

苑跃,陈中钰,赵晓莉,等. 2014. L 波段与 59-701 探空系统观测资料差异评估. 气象, 40(2):238-246.

L 波段与 59-701 探空系统观测资料差异评估^{*}

苑 跃 陈中钰 赵晓莉 王 凌 主召华 吴 昭 白端琴

四川省气象信息中心, 成都 610072

提 要: 利用四川在 59-701 探空系统向 L 波段雷达 GTS1 型电子探空仪系统转变时, 就 4 个高空台站开展了两套系统对比观测的资料进行了差异评估。结果表明: 太原厂 59 型探空仪所测的温度、位势高度比上海厂 59 型探空仪所测偏高。100 hPa 高度以下温度、位势高度观测数据没有明显的跳变, 但以上高度换型带来的变化较明显; 两套系统所测湿度差异较大, 近地面差值最小, 差值随高度升高而增大; L 波段系统所测湿度基本是低于 59-701 系统所测湿度。两套系统所测平均风向、平均风速差异较小。直接差异各要素差异的峰值均较大。各要素差值的离散情况随高度的变化各异, 总体离散程度最大的是位势高度, 其次依次是风向、湿度、露点、风速、温度。两套系统所测要素的差值变化趋势虽然普遍没有太大差异, 但湿度、风向和风速的差值变化还是表现出与地理位置、季节和施放时间有关。两套系统在观测所使用设备、原理、精度、订正、观测方法、对比时的放球时间等的不同, 都会引起测量值出现差异。

关键词: L 波段探空系统, 59-701 探空系统, 观测资料, 差异评估

中图分类号: P413

文献标志码: A

doi: 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2014. 02. 013

Difference Assessment of Observation Data Between L-Band and 59-701 Sounding Systems

YUAN Yue CHEN Zhongyu ZHAO Xiaoli WANG Ling ZHU Zhaohua
WU Zhao BAI Duanqin

Sichuan Meteorological Information Centre, Chengdu 610072

Abstract: The comparative analysis on observation data of the L-band radar sounding system and 59-701 sounding system by four sounding stations in Sichuan is made in this paper. The results indicate that temperature and geopotential height data observed by 59-701 sounding system made in Taiyuan are higher than that observed by 59-701 sounding system made in Shanghai. The temperature and geopotential height data below 100 hPa do not change obviously after using L-band sounding system, but above 100 hPa they change obviously. Humidity data measured by the two sounding systems have large differences. The differences near surface are small, increasing with height. Most of the humidity data measured by L-band sounding system are lower than that measured by 59-701 sounding system. The differences between average wind direction and velocity measured by the two sounding systems are small. Peak value differences of all elements are large. The discrete case of each elements difference changes with different heights. The greatest degree of general discrete is geopotential height, secondly is the wind direction, humidity, dew point, wind speed, and temperature in sequence. The trends of differences between the two sounding systems are not large, but relations exist between the difference changes of humidity, wind direction, wind speed and the geographic location, season, and releasing time. There are differences between L-band and 59-701 sounding systems in equipment, measuring principle, measurement accuracy, the revised statistics, methods of observation, releasing time and so on.

^{*} 2012 年 2 月 20 日收稿; 2013 年 9 月 17 日收修定稿
第一作者: 苑跃, 长期从事气象业务技术管理和气象资料分析研究. Email: yuany9950@sina. com

Key words: L-band sounding system, 59-701 sounding system, observation data, difference assessment

引 言

四川省气象部门自 2005 年开始在高空台站布设 L 波段雷达 GTS1 型电子探空仪系统(以下简称 L 波段系统),实现由 59-701 探空系统向 L 波段系统的探空业务转变,经过多年的建设,截止 2010 年 12 月,全省 7 个高空台站先后完成 L 波段系统建设。L 波段系统自 2005 年 1 月起逐步正式投入业务运行,开始有了 L 波段系统探测作为正式记录的高空气象观测资料,探空数据的获取率、精度和可靠性都有了显著提高。WMO 公布的 2004 年探空仪测量精度表明:L 波段系统测量精度比 59 型探空仪显著提高,与芬兰 Vaisala 公司的 RS80 探空仪测量系统精度相当(姚雯等,2009;黄炳勋,1995;李峰等,2006)。用 L 波段系统逐步取代历经几十年的 59-701 探空系统探空,观测体制、观测仪器和设备发生了很大变化。而此类观测仪器的更新换代、观测和计算(包括误差订正)方法的改进带来了探空历史资料前后不一致的问题,但在对资料进行质量控制时,未曾对更换仪器等引起的不连续性进行系统检验和订正(王颖等,2005)。中国气象局相关观测技术规范要求:“高空探测站网上任何新元器件、新探空仪、新观测方法等的应用,往往伴随着探测精度的相应变化和提高。都必须确定高空记录在换型前后变化量,供气候资料使用和气候变化研究者参考”(中国气象局监测网络司,2005a)。

为了尽可能减少观测数据随机误差的影响,要求获取大量的对比观测数据来进行统计分析,中国气象局安排了在换型站进行 1 个月对比观测任务,要求每个站在换型前利用培训用的 60 个 L 波段探空仪与台站正常业务施放的 59 型探空仪进行对比观测,以统计新的探测系统和观测方法使用前后高空观测数据的系统偏差。近年,气象观测系统的换型对地面资料研究分析较多(任芝花等,2007;苑跃等,2010;2011;鞠晓慧等,2010;王海军,2011;许艳等,2013),高空观测系统换型资料分析相对较少(廖捷等,2011;彭冲等,2012)。作者利用四川在高空观测由 59-701 探空系统向 L 波段系统换型的对比观测资料,就四川 4 个高空台站两套系统在规定等压面上的对比观测数据的差异进行了研究分析。

1 资料及方法

新老系统对比观测按照中国气象局监测网络司制定的《高空气象探测系统换型对比观测实施办法》(中国气象局监测网络司,2005a),由台站按规定组织实施。对比观测安排在换型前 1 个月每天 08 和 20 时(北京时,下同)与正班观测同时进行,各放各的球。气球升速尽可能接近,同时施放时,2 个气球的放球点相隔 50 m 以上,以避免上升后绞在一起。在场地不容许,新探空仪可以推迟 10—15 min 施放(中国气象局监测网络司,2005a)。

四川 7 个探空站的探空业务在向 L 波段系统探空转变时,由于巴塘站是大球测风向 L 波段系统转变、达县站是 400 MHz 向 L 波段系统转变、温江站是原成都站向温江站迁站时进行两地观测,非本地同时对比观测。因此,本文在对四川高空探测系统向 L 波段系统转变的探空资料进行对比分析时,为了比较全面地了解新老探空系统观测数据之间的差异,使用了四川省气象信息中心提供的宜宾站、西昌站、红原站、甘孜站 4 个高空台站 08 和 20 时的 L 波段系统与 59-701 系统同步对比观测的规定等压面资料,对比台站基本情况如表 1。台站分布如图 1。

对比分析数据选择台站上报的规定等压面温度、位势高度、湿度、露点、风向、风速观测记录数据,主要通过计算 L 波段系统与 59-701 系统对比观测期间观测数据的平均差异、直接差异和差值的标准差来分析设备换型对高空资料前后一致性的影响。各规定等压面上的位势高度是用本站位势高度和各规定等压面层间的位势厚度累加得到(中国气象局监测网络司,2005b;2004)。

平均差异为:

$$\overline{X}_i = \overline{L}_i - \overline{A}_i \tag{1}$$

式中, \overline{L}_i 是同一时次 L 波段系统第 i 层等压面上各次有效对比观测数据之和除以有效对比观测次数,即: $\overline{L}_i = \sum_{j=1}^n L_j / n$, L_j 是同一时次 L 波段系统第 j 次对比观测数据, n 为有效对比观测次数。 \overline{A}_i 是同一时次 59-701 系统第 i 层等压面上各次有效对比观测数据之和除以有效对比观测次数,

表 1 L 波段系统与 59-701 系统探测资料对比分析台站基本情况表

Table 1 Station information of compared observation data between L-band system and 59-701 sounding system						
台站(区站号)	海拔高度/m	纬度/°N	经度/°E	对比观测时间	L 波段使用探空仪	59-701 使用探空仪
宜宾(56492)	1590.9	28.48	104.36	2008 年 11 月 18 日至 12 月 19 日	上海 GTS1 型探空仪	太原探空仪
西昌(56571)	1190.1	27.54	102.16	2005 年 1 月 1— 31 日	上海 GTS1 型探空仪	上海 GZZ2 型探空仪
红原(56173)	3491.6	32.48	102.33	2005 年 8 月 15 日至 9 月 20 日	上海 GTS1 型探空仪	上海 GZZ2 型探空仪
甘孜(56146)	3393.5	31.37	100.00	2005 年 8 月 20 日至 9 月 19 日	上海 GTS1 型探空仪	上海 GZZ2 型探空仪

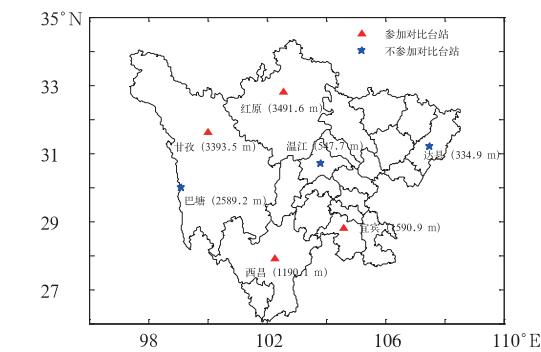


图 1 L 波段系统与 59-701 系统
探测资料对比分析台站分布图

Fig. 1 Distribution of stations of compared
observation data between L-band system
and 59-701 sounding system

即： $\bar{A}_i = \sum_{j=1}^n A_j / n$ ， A_j 是同一时次 59-701 系统第 j 次对比观测数据， n 为有效对比观测次数。

直接差异为：

$$x_j = L_j - A_j \tag{2}$$

式中， L_j 是同一时次 L 波段系统第 j 次有效对比观测数据， A_j 是同一时次 59-701 系统第 j 次有效对比观测数据。

差值的标准差 σ_i 为：

$$\sigma_i = \left[\frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (x_j - \bar{x})^2 \right]^{1/2} \tag{3}$$

式中， σ_i 是第 i 层差值的标准差， \bar{x} 是第 i 层等压面上 4 站每日 2 次观测的直接差异的算数平均值， m 是 4 个站每日 2 次各 1 个月第 i 层的有效对比观测次数。

“由于探空仪的探测精度和探测误差除与气象要素传感器特性有关外，一般与太阳高度角、气象要素上升曲线特征等因素，或者说与地理位置、季节、施放时间等因素有关，因此必须在不同地理位置、不同季节和不同施放时间求取系统变化量”(中国气象局监测网络司，2005a)。也就是说，在不同的施放地区和季节，大气温度层结廓线不同，会引起探空仪滞

后等误差的变化；在不同的施放时间，太阳高度角也不同，这关系到探空仪太阳辐射误差的订正效果。因此在进行数据分析时，考虑以上差异将 4 个台站的资料按照对比施放时间(08 和 20 时)、季节、地理位置进行分类对比分析。

参加对比分析 4 站的西昌、红原、甘孜 3 站使用上海无线电 23 厂(现更名为上海长望气象科技有限公司，以下简称上海厂)的 59 型探空仪，宜宾站使用太原无线电一厂(以下简称太原厂)的 59 型探空仪，由于不同厂家的探空仪在原材料和制作工艺上有不同程度的差异，两个厂家的 59 型探空仪相对于 L 波段探空仪的观测记录难免不产生差异，如果笼统分析，不足以得到两套系统的具体真实差异，也不利于分析产生差异的根本原因。因此，将根据情况对使用两个厂家 59 型探空仪的台站进行分类对比分析。

2 规定等压面上观测数据的平均差异情况

2.1 温度的平均差异情况

图 2 分别绘出了 4 个站 08 和 20 时 L 波段系统相对于 59-701 系统温度观测数据的平均差值曲线图。可以看出，4 个站新老系统温度观测数据平均差值随高度增加而增大。59 型探空仪使用上海厂的 3 个台站：L 波段系统相对于 59-701 系统的温度观测数据的平均差值基本是正偏差，即 L 波段探空仪测定的温度高于 59 型探空仪，平均差值的变化趋势也基本一致；100 hPa 高度以下温度总平均差 08 时不超过 0.28℃，20 时不超过 0.13℃，差异较小；15 hPa 高度差值平均 08 时为 0.07℃，20 时为 1.03℃。59 型探空仪使用太原厂的宜宾站：L 波段系统相对于 59-701 系统的温度平均差值除 20 时 70 hPa 以上观测是正偏差，其余基本是负偏差，即 L 波段探

空仪测定的温度总体略低于 59 型探空仪;100 hPa 高度以下温度差值平均 08 时为 -0.55°C ,20 时为 -0.68°C ;15 hPa 高度温度平均差值 08 时为 -2.0°C ,20 时为 2.9°C ,差异较大。另外,上海厂 08 和 20 时无明显差异,但太原厂在 50 hPa 以上高空有明显的正负相反的差异。表 2 给出了各站在 50 hPa 及以上各等压面上的对比记录次数。4 个站平均温度差的总平均差值 08 时为 0.08°C ,20 时为 0.47°C 。

表 2 各站在 50 hPa 及以上各等压面上的对比记录次数
Table 2 Contrast record numbers of stations at or above 50 hPa

台站(区站号)	50 hPa		40 hPa		30 hPa		20 hPa		15 hPa		10 hPa	
	08:00	20:00	08:00	20:00	08:00	20:00	08:00	20:00	08:00	20:00	08:00	20:00
宜宾(56492)	19	19	18	20	17	19	16	18	13	9	0	1
西昌(56571)	29	27	27	27	23	24	18	20	9	5	0	0
红原(56173)	29	23	29	22	28	20	22	12	16	7	14	0
甘孜(56146)	28	20	25	18	24	17	19	12	11	5	4	1
总计	105	89	99	87	92	80	75	62	49	26	18	2

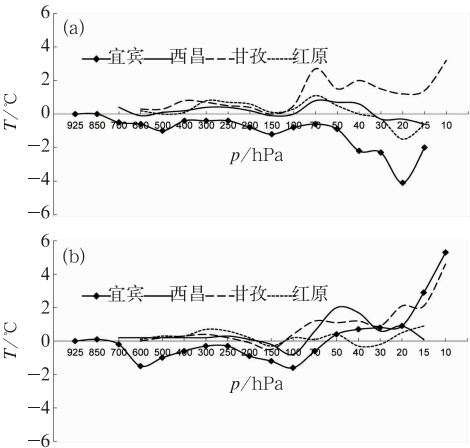


图 2 L 波段与 59-701 系统在规定等压面上温度对比观测资料差值
(a) 08 时, (b) 20 时
Fig. 2 Temperature difference in specified isobaric surfaces between L-band and 59-701 systems
(a) 08:00 BT, (b) 20:00 BT

2.2 位势高度的平均差异情况

图 3 分别绘出了 08 和 20 时 4 个站 L 波段系统相对于 59-701 系统同步施放对比获取的各规定等压面上位势高度数据的平均差值曲线图。可以看出,4 个站两套系统位势高度平均差值随高度增加而增大。59 型探空仪使用上海厂的 3 个台站:L 波段系统相对于 59-701 系统的位势高度观测数据的平均差值基本是正偏差,即 L 波段探空仪所测位势高度高于 59 型探空仪,平均差值的变化趋势也基本

总之,08 和 20 时的对比结果差异不大,但 L 波段系统相对于 59 型探空仪使用上海厂和太原厂的温度观测数据的平均差值有较大差异,即使用太原厂 59 型探空仪所测的温度明显比使用上海厂 59 型探空仪所测温度偏高。100 hPa 高度以下温度观测数据没有明显的跳变,但 100 hPa 以上高空,换型带来的温度变化还是明显的。

一致;100 hPa 高度以下平均差值的离散度相对较小,08 时位势高度差值平均为 7.4 gpm,20 时位势高度差值平均为 4.1 gpm,差异较小;但从 100 hPa 开始,位势高度差随高度升高持续偏高,到 15 hPa 高度时,08 时观测平均偏高 43.3 gpm,20 时平均偏高 30.3 gpm。59 型探空仪使用太原厂的宜宾站:L 波段系统相对于 59-701 系统的位势高度观测数据的平均差值基本是负偏差,即 L 波段探空仪所测位势高度明显低于 59 型探空仪。100 hPa 高度以下,08 时位势高度差值平均偏低 16.5 gpm,20 时位势

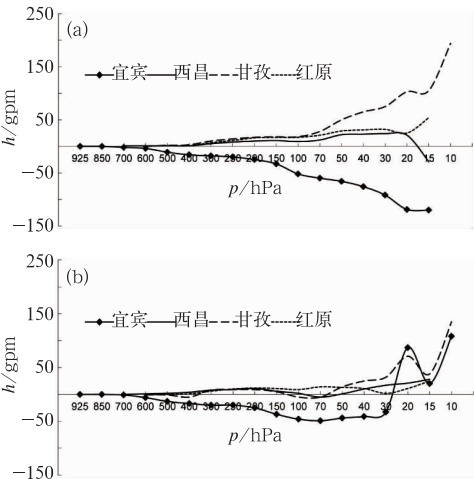


图 3 L 波段与 59-701 系统在规定等压面上位势高度对比观测资料差值图
(a) 08 时, (b) 20 时
Fig. 3 Same as Fig. 2, but for height difference

高度差值平均偏低 16.8 gpm;08 时观测到 15 hPa 时高度偏低 120 gpm;20 时观测到 30 hPa 时高度偏低 33 gpm,从 30 hPa 开始逐步转为偏高,到 10 hPa 高度偏高为 108 gpm。总之,08 和 20 时的对比观测结果差异不大,L 波段系统相对于 59 型探空仪使用上海厂和太原厂位势高度观测数据的平均差值有较大差异,即太原厂 59 型探空仪所测的位势高度明显比上海厂 59 型探空仪所测位势高度偏高。100 hPa 高度以下观测位势高度数据没有出现明显的跳变,但 100 hPa 以上高空,换型带来的位势高度变化还是明显的。

2.3 湿度的平均差异情况

图 4 分别绘出了 08 和 20 时 4 个站 L 波段系统相对于 59-701 系统同步施放对比获取的各规定等压面上湿度观测数据的平均差值曲线图。可以看出,两套系统所测湿度差异较大,且对比的平均差值基本是负偏差,既 L 波段系统所测湿度基本是低于 59-701 系统所测湿度,4 个站差值平均 08 时为 -12.78%,20 时为 -13.38%;近地面差值最小,各站的平均差值基本都在 5% 以内;平均差值随高度升高而增大,基本在 150 hPa 达最大值,4 个站在 150 hPa 的差值平均 08 时为 -16.75%,20 时为 -21.5%。另外,冬季对比观测的宜宾、西昌站在较低的高度上出现了较大的差值。总之,两套系统所测湿度的平均差值变化在 08 和 20 时的差异不大。

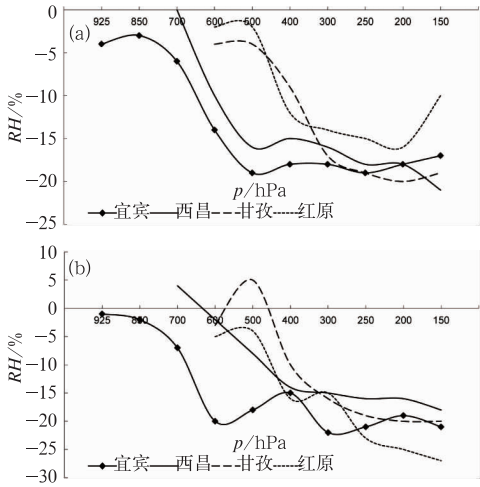


图 4 L 波段与 59-701 系统在规定等压面上湿度对比观测资料差值图
(a) 08 时, (b) 20 时

Fig. 4 Same as Fig. 2, but for humidity difference

2.4 露点的平均差异情况

图 5 分别绘出了 08 和 20 时 4 个台站 L 波段系统相对于 59-701 系统同步施放对比获取的各规定等压面上露点观测数据的平均差值曲线图。可以看出,两套系统所测露点差异较大,且对比的平均差值基本是负偏差,即 L 波段系统所测露点基本是低于 59-701 系统所测露点,4 个站差值平均 08 时为 -6.5℃,20 时为 -7.1℃;近地面平均差值最小,各站差值基本都在 -0.8℃ 以内;平均差值随高度升高而增大,基本在 150 hPa 高度达最大值,4 个站在 150 hPa 的差值平均 08 时为 -11.1℃,20 时为 -11.9℃。总之,两套系统所测露点的平均差值变化在 08 和 20 时的差异不大。

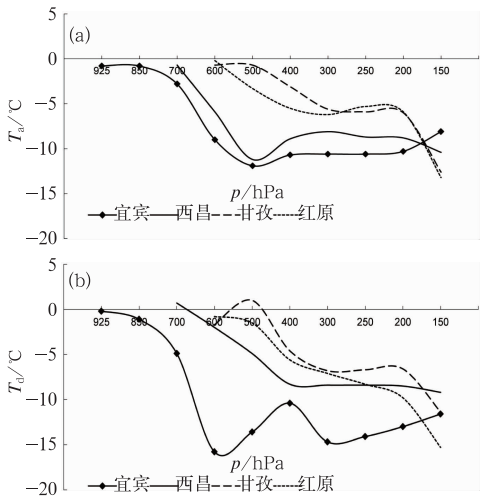


图 5 L 波段与 59-701 系统在规定等压面上露点对比观测资料差值
(a) 08 时, (b) 20 时

Fig. 5 Same as Fig. 2, but for dew-point difference

2.5 风向的平均差异情况

图 6 分别绘出了 08 和 20 时 4 个台站 L 波段系统相对于 59-701 系统同步施放对比获取的规定等压面上风向观测数据的平均差值随高度变化的情况。可以看出,两套系统观测的风向平均差异不大,4 站的风向平均差值总平均在 08 时为 -1.7°,在 20 时为 -1.4°,差异较小。各站在 100 hPa 以下高度的风向平均差值较小,平均差值基本在 0° 上下波动,在 100 hPa 以上高度两套系统观测风向的平均差值相对略大,且各站间的离散度也较大;在资料较丰富的近地面层至 100 hPa 之间,各站的风向平均

差值基本小于 3° , 4 站的风向差值平均 08 时为 -2.2° , 20 时为 -1.5° , 差异较小; 另外, 冬季对比观测的宜宾、西昌两站的风向平均差值在 70 hPa 以上高度在 20 时的波动明显大于 08 时的波动。总之, L 波段系统所测风向略小于 59-701 系统, 两套系统所测的风向差异较小, 风向差值变化在 08 和 20 时的差异不大。

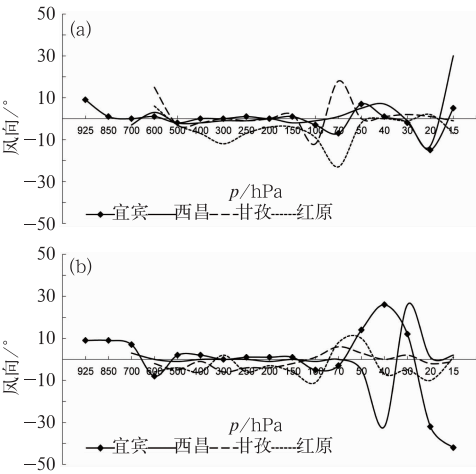


图 6 L 波段与 59-701 系统在规定等压面上风向对比观测资料差值
(a) 08 时, (b) 20 时

Fig. 6 Same as Fig. 2, but for wind direction difference

2.6 风速的平均差异情况

图 7 分别绘出了 08:00 和 20:00 时 4 个台站 L 波段系统相对于 59-701 系统同步施放对比获取的规定等压面上风速观测数据的平均差值随高度变化的情况。可以看出, 各站两套系统所测风速平均差值基本在 $\pm 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围内波动, 仅宜宾站在 150~50 hPa 间风速偏差稍大(我们组织了宜宾站的同志对此进行了专题研讨并查阅相关记录, 还没法作出有说服力的解释, 需进一步对此进行专题研究。), 但最大也不超过 $-7.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; 4 个站风速差值平均在 08 时为 $-0.27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 20 时为 $-0.28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,

差异较小; 在 300 hPa 以下高度, 风速的平均差值基本在 $0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 上下波动, 在 300 hPa 以上高度, 各站风速的平均差值的离散度相对较大。总之, L 波段系统所测风速略小于 59-701 系统, 两套系统所测的风速差异较小, 风速的平均差值变化在 08 和 20 时的差异也不大。

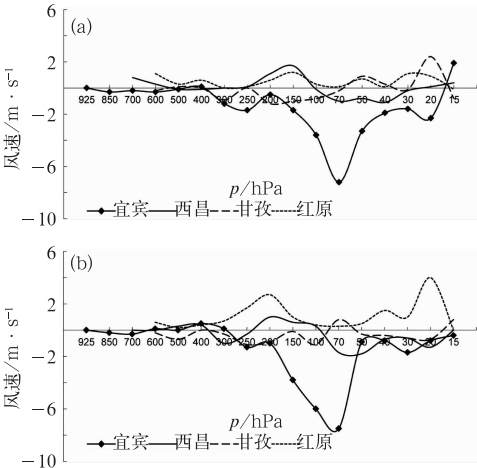


图 7 L 波段与 59-701 系统在规定等压面上风速对比观测资料差值图
(a) 08 时, (b) 20 时

Fig. 7 Same as Fig. 2, but for wind velocity difference

3 直接差异的峰值情况

表 3 是各要素对比直接差异峰值表, 列出了各要素对比直接差异的峰值。可看出, 温度的正偏差峰值达 9.2°C , 负偏差峰值达 -10.6°C ; 位势高度的正偏差峰值达 326 gpm, 负偏差峰值达 -349 gpm ; 湿度的正偏差峰值达 27%, 负偏差峰值达 -63% ; 露点正偏差峰值达 17.0°C , 负偏差峰值达 -40.0°C ; 风向的正偏差峰值达 189° , 负偏差峰值达 -179° ; 风速的正偏差峰值达 $53 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 负偏差峰值达 $-32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。换型造成各要素差异的峰值还是较大。

表 3 各要素对比直接差异峰值表

Table 3 Differences in the peak values of all elements

要素	温度 $T/^{\circ}\text{C}$	高度 H/gpm	湿度 $U/\%$	露点 $T_d/^{\circ}\text{C}$	风向 $D/^{\circ}$	风速 $F/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
正偏差峰值	9.2	326	27	17.0	189	53
负偏差峰值	-10.6	-349	-63	-40.0	-179	-32

4 差值的离散性情况

表 4 是各要素逐层差值的标准差。从表 4 可知,各要素差值的离散情况随高度的变化各异。温度和位势高度差值的离散性随高度的增加而加大。湿度和露点差值的离散性先随高度的增加而增加,

但在 400 hPa 高度以上又随高度的增加而降低。风向差值在对流层中层的离散性较小,在对流层以上高度的离散性逐渐增大。风速差值的离散性在对流层内是随高度的增加而增加的。从总体差值的离散程度来看,离散程度最大的是位势高度,其次依次是风向、湿度、露点、风速、温度。

表 4 各要素差值的标准差
Table 4 Standard deviation of the element differences

高度/hPa	温度 T	高度 H	湿度 U	露点 T_d	风向 D	风速 F
925	0.52	2.51	7.25	1.53	40.90	1.04
850	0.60	3.05	10.77	3.31	40.95	0.92
700	0.83	4.54	12.13	5.89	38.02	1.38
600	1.23	5.53	13.53	8.87	25.37	1.63
500	1.03	9.44	12.80	8.78	11.05	1.53
400	1.00	19.82	13.19	7.90	13.98	2.22
300	0.90	20.07	11.94	6.92	13.90	3.46
250	0.97	23.96	9.94	6.42	31.25	4.05
200	1.20	29.61	9.12	5.46	33.67	4.84
150	1.33	38.96	8.41	5.09	7.26	4.97
100	1.65	50.01			32.45	7.25
70	2.33	54.38			37.50	7.11
50	2.59	57.23			41.34	3.33
40	2.48	62.20			68.83	3.19
30	2.26	69.59			56.42	2.78
20	2.74	181.51			52.37	6.19
15	2.90	106.19			90.69	3.77
10	2.68	69.23				
总对比次数	3060	3060	1666	1666	2761	2761

5 地域和季节引起的差异情况

将图 1、图 2~图 7、表 1 结合来看,处于高海拔地区的红原(3491.6 m)、甘孜(3393.5 m)两站在夏季进行的对比观测,处于中海拔地区的宜宾(1590.9 m)、西昌(1190.1 m)两站在冬季进行的对比观测。4 站中不管是处于最低海拔的西昌站,还是处于最高海拔的红原站,以及冬季或夏季进行的对比观测,两套系统所测各要素的差值曲线的变化趋势虽然普遍没有太大差异,但宜宾、西昌两站在冬季对比的站在较低的高度上出现了较大的湿度的平均差以及宜宾站在 70 hPa 上下的风速差值明显较大,另加,宜宾、西昌两站的风向平均差在 70 hPa 以上高度在 20 时的波动明显大于 08 时的波动。说明探空仪的探测精度和探测误差与地理位置、季节、施放时间等因素有关。

6 两套系统观测数据差异的原因分析

L 波段系统采用的是 GTS1 型数字探空仪,具有探测精度高、采样速度快、抗干扰能力强等特点,实现了数字化、模快化,整体性能接近 20 世纪 90 年代中期世界同类产品先进水平。“59-701”系统采用的是 59 型机械式探空仪,其是机械式仪器,灵敏度低、辐射误差和滞后系数大,特别是在高层(50 hPa)以上更为明显。这两套系统观测,无论是所使用的设备、测量原理、精确度、观测方法等方面都有很大的差别,因此,它们的观测值之间就必然是有差异的。

6.1 探空仪性能分析

探空系统的测量误差是各种因素导致的误差总和,从探空仪的制造、检定、施放、接收和数据整理过程的各个环节都可能导致误差的产生,而气象要素感应元件的性能是其中最关键的因素。

表 5 两套系统所使用探空仪气象要素感应元件的测量性能

Table 5 Measuring performance of sensing element of meteorological elements in two sounding systems

气象要素	GTS1 型数字探空仪性能(中国气象局监测网络司,2004)		59 型探空仪性能(张蔼琛,2000)	
	测量范围	标准不确定度	测量范围	平均灵敏度系数
温度	-80~40℃	$\Delta T \leq \pm 0.2\text{℃}$	-75~40℃	0.4~0.52℃/电码
气压	10~1050 hPa	气压在 500 hPa 以上为 $\Delta P \pm 2\text{ hPa}$; 气压在 500 hPa 以下为 $\Delta P \pm 1\text{ hPa}$	10~1050 hPa	3.5~4.7 hPa/电码
湿度	15%~95%	环境温度-25℃以上为 $\Delta U \leq \pm 5\% \text{RH}$; 环境温度-25℃以下为 $\Delta U \leq \pm 10\% \text{RH}$	15%~100%	0.9%~2.0%/电码

从表 5 可以看出,两套系统使用探空仪对所要测量气象要素的测量范围是有差异的,且其平均灵敏度系数或标准不确定度也表达了各自测量准确度的差异,表明两套系统所使用探空仪气象要素感应元件的测量性能存在差异,从而导致所测气象要素出现差异。

6.1.1 探空仪测温误差分析

L 波段系统温度测量采用 GPW2 型棒状热敏电阻,其存在着长波辐射误差、太阳辐射误差及滞后误差,对这些误差需要进行订正,且热敏电阻温度元件不同其误差大小也不同(中国气象局监测网络司,2005b)。59 型转筒式电码探空仪测温元件为双金属片,其测量温度的误差主要是滞后误差和辐射误差,此外还有因元件沾湿和气球的热空气尾流引起的误差。滞后误差当大气中减温率增大时,滞差加大;探空气球升至高空,被太阳辐射加热后,温度要高于气温很多,辐射误差即使经订正也无法完全消除;如果探空仪被雨水或云中水滴打湿,或者元件上结冰,都会造成测温误差,且对这种误差很难定量估计;流经气球的气流会使探空仪加热,测值偏高(张蔼琛,2000)。

6.1.2 探空仪测压误差分析

L 波段系统气压传感器采用 24PC 型硅阻固态压力传感器。24PC 型硅阻固态压力传感器在工作范围(约 1 个大气压)内具有良好的弹性和重复性。GTS1 型探空仪压力传感器采用软硬件温度补偿方法,补偿动态范围大、精度高、成本低、同时改善线性度(中国气象局监测网络司,2004)。59 型转筒式电码探空仪测压元件为测压膜盒,因金属的弹性随温度和时间有变化,使测压有误差,且低压测量精度较差(张蔼琛,2000)。

6.1.3 探空仪测湿误差分析

L 波段系统 GTS1 型电子探空仪湿度测量采用 XGH-02 型高分子湿敏电阻。其具有测湿范围广,互换性好,响应速度快。湿敏电阻的阻值随时间变化有所漂移,在使用过程中采用湿敏电阻的比阻值来表示相对湿度(中国气象局监测网络司,2004),基

本克服湿敏电阻阻值随时间漂移带来的误差。湿敏电阻虽有一定的温度系数,但 L 波段雷达系统通过应用软件进行了温度订正。但相关研究表明:L 波段系统探空仪的相对湿度探空曲线依然存在较大误差(姚雯等,2008),需要进一步订正。59 型探空仪的测湿元件为肠膜。由于肠膜的滞后系数随温度降低而加大,在低温时的测湿误差很大,-30℃ 以下几乎无法使用,探测所得湿度数据可信度较差。同时,在雨天及探空仪穿越云层时,还应考虑到沾湿对测量结果的影响(张蔼琛,2000)。

6.2 位势高度误差分析

两套系统(压敏电阻与空盒,热敏电阻与双金属片)的感应元件在气压和温度的测量值客观的存在着差异,导致位势高度差值必然存在;另外各站因对比月份不同存在着太阳高度角差异,因而探测时所受到的太阳直射时间长短不一,温度变化的差异导致两套系统位势高度差值。根据规范规定,各规定等压面上的位势高度是用本站位势高度和各规定等压面层间的位势厚度累加得到(中国气象局监测网络司,2002;2005b)。根据高空探测计算公式(中国气象局监测网络司,2005b),每一气压层的厚度与该气压层平均温度呈正相关,由 3.1 得出两套系统温度观测具有一定的差异,温度误差将导致位势高度误差,且由于位势高度采用逐层累加的计算方法,这一误差也会逐层累积,从而导致两套系统位势高度平均差值的离散度随高度增加而增加,特别是 100 hPa 以上。郭亚田等(2004)对酒泉站 L 波段雷达换型前后探空报文与初估场对比分析结果也表明位势高度偏差随高度增高而增大。

6.3 风向风速误差分析

L 波段系统的 GFE(L)1 型雷达和 701 雷达均为二次测风雷达(中国气象局监测网络司,2004;中央气象局,1979),具有相同的工作原理,都是通过接收探空气球所带回答器信号,测出探空气球在空间的位置:探空气球离雷达站的斜距、方位角、仰角三

个数据,对气球进行定位,然后根据气球随风漂移的情况,就可推算出高空的风向、风速。从理论上来说,新老系统风向、风速对比观测平均差应该较小,图4和图5也证明了这一点。但在同步对比观测施放过程中,由于存在施放时间不同步、气球升速等存在差异均可造成测风结果出现一定的偏差。

7 结 论

通过对四川4个高空台站59-701系统向L波段系统换型时两套系统规定等压面上对比观测资料的对比分析,得到以下结论:

(1) L波段系统相对于59型探空仪使用上海厂和太原厂温度、位势高度观测数据的平均差值有较大差异,即使用太原厂59型探空仪所测的温度、位势高度明显比使用上海厂59型探空仪所测偏高。100 hPa高度以下温度、位势高度观测数据没有明显的跳变,但100 hPa以上高空,换型带来的温度、位势高度变化还是明显的。温度直接差异正偏差峰值达 9.2°C ,负偏差峰值达 -10.6°C ;位势高度直接差异正偏差峰值达326 gpm,负偏差峰值达 -349 gpm。

(2) 两套系统所测湿度差异较大,即L波段系统所测湿度基本是低于59-701系统所测湿度,4个站总平均差值08时为 -12.78% ,20时为 -13.38% ;近地面差值最小,各站平均差值基本都在 5% 以内;差值随高度升高而增大,基本在150 hPa达最大值,4个站的平均差值在08时为 -16.75% ,20时为 -21.5% 。直接差异正偏差峰值达27%,负偏差峰值达 -63% 。

(3) 两套系统所测露点差异较大,既L波段系统所测露点基本是低于59-701系统所测露点,4个站总平均差值08时为 -6.5°C ,20时为 -7.1°C ;近地面差值最小,各站差值基本都在 -0.8°C 以内;差值随高度升高而增大,基本在150 hPa达最大值,4个站的平均差值08时为 -11.1°C ,20时为 -11.9°C 。直接差异正偏差峰值达 17.0°C ,负偏差峰值达 40.0°C 。

(4) 4站的风向总平均差值在08时为 -1.7° ,20时为 -1.4° ,风速总平均差值在08时为 $-0.27\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,20时为 $-0.28\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,差异较小。风向直接差异正偏差峰值达 189° ,负偏差峰值达 -179° ;风速直接差异正偏差峰值达 $53\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,负偏差峰值达 $-32\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

(5) 各要素差值的离散情况随高度的变化各

异,但总体来看,离散程度最大的是位势高度,其次是风向、湿度、露点、风速、温度。

(6) 4个站两套系统所测要素的差值曲线的变化趋势虽然普遍没有太大差异,但湿度、风向和风速的差值变化还是表现出与地理位置、季节和施放时间有关。

(7) 由于L波段系统与59-701系统是两种观测体制,其各自在温、压、湿的观测所使用设备、测量原理、测量精度、统计订正、观测方法、对比时的放球时间等方面的不同,都会引起两套系统测量值出现差异。

参考文献

- 郭亚田,黄炳勋.2004.L波段雷达——电子探空仪系统对比资料分析报告.中国气象学会年会文集,北京.
- 黄炳勋.1995.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,6(2):153-162.
- 鞠晓慧,任芝花,曹丽娟,等.2010.自动与人工观测气压的差异及原因分析.气象,36(1):104-110.
- 李峰,马舒庆.2006.从毛里求斯国际对比看全球探空系统发展趋势.气象科技,34(5):606-610.
- 廖捷,任芝花.2011.我国飞机观测气温和常规高空观测气温的对比分析.气象,37(3):263-269.
- 彭冲,张祖强.2012.上对流层/下平流层GPS掩星资料与我国探空温度对比.气象,38(9):1033-1041.
- 任芝花,冯明农,张洪政,等.2007.自动与人工观测降雨量的差异及相关性.应用气象学报,18(3):358-364.
- 王海军.2011.两种湿球温度估计方法比较及误差分析.气象,37(4):497-502.
- 王颖,任国玉.2005.中国高空温度变化初步分析.气候与环境研究,10(4):780-790.
- 许艳,朱江,高峰,等.2013.两种导线观测的电线积冰资料的对比分析.气象,39(3):362-369.
- 姚雯,马颖,黄炳勋,等.2009.利用GPS定位资料分析I波段雷达测风性能.应用气象学报,20(2):195-202.
- 姚雯,马颖,徐文静.2008.L波段电子探空仪相对湿度误差研究及其应用.应用气象学报,19(3):356-361.
- 苑跃,赵晓莉,王小兰,等.2010.相对湿度自动与人工观测的差异分析.气象,36(2):102-108.
- 苑跃,赵晓莉,王英,等.2011.自动与人工观测风速和风向的差异分析.气象,37(4):490-496.
- 张嵩琛.2000.现代气象观测.北京:北京大学出版社.
- 中国气象局监测网络司.2002.常规高空气象探测规范.北京:气象出版社.
- 中国气象局监测网络司.2004.L波段高空气象探测系统设备维护、维修手册(GFE(L)1型二次测风雷达、GTS1型数字探空仪).
- 中央气象局.1979.高空气象观测手册——701雷达观测使用部分.
- 中国气象局监测网络司.2005a.高空气象探测系统换型对比观测实施办法.
- 中国气象局监测网络司.2005b.L波段(1型)高空气象探测系统业务操作手册.北京:气象出版社.