

电转液eFuel航空燃料研究与应用进展

王美廷

采用电转液（PtL）工艺路线的燃料具有高环保性能，是前景广阔的可持续航空燃料（SAF）。现阶段由于成熟度较低，其产业发展仍需重大的技术与经济权衡。考虑到欧洲拥有更为成熟的市场，其大规模部署PtL工艺SAF并降低成本的方法，对于我国技术发展以及实现碳中和的目标有一些的借鉴作用。

什么是PtL航空燃料

“电子煤油”“合成燃料”“PtL”“电子燃料（eFuel）”的概念常常混淆。电子煤油仅指PtL工艺生产的一种产品；合成燃料指来自生物质、天然气和煤的费托（FT）工艺生产的燃料。PtL有时也用于描述甲醇等电制液体燃料，但在本文中仅表示可生产大量碳氢化合物的途径，是eFuel的一种，产品的物理与化学性质与传统喷气燃料相似。

PtL是从电厂（2030-2040年）或空气（2050年）中捕获碳，从可再生能源中获得电力，通过水电解生产绿氢，经人工合成的液态碳氢化合物。生产系统包括空气捕获（DAC）装置、海上风电场、碱性电解槽和炼油厂等。碳转化效率、氢转化效率和电转液效率分别为88%、39.16%和25.6%。

PtL的生命周期评估（LCA）显示其全球变暖潜值（GWP）为21.43g CO₂eq/MJSAF。在95%的置信区间内，随机蒙特卡罗（Monte Carlo）LCA显示SAF的GWP低于英国航空业强制减排50%的阈值。随着相关技术的成熟，GWP的标准差会越来越小。因此，PtL是比其他SAF生产技术可持续性更高的选择。

PtL关键技术的TRL	
技术	TRL
CO ₂ 的液化和储存	9
固定式储氢	9
FT途径	
FT合成	9
反向水煤气变换（RWGS）	7
加氢裂化、加氢异构化	9

2022年，PtL技术成熟度（TRL）普遍达到5-8级，引领大规模部署提上日程。技术上的下一阶段就是实现TRL9——工业化规模压缩二氧化碳。

与传统航空煤油相比，PtL寿命周期内减排超过95%，且可以直接使用，不需要对飞机大幅度改动、甚至重新设计。与生产SAF的其他工艺相比，PtL的最低航空燃油售价（MJSP）更高、盈利空间更大，这也使它成为实现国际民航业温室气体（GHG）净零排放的重要杠杆。

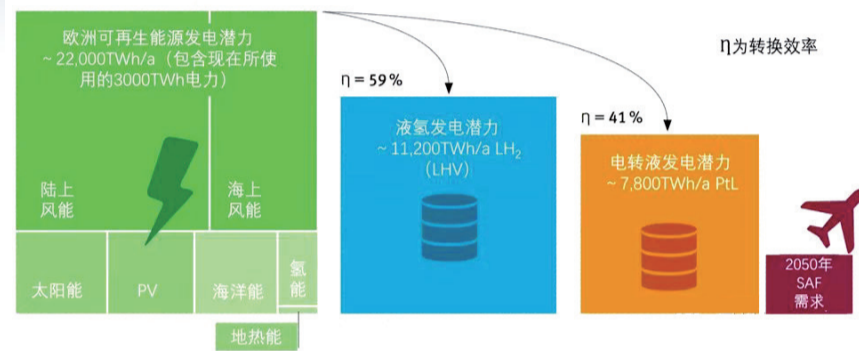
PtL——生产“未来的SAF”

2023年11月20日，欧盟可再生能源指令（RED II）生效。部分仍用于公路运输的SAF第一代生物航空燃料，如油料作物，达不到RED II规定的GHG排放阈值。此前，政策制定者已逐步淘汰粮食和饲料原料，将SAF原料限制在废弃生物质。但废弃生物质资源数量无法满足多个国家的需求量，必须从其他地区进口，仅现阶段可用，不满足国际上可持续航空战略的要求。因此，多元化的SAF供应链势在必行。

考虑到原料可用性和可持续性之间的关系，笔者提倡将PtL等e-fuel作为有前途、可扩展的SAF生产途径。如今，生产SAF主要有四种工艺：酯类和脂肪酸类加氢（HEFA）、甲醇合成喷气燃料（ATJ）、费托合成（FT）、电转液（PtL）。HEFA是现在的主要市场，已实现商业化。ATJ和FT是

两种合成碳氢化合物的途径，FT生产的SAF与50%传统喷气燃料的混合物已获得ASTM认证，可直接用于飞机——从当下实用性考虑，FT优于ATJ。

本文所探讨的PtL仍在发展阶段，由于过去五年内太阳能与风能生产成本的急剧下降，引起了航空业的广泛关注。但要实现量产生产，当务之急是从技术、经济和环境的角度评估适合PtL的集成动力和喷气燃料系统。



欧洲的efuel方案

欧洲的方案涵盖气态氢（机场现场电解产生或来自北非）、PtL（来自中东和北非）、液氢（来自中东）。从中东和北非地区进口的燃料通过船舶（PtL和液氢）或管道（氢气）运往欧盟。PtL燃料直接输送到机场，氢气则需在机场附近液化再使用。

欧美政策支持

SAF达到最低GHG减排阈值时，美国通货膨胀削减法案2022（IRA）为生产商提供税收减免。IRA同时为绿氢的主要消耗——可再生电力提供补贴，显著降低了PtL成本。

欧盟排放交易体系（EUETS）中的补贴价格过低，无法激励航空公司采用SAF；因此，欧盟于2023年10月修订通过可再生能源指令和ReFuelEU航空法规（RefuelEU Aviation Initiative）强制增加SAF在欧洲喷气燃料组合中的最低份额，以此为PtL创造市场。

但即使在最乐观的估计下，预计SAF成本也不会降低至化石燃料的水平，因此，政府后续提供碳信用额等激励措施至关重要。

PtL航空燃料的优势

PtL适用于不同比例的SAF，50% FT途径合成的PtL已满足ASTM标准（ATJ途径尚未明确），可以直接投放于所有的航空基础设施，不需要对

飞机进行大幅度改动、甚至重新设计，也无需在机场附近再进行基建投入，PtL可以从原产地直接输送到机场进行使用。

与生物航空燃料相比，PtL对水资源消耗更少（主要在产氢和炼油厂）、对土地需求更低，可以打破高海拔地区对生产的限制，其作为生产eFuel的重要途径，为实现完全碳中和带来希望。目前，加拿大Duxion Motors公司已于今年11月初启动eFuel发动机测试，其突破性的高功重比，给大型飞机上的应用提供了可能。

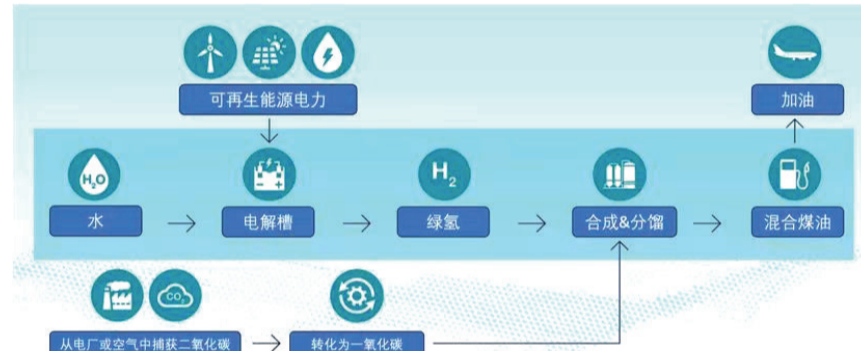
PtL研究与生产的国际动向

2021年，第一个PtL工厂建成，生产现在飞机所使用的航空煤油JetA1，其中原油就是利用电力从原材料二氧化碳和水，辅以合成工艺生产的。2023年3月14日，德国宇航

中心（DLR）从德国政府拿到1270万欧元的初步拨款，建造“世界上最大的PtL研究设施”。2023年10月，Teesside SAF项目在英格兰东北部建立首个专注于PtL航空燃料生产的炼油厂，该地区风能充足，陆地和海上风电场装机容量分别达10GW和8.5GW。

目前，汉莎航空、DLR、空客、MTU航空发动机公司与慕尼黑机场签署PtL研究合作意向书，称其为“未来技术”，有“规模化的前景”。在2023年6月的巴黎航展前，空客CEO接受采访时曾表示，空客正在与合作伙伴合作研究加速efuels的发展，并希望在本世纪30年代以合理的价格进入市场。

无独有偶，壳牌公司交付了140吨SAF，其中，挪威航空的购买量相当于丹麦奥尔堡和哥本哈根之间最繁忙航线上100架航班的燃料。早在



工厂数据	单位	FT路径生产的PtL	
		电厂废气等碳源	DAC
CO ₂ 来源	MW	2723	3325
电力输入	MW	1368	1368
燃油输出	t/h	114	114
	kt/yr	1000	1000
效率		51%	42%
投资			
电解技术	1006	1006	
氢气压缩机	165	165	
储氢	804	804	
供应CO ₂	226	1009	
合成	1506	1506	
总计	3706	4490	
各地区成本			
中欧（德国）	€/GJ	42.1	50.7
	€/t	1816	2186
南欧（西班牙）	€/GJ	34	40.8
	€/t	1467	1762
中东和北非地区	€/GJ	33.7	40.2
	€/t	1456	1735

2023年4月，挪威航空就与Norsk eFuel合作，在挪威北部建造PtL设施，以建设全面零排放efuel生产厂。

2023年11月29日，美国航空与生产PtL的Infinium公司、主营碳消除的Graphite公司建立新的合作伙伴关系，签署2025年的燃料采购协议。同时，Infinium宣布得到了Breakthrough Energy Catalyst的投资支持，将致力于PtL等efuel的生产。（作者单位系中国航空工业发展研究中心）

FAA官员：没有对737MAX7进行认证的“具体时间表”



据民航资源网消息，美国联邦航空管理局（FAA）高级官员于2023年12月19日表示，FAA没有对波音737MAX7进行认证的“具体时间表”，尽管该飞机制造商此前预计会在今年年底前完成认证。

FAA局长迈克尔·惠特克（Michael Whitaker）表示，自己正在确保准确获得关于MAX7和其他项目的“进展情况的简报，以了解该过程中出现的问题”。惠特克补充道，“问题正在得以解决，而且将会持续下去”。

波音表示：“我们将在认证过程中遵循FAA的指导，FAA将决定何时满足所有认证要求。”

此前10月，波音高管表示其日程安排保持不变，波音还在等待737MAX10的认证。惠特克表示，FAA需要“不断寻找其他方法来不断改进流程，提高认证问题的可见性。”此外，FAA还必须考虑新技术“以及我们如何验证它们的安全性”。

（郭季）

霍尼韦尔公司将向美属维尔京群岛交付电池储能系统

据中国储能网消息，霍尼韦尔公司将向美属维尔京群岛的6个太阳能发电园区提供首批电池储能系统。

霍尼韦尔公司将在这些园区除了部署总容量为124MWh电池储能系统之外，还将采用端到端的电池管理系统，通过集成的安全系统提供能量控制。

霍尼韦尔过程解决方案总裁表示：“我们致力于帮助客户实现他们的能源目标和脱碳目标。该项目是可持续能源如何帮助美属维尔京群岛低能源成本的一个例子。”



美属维尔京群岛总督表示：“随着我们开始向可再生能源转型，霍尼韦尔公司在电池储能系统方面是专业知识与我们的发展愿景无缝对接。它推动我们更接近在美属维尔京群岛实现30%可再生能源消耗目标，建立一个更清洁、更环保的能源生态系统。”

霍尼韦尔公司表示，在开通运营之后，太阳能发电设施和电池储能系统的发电份额将达该岛总发电量的30%，从而促进该岛实现脱碳目标。（孟瑾）

罗罗宣布土耳其航空将成为遼达XWB发动机最大运营商

罗罗宣布土耳其航空将订购100台遼达XWB-84和40台遼达XWB-97发动机。这将使土耳其航空成为全球最大的遼达XWB发动机运营商。

配备遼达XWB-84的空客A350-900、遼达XWB-97的空客A350-1000和A350F将于2025年至2033年间交付，这些发动机将享受罗罗全面的TotalCare服务。

“该公告对罗罗来说是极具历史意义的。遼达XWB是能够支持土耳其航空持续增长的发动机平台，这份订单将使土耳其航空成为全球最大的遼达XWB运营商。我们期待与土耳其航空合作，持续为全球不同地区和文化的旅客构建网络纽带。”罗罗公司表示。

作为全球最高效的现役大型航空发动机，遼达XWB还有助于土耳其航空快速推进可持续发展征程。与第一代遼达发动机相比，遼达XWB的油耗降低15%，能以更少的燃料飞行更远的航程，并具备领先的性能和噪声水平。如今该发动机采用50% SAF混合燃料已经通过认证，并已证明未来可以兼容。

TotalCare服务旨在将在翼时间和维护成本风险转移给罗罗，为客



户带来运营确定性。此项行业领先的高端服务由罗罗先进发动机健康监控系统获得的数据提供支撑，有助于提升客户的飞机可用性、可靠性和飞行效率。（辛文）