

李肖霞,王柏林,郭伟,等. 2016. 激光云高仪试验数据对比分析. 气象, 42(6):764-769.

激光云高仪试验数据对比分析^{*1}

李肖霞¹ 王柏林¹ 郭伟¹ 涂满红¹ 张鑫¹ 袁静²

1 中国气象局气象探测中心, 北京 100081

2 南京信息工程大学, 南京 210044

提 要: 文章介绍了 2014 年 6—10 月在北京市观象台和长沙气象局开展的激光云高仪的对比观测试验和结果。参与此次为期 3 个多月试验的仪器来自 4 个厂家、共 5 种型号的 15 台仪器参加了对比试验, 试验采用了 HY-CL51 型激光云高仪与 CYY-2B 型激光云高仪的测量结果作为标准云高, 人工观测结果辅助判断, 提出了云高标准值的确定方法和云高有效观测样本的选取方法, 测试了不同型号激光云高仪的各项性能。结果表明: 不同型号的激光云高仪均存在漏判和误判现象, 雾、霾天气对仪器的漏判和误判会造成较大的影响, 部分型号的仪器样本准确率整体较高, 各项性能指标能够达到业务要求。

关键词: 云高, 自动观测, 试验

中图分类号: P413

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.06.012

Comparative Analysis of Cloud Ceilometer Observational Experiment

LI Xiaoxia¹ WANG Bailin¹ GUO Wei¹ TU Manhong¹ ZHANG Xin¹ YUAN Jing²

1 Meteorological Observation Centre of CMA, Beijing 100081

2 Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

Abstract: The test procedure and result analysis of the comparative observation experiment on some laser ceilometers at Beijing Meteorological Observatory and Changsha Meteorological Service from June to October 2014 are introduced. Fifteen instruments from four manufacturers were tested in the experiment that lasted for more than three months. The experiment used the observation results of HY-CL51 and CYY-2B Laser Ceilometers as the standard cloud heights. The artificial observations played a subsidiary role in testing the accuracy of these instruments when cloud heights are detected. The results show that observation omission and misjudgment tend to happen to all these laser ceilometers. Fog and haze impact the performance of the instruments significantly. Comparatively, HY-CL31 has a higher accuracy rate, which can meet the needs of meteorological service.

Key words: cloud height, automated observation, experiment

引 言

对于云的观测,目前在气象部门主要以人工观测为主,主要记录云状、云量和云高。人工观测存在主观性强、标准不统一等缺点,随着自动化观测技术的不断进步和对观测资料需求的增加,自动化观测

在云的观测中越来越重要。云高器测的主要观测方式有云幕灯观测、气球测云高、激光云高仪、红外测云仪、可见光测云仪和毫米波云雷达等。

云幕灯是最早用来测云高的仪器,主要是从探照灯垂直发出一束向上的光束,当遇到云层时,会形成一个光斑,利用测角器对准光斑测量仰角,然后利用光源和测高仪之间的距离和仰角值来计算云高

* 中国气象局气象关键技术集成与应用重点项目(CMAGJ2015Z16)资助

2015 年 4 月 13 日收稿; 2016 年 1 月 15 日收修定稿

第一作者:李肖霞,主要从事地面/海面气象探测研究工作, Email:lxxaoc@cma.gov.cn

(中国气象局,2003)。这种测量方法由于仰角的误差,通常带来云高测量的较大误差。气球测云高主要是利用气球从地面匀速至云底所经历的时间来测量云高,通过气球上升的速度和进入云底的时间来计算云高,这种方法通常在白天使用,并主要用于探测低云(高太长等,2010)。激光云高仪是目前常用的一种自动化观测仪器(陈臻懿等,2010;章文星等,2012;Costa-Surós et al,2013),美国等多个国家从 20 世纪 90 年代开始已经逐步投入业务应用,工作原理是由发射器发射激光,接收器监测后向散射强度,当遇到云时后向散射强度会有典型特征,判断出云底后,云底高度可由光发出和返回的时间差推算出。红外测云仪主要是利用天空红外亮温资料和同步观测的地面气象参数,基于红外辐射传输原理,进行天空云高的反演(胡树贞等,2012)。可见光测云仪一般采用两台数字摄像机同时拍摄实时云图,搜

索两幅图像中相互匹配的特征区域,通过计算特征区域之间的位移量来求取云高(谭涌波等,2015;Smith et al,2008)。毫米波云雷达具有穿透云层的能力,可以给出多层云结构信息,能够更精确地反映云的垂直和水平结构(仲凌志等,2009;孙晓光等,2011;李思腾等,2015)。

1 试验基本情况

这次试验主要有 4 个厂家 5 个型号的激光云高仪设备,其中一台微脉冲激光雷达(表 1),试验地点选择在中国气象局北京站和长沙站。由参加试验的生产厂家分别提供 3 套仪器,其中在北京站安装 1 套(标记为 A),试验时间为 2014 年 6 月 23 日至 10 月 7 日,在长沙站安装两套(分别标记为 B、C),试验时间为 2014 年 6 月 25 日至 10 月 7 日。

表 1 参加试验的云高仪介绍

Table 1 Introduction to cloud ceilometer used in the experiment

型号	波长/nm	通风方式	重复频率 /kHz	功耗/W				安装高度 /m
				基本	通风	加热	制冷	
HY-CL31	910	风扇	10	15	20	275	—	1.19
CHML-II	905	系统内透气阀, 窗口通过风扇	4	100	100	500	—	1.52
LDCL-1	905	风扇	5	150	20	300	450 (空调制冷)	1.45
MPLCL-1	1064	风扇	4.5	380	20	300	450 (空调制冷)	2.2(1.6)
LIDAR-CL	532	风扇	2.5	300	20	200	200 (半导体制冷)	1.3

参加此次试验的 4 个厂家 5 个型号的设备均采用激光测距原理,云高仪的发射器发射激光,接收器监测后向散射强度,当遇到云时后向散射强度会有典型特征,判断出云底后,云底高度可由光发出和返回的时间差推算出。在以上几种采用激光测距原理的设备中,其发射器和接收器除 CHML-II 为非共轴模式外,其他仪器均为共轴模式。

此次试验开始之前先对仪器进行性能检查,主要工作是激光云高仪连接串口服务器的调试,主要内容为串口服务器的安装、配置、通信方式(RS232、RS485、RS422、网线)的选择、设备 IP 和通信模式的匹配。在串口服务器的配置过程中,由于设备数据的特殊性,对串口服务器的硬件程序和软件驱动进行了升级,以满足对大量数据的实时传输;调试过程中,出现设备与串口服务器的匹配故障,经过现场调

试,实现了串口服务器的正常通信。在整个试验期间,串口服务器整体工作稳定,实现了数据从设备端到 PC 机的实时传输。

2 资料分析方法

2.1 云高标准值确定方法

开展云高观测试验过程中,云高标准值的确定是特别重要的环节,标准值的合理确定对试验的结果影响较大,本次试验结合前期试验,提出了确定云高标准值的方法。首先通过人工观测方式,对天顶有无云进行估测,再参照云高参考标准器输出的结果,确定标准云高。本次试验的标准器为 HY-CL51 型激光云高仪与 CYY-2B 型激光云高仪。若两激

光云高仪标准器观测到云高且差值在合理范围内,以两云高仪输出云高均值为标准云高。否则,该样本无效。标准云高样本的选取步骤:

(1) 人工观测无云, HY-CL51 和 CYY-2B 也同时无云(三者同时为无云), 记为无云有效样本。

(2) 人工观测有云, HY-CL51 和 CYY-2B 也同时有云(三者同时为有云)时, 如果 HY-CL51 与 CYY-2B 的绝对误差 < 200 m, 则记为有云有效样本。

(3) 如果 HY-CL51 与 CYY-2B 的绝对误差 > 200 m 且 < 500 m, 则需判断相对误差, 当相对误差小于 20%, 记为有云有效样本。

(4) 有云有效样本确定后, 取 HY-CL51 型与 CYY-2B 型激光云高仪的平均云高作为标准云高。

表 2 云高参考标准器

Table 2 Calibrator for cloud ceilometer

仪器名称	原理	波长/nm	安装地点
1 HY-CL51 型激光云高仪	激光测距	910	长沙、北京
2 CYY-2B 型激光云高仪	激光测距	905	长沙、北京

2.2 云高有效样本的确定

在连续的试验中, 会有大量的云高数据输出, 但是受云高标准值、当时天气状况以及设备的局限性的影响, 需选取有效样本来对仪器性能进行分析评估。

本次试验云高样本的确定: 北京站人工观测时次为 08:00—17:00, 一天观测 10 次; 长沙站人工观测时次为 07:50—19:50, 一天观测 13 次。选取本站人工观测正点前后共 10 min 激光云高仪输出的云高数据均值作为该时次的云高值, 计算均值时需剔除无云数据。若 10 min 内大于 5 次缺测, 则该样本无效。

有效有云样本: 若人工观测云高值与云高标准器同时观测到天顶有云, 且标准云高不高于 7500 m, 则该样本为有效有云样本。确定后的有效有云样本将作为观测数据对仪器的性能进行分析评估。

2.3 云高准确性

云高准确性主要针对有效有云样本, 通过漏判率、误判率与样本准确率三方面综合评判。

(1) 若被评估仪器将有云样本判为无云, 则判该仪器漏判。

漏判率 = (漏判次数 / 有效有云样本数) $\times 100\%$

(2) 若被评估仪器将无云样本判为有云, 则判该仪器误判。

误判率 = (误判次数 / 有效无云样本数) $\times 100\%$

(3) 样本准确率

若试验仪器与标准云高的误差满足以下条件时, 样本为云高准确样本:

当云高值 ≤ 1000 m, 误差 $\leq \pm 200$ m; 当云高值 > 1000 m 以上, 相对误差 $\leq \pm 20\%$

云高绝对误差 = |被评估仪器观测云高 - 标准云高|

云高相对误差 = 云高误差 / 标准云高

样本准确率 = $\frac{\text{云高准确样本数}}{\text{有效有云样本数}} \times 100\%$

3 试验数据分析

此次试验统一了各种型号激光云高仪的观测时次, 1 min 观测 1 次。根据对两个站点试验数据的统计: 北京站从 2014 年 6 月 23 日至 10 月 7 日期间共观测 154080 次, 长沙站从 2014 年 6 月 25 日至 10 月 7 日期间各设备共观测 151280 次。北京站人工观测时次为 1070 次, 其中出现雾、霾现象共计 519 次; 长沙站人工观测次数为 1365 次, 其中出现雾、霾现象共计 5 次。

考虑到能见度测量的准确性对激光云高仪的影响, 本次试验仅对水平能见度 ≥ 2 km 天气状况下的样本进行分析, 分别对试验期间各仪器的漏判率、误判率与合格率进行统计。

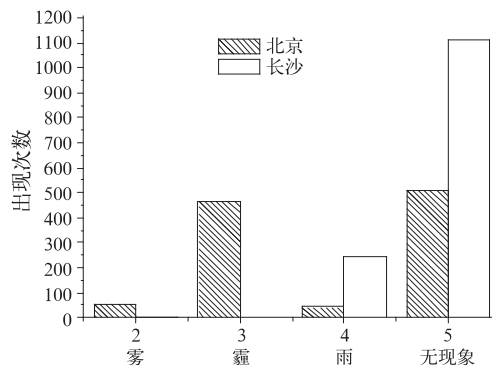


图 1 北京站和长沙站人工正点观测天气现象出现频次

Fig. 1 The frequency of artificial weather phenomenon observation in Beijing and Changsha

3.1 漏判率

经过数据分析,北京站云高在 7500 m 以下的有云总样本数为 144 个,长沙的有云总样本数为 456 个。表 3 中的有效样本数为剔除仪器缺测次数后的样本数,各种型号的仪器的漏判率统计结果见表 3。

表 3 漏判情况统计

Table 3 Statistics of judgement omission

仪器标识	有效样本数 /个	漏判次数 /个	漏判率 /%
HY-CL31_A	144	4	2.78
HY-CL31_B	453	1	0.22
HY-CL31_C	453	1	0.22
CHML-II_A	143	43	30.07
CHML-II_B	448	58	12.95
CHML-II_C	436	55	12.61
MPLCL-1_A	144	51	35.42
MPLCL-1_B	243	38	15.64
MPLCL-1_C	226	72	31.86
LDCL-1_A	136	29	21.32
LDCL-1_B	452	29	6.42
LDCL-1_C	416	12	2.88
LIDAR-CL_A	86	69	80.23
LIDAR-CL_B	96	61	63.54
LIDAR-CL_C	41	8	19.51

由表 3 可见,不同型号的仪器漏判率差别较大。HY-CL31、CHML-II 和 LDCL-1 这三种型号的仪器有两台以上漏判率低于 20%,其中 HY-CL31 漏判率最小;MPLCL-1、LIDAR-CL 两种型号仪器分别有两台漏判率高于 20%。数据分析表明,CHML-II_A 漏判率为 30.07%,在 143 个有效样本中,漏判样本有 43 个。结合人工观测记录分析发现:43 个漏判样本中,有 34 个是雾、霾样本,占漏判样本数的 79.07%。MPLCL-1_A 的漏判样本数为 51,其中有 28 个是雾、霾时次样本,占漏判样本数的 54.9%,达到一半以上样本数,可见雾、霾天气对设备的漏判影响较大。这是由于在雾、霾的天气条件下,激光云高仪会受到近地面雾、霾的影响,能量消耗较快,影响云高数据的判断结果。

3.2 误判率

试验期间,北京站的无云总样本数为 231 个,长沙站的无云总样本数为 181 个。有效样本数为剔除仪器缺测次数后的样本数,各种型号仪器的误判率统计结果见表 4。

表 4 误判情况统计

Table 4 Statistics of misjudgement

仪器标识	有效样本数 /个	误判次数 /个	误判率 /%
HY-CL31_A	231	20	8.66
HY-CL31_B	181	15	8.33
HY-CL31_C	181	53	29.44
CHML-II_A	228	2	0.88
CHML-II_B	177	36	20.45
CHML-II_C	169	31	18.45
MPLCL-1_A	225	53	23.56
MPLCL-1_B	89	7	7.87
MPLCL-1_C	69	5	7.25
LDCL-1_A	206	121	58.74
LDCL-1_B	180	85	47.49
LDCL-1_C	181	108	60.00
LIDAR-CL_A	120	12	10.00
LIDAR-CL_B	—	—	—
LIDAR-CL_C	—	—	—

由表 4 可见,不同型号的仪器误判率差别较大。LDCL-1 三台仪器的误判率较高;LIDAR-CL 在长沙站由于仪器故障,无法计算误判率。其他仪器误判率均在 30% 以下。

HY-CL31 在长沙站的两台激光云高仪 HY-CL31_B、HY-CL31_C 的误判率相差较大,HY-CL31_B 的误判率为 8.33%,HY-CL31_C 的误判率为 29.44%。针对这一情况,进行数据分析。统计得出,HY-CL31_B 的误判样本数为 15 个,HY-CL31_C 的误判样本数为 53 个,两者之间相差较大。在标准云高与 HY-CL31_B 都无云情况下,HY-CL31_C 却有云的误判样本数为 43 个。分析这 43 个样本中 HY-CL31_C 所显示的云高值(如图 2),可以得出,仪器误判时所显示的云高大多在

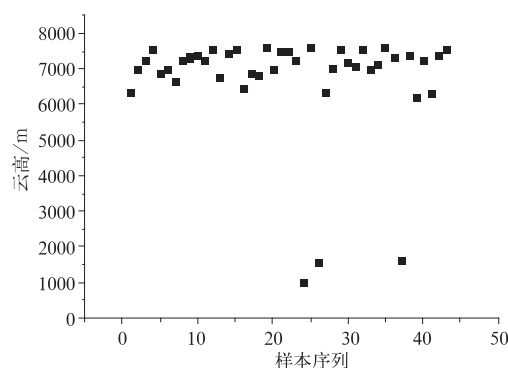


图 2 长沙站 HY-CL31_C 误判样本整体云高分布

Fig. 2 The misjudgement sample of HY-CL31_C in Changsha

7000 m 以上,而 HY-CL31_C 的最大探测距离是 7700 m,与误判云高很接近。因此,HY-CL31_C 输出的云高较高时,可能是由于仪器识别算法阈值的设置问题,将无云的情况识别为云高高值较大,造成多次云高误判。

CHML-II_B 和 CHML-II_C 在长沙站的误判样本数分别为 36 和 31 个,而在北京站的误判样本数是 2 个,分析发现 CHML-II_B 的 36 个误判样本中,有 29 个样本都显示云高为 375 m,且都是在 17:50 以后的观测时次出现,其中在 18:50 和 19:50 两个观测时次的误判样本数有 24 个,占 29 个样本的 82.76%,可见光照对 CHML-II 型激光云高仪的误判率影响较大。而北京的每天观测时次是 08:00 到 17:00,所以 CHML-II 型激光云高仪在北京站的误判率远低于在长沙站的误判率。

MPLCL-1_A 在北京的误判样本数为 53 个,其中显示的云高低于 1000 m 的样本有 46 个,占其误判次数的 86.79%,说明 MPLCL-1_A 易把无云判为低云。

3.3 样本准确率

北京站云高在 7500 m 以下的有云总样本数共 144 个,长沙站的有云总样本数共 456 个。表 5 中的有效样本数为剔除仪器缺测样本后的样本数,各厂家的样本准确率见表 5。

表 5 样本准确率情况统计
Table 5 Accuracy rate of the sample data

仪器标识	有效样本数 /个	有云合格 样本数/个	样本准确率 /%
HY-CL31_A	140	133	95.00
HY-CL31_B	452	435	96.24
HY-CL31_C	452	429	94.91
CHML-II_A	100	91	91.00
CHML-II_B	390	316	81.03
CHML-II_C	381	318	83.46
MPLCL-1_A	93	76	81.72
MPLCL-1_B	205	136	66.34
MPLCL-1_C	154	112	72.73
LDCL-1_A	107	66	61.68
LDCL-1_B	423	128	30.26
LDCL-1_C	404	113	27.97
LIDAR-CL_A	17	9	52.94
LIDAR-CL_B	35	29	82.86
LIDAR-CL_C	33	23	69.70

由表 5 可见,不同型号的仪器样本准确率也有一定差距。HY-CL31、CHML-II 和 MPLCL-1 三种

型号仪器有两台以上高于 70%,LDCL-1 有 3 台,LIDAR-CL 有两台仪器准确率低于 70%。

通过对样本的分析可以发现霾天气对激光云高仪探测的影响:HY-CL31_A 在北京的有云不合格样本数为 7 个,有 5 个是霾天气。同样,CHML_A 的有云不合格样本数为 9 个,其中霾天气占 7 个,说明尽管 HY-CL31_A 和 CHML-II_A 准确率很高,但霾天气对其还是具有一定的探测影响。

4 结论与讨论

这次试验的激光云高仪均为低能量观测方向为天顶的激光雷达,无法穿透浓密的云层,因此主要用于探测云底高度。

(1) 本文提出了云高标准值确定方法。首先通过人工观测方式,对天顶有无云进行估测,再参照云高参考标准器输出的结果,确定标准云高。这次试验的标准器为 HY-CL51 型激光云高仪与 CYY-2B 型激光云高仪。若两激光云高仪标准器观测到云高且差值在合理范围内,以两云高仪输出云高均值为标准云高。云高标准值确定方法的提出,有效解决了云高试验比对标准值确定的难题,为试验开展奠定了基础。

(2) 本文提出了一种云高有效样本确定的方法。这次试验选取试验站点人工观测正点前、后共 10 min 激光云高仪输出的云高数据均值作为该时次的云高值,计算均值时需剔除无云数据,并需满足 10 min 内缺测次数少于 5 次。在满足以上条件的基础上,若人工观测云高值与云高标准器同时观测到天顶有云,且标准云高 ≤ 7500 m,则该样本为有效有云样本。云高有效样本的合理确定,有利于试验结果的合理分析。

(3) 试验期间,不同型号的激光云高仪均存在漏判、误判现象,各仪器之间差别较大。在漏判的样本中,雾、霾天气条件下占一半以上,表明仪器在雾、霾天气的情况下,容易出现漏判现象,这是由于仪器发射光束能量较低,发射信号遇到雾、霾颗粒等,信号衰减较快,难以判断高处的云层。不同型号的激光云高仪之间误判差别较大,同型号仪器在不同地点误判率也会有较大差别。当人工观测天空无云时,仪器会出现判断为有云且云高较高的情况,造成了误判率较高。不同型号仪器的样本准确率差别较大,HY-CL31 准确率最高,3 台仪器均超过 94%,分

析表明:雾、霾天气对云高准确率的识别存在一定影响。利用激光云高仪数据,对雾、霾天气下的云高的识别需进行更深入的研究。

参考文献

- 陈臻懿,张玉钧,刘文清,等. 2010. 激光雷达探测合肥云层高度方法研究及分析, *激光技术*, 34(6):733-735.
- 高太长,刘磊,赵世军,等. 2010. 全天空测云技术现状及进展. *应用气象学报*, 21(1):101-109.
- 胡树贞,马舒庆,陶法,等. 2012. 地基双波段测云系统及其对比试验. *应用气象学报*, 23(4):441-450.
- 李思腾,马舒庆,高玉春,等. 2015. 毫米波云雷达与激光云高仪观测数据对比分析. *气象*, 41(2):121-218.
- 孙晓光,刘宪勋,贺宏兵,等. 2011. 毫米波测云雷达融化层自动识别技术. *气象*, 37(6):720-726.
- 谭涌波,陶善昌,吕伟涛,等. 2015. 双站数字摄像测量云高. *应用气象学报*, 16(5):629-637.
- 章文星,吕达仁. 2012. 地基热红外云高观测与云雷达及激光云高仪的相互对比. *大气科学*, 36(4):657-672.
- 中国气象局. 2003. 地面气象观测规范. 北京:气象出版社, 21-27.
- 仲凌志,刘黎平,葛润生. 2009. 毫米波测云雷达的特点及其研究现状与展望. *地球科学进展*, 24(4):383-391.
- Costa-Surós M, Calbó J, González J A, et al. 2013. Behavior of cloud base height from ceilometer measurements. *Atmos Res*, 6(127):64-76.
- Smith S, Toumi R. 2008. Measuring cloud cover and brightness temperature with a ground-based thermal infrared camera. *J Appl Meteor Climat*, 47(2):683-693.