

李伟, 赵培涛, 郭启云, 等. 国产 GPS 探空仪国际比对试验结果. 应用气象学报, 2011, 22(4): 453-462.

国产 GPS 探空仪国际比对试验结果

李 伟* 赵培涛 郭启云 王 緜

(中国气象局气象探测中心, 北京 100081)

摘 要

通过 2010 年 7 月 12 日—8 月 1 日第 8 届世界气象组织阳江国际探空比对, 采取同球比对施放方式, 选择芬兰 Vaisala 探空仪作为比对标准, 对中国参加国际比对的长峰探空仪与华云探空仪, 使用共 29 次同球比对数据, 从典型个例分析与统计分析两方面开展系统性评估。初步评估结果表明: 对于温度探测, 中国长峰探空仪整体系统偏差在 0.4°C 之内, 标准偏差在 0.7°C 之内, 中国华云探空仪在 30 km 高度以下性能与长峰探空仪相当, 但是 30 km 高度以上偏差明显增大; 对于气压与风的探测, 两者系统偏差与标准偏差均较小, 表明 GPS 定位以及气压与风的算法准确; 对于湿度探测, 与芬兰 Vaisala 探空仪相比, 还存在一定差距, 特别是低温性能需要提高。

关键词: 国产 GPS 探空仪; 阳江; 第 8 届国际探空比对

引 言

高空气象观测系统作为综合气象观测系统的重要组成部分, 在天气预报和气候监测中发挥着重要作用^[1], 同时, 高空气象观测资料对大气遥感真实性检验和校准的基准作用无可替代。世界气象组织认为影响观测数据质量的因素多种多样, 包括观测环境、观测仪器、业务规程等, 特别强调了观测仪器的稳定性和探测精度对于观测数据质量会产生直接影响^[2]。各种不同探空系统之间的国际比对是提高全球高空气象探测准确度和一致性的重要手段之一, 为了提高探空仪质量, 世界气象组织根据探测技术发展, 定期或者不定期举办国际探空比对试验。通过国际比对, 一方面评估各国业务探空仪的水平, 另一方面针对探空新技术与新设备进行测试与评估, 为探空业务发展奠定技术基础。1984 年在英国举行了第 1 届国际探空比对, 之后陆续在 1985 年美国、1989 年哈萨克斯坦、1993 年日本、2001 年巴西、2005 年毛里求斯、2010 年中国举办了 6 届国际探空比对, 期间还举办了一些特殊目的的国际比对, 例如 1995—1997 年俄罗斯, 以及 1995 年美国分别举行

了国际探空湿度传感器比对^[3-10]。对于比对方法, 一直沿用了同球施放的方法, 但是在比对数据评估方法方面一直处于发展变化中。在第 1 届和第 2 届国际比对, 采用气压高度对齐进行数据评估, 但是这首先要假设气压是精确的, 实际上这个假设前提很难满足, 影响了数据评估, 在以后的比对中改变了这种方式, 代之以气球飞行时间对齐进行数据评估, 保证了比对评估是针对同一观测对象; 为了保证国际比对数据的可比较性, 采用关联探空仪的方法, 即在不同的探空比对中采用相同类型的探空仪, 其比较结果可以将不同的探空比对数据与分析结果关联起来, 实现探空比对的可比较性; 在国际比对过程中, 逐渐将比对方式与比对评估方法标准化, 在此基础上, 还发展了一套国际比对标准分析软件 RS-KOMP, 这套软件在 1990—2000 年世界上许多探空仪比对中得到应用, 并且从 2005 年毛里求斯国际探空比对开始, 被世界气象组织指定为官方标准数据处理与产品生成软件, 实现了比对数据分析标准化。

从历届国际探空比对结果来看, 一些高质量探空仪的温度观测已经非常接近满足气候观测需求, 也就是温度精度达到 $0.1\sim 0.2\text{ K}$ ^[11-13]; 虽然湿度也有了长足的进步, 但是湿度仍然是一个挑战性的课

2010-10-22 收到, 2011-04-27 收到再改稿。

资助项目: 国家自然科学基金项目(40975064), 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106048)

* E-mail: lw1024@263.net

题,特别反映在对流层中层与高层的低温性能^[14];虽然气压传感器的测量精度也在不断提高,但是在气压小于 10 hPa 时,仍不能提供可靠的位势高度资料;令人鼓舞的是,现代 GPS 技术开始应用到气象探空领域,从 1993 年日本、2001 年巴西、2005 年毛里求斯,一直到 2010 年中国举办的国际探空比对,GPS 探空系统逐渐成为技术主流。探空仪的温度、湿度和经纬度、高度等数据经地面接收系统接收,并由相应的处理软件处理^[15],高空风是利用探空仪在相邻时刻的水平位置变化量计算^[16],经对比分析证明,GPS 探空系统与地面雷达测风系统相比,能够保证全量程的精度^[17]。GPS 定位不仅能够提供全量程高精度位势高度与测风数据,而且可以用来开展气压反算,2005 年毛里求斯国际探空比对结果显示,在 16 km 高度以上,反算气压精度高于气压传感器,16 km 高度以下,两者精度相当。

GPS 探空体制具有较大优势,针对 GPS 技术在气象探空中的应用,国内很早就开始这方面的研究。20 世纪 90 年代开始,国内许多学者就开始关注 GPS 定位技术在气象上的应用^[18-21];21 世纪初,国内逐步开展了 GPS 探空仪原理样机的设计^[22],马舒庆等最早研制了 GPS 探空仪并通过中国气象局试验考核^[23],特别是在 2008—2010 年,中国气象局组织了专门的国产 GPS 探空系统试验比对,国内有多个科研院所与厂家参加,最后遴选了两个型号的国产 GPS 探空系统参加了阳江国际探空比对。目前中国气象局已经完成了基于 L 波段二次测风雷达的电子探空仪换型工作,采用芬兰 Vaisala 公司 RS92 探空仪作为比对参考标准,对比结果显示中国的温度与气压观测结果表现相对较好,湿度、位势高度与风观测还存在较大的系统偏差^[24]。由于考虑到国家安全、业务稳定使用,以及价格等多方面因素,GPS 探空系统在中国虽然发展很早,也受到多方面关注,目前仍未进入中国业务应用,但是不可否认,卫星导航系统在探空位势高度计算、测风以及气压反算等方面都具有明显优势,未来随着中国北斗卫星导航系统的发展与成熟,中国探空业务必将过渡到卫星导航测风体制。

芬兰 Vaisala 公司的探空仪占国际市场的 67%,特别是 2001 年推出了采用 GPS 体制的数字化 RS92 探空仪,标志着芬兰 Vaisala 公司在探空技术上有了全新的发展^[25],李伟等对于芬兰 Vaisala 公司 RS92 探空仪性能开展评估,证明其可靠性高,一致性非常好^[26]。而本次比对中,根据世界气象组织初步分析结果,芬兰 Vaisala 探空仪性能稳定,探

测准确性与可靠性均较好,因此在本文中主要选用芬兰 Vaisala 探空仪作为参考标准开展分析。

通过本文分析结果,期望为未来卫星导航测风系统发展提供借鉴。

1 比对概况

2010 年 7 月 12 日—8 月 1 日,世界气象组织在我国广东阳江组织了第 8 届国际探空仪比对试验,共施放气球 72 次,主要目的是通过热带/亚热带高湿度条件下的高质量业务探空仪和研究型探空仪性能对比,为一些国家的区域基本气候网/区域基本天气网、高空基准观测站选用高质量业务探空仪提供参考。

该次比对,有来自中国、美国、德国、芬兰、南非、法国、瑞士、日本、韩国 9 个国家 16 种型号探空仪参与此次比对试验,其中瑞士 Snowwhite 露点式湿度仪、美国 CFH 霜点式湿度仪、美国 Multi-thermistor 多温度传感器探空仪,以及日本 MEISIE 温度参考探空仪、芬兰 Vaisala 湿度参考探空仪也参与了比对试验。参加比对的探空仪系统中,南京大桥机器有限公司的 GTS1-2 型 L 波段电子探空仪系统、航天科工集团第 23 研究所和中国华云技术开发公司的国产 GPS 探空仪系统参加了国际比对,除中国南京大桥机器有限公司的 GTS1-2 型 L 波段电子探空仪系统使用的是地面二次测风雷达外,其他探空仪系统都是基于卫星导航的探空仪系统。此外,全球观测系统(GCOS)委员会也首次派出专家参与此次比对试验。

在国际比对中,采取多个探空仪同球施放方式,气球采用中国化工橡胶株洲研究设计院研制生产的 2000 g 探空气球,支架使用柔韧性较好、长度 3 m 的竹竿交叉捆绑,探空仪悬挂距支架高度为 80 cm,气球绳长为 30 m。

航天科工集团第 23 研究所国产探空仪(下文中简称为长峰)与中国华云技术开发公司的国产 GPS 探空仪(下文中简称为华云)均采用珠状温度传感器与湿敏电容湿度传感器,其中长峰探空仪温度传感器型号为 MF51MP(直径为 0.8 mm),湿度传感器型号为 XC06(感应面积为 3.8 mm×5 mm),华云探空仪温度传感器型号为 MFB822-3470(直径为 0.8 mm),湿度传感器型号为 HC103M2(感应面积为 5.85 mm×2.85 mm),均采用 GPS 高度反算气压与 GPS 定位测风。

共参与了其中 30 次比对,分别与其他国家探空

仪进行同球对比施放。采用世界气象组织国际比对标准分析软件 RSKOMP 对对比数据进行分析,由于世界气象组织国际探空比对资料政策要求,本文仅对两个型号国产 GPS 探空仪性能开展分析,对于国外其他探空仪性能不做定量评述,待世界气象组织正式比对分析报告出版后,再做进一步分析。

2 比对分析

中国长峰探空仪、中国华云探空仪和芬兰 Vaisala 探空仪采取白天与晚上交替同球施放,共 30 次,其中中国长峰探空仪在 2010 年 7 月 15 日夜间放球在 2 km 以上发生信号突失,予以剔除,故有效同球对比施放为 29 次,其中 21 次飞行高度超过 30 km,气球平均升速达 6 m/s,每 2 s 接收一组探空数据。

在进行资料分析前,世界气象组织比对专家组对于比对资料进行了预处理,由于各参与比对厂家的地面接收系统不同,因此首先在 RSKOMP 软件中,根据温度对流层顶的变化特征,对于地面时间进行了校准处理,保证资料时间一致性。其次,对由于信号传输错误或者系统不稳定等原因造成的异常资料值进行剔除,以免影响统计结果。在进行上述资料预处理后,通过 RSKOMP 软件形成资料集元数据信息,之后再利用 RSKOMP 软件进行数据显示与统计分析。

本文采用芬兰 Vaisala 探空仪作为参考标准,结合典型个例,对于长峰探空仪与华云探空仪的系统偏差与标准偏差进行统计分析,在数据预处理的

基础上,采取时间对齐的方式,按照 Vaisala 探空仪高度进行分析。

2.1 温度

表 1 列出了芬兰 Vaisala 探空仪、中国长峰探空仪与中国华云探空仪的温度测量在不同统计高度层次上的样本数,可以看出,样本数随高度增加,总体上呈逐渐下降趋势。

表 1 各高度层温度统计样本数
Table 1 The temperature sample amount at different heights

分析高度/km	Vaisala	长峰	华云
2	6196	6195	6196
4	6035	6035	6035
6	5673	5673	5673
8	5413	5413	5413
10	5274	5274	5274
12	5058	5058	5058
14	4959	4959	4959
16	4660	4660	4660
18	5278	5278	5278
20	6317	6317	6317
22	5303	5303	5303
24	4684	6683	4683
26	4050	4050	4048
28	3643	3387	3435
30	3570	3290	3179
32	3302	3215	2970
34	3132	3132	2508
36	1891	1891	1117
38	280	280	40

图 1 中不同的颜色代表不同型号的探空仪温度统计结果,图 1a 为长峰探空仪和华云探空仪与 Vaisala 探空仪的系统偏差,图 1b 为标准偏差。

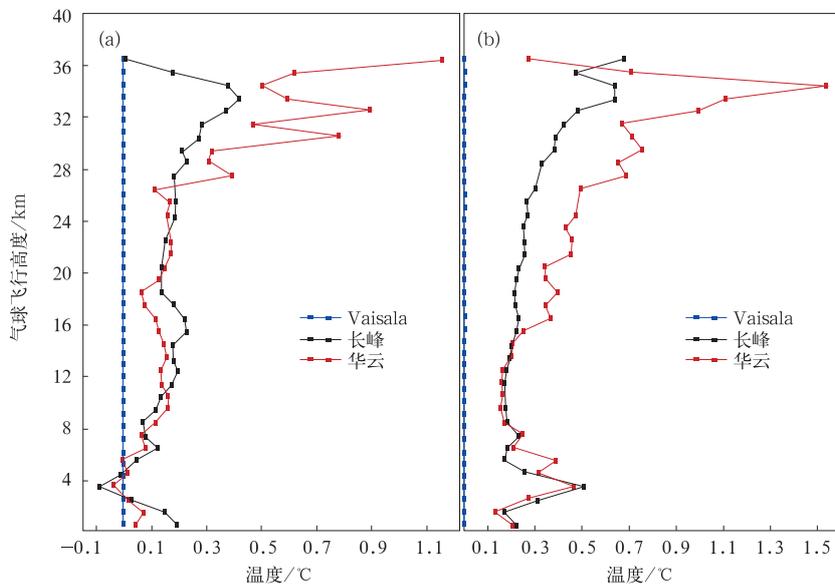


图 1 温度系统偏差(a)与标准偏差统计(b)

Fig. 1 Systematic errors (a) and standard deviations (b) of temperature statistics

由图1可见,与 Vaisala 探空仪温度观测结果相比,总体上除了 2~5 km 范围温度偏低外,长峰探空仪与华云探空仪温度观测结果偏高,并且长峰探空仪在系统偏差与标准偏差方面均好于华云探空仪。长峰探空仪整体相对系统偏差在 0.4℃之内,30 km 高度以下系统偏差在 0.2℃之内,表现比较稳定;华云探空仪在 26 km 高度以下系统偏差在 0.2℃之内,30 km 高度以下系统偏差在 0.4℃之内,但是 30 km 高度以上系统偏差明显增大,最大可达 1.1℃。对于温度标准偏差,均呈随高度变大趋势,长峰探空仪整

体在 0.7℃之内,变化较小,表现比较稳定,而华云探空仪 30 km 高度以下在 0.7℃之内,30 km 高度以上华云探空仪标准偏差变大,达到 1.5℃以上。

此外在比对施放中还发现长峰探空仪与华云探空仪均存在低层温度传感器水污染问题,在整个比对期间出现了 6 次,这可能是导致低层统计结果偏低的原因。

图2为中国长峰探空仪、中国华云探空仪和芬兰 Vaisala 探空仪同球施放的细微结构放大温度与湿度曲线,不同的颜色代表不同型号探空仪的探测结果。

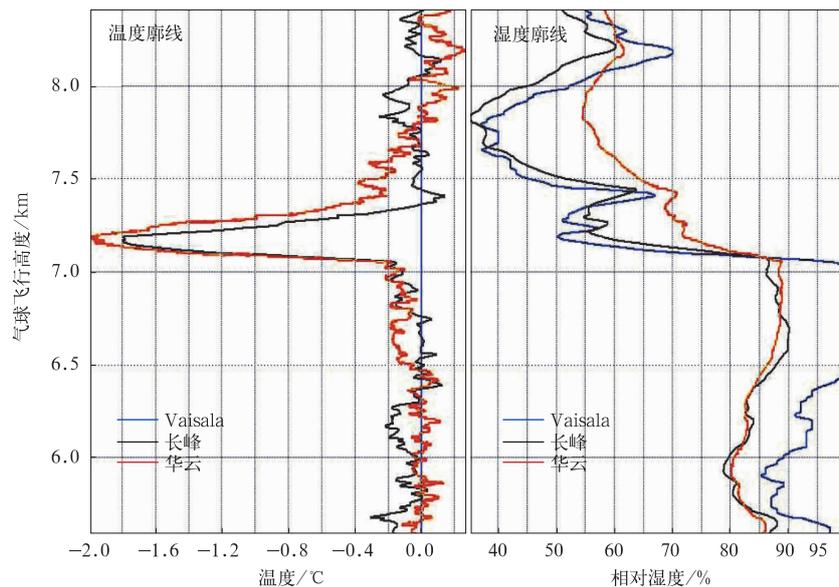


图2 2010年7月16日08:35(北京时间,下同)第11次施放低层细微结构放大温湿比对

Fig. 2 Fine temperature and humidity structures of the 11th flight at low level at 08:35 16 July 2010

由图2个例可见,根据探空湿度曲线分析,在 6~7 km 湿度达 85%以上,有云存在,因此可以判断,长峰探空仪与华云探空仪穿过此云层后,温度传感器表面沾水,过云后蒸发带走温度传感器热量,造成温度传感器急剧降温,因此需要改进温度表面防水涂层。另外,根据湿度曲线,可以发现 Vaisala 探空仪湿度探测结果明显可能超过 100%,被软件强行截断为 100%,这也提醒 Vaisala 探空仪仅为一个参考标准,要有分析地使用。

2.2 湿度

表2列出了芬兰 Vaisala 探空仪、中国长峰探空仪与中国华云探空仪的湿度测量在不同统计高度层次上的样本数,可以看出,样本数随高度增加,总体上呈逐渐下降趋势。

图3中不同的颜色代表不同型号的探空仪湿度统计结果,图3a为长峰探空仪和华云探空仪与 Vaisala 探空仪的系统偏差,图3b为标准偏差。

表2 各高度层湿度统计样本数

Table 2 The humidity sample amount at different heights

分析高度/km	Vaisala	长峰	华云
2	5850	5849	5850
4	5700	5700	5700
6	5352	5352	5352
8	5114	5114	5114
10	4072	4072	4072
12	4775	4775	4775
14	4862	4862	4862
16	4366	4366	4366
18	4990	4990	4990
20	5976	5976	5976
22	4956	4956	4956
24	4380	4379	4379
26	3770	3770	3768
28	3374	3118	3374
30	3202	3002	3202
32	2000	2934	2000
34	3240	3240	3240
36	1877	1877	1877
38	240	240	240

由图 3 可见,长峰探空仪与华云探空仪湿度探测性能总体相当。对流层顶以下,与 Vaisala 探空仪观测结果相比,长峰探空仪湿度探测结果除距地面 2~5 km 外基本呈偏干状态,14 km 高度以下系统偏差在 4% 之内,14 km 以上明显变大,可达 12%;在 12 km 高度以下,华云探空仪湿度探测结果除在 2 km 高度以下外,基本呈偏湿状态,14 km 高度以下系统偏差在 6% 之内,14 km 高度以上明显变大,可达 20%;对于标准偏差,长峰探空仪与华云探空仪从地面至对流层顶,逐渐呈增大趋势,从地

面 2%~3% 以内一直增大到 14%~17%,其中长峰探空仪较华云探空仪标准偏差略小。湿度系统偏差与标准偏差从地面到对流层顶逐渐偏大,可以归结为湿度元件本身稳定性不高,随着温度下降,性能变差。而对流层顶以上,湿度探测结果准确度已经很差,因此可以不予对比分析。

为了进一步了解长峰探空仪和华云探空仪湿度传感器的温度特性,下面选取典型个例进行分析。

图 4 为中国长峰探空仪、中国华云探空仪和芬兰 Vaisala 探空仪同球施放的温度与湿度廓线,不

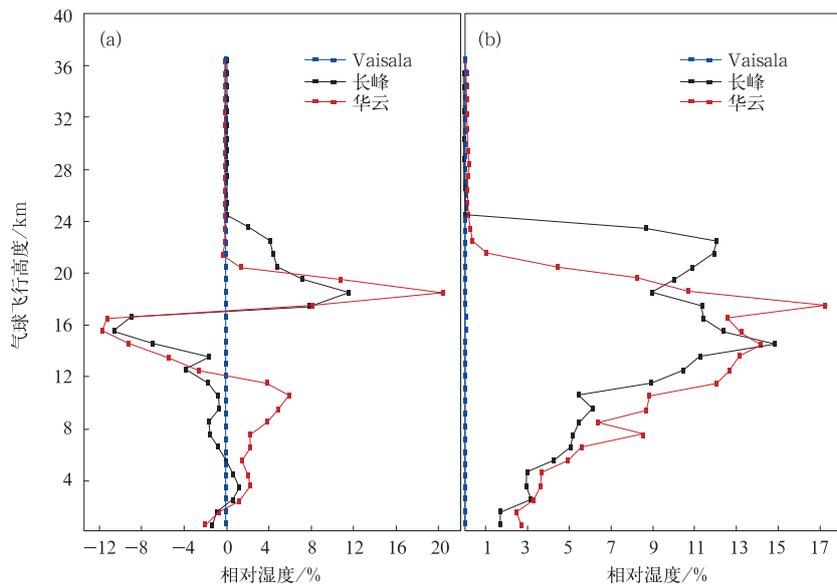


图 3 湿度系统偏差(a)与标准偏差(b)统计

Fig. 3 Systematic errors (a) and standard deviations (b) of humidity statistics

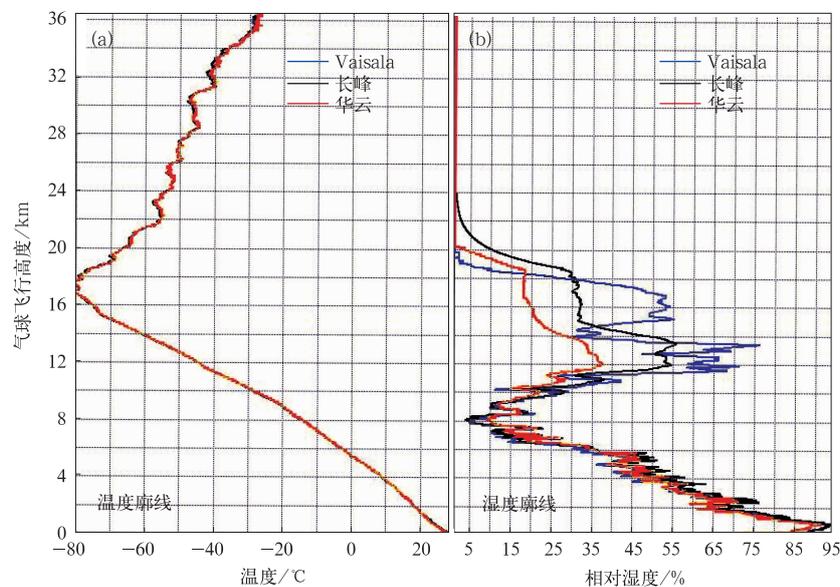


图 4 2010 年 7 月 14 日 08:00 第 1 次同球施放温湿比对

Fig. 4 Temperature and humidity profiles of the 1st flight at 08:00 14 July 2010

同颜色代表不同型号探空仪的探测结果。

由图 4 可见,长峰探空仪在外界测量环境温度 -60°C 以下与 Vaisala 探空仪湿度探测结果一致性很好,之后反应逐渐变慢;华云探空仪在外界测量环境温度 -40°C 以下与 Vaisala 探空仪湿度探测结果一致性很好,之后反应逐渐变慢;对流层顶以上,湿度探测结果已经明显变差。

2.3 气压

由于芬兰 Vaisala 探空仪、中国长峰探空仪和中国华云探空仪均采用 GPS 高度反算的方式进行气压探测,因此气压测量结果主要取决于 GPS 定位精度与 GPS 高度气压反算算法,而中国长峰探空仪和中国华云探空仪使用相同的气压反算公式,因此气压测量结果就主要依赖于 GPS 定位精度。

表 3 列出了芬兰 Vaisala 探空仪、中国长峰探空仪与中国华云探空仪的气压测量在不同统计高度层次上的样本数,可以看出,样本数随高度增加,总体上呈逐渐下降趋势。

图 5 中不同的颜色代表不同型号的探空仪气压

统计结果,图 5a 为长峰探空仪和华云探空仪与 Vaisala 探空仪的系统偏差,图 5b 为标准偏差。

表 3 各高度层气压统计样本数
Table 3 The pressure sample amount at different heights

分析高度/km	Vaisala	长峰	华云
2	6196	6195	6196
4	6035	6035	6035
6	5873	5873	5873
8	5413	5413	5413
10	5274	5274	5274
12	5058	5058	5058
14	4059	4059	4059
16	4660	4660	4660
18	5278	5278	5278
20	6317	6317	6317
22	5303	5303	5303
24	4684	4683	4683
26	4050	4050	4048
28	3643	3388	3643
30	3570	3290	3570
32	3302	3246	3302
34	3514	3514	3514
36	2203	2203	2203
38	280	280	280

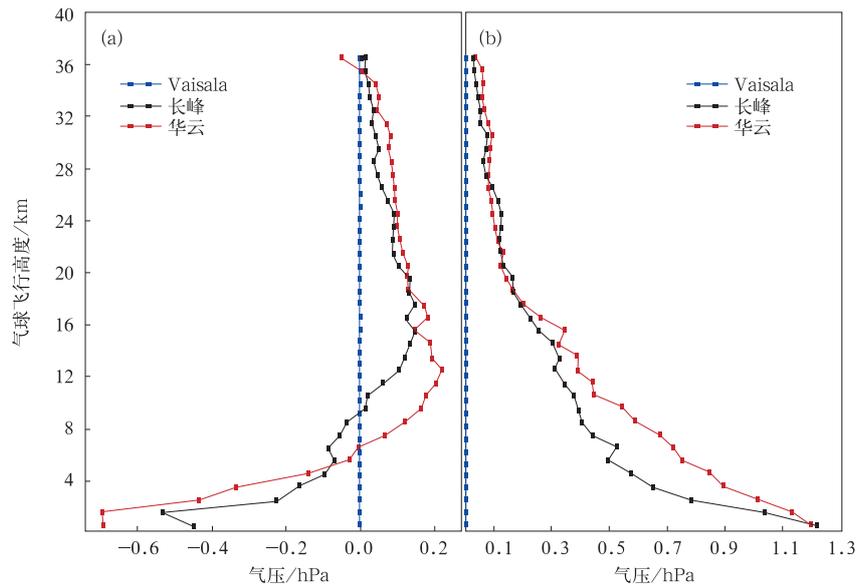


图 5 气压高度反算系统偏差(a)与标准偏差(b)统计

Fig. 5 Systematic errors (a) and standard deviations (b) of pressure retrieved from GPS height statistics

由图 5 可见,与 Vaisala 探空仪气压反算结果相比,长峰探空仪好于华云探空仪。长峰探空仪与华云探空仪均呈低层气压系统偏差为负值,高层为

正值的趋势,整体上系统偏差均较小,正负最大绝对误差值不超过 1 hPa,其中长峰探空仪结果略小;对于标准偏差,从地面到高空呈递减趋势,最大标准偏

差为地面点的 1.2 hPa,其中长峰探空仪标准偏差略小。

2.4 风

表 4 列出了芬兰 Vaisala 探空仪、中国长峰探

表 4 各高度层风统计样本数

Table 4 The wind sample amount at different heights

分析高度/km	Vaisala	长峰	华云
2	6196	6195	6196
4	6035	6035	6035
6	5873	5873	5873
8	5413	5413	5413
10	5274	5274	5274
12	5058	5058	5058
14	4059	4059	4059
16	4660	4660	4660
18	5278	5278	5278
20	6317	6317	6317
22	5303	5303	5303
24	4684	4683	4683
26	4050	4050	4048
28	3643	3388	3643
30	3570	3570	3570
32	3302	3302	3302
34	3514	3514	3514
36	2203	2203	2203
38	280	280	280

空仪与中国华云探空仪的风测量在不同统计高度层次上的样本数,可以看出,样本数随高度增加,总体上呈逐渐下降趋势。

图 6 中不同的颜色代表不同型号的探空仪南北风分量统计结果,图 6a 为长峰探空仪和华云探空仪与 Vaisala 探空仪的系统偏差,图 6b 为标准偏差。图 7 类似,但为东西风分量。

由图 6 可见,相较 Vaisala 探空仪,长峰探空仪与华云探空仪南北风分量系统偏差较小,华云探空仪最系统偏差为 $0.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,长峰探空仪最大系统偏差为 $0.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,华云探空仪略好。此外,南北风分量整体偏大,并且从低层到高层呈增大趋势;对于标准偏差,华云探空仪表现较为稳定,为 $0.2 \sim 0.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,而长峰探空仪则整体波动稍大,为 $0.2 \sim 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

对于东西风分量,由图 7 可见,长峰探空仪与华云探空仪系统偏差均较小,均在 $0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之内,华云探空仪整体偏负,而长峰探空仪在 22 km 高度以上整体也偏负;对于标准偏差,介于 $0.2 \sim 0.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,24 km 高度以下长峰探空仪标准偏差较小,24 km 高度以上华云探空仪标准偏差较小。

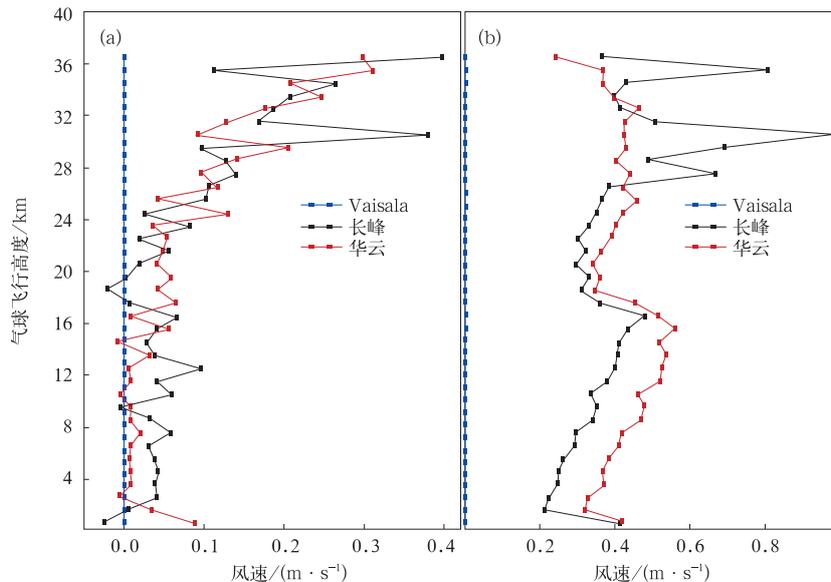


图 6 南北风分量系统偏差(a)与标准偏差(b)统计

Fig. 6 Systematic errors (a) and standard deviations (b) of north-south wind component statistics

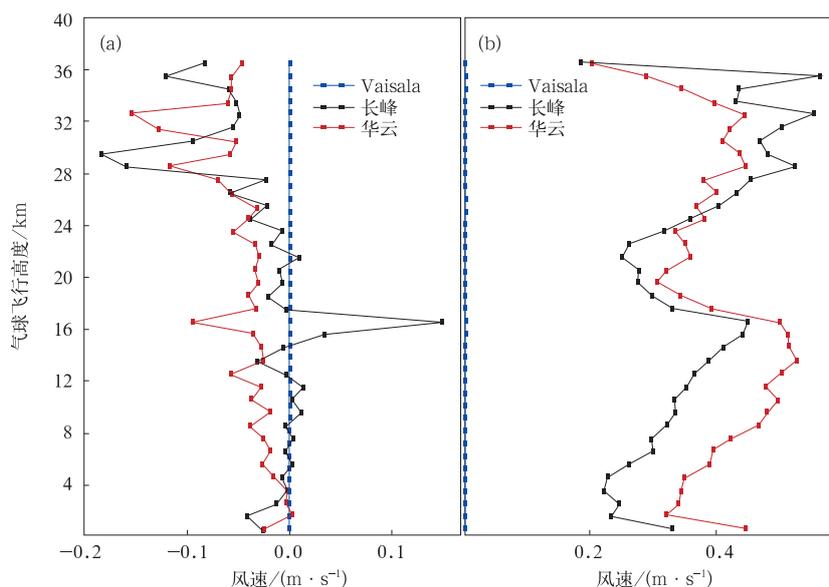


图 7 东西风分量系统偏差(a)与标准偏差(b)统计

Fig. 7 Systematic errors (a) and standard deviations (b) of west-east wind component statistics

3 结论与展望

1)对于温度探测,中国长峰探空仪和中国华云探空仪温度探测结果与芬兰 Vaisala 探空仪较为一致,整体系统偏差在 0.4°C 之内,表明我国探空仪温度传感器性能较好,但在高空 30 km 高度以上,需进一步提高准确性;此外,温度传感器还存在表面沾水问题,需要改进表面涂层工艺。

2)对于湿度探测,从目前比对的结果来看,中国长峰探空仪和中国华云探空仪系统与其他国家有一定的差距,具体表现在低温探测性能较差。

3)对于气压探测,中国长峰探空仪和中国华云探空仪与芬兰 Vaisala 探空仪系统结果比较接近,正负最大绝对系统偏差不超过 1 hPa,表明我国探空系统位势高度定位计算及气压反算性能优异。

4)对于风的观测,与芬兰 Vaisala 探空仪结果比较,中国长峰探空仪和中国华云探空仪系统偏差与标准偏差相比均较小,表明我国 GPS 探空仪系统定位功能优异,风处理算法准确。

通过国际比对,今后将借鉴国外探空仪的经验,重点改进 30 km 高度以上温度测量精度以及温度传感器表面防水涂层设计;对于湿度元件进行进一步性能测试,开展与高性能瑞士露点式湿度探空仪的比对,以期从算法方面改进湿度探测结果;此外将

有关 GPS 相关算法进行固化,以备为今后业务定型以及未来北斗探空仪的研制进行技术储备。

参考文献

- [1] 宋连春,李伟.综合气象观测系统的发展.气象,2008,34(3): 3-9.
- [2] WMO. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation(V7.0). Geneva:WMO, 2006.
- [3] Hooper A H. WMO International Radiosonde Comparison, Phase I, Beaufort Park,U. K., 1984. WMO/TD-No.174, Instruments and Observing Methods Report No. 28. Geneva:WMO,1986.
- [4] Schmidlin F J. WMO International Radiosonde Comparison, Phase II, Wallops Island, USA, 1985. WMO/TD-No. 312, Instruments and Observing Methods Report No. 29. Geneva: WMO,1988.
- [5] Nash J, Schmidlin F J. WMO International Radiosonde Comparison, (U. K., 1984, U. S. A., 1985) Final Report. WMO/TD-No. 195, Instruments and Observing Methods Report No. 30. Geneva:WMO,1987.
- [6] Ivanov A, Kats A, Kumosenko S, et al. WMO International Radiosonde Intercomparison Phase III (Dzhambul, USSR, 1989) Final Report. WMO/TD-No. 451, Instruments and Observing Methods Report No. 40. Geneva:WMO,1991.
- [7] Yagi S, Mita A, Inoue N. WMO International Radiosonde Intercomparison Phase IV (Tsukuba, Japan, 1993) Final Report. WMO/TD-No. 742, Instruments and Observing Methods Report No. 59. Geneva:WMO,1996.
- [8] Balagurov A, Kats A, Krestyannikova N, et al. WMO Radiosonde Humidity Sensor Intercomparison, 1995. WMO/

- TD-No. 1305, Instruments and Observing Methods Report No. 88. Geneva:WMO,2006.
- [9] Da Silveira, Fisch R G, Machado L, et al. WMO Intercomparison of GPS Radiosondes, Alcantara, Brazil, 2001. WMO/TD-No. 1314, Instruments and Observing Methods Report No. 90. Geneva:WMO,2006.
- [10] Nash J, Smout R, Oakley T, et al. WMO Intercomparison of High Quality Radiosonde Systems Final Report (Vacaos, Mauritius, 2005), Geneva:WMO,2006.
- [11] GCOS. 2002; Manual on the GCOS Surface and Upper-Air Networks: GSN and GUAN, GCOS73. WMO/TD-No. 1106, Geneva:WMO, 2002.
- [12] GCOS. 2007; GCOS Reference Upper-Air Network (GRUAN): Justification, Requirements, Siting and Instrumentation Options, GCOS112. WMO/TD-No. 1379, Geneva:WMO, 2007.
- [13] Haimberger L. Homogenization of radiosonde temperature time series using innovation statistics. *J Climate*, 2007, 20(7):1377-1403.
- [14] Sapucci Luiz F, Luiz A T Machado, Reinaldo B, et al. Analysis of relative humidity sensors at the WMO radiosonde intercomparison experiment in Brazil. *J Atmos Ocean Technol*, 2005,22(6):664-678.
- [15] 姚雯,郑国光,郭亚田,等. 气象探空测风软件系统的标准化研究. 应用气象学报, 2004, 15(1):88-94.
- [16] 黄炳勋. C波段测风一次雷达的跟踪特性及其应用前景. 应用气象学报,1995,6(2):153-162.
- [17] 姚雯,马颖,黄炳勋,等. 利用GPS定位资料分析L波段雷达测风性能. 应用气象学报,2009,20(2):195-202.
- [18] 毛节泰. GPS的气象应用. 气象科技, 1993, 21(4):45-49.
- [19] 朱喜林. GPS及其在大气探测中的应用. 气象水文海洋仪器, 2004(1):42-46.
- [20] 李国平,黄丁发. GPS气象学研究及应用的进展与前景. 气象科学,2005,25(6):651-661.
- [21] 秦晓军. GPS技术在气象探空测风中的应用. 陕西气象, 2006(3):29-30.
- [22] 徐刚,王培延. GPS气象探空仪原理与工程设计. 导航,2005, 41(2):115-118.
- [23] 马舒庆,李峰,邢毅. 从毛里求斯国际探空系统对比看全球探空技术的发展. 气象科技,2006,34(5):606-609.
- [24] 李伟,邢毅,马舒庆. 国产GTS1探空仪与VAISALA公司RS92探空仪对比分析. 气象, 2009,35(10):97-102.
- [25] Jauhiainen H, Lehmuskero M. Vaisala White Paper, Performance of the Vaisala Radiosonde RS92-SGP and Vaisala DigiCORA[®] Sounding System MW31 in the WMO Mauritius Radiosonde Intercomparison, 2005.
- [26] 李伟,房岩松,王緬. 芬兰VAISALA公司RS92探空仪测量结果不确定度分析. 仪器仪表学报,2009,30(6):89-91.

The International Radiosonde Intercomparison Results for China-made GPS Radiosonde

Li Wei Zhao Peitao Guo Qiyun Wang Mian

(Meteorological Observation Center of CMA, Beijing 100081)

Abstract

Based on total 29 groups observation data of the 8th WMO International Radiosonde System Intercomparison, using the same balloon releasing method and mainly choosing Vaisala radiosonde measurements as relative reference standard, the systematic evaluation for Changfeng China-made GPS radiosonde system and Huayun China-made GPS radiosonde system is carried out including typical examples analysis and statistics analysis. The initial evaluation results show that for temperature observation, the value of both domestic radiosonde is higher compared to Vaisala radiosonde. The relative systematic error of Changfeng radiosonde is within 0.4℃ and standard deviation is within 0.7℃, the Huayun radiosonde owns similar performance, but its error obviously increases. For humidity observation, the observation data of Changfeng radiosonde below 16 km basically show dry trend compared to Vaisala radiosonde, and below 12 km humid trend for Huayun radiosonde. Below 14 km the relative systematic errors for Changfeng radiosonde and Huayun radiosonde can be within 4% and 6%, respectively, and above 14 km the relative systematic errors obviously increase, reaching 12% and 20%, respectively, and the standard deviations for

