

黄瑶,刘新超,淡嘉. 大渡河上游面雨量预报质量检验与释用[J]. 中低纬山地气象,2023,47(5):64-68.

大渡河上游面雨量预报质量检验与释用

黄瑶^{1,2},刘新超^{1,2},淡嘉^{1,2}

(1. 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室,四川 成都 610072;2. 四川省气象服务中心,四川 成都 610072)

摘要:基于 2019 年 6—10 月中央气象台智能网格预报模式(NWGD)降水产品和 CMPAS - V2.1 融合降水分析实时数据产品,采用平均绝对误差、晴雨预报正确率、TS 评分等方法评估该预报产品对大渡河上游面雨量的预报效果。评估结果表明:NWGD 预报产品在大渡河上游面雨量的预报效果整体较好,平均绝对误差范围控制在 5.6 mm 以内,晴雨预报可信度较高。小雨的预报效果好于中雨,小雨的 TS 评分大于中雨,空报率和漏报率均低于中雨。将小雨和中雨分别做消空处理,小雨各预报时效消空处理后晴雨预报正确率提升不明显,而中雨预报效果有明显提升。

关键词:大渡河上游;面雨量;TS 评分;预报检验

中图分类号:P457.8 **文献标识码:**B

The Performance Evaluation and Interpretation of Area Rainfall Forecast in the Upper Reaches of the Dadu River

HUANG Yao^{1,2}, LIU Xinchao^{1,2}, DAN Jia^{1,2}

(1. Heavy Rain and Drought - Flood Disasters in Plateaus and Basin Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610072, China; 2. Sichuan Meteorological Service Center, Chengdu 610072, China)

Abstract:Based on the precipitation product of the intelligent grid forecasting model (NWGD) of the Central Meteorological Observatory and the real - time data product of CMPAS - V2.1 integrated precipitation analysis from June to October 2019, the mean absolute error, accuracy rate of rain forecast, treat score and other methods were used to evaluate the forecast effect of the forecast product on the upper reaches of Dadu River. The results show that the NWGD forecast products have a good forecast effect on area rainfall in the upper reaches of Dadu River, the mean absolute error range is controlled within 5.6 mm, and the reliability of weather forecast is high. The forecast effect of light rain is better than that of moderate rain. The treat score of light rain is higher than that of moderate rain, and the rate of false report and missing report is lower than that of moderate rain. After the light rain and moderate rain were degraded respectively, the forecast quality of light rain is not improved obviously, but the forecast effect of moderate rain is obviously improved.

Key words:upper reaches of the Dadu River;area rainfall;TS score;forecast verification

0 引言

面雨量是洪水预报的重要参数,是抗洪救灾及水电资源调度的重要参考依据^[1-3],面雨量预报成为水文气象服务的重要业务之一。随着数值预报

的发展,各类数值预报产品被应用于面雨量预报研究,各类产品对不同区域的预报效果也不尽相同,因而预报产品的质量检验及释用不可或缺。关于面雨量预报产品检验方面的研究已经有了诸多成果^[4-7]。刘静等^[8]基于站点降水资料和 4 个数值模

收稿日期:2022-09-29

第一作者简介:黄瑶(1993—),女,工程师,主要从事天气预报服务工作,E-mail:2427379376@qq.com。

通讯作者简介:刘新超(1982—),男,高工,主要从事天气预报服务工作,E-mail:liuxc82@163.com。

资助项目:高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室科技发展基金研究型业务面上专项(SCQXKJYJXMS202217)。

式预报资料对淮河流域汛期面雨量进行了检验评估,发现 ECMWF 预报整体上优于其他模式预报。王红燕等^[9]利用 T213 预报产品构建了沙澧河上游关键区的暴雨和大暴雨模型并检验了该模型对强降水的预报准确率。杨诗芳等^[10]运用模糊评分法研究了 MM5 数值预报产品在钱塘江和太湖地区面雨量的预报水平,发现应用对数线性释用方法释用该数值预报产品后使预报可信度明显增加。朱占云等^[11]研究了多模式预报产品在浙江省水库流域面雨量的预报效果,检验结果表明对大雨、暴雨的预报 ECMWF 效果优于其他模式,而对中雨的预报则是 OCT 模式较好。张艳等^[12]应用动态系统响应校正技术,对大渡河面雨量进行实时修正处理,提高了预报精度。

大渡河流域是岷江的最大支流,是岷江正源,发源于青海省玉树藏族自治州境内阿尼玛卿山脉的果洛山南麓,全长 1062 km,流域面积达 7.77 万 km²。大渡河上游地形复杂,流经川西高原,高度差显著,径流量大,拥有多个梯级水电站,是西南地区重要的水利枢纽和淡水来源^[13-14]。面雨量预报对大渡河水电调度、洪峰预测均有重要影响。开展大渡河流域面雨量预报质量检验及本地化释用研究,对于提高大渡河流域防汛决策以及水电气象服务水平具有重要意义。智能网格预报模式(NWGD)应用于大渡河面雨量预报方面的研究还不多,NWGD 产品是四川省流域预报业务中的重要参考指标,而对该预报产品的预报效果还需检验评估。本文基于 NWGD 降水预报产品,同时利用 CMPAS-V2.1 融合降水产品作为实况资料,计算大渡河上游面雨量,采用平均绝对误差、晴雨预报正确率、TS 评分、空报率、漏报率等指标对面雨量进行分级检验,并对评估结果进行解释应用。

1 资料来源及方法

1.1 资料来源及研究区域

本文主要以 2019 年 6—10 月期间大渡河上游降水为研究对象,研究区域包括色达、班玛、久治等 14 个县域,具体区域范围见图 1。本文选用的数值预报产品是中央气象台下发的 NWGD 降水预报产品,空间分辨率为 5 km×5 km,预报时效为 24~240 h,该数据可通过省级通讯网络获取。降水实况资料选用 CMPAS-V2.1 融合降水产品,空间分辨率为 5 km×5 km,时间分辨率为 1 h,通过时间重采样将时间分辨率调整为 1 d,该数据可通过中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)获取。CMPAS-V2.1

产品是由国家信息中心研发,基于“概率密度函数(PDF)+贝叶斯模式平均(BMA)+最优插值(OI)”方法研制的中国区域地面自动站、卫星、雷达三源降水融合的降水实况产品。基于独立样本的统计检验表明,该产品各项统计指标均优于 TRMM 多卫星降水分析产品和 NOAA/CPC 研制的全球陆地日值降水格点分析产品(GPCP),能更好地反映我国地面降水实况。该产品已经在全国范围内投入业务使用,其在智能网格预报、气象灾害预警业务监测及产品检验、GPAPES 检验评估等业务中发挥积极作用^[15-16]。预报产品和实况产品均采用算数平均法^[17-18]计算大渡河上游流域面雨量。

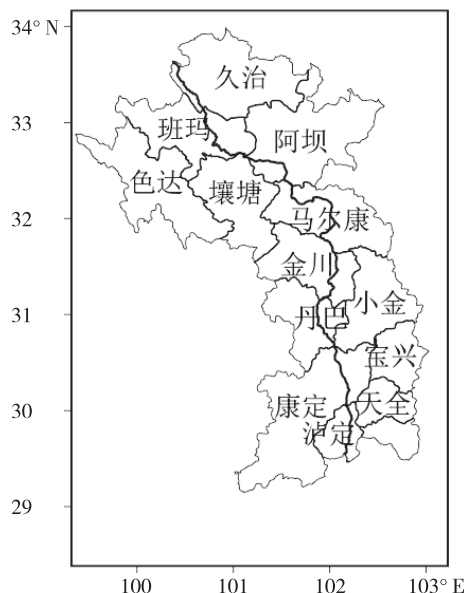


图 1 大渡河上游研究区域

Fig. 1 Research area in the upper reaches of Dadu River

1.2 检验方法

参考我国江河面雨量等级划分标准,将 24 h 面雨量划分为小雨(0.1~5.9 mm)、中雨(6.0~14.9 mm)、大雨(15.0~29.9 mm)、暴雨(≥ 30.0 mm) 4 个等级。根据《中短期天气预报质量检验办法》(中国气象局,2005)中降水预报质量评分标准和《全国七大江河流域面雨量监测预报业务规定》中面雨量检验方法,采用平均绝对误差、平均晴雨正确率和 TS 分级评分统计评价指标,对大渡河上游面雨量预报产品进行检验。各统计评价指标如下^[5-6]:

平均绝对误差(E_n):指预报值和实况值的平均绝对误差,其计算式为:

$$E_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |R_f - R_0| \quad (1)$$

式中, n 为有降水预报正确的天数, R_f 为有降水

且预报正确时的面雨量预报值, R_0 为有降水且预报正确时的面雨量实况值, 本文仅统计实况有降水且预报也有降水时的误差。

晴雨预报正确率为:

$$PC = \frac{NA + ND}{NA + NB + NC + ND} \times 100\% \quad (2)$$

式中, NA 为有降水预报正确次数, NB 为空报次数, NC 为漏报次数, ND 为无降水预报正确的次数。

对降水分级检验, 各级 TS 评分为:

$$TS_k = \frac{NA_k}{NA_k + NB_k + NC_k} \times 100\% \quad (3)$$

漏报率为:

$$PO_k = \frac{NC_k}{NA_k + NC_k} \times 100\% \quad (4)$$

空报率为:

$$FAR_k = \frac{NB_k}{NA_k + NB_k} \times 100\% \quad (5)$$

式中, k 为 1~4 级, 分别代表小雨、中雨、大雨、暴雨及以上降水预报。 NA_k 为 k 级别降水预报正确次数, NB_k 为 k 级别降水空报次数, NC_k 为 k 级别降水漏报次数。

统计 6—10 月降水情况, 大雨及其暴雨的次数较少, 为了使统计结果更具可信度, 本文仅对小雨及中雨量级预报结果进行检验。

2 预报质量检验评估

2.1 平均绝对误差检验

图 2 给出了基于 NWGD 预报产品 24~240 h 面雨量预报的平均绝对误差, 由图可见 240 h 预报时效内, 平均绝对误差范围控制在 5.6 mm 以内, 预报整体效果较好。144 h 时效内, 随着预报时效延长, 面雨量预报的平均绝对误差呈现增大的趋势。24 h 时效平均误差最小为 3.9 mm, 144 h 时效平均误差最大为 5.6 mm。168~240 h 之间平均绝对误差有减小的趋势, 平均绝对误差小于 120 h 和 144 h 时效, 其中 216 h 时效平均绝对误差仅大于 24 h 时效。从平均绝对误差检验结果看, NWGD 预报产品在大渡河面雨量中具有参考意义, 24 h 和 216 h 预报时效效果最佳。

2.2 晴雨预报质量检验

图 3 给出了基于 NWGD 预报产品不同时效面雨量的晴雨预报正确率。分析发现晴雨预报正确率随预报时效没有明显的变化规律。24~240 h 的预报正确率维持在 78%~88% 之间, 72 h 预报时效正确率最高, 达到 88%, 其次是 24 h 预报和 168 h

预报, 正确率均达到 87%。192 h 和 216 h 的正确率较低, 在 80% 以下, 其余预报时效均在 80% 以上。总体来看, NWGD 预报产品在大渡河上游面雨量的晴雨预报可信度较高, 具有参考意义。

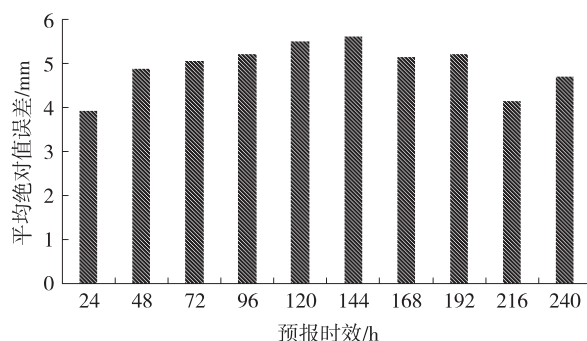


图 2 平均绝对误差

Fig. 2 Distribution of mean absolute error

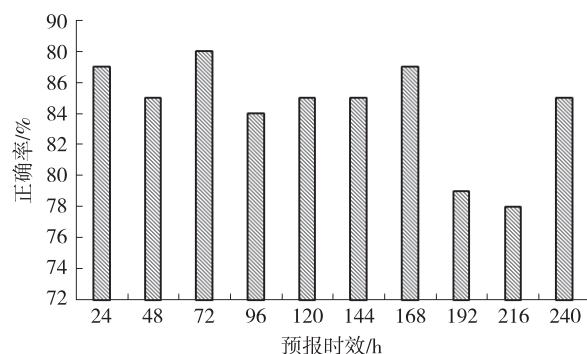


图 3 晴雨预报正确率

Fig. 3 Distribution of forecast accuracy rate

2.3 降水预报分级检验

2.3.1 TS 评分 从小雨和中雨量级的 TS 评分 (图 4) 来看, 小雨的 TS 评分远大于中雨 TS 评分。小雨 24 h 时效 TS 评分最高, 达到 76%, 192 h 和 240 h 预报时效的评分较低, 分别为 54% 和 59%, 其余时效的 TS 评分均在 60% 以上, 其中 24 h 和 48 h 预报时效在 70% 以上。中雨量级 24~240 h 预报时效的 TS 评分均较低, 最高的是 24 h 预报时效为 35%, TS 评分随时效变化没有明显的规律。以上分析说明 NWGD 预报产品对中雨量级面雨量预报质量还有待提高, 对小雨的预报质量较好, 参考意义较大。

2.3.2 空报率 从各时效的空报率来看 (图 5), 小雨的空报率均远低于中雨的空报率。小雨 24~240 h 空报率范围为 14%~27%, 空报率最低的是 120 h 和 168 h 时效, 均为 14%, 192 h 预报时效空报率最高, 为 27%, 24~240 h 时效的平均空报率为 19%。中雨空报率较大, 平均达到 70%, 48 h 的空报率最

小为 59%,引起中雨空报最主要的原因是将小雨量级面雨量报大。

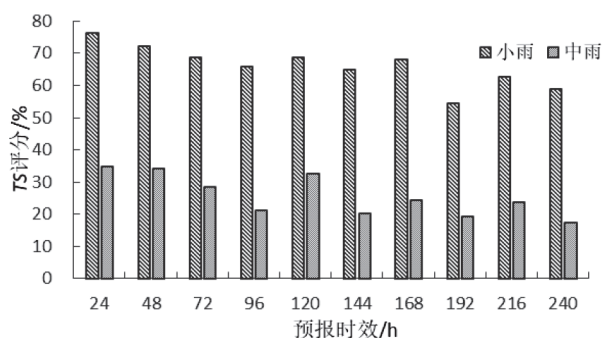


图4 小雨、中雨面雨量 TS 评分

Fig. 4 The TS score of light rain and moderate rain

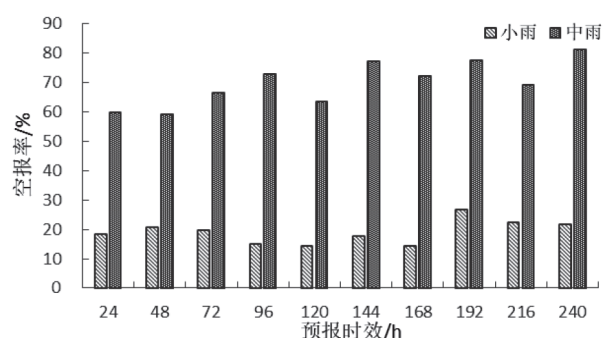


图5 小雨、中雨面雨量空报率

Fig. 5 The false report rate of light rain and moderate rain

2.3.3 漏报率 从各时效的漏报率来看(图6),小雨的平均漏报率比空报率略大,平均 21.8%。24 h 时效漏报率最低为 8%,其次是 48 h 为 11%,各时效漏报率范围在 8%~32% 之间波动,其中最容易漏报的时效为 192 h,为 32%。中雨各时效的漏报率均高于小雨,范围在 25%~50% 之间,其中漏报率最小的是 120 h 时效,最大的是 96 h 和 216 h 时效,均达到 50%。各时效的中雨漏报率均小于空报率,平均为 36.6%。

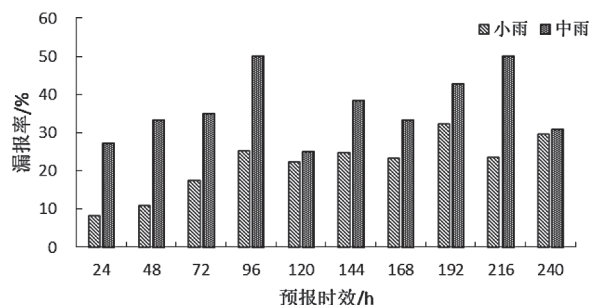


图6 小雨、中雨面雨量漏报率

Fig. 6 The missing report rate of light rain and moderate rain

3 预报产品的释用

3.1 小雨的消空处理

为了降低小雨的空报率从而提高晴雨预报正确率,有必要对小雨进行消空处理。12~72 h 预报时效空报时的绝对误差范围大多集中于 1 mm 以内,而 96~240 h 预报时效发生空报的绝对误差范围相对较大,如果修正范围过大又将引起 24~72 h 预报时效内漏报率增大,综合考虑各指标最优化消空方案,本文将各预报时效小雨量级低于 0.2 mm、0.4 mm、0.6 mm、0.8 mm 和 1 mm 的预报值分别当做 0 mm 处理,结果如图 7 所示。各预报时效消空处理后晴雨预报率提升不明显。24~72 h 预报时效分别将 0.6 mm、0.4 mm、0.2 mm 预报值当做 0 mm 处理后,晴雨预报正确率略有提升,其余时效预报晴雨正确率消空之后均有所降低。所以在实际预报中可适当考虑在 72 h 时效范围内将 0.6 mm 以下降水当做 0 mm 处理,一定程度可以提高晴雨预报正确率。

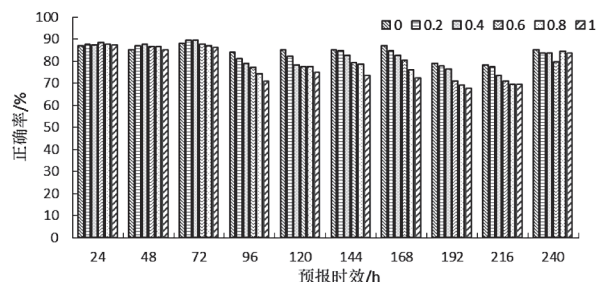


图7 各预报时效小雨的消空处理

Fig. 7 The forecast accuracy rate of light rain as the forecast of precipitation below 1 mm removed

3.2 中雨的消空处理

由于中雨量级的空报率较大,所以将中雨以上面雨量预报超出小雨量级 1 mm、2 mm、3 mm、4 mm 的降雨预报值分别减去 1 mm、2 mm、3 mm、4 mm 的方式来降低中雨空报率(以 24 h 预报时效为例),如图 8 所示。综合来看将中雨量级介于 6~9 mm 的预报量减去 3 mm 的效果最好。在漏报率保持不变的基础上,TS 评分从原来的 34.8% 提升至 42.1%,空报率从原来的 60% 降低至 50%。

4 结论与讨论

本文选取 2019 年 6—10 月 CMPAS-V2.1 融合降水分析实时数据产品检验 NWGD 降水预报产品在大渡河上游面雨量的预报效果,并对预报产品小雨和中雨量级进行了消空处理,得到如下结论:

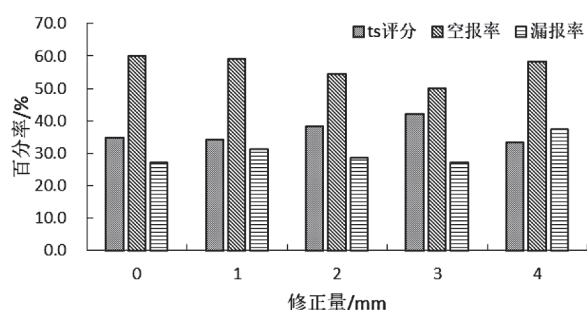


图 8 24 h 预报时效中雨量级的消空处理
Fig. 8 The TS score, false report rate and missing report rate of moderate rain as the forecast value of moderate rain reduced to light rain

(1)NWGD 降水预报产品在大渡河上游面雨量平均绝对误差范围控制在 5.6 mm 以内,预报整体效果较好,其中以 24 h 预报时效效果最佳。晴雨预报可信度较高,预报正确率维持在 78% ~ 88% 之间,其中 72 h 预报时效正确率最高为 88%,具有较高的参考意义。

(2)NWGD 降水预报产品小雨的 TS 评分远大于中雨,空报率和漏报率均远低于中雨。小雨量级的平均漏报率比空报率略大,而中雨量级的漏报率小于空报率。总体来说中雨量级面雨量预报质量还有待提高,而对小雨的预报效果较好,参考意义较大。

(3)将小雨和中雨分别做消空处理,小雨 72 h 时效范围内将 0.6 mm 以下降水当做 0 mm 处理,一定程度可以提高晴雨预报正确率。将中雨量级介于 6 ~ 9 mm 的预报量减去 3 mm 做消空处理后预报效果有明显提升,在漏报率保持不变的基础上,TS 评分从原来的 34.8% 提升至 42.1%,空报率从原来的 60% 降低至 50%。

由于本文研究所收集到的数据时间较短,涵盖的样本个例较少,文章中的消空处理仅简单的对所有预报时效采用了统一的处理方案。考虑到预报误差通常会随预报时效、月份或季节而变化,消空处理方案也应该针对不同时间尺度进行调整。下一步将收集更长时间序列的研究数据,根据预报产品对各降雨量等级在不同时间尺度上的误差表现,

进行更有针对性的消空处理,并对各消空方案进行应用验证,以提升 NWGD 降水预报产品在大渡河上游地区的预报准确率。

参考文献

- [1] 罗静,叶金印,王喜,等. 基于 ECMWF 集合预报的淮河流域面雨量预报性能评估[J]. 中低纬山地气象,2019,43(4):1-9.
- [2] 强芳,张明军,王圣杰,等. 基于格点数据的 1961—2012 年祁连山面雨量特征分析[J]. 地理学报,2015,70(7):1125-1136.
- [3] 彭涛,殷志远,李兰. 水文模型在计算中小流域致汛临界面雨量中的应用[J]. 气象,2014,40(11):1354-1362.
- [4] 卢小凤,李仲怡,陈剑飞,等. 智能网格产品在西江流域面雨量预报中的应用检验[J]. 气象研究与应用,2020,41(2):45-49.
- [5] 宋雯雯,龙柯吉,黄晓龙,等. 融合格点降水产品在四川盆地西部一次极端暴雨过程中的评估分析[J]. 中低纬山地气象,2022,46(3):9-15.
- [6] 廖春花,刘红武,张永锋,等. 多种细网格模式对湖南水库流域面雨量的预报检验[J]. 气象科技,2018,46(4):724-728.
- [7] 王平. ECMWF 高分辨率数值模式对广安地区暴雨预报性能检验分析[J]. 中低纬山地气象,2018,42(6):44-49.
- [8] 刘静,叶金印,张晓红,等. 淮河流域汛期面雨量多模式预报检验评估[J]. 暴雨灾害,2014,33(1):58-64.
- [9] 王红燕,张晓鹏,靖春悦,等. 利用 T213 物理量“垂叠法”模型制作沙沱河上游关键区面雨量预报[J]. 气象与环境科学,2010,33(4):43-47.
- [10] 杨诗芳,王东法,郝世峰,等. 应用于钱塘江、太湖流域面雨量预报的 MM5 产品释用技术[J]. 科技通报,2011,27(3):330-335.
- [11] 朱占云,潘娅英,骆月珍,等. 浙江省水库流域面雨量的多模式预报效果分析与检验[J]. 气象与环境科学,2017,40(3):93-100.
- [12] 张艳,梁忠民,陈在妮,等. 大渡河流域上游洪水预报及实时校正研究[J]. 水力发电,2020,46(5):13-15,21.
- [13] 孙文慧,盛兆权,李月高. 大渡河上游汛期降水时空分布研究[J]. 农业灾害研究,2019,9(3):61-62.
- [14] 郭洁,宋雯雯,郑昊,等. 大渡河流域面雨量时空分布特征及雨季转换指标[J]. 干旱气象,2019,38(3):370-376.
- [15] 潘阳,谷军霞,徐宾,等. 多源降水数据融合研究及应用进展[J]. 气象科技进展,2018,8(1):143-152.
- [16] 刘静,叶金印,张晓红,等. 淮河流域汛期面雨量多模式预报检验评估[J]. 暴雨灾害,2014,33(1):58-64.
- [17] 汪丽娜,穆兴民,张晓萍,等. 陕北黄土丘陵区流域面平均雨量推算方法[J]. 中国水土保持科学,2008(2):39-42.
- [18] 高琦,徐明,李武阶,等. 我国面雨量研究及业务应用进展[J]. 气象科技进展,2014,4(2):66-69.