

Deloitte.

德勤

可持续发展与气候变化

中国的可持续航空燃料 航空业碳中和之路

2023年9月

航空业碳中和之路

实现净零排放对航空业的持续发展至关重要，但必须克服一些关键挑战。航空业是公认的“难减排”行业，可持续航空燃料（SAF）是唯一可在近期降低航空旅行碳排放强度的商业利器。

概述

航空业和SAF

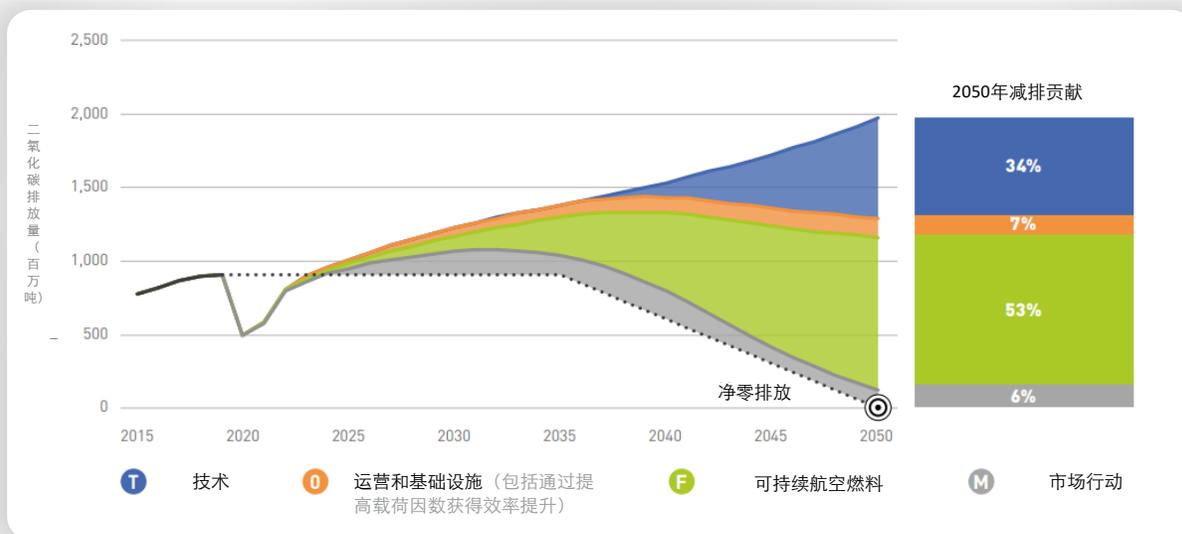
航空业对全球GDP的贡献为3.5万亿美元（占比4.1%），二氧化碳排放量在全球二氧化碳排放总量中的占比为3%，但随着其他行业去碳化，到2050年，航空业二氧化碳排放量占比或将达到22%。

国际航空运输协会预计，亚太地区将成为客运量增长最快的地区。2021年，中国国内航空客运市场在全球市场中的占比达到18.9%。

应用SAF将成为航空业脱碳的主要手段，SAF的优势在于可直接使用，飞机和机场基础设施无需重新设计，但行业需要积极行动以扩大生产规模和降低成本。

航空业2050年净零排放之路

预计到2050年，SAF将为航空业净零排放做出50%到75%的碳减排贡献



1. 世界航空运输行动小组 《2050路线图》 ([链接](#))

固步自封坐等新兴清洁技术的战略并不可行

固步自封坐等新兴清洁技术的战略并不可行，航空业需探索和利用多种战略，确保及时成功转型

航空业脱碳目标

国际航空运输协会（IATA）¹和航空运输行动小组（ATAG）承诺航空业到2050年实现净零排放。²

国际民用航空组织（ICAO）正式确认，航空业脱碳需要技术和市场行动。成功开发和部署SAF是到2050年减少碳排放的关键。

通过多种方法实现脱碳目标，具体包括：

- 提升燃料利用效率
- 使用可持续航空燃料
- 进行碳抵消
- 使用电池和混合动力等新型动力系统
- 使用氢气

1. IATA净零排放承诺 ([链接](#))

2. ATAG全球航空业排放承诺 ([链接](#))

脱碳方法

脱碳方法	描述	作用和挑战
 使用可持续航空燃料	使用可持续燃料替代化石煤油	未来30年的主要脱碳方法；能够应用于现有飞机
 提升燃料利用效率	改进飞机设计和运营，减少燃料消耗	重要方法，但其影响会随着时间的推移而减弱
 进行碳抵消	对行业外的碳减排或碳清除进行投资	重要方法，与此同时长期脱碳方法在增加
 使用氢气	燃烧绿色氢气和/或通过燃料电池将化学能转化为电能	需要进行存储和重新设计机身。开发、确保安全性、认证和规模化部署的历时较长
 使用电池	如果使用绿色电力进行充电，电力驱动可实现零碳排放	受电池重量和尺寸限制，仅适用于短途航线
 转变行为	行为模式转变导致需求减弱	行为转变速度可能跟不上人口和经济增长速度

何为SAF?

SAF作为传统航空燃料的替代品，是航空业近期实现脱碳最为可行的解决方案

可持续航空燃料

SAF 是一种用于为飞机提供动力的生物燃料，其特性与传统航空燃料相似，但碳足迹更小

使用SAF为飞机提供动力，碳排放强度最高可降低85%，具体取决于原料选择和技术工艺

何为SAF?

SAF是一种可直接使用的液体燃料替代品，与传统航空燃料相比，其最高可减少 85%的碳排放量，具体取决于原料选择和生产工艺。目前，SAF以林业剩余物、农业废弃物、废弃食用油脂和城市固体废弃物等资源为原料进行生产。SAF生产商也在研究通过直接空气碳捕获技术进行合成生产。

此外，SAF具有“可持续性”的特征包括：

- 原料不会影响粮食作物或供水
- 不会造成森林退化或土壤贫瘠
- 可循环利用储存于生物质原料中的碳



即用性：

SAF是一种可直接使用的燃料，与现有飞机和机场基础设施兼容，无需对飞机或机场进行重大改造，亦不会延迟部署。



可扩展性：

根据可持续原料的可用性和资本投资情况，预计到2030年，全球SAF产量将提高到航空燃料总销量的10%。



碳排放核算：

《温室气体核算体系》未（正式）认定SAF具有范围3减排作用。SAF市场正加紧制定指导方针，作为官方指南的替代，并强化需求信号，推动SAF证书入列温室气体减排清单。



商业可行性：

目前，SAF是近期唯一可行的气候解决方案，原因在于氢气和电力驱动将在未来十年实现发展，但可能并不适用于长途航行（航空领域碳排放的最大来源）。

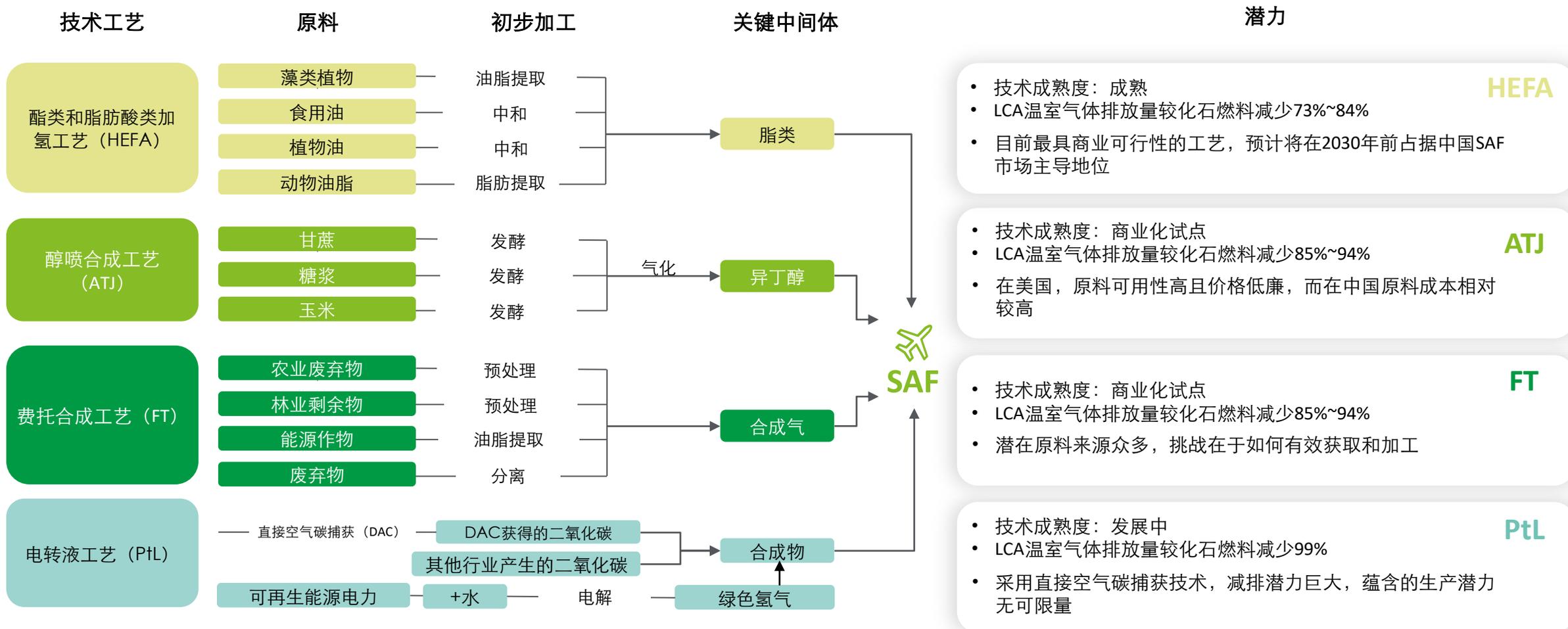


协同效益：

除减少碳排放以外，SAF还具有改善空气质量、创造就业机会和带动可再生能源投资以及加强能源安全等协同效益。

极有可能吸引行业关注和扩大规模的四种技术工艺

截至2023年4月，美国材料与试验协会已审批通过HEFA、ATJ和FT等9种技术工艺，减排潜力巨大且原料可长期无限量供应的 PtL 工艺仍处于待批状态。



资料来源：国际民航组织、欧洲航空安全局、世界经济论坛、空客

© 2023。欲了解更多信息，请联系德勤中国。

SAF生态系统

所有利益相关者群体对脱碳均持乐观态度，但认为需进一步采取行动

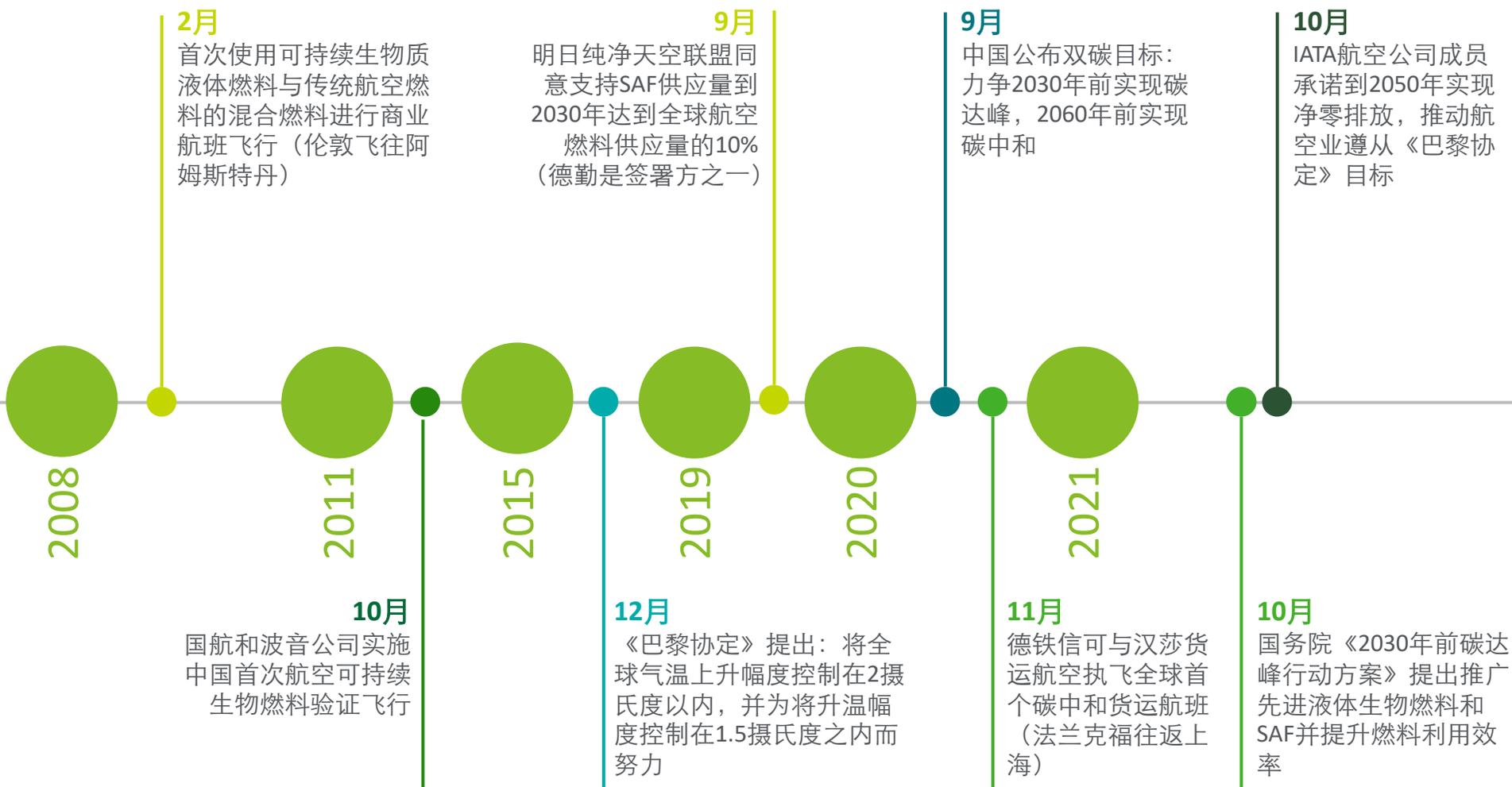


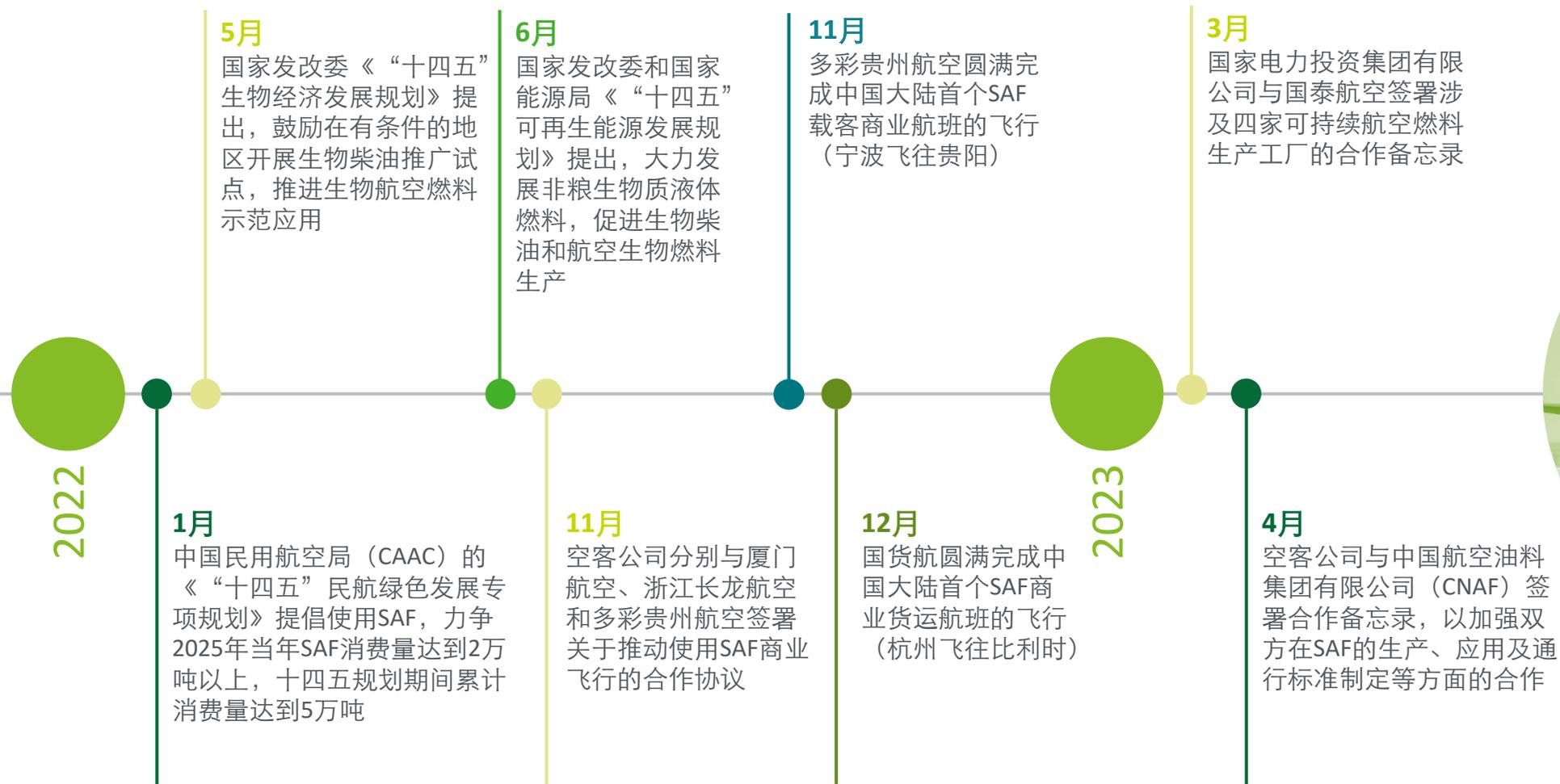
资料来源：壳牌、北京大学能源研究院

© 2023。欲了解更多信息，请联系德勤中国。

中国航空业碳中和之路

过去

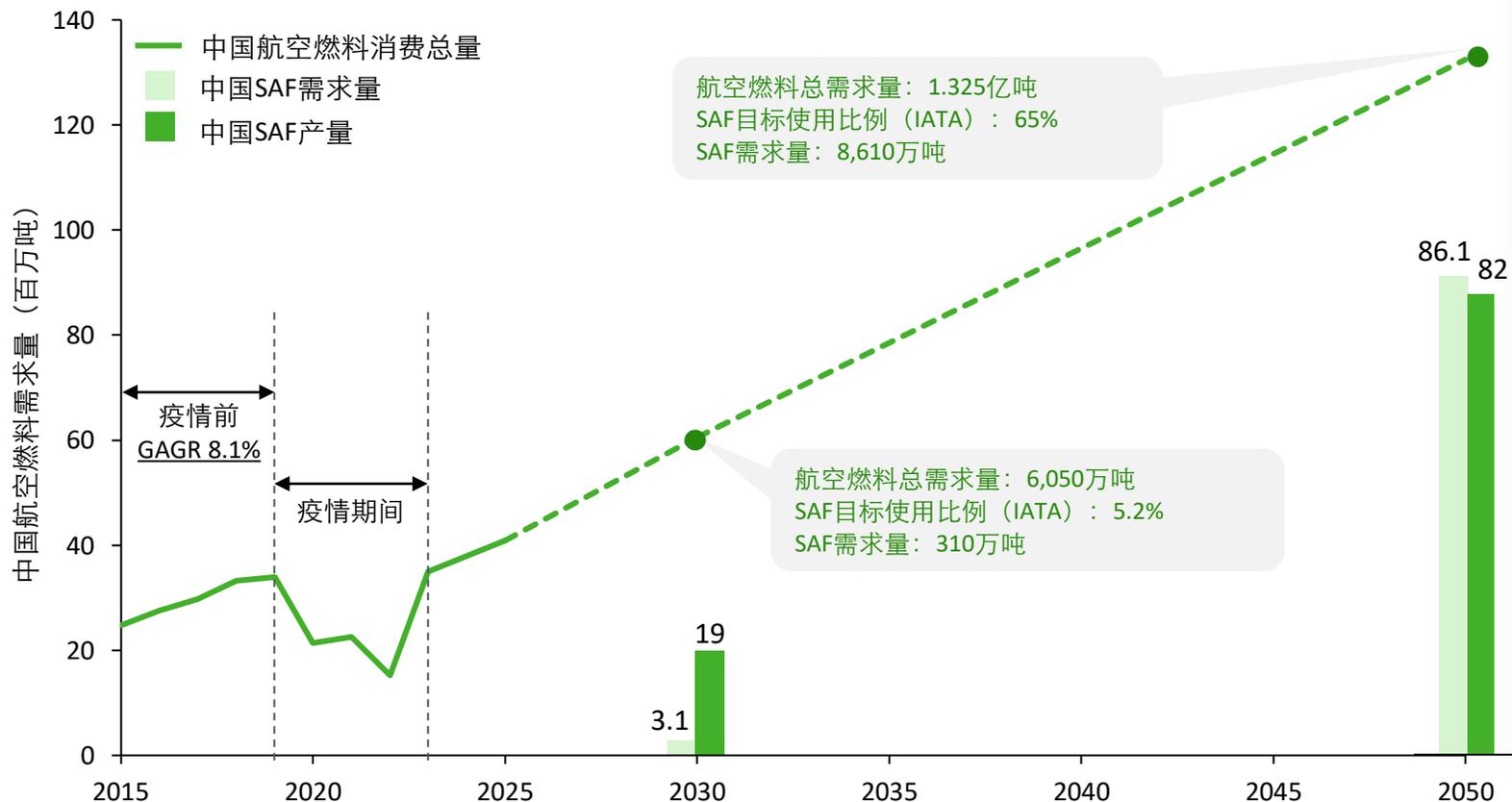




中国SAF市场 | SAF供需量快速增加

为践行IATA到2050年实现净零排放的承诺，中国航空业需迈出重要一步，推动SAF产量和需求量达到必需水平

中国SAF需求量及产量



资料来源: IATA、德勤研究

© 2023。欲了解更多信息，请联系德勤中国。

2030年

- 预计到2030年，中国航空燃料消费总量将达到6,050万吨，2023年至2030年的复合年均增长率（CAGR）将为8%
- 如果中国航空业与IATA的SAF使用目标（5.2%）保持一致，预计到2030年，中国的SAF需求量将达到**300万吨/年**
- 如果理论上的可用原料全部转化为SAF，到2030年中国的潜在供应量可能超过**1,900万吨/年**——远远超过潜在的国内需求量。
- 为推动如此大幅的增长，行业需要采取措施降低生产成本，并巩固国内和国际市场对SAF的需求

2050年

- 预计到2050年，中国航空燃料消费总量将达到1.325亿吨，2031年至2050年的复合年均增长率将为4%
- 随着技术的进步和中国全面脱碳目标的推进，预计到2050年，中国的SAF需求量将达到**8,600万吨/年**
- 得益于原料加工效率提高、绿色氢气生产规模扩大，到2050年，中国的SAF产能或将达到**8,200万吨/年**

SAF供应 | 中国SAF生产潜力足以满足国内需求

中国拥有充足的SAF原料供应，但需要创新型解决方案来建立技术工艺和扩大产能

中国潜在可用的SAF原料

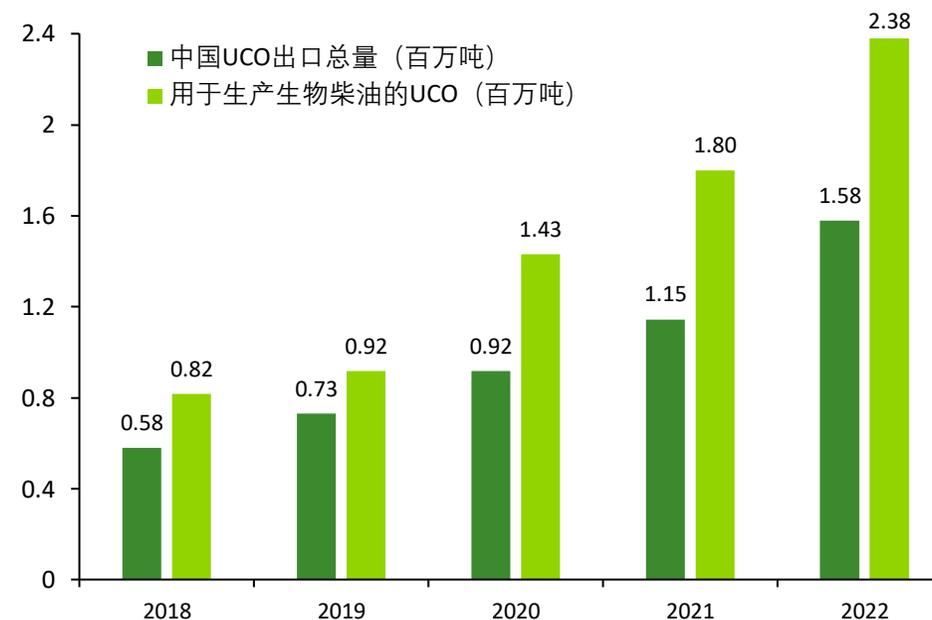
原料	可用量 (百万吨/年)	SAF产出率	SAF产能上限 (百万吨/年)
废弃食用油脂	3.4	40%	1.36
农业废弃物	207	10%	20.7
林业剩余物	195	10%	19.5
城市有机固体废弃物	23.5	10%	2.35
工业废气制乙醇	5	50%	2.5
合计			46.41

- 中国在SAF的可持续发展方面潜力巨大：SAF原料不影响粮食供应，但需要基础设施来发展农村供应链。
- **废弃食用油脂 (UCO)** 是中国生产生物柴油的主要原料，预计至少在未来十年内将成为SAF的主要原料。

资料来源：北京大学能源研究院

© 2023。欲了解更多信息，请联系德勤中国。

回收潜力巨大的废弃食用油脂



- 根据国际清洁交通委员会 (ICCT) 的估计，中国UCO回收潜力巨大（每年超过500万吨）。
- 目前，受海外需求的推动，中国大部分UCO用于出口或生物柴油生产。
- 中国SAF原料的可用量与国内SAF市场规模相关。

资料来源：中国海关、USAD

SAF供应 | 产能开发依然处于早期

截至2023年5月，中国SAF运营产能和规划产能总量约为160万吨至180万吨/年

中国的SAF产能

本地合作伙伴	技术提供商	技术工艺	年产能	所在地	规划发布日期	运营开始日期
中石化	中石化	HEFA	100,000吨	浙江省宁波市镇海区	2021年6月	2022年6月
东华能源	霍尼韦尔	HEFA	1,000,000吨	广东省茂名市	2022年2月	未公布
嘉澳环保	霍尼韦尔	HEFA	未公布	江苏省连云港市	2022年9月	未公布
四川金尚环保	霍尼韦尔	HEFA	300,000吨	四川省遂宁市	2023年5月	未公布
国家电投和国泰航空	未公布	类似于PTL	4 * 50,000吨至100,000吨	未公布	2023年4月	2024年至2026年

- 氢化生物柴油（HVO）生产商可以通过改造生产线转变为生产SAF。根据北京大学的估计，如果生产商将现有HVO产能改用于SAF生产，SAF新增产能将达到**190万吨**。

资料来源：China Daily, 霍尼韦尔, 国泰航空

© 2023。欲了解更多信息，请联系德勤中国。

关键点

-  中国SAF供应仍处于初期阶段。
-  2022年，中国石化镇海炼化凭借中国首批规模化生产的SAF获得中国民用航空局颁发的适航证书，更多参与者也在进入市场。
-  HEFA工艺在中国运营产能和规划产能中占据主导地位，国家电投和国泰航空则计划使用类似于PTL的工艺来生产SAF。
-  中国拥有丰富的可再生能源发电资源，这将有助于推动PTL工艺在中国的商业化和规模化发展。
-  中国的绿色氢能发展受到各省份计划的推动。包括山东、青海和四川在内的十多个省份已制定了明确的氢能发展计划。全国范围内已有多个合成燃料项目在部署中。
-  中国整体脱碳目标为激励措施的制定提供支撑。如果资金分配合理，中国或可成为SAF生产的领导者。

SAF需求 | 早期市场行动

SAF的商业化应用虽处于早期阶段，我们观察到中国的航空公司已开始积极参与SAF飞行测试

	SAF使用目标	使用SAF的飞行	生态系统协作	重要行动
中国南方航空	不详	<ul style="list-style-type: none"> 执行2次飞行（100% SAF）（2019年2月和2022年10月的交付飞行） 	不详	<ul style="list-style-type: none"> 使用中石化提供的首批国产SAF燃料
中国东方航空	不详	<ul style="list-style-type: none"> 2013年执行1次验证飞行（100% SAF），2022年执行1次交付飞行（5% SAF） 	不详	<ul style="list-style-type: none"> 计划2023年执行一系列由SAF提供动力的可持续航班飞行
中国国际航空	不详	<ul style="list-style-type: none"> 2011年执行1次验证飞行（100% SAF），2022年执行1次交付飞行（100% SAF） 2022年完成首次商业货运航班飞行（100% SAF） 	<ul style="list-style-type: none"> 2011年加入SAFUG（可持续航空燃料用户组织） 国货航联手中国航油和菜鸟，于2022年成功完成中国大陆首个SAF商业货运航班的飞行 	<ul style="list-style-type: none"> 中国大陆SAF的早期用户 完成中国大陆首个SAF商业货运航班的飞行
国泰航空	承诺到2030年将SAF在燃料消耗总量中的占比提升至10%	<ul style="list-style-type: none"> 自2016年以来，执行38次空客飞机交付飞行（100% SAF） 	<ul style="list-style-type: none"> 与国家电投签署了一份涉及4家SAF工厂的谅解备忘录 启动试点企业SAF计划，覆盖DHL、汇丰银行、渣打银行等8位试点客户 	<ul style="list-style-type: none"> 推出亚洲首个大型企业SAF计划 成为首家投资美国可持续生物燃料开发商Fulcrum BioEnergy的航空公司
海南航空	不详	<ul style="list-style-type: none"> 2015年执行一次商业客运航班飞行（50% SAF），2017年执行一次洲际客运航班飞行（100% SAF） 	不详	<ul style="list-style-type: none"> 完成中国大陆首个SAF商业客运航班的飞行
多彩贵州航空	不详	<ul style="list-style-type: none"> 2015年执行一次商业客运航班飞机（10% SAF） 	<ul style="list-style-type: none"> 与空客公司签署关于2022年在中国推动使用SAF商业飞行的合作协议 	<ul style="list-style-type: none"> 2021年的SAF项目获得工业和信息化部5,000万元拨款支持

SAF需求 | 通过吸引企业客户使用SAF来培育市场

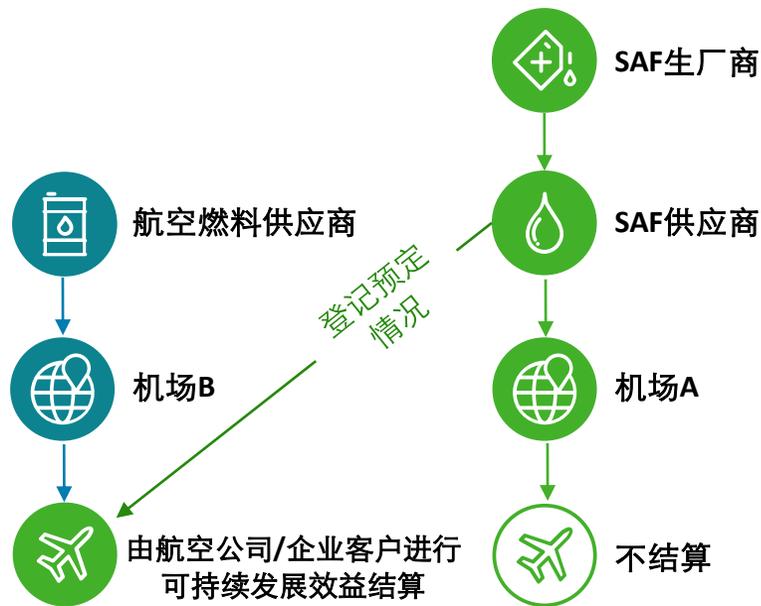
航空公司可通过“先预定后结算”模式购买并向乘客提供SAF证书，而无需受限于与供应商的地域联系

可持续航空燃料产量依然有限，无法保证终端用户始终能通过现有供应链网络获得SAF。

“先预定后结算”模式有助于通过SAF证书追踪可持续发展效益。

航空公司可直接购入SAF并将可持续发展效益进一步转移给合作伙伴，无需受限于与SAF供应商的地域联系。

SAF市场的“先预定后结算”模式



- SAF生厂商将SAF的“预定情况”登记在册
- 严密的监管认证链确保完全透明和零欺诈风险
- 在机场A使用的SAF由位于机场B的航空公司及其企业客户进行结算

SAF认证体系

目前尚无适用的SAF全球认证体系。

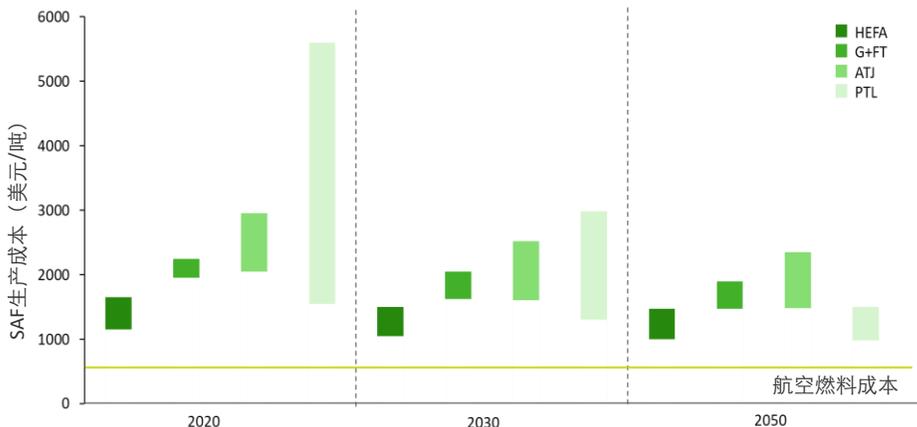
世界经济论坛“明日的清洁天空”计划（Clean Skies for Tomorrow initiative）制定了SAF证书框架，标志着标准化体系的制定迈出关键一步。

SAF证书框架有望获得科学碳目标倡议组织和《温室气体核算体系》的认可，成为企业实现范围3减排目标的可行方案。

SAF当前价格及未来走势

目前，全球非混合SAF的价格约为8.67美元/加仑，相当于每减少排放1吨碳的成本约为1,000美元至1,200美元。¹

SAF生产成本



资料来源: 世界经济论坛

目前，SAF成本比化石基航空燃料成本高出2至5倍，但预计会随着生产规模的扩大而降低。

不同技术工艺生产SAF的成本差异显著。HEFA工艺是目前最具成本竞争力的选择，PTL工艺则表现出巨大的成本缩减潜力。

影响SAF价格的未来走势

推动价格下降的因素

推动价格上涨的因素

政府补贴与奖励	政府可提供支持，以帮助降低生产成本	法规影响	SAF生产和销售需遵守环境法规，这可能导致成本增加
产能	随着产量增加，规模经济效应凸显，燃料的单位成本往往会下降	自愿性需求	尽管预计产能将会增加，但企业承诺使用的SAF超过预计供应量，供求关系紧张将导致成本上涨
明确的报告标准	认可SAF能减少价值链中碳排放的报告标准可能导致投资增加	报告标准延迟发布	缺乏报告标准（或不认可SAF能减少价值链中的碳排放）或将抑制投资
成本节约效益传递	燃料生产商和航空公司须将成本节约效益传递给客户以保障航空服务可及性，由此面临的压力增加	消费者付费意愿	航空公司在后疫情时代的快速发展时期提高机票价格，以抵消燃料价格上涨影响和疫情期间的损失；因此，增加的SAF成本可能会转嫁给终端客户
原料可用性	原料可用性的提高及其成本的缩减有助于降低SAF价格	原料可用性	目前可用的可持续原料有限，可能导致成本上涨
价值链发展	价值链效率提升（如供应链物流和运输）有望帮助降低成本	原料价格波动	可持续原料价格可能发生波动，或将导致SAF价格上涨

¹SAF价格取决于燃料排放因子（单位：g CO₂e/MJ），而燃料排放因子视燃料生产商（如Neste、WorldEnergy）而异，并且通常根据具体批次的燃料而定；此处使用14.0 g CO₂e/MJ和25.0 g CO₂e/MJ作为排放因子来计算价格范围（美元/吨）

SAF的全球发展情况

国际社会采取的行动或将影响SAF在中国的发展

美国《通货膨胀削减法案》（IRA）纳入更多SAF激励措施

可持续航空燃料补贴（Sustainable Aviation Fuel Credit）（2023-2024）：《通货膨胀削减法案》延长了混合燃料的税收抵免期限，并针对美国销售或使用的合格混合燃料中的SAF制定了新的补贴规定¹

清洁燃料生产补贴（Clean Fuel Production Credit）（2025-2027）：《通货膨胀削减法案》亦制定了关于清洁燃料生产的税收抵免（CFPC）政策。该政策规定：如果运输燃料的温室气体减排力度达到100%，则纳税人将有资格就对应的SAF获得上限为1.75美元/加仑的税收抵免额度，更低的减排力度则对应更少的抵免额度¹

SAF大挑战（SAF Grand Challenge）：目标是到2030年，美国的SAF产量超过30亿加仑；到2050年，拥有足够的SAF以100%满足需求（预计为350亿加仑）；为SAF项目提供43亿美元资金²

《欧洲绿色协议》（EU Green Deal）纳入规定SAF最低使用比例和到2030年温室气体排放量减少55%的立法提案

ReFuelEU航空计划（ReFuelEU Aviation）：“减碳55%”（Fit For 55）一揽子立法提案提出，燃料供应商必须提高SAF的销售比例；SAF的最低混掺比例必须从2030年的5%提高到2050年的63%³

欧盟碳市场（EU ETS）：纳入“污染者付费”规定，增加航空业为自身碳足迹付费的责任，新增总额为16亿欧元的SAF补贴⁴

可再生能源指令III（Renewable Energy Directive III）：将2030年可再生能源目标使用比例提高至45%。由于SAF的温室气体排放强度低于航空煤油，温室气体减排力度或超过ReFuel既定目标⁴

🔑 关键挑战

美国《通货膨胀削减法案》的全面性特征已影响行业格局，在2030年前或影响境外对中国SAF项目的投资。

中国政府鼓励推广使用和示范应用SAF，有必要针对SAF生产及应用进一步制定相应战略与激励或强制要求措施，以引导行业吸引投资和进一步发展。

中国航空业的利润水平受到经济复苏缓慢的影响。尽管传统燃料价格上涨，航空公司及相关利益体为SAF支付绿色溢价的动力需要多方面加强。

需采取的行动

为确保SAF的商业可行性，亟需建立支持政策框架，以刺激需求并创新融资机制，从而推动转型。

目标：



为实现净零承诺，航空业需要制定更加激进的SAF使用目标

联盟：



全价值链合作将是开启SAF未来的钥匙

消费者：



打造与众不同的价值主张，认可乘客对可持续飞行的贡献有助于推动需求

原料：



完善原料收集系统，评估原料的分布与可用性，以便更好地分配行业资源

基础设施：



虽然混合SAF可以使用现有基础设施，但仍然需要强化基础设施，以应对未来需求的爆发

创新：



推进创新以降低生产成本，或使用原料限制较少的新技术

投资：



投资者和金融机构需制定创新型融资计划，为SAF转型筹措资金

领导力：



航空公司和炼油巨头可通过试点项目和供应链投资来展现其在SAF推广方面的领导力

政策激励：



供需端均需政策激励以加快SAF的应用

SAF在航空业脱碳之路中发挥着至关重要的作用。然而，航空业转型需要全价值链合作、支持政策以及大量资金和时间投入。

德勤领先理念

德勤致力于为客户分享SAF和航空业脱碳最新洞察



SAF交易先行者

德勤美国与航空公司签订了可持续航空燃料购买协议，并详细记录了德勤领先的SAF交易经验和洞察，以及其他企业进入SAF市场需考量的因素。



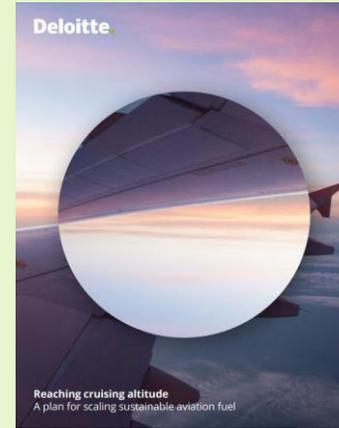
航空脱碳：展翅欲飞

德勤与壳牌联合编制报告，探讨在航空业脱碳的复杂生态系统中，航空业参与者需如何开展业内外合作以扩大SAF需求和生产规模。



航空业脱碳： 行业低碳发展蓝图

德勤分析了航空业的脱碳挑战、对行业现有收入模式的威胁，以及SAF和电力驱动如何成为最佳潜在解决方案。



到达巡航高度：可持续航空燃料推广应用计划

SAF虽不是航空业脱碳的唯一解决方案，但德勤剖析了其何以成为实现短期减排目标的关键。



2022年全球影响力报告

德勤每年发布全球影响力报告，并将德勤在SAF交易中获得的环保效益纳入航空旅行全生命周期温室气体排放评估结果。

作者



郭晓波

全国行业规划主管合伙人
德勤中国

kguo@deloitte.com.cn



李晓晨

可持续发展与气候变化主管合伙人
德勤中国

lilyxcli@deloitte.com.cn



陈岚

合伙人
德勤中国

lydchen@deloitte.com.cn



谢安

可持续发展与气候变化研究院院长
德勤中国

allxie@deloitte.com.cn



Robert Hansor

可持续发展与气候变化事业群，总监
德勤中国

rhansor@deloitte.com.cn



屈倩如

总监
德勤新加坡，德勤中国

jqu@deloitte.com



吴越

可持续发展与气候变化事业群，经理
德勤中国

elaineywu@deloitte.com.cn



徐欣馨

高级研究员
德勤中国

xinxxu@deloitte.com.cn



关于德勤

德勤中国是一家立足本土、连接全球的综合性专业服务机构，由德勤中国的合伙人共同拥有，始终服务于中国改革开放和经济建设的前沿。我们的办公室遍布中国30个城市，现有超过2万名专业人才，向客户提供审计及鉴证、管理咨询、财务咨询、风险咨询、税务与商务咨询等全球领先的一站式专业服务。

我们诚信为本，坚守质量，勇于创新，以卓越的专业能力、丰富的行业洞察和智慧的技术解决方案，助力各行各业的客户与合作伙伴把握机遇，应对挑战，实现世界一流的高质量发展目标。

德勤品牌始于1845年，其中文名称“德勤”于1978年起用，寓意“敬德修业，业精于勤”。德勤专业网络的成员机构遍布150多个国家或地区，以“因我不同，成就不凡”为宗旨，为资本市场增强公众信任，为客户转型升级赋能，为人才激活迎接未来的能力，为更繁荣的经济、更公平的社会和可持续的世界而开拓前行。

Deloitte（“德勤”）泛指一家或多家德勤有限公司，以及其全球成员所网络和它们的关联机构（统称为“德勤组织”）。德勤有限公司（又称“德勤全球”）及其每一家成员所和它们的关联机构均为具有独立法律地位的法律实体，相互之间不因第三方而承担任何责任或约束对方。德勤有限公司及其每一家成员所和它们的关联机构仅对自身行为承担责任，而对相互的行为不承担任何法律责任。德勤有限公司并不向客户提供服务。

德勤亚太有限公司（即一家担保有限公司）是德勤有限公司的成员所。德勤亚太有限公司的每一家成员及其关联机构均为具有独立法律地位的法律实体，在亚太地区超过100座城市提供专业服务。

请参阅www.deloitte.com/cn/about了解更多信息。

本通讯中所含内容乃一般性信息，任何德勤有限公司、其全球成员所网络或它们的关联机构（统称为“德勤组织”）并不因此构成提供任何专业建议或服务。在作出任何可能影响您的财务或业务的决策或采取任何相关行动前，您应咨询合格的专业顾问。

我们并未对本通讯所含信息的准确性或完整性作出任何（明示或暗示）陈述、保证或承诺。任何德勤有限公司、其成员所、关联机构、员工或代理方均不对任何方因使用本通讯而直接或间接导致的任何损失或损害承担责任。德勤有限公司及其每一家成员所和它们的关联机构均为具有独立法律地位的法律实体。

© 2023。欲了解更多信息，请联系德勤中国。