

2026 绿色航空智能制造交流会

6月27-28日，苏州

《绿色航空制造业发展纲要 (2023-2035年)》解读

孙侠生

上海交通大学航空航天学院

发布电动飞机白皮书、出版绿色航空技术研究成果



2019年8月第四届中国航空科学技术大会，沈阳



2022年12月中国航空研究院创建60周年

航空科技国际交流与合作推动了绿色航空技术的创新发展



- AEROCHINA
- AEROCHINA2

- GRAIN、MARS、COLTS
- GRAIN2、DRAGY、IMAGE、EMUSIC、ECO-COMPASS

- INNOVATE-ICARe
- ALTERNATE、GREaT

- IntAct

2005

2010

2017

2022

围绕**航空多物理技术**，开展交流平台项目合作，研究领域涵盖：航空多物理问题的数学建模、计算机仿真和代码确认、试验测试和设计方法、空气动力学、结构和材料、流体力学、气动声学、主动流动控制、气动弹性等**基础技术**。

围绕**绿色航空**，开展交流平台和技术研究合作，研究领域涵盖：发动机减排、减阻、降噪、绿色环保材料、健康监测、高性能计算等**绿色航空关键技术**。

围绕**绿色、智能、安全**的共同愿景，开展交流平台和技术研究合作，研究领域涵盖：先进飞行器、先进推进技术、先进机载系统、结构和材料、先进空中交通管理、飞行安全与运营、绿色替代燃料等，**合作领域不再是传统学科，而是转向到航空运营和绿色燃料等绿色航空领域**。

围绕**绿色航空、数智航空**的大趋势，支持中欧双方在复合/智能材料、面向未来的工程方法和技术、机载共性技术、新构型和优化技术等**绿色发展领域**开展交流，寻求技术合作。

提 纲

- 一、《纲要》发布的时代背景
- 二、核心内容深度解读
- 三、竞争格局与定位
- 四、建议与展望

01

《纲要》发布的时代背景

贯彻新发展理念：创新、协调、绿色、开放、共享

2020年9月政府郑重承诺，将力争2030年前达到二氧化碳排放峰值，努力争取2060年前实现碳中和。

	碳排放峰值时间	实现碳中和	从峰值到中和的时间
欧洲	上世纪70年代末、80年代初	2050年	70年左右
美国	2005年左右	2050年	50年
中国	2030年前后	2060年	30年

我国用更短的时间内实现从峰值到碳中和，碳排放下降的速度和减排的力度要比发达国家大得多，形势严峻、富有挑战。

《国际航空》2021年第9期，P. 55，孙侠生，面向全球共同挑战，迎接绿色航空发展

政府工作报告对“双碳”目标提出的要求

自2020年我国向国际社会作出碳达峰、碳中和承诺以来，每一年的政府工作报告都会对“双碳”工作提出要求、作出安排，为分计划、有步骤实现“双碳”目标提供了持续动力。

- ⇒ 2021 年 “**扎实做好**碳达峰、碳中和各项工作”：全面启动，完成顶层设计与基础制度搭建；
- ⇒ 2022 年 “**有序推进**碳达峰碳中和工作”：明确发展原则，规范转型节奏，防范盲目冒进；
- ⇒ 2023 年 “**稳步推进**节能降碳”：立足能源安全，以节能降碳为核心抓手；
- ⇒ 2024—2026 年统一采用 “**积极稳妥推进**碳达峰碳中和”：成为长期工作基调，工作重心从制度建设转向场景落地、产业升级、量化管控，实现常态化、体系化推进。

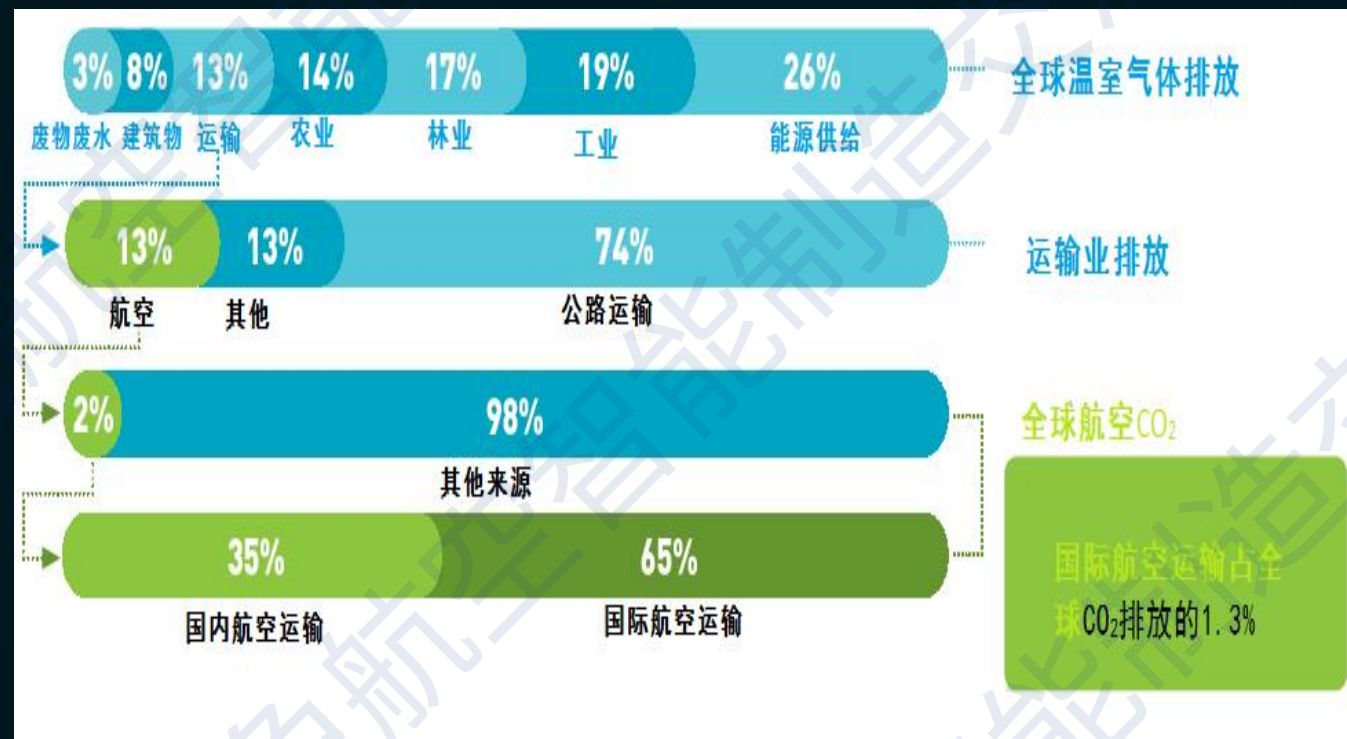
APEC2025：构筑可持续明天—连接、创新、繁荣

2025年11月1日，习近平出席亚太经合组织第三十二次领导人非正式会议，发表题为《**共同开创可持续的美好明天**》的重要讲话。坚持绿色低碳，加强绿色发展战略对接，加快推动发展方式绿色低碳转型，**积极应对气候变化**，中国宣布**碳达峰碳中和**目标以来，提交了应对气候变化2035年国家自主贡献目标，将全面实施碳排放总量和强度双控制度。



航空业发展对环境带来的冲击

按照国际民航组织（ICAO）的报告，航空运输的温室气体排放占到所有温室气体排放的2%。虽然占比很小，但航空业的增长速度以及航空排放的特殊性，使得航空排放对人为辐射强迫的总影响达到了3.5%。



数据来源：《IPCC Special Report, Aviation and The Global Atmosphere, 1999》，IPCC（联合国政府间气候变化专门委员会）

《绿色航空制造业发展纲要（2023-2035年）》

2023年10月1日，工业和信息化部、科学技术部、财政部、中国民用航空局四部门联合印发《绿色航空制造业发展纲要（2023-2035年）》，旨在贯彻落实党的二十大精神，完整、准确、全面贯彻新发展理念，抢抓航空动力变革新机遇，加快培育航空产业新业态。



以工信部联重装[2023]181号发布。

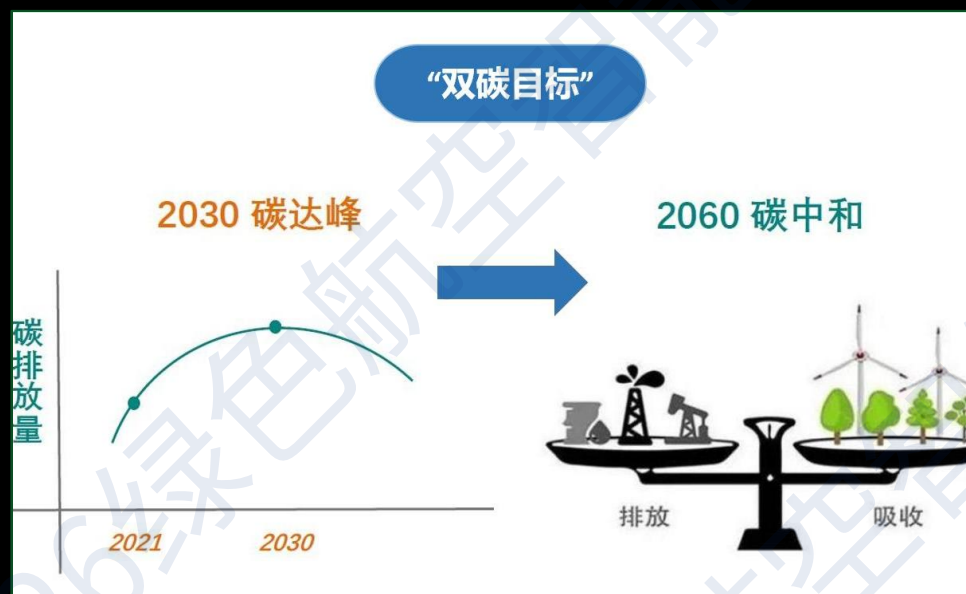
纲要主要由：发展背景、总体要求、发展路径、主要任务、组织实施等五部分组成。

02

核心内容深度解读

《纲要》核心：“双碳”目标下的制造业转型

在国家“2030年前碳达峰、2060年前碳中和”的战略目标指引下，《纲要》把推动制造业**高端化、智能化、绿色化**发展成为核心任务，航空制造业作为战略高技术产业，其绿色转型更是重中之重。



从2030碳达峰到2060碳中和的路径规划，展现了我国在应对气候变化、推动产业绿色转型上的坚定决心与科学布局。

产业升级：破解航空制造绿色瓶颈

传统航空制造能耗高、排放大，绿色化转型不仅是提升国产民机经济性与环保性的关键，更是突破国际市场准入壁垒、增强竞争力的必然要求。

技术变革：多领域融合赋能转型

AI、新能源与新材料的深度融合带来历史性机遇；我国在电动汽车、可再生能源领域的技术积淀，为航空动力变革和运营模式创新提供了坚实支撑。

战略指引：构建自主绿色制造体系

《纲要》明确了发展重点，聚焦电动航空、氢能航空等新赛道培育新质生产力，致力于打造完整、先进、安全的产业链体系，提升产业韧性。

《纲要》的总体要求：指导思想

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻落实党的二十大精神 and 习近平生态文明思想，立足新发展阶段，完整、准确、全面贯彻新发展理念，加快构建新发展格局，紧扣实现碳达峰、碳中和目标，以航空产业高质量发展为主题，以技术变革、动力变革、运营体系变革为主线，统筹推进绿色航空制造业创新体系、产业体系、示范应用体系和服务保障体系建设，培育航空产业绿色发展新业态，打造航空制造业绿色发展新动能，为制造强国、航空强国建设提供有力支撑。

《纲要》的总体要求：基本原则

- **坚持市场主导、政府引导。**充分发挥市场在资源配置中的决定性作用，突出企业主体地位，加强产学研用深度融合，积极探索新能源航空器的商业化路径。
- **坚持创新引领、融合发展。**准确把握绿色航空创新发展方向，聚焦前沿领域，加强新技术、新模式探索和验证，推进数字化、智能化、绿色化融合发展，加强国内外协同合作。
- **坚持统筹布局、系统推进。**统筹好绿色航空发展的当前和长远、宏观和微观。系统推进航空制造业转型升级、产品供给、产业化发展、服务支持保障，实现绿色航空制造业发展质量、结构、规模、效益、安全相统一。

《纲要》发展目标：两步走战略（2025、2035）

《纲要》提出了清晰的“两步走”发展目标，勾勒出中国绿色航空制造业的发展蓝图，明确了从技术积累、示范应用到体系建成、主流引领的发展路线。

01 / 第一阶段 (至2025年)：奠定基础，示范引领

国产民用飞机节能、减排、降噪性能进一步提高，绿色航空制造水平全面提升，绿色航空产业发展取得阶段性成果，安全有效的保障体系基本建成，为后续发展筑牢根基。

SAF示范应用

可持续航空燃料在国产民机上实现示范运行，验证技术可行性。

电动航空商用

电动通航飞机投入商业应用，eVTOL完成试点运行，积累运营经验。

氢能技术验证

完成氢能飞机关键技术可行性验证；夯实绿色航空基础设施，形成标准规范和公共服务平台。

02 / 第二阶段 (至2035年)：体系建成，主流引领

建成具有完整性、先进性、安全性的绿色航空制造体系，新能源航空器成为发展主流，整体技术水平和产业竞争力达到世界前列。

世界一流民机水平

国产民用大飞机在安全性、环保性、经济性、舒适性上全面对标并达到世界一流水平。

新型通航规模化应用

无人化、电动化、智能化的通用航空装备实现商业化、规模化应用。

核心路径：从单点技术突破到全产业链协同，最终实现绿色航空产业的全面提升与可持续发展！

SAF在C909和C919飞机上示范应用

- SAF（可持续航空燃料）：以餐余废油等为原料，全生命周期最高减碳约80%；国产两机型均已完成演示飞行+商业试点/绿色交付，发动机兼容最高 50% SAF 掺混（当前商用统一用5% SAF+95% 航煤）

C919：首次 SAF 演示飞行

时间：2024-06-05

地点：山东东营

掺混比例：5% SAF（餐余废油制生物航煤）

组织：中国商飞，民航局适航批准

首次 SAF 商业飞行（全球瞩目）

时间：2024-09-19

航班：东航 MU9192（北京大兴→上海虹桥）

机型：C919，载客 129 人

掺混：5% 国产 SAF



C909：首次 SAF 演示飞行

时间：2024-06-05（与 C919 同日）

地点：上海浦东

掺混：5% SAF

全球首架 SAF 绿色交付 C909

时间：2024-12-18

交付：浦银金租 → 华夏航空

特点：5% SAF加注交付飞行，国产民机首例“绿色交付”

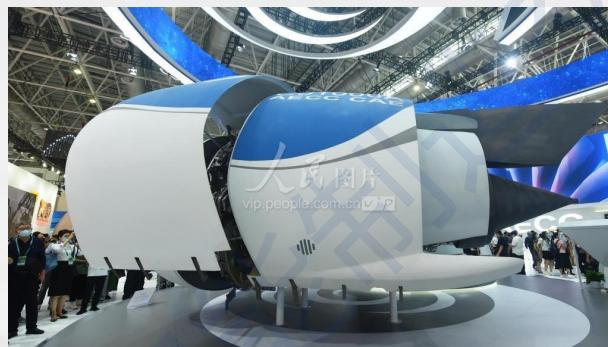
三大发展路径之一：“绿色+” 助推民机产业升级

该路径聚焦现有及未来国产民机（C909、C919）的持续绿色化改进，持续提高国产民用飞机经济性和环境友好性；加快航空绿色制造体系建设，完善绿色航空技术/路径全生命周期管理，推动全产业链碳排放足迹评估，加强可持续航空燃料在国产民用飞机和发动机上的应用验证。



整机绿色化示范

以C919、C929为载体，系统性整合绿色技术，减重、减租、降噪和增升，C919复合材料用量约12%，C929目标超50%，大幅提升燃油经济性与环保性能。



高效发动机突破

对标国外发动机先进技术，通过提升涵道比与热效率，降低燃油消耗，是实现民机减排的核心动力支撑。



材料革新与系统优化

碳纤维复合材料实现结构大幅减重，气动优化与多电/全电化系统，严格的适航标准、完善的包线设计、严格的正向设计以及严苛的试验验证。

三大发展路径之二：开辟电动航空新领域

聚焦城市空运（UAM）、应急救援、物流运输等应用场景，加快eVTOL、轻小型固定翼电动飞机、新能源无人机等创新产品应用，形成以典型场景为导向的电动航空器供给能力、运营支持能力和产业化发展能力，旨在突破传统空域限制，**打造低空经济新的增长极，构建便捷高效的立体交通网络，由小到大开展新能源商用飞机预先研究。**



亿航智能EH216-S：全球首个获得适航认证的无人驾驶载人eVTOL，适用于城市内短途点对点运输，已在多个城市开展商业化运营示范。



峰飞航空盛世龙：大载重、长航程的倾转旋翼eVTOL，兼顾垂直起降与高速巡航，在城际物流、应急救援领域展现出极强的应用潜力。



技术融合突破

整合航空与无人机技术，实现低空、低速、垂直起降，产业链日趋完善。



多元场景应用

轻小型固定翼飞机成熟应用于短途通航、飞行培训，覆盖全链路低空场景。



关键系统支撑

攻克高密度动力电池、高功重比电推进及高可靠飞控技术三大核心难关。

三大发展路径之三：布局氢能航空等新赛道

积极布局氢能航空关键技术研发，加快储氢装置、动力装置等核心关键技术攻关，开展适用于氢能源飞机的新型结构布局研究，打通与氢能源产业上下游协同创新的技术应用模式，围绕氢能航空未来发展趋势，探索商业化氢能源飞机运营体系新模式，构建可持续航空的长远发展基石。

01 氢动力系统：双技术路线并行

核心包含氢燃料电池（化学反应高效产电驱动电机）与氢内燃机/氢涡轮发动机（直接燃烧氢气做功）两大方向，是实现氢能航空的动力基础。

02 储氢技术：商业化的关键瓶颈

氢气低密度特性带来挑战，气态储氢能量密度低，液氢则需超低温（-253℃）环境，其存储容器、加注设施与安全管控是目前亟待突破的核心难题。

03 新型布局：突破传统机身设计

为容纳体积庞大的储氢罐，需采用翼身融合（BWB）等非常规气动布局，兼顾燃料存储空间与飞行效率，推动飞机构型的革命性升级。



翼身融合概念验证

空客ZEROe氢动力概念机采用翼身融合布局，最大化利用机身空间存储氢气，为未来氢能客机提供了可行的构型参考。



核心动力技术突破

国内兆瓦级氢燃料航空发动机测试成功，验证了氢涡轮发动机路线的可行性，为航空动力零碳化转型奠定了坚实的技术基础。

2026年4月中国航发动研所

四大主要任务：构建完整生态系统（ECO-System）

《纲要》围绕技术、产业、应用、保障四个关键维度部署了十二项核心任务，设置了绿色航空技术创新工程、绿色航空创新应用试点示范工程、绿色航空标准与适航符合性验证体系建设工程等3个专栏，形成了环环相扣、逻辑严密的完整生态系统，为行业高质量发展提供了全方位指引。



01. 构建协同高效的绿色技术创新体系

加速发展混合动力推进系统，不断提升干支线飞机、通用飞行器节能减排降噪水平，聚焦电池、电推进、氢动力等核心技术攻关，专栏1，建立产学研用深度融合的创新机制，突破关键技术瓶颈，加强专业人才培养，为绿色航空发展提供坚实的技术支撑。



02. 构建开放融合的绿色航空产业体系

大力发展航空绿色制造，构建安全高效、自主可控的现代化产业链供应链，深化绿色国际交流合作，鼓励企业面向绿色航空发展，积极“引进来”、“走出去”，推动形成具有全球竞争力的绿色航空产业集群。



03. 构建市场导向的绿色示范应用体系

推动新能源航空器在特定区域开展应用试点，专栏2，积极推进可持续航空燃料（SAF）在国产民机上的试点应用，以市场需求引导技术迭代和产业升级。



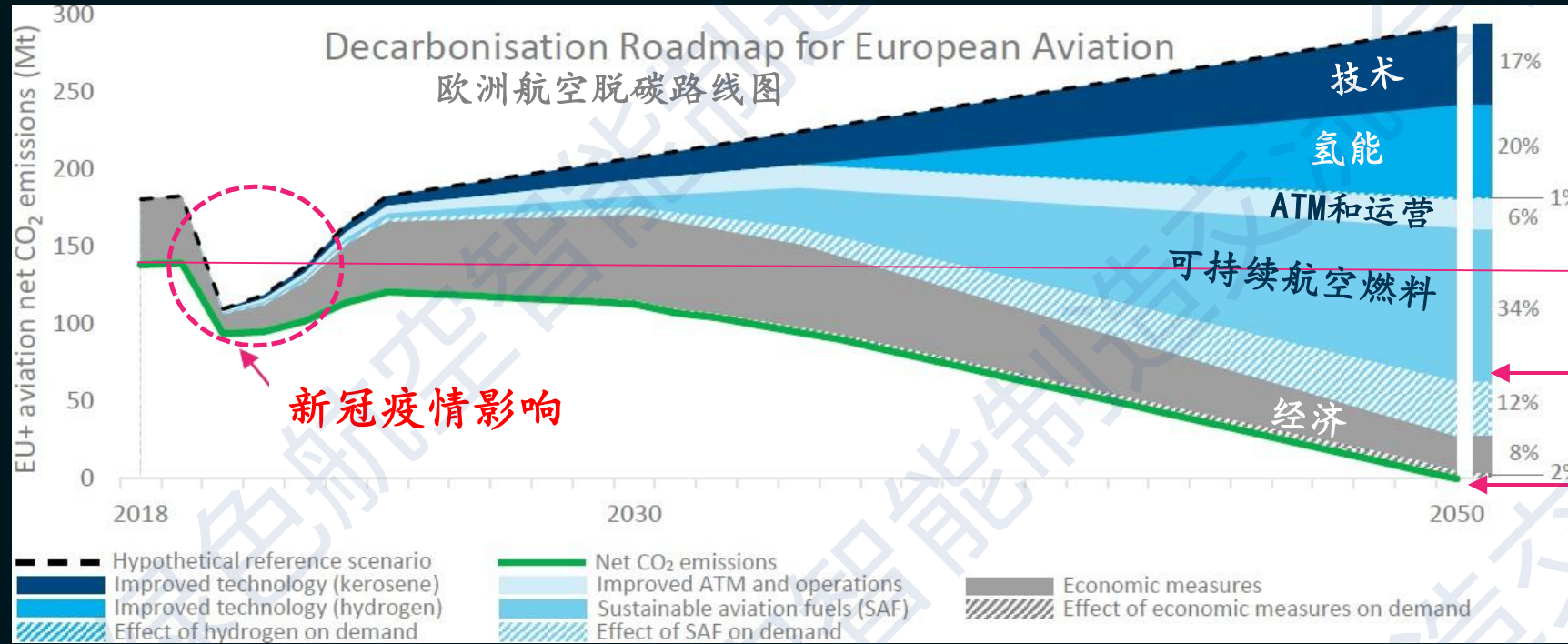
04. 构建安全有效的服务保障体系

加快绿色航空工业标准法规、适航审定体系建设，专栏3，强化全流程安全监管，完善充电、加氢等地面基础设施布局，筑牢行业发展的安全与运行基石。

03

竞争格局与定位

航空与气候变化 (Aviation and climate change)



碳中和增长

温室气体减排50%

温室气体零排放

在不同技术路线下的航空二氧化碳减排归集 [根据EU Destination 2050²改编]

¹D.S. Lee et al – The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018, Atmospheric Environment, 2020.

²NLR – Destination 2050: A Route to Net Zero European Aviation, 2021

可持续航空国家联盟-SFNP

- 2021年9月，NASA建立了涵盖美国工业界和学术界的可持续航空国家联盟。
- 联盟通过与FAA合作，力图实现下一代飞机的能效提升25%-30%，100%使用替代燃料和航迹全面优化。
- 预计于2026年后开展飞行试验。

可持续航空
全尺寸验证机
(波音下一代
单通道客机)

跨音速飞机的桁架式支撑机翼

高功率混动核心机

电推进(关键技术、概念设计、研究设施)

兆瓦级电动飞行动力系统飞行验证

高效率复合材料制造

空中交通管理

可持续替代燃料研究

DLR制定零排放航空战略

- DLR表示，从中期来看，直接使用氢气为燃料将适用于支线和短途航线，当前应加快对如何安全可靠地使用氢气等问题的研究，为其未来5年在商业飞机上的使用做好准备。在可预见的未来，电池和氢燃料电池将只适用于小型和支线飞机，需要对高效电动马达、电池和燃料电池进行更多的研究，并在未来5年内应用于商业飞机。
- DLR的研究还包括如何优化飞行路线以减少对气候的影响，非二氧化碳排放物，如飞行尾迹的凝结云，占航空业对气候影响的三分之二。
- 该战略下的另一个关键研究领域是数字化和虚拟化的开发与认证。DLR的目标是通过设计、生产和运营的持续数字化，将新技术的上市时间减半。这将减少开发成本和风险，并使整个航空业在气候影响和经济效率方面得到优化。DLR还指出，其目标是成为一个能够设计和提供未来产品的虚拟OEM。

国际巨头战略对比：空客 vs. 波音



氢能优先战略

Airbus: ZEROe 零排放愿景

将技术赌注押注于氢能，通过ZEROe项目积极探索氢燃料电池和氢涡轮发动机技术，目标是在2035年推出首款零排放商用飞机。这是一条技术更超前、长期潜在回报更高的绿色转型路线（Revolutionary Road）。



SAF优先战略

Boeing: 可持续航空燃料路径

认为SAF是实现2050年净零排放最可行、可扩展的路径。战略核心聚焦于推动现有飞机与100% SAF的兼容性改造，并大力投资和推广SAF供应链建设，是一条更务实、渐进的落地路线（Evolutionary Road）。



战略启示：超前技术探索与务实渐进落地并非互斥，而是航空业绿色转型的一体两面，地域不同、理念不同、侧重有异，为行业可持续发展与技术需求引领提供了宝贵的多元化实践样本。无论氢能还是SAF都面临许多技术突破和提高产能、降低成本的核心问题。

绿色赋能航空制造 低碳共建产业生态

中国商飞正系统构建“绿色飞机、绿色家园、绿色供应链”三位一体发展格局。绿色飞机是低碳发展的核心载体，要坚持源头减碳、科技赋能，打造高效环保的国产精品机型。**前瞻布局可持续航空燃料（SAF）与新能源飞机领域**，为绿色航空积蓄持久动能。



紧扣“双碳”目标，推动生产制造向智能化、绿色化、融合化转型。绿色供应链是低碳发展的重要支撑，要坚持链主引领、协同共进，构建安全可控的绿色产业生态。推广先进绿色工艺，携手构建协同降碳、互利共赢、开放共享的绿色产业生态。

战略机遇：市场、政策与产业链的三重驱动

依托全球第二大航空市场的广阔场景，叠加国家政策的强力护航，以及新能源、新材料领域的产业链积淀，为C919的绿色化迭代与商业化拓展筑牢了根基。

中国商飞举办第八届“绿色商飞日”

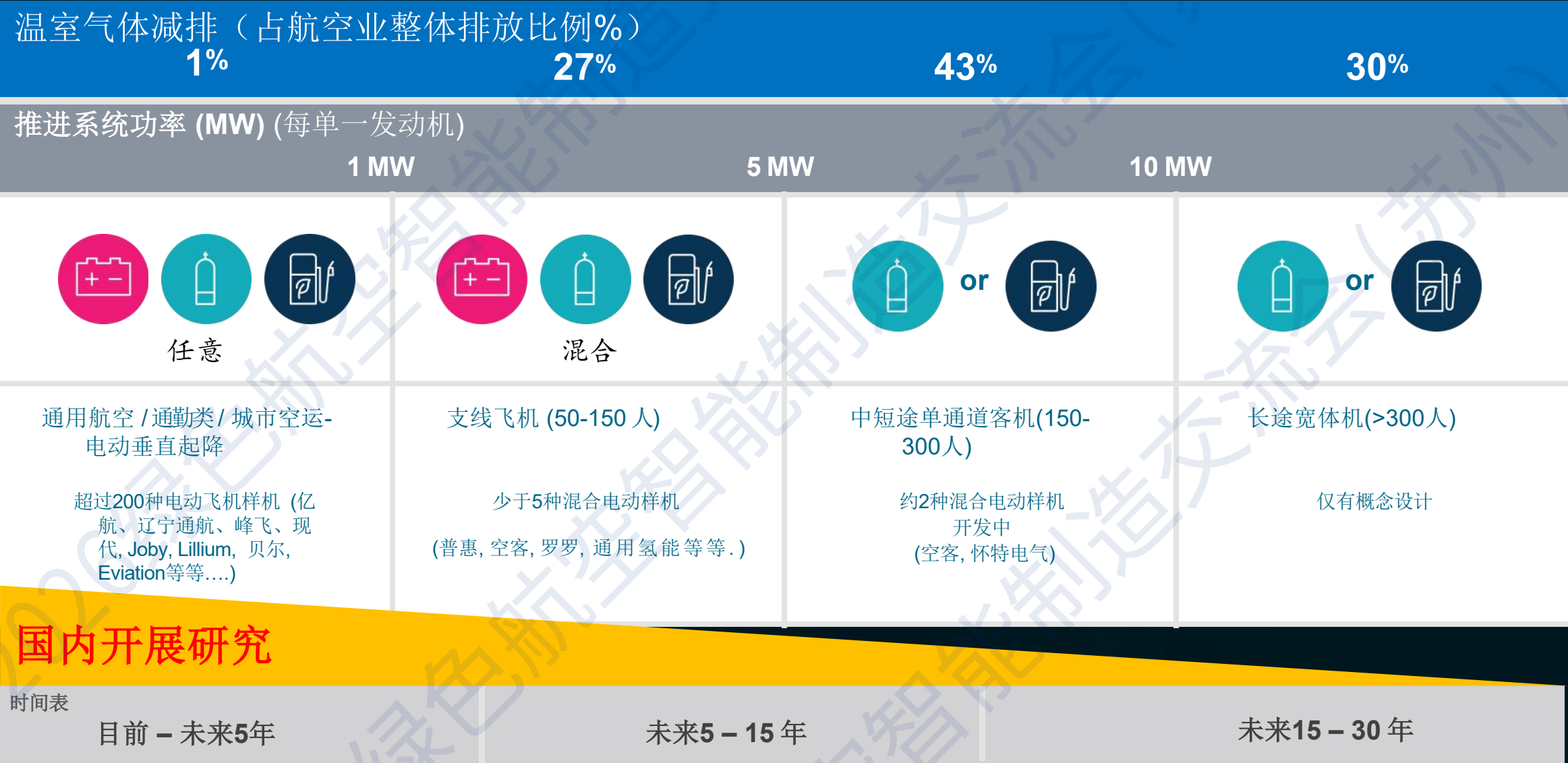
发布了《中国商飞绿色发展报告（2025）》，启动公司首个零碳车间，举行**可持续航空燃料联合创新研究与验证中心**揭牌仪式，推出大飞机绿色制造工艺推广共建倡议。

来自中国商飞官网

04

建议与展望

从产品研发的角度看零排放的实现（Zero E Realization）



构建新能源飞行器的生态系统 (ECO-System)



中国航空研究院
Chinese Aeronautical Establishment

- 罗罗、赛峰
- 辽宁通航



2020

运动飞机、教练飞机
Sports plane,
Trainer plane

- 乔比、百合
- 亿航、峰飞



2025

城市空运
AAM/UAM



2035

短程、支线飞机
Short-haul,
regional aircraft



- 空客、波音、GE
- **工业部门、研究院**布局规划



2050

中远程飞机
Medium and long
range aircraft



现有技术成熟度TRL

未来技术需求future technology requirements

电推进 Electric propulsion

混合动力推进 Hybrid propulsion

氢涡轮推进 Hydrogen turbine propulsion

取证应用
Certificate Application

全尺寸机验证
Full size
verification

系统级演示验证
System-level
demonstration and
verification

理论研究
Theoretical Research

建议与展望

- 加快《绿色航空制造业发展纲要（2023-2035年）》落地。细化两步战略、三大发展路径、四大任务；需要指出的是SAF、电动、氢能将在长时期内并存发展，各类方案将在通勤、短程支线飞机、中远程飞机等不同应用场景中发挥主导作用，建议增加对绿色航空技术和相关产业的持续稳定投入；
- 强化绿色航空产业链深度融合，构建可持续发展生态系统。绿色制造业将与新能源、新材料、大数据及人工智能等产业加速跨界融合，打破传统产业边界，发挥体制优势，催生全生命周期绿色管理、智慧能源服务等全新商业模式和产业生态系统；
- 绿色航空是航空利益相关者共同的挑战。零排放航空是航空利益相关者共同关注的热点问题，需要搭建绿色航空交流平台（IGAA），从技术发展创新、能源革新（H2、电动）、运营与基础设施改善、可持续航空燃料使用（SAF）、政策措施等多方面协同采取措施，共同开创可持续的美好明天！

Thanks for your attention.