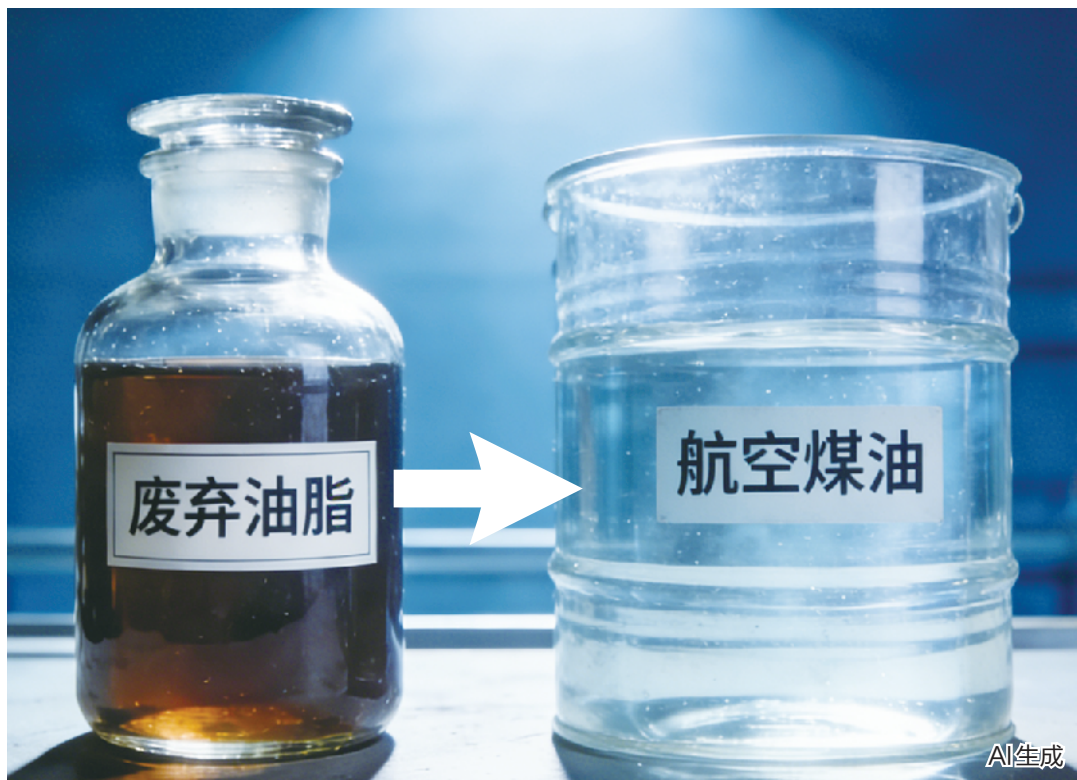


新技术让废弃油脂“变身”航空煤油

2025年12月,蓝鲸生物能源(浙江)有限公司采用中国科学院大连化物所(以下简称“大连化物所”)烷烃转化新催化材料及新过程研究组研究员田志坚和王从新团队开发的加氢异构生产可持续航空燃料及超低凝生物柴油技术,在其50万吨/年工业级油脂制生物柴油及生物航煤装置上一次开车成功,产出合格产品。

这套装置每年将处理50万吨废弃油脂,生产超过42万吨生物燃料,减排二氧化碳超过120万吨。

数字背后是一场持续18年的科研长跑。“我们完成的不只是一次成果转化,更是一场关于‘耐心’的深度实验。”田志坚说。



AI生成

给分子“做手术”

2007年,刚刚开启硕博连读的王从新加入导师田志坚团队。那时,国内几乎无人关注废弃油脂转化制航空煤油这一方向。“当时连‘双碳’概念都还没有。”王从新回忆道。

航空业碳排放在全球总碳排放中占比约3%。相较于地面交通可通过电能替代实现减排,飞机因载荷重、航程远的特性,短期内离不开高能量密度液体燃料,可持续航空燃料成为破解航空业减排难题的核心路径。而废弃油脂加氢异构路线,既能实现废油资源化利用,又能产出低碳燃料,是兼具环保价值与经济潜力的技术方向。

在2007年,上述技术方向既无成熟技术可借鉴,也无明确政策扶持。王从新表示,当年,田志坚布局这个方向,更多是基于对能源转型的前瞻判断。

田志坚团队的核心思路围绕“加氢异构”展开——在不改变分子量的前提下,通过催化剂将直链烷烃转化为带支链的烷烃,从而大幅改善燃料的低温流动性,高收率获得目标产品。

“该技术原理与高端润滑油基础油生产技术原理有相通之处,我们在这方面有一定积累。但油脂原料的碳链长度与润滑油差异很大,必须开发全新的催化体系。”田志坚说,“这相当于在熟悉的赛道上迎接一场全新的挑战。”

研究开展后,团队面临的首个挑战来自油脂本身。废弃油脂通常需要工厂在前期多步骤剥离杂质才能进行实验,所以在最初实验室阶段,一般采用干净、精炼后的油脂做前期实验。然而,清澈的豆油、花生油进入反应器反应之后,却会在管路中凝固堵塞。为什么这些流动性很强的液体,反应后反而凝固了?这个问题困扰了团队许久。

经过反复试验与深入分析,谜底终于揭开:油脂的主要成分是甘油三酯,在加氢过程中,它会先

转化为一些中间产物——饱和脂肪酸甘油酯和脂肪酸。恰恰是这一步,让团队吃了苦头。

“这就好比油脂分子在‘变身’中途卡住了。”王从新表示,“饱和脂肪酸甘油酯和脂肪酸的凝固点比原来的油脂高很多。如果催化剂性能不匹配,反应停滞在这一步,整个系统就会被‘冻’住。”

绘制出完整的反应路径图后,团队明确了目标:必须开发能精准驾驭反应的加氢脱氧催化剂,引导油脂分子快速通过“高凝中间物”这一关口,还需要开发针对中等链长混合正构烷烃的高性能加氢异构催化剂,将其最终转化为低温流动性优异的支链烷烃。

“这就好比给分子做一场精细的外科手术。”王从新说,“我们的目标是在不‘切碎’分子长碳链的前提下,巧妙地直链结构‘掰’出支链。”

最终,团队开发出性能优异的油脂加氢异构专用催化剂及成套技术。该技术可根据用户需要灵活调整工艺参数,应用于全产超低凝生物柴油、可持续航空燃料联产超低凝生物柴油、全产可持续航空燃料三种产品方案。

从中试到工业验证

技术开发完成后,现实却给了团队沉重一击。“我们一直开展这方面的研究,也与企业合作进行过小规模放大试验。”王从新回忆道,“但要进一步放大到中试和工业验证,就面临资金缺口——当时没有人愿意出资建造大型装置,来验证我们的催化剂和整套工艺。”尽管研究从未中断,团队却难以全力推进工程化跨越。

转机出现在2016年。当时,新疆克拉玛依市政府与大连化物所签署合作协议,决定3年内在克拉玛依市建设一个中试基地,共同孵化能源领域先进技术。2019年,田志坚团队与克拉玛依华澳特种油品技术开发有限公司合作在中试基地建设了一套百吨级中试装置,最大处理量达1000吨/

年,可以满足该技术的放大试验需求。然而,一旦进入技术放大阶段,诸多在实验室未曾暴露的问题就接踵而至。

“整个车间都弥漫着臭鸡蛋味。”王从新对当时中试车间的气味记忆犹新。问题出在加氢脱氧油里的有害废气分离环节——废弃油脂在加氢脱氧过程中会产生硫化氢和胺类气体。这些气体部分溶于加氢脱氧油中,若不能彻底脱除,会导致后续催化剂中毒。然而,在中试工艺放大试验中,脱除难度很难把控。

团队在现场蹲守两周,逐一调整汽提塔温度,并持续优化进料参数,最终将加氢脱氧油的硫氮含量降至百万分之一以下,合格的加氢脱氧油顺利进入加氢异构反应段,并经过气液分离和精密分馏,高收率产出了生物航煤和低凝生物柴油产品。这段经历让他们获得了从实验室到工业化场景的两条宝贵经验:第一,工业化必须直面真实原料的复杂性与不确定性;第二,要对工程工艺上的跨度保持清醒认识并做好充分准备。

随着欧盟可再生能源法案的酝酿,市场曙光初现。2022年,南京康鑫成生物科技有限公司主动联系田志坚团队。这家企业已掌握油脂加氢脱氧技术,却卡在后续生产航煤的关键环节。三方合作就此达成:康鑫成负责前段工艺与商务推广,大连化物所提供核心的加氢异构技术,蓝鲸生物能源则投资建设并运营工业化装置。

更大的考验紧随其后。合作工厂按团队提供的流程生产分子筛时,前几釜产品全都出现了杂质。“一釜就是5立方米,成本高达数万元。”王从新感到心疼。所有步骤明明都符合技术要求,问题究竟出在哪里?

细致排查后,团队发现了关键症结:该工厂此前生产过其他分子筛产品,在合成釜、洗滤设备进出料管道等常规清洗手段很难触及的部位残留了大量其他品类分子筛。因为长期生产,这些分子筛像铁锈一样牢牢地附着在管道内壁,而它们的

► 科工前沿

布料里“装空调”有望成真

酷暑难耐,即便身着薄衣,人还没动,汗先下来了。要是有一件衣服,能在大太阳底下自动吸热,让人始终感觉凉爽,是不是有点像科幻片?北京大学材料科学与工程学院教授邹如强团队,还真把这事儿做成了。相关成果日前发表于《自然·通讯》。

这背后的功臣,是一种叫“相变材料”的神奇物质。在智能穿戴与个人热管理领域,相变材料被公认为革命性的热管理解决方案。邹如强表示:“简单说,它就像藏在布料里的‘智能空调’:外界温度高了,它就把热量悄悄吞掉存起来;温度降下来,它再把热量慢慢吐出去。有了它,衣服成了一座可以自动调节温度的微型气候站。”

然而,这一技术从实验室走向日常生活,长期受困于一个核心矛盾:若要追求高储热密度,材料往往机械性能脆弱、易泄漏且导热性差;若为了结构稳定而牺牲储热能力,则又失去了调温的实际意义。这一“性能权衡”难题,严重制约了可穿戴装备的规模化应用。

研究团队独辟蹊径,用一种精巧的办法破解了这一难题。他们像盖房子一样,在微观世界里给相变材料搭建了一个既结实又通透的“安乐窝”。“我们在材料里掺入微小的碳纳米管,它细得如十万分之一头发丝,却能当‘钢筋’撑起骨架,还能当‘高速路’让热量快速通过。同时,我们还构建了一种‘三维互穿聚合物网络’,把那些负责吸热放热的相变小分子精准地约束其中——这样,即便温度升高,相变小分子熔化为液体趋向流动时,也会被笼子牢牢锁住,一滴都漏不出来。”

这一招“四两拨千斤”,效果惊人。研究团队纺出来的相变纤维,储热能力几乎拉满,单位重量能吸收的热量是同类材料顶尖水平。而且这纤维亦极为柔韧,拉伸至原长十五倍也不会断裂。这种高性能纤维可直接兼容商用纺织设备,在剪裁、缝纫、织造等环节中无缝衔接,加工完好率超过98%,为产业化应用铺平了道路。

合成体系又对杂质异常敏感。这些微小的“种子”在新的合成过程中诱发了杂晶生长。解决方案也非常简单,团队更换了关键部位管道和全新的洗涤剂,并对反应釜和所有管道进行彻底清洗,最终解决了问题。

2025年1月,工业化催化剂生产正式启动。5个月后,当卡车载着首批催化剂驶向浙江时,王从新心中涌起的不是喜悦,而是沉甸甸的责任:“20多亿元的投资、几百人的期待,全都系于这几十吨催化剂之上。”

2025年12月,装置进入开车阶段,田志坚团队驻守现场,第一周每天睡眠不足4小时。“最紧张的是升温阶段。”王从新表示,“我们每半小时就看一次数据。当时温度升至330摄氏度却没有观察到明显反应,控制室内的空气突然安静。”团队顶住压力,继续将温度逐步提升至335摄氏度,终于在凌晨时分,合格的样品从取样口汩汩流出。

这意味着,加氢异构生产可持续航空燃料及超低凝生物柴油技术在50万吨/年工业级油脂制生物柴油及生物航煤装置上实现了一次开车成功。

“唯有对每个细节死磕”

这是王从新首次完整经历技术从实验室走向工厂生产的过程。“沉住气,把事情做扎实。没有捷径,唯有对每个细节死磕。”他总结道。

在工业化生产现场,工业反应器有30多米高。装填催化剂前,王从新爬下去检查。“那是临时架设的云梯,踩上去晃悠悠的。第一次下去,爬到一半手臂就发酸发抖,因为全靠两只手臂用力。在从反应器底部往上爬到倒数第二层时,实在没力气了,挂着安全绳,戴着呼吸面罩,歇了好一会儿才缓过来。”

王从新之所以能坚持下去,是为了亲眼确认反应器内部的清洁程度。“操作人员可能觉得已经很‘干净’了,但他们的标准未必是生产真正需要的标准,我必须亲眼看、亲手摸。”果然,下到反应器深部后,他在内壁上一抹,手套沾上了一层锈灰,这主要是由于装置建设时反应器除锈和维护方面的疏忽导致的。“虽然铁锈本身不是决定性因素,但会影响催化剂和工艺的长周期稳定运行,所以我们要重新搭好架子,彻底清理。”

这件事也体现了团队长期秉持的“小狗过河”文化。“导师会指引河对岸的方向,但不会具体教你用哪种泳姿游泳;每个学生都像要过河的小狗,必须自己‘扑腾’,在探索中练就本领,找到自己的方式抵达目标。”田志坚说。课题组不经常开组会,更多的是依靠成员的自觉和对问题的主动探索。“你不能指望导师什么都手把手教,核心是自己折腾过河,工作中的主观能动性和自我驱动力才是最重要的。”王从新说。

如今,工业化装置正在稳定运行,但田志坚团队在技术上的优化从未停止。他们正致力于将反应温度再降低10摄氏度,将目标产品收率至少再提高1个百分点。

“这套技术的意义不止于处理废弃油脂,更是为中国生物燃料产业提供了一个可复制的技术范式。”王从新说,“未来我们将探索与其他可再生能源耦合的新工艺,力争取得新的突破。”

据《中国科学报》作者:孙丹丹

天然脂肪醇工艺 创新产出绿色“工业粮食”

近日,天津大学化工学院教授赵玉军团队与辽宁精细化工产业技术发展有限公司合作的“生物油脂高选择性加氢制脂肪醇技术”成果,通过中国石油和化学工业联合会组织的评价,专家委员会一致认定,该技术创新性强、综合技术指标达到国际领先水平。这标志着我国在高端天然脂肪醇制造工艺上取得关键突破,为该领域实现自主可控奠定了坚实基础。

脂肪醇被誉为现代精细化工的“工业粮食”,是生产高端表面活性剂、化妆品、洗涤剂、润滑油等产品的核心原料。其中,由椰子油、棕榈油等可再生资源制成的天然脂肪醇,因分子结构规整、生物降解性高、对皮肤温和无刺激,成为日化、护理等领域的“绿色宠儿”。我国脂肪醇需求持续增长,但进口依赖度较高,核心工艺“卡脖子”问题亟待解决。

打造出两大核心创新成果

长期以来,全球天然脂肪醇主流生产技术存在诸多痛点,需要高温高压及高达2000:1的氢酯比,导致设备投资巨大、能耗居高不下,还存在催化剂选择性低、产品经济性差等难题。开发自主、高效、低碳的制备新路径,既是我国产业发展的战略急需,也是全球科技创新的前沿课题。

面对行业痛点,赵玉军团队摒弃跟随模仿的老路,从理论源头创新,基于自主提出的“凝聚相催化”新理论,打造出两大核心创新成果。

赵玉军表示,团队在催化剂研发上揭示了铜基催化剂活性依赖于解离氢气与活化酯基的协同作用这一核心机理,通过独创的“碳包覆限域”与“助剂修饰”技术,实现对催化剂表面结构的精准调控。这不仅大幅提升催化活性和选择性,还减少了载体表面易被甲醇腐蚀的硅羟基,让催化剂具备卓越的抗甲醇毒化和耐高温烧结能力,寿命大幅延长。

“另一创新在工艺设计上,我们开发的‘中压凝聚相油脂加氢’成套工艺技术,规避了传统方法存在的高能耗和安全风险,在中压、低氢酯比的温和条件下,构建了高效的反应环境,实现了脂肪酸酯向脂肪醇的定向高效转化,从源头上降低了全过程能耗与设备投资。”赵玉军说。

实现理论技术突破后,赵玉军团队与辽宁精细化工产业技术发展有限公司联合攻关,进行工艺开发和放大。双方联合,开发了从克级到吨级的催化剂放大制备关键技术,首次在国内建成年产百吨级的生物油脂加氢制脂肪醇全流程中试装置,并完成了1000小时的连续稳定运行。

未来有望打破对进口的依赖

在中试平台考核现场,该技术交出了亮眼的成绩单:72小时专家现场考核期间,关键原料月桂酸甲酯平均转化率大于等于99.59%,目标产品月桂醇平均选择性大于等于99.69%。每公斤催化剂每小时可生产309克脂肪醇,精制后脂肪醇纯度大于等于99.93%,所有质量指标均优于《天然脂肪醇》国家标准(GB/T 16451-2017)优级品指标。

该技术的绿色价值同样突出。经测算,相较于传统石油基路线,该生物质路线可显著降低碳排放,每生产百万吨产品,相当于实现碳减排640万吨。目前,该技术已完成从实验室研究、模型试验到百吨级中试的全链条验证,技术成熟度在7级以上,具备产业化推广的坚实基础。

未来,随着产业化进程深入,该技术有望打破我国对高端天然脂肪醇进口的依赖,为提升精细化工产业链自主可控能力、保障国家供应链安全提供关键支撑;技术还将辐射至广阔的经济与民生领域,为日化、医药等产业提供稳定、优质的绿色原料。目前,研发团队已着手布局万吨级工业示范项目,并计划将技术拓展至更高碳链产品,这一绿色化工自主创新技术,正稳步迈向产业“蓝海”。

据《科技日报》作者:陈曦

什么是相变纤维

作为相变材料之一,相变纤维是一种能够感知温度变化并自动调节热量的智能材料。相变纤维的精髓是:不再靠厚厚的棉花把热捂住,也不靠透气孔把热放掉,而是像海绵吸水一样,把热量“吸”进材料里储存起来,冷了再“挤”出来。如何实现这一过程?早期多采用微胶囊技术,将相变物质包裹后嵌入纤维。而如今,以我国科学家最新突破为代表的的前沿工艺——纳米结构限域法,既实现了高效调温,又从根源上杜绝了泄漏。如今,从航天服到户外装备,从婴儿睡袋到节能窗帘,相变纤维正让衣物从“被动保温”升级为“主动控温”的智能系统。

据《光明日报》作者:晋浩天

据《光明日报》作者:晋浩天