

李林, 范雪波, 崔炜, 等. 称重与人工观测降水量的差异. 应用气象学报, 2015, 26(6): 688-694.

doi:10.11898/1001-7313.20150605

称重与人工观测降水量的差异

李 林¹⁾²⁾* 范雪波²⁾ 崔 炜²⁾
张治国²⁾ 刘旭林²⁾

¹⁾(中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089)

²⁾(北京市气象探测中心, 北京 100089)

摘 要

为了更好地使用降水观测数据,对引起称重观测和人工观测的差异原因进行分析,选取北京市 15 个国家级地面观测站 2012 年 11 月—2014 年 1 月称重式降水传感器与人工观测降水量业务资料,探讨称重观测与人工观测累积降水量的差异,并细化为对固态降水和液态降水两种降水类型进行相关性研究。结果表明:称重观测与人工观测日降水量相关系数为 0.9990, 88.0% 的对比次数中,两者日降水量差值满足业务要求;在出现固态降水时,称重观测较人工观测降水量偏大,在出现液态降水时,称重观测较人工观测降水量偏小;两者在日降水量等级判断差异较小,小量降水时称重观测的能力较优;防风圈可显著提高称重观测固态降水的捕捉率,而称重观测内筒蒸发对夏季降水测量有一定影响。

关键词: 降水量; 称重式降水传感器; 人工观测; 相关性

引 言

随着技术发展,观测系统逐渐实现自动化,观测仪器和观测方式改变不可避免,这些非气候因素影响了观测资料的连续性,也引起了科研人员的广泛关注。2000 年后,我国开始大范围推广使用自动气象站,截至 2009 年,全国的地面观测站均实现了常规气象要素的自动观测。我国自动气象站投入业务运行后,许多单位和业务人员对自动观测和人工观测差异和原因进行分析^[1-3],并开展数据质量评估和方法研究^[4-6],结果表明:两种观测的各气象要素均存在差异,但大部分差异均在规范误差允许范围内。

降水是从云中降落或从大气沉降到地面的液态或固态的水汽凝结物^[7],降水观测是地面气象观测的主要项目之一,降水资料是气候分析、气候变化研究、数值天气预报模式等方面的重要参数。伴随着

气象现代化的不断推进,为解决冬季降雪自动化观测问题,观测站逐渐采用称重式降水传感器进行全相态的降水观测。中国气象局气象探测中心在 2006 年和 2009 年共组织两次称重式降水传感器的外场对比试验,并对试验结果进行分析评估^[8-9]。国内部分学者也开展了称重式降水传感器的业务试验^[10-11],并对设备性能进行分析,但所用设备多为非中国气象局业务用设备,且存在缺陷,经常无法监测到小量降水事件^[10]。世界气象组织(WMO)也一直关注降水观测的准确性和代表性问题,并组织多次对比用于指导各成员国进行降水观测^[12-14]。任芝花等^[15]通过对 30 个标准雨量站 7 年的试验对比,分析了我国降水观测误差原因。

2011 年中国气象局定型三款称重式降水传感器,目前已在 991 个国家级地面气象观测站安装运行,实现了所有类型降水的全天候自动化观测。当前亟需对业务应用的称重式降水传感器观测与人工

2015-01-15 收到, 2015-07-20 收到再改稿。

资助项目: 国家重大科学仪器设备开发专项(2012YQ11020507),北京市气象局科研专项(2013BMBKYZX07)

* email: lilin@bjmb.gov.cn

观测方式的数据差异进行充分分析与评估,这对于降水资料应用具有重要参考作用。本文利用2012年11月—2014年1月北京市气象局国家级地面气象观测站的称重式降水传感器观测降水量资料和人工观测降水量资料开展分析,研究两者间的差异及相关性。

1 降水观测与资料

1.1 观测设备

地面气象观测站降水量人工观测业务采用雨量筒收集降水并人工测量方式。全国观测站使用统一规格的雨量筒,雨量筒承水口直径为20 cm,口径面积为 314 cm^2 ,承水口高度为70 cm。当出现降水现象时,观测员在每日08:00和20:00(北京时,下同)分别量取前12 h降水量,夏季使用承水器和量杯测量降水量,冬季使用承雪器和台秤测量降水量^[16]。

全国观测站所用称重式降水传感器统一规格。称重式降水传感器的承水口直径为20 cm,口径面积为 314 cm^2 ,承水口高度为120 cm,安装直径为105 cm、高为123 cm的Tretyakov式防风圈。称重式降水传感器测量范围为0~400 mm,分辨力为0.1 mm;当降水量不大于10 mm时,最大测量误差为 $\pm 0.4\text{ mm}$,当降水量大于10 mm时,最大测量误差为 $\pm 4\%$;每分钟进行自动观测^[16]。

人工观测用的雨量筒与称重式降水传感器均安装在观测场内。人工观测中,当无降水时,降水量栏空白不填,当降水量小于0.05 mm时,用微量表示^[16],降水量为0.05~0.09 mm时,降水量记录为0.1 mm。称重式降水传感器观测中,当无降水或降水量小于0.1 mm时,均无降水量输出。

1.2 观测资料

人工观测日降水量由每日两个定时观测降水量相加,称重式降水传感器降水量由每日逐时观测的降水量累加。在自动气象站使用双翻斗雨量传感器进行观测的时段,参照双翻斗雨量计对观测数据进行质量控制,对称重式降水传感器降水量参照人工观测天气现象进行质量控制,剔除由于其他原因导致的误报降水^[17]。

2012年11月及2013年6—7月北京市气象局对各站点称重式降水传感器共进行两次测试,均使用10 mm降水量的测量标准,测量输出值均为9.8

~10.0 mm,称重式降水传感器静态准确性较好,经历整个冬天使用后观测未现偏差。

本文利用北京市15个国家级地面观测站的DSC2型称重式降水传感器观测与人工观测日降水量资料进行分析,观测时间为2012年11月—2014年1月,其中3个站对比时间为固态降水时段(即2012年11月—2013年3月)。经过数据质量控制,共有1064次有效对比降水数据,其中253次为固态降水(降雪或雨夹雪),811次为液态降水。

2 称重观测与人工观测降水量差异

2.1 累积降水量差异

计算观测时段内各站的累积降水量,并按观测的降水类型进行分类,当观测天气现象为雪或雨夹雪等固态降水时,该日降水量计入累积固态降水量中;当观测天气现象为雨时,该日降水量计入累积液态降水量中。

比较全相态累积降水量数据发现,除54410站外,其余11个站在对比时段的差值均符合有关规范要求^[16]。包括固态降水和液态降水对比的12个站中,2个站称重观测累积降水量高于人工观测累积降水量,10个站称重观测累积降水量低于人工观测累积降水量,平均相对误差为 -0.8% 。但在固态降水和液态降水两类天气条件下,对比的差异较大,15个站的固态累积降水量对比中,所有站的称重观测均不小于人工观测;12个站的液态累积降水量对比中,仅1个站的称重观测高于人工观测。各站的固态累积降水量相对差均高于液态累积降水量相对差,固态累积降水量相对差与液态累积降水量相对差最多高 9.5% ,最少高 2.0% ,平均高 5.1% 。全部降水量比较参见表1。

2.2 月降水量差异

计算各站月降水量,当月无降水或仅有微量降水则不进行对比,经统计共有167次有效对比,称重观测比人工观测月降水量平均偏小 0.29 mm ,22次称重观测与人工观测月降水量相等,73次称重观测小于人工观测月降水量,72次称重观测大于人工观测月降水量。将北京地区各站的降水量按月份计算北京地区降水量,出现固态降水的月份称重观测降水量大于人工观测降水量,出现液态降水的月份人工观测降水量大于称重观测降水量。

表1 称重观测与人工观测降水量的比较

Table 1 Comparison of precipitation between weighing gauge and manual gauge

区站号	固态降水量			液态降水量			全相态降水量		
	人工观测/mm	称重观测/mm	相对误差/%	人工观测/mm	称重观测/mm	相对误差/%	人工观测/mm	称重观测/mm	相对误差/%
54399	83.1	85.0	2.3	533.2	514.7	-3.5	616.3	599.7	-2.7
54406	117.6	122.3	4.0	501.8	488.0	-2.8	619.4	610.3	-1.5
54410	146.7	166.1	13.2	464.8	481.9	3.7	611.5	648.0	6.0
54412*	95.7	98.1	2.5						
54419	35.0	35.4	1.1	577.0	567.2	-1.7	612.0	602.6	-1.5
54421*	61.9	63.5	2.6						
54424	25.5	26.9	5.5	557.8	545.7	-2.2	583.3	572.6	-1.8
54431	78.8	78.9	0.1	489.4	468.1	-4.4	568.2	547.0	-3.7
54499*	82.6	87.7	6.2						
54501	56.0	60.6	8.2	410.3	408.6	-0.4	466.3	469.2	0.6
54505	88.6	89.9	1.5	461.5	456.2	-1.1	550.1	546.1	-0.7
54513	73.0	74.6	2.2	531.2	526.6	-0.9	604.2	601.2	-0.5
54594	67.3	67.3	0.0	541.8	531.2	-2.0	609.1	598.5	-1.7
54596	57.1	58.3	2.1	495.6	487.0	-1.7	552.7	545.3	-1.3
54597	53.8	55.5	3.2	656.7	650.7	-0.9	710.5	706.2	-0.6

注：*表示该站仅进行固态降水对比。

图1为167次称重观测与人工观测月降水量的差值分布图,按照月降水量10 mm分为两段统计,月降水量不大于10 mm计算绝对误差,月降水量大于10 mm则计算相对误差。由图1可见,月降水量误差较大的情况仅出现在个别月份,有2个月绝对误差在1 mm以上,有4个月相对误差在10%以上。出现固态降水月份,称重观测降水量大部分为正偏差,差值较大;出现液态降水月份,称重观测降水量大部分为负偏差,差值较小。

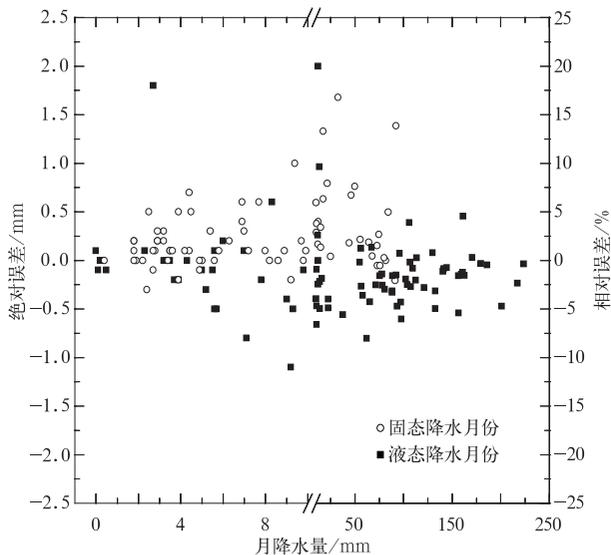


图1 称重观测降水量差值分布

Fig. 1 Differences in monthly precipitation between weighing gauge and manual gauge

2.3 日降水量差异

对1064次称重观测与人工观测日降水量进行对比,88.0%的对比次数中,称重观测与人工观测的日降水量差值达到业务要求^[16],称重观测比人工观测的日降水量平均偏小0.04 mm,均方根误差为0.54 mm,其中,液态降水时称重观测比人工观测日降水量平均偏小0.12 mm,均方根误差为0.51 mm,该值与翻斗雨量计观测同人工观测间的差异相当^[18],但翻斗雨量计观测与人工观测相比为正偏差,称重观测与人工观测相比为负偏差;固态降水时称重观测比人工观测日降水量平均偏大0.19 mm,均方根误差为0.64 mm。

在有效对比观测中,称重观测与人工观测日降水量相等的次数占23.1%,称重观测小于人工观测日降水量的次数占48.1%,称重观测大于人工观测日降水量的次数占28.8%。在固态降水观测中,仅12.3%的称重观测日降水量小于人工观测日降水量,但在液态降水观测时,只有23.1%情况下称重观测日降水量大于人工观测日降水量。

图2为称重观测与人工观测日降水量差值频率分布。图2中差值为称重观测日降水量减去人工观测日降水量,对比次数为不同差值对应的称重观测与人工观测对比次数。由图2可见,分布中心微左偏,说明不仅存在采样位置带来的随机误差^[15],还存在仪器带来的系统偏差,且称重观测降水量小于人工观测降水量的比率较高。按降水类型来分,液

态降水差值频率分布中心微偏左,固态降水差值频率分布中心微偏右。

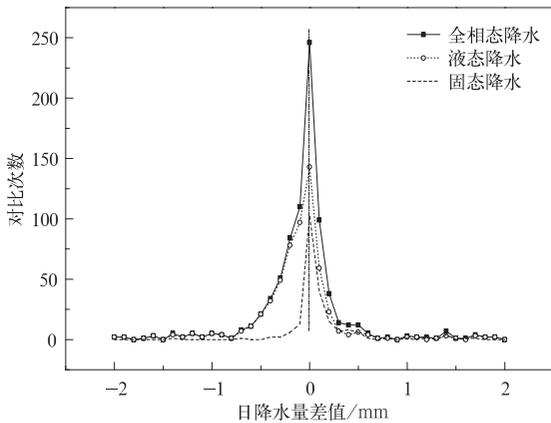


图2 称重观测与人工观测日降水量差值频次分布

Fig. 2 The frequency distribution of absolute differences in precipitation between weighing gauge and manual gauge

2.4 小量降水观测数据比较

按照中国气象局的降水量等级标准,对称重观测与人工观测均有降水量的 998 次日降水量进行对比分析,仅有 13 次在降水等级上存在差异,其中,8 次为降雪天气。在有差异的降水过程中,称重观测与人工观测日降水量均较接近降水等级判断标准的日降水量,说明在有明显降水过程时,称重观测与人工观测在降水量等级判断上差异很小。

在所有对比数据中,有 66 次出现降水天气现象时,称重观测和人工观测仅有 1 种观测设备观测到降水量(单独观测降水)。其中,称重观测为 38 次,人工观测为 28 次。上述的 66 次单独观测降水中,有 23 次出现在 20:00 前后,结合人工观测的降水现象起止记录时间分析原因,主要是由于降水过程的开始或结束时间恰在 20:00 左右,按照规定人工观测降水可在正点前 15 min 内进行,而称重观测是在正点时采样观测,两种观测方式的采样时间不同步会导致日降水量观测值不一致。另外,滞后降水也可能导致的观测误差。其他 43 次单独观测降水中,人工观测 12 次均为日降水量为 0.1 mm;称重观测 31 次中,2 次为 0.3 mm,6 次为 0.2 mm,23 次为 0.1 mm,因此,经过中国气象局考核定型的称重降水传感器,在捕捉、分辨小量降水事件的能力已有大幅提高,并在一定程度上优于人工观测的性能,与早期未定型设备的性能有较大提升^[4]。

3 称重与人工观测降水量差异原因

3.1 风场变形的影响

根据任芝花等^[15]对中国降水测量误差的研究,液态降水测量误差中风场变形误差 3.17%,固态降水测量误差其中风场变形误差 10.97%。WMO 的国际比对结果风场变形误差在液态降水时为 2%~10%,固态降水时为 10%~50%^[12-13]。研究表明,风场变形误差的大小与仪器的形状、收集口大小、安装高度、风速、降水粒子大小及降水类型有关^[12-14]。

称重观测与人工观测采用的雨量器,在收集口形状和大小上一致,但安装高度不一样,同时称重观测安装有 Tretyakov 防风圈予以挡护。风场变形导致的系统误差为负值,安装有防风圈的雨量器能够比无防风圈的雨量器采集到更多的降水量,特别是对固态降水^[6]。2006 年和 2010 年两次称重式降水传感器的对比试验结果也表明,对于固态降水测量单层防风圈防风效果较好,明显提高了降水捕捉率,液态降水时有无防风圈差异不明显^[1-3]。

本文所有观测站称重观测固态降水量均高于人工观测,主要是称重式降水传感器安装了防风圈的缘故。54410 站观测场位于海拔高度为 1216.9 m 的山顶,常年风速较大,该站的年平均风速在北京各站中最大,该站称重观测降水量较人工偏多 6.0%,液态降水和固态降水的相对误差均为所有站中最高(即捕捉率相对人工最高),亦是因为防风圈提高了称重降水在大风条件下雨、雪的捕获能力。

3.2 蒸发的影响

中国降水测量误差的研究认为中国地面观测站雨量器的蒸发误差为 0.0 mm^[15]。称重降水在业务规定中要求观测人员及时向承水内筒内添加蒸发抑制油,以减少蒸发误差。冬季称重观测降水接入业务用自动气象站,观测人员按照业务规定进行维护。4 月观测站切换为双翻斗雨量传感器,称重观测仅作对比试验用,观测人员实际操作时仅清空内筒内的液体,并未添加蒸发抑制油。

称重雨量的内筒口径大于称重的承水口,暴露水面面积约为小型蒸发器水面面积 1.6 倍。根据 54399 站的称重降水采集器原始数据计算,添加蒸发抑制油的情况下,内筒日蒸发量小于 0.05 mm,而在 7—8 月末未添加蒸发抑制油的情况下内筒水面的平均日蒸发量达到 2~3 mm,极端情况下可达

5 mm。在持续降雨的天气条件下,联合降水量计算内筒液面高度的变化,水分日蒸发量基本保持在0.2~0.5 mm之间,蒸发带来的误差是累积的。WMO报告也指出春、夏季可能每日有超过0.8 mm的损失,冬季的蒸发损失相对夏季的月份少,每日约为0.1~0.2 mm^[7]。

图3为54399站2013年8月人工观测日蒸发量和称重内筒日蒸发量对比,由图3可见,两者具有较好的一致性,相关系数为0.783,达到0.05显著性水平^[19],图中较低点为有降水日,称重内筒蒸发量最低也达到0.4 mm。蒸发误差会造成称重观测降水较实际偏少,同时也可能会造成零星降水情况下称重观测的缺测。

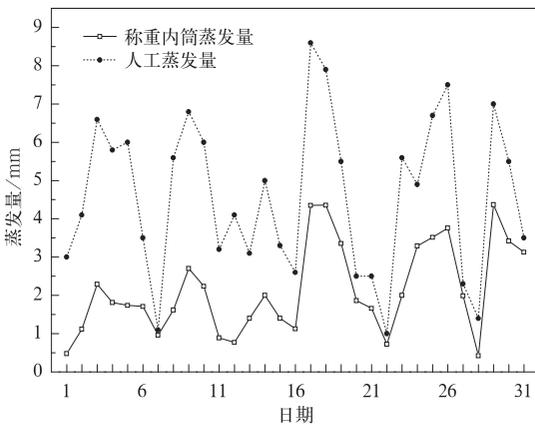


图3 2013年8月54399站称重内筒蒸发与人工观测蒸发对比

Fig. 3 Comparison of evaporation from weighing gauge container and pan evaporimeter at No. 53499 in Aug 2013

3.3 其他因素影响

由于降水量在空间分布上是随机性较大的气象要素,称重观测和人工观测降水设备安装在观测场的不同位置,降水量在空间分布上的不均匀性造成采样误差,空间采样误差有时会导致某次的对比差值较大,对于单次对比测量可能有一定影响,但对于长时间的统计应无此影响。

按照规定,人工观测可在正点前15 min内进行,而称重观测是在正点时采样,降水过程的开始或结束时间刚好在20:00左右,这种差异会造成前后两日降水量测量存在误差。这种采样时间差异产生的误差大小与20:00降水强度及人工提前时间有关,与空间采样误差一样,这种差异对气候资料统计不构成影响。

称重观测与人工观测集水器结构均简单,与降水接触面积差异较小,冬季人工观测均采用台秤测量,故认为冬季称重观测与人工观测的沾湿误差相当,夏季采用雨量杯观测时,人工观测沾湿误差较称重观测多0.1 mm^[15]。

在微量降水时,观测人员会将0.05~0.09 mm降水量记录为0.1 mm;在观测明显降水时,观测人员也会对降水量进行四舍五入的数据修约。称重式降水传感器观测中对于累积不足0.1 mm的降水量均舍弃,由此会产生一定的数据偏差。

4 称重观测与人工观测日降水量的相关性

利用15个站1064次称重观测与人工观测日降水量进行相关分析。图4为称重观测与人工观测日降水量的相关分布。由图4可见,数据紧密围绕成一条直线分布,因此,称重观测日降水量与人工观测呈很好的线性相关。

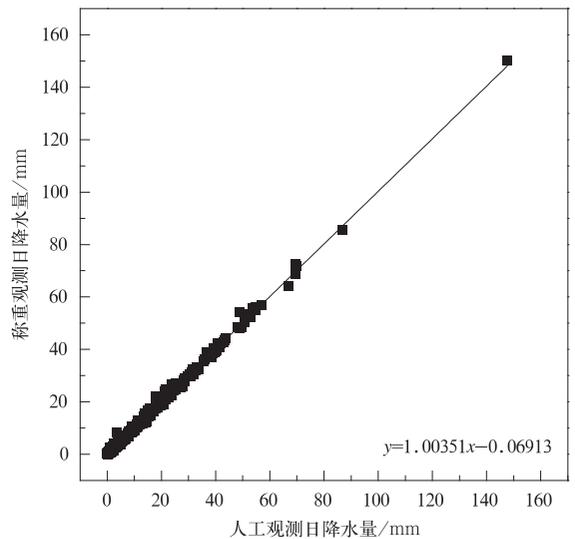


图4 称重观测与人工观测日降水量分布

Fig. 4 Relationship between daily precipitation measured by weighing gauge and manual gauge

利用最小二乘法计算,称重观测日降水量与人工观测日降水量相关系数为0.9990,液态降水和固态降水时的相关系数分别为0.9992, 0.9984,均达到0.01显著性水平^[19],液态降水和固态降水时相关方程分别为

$$y_{\text{液态}} = x_{\text{液态}} - 0.1173, \quad (1)$$

$$y_{\text{固态}} = 1.0351x_{\text{固态}} + 0.0399. \quad (2)$$

式(1)和(2)中, $x_{\text{液态}}$, $x_{\text{固态}}$ 分别为人工观测日液态降水量和日固态降水量, $y_{\text{液态}}$, $y_{\text{固态}}$ 分别为称重观测日液态降水量和日固态降水量, 单位: mm。

相关分析表明, 在实际业务应用中, 称重观测和人工观测差异很小, 两者可互为备份, 以提高降水观测的准确性。

5 小 结

使用北京市国家级地面观测站的称重与人工的降水观测资料, 通过系统对比发现:

1) 11 个站全相态累积降水量误差符合现行业务要求, 88.0% 对比次数中称重观测与人工观测日降水量差值满足业务要求, 称重观测比人工观测的日降水量平均偏小 0.04 mm, 均方根误差为 0.54 mm。固态降水时, 称重观测较人工观测偏大; 液态降水时, 称重观测较人工观测偏小。

2) 在有明显降水时, 称重观测与人工观测在降水量等级判断差别较小; 对小量降水事件, 称重观测更为敏感, 使用称重观测可以消除或至少可以减少人工测量方法的某些潜在误差。

3) 称重观测的防风圈显著提高固态降水的捕捉率, 液态降水时防风效果不明显; 蒸发会减少称重观测的降水量, 对降水量的影响较人工大。

4) 称重观测与人工观测日降水量呈线性相关, 其相关系数为 0.9990, 固态降水和液态降水时两者相关系数分别为 0.9984, 0.9992。

参 考 文 献

[1] 胡玉峰. 自动与人工观测数据的差异. 应用气象学报, 2004, 15(6): 719-726.

- [2] 王颖, 刘小宁, 鞠晓慧. 自动观测与人工观测差异的初步分析. 应用气象学报, 2007, 18(6): 849-855.
- [3] 连志鸾. 自动站与人工站观测记录的差异分析. 气象, 2005, 31(3): 48-52.
- [4] 刘小宁, 鞠晓慧, 范邵华. 空间回归检验方法在气象资料质量检验中的应用. 应用气象学报, 2006, 17(1): 37-42.
- [5] 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. 应用气象学报, 2011, 22(6): 706-715.
- [6] 任芝花, 余予, 邹凤玲, 等. 部分地面要素历史基础气象资料质量检测. 应用气象学报, 2012, 23(6): 739-747.
- [7] 中国气象局. 气象仪器和观测方法指南(第六版). 北京: 气象出版社, 2005: 101-103.
- [8] 任芝花, 李伟, 雷勇, 等. 降水测量对比试验及其主要结果. 气象, 2007, 33(10): 96-101.
- [9] 王柏林, 王经业, 任芝花, 等. 固体降水自动化观测试验. 气象科技, 2009, 37(1): 97-101.
- [10] 姚作新. 新疆阿勒泰国家基准气候站 ZQZ-BH 型称重式固态降水试验研究. 气象, 2011, 37(6): 714-719.
- [11] 李林, 常晨, 范雪波, 等. 春夏季 DSH1 与 SL3-1 型降水传感器数据比较. 气象科技, 2013, 41(6): 1008-1012.
- [12] Goodison B, Louie P, Yang D. WMO Solid Precipitation Measurement Intercomparison: Final Report. WMO-TD 872, Geneva: WMO, 1998: 10-15.
- [13] Sevruk B. Correction of Precipitation Measurements. WMO-TD_104, Geneva: WMO, 1985: 13-23.
- [14] WMO. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. Geneva: WMO, 2006: 105-109.
- [15] 任芝花, 王改利, 邹凤玲, 等. 中国降水测量误差的研究. 气象学报, 2003, 61(5): 621-627.
- [16] 中国气象局. 地面气象观测规范. 北京: 气象出版社, 2003: 54-55.
- [17] 李林, 常晨, 张曼, 等. DSC2 型称重式降水传感器的电源扰动及解决办法. 气象水文海洋仪器, 2013(3): 82-85; 90.
- [18] 任芝花, 冯明农, 张洪政, 等. 自动与人工观测降雨量的差异及相关性. 应用气象学报, 2007, 18(3): 358-364.
- [19] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法. 北京: 气象出版社, 2000: 18-27.

Comparative Analysis of Precipitation Between Weighing Gauge and Manual Gauge

Li Lin¹⁾²⁾ Fan Xuebo²⁾ Cui Wei²⁾ Zhang Zhiguo²⁾ Liu Xulin²⁾

¹⁾ (Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing 100089)

²⁾ (Beijing Municipal Meteorological Observation Center, Beijing 100089)

Abstract

Precipitation data play an important role in meteorological observation and relative applications. In order to accelerate CMA meteorological modernization, nearly 1000 weighing gauges are put into use in relative quantities national meteorological stations as an alternative observation device different from manual gauge for precipitation. Although field intercomparison experiments are carried out before the usage of weighing gauge, there still exist some doubts on this kind of instrument, particularly in liquid precipitation measurements.

Based on 1064 groups of precipitation data observed by weighing gauge and manual gauge at 15 national meteorological stations in Beijing during November 2012 to January 2014, several analyses are carried out to find out differences between two precipitation observation methods. 1064 precipitation processes include 253 snowfalls or slets and 811 rainfalls. The error of accumulated precipitation for 14 stations meets requirements of operation. Also, the deviation of quantitative precipitation value obtained by weighing gauge and manual gauge also is within the margin of error, with 88.0% coverage rate of analyzed precipitation. In terms of the comparison, the average daily precipitation observed by weighing gauge is 0.04 mm smaller, and the RMSE (root mean square error) is 0.54 mm. Corresponding to different precipitation patterns, results make difference. For snowfall measurement, the quantitative value of precipitation obtained by manual gauge is 0.12 mm smaller and the RMSE is 0.51 mm. But for rainfall measurement, the quantitative value of precipitation obtained by manual gauge is 0.19 mm larger and the RMSE is 0.64 mm. For each significant precipitation process, the judgment of precipitation grade with weighing gauge and manual gauges is very close. But, more light rain phenomena can be detected by weighing gauge, typically when the quantitative value of daily precipitation is under 0.2 mm. The weighing gauge is shielded with Tretyakov wind shield, while manual gauge is unshielded. Results show that weighing gauge could capture more precipitation than manual gauge for solid precipitation, while effects of Tretyakov wind shield are not significant for liquid precipitation. Also, it's found that evaporation from the container of weighing gauge could reduce the precipitation of rainfall. The daily precipitation between weighing gauge and manual gauge is obviously linearly related with the correlation coefficient of 0.9990. In detail, the correlation coefficient is 0.9984 for solid precipitation and 0.9992 for liquid precipitation, respectively.

In general, weighing gauge is satisfactory for measuring all kinds of precipitation, showing considerable advantages over manual gauge when measuring snowfall, and it can minimize some potential errors in manual methods of precipitation measurement.

Key words: precipitation measurement; weighing gauge; manual gauge; relativity