

AMDAR 资料在天气预报中的应用

黄 卓¹ 李延香² 王 慧² 李伟华²

(1. 北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871; 2. 国家气象中心)

提 要: 使用国内的 AMDAR 资料对几次重大天气过程进行了动力和热力学分析研究。结果表明: 飞机在航站上起降时探测的高时空分辨率的 AMDAR 资料与其它资料结合能够较连续地监视机场附近气象要素的时空变化特征, 进而捕捉到一些常规观测资料难于发现的引发冰雹等强对流天气的中尺度天气系统。该资料对稳定性天气大雾的定点分析和预报, 较之常规观测资料有更好的业务使用价值。该资料不仅可为制作定点的临近和短时预报提供精细的预报依据, 而且可在一定程度上增强对灾害性天气的认知和预见性。

关键词: AMDAR 资料 冰雹 大雾 应用研究

Application of AMDAR Data to Weather Forecast

Huang Zhuo¹ Li Yanxiang² Wang Hui² Li Weihua²

(1. Department of Atmosphere Science, School of Physics, Peking University 100871;
2. National Meteorological Center)

Abstract: Several major weather cases are investigated in terms of thermodynamics and dynamics using the domestic AMDAR (Aircraft Meteorological Data Relay) data. The main results are as follows: (1) The spatial-temporal variable characteristics of the meteorological elements around the airports can be continuously monitored by means of AMDAR data with high spatial-temporal resolution, which is obtained when airplanes are taking off and landing over airports, combined with the other meteorological observations, from which the meso-scale weather systems causing severe convective weathers such as hail can be found, but it is

资助项目: 中国气象局法规司“飞机测报在天气预报中的应用研究”课题资助。

收稿日期: 2006年6月5日; 修定稿日期: 2006年7月10日

difficult to find from the conventional observations. (2) The AMDAR data are more valuable than those of conventional ones in analyzing and predicting the stable weather (heavy fog). (3) The AMDAR data not only can provide fine indications for now-casting and very short-range forecasting, but also can improve the understandings and predictabilities for the catastrophic weathers in some extents.

Key Words: AMDAR data hail heavy fog application

引言

AMDAR (Aircraft Meteorological Data Relay), 即航空器气象资料下传是国际民航组织和世界气象组织在全球范围内积极推动的项目。AMDAR 资料具有高时空分辨率的特点, 其数量已在现有类型的气象资料源中占有了重要的地位。目前该资料在欧洲和北美航空发达地区已得到较为广泛的使用。有许多研究^[1-4]表明, AMDAR 资料已经提高了天气预报(包括数值预报)的准确率, 并且提高了飞行系统的安全和效率, 已成为一种非常有用的天气资料来源。自 2004 年 10 月起, 中国开始参加 AMDAR 资料的 GTS 交换, 并于 2005 年进入对该资料的应用研究^[5]阶段。“AMDAR 资料在天气预报中的应用研究”是其项目之一。

由于 AMDAR 资料不同于常规观测资料, 要做到在天气预报业务中有效地应用, 首先是要开展对该资料在天气预报业务中应用的可行性和应用价值研究。为此, 我们对由国家气象信息中心提供的 2005 年国内的 AMDAR 资料进行了统计和质量分析, 研究了该资料的图形显示形式和技术, 在此基础上以 2005 年重大天气过程和高影响天气事件(冰雹、大雾、暴雨)为主要对象开展了航站和航线上的 AMDAR 资料应用研究, 目的在于了解该资料在业务预报中的使用价值及其与其它资料相比的优势和劣势, 以便

将来配套使用, 优势互补, 从而为短时和临近天气预报提供有价值的参考依据。本文重点介绍航站上 AMDAR 资料在冰雹和大雾天气过程分析中的应用研究。由于资料时空分辨率的影响, 对于航线上的资料没有做深入的应用研究, 仅给出就几次暴雨过程分析得出的初步结论。

1 AMDAR 资料概述

目前国内航班的航空器所探测的 AMDAR 资料中仅有高度、位置、风向、风速和温度数据, 而多数国际航班还有气压、湍流、结冰等数据, 少数商业飞机还有湿度资料。

国内的 AMDAR 资料主要分布在我国东部地区, 资料最密集区以大城市为中心分布。每日的 AMDAR 资料主要集中在 03—15 时(世界时, 下同)之间, 从 18 时到第二日 12 时 AMDAR 资料随时间增加而逐渐增多, 12 时达到峰值, 之后逐渐减少, 18 时降到谷底。

AMDAR 资料按高度可划分为四个密集层: < 1000m、7000~8000m、8000~9000m 和 10000~11000m。我们将 6000m 以下飞机起降时的资料暂时称为航站资料, 使用该资料可对航站上空对流层中下层的大气垂直结构进行监测和分析; 将 6000m 以上飞机平飞时的资料称为航线资料, 该资料可以反映对流层上部大气的特征。

2 AMDAR 资料在天气预报中的应用价值

2.1 5月31日北京强冰雹天气过程分析

2005年5月31日下午北京市大部地区遭遇20年以来最猛烈的冰雹天气袭击。这次冰雹的特点是强度大、范围广、受灾严重。大的冰雹尤如鸡蛋大小,最大直径达55mm,并伴有雷雨和7~8级瞬时大风。此次雹灾中,全市直接经济损失达4815多万元。

这次冰雹过程大致分为两个时段和两个区域:第一个时段,05时17分至08时15分,冰雹主要出现在门头沟、城区、大兴到通州一线,冰雹路径呈WNW—ESE向;第二个时段,06时30分至11时19分,冰雹从西北部山区东移南下经城区,尔后到达南部地区,影响面积较大,冰雹路径先呈NW—SE向,后转为准南北向。

从常规天气图上看,造成冰雹的主要天气尺度影响系统是蒙古冷涡、低槽以及高空急流。在5月31日00时 $T-\ln P$ 图上(图略),已反映出中高层大气处于对流不稳定状态,预示未来可能出现对流性天气,但由于12小时间隔的天气图无法反映系统的细节及其演变,因此很难确定强对流天气发生的具体时间。而由卫星、雷达、闪电定位等资料综合对比分析表明,这两个时段的冰雹的直接影响系统分别为从房山东移和由北部山区南下的两个中- β 尺度的强对流系统,由雷达图像可以判断,其中至少有两个达到了超级单体的强度。从逐时AMDAR温度场和风场上也能清晰地看到这两个中- β 尺度的系统。

2.1.1 AMDAR 资料的温度场特征

图1是由AMDAR的温度资料绘制的时间-空间剖面图。由图1可见,在第一个

时段冰雹出现前的04—05时和第二个时段的09时前后(即冰雹加强时,如图中箭头所示),1km以下的近地面层内均明显增温,温度垂直递减率加大,这有利于对流不稳定层结的发展;还可以看到在5~6km的对流层中层都有弱的冷空气,这种上冷下暖的不稳定层结为强对流天气提供了有利的热力条件。另外,我们注意到,10时后,近地面层28℃暖中心消失,代之以由雷暴高压引起的20℃以下的冷空气,对流不稳定层结遭到破坏,冰雹天气结束。

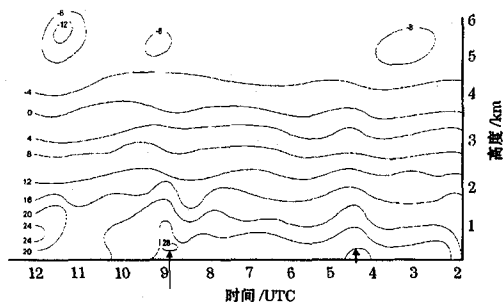


图1 2005年5月31日02—12时北京航站上的AMDAR温度资料绘制的时间-空间剖面图

2.1.2 AMDAR 资料的风场特征

图2是5月31日02—12时的AMDAR风场的时间-空间剖面图。由图可见,31日03—07时、08—10时,低层500m以下分别有两个东南风或偏南风与东北风或西北风之间的水平方向上风向的中尺度切变线,这两个中尺度切变线均处于1~4km上空长波槽前的西南气流之下。与卫星、雷达图像、闪电定位仪资料和北京南郊观象台风廓线特征(图略)对比分析表明,这次冰雹天气过程就是在1km以下的边界层内的这两个中尺度的低空切变线触发下产生的。而11时多的东南风与西北风之间的低层短暂的风向的垂直切变反映了该长波槽过境后冷空气沿槽后西北气流南下,冰雹即将结束的风场的

特点。

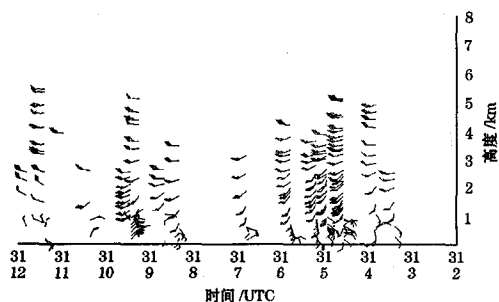


图2 2005年5月31日02—12时北京航站上的AMDAR的风场资料绘制的时间-空间剖面图

另外,从逐时的AMDAR的风速资料绘制的时间-空间剖面图(图3)与图1和图2对比分析还可以看出,几乎在上述两次低层增温、对流不稳定发展的同时,从31日04时57分开始,低层2km西南风由原来的 $6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右加大至 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,表明低空急流出现,风的垂直切变加大,近地面层500米的东南风也由 $1\sim 3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 加大到 $4\sim 5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。在第二个时段,在3km,08时58分有 $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的急流出现,与低层 $<8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的风速相比,风速垂直切变也很明显。另外,在冰雹出现的两个时段,在4~5km

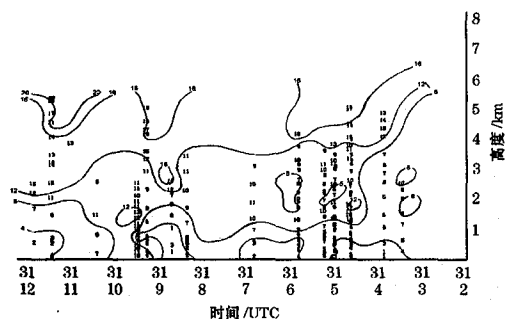


图3 2005年5月31日02—12时北京航站上的AMDAR的风速资料绘制的时间-空间剖面图

的高度层中均有与冷中心匹配的 $16\sim 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的中层急流存在,这表明在北京上空有中层斜压锋区存在,同样有利于强对流天气的出现。

2.1.3 AMDAR 资料的单站高空风特征

从AMDAR资料的单站高空风图可以看出,04时57分(图4a)开始,从579~3109m均转为暖平流,这与近地面层东南风加大和低空西南风急流的出现有关,这表明动力和热力条件均有利于强对流的产生和发展。而到08时41分(图4b)后,由于冷空气南下,中层2134~2621m转为冷平流,其下为暖平流。第二个阶段的冰雹加强并逐渐南移,之后随着冷空气南下,下层均逐渐转为冷平流,冰雹过程结束。

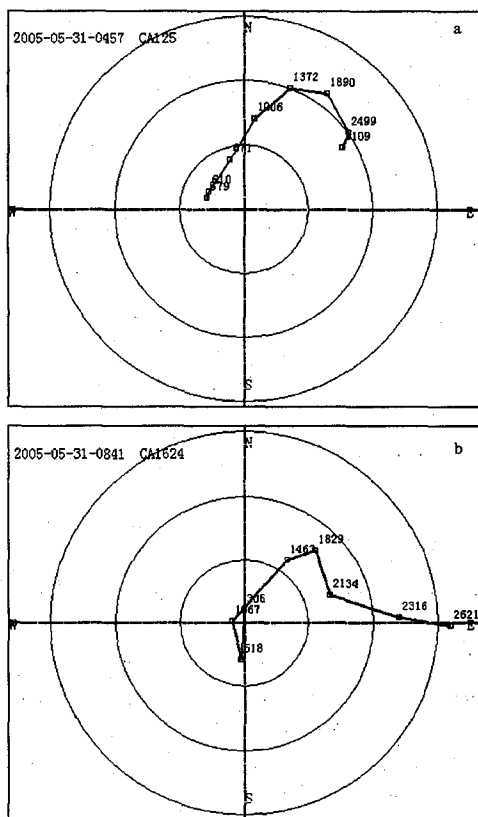


图4 5月31日04时57分(a)和08时41分(b)北京航站上的AMDAR高空风图

2.1.4 小结

综上所述,可以看出,从 AMDAR 资料图上反映出的两个中尺度切变线正是北京两个时段冰雹的直接影响系统,这在常规天气图上难于发现的。AMDAR 中低层风场和温度场的资料对这次强冰雹的出现有较好的指示意义,如将 AMDAR 资料与地面自动站资料、雷达图像、风廓线仪和闪电定位仪等资料配套使用、对比分析,有可能比仅用常规资料和云图提前 2 个小时左右报出冰雹的出现。

同时还可以看出,上述两个时段的冰雹的形成条件和触发机制并不完全相同,其异同点主要表现在以下四个方面:从风场上看,两个时段均有中尺度切变线、中低空急流及加强的风的水平和垂直切变;从温度场上看,两个时段的冰雹都表现出明显的低层增暖,层结不稳定,但第一个时段的增暖出现在冰雹形成前,这除了与边界层晴空日射增温有关外,还与西南风急流出现和暖平流加强有关,而第二个时段的增暖出现在冰雹加强时,与温度的日变化关系不大;第一个时段的冰雹尽管中层也有弱的冷空气激发,但主要是由于大气层结的对流性不稳定造成的;而第二个时段的冰雹则主要是由于横槽下摆冷空气南下产生的上冷下暖的不稳定层结所造成的;从雷达图像和闪电定位仪资料分析及相关经验推断,两个时段的冰雹的产生和加强均可能与地形的作用有关,第一次过程可能受西部山地的影响,而第二次过程则受北部山区的作用更明显。

2.2 北京 11 月 4—5 日的大雾天气过程

2005 年 11 月 4—5 日,大雾弥漫京城。4 日 18 时和 5 日 00 时北京的能见度分别为 100m 和 200m,白天其余时段能见度多在 200 至 800m 之间(表略)。持续大雾造成空气质量一直处于 5 级重度污染的极差状态,严重影响交通运输、人们的健康和出行。以

下从北京航站上的 AMDAR 资料风场和温度场的特征分析 4—5 日大雾持续、加强和结束的原因。

2.2.1 AMDAR 资料的风场特征

从常规观测资料看,这次北京持续性大雾出现在对流层中低层东移的河套长波槽前的暖湿气流的下方;地面为 $1\sim 4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏东风或静风;夜间到早晨天气状况多为晴空或密卷云,地面相对湿度达 $87\%\sim 100\%$;整层大气层结比较稳定。这正是辐射雾产生的有利条件。然而仅一天两次的高空观测资料难以准确地预报出雾的生消和变化。

从 4—5 日北京航站逐时的 AMDAR 风资料的时间-空间剖面图(图 5)可以直观地看到,在 5 日 09 时以前,即雾持续和加强阶段,近地面层 500m 以下多盛行偏东风,且风速较小,这既有利于渤海和黄海北部的水汽向北京输送,又有利于大雾的持续;还可以看到,在 $2\sim 3.5\text{km}$ 气层内 AMDAR 单站风资料与常规天气图的特征一样为河套长波槽前一致的西南或偏西暖湿气流。但在 4 日 00—04 时 1km 以下,风向由东北转为西北风,这表明低层有冷空气南下。从由 AMDAR 资料绘制的高空风图(图略)上也可以判断出相应的低层冷平流和中层暖平流。这些特征在常规天气图上无

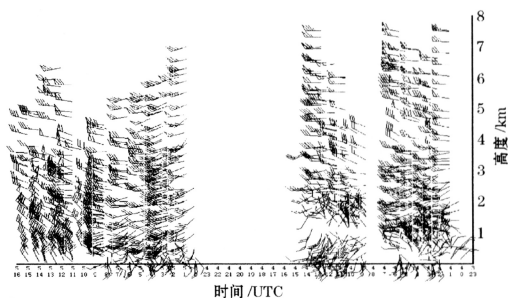


图 5 2005 年 11 月 4—5 日北京航站上的 AMDAR 风场资料时间-空间剖面图

法看到, 这是形成上暖下冷逆温层、有利于雾持续的最佳层结条件。

2.2.2 AMDAR 资料的温度场特征

图 6 为 4 日和 5 日 AMDAR 单站温度资料的时间-空间剖面图。从图中可清楚地看到, 4 日上午北京上空大气低层出现了逆温层, 下午由于有西风带短波槽过境, 1~5km 上空的西南风转为西北风, 暖层破坏, 加之地面层温度日变化的影响, 逆温层减弱消失; 从地面观测资料看, 北京的相对湿度也下降到 51% 以下, 大雾减弱为轻雾或霾。但 4 日 14 时开始, 由于河套槽的移近, 1km 以上再次转为西南风, 暖层重新建立, 同时由于夜间的辐射降温, 5 日早晨, 逆温层重建并迅速加强, 且到 03—08 时, 在通常由于气温的日变化有利于雾消散的时段, 逆温层反而加强, 逆温层上下温差一般为 2

~5℃, 最大达 6℃, 而 4 日一般为 1~3℃, 最大达 4℃。这也正是为什么 5 日多数时段北京出现浓雾, 而 4 日除了上午前半段出现浓雾, 其余时段均为轻雾的原因所在。上述逆温及其变化特征在常规的 $T-\ln P$ 图 (图略) 上并没有反映出来。

2.2.3 AMDAR 资料单站高空风图特征

5 日 09 时后随着中纬度长波槽东移和冷空气南下, 北京整层均转为较强的偏北风, 逆温层破坏, 这预示着大雾将结束; 11 时, 30~1890m 的高度层均转为冷平流和非常强的偏北风 (图略), 这表明西风带长波槽过境, 大雾结束, 北京的能见度在 12 时上升到 15km。

另外, 我们还分析了在大雾消散阶段高空风和温度的变化特征 (如图 5 所示)。从 5 日 05 时起, 高空 2~4km 开始出现西北风, 尔后西北风逐渐下传, 并表现出明显的下层风速加大而上层减弱的动量下传的特征; 而高空温度下降反映略迟, 开始于 09 时。这些特点均早于常规天气图 12 时的西风槽过境时间, 对于大雾消散预报有较好的指示作用。

2.2.4 小结

根据 AMDAR 和常规资料分析可见, 4—5 日, 北京上空 500m 以下盛行偏东风, 风速较小; 并出现了明显的逆温层, 大气低层层结非常稳定; 2~3.5km 为一致的西南暖湿气流, 这些都是大雾持续和加强的有利条件。将 AMDAR 资料与地面多种要素综合分析可见, 北京的雾并不是典型的辐射雾, 它并没有辐射雾午前明显加强, 午后减弱消失的特点; 不过似能反映出日变化的影响, 我们认为该次大范围的大雾可能是平流辐射雾。

3 结论与讨论

(1) 大密度的航站上的 AMDAR 资料,

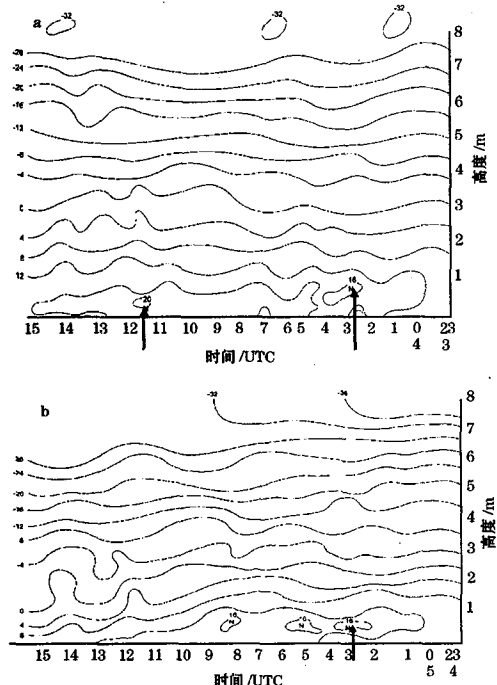


图 6 2005 年 11 月 4 日 (a) 和 5 日 (b) 北京机场航站上的 AMDAR 温度场资料时间-空间剖面图

如与其它资料配合能够较连续地监视机场附近的气象要素的时空分布和演变特征,能够捕捉到一些常规资料难于发现的中小尺度天气系统。这不仅可为定点的临近和短时预报提供精细的预报依据,而且可以增强预报员对灾害性天气系统形态、结构及形成机理的认知和预见性。航站上的资料对于雾的预报,也有较好的业务使用价值,它可以以高时空分辨率的资料反映出影响系统的某些动力和热力特征及其演变。与其它资料结合可以比单用常规资料提前预报出该类天气的发生、持续、加强和结束。

(2) 尽管目前国内航线上的资料质量和时空分辨率均不够理想,但仍可以反映出对流层高层大尺度天气系统(如主要的槽脊、高空急流等)的某些特征和变化,航线上的资料如能与其它资料(如探空、云导风资料、数值预报产品)融合将有助于与对流层中低层资料配合研究暴雨和强对流等重大天气的影响系统及其形成和维持机理。

(3) 目前我国国内的 AMDAR 资料观测要素比较单一,仅有高度、风和温度,难以在业务预报中单一地使用,因此有必要重点开展 AMDAR 资料与常规和非常规观测

资料(如卫星、雷达、闪电定位仪、风廓线仪、地面自动站等资料)配套使用技术方法的研究,以便优势互补,充分发挥 AMDAR 资料在业务预报中的作用。

致谢:感谢国家气象信息中心提供了有关的 AMDAR 资料,国家气象中心刘小魏、兰海波、曹之玉、赵鲁强、毛冬燕等同志参加了部分工作,在此一并感谢!

参考文献

- 1 Gilles Fournier and Stephen D. Holden. Development of the Canadian Aircraft Meteorological Data Relay (AMDAR) Program and Plans for the Future [C]. The 15th Conference on Applied Climatology/13th Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation (Savannah, GA).
- 2 Richard D. Mamrosh. The Use of High-Frequency ACARS Sounding in Forecasting Convective Storms [R]. National Weather Service, Chicago, Illinois.
- 3 Adopted by AMS Council on 9 February 2003, Support for Automated Observations From U. S. Commercial Aircraft [J]. Bull. Amer. Met. Soc., 84, 515-517.
- 4 Cardinali, C., L. Isaksen, and E. Andersson. Use and impact of automated aircraft data in 4D-Var. ECMWF Tech [R]. Memo 371, European Centre for Medium Range Weather Forecasts, 2002; 43 pp.
- 5 拓瑞芳, 金山, 丁叶风等. AMDAR 资料在机场天气预报中的应用 [J]. 气象, 2005, 32 (3).