

# 国产 GTS1 探空仪与 VAISALA 公司 RS92 探空仪对比分析

李 伟 邢 毅 马舒庆

(中国气象局气象探测中心,北京 100081)

**提 要:** 文章从静态指标与动态对比两个方面,对中国国产 GTS1 探空仪与芬兰 Vaisala 公司 RS92 探空仪的综合性能进行对比。对比结果表明,GTS1 探空仪温度存在滞后误差,RS92 探空仪湿度测量结果明显好于 GTS1 探空仪,200hPa 以上 RS92 探空仪气压变化低于 GTS1 探空仪,测风精度方面 RS92 探空仪高于 GTS1 探空仪,850hPa 以下和 150hPa 以上 GTS1 探空仪测风与 RS92 探空仪存在  $1\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  以内的系统差,RS92 探空仪在整体性能上高于 GTS1 探空仪。

**关键词:** GTS1 RS92 探空仪 对比

## The Analysis and Comparison Between GTS1 Radiosonde Made in China and RS92 Radiosonde of Vaisala Company

Li Wei Xing Yi Ma Shuqing

(Meteorological Observation Center, CMA, Beijing 100081)

**Abstract:** The analysis and comparison are carried out between GTS1 radiosonde and RS92 radiosonde from both static performance indices and dynamic characteristics, and the results show that the time lag effect exists in the temperature measurement of GTS1 radiosonde, and the RS92 radiosonde gets obviously better humidity measurement effect and lower pressure measurement above 200hPa than the GTS1 radiosonde. Meanwhile, the RS92 radiosonde owns a higher wind measurement precision and there exist systematic errors about  $1\text{m/s}$  when the GTS1 radiosonde is located below 850hPa and above 150hPa. On the whole, RS92 radiosonde owns better performance.

**Key Words:** GTS1 RS92 radiosonde comparison

## 引 言

用数值模式做有限区域的天气预报,需要探空资料为数值模式提供初始场<sup>[1]</sup>。除了常规北京 08 时与 20 时外,14 时探空数据对于对流天气短时临近潜势预报作用非常明显<sup>[2]</sup>,单站探空资料可用来开展辅助天气服务<sup>[3-4]</sup>。无线电探空仪在 20 世纪 20 年代后得到快速发展<sup>[5-6]</sup>。常规高空气象探测系统主要包括地面探空雷达、探空气球、探空仪三个部分,气象探空采取释放携带探空仪的探空气球,接收探空仪发送回地面的探空信息,再对探空信息进行整理与传输;在高空探测过程中,将探空气球视作随空气流动的质点进行追踪,获取大气中温度、湿度、气压、风向、风速随时间和空间分布的资料。我国主要使用雷达探空体制,从 2002 年开始,对探空系统进行升级换代,基本上形成了以 L 波段探空系统为主体的探空体系,L 波段探空系统包括 GTS1 电子探空仪与地面 L 波段探空雷达,资料的时空密度明显加大,探测精度得到大幅度提升。

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,其中特别强调了观测仪器的稳定性与探测精度对于观测数据质量会产生直接的影响<sup>[7]</sup>。姚琪从 L 波段探空系统信噪比角度出发,对 L 波段探空系统的测量精度进行分析,得到性能符合指标要求的结论<sup>[8]</sup>。陶士伟等利用观测资料减模式背景场差的统计分析技术和贝塞尔函数拟合法分离观测误差技术,分析了 2005 年 3—5 月我国 36 个 L 波段探空仪探测的温度误差特性,表明 L 波段探空仪温度随机误差明显减小<sup>[9]</sup>。黄炳勋等利用台站业务换型对比施放数据开展 L 波段探空系统的探测数据质量分析,表明与 59-701 探空系统相比,离散度明显减小,提

高了探测数据可靠性<sup>[10]</sup>。根据 2005 年在毛里求斯开展的气象探空国际比对结果,可以看出 GPS 探空体制具有较大的优势,是未来气象探空的发展方向<sup>[11-12]</sup>。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 Vaisala 在探空技术上有了全新的发展。

因此,为了全面评估我国的高空气象探测质量,有必要将我国的 GTS1 探空仪与 Vaisala 公司 RS92 探空仪进行对比,找出与国际探空水平的差距。

## 1 静态指标分析

RS92 探空仪与 GTS1 探空仪的静态指标对比见表 1。

表 1 RS92 探空仪与 GTS1 探空仪主要性能对照

| 项目   | RS92 探空仪                               | GTS1 探空仪   |
|------|--|--|
| 测温范围 | -90~60℃                                | -90~50℃  |
| 测温精度 | 0.2℃                                   | 0.3℃   |
| 测压范围 | 1080~3hPa                              | 1060~5hPa  |
| 测压精度 | 0.4hPa(100hPa 以上)<br>0.3hPa(100hPa 以下) | 2hPa(500hPa 以上)<br>1hPa(500hPa 以下)   |
| 测湿范围 | 0~100%                                 | 0~100%   |
| 测湿精度 | 2%                                     | 5%(-25℃ 以上)<br>10%(-25℃ 以下)  |
| 测风精度 | 1m·s <sup>-1</sup>                     | 1m·s <sup>-1</sup> (10m·s <sup>-1</sup> 以下)<br>10%(10m·s <sup>-1</sup> 以上) |

从技术角度分析,RS92 探空仪与 GTS1 探空仪存在以下不同:

(1) RS92 探空仪的温度传感器采用变电容丝,辐射特性好,灵敏度高;GTS1 探空仪温度传感器使用杆状热敏电阻,理论分析长短波辐射和滞后系数带来的误差很大。

(2) RS92 探空仪的湿度传感器采用薄膜电容器,预加热双一传感器设计,通过交替加热的方法可以较好地消除空气中水汽对传感器表面的污染,湿度测量的灵敏性和准确度较好;GTS1 探空仪的湿敏电阻传感器,存

在稳定性差、低温特性不一致、滞差环大等因素,会影响测量精度。

(3) GPS 导航定位精度要优于二次测风雷达测距测角体制,而 GTS1 探空仪由于采用二次测风雷达体制,探空仪三维定位精度低于 GPS 导航定位精度,所以风向风速测量精度技术指标也会存在一定的差距。

(4) 芬兰 Vaisala 公司采取测量电路与传感器同时放入测试箱体进行标定的方法,因此 RS92 探空仪标定更为准确;GTS1 探空仪只对传感器进行测试,未对测量电路进行检测,会影响测量精度。

(5) RS92 探空仪带宽为 4.8kHz,带宽窄;GTS1 探空仪带宽为 3MHz,地面接收系统带宽为 6MHz,占用频率范围较宽。

## 2 动态数据分析

2007 年 6 月,中国气象局气象探测中心在大气探测综合试验基地对国产 GTS1 探空仪和芬兰 Vaisala 公司 RS92 探空仪进行了动态同球施放对比,这次动态对比共施放 20 次。

### 2.1 方案设计

#### (1) 施放方法

这次对比借鉴国际探空仪对比的方法,每次同球施放 3 个 RS92 探空仪和 1 个 GTS1 探空仪。系挂和施放方法:用两根长 2m 左右的竹竿固定为十字支架,支架由一个 2000g 的气球携带,气球与支架相距 30m,平均升速控制在  $5 \sim 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  左右。3 个 RS92 探空仪和 1 个 GTS1 探空仪在施放前分别挂在竹竿端头,系挂探空仪的绳长约 0.5m,避免传感器触碰竹竿和天线相互缠绕。相同要素的传感器保持同一高度。

参加这次动态对比的设备为 3 套 Vaisala 公司的 RS92 探空仪和 1 套 GTS1 探空仪,编号分别为 1~4 号。

#### (2) 统计方法

以同球施放的 3 个 RS92 探空仪的测量平均值作为标准值,求出每个 GTS1 探空仪测量值和标准值的差,称为系统差  $d$ ,对秒数据和各规定层的系统差  $d$  进行平均值和标准差的统计。

假设 GTS1 探空仪的测量值为  $L$ ,则:

$$d = L - \frac{G_1 + G_2 + G_3}{3}$$

### 2.2 数据分析

温度秒数据对比见图 1,可以看出,在对流层,GTS1 探空仪比 RS92 探空仪的温度偏高,而到了对流层以上,GTS1 探空仪低于 RS92 探空仪;规定层温度对比情况见图 2,GTS1 探空仪与 RS92 探空仪对比,温度的系统差随高度增加而加大,250hPa 以上离散性变大,100hPa 以上 GTS1 探空仪温度明显比 RS92 探空仪偏低。这可能是由于在对流层,温度随高度降低,而到了对流层以上,温度随着高度升高;RS92 探空仪温度传感器比 GTS1 探空仪温度传感器反应灵敏,GTS1 探空仪温度传感器反应滞后。

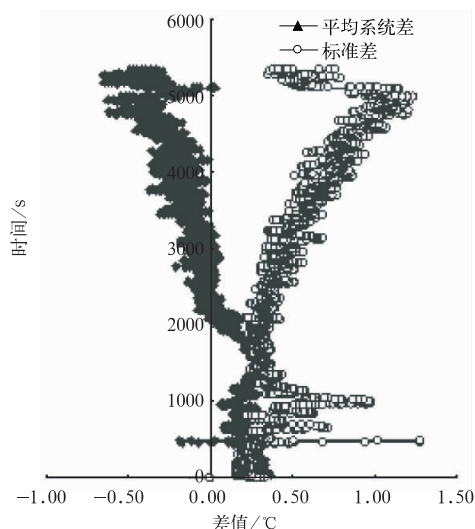


图 1 温度秒数据对比

相对湿度秒数据对比见图 3,在对流层,呈现负偏差,在对流层以上,呈现正偏差;相

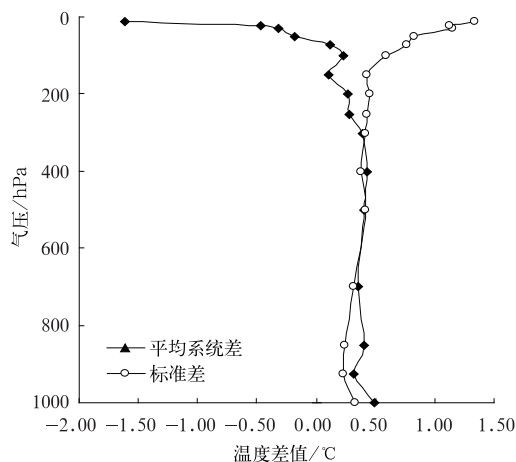


图2 温度规定层数据对比

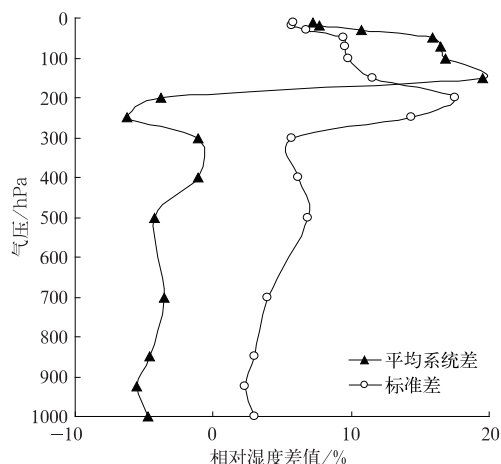


图4 相对湿度规定层数据对比

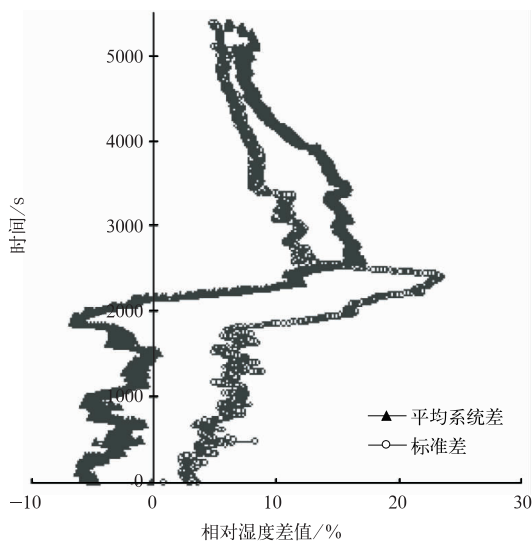


图3 相对湿度秒数据对比

对湿度对比情况见图4, GTS1 探空仪和 RS92 探空仪对比,湿度的差值和变化范围均较大,200hPa 以下平均系统差为负值,200hPa 以上迅速增大到正值,与前面的分析一致。

在相对湿度较大的对流层中,由于 GTS1 探空仪湿度存在过饱和和不能及时恢复的问题,而在软件处理时均将其处理成相对湿度 2%,因此造成平均系统差为负值;对流层以上,由于相对湿度迅速降低,而 GTS1 探空仪湿度下降较慢,因此其中一段出现 GTS1 探空仪湿度

与 RS92 探空仪偏差增大的现象。

气压秒数据对比见图5,在对流层, GTS1 探空仪与 RS92 探空仪的气压平均系统差约为 0.3hPa,随着高度增加, GTS1 探空仪的气压低于 RS92 探空仪,两系统的标准差为 0.5hPa。

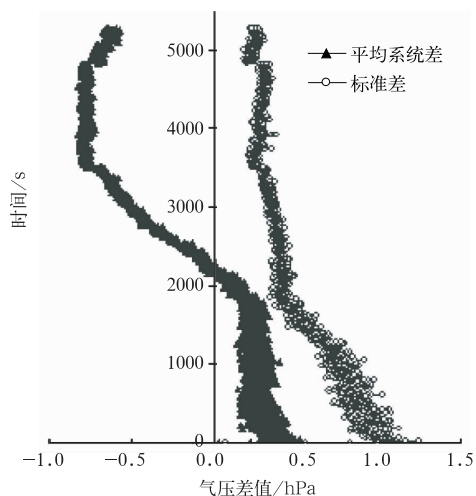


图5 气压秒数据对比

图6为2007年6月18日15时3个RS92探空仪和1个GTS1探空仪同球施放在10hPa时气压变化的情况。可以看出, GTS1 探空仪先于 RS92 探空仪达到10hPa的趋势更加明显,到10hPa时最大已超过2

分钟。根据以上分析结果,也可以解释 GTS1 探空仪位势高度大于 RS92 系统位势高度的现象。

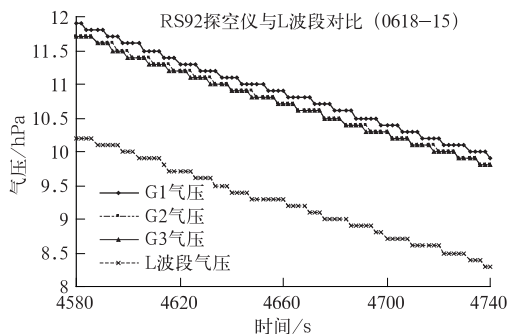


图 6 2007 年 6 月 18 日 15 时 10hPa 气压对比

规定层高度对比情况见图 7, GTS1 探空仪和 RS92 探空仪对比, 高度测量值呈现出随高度增加而增大的趋势, 100hPa 后趋势更加明显, 这与上面 GTS1 探空仪达到规定层时间较早的结论一致。

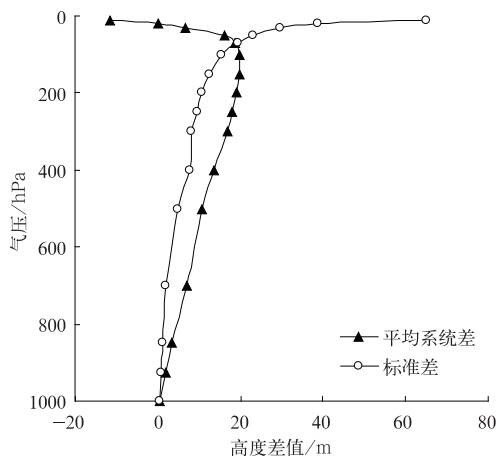


图 7 规定层高度数据对比

风速风向对比情况见图 8 和图 9, 可以看出 850hPa 以下和 150hPa 以上 GTS1 探空仪测风与 RS92 探空仪存在  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  以内的平均系统差, 风速各规定层平均系统差在  $-1.14 \sim 0.28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  之间, 标准差在  $0.75 \sim 3.46 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  之间; 风向平均系统差在  $-10^\circ \sim 12^\circ$  之间, 标准差在  $6.8^\circ \sim 41.6^\circ$  之间。

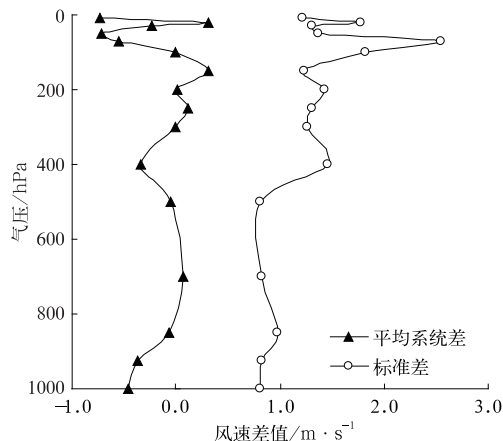


图 8 规定层风速数据对比

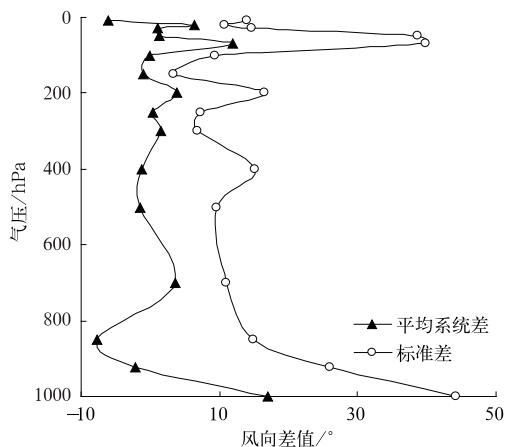


图 9 规定层风向数据对比

### 3 小结与讨论

通过 GTS1 探空仪与 RS92 探空仪的对比, 可以得到如下结论:

(1) 从静态指标来看, 与 GTS1 探空仪相比, RS92 探空仪在传感器技术与无线电占用带宽方面具有优势。

(2) GTS1 探空仪的温度在 200hPa 以下高于 RS92 探空仪, 其后逐步减小变为负值, 存在滞后误差, 温度标准差随高度增大。

(3) GTS1 探空仪气压在 200hPa 以下高于 RS92 探空仪, 其后逐步减小变为负值,

高度标准差随高度增大。

(4) 虽然湿度的变化趋势基本一致,但 RS92 探空仪测量的湿度明显要好于 GTS1 探空仪,表现在 GTS1 探空仪在湿度从高湿到低湿反复变化后,灵敏度降低,滞后比较大。

(5) 与 RS92 探空仪对比,850hPa 以下和 150hPa 以上 GTS1 探空仪测风与 RS92 探空仪存在  $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  以内的系统差。

(6) 综合总体各项性能指标,RS92 探空仪要好于 GTS1 探空仪。

未来为了进一步提升我国气象探空水平,需要尽快提高传感器性能,特别是湿度传感器。目前业务上使用湿敏电阻湿度传感器测量相对湿度,在低温与高湿测量性能较差,未来建议采用湿敏电容来进行替代;对于温度传感器,目前使用的是体积较大的棒状温度传感器,进一步减小体积是未来的发展趋势,未来建议采用体积较小的珠状电阻或电容进行替代,同时进一步加强辐射订正算法研究;对于风向与风速误差问题,一方面可能是由于地面雷达系统的侧角误差大,另一方面也可能是算法问题;目前采用的是整分钟 5 点斜距、仰角和方位角平均后计算风向与风速,会造成脉动值较大,已经有研究结果表明采用 1 分钟滑动平均窗口的矢量风计算方式会大大减小误差。

在此基础上,要进一步提高检测能力,解决传感器与测量电路综合检测问题,提高观测精度;此外无线电频率资源愈加紧张,减小无线电占用带宽也是未来的一个发展方向。

## 参考文献

- [1] 田永祥,沈桐立,葛孝贞,等. 数值天气预报教程[M]. 北京:气象出版社,1995,275-282.
- [2] 廖晓农,俞小鼎,谭一洲. 14 时探空在改进北京地区对流天气潜势预报中的作用[J]. 气象,2007,33(3), 28-32.
- [3] 杨红梅,葛润生. 用单站探空资料分析对流层气柱水汽总量[J]. 气象,1998,24(9), 8-11.
- [4] 杨梅,李玉林,单九生,等. 新一代雷达风廓线与探空风廓线资料相关分析[J]. 气象,2006,32(6):20-24.
- [5] 宋连春,李伟. 综合气象观测系统的发展[J]. 气象,2008,34(3):3-9.
- [6] 黄炳勋. 国内外常规高空观测技术发展近况综述[J]. 气象,1994,20(5):3-9.
- [7] WMO. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation (V7. 0) [M], Geneva, 2006.
- [8] 姚琪. 新型 L 波段二次册封雷达系统测量精度分析[J]. 现代雷达,2006,28(11):22-24.
- [9] 陶士伟,陈晓红,龚建东. L 波段探空仪温度资料误差分析[J]. 气象,2006,32(10):46-51.
- [10] 黄炳勋,郭亚田,陶士伟,等. L 波段雷达-电子探空仪系统探空资料质量初析[C]. 中国气象学会 2003 年年会,2003,158-162.
- [11] Jauhainen 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, February 2005.
- [12] Nash J, Smout R, Oakley T, et al. WMO Intercomparison of High Quality Radiosonde Systems, Final report, Vacoas, Mauritius, 2-25 February 2005.