贺堡站称重式雨雪量计与人工雨量器比测分析

杨 麟 王 昊 安会君
宁夏回族自治区水文水资源监测预警中心 宁夏 银川 750001

摘 要：为评估称重式雨雪量计在黄土丘陵区水文站的适用性，以贺堡水文站2024年3月1日至2025年12月31日同步观测的降水数据为基础，从降水日数一致性、日降水量误差、月降水量偏差及数据相关性等维度，对人工雨量器与称重式雨雪量计的观测结果进行系统比测，并剖析误差成因。结果表明：两种观测手段记录的降水日数完全吻合，一致率达100%；当日雨量小于10.0mm时，合格率为92.4%，当日雨量不低于10.0mm时，合格率为87.5%；月降水量在10.0mm以上时，相对误差月均值为3.14%；两者呈显著线性相关（$R^2 = 0.9999$），且称重式雨雪量计整体测得值略偏高。该仪器运行稳定、测量精准，能适应液态、固态及混合降水，可满足正式观测与资料整编要求，建议在相似气候与地理条件的区域推广使用。

关键词：称重式雨雪量计；人工雨量器；降水观测；比测分析；贺堡水文站

引言

降水是刻画区域水汽输送、水文过程及气候演变的关键参数，其准确连续获取对水资源评价、农业管理及防洪决策至关重要。传统人工观测受限于频次、人为误差及恶劣天气，难以满足全天候需求[1]。自动化监测中，翻斗式雨量计虽响应灵敏但无法捕获固态降水，而称重式雨雪量计凭借高精度称重原理，具备雨、雪、冰雹等全类型降水适应能力。本文以贺堡水文站为例，通过系统比对人工雨量器与称重式雨雪量计的长序列同步数据，检验后者在本地环境下的精度、稳定性及误差特征，旨在为其在同类站点的规模化应用提供实证依据，推动水文监测自动化水平提升。

1 测站概况

贺堡水文站地处宁夏回族自治区海原县关桥乡方堡村圈湾自然村，隶属黄河流域清水河水系，设立于1971年1月，控制流域面积200km^2，距河口18.6km，距河源12.9km，系贺堡河上唯一水文控制站。该站所在区域为典型的黄土丘陵地貌，多年平均降水量约338mm，年内分配极不均匀，汛期6—9月降水量约占全年总量的70%，且降水过程多表现为历时短、强度大、局地性强的暴雨形式，单次主雨历时通常仅1～2小时，这给降水观测的连续性和准确性带来较大挑战。

2 降水量观测场及仪器概况

观测场位于贺堡水文站院内，场地平坦开阔，四周无显著遮挡物，下垫面为砂质土壤，符合《降水量观测规范》对观测场环境的要求。场内同时布设人工雨量器和称重式雨雪量计，两者承雨口水平距离保持在合理范围之内，以确保接受相同的降水条件。人工雨量器采用标准20cm直径承雨口，储水瓶与专用量杯配合读数，安装高度为距地面0.7m，最小分度为0.1mm，其结构和观测流程均严格执行现行规范，作为本次比测的参照基准。称重式雨雪量计以高灵敏度称重传感器为核心部件，通过连续监测集水筒内总质量的变化来推算累计降水量，可实时输出电信号并自动记录[2]。该仪器承雨口距地面1.2m，分辨率为0.1mm，测量精度为±0.1mm，量程覆盖雨强0.1～30.0mm/min，兼具液态与固态降水测量能力，适用于无人值守的连续自动观测。

3 降水数据比测分析

比测时段选定为2024年3月1日至2025年12月31日，共计22个月。为聚焦于降水量数值本身的差异，暂不考虑降水相态（雨、雪、雹）的影响，仅以日、月为统计单元，对两种观测方法的数据进行逐项比对。

3.1 降水日数一致性分析

将日降水量 ≥ 0.1mm定义为有效降水日。统计时段内，人工观测记录的有效降水日数与称重式雨雪量计自动记录的有效降水日数完全一致，未出现一方有记录而另一方为零的情形，且设备运行期间无故障或缺测[3]。两种方法在降水日数上的吻合度达到100%，表明称重式雨雪量计在降水事件捕捉灵敏度方面与人工观测具有同等可靠性（图1）。

3.2 日降水量误差分析

根据观测规范，称重式雨量计当降雨强度在0.1～30.0mm/min范围变化时，测量误差不大于±4%。当天的降雨量如果小于10.0毫米时，则统计分析采用|P称重—P人工|的绝对误差需在0.4mm以内作为允许误差，而当天降雨量大于或等于10.0毫米时，统计分析采用|P称重—

P人工|/P人工相对误差不超过4%时，视为允许的误差范围[4]。结果参见图2和图3。

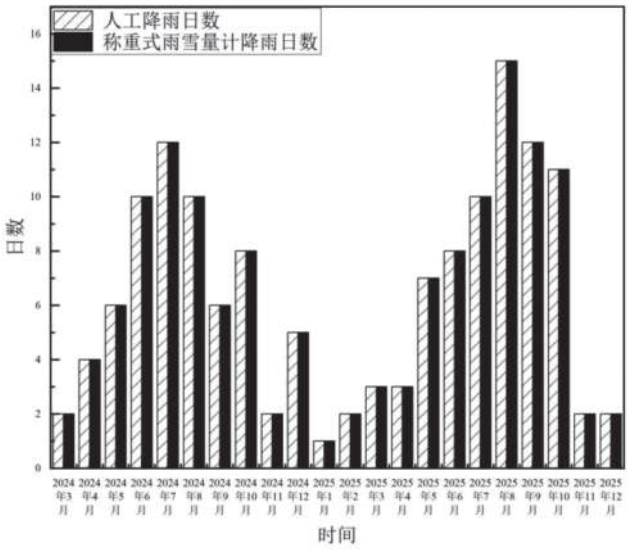


图1：降水日数对比图

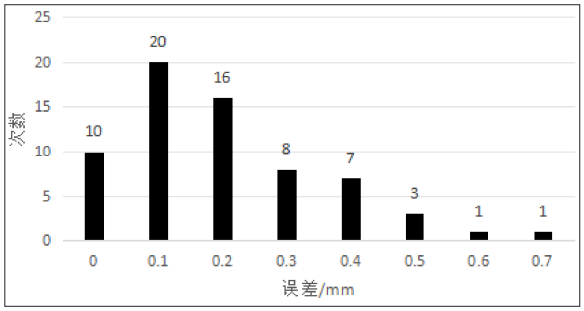


图2：日降雨量＜10.0毫米的误差分析图

在日雨量＜10.0mm的66个样本中，绝对误差满足≤0.4mm的样本为61个，合格率92.4%。其中，零误差出现10次，正误差（仪器值大于人工值）39次，负误差17次，最大负偏差为-0.7mm（图2）。对于日雨量≥10.0mm的24个样本，相对误差≤4%的样本为21个，合格率87.5%；正误差占19次，负误差仅5次，最大相对偏差为4.13%（图3）。以上结果表明，在两种降水量级下，称重式雨雪量计的测量合格率均满足规范要求，且总体趋势偏大。

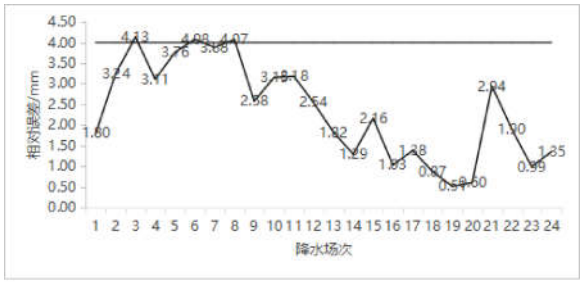


图3：日降雨量≥10.0毫米的误差分析图

3.3 月降水量统计比较

按月汇总降水量，进一步考察累积误差表现。在22个月中，月降水量不足10.0mm的有6个月，称重式雨雪量计与人工观测的月绝对误差均值为0.2mm，最大绝对误差为0.4mm，全部落在±0.4mm的容差区间内（表1）。月降水量≥10.0mm的16个月，两者的相对误差平均值为3.14%，最大相对误差为3.87%，最小为2.13%，均未超过4%的限值（表2）[5]。月尺度上误差的进一步缩小，反映出称重式雨雪量计的随机误差在长时间累积中相互抵消，其系统偏差稳定且可控，证明该仪器在较长统计周期内具有优良的测量复现性。

表1：降水量＜10.0毫米的月统计分析

时间	月降水量		误差
	称重雨量	人工雨量	绝对误差
2024年11月	3.4	3.6	-0.2
2024年12月	3.7	3.4	0.3
2025年2月	2.3	2.2	0.1
2025年4月	8.9	8.5	0.4
2025年11月	3.4	3.1	0.3
2025年12月	3.0	2.9	0.1
平均			0.2

表2：降水量≥10.0毫米的月统计分析

时间	月降水量		误差	
	称重雨量	人工雨量	绝对误差	相对误差/%
2024年3月	18.8	18.1	0.7	3.87
2024年4月	42.9	41.8	1.1	2.63
2024年5月	62.3	61.0	1.3	2.13
2024年6月	48.4	46.6	1.8	3.86
2024年7月	40.0	38.9	1.1	2.83
2024年8月	73.0	71.0	2.0	2.82
2024年9月	92.5	89.5	3.0	3.35
2024年10月	29.0	28.0	1.0	3.57
2025年1月	15.7	15.2	0.5	3.29
2025年3月	16.1	15.6	0.5	3.21
2025年5月	10.4	10.1	0.3	2.97
2025年6月	63.2	61.8	1.4	2.27
2025年7月	46.0	44.5	1.5	3.37
2025年8月	114.1	109.9	4.2	3.82
2025年9月	46.8	45.5	1.3	2.86
2025年10月	67.4	65.2	2.2	3.37
平均			1.49	3.14

3.4 降水量数据相关性分析

以称重式雨雪量计日降水量为横坐标（x）、人工观测日降水量为纵坐标（y），进行线性回归拟合，得到方程y = 0.9684x+0.0333，决定系数R^2 = 0.9999（图4）。

该结果表明两种数据序列呈现极强正相关，仪器观测值随人工值同步变化，线性关系近乎理想。同时，斜率略小于1、截距为正，揭示称重式雨雪量计在低雨量段稍有正向偏移，而高雨量段则与人工值趋于一致，整体上仪器记录值略高于人工值，这与前文日、月误差分析的结论相互印证。

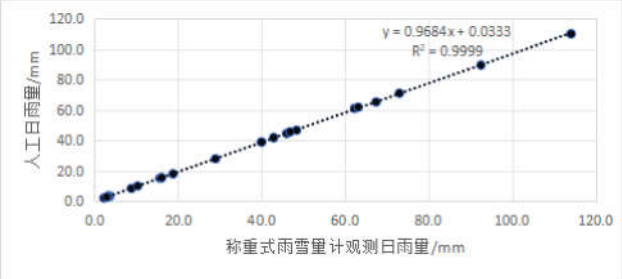


图4：称重式雨雪量计与人工观测降水量相关性

4 误差来源讨论

综合以上比测结果，称重式雨雪量计的系统性偏大及个别超差样本，主要可归因于以下几方面：

人工观测操作误差：人工读数受估读习惯、量杯液面判读偏差以及降水后未及时测量导致蒸发损失等因素影响，可能造成人工值偏低或偏高，尤其在微量降水时影响更为明显。

仪器环境干扰：称重式雨雪量计承雨口长期暴露于户外，西北地区风沙较大，细沙尘、枯叶、昆虫等杂物可能落入集水筒，使传感器感知的总质量增加，从而被误算为降水量，这是导致仪器值系统性偏大的重要原因之一。

上述误差源中，杂物落入属于可干预因素，通过加强日常维护、定期清理集水筒可有效消减。

结束语

研究表明，贺堡水文站称重式雨雪量计在黄土丘陵及复杂气候下运行稳定。对比显示，仪器降水日数与人工观测完全一致；日降水量小量级和大中量级合格率分别为92.4%和87.5%，均达标；月降水量误差极小（绝对0.2mm，相对3.14%），数据稳定适于整编。虽因沙尘及传感器漂移导致观测值略偏大，但线性拟合优度高，能忠实反映降水趋势。经近两年比测，该仪器符合规范精度，具备全天候监测雨、雪、冰雹等能力。强化维护后，其可取代或补充人工观测，适宜在宁夏及西北同类站点推广，有助于提升区域自动化水平与数据质量，减轻基层负担，为水文预报及管理提供可靠支撑。

参考文献

[1]杨晨光,任路.大峪站称重式雨雪量计与人工观测雨量比测分析[J].地下水,2025,47(05):179-182.

[2]王增凯,马超,李俊逸,等.称重式雨雪量计与人工雨量器比测分析[J].地下水,2022,44(01):217-219.

[3]中华人民共和国水利部.降水量观测规范:SL21-2015[S].北京:中国水利水电出版社,2015.

[4]李林,范雪波,崔炜,等.称重与人工观测降水量的差异[J].应用气象学报,2015,26(06):688-694.

[5]刘永超.虹吸式雨量计与称重式雨雪量计降水资料对比分析[J].内蒙古水利,2018(12):40-41.