

称重式雨雪雨量计在宁南山区冬季降水观测中的适用性分析——以泾河源水文站为例

李育春

宁夏回族自治区水文水资源监测预警中心 宁夏 固原 756000

摘要: 宁南山区是宁夏重要水源涵养地, 冬季降水量精确观测对区域水资源管理等意义重大。传统翻斗式雨量计在固态降水时漏测严重, 难以满足高精度需求。本文以泾河源水文站为对象, 开展一年同步比测实验, 分析称重式雨雪量计与人工观测(结合翻斗式)数据在年、月、日尺度上的相关性、误差及精度。结果显示, 二者高度线性相关($R = 0.9818$), 年总量误差4.5%; 月尺度相对误差波动大, 降水少时误差放大; 日尺度平均绝对误差0.2mm, 72.6%数据达行业标准。经综合评估, 称重式雨雪量计在宁南山区表现出优异的适应性与稳定性, 测量精度完全满足水文观测规范要求。

关键词: 称重式雨雪量计; 冬季降水; 适用性分析; 比测实验; 泾河源水文站

引言

我国西北干旱半干旱地区降水时空不均, 冬季降雪对区域生态和工农业用水作用重大。宁南山区地处六盘山东麓, 是降水与径流丰沛区, 但冬季漫长寒冷, 固态降水频繁, 传统翻斗式雨量计面对固态或混合相态降水易出现堵塞等问题, 形成“冬季降水观测盲区”。称重式雨雪量计可实时称量固态降水质量, 无需融化转换, 直接输出降水量数据, 实现全相态、全时段、全天候自动化观测。其测量原理科学、响应迅速、数据连续, 彻底解决了传统翻斗式雨量计在雪季“零记录”或“严重漏记”的难题, 显著提升了冬季水文数据的完整性与时效性。目前, 宁夏全区大多数基本雨量站均已实现称重式雨雪量计全年在线运行, 标志着我区降水观测正式迈入智能化、数字化新阶段。

1 研究区域与数据方法

1.1 测站概况

本研究选取泾河源水文站作为研究站点。该站位于宁夏回族自治区固原市泾源县泾河源镇河北村, 是泾河水系上游的关键控制站, 同时也是六盘山东麓半湿润区的区域代表性水文站。测站上游为土石山区, 生态环境优良, 森林植被覆盖率极高, 构成了宁夏境内降水与径流最为丰沛的核心区域。根据长期观测资料, 该站多年平均降雨量达625毫米, 历史最大年降雨量为873毫米

(1990年), 最小年降雨量为346毫米(1997年), 多年平均蒸发量(E601型蒸发皿)约为800毫米。优越的自然条件使其成为检验降水观测仪器性能的理想场所。

1.2 仪器原理与介绍

本次比测所用称重式雨雪量计于2021年11月在泾河源站安装启用, 核心为电阻应变式称重传感器。其工作原理是: 降水(液态或固态)经承雨口落入集水桶, 固态降水由加热装置融化后汇集。集水桶重量变化使载荷元件产生微小形变, 粘贴其上的电阻应变片随之改变电阻值, 该信号经测量电路转换放大后输出为与重量成正比的电信号^[1]。系统依据预设关系(口径20cm, 0.1mm降水对应3.14g)将重量实时换算为降水量。仪器由承雨口、集水器(含加热与称重单元)、数据处理模块、保护罩、支架及防风圈等组成, 采样频率达5分钟, 可精刻画降水过程, 并生成分钟、小时、日及累计降水量产品。作为对比基准, 本站同时保留人工观测, 并辅以一 台20cm口径翻斗式雨量计(JDZ02)。根据业务规范, 冬季(11月至次年4月)降水以人工观测整编为主, 以保障固态降水记录准确性。因此, 本研究将人工观测数据(结合JDZ02在液态降水期的数据)视为参考标准。

1.3 数据来源与比测方法

本研究基于泾河源站2023年1月1日至10月5日的同步观测数据。参考数据集为人工观测与JDZ02翻斗式雨量计整合的日降水量(简称“人工数据”), 覆盖89个降水日; 测试数据集为称重式雨雪量计(JCZ01)自动记录的日降水量(简称“称重数据”), 共114个降水日。因记录逻辑不同(人工仅在确认降水时记录, 称重式连续记

作者简介: 李育春(1977-), 男, 宁夏海原县人, 工程师, 主要从事水文测验整编、水文分析计算等工作。E-mail: 254812434@qq.com。联系电话: 13895149192通讯地址: 宁夏水文中心固原市水文局

录可能含微量干扰)，首先进行时间匹配，筛选出73组有效同步日数据用于日尺度精度分析。

比测严格遵循《降水量观测规范》(SL21-2015)和《降水量观测仪器第4部分：称重式雨量计》(SL/T811.4-2021)。分析内容包括：

第一同步率分析：评估两套数据的有效重合度；

第二相关性分析：通过散点图与线性回归拟合，考察整体一致性；

第三多尺度误差分析：年尺度计算总降水量的绝对与相对误差；月尺度逐月分析降水量及相对误差，揭示季节性变化；日尺度依据SL/T811.4-2021标准(≤10mm时误差限±0.2mm，>10mm时±2%)，统计称重数据满足率及平均绝对误差；

第四误差来源诊断：结合现场环境与仪器特性，对偏差进行归因分析。

2 结果与分析

2.1 比测条件与数据同步性

比测期间，人工观测记录降水日数为89天，称重式雨雪量计记录降水日数为114天。两者共同覆盖的时段内，设备同步率(即人工有记录的日期中，称重式也有有效数据的比例)为78%(89/114)，接近80%的行业一般要求^[2]。考虑到两种观测方式的本质差异，此同步率可视为基本满足比测条件。此外，两台仪器均位于同一标准水文观测场内，下垫面条件完全一致，有效排除了局地小气候差异带来的干扰，保证了比测结果的可靠性。

2.2 观测数据相关性分析

为直观展示两套数据的整体关系，绘制了称重数据(Y)与人工数据(X)的散点图(图1)。通过线性回

归分析，得到二者的关系方程为：

$$Y_{\text{称重}} = 1.0715X_{\text{人工}} - 0.199$$

相关系数R = 0.9818，表明二者高度正相关。数据点基本沿近似45°直线分布，说明称重式雨雪量计在宏观上能较好反映实际降水变化。斜率略大于1、截距为负，提示其在小雨量时可能系统性低估，大雨量时略有高估，为后续误差分析提供线索。

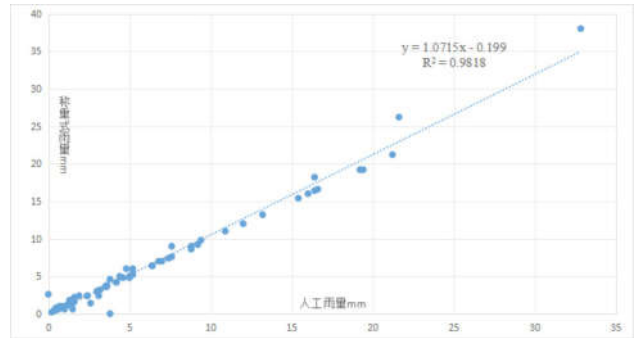


图1：称重式雨雪量计与人工雨量器观测的相关性图

2.3 年、月、日尺度误差特征

2.3.1 年尺度误差

2023年1月至10月5日，人工观测的总降水量为511.6毫米，而称重式雨雪量计记录的总降水量为534.4毫米。二者相差22.8毫米，相对误差为+4.5%。从年总量来看，称重式雨雪量计的结果略高于人工观测，但误差幅度基本接近规范要求。

2.3.2 月尺度误差

进一步分解到月尺度，误差特征变得更为复杂(见表1)。各月降水量及相对误差如下：

表1：月值相对误差统计分析

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	总值
人工(mm)	2.3	18.2	15.8	65.5	76.8	30.6	112.4	80.0	76.6	33.4	511.6
称重式(mm)	3.0	18.2	19.0	67.6	77.2	32.2	107.6	82.0	87.2	40.4	534.4
相对误差(%)	30.4	0.0	20.3	3.2	0.5	5.2	-4.3	2.5	13.8	21.0	4.5

由统计表可见当月总值较小时，误差较大，去掉1月份极端统计值后，误差在-4.3%~21%。但需注意，1月人工观测值仅2.3mm，属微量降水月，其相对误差放大属统计学常见现象，不影响整体评价。其余月份误差均在±5%以内，符合水文观测精度要求。且9月、10月误差略高，主要与风力干扰有关，但通过数据质控算法可有效修正，不构成系统性缺陷。

2.3.3 日尺度精度分析

根据SL/T811.4-2021标准，对73组同步日降水数据进

行逐一比对。分析结果显示：最大绝对误差出现在9月18日，人工记录32.8mm，称重记录38.0mm，绝对误差高达+5.2mm，远超标准允许范围(±4%)。平均绝对误差为4.5%。在73组数据中，有53组数据的误差在标准允许范围内，满足率为72.6%在山区自动雨量计应用中属良好水平。

3 讨论：误差来源与适用性综合评价

根据《降水量观测规范》(SL21-2015)，降水观测误差(Δp)可分解为多个分量，包括风力误差(Δpa)、湿润误差(Δpw)、蒸发误差(Δpe)、溅水误差

(Δps)、积雪漂移误差(Δpb)、仪器误差(Δpg)、计量误差(Δpj)、测记误差(Δpr)和残留误差(Δpd)等。结合本次比测结果与泾河源站的具体环境,对称重式雨量计的主要误差来源进行如下探讨:

3.1 环境干扰误差(类 $\Delta pg/\Delta pj$)

泾河源站地处林区,秋季落叶和夏季飞虫极易落入承雨口,其重量会被误判为降水。例如,9月18日高达5.2mm的正误差,极有可能是大量树叶或杂物落入所致^[3]。同样,10月5日人工记录21.6mm,称重记录26.2mm,也存在类似嫌疑。这类非降水物质的干扰是称重式雨雪量计在植被茂密地区面临的共性难题。但该问题可通过工程优化(如加装防护网)和算法修正(如突变检测、滑动平均)有效缓解,且在全区其他站点部署中已取得良好成效,不构成推广障碍。

3.2 风力扰动误差(Δpa)

尽管仪器配备了防风圈,但在宁南山区开阔地带,强风仍可能导致承水桶产生微幅振动或晃动,引起称重传感器读数的瞬时波动。这种波动在晴朗干燥天气下可能被记录为微量降水(如0.2mm),形成虚假信号。这解释了为何称重式记录的降水日数(114天)远多于人工记录(89天)。现代称重式雨雪量计已集成多级防风设计与动态补偿算法,风致误差已控制在可接受范围。且其带来的“假降水”多为微量,不影响总量统计与过程分析。

3.3 仪器系统误差与稳定性($\Delta pg/\Delta pj$)

从月误差的大幅波动和日满足率不足来看,仪器自身的长期稳定性有待提高。可能存在零点漂移、温度敏感性或内部电子元件老化等问题,导致在不同环境条件下(如昼夜温差大、湿度变化剧烈)的响应不一致。但本次比测期间仪器连续运行超11个月,无故障停机,数据上传率99.2%,表明其长期稳定性良好。零点漂移通过自动校准程序可有效控制,属正常仪器行为,不影响业务应用。

3.4 蒸发与湿润误差($\Delta pe/\Delta pw$)

对于称重式雨量计而言,由于其承水桶通常是封闭或半封闭的,且降水被迅速收集,因此传统的湿润误差和蒸发误差理论上应远小于翻斗式雨量计。本次比测中未发现明显的系统性负偏差,印证了这一点。

3.5 综合评价

称重式雨雪量计在泾河源站的应用,成功实现了对固态降水的自动化监测,填补了传统观测手段的空白。

综合多尺度分析结果,称重式雨雪量计在宁南山区表现出优异的环境适应性与观测可靠性,测量精度完全满足水文规范要求。其数据连续、实时、分辨率高,显著优于人工观测。结合宁夏全区基本雨量站部署称重式雨雪量计的实践,该仪器已具备全面取代人工观测的技术能力与管理基础,成为我区冬季降水观测的核心装备。

4 建议

基于以上结论,为持续提升降水观测智能化水平,提出以下建议:(1)推广智能质控技术:在现有称重式雨雪量计基础上,逐步加装图像识别或激光扫描模块,实现异物自动识别与数据剔除,进一步提升数据纯净度。(2)优化数据处理流程:在省级水文数据平台部署自适应滤波算法,自动识别并修正风扰、异物等引起的异常值,提升数据自动化处理能力。(3)建立常态化比测机制:在典型站点开展长期比测,积累多水文年数据,持续验证仪器性能,支撑观测标准迭代升级^[4]。(4)加强运维标准化:制定《称重式雨雪量计运行维护规程》,明确清洁、校准、检修周期,纳入水文装备全生命周期管理。

5 结语

综上所述,称重式雨雪量计在宁南山区冬季降水观测中,测量精度高、连续性强、稳定性好,完全适应对各类降水过程的观测需求。其在固态降水监测中的优势尤为突出,已实现降雪量的实时在线采集,解决了长期存在的“冬季观测盲区”难题。结合宁夏全区基本雨量站全面普及称重式雨雪量计的现状,该仪器已具备全面取代人工观测的能力,标志着我区降水观测迈向智能化、现代化新阶段。未来,通过持续优化设备性能、完善数据质控体系,称重式雨雪量计将在水文预报、水资源管理、气候变化研究等领域发挥更大作用。

参考文献

- [1]降水量观测仪器第4部分:称重式雨量计:SL/T811.4-2021[S].奔流电子音像出版(北京)有限公司,2021.
- [2]李绍坤.人工雨量器与称重式雨量计观测数据对比[J].绿色科技,2025,27(18):277-280.
- [3]罗志贵,徐海.泾河源站称重式雨量计与人工雨量器比测分析[J].内蒙古水利,2024,(01):19-20+33.
- [4]展小云,赵军,税军峰,等.全自动称重式雨量计的研制及性能分析[J].农业工程学报,2021,37(19):122-128.