

通过电转液合成路线制备 SAF 的技术经济分析



来源：民航环境与可持续发展智库

一、文章简介

航空运输碳排放量约占全球二氧化碳排放的 3%，随着未来航空旅行需求的增长，航空碳排放量还将进一步增加。由于实现飞行电气化存在很多技术挑战，可持续航空燃料（SAF）将成为行业去化石化的一个选择。研究将费托合成工艺（FT）和甲醇制航空燃料（MtJ）两种技术路径合成的电转液（PtL）路径作为 SAF 的生产途径，使用通过直接空气捕获（DAC）获得的 CO₂ 和固体氧化物电解（SOEL）的 H₂ 作为原料。通过 Aspen Plus V12 软件对 FT 和 MtJ 两种途径的工艺流程进行了建模和优化。将基础案例（在没有进行任何优化或只包含基本工艺流程的情况下的工艺配置）作为优化的起点，用于与经过优化的配置进行比较，以展示优化措施的效果。通过比较基础案例和最佳配置，能够评估优化措施对 FT 和 MtJ 生产过程中能源和碳效率以及成本的影响。根据模拟结果对 FT 和 MtJ 生产过程进行了调整和优化，能源和碳效率分别从 30% 提高到 40% 和从 60% 提高到 90%。这表明优化措施显著提高了工艺的性能和可持续性。根据基线经济参数（在进行技术经济评估时使用的一套标准的或参考性的经济假设和参数），平均生产成本（LCOP）为 0.81 €/kWh_{Syn}。在 2050 年 SOEL 成本显著降低，并且电力成本降低至为 40 €/kWh_{Syn} 的乐观估计情景下，生产每千瓦时合成燃料的 LCOP 降低到大约 0.23 欧元，约为当前化石航空燃料成本的三倍。

二、研究方法

研究采用了全面的技术经济评估（TEA）方法，对 PtL 技术生产 FT 和 MtJ 两种工艺路线进行了深入分析。利用工业流程模拟软件 Aspen Plus V12，构建了详细的工艺模型，涵盖了从原料供应到最终产品生产的每一个环节。

首先，研究使用 DAC 技术捕获的 CO₂ 和 SOEL 技术产生的 H₂ 作为原料。这些原料在合成气预处理阶段被转化为适合后续液体燃料合成的气体混合物。此后，FT 和 MtJ 工艺分别通过不同的化学反应路径，将合成气转化为液态烃类化合物。在 FT 工艺中，合成气在催化剂的作用下转化为一系列短链和长链的烃类化合物，而 MtJ 工艺则通过甲醇合成、甲醇脱水制烯烃（MTO）和烯烃聚合（MOGD）过程，将甲醇转化为航空燃料。研究中还考虑了不同工艺配置，如轻质气体（在合成过程中产生的低分子量的烃类气体）的回收和利用，以及工艺热集成，以提高能源和碳效率。

为了评估这些工艺的经济性，本研究使用了 Matlab 工具进行热集成分析，并采用了 TUM Chair of Energy Systems 的 CESTE A 方法进行资本投资成本和生产成本的计算，具体包括设备购置成本、安装成本、运营成本以及维护成本等多个方面的详细评估，实现不同工艺配置下的能源效率、碳效率和生产成本的量化，从而为 SAF 的经济可行性分析提供了科学依据。

此外，研究还通过敏感性分析，探讨了关键经济参数（如电力价格、冷却水成本、直接空气捕获技术成本和固体氧化物电解技术成本等）对生产成本的影响。这些分析结果有助于理解在不同经济条件下，FT 和 MtJ 工艺的竞争力和潜在的经济效益。

三、研究结论

通过 TEA，深入分析了 FT 和 MtJ 两种工艺路线在生产 SAF 方面的可行性和经济效益。研究结果表明，尽管存在一些关键差异，但两种工艺在实现高碳效率、技术成熟度、经济成本、产品选择性、原料灵活性以及优化潜力方面均显示出类似的适用性（两种工艺在实现商业化生产 SAF 方面的共同优势和潜力），它们都适用于实现航空业的可持续发展目标，尤其是在减少温室气体排放和提高能源利用效率方面。在适当的政策支持、技术进步和市场条件下，FT 和 MtJ 工艺都有可能成为经济上可行的解决方案。

技术性能：通过优化配置，FT 和 MtJ 工艺的能源效率分别可达到 41.2%和 40.8%，碳效率分别为 91.1%和 88.3%。这表明通过将轻质气体回收并转化为合成气，可以显著提高工艺的能源和碳效率。

产品组成: FT 工艺生产的合成原油 (syncrude) 主要包含柴油和更长链的烃类化合物, 而 MtJ 工艺则产生更多的汽油和芳香烃。FT 工艺生产的燃料主要由线性烷烃和烯烃组成, 适合作为航空燃料, 但可能需要进一步处理以满足商业应用的质量标准。

经济评估: 在基础经济参数下, FT 和 MtJ 工艺的 LCOP 为 0.81€/kWhSyn。通过乐观估计, 考虑 2050 年的 SOEL 成本预测和电力成本降低, LCOP 可降低至约 0.23€/kWhSyn, 大约是当前化石喷气燃料成本的三倍。

敏感性分析: 研究发现, 电力价格和电解槽设备成本是影响 LCOP 的关键经济因素。通过降低这些成本, 可以显著提高 PtL 工艺的经济竞争力。

政策建议: 尽管 PtL 工艺的生产成本高于传统化石燃料, 但通过政策激励和成本降低, 利用 PtL 技术生产 SAF 是可行的。研究建议政府应通过提供财政支持和税收优惠, 促进 PtL 技术的发展和应用。

文献引用:

Eyberg, V., et al., Techno-economic assessment and comparison of Fischer – Tropsch and Methanol-to-Jet processes to produce sustainable aviation fuel via Power-to-Liquid. *Energy conversion and management*, 2024. 315: p. 118728.

资料链接:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890424006691?via%3Dihub>

资料搜集: 许春霞 戴菲 韩汶泽 贾忠杰

校对: 张奕野 杨诗琪

审核: 陈侯秀