

杨有林, 韩格格, 马宁, 等. 基于多源数据融合的降水数据质量控制技术研究[J]. 山地气象学报, 2024, 48(2): 49-56.

## 基于多源数据融合的降水数据质量控制技术研究

杨有林<sup>1,2</sup>, 韩格格<sup>1,2</sup>, 马宁<sup>1,2</sup>, 张智<sup>1,2</sup>

(1. 中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室, 宁夏 银川 750002; 2. 宁夏气象信息中心, 宁夏 银川 750002)

**摘要:**【目的】降水为非连续性观测要素, 利用常规的质量控制方法无法很好地检查降水观测数据的正确性, 因此需要开展自动气象站降水观测数据质量控制技术研究。【方法】提出一种基于雷达、卫星等多源数据融合的地面自动观测降水数据质量控制方法, 研究基于标准 Z-R 关系的雷达定量降水估测产品加工算法, 生成宁夏全区地面自动观测站 1 h 雷达定量估测降水量, 建立基于雷达、卫星估测降水产品的自动气象站降水观测数据质量控制技术流程, 开展自动气象站降水观测数据质量控制, 并对质量控量结果进行分析评估。【结果】(1) 对于国家级站, 多源数据融合的地面自动观测降水数据质控方法与 MDOS 对降水量数据的质控均为“正确”的一致率较高, 平均达到 94.88%; 对于区域站, 均为“正确”的一致率明显比国家级站低, 平均达到 51.57%; (2) 多源数据融合的地面自动观测降水数据质控方法质控出“可疑”和“错误”数据明显比 MDOS 多, 对“可疑”和“错误”数据的检出率更高; (3) 多源数据融合的地面自动观测降水数据质控方法对错误降水数据的质量控制较 MDOS 质量控制更符合实际。【结论】多源数据融合的地面自动观测降水数据质控方法可以较好地解决宁夏降水要素自动观测数据的质量问题, 为降水数据质量控制提供技术和理论支撑。

**关键词:** 降水观测数据; 多源数据融合; 雷达定量降水估测; 质量控制

**中图分类号:** P413 **文献标识码:** A

## Research on Precipitation Data Quality Control Technology Based on Multi-source Data Fusion

YANG Youlin<sup>1,2</sup>, HAN Gege<sup>1,2</sup>, MA Ning<sup>1,2</sup>, ZHANG Zhi<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Agrometeorological Disaster Monitoring, Early Warning and Risk Management in Arid Regions, CMA, Yinchuan 750002, China; 2. Ningxia Meteorological Information Center, Yinchuan 750002, China)

**Abstract:** Precipitation is a discontinuous observation element, and the accuracy of precipitation observation data cannot be well checked by conventional quality control methods, so we carried out the study on quality control technology of precipitation observation data from automatic weather stations (AWSs). In the study, a method for quality control of precipitation data of AWSs was proposed based on multi-source data fusion such as the data of radar and satellite. A processing algorithm for radar quantitative precipitation estimation products based on standard Z-R relationship was studied, and the one-hour radar quantitative precipitation estimation of AWSs observations in Ningxia was generated. The technical process of quality control of precipitation data of AWSs based on the radar and satellite precipitation estimation products was established. Moreover, the quality control of precipitation data of AWSs was conducted, and the results were evaluated. The results show that: (1) For national stations, the quality control method of AWSs precipitation data based on multi-source data fusion and the quality control of precipitation data using MDOS are both "correct" with a higher consistency rate, reaching 94.88% on average. For regional stations, the consistency rate of "correct" is significantly lower than that of national stations, 51.57%

收稿日期: 2023-12-29

第一作者简介: 杨有林(1967—), 男, 正高, 主要从事天气预报业务和信息化技术研究与应用工作, E-mail: nx\_yyl@163.com。  
资助项目: 宁夏自然科学基金(2022AAC03682)。

on average. (2) The quality control method of AWSs precipitation data based on multi-source data fusion produces more "suspicious" and "wrong" data than MDOS, and the detection rate of "suspicious" and "wrong" data is higher. (3) The quality control method of AWSs precipitation data based on multi-source data fusion is more realistic than MDOS quality control for the quality control of erroneous precipitation data. Therefore, the quality control method of AWSs precipitation data with multi-source data fusion can better solve the quality problem of AWSs precipitation data in our district, and provide technical and theoretical support for the quality control of precipitation data in our district.

**Key words:** precipitation observation data; multi-source data fusion; radar quantitative precipitation estimation; quality control

## 0 引言

随着气象事业的快速发展,地面自动观测站点越来越密,气象观测数据量呈指数级增长。而自动气象站通常安装在无人值守的野外,即使定期开展维护也难免出现雨量传感器堵塞、干扰、部件损坏、感应灵敏度下降等故障<sup>[1]</sup>,造成错误数据量增多。降水与人类生活密切相关,影响我们的16种气象灾害中,就有4种与降水现象有关。地面气象站降水量观测是天气预报、气象防灾、气象服务的必要参考<sup>[2]</sup>。因此,剔除观测中的降水错误数据,保证资料的高可用性,为气象业务提供准确和连续的数据至关重要。

国际上对地面降水观测数据质量控制的研究起步于20世纪下半叶,Göktürk等<sup>[3]</sup>对降水数据集进行同质性检验来获得高质量降水序列;Scherrer等<sup>[4]</sup>采用空间—气候合性来检测日降水量,对降水数据的编辑进行客观化;Mathes等<sup>[5]</sup>运用基于逻辑回归的广义线性模型,估算出降水超过阈值的概率,该模型应用于德国气象局和NCEP再分析资料。以上研究都是基于单站的异常值检测方法。随着气象监测站点增多,多个观测站点的空间联网质量控制应运而生,空间一致性检测就是通过周围的邻站要素观测值来检验目标站观测值的合理性。Linacre<sup>[6]</sup>使用算术平均的思想对缺失的数据进行差补,Abatzoglou等<sup>[7]</sup>使用周围站点的线性回归对加利福尼亚的气候站点月降水数据进行质量控制。

在质控技术方法研究方面,国内多人利用自动与人工观测数据分别研究了气温、湿度、气压、降水、风、地温等要素观测数据的差异,指出大部分观测数据都在自动站差值允许范围内,这为自动站观测数据质量控制软件的研制提供了技术支持<sup>[8-16]</sup>。井高飞等<sup>[17]</sup>利用雨量计联合双偏振天气雷达对雨量计数据进行综合质量控制,有效降低了单纯使用空间一致性质量控制所引起的误判。

但是降水为非连续性观测要素,利用常规的质量控制方法不能很好地检查降水观测数据的正确性,无法完全剔除各种原因引起的错误数据。气象天地空一体观测体系的建立,除了常规的地面观测外,气象观测还包括雷达、卫星等观测手段,卫星资料反演降水产品为已有资料。本文主要生成雷达资料定量降水估测产品,运用雷达、卫星、自动站等多源气象观测数据,研究基于多源数据融合的降水数据质量控制技术,有效剔除降水量地面自动观测数据中的错误数据,控制疑误错误数据向下游业务流动,提高降水数据准确性。

## 1 质量控制方案的研制

### 1.1 数据质量控制码的规定

地面观测数据质量控制采用质量控制码标识,对地面降水量数据进行质量控制,实现对下游业务应用的自动站观测数据的质量控制。质控编码为0~9,代表的含义如表1。

表1 质量控制码含义

Tab. 1 Meaning of quality control code

质控编码	描述	含义
0	数据正确	通过质量控制,未发现数据异常;或数据虽异常,但最终确认数据正确。
1	数据可疑	通过质量控制,发现数据异常,且未明确数据正确还是错误。
2	数据错误	通过质量控制,确认数据错误。
3	数据为订正值	原数据明显偏离真值,但在一定范围内可参照使用。在原数据基础上通过偏差订正等方式重新获取的更正数据。

续表 1

质控编码	描述	含义
4	数据为修改值	原数据因错误或缺测而完全不可用,通过与原数据完全无关的替代方式重新获取的更正数据。
5	预留	A
6	预留	A
7	无观测任务	按规定,台站无相应要素数据观测任务。
8	数据缺测	该项数据应观测,但因各种原因缺测。
9	未做质量控制	该数据未进行质量控制。

## 1.2 雷达定量降水估测方法

1.2.1 雷达 Z-R 关系确定 雷达降水估测通常使用 Z-R 关系来将雷达反射率因子(Z)转换为降水强度(R)<sup>[18]</sup>。该关系可以通过实测站点的降水数据和雷达回波的对应反射率来建立,通常表示为:

$$Z = AR^b \quad (1)$$

两边取对数后得到  $\lg Z = \lg A + b \lg R$ 。设  $y = \lg Z, x = \lg R, a = \lg A$ , 则  $y = bx + a$ 。利用最小二乘法原理得到:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (2)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (3)$$

以上各式中,Z 为实测的雷达反射率因子,R 为实测降水量, $\bar{y}, \bar{x}$  分别为实测值  $y, x$  的算术平均值。 $a, b$  值确定后,Z-R 关系就确定了下来。

1.2.2 雷达定量降水估测 建立基于雷达标准格式数据的雷达定量降水估测产品分析流程(图 1)。首先按照《天气雷达基数据标准格式(V1.1)》定义雷达观测数据对象,分层、分要素解析读取雷达基础观测数据,对观测数据进行投影变换和坐标转换,将极坐标转换为直角坐标,不同仰角转换到 0° 仰角;其次对雷达数据的地物回波进行滤除,分层建立地物掩膜层,标注地物区和被地物遮挡区,利用掩膜层抑制滤除各层地物杂波;再次进行等高层提取,按照距离雷达 20 km 内取 3.5° 仰角层、20 ~ 35 km 内取 2.4° 仰角层、35 ~ 50 km 内取 1.5° 仰角层、>50 km 内取 0.5° 仰角层的规则提取等高层数据,地物区和被地物遮挡区提取上一层仰角数据;最后利用雷达降水估测 Z-R 关系,换算出降水量。

1.2.3 1 h 累计雷达定量降水估测产品算法 利用分钟级估测降水累积算法,将 1 h 内逐个观测时次的 6 min 雷达估测降水量累加计算到相应时次的 1 h 累计雷达定量降水估测产品。将 1 h 累计雷达估测降水量产品插值到自动气象站对应站点,形成能够与自动站实测降水量进行对比的站点估测降

水量,具体流程如图 2 所示。

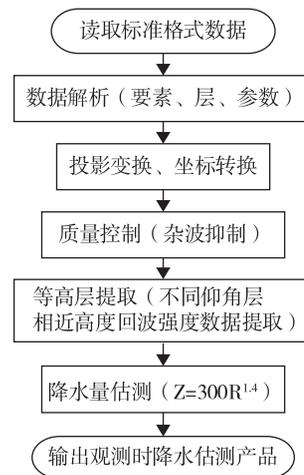


图 1 雷达定量降水估测算法流程  
Fig. 1 Flow of radar quantitative precipitation estimation algorithm

1.2.4 1 h 雷达定量降水估测产品与自动气象站实况对比 如图 3a 为雷达估测降水产品插值生成的自动气象站点 1 h 雷达估测降水图,图 3b 为自动气象站实况图,可以看出,雷达估测降水的雨区分布和强降水落区与自动站观测基本一致,雷达估测降水的空间分布更加精细,强降水中心准确位置和强度更加突出。

## 1.3 多源融合自动气象站降水量数据质量控制方法

1.3.1 数据质量检查规则 采用雷达、卫星等多源观测数据综合分析的方法对自动气象站降水观测数据进行质量控制。建立基于卫星、雷达估测降水产品的自动气象站降水数据质量控制规则,进行有、无降水的质量控制(表 2)。

1.3.2 多源融合技术流程 在雷达、卫星资料处理反演成降水量数据的前提下,读取自动站、雷达、卫星降水数据,依次判断各自动站是否观测此要素、是否缺测、是否为孤点降水,最后结合雷达估测数据、卫星反演数据进行综合判断,标识质控码,具体流程如图 4 所示。

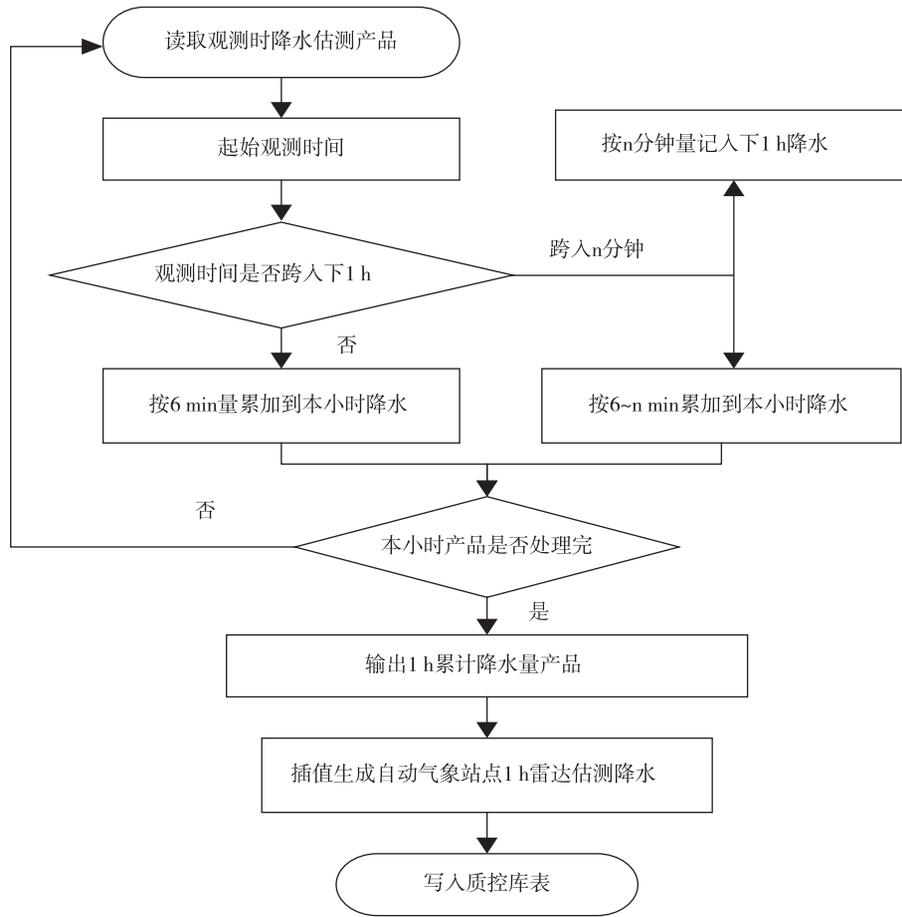


图 2 雷达估测降水 1 h 降水量流程  
Fig. 2 Flow of 1 h precipitation estimated by radar

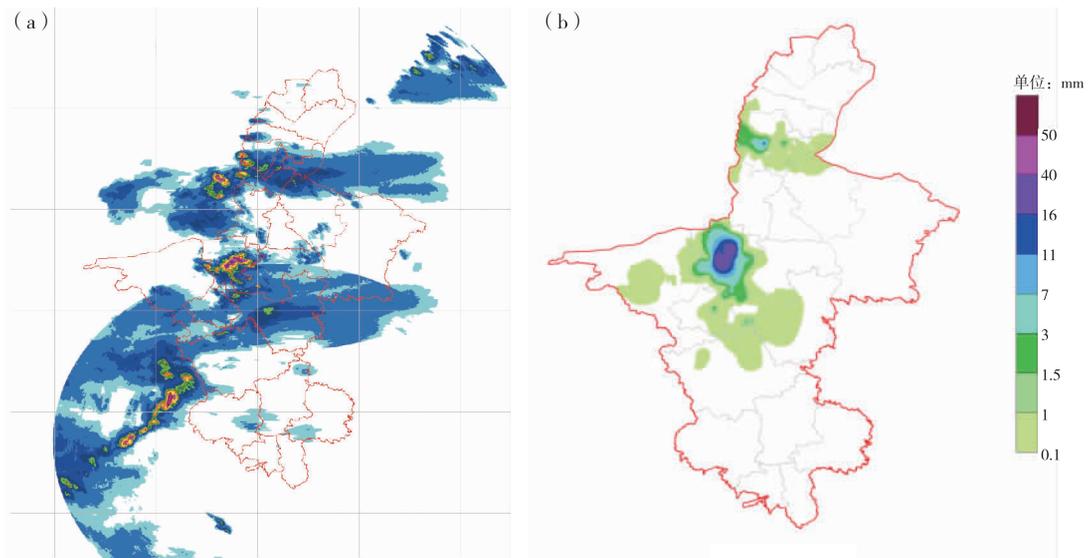


图 3 2023 年 7 月 26 日 20 时 1 h 雷达估测降水产品(a)与自动气象站实况(b)对比  
Fig. 3 Comparison of the 1 h precipitation estimated by radar (a) and the observation of automatic weather station (b) at 20:00 on July 26, 2023

表 2 自动气象站降水数据质量检查规则表  
Tab.2 Quality inspection rules of automatic weather station precipitation data

自动站 降水情况	质控码				
	雷达有降水	雷达无降水	卫星有降水	卫星无降水	无卫星雷达数据时
有降水为孤点	QC_R = 0	QC_R = 2	QC_R = 0	QC_R = 2	$R_1 \geq 5$ 则 QC_R = 1 $R_1 \geq 10$ 则 QC_R = 2
有降水非孤点	QC_R = 0	QC_R = 1	QC_R = 0	QC_R = 1	QC_R = 0
无降水为孤点	QC_R = 2	QC_R = 0	QC_R = 2	QC_R = 0	则 QC_R = 1 或 QC_R = 2
无降水非孤点	QC_R = 1	QC_R = 0	QC_R = 1	QC_R = 0	QC_R = 0

注:QC\_R=0,表示正确;QC\_R=1,表示疑误;QC\_R=2,表示错误。R<sub>1</sub> 为检查自动站 1 h 降水量。

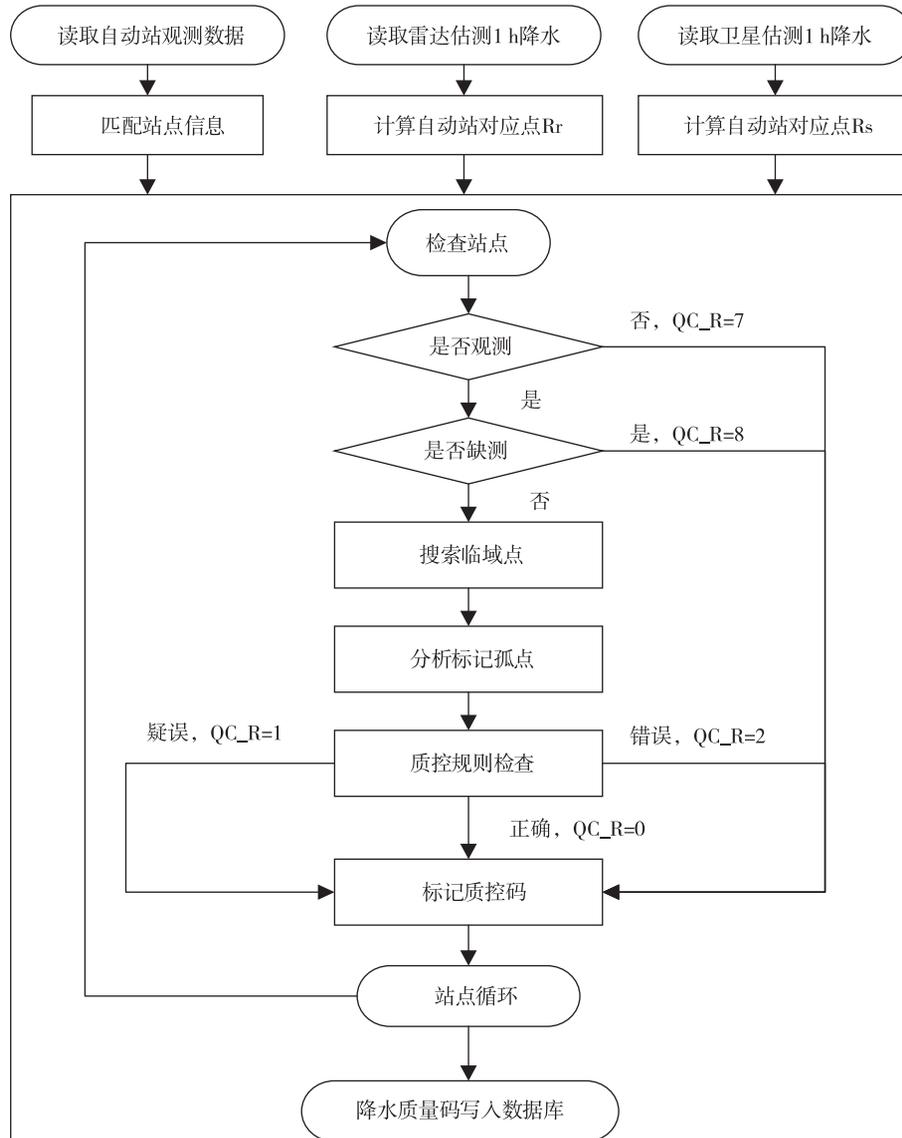


图 4 多源数据融合的地面降水量数据质量控制技术流程

Fig. 4 Technical flow of surface precipitation data quality control based on multi-source data fusion

## 2 降水数据质量控制结果评估分析

利用本文提出的多源数据融合降水数据质量控制方法(以下简称 NXQS)与气象资料业务系统

(MDOS)各时次质控码作为对比评估依据,针对“正确”“可疑”“错误”多种质控效果,分别按 2 套质控程序质控码为 0-0、0-1、0-2、1-0、1-1、1-2、2-0、2-1、2-2 等 9 种情况对质控结果进行对比分析。

### 2.1 2 种质控方法的降水量质控码对比评估

对 2020 年 1 月 1 日—2021 年 12 月 31 日期间宁夏全区共 37 个国家级气象观测站、938 个区域自动气象观测站降水量进行质控评估。

2.1.1 国家级站 从国家级站降水量质控码 0-0 分布图(图 5)可以看到,NXQS 与 MDOS 对降水量数据的质控均为“正确”的一致率较高,每站平均为 94.87%,最高为 99.69%,但最低只有 57.25%,这是因为 MDOS 数据库中 52795、53706、53801 等站缺失数据较多造成的。

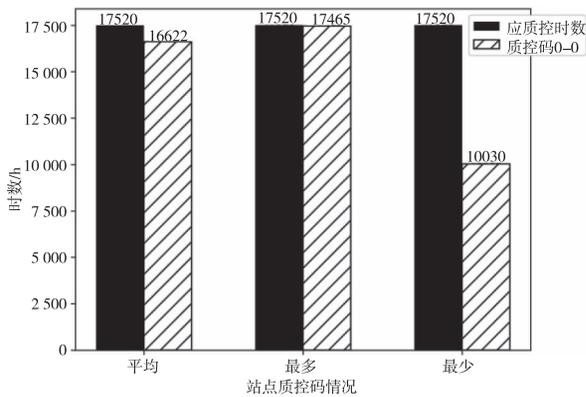


图 5 国家级站降水量质控码 0-0 分布图

Fig. 5 The 0-0 distribution of precipitation quality control code at national stations

从质控结果来看,NXQS 质控国家级站“可疑”“错误”数据分别为 7 492 个、59 个;而 MDOS 质控国家级站“可疑”“错误”数据分别为 0 个、81 个。从国家级站降水量质控码分布图(图 6)可以看到,NXQS 判断为“正确”而 MDOS 判断为“可疑”“错误”的数据分别为 0 个、34 个;NXQS 判断为“可疑”而 MDOS 判断为“正确”“可疑”“错误”的数据分别为 7 446 个、0 个、46 个;NXQS 判断为“错误”而 MDOS 判断为“正确”“可疑”“错误”的数据分别为 58 个、0 个、1 个。说明 NXQS 质控为“可疑”和“错误”的数量均明显比 MDOS 质控的数量多。

2.1.2 区域站 从区域站降水量质控码 0-0 分布图(图 7)可以看到,NXQS 与 MDOS 对降水量数据的质控均为“正确”的一致率明显比国家级站低,每站平均为 51.57%,最高为 65.26%,最低只有 42.89%,这是区域站降水量结冰期不观测造成的。

从质控结果来看,NXQS 质控区域站“可疑”“错误”数据分别为 49 904 个、3 048 个;而 MDOS 质控区域站“可疑”“错误”数据分别为 851 个、3 667 个。从区域站降水量质控码分布图(图 8)可以看到,NXQS 判断为“正确”而 MDOS 判断为“可疑”“错误”的数据分别为 732 个、988 个;NXQS 判断为“可

疑”而 MDOS 判断为“正确”“可疑”“错误”的数据分别为 47 519 个、59 个、2 326 个;NXQS 判断为“错误”而 MDOS 判断为“正确”“可疑”“错误”的数据分别为 2 635 个、60 个、353 个。说明 NXQS 质控为“可疑”和“错误”的数量均明显比 MDOS 质控的数量多。

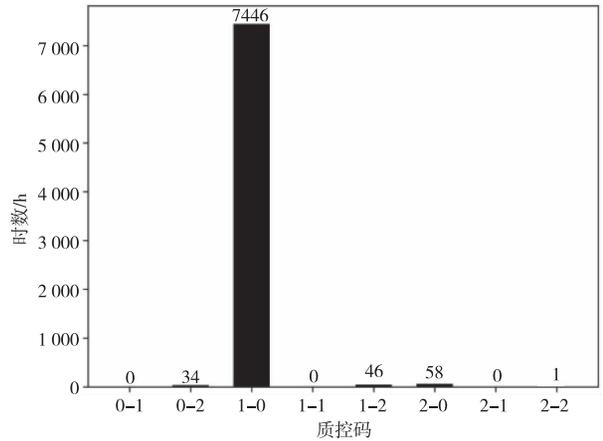


图 6 国家级站降水量质控码分布图

Fig. 6 Distribution of precipitation quality control code at national stations

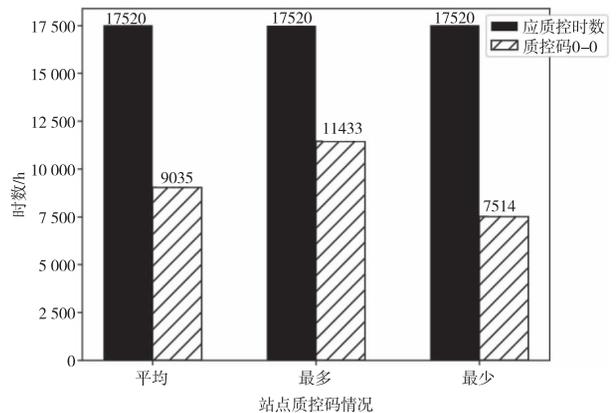


图 7 区域站降水量质控码 0-0 分布图

Fig. 7 The 0-0 distribution of precipitation quality control code at regional stations

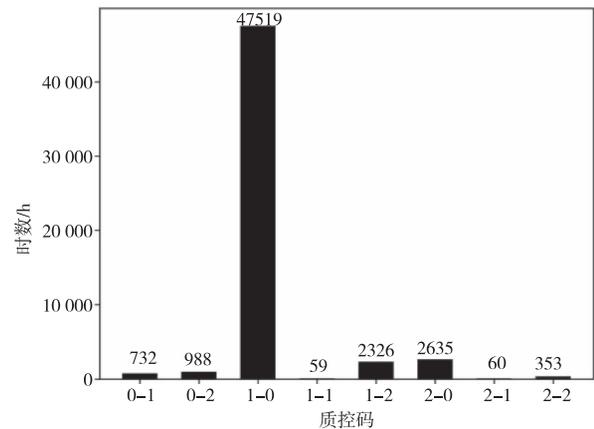


图 8 区域站降水量质控码分布图

Fig. 8 Distribution of precipitation quality control code at regional stations

2.1.3 质控结果不同的差异分析 根据以上 2 套质控程序质控结果得出, NXQS 判断为“可疑”而 MDOS 判断为“正确”的数据较多; NXQS 判断为“错误”而 MDOS 判断为“正确”的数据也较多。结合实际分析, 造成以上情况的主要原因是春秋季节晨霜、露比较多, 吸附在雨量筒中; 或前 1 d 有降水情况时第 2 d 会有少量水吸附在雨量筒中, 形成少量降水; 或因仪器传感器故障、杂物堵塞、人为浇水等, 导致 NXQS 判断为“可疑”或“错误”而 MDOS 判断为“正确”。以上情况需要人工干预做出判断, 根据实际情况 NXQS 质控结果更为准确。

## 2.2 典型降水过程质量控制结果分析

挑选典型降水过程情况进行验证, 以永宁县金沙林场自动气象站(Y1230)为例, 选取该站 2022 年 5 月降水数据, 在此期间观测到大量密集异常降水(多为孤点降水), MDOS、NXQS 对降水量数据标记的质控码分布图如图 9 所示, 上半部分为 NXQS 质控码, 下半部分为 MDOS 质控码。经统计, 13% 的降水过程 MDOS、NXQS 都将其判断为“正确”; 8% 的降水过程 MDOS 将其判断为“正确”, 而 NXQS 将其判断为“可疑”; 39% 的降水过程 MDOS 将其判断为“正确”, 而 NXQS 将其判断为“错误”; 40% 的降水过程 MDOS 将其判断为“错误”, NXQS 也将其判断为“错误”或“可疑”。

将此站 MDOS、NXQS 质控后累计降水量分别与

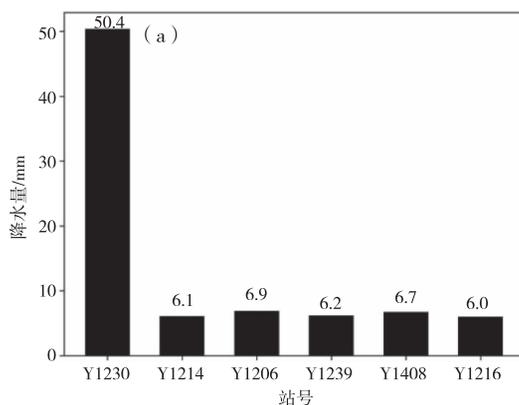


图 10 2022 年 5 月永宁县金沙林场与临近站的累计降水量分布图

Fig. 10 Distribution of accumulated precipitation at Jinsha Forest Farm and adjacent stations in Yongning County in May 2022

其 5 个临近站的累计降水量进行对比(图 10), 图 10a 为 MDOS 质控后各站降水量分布情况, 图 10b 为 NXQS 质控后各站降水量分布情况。金沙林场自动气象站 5 月累计降水量经 MDOS 质控后为 50.4 mm, NXQS 质控后为 9.6 mm, 其 5 个临近站的累计降水量均在 6~7 mm 之间, 显然 NXQS 质控后降水量与周边降水量更接近, 更符合实际情况。说明该方法对错误降水数据的质量控制效果非常明显, 较 MDOS 质量控制更符合实际。

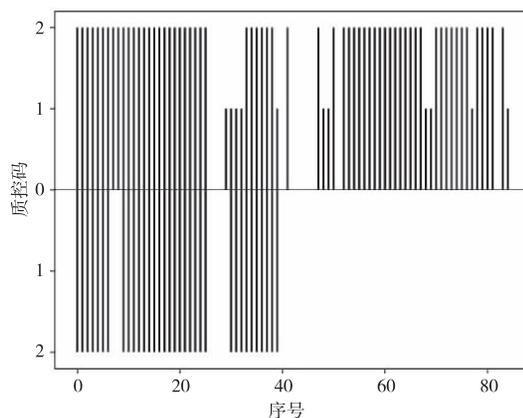
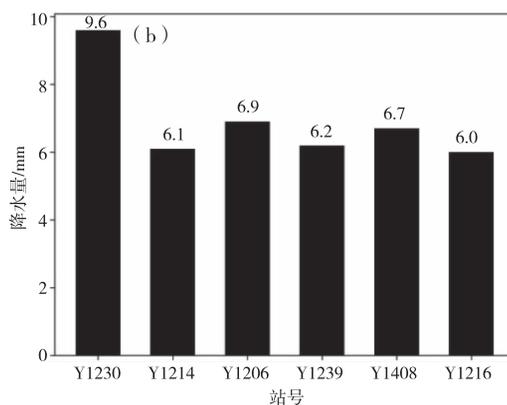


图 9 2022 年 5 月永宁县金沙林场自动气象站降水数据质控码分布图

Fig. 9 Distribution of precipitation data quality control code of automatic weather station in Jinsha Forest Farm of Yongning County in May 2022



## 3 结论和讨论

本文研究了基于标准 Z-R 关系的雷达定量降水估测产品加工算法, 生成 1 h 累计雷达估测降水量产品。建立基于雷达、卫星估测降水产品的自动气象站降水观测数据质量控制技术流程, 开展自动气象站降水观测数据质量控制, 并对质量控量结果

进行分析评估, 得出以下结论:

(1) 对于国家级站, 该方法与 MDOS 对降水量数据的质控均为“正确”的一致率较高, 平均达到 94.88%; 对于区域站, 该方法与 MDOS 对降水量数据的质控均为“正确”的一致率明显比国家级站低, 平均达到 51.57%;

(2) 该方法质控为“可疑”和“错误”的降水数

据数量均明显比 MDOS 质控的数量多,说明该方法对“可疑”和“错误”降水数据的检出率高于 MDOS,能够起到较好的质控作用;

(3)该方法对错误降水数据的质量控制效果较明显,对于错误降水可以做出正确判别,较 MDOS 质量控制更符合实际,较好地解决了降水要素自动观测数据的质量问题。

后续将继续提取水利部交换降水数据与质控后的降水数据做对比分析,进一步验证该方法的准确性并进行优化。

### 参考文献

- [1] 袁毅,毛倩,施倩雯,等.两种翻斗式雨量测量仪器原理及常见故障分析[J].中低纬山地气象,2023,47(5):102-106.
- [2] 支亚京,廖婷婷,鲁霞,等.贵州省常规站异常分钟降水量的分析与处理[J].中低纬山地气象,2022,46(6):105-107.
- [3] GÖKTÜRK O M, BOZKURT D, ŞEN Ö L, et al. Quality control and homogeneity of Turkish precipitation data [J]. Hydrological Processes: An International Journal, 2008, 22(16): 3210-3218.
- [4] SCHERRER S C, FREI C, CROCIASPOLI M, et al. Operational quality control of daily precipitation using spatio-climatological plausibility testing [J]. Meteorologische Zeitschrift, 2011, 20(4): 397-407.
- [5] MATHES A, FRIEDERICH S, HENSE A. Towards a quality control of precipitation data [J]. Meteorologische Zeitschrift, 2008, 17(6): 733-749.
- [6] LINACRE E. Climate data and resources: A Reference and Guide [J]. The Royal Geographical, 1993, 25: 332-333.
- [7] ABATZOGLOU J T, REDMOND K T, EDWARDS L M. Classification of Regional Climate Variability in the State of California [J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2009, 48(8): 1527-1541.
- [8] 连志鸾.自动站与人工站观测记录的差异分析[J].气象,2005, 31(3): 48-52.
- [9] 张强,涂满红,马舒庆,等.自动雨量站降雨资料质量评估方法研究[J].应用气象学报,2007,18(3):365-372.
- [10] 王颖,刘小宁,鞠晓慧.自动观测与人工观测差异的初步分析[J].应用气象学报,2007,18(6):849-855.
- [11] 余君,牟容.自动站与人工站相对湿度观测结果的差异及原因分析[J].气象,2008,34(12):96-102.
- [12] 苑跃,赵晓莉,王英,等.自动与人工观测风速和风向的差异分析[J].气象,2011,37(4):490-496.
- [13] 杨萍,刘伟东,仲跻芹,等.北京地区自动气象站气温观测资料的质量评估[J].应用气象学报,2011,22(6):706-715.
- [14] 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[J].气象,2010,36(7):123-132.
- [15] 吴书成,魏爽,王丽吉,等.自动气象站降水实时快速质控算法设计[J].气象科技,2016,44(6):882-888.
- [16] 陈昕.地面降水资料时空分布特征及其质量控制方法研究[D].南京:南京信息工程大学,2020.
- [17] 井高飞,罗丽,肖辉,等.双偏振雷达在地面自动雨量观测资源质量控制中的应用研究[J].气象,2020,46(9):1189-1198.
- [18] 陈赛,朱亚文,郭佳佳,等.应用雨滴谱对天气雷达 Z-R 关系订正的研究[J].海峡科学,2021(6):10-14.
- [7] 曾妮,邓安,方鹏,等.一次局地性强冰雹天气的环境背景及雷达产品特征分析[J].中低纬山地气象,2021,45(2):23-27.
- [8] 蒙军,杨静,徐良军,等.贵州一次短时强降水雷达演变特征分析[J].贵州气象,2017,41(1):8-15.
- [9] 刘黎平,王致君,徐宝祥,等.我国双线偏振雷达探测理论及应用研究[J].高原气象,1997,16(1):99-104.
- [10] 曹俊武,刘黎平,葛润生.模糊逻辑法在双线偏振雷达识别降水粒子相态中的研究[J].大气科学,2005(5):827-836.
- [11] 钟晨,张羽,高建秋,等.双偏振多普勒天气雷达在冰雹识别中的应用[J].广东气象,2014,36(4):76-80.
- [12] 林文,张深寿,罗昌荣,等.不同强度对流云系 S 波段双偏振雷达观测分析[J].气象,2020,46(1):63-72.
- [13] 陈龙,唐明晖,唐佳,等.湘东北一次降水超级单体过程的双偏振雷达回波特征[J].暴雨灾害,2023,42(2):211-222.
- [14] 潘佳文,魏鸣,郭丽君,等.闽南地区大冰雹超级单体演变的双偏振特征分析[J].气象,2020,46(12):1608-1620.
- [15] 何东坡,周永水,周文钰,等.贵州北部一次冰雹天气的双偏振特征分析[J].中低纬山地气象,2022,46(3):16-24.
- [16] 俞小鼎.关于冰雹的融化层高度[J].气象,2014,40(6):649-654.

### (上接第40页)