

文章编号: 1674-8190(2024)01-149-08

# 机场协同决策的应用历史与研究趋势综述

高昀琦<sup>1</sup>, 唐铁桥<sup>1</sup>, 曹峰<sup>1</sup>, 范幸丽<sup>2</sup>, 牟建良<sup>3</sup>

(1. 北京航空航天大学 交通科学与工程学院, 北京 100191)

(2. 中国民用航空局 综合司, 北京 100710)

(3. 首都机场集团科技管理有限公司, 北京 100621)

**摘要:** 机场协同决策可以有效提升机场的运行效率, 进而提升整个民航运输网络的运行效率。本文查阅并整理了机场协同决策的相关标准、政策文件与研究论文, 梳理了机场协同决策的发展历程以及国内外学术界、工业界有关协同决策的研究及应用现状; 分析讨论了机场协同决策未来的发展趋势与当前时期协同决策所面临的挑战; 基于我国的实际情况, 给出了一些机场协同决策的发展建议; 总结了机场协同决策的理论与应用价值以及协同决策在我国面临的问题与挑战。本文研究为提升机场与整个航空交通网络的运行效率与经济效益提供了理论支撑和依据。

**关键词:** 民用航空; 机场运行; 协同决策; 信息共享; 复杂网络

中图分类号: V351

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2024.01.17

## Review of history and research on airport collaborative decision making

GAO Yunqi<sup>1</sup>, TANG Tiejiao<sup>1</sup>, CAO Feng<sup>1</sup>, FAN Xingli<sup>2</sup>, MU Jianliang<sup>3</sup>

(1. School of Transportation Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

(2. Department of General Affairs, Civil Aviation Administration of China, Beijing 100710, China)

(3. Capital Airports Technology Management Company Limited, Beijing 100621, China)

**Abstract:** The airport collaborative decision making can effectively improve the operational efficiency of airports, so as to improve the operational efficiency of the whole civil aviation transportation network. The relevant standards, policy files and research papers of collaborative decision making are compiled in this paper. The development history of in airports and the current situation of research and application on collaborative decision making in academia and industry, both in China and abroad are collated. The future development trend of collaborative decision making in airports and the challenges faced by collaborative decision making in the current period are discussed and analyzed. Some suggestions for the development of collaborative decision making in airports based on the actual situation in China are given. The theoretical support and basis for improving the operational efficiency and economic benefits of airports and the whole air transportation network are summarized. The study in this paper can provide theoretical support and basis for operational efficiency and economic efficiency of the whole air traffic network.

**Key words:** civil aviation; airport operation; collaborative decision making; information sharing; complex network

收稿日期: 2023-06-01; 修回日期: 2023-08-04

基金项目: 国家自然科学基金(72231001)

通信作者: 唐铁桥(1977-), 男, 博士, 教授。E-mail: tieqiaotang@buaa.edu.cn

引用格式: 高昀琦, 唐铁桥, 曹峰, 等. 机场协同决策的应用历史与研究趋势综述[J]. 航空工程进展, 2024, 15(1): 149-156.

GAO Yunqi, TANG Tiejiao, CAO Feng, et al. Review of history and research on airport collaborative decision making[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2024, 15(1): 149-156. (in Chinese)

## 0 引言

伴随着民航运输在全球范围内的持续发展与高速增长,如何提升机场运行的效率以及应对扰动时的弹性就变得至关重要。基于这样的目的,美国联邦航空管理局(Federal Aviation Administration,简称FAA)、欧洲空中航行安全组织(European Organisation for the Safety of Air Navigation,简称Eurocontrol)于20世纪90年代中后期,先后提出了机场协同决策(Airport Collaborative Decision Making,简称A-CDM)的概念。A-CDM旨在通过鼓励机场运营管理方以及航空公司、地勤服务公司和空中交通管理方等开展协同合作,实现对机场资源的优化使用,提高航空交通的可预测性,并最终提高整个机场网络的运行效率与弹性<sup>[1]</sup>。截至2023年,A-CDM已经在欧洲范围内的33家主要机场进行了建设与推广<sup>[2]</sup>。2016年,中国民用航空局(本文简称“民航局”)在全国民航科技创新大会上明确提出A-CDM系统建设对于提升民航运行效率、加强民航三大主体间的协同具有重要的推进作用,并在2017年发布了《关于进一步统筹推进机场协同决策(A-CDM)建设的通知》,明确了我国的A-CDM建设路线图<sup>[3]</sup>。A-CDM系统的建设对全行业协同决策有着驱动作用,可以实现机场、航空公司、空管单位和监管单位之间全方位的信息互通互联,同时提高了机场的运行效率与旅客的出行满意度<sup>[4]</sup>,对于实现“交通强国”与“民航强国”战略具有重要的意义。

本文从机场运行的角度出发,梳理了国内外关于A-CDM建设的主要研究成果与最新动向,分析了A-CDM面临的问题与挑战,探讨了未来A-CDM建设与研究的方向,以期后续建设符合我国实际情况的A-CDM系统,提升机场与整个航空交通网络的运行效率与经济效益提供理论支撑和依据。

## 1 A-CDM的理论来源与发展历程

为了应对日趋复杂的决策问题与决策环境,协同决策(Collaborative Decision Making,简称CDM)在20世纪90年代中期被首先应用于医学领域<sup>[5]</sup>。CDM一般被定义为“当两个或多个实体参

与决策过程并贡献他们的专业知识”的过程,A-CDM的概念正是基于CDM提出的<sup>[6]</sup>。机场的运行主要有空管部门、机场与航空公司等单位参与,各单位之间与各单位内部的各部门之间在整个机场运行的过程中需要相互配合,以实现机场的安全、高效运行<sup>[7]</sup>。基于CDM的定义与要求,结合各单位之间、同一单位中的各部门与其他单位和部门对关键的信息和时间节点的共享,A-CDM的概念应运而生。

1993年9月,FAA开展了FAA—航空公司数据交换实验,以确定整个空域系统中的各个用户能否通过共享运行时刻表影响航空交通流量管理的决策制定<sup>[8]</sup>,这成为了最早将CDM应用于航空交通系统中的尝试。实验结果证明,应用CDM可以有效提高航空系统的运行效率并减少航班的延误。1995年初,FAA正式明确了CDM中各个参与者的角色与责任,标志着CDM正式在航空交通管理中投入了应用<sup>[9]</sup>;1998年,基于美国CDM概念,为了应对因航路或机场的恶劣天气导致的容量下降,欧洲提出了A-CDM的概念并进行了初步的实验<sup>[9]</sup>;2007年,经过在德国慕尼黑的应用实验后,A-CDM正式开始在欧洲范围内进行推广<sup>[10]</sup>。经统计,A-CDM推广应用后,慕尼黑机场在2011年减少了10%的地面滑行时间,节省的燃油成本约265万欧元<sup>[10]</sup>。

在经历多年的发展后,目前A-CDM已经在全球范围内多个国家与地区进行了应用与推广,并得到了包括国际民航组织(International Civil Aviation Organization,简称ICAO)以及国际航空运输协会(International Air Transport Association,简称IATA)的认可与推广支持。在国际民航组织9971号文件中,A-CDM被定义为“使机场、航空器运营人、空中交通管制员、地面服务代理、驾驶员和空中交通流量管理者能够交换运行信息和进行合作,以便有效地对机场运行进行管理”<sup>[11]</sup>。机场协同决策中,通常涉及到机场运营方、飞机运营方、地勤服务保障方、空管服务方以及空中交通网络管理方等主要业务单位以及其他服务辅助单位<sup>[12]</sup>。在整个协同决策的流程中,按照规定,每个单位都有自己的角色与职责<sup>[13]</sup>。A-CDM正在为全球范围内更加高效与安全的民航运行提供新的概念与解决方案。

## 2 A-CDM的发展现状

A-CDM 概念从提出至今已经有近 30 年的历史,目前国内外均有较多有关的研究与推广应用。

### 2.1 欧美国家和地区的 A-CDM 发展现状

美国 FAA 最早将 CDM 的概念引入了航空交通领域之中,而欧洲的 A-CDM 概念是基于美国的概念提出与改进的。欧美国家和地区的 A-CDM 在实际的运行与组织中,既有相同之处,也有非常明显的区别<sup>[11]</sup>。

#### 2.1.1 欧美国家和地区 A-CDM 的共通点

欧洲与美国现行的 A-CDM 均以航空网络中各单位之间信息共享为基础而建设的,目的是加强各单位间的信息交流,从而提升机场的运行效率,促进机场运营管理与空中交通管理网络的联系。各主要单位与空中交通管理网络之间的联系如图 1 所示。

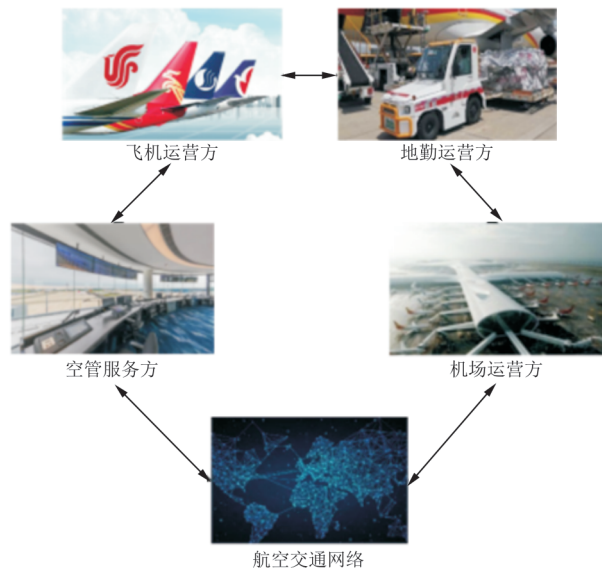


图 1 A-CDM 各单位间的联系

Fig. 1 Relationship between stakeholders in A-CDM

通常,在具体的 A-CDM 实施过程中,机场会按照区域功能的不同,被划分成不同的模块,一次标准的进一离港运行流程如图 2 所示,这些模块依次为终端空域、跑道系统、滑行道系统、停机坪以及停机位与登机口。航空器在进入或离开每个区域的时间均可被记录成一个时间戳(Timestamp)并对应一个关键时间节点作为里程碑<sup>[14]</sup>(Milestone)。常见的里程碑如表 1 所示。

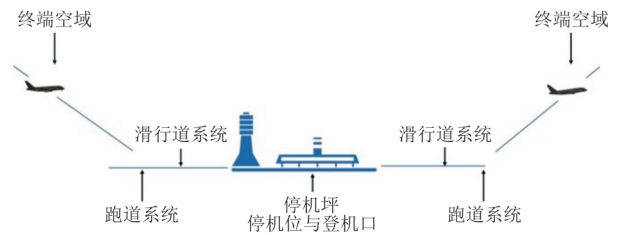


图 2 进一离港运行流程示意图

Fig. 2 Procedure for in-out bound flight

表 1 A-CDM 的常见里程碑<sup>[14]</sup>

Table 1 Milestones for A-CDM<sup>[14]</sup>

序号	定义	序号	定义
1	飞行计划放行	9	旅客离机
2	飞行数据更新	10	地勤服务开始
3	航班前站起飞	11	旅客登机
4	升空	12	地勤服务结束
5	进近	13	请求开车
6	降落	14	推出
7	滑行入位	15	滑出机位
8	上轮档	16	起飞

在对 A-CDM 实施的效益进行评估时,通常会关注运营效益、财务效益与环境效益。由于 A-CDM 的建设不能以破坏航空运行的安全性为前提,因此,虽然 A-CDM 的应用有助于提升运行安全,但通常不将安全效益作为 A-CDM 的评估指标<sup>[11]</sup>。

欧洲与美国的 A-CDM 在应用目标上也具有明显的相似之处,都是以信息共享作为所有协作决策过程的基础,常见的 A-CDM 信息共享流程如图 3 所示。两者均以实现在管理机场场面交通流和跑道离场排序、优化机场容量和空域资源、减少燃油消耗和排放、对机场航空器进行调配和在利害攸关方之间及时分享准确的运行数据而对机场需求进行管理等等为目标,并最终使机场场面与空中交通流量管理之间保持连通,以推动形成一个建立共同态势感知的、互相融合的航空交通网络。

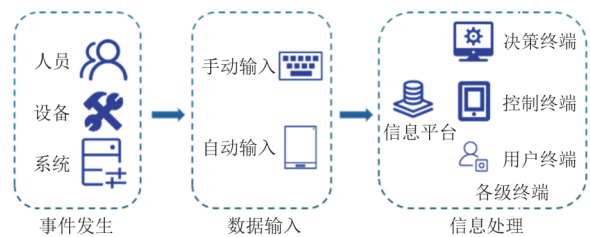


图 3 常见的 A-CDM 信息共享流程

Fig. 3 Procedure for A-CDM information sharing

### 2.1.2 欧美国家和地区 A-CDM 的区别

尽管欧美国家和地区 A-CDM 建设存在诸多相似之处,但在具体的实施方法上,欧美国家和地区 A-CDM 依然存在着显著的区别。

欧洲 A-CDM 更关注离港航班在进行机场运行以及飞行准备过程中的各项事件。因此,欧洲 A-CDM 在实际操作中会关注如何将进港航班与离港航班相关联,以保证离港航班可以按照计划的时间运行。在实际执行中,最受关注的里程碑包括预计撤轮档时间、预计同意发动机开车时间和预计起飞时间。通过关注这些里程碑,以期克服各种机场协作决策过程中面临的不利条件,并将本地机场协作决策与空中交通管理网络联系起来。

美国 A-CDM 则更多地被称为 S-CDM (Surface Collaborative Decision Making),也即场面协同决策。相比于欧洲,美国 CDM 更关注对机场场面交通流和跑道离场排序的管理——通过将传统的先到先服务策略转变为基于 CDM 计算得到的排序策略,进而为空中交通管制提供高效的离场排序。因此,美国 CDM 关注的里程碑更多为最早跑道离场时间,并由此计算出目标起飞时间和目标进入活动区时间。

## 2.2 A-CDM 在我国的研究与应用情况

相比于欧美国家和地区,我国 A-CDM 的应用与研究的开展都相对较晚。2010 年前后,伴随着我国经济的发展,通过建设 A-CDM 提升机场乃至整个民航系统的运行效率在我国民航业内已经形成普遍共识。我国 A-CDM 建设基于欧洲 A-CDM 体系与相关理论。2014 年,我国 A-CDM 系统正式上线,2016—2019 年,中国民用航空局连续下发多个文件,对构建符合中国民航发展需求的 A-CDM 体系提出了指导意见<sup>[15]</sup>。截至 2019 年,我国年旅客吞吐量千万级以上的机场均已经完成 A-CDM 的初步建设<sup>[16]</sup>。除此之外,包括中国民航科学技术研究院、中国民用航空局第二研究所、北京航空航天大学与中国民航大学等民航相关科研单位与高校均开展了关于 A-CDM 建设的研究,并已经取得了一定的研究成果<sup>[17]</sup>。在有关 A-CDM 的决策逻辑与求解算法的研究上,我国的科研人

员也做出了大量的工作。启发式算法是相关研究中最常采用的方法<sup>[18]</sup>,精确算法也逐渐被应用于相关问题的求解之中<sup>[19]</sup>。除此之外,为了平衡机场运行中各方面的利益关切与运行需求,管理科学上常见的博弈方法<sup>[20]</sup>与顶级交易周期算法<sup>[21]</sup>等也被用于改进 A-CDM 的决策逻辑。

目前,我国 A-CDM 存在缺少投入与产出的配套政策、信息共享与协同决策效应发挥受限<sup>[22]</sup>、决策时间可能存在跳变<sup>[23]</sup>和局限于特定目标(例如靠桥率)<sup>[24]</sup>等在内的诸多问题。因此,推进 A-CDM 的建设,有助于加快民航运行控制体系的改革,破解我国机场、空管和航空公司三大运行主体各自为政的局面;提升机场运行协调管理委员会与航班协同运行机制在运行中的重要性与作用,进而满足未来机场发展需要,增强机场核心竞争力和国际影响力<sup>[25]</sup>。

## 3 当前 A-CDM 发展面临的挑战

伴随着航空运输的持续发展,全球范围内的主要机场在运行中都面临着新的挑战。尽管已经有了较多的研究与较广泛的应用推广并切实地提升了机场乃至整个航空运输网络的效率,A-CDM 也同样面临着一些问题与挑战。结合目前国内外 A-CDM 的运行情况与我国的客观实际,具体而言,现阶段的 A-CDM 面临着以下四点问题与挑战。

1) 在工程实践中,机场运行中涉及到的各个利益关切方关注角度不同,在决策中难以兼顾。由于机场在运行中存在多家运行单位,且每一家单位都有着各自的管辖范围,实际运行中各家单位大多各管一段,不能越权。各家单位管辖范围的不同造成的信息不对称难以消弭,并引发不同运行保障环节之间人员与资源安排上的不合理、不匹配,在运行流程上不能完美衔接,甚至出现冲突乃至衔接断裂。同时,由于各单位在信息共享的基础设施建设上水平各不相同,也有部分单位可能受到数据安全性或商业保密性的制约,部分数据不能共享或不能全部共享<sup>[26]</sup>,都影响着 A-CDM 的决策效率。

2) 在工程实践中,对于中小型机场,建立 A-CDM 系统并加入网络的成本较高<sup>[27]</sup>。A-CDM 建

设的核心要素之一即为实现信息共享,因此,机场为建设 A-CDM、加入 A-CDM 决策网络,就需要进行对应的信息化建设,包括建设配套的机房,采购配套的硬件设备与软件系统,这都需要机场付出相应的成本。除此之外,还需要额外的操作与运维人员,这也会为机场运行带来额外的成本。如果想实现覆盖机场运行全流程的 A-CDM,还涉及到针对机场地勤保障设备与空管设备等基础设施的改造升级,这对于中小型机场也可能是不小的负担。另外,中小型机场,由于航班数量较少,因此保障压力较小,导致其在进行 A-CDM 建设上的迫切性也相对较低。

3) 对于部分枢纽机场,航班密度持续增加,起降航班量已经逼近乃至超出设计容量,为机场的 A-CDM 带来了新的挑战<sup>[28]</sup>。由于 A-CDM 通常先在大型机场进行建设应用,而大型机场通常会面临更快的航班起降量增长速度,并更快逼近设计保障容量或是超容量运行的情况。这种情况下,A-CDM 的决策能力将难以应对日益增长的决策需求。面对这样的挑战,已有的 A-CDM 需要不断进行升级,提升决策精度与决策效率以匹配机场的实际运行。

4) 在理论研究与工程实践的层面上,大型机场的 A-CDM 都需要更高的信息精度以提升效率<sup>[6]</sup>。大型机场规模庞大,运行流程与各单位之间的联系更加复杂,这使得在机场运行中普遍存在的难以兼顾协调各方的运行利益关切问题在大型机场中更为明显。因此,大型机场的 A-CDM 需要更为精确的数据支撑,以应对更为复杂的决策环境。由于现有一些关键环节的里程碑数据,例如廊桥或客梯车就位与撤离时刻、开关舱门时刻、挂拖车时刻和申请推出与实际推出时刻等并未被记录或精度较低,或是记录不能实时共享上传,这使得大型机场的 A-CDM 在决策精度上还有较大的提升空间。

综上所述,无论中小型机场还是大型枢纽机场,无论在工程实践还是理论研究层面,在 A-CDM 建设与应用上都面临着一定的问题与挑战。因此,有必要通过将最新的航空技术、信息技术和管理科学的成果与现有的 A-CDM 相结合,同时配

套出台相关政策,推进 A-CDM 的进步与发展,使得各方利益都能得到更好的保障,也使 A-CDM 更好地助力建设更为高效、可靠的民航运行体系。

## 4 A-CDM 的发展趋势

在经历了近 30 年的发展后,伴随着航空技术、通讯技术、信息技术与管理科学等领域的持续进步,为了突破现有的瓶颈,应对现有的挑战,A-CDM 的研究应用也呈现出了新的发展态势。在对国内外研究成果进行分析整理后,本文总结出与 A-CDM 的研究应用相关的三点发展趋势。

1) A-CDM 与航空通信技术的联系日趋紧密,越来越多的 A-CDM 理论研究都考虑了实际运行中的应答机数据或是广播式自动相关监视技术(Automatic dependent Surveillance-Broadcast,简称 ADS-B)的应用。通过应答机数据与 ADS-B 信息,可以更好地实现 A-CDM 中的信息共享,提高整体数据的精度与决策效率。目前,在欧洲已经有了较多的相关研究与实测应用<sup>[29]</sup>,国内也有相关的研究正在展开<sup>[30]</sup>。还有一些欧洲研究者提出了轻量化 A-CDM(A-CDM Lite)的概念<sup>[27]</sup>,通过筛选出最重要的运行里程碑,以减轻中小机场的数据共享压力,进而助力更多机场可以被纳入 A-CDM 网络中。

2) A-CDM 的理论研究与实际建设可以更多地以大数据技术作为驱动。由于 A-CDM 基于各参与单位共享的信息,而与机场运行管理相关的信息包括各项运行信息、天气与航路流量等内容,来源包括空管、机场、航空公司与地勤公司等各单位,数据来源的类型复杂,因此需要通过数据的集成、分析、共享以及运用,实现民航大数据的一体化融合<sup>[31]</sup>。此外,相关的研究已经表明,大数据驱动下的 A-CDM,可以提升机场和整个民航系统的运行效率<sup>[32]</sup>。

3) 基于 A-CDM,在理论层面可以衍生出更多的智能化、一体化的民航运行解决方案。例如欧洲的单一欧洲天空计划(Single European Sky ATM Research,简称 SESAR),就通过 A-CDM 实现了滑行时间的减少,获得了较好的环境效益;美国的下一代空中运输系统(Next Generation Air Transportation System,简称 NextGen),正致力于通过 A-CDM 实现机场容量与现实运输需求的平

衡。智能体仿真<sup>[33]</sup>与神经网络<sup>[34]</sup>等研究方法 with 智能算法也逐渐被应用于 A-CDM 的决策研究中。此外,还有欧洲的机场统一运行(Total Airport Management,简称 TAM)与机场运行中心(Airport Operations Centre,简称 APOC)等方案或科研项目,将理论研究应用到了实际运行中,与 A-CDM 实现了紧密结合,提升了整体的运行效率。

## 5 面向我国实际的 A-CDM 发展建议

2018年,中国民用航空局出台了《新时代民航强国建设行动纲要》,纲要中明确提出,民航建设要“践行绿色智慧,服务人民大众。将绿色理念融入到民航发展的全领域、全流程和全周期,建设生态环境友好的现代民航业。深入推进民航信息化,打造智慧民航运行、服务和管理体系,为大众提供出行即服务的优质民航出行体验”<sup>[15]</sup>。2019年9月,《交通强国建设纲要》更是将“打造具有全球竞争力的国际海港枢纽、航空枢纽和邮政快递核心枢纽”提升到了国家战略的层面<sup>[35]</sup>。由于 A-CDM 对于提升机场运行效率、机场的服务水平与竞争力有着重要的作用,因此,有必要结合中国民航的实际运行情况,开展一系列工作,推进 A-CDM 在整个民航系统中的应用与推广。为此,基于前述内容,本文提出了三点有关 A-CDM 发展的建议。

1) 应建设覆盖机场飞行区运行中全流程、全交通要素的 A-CDM 体系。飞行区运行既包括飞机起降与保障,也包括服务保障飞机的地勤服务设备。目前 A-CDM 建设重心依然以航班运行为主,很少将飞行区的其他交通要素纳入考量。国内外现有科研成果与工程实践均表明,地勤服务设备的调度效率会影响地勤服务的效率,进而影响航班的正常运行,乃至整个机场飞行区的运行效率和整个航空运输网络的运行效率。因此,在后续的 A-CDM 建设与升级中,应当将地勤保障流程与相关交通要素纳入考量,实现飞行区整体的联合管控与信息共享。

2) 应加速推进智能机场的建设,实现机场基础设施与运行设备的全面智能化。高效的 A-CDM 需要大量的高精度运行数据作为支撑,实现数据的高精度获取与记录最可靠的手段之一就是

实现机场设施的智能化。目前,国内已经有部分枢纽机场通过为地勤服务车辆加装 ADS-B 发射设备,增加 ADS-B 接收设备的覆盖范围,融合 5G 与大数据云处理等先进的信息通讯技术,实现了数据精度的有效提升,进而提升整个机场 A-CDM 的决策水平,提高了整体的运行效率。

3) 应出台配套的政策,鼓励支持中小型机场的 A-CDM 建设。中小型机场建立 A-CDM 并加入网络会带来额外的运营成本,同时中小型机场在进行 A-CDM 建设上的迫切性也相对较低。为了实现整个航空运输网络的高效运行,有必要通过政策配套对中小型机场建设 A-CDM 进行支持补贴。同时,也可以在重点区域,配套城市群的发展,整合中小型机场,围绕枢纽机场形成具有竞争力的机场群,并构建机场群 A-CDM,以分摊降低中小型机场的 A-CDM 建设成本。

## 6 结束语

经过近 30 年的发展,A-CDM 在欧美国家和地区已经形成了各具特色的、基于信息共享的决策体系,通过实践证明 A-CDM 可以有效提升机场乃至整个航空网络的运行效率。尽管已经建成了覆盖千万级以上机场的 A-CDM 体系,但我国的 A-CDM 应用与配套理论研究、政策制定都相对较晚,具有较大的发展与进步空间。A-CDM 目前面临着一些挑战,为应对这些挑战,构建数据驱动的智能化 A-CDM 体系,并基于此构建智能化、网络化的航空运行体系是接下来工业界与学术界的重要方向。我国应建立覆盖机场运行全流程与全交通要素的 A-CDM 体系,加强机场智能化的建设并辅以配套政策支撑,以建立符合我国实际的 A-CDM 体系,提升我国的民航运行效率。

### 参考文献

- [1] TeamAirport CDM. Airport CDM implementation: the manual: Version 5.0[R]. Brussel, Belgium: Eurocontrol, 2017.
- [2] Eurocontrol. Airport collaborative decision-making [EB/OL]. [2023-06-01]. <https://www.eurocontrol.int/concept/airport-collaborative-decision-making>.
- [3] 中国民用航空局. 关于进一步统筹推进机场协同决策(A-CDM)建设的通知[R]. 北京:中国民用航空局,2017. CAAC. Notice on further coordinating and promoting the

- construction of airport collaborative decision making [R]. Beijing: CAAC, 2017. (in Chinese)
- [4] 民用航空局运行监控中心. 基于机场运行效率分析的 A-CDM 经济效益评估报告[R]. 北京: 中国民用航空局, 2021.  
Operation and Monitoring Center of CAAC. A-CDM economic benefit assessment report based on airport operational efficiency analysis[R]. Beijing: CAAC, 2021. (in Chinese)
- [5] CAI Y, JIN F, LIU J, et al. A survey of collaborative decision-making: bibliometrics, preliminaries, methodologies, applications and future directions[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2023, 122: 106064.
- [6] NETTO O, SILVA J, BALTAZAR M. The airport A-CDM operational implementation description and challenges [J]. *Journal of Airline and Airport Management*, 2020, 10(1): 14-30.
- [7] 闫然. 民航协同决策 (CDM) 概念及分析[J]. *中国科技术语*, 2012, 14(6): 50-53.  
YAN Ran. Concept and prospect of CDM (collaborative decision making) of civil aviation [J]. *China Terminology*, 2012, 14(6): 50-53. (in Chinese)
- [8] 杨露露, 张浩. 民航协同决策 (CDM) 系统发展前景浅析[J]. *综合运输*, 2017, 39(6): 24-27.  
YANG Lulu, ZHANG Hao. Brief analyses of collaborative decision making (CDM) system and future development prospect[J]. *China Transportation Review*, 2017, 39(6): 24-27. (in Chinese).
- [9] FAA. Collaborative decision making (CDM) history [EB/OL]. [2023-06-01]. [https://cdm.fly.faa.gov/?page\\_id=300](https://cdm.fly.faa.gov/?page_id=300).
- [10] EUROCONTROL. Airport CDM [EB/OL]. [2023-06-01]. <https://skbrary.aero/sites/default/files/booshelf/2413.pdf>.
- [11] ICAO. Manual on collaborative air traffic flow management (ATFM): 9971[R]. Montreal, Canada: ICAO, 2018.
- [12] VAIL S, CHURCHILL A, KARLSSON J, et al. Guidebook for advancing collaborative decision making (CDM) at airports [M]. Washington, DC: Transportation Research Board, 2015.
- [13] AACG. Airport-collaborative decision making (A-CDM): IATA recommendations [R]. Montreal, Canada: IATA, 2018.
- [14] TeamAirport CDM. A-CDM impact assessment: final report[R]. Brussel, Belgium: Eurocontrol, 2016.
- [15] 中国民用航空局. 新时代民航强国建设行动纲要[R]. 北京: 中国民用航空局, 2018.  
CAAC. Action plan for building a strong civil aviation country in the new era[R]. Beijing: CAAC, 2018. (in Chinese)
- [16] 乔启虎, 卜丹辉. 机场协同决策系统建设及应用研究[J]. *航空港*, 2021(3): 48-54.  
QIAO Qihu, BU Danhui. Building of airport collaborative decision-making system and its application[J]. *Airport Journal*, 2021(3):48-54. (in Chinese)
- [17] 卢敏, 冯霞, 徐涛. 机场协同决策研究综述[J]. *智能建筑*, 2018(8): 58-61.  
LU Min, FENG Xia, XU Tao. A survey on airport-collaborative decision-making system [J]. *Intelligent Building*, 2018(8): 58-61. (in Chinese)
- [18] 王湛, 吴艺. 基于 FS-MOPSO 的多机场终端区协同航班调度策略[J]. *西南交通大学学报*, 2017, 52(1): 179-185.  
WANG Zhan, WU Yi. Collaborative aircrafts scheduling strategy in metroplex terminal area based on FS-MOPSO [J]. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 2017, 52(1): 179-185. (in Chinese).
- [19] 葛亚威, 戴雨, 孔建国, 等. A-CDM 机制下基于空闲时隙优化的停机位分配模型研究[J]. *科技和产业*, 2017, 17(8): 131-134,140.  
GE Yawei, DAI Yu, KONG Jianguo, et al. Research on allocation model of parking space based on idle-time slot optimization under A-CDM mechanism[J]. *Science Technology and Industry*, 2017, 17(8): 131-134,140. (in Chinese)
- [20] DE ALMEIDA C R F, WEIGANG L, MEINERZ G V, et al. Satisficing game approach to collaborative decision making including airport management [J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2016, 17(8): 2262-2271.
- [21] SOUZA M, LIU W G, GARCIA R C. Stable two-sided matching of slot allocation in airport collaborative decision making by top trading cycles mechanism[J]. *Chinese Journal of Aeronautics*, 2018, 31(3): 534-545.
- [22] 赵红旗, 李金龙. 机坪管制移交的思考与启发[J]. *民航管理*, 2020(3): 50-52.  
ZHAO Hongqi, LI Jinlong. Thinking and inspiration of apron control transferring [J]. *Civil Aviation Management*, 2020(3): 50-52. (in Chinese).
- [23] 胡今晶. 协同决策系统 CTOT 时间跳变问题分析及思考[J]. *科技经济市场*, 2021(6): 114-115.  
HU Jinjing. Collaborative decision system CTOT time jump problem analysis and reflection [J]. *Science & Technology Economy Market*, 2021(6): 114-115. (in Chinese)
- [24] 蒋洪迅, 马仁义. 面向靠桥率及道口冲突率的航班-机位指派问题优化模型及其启发式算法研究[J]. *系统科学与数学*, 2021, 41(1): 75-98.  
JIANG Hongxun, MA Renyi. Rates of closed-bridge and crossing-collision oriented optimization model on aircraft-gate assignment and its heuristics [J]. *Journal of Systems Science and Mathematical Sciences*, 2021, 41(1): 75-98. (in Chinese)
- [25] 郝斌. 基于全面机场管理的大型机场运行控制体系研究[J]. *民航学报*, 2021, 5(2): 38-41,64.  
HAO Bin. Research on large airports operation control system based on total airport management [J]. *Journal of Civil Aviation*, 2021, 5(2): 38-41,64. (in Chinese)
- [26] 王瀚林. 结合首都机场运行浅谈协同决策配套政策发展方向[J]. *民航管理*, 2017(8): 51-53.  
WANG Hanlin. The trend of supporting policies of CDM

- seen from the operation of the Capital Airport[J]. *Civil Aviation Management*, 2017(8): 51-53. (in Chinese)
- [27] SCHULTZ M, ROSENOW J, OLIVE X. A-CDM lite: situation awareness and decision-making for small airports based on ADS-B data[C]// 9th SESAR Innovation Days: In-spiring Long-Term Research in the Field of Air Traffic Management. US: SIDs, 2019: 1-9.
- [28] CORRIGAN S, MARTENSSON L, KAY A, et al. Preparing for airport collaborative decision making (A-CDM) implementation: an evaluation and recommendations [J]. *Cognition, Technology & Work*, 2015, 17: 207-218.
- [29] SCHULTZ M, OLIVE X, ROSENOW J, et al. Analysis of airport ground operations based on ADS-B data [C] // 2020 International Conference on Artificial Intelligence and Data Analytics for Air Transportation. US: IEEE, 2020: 1-9.
- [30] YANG J, CHEN H, LIU X Y, et al. Research on estimated time of arrival prediction based upon ADS-B and spatio-temporal analysis[C]// 2019 IEEE the 1st International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology. US: IEEE, 2019: 630-634.
- [31] 胡翼. 以大数据为基础的空中交通流量管理研究综述[J]. *民航学报*, 2021, 5(2): 65-68.
- HU Yi. Overview of air traffic flow management based on big data[J]. *Journal of Civil Aviation*, 2021, 5(2): 65-68. (in Chinese)
- [32] SCHULTZ M, ROSENOW J, OLIVE X. A-CDM lite: situation awareness and decision-making for small airports based on ADS-B data[C]// 9th SESAR Innovation Days: In-spiring Long-Term Research in the Field of Air Traffic Management. US: IEEE, 2019: 1-7.
- [33] MILBREDT O, GRUNEWALD E. A neural network approach to airport management[R]. US: AIAA Infotech@ Aerospace, 2015.
- [34] JANSSEN S, SHARPANSKYKH A, CURRAN R. AbSRiM: an agent-based security risk management approach for airport operations [J]. *Risk Analysis*, 2019, 39(7): 1582-1596.
- [35] 中共中央、国务院. 交通强国建设纲要[M]. 北京: 人民出版社, 2019.
- Central Committee of the Communist Party of China. Outline of building a strong transportation country[M]. Beijing: People's Publishing House, 2019. (in Chinese)

(编辑:丛艳娟)

(上接第 140 页)

- deck human factor[J]. *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, 2016, 37(1): 310-316. (in Chinese)
- [6] 宋海靖, 焦毅, 胡毅. 民用飞机试飞阶段人为因素适航审定技术研究[J]. *航空工程进展*, 2016, 7(4): 484-488.
- SONG Haijing, JIAO Yi, HU Yi. Study on airworthiness certification of human factor in flight test for civil aircraft[J]. *Advances in Aeronautical Science and Engineering*, 2016, 7(4): 484-488. (in Chinese)
- [7] 孙世东, 张夏, 孙有朝, 等. 民机驾驶舱人为因素适航符合性验证与审定方法[J]. *航空计算技术*, 2019, 49(3): 125-129.
- SUN Shidong, ZHANG Xia, SUN Youchao, et al. Airworthiness validation and certification method of human factors in civil aircraft cockpit[J]. *Aeronautical Computing Technique*, 2019, 49(3): 125-129. (in Chinese)
- [8] 孙世东, 黄丹, 马庆林, 等. 基于任务的舰载机驾驶舱人为因素适航评估方法研究[J]. *航空工程进展*, 2020, 11(3): 326-331.
- SUN Shidong, HUANG Dan, MA Qinglin, et al. Human factor airworthiness evaluation method for carrier-based aircraft flight deck[J]. *Advances in Aeronautical Science and Engineering*, 2020, 11(3): 326-331. (in Chinese)
- [9] Federal Aviation Administration. System design and analysis: AC 25.1309-1B (Draft) [EB/OL]. (2022-12-08) [2022-12-23]. [https://www.faa.gov/aircraft/draft\\_docs/ac/ac25\\_1309\\_1B](https://www.faa.gov/aircraft/draft_docs/ac/ac25_1309_1B).
- [10] European Union Aviation Safety Agency. System design and analysis: AMC 25.1309[S]. Cologne, Germany: EASA, 2022.
- [11] European Union Aviation Safety Agency. Installed systems and equipment for use by the flight crew: AMC 25.1302[S]. Cologne, Germany: EASA, 2022.
- [12] Federal Aviation Administration. Installed systems and equipment for use by the flightcrew: AC 25.1302-1[S]. Washington, D. C.: FAA, 2013.
- [13] KRITZINGER D. Aircraft system safety: assessments for initial airworthiness certification [M]. United Kingdom: Woodhead Publishing, 2016.
- [14] KRITZINGER D. 飞机系统安全性——初始适航合格审定评估[M]. 北京: 航空工业出版社, 2019.
- KRITZINGER D. Aircraft system safety: assessments for initial airworthiness certification [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2019. (in Chinese)
- [15] European Union Aviation Safety Agency. Flight crew human factors assumptions in aircraft and system safety assessments: proposed CM-SA-002 issue 02 [EB/OL]. (2023-05-11) [2023-05-24]. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/product-certification-consultations/final-certification-memorandum-ref-cm-sa-002>.
- [16] Society of Automotive Engineers. Guidelines for development of civil aircraft and systems: ARP4754A [S]. Pittsburgh: SAE, 2010.

(编辑:丛艳娟)