

廖捷,任芝花. 我国飞机观测气温和常规高空观测气温的对比分析[J]. 气象,2011,37(3):263-269.

我国飞机观测气温和常规高空观测气温的对比分析^{*}

廖 捷^{1,2,3} 任芝花¹

1 国家气象信息中心,北京 100081

2 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室,北京 100029

3 中国科学院研究生院,北京 100049

提 要: 对 2006 年 1 月至 2009 年 12 月的飞机观测气温资料进行了质量控制,在此基础上通过其和常规高空气温资料的对比分析对飞机观测气温的可用性进行了评估。我国绝大部分飞机观测资料由 B737-800 和 B737-700 型飞机观测而得。统计结果表明:两种型号飞机的观测气温和常规高空观测气温的差值分布存在一定差异;差值呈准对称分布,64%的差值分布在 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$;不同高度层上的差值不同。相对于常规高空观测气温,飞机观测气温值在 700 hPa 及以下偏低,在 500 hPa 及以上偏高。飞机观测气温和常规高空观测气温的差值大小和飞机型号及飞行状态有关。以北京地区的资料为例,利用北京首都机场上空飞机观测气温统计得到的月值和北京探空站常规高空观测气温月值没有显著性差异,各层次、时次的月值差异基本维持在 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。

关键词: 飞机观测,常规高空观测,气温,对比分析

Comparative Analysis on Aircraft and Radiosonde Temperatures in China

LIAO Jie^{1,2,3} REN Zhihua¹

1 National Meteorological Information Center, Beijing 100081

2 State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric and Geophysical Fluid Dynamics,
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

3 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract: With the view of comprehensive understanding of the systematic difference in aircraft and radiosonde temperatures, the paper checks the quality of Chinese aircraft temperature data from January 2006 to December 2009 by use of the quality control method, which consists of four steps: metadata check, validity check, temporal consistency check, and spatial consistency check basing background field of T213 model of National Meteorological Information Center. Statistical method is used to do a comparative analysis between aircraft and radiosonde temperatures in China from January 2006 to December 2009. The analysis content about difference in aircraft and radiosonde temperatures includes the following: frequency of bias, the vertical distribution of bias, the relation of flight level and bias, the relation of flight phase and bias, the difference of bias observed by different type of aircraft, and monthly value difference of aircraft and radiosonde temperature. The data used to analyze are distributed in seventy large and medium cities of the east-central China. The statistical result shows that, the frequency of difference is an approximate symmetrical curve. The maximum-frequency of difference is from $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. The 64% of difference value is in the range from $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Relative to radiosonde temperature, aircraft temperature is obviously lower on 1000 hPa. The difference from 925 hPa to 700 hPa is smaller. Aircraft temperature is higher than radiosonde temperature on 500 hPa and above level, and the difference has a gradual increase with height. The difference of aircraft and radiosonde temperatures relies on flight phase. From 925 hPa to 700 hPa, aircraft temper-

* 中国气象局基建项目“资料质量控制与同化技术”资助

2010 年 4 月 15 日收稿; 2010 年 7 月 25 日收修定稿

第一作者:廖捷,主要研究方向为资料处理与分析. Email:liaoj@ema.gov.cn

ature observed in ascent phase is lower than radiosonde, but aircraft temperature observed in descent phase and level flight phase is quite the contrary. On 500 hPa and above level, aircraft temperature observed in level flight phase is closest to radiosonde. Most aircraft temperature data in China is observed by B737-800 aircraft and B737-700 aircraft. From January 2006 to December 2009, the proportion of data observed by B737-800 aircraft is about 83.3 percent, and the proportion of data observed by B737-700 aircraft is about 7.1 percent. Temperature difference between B737-700 aircraft and radiosonde is larger than temperature difference between B737-800 aircraft and radiosonde. There is no significant difference between monthly temperature calculated by aircraft temperature on Beijing Capital Airport and radiosonde monthly temperature. Almost all the difference values of monthly temperature are from $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Key words: aircraft observation, radiosonde, temperature, comparative analysis

引 言

高空观测是全球天气与气候观测系统的重要组成部分。除了观测站用气球携带无线电探空仪进行常规高空观测外,高空观测方式还包括飞机观测、GPS水汽探测、下投式探空、定高气球及卫星观测等方式^[1-7]。在所有高空观测方式中,常规高空观测历史最长,资料质量也比较稳定,但局限于观测固定台站附近每日 00 时和 12 时前后的高空大气状况。目前业务运行的 GPS 探空系统只能观测水汽。下投式探空则主要用于科学实验中,如台风探测等天气系统的观测,观测成本也较高。大多数民用航空飞机都可装备气象传感器以及自动数据收集和处理系统,可以把飞机在飞行中得到的气温、风向等气象数据自动传输到地面接收站并提供给气象部门。飞机的观测时间间隔在上升阶段为 6~20 秒,巡航阶段为 180 秒,降落阶段为 60 秒^[8]。相对而言,飞机观测成本较低,观测频率高,并可以覆盖到常规高空观测不能覆盖的一些区域和时间段。对飞机观测气温在数值天气预报中应用效果的分析研究表明,在海洋地区,飞机观测气温对欧洲中心数值天气预报模式效果的影响比常规高空观测气温更为明显^[9];机场附近的飞机观测气温资料对大雾天气的定点分析和预报,比常规观测资料有更好的业务使用价值^[10],在大雾天气的数值模拟和分析过程中,飞机观测气温资料能显著提高气温场分析效果^[11]。因此,飞机观测可有效弥补探空站(尤其是海洋地区)稀少地区的高空观测。

WMO 在高空观测业务准确度要求与常用仪器性能的规定中,对常规高空观测的方式及气温仪器的准确度有明确的要求^[5],这保证了常规高空观测

气温资料的准确性,如 L 波段和 59 型气温资料和背景场的平均偏差差别不大,一般都在 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之内^[12]。但飞机观测气温仪器由各个飞机生产厂家自行安装,国内尚未开展相关的质量评估工作。为确保这些气温资料的准确性及可用性,开展其和常规高空观测气温的对比分析显得十分重要^[13]。

关于飞机观测气温和常规高空观测气温的差异,主要比较方式为外场试验^[13-15]和统计分析两种方法。一些外场试验结果表明,飞机在上升阶段观测的气温比常规高空观测气温要高,下降阶段则相反^[14]。统计分析结果表明,飞机观测气温的观测误差均方差和常规高空观测气温资料的观测误差均方差基本相当^[16];飞机观测气温和常规高空观测气温的差异具有区域依赖性^[17],并和飞机的飞行状态密切相关^[17-18];在 250 hPa,飞机观测气温约比常规高空观测气温低 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[19]。上述研究采用的资料以欧美地区的飞机观测资料为主,如 Ballish 和 Kumar^[20]通过计算观测气温相对于 NCEP Eta 模式背景场的偏差详细分析了 2007 年 1 月全球不同型号的飞机观测和常规高空观测气温的差异;对我国的飞机观测气温的评估工作尚未开展。考虑到不同地区进行观测的飞机型号不同,其观测的气温系统误差可能有所不同,有必要对近几年我国飞机观测气温和常规高空观测气温的差异进行系统分析。

1 资料说明

1.1 资料来源

文中涉及的资料时间均为世界时。采用的常规高空观测气温(简称 T_s ,下同)资料来源于国家气象信息中心发布的经过质量控制的高空规定层探测资料定时值和月值数据集。采用的我国飞机气象观测

气温(简称 T_a ,下同)资料均来源于参与我国 AM-DAR(Aircraft Meteorological Data Relay)计划的航空公司下属飞机观测的飞机报资料,又称 AMDAR 资料,时间范围为 2006 年 1 月至 2009 年 12 月。这些报文资料由中国民用航空局民航数据通信有限责任公司每天实时发送到国家气象信息中心,提供给各级气象部门使用,并通过 GTS 实现全球共享。

1.2 飞机观测气温资料的观测原理及质量控制

通过飞机上装载的皮托管装置内的铂电阻测温元件可获得飞机观测气温资料^[5]。一般而言,飞机观测气温的误差在 $0.3 \sim 0.8 \text{ }^\circ\text{C}$,平均约 $0.44 \text{ }^\circ\text{C}$ ^[21];如果元件在云中被打湿,蒸发降温所造成的误差可达 $3 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右^[5]。

影响飞机气温测量准确度的因素包括航空器型号、气温传感器、飞行状态、气压等^[20],如在气温信号处理中采用了无湍流假设、观测仪器可能很长时间没有更新或修理、皮托管被腐蚀或阻塞等情况都可能导致气温出现较大的误差。此外,在信号解码、计算、资料传输等过程中, T_a 可能会出现一些重大误差。因此,在开展 T_a 和 T_s 的对比分析前,对 T_a 进行了严格的质量控制。质量控制方法包括元数据检查、极值检查、时间一致性检验和背景场一致性检查^[22-23]共 4 个步骤。其中元数据检查、极值检查、时间一致性检验方法参考了美国气象同化数据引入系统 MADIS(Meteorological Assimilation Data Ingest System)网站提供的美国 Aircraft 资料质量控制方案,这 3 个步骤剔除了 0.33% 的错误资料,其中 2006 年、2007 年、2008 年和 2009 年被剔除的错误资料百分比分别为 0.88%、0.46%、0.15% 和 0.27%。在背景场一致性检查中,取国家气象中心 T213 模式背景场,在水平方向采用双线性插值方法^[24],垂直方向采用拉格朗日二次插值方法^[25],计算出 T_a 和观测点所处空间位置对应的背景场值的差异 d ,如果 $d > \alpha \sqrt{\sigma_b^2 + \sigma_o^2}$ ^[23],则视观测值可疑,不参加对比。其中 σ_b 为背景场误差的标准差, σ_o 为观测误差。由于模式背景场误差较稳定,假设其垂直变化较小,参考龚建东等^[26]的统计结果,取各层的 σ_b 均取值 $1.1 \text{ }^\circ\text{C}$,观测误差取 T_a 误差平均值 $0.44 \text{ }^\circ\text{C}$ ^[21], α 取值为 5^[23]。采用上述参数,计算的 d 的极值判据取值为 $6 \text{ }^\circ\text{C}$ 。背景场一致性检查剔除了约 2.84% 的错误资料。2006 年、2007 年、2008 年和 2009 年被剔除的错误资料百分比分别为 3.86%、

7.24%、1.76% 和 2.18%,其中,2007 年 4 月和 5 月的错误率非常高,分别为 68.83% 和 85.71%。经检查发现,在 2007 年 4 月下旬至 5 月上旬,大量 T_a 资料出现了符号错误。

2 飞机观测气温和常规高空观测气温定时值的对比分析

与常规高空观测不同,飞机观测点的时间和空间位置完全由飞机航线确定,时间和空间位置没有规律。因此,选取常规高空观测时次(00 时和 12 时)前后半小时,和探空站水平距离小于 100 km,和常规高空层垂直距离小于 25 hPa 的 T_a 资料和 T_s 资料进行对比。计算 T_a 和 T_s 差异前,采用拉格朗日二次插值方法^[22]将 T_s 插值到飞机观测层次,再计算 T_a 和插值后的 T_s 的差值 ΔT 。如某时次、层次对应着 n 个 T_a 值($n > 1$),取 n 个差值的平均值为该时次、层次对应的 T_a 和 T_s 的差值。

2006 年 1 月至 2009 年 12 月符合上述比较条件的 AMDAR 报文资料分布在 70 个探空站附近。表 1 给出这 70 个探空站的分布及对应的用于比较的 AMDAR 报文样本数。这些站点主要集中在我国中东部地区的一些大中城市和旅游地区,如北京地区,可与常规高空资料进行对比的 AMDAR 报文样本数达 37251 份。

2.1 总体差异

利用 2006 年 1 月至 2009 年 12 月剔除错误资料后参加对比分析的 101310 组数据进行统计,结果表明, T_a 和 T_s 的差值并不遵从标准正态分布。但从差值的频率分布图(图 1)可见,正偏差和负偏差的频率逐渐减小,呈准对称分布。这种准对称分布表明,两者差异主要是由于测量仪器的系统性误差造成^[10]。差值的最大频率出现在 $-0.5 \sim 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间。考虑到常规高空观测采用了较好的无线电探空仪,探空系统引起的气温误差在 $0.2 \sim 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间^[5],飞机观测系统引起的气温误差约为 $0.44 \text{ }^\circ\text{C}$ ^[21], T_a 和 T_s 的差值在 $-1 \text{ }^\circ\text{C}$ 至 $1 \text{ }^\circ\text{C}$ 的差异应属于合理性差异^[11],这部分资料所占比例为 64.14%。进一步的分析发现, T_a 比 T_s 的平均偏高 $0.041 \text{ }^\circ\text{C}$,两者差值标准差为 $0.94 \text{ }^\circ\text{C}$ 。仅有 0.09% 的 T_a 和 T_s 完全一致,51.03% 的 T_a 高于 T_s ,48.88% 的 T_a 低于 T_s 。

表 1 2006 年 1 月至 2009 年 12 月用于和常规高空观测气温进行比较的 AMDAR 报文分布

Table 1 Distribution of AMDAR reports used to comparative analysis from January 2006 to December 2009

探空站	样本数	探空站	样本数	探空站	样本数	探空站	样本数	探空站	样本数
北京	37251	青岛	1805	延安	653	洪家	237	威宁	16
桂林	4597	福州	1746	阳江	600	海口	196	延吉	13
重庆市	3997	汕头	1641	长春	547	汉中	191	武都	10
长沙	3548	章丘	1600	通辽	520	郴州	116	南阳	10
南宁	3532	梧州	1540	赤峰	502	昆明	113	哈密	8
清远	3456	沈阳	1538	安庆	475	百色	113	索伦	6
宝山	3112	徐州	1308	安康	467	邵武	103	榆中	6
南京	2771	邢台	1291	三亚	457	宜昌	101	平凉	5
张家口	2528	厦门	1015	宜宾	365	恩施	93	丽江	5
武汉	2505	呼和浩特	915	怀化	359	赣州	80	思茅	5
杭州	2480	郑州	730	成山头	303	银川	79	伊春	4
贵阳	2378	大连	705	北海	298	射阳	51	北塔山	1
达县	2131	南昌	700	东胜	282	阜阳	30	酒泉	1
太原	2076	温江	661	哈尔滨	275	乌鲁木齐	16	民勤	1

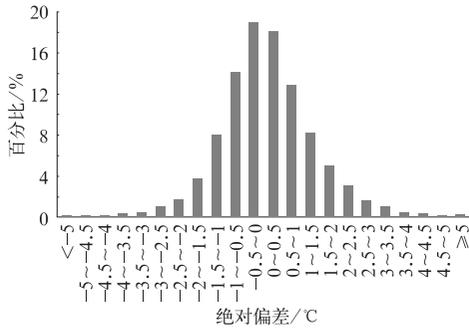
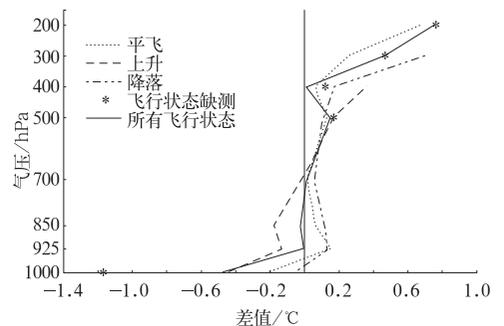
图 1 2006 年 1 月至 2009 年 12 月 T_a 和 T_s 差值的频率分布图

Fig. 1 Frequency distribution of difference between aircraft and radiosonde temperatures from January 2006 to December 2009

2.2 不同层次、飞行状态下的差异

为了分析 T_a 和 T_s 差异对飞行层次、飞机飞行状态的依赖性,图 2 给出 2006 年 1 月至 2009 年 12 月不同飞机飞行状态下的 T_a 和 T_s 差值的垂直变化,其中每层参加统计的样本数不少于 100 个。从总体看,如果不区分飞机飞行状态,1000 hPa T_a 相对 T_s 明显偏低,平均偏低 0.48 °C,从 925 hPa 至 700 hPa, T_a 相对 T_s 仍略微偏低,但两者非常接近; 500 hPa, T_a 相对 T_s 偏高,平均偏高 0.15 °C; 300 hPa 和 200 hPa T_a 相对 T_s 偏高值明显增大,两种观测方式间差值平均值分别为 0.47 °C 和 0.75 °C。不同飞行状态下 T_a 相对 T_s 的偏差存在一定差异。在 1000 hPa 附近,不同飞行状态的 T_a 和 T_s 的差值平均值均为负值;上升阶段和平飞阶段对应差值平均值分别为 -0.45 °C 和 -0.21 °C,飞机降落阶段在 1000 hPa 附近观测的气温和 T_s 十分接近,差值

平均值仅为 0.06 °C。从 925 hPa 到 700 hPa,飞机在上升、平飞和降落阶段 T_a 随高度均逐渐接近于 T_s ,但上升阶段 T_a 相对 T_s 偏低,而平飞和降落阶段 T_a 相对 T_s 偏高。一般来说,当环境温度不恒定时,由于测温元件的热滞效应,环境温度升温时示度偏高,降温时示度偏低^[27]。而飞机起飞阶段环境气温迅速降低,降落阶段环境气温迅速升高,可能是导致上升阶段偏高、下降阶段气温偏低的主要原因。飞行状态是一个瞬时值,飞机一般在 8~12 km 高度平飞^[8],925 hPa 至 700 hPa 出现飞行状态为取值平飞的原因可能是受到大气湍流等其他因素制约,样本较少,在这里不做讨论。500 hPa 及以上,飞机在上升、平飞和降落阶段 T_a 相对于 T_s 均偏高,且偏高值随高度逐渐增加。处于上升状态的 T_a 相对 T_s 偏差最大,降落阶段次之,平飞阶段的 T_a 最接近于常规高空观测。

图 2 2006 年 1 月至 2009 年 12 月不同飞行状态 T_a 和 T_s 差值平均值垂直分布
Fig. 2 Vertical variation of average difference between aircraft and radiosonde temperatures in different flight phases

需要说明的是,在参与统计的飞机观测气温资料中,存在大量飞行状态未知的资料(表 2),这些资料主要集中在 1000 hPa 及 500 hPa 以上的高度层。飞行状态未知的气温资料在 1000 hPa 和 T_s 的差值平均值达 $-1.16\text{ }^\circ\text{C}$;在 500 hPa 至 200 hPa,飞行状态未知的气温资料和 T_s 差值平均值与和不区分飞行状态时统计得到的各层次上 T_a 和 T_s 差值平均值十分接近。

表 2 2006 年 1 月至 2009 年 12 月不同层次、飞行状态下用于对比分析的 AMDAR 报文数量(单位:份)

Table 2 Numbers of AMDAR reports used to comparative analysis in different levels and different flight phases from January 2006 to December 2009

层次/hPa	所有飞行状态	平飞	上升	降落	飞行状态未知
1000	13465	3025	4047	3201	3192
925	11038	796	5732	4500	10
850	9579	559	4490	4522	8
700	13466	912	7162	5387	5
500	15653	753	10263	3578	1059
400	21692	2980	11491	4794	2427
300	13416	1718	92	1544	10062
200	3001	175	26	42	2758

2.3 不同型号飞机观测气温和常规高空观测气温的差异

由于生产厂家不同,不同型号的飞机上装载的机载气象观测仪器也有所不同。根据飞机报文中提供的飞机注册号,统计得到 2006 年 1 月至 2009 年 12 月我国参与飞机气象观测的飞机总计 409 架^[13]。逐一查阅中国民航飞机注册号信息库(<http://www.xmyzl.com/know/search.asp>),可以确认 93%的资料对应的飞机型号,由于报文内的飞机注册号错误或缺测等原因,7%的资料无法确认对应飞机型号。表 3 给出 2006 年 1 月至 2009 年 12 月我国不同型号飞机观测资料在不同高度层对应的报量。83.3%的飞机观测资料由型号为 B737-800 的飞机观测获得;7.1%的飞机观测资料由型号为

B737-700 的飞机观测获得;其余已知型号飞机报文总量占总报量的百分比约为 3%,约 6.6%的飞机观测资料对应的飞机型号未知。

表 3 2006 年 1 月至 2009 年 12 月我国不同型号飞机观测 AMDAR 报文数量的垂直分布(单位:份)

Table 3 Vertical distribution of number of AMDAR reports observed by different type aircrafts from January 2006 to December 2009 in China

飞机型号	地面~700 hPa	700~500 hPa	500~300 hPa	300~150 hPa
A319-100	1103	155	1743	1954
A320-200	892	155	1665	1520
A321-100	8	1	74	67
A321-200	67	17	72	42
A340-300	1	8	95	200
B707	7	3	28	17
B737-200	188	9	19	50
B737-300	315	33	808	265
B737-400	2	3	128	158
B737-600	63	3	216	435
B737-700	13009	7253	13140	8636
B737-800	157067	98952	160342	77548
B737-900	0	0	52	54
B747	1	10	172	1433
B757-200	15	170	857	1665
B767-200	0	1	42	160
B767-300	96	23	338	463
MD-11F	0	0	0	52
型号未知	12474	8392	13910	4261

表 4 给出 2006 年 1 月至 2009 年 12 月 B737-800 和 B737-700 型号飞机在不同层次上参与对比的气温样本数以及和 T_s 的差值、标准差,同时给出利用所有型号飞机观测气温资料和常规高空观测气温资料进行对比得到的统计结果。结果表明,不同型号 T_a 和 T_s 的差值均在低层表现为负值,中层接近于 $0\text{ }^\circ\text{C}$,高层为正值且随高度逐渐增加。在不同层次,B737-800 和 B737-700 两种型号 T_a 相对于 T_s 的偏差存在一定差异,B737-700 型号 T_a 和 T_s 的差异相对较大。两种型号 T_a 和 T_s 差异的标准差一致,均在 $0.88\text{ }^\circ\text{C}$ 至 $0.94\text{ }^\circ\text{C}$ 之间。

表 4 2006 年 1 月至 2009 年 12 月 T_a 在各高度层和 T_s 差值及差值标准差(单位: $^\circ\text{C}$)

Table 4 Difference and standard deviation of aircraft and radiosonde temperatures in different levels from January 2006 to December 2009 (unit: $^\circ\text{C}$)

	地面~700 hPa			700~500 hPa			500~300 hPa			300~150 hPa		
	B737-700	B737-800	所有型号	B737-700	B737-800	所有型号	B737-700	B737-800	所有型号	B737-700	B737-800	所有型号
对比样本数	2411	34993	40189	964	12122	14030	2372	30824	36023	808	9771	11232
差值	-0.25	-0.13	-0.14	-0.05	0.01	0.00	0.24	0.15	0.15	0.36	0.37	0.36
差值标准差	0.88	0.94	0.93	0.92	0.92	0.92	0.89	0.92	0.92	0.91	0.91	0.92

3 月值对比分析

由于飞机观测资料的时空分布依赖于航线安排及天气状况,每天各机场附近获得的资料量并不稳定,本节仅选取航班最密集是北京首都机场上空的飞机观测气温资料进行月值统计,并和常规高空观测气温月值进行对比分析。考虑到飞机观测资料的观测层次不固定,采用如下方式计算 T_a 月值后,直接与 T_s 月值进行对比。具体计算方法如下:(1)计算日

值:分别计算 00 时(12 时)前后半小时内,机场上空 100 km 范围内,各探空规定层上下 25 hPa 范围内的多架 T_a 的平均值作为相应日 00 时(12 时)机场上空各规定层对应的日值,无 T_a 则视为缺测;(2)计算月值,取当月日值的平均值代表月值,参加统计的日数应多于或等于 20 天,否则视对应层次的月值缺测。经统计,只有 2009 年 1—9 月这一时段内,绝大部分层次、时次均满足统计月值的要求。因此,本小节仅对 2009 年 1—9 月利用北京首都机场上空 T_a 统计而得的 T_a 月值和 T_s 月值的差异进行分析。

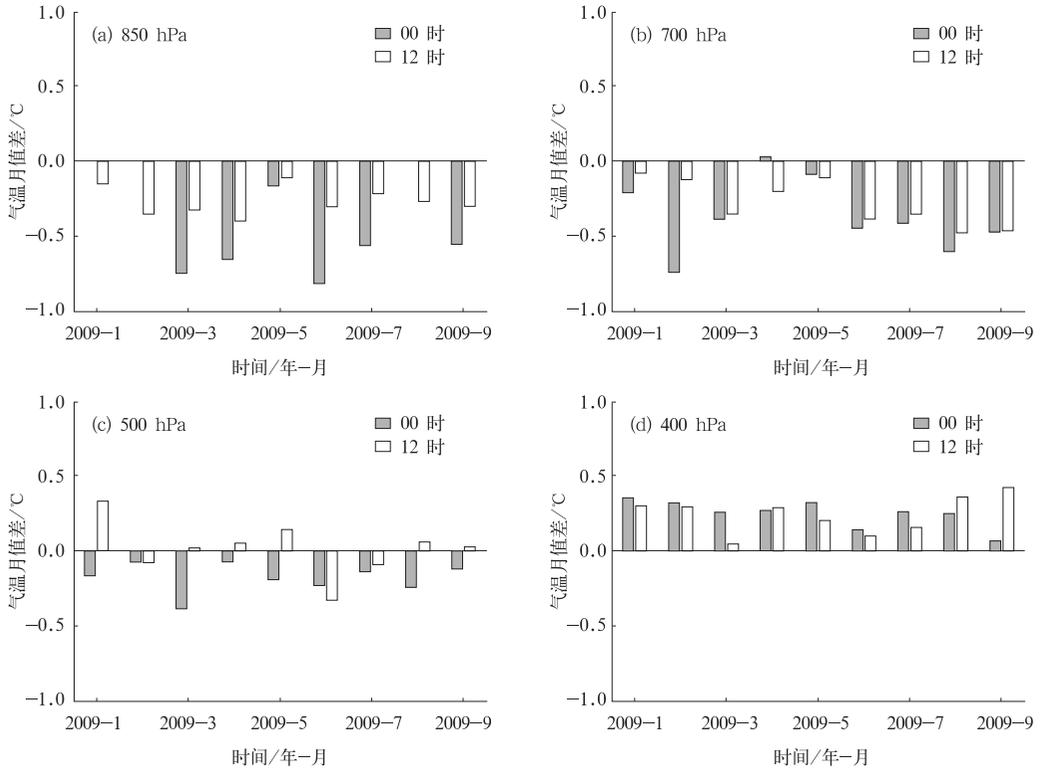


图 3 2009 年 1—9 月不同高度飞机观测气温月值和常规高空观测气温月值差异

Fig. 3 Monthly value difference between aircraft and radiosonde temperatures in different levels from January 2006 to December 2009

统计结果表明,除 2009 年 9 月 1000 hPa 在 12 时的 T_a 月值和 T_s 月值差异为 $-1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 外,其余月份上在不同层次、不同时次 T_a 和 T_s 的月平均差异均保持在 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间(图 3)。中层(700~400 hPa)差异较小,低层(850 hPa 及以下)和高层(300 hPa 及以上)差异较大。其中,850 hPa 在 3 月、4 月、6 月、7 月和 9 月以及 700 hPa 在 2 月、8 月的 00 时月平均差异超过了 $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。除个别月份,700 hPa 及以下层次差异多为负值,即在 700 hPa 及以下 T_a 相对 T_s 整体偏低;在 500 hPa 及以上层次差异多为正值,即 T_a 相对 T_s 整体偏高。此外,在

不同层次 00 时、12 时的月值差异均有较明显的不同,除个别月份外,低层在大部分月份 00 时两者的差异更明显。

4 结 论

利用 2006 年 1 月至 2009 年 12 月经过严格质量控制后的资料,从 T_a 和 T_s 定时值差值的频率分布、不同飞行层次和飞行状态对两者差异的影响,不同型号 T_a 相对 T_s 的偏差以及两类资料的月值差异等方面进行了统计分析。主要结论如下:

(1) T_a 和 T_s 定时值的差值呈准对称分布, 64%的差值分布在 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。各层次、时次的月值差异基本维持在 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。

(2) 相对于 T_s , T_a 在 1000 hPa 附近明显偏低, 925 hPa 至 700 hPa 两者差异较小。500 hPa 及以上层次, T_a 值相对 T_s 偏高, 且差异随高度逐渐增加。

(3) T_a 和 T_s 的差异和飞行状态有关。925 hPa 至 700 hPa, 上升阶段飞机观测的气温资料相对 T_s 偏低, 降落阶段飞机观测的气温资料相对 T_s 偏高。500 hPa 及以上, 平飞阶段的 T_a 最接近于 T_s 。

(4) 我国绝大部分飞机观测气温资料由型号为 B737-800 和 B737-700 的飞机观测而得。两种型号飞机观测的 T_a 和 T_s 的平均偏差存在一定差异。B737-700 型号飞机观测的 T_a 和 T_s 的差异要大于 B737-800 型号飞机观测的 T_a 和 T_s 的差异。

致谢:感谢国家气象信息中心的张洪政在初稿撰写过程中提供的宝贵意见和建议。

参考文献

- [1] 李柏, 李伟. 高空气象探测系统现状分析与未来发展[J]. 中国仪器仪表, 2009, 6: 19-23.
- [2] 张文建. 世界气象组织综合观测系统(WIGOS)[J]. 气象, 2010, 36(3): 1-8.
- [3] 肖子牛. 我国短期气候监测预测业务进展[J]. 气象, 2010, 36(7): 21-25.
- [4] 矫梅燕. 天气业务的现代化发展[J]. 气象, 2010, 36(7): 1-4.
- [5] WMO Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation [M]. Sixth edition, Geneva: Secretariat of WMO, 1996.
- [6] 隋立芬, 王威. GPS 技术在大气探测中的应用[J]. 测绘科学技术学报, 2006, 23(2): 119-126.
- [7] 陈洪滨, 朱彦良. 大气下投探空技术的发展与应用[J]. 地球科学进展, 2008, 23(4): 337-341.
- [8] 贾朋群, 胡英, 王金星. 民用航空气象观测综述[J]. 气象科技, 2004, 32(4): 213-128.
- [9] Graham R J, Anderson S R, and Bader M S. The relative utility of current observation systems to global-scale NWP forecasts[J]. Quart J Roy Meteor Soc, 2000, 126: 2435-2460.
- [10] 黄卓, 李延香, 王慧, 等. AMDAR 资料在天气预报中的应用[J]. 气象, 2006, 32(9): 42-48.
- [11] 梁科, 万齐林, 丁伟钰, 等. 飞机报资料在 0506 华南致灾暴雨过程模拟中的应用[J]. 热带气象学报, 2007, 23(4): 313-325.
- [12] 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.
- [13] Schmidlin F J, and Northam E T. Standards for evaluating radiosonde measurements [G]. Ninth Symp on Integrated Observing and Assimilation Systems for the Atmosphere, Oceans, and Land Surface, San Diego, CA, Amer Meteor Soc, 2005: 11. 6.
- [14] Bedka S T, Feltz W F, Olson E R, et al. TAMDAR thermodynamic and dynamic state validation using rawinsonde data from TAVE [G]. 10th Symposium on Integrated Observing and Assimilation Systems for Atmosphere, Oceans, and Land Surface, Atlanta, GA, Amer Meteor Soc, 2006: 2. 12.
- [15] Daniels T S, and Murray J J. Validation of Tropospheric Airborne Meteorological Data Reporting (TAMDAR) Temperature, Relative Humidity, and Wind Sensors During the 2003 Atlantic THORPEX Regional Campaign and the Alliance Icing Research Study (AIRS II) [G]. 11th Conference on Aviation, Range and Aerospace Amer Meteor Soc, 2004: 8. 2.
- [16] 陶士伟, 郝民, 薛纪善, 等. 数值预报同化系统中观测资料误差分析[J]. 气象, 2008, 34(7): 34-40.
- [17] Barry Schwartz and Stanley G Benjamin. A comparison of temperature and wind measurements from ACARS-Equipped aircraft and Rawinsondes [J]. Weather and Forecasting, 1995, 10(3): 528-544.
- [18] Mamrosh R, Baker R, and Jirikovic T. A comparison of ACARS WVSS and NWS radiosonde temperature and moisture data [G]. Sixth Symposium on Integrated Observing Systems, Amer Meteor Soc, 2002: 6. 14.
- [19] Ballish B A, and Kumar V K. Comparison of aircraft and radiosonde temperature biases at NCEP [G]. 10th Symposium on Integrated Observing and Assimilation Systems for the Atmosphere, Oceans, and Land Surface (IOAS-AOLS), Amer Meteor Soc, 2006: 3. 5.
- [20] Ballish B A, and Kumar V K. Systematic differences in aircraft and radiosonde temperatures implications for NWP and climate studies [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2008, 89(11): 1689-1707.
- [21] WMO. Aircraft Meteorological Data Relay (AMDAR) Reference Manual [M]. Geneva, Switzerland: WMO, 2003.
- [22] 陶士伟, 郝民, 赵琳娜. AMDAR 观测资料分析及质量控制[J]. 气象, 2009, 35(12): 65-73.
- [23] Cardinali C, Isaksen L, and Andersson E. Use and impact of automated aircraft data in a global 4DVAR data assimilation system [J]. Monthly Weather Review, 2003, 131(8): 1865-1877.
- [24] 陈良, 高成敏. 快速离散化双线性插值算法[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(15): 3787-3790.
- [25] 徐萃薇. 计算方法引论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1987.
- [26] 龚建东, 魏丽, 陶士伟, 等. 全球资料同化中误差协方差三维结构的准确估计与应用 I: 观测空间协方差的准确估计[J]. 气象学报, 2006, 64(06): 669-683.
- [27] 张霁琛. 现代气象观测[M]. 北京: 北京大学出版社, 2003.