

固体降水自动化观测试验

王柏林¹ 王经业¹ 任芝花² 李伟¹ 雷勇¹ 涂满红¹

(1 中国气象局气象探测中心, 2 国家气象信息中心, 北京 100081)

摘要 介绍了 2006 年 1~9 月在吉林长春站、黑龙江通河站、新疆大西沟站进行的固体降水自动化观测仪器对比试验, 共有 6 个厂家 3 种类型 21 套仪器参加了为期 9 个月的对比试验, 本次对比采用 WMO(1985) 推荐的双栅式对比用标准器(DFIR)作为试验对比标准器。通过对比试验考察了融雪型雨雪量计、称重式降水计、激光式降水计测量不同形态降水的性能特点, 为固体降水自动化观测仪器选型提供依据, 推进固体降水业务化工作。

关键词 固体降水 DFIR 试验

引言

目前世界上主要采用常规降水计进行加热融化的方法, 来自动测定固体降水。为了避免风的影响, 经常使用不同种类的防风栏; 对于冰雹的观测也采用这种方法, 但是误差更大。对于固体降水的测定, 误差主要来自于大风与蒸发, 由于雪的飘落特点和测量时的加热, 使固体降水比液体降水观测误差还要大。我国气象和水文部门常规降雪观测包括 3 项: 以厘米计的积雪深度; 单位面积上的积雪重量(雪压); 雪水当量, 即降雪折合成水层的深度——降水量, 以毫米计。雪深和雪压是反应雪害的指标, 可直接测量。雪水当量是气象和水文预报最关心的资料, 雪水当量资料的取得有 3 种途径(WMO, 1970): ①直接观测降雪折合水层深度; ②取一定体积的雪样, 融化后用量杯量取, 或称重后, 确定新雪密度(ρ), 根据观测的雪深(d), 用 $W = \rho d$ 计算雪水当量(W); ③观测雪深, 规定新雪密度等于其平均值 100 kg/m^3 , 以此推测雪水当量^[1]。

为了解决固体降水测量中存在的问题, 1986 年世界气象组织在加拿大组织了固体降水比对试验, 1987~1989 年在丹麦、瑞典和挪威组织了固体降水比对试验^[2]。杨大庆等^[3,4]也在新疆天山地区开展了固体降水观测试验, 地面积雪测量与降水计测量降雪量一致性实验研究。国内也引进了固体降水观

测的仪器, 并就仪器改进和观测资料的对比进行了一些探讨^[5~9]。

1 试验基本情况

国内外在固体降水观测中, 主要采用雪水当量的直接测量方法, 测量仪器主要有称重式、融雪翻斗式和光学测量仪器。此外, 还有微波雷达、双偏振雷达、声雷达、超声波雪深测量仪等。国内也有利用多普勒雷达对降雪过程的探测研究^[10]。

此次共有 7 个厂家 21 套仪器参加固体降水自动化观测试验, 采用的测量仪器有 3 种型号称重式降水计、3 种型号融雪翻斗式降水计和 1 种光学测量式降水计。在每个试验台站, 7 套仪器均匀间距分布在直径为 16 m 的圆周上, 采用 WMO(1985) 推荐使用的双栅式对比用标准器作为标准降水计, 标准器安装位置距离自动观测仪器场地 5 m。人工观测 6 h 定时测量的降雪量作为参考标准数据, 试验仪器每小时定时采集数据, 进行资料对比评估。

2 参试仪器和对标准器简介

(1) 称重式降水计, 利用一套称重弹簧装置或一个重量平衡系统, 将储水器连同其中积存的降水总重量作连续记录。所有降水包括固体和液体形式, 在其降落时就记录下来。这种降水计通常没有自动排水的装置, 其容积(在排水前的最大蓄积量)相当

于量程从150 mm到750 mm。观测过程中采用人工虹吸式排水或人工倾倒的方法。

(2)融雪翻斗式降水计,在盛水器内壁和排水口处,设置加热装置,使落下的固体降水融化后进入翻斗计数,其原理同翻斗降水计。可用太阳能或电源加热来融化降雪,但加热可能会导致融雪蒸发,造成测量误差。

(3)激光降水计,一个激光的发光源(激光二极管)产生一束平行的光束,一个成像二极管放在接受机的透镜一侧,测量光的能量并转换为电信号。当一滴降水粒子下落通过激光光束,接受信号被减弱。粒子直径的测量是通过振幅的减小来确定的,而且粒子的下落速度决定了振幅信号减小的持续时间。降水类型通过对所有粒子的直径、下落速度的统计来确定。测量值由一个信号处理器来完成,并检查和判别强度、数量、降水类型(如毛毛雨、雨、冰雹、雪和混合降水)和粒子光谱(粒子在测量仓中的分布)。

风对固体降水的影响比液体降水大得多。根据国内外试验,在器口未加任何防护的情况下,仪器捕获的降雪量比实际平均偏小10%~50%,最大可达100%。为获得较为准确的降雪量资料,除了尽可能将观测场选在受风影响小的地方外,近百年来世界许多国家都在研究削减器口风力影响的防风圈,主要采用的防风圈形式有前苏联的特立奇耶夫式(Tretyakov)、加拿大的尼夫式(Nipher)、美国的奥尔特式(Alter)等。本次试验采用WMO(1985)推荐使用的双栅式比对(DFIR: Double Fence Inter-comparison Reference)用雨量器作为标准降水计(图1)。

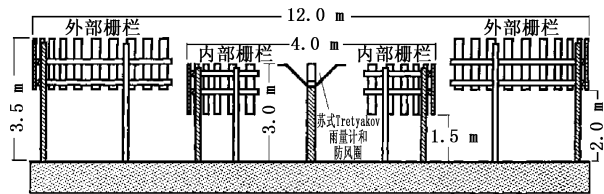


图1 双栅式对比用标准

双层栅栏的作用是为了削弱风对降水计接收水平面的影响,并且转化水平方向上的漩涡为垂直方向上的漩涡。防护物是两个同心八角形的栅栏的结合体,外围的栅栏是一个内切于直径为12 m圆内的八角形,每一边长为4.6 m。栅栏上边缘距离地面高3.5 m,下边缘距离地面2.0 m。为阻止栅栏下部

随风飘流,支持物被安装在栅栏墙的中部。内部栅栏是一个内切于直径为4 m圆内的八角形,每一边长1.6 m,内栅栏距离地面高3 m,下边缘距离地面1.5 m。Tretyakov式降水计置于双层栅栏中心安装,承雪口距离地面3 m高。不推荐安装承雪口高度超过内栅栏的上部边缘,并且也不要低于此高度10 cm。双层栅栏位置的选择提升地形学的优势,避免了严重暴雪的影响。

3 资料评估方法

资料评估分别从数据完整性、可靠性、准确性3方面进行。

3.1 数据完整性

人工定时观测每6 h观测1次,每天4次。在降雪时段内,若厂家仪器观测的分钟数据有缺测或无数据现象,则认为厂家仪器观测的定时数据缺测。

$$\text{缺测率} = \frac{\text{缺测次数}}{\text{有效观测次数}} \times 100\%$$

有效观测次数为人工定时观测到的降雪次数。缺测次数为人工定时观测有降雪时,厂家仪器观测的定时数据缺测次数。

3.2 数据可靠性

通过统计有无降雪一致率、粗差次数,对厂家仪器观测的定时数据进行可靠性考核。

(1)降雪感应的一致率。当人工定时观测有降雪时,若人工定时观测的降雪量大于等于0.1 mm,同时厂家仪器观测的定时降雪量大于等于0.1 mm,则认为降雪感应一致。

$$\text{降雪感应一致率} = \frac{\text{一致次数}}{\text{有效对比次数}} \times 100\%$$

有效对比次数为人工定时观测的降雪量大于等于0.1 mm的次数。

(2)粗差率。通过粗差次数的统计评估各厂家仪器测量的数据中奇异值出现的次数。逐个检查各仪器测量的数据与参考标准数据(E)的对比差值,设 X 为每次观测参考标准数据降雪量, X_i 为相应时间段各厂家仪器测量的降雪量,如果两者的差值超过一定的范围,即为粗差。

$$\text{粗差率} = \frac{\text{粗差次数}}{\text{有效对比次数}} \times 100\%$$

粗差控制标准如下:

$$E \leq 5.0 \text{ mm 时, } |X_i - X| \geq 1.0 \text{ mm;}$$

$$E > 5.0 \text{ mm 时, } |X_i - X| / X \geq 20\%。$$

3.3 数据准确性

用降雪时间段内对比数据的差值平均值进行准确性的评估。设 X 为每次观测参考标准数据降雪量, X_i 为相应时间段各仪器测量的降雪量累计。

当 $E \leq 5.0$ mm 时,

$$\text{平均绝对差值} = \frac{\sum (X_i - X)}{\text{对比次数}_{0 \sim 5.0\text{mm}}}$$

当 $E > 5.0$ mm 时,

$$\text{相对差值} = \frac{\sum X_i - \sum X}{\sum X} \times 100\%$$

4 试验数据分析

对吉林长春站、黑龙江通河站和新疆大西沟站 3 个站点试验数据进行分析, 对比 2006 年 1~9 月 DFIR 观测和仪器观测数据。本文仅选取 3 类降水仪器各一例(称重式降水计和融雪翻斗式降水计均安装 120 cm 防风罩), 资料分析采用线性拟合观测样本, 说明器测值与参考标准值对应关系。

(1) 称重式降水计测量结果见表 1, 与双栅式对比用标准(DFIR)观测数据的相关系数及方差见表 2。

表 1 称重式降水计观测数据质量

		长春站	通河站	大西沟站
缺测率/%	雪	0	5.5	1.8
	雨	0	10.3	15.2
一致率/%	雪	85.7	60.5	78.5
	雨	77.8	71.2	70.3
粗差率/%	雪	7.3	1.9	12.8
	雨	7.2	6.9	15.5
准确性/mm ($E \leq 5.0$ mm)	雪	-0.02	-0.16	-0.3
	雨	-0.13	-0.14	-0.12
准确性/% ($E > 5.0$ mm)	雪	-6.7		-4.9
	雨	-1.6	-5.4	-0.2

注: 观测数据质量为试验仪器与 DFIR 观测对比, 下同。

表 2 称重式降水计与 DFIR 观测数据的相关系数及方差

	雪			雨		
	方差 mm	相关 系数	样本数	方差 mm	相关 系数	样本数
长春站	0.531	0.946	41	2.375	0.973	125
通河站	0.258	0.952	52	1.629	0.953	131
大西沟站	0.895	0.964	164	1.021	0.905	83

从 3 个站的整体表现来看, 称重式降水计在缺

测率、一致率和粗差率对降雪观测的表现均优于降雨观测; $E \leq 5.0$ mm 时准确性指标测雪高于测雨, $E > 5.0$ mm 时准确性指标测雨高于测雪。

称重式降水计在固体降水自动化观测试验中, 降雪观测共取得 257 个样本, 与标准器之间的相关系数在 0.95 左右; 降雨观测共取得 339 个样本, 与标准器之间的相关系数在 0.90~0.97 之间。

(2) 融雪翻斗式降水计测量结果见表 3, 与 DFIR 观测结果的相关系数及方差见表 4。

表 3 融雪翻斗式降水计观测数据质量

		长春站	通河站	大西沟站
缺测率/%	雪	0	0	0.6
	雨	0	0	0
一致率/%	雪	50	23.7	52.8
	雨	78.8	75.7	78
粗差率/%	雪	22	16.4	20.5
	雨	4.8	2.7	13.1
准确性/mm ($E \leq 5.0$ mm)	雪	-0.4	-0.43	-0.43
	雨	-5.6	-0.05	-0.03
准确性/% ($E > 5.0$ mm)	雪	-0.08		-10.3
	雨	-3.5	-2.1	-3.9

从 3 个站的整体表现来看, 融雪翻斗式降水计在缺测率、一致率和粗差率方面降雨观测的表现均优于降雪观测; 准确性指标不好比较。

表 4 翻斗式降水计与 DFIR 观测数据的相关系数及方差

	雪			雨		
	方差 mm	相关 系数	样本数	方差 mm	相关 系数	样本数
长春站	0.630	0.913	41	5.556	0.488	125
通河站	0.349	0.778	55	0.483	0.997	146
大西沟站	0.937	0.774	166	0.634	0.969	99

翻斗式降水计在固体降水自动化观测试验中, 降雪观测共取得 262 个样本, 与标准器之间的相关系数在 0.77~0.91 之间(表现不稳定); 降雨观测共取得 370 个样本, 与标准器之间的相关系数在 0.488~0.99 之间(由于在长春站一次测量暴雨降水过程中, DFIR 观测数据为 108.5, 而仪器观测数据为 0, 导致相关系数偏低(0.488); 若不计此记录则可提高相关系数达 0.985)。

(3) 激光式降水计测量结果见表 5, 与 DFIR 观

测数据的相关系数及方差见表 6。

表 5 激光式降水计观测数据质量(与 DFIR 观测相比)

		长春站	通河站	大西沟站
缺测率%	雪	9.8	10.9	0.6
	雨	19.2	7.5	0
一致率%	雪	71.4	23.7	90.3
	雨	55.6	74.8	95.6
粗差率%	雪	32.4	16.3	30.1
	雨	80.2	25.2	34.3
准确性/mm ($E \leq 5.0$ mm)	雪	-0.72	-0.33	0.04
	雨	-0.31	-0.29	0.74
准确性/% ($E > 5.0$ mm)	雪			12
	雨	13.4	-10.4	22.6

从 3 个站的整体表现来看,激光式降水计的性能不稳定,在降雨观测和降雪观测的缺测率、一致率、粗差率和准确性指标不好比较。

表 6 激光式降水计与 DFIR 观测数据的相关系数及方差

	雪			雨		
	方差 mm	相关 系数	样本数	方差 mm	相关 系数	样本数
长春站	0.130	0.580	37	29.767	0.042	100
通河站	0.694	0.492	49	4.361	0.502	166
大西沟站	4.361	0.502	166	1.285	0.931	99

激光式降水计在固体降水自动化观测试验中,降雪观测共取得 252 个样本,与标准器之间的相关系数在 0.50~0.58 之间;降雨观测共取得 365 个样本,与标准器之间的相关系数在 0.04~0.93 之间。

捕捉率是衡量自动观测仪器采集到样本量与标准器采集到样本量之间的比率,捕捉率能反应出固体降水观测仪器受风场影响的大小。

$$\text{捕捉率} = \frac{\text{观测仪器捕获次数}}{\text{标准器捕获次数}} \times 100\%$$

各自动降水计相对于 DFIR 降水量的捕捉率情况见表 7。从捕捉率角度比较,称重式降水计具有防风措施,在大西沟站的降雪捕捉率达到 DFIR 捕捉率的 80%,其它 2 个台站捕捉率接近 90%;降水捕捉率略低于融雪翻斗式降水计。融雪翻斗式降水计虽然具有防风措施,但其降雪捕捉率偏低,仅占 DFIR 降水捕捉率的 35%~70%;降水捕捉率较高,与台站普通降水计相当。融雪翻斗式降水计降雪捕

捉率太低,除了与其加热导致融雪蒸发造成额外损失有关外,还因为融雪翻斗式降水计在各试验站出现不同程度的翻斗结冰而导致降雪无记录现象。整个试验期间,翻斗式降水计在大西沟站出现数 10 次翻斗结冰现象。激光式降水计在长春站测量的降雪捕捉率仅为 15%,但在大西沟站无论是测雪还是测雨捕捉率均很高,这与其采集软件不完善,易受干扰,导致输出数据异常有关。在长春和通河站降雨捕捉率远低于台站降水计捕捉率。从 3 个站整体试验结果可见,激光式降水计用于业务上的降水量测量条件不够成熟。

表 7 各自动仪器相对于 DFIR 的降水捕捉率 %

降水类型	台站	称重式	融雪翻斗式	激光式
雪	长春站	96.6	60.6	15.0
	通河站	89.0	35.2	74.7
	大西沟站	80.3	69.6	>100
雨	长春站	95.1	99.3	67.5
	通河站	92.3	99.6	82.3
	大西沟站	95.1	97.4	>100

5 结论与讨论

(1)由于 2005 年北方地区冬季温度偏高,长春站和通河站观测降雪样本数偏少,观测降雨样本数较多;大西沟站观测降雪样本数尚可。

(2)在数据完整性方面,融雪翻斗式降水计优于称重式降水计和激光式降水计;在数据可靠性方面,称重式降水计在测量降雪方面优于融雪翻斗式降水计和激光式降水计,融雪翻斗式降水计在测量降雨方面优于称重式降水计和激光式降水计;在数据准确性方面,称重式降水计在测量降雪方面略优于融雪翻斗式降水计和激光式降水计。

(3)仪器与 DFIR 观测数据的相关系数表明:测量降雪方面,称重式降水计相关性优于融雪翻斗式降水计和激光式降水计;测量降雨方面,融雪翻斗式降水计优于称重式降水计和激光式降水计。

根据已取得的试验数据和报告,可对参试的不同类型的仪器得出以下的分析意见。

称重式降水计:由于未实现自动排水,故一次性连续测量降水量有一定上限,在南方常出现大到暴雨的地区使用该仪器测液体降水会带来操作使用上的难度;该仪器的特点在于准确地测量固体降水量,

因此更适用于北方冬季固体降水较多的地区。

融雪翻斗式降水计:需要利用加热装置对固体降水先进行融化,使其成液体后再测量。这种加热融化的方法,若加热功率较大,由此而产生的蒸发误差对小降水量测量无法忽略;若加热功率较小,当温度较低时,融化速度较慢,也会造成较大的观测误差,甚至因翻斗冻结而无法测量。因此该仪器适用于冬季温度不很低,以液体降水为主的一些中部和南方地区。

激光降水计:属于测量降水的新技术,由于测量的是一个局部空间,测量结果受风的影响较大;降水量是通过建立统计模型来计算的,对于是否有降水和降水类型的判别还需进一步研究和验证。

参考文献

[1] 中国气象局监测网络司. WMO CIMO 气象仪器和观测方法指南[G]. 第六版. 北京:气象出版社, 2005.

- [2] Goodison B E, Louie P Y T, Yang D. WMO Solid Precipitation Measurement Intercomparison Final Report[R]. WMO/TD—No. 872, 1998.
- [3] 杨大庆, 张志忠, 康尔泗, 等. 地面积雪测量与降水计量测降雪量一致性实验研究[J]. 水科学进展, 1992, (2): 136—141.
- [4] 杨大庆. 国外降水观测误差分析及改正方法研究概况[J]. 冰川冻土, 1989, (2): 177—183.
- [5] 杨大庆. 国外降雪观测方法介绍[J]. 气象, 1988, 14(10): 51—53.
- [6] 王衡威, 汪中键. 光学降水计评估[J]. 水利水文自动化, 1996, (2): 50—52.
- [7] 施正平. 融雪型雨雪量计及其技术要求[J]. 水利水文自动化, 1996, (1): 15—17.
- [8] 郑自宽, 李红溪. 固态存储降水计观测资料的误差分析[J]. 水文, 2002, (1): 50—51.
- [9] 杨远宁. 固态存储降水计与虹吸自记降水计观测数据对比分析[J]. 科技情报开发与经济, 2006, (18): 67—69.
- [10] 张晰莹, 张礼宝, 袁美英. 一次降雪过程的多普勒雷达探测分析[J]. 气象科技, 2003, 32(3): 75—78.

Automatized Observational Experiment on Solid Precipitation

Wang Bolin¹ Wang Jingye¹ Ren Zhihua² Li Wei¹
Lei Yong¹ Tu Manhong¹

(1 Meteorological Observation Center, 2 National Meteorological Information Center, CMA, Beijing 100081)

Abstract: An introduction is made to the observational experiments on solid precipitation at the Changchun station of Jilin Province, Tonghe station of Heilongjiang Province, and Daxigou station of Xinjiang Province from January to September in 2006. There are three types of sounding apparatuses (21 in total) from six manufacturers participated in the 9-month experiment. The experiments used the Double Fence Intercomparison Reference (DFIR) recommended by WMO (1985) as the standards. Through the experiments, the characteristics of tipping-bucket gauges, weighing-recording gauges, laser precipitation monitors in measuring different type precipitation were tested, which provide a basis for the selection of the automatized observational equipment on solid precipitation and the operational service promotion of solid precipitation.

Key words: solid precipitation, DFIR (Double Fence Intercomparison Reference), observational experiment