王瑞文，万晓敏，田伟红，等. 2016. AMDAR 温度观测的误差统计特征分析. 气象，42(3)：330-338.

AMDAR 温度观测的误差统计特征分析*

王瑞文 万晓敏 田伟红 王 丹

国家气象中心，北京 100081

提 要：观测资料的误差结构特征是影响资料同化效果的重要因素之一，在 GRAPES 资料同化系统中使用的观测资料误差结构特征是借鉴国外的同化系统或参考文献，没有直接使用实际观测资料统计。因为同化系统的差异和观测系统的不断改进，观测资料误差结构特征也应随着改变。现在同化系统中的观测误差结构特征不能满足同化系统的精细化要求，比如飞机的观测误差特征没有按飞机标识、纬度带和飞行状态进行区分。为了提高 AMDAR 资料的应用效果，本文对 AMDAR 资料的误差特征进行统计分析。通过对比 AMDAR 资料和 NECP 再分析资料，分别对全球不同纬度带、不同飞行状态和不同飞行标识两者的温度差异进行统计。本文使用的 AMDAR 资料是从国家信息中心实时库获取的，资料时段为 2013 年 5—7 月。统计结果显示在北半球中纬度(20°～50°N)AMDAR 资料最密集的区域，AMDAR 资料的温度偏差最大，约－2～－1℃，标准差约 1.2～1.6℃。温度的标准差在不同飞行状态随纬度而异，赤道地区(20°S～20°N)平飞状态最小，约 0.8℃，北半球高纬度(50°～90°N)平飞状态最大，约 1.5～2℃。通过分析 AMDAR 资料的误差特征，可以更有针对性地做好 AMDAR 资料质量控制及偏差订正，改进同化预报效果。

关键词：AMDAR，误差特征，飞行状态

中图分类号：P413 **文献标志码**：A **doi**：10.7519/j.issn.1000-0526.2016.3.008

Statistical Characteristics Analysis for AMDAR Temperature Observation Error

WANG Ruiwen WAN Xiaomin TIAN Weihong WANG Dan

National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: Error structural characteristic of observation data is one of the most important factors that affect data assimilation. The error structural characteristics of observation data in GRAPES come from numerical weather prediction system abroad. In order to improve the application effect of aircraft meteorological data relay (AMDAR) data, statistical analysis of the temperature difference between AMDAR data and NCEP reanalysis data is done according to different latitude zones, flight states, and identifications. The AMDAR data is from real-time database in National Meteorological Information Centre (NMIC), and the period of time for the data is May—July 2013. The statistical results show that there is a maximum temperature bias in the mid-latitude (20°—50°N) of Northern Hemisphere, where the number of AMDAR data is at most. The temperature bias is about －2——1℃, and the standard deviation of temperature is about 1.2—1.6℃. The temperature standard deviation varies with latitude zones in different flight states. The minimum standard deviation of temperature appears in cruise phase in the equatorial region (20°S—50°N), being about 0.8℃. The maximum standard deviation of temperature appears in cruise phase in the high latitude (50°—90°N) of the Northern Hemisphere, and it is about 1.5—2℃. By analyzing the error character of AMDAR data, we can do better in quality control and bias correction, improving the effect of data as-

* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406005)、GRAPES 专项(GRAPES-FZZX-2015-05)和国家气象中心青年基金(Q201510)共同资助
2015 年 7 月 17 日收稿； 2016 年 1 月 5 日收修定稿

第一作者：王瑞文，主要从事资料同化和观测资料处理方面的研究. Email：wangrw@cams.cma.gov.cn

similation and forecasting.

Key words: AMDAR (aircraft meteorological data relay), error character, flight state

引　言

数值天气预报的质量除了依赖模式特性，还与可获得的大气参数观测资料及其误差结构特性有关。目前同化系统中用到的观测数据包括：地面、无线电探空、雷达、航空数据转发（aircraft meteorological data relay，AMDAR）、船舶、探空火箭报、卫星、浮标和测风气球等。在常规观测中，无线电探空观测是一种精度较高的资料，但探空观测时间间隔过长、空间分布过稀。AMDAR 资料是通过民航飞机上的自动观测仪器获得的自动气象报告，通过气象卫星或高频技术的无线电形式发送给地面接收部门。AMDAR 资料具有高时间分辨率的特点，一定程度上弥补了探空观测的不足，对提高数值天气预报效果可起到很好的作用（Pouponneau et al，1999；Cardinali et al，2003；Fournier et al，2005；Benjamin et al，2007；陶士伟等，2009；朱士超等，2015）。因此，AMDAR 资料是除卫星遥感、地面加密自动站外，中尺度和短时天气预报重要的不可缺少的气象资料源之一。

国内外，关于 AMDAR 资料的应用已有许多研究（Baede et al，1983；Barwell et al，1985；Rukhovets et al，1998；Béatrice et al，1999；Richard，2003；Stickland et al，2004；WMO AMDAR Panel，2004；拓瑞芳等，2006；黄卓等，2006；梁科等，2007；仲跻芹等，2010；朱士超等，2014；王海霞等，2013）。这些研究主要集中在 AMDAR 资料对数值天气预报系统的影响。关于 AMDAR 资料本身的误差特征研究相对较少，且都有一定局限性。Schwartz 等（1995）指出和探空资料相比，AMDAR 资料的温度比探空要平均低 0.2℃，但只使用在丹佛和科罗拉多机场附近的一个半月的 AMDAR 上升和下降资料与探空资料进行对比，AMDAR 资料的巡航状态资料未进行比较，Benjamin 等（1999）也只使用丹佛机场附近 AMDAR 资料，通过这些观测计算出来的均方根误差，发现温度均方根误差大约是 0.49～0.77℃ 且随着高度降低。而这些误差由于混杂了一些中尺度变化和系统贡献，并且也混合了来自不同类型飞机的上升和下降状态，这可能导致过高的估计了实际的随机误差。Ballish 等（2008）研究认为飞机观测的温度比探空的高，这个结论和 Schwartz 等（1995）的结论不一致，这是因为他们是针对不同区域、不同时间和不同机型的研究。Drüe 等（2008）为了研究 AMDAR 资料中的温度系统误差和随机误差对不同飞机类型的依赖性，选择了法兰克福机场的 300 个飞机下降状态的 AMDAR 资料，研究表明来自不同飞机类型的温度测量的系统偏差可以到达 1℃，同样其研究对象只是法兰克福机场下降状态的 AMDAR 资料，陶士伟等（2008）利用贝塞尔函数拟合方法，从观测资料偏差协方差中扣除背景场误差均方差来估计 AMDAR 资料的误差均方差，但是该分析没有区分纬度带和飞机标识，廖捷等（2011）将中国区域的飞机观测温度资料和探空温度观测资料进行比较，认为飞机观测气温值在700 hPa 及以下偏低，在 500 hPa 及以上偏高，这个工作只是针对中国区域的飞机且也没有按飞机标识进行研究。

AMDAR 资料的误差特征受飞行状态、纬度、飞行高度、飞机机型等因素影响。上述这些工作只是从不同的角度做了一些初步的基础研究，不能充分反映以上各因素的影响。本文使用 3 个月的观测资料样本，针对飞机的不同飞行状态、不同纬度带、不同飞行层次和不同飞机标识，统计了 AMDAR 资料的具体误差特征。统计结果将有助于 AMDAR 资料质量控制及同化系统的合理使用。

1　资料和统计方法介绍

AMDAR 资料是从民航飞机上的自动观测仪器获得的自动气象报告，并且以 WMO 规定的统一电码格式进行国际交换。参与国际交换的 AMDAR 资料的国家主要分布在北美、东亚和西欧等地区，此外，澳大利亚的 AMDAR 资料数量也较多。AMDAR 资料的观测要素是不同高度层的温度和风。

飞机上的温度探头实际测得的温度是空气总温

度，而同化系统需要的温度是静止空气温度，即自由气流的温度，与空气总温不同（WMO，2008）。这是因为气流被元件腔和测温元件减速时，压缩和黏性的增温以及空气在元件上的不弯曲阻滞使温度发生了变化。静止气温（T_0）和测得温度（T_1）的关系如下：

$$T_0 = \frac{T_1}{[1+\lambda\frac{(\gamma-1)}{2}M^2]} \tag{1}$$

式中，γ 是干空气比定压热容与比定容热容之比（c_p/c_v）；M 是马赫数（真空速除以自由大气中的音速），在不同气象条件、不同高度马赫数是不同的；λ 为探头的恢复系数，它包括了空气黏性对静止空气温度的效应和空气在测温元件上不完全阻滞的效应。温度测量的误差来源包括安装和传感器误差，以及马赫数计算在内的此类修正过程中的不确定度。

本文所用的 AMDAR 资料是从国家气象信息中心实时库检索到的 2013 年 5—7 月的全球 AMDAR 温度资料。近几年，中国气象局国家气象信息中心接收的 AMDAR 资料量显著增加，到 2013 年每天大约有 20 多万份。图 1 给出了 AMDAR 资料在 2013 年 5 月 15 日 12 UTC 的全球分布。

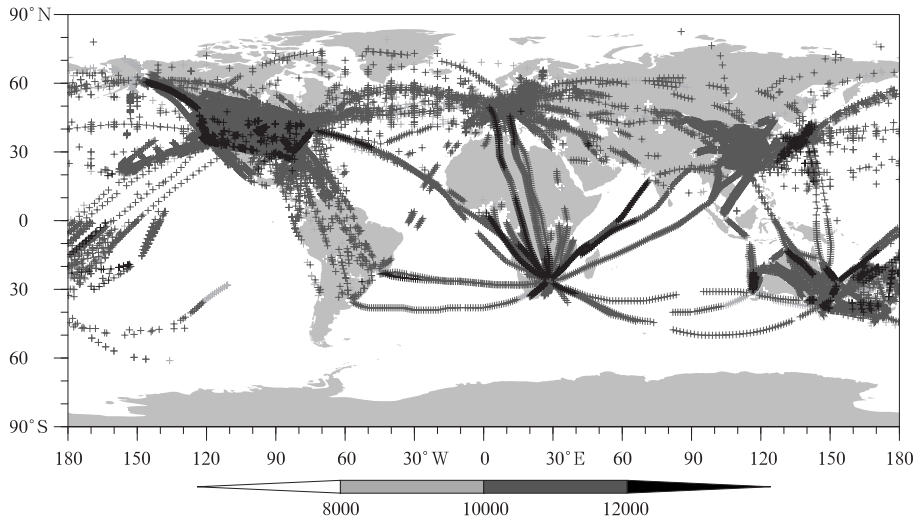


图 1 全球 AMDAR 资料覆盖情况

Fig. 1 Distribution of global AMDAR data

图 2 为 AMDAR 3 个月总的资料份数在垂直高度上的分布情况，随着飞行高度的增加，飞机观测数也在增加，AMDAR 资料最多的是在 300～200 hPa 的高层，即巡航状态，是上升和下降状态的 3～4 倍。

本文采用美国国家环境预报中心（National Centers for Environmental Prediction，NCEP）的 FNL 资料作为研究的参考场，首先，AMDAR 资料经过质量控制，包括背景场检查、内部一致性检查、极值检查、时间一致性检查和持续性检查。然后，本文按不同飞行状态（上升、平飞、下降）、不同纬度带、不同飞行高度和不同飞行标识统计了 AMDAR 和 FNL 温度资料的偏差（观测值减去 FNL 差的平均值）及两个温度资料间差（观测减去 FNL）的标准差，检查过程中认为是错误的资料将不参加统计。

2 AMDAR 温度资料的误差统计特征

2.1 不同飞行状态下各纬度带误差特征

由于观测误差和飞机的飞行状态（上升、平飞和下降）、不同纬度带、不同飞行高度和不同飞机标识有关，因此本文按飞行状态、纬度带、飞行层次和飞机标识进行统计 AMDAR 资料的误差特征。图 3～图 6 给出了不同纬度带、不同飞行状态下的温度偏差和标准差的时间序列。

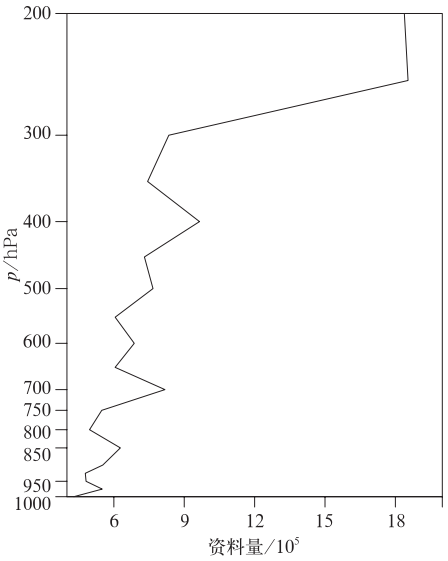


图 2　AMDAR 资料的垂直数量分布

Fig. 2　The amount of AMDAR data in vertical profile

北半球高纬度(50°～90°N)的温度偏差(图 3a)在－1.2～0℃，其中平飞状态下的负偏差绝对值比上升和下降状态下的要大。温度的标准差(图 3b)在平飞状态下较大，约 1.5～2.0℃，上升和下降状态在 1.0～1.5℃。

在飞机观测数量最多的北半球中纬度地区(20°～50°N)3 个飞行状态的温度偏差(图 4a)均是负值，在－1.4～－0.1℃，温度标准差(图 4b)在 3 个飞行状态下比较接近，在 1.2～1.6℃，这说明 AMDAR 资料的系统偏差存在且不可忽视，应用的时候需要做必要的偏差订正。

赤道地区(20°S～20°N)的温度偏差(图 5a)在上升状态下是负偏差，约－1～0℃，下降状态在－0.5～0.5℃，平飞状态在－0.25～0.25℃。平飞状态的温度偏差最小。温度的标准差(图5b)是平

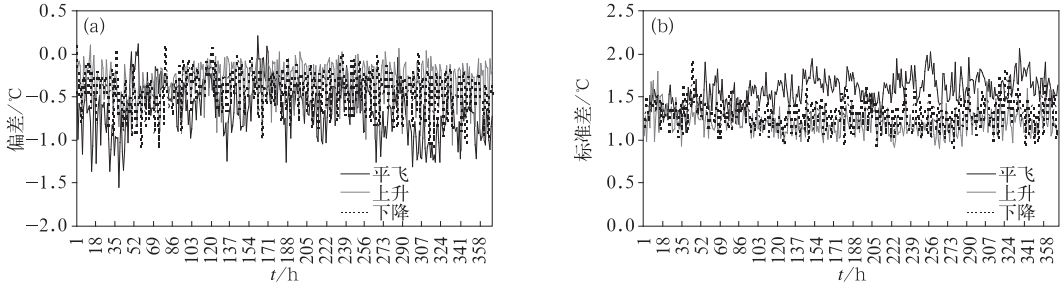


图 3　北半球高纬度温度场的偏差(a)和标准差(b)时间演变趋势

Fig. 3　Variation tendency of temperature bias (a) and standard deviation (b) in northern high latitude

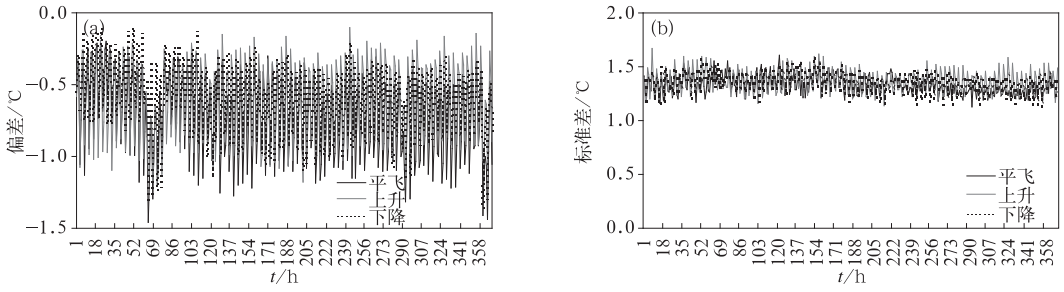


图 4　同图 3，但为北半球中纬度

Fig. 4　Same as Fig. 3, but in northern middle latitude

飞状态最小，0.5～1℃，下降状态是 0.6～1.5℃，上升状态是 0.8～1.5℃。在上升状态和下降状态主要是负偏差，这主要是因为赤道地区上升和下降状态的云量大、湿度大，而飞机观测温度的元件在云中被打湿，蒸发降温，因而观测到的温度比实际要低，而平飞状态的偏差和标准差都最小。同时也发现在几个时段的偏差标准差较大，这是因为在这几个时段，飞机观测的样本数较小，是其他时段观测数的三分之一，统计的代表性较差。

南半球中纬度(20°～50°S)区域的温度偏差(图 6a)在－0.5～0.5℃，其中上升状态的偏差最小，下降状态温度整体是正偏差，平飞状态的温度整体是负偏差。温度的标准差(图 6b)在 0.6～1.5℃，下降状态最小，上升和平飞状态略大。

以上分析了 AMDAR 资料的偏差和标准差随时间的变化趋势，下文分析不同飞行状态的温度场的偏差标准差。图 7 是飞机在不同纬度带上不同飞行状态的偏差和标准差特征。从图 7a 可知，除了赤道地区，其他三个纬度带的温度偏差都是在平飞状态最大，下降状态最小，而且所有的温度偏差基本上都是负值，在－0.7～0℃，其中，在 AMDAR 资料数最大的北半球中纬度地区（虚线），温度的偏差最大，而且温度的偏差在所有飞行状态中变化不大，在－0.7～－0.6℃，在北半球高纬度温度的偏差在－0.7～－0.3℃，南半球中纬度温度的偏差在－0.2～0.2℃，在赤道地区，飞机上升状态的温度偏差最大，约－0.5℃，而在平飞和下降状态偏差一致，约－0.1℃。北半球中纬度地区温度偏差最大的原因可能是因为美国飞机观测偏差较大（图 10a），且观测数量多造成的（图 9）。

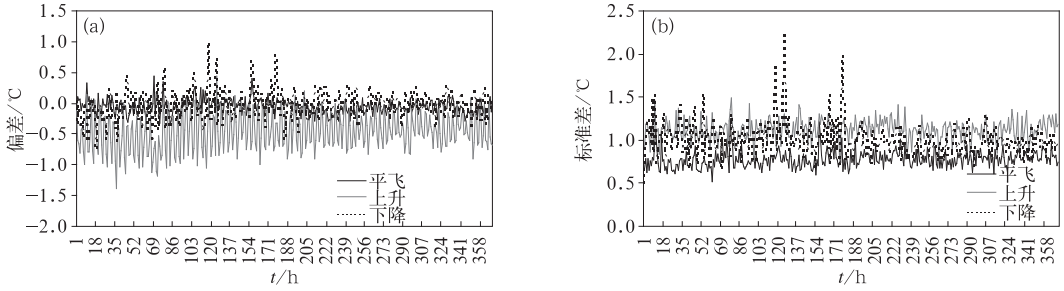


图 5 同图 3，但为赤道温度场

Fig. 5 Same as Fig. 3, but in equator

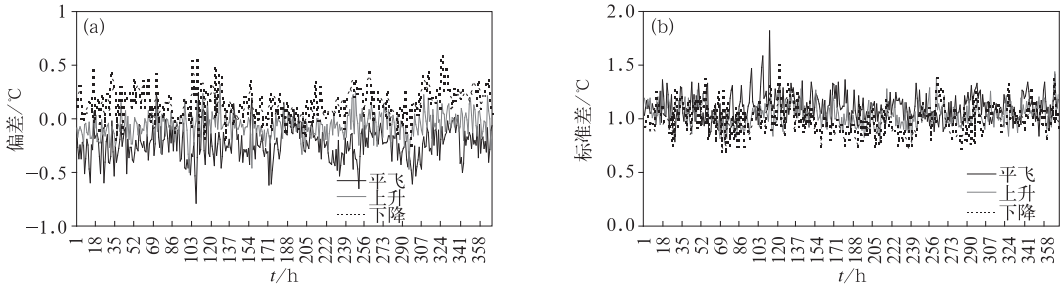


图 6 同图 3，但为南半球中纬度

Fig. 6 Same as Fig. 3, but in southern middle latitude

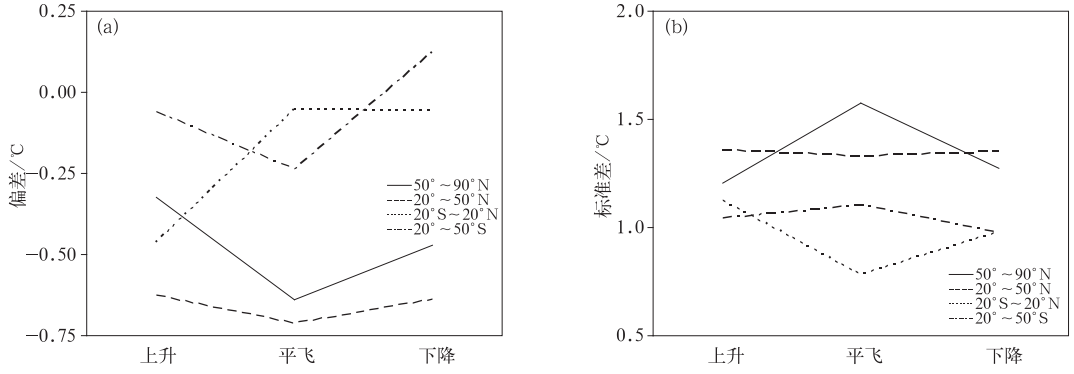


图 7 不同飞行状态的温度偏差（a）和标准差（b）

Fig. 7 Temperature bias (a) and standard deviation (b) in different flight states and different latitudes

从温度的标准差来看（图 7b），在 AMDAR 资料最多的北半球中纬度，标准差在三个飞行状态下基本不变，都在约 1.4℃，而南半球中纬度温度的标准差在上升和下降状态较小约 0.9～1.1℃，在平飞状态约 1.2℃，北半球高纬度的温度标准差也是在上升、下降状态最小，约 1.3℃，平飞状态最大，约

1.6℃。赤道地区温度的标准差比其他三个纬度带的都小，且在平飞状态的温度标准差最小，约0.7℃。赤道地区和南半球中纬度的温度标准差较小，但是上升和下降状态要大于平飞状态。这可能是选择的参考场同化了卫星资料，在这两个区域 AMDAR 资料对温度的影响不是起主要作用。从图中还可见，在温度相对低的南半球中纬度和北半球高纬度，在高度较高的平飞状态，标准差较大，而在北半球中纬度和赤道地区相对温度高的区域，平飞状态的标准差最小。

2.2　各纬度带误差垂直分布

从不同垂直层次分析 AMDAR 温度资料的偏差和标准差特征。

由图 8a 可知，AMDAR 资料的温度偏差大小在－1.2～－0.2℃，从 1000～200 hPa 基本是负偏差，除了南半球中纬度 700 hPa 以下。偏差较小的也是南半球中纬度，在－0.2～0.2℃，北半球中纬度的资料数量较多，偏差也较大，在－1.2～－0.4℃。温度的标准差（图 8b）900 hPa 以下较大，约 1～2.2℃，900 hPa 以上在 0.7～1.9℃。北半球中纬度在 500 hPa 以下最大，南半球中纬度在 300 hPa 以下层次上都是最小。在 300 hPa 以上的平飞状态，北半球中纬度温度标准差最大，赤道地区最小。

2.3　AMDAR 温度资料的水平偏差和标准差特征

图 10 给出了在飞机观测中数量最多的200 hPa 温度场在全球的偏差和标准差水平分布。图 9 给出了样本数的水平分布情况，从图中可以看出 30 个样本以上的区域主要在美国、西欧、东亚和澳大利亚及其相关航线上。

图 10 是 AMDAR 资料的观测样本数的水平分布。由图 10a 可见，在 200 hPa 层次上，温度偏差在美国区域约－2～－1℃，西欧在－1～0℃，东亚和澳大利亚是有正负偏差在－1～1℃，从图 10b 看出温度标准差在美国区域约 1℃左右，西欧在 1.5～2℃，东亚和澳大利亚在 0.5～1℃。加拿大地区的温度标准差最大，在 2～3℃。除了上述几个区域以及海上，由于样本少，偏差和标准差特征变化比较剧烈，呈现不连续性，因此不具有参考性。

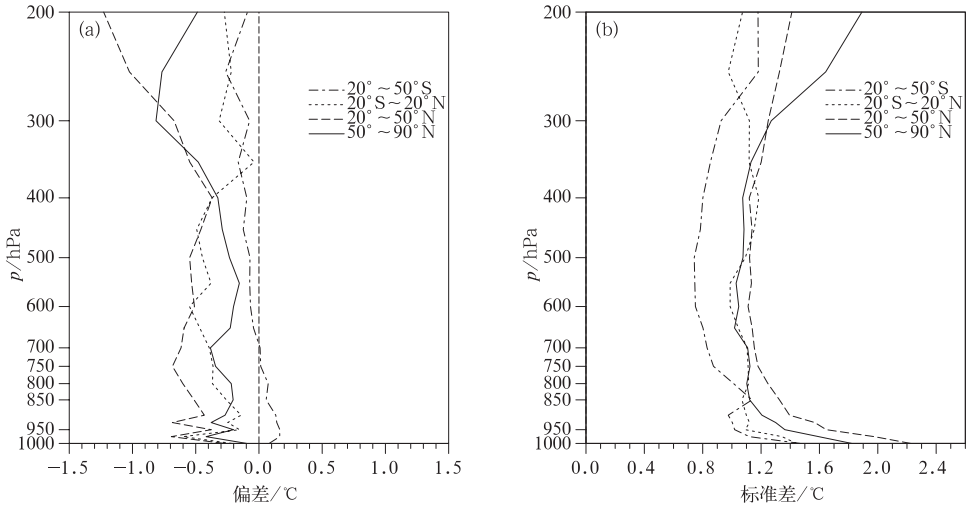


图 8　AMDAR 温度资料的垂直偏差(a)和标准差(b)

Fig. 8　Bias (a) and standard deviation (b) of AMDAR temperature data in vertical profile

2.4　AMDAR 资料的飞机黑名单

在所有提供 AMDAR 资料的飞机中，有些由于观测数量少，或者观测数据不准确需要将该飞机标识列入黑名单（资料可信度差），进入黑名单的飞机，其观测数据将不被采用，本研究黑名单判断依据是：在 3 个月的统计时间中，某架飞机的偏差和所有飞机偏差之间的差＞2×所有飞机的标准差，或者某架飞机的标准差＞2×所有飞机的标准差，或者质量控制检查中扣除率＞10％。表 1 给出了几个黑名单中的例子，其中包括观测数、扣除率、偏差和标准差等信息。在 3 个月的统计中，共有 7528 架不同飞机，按上述原则进入黑名单的有 481 个飞机，黑名单的观测数占总数的0.15％，即进入黑名单的飞机观测

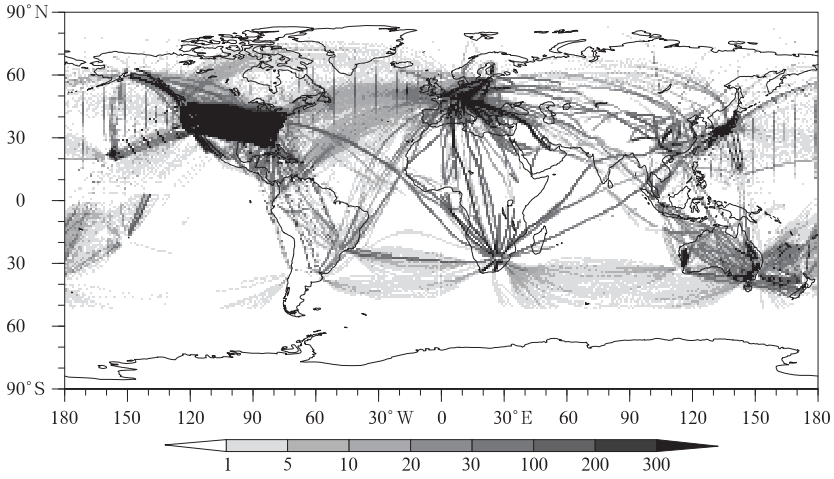


图 9 AMDAR 资料的观测样本数的分布

Fig. 9 Distribution of observation samples of AMDAR data

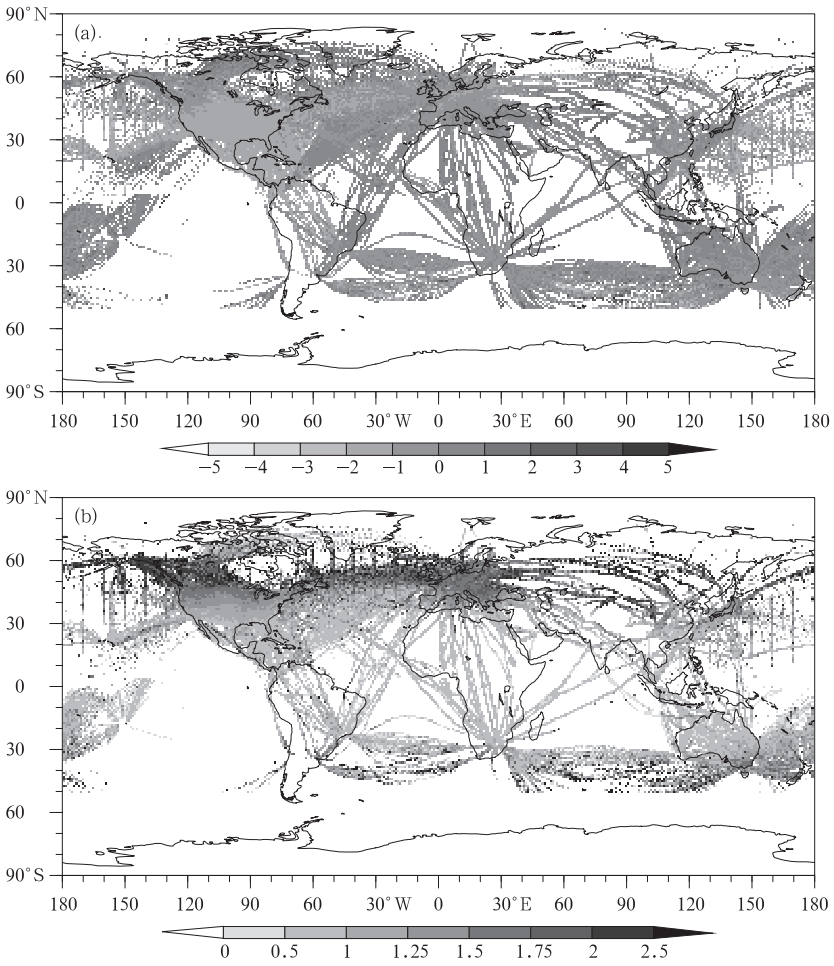


图 10 200 hPa 温度偏差(a)和标准差(b)的水平分布(单位:℃)

Fig. 10 Horizontal distribution of temperature bias (a) and standard deviation (b) at 200 hPa (unit: ℃)

资料量较少。

分析列入黑名单原因,表 1 中的飞机标识为 CNCSVM、CXPFVSZA 和 4VNHL5ZA 都是因为观测错误太多,扣除率高; LCMUIRZA 扣除率低于

10%，但是它的偏差和平均偏差之间的差 4.29－0.606＝3.684＞2×1.33(平均标准差)；NCA190 和 HAL16 不仅观测数量少，而且扣除率高；UAL1488 虽然没有被扣除，但是观测数少且偏差较大。

表 1　部分飞机黑名单

Table 1　Part of the aircraft black list

标识号	观测数	扣除率/%	平均偏差/℃	偏差/℃	平均标准差/℃	标准差/℃
CNCSVM	22351	60.50	－0.606	1.713	1.33	2
4VNHL5ZA	3869	90	－0.606	－3.346	1.33	1.276
LCMUIRZA	1768	5.80	－0.606	－4.29	1.33	1.017
CXPFVSZA	1284	19.40	－0.606	－0.429	1.33	2.498
NCA190	1	100	－0.606	0	1.33	0
UAL1488	1	0.00	－0.606	－3.855	1.33	0
HAL16	8	12.50	－0.606	－0.268	1.33	0.753

3　结论和讨论

由于 AMDAR 资料对数值天气预报的影响很大，随着 AMDAR 资料量越来越多，AMDAR 资料的质量也引起广泛关注，本文利用从国家气象信息中心检索到的 3 个月 AMDAR 资料，分析了 AMDAR 温度资料的偏差和标准差等误差特征，得出如下主要结论：

(1)AMDAR 的观测主要分布在美国、西欧、东亚和澳大利亚区域及相关航线上。

(2)AMDAR 资料最多的北半球中纬度地区，温度观测的负偏差较大，与作为参考场的 FNL 相比，在－1.5～－1℃，标准差为 0.5～1.5℃。系统误差较大，随机误差小。

在赤道和南半球中纬度区域，温度的偏差和飞行状态有关，在赤道地区，上升状态的偏差最大且是负偏差，南半球中纬度的温度偏差在平飞和下降状态较大，下降状态是正偏差，平飞状态是负偏差。

(3)温度的标准差随不同飞行状态、不同纬度而变化，赤道地区的平飞状态最小，在北半球高纬度地区的平飞状态最大，约 1.5℃。

(4)存在一定数量的黑名单飞机，但黑名单里的飞机的观测资料数量较小。

由于大气状态的真值不可知，本研究只是把 AMDAR 温度观测同数值预报模式系统较完善的 NCEP 的 FNL 资料作为参考场，即相对标准。FNL 资料是各种观测和模式结合的较大尺度的平均，具有代表性误差，和观测之间的差异是客观存在的。

从以上分析可知，观测资料是存在一定偏差的，特别是观测量最多的美国区域温度偏差较大。下一步可以将 AMDAR 资料的偏差订正作为下一个研究重点。此外，关于风的误差特征的统计分析将另文给出。

参考文献

黄卓，李延香，王慧，等. 2006. AMDAR 资料在天气预报中的应用. 气象，32(9)：42-48.

梁科，万齐林，丁伟钰，等. 2007. 飞机报资料在 0506 华南致灾暴雨过程模拟中的应用. 热带气象学报，23(4)：313-325.

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

拓瑞芳，金山，丁叶风，等. 2006. AMDAR 资料在机场天气预报中的应用. 气象，32(3)：44-48.

陶士伟，郝民，薛纪善，等. 2008. 数值预报同化系统中观测资料误差分析. 气象，34(7)：34-40.

陶士伟，郝民，赵琳娜. 2009. AMDAR 观测资料分析及质量控制. 气象，35(12)：65-73.

王海霞，张宏升，李云峰，等. 2013. 上海浦东国际机场低层大气垂直风场特征研究. 气象，39(11)：1500-1506.

仲跻芹，陈敏，范水勇，等. 2010. AMDAR 资料在北京数值预报系统中的同化应用. 应用气象学报，21(1)：19-28.

朱士超，郭学良. 2014. 华北积层混合云中冰晶形状、分布与增长过程的飞机探测研究. 气象学报，72(2)：366-389.

朱士超，郭学良. 2015. 华北一次积层混合云微物理和降水特征的数值模拟与飞机观测对比研究. 大气科学，39(2)：370-384.

Baede A P M，Uppala S，Kallberg P. 1983. Impact of aircraft wind data on ECMWF analyses and forecasts during the FGGE period，8-19 November 1979. Preprints，Sixth Conf on Numerical Weather Prediction，Omaha，NE，Amer Meteor Soc，213-219.

Ballish B A，Kumar K V. 2008. Systematic differences in aircraft and radiosonde temperatures. Bull Amer Meteor Soc，89(11)：1689-1707.

Barwell B R，Lorenc A C. 1985. A study of the impact of aircraft wind observations on a large-scale analysis and numerical weather prediction system. Quart J Roy Meteor Soc，111(467)：103-129.

Béatrice P，Franck A，Thierry B，et al. 1999. The impact of aircraft data on an atlantic cyclone analyzed in terms of sensitivities and

trajectories. Wea Forecasting,14(1):67-83.

Benjamin S,Moninger W R,Smith T L,et al. 2007. TAMDAR Impact Experiment Results for RUC Humidity,Temperature,and Wind Forecasts// 11th Symposium on Integrated Observing and Assimilation Systems for the Atmosphere,Oceans,and Land Surface (IOAS-AOLS). San Antonio:Amer Meteor Soc.

Benjamin S G,Schwartz B E,Cole R E. 1999. Accuracy of ACARS wind and temperature observations determined by collocation. Wea Forecasting,14(6):1032-1038.

Cardinali C,Isaksen L,Andersson E. 2003. Use and impact of automated aircraft data in a global 4DVAR data assimilation system. Mon Wea Rev,131(8):1865-1877.

Drüe C,Frey W,Hoff A,et al. 2008. Aircraft type specific errors in AMDAR weather reports from commercial aircraft. Quart J Roy Meteor Soc,134(630):229-239.

Fournier C,Holden S D. 2005. Development of the Canadian Aircraft Meteorological Data Relay (AMDAR) Program and Plans for the Future// 13th Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation. Savannah,GA.

Pouponneau B,Ayrault F,Bergot T,et al. 1999. The impact of aircraft data on an Atlantic cyclone analyzed in terms of sensitivities and trajectories. Wea Forecasting,14(1):67-83.

Richard M. 2003. Aircraft weather observations improve forecasts. National Weather Service,2(2):1-7.

Rukhovets L,Tenenbaum J,Geller M. 1998. The impact of additional aircraft data on the Goddard earth observing system analyses. Mon Wea Rev,126(11):2927-2941.

Schwartz B,Benjamin S G. 1995. A comparison of temperature and wind measurements from ACARS-equipped aircraft and radiosondes. Wea Forecasting,10(3):528-544.

Stickland J J,F Grooters A T. 2004. Observations from the Globe AMDAR Programme. http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-82-TECO_2005/Papers/2(01)_Australia_text.pdf。

WMO. 2008. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation,Seventh Edition. Geneva:WMO-No. 8.

WMO AMDAR Panel. 2004. Aircraft Meteorological Data Rellay. International AMDAR Program. http://www.wmo.int/web/aom/amprog/amprog.html.