中国可持续航空燃料未来发展新图景及Book & Claim机制的机遇

落基山研究所 王喆

2026年11月



推动全球能源变革

创造清洁繁荣的零碳共享未来

RMI

1982-2050

落基山研究所(RMI)是一家专业、独立、以市场为导向的智库。自 1982年创立以来，我们持续与企业、政策制定者、科研机构及创业者紧密合作，识别并规模化推广能源系统转型解决方案，旨在大幅降低温室气体排放，创造清洁、繁荣的零碳共享未来。

RMI – Energy. Transformed.

落基山研究所中国项目

以系统性的研究方法、创新的解决方案，助力双碳目标的实现，并为全球能源的系统公平转型做出贡献

6大领域

- 新型电力系统与可再生能源
- 重工业与循环经济
- 建筑、基建与供应链
- 交通、技术创新与投融资
- 非二氧化碳温室气体减排
- 乡村碳中和与公平转型

5大抓手

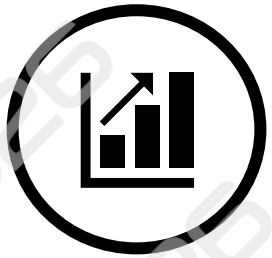
政策支持 | 市场机制 | 技术创新 | 企业领导力 | 消费侧行动

4大试点

城市 | 省 | 区域 | 全球

RMI – Energy. Transformed.

在航空领域，我们的工作主要分为以下三个部分



研判SAF市场趋势

研究全球航空市场发展趋势和相关政策，分析各类SAF技术路线的市场潜力和成本经济性，识别下一代SAF技术落地和规模推广的关键机遇和挑战



推进SAF标准认证体系建设

支持政府相关部门建立并持续完善SAF可持续标准和认证机制，推动中国标准与国际主流标准的衔接与互认，助力中国SAF产业在国际市场中扩大供给优势



促进市场机制和交易试点

与航司、货主、SAF生产商开展广泛合作，协同推进以Book & Claim为基础的SAF创新市场交易机制的搭建，有效扩大SAF市场规模、降低交易成本

以“碳中和”为目标的我国新型能源体系中，绿色氢氨醇和可持续航空燃料（SAF）等新一代绿色能源同样将扮演核心角色



20%

4.7万亿元

2060年新型绿色能源在我国能源消费中的占比及其总市场规模预测



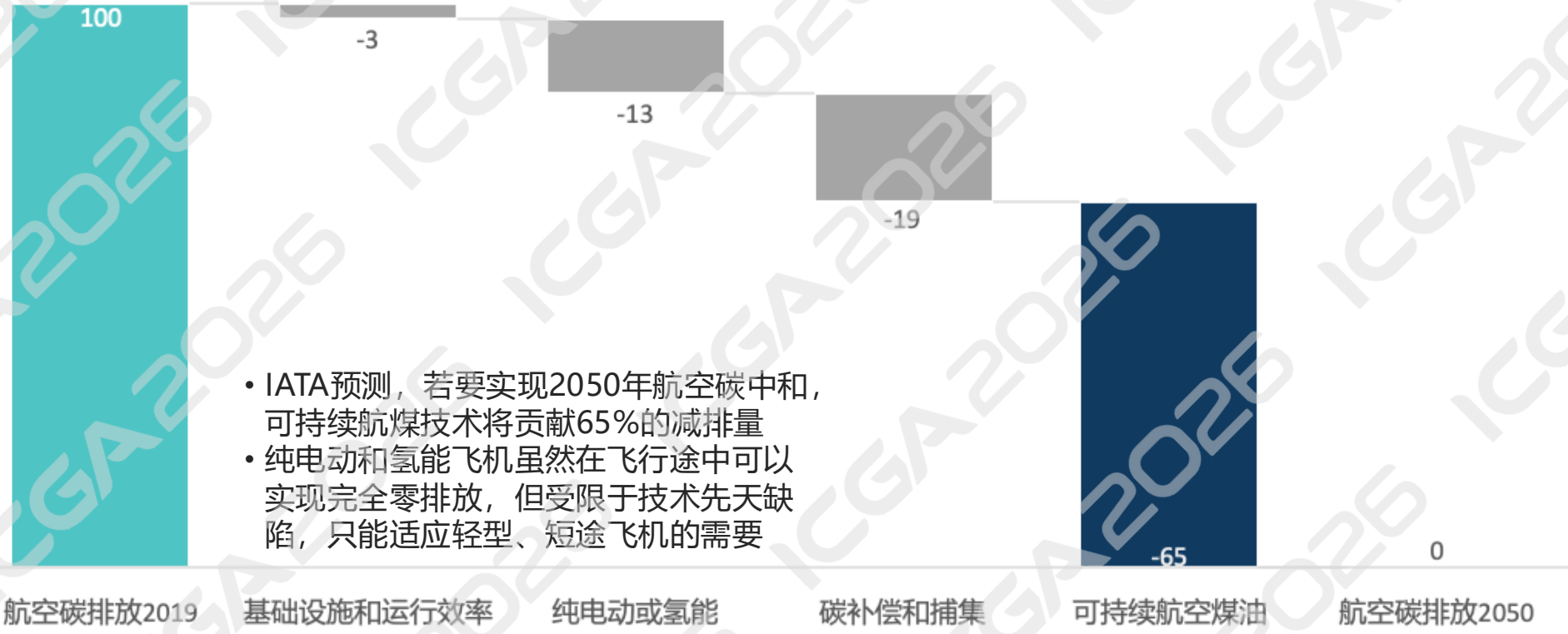
以**绿氢、绿氨、绿醇、生物质航煤和绿色甲烷（生物天然气）**为代表的新型绿色能源是航空、航运、工业等难减排领域实现零碳转型的重要解决方案；

碳中和目标和我国新一轮自助贡献目标分别从**远期和近中期的角度大幅度提升了**各行业对绿氢以及绿色氨醇、可持续航空燃料等新型绿色能源的**需求**；

“十五五”规划和“新能源集成融合发展”模式进一步明确了各类绿色能源在**加快建设新型能源系统，推动以新能源为主导的上下游产业协同发展以及绿色能源多元化利用**的角色和定位。

碳补偿与捕集、替代燃料以及效率提升等措施都有助于减少碳排放，其中可持续航燃料（SAF）的减排潜力最大

航空技术路径减排贡献（%）

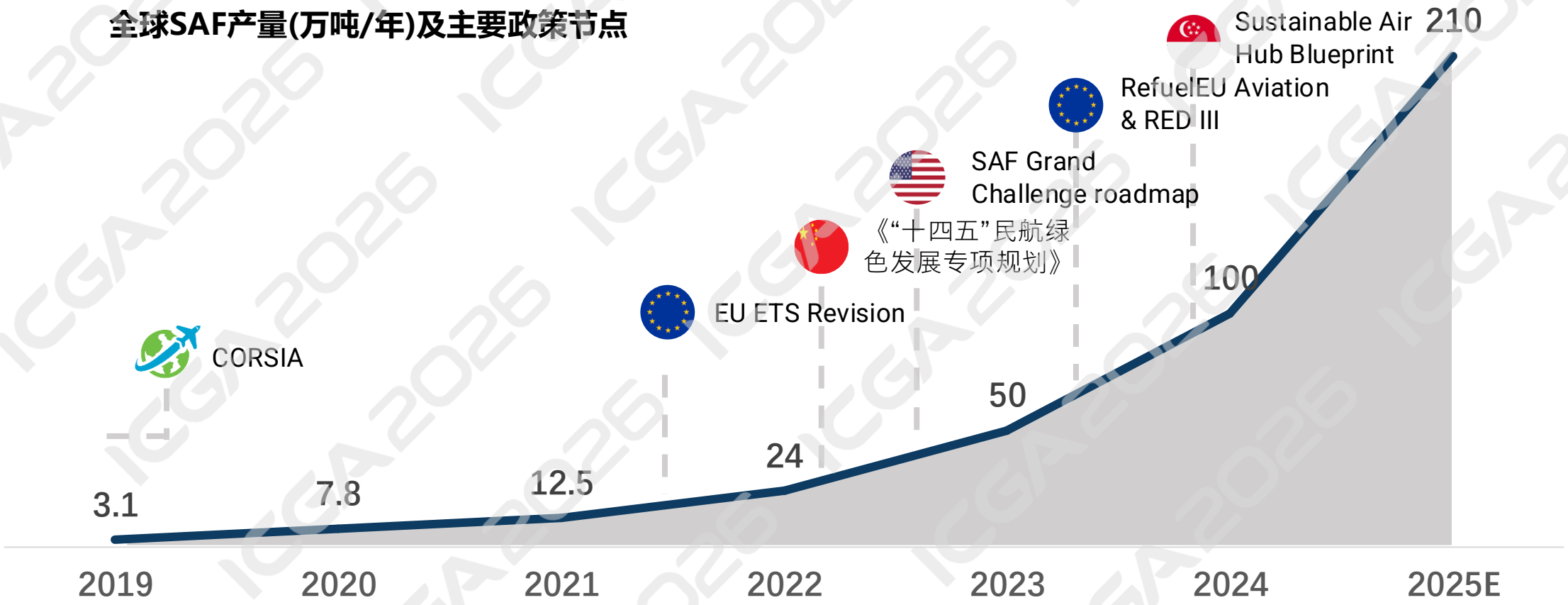


- IATA预测，若要实现2050年航空碳中和，可持续航煤技术将贡献65%的减排量
- 纯电动和氢能飞机虽然在飞行途中可以实现完全零排放，但受限于技术先天缺陷，只能适应轻型、短途飞机的需要

政策仍是当前驱动SAF需求增长的主要动力

由于SAF的生产成本仍远高于传统航煤，且其技术和市场推广均需要持续的资金投入，
因此来自政府和国际机构层面的**法规支持**和**经济激励措施**至关重要

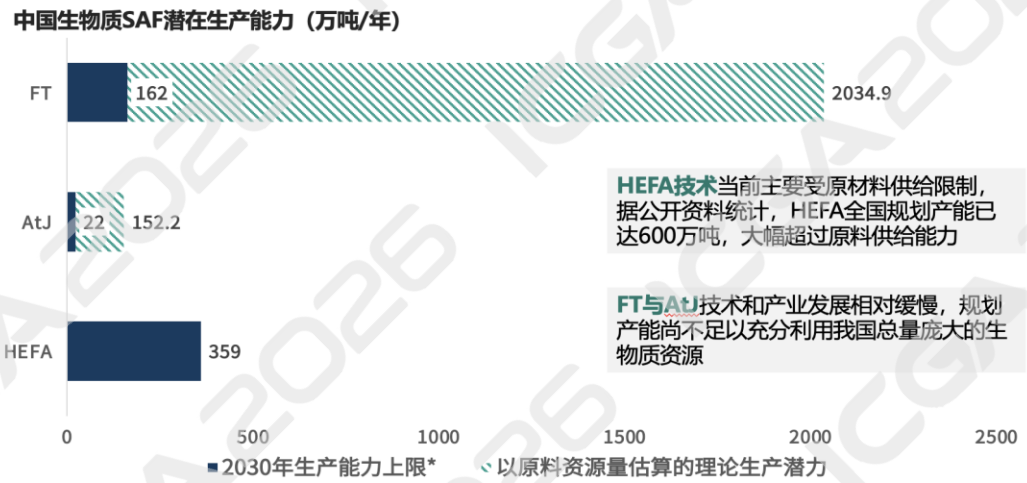
全球SAF产量(万吨/年)及主要政策节点



电制和生物质SAF是两大路线，在原料来源、生产工艺、减排潜力、技术成熟度与市场规模等方面存在显著差异

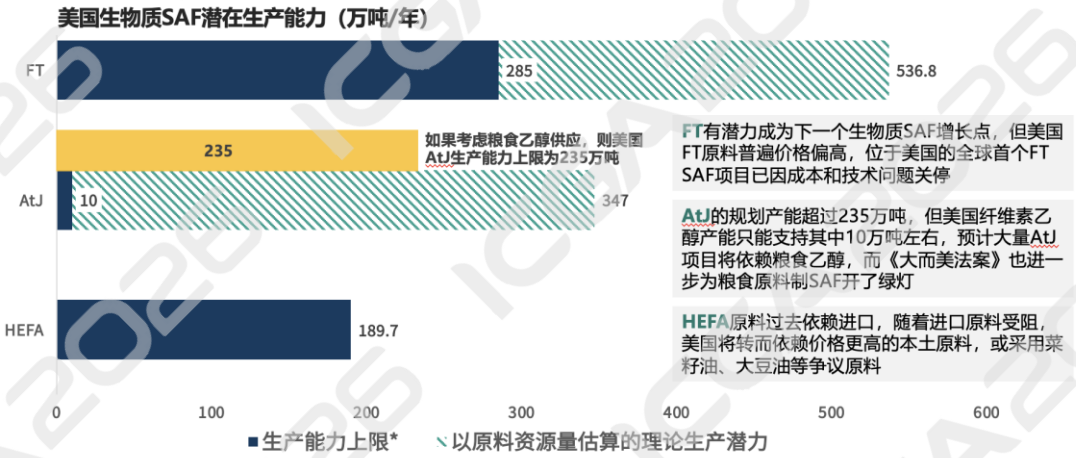
	生物质SAF	电制SAF
主要原料	动植物油脂、农林业废弃物、城市固废、生物甲醇/乙醇等	二氧化碳和绿氢
减排潜力	平均**80%**，取决于生物质用量、土地使用变化、食物竞争	最高**100%**，使用DAC+可再生能源可以实现100%
当前成本	**1350-1800**美元/吨，约为化石燃料售价的3倍	**2600-9500**美元/吨，约为化石燃料的4-15倍
技术成熟度	**商业化**生产已持续多年，HEFA路线最成熟	仍处于**研发与示范阶段**，未纳入ASTM，2030年前难以大规模应用
市场规模	**>99%** 的SAF产量来自生物质	仅占全球SAF市场的**1%以下**
主要生产工艺	1. HEFA（加氢酯类和脂肪酸） 2. Gasification-FT（气化-费托合成） 3. ATJ-SPK（醇转喷气燃料） 4. MtJ（甲醇合成制喷气燃料，尚未纳入ASTM）	1. CO_2与绿氢经逆水煤气转化为合成气后再进行费托合成 2. CO_2与绿氢转化为甲醇再制喷气燃料，尚未纳入ASTM 3. 直接从CO_2合成潜在航空燃料组分，尚未纳入ASTM 4. CO2与绿氢转化为低碳烯烃后制备SAF工艺

全球典型国家生物质SAF潜在生产能力预测（中国、美国、巴西、印度）



HEFA技术当前主要受原材料供给限制，据公开资料统计，HEFA全国规划产能已达600万吨，大幅超过原料供给能力

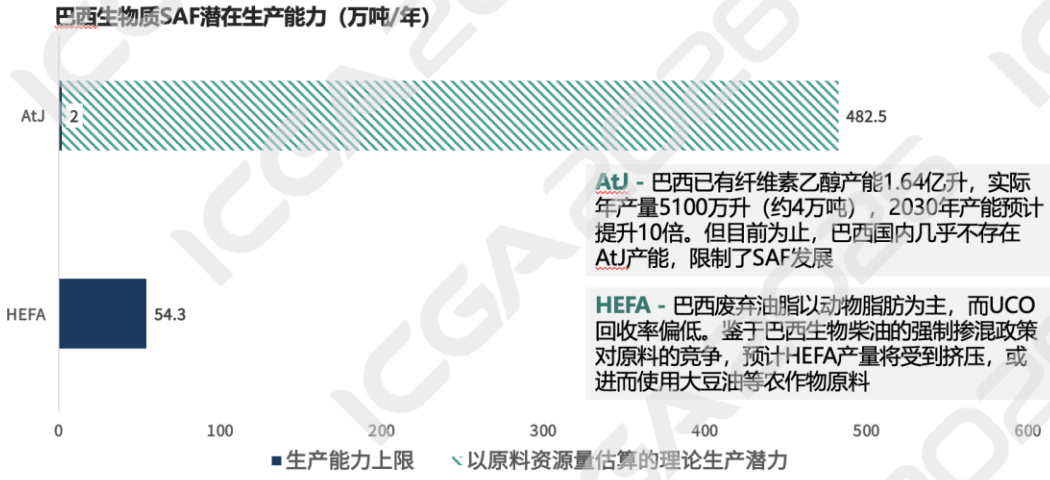
FT与AtJ技术和产业发展相对缓慢，规划产能尚不足以充分利用我国总量庞大的生物质资源



FT有潜力成为下一个生物质SAF增长点，但美国FT原料普遍价格偏高，位于美国的全球首个FT SAF项目已因成本和技术问题关停

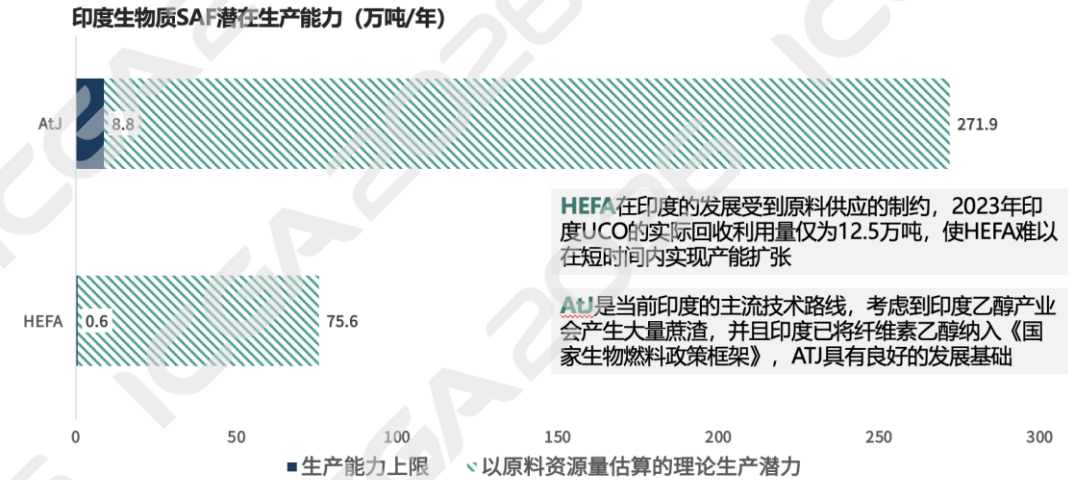
AtJ的规划产能超过235万吨，但美国纤维素乙醇产能只能支持其中10万吨左右，预计大量AtJ项目将依赖粮食乙醇，而《大而美法案》也进一步为粮食原料制SAF开了绿灯

HEFA原料过去依赖进口，随着进口原料受阻，美国将转而依赖价格更高的本土原料，或采用菜籽油、大豆油等争议原料



AtJ - 巴西已有纤维素乙醇产能1.64亿升，实际年产量5100万升（约4万吨），2030年产能预计提升10倍。但目前为止，巴西国内几乎不存在AtJ产能，限制了SAF发展

HEFA - 巴西废弃油脂以动物脂肪为主，而UCO回收率偏低。鉴于巴西生物柴油的强制掺混政策对原料的竞争，预计HEFA产量将受到挤压，或进而使用大豆油等农作物原料

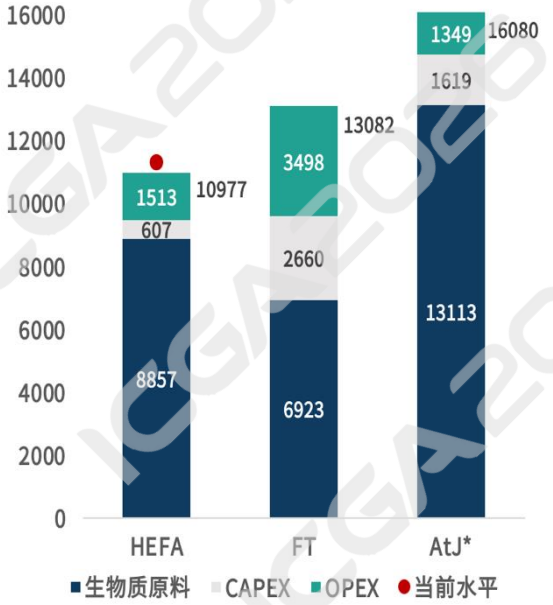


HEFA在印度的发展受到原料供应的制约，2023年印度UCO的实际回收利用量仅为12.5万吨，使HEFA难以在短时间内实现产能扩张

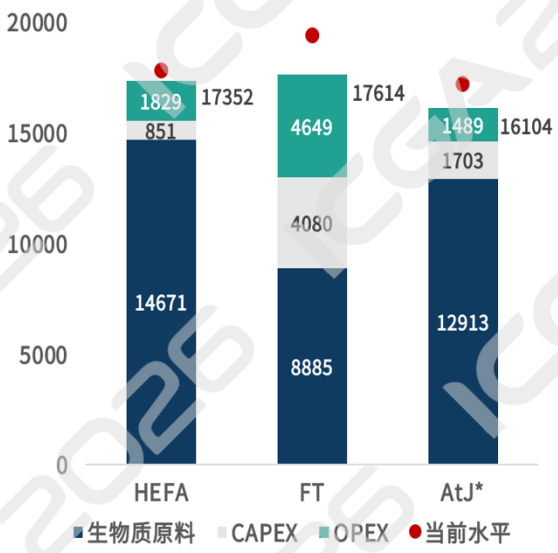
AtJ是当前印度的主流技术路线，考虑到印度乙醇产业会产生大量蔗渣，并且印度已将纤维素乙醇纳入《国家生物燃料政策框架》，ATJ具有良好的发展基础

全球典型国家生物质SAF 2030年生产成本预测（中国、美国、巴西、印度）

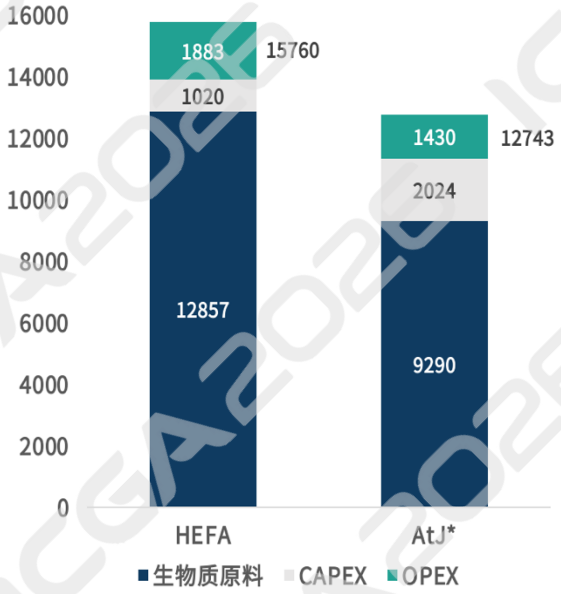
2030年中国生物质SAF成本预测（元/吨）



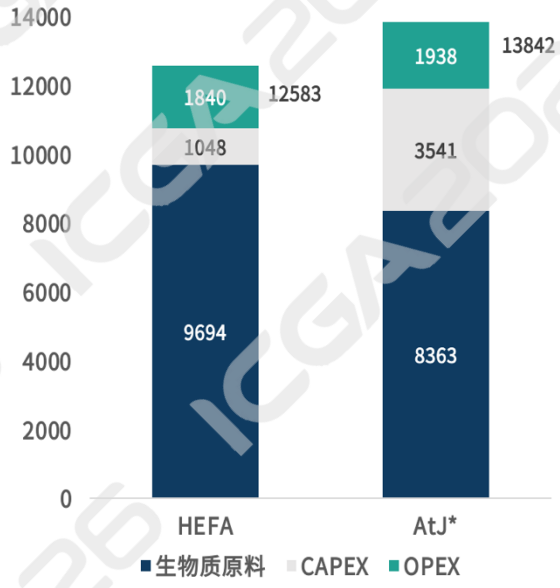
2030年美国生物质SAF（本土非农作物原料）成本预测（元/吨）



2030年巴西生物质SAF成本预测（元/吨）

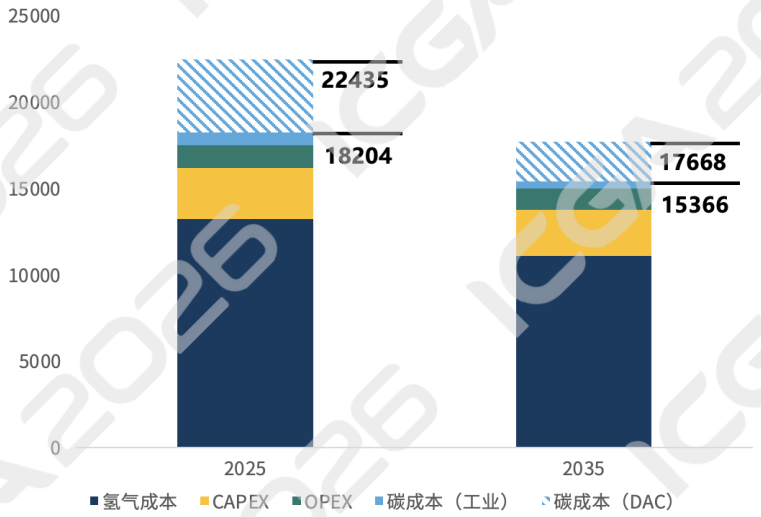


2030年印度生物质SAF成本预测（元/吨）

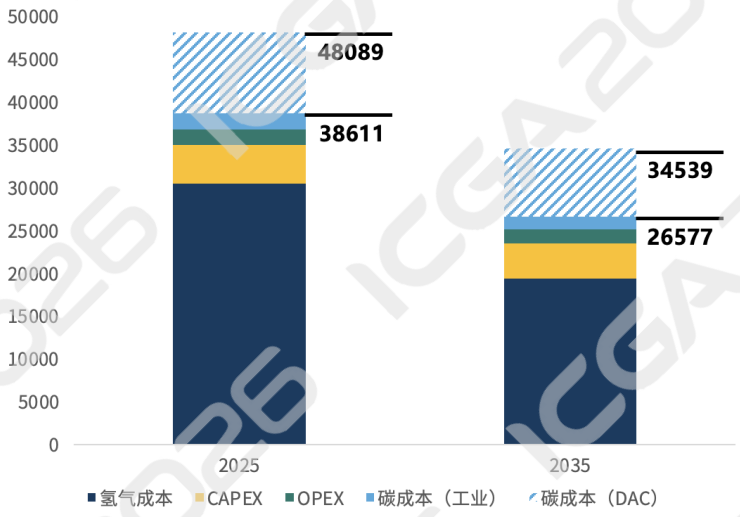


全球典型国家电制SAF 2035年生产成本预测（中国、美国、德国、沙特）

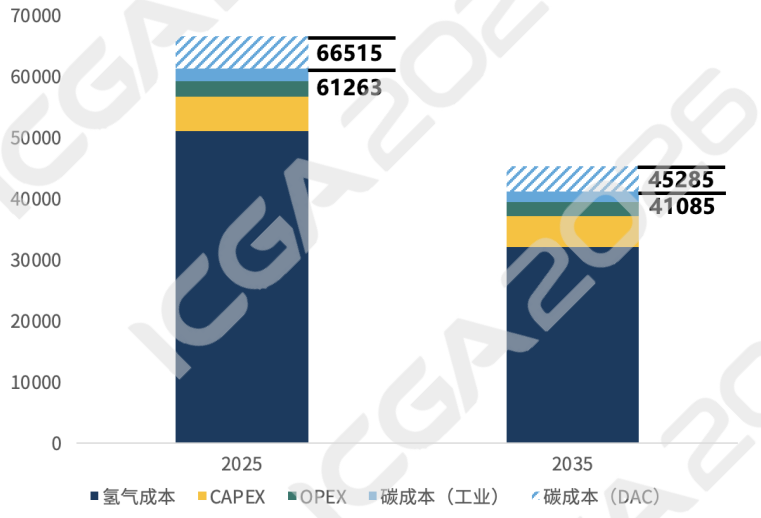
中国电制SAF成本预测（元/吨）



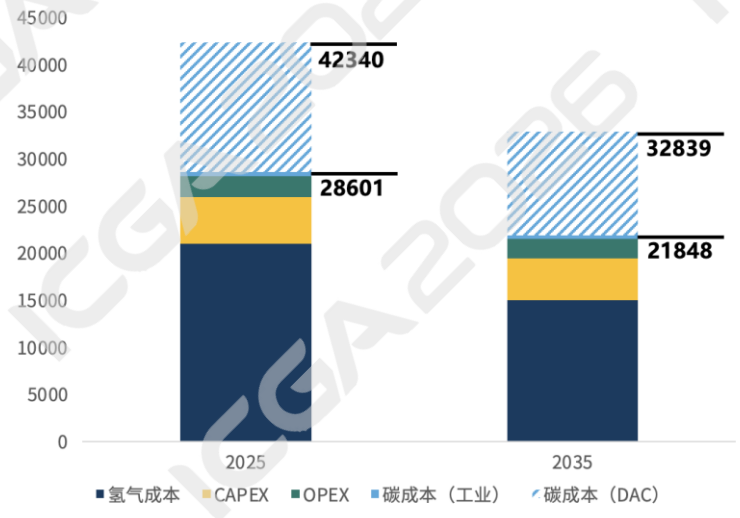
美国电制SAF成本预测（元/吨）



德国电制SAF成本预测（元/吨）



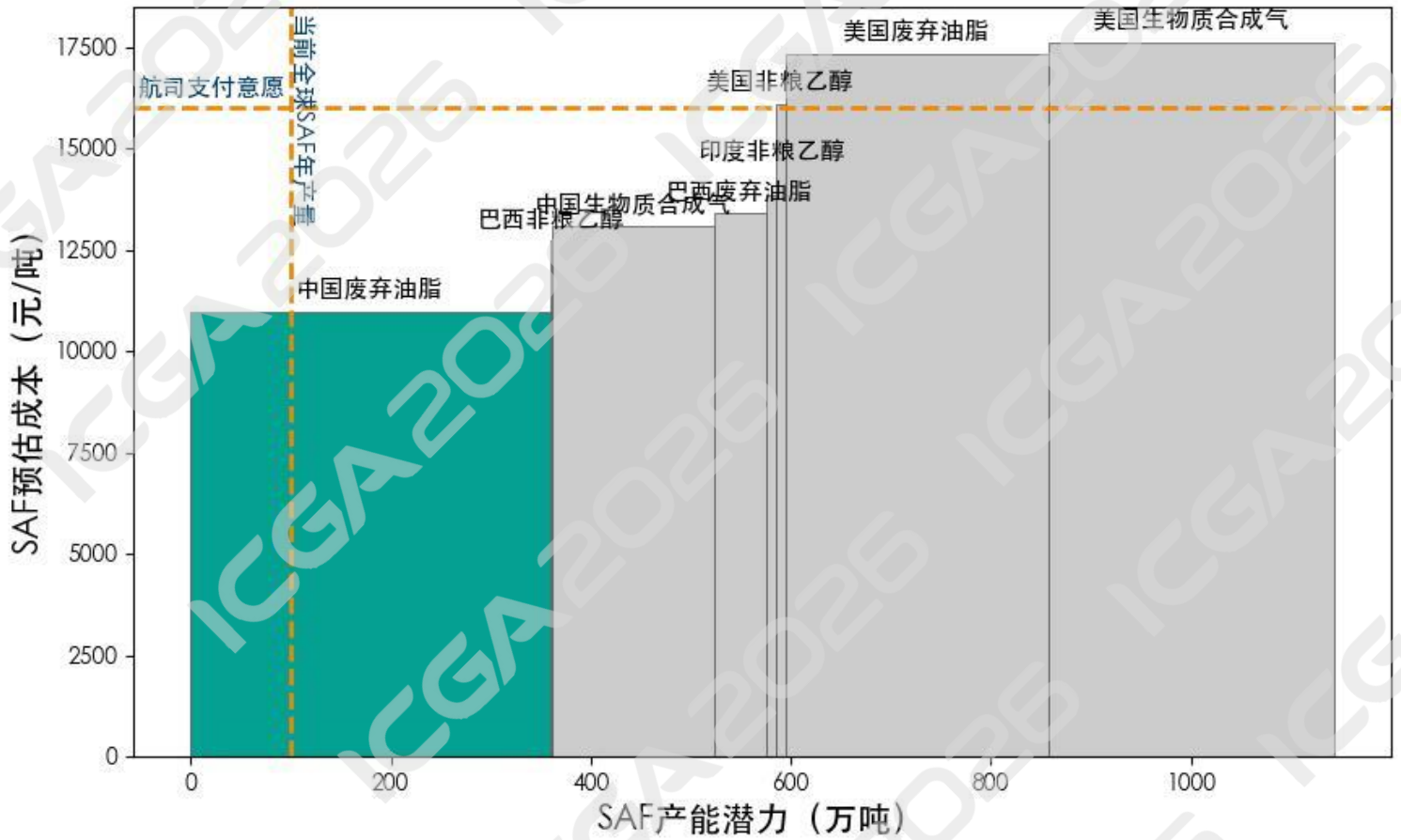
沙特电制SAF成本预测（元/吨）



RMI – Energy. Trai

2030年前HEFA仍将是市场主流技术路线， GFT/AtJ等下一代技术路线的快速发展仍然需要更为有效的上游支撑

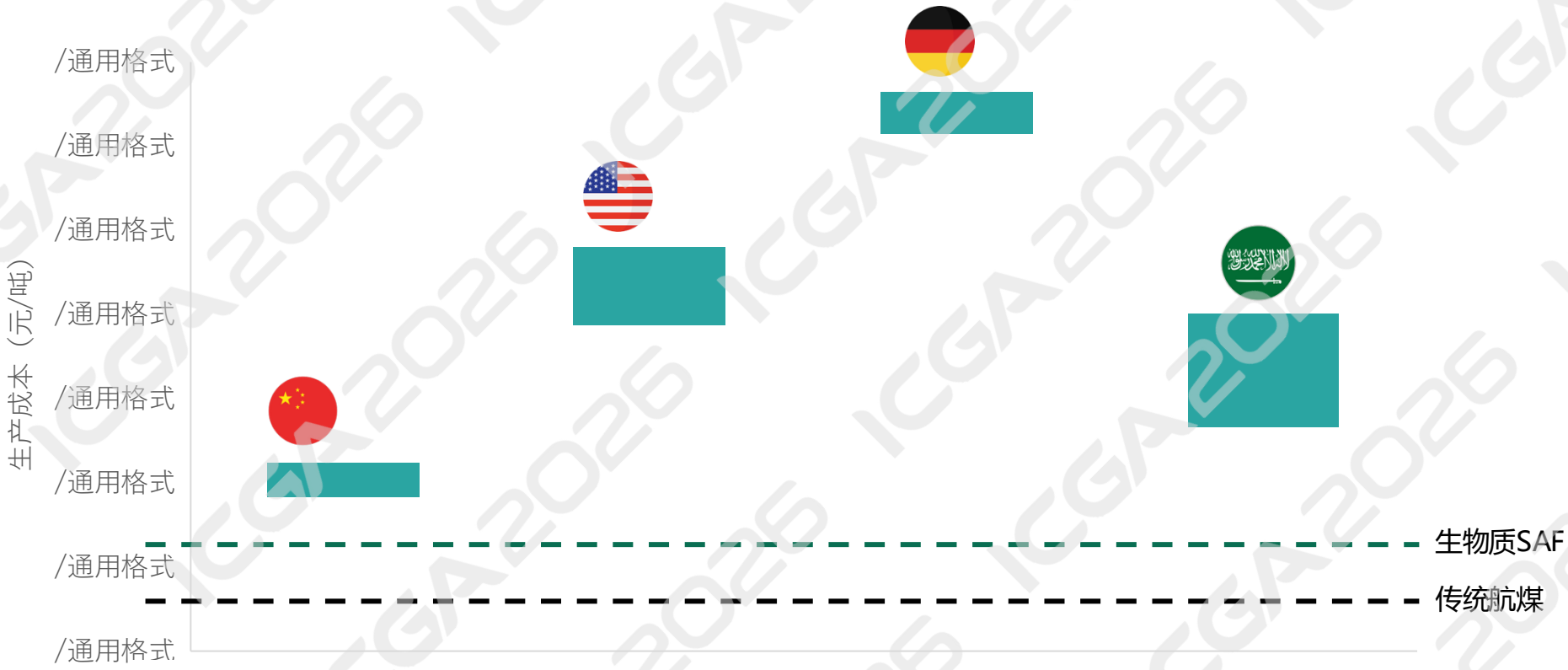
2030年全球主要原料的SAF产能潜力及成本估计



- 以废弃油脂为原料的HEFA在短期内仍将是全球SAF市场的供应主力，其成本优势很难被其他种类的SAF替代。
- 2030年时，以非粮（纤维素）乙醇、生物质气化合成气等为原料生产SAF的工艺将会实现小规模生产，但受限于技术成熟度，一方面其成本预计仍将偏高，另一方面生产规模也很难达到目前各国的规划水平。

综合来看，电制SAF虽然减碳潜力更大，但2035年之前成本仍然偏高，短期内难以与生物质SAF形成有效竞争

当前中、美、德、沙特四国电制SAF成本（元/吨）



- 当前电制SAF的成本几乎是生物质SAF的**2-3**倍
- 即便是在拥有显著产业基础和资源禀赋双重优势的中国，电制SAF的成本仍高达约2万元/吨，远高于生物质SAF每吨1.2-1.4万元的水平

基于以上判断，我们形成了如下结论与建议

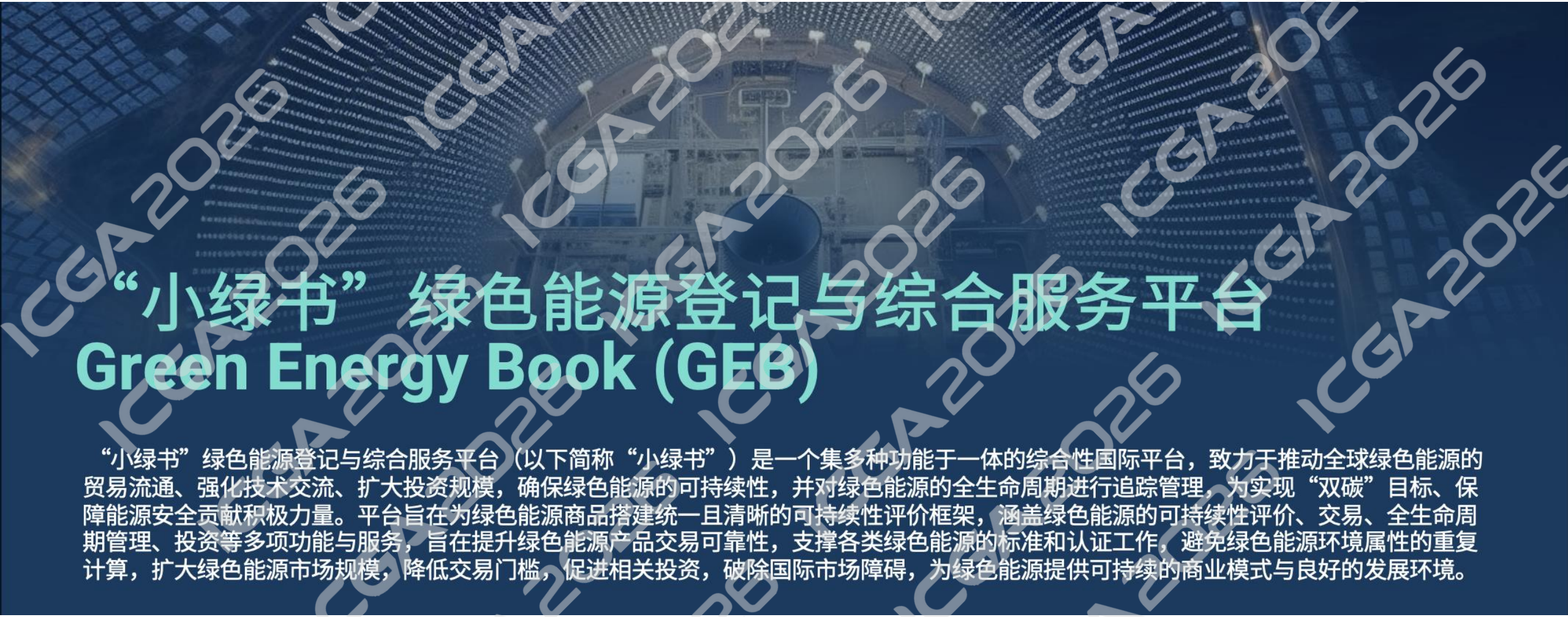
- 2030年前HEFA仍将是市场主流技术路线，GFT/AtJ等下一代SAF技术路线的快速发展仍然需要更为有效的上游产业链支撑
- 受需求上升和政策变动影响，SAF市场的不确定性增强，积极的政策信号和快速技术进步是稳定市场信心的重要基础
- 中国生物质SAF产业优势巨大，在资源和技术等条件的支撑下，未来10年在SAF生产成本上占据巨大优势，并很有可能成为全球SAF产业中心
- 电制SAF虽然减碳潜力更大，但2035年之前成本仍然偏高，短期内难以与生物质SAF形成有效竞争
- 在成熟的上下游产业和丰富的风光资源支撑下，中国电制SAF的生产成本将在未来10年呈现较为显著的优势，并具备主导供给市场的潜力
- 生物质气化技术是生物质SAF和电制SAF技术相辅相成、共同发展和平稳过渡的基石和保障
- 大力发展SAF产业不仅是中国航空业节能减排的重要抓手，也是新时代促进经济发展并带动社会就业的新动力
- 搭建并完善SAF可持续性认证机制，与国际主流标准深入衔接有助于发挥中国SAF生产能力的优势，扩大市场
- 政策市场双管齐下，通过明确的政策信号增强投资者信心，并借助价格机制、财税工具和产业创新基金等措施引导产业发展是加速SAF产业布局的重要方向
- 推进Book & Claim等创新交易模式，盘活市场并带动本土SAF消费和生产积极性是助力中国SAF市场腾飞的催化剂



在SAF成本居高不下的起步阶段，引入灵活的交易模式，引导多方用户共同承担绿色溢价将成为有效突破口



为了更有效地推动我国新一代绿色能源市场的生产和应用，落基山研究所联合合作方共同创立了“小绿书”绿色能源登记与综合服务平台



“小绿书”绿色能源登记与综合服务平台
Green Energy Book (GEB)

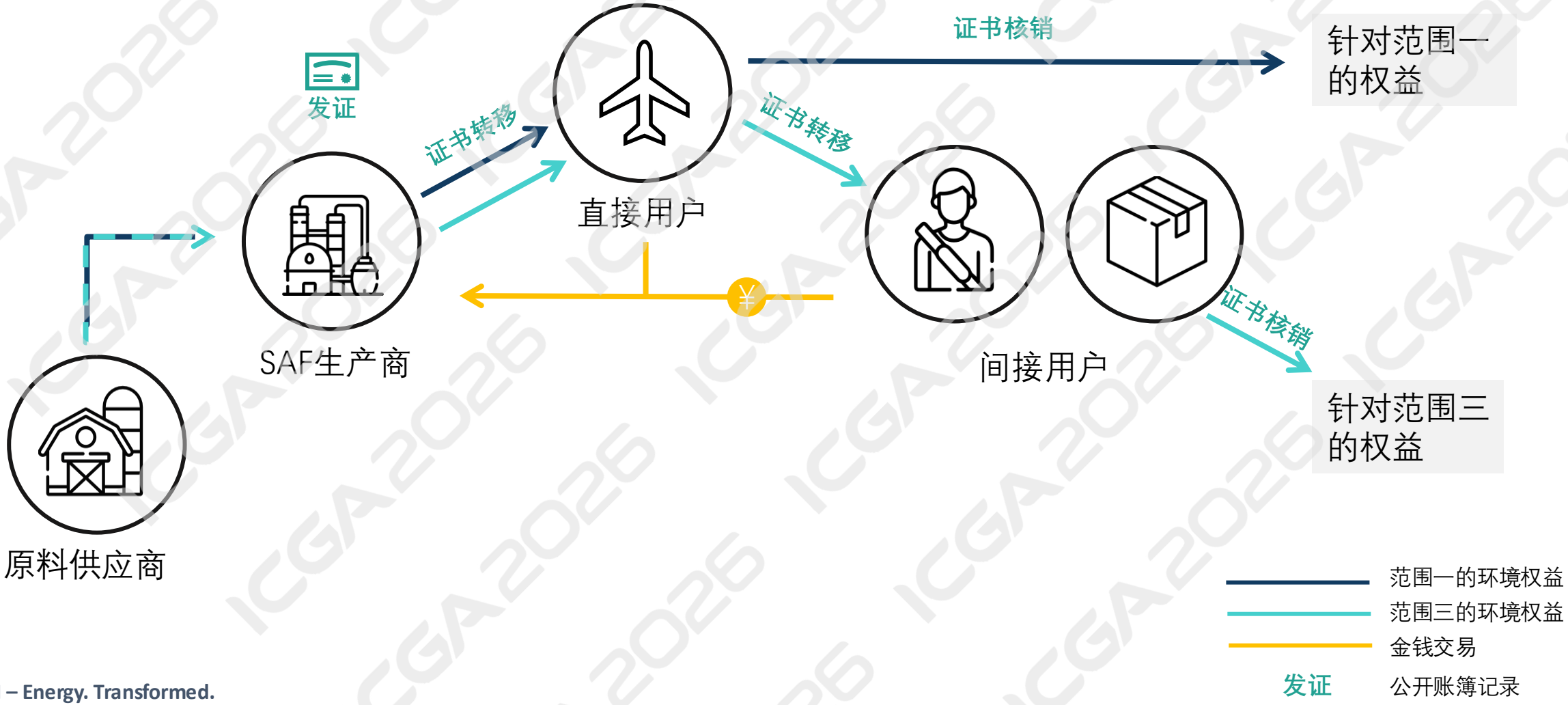
“小绿书”绿色能源登记与综合服务平台（以下简称“小绿书”）是一个集多种功能于一体的综合性国际平台，致力于推动全球绿色能源的贸易流通、强化技术交流、扩大投资规模，确保绿色能源的可持续性，并对绿色能源的全生命周期进行追踪管理，为实现“双碳”目标、保障能源安全贡献积极力量。平台旨在为绿色能源商品搭建统一且清晰的可持续性评价框架，涵盖绿色能源的可持续性评价、交易、全生命周期管理、投资等多项功能与服务，旨在提升绿色能源产品交易可靠性，支撑各类绿色能源的标准和认证工作，避免绿色能源环境属性的重复计算，扩大绿色能源市场规模，降低交易门槛，促进相关投资，破除国际市场障碍，为绿色能源提供可持续的商业模式与良好的发展环境。

ICGA2026

RMI – Energy. Transformed.

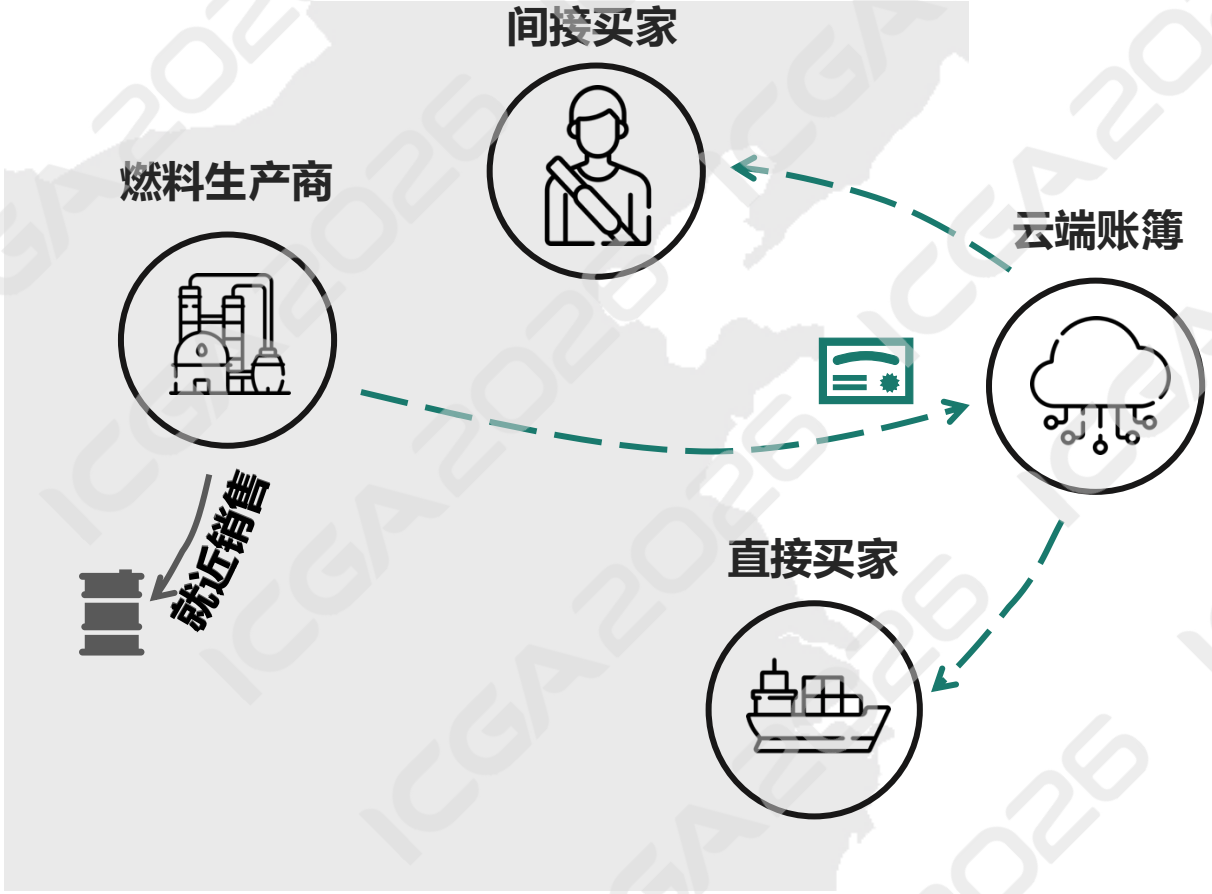
GEB
Green Energy Book

小绿书立足于绿色能源标准和认证体系，以Book & Claim为核心运转机理，借助区块链等技术完整记录绿色能源证书的流转，形成公开账簿，确保企业购买的绿色能源减排权益得到公平有效兑现



在小绿书的Book & Claim机制下，绿色能源的可持续属性能够摆脱物理和距离限制，得到合理的分离和流转交易，在扩大下游用户消费需求的同时加速了绿色能源的发展

核发与认购机制下绿色能源交易体系



绿色权益不再与实体燃料绑定

绿色权益与实体燃料解耦分离，权益可通过证书的形式转移，免除了与实体燃料应用相关的诸多挑战

实体燃料可利用原有基础设施

实体燃料不再需要单独的基础设施，可利用原有的基础设施就近销售，降低了燃料的储运成本，选址更加自由

绿色权益交易不再受距离限制

绿色权益只通过证书的形式转移，因此可进行跨供应链、跨地理区域、跨国交易，交易形式更加灵活

明确权益归属助力绿色燃料应用

绿色权益以证书形式单独交易，对实体燃料用户及利益相关方没有影响，合理的成本分担能够促进交易

依托落基山研究所已有的各类买家联盟和平台，小绿书将打开国内国际双循环市场，支撑国内绿色能源和材料市场发展的同时链接国际买家和资源

国际买家

国内生产商生产的可持续航空燃料、甲醇、绿氢等绿色能源，以及钢铁、化工产品等绿色材料，可以通过RMI在航空、海运、钢铁等领域搭设的B&C平台，以证书的形式销往国际市场

国内买家

面向国内绿色能源和材料买卖双方，依托国内标准和认证体系，帮助国内市场降低交易门槛、促进范围一和范围三买家采购绿色能源和材料

SABA SUSTAINABLE AVIATION BUYERS ALLIANCE

全球
可持续航空买家平台

GEB Green Energy Book

“绿能通”
绿色能源登记与综合服务平台

SUSTAINABLE STEEL BUYERS PLATFORM

北美、日韩
可持续钢铁买家平台

Green Materials Book

“绿链通”
清洁低碳材料采购与应用加速平台

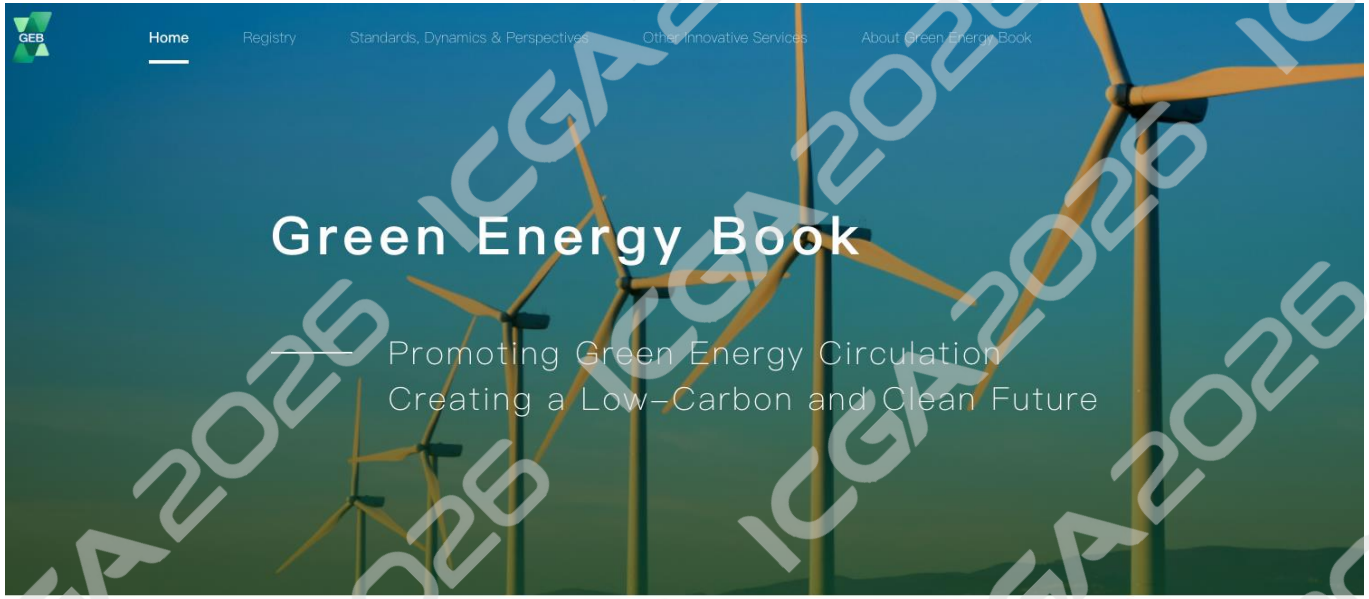
绿色能源

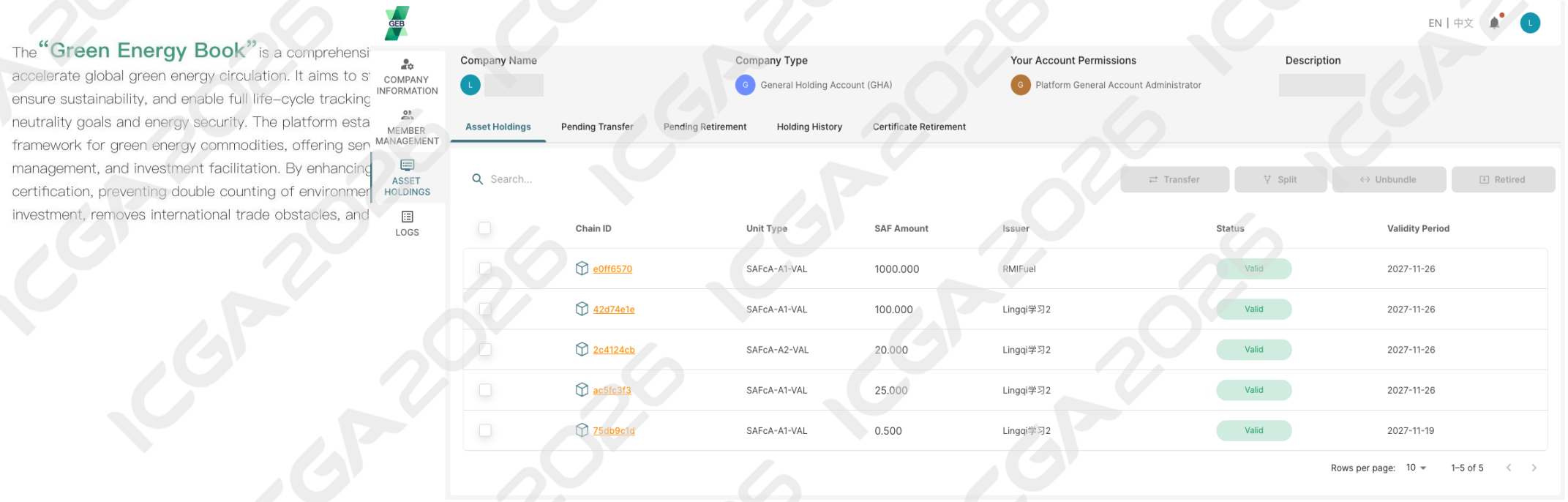
标准对接
基于我国可持续性标准，构建中外标准对接机制，降低交易门槛

认证对接
围绕我国即将建成的可持续性认证体系，实现与ISCC、RSB等外国机构认证体系的同步互认

绿色产品

市场对接
依托旗下买家联盟，引入国际大型跨国企业买家，汇集国际需求，帮助国内产品跨境交易





RMI – Energy. Transformed.

落基山研究所将与合作伙伴一起，携小绿书和其他丰厚的资源，共同加速新一代绿色能源生态网络的建设

潜在合作伙伴

RMI – Energy. Transformed.