# 极端天气背景下水文监测数据可靠性提升方法探讨

许 攀 张 政 马靖凯
江苏省骆运水利工程管理处 江苏 宿迁 223800

**摘 要：**全球气候变暖导致极端暴雨、台风等灾害性天气频发，严重干扰水文监测系统稳定运行，引发数据缺失、异常、失准等质量问题，影响水情测报与防汛决策的可靠性。江苏作为“洪水走廊”，汛期80%面积处于洪水威胁之下，“十四五”以来成功应对了2021年“烟花”台风、2024年13轮强降雨和14次编号洪水。本文结合江苏水文监测实际工况，分析极端天气下数据失真的主要因素，构建多维度可靠性评价体系，从设备改造、站网优化、智能质控、应急运维四个维度提出提升策略，为基层水文监测数据质量管控提供参考。

**关键词：**极端天气；江苏水文；数据可靠性；监测提升

引言：近年来极端天气事件呈现多发、突发特征，2024年台风“贝碧嘉”成为1949年以来登陆上海的最强台风；2025年8月江淮地区出现大到暴雨、局部大暴雨，里下河地区14站水位超警。水文监测数据是洪水预警与防灾减灾的核心基础，其质量直接决定预报精度。江苏全省共有10941个水文测站，覆盖2343条（个）河道、湖泊、水库。为有效解决极端场景下数据可靠性不足的问题，本文结合江苏实际监测案例，开展数据质量问题分析、评价体系构建及可靠性提升方法研究。

## 1 极端天气下水文监测数据失真机理与问题分析

### 1.1 极端天气对水文监测系统的干扰类型

（1）气象工况干扰。极端暴雨、台风、高温等天气导致监测环境突变，引发传感器偏差、设备故障、信号中断。2024年台风“贝碧嘉”期间，长江委水文长江口局22个水文监测站点面临严峻考验，需逐项消除风险隐患。台风“竹节草”逼近苏南期间，苏州全域启动防汛防台应急响应。（2）水文工况干扰。洪水漫溢、河道冲淤等水文形态变化，改变监测断面状态，造成水位、流量数据失真。张家港河平时以引水为主、缺少排水数据，台风期间水文职工需24小时坚守抢测排水流量。（3）传输环境干扰。台风导致通信基站故障、物联网传输中断，造成数据缺失与延迟。太湖流域水文遥测站需安排专人远程值守、不间断监控，发现异常立即组织运维人员抢修。

### 1.2 水文监测数据可靠性影响因素剖析

（1）设备硬件因素。监测传感器抗极端工况性能不足，老旧设备稳定性差。扬州市在汛前排查中发现43处视频监控点老旧或损坏；部分站点未安装自动流量监测设备，台风期间需启动人工抢测方案。（2）站点布设因素。部分站点布局不合理，存在监测盲区。昆山站建成前，太湖湖东区域水网平原地貌下存在监测数据空白[1]。（3）技术质控因素。传统质控依赖人工识别，效率低、响应慢。无锡水文局指出当前监测数据靠人力识别整合效率低下。（4）运维管理因素。极端天气下“三断”问题突出，应急响应滞后。江苏对2000余个水文站点通信终端进行升级改造，重要站点配备北斗卫星通信，实现“公网+卫星”双通道报汛。

### 1.3 极端天气下水文监测数据典型质量问题

（1）数据缺失问题。台风导致设备停机、传输中断，造成时序数据断层。台风“贝碧嘉”期间需加强各水文站点、水情测报的管理和预警；太湖流域监测中心需确保水文数据传输不中断。（2）数据异常问题。出现突变极值、逻辑矛盾等异常数据。2026年5月，软件识别出凤凰嘴雨量站累计雨量异常偏低，与周边站点降雨量级明显不符，提示设备可能存在故障或雨量筒堵塞。（3）数据失准问题。高水流、泥沙干扰导致测验精度下降。扬州在关键河道断面新增18处高精度激光与雷达水位计，就是为了解决传统设备抗干扰能力不足的问题。

## 2 极端天气下水文监测数据可靠性评价体系构建

### 2.1 评价体系构建原则与思路

（1）构建原则。遵循科学性、针对性、系统性、可操作性原则，贴合极端天气特殊监测场景。参照水文监测数据质量控制相关规范，确保评价体系的规范性和权威性。（2）核心构建思路。从数据完整性、准确性、稳定性、时效性四个维度筛选评价指标，建立量化评价模型，覆盖数据采集、传输、存储、处理全流程。（3）指标筛选依据。结合江苏水文监测实际工况与行业标准确定评价指标。苏州已实现省级以上水文站全自动测报，数据在线率和完整率均达99%以上；无锡常规场景5分钟更新一次数据，应急状态可提速至1分钟。

2.2 多维度可靠性评价指标选取

（1）数据完整性指标。包含数据完整率（目标 ≥ 98%）、时序连续度、关键过程数据覆盖率。苏州省级以上水文站数据完整率超99%；泰州水文站上半年遥测数据完整率达99.9%以上。（2）数据准确性指标。包含数据相对误差（水位误差 ≤ ±1cm）、异常值占比、参数逻辑一致性。扬州新增高精度激光与雷达水位计后，数据采集精度与抗干扰能力显著提升[2]。（3）数据稳定性指标。包含数据波动偏差、设备连续运行合格率（目标 ≥ 95%）。无锡犊山闸水文站试点AI智能运维，24小时不间断采集设备电压、运行参数等数据，自动识别死机、卡顿、电压异常等故障。（4）数据时效性指标。包含数据传输延迟率（丢包率 ≤ 5%）、应急数据上报及时率。江苏全省359处省级以上报汛站自动测报系统信道升级，157处基本水文站增配北斗卫星通信模块。

2.3 评价模型与等级划分

（1）指标权重确定。采用层次分析法（AHP）与熵权法组合赋权，兼顾专家经验与数据信息，降低主观性和盲目性。（2）综合评价模型构建。建立加权综合评分模型，实现水文监测数据可靠性量化评分。（3）可靠性等级划分。参照行业标准，将数据可靠性划分为优秀、良好、合格、不合格四个等级。结合苏州数据在线率超99%、泰州完整率99.9%等实际运行水平，明确各等级判定标准。具体等级判定标准见表1。

**表1 水文监测数据可靠性评价指标体系与等级划分**

| 评价维度 | 评价指标 | 指标要求/阈值 | 优秀 | 良好 | 合格 | 不合格 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 完整性 | 数据完整率 | ≥ 98% | ≥ 99% | ≥ 98% | ≥ 90% | < 90% |
| 准确性 | 水位相对误差 | ≤ ±1cm | ≤ ±0.5cm | ≤ ±1cm | ≤ ±2cm | > ±2cm |
| 稳定性 | 设备连续运行合格率 | ≥ 95% | ≥ 98% | ≥ 95% | ≥ 90% | < 90% |
| 时效性 | 应急数据上报及时率 | ≥ 90% | ≥ 98% | ≥ 90% | ≥ 80% | < 80% |

## 3 极端天气下水文监测数据可靠性提升核心方法

3.1 硬件设备抗极端工况优化方法

（1）监测设备升级适配。选用抗干扰、高精度传感器，源头保障数据质量。扬州在关键河道断面新增18处激光与雷达水位计，多传感融合削减风雨雾霾干扰，提升极端暴雨洪涝期间采集精度与稳定性。江苏水文提档升级35个国家基本水文站，配置测验仪器268台（套）、信息化398套，实现老旧装备替换。南京分局2025年安装固定式ADCP 31套、雷达在线流量设备17套，依托在线化测流降低人员涉水风险，保障高洪期间流量连续产出。（2）站点硬件防护改造。系统加固监测站点，提升抗灾韧性。江苏水文铺设供电网络及太阳能电源53处，实现市电与新能源双路冗余供电，确保电网中断时不断电；拆建水位自记台2处、新建1处，增强站基抗冲刷能力。台风“贝碧嘉”期间，徐六泾分局、江阴站及浏河水文码头加固趸船缆绳，有效抵御风暴潮与浪涌冲击，保障临水作业安全与测报阵地稳固[3]。（3）备用监测体系搭建。增配移动监测设备、应急测报终端，补齐固定站点失效短板。江苏水文增配无人机雷达波测流仪、遥控船单波束测深仪等新型装备100余套，构建空地协同机动监测能力，可在站网损毁或道路中断时快速部署至关键断面抢测。宿迁水文分局新增H-ADCP、V-ADCP等自动在线站点23处，强化区域应急监测密度与数据冗余备份，确保极端条件下主通道测报体系仍具备完整数据获取能力。

3.2 站网布局与监测方案优化方法

（1）水文站网空间优化。加密极端天气高风险区域监测站点，填补监测盲区，提升站网对突发暴雨洪涝的捕获能力。全省共建有雨量站4331处，平均密度24平方公里/站，基本实现网格化覆盖；33部测雨雷达组网协同，观测间距50公里，形成流域上方空基监测屏障。昆山建成“长三角一体化示范区水土保持示范基地”，有效填补太湖湖东区域水网平原地貌监测数据空白，为区域产汇流规律研究及灾害预警提供基础数据支撑。（2）监测断面动态调整。结合洪水期河道冲淤规律，动态调整测流垂线，确保流量测验精度与水文序列连续性。苏州在台风期间开展多轮比测，枫桥站、平望站各完成比测2次，通过多点实测校正水位-流量关系曲线；望亭站加测大运河流量2次，及时捕捉台风降雨径流叠加影响下的洪峰过程，为防汛调度提供实时精准数据[4]。（3）应急监测方案优化。制定极端天气专项监测预案，建立分级响应机制与差异化测报策略。苏州水文分局构建“三位一体”应急监测体系，成立专业突击队，实现高空遥感、地面站点与水面机动协同作战。无锡常规场景5分钟更新一次数据，应急状态提速至1分钟，实时追踪水位陡涨陡落过程。张家港河利用台风排水调度窗口期抢测排水流量，精准评估区域排涝能力与河道归槽水量，为调度决策提供关键实测依据。

3.3 监测数据智能质控与修复方法

（1）异常数据智能识别。基于AI算法构建异常识别模型，实现数据质量自动研判与故障快速定位。无锡犊山闸水文站打造全市首个AI智能化示范站，依托AI算法自动识别设备死机、数据卡顿、电压异常等故障，即时预警并推送运维人员，缩短响应时间。江苏水文“人机协作”模式中，软件识别雨量站异常、提示设备故障，形成“机器初筛+人工复核”质控流程，降低错报漏报风险。（2）缺失数据智能补全。依托水位-流量、降雨-径流耦合规律补全数据，确保序列完整性与趋势连续性。江苏探索“数据自动获取—变动智能识别—结果精准输出—过程完整溯源”全流程自动化闭环，实现采集到应用全链路可控。缺测较少时采用插值法补缺，缺测较多时利用邻近站点相关关系回归填补，通过多算法择优提高补全精度。（3）多源数据融合校正。融合地面实测、卫星遥感、雷达监测多源数据，构建多维协同校正机制。江苏构建“三道防线”耦合体系——33部测雨雷达感知“云中雨”、4331处雨量站紧盯“落地雨”、359处报汛站把准“河中水”，实现从降雨源头到河道断面的全过程数据闭合与交叉验证。扬州依托“天空地一体化监测+模型驱动推演”模式，通过多源数据时空匹配与协同校正，提升极端暴雨洪水演进过程模拟精度与预警时效。

3.4 运维管理与应急保障提升方法

（1）完善常态化运维机制。将被动抢修转为主动预防，建立极端天气前置巡检与设备常态化校准制度。扬州河道处构建涵盖日常巡检、定期校准与快速响应的运维体系，对在线监测设备实行清单化管理和生命周期追踪，确保汛前隐患清零。太湖流域监测中心台风期间安排专人远程值守、不间断监控，实时追踪设备运行与数据回传质量，发现异常即时调度处置，最大限度保障数据连续性[5]。（2）健全应急保障体系。制定极端天气水文监测应急预案，强化应急物资、设备、人员储备。江苏对2000余个水文站点升级通信终端，配备便携卫星站5个、北斗终端28个、卫星电话34套，确保公网中断时应急通信畅通。省水文局组织全省应急监测技能竞赛暨测报演练，17支队伍85人参加，模拟堤防渗漏、蓄滞洪区启用等场景，检验预案可操作性与实战能力。宿迁分局联合多单位开展演练，涵盖应急测流、设备快速架设与数据远程传输等5大场景、18项科目。（3）强化人员专业能力。开展应急监测、数据质控、设备运维专项培训，夯实基层业务素质。常熟白茆闸水文站职工台风期间冒雨反复校核设备，确保数据准确报出。苏州水文分局构建“三位一体”应急监测体系，定期开展技能演练，提升协同作战与临机处置能力。通过“以赛代练、以考代演”激发队伍活力，推动运维人员向综合保障能力转型，打造专常兼备的水文应急监测队伍。

**结束语**

本文结合江苏极端天气下水文监测实际工况，梳理了数据失真的各类诱因，建立了适配极端场景的可靠性评价标准，形成了一套覆盖设备、站网、技术、运维的全方位数据可靠性提升方案。苏州数据在线率超99%、泰州完整率99.9%等实践表明，通过硬件升级、站网加密、智能质控和应急保障等手段，可有效提升极端天气下水文监测数据质量。后续可进一步融合大数据与人工智能技术，优化动态质控模型，持续提升水文监测应急保障能力。

**参考文献**

[1]王浩,李致家,张珂.极端暴雨条件下水文监测数据误差特征与质量控制方法[J].水科学进展,2023,34(04):521-530.

[2]刘春伟.极端洪涝环境下水文监测设备失效机制与数据修复技术[J].水利学报,2024,55(02):218-227.

[3]陈鹏,肖伟华.复杂极端天气下水文监测数据可靠性评价体系构建[J].水文,2022,42(05):45-51.

[4]张振林,王随平.基于多源数据融合的极端水文事件监测精度优化[J].人民黄河,2023,45(08):36-40.

[5]李磊,周琦.极端天气下流域水文监测异常数据识别与校正方法[J].中国防汛抗旱,2026,36(02):56-61.