

水文降水资料引入精细化气象服务中的可用性评估

柳晶 李菁 林琴 刘汉博 于金 赵薪童
(华风气象传媒集团有限责任公司, 北京 100081)

摘要: 社会各行业对精细气象服务能力的要求越来越高, 亟需更多的观测数据用以提升精细化气象预报服务产品的准确性和时效性。基于2020年7月至2021年6月的水文和气象观测站降水资料, 从降水资料稳定性、两种降水资料的相关度和重要天气过程个例等多个角度进行了分析评估。水文降水资料的全年稳定上报站点数量为1.4万, 可达气象降水资料站数的1/3以上; 水文与气象的降水资料之间具有较高的时空一致性, 总体相关度超过0.8; 另外, 从降水过程个例分析可看出, 引入水文站降水数据可有效增加雨量站网密度, 进而显著提升强降水的探测能力。基于以上结论, 引入水文观测数据进行融合应用可为短临降水预报实时订正、降水独立检验评估以及实时灾害性天气服务等多个气象预报服务业务提供支撑。

关键词: 水文, 气象, 降水, 服务, 评估

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2023.01.006

Usability Evaluation of Hydrological Precipitation Data Used in Refined Meteorological Services

Liu Jing, Li Jing, Lin Shen, Liu Hanbo, Yu Jin, Zhao Xintong
(Huafeng Meteorological Media Group Co., Ltd, Beijing 100081)

Abstract: As various sectors of the society are increasing their requirements for refined meteorological services, it is imperative to offer larger amount of observation data to improve the accuracy and efficiency of refined meteorological service products. Based on the precipitation data from hydrological and meteorological stations from July 2020 to June 2021, data stability, the correlation of the two types of data and key synoptic process cases are analyzed. It is found that the number of stable stations for hydrological precipitation data is 14000, equivalent to 1/3 of meteorological stations. The hydrological and meteorological precipitation data exhibit high spatial-temporal consistency, their correlation higher than 0.8. In addition, the case studies show that the integration of hydrological and meteorological precipitation data can effectively increase the density of rainfall stations, which can significantly improve the detection capability of heavy precipitation. The analysis reveals that the integration of two kinds of precipitation data sets can promote the development of meteorological services such as real-time revision of nowcasting, independent precipitation testing and severe weather services.

Keywords: hydrology, meteorology, precipitation, services, evaluation

0 引言

作为受众面最广、社会普及度最高的公共服务之一, 气象服务早已融入人们的日常生活。目前基于用户位置的精细气象需求越来越旺盛, 亟需更多的相关气象观测数据用以支撑按需气象产品的研发应用。水利行业因自身对气象资料的特殊需求, 天气观测站点

在全国范围内布设较多。2015年, 依托山洪地质灾害防治气象保障工程等项目支持, 江西省气象部门与水利部门开展了所属自动气象站、自动水位雨量站每小时雨量观测数据共享工作, 实现2545个气象自动站和3683个水文站信息共享, 使全省雨量站网密度由9 km²提升到5 km²。2017年, 中国气象局与水利部长江水利委员会建立信息共享机制, 共享包括长江流域气象、水文观测资料以及预测预报产品。近几年, 国家建立了气象和水利部门共享资料机制, 由国家气象信息中心统一通过卫星广播系统提供水利部交换的降水、河道水情和土壤墒情等数据的下发和共享服务。特别是2021年, 国家明确提出建立健全国家公共数据资源体

收稿日期: 2021年9月14日; 修回日期: 2021年12月8日
第一作者: 柳晶(1978—), Email: 393079819@qq.com
通信作者: 李菁(1988—), Email: 819659485@qq.com
资助信息: 中国气象局软科学研究项目(2021ZZXM35);
国家重点研发计划(2018YFC1507803)

系, 确保公共数据安全, 推进数据跨部门、跨层级、跨地区汇聚融合和深度利用。

气象和水利部门的监测站网均具有大规模建站、高频率更新以及运行维护稳定的特点, 不同的是气象和水文的监测组网建设各有侧重, 气象观测站点在空间分布上更为均匀, 布设主要考虑站点的区域代表性, 通过探测温压湿风等多要素建立对大气环境的整体监测; 而水文观测站点则基于江河流域进行布设, 重点观测与水文相关的水雨情信息。降水作为双方重点关注的要素, 受到了许多国内外学者的关注, 开展了两类降水观测资料的比较和验证分析工作, 取得了不少成果。对海河流域50年的气象降水资料和10年的水文站雨量资料进行分析发现, 两套资料相关程度较高, 年降水量基本都符合正态分布, 其均值和方差在统计意义上相等^[1]。对江西地区气象站、水文站和雷达估测降水产品的对比显示, 3种来源的观测降水具有相似的空间分布特征, 且强降水落区、降水分布形态高度一致^[2]。利用73个水文站和30个气象站的日降水资料计算长江三峡区间1960—1990年60次降水过程的面雨量, 分析发现同一种方法计算面雨量时气象站的面雨量高于水文站的机率略大, 认为强降水分布的极不均匀性是造成气象站和水文站面雨量之差较大的主要原因^[3]。来自水文和气象行业的雨量自动站观测数据都需要以质量控制为基础^[4], 雷达通常被认为是有效的辅助质控手段^[5-7]。两类观测站点的融合对区域雨量站网密度提升明显^[8], 其融合数据在多个领域都有广泛的应用前景, 如站点网络最佳空间分布^[9]、预报降水精度及时空分辨率的进一步提高^[10]、干旱传播^[11]、生态水文过程的变化^[12]等。

目前中国天气移动端数据访问次数每天约为400亿, 用户反馈每天约为4万条, 这说明社会公众对天气的关注度比较高, 同时也对气象服务能力的要求越来越高, 亟需更多的观测数据用以提升精细化气象预报服务产品的准确性和时效性。为此, 本文基于2020年7月1日—2021年6月30日的水文降水资料和气象降水资料进行研究, 探讨跨行业观测数据在气象预报服务中融合应用的可行性, 为实时灾害性天气监测、降水独立检验评估和短时临近降水预报实时订正等气象服务业务提供参考。

1 资料和方法

1.1 资料说明

本文选用2020年7月1日—2021年6月30日的水文降水资料和气象降水资料进行研究, 两种资料均包含过去1 h降水量和日降水量数据。其中, 水文降水资

料来自中国气象局下发的水利部共享资料, 过去1 h降水量资料的更新频次为一天4次, 分别是每天02时、08时、14时、20时更新, 日降水量资料每天08时更新一次。气象降水资料来自中国气象局的自动气象站观测数据, 选用资料的更新频率和水文降水资料保持一致。

本文在个例分析中选用中国气象局大气探测中心的雷达降水估测产品对水文降水量观测站和气象降水量观测站及其引入水文数据后降水场的观测效果进行评估。为了表述简明, 文中将水文资料称为 P_H , 其中水文资料中的过去1 h降水量简称为 $P_{H,h}$, 水文资料中的日降水量简称为 $P_{H,d}$ 。将气象资料称为 P_M , 其中气象资料中的过去1 h降水量简称为 $P_{M,h}$, 将气象资料中的日降水量简称为 $P_{M,d}$ 。

1.2 方法说明

基于2020年7月1日—2021年6月30日的 P_H 上报情况统计, 评估可稳定上报的站点数量和分布情况。站点稳定上报的统计分析, 主要从业务应用的角度出发, 将稳定上报的概念定义为在一个月的单位时间内上报非缺测值的日数大于20 d。全年稳定站点指连续12个月都达到稳定上报标准的站点。

本文中所描述的站网密度是假定站点在区域范围内均匀分布, 在一定区域范围内单个站点的平均覆盖范围。本研究以省为单位, 使用省域面积除以省内总站数, 进而反应站点分布的密度情况, 站网密度越大则表示站点分布越稀疏, 站网密度越小则表示站点分布越密集, 站网密度单位为 $\text{km}^2/\text{个}$ 。

本文对时间段的描述中, 夏半年指2020年7—9月和2021年4—6月, 冬半年指2020年10月—2021年3月。本文在全国范围内筛选1 km间距内同时有 P_H 和 P_M 上报的雨量站作为邻近站, 对邻近站上报的降水样本进行相关度分析, 相关系数 R 计算方法见公式(1)。

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n [(P_{H_i} - \bar{P}_H)(P_{M_i} - \bar{P}_M)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{H_i} - \bar{P}_H)^2 \sum_{i=1}^n (P_{M_i} - \bar{P}_M)^2}}, \quad (1)$$

式中, P_{H_i} 和 P_{M_i} 分别代表水文站和气象站的单次雨量观测值。 \bar{P}_H 和 \bar{P}_M 分别代表水文站和气象站的雨量平均值。 n 代表观测的总次数。 i 代表单次观测取值范围在1~ n 。 R 代表 P_H 和 P_M 的相关系数, 变化范围在[-1, 1], 当 R 越接近于1, 则两者的正相关性越强, 即 P_H 随着 P_M 的增大而增大; 当 R 越接近于-1, 则两者的负相关性越强, 即 P_H 随着 P_M 的增大而减小; 当 R 越接近于0, 则两者的相关性越低, 若 R 为0则两个变量之间没有

线性关系。本文使用相关系数 R 分析水文站与气象站的降水量相关性，进一步讨论 P_H 和 P_M 的降水量一致性，从而探讨在气象服务中引入水文站降水数据的可行性。

2 气象和水文资料对比分析

2.1 上报站数对比分析

2.1.1 日降水资料分析

2020年7月—2021年6月， $P_{H,d}$ （每天08时更新）共上报站数为4.1万，其中全年稳定站点数为1.4万。从图1可看出， $P_{H,d}$ 上报站数呈现夏半年多冬半年少的变化规律，夏半年站点数稳定在2.5万左右，冬半年站点数据稳定在1.7万左右。 $P_{H,d}$ 夏半年稳定上报站数比冬半年约多0.8万个，主要是由于东北地区仅在夏半年进行数据上报，其他地区稳定上报的站数变化不大。

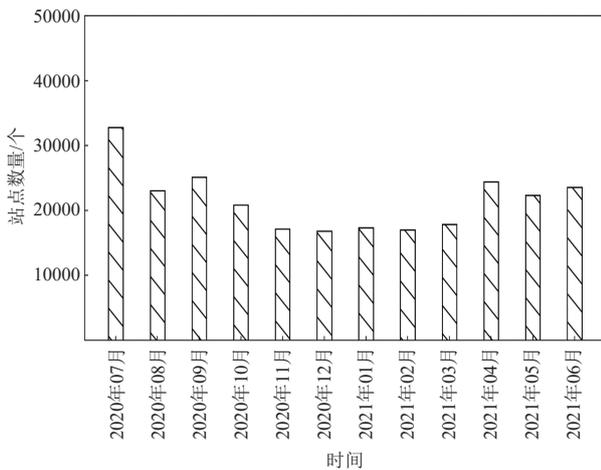


图1 2020年7月—2021年6月 $P_{H,d}$ 上报站数的月变化
Fig. 1 Monthly variation of the station number of $P_{H,d}$ from July 2020 to June 2021

$P_{H,d}$ 全年稳定站点数量为1.4万，较集中地分布在天津、山西、湖北、重庆、江苏、浙江、广东和云南这8个地区。 $P_{M,d}$ 全年稳定站点数量为3.5万，全国乡镇级基本都有观测点。从量级上看，全国范围内全年稳定上报的 $P_{H,d}$ 已经占到 $P_{M,d}$ 站数的40%，部分省份 $P_{H,d}$ 数量追平甚至超过 $P_{M,d}$ 数量。从表1可看出，广东省的 $P_{H,d}$ 站数约为 $P_{M,d}$ 的4倍，引入 $P_{H,d}$ 后站网密度相比 $P_{M,d}$ 的独立观测可提升5倍；云南省、湖北省、重庆市和天津市的 $P_{H,d}$ 和 $P_{M,d}$ 站数相近，引入 $P_{H,d}$ 后站网密度相比 $P_{M,d}$ 的独立观测可提升约1倍；江苏省和浙江省的 $P_{H,d}$ 站数占 $P_{M,d}$ 的1/2。从数据上报的稳定性和站点数来看，以上地区的 $P_{H,d}$ 有条件为气象服务业务提供支撑。

2.1.2 小时降水资料分析

2020年7月—2021年6月， $P_{H,h}$ 共上报站数为3.5万

表1 2020年7月—2021年6月部分省份 $P_{H,d}$ 和 $P_{M,d}$ 全年稳定站数、站网密度和引入 $P_{H,d}$ 后站网密度对比

Table 1 Comparison of the number of stable stations, station density and post-integration station density of $P_{H,d}$ and $P_{M,d}$ in some provinces from July 2020 to June 2021

省份	$P_{H,d}$ 站数/个	$P_{M,d}$ 站数/个	$P_{H,d}$ 站网密度/(km^2 /个)	$P_{M,d}$ 站网密度/(km^2 /个)	引入 $P_{H,d}$ 后站网密度/(km^2 /个)
广东省	4145	1111	47.6	177.4	37.5
云南省	2778	3170	157.0	137.6	73.3
湖北省	1716	1877	109.3	99.9	52.2
重庆市	2868	2029	28.7	40.6	16.8
天津市	24	35	470.8	322.9	191.5
浙江省	1161	2727	87.7	37.3	26.2

（小时降水量每天更新4次，分别是08时、14时、20时、02时）。从图2可看出，各更新时次上报站数均呈现夏半年多、冬半年少的变化规律。 $P_{H,h}$ 在每天08时上报的站点数相比其他上报时次的站点数多1万个站左右，其中夏半年站点数稳定在3万个左右，冬半年站点数据稳定在2.5万个左右。 $P_{H,h}$ 夏半年稳定上报站数比冬半年多约0.5万个，主要是由于东北地区仅在夏半年进行数据上报。14时、20时、02时上报 $P_{H,h}$ 的月变化规律与08时相同，其中夏半年站点数稳定在2万个左右，冬半年站点数据稳定在1.6万个左右。

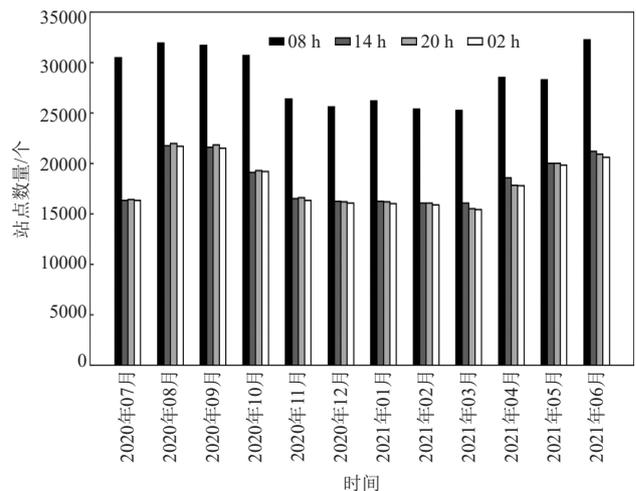


图2 2020年7月到2021年6月期间 $P_{H,h}$ 上报站数的月变化
Fig. 2 Monthly variation of the station number of $P_{H,h}$ from July 2020 to June 2021

以08时为例， $P_{H,h}$ 全年稳定上报的站点数量为2万个，集中分布在山西、湖北、重庆、江苏、浙江、江西、广东、广西和云南这9个地区。 $P_{M,h}$ 全年稳定站点数量为5.3万，全国乡镇级基本都有观测点。从量级上看，全国范围内全年稳定上报的 $P_{H,h}$ 占到 $P_{M,h}$ 的1/3，部分省份 $P_{H,h}$ 数量追平甚至超过 $P_{M,h}$ 数量。从表2可看出，广东省 $P_{H,h}$ 站数约为 $P_{M,h}$ 的3倍，重庆市 $P_{H,h}$ 站数约为 $P_{M,h}$ 的2倍；云南省、广西壮族自治区、江西省的

表2 2020年7月—2021年6月部分省份 $P_{H,h}$ 和 $P_{M,h}$ 全年稳定站数、站网密度和引入 $P_{H,h}$ 后站网密度对比

Table 2 Comparison of the number of stable stations, station density and post-integration station density of $P_{H,h}$ and $P_{M,h}$ in some provinces from July 2020 to June 2021

省份	$P_{H,h}$ 站数/个	$P_{M,h}$ 站数/个	$P_{H,h}$ 站网密度/($\text{km}^2/\text{个}$)	$P_{M,h}$ 站网密度/($\text{km}^2/\text{个}$)	引入 $P_{H,h}$ 后站网密度/($\text{km}^2/\text{个}$)
广东省	3985	1118	49.5	176.3	38.6
重庆市	3799	2034	21.7	40.5	14.1
云南省	2328	3159	187.4	138.1	79.5
广西壮族自治区	2689	2741	82.0	80.4	40.6
江西省	2766	2252	59.6	73.2	32.8
山西省	805	1642	195.2	95.7	64.2
江苏省	800	1766	128.2	58.1	40.0
湖北省	1460	2656	128.4	70.6	45.6
浙江省	983	2687	103.6	37.9	27.7

$P_{H,h}$ 和 $P_{M,h}$ 站数相近, 山西省、江苏省、湖北省的 $P_{H,h}$ 站数占 $P_{M,h}$ 的约1/2; 浙江省的 $P_{H,h}$ 站数占 $P_{M,h}$ 的约1/3。从上报稳定性和站数量级角度看, 以上地区的 $P_{H,h}$ 有条件为气象服务业务提供支撑。

2.2 一致性对比分析

2.2.1 日降水资料分析

$P_{H,d}$ 和 $P_{M,d}$ 对降水量的观测存在较强相关性, 2020年7月—2021年6月, $P_{H,d}$ 和 $P_{M,d}$ 邻近站的降水总样本量80万个, 总体相关系数达到0.82, 且邻近站相关系数与站点所在地区的平均降水强度有关。如表3所示, 当站点所在位置降水日的 $P_{M,d}$ 均值雨量大于10 mm时, 有76%的邻近站相关系数超过0.8; 当站点所在位置降水日的 $P_{M,d}$ 均值雨量小于5 mm时, 降水时空分布的均匀性降低, 日降水量相关系数分布较复杂, 仅有34%的邻近站相关系数大于0.8, 另有22%的邻近站相关系数小于0.4。说明平均降水强度越小的地区, 邻近站降水量的相关性越不稳定。

表3 2020年7月—2021年6月有降雨日的水文气象邻近站日雨量相关系数和降水日的 $P_{M,d}$ 均值雨量对应关系

Table 3 The relationship between the correlation coefficients of daily precipitation observed by meteorological and hydrological stations and the average $P_{M,d}$ during the precipitation days from July 2020 to June 2021

降水日的 $P_{M,d}$ 均值雨量/ mm	邻近站相关系数大于0.8的站数比/%	邻近站相关系数小于0.4的站数比/%
(0, 5]	34	22
(5, 10]	70	3
(10, +∞)	76	3

为了验证 $P_{H,d}$ 的可信度, 将 $P_{H,d}$ 对强降水的观测结果和邻近站上的 $P_{M,d}$ 互相验证。如表4所示, 2020年7月—2021年6月, $P_{H,d}$ 出现大于50 mm的强降水(暴雨

量级)共计6143站次, 邻近站的观测样本中有84.3%的 $P_{M,d}$ 同步观测到50 mm以上的强降水, 9.3%的 $P_{M,d}$ 同步观测到25~50 mm区间的强降水, 说明大部分情况下 $P_{H,d}$ 对强降水的观测是可以被 $P_{M,d}$ 验证的。值得注意的是, 邻近站的观测样本中仍有2.6%的 $P_{M,d}$ 未观测到降水(降水量为0 mm), 说明有必要在业务中引入其他降水相关的数据源对 $P_{H,d}$ 和 $P_{M,d}$ 的观测可信度进行进一步评估。

表4 2020年7月—2021年6月 $P_{H,d}$ 大于50 mm时 $P_{M,d}$ 量级分布情况

Table 4 Distribution of $P_{M,d}$ magnitude when $P_{H,d}$ is greater than 50 mm during July 2020 to June 2021

$P_{M,d}/\text{mm}$	0	(0, 25]	(25, 50]	(50, +∞)
样本量	162	227	573	5181
占比	2.6%	3.7%	9.3%	84.3%

2.2.2 小时资料分析

$P_{H,h}$ 和 $P_{M,h}$ 对降水量的观测存在较强相关性, 2020年7月—2021年6月, $P_{H,h}$ 和 $P_{M,h}$ 邻近站的降水总样本量为88万个, 总体相关系数达到0.84, 且邻近站相关系数与站点所在地区的平均降水强度有关。如表5所示, 当站点所在位置有降水时次的 $P_{M,h}$ 均值雨量大于1 mm时, 有84%的邻近站相关系数超过0.8。当站点所在位置有降水时次的 $P_{M,h}$ 均值雨量小于0.5 mm时, 小时降水量相关系数分布较复杂, 仅有11%的邻近站相关系数大于0.8, 大部分邻近站的相关系数小于0.4。这说明雨量越小的地区, 降水的时空分布均匀性越差, 邻近站的相关系数越不稳定。

表5 2020年7月—2021年6月有降雨时次的水文气象邻近站小时雨量相关系数和 $P_{M,h}$ 均值雨量对应关系

Table 5 The relationship between the correlation coefficients of hourly precipitation observed by meteorological and hydrological stations and the average $P_{M,h}$ during the precipitation periods from July 2020 to June 2021

降水时次的 $P_{M,h}$ 均值雨量/ mm	邻近站相关系数大于0.8的站数比/%	邻近站相关系数小于0.4的站数比/%
(0, 0.5]	11	57
(0.5, 1.0]	56	13
(1.0, +∞)	84	3

为了验证 $P_{H,h}$ 的可信度, 将 $P_{H,h}$ 对强降水的观测结果和邻近站上的 $P_{M,h}$ 互相验证。如表6所示, 2020年7月—2021年6月, $P_{H,h}$ 出现大于10 mm的强降水共计5107站次, 邻近站的观测样本中有84.4%的 $P_{M,h}$ 同步观测到10 mm以上的强降水, 4.0%的 $P_{M,h}$ 同步观测到5~10 mm区间的强降水, 说明大部分情况下 $P_{H,h}$ 对强降水的观测是可以被 $P_{M,h}$ 验证的。值得注意的是, 邻近站的观测样本中仍有5.7%的 $P_{M,h}$ 未观测到降水(降

表6 2020年7月—2021年6月 $P_{H,h}$ 大于10 mm时 $P_{M,h}$ 量级分布情况

Table 6 Distribution of $P_{M,h}$ magnitude when $P_{H,h}$ is greater than 10 mm during July 2020 to June 2021

$P_{M,h}/\text{mm}$	0	(0, 5]	(5, 10]	(10, +∞)
样本量	294	295	205	4313
占比	5.7%	5.7%	4.0%	84.4%

水量0 mm), 说明有必要在业务中引入其他降水相关的数据源对 $P_{H,h}$ 和 $P_{M,h}$ 的观测可信度进行进一步评估。

3 效果分析

从服务角度来看, 引入 P_H 可带来雨量站网密度和强降水区域捕捉能力的显著提升, 对暴雨及其次生灾害的防御有重要作用。本章基于广东和重庆地区的2次强降水天气个例, 引入雷达估测降水产品对引入 P_H 后的观测效果进行评估。

3.1 广东暴雨个例

2020年8月26日, 受高空槽和南海季风的共同影响, 珠三角到粤东北一线出现强降水。当日18—20时区间, 珠三角地区的广州、东莞、惠州等城市相继发布暴雨红色预警信号, 粤东北的河源发布暴雨黄色预警信号。

2020年8月26日20时, 广东地区上报的 $P_{H,h}$ (4459个站)比 $P_{M,h}$ (3459个站)多1000个。 $P_{M,h}$ (图3a)和 $P_{H,h}$ (图3b)在珠三角地区的雨量站网密度近似, 两者都观测到了局地强度超过25 mm/h的降水区域(橘红色和红色站点); 但在珠三角以外的其他地区, $P_{H,h}$ 的雨量站网密度明显大于 $P_{M,h}$, 导致 $P_{H,h}$ 对粤东北地区的强降水探测能力显著强于 $P_{M,h}$ 。从对强降水落区的定位效果看, 引入 $P_{H,h}$ 后的雨量场(图3c)和雷达降水估测产品(图3d)最为近似。

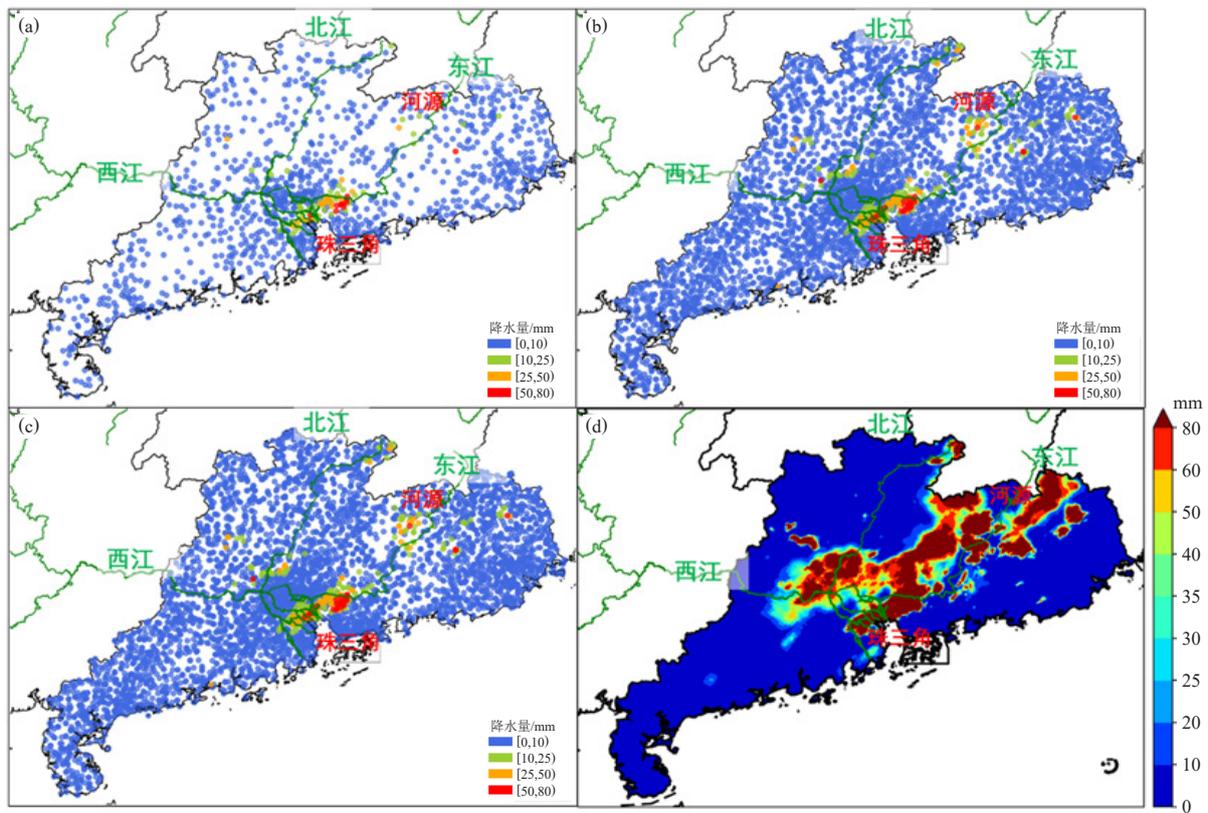


图3 2020年8月26日20时广东小时降水量落区图

(a) $P_{M,h}$, (b) $P_{H,h}$, (c) 引入 $P_{H,h}$ 后, (d) 雷达估测降水

Fig. 3 Hourly precipitation observation of Guangdong at 20:00 BT 26 August 2020

(a) $P_{M,h}$, (b) $P_{H,h}$, (c) integration of $P_{M,h}$ and $P_{H,h}$, (d) radar precipitation estimation

3.2 重庆暴雨个例

2020年6月26—27日, 重庆市西部地区普降中到大雨, 重庆市气象台先后发布暴雨黄色和橙色预警信号。受强降雨影响, 截至27日08时位于重庆西南部江津区的蔡家站超警戒水位1.29 m, 塘河站超警戒水

位1.35 m。

2020年6月27日08时, 重庆地区上报的 $P_{H,h}$ (5452个站)比 $P_{M,h}$ (4469个站)多983个。 $P_{M,h}$ (图4a)和 $P_{H,h}$ (图4b)在长江南侧的南川区都观测到了强度为10~25 mm/h(绿色站点)的降水区域, 局地强度达到

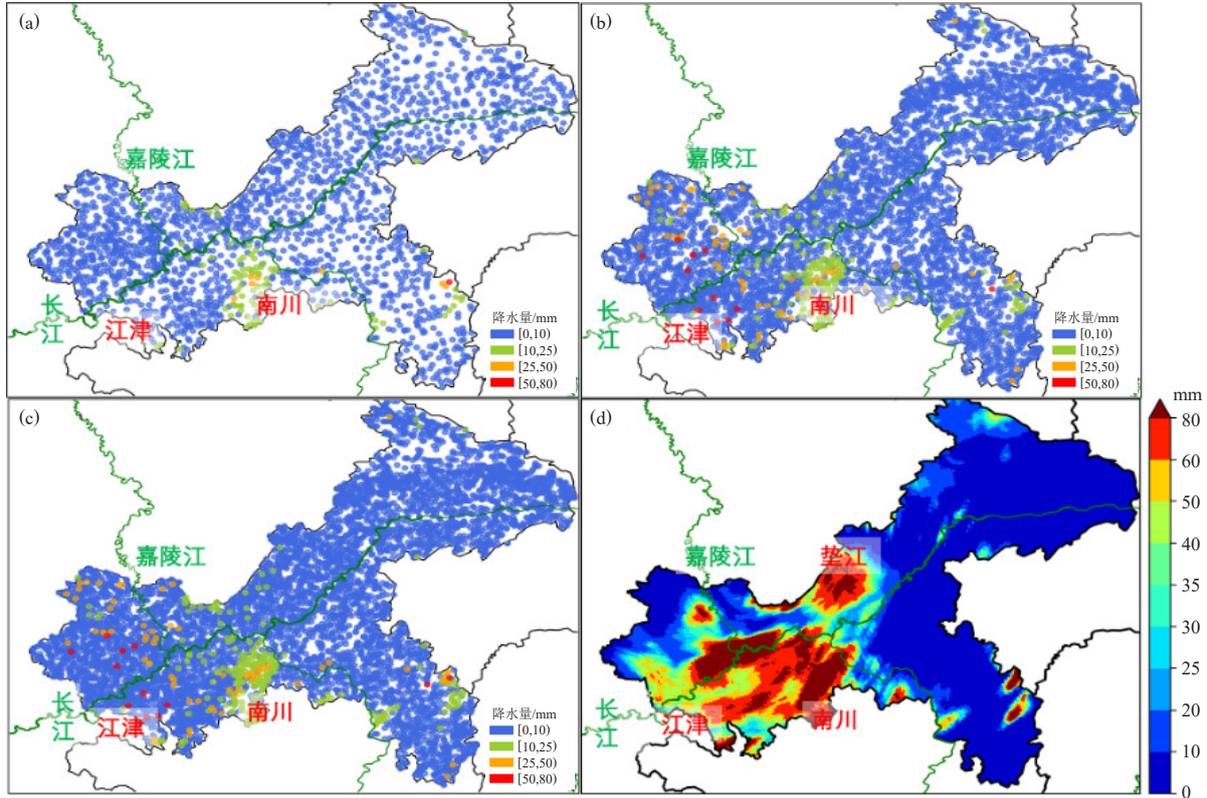


图4 2020年6月27日08时重庆小时降水量落区图

(a) $P_{M,h}$, (b) $P_{H,h}$, (c) 引入 $P_{H,h}$ 后, (d) 雷达估测降水

Fig. 4 Hourly precipitation observation of Chongqing at 08:00 BT 27 June 2020
(a) $P_{M,h}$, (b) $P_{H,h}$, (c) integration of $P_{M,h}$ and $P_{H,h}$, (d) radar precipitation estimation

25~50 mm/h (橘色站点)。不同的是, 仅有 $P_{H,h}$ 观测到了长江和嘉陵江交界地区附近的强降水, 其中江津区和嘉陵江西侧的局地雨强达到50~80 mm/h (红色站点), 而 $P_{M,h}$ 在这些地区则并未观测到强降水。从对强降水落区的定位效果看, 引入 $P_{H,h}$ 后的雨量场 (图4c) 捕捉到强降水落区更完整, 和雷达降水估测产品 (图4d) 更为近似。

综上所述, 引入水文观测站后的降水量落区与雷达估测降水产品更为近似, 可见引入水文观测站降水资料可增强地面观测降水的完整性。然而, 重庆个例中雷达估测产品在垫江地区存在强降水, 水文与气象观测站却均未观测到降水, 这可能是雷达估测降水受到雷达数据质量、定量降水反演算法等方面的影响造成的。可见雷达估测降水产品用于验证引入效果虽然具有一定参考意义, 但多源数据的引入也会带来质量问题, 因此在实际业务中仍需对两种观测结果的融合与验证展开深入研究。

4 总结和讨论

基于2020年7月—2021年6月的水文和气象观测站资料, 本文重点通过对 P_H 和 P_M 的日资料和小资料的对比分析, 分别从数据稳定性和站点密度、气象站与邻近水文站一致性两个角度, 探讨在气象预报服务中引入水文降水观测数据的可行性。

比分析, 分别从数据稳定性和站点密度、气象站与邻近水文站一致性两个角度, 探讨在气象预报服务中引入水文降水观测数据的可行性。

(1) 从数据稳定性和雨量站网密度角度看, 全国范围内 P_H 的全年稳定站点数达到 P_M 的1/3以上, 部分省份甚至超过 P_M , 以广东、重庆为例, $P_{M,d}$ 全年稳定站网密度分别为177.4 km²/个、40.6 km²/个, 在引入 $P_{H,d}$ 后两省的站网密度上升了3~5倍, 可见 P_H 具备为气象业务提供支撑的潜力。另外, P_H 在夏半年上报的观测站点较冬半年明显增多, 这些观测数据对汛期降水预报与服务有重要的参考价值。

(2) 从数据一致性角度看, 气象站与该站邻近的水文站日降水相关系数和小时降水相关系数分别为0.82和0.84, 呈现出较强的正相关性, 即气象站观测降水量越大则邻近水文观测站观测到的降水量越大, 这反应了水文站观测降水与气象站观测降水具有较高的一致性。通过广东和重庆两个个例的效果对比, 在平均降水量越大的地区, 气象站与邻近水文站的降水量一致性越高, 这表明引入水文观测数据将有助于提升对强降水的监测能力; 而在平均降水量越小的地区,

其相关系数变化幅度较大,这可能是由于小量级降水的局地性更为显著,更易受到地形、环境等因素影响,导致邻近站点的降水量差异性较大。因此,在引入水文站观测数据的过程中,需要综合考虑站点位置及环境特征。

基于目前气象站与水文站降水的观测现状与特点,在气象服务中引入水文站点的观测数据可在一定程度上补足观测空间和观测频率的局限性,加强降水要素探测能力,特别是对提升灾害性降水天气服务具有重要作用。在数值预报方面,降水资料的丰富将助力于资料同化、数值模式预报、定量降水估测等方面的应用。同时,降水资料的引入还可应用于多种气象服务场景,如预报产品实时订正、降水产品独立性检验。随着更多行业数据的汇交,行业观测数据的应用潜力将不断放大,相关质量控制和多源融合技术有待进一步研究和探索。

参考文献

- [1] 褚健婷,夏军,许崇育,等.海河流域气象和水文降水资料对比分析及时空变异.地理学报,2009,64(9): 1083-1092.
- [2] 李显凤,张玮,黄少平,等.江西省气象-水文-雷达小时雨量信息融合试验结果分析.暴雨灾害,2020,39(3): 276-284.
- [3] 李武阶,王仁乔,郑启松.几种面雨量计算方法在气象和水文上的应用比较.暴雨灾害,2000,(1): 62-67.
- [4] 任芝花,赵平,张强,等.适用于全国自动站小时降水资料的质量控制方法.气象,2010,36(7): 123-132.
- [5] 李雁,张乐坚,梁海河,等.天气雷达与地面自动站降水观测一致性校验分析.气象科技,2013,41(3): 436-442.
- [6] 王红艳,王改利,刘黎平,等.利用雷达资料对自动雨量计实时质量控制的方法研究.大气科学,2015,39(1): 59-67.
- [7] 张乐坚,俞小鼎,李峰,等.地面降水的多源数据辅助质量控制方法.气象,2016,42(3): 363-371.
- [8] 廖桢桦,顾颖,何国平.气象水文资料的融合应用.浙江农业科学,2012,12: 1707-1709.
- [9] Richard A, François B. Determining the optimal spatial distribution of weather station networks for hydrological modeling purposes using RCM datasets: an experimental approach. Journal of Hydrometeorology, 2014, 15(1): 517-526.
- [10] 雷晓辉,王浩,廖卫红,等.变化环境下气象水文预报研究进展.水利学报,2018,49(1): 9-18.
- [11] Feng M, Luo L F, Ye A Z, et al. Drought characteristics and propagation in the semiarid Heihe River Basin in Northwestern China. Journal of Hydrometeorology, 2019, 20(1): 59-77.
- [12] Wang L, Yang H, Yang D, et al. Spatial interpolation of daily precipitation in a high mountainous watershed based on gauge observations and a regional climate model simulation. Journal of Hydrometeorology, 2017, 18(3): 845-862.
- [1] 褚健婷,夏军,许崇育,等.海河流域气象和水文降水资料对比分