

降水测量对比试验及其主要结果

任芝花¹ 李 伟² 雷 勇² 熊安元¹ 涂满红² 王柏林²

(1. 国家气象信息中心, 北京 100081; 2. 中国气象局大气探测中心)

提 要: 为了实现国内固态降水测量的自动化,同时了解我国降水测量与国际标准仪器 DIFR 间降水测量的差异,2006 年中国气象局在大西沟、长春、通河气象站进行了为期近 1 年的降水测量对比试验。分别针对固态和液态降水分析了我国台站长期使用的普通雨量器的捕捉率大小及其与风速的简要关系、不同安装方式的雨量器间的防风效果。根据降水捕捉率及观测过程中的实际状况,对参加对比试验的 7 种自动化雨量计进行了性能分析,为业务上完全实现降水自动化观测而提供依据及建议。

关键词: 降水测量 对比试验 DIFR 雨量器 普通雨量器 雨量计

A Comparison Experiment of Solid Precipitation Measurement and Its Primary Results

Ren Zhihua¹ Li Wei² Lei Yong² Xiong Anyuan¹ Tu Manhong² Wang Bailin²

(1. National Meteorological Information Center, Beijing 100081;

2. Atmospheric Observation Technology Center, CMA)

Abstract: To put Chinese automatic measurement of solid precipitation into practical effect, and to know the precipitation measurement differences between Chinese standard manual gauge and international reference instrument DIFR recommended by WMO, a comparison test of precipitation measurement was implemented at Daxigou, Changchun and Tonghe in 2006. The catch efficiency of Chinese standard manual gauge in rain and in snow is given, respectively, including the different affections of wind on rain and snow measurements. The protection results against wind of manual gauges in various installation ways are briefly analyzed. Based on catch efficiencies and some comparison observations, precipitation measurement capabilities are compared among seven types of automatic gauges. Then some bases and suggestions are given for operational automatic precipitation record.

Key Words: precipitation measurement comparison test DIFR gange Chinese standard manual gauge automatic gauge

资助项目:中国气象局气象新技术推广项目 CMATG2005Z01

收稿日期:2007年5月10日; 修定稿日期:2007年7月30日

引 言

为了了解各仪器间测量的差异、测量误差或为了新型仪器的推广应用,有关部门曾多次组织实施有关气象仪器的对比试验工作^[1-8]。其中,为了了解我国台站雨量器降水测量误差,探索其订正方法,1980 年代末,中科院兰州冰川冻土研究所的杨大庆等^[4-5]在天山乌鲁木齐河源地区进行了为期 2 年的降水测量对比试验研究。1990 年代中国气象局的黎明琴、任芝花等^[6-8]利用坑式雨量器作为降水测量标准在全国 30 个气候站进行了降水测量误差及其订正的试验研究。2006 年中国气象局首次利用 DIFR 作为降水测量的标准,在大西沟、长春、通河气象站进行为期近 1 年的固态降水测量对比试验,主要目的为实现国内固态降水测量的自动化而进行仪器选型,同时了解我国降水测量与国际标准仪器间降水测量的差异。本文介绍了 2006 年降水测量对比试验及其主要结果。

1 对比试验介绍

1.1 试验台站气候状况介绍

对比试验在长春、通河、大西沟三气象站进行。长春国家基准气候站位于东北平原吉林省中部,周边地形空旷平坦,年平均气温

5.7℃,年平均降水量 570.4mm,年平均风速 $3.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。通河气象站位于黑龙江省中部,小兴安岭南麓,松花江北岸,地势冲积平原,周边地形空旷平坦,年平均气温 2.6℃,年平均降水量 603.2mm,年平均风速 $3.8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。大西沟气象站位于天山北坡天格尔冰峰山腰,四周有六条 U 型山谷和六座冰川,周围高山环抱,山高出本站约 300 米以上,年平均气温 -5.2℃ ,年平均降水量 453.4 mm 年,平均风速 $3.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

1.2 仪器安装及观测方法

降水对比试验中,每个试验台站均安装 12 台降水测量仪器。其中 5 台用于人工观测的普通雨量器,7 台用于降水自动测量的雨量计。

5 台雨量器收集的降水量每 6 小时人工定时观测 1 次。雨量器均为口径 20cm 的普通雨量器,其中 1 台按照 WMO 推荐的固态降水测量标准安装(称为 DIFR 雨量器)。DIFR 雨量器安装高度为 300cm,除了在雨量器本身加内径 120cm 的防风圈外,还有两个同心等边八角形的栅栏防护物。外围的栅栏边长为 4.6m,内切圆周直径 12.0m,栅栏上边缘距离地面高 3.5m。内部栅栏边长为 1.6m,内切圆周直径 4.0m,栅栏上边缘距离地面高 3.0 m。其余 4 台雨量器安装高度均为 70cm,其中 2 台雨量器在试验场内没有防风措施,2 台加有内径 120cm 的防风圈。

表 1 各降水测量自动仪器的特点及台站安装状况

仪器型号	传感器类型	承水口口径(cm)	安装高度(cm)			是否有防风措施		
			长春	通河	大西沟	长春	通河	大西沟
CSYT-400	称重	20	91	94	140	有	有	有
VRG101	称重	40	74	142	142	有	有	有
HYA-SR	称重	16	200	170	170	有	有	有
ARS-II	加热翻斗	20	73	70	148	有	有	有
ZQZ-DG1	加热翻斗	20	70	70	155	无	无	无
SL2-2	加热翻斗	16	73	70	125	无	无	无
DSC-1J	信号衰减	/	134	140	140	无	有	无

7 台雨量计每分钟采样 1 次,其特点及在台站的安装状况见表 1。表中降水测量仪 CSYT-400、VRG101 和 HYA-SR 均为称重式仪器。这种仪器利用一个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的总重量作连续记录,所有降水,包括固体和液体形式,在其降落时就记录下来。因为对固体降水在记录前不要求融化,因此称重式降水仪特别适用于记录雪、冰雹、雨夹雪等,但该种仪器必须有防蒸发措施。降水测量仪 ARS-II、ZQZ-DG1、SL2-2 均为加热翻斗式测量仪器。此种仪器在盛水器内壁和排水口处,设置加热装置,当为固态降水时,保证使落下的固态降水融化后进入翻斗计数,其原理同翻斗雨量计。但加热可能会导致融雪蒸发,造成额外损失。DSC-1J 降水测量仪为激光降水仪,该仪器通过降水粒子对光信号的衰减,测量降水粒子的大小、密度、降水类型和粒子光谱,从而利用光学反演的方法进行降水测量。

每个试验站在观测场附近选择两块试验场地,两块场地间相距 11 米以上。其中一块场地安装 DFIR 雨量器。在另一块场地中,7 台固态降水自动化观测仪器和 4 台人工雨量器安装在直径 16 米的圆周上,相邻仪器间相距约 4m 左右(见图 1)。

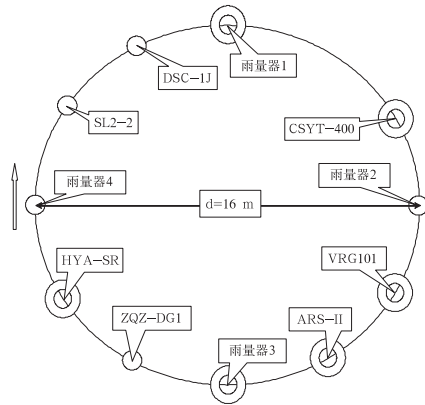


图 1 降水观测仪安装示意图

1.3 试验数据及处理

长春站对比观测时间为 2006 年 1 月至 2006 年 12 月,通河站和大西沟站对比观测时间为 2006 年 1 月至 2006 年 11 月。

当人工某次观测有降水,而自动仪器在该次观测的降水时间段内却出现分钟数据缺失现象,则该次对比观测中,自动仪器的降水累计量缺失,不参加对比统计。另外,当某自动测量仪器的 6 小时降水累计量与标准仪器(DIFR)间测量差值 $\geq 5.0\text{mm}$ 时,作为粗大差值不参加统计。各雨量器的人工观测次数以及相对于人工观测,各自动雨量计的有效降水观测次数见表 2。

表 2 各仪器降水对比观测次数

降水类型	台站	CSYT-400	VRG101	HYA-SR	ARS-II	ZQZ-DG1	SL2-2	DSC-1J	人工观测
雪	长春	50	49	49	50	41	49	45	50
	通河	62	50	67	69	28	66	60	70
	大西沟	198	163	103	201	190	192	191	203
雨	长春	138	123	143	141	141	137	67	144
	通河	139	85	154	159	100	143	123	159
	大西沟	84	77	49	99	96	94	96	99

2 试验结果与分析

2.1 各雨量器间的降水捕捉率

在数据统计过程中,用 A 代表无防风圈

的 2 台雨量器收集量的平均值,B 代表有防风圈的 2 台雨量器收集量的平均值。在整个试验期间,各种雨量器测量的降雪量和降雨量如表 3 所示,捕捉率如表 4 所示。A、B、DIFR 实际代表相同的雨量器采取不同的防

风措施而收集的降水量。

对于降雪测量, DIFR 雨量器收集量最大, 其次为装有防风圈的 B 雨量器, 没有任何防风措施的雨量器 A 收集量最小。其中, A 雨量器相对于 B 雨量器的捕捉率为 81%~93%, 相对于 DIFR 雨量器的捕捉率为 71%~83%, B 雨量器相对于 DIFR 雨量器的捕捉率为 89%~93%。由此说明, 对于降雪测量, DIFR 的防风效果最好, 其次为单层防风圈, 两者防风效果明显。

表 3 各雨量器测量的降水量/mm

台站	雪			雨		
	A	B	DIFR	A	B	DIFR
长春	36.2	38.8	43.7	598.8	605.7	606.9
通河	29.4	36.5	41.2	559.3	565.9	556.0
大西沟	253.6	303.3	326.9	212.7	219.8	203.7

表 4 各雨量器间降水捕捉率/%

台站	雪			雨		
	A/B	A/DIFR	B/DIFR	A/B	A/DIFR	B/DIFR
长春	93.3	82.8	88.8	98.9	98.7	99.8
通河	80.5	71.4	88.6	98.8	100.6	101.8
大西沟	83.6	77.6	92.8	96.8	104.0	107.9

对于降雨测量, A、B、DIFR 雨量器之间的差异不明显, 收集量相近。安装高度均为

70cm 的雨量器中, 未有防风措施的雨量器 A 始终比带有防风圈的雨量器 B 收集率略低, 低约 1%~3%, 说明对于相同安装高度的普通雨量器来讲, 加防风圈有一定的防风效果。安装高度均为 70cm 的雨量器无论是否有防风措施, 其收集率与安装高度 300cm 的 DIFR 雨量器比, 则相近或略大。由此说明, 对于降雨测量, DIFR 的防风效果不明显。

2.2 各雨量器间的捕捉率与风速的关系

台站观测的风速为距离地面约 10m 高处的风速, 在不考虑雨量器周围障碍物的情况下, 经公式(1)转换成距离地面 0.7m 处的风速, 与 A、B 雨量器高度相同。人工每次观测中, 降水时间段内的平均风速由 0.7m 高处的分钟风速平均而得。由于大西沟站无分钟风速资料, 因此仅对长春站和通河站的降水捕捉率与风速关系进行统计分析。表 5 统计了 0.7m 高处, 不同风速范围内雨量器 A 相对于雨量器 B 的捕捉率、雨量器 A 相对于 DIFR 的捕捉率、雨量器 B 相对于 DIFR 的捕捉率以及 DIFR 收集的降水量。某类风速下, 当 DIFR 累计降水量小于 2.0mm 时不进行相关统计。

表 5 不同风速下各雨量器间的捕捉率

台站	风速(ms^{-1})	雪				雨			
		A/B(%)	A/DIFR(%)	B/DIFR(%)	DIFR(mm)	A/B(%)	A/DIFR(%)	B/DIFR(%)	DIFR(mm)
长春	0.5~1.4	90.9	100.0	110.0	4.5	98.8	99.1	100.3	280.2
	1.5~2.4	89.0	73.5	82.6	17.0	98.9	98.1	99.3	233.5
	2.5~3.4	98.6	90.7	91.9	19.8	99.7	98.7	99.0	73.7
	3.5~4.4	78.1	52.1	66.7	2.4	97.4	100.4	103.0	13.2
	4.5~5.4	/	/	/	/	96.8	97.6	100.8	6.2
通河	0.0~0.4	/	/	/	/	97.7	98.5	100.8	6.6
	0.5~1.4	89.0	84.4	94.8	9.6	98.9	100.1	101.2	338.4
	1.5~2.4	89.7	86.3	96.2	10.6	98.5	100.9	102.4	117.0
	2.5~3.4	75.7	63.0	83.2	14.6	98.8	101.9	103.2	79.7
	3.5~4.4	69.3	54.2	78.1	4.8	/	/	/	/
	5.5~6.4	/	/	/	/	100.3	103.2	102.8	14.1

注: '/'表示无数据。

风速转换公式^[9]:

$$U_h = U_H [\log(h/z_0)] / [\log(H/z_0)] \quad (1)$$

式(1)中 H : 风速传感器距离地面的高度

h : 雨量器口距地面的高度

z_0 : 地面粗糙度(冬季取 0.01m; 春季至秋季取 0.03m)

U_h : 雨量器口的风速

U_H : 风速传感器测量的风速。

由表 5 可见, 对于降雪测量, 不同风速下, 捕捉率大小不同, 差异明显。而对于降雨测量, 不同风速下, 捕捉率大小相近, 差异不明显。说明风速对降雪测量比对降雨测量影响显著。通河站各降雪捕捉率随风速增大呈较明显的降低状态, 长春站各降雪捕捉率随风速增大处于波动状态。

2.3 各自动雨量计的捕捉率

各自动雨量计相对于 DIFR 雨量器的捕

捉率见表 6。3 种翻斗式雨量计 ASR-II、ZQZ-DG1、SL2-2 无论是否具有防风措施, 其降雪捕捉率偏低, 远低于表 4 中 A 和 B 雨量器相对于 DIFR 的捕捉率, 偏低约 20~50%。ASR-II、ZQZ-DG1 雨量计降雨捕捉率与表 4 中 A 和 B 雨量器捕捉率相近, SL2-2 雨量计在大西沟站降雨捕捉率偏大, 这与其采集软件不完善, 导致输出数据异常有关。从捕捉率角度比较, 3 种翻斗式雨量计降雪捕捉率太低, 降雨捕捉率与普通雨量器相当。翻斗式雨量计降雪捕捉率太低, 与其加热导致融雪蒸发, 造成额外损失有关外, 在现场试验过程中, 主要表现为, 翻斗式雨量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。其中, 整个试验期间, 3 种翻斗式雨量计在大西沟站均出现 200 多次翻斗结冰现象。因此, 翻斗式雨量计虽适合降雨测量, 但不适合降雪期较长的台站进行降雪测量。

表 6 各自动仪器相对于 DIFR 雨量器的降水捕捉率/%

降水类型	台站	CSYT-400	VRG101	HYA-SR	ASR-II	ZQZ-DG1	SL2-2	DSC-1J
雪	长春	96.6	98.6	53.8	60.6	61.9	60.6	15.0
	通河	89.0	83.5	50.5	35.2	32.9	46.5	74.7
	大西沟	80.3	178.2	129.6	69.6	45.8	69.0	100.6
雨	长春	95.1	96.7	94.6	99.3	95.1	95.9	67.5
	通河	92.3	102.6	92.7	99.6	98.8	100.3	82.3
	大西沟	95.1	191.3	117.9	97.4	105.8	118.0	142.7

激光式雨量计 DSC-1J 在长春站测量的降雪捕捉率仅为 15%, 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, 导致输出数据异常有关。另外, 在长春和通河站降雨捕捉率远低于台站雨量器捕捉率。因此从 3 站整体试验结果可见, DSC-1J 雨量计用于业务上的降水量测量, 条件不够成熟。

3 种称重式雨量计 CSYT-400、VRG101 和 HYA-SR 都具有防风措施。在大西沟站整个试验期间 HYA-SR 测量的数据均异常, 基本不能用, VRG101 雨量计从 5 月份开始

数据异常。因此 VRG101 和 HYA-SR 雨量计在大西沟站的降雪和降雨捕捉率比同具有防风措施的 B 雨量器异常偏大。HYA-SR 在大西沟站降雪测量数据与 DIFR 测量值呈负相关, VRG101 在大西沟站降雪测量数据与 DIFR 测量值虽然呈正相关, 但是有 2.2mm 的截距系数。CSYT-400 雨量计在大西沟站的降雪捕捉率比 A 雨量器略高, 比 B 雨量器偏小 18%。CSYT-400 和 VRG101 雨量计在长春站和通河站降雪捕捉率与 B 雨量器相当或略高; HYA-SR 雨量计在长春站和通河站降雪捕捉率约为 50%, 远低于同

具有防风措施的 B 雨量器捕捉率, 偏低 30% 以上。3 种称重式雨量计在数据基本正常的情况下, 其降雨捕捉率在 92% 以上, 比翻斗式雨量计和台站雨量器略低。

3 结论及建议

(1) 同一类型但安装方式不同的台站雨量器中, 安装高度为 300cm 的 DIFR 雨量器和安装高度为 70cm 且有单层防风圈的雨量器相对于安装高度 70cm、未有任何防风措施的雨量器, 其防风效果如下: 对于降雪测量, DIFR 雨量器防风效果最好, 其次为安装高度为 70cm 且有单层防风圈的雨量器, 两者防风效果明显; 对于降雨测量, 安装高度为 70cm 的雨量器, 加单层防风圈具有一定的防风效果, 但 DIFR 的防风效果不明显。

(2) 风速对降雪测量比对降雨测量影响显著。对于降雪测量, 不同风速下, 雨量器捕捉率大小不同, 差异明显。而对于降雨测量, 不同风速下, 捕捉率大小相近, 差异不明显。

(3) 翻斗式雨量计降雪捕捉率太低, 降雨捕捉率与普通雨量器相当。称重式雨量计在数据基本正常的情况下, 降雪捕捉率比翻斗式雨量计高, 降雨捕捉率比翻斗式雨量计略低。

(4) 从捕捉率的角度考虑, 翻斗式雨量计适合降雨测量, 但不适合降雪期较长的台站进行降雪测量。DSC-1J 激光式雨量计用于业务上的降水量测量, 条件不够成熟。3 种称重式雨量计中, CSYT-400 雨量计在 3 个试验站中均表现出测雪和测雨效果较好。

对于业务上的降水自动化观测, 建议无

降雪或降雪期较短的台站, 采用翻斗式雨量计进行常年降水自动观测; 对于降雪期或结冰期较长的台站, 可考虑用进一步完善后的 CSYT-400 称重式雨量计进行常年降水自动观测。另外, 我国从 1949 年至今, 业务上使用的主要是收集口口径 20cm、安装高度 70cm 的普通雨量器, 建议业务上用于降水自动化观测的雨量计尽可能与普通雨量器保持相同的口径及安装高度, 以降低降水资料的非均一性, 尽可能保证降水历史资料的连续使用。

参考文献

- [1] 郭锡钦, 曾书儿. 有线综合遥测站现场对比试验结果[J]. 气象, 1994, 20 (5): 24-27.
- [2] 任芝花, 郭锡钦. 浅层地温对比试验结果[J]. 气象, 1996, 22 (11): 29-32.
- [3] 任芝花, 涂满红, 陈永清, 等. 玻璃钢百叶箱与木制百叶箱内温湿度测量的对比分析[J]. 气象, 2006, 32 (5): 35-40.
- [4] 杨大庆, 康尔泗, 张寅生, 等. 天山乌鲁木齐河源夏季降水观测中的动力损失及其修正[J]. 气象, 1989, 15 (1): 22-27.
- [5] 杨大庆, 施雅风. 乌鲁木齐河源高山区固态降水对比测量的主要结果[J]. 科学通报, 1990, 35 (22): 1734-1737.
- [6] 黎明琴, 任芝花, 邹耀芳. 横向雨量器的设计及由风引起的降水测量误差订正[J]. 应用气象学报, 2001, 12 (2): 188-195.
- [7] 任芝花, 王改利, 邹风玲, 等. 中国降水测量误差的研究[J]. 气象学报, 2003, 61 (5): 62-627.
- [8] Ren Zhihua, Li Mingqin. Errors and Correction of Precipitation Measurements in China [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2007, 24 (3): 449-458
- [9] WMO. Guide to Meteorological Instrument and Methods of Observation[M]. 1996, NO. 8, I. 6-15.