沙 漠 与 绿 洲 气 象
Desert and Oasis Meteorology
第15卷 第6期
2021年12月

王蕊,袁湘玲,赵遴,等.齐齐哈尔四种数字探空仪观测数据对比分析[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(6):134-140.
doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2021.06.020

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

齐齐哈尔四种数字探空仪观测数据对比分析

王 蕊[1],袁湘玲[1*],赵 遴[2],刘春芳[1],王 娜[1],朱春祥[1]
(1.齐齐哈尔市气象局,黑龙江 齐齐哈尔 161006;2.依兰县气象局,黑龙江 依兰 154800)

摘 要:基于齐齐哈尔国家基本气象站2020年1和7月高空气象平行观测数据以及GTS1型数字探空仪2009—2019年1和7月观测数据,运用Ryan-Joiner方法进行正态性检验,采用平均偏差、绝对偏差、均方根误差和相对误差作为对比分析的评估指标,探讨GTS11、GTS12、GTS13与GTS1型数字探空仪在925~500 hPa规定等压面上,测得的温度、相对湿度和位势高度的差异,分析GTS1型探空仪历史观测数据11 a旬平均值在5个规定等压面上的变化特征。结果表明:GTS11、GTS12、GTS13型3种探空仪测得的温度均低于GTS1型探空仪;相对湿度均高于GTS1型探空仪;位势高度略低于GTS1型探空仪,比对样本具有较好的一致性;GTS1型探空仪对温度、位势高度和相对湿度的测量值,在5个规定等压面上1和7月的变化趋势基本一致。

关键词:高空探测;L波段雷达;探空仪;差异性;对比分析
中图分类号:P412.23 **文献标识码**:A **文章编号**:1002-0799(2021)06-0134-07

气象观测资料是开展天气预警预报、气候预测预估、气象服务和科学研究的基础,是推动气象科学发展的动力[1]。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、气候监测和气候变化研究中发挥着重要作用[2]。自1984年开始,世界气象组织仪器与观测方法委员会(CIMO)针对高空气象业务上存在的诸多问题,定期与不定期地组织气象仪器进行国际比对试验[3-4]。各种探空系统的比对试验是提高探空的探测精度和一致性的主要手段,为改善订正方法,提高探空仪温度、气压和相对湿度测量精度提供试验数据支撑[5-9]。

齐齐哈尔国家基本气象站位于123°55′25″ E、47°22′34″ N,海拔高度为147.6 m,观测始于1901年7月1日。2018年被世界气象组织认定为百年气象站。齐齐哈尔高空观测始于1949年,采用经纬仪观测,每日01、07、19时进行3次小球高空测风。1979年10月1日,改为701型雷达配套59型探空仪综合观测,每日07、19时进行2次观测。2009年1月1日正式换型为L波段雷达,实现探空仪数字化改造,采用GTS1型数字探空仪,每日07、19时进行2次观测[10-11],积累了极为珍贵历史资料。不同类型的探空仪器感应元件和观测原理不同,会造成观测值的差异[12],因此,有效修正探空仪换型对观测数据的影响,保证换型前后数据序列的均一性尤为重要。

2020年1月由中国气象局组织对数字探空仪进行了换型,采用GTS11、GTS12和GTS13型3种数字探空仪交替观测,分别在1和7月开展了高空气象平行观测。本研究以GTS1为参考标准,GTS11、GTS12、GTS13为比较对象,分析了4种数字探空仪在温度、相对湿度和气压测量上的差异,以期为探空资料数据均一性处理提供参考依据,为气象科学研究提供更加精密的基础数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

收稿日期:2021-02-20;**修回日期**:2021-08-09
基金项目:黑龙江省地方标准项目《气象灾害防御重点单位评估规范》(2020-2021)
作者简介:王蕊(1968—),女,工程师,主要从事综合气象观测研究。E-mail:631845502@qq.com
通信作者:袁湘玲(1970—),女,正高级工程师,主要从事气象灾害防御研究。E-mail:154007596@qq.com

试验采用4种数字式探空仪包括：上海长望气象科技股份有限公司生产的GTS1型、GTS12型、南京大桥机器有限公司GTS11型和太原无线电一厂有限公司生产的GTS13型。GTS1探空仪温度传感器采用棒状热敏电阻，气压传感器采用硅阻固态压力传感器,气压附温测量采用GPW3型棒状热敏电阻,湿度传感器采用碳膜湿敏电阻[13]。GTS11、GTS12、GTS13型探空仪温度传感器均采用珠状热敏电阻,与GTS1探空仪的棒状热敏电阻相比,具有响应速度快、测量准确性高等特点,湿度传感器采用高分子聚合物湿敏电容，具有测湿范围广、滞差环小、滞后系数小、响应速度快、体积小、线性度好、灵敏度高、温度系数小等优点,气压传感器采用集成数字式硅阻固态压力传感器,带自动测温,采用全温区拟合补偿,具有灵敏度高、体积小、横向效应小、滞后和蠕变小等特点[14-17]。

基测箱采用JKZ1和JKZ1-1型电子探空仪基测箱。采用L波段二次测风雷达,接收机为GTC2型L波段探空数据接收机。数据接收和处理软件为L波段（1型）高空气象探测系统软件(V6.0.0.20200101)。

最后,采用GTS1型数字探空仪2009—2019年1和7月温度、气压和相对湿度等历史探空观测数据，对GTS1型探空仪自身观测数据进行了对比分析。

1.2 研究方法

1.2.1 试验方法

齐齐哈尔国家基本气象站于2020年1和7月开展高空气象平行观测,每日1次,20时和08时交替进行。每月1—10日采用GTS11与GTS1型探空仪进行对比观测,共获取19次有效平行观测;每月11—20日采用GTS12与GTS1型探空仪进行对比观测,共获取19次有效平行观测;每月21—31日采用GTS13与GTS1型探空仪进行对比观测，共获取20次有效平行观测。将2个探空仪采用同球串联施放的方式进行对比观测,其中,用作参考标准的探空仪位于上方,对比探空仪位于下方,两者相距1 m,同时施放以降低施放误差。

1.2.2 数据分析方法

采用平均偏差(MBE)、绝对偏差(MAE)、均方根误差(RMSE)和相对误差(RBE)作为对比分析的评估指标[18,21],对每组两个探空仪在925、850、700、600和500 hPa 5个规定等压面上的温度、相对湿度和位势高度观测数据进行对比分析。值越小,表明两者一致性越好。上述指标计算方法为：

$$M_{BE}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(P_i-O_i)\ , \tag{1}$$

$$M_{AE}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|P_i-O_i|\ , \tag{2}$$

$$R_{MSE}=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(P_i-O_i)^2}\ , \tag{3}$$

$$R_{BE}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{P_i-O_i}{O_i}\times 100\%,\ (O\neq 0). \tag{4}$$

式中,M_{BE}为平均偏差,M_{AE}为绝对偏差,R_{MSE}为均方根误差,R_{BE}为相对误差,P_i和O_i分别表示第i次试验对比探空仪测量值和作参考标准探空仪测量值,N为统计样本数。

1.2.3 检验方法

采用Ryan-Joiner方法[22-24]对差值进行正态性检验,以检查所得数据的可用性。若样本呈正态分布或是趋近于正态分布，则表明样本在统计学上反映了两者的差异。Ryan-Joiner检验通过计算样本数据与数据的正态分值之间的相关性来评估正态性,如果相关系数接近1，则说明样本数据总体很有可能呈正态分布,如果相关系数小于相应的临界值,则否定正态性假设。其步骤如下：

首先,假设某样本集服从正态分布,将该样本数据按照从小到大的顺序进行排序，并设置对应的编号,如第i个数据对应的样本值为X_i,然后按式(5)对样本数据标准化。

$$b_i=\frac{X_i-M}{S}\ . \tag{5}$$

式中,b_i表示样本X_i标准化后的值,X_i表示样本数据中的第i个样本值,M为所有样本数据的算术平均值,S为所有样本数据的标准差。

第二,按式(6)计算相关系数R值。

$$R=\frac{\sum_{i=1}^{N}b_iX_i}{\sqrt{S^2(N-1)\sum_{i=1}^{N}b_i^2}}\ . \tag{6}$$

式中,N为样本总数,i为样本序号。

最后,查《Ryan-Joiner检验临界值表》,得到临界值$R(N,\alpha)$,其中,α为给定的显著性水平。若$R\geqslant R(N,\alpha)$,则说明样本服从或趋于正态分布;反之,则不服从正态分布。如$R(20,0.05)=0.9504$,若$R\geqslant R(20,0.05)$,则表示在0.05显著性水平上,20个样本服从正态分布。

2 结果与分析

2.1 数据差异正态性检验

分别计算 GTS11、GTS12、GTS13 与 GTS1 型探空仪各时次在 5 个规定等压面上的温度差、位势高度差和相对湿度差，得到 GTS1 与 GTS11、GTS12 对比样本各 19 份，与 GTS13 对比样本各 20 份。采用 Ryan-Joiner 方法对上述样本进行正态性检验，结果显示R 值均大于对应的临界值 R(20,0.05)=0.950 4 和 R(19,0.05)= 0.948 4，服从正态分布。表明，上述样本数据在统计学上反映了 GTS1 与 GTS11、GTS12、GTS13 型数字探空仪在正常工作情况下测量温度、位势高度和相对湿度上的差异。

2.2 温度对比

图 1 给出了 GTS11、GTS12、GTS13 与 GTS1 型探空仪在 925~500 hPa 各规定等压面上温度观测数据的平均偏差、绝对偏差和均方根误差曲线。从图 1a 中可知，3 组比对样本平均偏差均为负值，表明 GTS11、GTS12、GTS13 型 3 种探空仪的温度观测值均低于 GTS1 型探空仪。GTS11、GTS12、GTS13 型探空仪温度传感器采用珠状热敏电阻，与 GTS1 型探空仪的棒状热敏电阻相比，温度传感器上的真空镀铝涂层对大气长波辐射和短波辐射的反射率均优于白漆，能够更有效地减小辐射对温度传感器的影响，响应速度更快、测量准确性更高[6-9]。GTS11 型平均偏差随气压降低无明显变化，差值介于-0.09~-0.14 ℃，700 hPa 平均偏差最大为-0.14 ℃，600 hPa 平均偏差最小为-0.09 ℃。GTS12 型平均偏差随气压降低而略有增大，差值介于-0.21~-0.31 ℃，700 hPa 平均偏差最小，为-0.21 ℃，500 hPa 平均偏差最大，为-0.31 ℃。GTS13 型平均偏差随气压降低无明显变化，差值介于-0.11~ -0.16℃，800 hPa 平均偏差最大，为-0.16 ℃，在 500 hPa 处平均偏差最小，为-0.11 ℃。

由图 1b 可知，GTS11 型绝对偏差随气压降低而略有减小，差值介于 0.14~0.24 ℃，变化幅度为 0.1 ℃，850 hPa 绝对偏差最大，为 0.24 ℃，在其他等压面间差异较小，为 0.14~0.17 ℃。GTS12 型绝对偏差随气压降低而略有增大，差值介于 0.24~0.32 ℃，变化幅度为 0.08 ℃，925 hPa 绝对偏差最小，为 0.24 ℃，500 hPa 绝对偏差最大，为 0.32 ℃；GTS13 型绝对偏差随气压降低而略有增大，差值介于 0.15~0.23 ℃，变化幅度为 0.08 ℃，925 hPa 平均偏差最小，为 0.15 ℃，500 hPa 绝对偏差最大，为 0.23 ℃。

由图 1c 可知，GTS11 型均方根误差介于 0.18~0.32 ℃，变化幅度为 0.14 ℃，925~850 hPa 呈增大趋势，850 hPa 均方根误差最大，为 0.32 ℃，之后随气压降低呈减小趋势；GTS12 型均方根误差随气压降低而略有增大，介于 0.28~0.37 ℃，变化幅度为 0.09 ℃；GTS13 型均方根误差随气压降低而增大，介于 0.17~0.37 ℃，变化幅度为 0.2 ℃。

综上所述，3 组比对样本在 925~500 hPa 各等压面上的温度差变化幅度微小，具有较好的一致性。

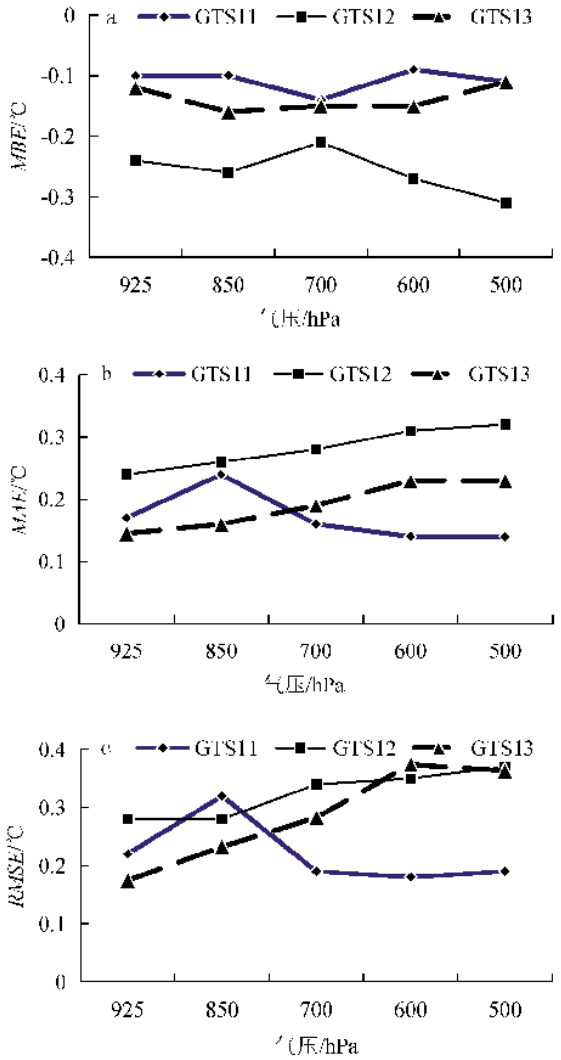

图 1 GTS11、GTS12、GTS13 与 GTS1 型探空仪温度观测差异

2.3 位势高度对比

对 GTS11、GTS12、GTS13 与 GTS1 型探空仪在 925~500 hPa 各规定等压面上位势高度的平均偏差、绝对偏差、均方根误差开展分析，得到图2a~2c，可以得出，平均偏差均为负值，表明GTS11、GTS12、GTS13 型 3 种探空仪的位势高度测量值均低于

GTS1 型探空仪;平均偏差、绝对偏差和均方根误差均随着高度增高而增大。进一步分析位势高度的相对误差,得到图 2d。GTS11 型位势高度相对误差在-0.04%~-0.07%,GTS12 型相对误差在 5 个规定等压面上均为-0.08%,GTS13 型相对误差均为-0.01%。结果表明:比对样本位势高度差存在累加效应,这与梁正鹏等[6]和颜国跑等[25]的研究结果相似,某规定等压面位势高度是由该等压面以下的各等压面间厚度累加,而两个相邻等压面间厚度由气压、平均温度和平均相对湿度决定[13],因而导致随着厚度层的累加,平均偏差、绝对偏差和均方根误差逐渐增大。而相对误差随高度增高基本保持不变,4 种型号探空仪在位势高度上具有良好的一致性。

2.4　相对湿度对比

对 GTS11、GTS12、GTS13 与 GTS1 型探空仪在 5 个规定等压面上相对湿度观测数据的平均偏差、绝对偏差和均方根误差进行研究(图 3)。由图 3a 可知,平均偏差均为正值,表明GTS11、GTS12、GTS13 型 3 种探空仪的相对湿度观测值均高于 GTS1 型探空仪,即与 GTS1 相比,3 种类型探空仪测得的相对湿度值均表现为偏湿。GTS11 型相对湿度平均偏差随高度增高而减小,介于 2.7%~5.3%,925 hPa 处最大,为 5.3%,500 hPa 最小,为 2.7%,变化幅度为 2.4%;GTS12 型相对湿度平均偏差随高度增加呈增大趋势,介于 3.7%~8.5%,在 925 hPa 处最小,为 3.7%,600 hPa 处为突变点,达到最大差值 8.5%,之后随高度增加而减少;GTS13 型相对湿度平均偏差随高度增高呈增大趋势,介于 1.5%~4.1%,在 925 hPa 处最小,为 1.5%,在 700 hPa 处最大,为 4.1%。

从图 3b 中可知,GTS11 型相对湿度绝对偏差随高度增高而减小,介于 5.5%~7.7%,925 hPa 处最大,为 7.7%,500 hPa 最小,为 5.5%;GTS12、GTS13 型相对湿度绝对偏差随高度增高呈增大趋势,925 hPa 处最小,分别为 5.6%和 7.7%,600 hPa 处为突变点,达到最大差值,分别为 8.5%和 8.8%,之后随高度增高而略有减少。

从图 3c 中可知,GTS11 型相对湿度均方根误差随高度增高而减小,介于 6.5%~10.6%,925 hPa 处最大,为 10.6%,在 500 hPa 最小,为 6.5%;GTS12、GTS13 型相对湿度均方根误差随高度增高呈增大趋势,分别介于 5.0%~9.6%和 7.7%~10.9%,925 hPa 处最小,分别为 5.0%和 7.7%,600 hPa 处为突变点,达到最大差值,分别为 9.6%和 10.9%,之后随高度增高而略有减少。

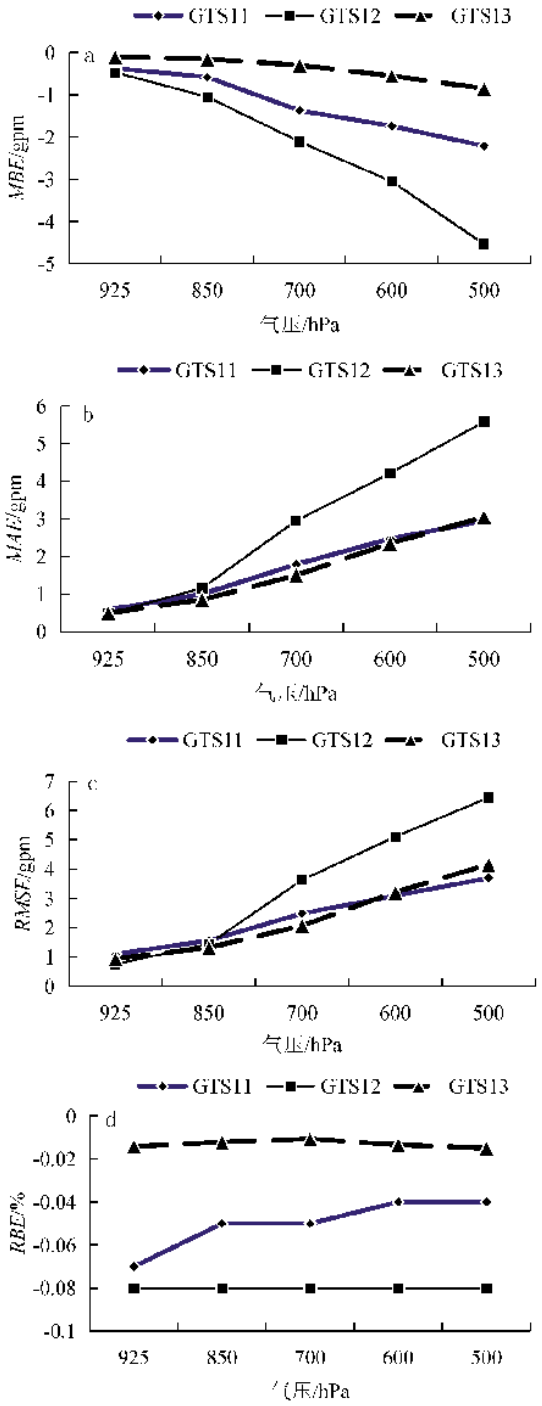

图 2　GTS11、GTS12、GTS13 与 GTS1 型探空仪位势高度观测差异

GTS11、GTS12、GTS13 型 3 种探空仪测量相对湿度均较 GTS1 型探空仪偏湿,GTS12、GTS13 型测量值随高度增高偏湿程度呈增大趋势。冒晓莉等[26-27]研究表明,太阳辐射引起湿度传感器感湿膜周围空气温度上升,导致相对湿度出现显著偏干现象,对 GTS1 型湿度测量的偏干影响仍较显著,温度

误差随海拔高度的升高明显增大。而 GTS11、GTS12、GTS13 型探空仪采用温度系数更低的高分子湿敏电容,减弱了温度的影响,降低了湿度偏干程度。

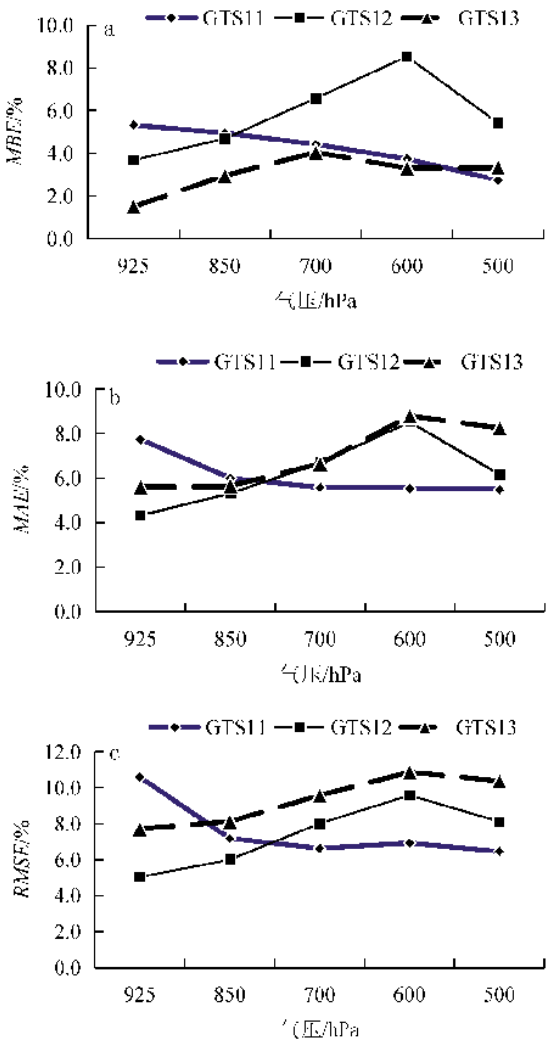

图 3 GTS11、GTS12、GTS13 与 GTS1 型探空仪湿度观测差异

2.5 GTS1 型探空仪 1 和 7 月历史观测数据对比

利用 2009—2019 年 1 和 7 月 GTS1 型数字探空仪观测得到的温度、气压和相对湿度,分析温度、位势高度和相对湿度 11 a 旬平均值在 5 个规定等压面上的变化特征(图 4)。1 和 7 月各旬温度的旬平均值随高度升高均呈下降趋势,变化幅度基本一致,1 和 7 月整体温度变化趋势基本一致(图 4a)。1 和 7 月各旬位势高度的旬平均值在 5 个规定等压面上的变化趋势基本一致,1 和 7 月整体位势高度随气压下降略有差异,从地面到 850 hPa,相同等压面上的位势高度 7 月略低于 1 月, 气压降至 850 hPa 以下后,相同等压面上的位势高度 7 月略高于 1 月,且随着气压下降差异略有增大(图 4b)。1 和 7 月各旬相对湿度的旬平均值在 5 个规定等压面上的变化趋势大体一致,1 和 7 月整体相对湿度随高度增加均呈下降趋势(图 4c)。1 和 7 月 GTS1 型探空仪对温度、位势高度和相对湿度的测量值, 在 5 个规定等压面上变化趋势基本一致。

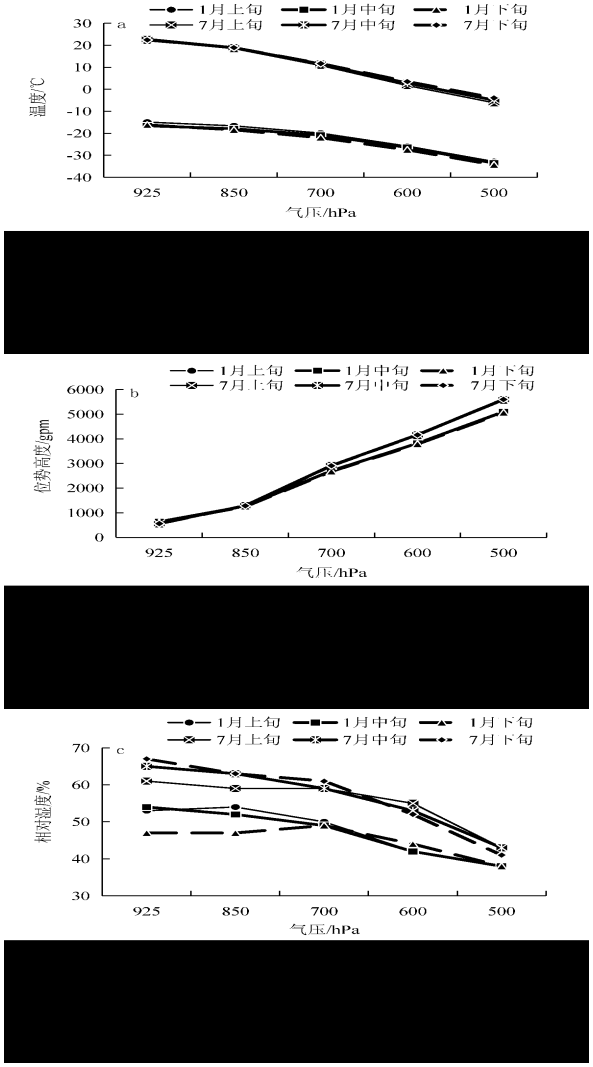

图 4 GTS1 型探空仪 2009—2019 年 1 月和 7 月观测数据旬平均值变化曲线

3 结论与讨论

(1)GTS11、GTS12、GTS13 型数字探空仪在 925~500 hPa 各等压面上测得的温度低于 GTS1 型探空仪,随气压降低温度差变化幅度微小,具有较好的一致性。对比分析 GTS1 型探空仪自身历史观测数据,其在 1 和 7 月对温度、位势高度和相对湿度的测量值,在 5 个规定等压面上变化趋势基本一致。

(2)GTS11、GTS12、GTS13 型数字探空仪位势高度测量值均低于 GTS1 型探空仪,平均偏差、绝对偏差和均方根误差均随着高度增高而增大,进一步分析相对误差,发现与 GTS1 型相比,在 5 个规定等压面处,GTS11 型位势高度相对误差介于-0.04%~-0.07%,变化幅度微小;GTS12 型相对误差均为-0.08%,GTS13 型相对误差均为-0.01%。相对误差随着高度增高基本保持不变,4 种型号探空仪在位势高度测量上具有良好的一致性。

(3)GTS11、GTS12、GTS13 型数字探空仪相对湿度测量值较 GTS1 型探空仪偏湿,GTS12、GTS13 型在 925~600 hPa 各等压面处测量值随高度增高偏湿程度呈增大趋势,600 hPa 处为突变点,达到最大差值,之后差值随高度增高而减小。

(4)受试验手段限制,本研究仅针对 925~500 hPa 各等压面处的观测数据进行对比分析。因在高度过 400 hPa 之后,GTS11、GTS12、GTS13 型数字探空仪搭载湿敏电容传感器出现湿度观测异常偏干的试验次数较多,不能准确真实地反映高空的大气状态,需要进一步订正,而 GTS1 型数字探空仪搭载湿敏电阻传感器相对湿度测量效果相对较好,差别原因有待于相关领域学者开展进一步研究。

参考文献:

[1] 宋连春,李伟.综合气象观测系统的发展[J].气象,2008,34(3):3-9.

[2] 郭启云,李伟,张玉存,等.GTS1 型、GTS1-1 型、GTS1-2 型探空仪性能试验与对比分析[J].气象水文海洋仪器,2012,29(1):5-10.

[3] 郭启云,李伟,张玉存.基于第 8 届国际探空比对试验对 GTS1-2 型探空仪技术改进与对比分析 [J]. 气象科技,2013,41(3):453-458,505.

[4] World Meteorological Organization.Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation [M].Geneva:WMO,2006.

[5] 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[J].气象科技,2006,34(5):606-609.

[6] 梁正鹏,黄平,马凤娓,等.GTS1-2 与 GTS11 探空仪三亚观测数据对比分析[J].陕西气象,2020,332(6):60-63.

[7] 姚雯,马颖,高丽娜.L 波段与 59-701 探空系统相对湿度对比分析[J].应用气象学报,2017,28(2):218-226.

[8] 郭启云,李峰,郭凯,等.新型 GPS 探空仪与业务 GTS1-2 探空仪对比分析[J].气象科技,2015,43(1):59-64,75.

[9] 贾秋兰,梁春旺,赵玉兵,等.GTS12、GTS13 与 GTS1 数字探空仪观测数据对比分析 [J]. 气象水文海洋仪器,2020,37(3):46-49.

[10] 黑龙江省气象局. 黑龙江省基层气象台站简史 [M].北京:气象出版社,2010:78-132.

[11] 张霭琛. 现代气象观测 [M]. 北京:北京大学出版社,2000:423.

[12] 伊里哈木,刘卫平,胡义成,等.新疆探空仪器换型前后资料对比分析[J].沙漠与绿洲气象,2013,7(2):61-67.

[13] 中国气象局监测网络司.L 波段高空气象探测系统业务操作手册[M].北京:气象出版社,2005.

[14] 中国气象局.常规高空气象观测业务手册[M].北京:气象出版社,2012.

[15] 中国气象局.常规高空气象业务观测规范[M].北京:气象出版社,2010.

[16] 吴月友.L 波段雷达工作原理及维修保养方法[J].气象水文海洋仪器,2014,31(1):103-106,109.

[17] 弓宇恒.L 波段高空探测系统数据处理的误差分析[J].气象水文海洋仪器,2019,36(1):23-29.

[18] 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法[M].北京:气象出版社,2004:298.

[19] 赵煜飞,周自江,张强.国家基准站自动与人工气象观测值差异评估[J].气象科技,2011,39(4):462-467.

[20] 秦榕,杨霰,陈艳丽,等.新疆地区降水现象仪平行观测对比分析[J].沙漠与绿洲气象,2019,13(4):117-123.

[21] 王丽娜,王若升,薛啟,等.甘肃崆峒站新旧址气温对比分析[J].沙漠与绿洲气象,2019,13(1):117-121.

[22] RYAN T A,JOINER B L.Normal probability plots and tests for normality [R].The State College,Pennsylvania State University,1976.

[23] 杨斌.正态性检验的几种方法比较[J].统计与决策,2015(14):72.

[24] 余学祥,吕伟才,赵佳星,等.《卫星导航定位原理与应用》慕课的学习效果评价[J].教育现代化,2020,7(5):105-108.

[25] 颜国跑,廖可文,刘义兵.GTS1-2A 型探空仪业务化试验结果分析评估[J].科技创业月刊,2013,26(7):186-188.

[26] 冒晓莉,张加宏,肖韶荣,等.基于流体动力学的探空仪 GTS1 湿度测量误差修正研究 [J]. 地球物理学报,2016,59(12):4791-4805.

[27] 冒晓莉,肖韶荣,张加宏,等.探空湿度测量太阳辐射误差时空分布特征研究 [J]. 科学技术与工程,2015,15(10):1-9.

沙 漠 与 绿 洲 气 象
Desert and Oasis Meteorology
第 15 卷 第 6 期
2021 年 12 月

Comparative Analysis on Observation Data of Four Digital Radiosondes in Qiqihar City

WANG Rui[1], YUAN Xiangling[1], ZHAO Lin[2], LIU Chunfang[1], WANG Na[1], ZHU Chunxiang[1]
(1.Qiqihar Meteorological Bureau, Qiqihar 161006, China;
2.Yilan Meteorological Bureau, Yilan 154800, China)

Abstract Based on the comparative observation data obtained during the upper-air parallel observation of Qiqihar national ordinary station in January and July 2020, and the observation data obtained by GTS1 digital radiosonde in January and July during 2009—2019, the Ryan-Joiner method was used for normality test, the average deviation, absolute deviation, root mean square error and relative error are used as evaluation indexes for comparative analysis, the difference of temperature, geopotential height and relative humidity among GTS11 digital radiosonde, GTS12 digital radiosonde, GTS13 digital radiosonde and GTS1 digital radiosonde is analyzed, and the variation characteristics of the 11a ten-day average values of GTS1 radiosonde historical observation data on the five specified isobaric surfaces are analyzed. The results indicate that the temperature of GTS11 digital radiosonde, GTS12 digital radiosonde and GTS13 digital radiosonde is lower than that of GTS1 digital radiosonde, the relative humidity of GTS11 digital radiosonde, GTS12 digital radiosonde and GTS13 digital radiosonde is higher than that of GTS1 digital radiosonde, and the geopotential height of GTS11 digital radiosonde, GTS12 digital radiosonde and GTS13 digital radiosonde is slightly lower than that of GTS1 digital radiosonde, and there is a good consistency between the comparison samples. The temperature, geopotential height and relative humidity of GTS1 digital radiosonde show the same trend in January and July on the five specified isobaric surfaces.

Key words upper-air sounding; L-band radar; tadiosonde; difference; comparative analysis