

中国石化生物航煤研发生产应用大事记

- 2009年 中国石化立项开发具有自主知识产权的生物航煤生产技术。
- 2011年12月 中国石化成功生产出生物航煤。
- 2013年4月24日 加注中国石化生物航煤的商业客机首次试飞成功。
- 2015年3月21日 加注中国石化生物航煤的客机首次商业载客飞行成功,从上海飞抵北京。
- 2017年11月22日 加注中国石化生物航煤的客机完成首次客运跨洋飞行,跨越太平洋平稳飞抵美国芝加哥。
- 2020年8月 我国首套生物航煤大型工业化装置首次投料试车成功,建成,加工能力为10万吨/年。
- 2022年12月15日 加注中国石化生物航煤的货机完成首次货运国际飞行,从杭州抵达比利时。
- 2022年5月至6月 中国石化镇海炼化油脂加氢(HEFA)路线生物航煤产品通过可持续生物材料圆桌会议RSB认证。镇海炼化生物航煤工业装置首次产出生物航煤。
- 2023年9月13日 加注中国石化生物航煤的客机完成“绿色亚运”主题航班首次飞行,从杭州抵达北京。
- 2025年2月26日 装载500吨中国石化生物航煤的“圣油238”轮从镇海炼化算山码头驶向中国香港,供应中国香港国际机场。
- 2024年6月5日 加注中国石化生物航煤的国产大飞机C919、国产客机ARJ21试飞成功。

中国石化在行动

石科院:“地沟油”变身记

作为我国最早研发常规航空燃料生产技术的单位,石科院自2009年6月起针对生物航煤开展立项研究。

区别于传统石油的馏分特性,生物航煤的原料动植物油的主要成分是三脂肪酸甘油酯,将其转化为生物航煤面临诸多技术难题,最直接的就是生物质量原料含氧量高,“在加氢过程中会生成大量水,导致催化剂失活,同时还消耗掉大量的氢气。反应过程放热量大,增加了控温操作的难度。”中国石化首席专家袁晨介绍。

针对生物质原料含氧高的难题,石科院把目光投向生产常规航煤时去除杂质的重要手段——加氢精制技术,大胆尝试分子水平石油炼制技术创新模式,力求把“地沟油”变成与石油基航煤基本一致的

镇海炼化:生物航煤飞天记

2022年5月,国内首套生物航煤工业化装置在镇海炼化进行首批规模化试生产,生产生物航煤合格产品600余吨。

生物航煤的主要原料,就是人们熟知的餐厨废油,俗称“地沟油”,同时也包括部分动植物油脂、农林废弃物等,与传统的以石油为原料生产的航煤相比,全生命周期二氧化碳的排放量最高可以减少50%以上。

当时,要顺利完成生物航煤工业化装置的生产任务,首要前提是制定完善可行的技术方案。镇海炼化加氢技术团队通过电话、邮件、视频会议等方式,与石科院、工程建设公司讨论生物航煤开工主要思路方向,与发展、计划、生产等部门讨论完善生物航煤原料采购、系统配套、开停工步骤等,协调制定关键节点,反复

炼油销售公司:生物燃料原料保供记

2024年以来,炼油销售公司围绕镇海炼化生物航煤装置原料保供,以及广州石化、天津石化生物航煤建设规划,积极构建生物燃料原料保供体系,推进炼油产业低碳、循环、可持续发展。

该公司第一时间成立专项工作领导小组,抽调精干力量,积极开展市场调研,针对性走访川渝、长三角、珠三角、京津冀等地区工业级混合油供应商,一方面根据镇海炼化技术指标严格筛选,优先与6家优质供应商签订合作意向书,按照及时、

合格、优质、优价原则锁定资源,确保镇海炼化生物航煤装置原料保供;另一方面针对广州石化、天津石化生物航煤建设规划,有针对性地开展区域供应商,为企业装置建设提供保障。

同时,该公司积极构建全链条保供机制,完成ISCC国际可持续认证体系对接,打通系统操作流程,确保业务合规开展。该公司还通过组建情谊团队,提升市场信息跟踪和商务分析研判能力,及时为集团公司及企业提供市场信息。

生物航煤生产流程示意图

客户反馈

“中国石化镇海炼化是国内可持续航空燃料的重要供应商,目前产品主要供应北京大兴、成都双流和宁波波社等首批试点机场,在国航、东航和南航多个航线加注使用,取得较好的成效。随着后续试点机场的增加,加注SAF的航线会进一步增加,我们将与镇海炼化紧密合作,保障各机场SAF用油供应,用实际行动支持民航业“双碳”发展。”——中航油宁波分公司负责人

一文读懂生物航煤



生物航煤是以动植物油、餐厨废油等可再生资源为原料生产的航空煤油,属于SAF。与传统航煤相比,生物航煤的全生命周期可降低50%以上的碳排放量,已成为全球航空减排的主要方向。

中国石化镇海炼化采用石油化工科学研究院自主研发的生产技术,以“地沟油”为原料生产生物航煤。“地沟油”是如何华丽转身成为生物航煤原料,最终进入飞机的油箱,翱翔于蓝天?让我们一同了解生物航煤的前世今生。



镇海炼化生物航煤装置员工正在采集生物航煤样品。



质检人员在进行生物航煤产品出厂前的磨痕直接分析。

“地沟油”为什么能成为生物航煤原料?

生物航煤是以多种动植物油为原料,采用自主研发的加氢技术、催化剂体系和工艺技术等,为“地沟油”就是其中一种原料,“地沟油”是通俗说法,专业上叫餐厨废油,即使使用的烹

将“地沟油”炼成生物航煤有什么意义?

我国是亚洲首家、世界第四家拥有自主研发生物航煤技术的国家,并初步形成了生物航煤生产、认证、应用体系。开发使用生物航煤意义重大,一是与传统航煤相比,生物航煤在全生命周期可实现二氧化碳减排50%以上;镇海炼化生产的生物航煤经可持续生物材料圆桌会议认证,减排在70%以上,推广应用生物航煤是实现航空运输领域清洁低碳转型的主要路

中国石化怎么助力“地沟油”变身航空燃料?

生物航煤项目是中国石化“十鑫龙”攻关项目,在中国石化科技部的组织指导下,镇海炼化、石科院、工程设公司、研究院四家单位组成项目组,通力合作。2011年11月,在镇海炼化杭州生产基地,改造完成亚洲第一套万吨级生物航煤示范装置。规模化生产生物航煤需要大量“地沟油”作为原料,研发人员面临杂质、杂质繁多、酸值高、含水量高等诸多问题。

生物航煤如何从实验室进入飞机油箱?

飞机对燃料的性能有严格的标准和要求,飞机要在万米高空安全飞行,要保持燃料的可流动性,冰点要小于等于零下47摄氏度,传统航煤执行3号喷气燃料的国际标准。生物航煤和传统航煤一样,都要严格执行3号喷气燃料的国际标准。

一种新燃料用于航空飞行,必须经过发动机测试、试验飞行并取得过发动机制造商的认可。镇海炼化在研发生物航煤的同时,也在推动生物航煤应用的产业链合作,与东方航空公司、欧洲罗斯-罗伊斯发动机公司等组成战略联盟,又与北京航空航天大学、中国国航等单位联合成立“中国航油替代燃料产业协同创新战略联盟”,建立

生物航煤市场前景如何?

以欧美国家为代表的全球主要经济体生物航煤生产应用发展迅速,2009年至今全球已有超过45家航空公司,40万架次航班使用了生物航煤。2017年,国际民航组织(ICAO)制定了生物航煤全球用量要求,即2025年达500万吨,2040年达1.28亿吨,2050年达2.85亿吨。2022年5月,国家发展改革委印发《“十四五”生物经济发展规划》,“生物经济”写入了“十四五”规划和2035远景目标纲要。这是我国首部生物经济五年规划,规划指出,开展新型生物能源技术研发与培育,推动化石能源向绿色低碳可再生能源转型。这对生物航煤

的推广应用是积极的信号。碳达峰碳中和政策也对生物航煤的发展具有重要意义。首先,这些政策为生物航煤的发展提供了政策支持,生物航煤的发展,推动了生物航煤的技术研发和产业化。其次,生物航煤作为一种可再生能源,可以有效减少航空业的碳排放,有助于实现碳达峰碳中和目标。最后,这些政策还促进了生物航煤产业链的发展,推动了相关产业的绿色转型升级。2050年,预测我国航煤需求量约7300万吨,若生物航煤掺混比例达到10%,生物航煤需求量为730万吨。

推进中国式现代化的石油石化行动



中航油公司
员工为航班加注
生物航煤。

中国石化经济技术研究院 杨 晨

全球航空业年均排放约10亿吨二氧化碳当量,约占全球二氧化碳总排放的2.8%。且1990~2019年航空业碳排放量持续增长,年平均增速达2.3%,远高于铁路、公路、航海运输业。在航空业技术未产生巨大突破前,预计可持续航空燃料(SAF)将成为国际航空业实现2050年净零碳排放目标的最佳解决方案。

目前,我国SAF的生产与使用尚处于发展初期,主流酯类和脂肪酸类加氢工艺路线的原料供应受限,且SAF的成本与售价相较传统化石燃料仍缺乏竞争力。下一步,我国要推动生产、物流、销售等全产业链协同合作,加速探索SAF应用,保障SAF产业安全,提升SAF产业竞争力。

发展SAF的必要性和迫切性

在“双碳”目标下,民航业碳排放量增长趋势与日益严格的监管要求形成鲜明对比,SAF被看作是最有希望助力航空业实现净零排放目标的减排手段。

2023年,全球航空业85%的碳排放来自旅客运输,较2013年增长了35.5%,年均复合增长率约3.1%,国际民航组织每年增加3%~5%。由于航空客运仍是国际交通的主要出行方式,这一部分航空客运难以被其他低排放交通工替代。

国际民航组织(ICAO)提出2035年二氧化碳净排放量不超过2019年排放水平85%的减排目标,其相应的机制将于2027年开始强制执行。欧盟理事会规定,至2030年底,欧洲范围内温室气体排放量将较1990年减少不低于65%,可再生能源使用量要占欧盟能源使用总量的40%,且将从2026年起逐步削减国际航空业免费发放的欧盟航空碳排放额度,同时储备2000万吨欧盟航空碳排放额度用于鼓励使用生物航煤的航司。我国多次出台交通运输领域的指导意见、政策及行业规范,多次提及鼓励航空业应用SAF。

航空运输业为实现2050年净零排放这一目标,可采取多种路径,其主要路径为部署新型航空器、优化运营过程、使用轻量化材料、使用新型动力实现减排和碳抵消等。过去,全球航空业主要采用提升基建及运营手段的方式进行减排,几乎已达到国际民航组织提出的至2050年全球航空业每年效率增长2%的目标。2013~2019年,全球航班平均碳排放强度(RPK)下降12%,燃油效率年均提高1.8%。但面对每年增加6%~8%的客运量,基建及运营手

SAF主要生产路线及发展潜力

技术工艺	原料	初步加工	关键中间体	潜力
酯类和脂肪酸类加氢工艺(HEFA)	藻类植物	油脂提取	脂类	·技术成熟度:成熟 ·全生命周期温室气体排放量较化石燃料减少73%~84% ·目前最具商业可行性的工艺,预计将在2030年前占据中国SAF市场主导地位
	食用油	中和		
	植物油	中和		
	动物油	脂肪提取		
醇醚合成工艺(ATJ)	玉米、甘蔗	发酵	异丁醇	·技术成熟度:商业化试点 ·全生命周期温室气体排放量较化石燃料减少85%~94% ·在美国等地原料可用性高且价格低廉,在中国原料成本相对较高
	木薯	发酵		
	农作物废弃物	发酵		
	农业废弃物	预处理		
费托合成工艺(FT)	林业废弃物	预处理	合成气	·技术成熟度:商业化试点 ·全生命周期温室气体排放量较化石燃料减少85%~94% ·潜在原料来源众多,挑战在于如何有效获取和加工
	能源作物	油脂提取		
	其他废弃物	分离		
	直接空气捕获(DAC)获得的二氧化碳/其他行业产生的二氧化碳+可再生能源电力电解水制绿氢			
电转液工艺(ePtL)				·技术成熟度:发展中 ·全生命周期温室气体排放量较化石燃料减少99% ·采用直接空气捕获技术,减排潜力巨大,蕴含的生产潜力无可限量

编者按

“地沟油”变身成为助力飞机翱翔天际的燃料,支撑航班完成跨洋远航。这份若科幻电影般的情节,如今已真实走进了现实。前不久,国泰航空与中国石化签订协议,为国泰航空于香港国际机场出发的部分航班加注由中国石化镇海炼化生产并传统航空燃油混合的可持续航空燃料。镇海炼化生产的可持续航空燃料原材料为废弃食用油,采用酯类和脂肪酸类加氢工艺(HEFA)生产,凭借其显

段效率的提升对航空业实现“双碳”目标的作用有限。因此,SAF被看作是最有希望助力航空业实现净零排放目标的减排手段。

具有发展前景的SAF技术路径

酯类和脂肪酸类加氢工艺、费托合成工艺、醇醚合成工艺,以及尚未被认定的电转液工艺中,酯类和脂肪酸类加氢工艺是唯一实现商业化的成熟路线。

目前,国际上对SAF的减排效果并未达成一致意见。

根据原料来源不同,SAF主要分为可持续航空生物燃料(生物航煤)和可持续航空合成燃料(非生物来源的可再生燃料)。可持续航空生物燃料由有机生物质(废物和低碳含量的原料)生产,包括废弃油脂、藻类、木质素类、生物油类、甲醇、乙醇;可持续航空合成燃料的主要能源和原料为非生物物质能源原料,主要包括可再生电力、水和二氧化碳等。

从生产路径看,目前符合美国民用航空局适航认证ASTM D7566标准的SAF技术路线,可按原料和工艺流程分为7类共9条,此外还有利用CCUS技术捕集二氧化碳与绿氢反应生产SAF的路径。目前认为未来具有较大发展前景的路线共有4条,主要是酯类和脂肪酸类加氢工艺、费托合成工艺、醇醚合成工艺,以及尚未被认定的电转液工艺。其中,酯类和脂肪酸类加氢工艺是唯一实现商业化的成熟路线,且在2030年前将持续占据市场主导地位,但产能增长受限于原料来源。费托合成和醇醚工艺正在逐渐从示范阶段向商业化运营转变,尤其是其原料可选择性较多,包括农林废弃物、城市固体废物排放物等,市场份额将在2030~2050年间快速提升。电转液工艺还在初期实验阶段,但是由于其减排能力更显著且几乎不用担心原料问题,很大可能成为中长期最主要的技术路径。

SAF的产业现状及发展趋势

全球SAF产能持续扩张,我国SAF市场还处于初期阶段,但在未来将进入快速增长期,供需两端均有快速提升的潜力。

全球SAF的生产量和消费量将大幅提升。全球SAF产业都带有显著的“政策驱动”属性。在欧美,政府已经设定或规划了国家或地区层面的SAF应用目标和具体的掺混指令要求,可持续航空燃料的应用将成为减排的重要手段。虽然航空减排目前仅占我国整体碳排放的1%左右,但航空业未来处于持续发展期,碳排放控制不容忽视。

中国民航局下发的《“十四五”民航绿色发展规划》中提出的绿色发展主要指标明确,“十四五”期间国际航空公司可持续航空燃料消费量5万吨,其中“力争2025年当年可持续航空燃料消

费率达到2万吨以上”。但是目前SAF主要应用

在部分国际航线上,国内航空公司SAF需求地点分散、掺混比例不一。未来,绿证模式和掺混比例固定有利于我国SAF的推广应用,预计2030年我国SAF需求将在150万~160万吨,占航空总产能需求3%左右;到2040年和2050年我国SAF需求占航空燃料需求将分别达到10%和30%。SAF需求主要来自美国、荷兰、新加坡、法国、加拿大。

随着全球SAF产能持续扩张,欧美成为主要的SAF消费市场,也是生产集中的地区。据统计,2024年全球SAF产量100万吨,占航煤总供应量的0.3%,其中欧洲和美国分别占产量的84%和14%。预计2025年全球SAF产量将继续增至200万吨以上,至少有43家航空公司已承诺在2030年使用SAF,还将会定期达成更多协议。根据国际航空运输协会的统计,到2050年,65%的减排将通过使用SAF来实现,意味着其年应用量将在2050年达到3.5亿吨。

国际民用航空组织统计了SAF的采购协议,从目前全球排名前十的SAF采购航空公司及其采购总量和协议签订数量来看,主要集中在欧美,包括美国的联合航空、西南航空、达美航空、美国航空、寰宇一家、德国的汉莎航空、法国、荷兰的飞荷兰、英国的博英瓦纳航空、日本的日本航空和中国香港的国泰航空。从供应能力来看,根据国际民航组织统计,截至2024年5月24日正在运营且已公布产能的SAF工厂共有48家,总产能达到2000万吨/年。从选取的48家工厂来看,欧美国家占有相当大的比重,产能排名前五的国家分别是美国、荷兰、新加坡、法国、加拿大。

随着航空业减排的推进,在成本政策引导和支持下,SAF供需两侧均有快速增长的潜力。从理论产能来说,如将我国现有规划的氢化生物柴油(HVO)产能进行改造,以制备SAF,加上现有的SAF产能,预计2025年SAF的总潜在产能可达205万吨/年,供应可满足我国当年航油总需求量的4.5%。

我国SAF生产具备潜力。我国SAF原料分布较广,可利用量大,为SAF的供给提供了保障,但收集和加工成本高、技术路线较单一等因素在一定程度上限制了产业发展。据统计,目前全国SAF在运营产能和规划产能580万~600万吨/年。随着航空业减排的推进,在未来政策引导和支持下,SAF供需两侧均有快速增长的潜力。从理论产能来说,如将我国现有规划的氢化生物柴油(HVO)产能进行改造,以制备SAF,加上现有的SAF产能,预计2025年SAF的总潜在产能可达205万吨/年,供应可满足我国当年航油总需求量的4.5%。

我国发展SAF的挑战和机遇

我国SAF仍面临原料供应受限、成本及售价偏高、标准仍需完善等问题,需要加大技术整体布局,扩大原料生产规模并降低成本,同时引导企业与科研机构强化技术创新,提升SAF产业竞争力。

在航空业技术未产生巨大突破前,预计SAF将成为全球航空业实现2050年净零碳排放目标的最佳解决方案。但目前我国SAF的生

产与使用尚处于发展初期,主流酯类和脂肪酸类加氢工艺路线的原料供应受限,且SAF的成本与售价相较传统化石燃料仍缺乏竞争力。此外,我国在SAF的工艺和性能方面的标准体系已经初步建立,但可持续性方面的标准仍在研究阶段。

国家层面顶层设计引导完善产业总体布局。我国对SAF的政策信号尚不明确,主要的市场参与方更多处于准备阶段,并未对SAF产能等方面作出明确规划。明确现行SAF制度规则以分散的调控政策为主,尚未形成全面的框架规则,关于SAF的针对性补贴、碳抵消机制、可持续性标准、适航标准等仍存在制度空白,法律约束力还需进一步增强,同时在产能、技术、原料供给和成本等方面目前都还存在瓶颈,“十四五”民航绿色发展规划专项规划提出的目标并非强制性目标。

积极探索原料收集和拓展工艺,逐步实现增产降本。酯类和脂肪酸类加氢工艺为现阶段合理路线,但实现规模化生产才能有效降低成本。因此,我国应在各地建立废弃油回收机制,就近回收,合理布局扩大生产规模。SAF的成本主要取决于原材料成本,而大规模专门种植的能源作物成本可控,产量和品质都有保证。鉴于我国土地资源丰富,在《关于做好2023年全面推进乡村振兴重点工作的意见》等文件指导下,建议在不触耕地红线的前提下,在我国西北、东北、华北等盐碱地区积极探索盐碱地、湿地植物及微藻类原料发展,逐步增加种植超级芦竹等能源作物。

加大科研投入,加强产业联合以推动技术创新。建议以共同推动SAF发展为目标,搭建多元化的产业联盟,成立以石油公司、能源公司、航油公司、航空公司、科研机构、技术提供商、原料企业等为主体的产业联盟。聚焦技术创新与研发,制定行业标准与规范,绿色供应链建设,市场转型,信息共享与知识传播等方面,推动生产、物流、销售等全产业链协同合作,保障SAF产业安全,提升SAF产业竞争力。

推动建立生物航煤全产业链,可以通过地方政府牵头健全废弃油脂回收网络,强化市场监管,推动区域规模化收集和集中化处理;鼓励行业龙头企业牵头,联合生产企业、销售企业、航空公司、废弃油脂回收方及航空器制造企业等相关方以市场化方式共同投资生物航煤项目,形成成本共担、利益共享机制。