

# 民用航空气象观测综述

贾朋群 胡 英

王金星

(中国气象局培训中心,北京 100081) (中国气象局,北京 100081)

**摘要** 介绍了民用航空气象观测这一全球大气监测网中的重要观测平台的发展历史,航空气象资料的特点及其在气象业务与大气科学研究中的应用现状,详细分析了航空气象资料的获取、优势、存在的局限和未来的改进方向。指出民用航空飞机观测这一常规大气探测手段具有广阔的应用前景,受到了气象部门和航空业的共同重视,航空气象资料对提高天气预报准确率和气象服务水平将起到积极的促进作用,在未来的数值天气预报业务和大气科学研究中占据越来越重要的地位。

**关键词** 气象观测 民用航空飞机 ACARS/AMDAR 报告

## 引言

随着民用航空业的发展和各种高新技术在气象装备上的应用,以每天在全球各地频繁起降并飞行在大气高层的几千架次民用飞机作为探测器的载体,已构成了又一个实时提供近地面和高空气象数据的有效大气探测平台。我国已在近期成为国际航空气象资料合作的成员国,大量航空气象资料的获取,对提高我国天气预报,尤其是数值天气预报的水平 and 大气科学研究是一个很好的机遇,也是一个挑战。对这一具有极大潜力的观测平台的发展、特征和应用等方面有所了解将有助于我们消化、吸收航空气象探测平台提供的丰富信息,并尽快应用于气象业务和研究之中。

## 1 发展历史和现状

最早开始利用飞机常规飞行探测大气,同时也是目前利用民用航空观测平台获取大气信息领先的国家是美国。早在第一次世界大战期间的 1919 年,美国天气局就在当时美军使用的活塞式战斗机上捆绑了“高空气象计”,飞机飞行期间的观测结果被记录在圆柱状滚筒记录纸上,在飞机着陆后被机场气象人员取出。从记录图上可以读出飞机飞行过程中

的温度、气压和相对湿度。机场气象人员还要编发以“ APOB”为指示码的飞机观测报与其他气象人员共享珍贵的高空记录。到 1931 年,美国天气局开始在芝加哥等地利用日常飞行获取气象观测数据。那时很多飞行员在执行任务时的一项附加工作就是进行高空气象观测。天气局鼓励飞行员尽量把飞行高度升高,使观测达到的高度更高。这些观测解决了当时测站高空探测稀少的问题,为气象学家较早了解高层大气环流特点及其与地面天气之间的联系做出了贡献<sup>[1]</sup>。但那时飞机性能较差,气象观测,尤其是在空气稀薄的高层大气进行观测的代价也是巨大的。1931~1938 年之间美国有 12 位飞行员在观测中由于缺氧而殉职。

在常规航空飞行中开展的具有一定规模的气象观测在二次大战后几乎处于停滞状态,直到 1970 年代末才被重新提上日程。先进的自动气象观测仪器在根据气流运动的流体动力和热力学原理进行必要的换算后,就可以给出飞机所处位置精度大为提高的各种气象参数。但如何利用飞机上的通讯设备实现观测数据的实时传送,是更为有效地利用民用飞机气象观测资料需要解决的问题。美国航空公司的专家最早建议利用类似于通过地球静止卫星进行通讯的方式,采用机上 VHF 电子通讯系统 ACARS

“十五”国家科技攻关计划“中国气象数值预报技术创新研究”资助

作者简介:贾朋群,男,1961 年生,副研究员,主要从事气象资料处理和科技信息的收集分析工作

收稿日期:2003 年 5 月 26 日;定稿日期:2003 年 8 月 8 日

(Aircraft Communication Addressing and Reporting System, 飞机通讯转发和发报系统)这一双向地对空数字通讯设备,在不干扰飞行员与地面进行正常通讯的同时,实时报告气象观测结果。携有气象观测和实时报告功能的改进的 ACARS 系统的民用飞机于 1979 年 8 月进行了首次成功的飞行,之后民用航空气象观测有了迅速发展,到 1990 年代中期,以美国和加拿大为主的航空气象报平均每天达到了约 2 万多份,到 2002 年这个数量已经达到了 13 万之多(见图 1)。提供这些航空气象报的是美国的 6 家航空公司(American, Delta, Federal Express, Northwest, United 和 United Parcel Service)和美国以外的法国、英国、荷兰、德国、瑞典、澳大利亚、新西兰和南非等国家的航空公司。全球航空自动气象报

一般被称为 AMDAR 报告(Aircraft Meteorological Data Relay, 飞机气象数据中转),它通过 GTS 和互联网发布,有条件地提供给世界各地的预报员和研究人员。由于美国加入 ACARS 系统的航空公司较多,规模也大,公司所属的大部分商业飞机都配有自动气象观测和发报设施,而美国以外的国家大多只有 1~2 家航空公司加入 AMDAR,故图 1 所示的 2002 年全球每天约 13 万份气象报中,有超过 10 万份来自 ACARS,其他不到 3 万份来自美国以外的 AMDAR 气象报。进入 2003 年,每天航空气象报的数量又有了大幅增加,已经达到 17 万份左右。正是因为受益于美国本土的民航观测平台频繁和覆盖范围宽广的实时天气报,美国率先开展了 3 h 天气分析和预报<sup>[1,2]</sup>。

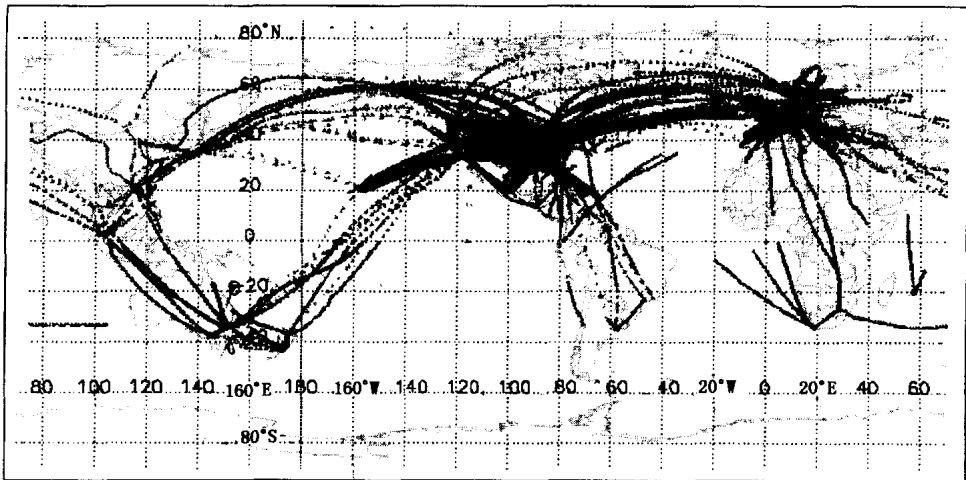


图1 2002年3月27日全球24h AMDAR/ACARS数据分布  
(共计130870份航空气象报的高度范围为-500~43013ft,约-100m至13.11km)

## 2 航空气象资料的特点

无论是 AMDAR 还是局限于美国的 ACARS,航空气象观测这一正在快速发展中的大气探测平台,和已有的气象观测相比,具有显著的优势和特征。

(1) 和较为密集和分布均匀的地面气象观测网相比,航空气象观测除了少量报告机场跑道的气象状况外,其主要目标是探测高空大气状况。

(2) 和探空网相比,虽然航空气象资料在准确性,数据在不同高度分布的均匀性还存在缺欠,但其优势也是明显的。首先是在观测的时间分布上,探空网资料一般仅限于每天 2 次观测,12 h 的间隔很

可能比一些中小尺度天气系统的生命期都长,也足以使一些大尺度的天气系统产生性质上的变化而给天气分析和预报带来困难。航空资料的时间分布相对要密集的多,可以在两次探空之间提供更多的高空大气信息。另外,在空间分布上,航空气象报的最大优势在于有大量跨大洋飞行的航空器可以传回海面上空的气象信息,而探空网在大洋上几乎是空白。

(3) 与卫星资料相比,航空信息的地域和时间分布上并没有优势,但气象要素垂直分辨率却要很高,而且一些重要要素,如温度、气压和风的测量精度要高于卫星反演值。航空气象资料高垂直分辨率和在本质上是实地观测的特征,不仅决定了资料的

较高可信度,而且当它和其他观测结果结合使用,可以获得更为有效的大气信息。

(4) 航空大气探测虽然可以提供珍贵气象信息,但其维持费用相对低廉,尤其是自动化的操作节省了大量人力。例如,根据估计,在美国飞机起飞获得的大气层轮廓线信息的费用为 20 美分,在欧洲费用值也仅为 2 美元,远远低于每次探空的平均费用 300 美元。另外,航空气象观测提供更多的气象信息,随着大气探测研究中最新传感器性能的提高和一些涉及资料自动处理和传发技术的改进,在当前数字化技术深入发展的形势下,航空气象资料具有不可限量的美好前景。

尽管航空气象探测具有很多优势,但由于它依附在航空业,目前主要是民用航空业的业务运行之上,受到行业和已有技术的一些限制也是明显的。这些限制在一定程度上制约了航空气象资料在气象部门的应用。充分认识航空气象报的这些局限,也是更好地利用它的关键。这些限制包括:

(1) 航空天气资料的时间变率大。就某一个地方来讲,航空报的数量在傍晚的高峰段和凌晨的低值期能够相差 4 倍(图 2)。另外,能够提供较多近地层气象信息的民航货运飞机,在周末基本停止飞行,这也使得航空气象报在节假日要减少 40% 左右,即航空气象资料不得不带有人为活动的影响。当出现恶劣天气时,大量削减航班的现象不可避免,也会使航空气象数据减少 8% 以上。这些情况往往造成预期的重要和关键航空天气报无法得到。

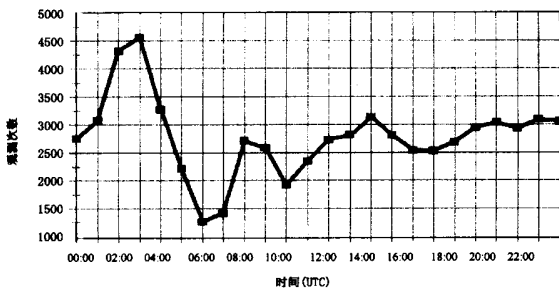


图 2 2001 年 5 月 13 日至 6 月 2 日美国本土 ACARS 数据量的日变化分布

(高峰出现在 03:00 UTC(美国当地时间 21:00),低值在 3 h 以后出现,二者的数据量相差约 4 倍)

(2) 从航空资料的地域分布来看,最为明显的特征是发达地区,尤其是在一些作为空中交通枢纽的大城市和一些主要的空中航线上,观测资料密集。而在一些欠发达的地区则很少有航空气象报发出(见图 1)。

(3) 航空气象报资料的精度要小于气象常规观测,并且含有许多变化因素需要在使用中加以考虑,资料的质量控制是资料使用者必须注意的问题。目前民用航空器上普遍采用的气象要素自动观测仪器每秒可以采样 1~10 次,记录的要素值一般取 1~30 s 的平均值。各种要素的精度见表 1。

表 1 ACARS 资料不同要素的精度

	精度
气压/hPa	4,高度 < 9 km; 2,高度 > 9 km
温度/℃	0.4; 3(当传感器遇水汽或结冰时)
风速/(m·s <sup>-1</sup> )	2~3(同时受温度精度的影响)
风向/(°)	7.4; 35(当出现微风或风向多变时)
湿度/%	3~5,高度 < 6 km

(4) 到目前为止,并不是所有国家的所有航空公司的飞机都进行航空气象观测或将观测结果以编发气象报的形式无偿提供。即使是加入了 AMDAR/ACARS 的航空公司,也并非所有观测结果均在观测后实时发布。一些航空公司的气象报,尤其是在飞越大洋时的气象报会延迟几个小时。这会严重影响航空气象资料的实时使用。

尽管受到以上限制,但由于航空气象观测数据量巨大,它们的使用又更多的是补充气象部门常规观测资料的不足,所以仍然越来越多地被利用。另外,航空资料同其他资料的对比也有很好的吻合。例如,与探空资料和模式背景场进行对比,航空资料有很高的一致性。这也加大了当前主要以数值预报模式作为预报和研究手段的气象业务和研究中航空气象观测资料的使用价值。

进入 AMDAR/ACARS 的航空气象观测资料,大约有 95% 是飞机在飞行高度上得到的数据。而能够反映机场附近大气层结状况,飞机在起飞和降落时得到的资料所占比例很小。如何更好地收集这部分更为珍贵的资料,也反映在航空气象报在起飞、途中飞行和降落 3 个阶段不同的观测和发报方式上(见表 2)。

表 2 航空气象观测的观测间隔和发报频率

	高度范围/ m	观测间隔/ s	发报频率
起飞	0 ~ 1400	6(多数飞机的垂直分辨率为 100 m)	地面报单独发送最初 90 s
	1400 ~ 6000	20	以后每 110 s 或更长
途中飞行	8000 ~ 12000	180	每 6 次观测
降落	6000 ~ 0	60	每 10 次观测

实际上,飞机上安装的自动气象观测系统的采样间隔可以更短,编发航空气象报的密度也可以提高很多。例如,美国联航在 1800 ~ 9100 m 升降高度,每 600 m 就观测一次,而 United Parcel Service 航空公司则在较低的高度上每升降 30 m 就观测记录一次,资料的垂直分辨率相当或好于探空观测。但民航部门进行这一操作的原则,除了获得最大的气象要素的垂直和水平分辨率之外,还要综合考虑最小通信成本和最小通信量等优化因素,尽量不给飞行员的正常操作带来不利影响。例如,飞机在降落时,飞行员与地面通信较起飞时更加频繁和重要,故必须降低气象观测的密度,在约 20 min 的降落期间,仅需要 2 次气象报的发送即可。

### 3 航空气象资料在气象业务和科研中的应用

航空气象报,尤其是在飞机起飞和降落期间得到的观测记录,大多集中在大城市周边,所以资料的最快捷应用首先体现在城市天气分析和预报上,特别是在世界各大空中交通枢纽机场的临近预报上。这种应用也首先为航空安全带来了效益。另外,航空气象报还被用在了节省燃料航线的选择上,也为航空公司的运营带来益处。

目前,AMDAR/ ACARS 航空气象观测报的主要内容包括飞机的经度、纬度、高度(气压,用标准大气转换为高度,但当高度较低时可以取高度表的读数)、时间、温度和(水平)风向和风速等。一部分航空报还给出湿度观测值。另外,已经有 140 余架飞机编发的气象报中还有湍流观测值,15 架飞机上还试验性地进行涡旋扩散率观测。这些航空气象资料与探空网资料一起,已经成为世界上主要数值天气预报模式和资料分析、同化系统最主要的高层大气原始观测数据。例如,在图 3 中给出了被广泛使用的美国 NCEP/ NCAR 再分析资料中,1960 年以来采用 AMDAR/ ACARS 航空气象观测资料的情况。

无论是天气预报业务,还是在大气科学研究中,航空气象资料都具很好的应用价值。例如:

(1)在机场附近没有探空站时,飞机起飞和降落时得到的大气廓线数据是最好的替代资料。

(2)航空气象资料在海洋上得到的海洋逆温层观测数据,大大改进了海面雾和层云的预报。

(3)航空气象观测在大气边界层和近地面得到的资料,对于预报和研究危害性很大的低层风切变、急流导致的剧烈湍流等现象都有不可替代的作用。

(4)具有较高时空分辨率的航空气象观测数据在中尺度气象研究上具有特殊的意义,它能够由于纠正雷达资料的变形等,获得更完善的综合探测结果。

(5)在飞机上进行湍流观测,在已经解决了传感器的专利争执后已经更为可行。目前开始在愈来愈多的飞机上配备湍流观测设备。观测结果已经用于检验数值预报模式中作为中间计算结果的湍流值。今后有望将湍流观测值作为新的数值预报模式的输入量,这将在很大的程度上推进数值天气预报模式的发展。

鉴于航空气象资料的重要使用价值,美国和欧洲等发达国家纷纷投入人力和物力,通过数据的标准化和质量检验将其纳入数值天气预报业务。例如美国国家环境预报中心(NCEP)的 3 个主要业务同化和预报模式系统,即全球数据同化系统,Eta 模式和 RUC(快速更新循环)全部移入航空资料作为重要资料输入<sup>[3,4]</sup>。着眼于准确分析而非预报的美国戈达德地球观测系统(GEOS-1/2)的数据同化系统(DAS)中<sup>[5]</sup>,为了改进急流附近风场分析,引入航空气象测风资料取得较好效果。

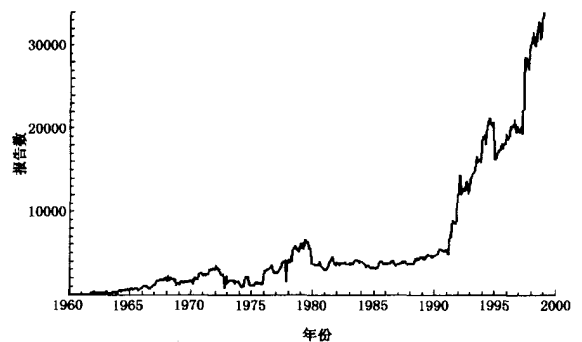


图 3 1960 ~ 1999 年 NCEP/ NCAR 再分析资料中月平均每日利用自动和人工航空测风报告的数量变化

#### 4 航空气象探测资料的获取和未来

AMDAR/ACARS 航空气象观测资料目前可以通过 2 种方式得到。WMO 通过全球电信系统(GTS)发布官方提供的航空气象观测资料,使各国都能够共享航空气象观测资料,基本上保证了各国气象部门业务使用。另外,主要是研究人员和地方预报部门,还可以通过互联网获取非官方机构提供的 AMDAR/ACARS 航空气象观测资料。

航空气象观测是完全商业化运作的全球航空业的附带产物,它成本低,使用价值高,主要用户为公益型气象业务和研究机构和商业化气象信息服务商。这意味着这些珍贵的资料的及时发布和被利用从一开始就会遇到各种利益之间的冲突。但这一观测平台的公益性质开始被大多数参与者认可。1986 年,澳大利亚作为美国以外的第一个国家加入 AMDAR 时,澳大利亚气象局与航空公司合作,由气象局为航空公司的航空气象观测付费,但气象局负责观测项目、发报频次和地段的确定,资料的质量控制并免费向全球发布(澳大利亚著名的 QANTAS 航空公司计划到 2005 年有多种机型共计 75 架飞机将加入 AMDAR)。这一模式也被后来加入 AMDAR 的国家接受。唯一的例外是美国,ACARS 气象观测资料由航空公司付费得到,而自己的观测资料航空公司保留所有权。然而,ACARS 气象观测资料的处理机构是美国 NOAA 的预报系统实验室(FSL),后者通过不懈的努力也使 ACARS 航空气象资料的开放性获得了较好的结果。

在 20 世纪 80 年代,FSL 最先认识到航空气象资料对改进天气预报模式具有的巨大潜力。通过与最早加入 ACARS 的 4 家航空公司谈判,FSL 与航空公司开始合作。这些航空公司将 ACARS 数据以文本的方式传送给 FSL,后者则对不同公司的数据进行解码,分析后转变为可用的气象信息再提供给航空公司。1993 年以后,FSL 开发了一整套程序,对航空气象观测数据进行质量控制,剔除明显的错误,同时进行图形化显示,并基于 Web 供预报人员使用。但由于基本数据属于航空公司,所以 FSL 以外的预报人员无法利用这些信息。在美国气象预报业务和研究人员的呼吁下,1996 年 3 月 20 日,FSL 再次就航空气象资料共享问题与航空公司谈判,终于使后者同意将航空气象信息有条件地向 FSL 以

外的机构提供。FSL 也相应制定了 ACARS(也包括 AMDAR)资料的发布原则。这些原则可以概括如下:

(1) 向 FSL 认为实施有益于航空事业研究活动的组织实时提供;

(2) 资料不允许实时转发。鼓励研究者在出版物中使用资料信息产品;

(3) 鼓励研究者在数值天气预报模式中使用 ACARS 数据,但前提条件是:不能展示单独的 ACARS 数据(可以给出整体值),模式输入资料中还要有 ACARS 数据以外的资料(如探空资料)以及模式和数据不能用于开发赢利性产品和服务;

(4) 实时资料向政府机构开放,支持天气预报业务;

(5) 实时资料只向为美国政府提供 ACARS 气象数据并承担观测费用的航空公司开放,不与其他航空公司共享资料;

(6) 不向利用数据开发面向参与的航空公司有偿提供产品或服务的商业实体实时提供数据。

根据以上原则,任何符合条件的个人或团体,都可以申请获得 FSL 提供的 ACARS 数据和产品,包括模式输出资料。FSL 的专门网站的地址是:<http://acweb.fsl.noaa.gov>。利用互联网有时可以更为快捷地获得实时资料,因为在 FSL 每 10 min 就处理和更新一次资料,故用户获得资料 and 实际观测的滞后时间可以只有几分。另外,在正点后 18 min,FSL 还提供前 1 h 完整资料,并在 1、2、3、6 和 12 h 更新时,加入较晚到达的资料,非常适合用于数值模式输入或对预报结果进行检验。在网上保留前 30 天资料,也能够对气候分析人员提供有用信息。

进入新世纪,民用航空器作为另一个地球大气探测平台,其应用价值受到了气象部门和航空业的共同重视。我国从 2002 年 11 月正式开始了 AMDAR 试验工作。到目前为止,中国气象局收到飞机下传气象资料从最开始的每天 800 份,增加到平均每天 3000 份左右,最高每天收到 4000 份。从 2003 年 5 月开始,经气象信息中心通信系统并入国家气象中心实时数据库供数值预报室试验使用。所有这些标志着 AMDAR 工作转入业务试运行的条件已基本具备,这项工作的开展,对提高预报准确率和气象服务水平将起到积极的促进作用。在可以预见的

未来,这一平台的作用将会发挥更大的潜力。

## 5 结语

(1) 越来越多的国家和航空公司对加入由 WMO 主持的 AMDAR 航空气象观测系统持积极态度。除沙特阿拉伯、中国(香港)、日本和加拿大已经着手做好了相应的准备,俄罗斯以及许多中东、中西非、亚洲和南美洲国家也希望尽快加入 AMDAR。

(2) 在一些 AMDAR 成员国和未来成员国的计划中,参与计划的不仅涉及长距离飞行的大型飞机,也将有一些“地区”级的短距离中小型飞机加入其中。AMDAR 资料中加入更加频繁起降的中短途飞机的资料,一方面会使航空气象观测中更有价值的大气中低层资料的比例增加,另一方面,由于很多中小型机场位于探空资料的空白或稀疏区域,目前探空网的很多缺憾会得到很好的弥补。

(3) 这一观测平台不仅能够提供常规的气象要素观测值,还可以对各种大气稀有气体的含量进行观测。例如已有的研究借助大型民用航空飞机,在一般的飞行高度(对流层顶和平流层下层),对某一区域的臭氧变化开展观测研究。在航空器上进行稀

有气体含量观测,可以得到飞机经过地区分辨率极高的观测结果<sup>[6]</sup>。今后的地球环境监测和研究中,会有更多的来自航空观测的结果被利用。

## 参考文献

- 1 Fleming R J. The use of commercial aircraft as platforms for environmental measurements. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, 77(10): 2229 - 2242
- 2 Moninger W R, Mamrosh R D, Pauley P M. Automated meteorological reports from commercial aircraft. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2003, 84(2): 203 - 216
- 3 Cole R E, Green S M, Jardin M R. Improving RUC-1 wind estimates by incorporating near real-time aircraft reports. *Weather and Forecasting*, 2000, 15(4): 447 - 460
- 4 Schwartz B E, Benjamin S G, Green S M, et al. Accuracy of RUC-1 wind and aircraft trajectory forecasting by comparison with ACARS observation. *Weather and Forecasting*, 2000, 15(3): 313 - 326
- 5 Rukhovets L, Tenenbaum J, Geller M. The impact of additional aircraft data on the Goddard Earth Observation System Analyses. *Monthly Weather Review*, 1998, 126(11): 2927 - 2941
- 6 Gusten H, Heinrich G, Monnich E, et al. Two automated ozone analyzers for use on civil aircraft operating in the Tropopause region. *Journal of Atmosphere and Ocean Technology*, 2002, 20(2): 292 - 300

# Reviews of Meteorological Observations from Commercial Aircrafts

Jia Pengqun Hu Ying

(China Meteorological Administration Training Center, Beijing 100081)

Wang Jinxing

(China Meteorological Administration, Beijing 100081)

**Abstract:** The developing history of meteorological observation on commercial aircrafts is reviewed and its characteristics and applications to weather operation and atmospheric researches are described. The acquisition approaches, advantages and limitations of the observation data from commercial aircrafts are analyzed and its future trend is given. It is pointed out that meteorological observation on commercial aircrafts, as an important observation platform, has broad prospects in application and has attracted great attention of meteorological service and civil aviation industry. The data from the commercial aircraft observation will further improve the accuracy of weather forecasts and promote the weather service level, especially improving the performance of NWP models, and it will certainly play a more and more important role in meteorological researches and operational weather forecasting.

**Key words:** weather observation, commercial aircraft, ACARS/AMDAR data