

民航气象技术进步与创新发展的

■ 王峰云 张小兵

2012年起,民航气象部门与行业用户共同探索基于气象条件的运行协调决策机制CDM和大量航班延误应急响应机制MDRS,为民航运行决策提供基于天气影响的预警预报与服务,至此,民航气象业务总体上实现了“点一点+线一点线面”的跨越,并实现了分级协同的预警预报服务模式。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2021.03.023

21世纪以来,随着民航强国、气象强国战略的不断深化推进,我国民用航空运输的强劲需求与气象业务发展的内生动力相结合,民航气象事业取得了长足发展,民航气象从经验性预报全面转向以资料同化、数值预报、统计预报、集合预报、人工智能等技术手段相结合的技术路线,民航气象预报的客观程度、精细程度实现了历史性的跨越。

在现有航空运行体系下,国内一些繁忙枢纽机场、主干航路的航班密度早已饱和,空域容量制约着航班量增长,民航气象服务的社会价值与经济价值日益凸显。民航气象积极探索,提高技术水平,更新服务理念,实现气象信息与空管运行融合,评估天气变化对空域容量的预期影响,为系统性提升航空飞行的安全、正常和效率做出了重要贡献。

本文将回顾民航气象的技术进步,介绍民航气象服务的创新与探索,探讨民航气象的未来发展。

1 民航气象业务进展

民航气象是服务于民用航空业的基础性、科技型事业,是气象科学在民用航空服务中的业务应用,是国家气象的重要组成部分,是民航安全、高效发展的重要力量。民用航空气象业务,通过探测分析研究气象条件及其与飞行活动、航空技术之间的关系,服务于航空运输与管理,服务于航空运行的安全正常与效益,是航空活动不可或缺的一部分。

1.1 民航气象发展回顾

改革开放至今,民航气象业务及生产管理方式历经了多次巨大升级,气象业务取得了长足的发展。1980年代,引入自动观测系统,民航气象观测手段得以改进,提高了机场运行标准;1980年代末,民航

气象部门开始按照国际民航组织规则提供国际航空气象服务;1997年,民航气象数据库系统运行,实现了基本信息共享、产品制作人工交互、服务标准规范化、飞行气象情报交换自动化,标志着我国民航气象业务开始迈向现代化,但业务形态仍以单点的机场天气预报和部分航路预报为主;2002年,中国民航局与中国气象局共同推动了我国民用航空器气象资料下传(AMDAR),并于2004年加入全球气象数据交换,填补了我国AMDAR资料在全球共享方面的空白;2005年,民航气象数值预报业务系统开始建设;2010年起,推进亚洲重要气象情报咨询试验、国际航路气象监视业务、空间天气监测预警等新型民航气象业务与试验;2012年起,民航气象部门与行业用户共同探索基于气象条件的运行协调决策机制CDM(Collaborative Decision Making)和大量航班延误应急响应机制MDRS(Massive Delay Response System),为民航运行决策提供基于天气影响的预警预报与服务,至此,民航气象业务总体上实现了“点一点+线一点线面”的跨越,并实现了分级协同的预警预报服务模式。

1.2 民航气象的目标与职责

《中国民用航空气象工作规则》规定,民航气象应全面、系统地提高天气观测和预报水平,大大减少天气对飞行的影响,为航空飞行的安全、正常和效率作贡献。通过探测、收集、分析、处理气象资料,民航气象部门制作发布航空气象产品,为航空公司、空中交通管理部门、机场及其它航空用户及时准确地提供气象服务,致力提升飞行安全性,提高空域运行效率,提高机场运行标准,降低运行成本,促进节能减排,具有显著的社会效益、经济效益。

收稿日期:2021年3月8日;修回日期:2021年5月10日
第一作者:王峰云(1970—),Email:nwpeaac@126.com

民航气象的业务主要有观测、预报、航空气候、空间天气、飞行气象情报交换、设施设备运行维护等，其中，民航气象预报是航空公司、空管单位组织实施和管理飞行活动的重要依据，主要包括：机场天气预报、航线天气预报、区域天气预报、航空天气警报、重要气象情报等，多以报文编码、明语简码、图形等格式进行发布。以机场天气预报为例，预报机场范围的风向、风速、能见度、气温、云量、云状、云底高、天气现象等（表1）。民航气象服务机构按照国际民用航空电码编码规则编制发布机场天气预报，在民航气象系统内进行交换，并通过国际航空固定电信网等渠道进行国际间气象情报交换，为民航运行服务。

表1 机场天气预报样例

Table 1 Sample of terminal aerodrome forecast

机场天气预报文样例	机场天气预报释义
TAF ZXXX 251017Z 2512/2612 11003MPS 5000 BR SCT016 TX18/2606Z TN10/2521Z BECMG 2518/2520 1500 TEMPO 2520/2524 0500 FG BECMG 2600/2602 07008MPS 8000= (注：本样例中，机场 (ZXXX) 及其天气预报的 内容均为虚拟。)	某机场的机场天气预报，发报时间25日10:17 (世界协调时间，下同)，预报有效时间为 25日12:00—26日12:00。地面风向110°，风 速3 m/s，能见度5000 m，轻雾，少量云，云 高480 m，最高气温18℃，出现在26日06:00，最 低气温10℃，出现在25日21:00；预计在25 日18:00—25日20:00能见度逐步变为1500 m； 25日20:00—26日00:00能见度短时500 m， 雾；26日00:00—26日02:00逐步变为，地 面风向70°，风速8 m/s，能见度8000 m。

1.3 民航气象预报技术进展

民航气象预报具有定点、定时、定量精细化预报的特点。在机场天气预报中，气象要素的转折变化必须精确到小时或分钟级别。事实证明，航空气象服务水平是影响和制约航空运行管理水平的重要因素之一。早期的航空气象业务不具备数值预报技术的支撑，依靠预报员的经验制作发布报文、图形等格式的机场天气预报、航线天气预报等产品，随着航空业的快速发展，这些基本预报产品已不能满足航空公司、空管单位对气象服务的需求，数字化、易解读、便于融合计算的数据集正日益成为预报产品制作和服务输出的基本方式，数值预报技术的发展成熟为此提供了基础条件。

近30年，得益于探测资料的日益丰富精细、数值预报等技术的快速进步，预报精度、准确性得到显著提升，全球数值预报的分辨率从50~100 km提高到了10~20 km或更高，区域数值预报的进步更为显著。数值预报产品在民航气象界的业务应用始于1990年代，除了接收中国气象局的T106全球数值预报格点数据集，民航气象部门还通过世界区域预报系统WAFS (World Area Forecast System) 接收获得国际民航组织认证的航空数值预报产品，民航气象服务机构以此为

基础开展航空气象解释应用，此后，基于区域数值预报模式、高分辨率区域短期集合预报技术、快速更新技术的航空气象预报系统陆续得以研制运行，产品空间分辨率从140 km提升至3~4 km，时间分辨率也提高到1 h甚至更高的水平，民航气象预报的客观程度、精细程度实现了历史性的跨越。

民航气象预报还具有与运行结合的要求。不同机场的最低运行标准不同。其中，机场主导能见度、跑道视程RVR (Runway Visual Range)、决断高DH (Decision Height)、云底高等构成了机场最低运行标准的基本要素（表2）。近20年来，中国民航运输总量稳居世界第二，北京、上海、广州、深圳等大型枢纽机场的航班密度高居全球前列，航空公司、空管单位对气象信息的需求日益精细，相应地，民航气象亦需结合机场运行标准进行编制预报，为航空器的起飞和进近着陆提供服务。

表2 多发运输机精密进近的机场运行标准 (单位: m)

Table 2 Aerodrome operating minimums for multi-engine aircraft (unit: m)

	I类	II类	IIIA类	IIIB类	IIIC类
跑道视程 (RVR)	≥550	550> RVR≥300	300> RVR≥175	175> RVR≥50	无限制
决断高 (DH)	≥60	≥30	<30或无限制	<15或无限制	无限制

不仅限于此，为满足高密度航班运行对气象预报的高要求，民航气象预报时效已经从短期预报为主转变为短期与短临兼具、逐时逐日预报与周月天气展望兼顾，形成了以数值预报技术为基础、综合应用统计预报、集合预报、机器学习、融合多源数据和人工智能技术（图1）的民航气象预报技术路线。应民航运行协调决策机制的需要，在发展预报技术的同时，需要积极更新服务理念，力争实现气象信息与用户运行信息的高效融合，逐步从预报对天气转变为制作天气变化对航空运行影响的预测，这是民航气象当下的重点工作，也是国际航空气象的发展趋势。

1.4 民航气象国际交流与合作

中国民航气象负责在国际民航组织框架内履行缔约国的义务，深度参与国际航空气象规则、标准的研讨修订，不仅按照国际民航公约提供国际民航气象服务，还为其他发展中国家提供技术示范与资料支持。

近些年，中国民航局与中国气象局密切合作，通过WMO航空气象计划示范项目AvRDP展示中国民航气象新发展，致力于提高短时临近预报技术和中尺度数值模式在新一代航空导航系统中的应用；中国民航局与中国气象局共同建立了亚洲航空气象服务网，

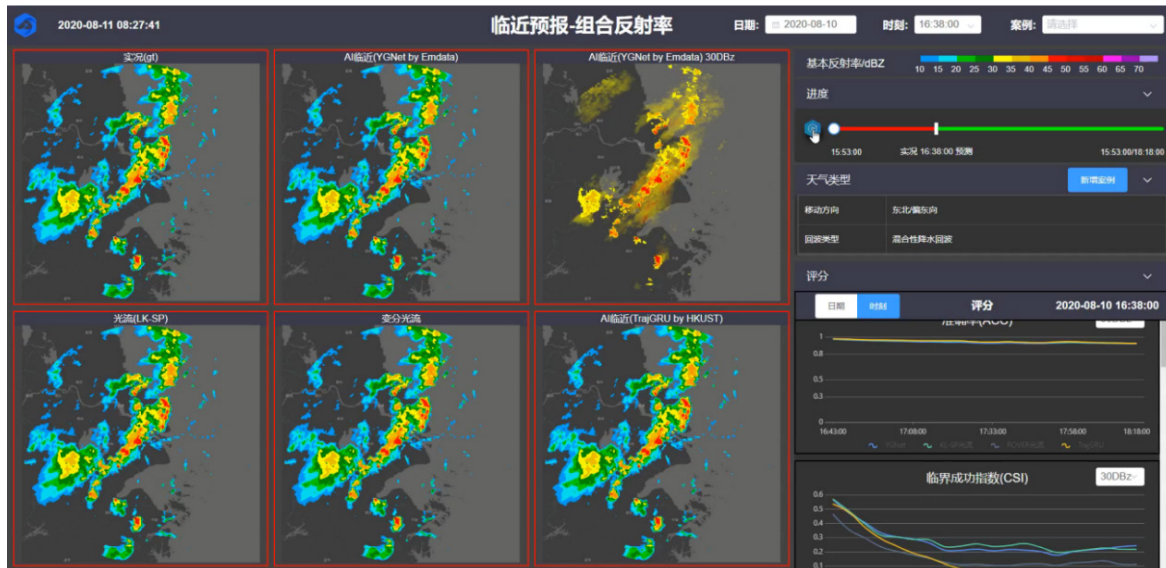


图1 基于人工智能技术的对流天气临近预报系统

Fig. 1 Convective weather nowcasting system based on AI technology

为WMO二区协发展中国家提供技术、产品等支持；中国民航局、中国气象局、香港天文台联合建设亚洲航空气象中心，为亚洲区域内的国际航空气象监视台、空管用户和航空企业提供亚洲危险天气咨询等专业气象服务（图2）；中俄联合建设全球空间天气中心获得国际民航组织认证……在国际民航舞台上贡献中国方案，不断提升中国民航、中国气象的国际影响力和话语权。我们仍需清醒地看到，美国华盛顿和英

国伦敦两个经国际民航组织认定的世界区域预报中心WAFc（World Area Forecast Center）拥有足够的技术优势，它们运行并互为备份的WAFS在国际航空气象市场占据垄断地位，中国民航气象需要在国际民航组织规划的施行、国际航空气象标准规则的编制修订、全球航空数值预报建设、气象产品与航空用户运行结合等方面持续发力，取得更大发展。

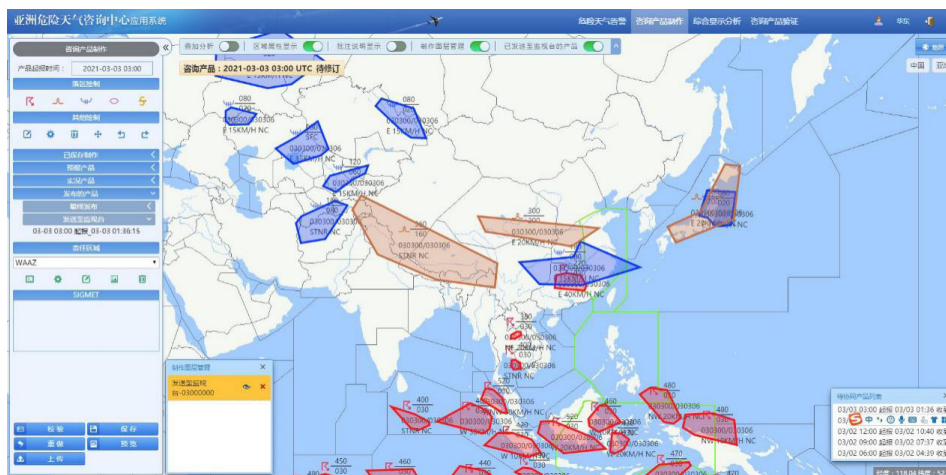


图2 亚洲危险天气咨询中心业务系统

Fig. 2 Operation system of Asian hazards weather advisory center

2 民航气象服务创新与探索

为持续提升气象服务品质，提升航空运行效率，民航气象部门始终致力于预报技术和手段创新，在航空数值预报系统开发建设、临近预报与快速更新预报技术研究试验、空管与气象信息融合的预报产品

设计应用等方面积极探索。

近些年，民航气象部门大力优化航空气象预报产品设计，将气象信息与航空地理信息有机结合：利用数值预报预测对流天气分布、绘制仿真卫星云图及雷达回波图，沿航线走向绘制云系、空中积冰、颠

簸、强对流天气的分布，使预报结果浅显易懂；为空中交通管制单位定制开发了机场进离场、沿跑道和关键航路的风场剖面图，展现机场终端区内一边至五边沿航空器运行轨迹风的变化；将预报结果叠加航线、机场终端区及扇区划设，开发航路可用性、机场终端区通行能力的容量预测产品，航线、进离港口、扇区未来受天气影响的时间、影响程度清晰明了，方便运行决策；为方便空管等用户“即指即显”地了解恶劣天气的空间分布及时间变化，开发了融合航班实时动态和雷暴天气空间分布态势的“管制运行气象支持系

统”，为航空管制员合理科学指挥航班提供了决策依据（图3）。这些产品逐步实现了气象信息向管制决策信息的转换，航空用户可跳过对气象信息的思考理解，对航路、扇区、导航点受天气影响导致运行效率的损失一目了然，便于参考作出决策。民航气象逐步从对预报天气转换为预测天气变化对航空运行影响，这与WMO所倡导的研究“高影响天气”相一致，是对国际民航组织航空组块升级ASBU（Aviation System Block Upgrade）计划中“空管与气象信息融合”理念的创新探索。

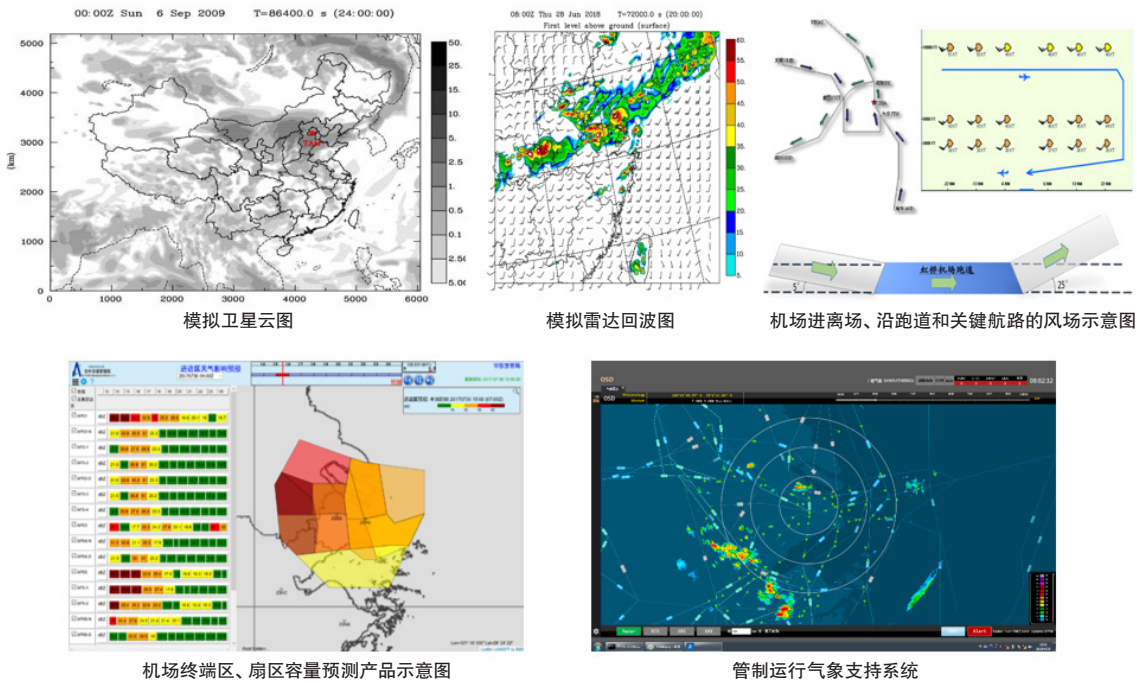


图3 新型预报服务产品样例
Fig. 3 Sample of newly designed serving products

3 民航气象服务发展方向

目前，我国已建立了面向民用运输航空的民航气象服务体系，预报能力和服务水平不断提升，有力促进了航空安全和正常。民航气象应以满足民航运行和发展需求为目标，着力提升信息融合、决策支持的服务能力，积极增强对空中交通流量管理、航空公司和机场运行管理的支撑能力，向航空运行全过程提供连续、无缝隙的气象服务，为民航强国跨越式发展做出贡献。

近些年，中美欧日等民航运输大国都在积极推进新一代民航运输系统的升级建设，以期达到更高容量、更高效率、更为安全的目标。为把握发展机遇期，民航气象应重视国际民航组织规划的对接与落地，在ASBU、全系统信息管理SWIM（System

Wide Information Management）、基于航迹运行TBO（Trajectory Based Operation）等领域深入研究，在地区及国际民航事务中发挥更大影响。

3.1 ASBU的航空气象信息

为推进全球空管一体化，国际民航组织通过《全球空中航行计划》推出了ASBU计划，对机场运行、信息协同、容量优化、高效航迹等航行新技术领域的研究应用提供规划指导，并提出了“高级气象信息管理（AMET）”的概念，设计了B-AMET航空气象模块，分4个时间节点规划了民航气象发展的技术路线。

1) B0-AMET阶段(2013—2018年)，以当前的航空气象信息为基础，重点实现传统字母数字代码格式航空气象信息的数字化，加强空管、飞行人员对天气

变化的态势感知,支持空域管理及协同决策,优化飞行规划。

2) B1-AMET阶段(2019—2024年),在数字化基础上,实现以产品为中心向以数据为中心转换,重点实现空管信息与气象信息的全面集成,使气象及各相关方对数小时至数天内的天气预期变化形成共同情景意识,实施预战术管理或飞行中战术机动,规避危险天气,优化运行决策,持续强化飞行安全与效率。该阶段是ASBU B-AMET航空气象模块的关键阶段,气象服务能力将在这一阶段作较大的改进,获得大幅度的能力提升。

3) B2-AMET阶段(2025—2030年),在空管气象信息一体化基础上,实现增强气象信息上传驾驶舱,持续优化气象信息融合及显示,自动评估天气对运行的影响,帮助管制员、飞行员增强情景意识,共同制定近期或即时决策,支持0~20 min时间内危险天气的战术避让。

4) B3-AMET阶段(2031—2036年),提供基于航迹运行(TBO)管理模式下的航空气象服务,实现飞行全过程及空中交通管理门到门无缝隙运行。

目前,民航气象已完成ASBU B0阶段的基础准备工作,进入B1阶段的部署和应用阶段,在空管气象运行协调决策、空中交通流量管理气象支持、预战术管理及战术指挥气象支持工具的设计应用等方面取得显著进展,并将致力于实现航空运行全过程的气象服务(图4)。

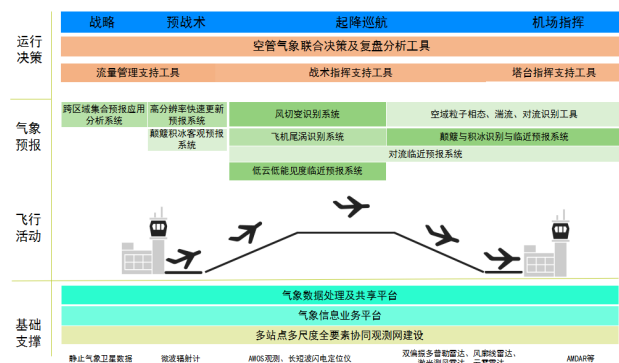


图4 航空运行全过程的航空气象服务

Fig. 4 Aviation weather service for whole process of flight operation

3.2 SWIM中的气象信息

未来的民航运行将以信息为中心,依靠SWIM实现航空类信息的全共享,并保证信息的安全。飞行、空管、气象、航空器等各运行环节都将成为SWIM系统中的一个节点,所有相关方都能够获得运行信息和相关服务。未来,民航气象既是气象信息生产者、提

供方,又能从系统内其他相关方如航空公司获得机载气象探测数据,气象信息将完全融入SWIM环境。

为避免不同来源、不同精度、不同时间特征气象信息的差异与冲突,在气象信息数字化的基础上,需要对数据作高效同化,确保气象信息在空间、时间维度的一致协调。未来,SWIM将为空管气象信息一体化、气象信息上传驾驶舱、多源信息融合、多方协同决策等提供支撑,帮助相关方量化评估天气对空域容量及航班运行轨迹的影响,使飞行更安全,民航运行更高效。

3.3 基于航迹运行(TBO)中的航空气象服务

TBO以航空器全运行周期的四维航迹为基础,飞行、空管、气象、机场等相关方实时共享和动态维护航迹信息,通过多方协同决策,实现航班的精细化运行。TBO的施行,与“气象服务航空运行全过程”的理念高度契合。TBO中的航空气象信息,是全空域、全时域、多来源、不同分辨率气象信息的归一同化,须符合SWIM规则,适用于天气影响的自动量化评估及多方协同决策的数据支撑,既确保该航迹与其他航迹间的相互影响可控,也保证该航迹在时间、空间上偏离最小,从而实现安全、正常、效率整体效果最佳。

4 结语

民航气象是服务于民用航空业的基础性、科技型事业,是国家气象、民航事业的重要组成部分,是民航安全、高效发展的重要力量。

民航气象已形成以数值预报技术为基础,综合应用统计预报、集合预报、机器学习、融合多源数据和人工智能技术的民航气象预报技术路线,致力气象信息与用户运行信息融合,以技术为驱动,以需求为牵引,大力推进从天气预报到天气变化对航空运行影响预测的转变。

民航气象应在ASBU、SWIM、TBO等领域加大创新投入,持续提升气象服务航空运行全过程的能力,大大减少天气对飞行的影响,为航空飞行的安全、正常和效率作贡献。

深入阅读

中国民用航空局空管行业管理办公室,2015.中国民航航空系统组块升级(ASBU)发展与实施策略.北京:中国民用航空局空管行业管理办公室.
周建华,林彩燕,2012.现代民航气象业务进展.气象科技进展,2(5): 61-63.

(作者单位:中国民用航空华东地区空中交通管理局)