

《重庆市航空枢纽碳排放核算与碳中和 实施指南》（征求意见稿）

编制说明

《重庆市航空枢纽碳排放核算与碳中和实施指南》

编制组

二〇二五年九月

目 录

1 项目背景	4
1.1 任务来源	4
1.2 起草单位和主要起草人	4
1.3 工作过程	4
2 实施指南制订的必要性	5
2.1 政策支撑	5
2.2 技术创新	6
3 国内外研究进展	7
3.1 国外研究进展	7
3.2 国内研究进展	7
4 编制原则和技术路线	8
4.1 编制原则	8
4.2 技术路线	8
5 指南主要技术内容	10
5.1 总体框架	10
5.2 适用范围	11
5.3 规范性引用文件	11
5.4 术语和定义	11
5.5 核算边界	12

5.6 核算方法	13
5.7 航空枢纽碳中和核心指标评价体系	18
5.8 航空枢纽碳中和路径技术措施	27
6 指南实施建议	31
6.1 重庆江北国际机场—枢纽型机场	31
6.2 万州五桥机场、黔江武陵山机场—区域型机场	32
6.3 巫山神女峰机场、仙女山机场—旅游支线机场	33
7 标准征求意见及处理情况	34
7.1 征求意见及处理概况	34
7.2 反馈意见内容及处理情况	34
7.3 未采纳、部分采纳意见及理由	34
参考文献	35

1 项目背景

1.1 任务来源

旨在贯彻落实国家“双碳”战略目标，推动重庆航空运输业绿色低碳转型。通过引用 GB/T 32151.6-2015 中国民用航空企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）等国内外权威标准，并结合重庆航空枢纽运营特点，形成了兼具科学性和实操性的技术规范指南。该指南的实施将有效提升重庆航空枢纽碳排放管理能力，为制定碳中和路径提供标准化支撑，助力重庆建设绿色低碳航空运输体系。

1.2 起草单位和主要起草人

《重庆市航空枢纽碳排放核算与碳中和实施指南》的主要起草单位为重庆机场集团有限公司、重庆碳管家科技有限公司。

主要起草人：

1.3 工作过程

2022 年 12 月，依托重庆市技术创新与应用发展专项重点项目“航空枢纽综合能源智慧运行关键技术研究与应用”，在开展研究基础上，重庆碳管家科技有限公司牵头，与重庆机场集团有限公司共同组成标准编制组。

2024 年 11 月 22 日，标准编制组向重庆市环境科学学会申请团体标准立项，提交了团体标准修订项目申报书，同月 25 日，重庆市环境科学学会组织召开了标准开题论证会，经编制组汇报与专家质询，论证会专家一致同意开题。

2024 年 12 月—2025 年 8 月，标准编制组在调研国内外相关研究进展、多轮内部研讨、多次咨询国内优势科研单位专家意见的基础上，编制完成标准的初审稿及编制说明。

2 实施指南制订的必要性

2.1 政策支撑

国际国内双重政策压力与引导下，重庆市亟需建立符合国际标准、适应国内要求的航空枢纽碳排放管理体系。

2.1.1 国际政策支撑

国际航空业碳中和政策框架为重庆市航空枢纽的碳排放管理提供了系统性指引。国际民航组织（ICAO）主导的国际航空碳抵消和减排计划（CORSIA）构建了全球统一的航空碳排放监管体系，要求成员国建立涵盖监测、报告与核查（MRV）全流程的碳排放管理机制^[1]。作为补充，欧盟碳排放交易体系（EU-ETS）对进出欧盟的航班实施更严格的碳管制，包括强制性的排放数据核证与配额清缴制度^[2]。与此同时，国际航空运输协会（IATA）发布的行业碳中和路线图明确了2050年净零排放目标，特别强调通过可持续航空燃料（SAF）的国际认证与规模化应用实现深度减排^[3]。为了符合国际政策要求，在重庆市航空枢纽在碳排放管理体系建设中，必须实现MRV体系的国际兼容性，同时兼顾区域性政策差异，为参与全球航空碳市场奠定基础。

2.1.2 国内政策支撑

我国已构建起多层次的航空业低碳发展政策体系，为重庆市航空枢纽的碳排放管理提供了参考依据。在国家层面，国家发改委《关于推动航空运输业绿色发展的指导意见》确立了行业碳排放核算体系的建设要求，奠定了制度基础。行业主管部门中国民航局通过《“十四五”民航绿色发展专项规划》设定了量化目标，明确要求到2025年机场碳排放强度较2020年下降8%。《四型机场建设行动纲要》进一步将“绿色机场”纳入核心建设内容，强调建立覆盖规划、建设、运营全过程的碳排放管理体系。生态环境部《大型活动碳中和实施指南》则为航空枢纽的碳中和实践提供了具体的方法学支持。这些政策既明确了航空业低碳转型的战

略方向，也为地方制定实施细则提供了规范依据，要求重庆市航空枢纽在落实过程中兼顾国家要求与地方特色。

2.2 技术创新

2.2.1 民航绿色技术重点实验室

民航绿色技术重点实验室聚焦 SAF、氢能、智慧能源等航空碳中和关键领域，构建“产学研用”协同创新平台。在实验室建设方面，配备先进的实验设备和仪器，如 SAF 生产工艺模拟装置、氢能燃料电池测试平台、能源系统仿真软件等，为技术研发提供硬件支持。整合高校、科研机构和企业优势资源，组建跨学科、跨领域的科研团队，涵盖化学工程、航空动力、能源管理等多个专业领域。

在研究方向上，围绕 SAF 原料拓展、生产工艺优化、成本降低；氢能在航空领域的安全储存、运输和应用技术；智慧能源系统的智能化控制和优化调度等关键技术难题开展攻关。建立开放合作机制，与国际知名航空研究机构、企业开展技术交流与合作项目，引进先进技术和理念。同时，积极承担国家和行业科研项目，推动科研成果转化应用。定期举办学术研讨会、技术交流会等活动，促进科研人员的学术交流和思想碰撞，提升实验室的科研创新能力和行业影响力，为航空枢纽碳中和提供技术支撑。

2.2.2 低碳技术中试基地

低碳技术中试基地作为科研成果从实验室走向产业化的关键环节，承担着技术验证和优化的重要任务。根据航空碳中和技术需求，建设涵盖 SAF 生产、氢能应用、节能设备等多个领域的中试生产线和试验平台。例如，建设万吨级 SAF 中试生产装置，对不同原料和生产工艺进行规模化试验；搭建氢能地勤设备中试平台，测试氢燃料电池在实际运行环境下的性能和可靠性。

制定完善的中试基地管理制度和技术规范，确保中试项目的安全、高效运行。建立项目筛选和评估机制，从众多科研成果中筛选具有产业化前景的低碳技术项目进行中试。在中试过程中，对技术参数、产品质量、生产成本等进行全面监测

和分析，及时发现问题并进行优化改进。与企业建立紧密的合作关系，推动中试成功的技术成果与企业对接，实现快速产业化转化，目标是年孵化项目 ≥ 5 项。同时，为科研团队提供中试服务和技术咨询，促进产学研深度融合，加速航空低碳技术的创新发展和推广应用。

3 国内外研究进展

3.1 国外研究进展

国际航空业在碳排放核算与碳中和领域已形成较为完善的技术体系。国际民航组织（ICAO）通过 CORSIA 机制建立了全球统一的航空碳排放监测、报告与核查标准，要求基于机载燃油数据核算排放量，并引入航迹优化修正因子^[4]。欧盟碳排放交易体系（EU-ETS）开发了航空业专用排放计算工具，整合飞行计划与燃油监测数据，实现高精度核算^[5]。

在碳中和路径方面，可持续航空燃料（SAF）技术已实现商业化应用，原料选择从废弃油脂扩展到农林废弃物等多种生物质资源，并建立了完善的国际认证体系。在技术验证层面，波音、空客等制造商正积极推进 SAF 掺混比例提升至 50% 的飞行测试，同时 AI 航迹优化、氢能地勤设备等创新技术的应用，使得国际先进机场已实现单航班 10%-15% 的减排效果。在政策支持方面，欧盟通过"Fit for 55"计划构建了强制性政策框架，将航空业纳入碳市场强制履约范围，而新加坡樟宜机场等国际枢纽的运营碳中和实践则证明，数字化碳管理平台与绿电采购策略是实现碳中和目标的关键支撑。这些国际经验虽然为全球航空碳管理提供了重要参考，但在应对发展中国家特有的航空运营模式和能源结构等实际问题时仍显现出一定局限性，特别是在适应区域差异化需求方面有待进一步完善。

3.2 国内研究进展

我国航空碳管理研究起步较晚但发展迅速，在核算体系本土化方面取得一定进展。中国民航局基于国家标准制定了民航企业温室气体排放核算指南，但尚未

细化机场枢纽的排放边界划分，北京大兴机场等试点探索了物联网实时监测系统，但数据标准化程度有待提升。减排技术应用方面，中石化已实现生物航油工业化生产，但原料以餐饮废油为主且产能有限，2023 年 SAF 占比仅 0.1%，同时缺乏与国际认证对接的标准体系。运营优化技术如单发滑行、连续下降运行已得到推广，但因空域限制，节油效果较国际水平略低。政策试点方面，民航局提出建设"绿色航线"但缺乏配套细则，重庆、成都等地机场光伏项目面临并网消纳与碳核算方法不统一的问题。总体而言，国内研究在航空枢纽碳排放责任划分、区域 SAF 供应链构建等方面仍需突破，亟需制定符合我国航空运营特点的碳管理标准。

4 编制原则和技术路线

4.1 编制原则

该指南按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草，由重庆机场集团有限公司、重庆碳管家科技有限公司提出，重庆市环境科学学会归口。

该指南适用于重庆市航空枢纽二氧化碳排放的核算与碳中和路径的选择。任何在重庆市内的航空枢纽均可按照该指南规定核算边界内的二氧化碳排放，编制航空枢纽温室气体排放报告，根据核算结果规划碳中和实施路径。该指南的提出旨在明确单个航空枢纽二氧化碳排放核算方法，根据核算结果制定科学合理的碳中和实施方案，指导航空枢纽实现减碳。

请注意该指南的某些内容可能涉及专利。该指南的发布机构不承担识别专利的责任。

4.2 技术路线

基于重庆市航空枢纽碳排放核算与碳中和的工作需求，分析指南制订的必要性和开展前期准备工作，在资料调研和前期研究工作的基础上，梳理指南制定的相关问题并制定指南编制方案。参考目前发布的航空枢纽碳排放核算与碳中和的

相关技术方法和文件，在广泛征求专家意见的基础上开展指南的编制工作。基于重庆市航空枢纽碳的实际情况，吸收专家和相关单位意见，对指南文本进行修改完善，逐步形成指南文本和编制说明。技术路线和工作流程参见图 1。

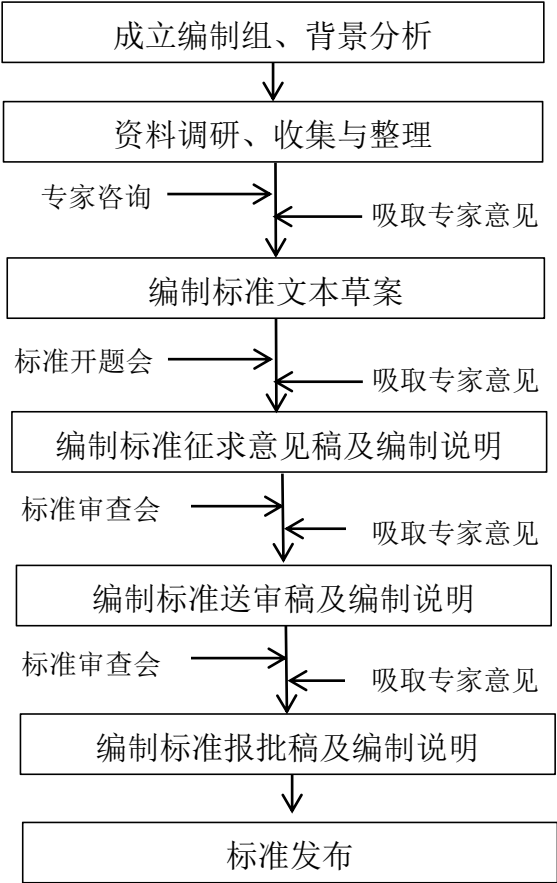


图 1 本指南编制的技术路线

5 指南主要技术内容

5.1 总体框架

本指南的主要条款包括：

第 1 章：范围。说明了本文件的主要内容及适用情景。

第 2 章：规范性引用文件。规定了在本指南制定过程中引用的相关规范性文件。

第 3 章：术语和定义。规定了本指南中使用的 16 个关键的术语和定义。

第 4 章：总体原则。为保证重庆市航空枢纽碳足迹核算、实施碳减排行动、实施碳抵消活动、开展碳中和评价、编制碳中和评价报告等过程符合标准的要求。

第 5 章：实施目的。通过量化航空枢纽温室气体排放量和清除量（以二氧化碳当量表示），判定其对全球变暖潜势的影响。

第 6 章：航空枢纽碳排放核算与碳中和实施流程。按照碳足迹核算、实施碳减排行动、实施碳抵消活动、作出碳中和评价等步骤完成碳中和实施工作。

第 7 章：（1）核算边界。核算主体以航空枢纽法人或视同法人单位运行的机场为边界，包括飞行区、航站区、货运区、能源中心、工作区等，识别、核算边界内所有与生产经营相关的二氧化碳排放，基于边界内的排放开展碳中和进展评价和路径选择。航空枢纽的温室气体排放核算范围包括：燃料燃烧的二氧化碳排放，即燃料在各种类型的固定或移动燃烧设备中与氧气充分燃烧生成的二氧化碳排放；以及净购入使用电力及热力产生的二氧化碳排放。（2）核算方法。航空枢纽的二氧化碳排放总量等于企业核算边界内燃料燃烧的二氧化碳排放以及净购入使用电力及热力产生的二氧化碳排放。

第 8 章：航空枢纽碳中和核心指标评价体系。规定了该评价体系具体包括：指标说明、指标体系、评价方法和评价结果。

第 9 章：航空枢纽碳中和路径技术措施。包含了五方面内容：碳中和实施计划的制定与发布、碳减排实施、剩余温室气体抵消、碳中和声明和维持碳中和状

态。

附录：共包括 1 个附录，为常用化石燃料相关参数缺省值和制冷剂的全球变暖潜势 GWPr 缺省值。

5.2 适用范围

本指南适用于重庆市航空枢纽二氧化碳排放的核算与碳中和路径的选择。任何在重庆市内的航空枢纽均可按照本指南规定核算边界内的二氧化碳排放，编制航空枢纽温室气体排放报告，根据核算结果规划碳中和实施路径。

本指南的提出旨在明确单个航空枢纽二氧化碳排放核算方法，根据核算结果制定科学合理的碳中和实施方案，指导航空枢纽实现减碳。

5.3 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。所有引用文件，都以其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 32151.6-2015	中国民用航空企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）
ISO 14064-1: 2006	温室气体第 1 部分组织层次上对温室气体排放和清除的量化与报告的规范及指南
PAS 2060	碳中和认证规范
	2006 年 IPCC 国家温室气体清单编制指南
MH/T 5112-2016	民用机场航站楼能效评价指南
MH/T 5069-2023	绿色机场评价导则
T/CCAATB 0066-202	民用机场温室气体排放核算技术指南
GB/T 50378-2019	绿色建筑评价标准

5.4 术语和定义

下列术语和定义适用于本指南，具体如下：

(1) 航空枢纽 **Aviation hub**: 在航空运输网络中承担中转功能和组织功能的运输型机场及其核心区域, 在本文件中指以机场土地使用证上红线为边界的地理区域。(2) 温室气体 (GHG) **greenhouse gas**: 京都议定书所列出的六种气体: 二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄)、氧化亚氮 (N₂O)、氢氟碳化物 (HFCs)、全氟化碳 (PFCs) 和六氟化硫 (SF₆)。

(3) 碳中和 **carbon neutrality**: 国家、企业、产品、活动或个人在一定时间内直接或间接产生的二氧化碳或温室气体排放总量, 通过植树造林、节能减排等形式, 以抵消自身产生的二氧化碳或温室气体排放量, 实现正负抵消, 达到“零排放”。

(4) 碳排放 **carbon emissions**: 人类生产经营活动中向外界排放温室气体(二氧化碳、甲烷、氧化亚氮、氢 氟碳化物、全氟碳化物和六氟化硫等)的过程。

(5) 碳排放量 **carbon emission quantity**: 是指在人类生产经营活动中所产生的平均温室气体排放量。

(6) 碳信用 **credits of carbon emission**: 温室气体减排项目按照有关技术标准和认定程序确认减排量化效果后, 由政府部门或国际组织签发或其授权机构签发的碳减排指标, 碳信用的计量单位为碳信用额, 1 个碳信用额相当于 1 吨二氧化碳当量。

(7) 碳汇 **carbon exchange**: 是指通过植树造林、森林管理、植被恢复等措施, 利用植物光合作用吸收大气中的二氧化碳, 并将其固定在植被和土壤中, 从而减少温室气体在大气中浓度的过程、活动或机制。

(8) 碳汇量 **carbon exchange quantity**: 碳汇过程中的流量。

(9) 碳当量 **carbon equivalent**: 是指碳排放量、碳汇量的统一称谓, 碳排放量对应的碳当量为正值, 碳汇量对应的碳当量为负值。当碳当量等于零时, 或者碳排放量、碳汇量经加法计算后 总碳当量等于零, 则表明实现了碳中和。

(10) 碳抵消 **carbon offset**: 是指用于减少温室气体排放源或增加温室气体吸收汇, 用来实现补偿或抵消其他排放源产生温室气体排放的活动。

(11) 可再生能源 **Renewable energy**: 是指从持续不断地补充的自然过程中得到的能量来源。可再生能源包括太阳能、水能、风能、生物质能、波浪能、潮

汐能、海洋温差能、地热能等。

(12) 绿色电力 **Green electricity**: 使用可再生能源生产的电力能源。

(13) 基准期 **Base period**: 用来将不同时期的温室气体排放或清除, 或其他温室气体相关信息进行参照比较的特定历史时段。

(14) 绿色建筑 **green building**: 指在全寿命周期内, 节约资源、保护环境、减少污染、为人们提供健康、适用、高效的使用空间, 最大限度地实现人与自然和谐共生的高质量建筑。

(15) 甲类机场 **Category A Airport**: 按照旅客吞吐量, 甲类机场为年旅客吞吐量高于 1000 万人次的机场。

(16) 乙类机场 **Category B Airport**: 按照旅客吞吐量, 乙类机场为年旅客吞吐量 50 万人次~1000 万人次的机场。

5.5 核算边界

核算主体以航空枢纽法人或视同法人单位运行的机场为边界, 包括飞行区、航站区、货运区、工作区等(鼓励有条件的机场将核算范围进一步扩展至空管、航空公司级驻场单位在机场的设施和机构), 识别、核算边界内所有与生产经营相关的二氧化碳排放, 基于边界内的排放开展碳中和进展评价和路径选择。

航空枢纽的温室气体排放核算范围和报告范围包括: 燃料燃烧的二氧化碳排放, 即燃料在各种类型的固定或移动燃烧设备(如机场内锅炉、气源车、电源车、运输车辆等)中与氧气充分燃烧生成的二氧化碳排放; 以及净购入使用电力及热力产生的二氧化碳排放。

5.6 核算方法

航空枢纽的二氧化碳排放总量等于企业核算边界内燃料燃烧的二氧化碳排放以及净购入使用电力及热力产生的二氧化碳排放。如公式(1)所示:

$$E = E_{\text{燃烧}} + E_{\text{过程}} + E_{\text{电}} + E_{\text{热}} + E_{\text{冷}} \dots\dots (1)$$

式中，

E 为航空枢纽二氧化碳排放总量（t）；

$E_{\text{燃烧}}$ 为燃料燃烧的二氧化碳排放总量（t），包括化石燃料燃烧的二氧化碳排放量；

$E_{\text{过程}}$ 为或航站楼运行过程中制冷剂逸散产生的温室气体排放，单位为吨二氧化碳当量（t）；

$E_{\text{电}}$ 为航空枢纽净购入使用电力产生的二氧化碳排放总量（t）；

$E_{\text{热}}$ 为航空枢纽净购入使用热力产生的二氧化碳排放总量（t）；

$E_{\text{冷}}$ 为航空枢纽净购入使用冷量产生的二氧化碳排放总量（t）。

5.6.1 燃料燃烧的二氧化碳排放

航空枢纽燃料燃烧的二氧化碳排放包括机场内锅炉、地面保障车辆等固定源及移动源（航空器除外）消耗的化石燃料燃烧的二氧化碳排放。航空枢纽燃料燃烧的二氧化碳排放总量计算公式如下：

$$E_{\text{燃烧}} = \sum_i (AD_{\text{化石}, i} \times EF_{\text{化石}, i}) \dots\dots (2)$$

式中，

$AD_{\text{化石}, i}$ 为第 i 种化石燃料的活动水平（TJ）；

$EF_{\text{化石}, i}$ 为第 i 种化石燃料的排放因子（tCO₂/TJ）；

i 为化石燃料的种类。

5.6.1.1 活动水平数据及来源

航空枢纽消耗的化石燃料包括机场的内的固定源和移动源（航空器除外）消耗的化石燃料，其活动水平按下式计算。

$$AD_{\text{化石}} = FC_{\text{化石}, i} \times NCV_{\text{化石}, i} \times 10^{-6} \dots\dots (3)$$

式中，

$AD_{\text{化石}}$ ， i 为第 i 种化石燃料的活动水平（TJ）；

$FC_{\text{化石}}$ ， i 为第 i 种化石燃料的消耗量，对固体、液体类化石燃料以吨为单位，对气体类化石燃料以 10^3 立方米为单位；

$NCV_{\text{化石}}$ ， i 为第 i 种化石燃料的低位发热值，对固体或液体燃料以 kJ/kg 为单位，对气体燃料以 kJ/m³ 为单位。

地面活动涉及的其他移动源及固定源化石燃料的消耗量应根据机场能源消费台帐或统计报表来确定。燃料消耗量具体测量仪器的标准应符合 GB 17167-2006《用能单位能源计量器具配备和管理通则》的相关规定。

航空枢纽地面活动涉及的其他移动源和固定源化石燃料的低位发热值参考附录表。

5.6.1.2 排放因子数据及来源

航空枢纽消耗的化石燃料燃烧的排放因子由燃料的单位热值含碳量和碳氧化率等参数计算得到，计算公式如下：

$$EF_i = CC_i \times OF_i \times 44/12 \dots\dots (4)$$

式中，

EF_i 为第 i 种化石燃料的排放因子(tCO₂/TJ)；

CC_i 为第 i 种化石燃料的单位热值含碳量（tC/TJ）；

OF_i 为第 i 种燃料的碳氧化率（%）；

44/12 为二氧化碳与碳的分子量之比；

i 为化石燃料的种类。

5.6.2 过程排放

过程排放产生的二氧化碳排放量按公式（5）计算。

$$E_{\text{过程}} = (M_r + M_{ir} - M_{cr} - M_{er}) \times GWP_r / 1000 \dots\dots (5)$$

式中，

M_r 为核算周期开始，制冷系统以及制冷设施的制冷剂充注量（kg）；

M_{ir} 为核算周期内，制冷系统以及制冷设施的制冷剂补充量（kg）；

M_{cr} 为核算周期内，制冷系统以及制冷设施的制冷剂回收量（kg）；

M_{er} 为核算周期结束，制冷系统以及制冷设施的制冷剂剩余量（kg）；

GWP_r 为制冷剂 r 的全球变暖潜值。

5.6.2.1 数据的监测与获取

制冷剂的活动数据可通过制冷设备相关读数获取，宜采用每月测量结果。不具备条件的也可采用供应商提供的相关制冷剂凭证。制冷剂充注量按照日常保养过程厂家及维修商提供发票及数据说明。

5.6.2.2 制冷剂逸散的排放因子取值

不同制冷剂对应全球变暖潜势 GWP_r 的缺省值，见附录 A 表 A.2。

5.6.3 净购入使用电力及热力产生的排放

航空枢纽净购入电力产生的排放计算公式如下：

$$E_{\text{电}} = AD_{\text{电}} \times EF_{\text{电}} \dots\dots (6)$$

式中，

$E_{\text{电}}$ 为净购入电力所对应的电力生产环节产生的二氧化碳排放量（t）；

$AD_{\text{电}}$ 为净购入电量（MWh）；

$EF_{电}$ 为区域电网年平均供电排放因子（ tCO_2/MWh ）。

企业净购入使用热力产生的排放计算公式如下：

$$E_{热} = AD_{热} \times EF_{热} \dots\dots (7)$$

式中，

$E_{热}$ 为净购入热力所对应的热力生产环节产生的二氧化碳排放量（ t ）；

$AD_{热}$ 为净购入热力（ GJ ）；

$EF_{热}$ 为热力供应的二氧化碳排放因子（ tCO_2/GJ ）。

5.6.2.1 活动水平数据及来源

航空枢纽净购入电量数据以电表记录的读数为准，如果没有，宜采用供应商提供的电费发票或者结算单等结算凭证上的数据。航空枢纽应按净购入电量所在的不同电网，分别统计净购入电量数据。

航空枢纽运行过程中如使用绿电，则应在净购入电力中减去相应绿电用量，绿电消费以国家核发的绿证为唯一凭证。

航空枢纽净购入热力数据以热计量表计量的读数为准，如果没有，宜采用供应商提供的供热量发票或者结算单等结算凭证上的数据。

5.6.2.2 排放因子数据及来源

区域电网年平均供电排放因子应根据航空枢纽所在地及目前的东北、华北、华东、华中、西北、南方电网划分，选用国家主管部门最近年份公布的相应区域电网排放因子进行计算，，2022年重庆市电力平均二氧化碳排放因子为 $0.5227kgCO_2/kWh$ 。

热力供应的二氧化碳排放因子暂按 $0.11 tCO_2/GJ$ 计，待政府主管部门发布官方数据后应采用官方发布数据并保持更新。

航空枢纽存在外购冷量的，首选对所购的冷量进行溯源，溯源至为航空枢纽外购冷量所对应的能源站消耗的燃气、电力等能源所对应的温室气体排放，按照

公式（2）或（6）进行计算。如机场无法进行溯源，则可按照净外购热力所对应的温室气体排放，按照公式（7）进行计算。

5.7 航空枢纽碳中和核心指标评价体系

5.7.1 指标说明

重庆市航空枢纽碳中和核心指标评价体系围绕节能降碳管理机制、能源与碳排放指标、节能降碳技术应用、碳抵消实施 4 个一级指标进行构建，包含 19 个二级指标，总分 100 分。

本指标体系适用于重庆市航空枢纽开展碳中和进程自评估、第三方评价，碳中和组织实施与改善等。

5.7.2 指标体系

表 1 航空枢纽碳中和核心指标评价体系

一级指标	二级指标	最高 分值	指标 类型	评分标准
	名称			
节能降碳管理机制 (15 分)	建立碳排放管理体系	8	约束性	建立碳排放管理制度体系且有效运行，得 2 分。
				编制绿色低碳领域专项规划、行动方案，得 2 分。
				建立能源和碳排放管理部门，得 2 分。
				开展综合能源智慧运行管控平台应用，进行综合能源多能互补与高效运行、能耗监测、负荷预测、能源管控、碳排放跟踪、机电设备可视化运维，得 2 分。
	供应链碳排放管理	2	预期性	建立航空枢纽供应链碳排放管理制度体系，得 1 分
				与主要航司、商户建立协同减排机制并开展至少 1 个项目，得 1 分
	宣传与试点	5	预期性	在机场重点区域对内、对外展示机场自身碳排放管理成效、开展绿色低碳宣传工作，得 2 分。
				参与行业、地方层面组织的绿色低碳交流活动，并通过发言、主题报告、入选优秀案例等形式宣传机场绿色发展经验，得 3 分
能源与碳排放指标	可再生能源使用比例	6	预期性	$\text{可再生能源使用比例} = \frac{\text{可再生能源使用量折标煤量}}{\text{航空枢纽能源使用总量折标煤量}}$

一级指标	二级指标	最高 分值	指标 类型	评分标准	
	名称				
(31 分)				可再生能源使用比例 $\geq 60\%$ ，得 6 分	
				50% $\leq$ 可再生能源使用比例 $< 60\%$ ，得 5 分	
				30% $\leq$ 可再生能源使用比例 $\leq 50\%$ ，得 3 分	
				10% $\leq$ 可再生能源使用比例 $< 30\%$ ，得 2 分	
				可再生能源使用比例 $< 10\%$ ，得 0 分	
	航站楼综合能耗强度 ¹	8	约束性	$\text{综合能耗强度} = \frac{\text{航空枢纽综合能耗总量折标煤量}}{\text{航空枢纽建筑面积}}$	
				甲类机场	乙类机场
				综合能耗强度 ≤ 20 kgce/平米，得 8 分	综合能耗强度 ≤ 18 kgce/平米，得 8 分

¹ 《民用机场航站楼能效评价指南》（MH/T 5112），年旅客吞吐量高于 1000 万人次为甲类，年旅客吞吐量 50 万人次-1000 万人次为乙类。

一级指标	二级指标	最高 分值	指标 类型	评分标准	
	名称				
				20<综合能耗强度≤25 kgce/平米，得5分	18<综合能耗强度≤21.5 kgce/平米，得5分
				25<综合能耗强度≤30 kgce/平米，得3分	21.5<综合能耗强度≤25 kgce/平米，得3分
				综合能耗强度>30 kgce/平米，不得分	综合能耗强度>25 kgce/平米，不得分
	单位旅客碳排放 ²	4	约束性	机场单位旅客吞吐量二氧化碳排放<0.43kg/人次，得4分	
				0.43kg≤机场单位旅客吞吐量二氧化碳排放<0.459kg/人次，得2分	
				机场单位旅客吞吐量二氧化碳排放>0.459kg/人次，不得分	

² 根据《“十四五”民航绿色发展专项规划》中“十四五”时期民航绿色发展主要指标的机场单位旅客吞吐量二氧化碳排放指标确定。

一级指标	二级指标	最高 分值	指标 类型	评分标准
	名称			
	单位旅客能耗	4	约束性	机场单位旅客吞吐量能耗 $<0.853\text{kgce/人次}$ ，得 4 分
				$0.853\text{kgce}\leq$ 机场单位旅客吞吐量能耗 $<0.948\text{kgce/人次}$ ，得 2 分
				机场单位旅客吞吐量能耗 $>0.948\text{kgce/人次}$ ，不得分
	供热供冷系统	3	约束性	设备满足国家现行有关标准的节能评价值的要求，得 3 分。
	照明设施	3	约束性	照明功率密度值达到现行国家标准《建筑照明设计标准》GB50034 规定的目标值，得 2 分；
				采光区域的人工照明随天然光照度变化自动调节，得 1 分
	碳排放强度降低	5	约束性	航空枢纽碳排放总量连续 3 年下降，且能源消费总量增速连续三年控制在 2%(含)以下，得 3 分
				连续三年单位旅客碳排放量指标位于夏热冬冷地区甲类机场前列，得 2 分。

一级指标	二级指标	最高 分值	指标 类型	评分标准
	名称			
节能降碳技术应用 (34 分)	新建成或改造完成的建筑 中绿色建筑(二星及以上评 级)比例 ³	4	预期性	航站楼执行高星级绿色建筑要求，航站楼获得二星及以上绿色建筑评级，得 2 分。
				其他建筑执行高星级绿色建筑要求，提高二星级及以上绿色建筑的比例要求，二星级及以上绿色建筑面积占总建筑面积的比例 $\geq 60\%$ ，得 2 分
	电动车充电设施覆盖	5	预期性	机场空侧场内充电设施与电动车辆设备的数量比不小于 1:3，得 2 分

³ 根据《绿色生态城区评价标准》(GB/T 51255)，当机场有多栋航站楼时，按建筑面积加权平均计算得分，绿色建筑应符合《绿色建筑评价标准》(GB/T50378-2014)和线性行业标准《绿色航站楼标准》(MH/T 5033)的规定。

一级指标	二级指标	最高 分值	指标 类型	评分标准
	名称			
				机场陆侧充电设施与配建停车位数量比不低于 1: 1.1, 得 3 分
	绿化覆盖率	5	预期性	机场绿化结合机场区域净空限制及鸟防要求, 优化植物搭配方式, 并开展多样化绿化, 总体绿地率 $\geq 35\%$, 得 5 分
				$30\% \leq \text{总体绿地率} < 33\%$, 得 3 分
				总体绿地率 $< 30\%$, 不得分
	新能源车辆使用比例	3	约束性	$10\% \leq \text{新能源车辆使用比例} < 30\%$, 得 1 分
				$30\% \leq \text{新能源车辆使用比例} < 60\%$, 得 2 分
				新能源车辆使用比例 $\geq 60\%$, 得 3 分
	机位辅助动力装置替代设施安装/应用情况	6	约束性	中型以上机场近机位 APU 替代设施覆盖率达到 100%, 得 3 分
				中型以上机场远机位 APU 替代设施覆盖率达到 50%, 得 3 分。

一级指标	二级指标	最高 分值	指标 类型	评分标准
	名称			
	储能技术应用	5	预期性	合理使用电化学储能、机械储能、水蓄能、电蓄能、冰蓄冷等蓄能或储能技术，得 5 分
	旅客公共交通保障率	3	预期性	45%＜旅客公共交通保障率≤55%，得 1 分
				55%＜旅客公共交通保障率≤65%，得 2 分
				旅客公共交通保障率＞60%，得 3 分
碳抵消实施 (20 分)	碳抵消比例	15	约束性	碳抵消比例为 100%，得 15 分
				碳抵消比例≥80%，得 12 分
				80%＞碳抵消比例≥60%，得 10 分
				60%＞碳抵消比例≥40%，得 7 分
				40%＞碳抵消比例≥20%，得 4 分
				20%＞碳抵消比例≥5%，得 2 分
				碳抵消比例＜5%，不得分

一级指标	二级指标	最高 分值	指标 类型	评分标准
	名称			
	碳抵消方式	5	预期性	碳汇量 = 面积 × 单位面积碳汇速率
				机场在通过降低能源消耗、使用可再生能源等内部减排措施来减少排放量的基础上，将剩余的无法避免的减排量通过购买碳汇的方式实现碳排放量的抵消，得 5 分

5.7.3 评价方法

- 1. 形成完整碳排放算与碳抵消材料，接受第三方认证机构审核评估。
- 2. 与认证机构签订许可协议，获得认证机构碳中和标签使用权利，实现碳中和。
- 3. 当航空枢纽总体碳排放量 ≤ 0 时，航空枢纽实现碳中和或产生碳汇。

5.7.4 评价结果

按照评分结果对供应链进行分级，判断航空枢纽的碳中和建设进程。

表 2 航空枢纽碳中和核心指标评价结果分级

碳中和 进程分级	一级	二级	三级	四级	五级
评分及航空枢纽碳中和建设进程评价	评分 ≤ 20 ，代表航空枢纽处于碳中和初级水平	20<评分 ≤ 40 ，代表航空枢纽处于碳中和中等偏低水平	40<评分 ≤ 60 ，代表航空枢纽处于碳中和中等水平	60<评分 ≤ 80 ，代表航空枢纽处于碳中和较高水平	80<评分 ≤ 100 ，代表航空枢纽处于碳中和高水平

只有当航空枢纽评价结果为三级及以上等级时，方可在开展碳中和认定与评价后，通过购买碳信用或者开发碳汇的方式实现碳中和。

5.8 航空枢纽碳中和路径技术措施

5.8.1 碳中和实施计划的制定与发布

根据碳排放核算结果，制定航空枢纽碳中和管理计划并形成文件，包括但不限于：

- 排放源清单；
- 对航空枢纽碳中和承诺的陈述；
- 实现碳中和的时间表；

- 与航空枢纽碳中和时间表相对应的减排目标；
- 计划实现和维持温室气体减排的措施；
- 碳中和抵消方式等。

为实现碳中和目标，航空枢纽应至少每隔 12 个月更新一次碳中和管理计划。

5.8.2 碳减排实施

5.8.2.1 制定碳减排计划

提出航空枢纽碳减排行动的主要内容，策划并实施减少碳温室气体排放或增加温室气体清除的行动。执行过程中对直接行动所实现的排放或清除的变化予以量化，并针对直接行动形成报告文件，内容包括但不限于：

- 对减排行动的说明；
- 减排行动的空间和时间范围；
- 温室气体排放和清除的量化方法；
- 对减排行动所产生的温室气体排放或清除的变化的确定，以及它们属于何种排放或清除（直接、间接、其他类型）。

5.8.2.2 实施碳减排行动

减排行动可包括下列类型：

- 对航空枢纽能源需求和使用管理；
- 提高航空枢纽整体运行能效；
- 在航空枢纽内采用减排技术或使用先进设备；
- 温室气体的捕获和贮存；
- 燃料转换或替代；
- 植树造林。

5.8.3 剩余温室气体抵消

5.8.3.1 抵消要求

航空枢纽应在实施减排行为后协调抵消温室气体减排所需的碳抵消信用额，确定实现碳抵消所用的标准和方法论并形成文件报告，从而实现碳中和状态。

5.8.3.2 抵消原则

在任何情况下，抵消所采用的方法论和类型均应符合以下原则：

产生的信用额度或返还的补偿信用额应代表其他地方真正的、额外的温室气体减排量；

交易抵消额中涉及的项目应满足额外性、永久性、泄露性和重复计算性等准则；

碳信用应当由独立的第三方核查机构进行核查；

碳抵消项目的信用额，应在实现与抵消项目相关的减排后方可发行；

除活动以外的碳抵消项目的信用额度应在实现声明公布之日起的 12 个月内撤销。对于活动，撤销期应尽量缩短，不应超过 36 个月。

碳抵消项目的信用额应由签发主体公开可用的项目文档或同等公开记录予以支持，其中应提供信息包括抵消项目、量化方法学以及审定和核查程序。

5.8.3.3 抵消类型

通过购买碳信用实现碳抵消，如：购买绿证，购买自愿减排量（CER）、中国核证自愿减排量（CCER）、重庆“碳惠通”项目核证自愿减排量（CQCER）等，航空枢纽宜优先考虑通过购买 CQCER 实现碳抵消。

5.8.3.4 文件报告要求

航空枢纽应编制能证实碳抵消文件，其中包括但不限于：

——被抵消的温室气体排放种类；

——实际碳抵消的数量；

- 抵消类型和所涉及项目；
- 确认所用的碳抵消方案符合抵消原则；
- 所用碳抵消信用额的数量和类型，以及产生信用额度的时间段和撤销日期；
- 关于碳抵消信用额的撤消/取消的相关信息。

5.8.4 碳中和声明

5.8.4.1 一般要求

航空枢纽应作出符合要求的声明，并予以公布。声明需明确日期并由航空枢纽法定代表人或高级别领导签署。航空枢纽作出符合本文件要求声明时，应满足本文件中所有规定。

5.8.4.2 碳中和认证

对于试图证明其声明已按本文件要求进行独立审定的航空枢纽，应接受独立第三方认证机构的评定，这些机构能证明其具有（或已达到）必要的知识和专长，以便按本规范的要求开展评定和认证。

航空枢纽可采用自我审定的方式，自我审定时应确定并能证明实现碳中和所采取的量化和行动符合本文件要求。

5.8.4.3 声明要求

根据本文件作出的声明应以适当形式进行披露，内容包括但不限于：

明确地确定声明的主体边界；

明确地确定负责作出声明的实体；

合格日期和应用周期；

声明提出依据的规范和技术文件；

合格解释性陈述相关的唯一参考资料（可免费且方便地获得所有支持证据）。

5.8.5 维持碳中和状态

碳中和承诺声明的最长有效期应为 1 年，此后，合格条件和行动应重新审定，并相应地更新合格日期。如发生任何导致声明失效的变更或事件，实体应采取纠正行动，并使之在三个月内生效，以恢复其有效性，或者撤销此声明。一旦声明失效，实体应立即清除与标的物相关联的所有声明和有关碳中和的合格解释性陈述，直到其能重新被证明与本文件一致。

6 指南实施建议

6.1 重庆江北国际机场—枢纽型机场

6.1.1 政策与规划体系强化

重庆江北国际机场作为枢纽型机场的代表，需率先构建国际国内协同的碳中和政策框架。在国际合规方面，建立 CORSIA 与 EU-ETS 双轨制核算体系，开发基于区块链的 MRV 数字化平台，实时监测航班碳排放，并优化碳配额动态管理。同时，推动国产 SAF 通过国际认证，2025 年前实现混掺比例 $\geq 10\%$ ，并配套建设专用加注设施与差价补贴机制。在国内政策方面，将可再生能源占比($\geq 15\%$)、APU 替代率($\geq 90\%$)等关键指标纳入四型机场考核体系，与航线时刻、财政补贴直接挂钩，确保政策落地实效。

6.1.2 技术创新与能源优化

机场碳中和的核心在于能源结构转型与低碳技术应用。在可再生能源方面，重点建设航站楼屋顶光伏（功率密度 $\geq 100 \text{ W/m}^2$ ）和跑道隔离带低眩光光伏阵列，配套 20 MWh 储能系统，提升能源自给率。同步推进氢能示范，试点氢燃料摆渡车与绿氢加注站，实现年减排 ≥ 5000 吨。在电能替代方面，2025 年前完成桥载设备（GPU/PCA）全覆盖，空侧作业车辆电动化率 $\geq 50\%$ ，并应用 4D 航迹优化技术，降低航班碳排放。此外，部署 TaxiBot 无动力拖车和智能机位分配算法，减

少地面燃油消耗 20%以上。

6.1.3 碳抵消与长效保障

为确保碳中和目标达成，需建立多元化的碳抵消与资金支持机制。在碳汇增补方面，种植乡土树种（覆盖率 $\geq 40\%$ ），建设机场碳汇林，年固碳 ≥ 5000 吨，并开发 CCER 项目，通过碳交易实现减排收益。在资金保障方面，申请央行碳减排支持工具，争取绿色信贷（年融资 ≥ 10 亿元，利率下浮 10-20BP），专项用于微电网、SAF 设施等项目建设。同时，设立民航绿色技术实验室，推动 SAF、氢能等关键技术研发，年孵化中试项目 ≥ 5 项，形成“政策-技术-金融”三位一体的长效支撑体系。

6.2 万州五桥机场、黔江武陵山机场—区域型机场

6.2.1 政策机制与考核体系优化

针对区域型机场特点，本指南提出差异化的政策实施路径。在碳排放管理方面，采用轻量化 MRV（监测-报告-核查）方案，通过对接机场现有能源管理系统和航班运行数据平台，实现核心排放源的自动化数据采集。同时，充分利用重庆市“碳惠通”平台资源，优先采购本地林业碳汇和分布式光伏等 CCER 项目，确保年碳抵消量不低于机场总排放量的 15%。考核机制上，重点聚焦可再生能源使用比例（ $\geq 30\%$ ）和地面设备电动化率（ $\geq 50\%$ ）两大核心指标，采用“季度自查+年度第三方核查”的双重验证模式，目标考核总分 ≥ 60 分（较高水平），单位旅客能耗控制在 0.853 kgce 以下。

6.2.2 能源转型与地面运行减碳

能源结构优化方面，重点推进跑道隔离带光伏项目（装机 ≥ 5 MW）建设，采用单轴跟踪技术提升发电效率，并创新性配套智能灌溉系统，实现“光伏发电+碳汇林养护”协同管理。同步完成航站楼屋顶轻质光伏组件（功率密度 ≥ 80 W/m²）部署，与高效地源热泵系统（COP ≥ 4.0 ）组成智能微电网。地面运行环节，尽快

实现桥载设备（GPU/PCA）100%覆盖，并通过智能调度系统与航班计划联动；特种车辆全面电动化，配置快充站（充电功率 $\geq 120\text{kW}$ ）和换电站网络。同时，构建“空铁联运”绿色交通体系，实现“高铁+航班”一票通服务和无缝换乘（步行 ≤ 5 分钟），配套新能源接驳车完成“最后一公里”零碳接驳。

6.2.3 碳汇增补与智慧化管理

碳汇建设突出本土化特色，优选香樟、楠木等乡土树种构建碳汇林，配套无人机巡检和土壤墒情监测系统，实现精准养护（年固碳 ≥ 3000 吨）。建筑立面垂直绿化选用爬山虎、常春藤等攀援植物，兼顾碳吸收（ $\geq 1.5\text{kg/m}^2/\text{年}$ ）和建筑节能双重效益。智慧化管理方面，部署能源物联网（EIOT）平台，实时监控能源系统运行状态（负荷预测误差 $\leq 8\%$ ），并接入重庆市“碳惠通”平台实现碳资产自动化管理。

6.3 巫山神女峰机场、仙女山机场—旅游支线机场

6.3.1 总体定位与实施路径

巫山神女峰机场、仙女山机场作为生态旅游型支线机场，应充分发挥重庆山地生态资源优势，构建“低碳运营+生态碳汇”双轮驱动模式。短期（1-3年）重点推进低成本、高效益的设施改造与碳汇项目；中期（3-5年）深化可再生能源应用与智慧管理；长期（5年以上）探索氢能等前沿技术。考核目标设定为碳抵消比例 $\geq 60\%$ 、绿化覆盖率 $\geq 35\%$ ，并允许年度碳排放波动 $\leq 15\%$ 以适应旅游淡旺季差异。

6.3.2 核心措施与技术创新

巫山神女峰机场和仙女山机场将构建“三位一体”的碳中和实施体系：在生态碳汇方面，通过修复退化湿地、建设航站楼立体绿化和外围碳汇林，形成系统化的碳汇网络；在低碳设施方面，全面升级航站楼绿色建筑标准，推广电动化地面设备和智能垃圾处理系统；在智慧管理方面，部署物联网监测平台、优化航行程

序并实现碳数据实时核算。这三个维度相互支撑、协同推进，其中生态碳汇重点提升自然固碳能力（湿地修复碳汇能力 $\geq 1.2\text{t CO}_2$ /亩/年，立体绿化碳吸收 $\geq 2.5\text{kg/m}^2$ /年），低碳设施着重降低运营碳排放（航站楼 100%达绿色建筑二星标准，电动摆渡车续航 $\geq 200\text{km}$ ），智慧管理则通过数字化手段提升整体能效（可再生能源占比 $\geq 30\%$ ，航线距离缩短 5%-8%），共同确保碳中和目标的实现。

6.3.3 政策保障与实施机制

为确保碳中和目标的顺利实现，巫山神女峰机场和仙女山机场将构建多元化的保障体系：首先积极参与碳市场建设，通过申报湿地修复和碳汇林 CCER 项目实现碳资产变现，同时创新性开发旅游碳普惠机制，将旅客低碳行为转化为可交易的碳积分；其次拓宽资金渠道，申请重庆市绿色信贷（利率优惠 10%-15%）并争取纳入气候投融资试点项目库，为碳中和项目提供资金保障；最后强化区域协同发展，通过与巫山-仙女山国家森林公园的生态联动、联合重庆大学开展 PtL 合成燃料等技术研发，以及推出“碳中和航班”等特色产品，形成政产学研用多方协同的可持续发展格局。

7 标准征求意见及处理情况

7.1 征求意见及处理概况

7.2 反馈意见内容及处理情况

反馈的意见主要分为三种类型，修缮技术细节、优化文本表述和规范文本格式。

7.3 未采纳、部分采纳意见及理由

参考文献

- [1]Yan, Zichun, et al. Does international coordinated industrial policy stimulate regional low-carbon aviation development? Evidence from CORSIA and the APEC developing economies. *Energy Economics* 143 (2025): 108220.
- [2]Pechstein J, Bullerdiek N, Kaltschmitt M. A book and Claim-Approach to account for sustainable aviation fuels in the EU-ETS–Development of a basic concept[J]. *Energy policy*, 2020, 136: 111014.
- [3]Smith J R, Mastorakos E. An energy systems model of large commercial liquid hydrogen aircraft in a low-carbon future[J]. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2024, 52: 633-654.
- [4]任文荭.国际航空碳排放法制体系构建对中国的启示——以欧盟和 CORSIA 为例[J].*航空法评论*,2024,(00):305-322.
- [5]王林.欧盟第二个碳交易市场今年试运行[N].*中国能源报*,2025-03-17(005).2025.000279.