

# 聚合物材料强度和韧性双提升 让新一代高端热固性树脂成为现实

在高端制造轻量化领域,高性能聚合物是不可或缺的关键材料,然而高端环氧树脂制备却是公认的“卡脖子”技术。传统环氧材料一般具有较高力学强度,但同时存在易老化、脆性大、抗开裂性能差等问题。

如何平衡聚合物材料强度和韧性之间的矛盾?西南科技大学常冠军教授团队的研究成果“Force-Reversible and Energetic Indole-Mg-Indole Cation- $\pi$  Interaction for Designing Toughened and Multifunctional High-Performance Thermosets”(《力致可逆高能阳离子- $\pi$ 作用构筑高强韧、多功能热固性树脂》)给出了独具创新性的答案。该项研究成果发表在国际学术期刊 Advanced Functional Materials 上,也获得了第三届川渝科技学术大会优秀论文一等奖。



谭舒予

论文题目:Force-Reversible and Energetic Indole-Mg-Indole Cation- $\pi$  Interaction for Designing Toughened and Multifunctional High-Performance Thermosets

论文作者:杨莉 李忆程 杜孟奇 朱芳华 常冠军

获奖等级:一等奖

## 长期探索 构建交联方法新理念

“团队从很早就一直专注于攻克‘聚合物材料强度和韧性之间的矛盾’这一关键科学难题。”团队负责人、西南科技大学教授常冠军表示,团队早期研究是在聚合物体系中引入氢键、配位等非共价交联作用,但是该方法仅适用于柔性的弹性体和凝胶体系,“刚性聚合物材料在受到拉伸过程中,非共价键断裂后重构变得很困难。”

经过大量探讨与实验,团队开拓性地设计了一种力致可逆高能阳离子- $\pi$ 交联方法,为构筑新一代热固性树脂提供了全新的设计方法和理念。

那么,这种交联方法“新”在哪里?“在该交联模式下,当材料受到外力变形时,不仅可以保证聚合物网络的完整性,而且还可以做到最大程度的能量耗散。”常冠军介绍,力致可逆高能阳离子- $\pi$ 交联方

法的介入,从宏观上表现为聚合物材料强度和韧性同时提高,规避了刚性骨架聚合物强度和韧性之间的矛盾。

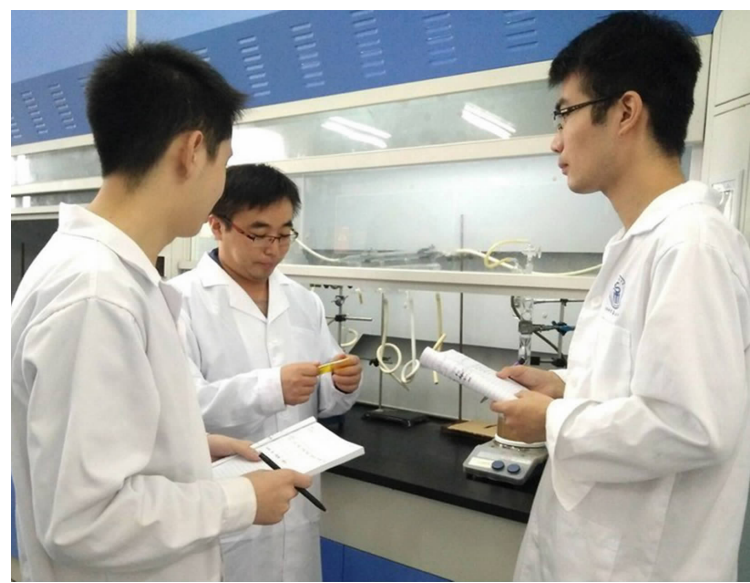
不仅如此,常冠军表示,研究还实现了聚合物的可回收再生,解决了当下聚合物难以降解造成的环境污染,为我国的“双碳计划”作出贡献。

## 反复试验 用辛勤付出炼就新成果

天道酬勤。谈及研究过程,论文第一作者、西南科技大学副教授杨莉感触颇深。

最初为了找到成膜的最佳工艺条件,团队在筛选最佳离子种类、离子配比时,进行了大量的试验,但薄膜的力学强度都不如人意。于是团队成员通宵达旦做研究,用理论计算验证产生阳离子- $\pi$ 作用的最佳离子半径,直到成功筛出镁离子。

在研究后期,验证聚合物交联



常冠军(中)指导学生

网络的断键试验也令她印象深刻,团队成员反复探索薄膜拉伸断裂行为,不断进行实验及薄膜力学性能测试,每周七天基本无休,实验室直到凌晨都灯火通明。“研究的完成离不开团队成员的共同努力,是从大家的汗水中收获的丰硕果实。”杨莉感慨道。

## 优势突出 应用前景广阔

作为一种高端新型材料,大家最关心的还是应用前景,因为它代表着这种材料所能创造的经济和社会价值。

近年来,热固性树脂材料被广

泛应用于航空航天、能源、电子等领域,但是在使用过程中,由于热、机械、化学腐蚀等因素的影响,不可避免地会产生局部损伤和微裂纹。

而在力致可逆高能阳离子- $\pi$ 交联方法作用下构筑的高端环氧树脂,集高强韧、可回收、自修复、自预警、自粘接等多种功能于一体,有望在不同背景下实现材料的智能应用。“不仅能提升聚合物的使用寿命,还降低了材料的使用成本。”常冠军表示,该材料应用前景广阔。如舰船用防腐涂料,其在海洋盐雾环境下会表现出优异的力学性能。“当聚合物涂层受到破坏时,材料自身荧光的明显改变可实现破坏缺陷的可视化自预警。”更为神奇的是,材

料还可通过海水中镁离子的盐溶液实现聚合物涂层的实时自修复。

此外,该团队研发的高端环氧树脂材料质量轻,强度却与钢铁材料相当,可实现汽车领域部分器件“以塑代钢”,进一步推动轻量化进程。

## 攻坚克难 用科技创新服务国家和人民

常冠军透露,围绕该项研究成果,团队近期成功构筑了一类力致可逆三唑啉二酮-吡啶的共价交联超强热固性树脂,并在顶级期刊 Natural Communications 发表了论文。“基于以上成果,目前团队正在探索构建一种抗冲击塑料,该塑料在受到冲击时,可短暂变为橡胶态,保护材料免于被破坏,而在冲击结束后,又可恢复为塑料状态。”常冠军介绍,团队将以此为基础,进一步开发新型高强韧、长寿命热固性高性能聚合物树脂。

而对“力致可逆高能阳离子- $\pi$ 作用构筑高强韧、多功能热固性树脂”获得第三届川渝科技学术大会优秀论文一等奖,常冠军表示十分荣幸,也期望与更多同行在该领域进一步切磋交流。

“我将带领‘动态键驱动功能高分子材料’团队继续开展动态键驱动高分子聚合物的研究,瞄准科技前沿,不断攻克难题,为我国高端制造贡献力量。”常冠军说。

# 区块链结合 5G 前沿应用 助力企业云管理去中心化

区块链有很多热门的研究方向,就像一片蔚蓝的大海,航海者只能确定一个航向,做好持续探索的准备。四川大学陈良银教授团队就确定了一个方向,笃定前行。在第三届川渝科技学术大会暨四川科学技术大会上,他们的论文“A Survey of Decentralizing Applications viaBlockchain: The 5G and Beyond Perspective”(《关于区块链去中心化的调研:5G 及以上应用》)获得优秀论文一等奖,就是对这群远航者的最好回馈。



本报记者 肖小红

论文题目:A Survey of Decentralizing Applications viaBlockchain: The 5G and Beyond Perspective

论文作者:岳凯峰 张媛媛 陈彦如 李扬 陈良银

获奖等级:一等奖

## 让初涉区块链的科研人员不那么迷茫

见到陈良银教授,是在四川大学体育馆内,当时他正和论文第一作者岳凯峰以及团队成员张媛媛、陈彦如等学生火热地打羽毛球。得知获奖的消息,所有人都兴奋得欢呼起来。“三年多的努力没白费,证明我们的研究方向是对的。”岳凯峰介绍,刚开始确立这个主题想法也很简单,就是想尽团队的一份力量,帮助刚刚开始接触区块链的科研人员不那么迷茫,能够少花一些时间走弯路,尽快建立对这个方向的认识和自信。

有了方向后,就是细化和推敲。团队每周都要安排研讨会,团队成员要聚在一起进行讨论,分享各自的科研成果,不厌其烦地对每个细节进行推敲,有许多好的创新和课题都是大家群策群力,精诚合作产生的。团队会经常邀请一些国内外知名的专家作学术讲座。类似的讲座会给团队带来新思路、新点子,实实在在让研究事半功倍。

搞科研工作要有良好的科研习惯。陈良银教授介绍,团队鼓励学生多交流讨论,为此特别建立了一个团队工作和交流的平台,“学生可

以记录和总结自己每天的收获和研究成果,通过这个平台我们团队养成了每日总结思考的好习惯。”另外,团队也鼓励大家多参加体育活动,每周会组织大家打羽毛球、乒乓球和篮球等等。

陈良银教授团队的实验室位于川大计算机学院基础教学楼 B 座内,下午 5 点多,他的学生还在实验室里忙碌着,厚厚的研究材料堆成了小山。

“这篇论文从立意到成文,前后历经三年时间。”陈良银教授说,“为了这个课题我们阅读了三百多篇文献,并提取出精彩的部分,综合分析确定当前的研究趋势,这很大程度上开阔了我们的视野,帮助我们全面而深刻地理解区块链这项新兴技术。同时,我们找了很多本领域专家进行交流和调研,他们的建议极大地帮助我们优化了研究思路。”

有一点十分重要,陈良银教授也利用这个契机培养了学生的自信心。鼓励学生从最简单的科研报告开始写起,一直到国家级的科研项目申报及一些国际性的会议,都会鼓励学生参加,一步步建立起自信心,最后做出有价值的工作。

## 例证 5G 通信现实意义

“文章从 5G 及以上的角度出



四川大学博士研究生张媛媛代表团队接受采访

发,对区块链去中心化应用程序的最新研究进行了调研。”这是专家评委给出的获奖理由之一,凸显了本篇论文的现实意义。

陈良银教授介绍,论文核心以区块链在 5G 通信方面的应用为例,讲的是为什么用区块链、如何用区块链、将来区块链如何发展等内容。区块链是一个十分具有潜力的技术,使用区块链可以保护人们的隐私、提高数据安全性,让我们的生活更加便利。区块链如何落地使用也非常关键,我们可以把区块链理解成一个工具箱,可以根据需要灵活地使用其中的一个或者多个工具。

“区块链不一定是完全地、彻底地去中心化。”陈良银教授纠正了当前很多人的一个误区。他说,通过对区块链功能模块化的处理,

各个模块解耦,可以将去中心化和中心化有机地结合起来,更好地运用这项技术。这篇论文也从区块链的技术结构、应用范例、区块链应用的实时性几个方面阐述了未来区块链的工作方向,指出了分布式算法与边缘计算(边缘人工智能)的结合是打造新型云安全的基础。

该项研究最大的现实意义是让我们认识到区块链应用的动机,其中对区块链的模块化处理也有利于区块链的工程实现,人们可以根据实际的需求来灵活部署和应用区块链技术。另外,在区块链和边缘计算相结合的基础上,论文作者容淳铭教授发起的开源项目 OpenIaC 进一步规划了当前很多人的一个误区。他说,通过对区块链功能模块化的处理,

务的理论基础,推进了企业云管理的去中心化发展。

## 成功源于国内国际团队深度协同

“容教授,我们的区块链论文获奖了!”欣喜之余,陈良银教授当着记者的面拨通了越洋电话,为目前身在挪威的容淳铭教授报喜。容淳铭是挪威斯塔万格大学教授、博士研究生导师,挪威工程院院士。陈良银教授主导了区块链和 5G 应用结合的基础研究和调研工作,而容淳铭教授提出了区块链与通信应用结合的研究方向,奠定了该项研究前沿性的基础。

而现任加拿大多伦多都会大学电气与计算机工程系教授赵烁则为该项研究在 5G 通信方面的研究提供了很多宝贵的专业指导意见,指明了当前 5G 到 6G 通信领域的前沿研究趋势。

除了两位海外合作者,工作于西南通信研究所的北京大学物理学学士和射电物理学博士李扬在密码学和安全研究方面提供了许多专业的指导和建议。目前在四川大学攻读博士学位的岳凯峰、张媛媛、陈彦如都参与了本篇论文核心思路的梳理和写作工作。

由此可以看出,国际国内团队的深度协同是论文获奖的重要因素之一,前沿科学研究的“借智借力”正成为新风尚。

接下来,陈良银教授团队将在工业控制系统安全方面发力,主攻传感网、大数据分析和区块链应用到工业控制系统安全,让我们一起期待他们有更惊艳的表现。