

给退役风电叶片回收加个“活扣”

■本报记者 陈彬 实习生 金梦婷 通讯员 王鹤立

在日常生活中,环氧树脂是一种常见的材料,不仅可以用来制作丰富多彩的装饰品,还被广泛应用于手机电路板封装、风电叶片支撑、飞机机身加固等工业和加工领域,甚至被称为现代工业的“隐形骨架”。

不过,这个隐形骨架并不完美。“在应用中,环氧树脂存在高强度、高耐热性与韧性、可加工性难以兼顾的问题,这又被称为“跷跷板困境”。”天津大学化工学院教授汪怀远接受《中国科学报》采访时说,该问题已经困扰了相关行业数十年之久。

不久前,汪怀远团队成功破解了这一难题。他们开发出兼具耐高温、高强度与可回收特性的新型环氧树脂,并为高端材料绿色化提供了解决方案。相关研究成果发表于《先进材料》。



董严斌 / 摄
 焦学伟在进行相关实验。

利弊全因“分子网”

作为航空航天、新能源、电子封装等领域的核心材料,目前环氧树脂的全球市场规模已超过130亿美元。这一巨大的应用市场与环氧树脂自身优异的粘接力、机械强度和耐化学性直接相关。

在这些优异的性能背后,则是其靠传统手段难以摆脱的“跷跷板困境”,以及巨大的环保威胁。

论文第一作者、汪怀远团队博士生焦学伟介绍,作为制造风电叶片的关键基材,每年约有5800吨环氧树脂复合材料由于风电叶片的退役而变为废弃物。这些废弃物很难被回收利用,只能填埋或焚烧,既浪费资源又污染环境。

环氧树脂的优势和劣势均与其自身的分子结构有关。“环氧树脂的分子结构中存在很多活性基团,它们在特定条件下相互连接会形成一张致密的‘分子网’。”汪怀远解释说,这张网就是让环氧树脂拥有超高机械强度和耐化学性,以及优异粘接力的关键。

然而,环氧树脂的“跷跷板困境”和环保问题也来自这张“分子网”。

“一方面,‘分子网’越紧密,环氧树脂就越结实、越耐磨,但这会导致其韧性大大降低,材料会变得更脆;反之,降低

‘分子网’的密度会提升材料的韧性和可加工性,但环氧树脂也就不再结实。这是一个只能‘二选一’的难题。”汪怀远说。另一方面,由于其结构本身的牢固性,“分子网”一旦形成,就如同被永久胶水粘死,不管用物理还是化学方法,都很难将其拆解,更遑论回收利用和自然降解了。

“长期以来,人们往往会通过使用添加剂的方式提升环氧树脂的性能,但由于这些添加剂很难触及分子结构,也就导致了‘治标不治本’,难以取得令人满意的效果。”汪怀远说。

在“死结”中加一个“活扣”

“既然传统分子网络结构是一个‘死结’,那么能不能给它加上可断开连接的‘活扣’?”这是在经过多年探索后,汪怀远团队想到的一个思路。这个思路也成为破解“跷跷板困境”的钥匙。

焦学伟告诉《中国科学报》,所谓的“活扣”,就是一种可逆的“酸碱离子对”。研究团队将这种离子对嵌入传统环氧树脂的刚性网络中,形成了一种新型结构。

在这一结构中,“酸碱离子对”扮演着双重角色——既是吸收冲击能量的“微型减震器”,又是在高温下启动键

位重组的“智能催化剂”。

具体而言,当环氧树脂受到外部能量冲击时,这些“活扣”会率先断开并吸收能量,避免整个“分子网”断裂,让材料变得更坚韧,打破“越硬越脆”的困境;而当需要回收利用时,通过加热,“活扣”就会启动键位重组,原本致密的“分子网”能轻松拆解,既可以重新加工成新环氧树脂材料,也能减少废弃物污染,从而一举解决“性能”与“环保”两大难题。

这一设计看似简单,实则攻克了诸多技术难关。“关键是要找到反应的‘平衡点’,既要保证离子对能有效发挥作用,又不能破坏材料本身的强度和耐热性。”汪怀远回忆,团队筛选了上百种试剂组合,监测了无数次温度曲线,才最终确定了最佳方案。

为国产化替代开辟广阔空间

实验数据印证了这一方案的成功。

“新型环氧树脂强度达到78兆帕,玻璃化转变温度超过245摄氏度,这意味着在1平方厘米的面积上,新型环氧树脂材料能承受780公斤的压力,几乎等同于1.5头成年水牛的重量。同时,在245摄氏度的环境中,该材料依然能保持原有的硬度和结实度。”汪怀远说,对比市售高端产品,该材料耐热性提高约15%。

除了超高强度和耐热性外,该材料的断裂韧性也达到了每立方米8.2兆焦耳。相较于市面上出售的高端环氧树脂材料,其断裂韧性提升了近3倍。

“也就是说,这种材料不但完美地解决了环氧树脂的‘跷跷板困境’,材料本身的高强度、高耐热性与韧性也均有了大幅度提升。”汪怀远说。

更重要的是,新型环氧树脂还具备了传统环氧树脂缺乏的自修复能力和可回收性。

“我们首次在如此高性能的热固性环氧树脂中实现了形状可编程及化学降解。”汪怀远表示,这种材料可以多次再加工和物理回收,性能下降不超过10%。这打破了传统环氧树脂“一次固化即永久定型”的局限。

这些性能的背后是广阔的应用前景。比如,团队通过简单热压印工艺,利用新型环氧树脂成功制备出超疏水、高导热复合涂层,在添加氮化硼填料后,其导热系数显著提升,能直接解决5G基站、高性能芯片的散热痛点。汪怀远表示,采用该涂层后,芯片运行温度降低15℃到20℃,稳定性显著提高。

对于风电行业而言,这项技术更能带来革命性变化。“以前每年约5800吨退役叶片废弃物只能填埋或焚烧,现在通过高温处理,就能分解再加工为新基材。”汪怀远说。

在航空航天和新能源汽车领域,新型环氧树脂的优势同样突出。“飞机机身加固需要高强度和轻量化兼顾,传统材料韧性不足,在高空湍流冲击下易出现裂纹。”汪怀远表示,新型材料在重量减轻10%的同时,抗冲击能力大幅提升,能有效抵御湍流和起降应力。

目前,团队正与产业界积极对接。“高端环氧树脂长期依赖进口。我们的材料性能更优,还兼具环保性,能为国产化替代开辟广阔空间。”汪怀远表示,未来随着技术的产业化落地,各类高端制造产品都将实现更耐用、更环保的升级跨越。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1002/adma.202512584>

集装箱

全球首个面向南海的海-气双向耦合智能大模型发布

本报讯(记者朱汉斌 通讯员王沐众)2月7日,由中国科学院南海海洋研究所与中国石油大学(华东)联合研发的“南海区域海-气双向耦合智能大模型”“飞鱼-1.0”(以下简称“飞鱼-1.0”大模型)在广州发布。这是全球首个面向南海的海-气双向耦合智能大模型,标志着我国在海洋智能化预报领域迈出坚实一步。

据介绍,“飞鱼-1.0”大模型的名称源于《山海经》,寓意该模型能高效跨越海气界面,突破传统预报局限。它首次实现海-气物理变化从“单向耦合”到“双向耦合”的跨越,首次摆脱对国外核心数据的依赖。该模型训练所用核心数据采用中国科学院南海海洋研究所自主研发的高分辨率南海再分析数据集REDOS 2.0。这一举措打破了国内海洋大模型长期高度依赖欧美再分析数据的局面,同时赋予大模型精准

刻画海洋内波、锋面等小尺度过程的能力。

传统数值模式对超算资源依赖程度极高,而“飞鱼-1.0”大模型将南海海气环境时空演化特征的先验知识深度嵌入亿级参数的特征提取与计算中,并基于这些先验知识推理复杂海气非线性过程演化。训练完成后,预报(推理)过程本质上是高效的前向计算,速度极快。同时,该模型首创面向海气要素预报的多专家系统(MOE),能根据不同预报任务智能调用最合适的计算模块,大幅降低学习能耗,还可针对新海域或新任务实现模块功能扩展。

基于核心技术创新,“飞鱼-1.0”大模型仅需3年历史数据即可完成训练,而以往其他人工智能(AI)模型一般需要20年以上的历史数据。在国产化单机环境下,该模型完成3天预报仅需3秒。

IP-SAFE 项目加速器装置主体安装完成



IP-SAFE 项目的加速器装置主体。 近代物理所供图

本报讯(记者叶满山)近日,中国科学院近代物理研究所(以下简称近代物理所)负责建设的IP-SAFE项目加速器装置主体在兰州新区顺利完成现场安装。这标志着国际首台基于超导直线加速器的阿尔法医用同位素量产示范装置建设迈出重要一步,为IP-SAFE项目的全面完成奠定了坚实基础。

IP-SAFE项目全称为“基于加速器的医用同位素药物研发平台”,是国家“十四五”科教基础设施之一。项目依托近代物理所在强流超导直线加速器、

高功率靶和同位素分离等领域的技术积累和优势,旨在实现全球紧缺的医用阿尔法同位素——钷-225、镭-223的规模化生产,着力破解我国此类高端医用核素长期依赖进口的局面。

项目自2024年7月5日正式启动以来,团队始终以“突破瓶颈、保证质量、提升效率”为核心导向,凝心聚力、攻坚克难,在不到一年半的时间内高效有序完成了项目加速器装置主体的现场安装。该装置建成后,将有力提升我国核医学诊疗水平,为生物医药产业的发展注入新的动力。

按图索技

微创手术有了精准“导航”

本报讯(记者刁雯萱)中国科学院深圳先进技术研究院集成所研究员徐天添团队联合浙江大学研究员陆豪健团队开发出一种可贴附、可定制的柔性磁定位贴片系统,并构建了“双阶段磁定位”策略,有望为微创手术中医疗器械的操作提供高精度、实时跟踪的新策略。近日,相关研究成果发表于《自然-传感器》。

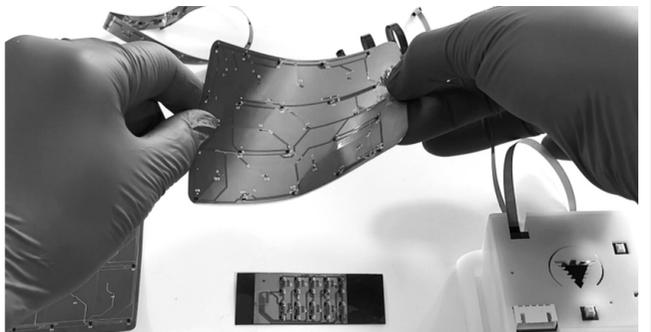
研究团队开发的柔性磁定位贴片整体结构轻薄、柔软,可根据具体需求设计成不同形状与尺寸,贴附于皮肤表面,或集成于探头、内镜等医疗器械表面,能够“即贴即用”,如同装上“柔性全球定位系统”,为操作医疗器械提供精准“导航”。

基于这种柔性贴片,研究人员进一步开发出双阶段定位算法。它就像卫星导航系统中的“基站辅助定位”功能,首先通过外部磁场,确定柔性贴片在全局坐标系中的位置,再以该贴片作为局部参考,实现对体内小型磁性目标的定位。

徐天添表示:“我们希望证明,磁定位不仅可以在受控环境下‘测得准’,更能在真实体内环境中‘用得上’。”

未来,团队将进一步探索该方法在多个器械协同导航、长程生理信号感知等方面的应用。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1038/s44460-025-00017-9>



可贴附、可定制的柔性磁定位贴片。 研究团队供图

专家讲坛

“三硬三软”是发展自主可控量子产业的重要抓手

■郭国平

近年来,全球量子计算竞争正从实验室快速走向产业化,各国围绕未来算力主导权的争夺日趋激烈。中国科学院院士郭光灿指出:“这是一场全链条能力的竞争。美欧依托早期布局,正通过技术生态与供应链优势巩固领先地位。”

在这场战略竞争中,中国如何构建自主可控的量子产业生态,实现从技术跟跑到产业引领的跨越?由于长期耕耘在量子计算一线,笔者经常被问到类似问题。尤其是地方政府、大型企业还会经常问及:发展自主可控的量子产业有哪些“抓手”或突破口?

三大核心竞争门槛

笔者以为,必须围绕“三硬三软”建构六大核心能力体系,即构建以“量子芯片系统、量子计算测控系统、量子计算环境支撑系统”三大硬件基础与“量子操作系统与软件、量子计算云平台、量子计算应用软件”三大软件生态为核心的完整技术体系,打造自主可控、软硬协同的产业生态。

具体到区域发展选择上,各地方可根据资源禀赋、人才类型、财政力度等,择一二优势领域重点投入,同时兼顾全国“一盘棋”的发展格局。

为什么是这“三硬三软”?量子计算产业的核心竞争门槛主要体现在核心

技术、生态构建与标准主导三个维度,而这些门槛的形成,与“三硬三软”六大核心能力的布局深度直接挂钩。

从形成逻辑来看,量子计算的核心技术门槛源于量子计算领域的高度专业性。量子芯片、测控系统、操作系统等关键环节,既需长期的技术积累与高额研发投入,又存在软硬件深度绑定的特点。美欧凭借数十年的前瞻性布局,已由IBM、谷歌等机构形成技术代差。生态门槛源于软硬件协同发展的强关联性,国际领先企业通过搭建“三硬三软”全链条生态,形成了稳固的用户黏性与技术壁垒,比如IBM借助芯片、Qiskit框架与云平台的协同效应,占据了全球半数以上的开发者资源。标准门槛来自领先国家和企业对行业规则的主导权争夺,美国、欧盟通过牵头制定国际标准,牢牢把握产业发展的话语权。

技术、生态、标准这些门槛对全球产业格局产生深远影响,不仅加剧了头部企业与后发主体的差距,更凸显了核心技术自主可控的战略意义,也倒逼国内加快“三硬三软”全链条攻坚步伐。

产业链建设面临共性挑战

面对竞争格局,我国科研团队与企业正全链条攻坚“三硬三软”,多项关键技术持续突破。以本源量子为代表的创新企业进展迅速,72比特“悟空芯”稳定

运行于国产第三代超导量子计算机“本源悟空”中,累计完成超76万个量子计算任务。其自主研发的“本源天枢”量子计算测控系统、SL系列稀释制冷机,也已成功打破国外长期技术垄断。

尽管进展显著,但关乎产业发展的“三硬三软”全链条协同效能尚未充分释放。

当前量子计算产业链建设面临多项共性挑战:工具链仍呈现碎片化特征,超导、光子等不同技术路线间缺乏统一的接口标准,导致跨平台开发与兼容成本高。同时,既精通量子算法又熟悉经典软件工程与行业知识的复合型人才缺口巨大,制约了技术的快速迭代与应用落地。

此外,当前多数量子应用软件项目仍处于原型验证阶段,尚未与企业现有IT系统及工作流程深度集成。而制约其落地的核心因素在于,一方面,部分量子算法在实际业务场景中的优势尚未得到大规模数据验证;另一方面,量子-经典混合计算的系统级架构与协同优化方案仍不成熟,这也导致许多企业对量子计算投入的回报周期与明确价值尚存疑虑,影响了其采用意愿。

破局的关键

量子计算应用真的遥不可及吗?并不。近年来的实践证明,随着硬件

稳定性的提升与算法库的持续完善,人工智能、金融风控与药物筛选等领域有望成为量子应用软件规模化落地的前沿突破口。这些领域的应用尝试与突破给量子计算产业的发展带来了希望。

在全国战略层面上,破局的关键在于坚守全链条自主可控底线,以“三硬三软”协同突破为中心,构建政产学研协同的全国“一盘棋”攻坚格局。具体而言,国家层面需强化顶层设计,调集队伍开展联合攻关;科研机构要筑牢源头创新,同时做好工程能力衔接;企业要做好应用落地,推动成果转化;地方政府则应发挥禀赋优势,形成差异化布局。

从技术发展角度看,现阶段应重点攻克含噪声的中等规模量子阶段向容错量子计算过渡的瓶颈,推动芯片规模化量产,强化云平台混合算力输出,并在重点领域打造规模化应用示范,全面激活产业发展动能。

量子计算作为新质生产力的重要载体,其竞争本质是全链条能力的比拼。中国唯有坚守自主创新底线,持续优化“三硬三软”协同生态,方能在全球量子科技竞争中占据主动,迈出高水平科技自立自强的前进步伐。

(作者系中国科学院大学教授、安徽省量子计算工程中心主任,本文由本报记者赵广立整理)

新技术让氢化镁材料实现规模化制备

本报讯(记者孙丹宁)近日,中国科学院大连化学物理研究所研究员陈萍、曹湖军团队与大连富德金煜新能源有限公司、榆林中科洁新能源创新研究院和中石化广州工程有限公司共同开发的“镁基固态储氢材料制备工艺成套技术”,通过了中国石油和化学工业联合会组织的科技成果评价。

我国氢能产业正步入快速发展期,但氢的高效、安全储存与运输仍是其大规模商业化的技术瓶颈。镁因理论质量储氢密度高、原料丰富、成本较低等优势,受到广泛关注。然而,该材料在实际应用中面临吸/放氢速率慢、反应温度高、循环可逆性差等难题。

“镁基固态储氢材料制备工艺成

套技术”解决了粉体传热效率低、易烧结、动密封难度大等关键技术难题,于2025年1月建成了150吨/年的氢化镁产线,实现了氢化镁材料的规模化低成本制备。

目前,“镁基固态储氢材料制备工艺成套技术”合作方已累计获得10项核心发明专利授权,覆盖了从材料、催化剂、关键核心设备到工艺系统集成关键环节,形成了较为完整的自主知识产权体系,标志着我国在镁基固态储氢材料领域实现了从实验室研发到规模化稳定生产的突破。相关成果及中试数据也为研究院团队与大连富德金煜新能源有限公司进一步合作,开展2000吨/年氢化镁生产装置的设计和建设提供重要依据。

全国首届脑机接口开发者大会在津召开

本报讯(记者陈彬 通讯员董明欣)近日,全国首届脑机接口开发者大会在天津举行,近千名来自全国各地脑机接口领域的技术开发者、算法工程师、头部企业代表、临床医生及行业专家齐聚天津,集中探讨脑机接口技术的前瞻布局和场景落地,构建更具活力的脑机接口未来产业创新生态。

活动现场,《脑机接口开源软件平台应用与实践教程》正式发布。该教程由天津大学牵头,汇聚相关领域专家学者合作编写,阐释了我国首个脑机接口开源软件平台MetaBCI自2022年推出后,形成的多设备兼容、多范式统一、多场景应用的新生态体系。同步上线的纸质教材、数字教材,为高校及企业研发人员提供了从理论教学到实验操作的完整闭环,让更多技术爱好者成为未来数字世界的创新载体。

大会正式发布全国首个脑机接

口开发者创新生态社区——脑机求是开发者社区BCIves,通过汇聚优秀技术经验、激发开源分享活力、沉淀优质开发成果,解决脑机接口协作开发交流难、资源散的痛点。

为进一步构建覆盖基础研究到应用开发、人才培养的完整学术生态,大会推荐了《脑机接口学报》期刊,发布了《脑机接口产业的人才摸底和分析研究》。大会还揭晓了2025年度中国脑-机接口“华瑞奖”,发布年度十大进展,27位在该领域作出突出贡献的学者分别被授予终身成就奖、卓越学者奖、杰出青年奖和学术新星奖。

大会设立了9个分论坛,深入探讨硬件系统与传感技术、算法模型与数据软件、应用技术与临床验证、领域标准与人才培养等全链条关键议题,促进学术界、产业界与开发者社群的深度对话,推动脑机接口领域创新生态的构建。