

“一克电池飞一公里”，“离域化”电解液真神！

K 热点透视 redian toushi

在电动交通、低空经济等新兴产业爆发式增长的当下,传统锂电池的续航焦虑日益凸显。近日,天津大学材料学院教授胡文彬、韩晓鹏团队联合西北核技术研究院研究员、中国工程院院士欧阳晓平、特种化学电源全国重点实验室高级工程师郭源研发出革命性的“离域化”电解液体系,将金属锂电池能量密度提升至 600 瓦时/公斤,较现有商用电池续航能力提升 3 倍。该成果 8 月 13 日发表于国际期刊《自然》,标志着我国在全球高能电池赛道实现从跟跑到领跑的关键跨越。

续航焦虑日益凸显

“新兴产业的爆发式增长,对电池性能提出了前所未有的要求。”胡文彬介绍,电动交通工具需要更长续航里程。低空经济中的无人飞行器对轻量化、高能量密度电源需求迫切,绿色储能领域更是需要高效稳定的能量存储方案。

然而,当前广泛应用的传统锂离子电池,已逐渐显露出“力不从心”的疲态。目前商用锂离子电池的能量密度普遍停留在 200-300 瓦时/公斤,已无法满足无人机、高端电动车等场景对电池长续航、轻量化的需求。

以低空经济为例,根据中国民航局最新数据,2023 年我国民用无人机市场规模已突破 1200 亿元,但无人机飞行时间普遍局限在 30-60 分钟。“电池重量占无人机重量的 30%-40%。能量密度不足直接限制了其作业半径和载荷能力。”胡文彬说。同样,在电动汽车领域,消费者对续航里程的焦虑仍未消除。尽管主流车型续航里程已达 500-700 公里,但冬季衰减、快充损耗等问题依然突出。

传统锂离子电池的能量密度和性能已接近理论极限。相比之下,锂金属电池凭借其远超传统锂离子电池的理论能量密度,被寄予厚望。胡文彬进一步解释:“锂金属的理论比容量是现有石墨负极的 10 倍以上。采用锂金属作为负极的电池,理论上能实现能量密度的跨越式提升。”

“这不仅是技术升级的需要,更是产业发展的必然选择。”胡文彬认为。巨大的



课题组将高能量电池应用在仿真无人飞行器上进行试验
■ 受访单位供图

技术潜力与迫切的产业需求形成的强大合力,推动着全球科研力量加紧攻关,力求在新一代高能二次锂电池的研发上实现关键性突破,为新兴产业持续发展注入强劲动力。

新设计理念突破传统限制

面对传统锂电池的技术瓶颈,天津大学联合科研团队创新性提出高能二次金属锂电池“离域化”电解液设计理念,突破传统溶剂化结构的限制。

“传统锂电池所使用的电解液配方较为单一。这种高度结构化的体系限制了锂离子的反应行为。”韩晓鹏介绍,传统电解液依赖单一溶剂主导结构,锂离子在其中的传输与反应行为和界面稳定性难以精准调控,导致电池能量密度、循环寿命和安全性难以平衡。

为破解这一难题,研究团队依托天津大学学科优势,强化材料科学、电化学、人工智能、储能等多学科交叉融合,构建了电解液溶剂和锂盐组分高通量筛选平台,并将先进算法与筛选平台融合,大幅缩短电解液体系研发周期。同时,团队积极开展国际合作与产学研协同创新,与新加坡国立大学、特种化学电源全国重点实验室及多家国内头部企业加强合作,联合开展关键技术攻关,推进原始创新与工程化应用。

团队的核心创新在于打破了传统电解液对单一溶剂主导结构的依赖。“通过引入多组分体系,我们构建了更加自由、多样且无序的溶剂化微环境,显著提升了电解液的成分多样性和冗余度。”韩晓鹏解释,这种设计为锂离子在复杂微观环境中的高效传输提供了有利条件,并实现了对电极反应行为和界面稳定性的精准调控。

团队结合多种高分辨光谱技术与多尺度理论模拟手段,从分子层面深入揭示了“离域化”电解液的作用机制:它能够有效降低锂离子迁移能垒,同时抑制电极界面副反应,提高反应可逆性,从而在提升能量密度的同时,保障电池的循环寿命和安全性。

依托这一关键创新,团队率先在国际上研制出能量密度超过 600 瓦时/公斤的金属锂软包电芯及超过 480 瓦时/公斤的模组电池,核心性能指标较现有主流锂离子电池提升 2-3 倍,为高能电池技术的实用化迈出了关键一步。

产业化进程加速

目前,这项原创性技术已从实验室走向产业化应用阶段。研究团队依托天津大学国家储能技术产教融合创新平台和贵金属功能材料全国重点实验室等国家级科研平台,积极推进科研成果的技术转化与应用验证,已建成具备自主知识产权的高能二次金属锂电池中试生产线。

在应用场景方面,该技术已率先在我国三款型号的微型全电无人飞行器上实现实装应用,展现出“一克电池飞一公里”的卓越轻量化续航能力。“实装测试显示,搭载该电池的无人飞行器巡航时间较现有主流电池提升约 2.8 倍,获得了整机单位和用户单位的一致认可。”胡文彬介绍。

值得关注的是,团队已系统掌握高能二次金属锂电池在“电解液—电极—电芯”全链条中的关键核心技术。生产线具备高一致性、高可靠性的批量化制备能力,初步构建起面向规模化生产的工程体系,其所需的关键原材料与工艺流程均实现自主可控。

“中试生产线预计将于今年下半年实现全面投产运行,有望为新一代高能量密度储能系统的大规模应用提供坚实支撑。”胡文彬说。

展望未来,该技术在航空航天、新能源汽车、低空经济、消费电子、人工智能等多个前沿领域展现出广阔应用前景。它不仅能推动飞行器、电动车及高性能电子设备在轻量化、长续航等关键方向实现跨越式发展,还将带动材料、制造、装备等上下游产业协同升级,支撑绿色能源体系构建和智能制造能力提升,服务国家“双碳”目标,“新质生产力”发展战略和能源结构转型,助力我国在全球新能源技术竞争中抢占战略高地。

陈曦

人工智能为数学家找到“巨人的肩膀”

数学与 AI 就像是一对形影不离的好朋友。AI 的诞生和发展,每一步都有深刻的数学印记。AI 推理能力的不断突破,又带给数学研究许多惊喜。近日,GPT-5 Pro 在阅读一篇数学论文后,独立推导出了比原文更精确的数学结论,并给出了完整的证明过程,引发业界关注。

AI 在数学研究领域有哪些应用场景?如何推动 AI+数学向纵深发展?笔者就此采访了多位专家。

大幅提升研究效率

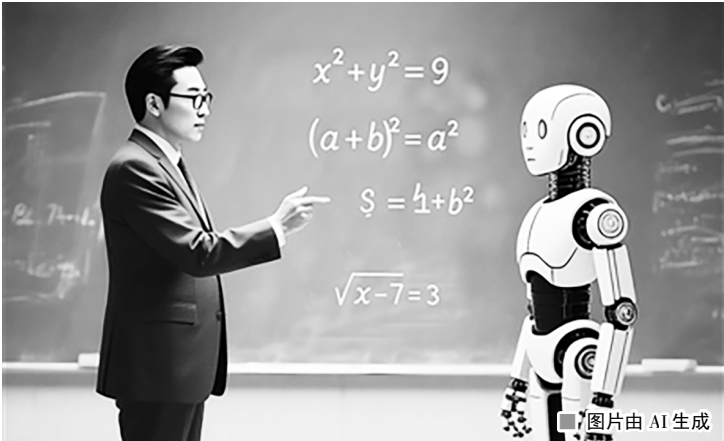
“AI 大大提升了数学理论的研究效率,不仅可以进行推理结果的验证,还能帮助研究者拓展思路。”北京大学北京国际数学研究中心教授董彬向笔者道出 AI 优势所在。从经验看,数学家花费时间最多的地方,往往是定理的证明和验证。“除了耗时耗力,数学家平时用自然语言表述的证明,并不是完全精确的,因此很容易犯小错误。”董彬说。

笔者了解到,目前,AI 在自动进行定理的证明或证伪方面,存在较大应用潜力。为什么 AI 能进行结果验证?验证结果会不会存在 AI 幻觉?对于笔者的种种疑惑,董彬解释,数学属于形式科学,其最大优势就在于可验证性,“类似跑代码一样,能跑通就是对的,跑不通就是错的。因此,AI 可以借助形式化验证系统检验理论结果的正确性”。

帮助研究者进行精准的语义检索,是 AI 提升研究效率的又一种方式。

“我们常说,科研是站在巨人的肩膀上进行的,但实际上,我们往往并不知道‘巨人的肩膀’到底在哪里。”董彬告诉笔者,有时研究者会想到一些看似非常新颖的想法,但前人可能已经提出过了。“为了确定想法是否真的原创,我们会费力地用搜索引擎查询,或咨询领域内专家,但这种方式效率很低。”他说。

对此,著名数学家陶哲轩曾经公开呼吁,希望 AI 可以为数学家提供一种非常便捷的工具,帮助大家快速地确认某个定理是否已经被别人提出或证明过。这种工具让数学家能把精力集中在真正的原创研究上,而不是一遍又一遍地重新发现那些早已被证明过的结果。AI 强大、精准的



■ 图片由 AI 生成

检索能力,为实现这一愿景提供了帮助。

此外,AI 还可以帮助研究者快速学习新知识、掌握新技术。董彬介绍,为了研究某个问题,研究者往往需要学习一些全新的概念和工具,但当这些工具和熟悉的领域有较大差异时,学起来通常费时费力。

AI 则能帮助研究者迅速判断、识别某些理论或工具是否与研究问题相关、是否具有帮助。“AI 起到了‘搭桥’的作用,帮助我们发掘不同工具、理论间的内在联系,拓展研究思路,启发数学家进一步深入思考。”董彬告诉笔者。

在欧洲人文和自然科学院外籍院士、欧洲科学院院士金石看来,AI 与数学的结合本质上是一种“认知增强”,它打破了人类固有思维的限制,使研究者能同时处理多尺度、高维度的复杂问题。

代表性成果涌现

在 AI 助力数学研究领域,涌现出许多有代表性的研究成果。

“目前领域内最具代表性和影响力的工作之一,就是 DeepMind 团队与著名数学家乔迪·威廉姆森合作完成的一项研究。”董彬介绍,在这项研究中,研究人员通过构建 AI 专用模型给予数学家前所未有的灵感,成功提出几个全新数学定理。

具体来看,数学家先提出一个假设,假设变量 X 和 Y 之间存在某种简洁且具

有深刻数学意义的函数关系,把它记作函数 f。传统研究过程中,数学家会不断猜测这个函数的具体样式,并试图证明。这一过程十分复杂,需要花费大量时间。

“而当变量 X 和 Y 可以被量化,并且我们能大量产生它们的数据样本时,就可以利用 AI 去‘猜测’这个未知函数 f 的具体形式。”董彬介绍,数学家通过分析 AI 给出的猜测,能发现隐藏在 X 和 Y 之间的内在规律。这种规律会启发数学家,帮助他们提出更准确、更可靠的新猜测,加速整个数学研究的过程。

笔者了解到,董彬联合香港大学何旭华教授组成研究团队,尝试将上述人机协同的研究模式,应用到更具挑战性的“ADLV 维数公式”问题上。“研究初期,我们就成功‘重新发现’了 ADLV 领域的虚拟维数公式(virtual dimension formula)。后续我们又进一步证明了一个关于实际维数与虚拟维数之间误差的上界定理,这也是一个全新的数学定理。”董彬说。

值得注意的是,在董彬看来,这种方式也存在局限。“尽管实践效果不错,但也可以使用这种方式做研究的问题比较有限,它更适用于进行‘单点突破’,从局部解决某些具体问题。”他说。

董彬认为,一个更加系统化、更通用的解决方案,或需依靠目前热门的大语言模型技术。“这种更加系统化的模式,就像

是在培养一个‘AI 学徒’,用训练数学家的方式训练 AI,培养出一个能不断成长、触类旁通的‘助手’。”董彬认为,“AI 学徒”还可以与专用模型结合,实现“专通融合”的应用效果。

国际上不乏优秀的“AI 学徒”。去年,由 DeepMind 打造的自动推理模型 AlphaProof 和 AlphaGeometry 2 达到 2024 年国际奥林匹克数学竞赛银牌水平。

推动数学数字化进程

尽管 AI 在数学研究和数学推理上已取得一些令人鼓舞的成绩,但目前仍面临许多问题。

董彬说,AI 若要真正赋能数学研究,而不仅仅是数学竞赛,首先要解决的是验证问题。具体而言就是要 AI 克服自然语言的数学表述验证缓慢且不精确的问题,该问题在科研级别难度的数学问题上愈发突出。此外,如何搭建一个高效的推理框架,模仿顶级数学家做推理的工作流和思维习惯,也是挑战之一。

“因此,我们需要推动数学的数字化进程,即把原本用自然语言表述的数学陈述,转换成一种严格而精确的形式化语言,去除自然语言中的歧义,并在此基础上,创建一个专门面向数学研究的‘数学推理模拟器’。”董彬说,通过模拟器,研究者能更快速、精确地验证和训练模型,大幅提升 AI 在数学研究中的实际表现。笔者了解到,为加速推进数学的数字化进程,董彬团队研发并开源了一系列辅助形式化的 AI 工具,并被广泛使用。

此外,还需推动高质量数学专用语料库建设。“构建研究级数学模型,需要真正懂数学的人参与。但越是前沿、高度专业化的研究领域,能为 AI 提供有效训练数据的人就越少。”董彬希望,未来能有更多学者参与到 AI+数学的应用推广中。武汉大学弘毅特聘教授杨志坚也认为,数学界需要组织起来,系统性地开展数据基础设施建设。

“AI 的加入不但不会削弱数学家们的作用,反而会使数学家能真正专注于更具创造性价值的研究。”董彬相信,AI 将推动数学进步,使数学研究进入一个更加丰富、更有洞察力的时代。

吴叶凡

K 创新杂谈 chuangxin zatan

无人机盘旋掠过林海,精准监测林下参苗长势;智能大棚内传感器实时调节温度湿度,保障珍贵的林下菌菇茁壮生长;借助电商平台,深山里的灵芝、竹荪直接对接全国餐桌……从东北林海到西南竹林,数字技术、生物科技、智能装备正迅速地深度融入林下经济发展过程。遥感监测、智能环控、区块链溯源等全新技术手段的应用,提升了林下经济的含新量,成为这一绿色产业高质量发展的新引擎。

发展林下经济,是向绿水青山要效益、向森林资源要食物的选择。今年的《政府工作报告》明确提出,发展林下经济。当前,我国林下经济规模持续扩大,成为山区林农增收致富的重要支柱。在向森林资源要食物的实践中,林下经济发展成果斐然,林菌、林药、林菜、林禽等模式遍地开花:吉林省长白山山区的林下参、浙江省的竹荪工厂化生产、云南省的有机石斛……这些依托科技支撑的特色产品,不仅丰富了国民餐桌,更展现出“森林粮仓”的巨大潜力。林下经济产业发展正由零散粗放转向集约高效,由单一产品转向复合经营,科技创新正引领林下经济迈上生态与效益双赢的新台阶。

科技手段在推进林下经济产业发展中作用显著。从生产环节看,新技术可以提高生产效率和产品质量,如现代育种技术、精准环境调控大幅提升了单位面积产量与品质稳定性,智能大棚技术已使部分林下食用菌产量倍增。从资源利用方面看,科技手段助力实现立体复合经营,最大化挖掘林地光热水气资源潜力,减少对生态的扰动。在产品流通方面,区块链技术可实现产品溯源,提升产品信任度乃至品牌信任度,增加市场溢价。此外,科技手段还可以促进产业融合,推动林下经济从单纯的种植养殖向加工、旅游、康养等领域延伸,拓展产业发展空间,提升整体附加值,助力农民从传统生产者向技术应用者转变,提升农村人力资本。可以说,科技是解锁森林“绿色宝藏”的密钥。

同时也应看到,以科技手段推动林下经济发展仍面临一些难题。一是科技研发投入不足,导致一些关键技术瓶颈难以突破。二是科技成果转化效率不高,很多科研成果仍停留在实验室阶段,未能及时应用到实际生产中。三是人才短缺问题突出,林下经济从业者大多为农民,缺乏专业的科技知识和技能,而懂林业、懂科技的专业人才又往往不愿深入基层,导致科技推广难度较大。接下来,要从资金、人才等方面综合施策。

加大研发投入。政府可设立专项研发资金,鼓励科研机构和企业针对林下经济的关键技术难题开展联合攻关,重点攻克林下作物优质品种选育、高效栽培、病虫害绿色防控等领域技术,提高林下经济生产的科技含量。创新金融支持工具,设立林下经济科技应用专项信贷或保险产品,降低经营主体引入新技术的风险与门槛。

加强成果转化。建立健全科技成果转化机制,搭建科研机构与林下经济经营主体之间的对接平台,通过举办科技成果推介会、建立示范基地等方式,让科研成果能够快速落地生根。完善相关政策,对积极应用科技成果的经营主体给予补贴和奖励,激发其积极性。还可着重建立区域性林下经济技术中试与推广基地,让科研人员带着成果深入林间地头,通过示范项目直观展现技术效益。

强化人才培养。一方面,通过开展技术培训、讲座等形式,提高现有林下经济从业者的科技素质,使其能够掌握和运用新技术。另一方面,制定优惠政策,吸引高校和科研机构的专业人才投身林下经济发展,鼓励大学生、科技特派员等深入基层,对扎根基层从事林下经济科技创新的科研人员在项目支持、职称评定上予以倾斜。

提高林下经济产业科技含量是推动林下经济高质量发展的关键所在。通过不断提升科技水平,可更好地挖掘林下经济的潜力,实现生态效益与经济效益的双赢,让绿水青山真正成为金山银山、真正成为农民增收的“聚宝盆”,为乡村全面振兴和生态文明建设注入强大动力。未来,应充分认识科技的重要性,积极应对挑战,采取有效措施,推动林下经济在创新驱动引领下迈向新台阶。

节能降碳技术将废弃物变生产燃料

8 月 17 日,由武汉理工大学教授王发洲领衔的科研团队联合华新水泥股份有限公司(以下简称“华新水泥”),成功开发出可大比例利用低劣质混合替代燃料进行高效燃烧的减碳技术和装备,以及配套的水泥生产数字化智能控制系统。该技术和配套系统可让水泥行业实现大幅减碳。日前,这项成果入选生态环境部 2025 年企业 ESG 优秀案例。

2025 年上半年,华新水泥累计处置固体废物 212 万吨,涵盖生活垃圾、市政污泥、工业危废、医疗危废、污染土和漂浮物等。如何在大规模消纳废弃物的同时实现大幅节能减碳,是武汉理工大学和华新水泥联合创新的目标所在。

据了解,水泥行业碳排放量约占全国碳排放总量的 13%。其中,作为水泥生产主要燃料的煤炭会产生大量二氧化碳。燃料替代是水泥行业进行低碳转型的重要方向。在许多发达国家,水泥生产中用废弃物替代煤炭已屡见不鲜。

当前,我国替代燃料普遍存在品质低劣、组成复杂、燃烧性能和热值差异大、有害成分含量高等问题,大比例使用替代燃料对水泥工业及其工艺极具挑战。在国家“双碳”战略指引下,武汉理工大学与华新水泥等单位联合共建硅酸盐科学与先进建材全国重点实验室,着力大批量、稳定利用废弃物。

为此,王发洲团队开发出高氯碱灰渣富集利用关键技术,解决了大量使用劣质燃料导致的水泥窑无法运转的难题,并制备高质钾盐和生产碳矿化制品,实现资源化全利用。

“简单而言,这项技术就是利用废弃物本身热值替代煤炭,在保证水泥品质前提下,在生产中实现大规模稳定消纳废弃物和大幅节能降碳的良性循环。”团队成员杨露说。

目前,该成果已在华新水泥业务覆盖的 10 余个国家、60 余条水泥熟料生产线规模化应用。华新水泥黄石万吨线作为世界单体规模最大的水泥窑协同处置替代燃料示范工厂,每年可消纳原生垃圾 150 万吨,节约标煤 20 万吨。

这项技术被工业和信息化部列为“原材料工业二十大先进适用低碳技术”,并被国际能源署评价为“发展中国家工业脱碳典范”。业内专家认为,该技术水平达到国内领先、国际先进水平,为我国现有水泥熟料生产线节能降碳技术改造提升和推动行业能源结构转变提供了重要技术路径,具备推广价值。

吴纯新

让科技密钥解锁森林宝藏

■ 肖易恒 李强