

阮新,熊安元,胡开喜,等. 中国历史探空资料部分等压面位势高度错误订正. 应用气象学报,2015,26(3):257-267.
doi:10.11898/1001-7313.20150301

中国历史探空资料部分等压面位势高度订正

阮新^{1)*} 熊安元¹⁾ 胡开喜¹⁾ 梁秀慧²⁾ 王志文³⁾
杨燕茹¹⁾ 邹凤玲¹⁾

¹⁾(国家气象信息中心,北京 100081)

²⁾(河北省气象局,石家庄 050021) ³⁾(北京市气象局,北京 100089)

摘 要

对中国高空探测历史资料进行静力学检查发现,1963年前 900,800,80 hPa 和 60 hPa 位势高度记录错误率异常偏高,20 世纪 70 年代中期个别站 250 hPa 和 70 hPa 位势高度记录错误率也异常偏高。通过对中国高空观测规范历史沿革的分析和资料验证,指出受当时计算条件所限,这些等压面上的位势高度是在其他规定等压面的位势高度查表计算完成后,利用时间高度曲线通过人工插值估算获得,主观因素影响较大,易产生较大误差,因而错误率异常偏高。该文提出依据静力学原理重新计算这些等压面位势高度记录的订正方案,并进行效果检验。结果表明:该方案能够比较精确地还原台站观测时对位势高度的正确计算,错误资料订正后,相关高度静力学余差序列趋向均一,订正方案合理、有效。

关键词: 探空资料; 位势高度; 订正

引 言

探空资料可以反映大气的垂直结构,在大气污染扩散研究、数值天气预报、校准卫星资料、气候变化研究等方面具有重要作用^[1]。探空资料也被广泛应用于各种极端天气气候事件分析^[2-7]。相对于卫星资料而言,探空资料具有时间序列长、垂直分辨率高等优点,是监测高空大气变化的重要数据来源^[8]。而对于 20 世纪 70 年代以前,探空资料则是高空大气的唯一信息来源^[9]。位势高度场对于分析大气环流演变、理解全球及区域气候变化和极端事件的动力特征具有重要意义,并对气候变化研究、气候模拟的检验以及再分析资料的评估和改进具有重要作用^[8,10-11]。

中国探空观测开始于 20 世纪 50 年代初,此后迅速发展,50 年代中期约有 60 个站,到 1960 年探

空观测站网已达到约 100 个站,并逐渐积累了完整、连续且覆盖全国的历史探空资料。中国探空观测 50 年代初始阶段采用美国和芬兰等国的设备,50 年代中期开始引进、仿制苏联的观测设备,并采用苏联的观测规范。随着时间的推移和我国气象事业的发展,先后经历了从苏式 P3-049 型探空仪到我国自主研发的 59 型探空仪,以及目前使用的 L 波段高空探测系统的多次换型。观测规范也经历了多次修订。这些变化给高空观测资料的质量带来各种各样的影响,引入不同种类的误差。这些误差可能会影响基于历史探空资料的科学研究结果的准确性。

观测仪器的变化是导致高空观测资料出现系统偏差,进而影响资料序列均一性的主要原因。大量研究表明,我国高空探测资料序列由于历史上探空仪的多次更新而导致不连续。众多研究表明,中国探空温度和湿度资料序列由于仪器变更等原因导致不均一^[12-16]。马颖等^[17]利用中国 70 个探

2014-09-10 收到,2015-03-02 收到再改稿。

资助项目:国家重点基础研究发展计划(2010CB951602),公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406001),国家科技支撑计划(2012BAC22B05),中国气象局气候变化专项(CCSF201330)

* email: ruanx@cma.gov.cn

空站1个月的对比观测资料,比较了59型探空仪和L波段高空探测系统使用的电子探空仪温度和位势高度记录的差异,分析了探空仪换型对资料一致性的影响。陶士伟等^[18]以T213模式6h预报场为背景场对L波段探空仪温度资料的系统性偏差和随机误差进行了评估。但这些研究主要针对探空资料中由于观测原因造成的系统偏差和随机误差,且多限于较短时间的探空资料,仅翟盘茂^[19]对中国历史探空资料中的粗大误差整体情况进行了分析,并对20世纪60年代探空仪器变化给温度和湿度时间序列带来的不均一性进行研究,指出不同时期的中国历史探空资料因来源不同,错误率存在明显差异。探空资料序列这些不连续将严重影响气候变化事实的分析结果。

高空观测中的记录整理方法(如辐射误差订正方法、位势高度计算参数等)变化同样是引起观测资料序列不均一的重要原因。20世纪80年代以来,世界气象组织(WMO)委托英国气象局利用欧洲中期数值预报中心6h预报场评估各国探空观测的系统偏差和随机误差,分析全球高空记录的一致性。20世纪90年代,该项工作曾报告中国探空观测存在较大系统偏差和随机误差^[20]。中国气象局于2000—2001年对当时59型探空仪的观测误差订正方法进行修正^[21]。陶士伟等^[22]依托中国国家气象中心全球资料同化系统对订正效果进行了评估。

本研究发现,由于历史上对原始观测资料计算上的错误,导致1963年以前(含1963年)的中国历史探空资料规定等压面位势高度记录错误比例异常偏高,进一步的研究发现错误记录集中在900,800,80hPa和60hPa 4个规定等压面,比同期其他规定等压面以及1964年以后相同规定等压面位势高度的错误率高出约两个量级,且这一问题是全国性的。此外,1976—1977年云南省的昆明(56778)、河口(56989)、丽江(56651)和腾冲(56739)4个站在250hPa和70hPa两个规定等压面依然存在位势高度记录错误比例异常偏高的问题。在研究中国探空观测历史沿革的基础上,深入分析了这一阶段特定规定等压面位势高度错误记录异常偏多的原因,提出了订正方案,并从多个角度对订正效果进行检验。结果表明:依据本文的订正方案重新计算的位势高度资料与正确的原始记录非常接近;错误资料订正

后,相关气层静力学余差序列趋向均一,验证了订正方案的可行性。

1 中国早期探空观测位势高度资料存在的问题

静力学检查是针对探空资料中位势高度和温度在观测完成后发生错误最有效的检查方法。高空观测中规定等压面的高度由测站海拔位势高度上累加规定等压面之间厚度得到。台站在记录整理完成后,不仅报告观测到的温、压、湿数据,同时报告规定等压面的位势高度,这就构成了探空资料质量控制的一个重要冗余信息。静力学检查以在一定的误差范围内,能否用资料中的高度、温度和湿度记录还原台站观测时对规定等压面之间厚度的计算作为判据,检查温度和位势高度记录是否存在粗大误差^[23]。

静力学余差是指两个等压面之间的报告厚度与依据两个等压面的温、压、湿计算所得厚度的差^[24],这一差值是因为等压面资料无法还原当时的精确观测过程产生的。它能够反映探空资料是否在观测完成后被引入了粗大误差,如果资料正确,静力学余差应在一定范围内变化。如果静力学余差超过了通常的变动范围,则提示资料可能在观测完成之后发生了错误,这个通常的变动范围即静力学检查的界限值。对于同一观测站,一般在同一高度上,气层越厚静力学余差越大。静力学检查通过相邻两个气层静力学余差的大小和关系判断资料是否存在错误。最典型的判断是两个相邻厚度层静力学余差都超过了界限值,如果它们符号相反,大小接近,则判断这两个气层共用等压面的位势高度记录为错误记录;如果符号相同,大小接近则判断是它们共用的等压面的温度为错误记录。静力学检查具体方法可参阅文献^[23-26]。

本文用静力学检查对1951—2012年中国探空观测所有规定等压面资料进行了质量控制,包括1000,925,900,850,800,700,600,500,400,300,250,200,150,100,80,70,60,50,40,30,20,15,10,7hPa和5hPa。其中,900,800,80hPa和60hPa资料1975年12月截止,250hPa和70hPa资料始于1976年1月。图1是中国探空观测规定等压面位势高度逐年错误率,可以看出,1963年以前中国探空位势高度资料的错误率与其他时段存在量级上的

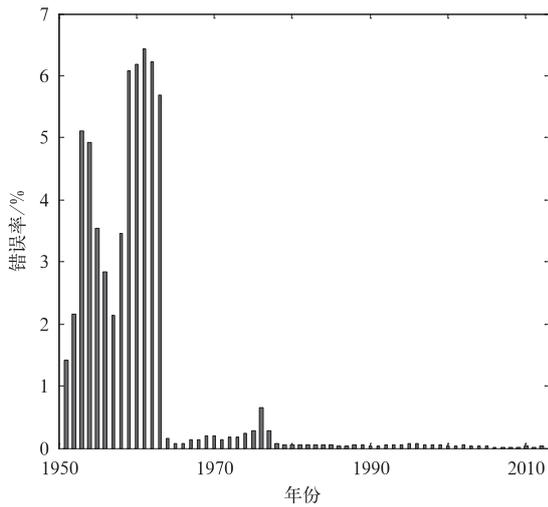


图 1 1951—2012 年中国探空资料规定等压面位势高度逐年错误率

Fig. 1 Annual erroneous ratio of mandatory-level geopotential heights of Chinese radiosonde observations from 1951 to 2012

差异:1963 年以前,规定等压面位势高度资料错误率明显偏高,部分年份高达 6%;1964 年以后除 20 世纪 70 年代中期错误率稍高外,其他年份均未超过 1%;20 世纪 70 年代末开始使用计算机以后,位势高度的错误率降低到约 0.1%,甚至更低。图 2 给出了各规定等压面的位势高度错误率,位势高度的错误主要集中在 900,800,80 hPa 和 60 hPa 4 个规

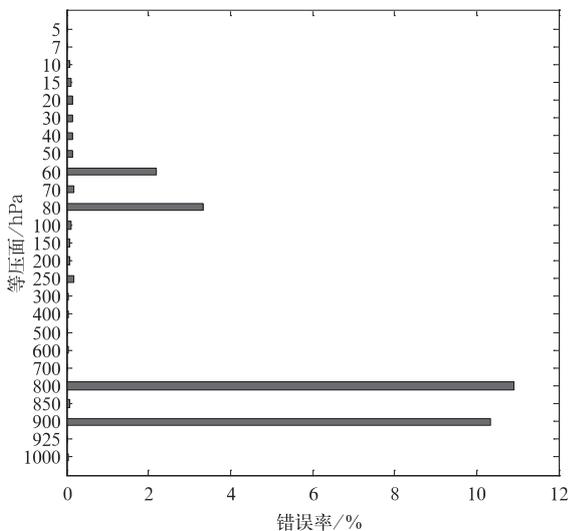


图 2 1951—2012 年中国探空资料规定等压面位势高度错误率

Fig. 2 Erroneous ratio of each mandatory-level geopotential heights of Chinese radiosonde observations from 1951 to 2012

定等压面,错误率达到 2%~11%,而其他等压面错误率不到 1%。

进一步研究发现,几乎全国所有探空站与这些等压面相关气层的静力学余差在 1963 年以前(含 1963 年)都远大于 1963 年以后。以江西省赣州站(57993)为例,其 1963 年 12 月以前和 1964 年 1 月—1975 年 12 月两个阶段各规定等压面之间气层静力学余差的标准差如图 3 所示,该站 1963 年以前 900~1000 hPa,850~900 hPa,800~850 hPa,700~850 hPa 和 80~100 hPa,60~80 hPa 静力学余差的标准差明显比 1963 年以后大,而其他气层的静力学余差标准差的差异不明显。

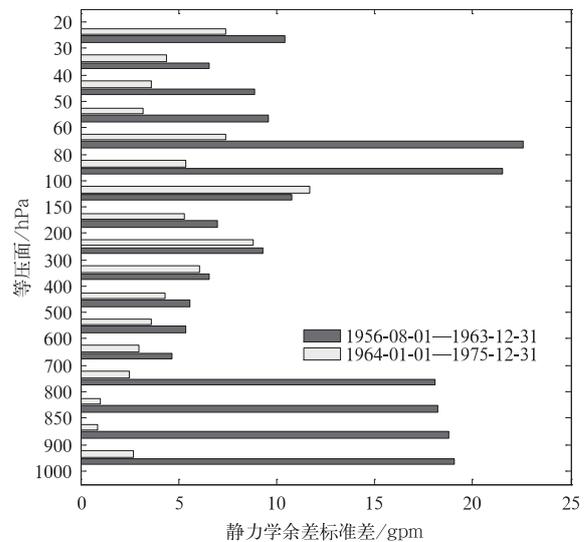


图 3 1963 年 12 月前后江西省赣州站各相邻等压面之间气层静力学余差标准差

Fig. 3 Standard deviation of hydrostatic residue of each mandatory level at Ganzhou Station of Jiangxi before and after Dec 1963

此外,1976—1977 年昆明、河口、丽江和腾冲 4 个站 250 hPa 和 70 hPa 规定等压面的位势高度记录错误比例也异常偏高,接近 50%。这两个规定等压面从 1976 年 1 月开始观测,以昆明站为例,比较了其 1976 年 1 月—1977 年 5 月和 1977 年 6 月—1999 年 12 月两个阶段各气层静力学余差的变化范围(图 4)。结果表明:1977 年 5 月以前 250~300 hPa,200~300 hPa,70~100 hPa 和 50~70 hPa 4 个气层静力学余差的变化范围远大于 1977 年 5 月以后,其他气层的静力学余差在前后两个阶段差异不明显。河口、丽江和腾冲 3 个站存在同样

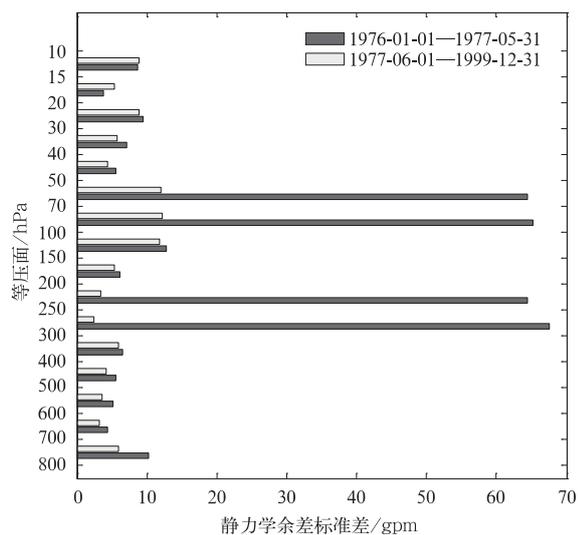


图4 1977年5月前后云南省昆明站各相邻等压面之间气层静力学余差标准差

Fig. 4 Standard deviation of hydrostatic residue of each mandatory level at Kunming Station of Yunnan before and after May 1977

问题。

静力学余差标准差偏大,表明这些气层在相应阶段的静力学余差的变化范围偏大,图5和图6给出了更直观的展示。

受限于20世纪50年代和60年代中国高空观测的技术条件,达到80 hPa或60 hPa的探空不多,且观测误差较大,因此,本文后续的实例分析主要以900 hPa,800 hPa以及1976年后250 hPa和70 hPa为例。

2 问题原因

静力学检查所判定的错误一般是观测完成之后引入的^[26]。这类错误通常是在观测完成后的数据抄录、编码解码和传输等环节由于失误等原因造成的,多为零散发生。但中国早期探空资料中900 hPa和800 hPa以及个别站250 hPa和70 hPa的位势高度记录的错误在特定阶段集中发生。对1963年以前

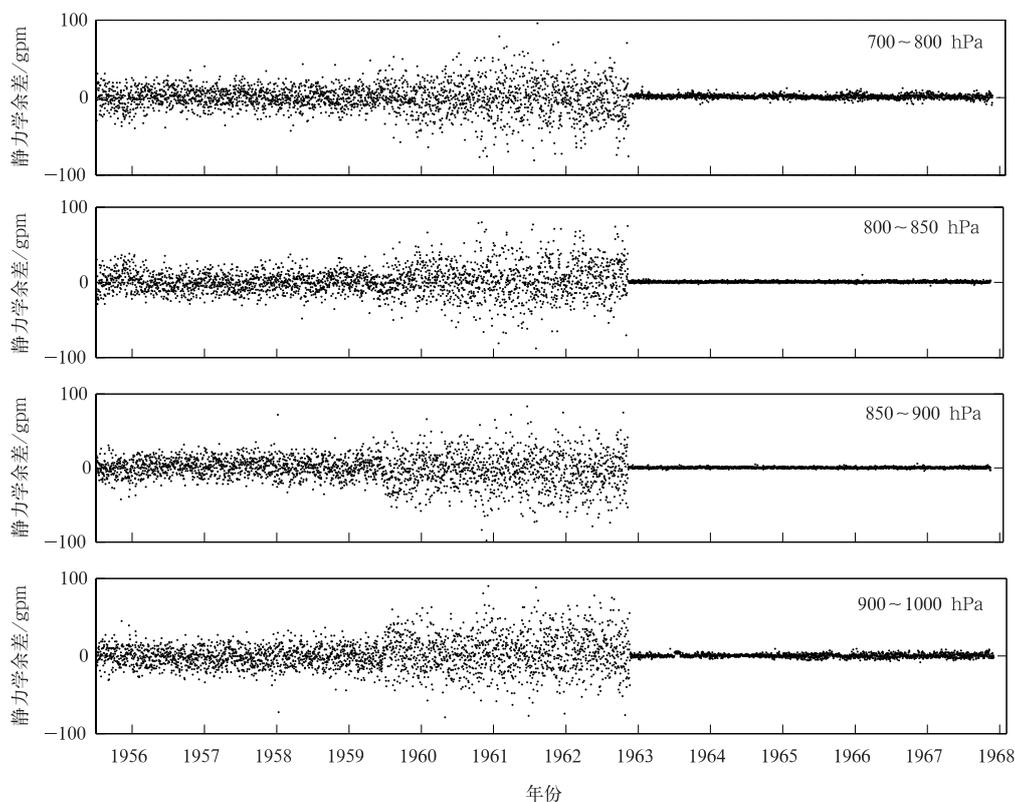


图5 1963年12月前后江西省赣州站900 hPa和800 hPa相关气层静力学余差变化

Fig. 5 Different range of hydrostatic residue for 900 hPa and 800 hPa at Ganzhou Station of Jiangxi before and after Dec 1963

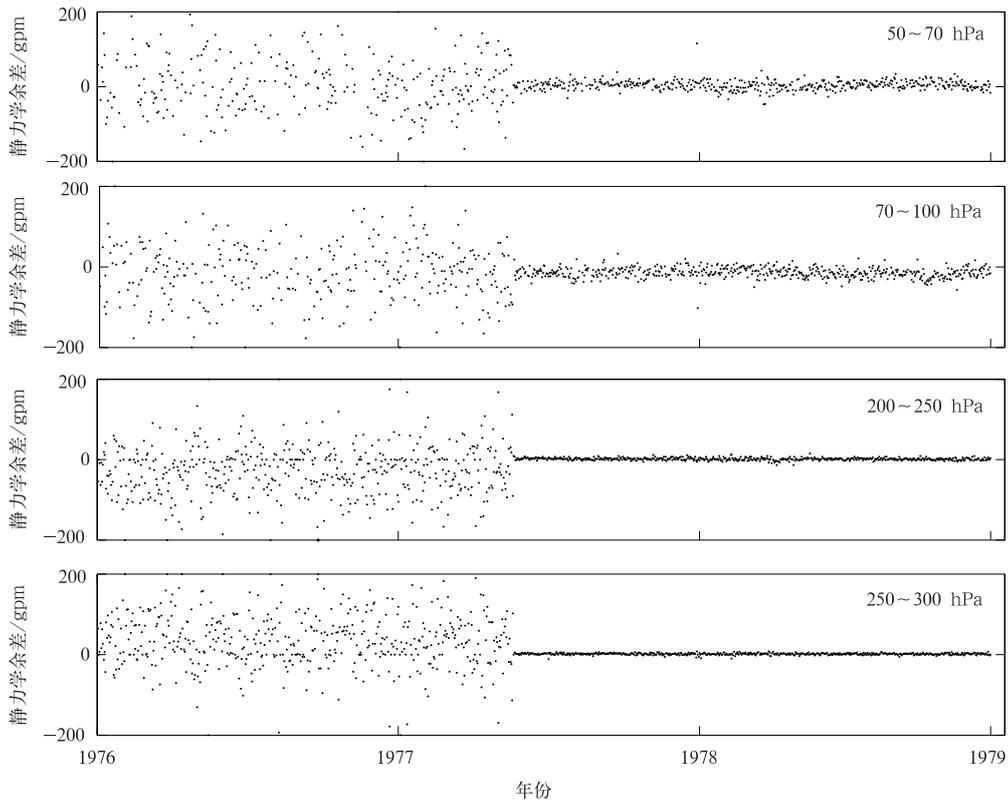


图 6 1977 年 5 月前后云南省昆明站 250 hPa 和 70 hPa 相关气层静力学余差变化

Fig. 6 Different range of hydrostatic residue for 250 hPa and 70 hPa at Kunming Station of Yunnan before and after May 1977

存在 900, 800, 80 hPa 和 60 hPa 等规定等压面位势高度错误的探空进行分析发现, 这些探空的相关静力学余差存在共同点, 即这些等压面上相邻气层的静力学余差较大, 超过界限值, 且大小接近, 符号相反。以 800 hPa 的位势高度错误为例, 这些探空 800~850 hPa 和 700~800 hPa 两个气层的静力学余差均超过界限值, 且大小接近、符号相反, 因此, 静力学检查判断是它们共用的 800 hPa 高度错误, 而跨过 800 hPa 厚度更大的 700~850 hPa 的静力学余差却很小。昆明、河口、丽江和腾冲 4 个站 1976—1977 年存在 250 hPa 和 70 hPa 位势高度错误探空的相关静力学余差也存在同样问题。

图 7 给出了赣州站 1963 年 12 月前后两个阶段各跨层静力学余差标准差的统计结果, 从这两个阶段跨层静力学余差的变化范围看, 该站 850~1000 hPa 和 700~850 hPa 的静力学余差在 1963 年前后差异不大。图 8 给出了昆明站 1977 年 5 月前后各跨层静力学余差标准差的统计结果, 该站 200

~300 hPa 和 50~100 hPa 的静力学余差的变化范围在 1977 年 5 月前后也没有明显的差异。出现这一问题是在特定的时间段内 900, 800, 80 hPa 和 60 hPa

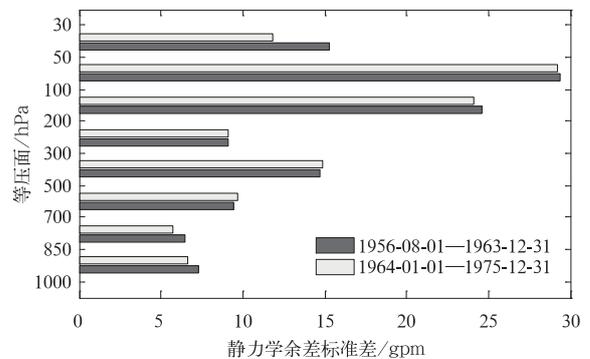


图 7 1963 年 12 月前后江西省赣州站各跨层静力学余差标准差

Fig. 7 Standard deviation of hydrostatic residue at Ganzhou Station of Jiangxi before and after Dec 1963

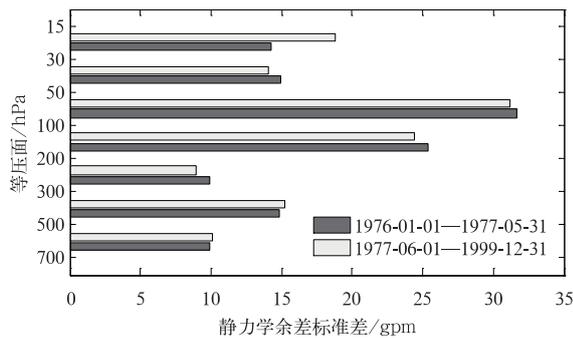


图8 1977年5月前后云南省昆明站各跨层静力学余差标准差

Fig. 8 Standard deviation of hydrostatic residue at Kunming Station of Yunnan before and after May 1977

位势高度记录的获取方式与其他规定等压面不同造成的。

高空观测中记录整理方式一般如下:首先将数据采样点点绘并连接得到时间气压曲线、时间温度曲线和时间湿度曲线,再通过气压与时间的对应关系从时温曲线和时湿曲线上读取某个气压所对应的温度和湿度,得到该等压面的温度和湿度。然后按照定积分的中值定理,在时温曲线和时湿曲线上用等面积法求得两个规定等压面之间气层的平均温度和平均湿度,再用静力学公式计算就能够得到相应气层的厚度,累加得到各等压面高度。各规定等压面高度点绘成时间高度曲线,可进一步获取规定高度风等信息。

高空观测过程中需要进行大量计算。中国高空观测在20世纪70年代末开始使用计算机前,由于缺乏计算条件,规定等压面之间厚度通过查表得到。1963年以前观测规范^[27-30]给出的规定等压面间厚度表里只有850~1000 hPa,700~850 hPa等气层的厚度,900~1000 hPa和800~850 hPa等气层的厚度无法通过查表直接得到,而是在查表得到1000,850 hPa和700 hPa的高度后,在时间高度曲线上通过内插的方法人工读取,主观因素的影响较大,容易发生错误。反映在历史探空资料各层的静力学余差上,便出现了图3~6所揭示的现象,部分相邻规定等压面间静力学余差明显大,而跨过这些等压面厚度更大的气层的静力学余差反而小。

1963年7月中央气象局颁布了新的《高空气象观测规范(使用P3-049型探空仪)》^[31],明确了规定等压面包括1000,900,850,800,700,600,500,400,

300,200,150,100,80,60,50,40,30,20,15 hPa和10 hPa,在规定等压面厚度表中增加900~1000 hPa,850~900 hPa,800~850 hPa,700~800 hPa等气层的厚度。1964年8月印发的《高空气象观测规范说明及问题综合解答(使用P3-049型探空仪)》^[32]中再次强调各规定等压面的高度必须通过计算得到。绝大多数台站从1964年1月起,900~1000 hPa,850~900 hPa,800~850 hPa和700~800 hPa等气层的静力学余差变化范围减小到与此后一致的水平,但北京站和贵阳站分别到1964年2月和1965年1月才开始按照新规范获取这两个等压面的位势高度。

1976年观测规范^[33]新增加了250 hPa和70 hPa两个规定等压面,昆明、河口、丽江和腾冲4个站1976—1977年250 hPa和70 hPa两个规定等压面的位势高度出现了类似早期900 hPa和800 hPa的问题,最长持续19个月。产生这一问题的具体原因已经无从查考,可能与当地观测规范没有及时更新贯彻,观测人员习惯性地沿用1963年以前对900 hPa和800 hPa位势高度记录的处理方法有关。

3 订正方案

由于台站原始探空观测信息已难以获取,仅规定等压面的温湿度不足以反映大气垂直结构的所有细节。特性层捕捉了大气层结中等温层和逆温层的起始位置、终止位置以及其他温度和湿度梯度的显著转折点^[31-35],将特性层的温、湿度记录引入厚度计算能够较精细反映真实的大气垂直结构,得出比较准确的计算高度。中国早期探空观测规范厚度表包含的1000,850,300 hPa和100 hPa等规定等压面的位势高度通过查表计算直接求得,得到的高度数值较为准确。因此,可在这些规定等压面高度的基础上,充分利用特性层资料,采用静力学公式对900,800,250,80,70 hPa和60 hPa的位势高度进行重新计算,完成对位势高度的订正。

根据压高公式^[35],等压面第 $(i-1)$ 层和 i 之间的厚度为

$$\Delta H = \frac{R_d \bar{T}_{vi}}{g} (\ln P_{i-1} - \ln P_i). \quad (1)$$

式(1)中, ΔH 为等压面第 $(i-1)$ 层和第 i 层之间的厚度, R_d 为干空气比气体常数, g 为重力加速度, \bar{T}_{vi} 为第 $(i-1)$ 层、第 i 层之间气层的平均虚温, P_{i-1} 和

P_i 分别为等压面第 $(i-1)$ 层和第 i 层气压。

假设两个规定等压面第 $(i-1)$ 层和第 i 层之间有 m 个特性层,则这两个规定等压面之间的气层被分隔为 $(m+1)$ 个薄的气层。为表述方便,将上下两个规定等压面和特性层统一重新编号为 0 到 $(m+1)$ 。这些薄的气层内的温湿度随高度接近线性变化,该气层内的平均虚温可以由上下层的虚温求算术平均得到,并通过式(1)求得各个薄层的厚度,在规定等压面第 $(i-1)$ 层的高度上累加各个薄层的厚度,可以准确地计算出规定第 i 层等压面的位势高度。

结合特性层资料,规定等压面第 $(i-1)$ 层和第 i 层之间厚度的计算公式为

$$\Delta H = \sum_{j=1}^{m+1} \frac{R_d \bar{T}_j}{g} (\ln P_{j-1} - \ln P_j) \quad (2)$$

我国 2000 年以前厚度计算公式中,干空气比气体常数 R_d 和重力加速度 g 的数值与目前所使用的数值略有不同。为了与同期其他规定等压面位势高度的计算保持一致,本文的厚度计算中这两个参数也采用当时的数值,即 R_d 取 $287.04 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, g 取 $9.80 \text{ m}/\text{s}^2$ 。

此外,中国探空观测对于 400 hPa 以上的规定等压面位势高度计算时不进行虚温订正^[31-35],因此,在重新计算 250 hPa 和 70 hPa 的位势高度时,公式为

$$\Delta H = \sum_{j=1}^{m+1} \frac{R_d \bar{T}_j}{g} (\ln P_{j-1} - \ln P_j) \quad (3)$$

式(3)中, \bar{T}_j 为第 $(j-1)$ 层和第 j 层之间气层的平均温度。

对这些规定等压面位势高度通过重新计算来订正,要首先保证被订正的等压面温度和湿度记录、下

面相邻规定等压面位势高度、温度和湿度记录,以及两个规定等压面之间特性层记录的正确。因此,首先采用气候学界限值检查、温度的超绝热递减率检查、静力学检查等方法对需要参与订正计算的探空资料进行质量控制,只在这些资料正确的情况下进行相应探空的订正计算。

4 对订正方案的效果检验

4.1 独立样本检验

为了验证订正方案的有效性,首先采用赣州站和昆明站资料进行效果检验。检验方法的设计思路是如果采用上述订正方案重新计算的某等压面的位势高度(简称为计算高度),与观测时根据气压、温度和湿度曲线正确计算得出的原始位势高度记录数值相差不大,那么订正方案是可行的。由图 5 和图 6 可知,1964—1975 年赣州站探空资料 900 hPa 和 800 hPa 的位势高度不存在系统性计算错误问题,而 1977 年 6 月以后昆明站 250 hPa 和 70 hPa 的位势高度资料也不存在类似问题。为此,分别采用 1964 年 1 月—1975 年 12 月赣州站和 1977 年 6 月—1998 年 12 月昆明站探空资料对订正方案进行检验。

图 9 和图 10 分别是 1964 年 1 月—1975 年 12 月赣州站 900 hPa 和 800 hPa 以及 1977 年 6 月—1998 年 12 月昆明站 250 hPa 和 70 hPa 的计算高度与原始高度记录差值的概率分布。由图 9 可以看到,赣州站 900 hPa 和 800 hPa 的计算高度的误差均在 $\pm 5 \text{ gpm}$ 范围内,其中分别有 56.7% 和 44.4% 的计算高度与原始高度记录完全一致。对昆明站 250 hPa 位势高度重新计算也取得了很好的效果,

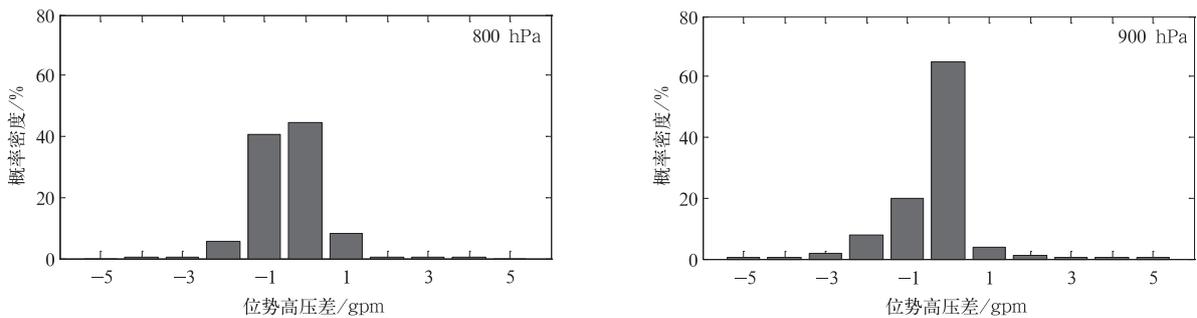


图 9 江西省赣州站计算高度与原始高度差的概率密度分布
Fig. 9 Probability density distribution of difference between calculated and original geopotential heights at Ganzhou Station of Jiangxi

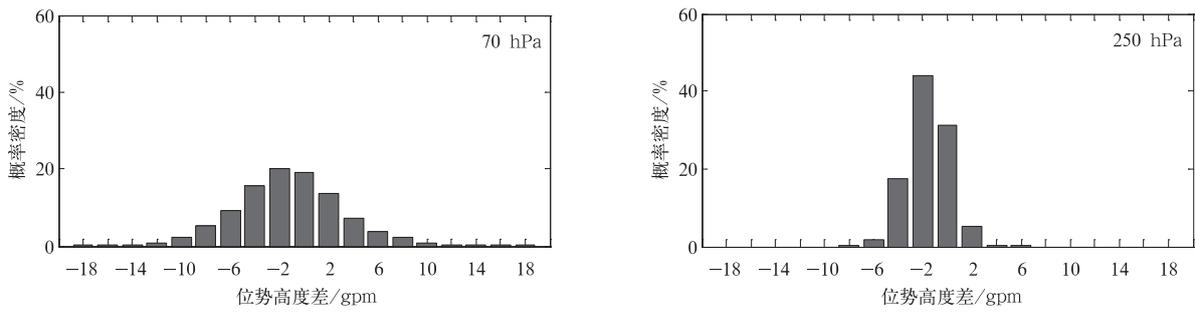


图 10 云南省昆明站计算高度与原始高度差的概率密度分布
 Fig. 10 Probability density distribution of difference between calculated and original geopotential heights at Kunming Station of Yunnan

所有计算高度的误差在 ± 5 gpm 范围内,其中,79.3%的计算高度误差在 ± 2 gpm 范围内。但对昆明站 70 hPa 位势高度的重新计算则误差稍大,有近 20% 的计算高度误差超过 ± 5 gpm,但均在 ± 19 gpm 范围内。70~100 hPa 气层的厚度约为 2300 gpm,远超过 900~1000 hPa,800~850 hPa 和 250~300 hPa 的厚度,这是用 100 hPa 的位势高度重新计算 70 hPa 位势高度误差稍大的原因之一;此外,高空观测规范规定对流层顶以上的特性层选取标准与对流层相比要宽泛一些^[26-34],只捕捉非常显著的温度拐点,这是采用 100 hPa 高度重新计算 70 hPa 高度误差稍大的另一个原因。

4.2 订正效果检验

对于确实需要订正的资料无法获取其应有的位

势高度真值,只能采用其他方法进行订正效果检验。以 800 hPa 位势高度的订正为例,采用在 850 hPa 位势高度的基础上累加根据温、压、湿计算出的 800~850 hPa 的厚度的方法,得到 800 hPa 订正位势高度。如果订正合理,700~800 hPa 之间气层的静力学余差应减小。图 11 是赣州站 1963 年 12 月以前 900 hPa 和 800 hPa 位势高度订正后 850~900 hPa 和 700~800 hPa 的静力学余差。可以看出,与图 5 相比,订正后 1963 年以前 700~800 hPa 的静力学余差明显减小,并与 1963 年以后相应气层的静力学余差表现一致,证明订正方案可行。图 12 是昆明站 1977 年 5 月以前 250 hPa 和 70 hPa 位势高度订正后相关气层的静力学余差与后期的比较。

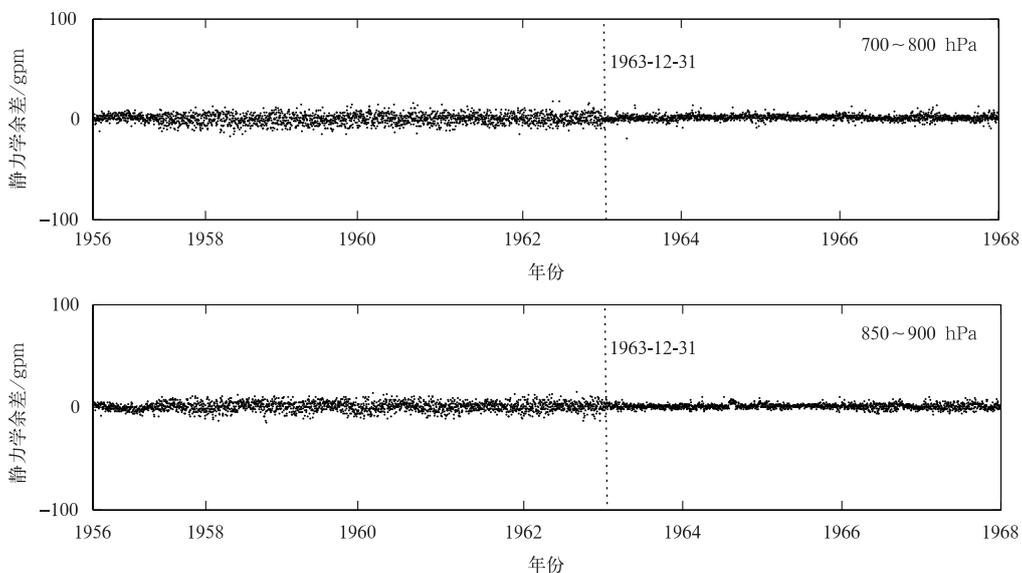


图 11 江西省赣州站 900 hPa 和 800 hPa 相关气层静力学余差(1963 年 12 月以前为订正后位势高度)
 Fig. 11 Hydrostatic residue of 900 hPa and 800 hPa at Ganzhou Station of Jiangxi
 (with corrected geopotential heights before Dec 1963)

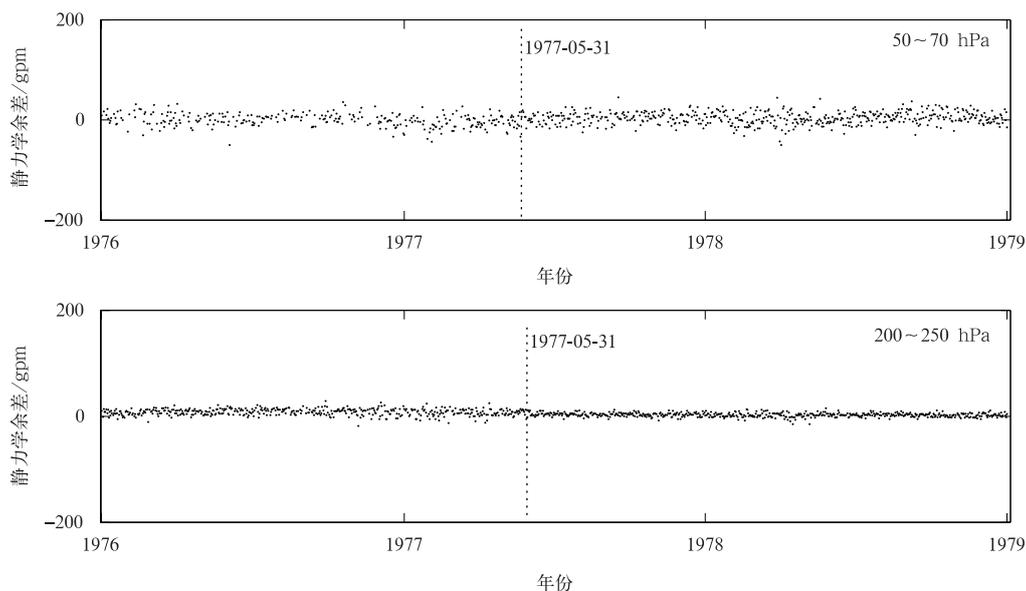


图 12 云南省昆明站 250 hPa 和 70 hPa 位势高度相关气层静力学余差
(1977 年 5 月以前为订正后位势高度)

Fig. 12 Hydrostatic residue of 250 hPa and 70 hPa at Kunming Station of Yunnan
(with corrected geopotential heights before May 1977)

5 结 论

研究表明:

1) 1963 年以前的中国探空资料中 900, 800, 80 hPa 和 60 hPa 等规定等压面位势高度在静力学检查中发现大量错误, 错误率达到 2%~11%。原因是当时观测规范中尚不包含根据静力学公式制作的这些规定等压面在各种温、湿条件下的厚度表。与其他规定等压面不同, 这些等压面相关气层的厚度不是查表得到, 而是在时间高度曲线上通过内插的方法人工读取, 受主观因素影响, 误差较大。

2) 1976—1977 年云南省昆明、河口、丽江和腾冲 4 个站 250 hPa 和 70 hPa 两个规定等压面相关的位势高度记录错误率也异常偏高, 接近 50%, 相关气层静力学余差远大于其他气层。

3) 本文依据静力学原理, 给出了结合特性层资料重新计算相应规定等压面位势高度的误差订正方案。检验结果表明: 依据订正方案重新计算的位势高度 80% 以上与正常的原始记录误差不超过 ± 5 gpm, 能够比较精确地还原台站观测时对位势高度的正确计算; 错误资料订正后, 相关气层静力学余差序列趋向均一, 表明订正方案合理、有效。

参 考 文 献

- [1] Office of the Federal Coordinator for Meteorological Service and Supporting Research. Federal Meteorological Handbook No. 3, Rawinsonde and Pibal Observation. Washington D C, 1997.
- [2] 祁秀香, 郑永光. 2007 年夏季我国深对流活动时空分布特征. 应用气象学报, 2009, 20(3): 286-294.
- [3] 孙虎林, 罗亚丽, 张人禾. 2009 年 6 月 3—4 日黄淮地区强飏线天气过程成熟阶段特征分析. 大气科学, 2011, 35(1): 1-16.
- [4] 江吉喜, 项续康, 范梅珠. 青藏高原夏季中尺度强对流系统的时空分布. 应用气象学报, 1996, 7(4): 473-478.
- [5] 张腾飞, 鲁亚斌, 张杰, 等. 2000 年以来云南 4 次强降雪过程的对比分析. 应用气象学报, 2007, 18(1): 64-72.
- [6] 王迎春, 钱婷婷, 郑永光. 北京连续降雪过程分析. 应用气象学报, 2004, 15(1): 58-65.
- [7] 叶晨, 王建捷, 张文龙. 北京 2009 年“1101”暴雪的形成机制. 应用气象学报, 2011, 22(4): 398-409.
- [8] Marshall G J. Trends in Antarctic geopotential height and temperature: A comparison between radiosonde and NCEP-NCAR reanalysis data. *J Climate*, 2002, 15(6): 659-673.
- [9] Durre I, Vose R S, Wuertz D B. Overview of the integrated global radiosonde archive. *J Climate*, 2006, 19(1): 53-68.
- [10] Klein W H, Dai Y. Reconstruction of monthly mean 700-mb height from surface data by reverse specification. *J Climate*, 1998, 11(8): 2136-2146.
- [11] Gong D Y, Drange H, Gao Y. Reconstruction of Northern Hemisphere 500 hPa geopotential heights back to the late 19th century.

- ry. *Theoretical and Applied Climatology*, 2007, 90 (1-2): 83-102.
- [12] Zhai P M, Eskridge R E. Analyses of inhomogeneities in radiosonde temperature and humidity time Series. *J Climate*, 1996, 9(4): 884-894.
- [13] Guo Y J, Thorne P W, McCarthy M P, et al. Radiosonde temperature trends and their uncertainties over eastern China. *Int J Climatol*, 2008, 28: 1269-1281.
- [14] Guo Y J, Ding Y H. Long-term free-atmosphere temperature trends in China derived from homogenized in situ radiosonde temperature series. *J Climate*, 2009, 22(4): 1037-1051.
- [15] Dai A, Wang J, Thorne P W, et al. A new approach to homogenize daily radiosonde humidity data. *J Climate*, 2011, 24(4): 965-991.
- [16] Zhao T, Dai A, Wang J. Trends in tropospheric humidity from 1970 to 2008 over China from a homogenized radiosonde dataset. *J Climate*, 2012, 25(13): 4549-4567.
- [17] 马颖, 姚雯, 黄炳勋. 59型和L波段探空仪温度和位势高度记录对比. *应用气象学报*, 2010, 21(2): 214-220.
- [18] 陶士伟, 张跃堂. 全球观测资料质量监视评估. *气象*, 2006, 32(6): 53-58.
- [19] 翟盘茂. 中国历史探空资料中的一些过失误差及偏差问题. *气象学报*, 1997, 55(5): 563-572.
- [20] Oakley T. Report by the Rapporteur on Radiosonde Compatibility Monitoring. WMO/TD-No. 587, 1993.
- [21] Guo Y, Huang B, Hu D, et al. Correction for Bias of Chinese Upper-air Measurements. WMO TecO, 2002.
- [22] 陶士伟, 陈晓红, 龚建东. L波段探空仪温度资料误差分析. *气象*, 2006, 32(10): 46-51.
- [23] Collins W G, Gandin L S. Comprehensive hydrostatic quality control at National Meteorological Center. *Mon Wea Rev*, 1990, 118(12): 2752-2767.
- [24] Collins W G. The operational complex quality control of radiosonde height and temperatures at the national centers for environmental prediction. Part I, description of the method. *J Applied Meteor*, 2001, 40(2): 137-151.
- [25] Gandin L S. Complex quality control of meteorological observations. *Mon Wea Rev*, 1990, 116(5): 1137-1155.
- [26] 翟盘茂, 周琴芳. 高空资料质量控制的CHQC方法. *气象科技*, 1993, 11(3): 92-97.
- [27] 中央人民政府人民革命军事委员会气象局. 苏联预报工作规范(第1部), 天气图和高空图的绘制. 1953.
- [28] 中央气象局. 苏联部长会议水文气象总部水文气象站哨规范(第四分册), 测站高空气象观测. 1956.
- [29] 中央气象局. 苏式(P3-049)型探空观测规范. 1959.
- [30] 中央气象局. 苏式(P3-049)型探空观测规范(重印本). 1959.
- [31] 中央气象局. 高空气象观测规范(使用P3-049型探空仪). 1963.
- [32] 中央气象局观象台. 高空气象观测规范(使用P3-049型探空仪)说明及问题综合解答. 1964.
- [33] 中央气象局. 高空气象观测规范(使用59型探空仪). 1976.
- [34] 中国气象局监测网络司. 高空气象探测手册(59-701微机处理系统部分). 北京: 气象出版社, 2001.
- [35] 中国气象局监测网络司. L波段(L型)高空气象探测系统业务操作手册. 北京: 气象出版社, 2005.

Correcting Geopotential Height Errors of Some Mandatory Levels of Chinese Historic Radiosonde Observations

Ruan Xin¹⁾ Xiong Anyuan¹⁾ Hu Kaixi¹⁾ Liang Xiuhui²⁾ Wang Zhiwen³⁾
Yang Yanru¹⁾ Zou Fengling¹⁾

¹⁾ (National Meteorological Information Center, Beijing 100081)

²⁾ (Hebei Provincial Meteorological Bureau, Shijiazhuang 050021)

³⁾ (Beijing Meteorological Bureau, Beijing 100089)

Abstract

Radiosonde observations are crucial in weather forecast and upper-air climate research. Due to their high vertical resolution, they are also important for calibration and validation of satellite temperature and water vapor retrievals. Quality control of Chinese radiosonde observations of 1951–2012 is conducted with hydrostatic check, and the result reveals that ratios of erroneous geopotential height (GPH) of 900 hPa, 800 hPa, 80 hPa and 60 hPa before 1963 are 2%–11%, which are much higher than other levels. The ratios of erroneous GPH of 250 hPa and 70 hPa in mid of the 1970s of a few stations in Yunnan Province are also much higher than other levels. Changes with observation code and practice in Chinese radiosonde observations are thoroughly investigated. Then the possible cause of the phenomenon is analyzed and validated with observations.

The height of each pressure level in sounding is calculated by accumulating the thickness of layers between each pressure levels below on the base of station elevation. And the thickness is determined by hydrostatic equation automatically nowadays, but due to the limitation of calculation capacity before the 1980s, they are available in ready-made GPH-table. However, 900 hPa, 800 hPa, 80 hPa and 60 hPa are not included in the GPH-table possibly because they are not directly used in weather charts then. So GPHs of levels in question are obtained through interpolation on time-GPH chart after GPH of other levels are available on the chart through looking up the GPH-table. This practice makes GPH of levels in question vulnerable to human mistakes, thus many records contain errors. The explanation to the cause of the problem is validated with observations.

Furthermore, the method to correct the erroneous GPH record is proposed, which is to recalculate it based on hydrostatic equation with correct observations of other levels from the same sounding. The correcting method is validated since the originally correct GPH records are reproduced accurately. For 900 hPa and 800 hPa of Ganzhou Station, differences between reproduced GPHs and original ones are less than 5 gpm, and about 50% of reproduced GPHs are exactly the same as original ones. Differences for 250 hPa of Kunming Station are all less than 5 gpm either, but differences are slightly larger for 70 hPa, possibly because the layer between 70–100 hPa is as large as 2300 gpm approximately, and significant levels are not enough to reveal all the details of temperature profile. Besides, the correcting method is validated from another aspect, since after the erroneous GPH are corrected, the relevant hydrostatic residue series become consistent.

Key words: radiosonde observations; geopotential height; correction