

云南探空仪换型温度和位势高度观测数据对比分析

杨国彬¹ 舒康宁^{1*} 李成鹏² 周可¹ 番聪聪¹ 蒋锐¹

(1 云南省气象信息中心, 昆明 650034; 2 云南省人工影响天气中心, 昆明 650034)

摘要 基于云南探空仪换型平行观测期间各标准等压面上的温度和位势高度观测数据以及对应的 ECMWF 模式预报场数据, 利用偏差、标准差、均方根误差和相关系数等对新、旧探空仪观测数据进行对比分析和评估。结果表明: 新、旧探空仪观测数据一致性较好, 在 100 hPa 以下两者温度绝对偏差小于 1.0 °C, 位势高度绝对偏差小于 30 gpm, 100 hPa 以上温度和位势高度最大绝对偏差分别为 3.9 °C 和 151.0 gpm。除高层个别等压面外, 新、旧探空仪观测数据离散性基本一致或新探空仪离散性相对较小。新探空仪观测数据与模式数据更为一致, 在中高层表现更为明显; 相对于模式数据, 新、旧探空仪温度偏差分别集中在 ±0.7 °C、±0.9 °C 左右, 最大均方根误差分别为 3.0 °C、4.5 °C, 平均相关系数分别约为 0.78、0.73; 新、旧探空仪位势高度最大偏差分别为 28.5 gpm、130.9 gpm, 最大均方根误差分别为 87.6 gpm、136.9 gpm, 平均相关系数分别约为 0.86、0.78。

关键词 探空仪换型; 温度; 位势高度; 对比分析; 评估

中图分类号: P412.23 **DOI:** 10.19517/j.1671-6345.20210499 **文献标识码:** A

引言

探空观测作为综合气象观测的重要组成部分^[1], 是气象业务的基础之一^[2], 探空观测可以定点定时进行高空气象数据的观测, 受地物、地形及人类活动的影响较小, 其数据具有时间序列长、垂直分辨率高等优点^[3-4]; 探空观测数据常被用于评估检验数值预报产品^[5]、再分析资料^[6]和微波辐射计^[7-8]、风廓线^[9-10]、卫星等^[11-13]遥感探测产品, 并广泛应用于天气预报、气象科研和各类气象服务^[14-20]。

探空仪是一种测量地面至高空的大气温度、压力、湿度等气象要素的一次性使用仪器^[21], 20 世纪 50 年代以来, 我国高空气象观测网使用的探空仪已经历了 3 代^[22], 分别是 49 型探空仪、59 型探空仪和 L 波段雷达-数字探空仪。2002—2011 年我国高空气象观测站完成了 59 型探空仪到 L 波段雷达-数字探空仪的换型^[23], 很多学者对不同探空系统和仪器的观测数据进行了对比研究, 相关研究结果表明, L 波段雷达-数字探空仪与 59 型探空仪观测数据有

较好的连续性^[24-25], 500 hPa 高度以下, 59 型探空仪与 L 波段雷达-数字探空仪温度和位势高度较为一致, 500 hPa 以上 L 波段雷达-数字探空仪离散性明显小于 59 型探空仪^[26-28]; L 波段雷达-数字探空仪相对湿度观测值较 59 型探空仪显著偏低^[29-30]。虽然 L 波段雷达-数字探空仪整体性能较 59 型探空仪有了较大的提升, 但国产数字探空仪较国际先进探空仪还是有一定差距^[31], 为了进一步提升我国高空气象观测水平, 中国气象局组织各探空仪生产厂家致力于探空仪的升级改进。相对于改进前, 改进后探空仪工作方式、数据格式等未改变, 气压传感器均为压阻式硅压力传感器, 主要差别是对温度和湿度传感器进行了技术改进, 温度传感器由涂白漆棒状热敏电阻改进为真空溅射镀膜珠状热敏电阻, 对短波反射率更高, 具有准确性高、响应速度快、防辐射性能和防水性能好等优点, 并对温度辐射误差修正算法进行了改进; 湿度传感器由高分子湿敏电阻改进为高分子湿敏电容, 具有反复使用、响应速度快、滞后误差小等优点。中国气象局综合观测司于

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

云南省气象局科研项目(YZ202112)资助

作者简介: 杨国彬, 男, 1990 年生, 工程师, 主要从事气象资料质量控制与应用研究, Email: yanggb_ynu@163.com

收稿日期: 2021 年 11 月 15 日; 定稿日期: 2022 年 4 月 29 日

* 通信作者, Email: knshu@163.com

2020年组织开展了探空仪升级换型工作,新探空仪2020年1月1日开始正式业务运行,为了对比分析换型前后探空仪的差异,各高空气象观测站分别于2020年1月和7月进行新探空仪与旧探空仪的平行对比观测,平行对比观测采用同球施放的方式进行,每天1次,08:00和20:00(北京时,下同)交替进行,各时间段不少于30次有效观测。

为了尽可能减少仪器换型对数据一致性的影响,平行对比观测是确定新老仪器换型引起的观测数据系统差值最直接有效的方法^[32],通过对平行对比观测数据进行科学的统计分析以获取新的探测仪器使用前后的系统偏差。近年来,对地面观测系统仪器换型的对比观测数据有较多研究分析^[33],中国气象局对此出台了专门的评估方法,而针对探空仪换型对比观测数据的评估分析相对较少,也无统一的评估标准和方法。国内部分研究人员曾对不同阶段探空仪换型的对比观测数据进行过统计分析^[22-30,33],主要是针对对比观测数据分析新旧探空仪在性能、稳定性及各观测要素数值上的差异。但由于探空观测的特点,在不同的季节,大气温度层结廓线的不同会引起探空仪滞后等误差的变化;而在不同的施放时间,太阳高度角的不同关系到探空仪太阳辐射误差的订正效果^[22]。此外,随着数值预报准确性的不断提高,使用数值模式预报场作为客观量化的背景场,对探空数据进行评估已经成为评价观测质量的重要手段^[34-38]。为了更好地对比分析云南新、旧探空仪观测数据的差异,本文基于云南5个高空气象观测站各标准等压面上新、旧探空仪的温度和位势高度观测数据和对应的ECMWF模式预报场数据,分别从不同月份(1月和7月)、不同时段(08:00和20:00)对新、旧探空仪平行观测数据进行对比分析和评估。

1 数据和方法

1.1 数据

本次探空仪换型涉及3种不同型号的探空仪,分别是GTS11型探空仪(改进前型号为GTS1-2)、GTS12型探空仪(改进前型号为GTS1)、GTS13型探空仪(改进前型号为GTS1-1);本文的研究不进行具体型号的区分,将GTS11、GTS12和GTS13型探空仪统称为新探空仪,GTS1、GTS1-1和GTS1-2型探空仪统称为旧探空仪。本文所使用的观测数据

为云南省丽江、腾冲、昆明、思茅、蒙自5个高空气象观测站(图1)2020年1月和7月平行观测的17层标准等压面(850、700、600、500、400、300、250、200、150、100、70、50、40、30、20、15、10 hPa)上新、旧探空仪温度和位势高度数据。模式背景场数据采用相同时间段的欧洲中期数值预报中心(ECMWF)东亚地区高分辨率数值确定性预报产品,空间分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$,垂直方向包括14层标准等压面(850、700、600、500、400、300、250、200、150、100、70、50、20、10 hPa)。

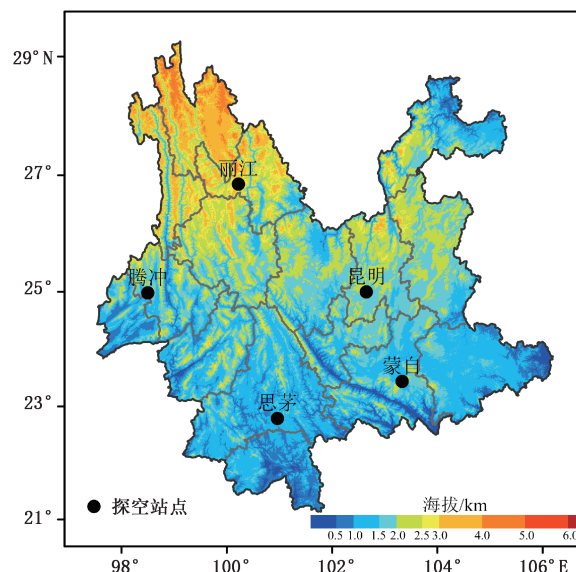


图1 云南高空气象观测站点分布

1.2 方法

(1)标准差(Standard Deviation, S_D):描述观测数据与平均值差异的平均状况的统计量,可以有效衡量观测数据围绕平均值的平均变化幅度,标准差越小,观测数据偏离平均值越少,通过计算各标准等压面上新、旧探空仪观测数据的标准差,可以有效反映观测数据的稳定性和离散性。观测数据的标准差计算公式为:

$$S_D = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (1)$$

式中, S_D 为标准差, O_i 为第 i 个观测数据, $\bar{O}$ 观测数据的平均值, N 为观测数据样本总量。

(2)偏差(Bias, B_{IAS}):表示不同数据之间差异的统计量,新探空仪观测数据相对于旧探空仪观测数据的偏差 B_{IAS} 为:

$$B_{IAS1} = O_1 - O_2 \quad (2)$$

式中, O_1 为新探空仪观测数据, O_2 为旧探空仪观测数据。

观测数据相对于背景场数据的偏差 B_{IAS2} 为:

$$B_{IAS2} = O - H(B) \quad (3)$$

式中, O 为观测数据, B 为对应的背景场数据, H 为观测算子, 即通过水平的空间插值将格点上的背景场数据插值到站点, 本研究所用的插值方法为双线性内插法^[39]。

(3) 均方根误差 (Root Mean Square Error, R_{MSE}): 描述观测数据与背景场数据之间离散程度的统计量, 即观测数据相对于背景场数据偏差的标准差, 均方根误差越小, 表明观测数据和背景场数据一致性越高。均方根差 R_{MSE} 计算公式为:

$$R_{MSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N B_{IAS2_i}^2} \quad (4)$$

(4) 相关系数 (Related Coefficient, R): 衡量不同数据之间关系密切程度的统计量, 对于观测数据与背景场数据的相关系数 $R_{(O,B)}$ 计算公式为:

$$R_{(O,B)} = \frac{C_{ov(O,B)}}{\sqrt{V_{ar(O)} V_{ar(B)}}} \quad (5)$$

式中, $C_{ov(O,B)}$ 为观测数据与背景场数据的协方差, $V_{ar(O)}$ 、 $V_{ar(B)}$ 分别为观测数据和背景场数据的方差。相关系数越大, 表明观测数据和背景场数据相关程度越大。

相关系数的大小是否显著需要作统计检验^[40], 相关系数 $R_{(O,B)}$ 的概率密度函数遵从自由度为 $N-2$ 的 t 分布, 即

$$t = \frac{R_{(O,B)}}{\sqrt{1 - R_{(O,B)}^2}} \sqrt{N-2} \quad (6)$$

式中, t 为显著性统计检验值; 显著性水平为 α 时的界限值为 t_α , 则当 $|t| \geq t_\alpha$, 认为相关系数 $R_{(O,B)}$ 是显著的, 反之则不显著。

2 结果分析

2.1 器测比对

基于 17 层标准等压面上的观测数据, 从新探空仪观测数据相对于旧探空仪的偏差以及新、旧探空仪观测数据的标准差两个方面对新、旧探空仪观测数据的系统性差异以及新、旧探空仪观测数据的稳定性进行分析。

2.1.1 偏差

新探空仪温度和位势高度观测数据相对于旧探空仪的偏差垂直分布如图 2 所示。由图 2a 可知, 100 hPa 以下除个别等压面外新探空仪温度观测数据小于旧探空仪, 两者绝对偏差小于 1.0 °C, 同一月份 08:00 和 20:00 偏差差异不大, 1 月和 7 月偏差分别集中在 -0.5 °C 和 -0.7 °C 左右; 100 hPa 以上, 08:00 以负偏差为主, 偏差在 -3.0 ~ 0.6 °C, 20:00 均为正偏差, 偏差在 0.3 ~ 3.9 °C。除低层和高层个别等压面外, 同一时次 7 月绝对偏差大于 1 月。

由图 2b 可知, 除 20:00 的 20 hPa 及以上等压面外新探空仪位势高度观测数据小于旧探空仪, 绝对偏差随高度增加先增大后减小再增大; 100 hPa 以下同一月份 08:00 和 20:00 偏差差异不大, 1 月绝对偏差小于 20 gpm, 7 月绝对偏差小于 30 gpm; 100 hPa 以上 08:00 绝对偏差大于 20:00, 1 月 08:00 和 20:00 偏差分别在 -151.0 ~ -23.1 gpm 和 -19.2 ~ 39.0 gpm, 7 月 08:00 和 20:00 偏差分别在 -91.4 ~ -24.3 gpm 和 -38.0 ~ 37.1 gpm。300 ~ 30 hPa 同一时次 7 月绝对偏差大于 1 月, 其他等压面则相反。

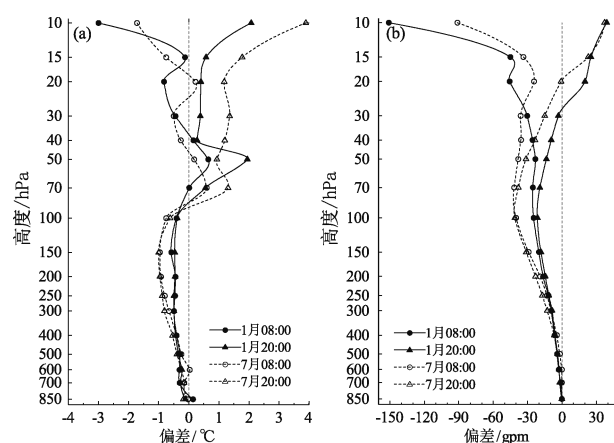


图 2 不同月份不同时次各等压面新探空仪温度(a)和位势高度(b)观测数据相对于旧探空仪偏差

2.1.2 标准差

新、旧探空仪温度观测数据标准差垂直分布如图 3 所示。由图可知, 新、旧探空仪温度标准差季节差异明显, 1 月 850 ~ 100 hPa 随高度增加而呈“W”形变化, 新、旧探空仪标准差较为一致, 在 1.9 ~ 5.5 °C, 400 hPa 和 100 hPa 附近大于 4.0 °C; 100 hPa 以上

基本随高度增加而减小,除个别等压面外新探空仪标准差大于旧探空仪,新、旧探空仪标准差分别在 $1.8\sim 4.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0.9\sim 3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。7月除高层个别等压面外,新、旧探空仪标准差较为一致;100 hPa以下除20:00的850 hPa外,各等压面标准差差异不大,集中在 $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右;100 hPa以上随高度增加而波动着增大,新、旧探空仪标准差分别在 $1.6\sim 2.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $1.6\sim 3.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。

从不同月份看,除旧探空仪30 hPa及以上等压面外,1月标准差大于7月。从不同时段看,1月新探空仪850、250、70、30、20 hPa和旧探空仪850、250、150、70~40 hPa以及7月新探空仪850、700、500、300、70、40、10 hPa和旧探空仪850、700、50、30~15 hPa 08:00标准差小于20:00,其他等压面则相反。

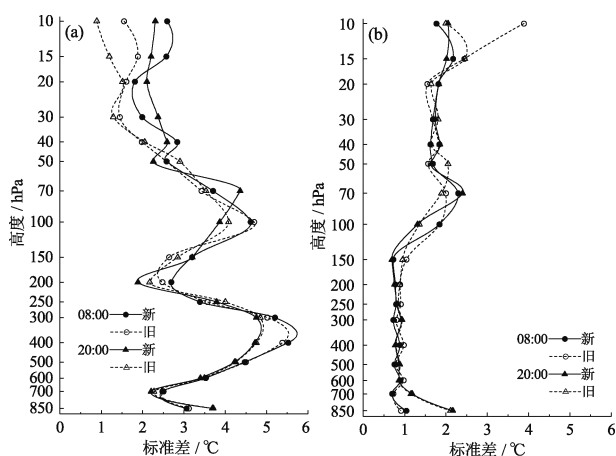


图3 1月(a)和7月(b)不同时段新、旧探空仪各等压面温度标准差

新、旧探空仪位势高度观测数据标准差垂直分布如图4所示。由图可知,新、旧探空仪位势高度标准差季节差异明显,1月随高度增加而呈在200 hPa和10 hPa附近出现峰值的“双峰型”变化,除08:00的400~250、40~10 hPa和20:00的20~10 hPa外,同一时段新探空仪标准差小于旧探空仪;新、旧探空仪标准差分别在 $22.4\sim 110.7\text{ gpm}$ 、 $22.3\sim 115.5\text{ gpm}$,200 hPa附近大于110 gpm。7月随高度增加而波动着增大,除20:00的30~15 hPa外,同一时段新探空仪标准差小于旧探空仪;新、旧探空仪标准差分别在 $12.6\sim 31.8\text{ gpm}$ 、 $13.0\sim 73.2\text{ gpm}$ 。

从不同月份看,除旧探空仪08:00的20、10

hPa外,1月标准差大于7月。从不同时段看,1月新探空仪400~40 hPa和旧探空仪250~150 hPa以及7月新探空仪800~600、10 hPa和旧探空仪850~600、250~100、50~10 hPa 08:00标准差大于20:00,其他等压面则相反。

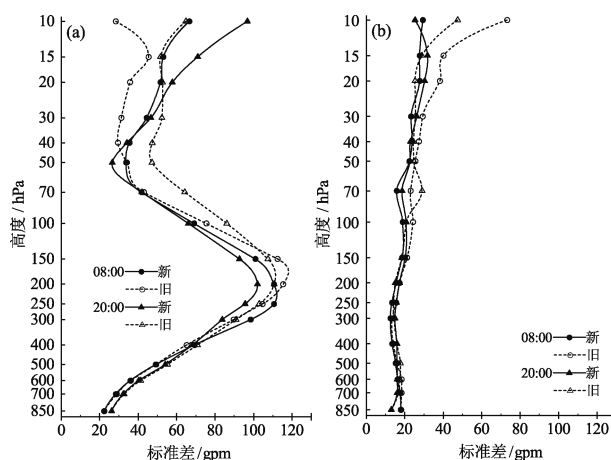


图4 同图3,但为位势高度

2.2 背景场分析评估

以ECMWF模式12 h预报场数据作为背景场,基于14层标准等压面上的观测数据和背景场数据,通过计算各标准等压面上新、旧探空仪观测数据相对于模式数据的偏差、均方根误差和相关系数等对观测数据进行定量化分析评估。

2.2.1 偏差

新、旧探空仪温度观测数据相对于模式数据偏差垂直分布如图5所示。除个别等压面外,新探空仪绝对偏差小于旧探空仪。由图5a可知,1月08:00新探空仪在850~100 hPa以负偏差为主,除700 hPa外偏差均在 $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内,70~10 hPa均为正偏差,除20 hPa外大于 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,50 hPa最大为 $0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$;旧探空仪除850~700 hPa外均为正偏差,除20、10 hPa外偏差均在 $\pm 0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内,10 hPa最大为 $2.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。1月20:00新探空仪随高度增加正负偏差交替出现,除850、70、10 hPa外偏差均在 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内,850 hPa最大为 $1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$;旧探空仪850~70 hPa为正偏差,70 hPa以上为负偏差,除850、10 hPa外偏差均在 $\pm 0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内,10 hPa最大为 $-1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

由图5b可知,7月08:00新探空仪除850、500、250~100 hPa外均为负偏差,除850、10 hPa外偏差均在 $\pm 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内,10 hPa最大为 $-1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$;旧探空仪850~100 hPa除600 hPa外均为正偏差,70~

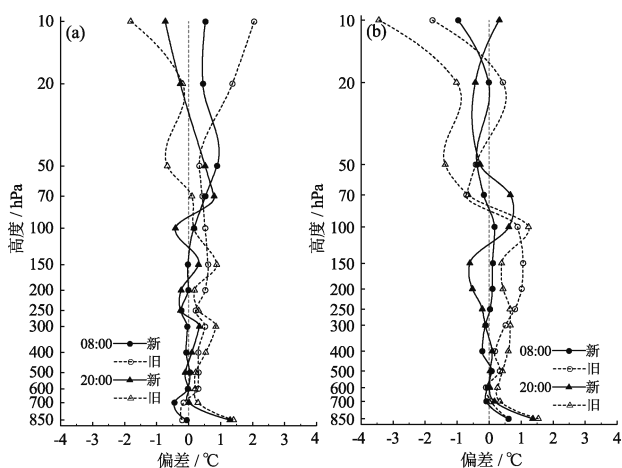


图5 1月(a)和7月(b)新、旧探空仪温度观测数据相对于模式数据偏差垂直分布

10 hPa除20 hPa外均为负偏差,除200~150、10 hPa外偏差均在 $\pm 0.9^{\circ}\text{C}$ 以内,10 hPa最大为 -1.8°C 。7月20:00新探空仪850~400、100~70、10 hPa为正偏差,其他等压面为负偏差,除850外偏差均在 $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$ 以内,850 hPa最大为 1.4°C ;旧探空仪850~100 hPa为正偏差,70~10 hPa为负偏差,除850、100、50~10 hPa外偏差均在 $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$ 以内,10 hPa最大为 -3.4°C 。

从不同月份看,08:00新探空仪700、250、70~20 hPa和旧探空仪700~400、20、10 hPa以及20:00新探空仪500~250、70~50、10 hPa和旧探空仪300、150 hPa 1月绝对偏差大于7月,其他等压面则相反。从不同时段看,1月新探空仪700、50、20 hPa和旧探空仪600、500、200、100~70、20、10 hPa以及7月新探空仪600~400、50、10 hPa和旧探空仪250~150、70 hPa 08:00绝对偏差大于20:00,其他等压面则相反。

新、旧探空仪位势高度观测数据相对于模式数据偏差垂直分布如图6所示。总体来说,新探空仪偏差小于旧探空仪,500 hPa以上差异更为显著。由图6a可知,1月08:00新探空仪850~150 hPa为负偏差,各等压面差异较小,绝对偏差小于3.0 gpm,100~10 hPa正偏差随高度增加而增大,最大为28.5 gpm;旧探空仪除850 hPa外均为正偏差,随高度增加而增大,最大为130.9 gpm。1月20:00新探空仪850~200、10 hPa为负偏差,各等压面差异较小,绝对偏差小于5.0 gpm,150~20 hPa正偏差基本随高度增加而增大,最大为10.2 gpm;旧探

空仪除850、10 hPa外均为正偏差,700~50 hPa偏差随高度增加而增大,最大为32.5 gpm。

由图6b可知,7月新探空仪各等压面差异不大,绝对偏差小于8.0 gpm,850~150 hPa以负偏差为主,100~10 hPa以正偏差为主;旧探空仪08:00除850 hPa外均为正偏差,基本随高度增加而增大,最大为61.4 gpm,20:00除850、10 hPa外均为正偏差,正偏差随高度增加先增大,70 hPa达到最大值47.4 gpm后略有减小。

从不同月份看,50 hPa以上除20:00旧探空仪外1月偏差显著大于7月,其他等压面1月和7月差异不大。从不同时段看,1月50 hPa及以下等压面同一探空仪08:00和20:00差异较小,50 hPa以上08:00大于20:00;7月新探空仪不同时段差异较小,而旧探空仪变化特征与1月一致。

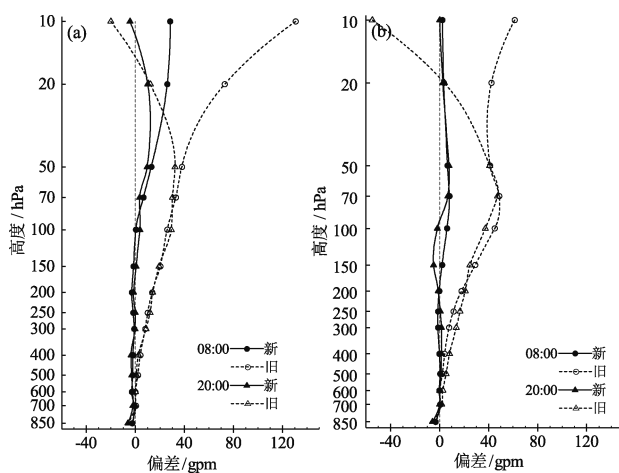


图6 同图5,但为位势高度

2.2.2 均方根误差

新、旧探空仪温度观测数据相对于模式数据均方根误差垂直分布如图7所示。由图可知,除低层和高层个别等压面外,新探空仪均方根误差小于旧探空仪。1月新、旧探空仪均方根误差随气压变化形势基本一致,50 hPa附近较大;新、旧探空仪均方根误差分别在 $0.8\sim 2.6^{\circ}\text{C}$ 、 $0.9\sim 2.5^{\circ}\text{C}$,其中700~150 hPa小于 1.5°C ,70~10 hPa部分等压面大于 2.0°C 。7月新、旧探空仪均方根误差在100 hPa以下除850 hPa外各等压面差异较小,100 hPa以上基本随高度增加而增大;新探空仪均方根误差在 $0.5\sim 3.0^{\circ}\text{C}$,700~150 hPa小于 1.0°C ,10 hPa大于 2.5°C ,旧探空仪均方根误差在 $0.7\sim 4.5^{\circ}\text{C}$,700~200 hPa小于 1.5°C ,10 hPa大于 3.0°C 。

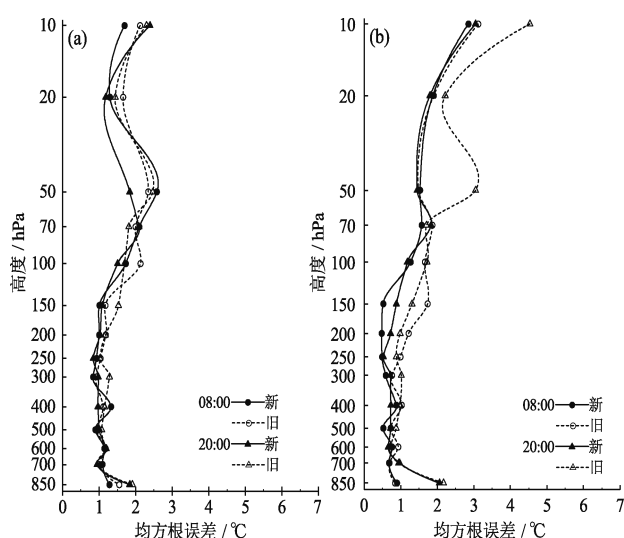


图7 1月(a)和7月(b)新、旧探空仪温度观测数据相对于模式数据均方根误差垂直分布

从不同月份看,除低层和高层部分等压面外,1月均方根误差略大于7月。从不同时段看,1月新探空仪400、50 hPa和旧探空仪100 hPa以及7月旧探空仪600、200、150 hPa 08:00显著大于20:00,而1月新探空仪850、10 hPa和旧探空仪850、300、150 hPa以及7月新探空仪850、150、70 hPa和旧探空仪850、50~10 hPa 08:00显著小于20:00;其他等压面同一探空仪08:00和20:00差异较小。

新、旧探空仪位势高度观测数据相对于模式数据均方根误差垂直分布如图8所示。由图可知,400 hPa以下新、旧探空仪均方根误差差异较小,400 hPa以上除个别等压面外新探空仪均方根误差小于旧探空仪。1月除20:00旧探空仪外,均方根误差均随高度增加而增大;新探空仪在4.4~87.6 gpm,850~500 hPa小于10.0 gpm,400~100 hPa小于20.0 gpm,100 hPa以上大于25.0 gpm;旧探空仪在4.3~136.9 gpm,850~500 hPa小于10.0 gpm,400~300 hPa小于20.0 gpm,300 hPa以上大于20.0 gpm。7月新探空仪均方根误差基本随高度增加而增大,在3.9~46.8 gpm,850~400 hPa小于10.0 gpm,300~100 hPa小于20.0 gpm,100 hPa以上大于17.0 gpm;旧探空仪均方根误差850~70 hPa随高度增加而增大,随后随高度增加先减小后增大,在4.5~87.3 gpm,850~500 hPa小于10.0 gpm,400~250 hPa小于20.0 gpm,200 hPa以上大于25.0 gpm。

从不同月份看,同一探空仪均方根误差在100 hPa以下1月和7月差异较小,100 hPa以上除个别等压面外,1月大于7月。从不同时段看,1月新探空仪700~70 hPa和旧探空仪20、10 hPa 08:00大于20:00,其他等压面则相反;7月除旧探空仪50 hPa以上08:00相对较大外,同一探空仪08:00和20:00差异不大。

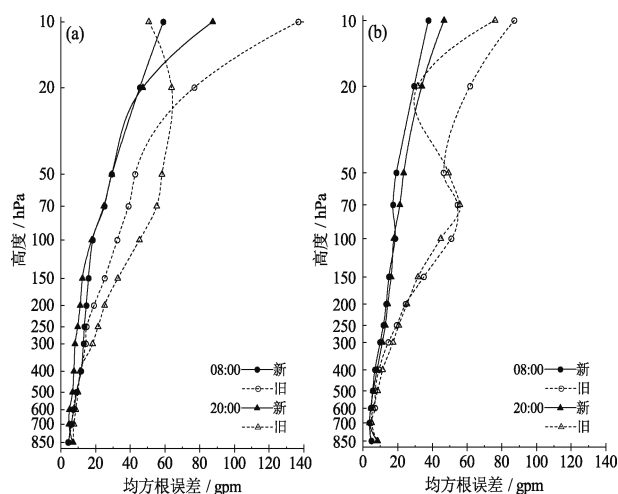


图8 同图7,但为位势高度

2.2.3 相关系数

1月新、旧探空仪各等压面温度观测数据与模式数据相关系数如表1所示,由表1可知,除旧探空仪10 hPa外,温度观测数据与模式数据显著正相关,850~70 hPa新、旧探空仪相关系数大于0.85;新探空仪850、400、250、100~20 hPa和旧探空仪850、250、70、50 hPa 08:00相关系数小于20:00,其他等压面则相反。08:00在100 hPa及以下新、旧探空仪相关系数差异不大,100 hPa以上新探空仪相关系数小于旧探空仪;20:00在50 hPa及以下新、旧探空仪相关系数差异不大,50 hPa以上新探空仪相关系数大于旧探空仪。

7月新、旧探空仪各等压面温度观测数据与模式数据相关系数如表2所示,由表2可知,除150 hPa和20、10 hPa部分时段外,温度观测数据与模式数据显著正相关,新、旧探空仪相关系数分别在0.7和0.6左右;新探空仪700、600、400、200、50~10 hPa和旧探空仪700、600、400、150、70 hPa 08:00相关系数小于20:00,其他等压面则相反。除08:00的850、300、50、10 hPa外新探空仪相关系数大于旧探空仪。

表 1 1 月新、旧探空仪各等压面温度观测数据与模式数据相关系数

时次	850 hPa	700 hPa	600 hPa	500 hPa	400 hPa	300 hPa	250 hPa
08:00 新	0.915 ***	0.936 ***	0.959 ***	0.982 ***	0.972 ***	0.988 ***	0.971 ***
08:00 旧	0.876 ***	0.939 ***	0.960 ***	0.982 ***	0.979 ***	0.988 ***	0.967 ***
20:00 新	0.941 ***	0.902 ***	0.951 ***	0.976 ***	0.981 ***	0.979 ***	0.982 ***
20:00 旧	0.948 ***	0.909 ***	0.956 ***	0.974 ***	0.979 ***	0.979 ***	0.976 ***
时次	200 hPa	150 hPa	100 hPa	70 hPa	50 hPa	20 hPa	10 hPa
08:00 新	0.929 ***	0.952 ***	0.931 ***	0.853 ***	0.469 ***	0.756 ***	0.880 ***
08:00 旧	0.914 ***	0.949 ***	0.908 ***	0.869 ***	0.532 ***	0.813 ***	
20:00 新	0.864 ***	0.952 ***	0.940 ***	0.906 ***	0.673 ***	0.817 ***	0.672 ***
20:00 旧	0.856 ***	0.931 ***	0.936 ***	0.898 ***	0.674 ***	0.615 ***	0.568

注: *、**、*** 分别表示相关系数通过了 0.1、0.05、0.01 的显著性检验,下同。

表 2 同表 1,但为 7 月

时次	850 hPa	700 hPa	600 hPa	500 hPa	400 hPa	300 hPa	250 hPa
08:00 新	0.865 ***	0.657 ***	0.664 ***	0.833 ***	0.598 ***	0.799 ***	0.851 ***
08:00 旧	0.891 ***	0.631 ***	0.529 ***	0.702 ***	0.440 ***	0.802 ***	0.772 ***
20:00 新	0.750 ***	0.906 ***	0.712 ***	0.663 ***	0.680 ***	0.781 ***	0.843 ***
20:00 旧	0.734 ***	0.903 ***	0.677 ***	0.614 ***	0.635 ***	0.745 ***	0.758 ***
时次	200 hPa	150 hPa	100 hPa	70 hPa	50 hPa	20 hPa	10
08:00 新	0.819 ***	0.763 ***	0.769 ***	0.769 ***	0.541 ***	0.415 ***	0.158
08:00 旧	0.645 ***	0.174	0.730 ***	0.639 ***	0.596 ***	0.338 *	0.783 ***
20:00 新	0.829 ***	0.543 ***	0.730 ***	0.735 ***	0.594 ***	0.560 ***	0.269
20:00 旧	0.598 ***	0.224 *	0.630 ***	0.698 ***	0.385 ***	0.213	0.005

结合表 1 和表 2 可知,除新探空仪 08:00 的 50 hPa 和 20:00 的 700 hPa 以及旧探空仪 08:00 的 850、50 hPa 外,1 月温度观测数据与模式数据相关系数大于 7 月。

1 月新、旧探空仪各等压面位势高度观测数据与模式数据相关系数如表 3 所示,由表 3 可知,除旧

探空仪 08:00 的 10 hPa 外,位势高度观测数据与模式数据显著正相关,850~100 hPa 相关系数大于 0.93;新探空仪 700~70 hPa 和旧探空仪 400、10 hPa 08:00 相关系数小于 20:00,其他等压面则相反。除 08:00 的 400~50 hPa 外新探空仪相关系数大于旧探空仪。

表 3 1 月新、旧探空仪各等压面位势高度观测数据与模式数据相关系数

时次	850 hPa	700 hPa	600 hPa	500 hPa	400 hPa	300 hPa	250 hPa
08:00 新	0.987 ***	0.981 ***	0.985 ***	0.986 ***	0.989 ***	0.992 ***	0.993 ***
08:00 旧	0.987 ***	0.977 ***	0.982 ***	0.986 ***	0.990 ***	0.993 ***	0.995 ***
20:00 新	0.985 ***	0.992 ***	0.994 ***	0.995 ***	0.996 ***	0.996 ***	0.996 ***
20:00 旧	0.984 ***	0.967 ***	0.976 ***	0.985 ***	0.991 ***	0.988 ***	0.988 ***
时次	200 hPa	150 hPa	100 hPa	70 hPa	50 hPa	20 hPa	10 hPa
08:00 新	0.992 ***	0.989 ***	0.969 ***	0.843 ***	0.693 ***	0.762 ***	0.881 ***
08:00 旧	0.993 ***	0.991 ***	0.972 ***	0.901 ***	0.821 ***	0.562 ***	0.548
20:00 新	0.995 ***	0.993 ***	0.973 ***	0.846 ***	0.516 ***	0.685 ***	0.799 ***
20:00 旧	0.986 ***	0.976 ***	0.932 ***	0.768 ***	0.402 **	0.331 *	0.64 *

7 月新、旧探空仪各等压面位势高度观测数据与模式数据相关系数如表 4 所示,由表 4 可知,除 08:00 新探空仪 10 hPa 和旧探空仪 20 hPa 外,位势高度观测数据与模式数据显著正相关,850~400 hPa 相关系数大于 0.8,400 hPa 以上新、旧探空平均相

关系数分别约为 0.75 和 0.58;新探空仪 500~200、20、10 hPa 和旧探空仪 600~20 hPa 08:00 相关系数小于 20:00,其他等压面则相反。除 08:00 的 850、10 hPa 以及 20:00 的 600~400、20 hPa 外新探空仪相关系数大于旧探空仪。

表 4 同表 3,但为 7 月

时次	850 hPa	700 hPa	600 hPa	500 hPa	400 hPa	300 hPa	250 hPa
08:00 新	0.979 ***	0.980 ***	0.962 ***	0.925 ***	0.864 ***	0.753 ***	0.731 ***
08:00 旧	0.980 ***	0.968 ***	0.894 ***	0.911 ***	0.813 ***	0.557 ***	0.516 ***
20:00 新	0.879 ***	0.975 ***	0.955 ***	0.930 ***	0.869 ***	0.779 ***	0.758 ***
20:00 旧	0.872 ***	0.964 ***	0.958 ***	0.934 ***	0.877 ***	0.731 ***	0.707 ***

时次	200 hPa	150 hPa	100 hPa	70 hPa	50 hPa	20 hPa	10 hPa
08:00 新	0.745 ***	0.799 ***	0.797 ***	0.816 ***	0.800 ***	0.572 ***	0.163
08:00 旧	0.592 ***	0.563 ***	0.498 ***	0.346 **	0.500 ***	0.187	0.661 ***
20:00 新	0.766 ***	0.796 ***	0.791 ***	0.731 ***	0.739 ***	0.630 ***	0.674 **
20:00 旧	0.665 ***	0.617 ***	0.554 ***	0.511 ***	0.640 ***	0.652 ***	0.611 **

结合表 3 和表 4 可知,除新探空仪 50 hPa 以及旧探空仪 08:00 的 10 hPa 和 20:00 的 50 hPa 外,1 月位势高度观测数据与模式数据相关系数大于 7 月。

3 结论

基于云南高空气象观测站探空仪换型平行观测期间各标准等压面上的温度和位势高度观测数据以及对应的 ECMWF 模式预报场数据,利用偏差、标准差、均方根误差和相关系数等进行不同月份不同时次新、旧探空仪观测数据的对比分析和评估,得到以下主要结论:

- (1)新、旧探空仪温度观测数据一致性较好,在 100 hPa 以下,新探空仪温度观测数据小于旧探空仪,08:00 和 20:00 偏差较为一致,1 月和 7 月偏差分别集中在-0.5℃和-0.7℃;在 100 hPa 以上,08:00 新探空仪温度观测数据基本都小于旧探空仪,最大偏差为-3.0℃,20:00 则相反,最大偏差为 3.9℃。
- (2)除 20:00 的 20 hPa 及以上等压面外新探空仪位势高度观测数据小于旧探空仪,在 100 hPa 以下 08:00 和 20:00 偏差较为一致,1 月绝对偏差小于 20 gpm,7 月绝对偏差小于 30 gpm;在 100 hPa 以上 08:00 绝对偏差大于 20:00,1 月 08:00 和 20:00 最大偏差分别为-151.0 gpm 和 39.0 gpm,7 月最大偏

- 差分别为-91.4 gpm 和-38.0 gpm。
- (3)由标准差分析可知,1 月 400 hPa 和 100 hPa 附近温度观测数据离散性较大,200 hPa 和 10 hPa 附近位势高度观测数据离散性较大;7 月温度和位势高度观测数据离散性基本随高度增加而增大。总体来说,08:00 温度和位势高度观测数据离散性大于 20:00,除高层个别等压面外,1 月观测数据离散性大于 7 月。除 1 月中高层部分等压面外,新、旧探空仪观测数据离散性基本一致或新探空仪离散性相对较小。

- (4)从偏差、均方根误差和相关系数等多角度分析可知,新探空仪温度和位势高度观测数据与模式数据更为一致,在中高层表现更为明显。相对于模式数据,新、旧探空仪温度偏差分别集中在±0.7℃、±0.9℃左右,最大偏差分别为 1.4℃、-3.4℃,最大均方根误差分别为 3.0℃、4.5℃,平均相关系数分别约为 0.78、0.73;新、旧探空仪位势高度最大偏差分别为 28.5 gpm、130.9 gpm,最大均方根误差分别为 87.6 gpm、136.9 gpm,平均相关系数分别约为 0.86、0.78。

参考文献

[1] 郭启云,杨荣康,钱媛,等. 气球携带探空仪上升和降落伞携带探空仪下降的全程探空对比分析[J]. 气象,2018,44(8): 1094-1103.

- [2] 梁静舒,王海深,胡恒. L 波段高空探测系统的时差及其测量不确定度[J]. 气象科技, 2021, 49(5): 681-686.
- [3] 郭艳君,王国复. 近 60 年中国探空观测气温变化趋势及不确定性研究[J]. 气象学报, 2019, 77(6): 1073-1085.
- [4] 曹晓钟,郭启云,杨荣康. 基于长时平漂间隔的上下二次探空研究[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(2): 198-204.
- [5] 梁寒,陈传雷,聂安祺,等. 辽宁地区“8.16”特大暴雨过程数值预报产品检验[J]. 气象与环境学报, 2016, 32(6): 1-9.
- [6] 赵天保,符淙斌. 应用探空观测资料评估几类再分析资料在中国区域的适用性[J]. 大气科学, 2009, 33(3): 634-648.
- [7] 田野,刘旭林,于永涛,等. 北京城区大气边界层高度的反演研究[J]. 气象科技, 2022, 50(1): 9-20.
- [8] 周高进,杨智鹏,彭静,等. 基于 LSTM 的地基微波辐射计湿度廓线反演[J]. 气象科技, 2022, 50(1): 21-29.
- [9] 吴蕾,陈洪滨,康雪. 风廓线雷达与 L 波段雷达探空测风对比分析[J]. 气象科技, 2014, 42(2): 225-230.
- [10] 张智华,刘建忠. 北京地区风廓线雷达水平风资料评价分析[J]. 气象科技, 2020, 48(2): 154-162.
- [11] 郭启云,杨荣康,程凯琪,等. 基于探空观测的多源掩星折射率质量控制及对比[J]. 应用气象学报, 2020, 31(1): 13-26.
- [12] 程凯琪,郭启云,马旭林,等. GNSS 掩星观测反演温度质量控制方法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(7): 177-186.
- [13] 程鹏,李宝梓,黄颖,等. TK-2GPS 人影探空火箭与 L 波段探空数据差异性分析[J]. 气象科技, 2021, 49(1): 46-54.
- [14] 樊雯璇,杨国彬,王卫国. 东亚对流层顶逆温层各要素的时空分布特征[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2017, 39(5): 820-828.
- [15] Durre I, Yin X, Vose R, et al. Enhancing the data coverage in the integrated global radiosonde archive [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2018, 35(9): 1753-1770.
- [16] 袁慧敏. 利用探空资料确定呼和浩特地区 3 类强对流天气预警阈值[J]. 气象科技, 2019, 47(3): 476-485.
- [17] 程胡华,鞠永茂,王益柏,等. 不同途径获得的大气重力波参数扰动场特征对比分析[J]. 气象科技, 2020, 48(5): 655-663.
- [18] 黄颖,张文煜,冒立鑫,等. 祁连山北坡云垂直分布特征[J]. 气象科技, 2021, 49(5): 794-798.
- [19] Yamazaki K, Miura H. On the formation mechanism of cirrus banding: Radiosonde observations, numerical simulations, and stability analyses [J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 2021, 78(11): 3477-3502.
- [20] 黄艳,俞小鼎,张云惠. 新疆短时强降水天气主要流型及环境参量特征分析[J]. 气象科技, 2022, 50(1): 85-93.
- [21] 姚雯,马颖. 秒级探空数据随机误差评估[J]. 应用气象学报, 2015, 26(5): 600-609.
- [22] 马颖,姚雯,黄炳勋. 59 型与 L 波段探空仪温度和位势高度记录对比[J]. 应用气象学报, 2010, 21(2): 214-220.
- [23] 王英,熊安元. L 波段探空仪器换型对高空湿度资料的影响[J]. 应用气象学报, 2015, 26(1): 76-86.
- [24] 李伟,李书严,陶士伟,等. L 波段高空气象探测系统性能评估[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(S4): 732-735.
- [25] 伊里哈木,刘卫平,胡义成,等. 新疆探空 8 站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.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 黄文杰,赵美,翟伶俐,等. 南京新旧探空系统资料差异分析[J]. 科技通报, 2013, 29(2): 19-21.
- [29] 张立功,陈志斌,王勇,等. L 波段雷达-电子探空仪系统对比观测分析[J]. 气象科技, 2007, 35(1): 123-125.
- [30] 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.
- [31] 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[J]. 气象, 2009, 35(10): 97-102.
- [32] 路传彬,陈娟,华行祥,等. 阜阳高空站两套系统对比观测的数据分析[C]//第 29 届中国气象学会年会, 2013.
- [33] 苑跃,陈中钰,赵晓莉,等. L 波段与 701-400M 探空系统观测资料比较评估[J]. 气象科技, 2014, 42(1): 42-47.
- [34] 马颖,姚雯,黄炳勋. 用初估场对比中芬探空仪温度和位势高度记录[J]. 应用气象学报, 2011, 22(3): 336-345.
- [35] 姚雯,马颖,王战,等. 用数值预报场间接对比新疆两种型号探空系统[J]. 应用气象学报, 2012, 23(2): 159-166.
- [36] 雷勇,郭启云,钱媛,等. L 波段雷达探空高度评估及其质量标识[J]. 应用气象学报, 2018, 29(6): 72-85.
- [37] 郭启云,钱媛,杨荣康,等. L 波段探空雷达测风质量控制方法研究[J]. 大气科学学报, 2020, 43(5): 845-855.
- [38] 杨国彬,郭启云,舒康宁,等. 基于单控制方法的探空测风数据质量分析[J]. 气象, 2021, 47(6): 727-736.
- [39] 谭桂容,郭志荣,陈旭红. 数值天气预报产品释用实习教程[M]. 北京:气象出版社, 2017: 187-195.
- [40] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 3 版. 北京:气象出版社, 2004: 23-25.

Comparative Analysis of Temperature and Geopotential Height Observation Data of Radiosonde Type Change in Yunnan

YANG Guobin¹ SHU Kangning¹ LI Chengpeng² ZHOU Ke¹
FAN Congcong¹ JIANG Rui¹

(1 Yunnan Meteorological Information Center, Kunming 650034; 2 Yunnan Weather Modification Center, Kunming 650034)

Abstract: Based on the observation data of temperature and geopotential heights at each mandatory level and the forecast field data of ECMWF during radiosonde type change parallel observation in Yunnan, the observation data of new and old radiosondes are comparatively analyzed and evaluated by using BIAS, standard deviations, Root Mean Square Error (RMSE) and related coefficients. The results show that the observation data of the new and old radiosonde are in good agreement. Below 100 hPa, the temperature absolute observation BIASs of new and old radiosondes are less than 1.0 °C, and geopotential heights are less than 30 gpm. Above 100 hPa, the maximum absolute BIASs of temperature of new and old radiosondes are 3.9 °C, and geopotential heights are 151.0 gpm. Except for individual levels in the lower and higher levels, the dispersions of observation data of new and old radiosondes are basically the same, or the dispersion of new radiosonde is relatively small. The new radiosonde observation data is more consistent with the model data and is more obvious at the middle and high levels. Compared with the model data, the BIASs of temperature of the new and old radiosondes are concentrated at about ± 0.7 °C and ± 0.9 °C, the maximum RMSEs of them are about 3.0 °C and 4.5 °C, and the average related coefficients are about 0.78 and 0.73, respectively. The maximum BIASs of geopotential heights of new and old radiosondes are 28.5 gpm and 130.9 gpm, the maximum RMSEs of them are about 87.6 gpm and 136.9 gpm, and the average related coefficients are about 0.86 and 0.78, respectively.

Keywords: radiosonde type change; temperature; geopotential height; comparative analysis; evaluate