemble prediction systems [J]. Weather & Forecasting, 2000,15(5):559-570.
- [11] Candille G, Talagrand O. Evaluation of probabilistic prediction systems for a scalar variable [J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2005,131(609):1-20.
- [12] Ferro C A T, Richardson D S, Weigel A P. On the effect of ensemble size on the discrete and continuous ranked probability scores [J]. Meteorological Applications, 2008,15(1):19-24.
- [13] Hamill T M. Interpretation of rank histograms for verifying ensemble forecasts [J]. Monthly Weather Review, 2001,129(3):550.
- [14] 皇甫雪宫. 国家气象中心集合数值预报检验评价 [J]. 应用气象学报, 2002,13(1):29-36. (HUANGFU Xueguan. The verification for ensemble prediction system of national meteorological center [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 2002,13(1):29-36. (in Chinese))
- [15] 张露. 柴河水库洪水预报及防洪调度方式研究[D]. 大连:大连理工大学, 2016. (ZHANG Lu. Research of the Flood Forecasting and Flood Control Operating of Chaihe Reservoir [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2013. (in Chinese))
- [16] 包卫民. 水文预报[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2009. (BAO Weimin. Hydrological Forecasting [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2009. (in Chinese))

Availability Assessment of TIGGE Precipitation Data in Flood Forecasting for Chaihe River Basin

LIU Shuo, WANG Guoli, ZHANG Lin

(School of Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: This study took the Chaihe River basin as the research area using the TIGGE data. The short-term precipitation of 6h,

(下转第 84 页)

主要为水汽来源、气流上升运动以及地形条件等因素;暴雨发生的时间从南到北也各不相同,最早的有3、4月份、最晚的有10、11月份;暴雨的空间分布从下游到下游、从干流到支流也各不相同,但均有相对比较集中的暴雨易发区;对于七大流域来说,国内局地暴雨强度较大的两个流域为海河流域和淮河流域。七大流域的洪水多由暴雨产生,洪水发生时间和暴雨基本一致,洪水过程受干流洪水和支流洪水、台风和梅雨遭遇的时机不同,且受流域面积、地形等因素影响,其洪水过程形状有尖瘦型,有矮胖型,有峰高量大,有峰高量小型等,洪水过程时间有1~2d的短时洪水,也有持续1~2月的长历时洪水。

分析降雨和径流、暴雨和洪水特性,有助于分析洪涝灾害成因和进行设计径流、洪水成果合理性检查,暴雨和洪水特性对于分析设计洪水组合、洪水传播时间和过程,计算设计洪水成果具有重要作用,加强暴雨和径流、洪水特性的统计、计算和分析,是运用好实测水文数据的前提,也是设计径流和洪水计算的基础工作之一。

参考文献:

[1] 刘柱,徐志侠,李丰龙,等. 西北干旱地区水文特性及水资源管理措施研究[J]. 水电能源科学, 2013,31(6):51-54. (LIU Zhu, XU Zhixia,

LI Fenglong, et al. Study of hydrological characteristic and water resources management measures for arid region in northwest China [J]. Water Resources and Power, 2013,31(6):51-54. (in Chinese))

[2] 季山,张德伟,王红星. 呼玛河流域水文特性及水文模拟[J]. 黑龙江水专学报, 1998,3:15-26. (JI Shan, ZHANG Dewei, WANG Hongxing. The hydrological simulation and characteristic of Huma River basin [J]. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering, 1998,3: 15-26. (in Chinese))

[3] 周业富, 杨兴明. 北盘江流域水文特性分析 [J]. 中国水运, 2008,9: 173-174. (ZHOU Yefu, YANG Xingming. The analysis of hydrological characteristics of Beipan River basin [J]. China Water Transport, 2008,9:173-174. (in Chinese))

[4] 代俊峰,郭纯青,方荣杰. 西南岩溶灌区水文特性及其模拟模型的构建[J]. 水资源与水工程学报, 2011,22(4):11-15. (DAI Junfeng, GUO Chunqing, FANG Rongjie. Hydrologic characteristics in southwest karst irrigated area and construction of simulation model [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2011,22(4):11-15. (in Chinese))

[5] 林三益,缪韧,易立群. 中国西南地区河流水文特性[J]. 山地学报, 1999,(3):49-52. (LIN Sanyi, MIAO Ren, YI Liqun. Hydrological features of rivers in southwest China [J]. Journal of Mountain Science, 1999(3):49-52. (in Chinese))

[6] 罗扬生. 我国西南国际河流水文特性[J]. 人民珠江, 1995,(6):15-19. (LUO Yangsheng. Hydrological features on southwest international rivers of China [J]. Pearl River, 1995,(6):15-19. (in Chinese))

Analysis of Hydrologic Characteristics in the Seven Major Basins

LIU Wei, ZHAI Yuan, YANG Liying

(Institute of Water Resources & Hydropower Planning and Design of MWR, Beijing 100120, China)

Abstract: In China, there are large geographical spans of east-west and north-south and obvious difference of hydrological characteristics. This paper analyzed the hydrological characteristics of climate, rainfall and runoff, rainstorm and flood in the seven major river basins, and summarized the spatial distribution of rainfall and runoff in the upstream-downstream and mainstream-tributary, and also studied the causes, occurrence time, spatial distribution, rainstorm intensity, flood process and flood encounter of the annual and inner-annual distribution of rainstorm and flood.

Key words: seven major basins; hydrological characteristics; analysis; hydrological results; revision

(上接第22页)

12h and 24h from ECMWF, NCEP and UKMO were taken into quantitative evaluation and comparison by using the methods of TS score, Brier score and Talagrand distribution. And then the Xinanjiang model was driven to simulate the flood process with the actual rainfall and NCEP rainfall forecasting respectively. The availability of ensemble forecast was discussed and the results show that: (1) The ECMWF, NCEP and UKMO are better for rainfall forecast with low precipitation, and the forecast effect of each rainfall level increases with the forecast period, and in general, the empty reporting rate is higher than the omissive judgement rate. (2) The data of ensemble forecast can be applied to the flood forecast of Xinanjiang model, and can effectively extend the forecast period of flood forecast. Therefore, the research results could be applied to flood forecasting in the other basins.

Key words: TIGGE; short-term rainfall forecast; availability evaluation; Xinanjiang model; flood forecast