

0.5 mm分辨力翻斗式雨量计在郑州“7·20”极端暴雨中的适用性分析

王越^{1,2}, 闵星^{3*}, 刘九夫³, 高伟杰^{1,2}, 汪义东^{1,2}, 郜彬^{1,2}

¹水利部南京水利水文自动化研究所水文水环境监测研究室, 江苏 南京

²江苏南水科技有限公司水文水环境监测事业部, 江苏 南京

³南京水利科学研究院水文水资源研究所, 江苏 南京

收稿日期: 2025年12月9日; 录用日期: 2026年1月7日; 发布日期: 2026年2月26日

摘要

本文基于郑州市尖岗水文站0.5 mm分辨力翻斗式雨量计的降水量数据, 从降水过程的时段最大累计降水量、极端性及翻斗式雨量计在暴雨过程中的适用性等角度, 详细梳理了郑州“7·20”极端暴雨过程。通过0.5 mm分辨力翻斗式雨量计实测降水量数据计算分析, 明确了此次暴雨过程的特征和极端性, 指明了0.5 mm分辨力翻斗式雨量计在极端暴雨监测中存在的风险, 并有针对性地提出了相应的改进建议, 以期对未来降水监测工作提供支撑。

关键词

“7·20”极端暴雨, 降水特征, 降水观测数据, 极端性分析

Analysis of the Applicability of a 0.5 mm Resolution Tipping-Bucket Rain Gauge during “7·20” Extreme Rainstorm in Zhengzhou

Yue Wang^{1,2}, Xing Min^{3*}, Jiufu Liu³, Weijie Gao^{1,2}, Yidong Wang^{1,2}, Bin Gao^{1,2}

¹Hydrology and Water Environment Department, Nanjing Research Institute of Hydrology and Water Conservation Automation, Ministry of Water Resources, Nanjing Jiangsu

²Hydrology and Water Environment Department, Jiangsu NIHWA Technology Co., Ltd., Nanjing Jiangsu

³Hydrology and Water Resources Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing Jiangsu

Received: December 9, 2025; accepted: January 7, 2026; published: February 26, 2026

作者简介: 王越(1987-), 女, 河南鹿邑人, 硕士, 工程师, 主要从事水文水资源研究工作, Email: wangyue@nsy.com.cn

*通讯作者 Email: xmin@nhri.cn

文章引用: 王越, 闵星, 刘九夫, 高伟杰, 汪义东, 郜彬. 0.5 mm 分辨力翻斗式雨量计在郑州“7·20”极端暴雨中的适用性分析[J]. 水资源研究, 2026, 15(1): 19-26. DOI: 10.12677/jwrr.2026.151003

Abstract

Based on the rainfall data from 0.5 mm resolution tipping-bucket rain gauge at Zhengzhou Jiangang Hydrological Station, the paper analyzes the precipitation characteristics of the “7·20” extreme rainstorm and the applicability of the 0.5 mm tipping-bucket rain gauge during the heavy rainfall event. Through calculation and analysis of the measured rainfall data from the 0.5 mm resolution tipping-bucket rain gauge, it defines the precipitation characteristics and extremity of the rainstorm event. In addition, the paper analyzes the risks or limitations of 0.5 mm resolution tipping-bucket rain gauge in monitoring extreme rainstorm events, and puts forward some suggestions for future development of tipping-bucket rain gauge, aiming to provide technical support for future precipitation monitoring efforts.

Keywords

“7·20” Extreme Rainstorm, Precipitation Characteristics, Precipitation Observation Data, Extreme Analysis

Copyright © 2026 by author(s) and Wuhan University & Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

华北地区作为我国北方降水格局变化的敏感区域，近年来极端暴雨事件呈现频率上升、强度增强的显著特征。每年7月到8月为华北地区的主汛期，尤其是7月下旬至8月上旬，是防汛的关键期，该时期多突发性和局地性强降水，降水特征主要呈现为突发性强、降水量大、持续时间长、暴雨落区集中等特点。

2021年7月17日至23日，河南省遭遇了历史罕见特大暴雨(以下简称郑州“7·20”极端暴雨)，此次暴雨过程的累计降水量、短时雨强、持续时间以及受灾范围等在我国水文气象历史记录中都极为罕见。郑州“7·20”极端暴雨事件对全国人民生产生活造成极大影响，多位学者从实况观测、成因机理、极端特征、致灾特性等多方面对此次暴雨过程进行了深入研究。

王哲雯[1]根据河南省121个国家级气象站逐小时降水资料和ERA-5大气再分析资料，分析了郑州“7·20”极端暴雨过程中降水日变化特征和中低层大气环流演变的相关关系，并结合相关物理量场的特征演变特征，揭示了此次极端暴雨的形成机理与主要影响因素。崔慧慧等[2]基于区域气象站资料、雷达产品、ERA-5数据等资料对郑州“7·20”极端暴雨的降水细节、成灾过程等进行研究，从环流背景、降水发展演变、关键环境参数等方面再现了郑州“7·20”极端暴雨的形成过程，认为此次极端暴雨是由远距离台风影响所致，灾害主要由降水持续叠加造成。杨浩等[3]利用气象观测站小时和分钟降水量资料，从事件的突发性、累计降水量、降水强度和时演变等角度，分析了郑州“7·20”极端暴雨的极端性特征。张建云等[4]剖析了郑州“7·20”特大暴雨洪涝灾害的基本特征和成因，指出此次暴雨灾害防御中存在的主要问题和气象水文监测预警工作中的短板，并针对气象水文监测预警提出了加强研发和应用先进技术，强化水文基础设施建设，提升水文常规监测和应急监测能力等对策建议。

目前，国内外水文气象监测最常用的降水量监测设备仍是翻斗式雨量计，我国翻斗式雨量计根据其翻斗大小可以分为0.1 mm、0.2 mm、0.5 mm与1 mm四种分辨力。1 mm分辨力翻斗式雨量计，分辨力较低，但计量误差范围较小，一般可控制在±4%以内，满足《降水量观测仪器 GB/T 21978.2-2014》中关于翻斗式雨量计的准确度要求。0.2 mm分辨力和0.1 mm分辨力雨量计，分辨力较高，但往往计量误差较大。0.5 mm分辨力翻斗式

雨量计兼顾了降水量监测数据的精度和准确度, 计量误差范围较小, 且分辨力较高, 目前是我国较为广泛应用的降水量监测设备。郑州市尖岗水文站设立的 0.5 mm 分辨力翻斗式雨量计, 完整记录了郑州“7·20”极端暴雨过程, 对暴雨事件的预报预警以及数据分析起到了重要作用。

本文在诸多学者研究的基础上, 根据 0.5 mm 分辨力翻斗式雨量计的计量特性与实测数据, 统计郑州“7·20”极端暴雨过程的时段最大累计降水量、降水极值分布等降水特征, 分析了本次极端暴雨事件的极端性, 探讨了 0.5 mm 翻斗式雨量计在极端暴雨监测中的适用性, 以期本文的分析结果能为未来降水监测和暴雨天气预报提供一定的参考。

2. 资料与方法

2.1. 数据来源

本文采用的实测降水量数据主要来源于河南省郑州市尖岗水文站 0.5 mm 分辨力翻斗式雨量计。尖岗水文站位于尖岗水库内, 地处郑州市地势较高的西南部, 位于贾鲁河干流的上游, 控制流域面积为 113 km² [5]。尖岗水文站代表性较好, 0.5 mm 分辨力翻斗式雨量计记录的郑州“7·20”极端暴雨期间的降水量监测数据, 为降水过程溯源与灾害成因分析提供了重要的数据支持。

本研究主要根据尖岗水文站 0.5 mm 分辨力翻斗式雨量计 7 月 18 日 8 时至 21 日 8 时共 3 d 的降水量数据, 开展郑州“7·20”极端暴雨的降水特征分析。

2.2. 研究方法

本文关于降水量等级划分主要参考《降水量等级》(GB/T 28592-2012)中的相关规定, 关于暴雨、大雨的等级划分具体为: 特大暴雨: 24 h 降水量 ≥ 250 mm, 或 12 h 降水量 ≥ 140 mm; 大暴雨 24 h 降水量: 100~249.9 mm, 或 12 h 降水量 70~139.9 mm; 暴雨 24 h 降水量: 50~99.9 mm, 或 12 h 降水量 30~69.9 mm; 大雨 24 h 降水量: 25~49.9 mm, 或 12 h 降水量 15~29.9 mm [6]。小时降水量划分参考俞小鼎[7]在“短时强降水临近预报的思路与方法”研究中的要求, 将 1 h 降水量超过 20 mm 的强降水定义为短时强降水。本文主要通过文献调查法、数理统计等分析方法, 对比分析此次极端暴雨过程的降水量特征值与极端性。

3. 降水过程概况

2021 年 7 月 17 日至 23 日, 河南省遭遇历史罕见特大暴雨, 发生严重洪涝灾害, 特别是 7 月 20 日郑州市遭受重大人员伤亡和财产损失。17 日至 18 日降水过程主要发生在豫北地区(焦作、新乡、鹤壁、安阳); 19 日至 20 日暴雨中心南移至郑州市, 发生长历时特大暴雨; 21 日至 22 日暴雨中心再次北移, 23 日逐渐减弱结束。降水过程最大累计面降水量为 589 mm, 发生在鹤壁市; 郑州市累计面降水量达到 534 mm; 新乡市为 512 mm。降水过程最大点降水量为 1122.6 mm, 监测站为鹤壁科创中心气象站; 郑州新密市白寨气象站监测最大点降水量为 993.1 mm。最大小时点降水量为 201.9 mm, 发生在 20 日 16 时至 17 时, 监测站为郑州国家气象站[8]。暴雨导致严重的城市内涝灾害, 给人民群众造成了巨大的生命财产损失。

暴雨形成的必要条件为充足的水汽输送, 强烈的上升运动及稳定的环流背景等。此次极端暴雨发生在夏季多雨期, 是东亚地区各种尺度天气系统共同作用的结果, 是在台风与西太平洋副热带高压共同作用产生的。根据 2021 年 7 月 20 日 08 时 850 hPa 高度层水汽通量与水平流场分析, 暴雨过程中, 副热带高压南侧有 2106 号台风“烟花”的存在, 同时 2107 号台风“查帕卡”在华南地区登陆[9]。台风“烟花”北侧的东南急流将来自西太平洋及印度洋的水汽源源不断地输送至河南省及其周边地区, 台风“查帕卡”北侧东南气流登陆后转为偏南气流, 促使水汽向内陆输送, 在郑州市上空形成水汽辐合区, 连通强大的水汽通道, 向河南中、北部地区不断输送暖湿气流, 给暴雨的形成提供充沛水汽, 加之局地较强辐合、地形抬升条件, 配合不稳定能量, 三者对强

降水的形成、降水强度、暴雨中心以及雨带位置分布具有重要影响[1]。强降水在郑州市自西向东移动加强，加之郑州地形西南高、东北低，造成了外洪内涝并发，灾情极为严重。

4. 降水特征分析

本研究采用的降水量数据监测设备为 0.5 mm 分辨力翻斗式雨量计，该雨量计的降水量感量为 0.5 mm，数据记录时间分辨力为 10 min，即每翻斗记录降水量为 0.5 mm，8:10 记录 8:01 至 8:10 时间段的累计降水量，每次记录降水量值为 0.5 mm 的倍数。

4.1. 降水阶段特征分析

2021 年 7 月 18 日 8 时至 21 日 8 时尖岗水文站累计降水量过程如图 1 所示。

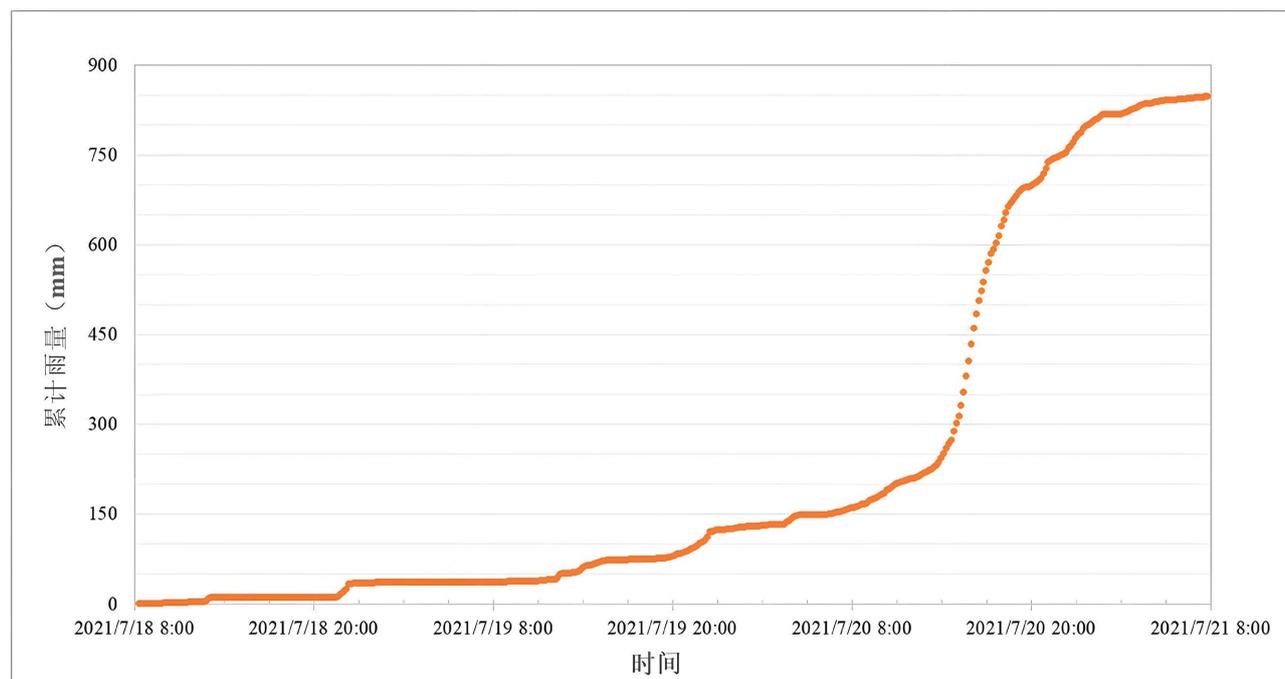


图 1. 2021 年 7 月 18 日 8:00 至 21 日 8:00 翻斗式雨量计记录累计降水量过程

由累计降水量过程可以看出，2021 年 7 月 18 日 8 时至 21 日 8 时 3 d 降水总量约 850 mm。整个过程中，20 日 12 时至 21 日 0 时降水强度最大，该时段降水历时 12 h，降水量约 600 mm，平均小时降水量达 50 mm；18 日 8 时至 20 日 12 时降水历时 52 h，降水量约 200 mm，平均小时降水量约 4 mm；21 日 0 时至 21 日 8 时降水历时为 8 h，降水量为 50 mm，平均小时降水量约 6 mm。

翻斗式雨量计记录 2021 年 7 月 18 日 8 时至 21 日 8 时降水过程如图 2 和图 3 所示。

从翻斗式雨量计实测 10 min 降水量与累计小时降水量可以看出，7 月 18 日 8 时至 21 日 8 时降水过程呈现多峰结构，主峰发生在 7 月 20 日 8 时至 21 日 2 时之间。3 d 共记录 238 个 10 min 降水量数据，最大 10 min 降水量为 27.5 mm，最小 10 min 降水量为 0.5 mm。10 min 降水量数值超过 5 mm 的时次有 42 个，降水总量为 529.5 mm；超过 10 mm 的时次有 21 个，降水总量为 373.5 mm；超过 20 mm 的时次有 7 个，降水总量为 175.0 mm。3 d 共记录 53 个小时降水量数据，最大小时降水量为 147 mm，最小小时降水量为 0.5 mm。小时降水量数值超过 10 mm 的时次有 22 个；超过 20 mm 的时次有 9 个；超过 50 mm 的时次有 4 个；超过 100 mm 的时次有 2 个。

郑州“7·20”极端暴雨时段累计降水量特征值统计如表 1 所示。

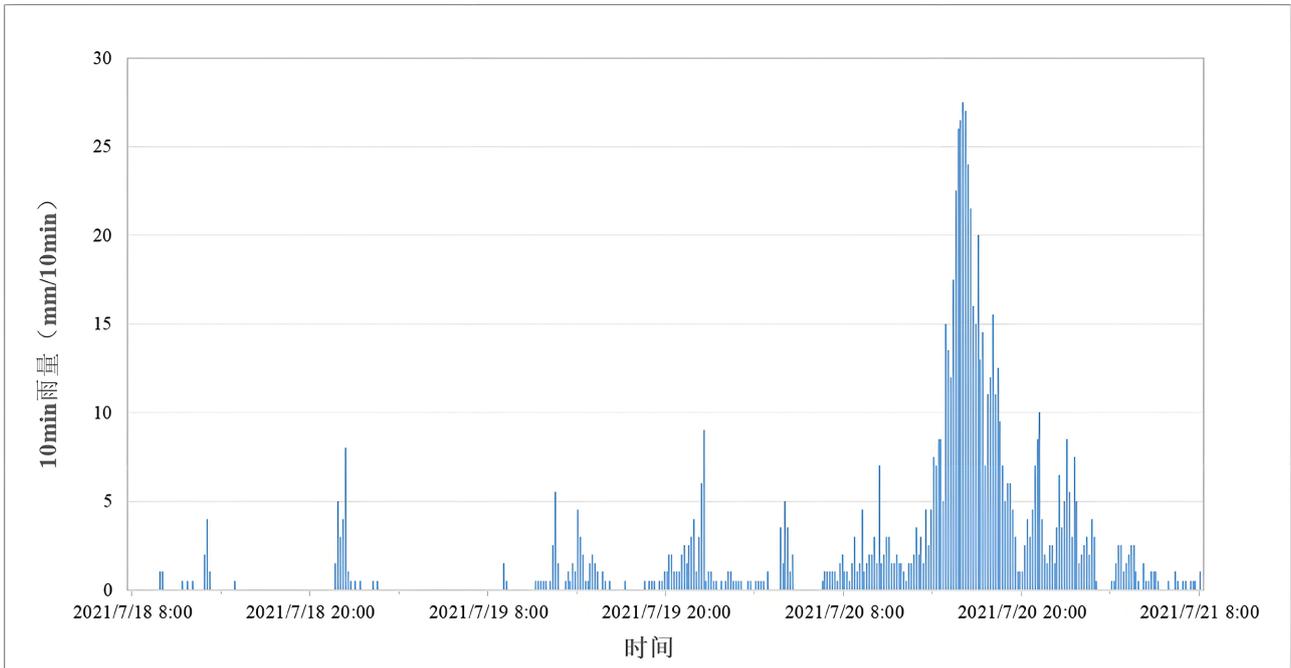


图 2. 翻斗式雨量计实测 10 min 降水量随时间变化

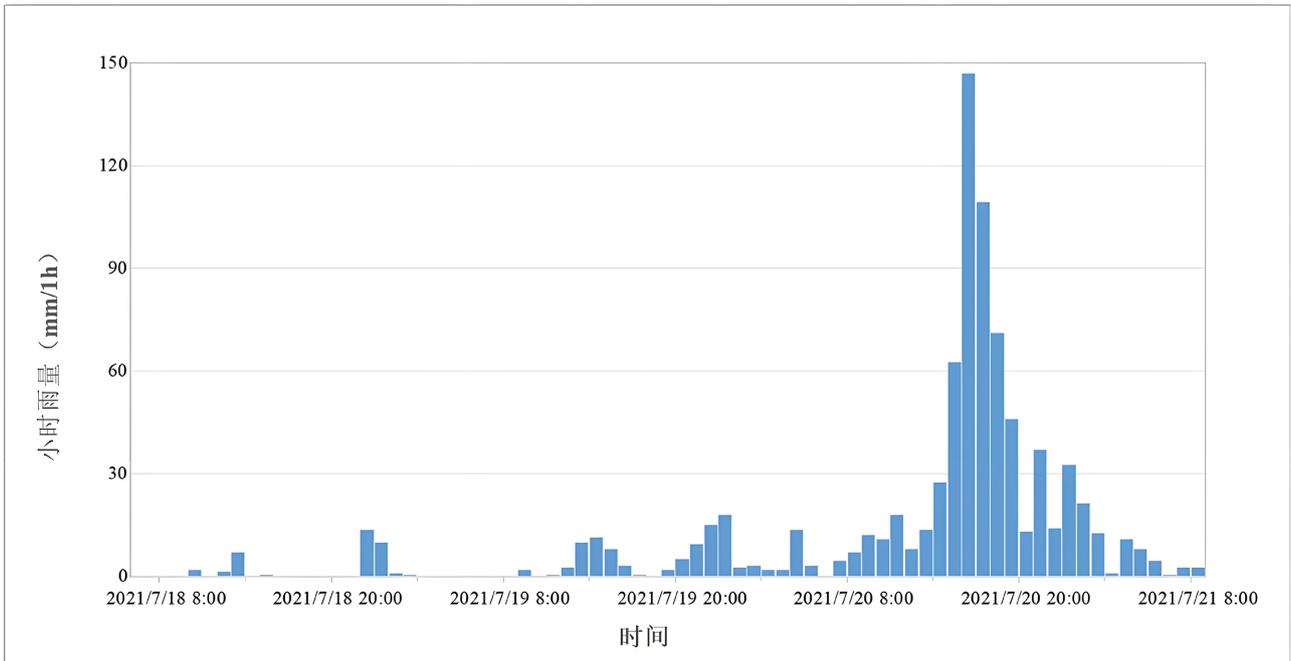


图 3. 翻斗式雨量计累计小时降水量随时间变化

表 1. 暴雨中心地区代表站时段累计降水量特征值统计表

特征值统计	累计降水量(mm)						
	最大 10 min	最大 30 min	最大 1 h	最大 3 h	最大 6 h	最大 12 h	最大 1 d
7·20 暴雨尖岗水文站(尖岗水库)	27.5	81.0	147.0	327.5	463.5	595.0	686.5
累计降水量占比(%)	3.2	9.6	17.3	38.6	54.7	70.2	81.0

根据翻斗式雨量计实测降水量数据统计分析,2021年7月18日8时至21日8时3d降水总量约847.5 mm。最大10 min降水量为27.5 mm,发生在20日15:50;最大30 min累计降水量为81.0 mm,发生在20日16:00;最大1 h累计降水量为147.0 mm;最大6 h累计降水量为463.5 mm;最大12 h累计降水量为595.0 mm;最大1 d累计降水量为686.5 mm。最大6 h累计降水量占3 d总降水量的54.7%;最大12 h累计降水量占3 d总降水量的70.2%;最大1 d累计降水量占3 d总降水量的81.0%。

4.2. 极端性分析

郑州“7·20”极端暴雨过程中尖岗水文站实测小时降水量,日降水量与3 d累计降水量均属历史罕见。

尖岗水文站观测最大小时降水量为147.0 mm,发生时段为20日15时至16时。郑州国家气象站观测最大小时降水量为201.9 mm,发生时段为20日16时至17时,突破了气象观测记录的历史极值,刷新了中国大陆自动气象观测小时降水量极值记录。河南“75·8”特大暴雨最大小时降水量为189.5 mm [10]。

20日8时至21日8时,尖岗水文站观测到此次降水过程的最大日降水量为686.5 mm,郑州国家气象站同期观测值为624.1 mm,在此之前尖岗水文站记录最大日降水量为182.5 mm,发生在1978年7月2日。

尖岗水文站观测最大3 d降水量为846.5 mm,郑州国家气象站观测值为787.9 mm,在此次暴雨事件之前,郑州国家气象站观测3 d累计降水量历史极值为218.0 mm,发生在2008年7月12日至14日。

由各时段累计降水量特征值对比分析可知,郑州“7·20”极端暴雨特征降水量远大于郑州市历史典型大暴雨,此次暴雨是郑州市1951年有降水记录以来,影响范围最广、极值最大的一次降水过程[4]。

4.3. 暴雨过程中雨量计适用性分析

翻斗式雨量计由于结构简单、性能稳定,广泛应用于降水监测领域。翻斗式雨量计应用的基本要求为:在雨强0.01~4.0 mm/min范围内,测量准确度不低于III级,即翻斗计量误差范围不超过 $\pm 4\%$ [11]。由误差试验分

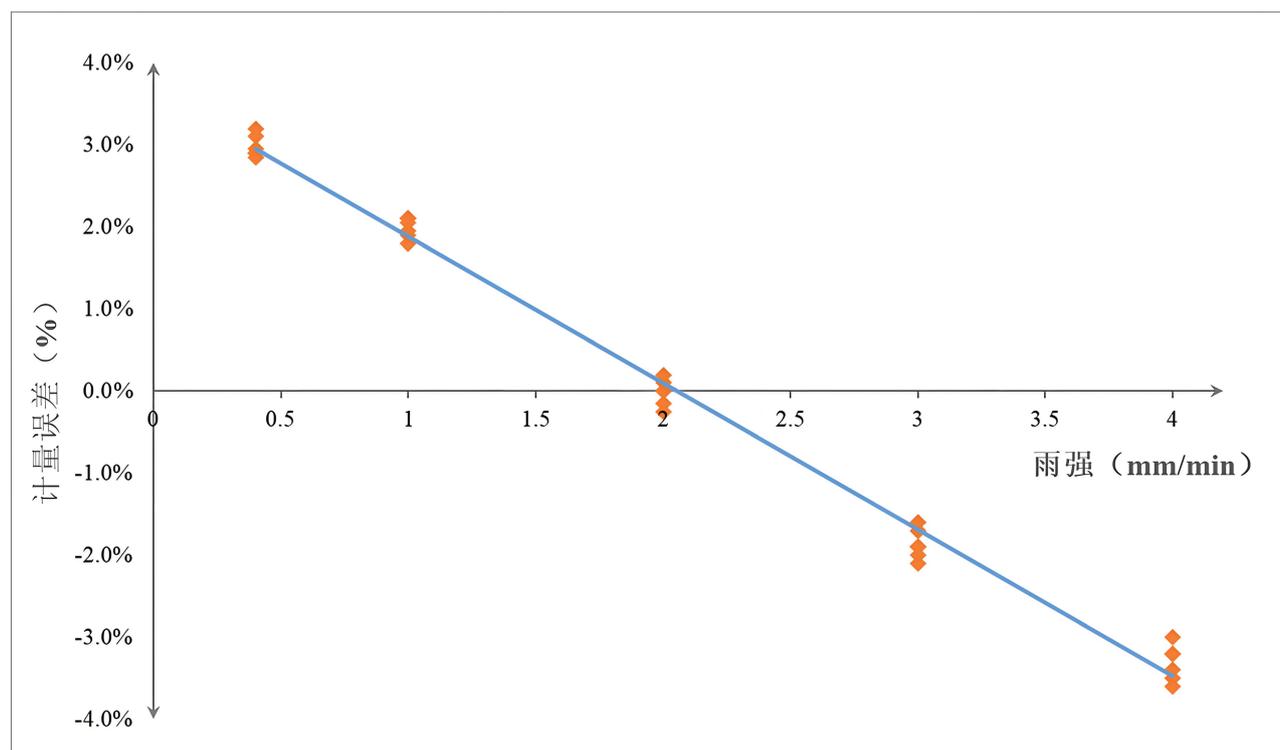


图 4. 0.5 mm 分辨力翻斗式雨量计误差率定结果

析结果可知, 0.5mm 分辨力翻斗式雨量计在适用雨强范围内误差波动较小, 误差范围为-2.63%~3.73%、-2.43%~3.48% [12], 满足翻斗式雨量计的应用要求。通常翻斗式雨量计在进行出厂率定或汛期前率定时, 会优先利用 2 mm/min 雨强进行零点调整, 即在 2 mm/min 雨强条件下将雨量计计量误差调整至 0 附近。0.5 mm 分辨力翻斗式雨量计误差率定结果如图 4 所示。

根据 0.5 mm 分辨力翻斗式雨量计计量误差分布情况可知, 该状态下的雨量计在 2 mm/min 雨强左右时, 计量误差接近于 0, 雨量计记录值与真实降水值最为接近; 在雨强大于 2 mm/min 时, 计量误差为负, 雨量计记录值较真实降水值偏小; 反之, 计量误差为正, 雨量计记录值大于真实降水值。因此, 分析 0.5 mm 分辨力翻斗式在暴雨监测中的适用性, 应充分考虑暴雨过程的雨强分布情况。

由郑州“7·20”极端暴雨 10 min 实测降水量数据可知, 最大 10 min 降水量为 27.5 mm, 平均雨强为 2.75 mm/min, 满足翻斗式雨量计 0.01~4.0 mm/min 的适用雨强范围要求。但由于降水量数据最高时间分辨率为 10 min, 10 min 内的雨强分布情况不明, 不能判断是否存在分钟雨强大于 4 mm/min 的情况, 而 10 min 降水量超过 20 mm 的降水总量为 175.0 mm, 超过 10 mm 的降水总量为 373.5 mm, 该部分降水量巨大, 且难以判断瞬时雨强是否超出适用范围, 若存在雨强超出雨量计适用范围, 则该雨强条件下雨量计的记录的降水量值将会严重小于真实降水值。

0.5 mm 分辨力翻斗式雨量计适用于雨强不大于 4 mm/min 的暴雨过程降水量监测, 根据郑州“7·20”极端暴雨实测降水量的平均雨强来判断, 0.5 mm 分辨力翻斗式雨量计记录的降水量数据具有充分的可靠性, 但更细致的降水过程数据溯源分析则需进一步提高降水量数据的时间分辨率。

5. 结论

本文根据尖岗水文站郑州“7·20”极端暴雨实测降水量数据, 分析了郑州“7·20”极端暴雨过程的降水特征与极端性, 并分析了 0.5 mm 分辨力翻斗式雨量计在暴雨监测中的可靠性, 主要得出以下结论。

郑州“7·20”极端暴雨是一场极端强降水事件, 具有累计降水量大、短时雨强大、极端性突出、影响范围广等特点。该降水过程最大小时降水量、最大日降水量、最大 3 d 降水量等均突破多项历史记录, 郑州国家气象站观测到的最大小时降水量超过了河南“75·8”特大暴雨的最大小时降水量, 是目前我国大陆自动气象观测小时降水量的最大值。

根据此次暴雨实测降水量的平均雨强情况, 结合 0.5 mm 分辨力翻斗式雨量计的雨强适用范围与计量误差分布, 0.5 mm 分辨力翻斗式雨量计记录的降水量数据具有充分的可靠性。

0.5 mm 分辨力翻斗式雨量计精准度较高, 雨强适用范围较广, 10 min 降水量时间分辨率较以往的监测手段具有突出优势。但针对极端暴雨过程, 由于雨强不确定性大, 且具有突变性, 因此在后续的降水量监测工作中, 建议进一步提升降水量数据采集器的工作效率, 提高降水量数据时间分辨率, 逐步实现分钟级降水量数据上报, 这对暴雨过程数据溯源和可靠性分析具有重要意义。

基金项目

国家重点研发计划项目(2022YFC3204500); 风速对降雨观测影响的实验研究(Y524011); 鄱阳湖水文实验站不同高度雨量计降水量比测试验分析(YJZD0924001); 水利测雨雷达定量降水估算精度提升整体方案研究(Y525012)。

参考文献

- [1] 王哲雯. “21·7”河南极端暴雨的日变化特征分析[J]. 中南农业科技, 2023, 44(5): 169-173.
- [2] 崔慧慧, 李荣, 郜彦娜, 等. “7·20”郑州极端特大暴雨降水细节特征和成灾过程研究[J]. 灾害学, 2023, 38(2): 114-120.

- [3] 杨浩, 周文, 汪小康, 等. “21·7”河南特大暴雨降水特征及极端性分析[J]. 气象, 2022, 48(5): 571-579.
- [4] 张建云, 舒章康, 王鸿杰, 等. 郑州“7·20”暴雨洪涝几个水文问题的讨论[J]. 地理学报, 2023, 78(7): 1618-1626.
- [5] 李晓光. 尖岗水库水文站中长期汛期降水量预报分析[J]. 河南水利与南水北调, 2016(9): 33-34+46.
- [6] 乔林, 李延香, 符娇兰, 等. GB/T 28592-2012, 降水量等级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [7] 俞小鼎. 短时强降水临近预报的思路与方法[J]. 暴雨灾害, 2013, 32(3): 202-209.
- [8] 国务院灾害调查组. 河南郑州“7·20”特大暴雨灾害调查报告[EB/OL]. 2021-01.
<https://www.mem.gov.cn/gk/sgcc/tbzdsgdcbg/202201/P020220121639049697767.pdf>, 2025-10-13.
- [9] 程佳佳, 徐国强. 郑州“7·20”极端暴雨过程中水汽和高低空急流作用机制的数值模拟[J]. 海洋气象学报, 2022, 42(3): 57-68.
- [10] 丁一汇. 论河南“75·8”特大暴雨的研究: 回顾与评述[J]. 气象学报, 2015, 73(3): 411-424.
- [11] 徐海峰, 冯讷敏, 吴怡, 等. GB/T 21978.2-2014, 降水量观测仪器 第 2 部分: 翻斗式雨量传感器[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [12] 李薛刚, 刘九夫, 廖爱民, 等. 八种国内翻斗式雨量计翻斗计量误差测评分析[J]. 水电能源科学, 2019, 37(6): 160-163.