

碳达峰目标下机场地面运行低碳管控技术路径分析

杨金鹏

首都机场集团有限公司北京大兴国际机场, 北京 100000

DOI:10.61369/ME.2026060026

摘 要 : 双碳战略背景下, 民航机场地面滑行、车辆运行、能源消耗、污染物排放是航空领域碳减排的关键短板, 地面运行碳排放占机场总排放占比超60%, 低碳管控迫在眉睫。本文立足碳达峰目标要求, 系统梳理机场地面运行低碳管控技术路径, 涵盖滑行优化、车辆电动化、桥载(地井)替代、除冰废液治理、智能调光、碳排监测六大核心技术, 结合具体运行分析技术应用成效, 为民航机场绿色低碳、智慧化、标准化运行提供技术支撑。

关 键 词 : 碳达峰; 机场地面运行; 低碳管控; 滑行优化; 车辆电动化; APU替代; 碳排监测

Analysis of Low-Carbon Management Technology Paths for Airport Ground Operations under the Carbon Peak Goal

Yang Jinpeng

Capital Airport Group Co., Ltd. Beijing Daxing International Airport, Beijing 100000

Abstract : Under the backdrop of the dual-carbon strategy, the ground taxiing, vehicle operation, energy consumption, and pollutant emissions of civil aviation airports are the key bottlenecks for carbon reduction in the aviation sector. Ground operation carbon emissions account for over 60% of the airport's total emissions. Low-carbon management is urgently needed. This paper, based on the requirements of the carbon peak goal, systematically reviews the low-carbon management technology paths for airport ground operations, covering six core technologies such as taxiing optimization, vehicle electrification, bridge-mounted (ground well) substitution, deicing waste liquid treatment, intelligent dimming, and carbon emission monitoring. Combined with specific operational analysis of technology application effects, it provides technical support for the green, low-carbon, and intelligent operation of civil aviation airports.

Keywords : carbon peak; airport ground operations; low-carbon management; taxiing optimization; vehicle electrification; APU substitution; carbon emission monitoring

民航业是交通运输高耗能、高排放的领域, 也是双碳目标实施的关键控制产业。在民航运输吞吐量不断恢复的情况下, 机场内航空器地面滑行、地勤车辆耗油、飞行区照明能源损耗和除冰废液的直接排放的现象日益突出, 而传统的运行方式耗能多、排放量大、控制薄弱。通过运用智能化、精细化和绿色化的技术手段来重塑地面运营体系, 能够精确地降低无效的能源消耗和碳排放, 从而构建一个全过程的低碳管理体系, 这也是实现机场碳达峰和推动绿色空港建设的关键因素。

一、碳达峰目标下机场地面运行低碳管控目标

在国家碳达峰战略的大环境下, 民航绿色转型被列入交通运输行业攻坚的重点对象, 而以机场地面运行为核心情景的航空碳排放是民航实现减碳提质发展的重要突破口^[1]。根据民航业的监测数据, 在机场地面运行存在航空器双发滑行时间较长、燃油地勤车辆的高频运行, APU的超时工作, 照明的全天候打开以及除冰废液的直接排放等问题。传统机场地面运行管控模式偏向于经验化, 标准化的技术管控体系和动态监测手段欠缺, 导致航空煤油和电力的大量消耗, 碳排放管控缺乏准确性, 治理效率较低。目前民航局已明确要求枢纽机场和干线机场每年降低碳排放强度, 提高能源使用效率, 全面实现机场地面运行的绿色化、智能化和

低碳化改造。基于这一背景, 落地专业化的碳减排管控技术, 建设全过程的地面减排体系是机场实现碳减排指标和可持续绿色运行所必须走的道路。

二、碳达峰目标下机场地面运行低碳管控技术路径

(一) 航空器滑行优化和单发滑行

机场航空器的地面滑行是导致燃油消耗和碳排放增加的关键环节, 在常规大型客机进行双发滑行的情况下, 每小时的航空煤油消耗量可以达到600至800千克, 在单次滑行中的平均燃油损失大约是45千克, 这导致了大量的二氧化碳和氮氧化物的排放, 航空器滑行优化和单发滑行是减少地面无效能耗最核心的技术途

径^[2]。在机场场面监视雷达、多点定位系统和智能滑行调度算法的支持下,对机场跑道、滑行道和停机位上航空器滑行顺序和路径进行重建,避免航空器长时间等待、迂回滑行、拥堵滞留的低效运行状态。在确保民航安全运行的标准下,对于波音737、空客A320等主要的单通道客机,实施低风速、平稳道面、无特殊天气条件下的单发滑行模式,该模式可以直接减少大约50%的滑行燃油使用量。通过运用塔台智能调度系统来优化离场排序,成功地减少了航空器在地面的等待时间,将地面滑行的平均时间从传统的12至15分钟缩短到了8分钟以内。通过运行流程优化和智能调度可以实现规模化减排,并适配枢纽机场和干线机场高频航班的运行场景,可不断消减航空器地面运行基础碳排放。

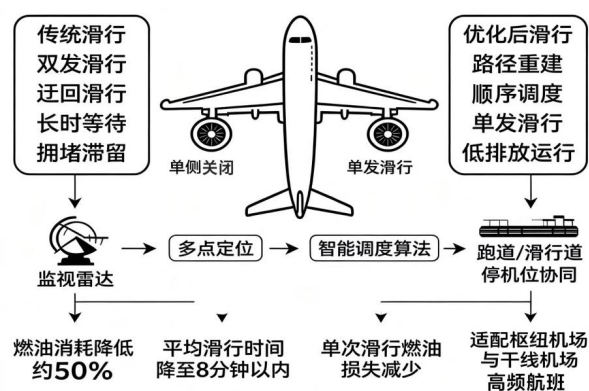


图1: 航空器滑行优化和单发滑行

(二) 地勤车辆电动化和智能调度

传统的机场地勤保障车辆主要是燃油车辆,包括摆渡车、牵引车、加油车、清扫车等车辆,而传统燃油地勤车辆的百公里油耗通常在15至25升之间,每一辆车的年平均碳排放量可以达到8至12吨,引入地勤车辆电动化替换和智能调度技术是机场地面交通最重要的途径,全方位地推动燃油地勤车辆的替换工作,通过使用电动牵引车、电动摆渡车和电动清扫车等车辆来取代传统的燃油车辆。电动地勤车辆的运行能耗仅为燃油车辆的大约30%,并且实现了运行过程中尾气的零排放^[3]。同时构建机场地勤车辆智能调度与管控系统,在GPS定位、物联网感知和大数据调度算法的支持下,按航班起降顺序和机位分配的调度、保障需求实现车辆任务的智能匹配,减少车辆空驶、往返折返和怠速等候的无效耗能。该系统能够显著降低机场地勤车辆的空驶率,从传统的28%减少到10%以下,缩短了无效运行的时间。将车辆电动化替换和智能化调度系统有机结合,可以全方位减少机场地面交通能源消耗、建设绿色地勤保障体系、不断降低机场碳排放总规模。

(三) 桥载(地井)电源空调代替APU运行

航空器在停机位停靠过程中,常规的运行方式主要是靠机载APU辅助动力装置提供电源和气源,以保持机舱内的空调、照明和机载设备处于正常状态,根据民航的实际测量数据,民航客机APU每小时的油耗在180至250千克之间,每小时大约会排放550千克的二氧化碳,这也是机场机坪碳排放的主要原因。利用桥载(地井)电源空调设备代替机载APU进行作业是机场机坪碳排

放控制的一项核心成熟技术^[4]。桥载(地井)电源装置具有电压平稳、能耗可控和零尾气排放等技术优点,装置额定输出电压可稳定为115V/400Hz,与民航客机机载设备供电标准适配,能够在航空器停靠过程中全程代替APU,完成对航空器的供电和供气保障。通过建立标准化的运行管控规章,规定航空器在靠桥30秒内停用APU,在整个停靠过程中启用桥载(地井)电源空调,并在航班启动前一分钟关闭外接电源以最大程度地压缩APU的运行时长。航空器在单次靠桥时可以缩短APU的运行时间40至60分钟,可以节省超过120千克的航空煤油,并减少大约370千克的二氧化碳排放。桥载(地井)电源空调代替APU运行减排效果明显,为机场地面减排提供了一种核心技术手段。

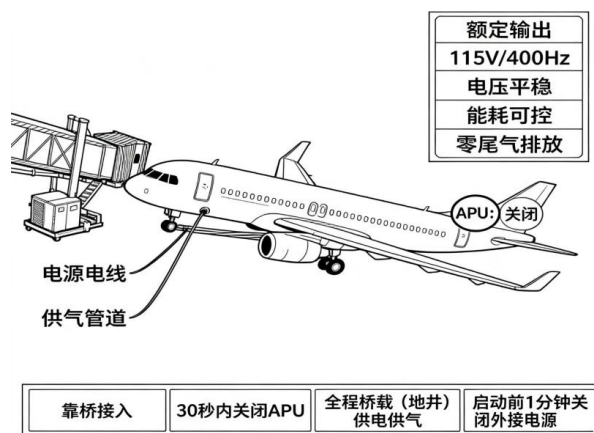


图2: 桥载(地井)电源空调代替APU运行

(四) 除冰废液回收

在冬季的低温雨雪天气,机场航空器除冰和跑道除冰过程中产生的除冰废液较多,而传统乙二醇类除冰液用量较大,废液直接排放的污染较重,与此同时,也出现了除冰液消耗大、资源浪费严重、间接碳排放偏高等诸多问题^[5]。在常规的大型机场,单次雨雪天气下的除冰液消耗量可以达到3至5吨,直接排放废液不仅会破坏环境,还会增加物资生产和运输过程中的间接碳排放。除冰废液循环利用技术,通过源头控制、中端回收、末端净化循环等全流程技术体系,达到对除冰废液的控制目的。使用低污染和高配比的新型复合型除冰液,优化除冰喷洒的压力和角度,精确地控制喷洒的用量,从而实现除冰液单次用量的20%至30%的减少。作业区域内设置有专门的除冰废液收集沟槽、集液池和过滤储存设备等,集中回收航空器除冰和跑道除冰后的废液,避免废液的直排扩散。回收的废液在经历沉淀、过滤、提纯和浓度调整等一系列净化过程后,可以再次用于除冰操作,其循环再利用率可以超过45%。该项技术有效地减少了除冰液的消耗量,减少了化工物料在生产和运输过程中产生的间接碳排放量,达到了减污降碳的协同增效效果。通过压缩除冰液购置规模,降低化工生产、长途运输等环节化石能源消耗和污染物排放,实现绿色、低碳除冰运营模式。

(五) 飞行区照明智能调光

机场跑道、滑行道和停机坪的照明系统在机场固定能耗中占有较大比例,而传统照明系统在不考虑昼夜天气变化的情况下均为全天候恒功率启闭方式,航班流量发生变化,照明设备都维持

在额定功率下工作，造成能源浪费。飞行区照明智能调光技术是以光敏传感器、气象感知设备、航班流量监测终端和智能配电控制系统等为支撑，对照明设备进行动态和精细化的调节。该系统能够根据昼夜光照强度、阴雨雾霾天气状况能见度以及实时航班起降流量等信息自动调整跑道灯、滑行道灯和机位高杆灯亮度及开启次数，在白天强光时段降低30%至50%照明功率，夜间低流量时段自动关停闲置区域照明。同时该系统故障自动监测、定时启停和分区管控等功能消除了无效照明的能耗。通过飞行区照明智能调光管理，机场飞行区的照明系统能够实现整体节电率在25%至35%之间，减少了机场的电力消耗和间接碳排放，使得飞行区的照明设施能够实现低碳智能运行。该系统配置的故障告警模块能够对灯具损坏、线路异常和调控失灵进行实时反馈，降低了人工巡检频次和运维能耗。飞行区照明智能调光能够稳定保持节电并减少因电力消耗而产生的碳排放，帮助机场实现能耗管控指标。

（六）碳排放实时监控平台

传统的机场碳排放管控主要依靠人工统计核算方式，存在数据更新落后、核算精度不高等问题，不能准确捕获地面运行各个环节的碳排放实时数据，很难做到精细化的碳排放管控，机场地面碳排放实时监测平台建设是碳排放动态管控和精准治理的数字化核心技术。该平台集成能耗采集、航班数据、设备运行数据、碳排放核算等技术，实现了航空器滑行能耗，APU运行时长，地勤车辆能耗，机场电力消耗和除冰物资消耗进行全维度统计，实现了实时能耗及排放数据的自动获取。该平台能够对机场的直接碳排放、间接碳排放等数据进行实时核算，并产生可视化的碳排放热力图、能耗分析报表和减排成效展示等。该平台能够对高耗能、高排放环节进行准确定位，使碳排放由事后统计向提前预警、事前控制治理转变。通过数字化监测赋能为优化机场碳达峰管控方案提供精准数据支持，整体推进机场碳达峰管控科学化和精准化。

三、碳达峰目标下机场地面运行低碳管控技术成效

通过采用航空器滑行优化和桥载（地井）电源空调替代APU等航空器地面低碳管理技术，机场航空器的地面无效燃油消耗得到了显著的控制，从而实现了显著的节油和减排效果。采用航空器单发滑行模式，可以直接减少地面滑行所需的50%的燃油，并与智能滑行调度相结合，从而缩短了地面的等待时间，使得单次航班的平均节油效果可以达到40至60千克。在全面推行桥载电源取代APU运行模式之后，航空器停靠期间的燃油消耗得到有效控制，单次航班能够节省超过120千克燃油。经过多种低碳管控技术的综合应用，机场航空器在地面运行的油耗得到了持续的优化，使得整体地面航油的消耗量能够同比减少22%至28%。航油消耗大幅度下降直接降低了碳排放和大气污染物，有效地解决了航空器滑行和停放时效率低、能耗大等难题。在核心环节上对机场地面运行进行节能降碳处理，显著减少了机场地面运行的碳排放。

四、结语

综合来看，依靠滑行优化、电动车辆替代、桥载（地井）电源空调、废液回收、智能调光和碳排放监测等技术路径可以实现对机场地面运行能耗和排放的全方面覆盖，从而形成系统化的管控体系。低碳管控技术的落地能够有效地降低机场地面运行的消耗，不断地消减机场碳排放的强度，达到节能、减污、降碳和增效的多重收益。今后需要不断推动技术规模化普及、参数标准化管控和数据常态化监测等工作，以全面巩固机场双碳建设的技术基础。

参考文献

- [1] 房鑫.多元利益主体视角下郑州机场碳中和发展对策研究[D].大连理工大学:2025.
- [2] 沈璐,张于磊,王妍.双碳目标背景下绿色低碳机场建设的困境与思考[J].民航管理,2025(07):32-35.
- [3] 银瑞鸿,李杨.机场智慧能源管控系统设计[J].建筑电气,2021,40(11):40-44.
- [4] 李少伟,张永明,张鹏飞,于杰生.高性能模块空间绿色低碳管控平台建设——以上海虹桥国际机场T1航站楼某项目为例[J].绿色建筑,2025,17(02):151-155.
- [5] 肖汉飞,余泓颖.人工智能驱动机场能源系统智慧化转型研究[J].民航管理,2025(12):88-93.