



化工新型材料  
New Chemical Materials  
ISSN 1006-3536, CN 11-2357/TQ

## 《化工新型材料》网络首发论文

题目： 碳纤维回收再利用工艺技术的专利分析  
作者： 刘刚，高旭  
DOI： 10.19817/j.cnki.issn1006-3536.2025.09.025  
收稿日期： 2024-08-23  
网络首发日期： 2025-04-01  
引用格式： 刘刚，高旭. 碳纤维回收再利用工艺技术的专利分析[J/OL]. 化工新型材料.  
<https://doi.org/10.19817/j.cnki.issn1006-3536.2025.09.025>



**网络首发：**在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

**出版确认：**纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

收稿日期：2024-08-23

修回日期：2025-03-29

基金项目：2023 年吉林省哲学社会科学智库基金项目（2023JLSKZKZB015）；2024 年中国工程院院地合作项目（JL2024-01）；2024 年吉林省教育厅社会科学研究规划项目（JJKH20240292SK）

作者简介：刘刚（1975-），男，博士，副教授，主要研究方向为企业管理、产业经济、企业投融资，E-mail: liugang@jlicet.edu.cn。

## 碳纤维回收再利用工艺技术的专利分析

刘刚 高旭

（吉林化工学院经济管理学院，吉林 132022）

**摘要：**碳纤维因高强度、高比模量、高耐化学性和低热膨胀性的优点被广泛应用于高端制造，同时其产业链的各个环节也产生了废料和报废（EOL）回收再利用的问题。风电叶片、飞机、汽车和建材是全球主要的碳纤维废物流，碳纤维的回收再利用专利技术研发和市场应用已迫在眉睫。通过分析碳纤维回收再利用专利申请量变化趋势，梳理申请地域分布、主要回收技术及申请人排名，揭示现存问题，明确重点技术创新方向，完善碳纤维回收再利用的专利布局和产业布局。

**关键词** 碳纤维，复合材料，回收，再利用，专利分析

中图分类号 TB332 文献标识码 A DOI: 10.19817/j.cnki.issn1006-3536.2025.09.025

### Patent Analysis of Carbon Fibre Recycling Process Technology

Liu Gang Gao Xu

（School of Economics and Management, Jilin Institute of Chemical  
Technology, Jilin 132022）

**Abstract:** While carbon fiber is widely used in high-end manufacturing due to its advantages of high strength, high specific modulus, high chemical resistance and low thermal expansion, the various links of its industry chain also generate waste and EOL recycling and reuse issues. Wind turbine blades, aircraft, automobiles and building materials are the major carbon fiber waste streams in the world, and the research and development of carbon fiber recycling and reuse patented technologies and market applications are imminent. By analyzing the trend of carbon fiber recycling and reuse patent applications, sorting out the geographical distribution of applications, major recycling technologies and applicant rankings, revealing the existing problems, clarifying the direction of key technological innovations, and improving the patent layout and industrial layout of carbon fiber recycling and reuse.

**Keywords:** carbon fibre, composites, recycling, reuse, patent analysis

### 1 碳纤维回收再利用工艺技术的分类

碳纤维废弃物的来源主要有两种：一种是达到使用寿命而报废的产品，也称作 EOL；另一种是在生产制造过程中的边角料、尾料或报废残次品。碳纤维产业链上下游都会产生废弃物，仅在生产和制作阶段废品的排放量就会超过 30%<sup>[1]</sup>。不同来源的废弃物有不同适配的回收利用工艺。碳纤维回收再利用工艺技术可分为再利用技术和回收技术。专利中涉及的回收工艺技术主要有机械回收法、热解回收法、化学回收法和碎片化回收法，再利用工艺技术的主要产品形式有回收碳纤维粉、回收碳纤维毡（无纺毡和表面毡）和回收短切碳纤维三大类。再利用产品按照用量排序分别是短切碳纤维、粉、毡，2023 年全球回收碳纤维毡的应用量在百吨级别，而短切碳纤维和碳纤维粉主要用在高分子加工领域，累计达到千吨级别。碳纤维回收再利用工艺技术的分类见图 1。

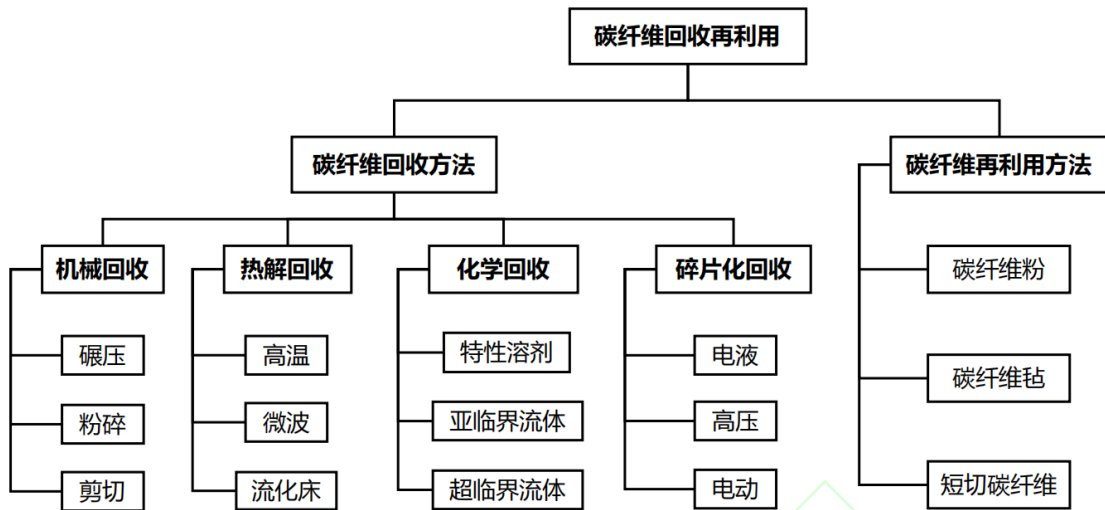


图 1 碳纤维回收再利用工艺技术的分类

## 2 专利申请趋势分析

本研究的专利检索平台采用万方数据知识服务平台和 CNIPA，检索国内外 1938—2024 年的碳纤维回收再利用专利，得到相关专利数据共 3302 件，采用 Excel、ItgInsight 和 Fine BI 对数据进行识别、分类、降噪和制图，最终清洗出有效专利 1107 件，并以此作为研究对象进行图表统计与分析。从技术萌芽阶段一直到 21 世纪初，碳纤维回收再利用专利累计数量仅仅维持在几十件，只有英国、日本、法国对相关技术进行研究并提出申请，专利技术发展迟缓，参考意义不大。且专利从申请到公开存在滞后时间，近两年的数据可能尚未完全公开。因此，选择 2000—2022 年的数据来分析专利数量申请趋势，如图 2 所示。

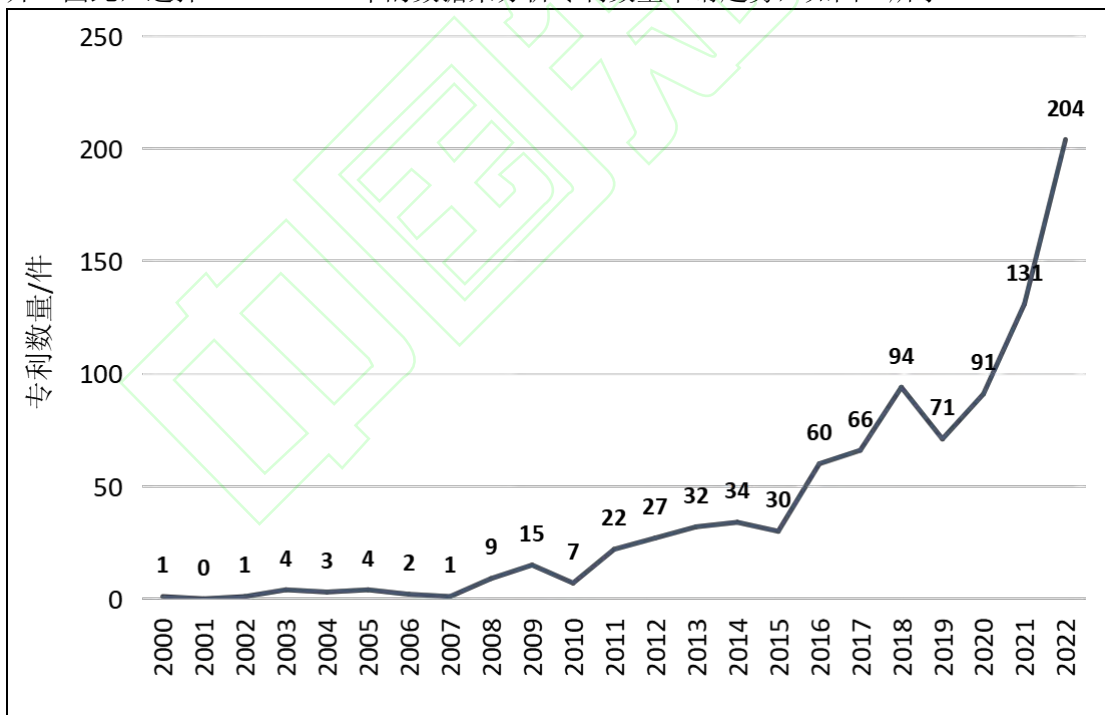


图 2 2000—2022 年碳纤维回收再利用专利申请趋势图

从图 2 可以看出，2000—2022 年碳纤维回收再利用专利申请量总体呈增长态势。总体经历了三个阶段：2000—2010 年为第一阶段，年申请量为个位数，该阶段专利总数为 47 件；2011—2019 年为第二阶段，年申请量为几十件，比第一阶段增加了一个层级，该阶段专利总数为 527 件；第三阶段是 2020—2022 年，年均申请量为百位数以上，且处于稳定增长状态，该阶段专利总数为 335 件。2000—2022 年全球碳纤维回收再利用专利申请总数为 909 件。由于碳纤维在风电叶片、航空航天、汽车等行业的快速应用，全球拥有巨大的碳纤维回收市场<sup>[2]</sup>，再者可持续性发展理念的出现和环保意识的增强也促使各国越来越重视碳纤维回

收再利用专利技术的研发和知识产权的保护<sup>[3]</sup>。

### 3 专利申请区域分析

碳纤维回收再利用专利申请覆盖了全球 30 多个国家、地区和国际组织。一般情况下，专利申请人会优先选择在本国进行申请，然后再向其他国家递交专利申请，因此国家的专利申请量可以粗略反映其技术创新能力。1938—2024 年国家、地区、国际组织碳纤维回收再利用专利数量如表 1 所示，由表可见，碳纤维回收再利用专利技术研发比较活跃的国家、地区和国际组织主要有中国、世界知识产权组织、美国、欧洲专利局和日本等，这些国家、地区和国际组织的专利数量达 1020 件，占到了全部专利总量的 92%。

各地区专利申请数量差距较大，专利申请量较多的国家其碳纤维回收产业的发展势头也较强。一方面，随着环保意识的提高和资源的日益紧缺，碳纤维回收的重要性将更加凸显；另一方面，新技术的不断涌现和成本的不断降低将为碳纤维回收产业的发展提供更大空间<sup>[4]</sup>。此外，回收的碳纤维在航空航天、汽车等高端领域地再应用也将得到进一步拓展<sup>[5]</sup>。

表 1 1938—2024 年国家、地区、国际组织碳纤维回收再利用专利数量表

国家/地区/组织	专利数量/件	国家/地区/组织	专利数量/件
中国	750	丹麦	3
世界知识产权组织	82	立陶宛	3
美国	60	俄罗斯联邦	3
欧洲专利局	54	瑞士	2
韩国	26	墨西哥	2
英国	24	挪威	2
日本	24	塞尔维亚	2
加拿大	19	芬兰	1
德国	11	法国	1
波兰	6	卢森堡	1
澳大利亚	5	马来西亚	1
匈牙利	5	新加坡	1
巴西	4	圣马力诺	1
克罗地亚	4	土耳其	1
葡萄牙	4	南非	1
斯洛文尼亚	4		
合计	1107		

日本早在 2006 年就开始开发碳纤维再生技术，并成功研发出可控制回收碳纤维（RCF）长度、可除去金属杂质、树脂残渣含量低的再生碳纤维技术<sup>[6]</sup>。目前能够实现碳纤维回收处理的公司有新菱、Earth Recycle、SGL Carbon、Vetrotex、Gen2Carbon（原 ELG 热解）、Carbon Conversions、Vartega 等；能够提供回收碳纤维产品支持再利用的公司有 CCI、Carbo NXT、Sigmatex 等<sup>[7]</sup>。相比其他国家，中国碳纤维回收再利用技术起步晚，在 20 世纪发展较慢，21 世纪进入快速发展期。近十几年来，我国政府积极推动传统材料升级换代，提出加快构建废弃物循环利用体系<sup>[8]</sup>，促进废旧风机叶片、光伏组件、动力电池、快递包装等废弃物循环利用，并开始重视对知识产权的保护，这一系列政策支持给我国企业和高校的专利研发团队打了一针强心剂<sup>[9]</sup>。目前，从碳纤维回收再利用专利申请总量来看，我国专利在全球专利中的占比高达 68%，研发申请能力还在稳步增强。

### 4 专利技术分析

通过对 1938—2024 年碳纤维回收再利用专利的 IPC、摘要和详解进行人工筛分，总体上可以分为回收专利和再利用专利两大类。由于 112 件专利既包含回收技术也包含再利用技术，为了更好地进行分析，可以将 1107 件专利中的 775 件归类为回收专利，449 件归类



为再利用专利。

碳纤维回收技术分为四大类，即机械回收、热解回收、化学回收，以及研究起步较晚、数量也较少的碎片化回收。对 775 件回收专利进一步筛分降噪，得到 1938—2024 年碳纤维回收的主要技术分布。热解回收、机械回收、化学回收和碎片化回收的专利数量分别是 315 件、262 件、182 件、16 件，占比分别为 41%、34%、23%和 2%。

#### 4.1 机械回收法

机械回收法是通过碾压、粉碎、研磨或其他类似的破碎方法，将碳纤维废料或碳纤维增强聚合物复合材料破碎成小块<sup>[10]</sup>。对破碎后的废料进行过滤，并将其分为粉末状树脂含量高的产品（细回收料）和纤维含量高的产品（粗回收料），最终回收产品的尺寸在 0.050~10mm 之间，在这一过程中不会释放有毒或有害气体<sup>[11]</sup>。粗回收物的增强性能不如原始纤维，而细回收物有可能重新应用于原始聚合物基体。机械回收得到的碳纤维与基材的结合有限，只能作为其他复合材料的部分增强体或作为填充物使用，该回收工艺适用于来源已知且相对未受污染的复合材料废料。

#### 4.2 热解回收法

热解回收法是通过 400~550℃ 的温度分解去除预处理后的复合材料中的树脂，由于碳纤维和填料等不产生化学反应，因而可以实现对碳纤维或其他材料的回收。树脂分解后的成分以苯酚为主，可进行酚醛树脂或环氧树脂的制造<sup>[12]</sup>。热解回收法是回收碳纤维增强聚合物复合材料应用最广泛的方法，这种方法易于进行工业化放大，可实现碳纤维增强复合材料（CFRP）回收商业化<sup>[13]</sup>。热解回收之前一般需要预粉碎操作<sup>[14]</sup>，比较有代表性的是 ELG Carbon Fibre 公司，预粉碎得到的再生碳纤维（RCF）通常为短纤维或进一步加工成的非织造材料。日本 JCMA 回收厂联合东丽株式会社、日本帝人集团和日本三菱丽阳株式会社研制出了不需要预粉碎就可进行热解的 RCF 生产技术，并实现工业化生产，具有 60 吨/年的回收能力<sup>[15]</sup>。热解回收可细分为高温热解、微波热解和流化床热解，1938—2024 年全球碳纤维采用热解回收方法的 315 件专利中，上述方法的数量分别是 250 件、59 件、6 件，占比分别为 79%、19%和 2%。

高温热解法是热解法回收碳纤维材料中使用最广泛的方法，在热解法中占比最高。在高温热解过程中，碳纤维增强聚合物中的有机分子在化学惰性气氛中通过高温加热被分解，通常实施的气氛是真空、过热蒸气和氮气。但高温热解的过程非常危险，会释放出有害气体，并且有可能在碳纤维表面留下烧焦痕迹（燃烧痕迹）<sup>[16]</sup>。

利用微波热解从 CFRP 废料中回收碳纤维是一个有发展前景的回收技术，与传统高温热解回收碳纤维相比，微波热解速度更快、更高效，所需能量更少，并且回收获得的碳纤维更干净<sup>[17]</sup>。研究表明，微波热解回收得到的碳纤维比传统法反应时间减少了 56.67%、回收率提高了 15%<sup>[18]</sup>。

流化床热解回收法的研发较晚，是热解法中专利申请量最少的，仅有 6 条。流化床热解回收法是指在流化床反应器中通入氧气或空气，温度控制在 450~550℃ 使树脂分解，得到的回收碳纤维在气旋作用下流动并与金属分离<sup>[19]</sup>，比较有代表性的是英国诺丁汉大学的皮克林团队。流化床热解回收法具有诸多优点：流化床反应器内的温度比高温热解更均匀，更易控制，可以处理含污染物较多的废弃 CFRP，同时回收的碳纤维表面没有积炭残留<sup>[20]</sup>。缺点是回收的碳纤维较短且力学性能损失严重。

#### 4.3 化学回收法

传统的机械回收法和热解回收法都不可避免地会破坏聚合物基体并有损碳纤维性能。化学回收法是利用溶剂将碳纤维复合材料基体中的交联键断裂，分解成低分子量的聚合物或有机小分子溶解在溶剂中，从而将树脂基体和增强体分离，以回收得到碳纤维<sup>[21]</sup>。从化学回收法的原理不难看出，这种方法是有望实现碳纤维复材的高性能闭环化学回收的。清华大学徐江飞副研究员等在 2023 年基于马来酸叔酰胺键的可逆酰胺化学，构筑了具有优异力学性能且可闭环化学回收的碳纤维增强聚合物基复合材料<sup>[22]</sup>。这一研究为设计构筑可闭环回收的高性能复合材料提供了新的思路，有助于推动聚合物循环经济的发展。在过去的十年中，通过裂解溶剂中的共价键进行化学回收被认为是回收 CFRP 废物的理想途径，这种工艺技术有可能回收有价值的碳纤维和聚合物基质。

理论上化学回收法可以更好地回收碳纤维部分，但在实际操作中实验溶剂参数配比复杂且投资成本较大，很难实现大规模应用。根据反应条件和所用试剂不同，化学回收法可以分

为酸分解法、碱分解法、醇酮分解法、超/（亚）临界流体回收法和其他性质的化学溶剂法，1938—2024 年全球碳纤维采用化学回收法的 182 件专利中，上述方法的数量分别是 62 件、12 件、17 件、17 件、74 件，占比分别为 34%、7%、9%、9%、41%。

#### 4.4 碎片化回收法

碎片化回收法指的是用高压、电动和电液碎裂使碳纤维废料或 EOL 尺寸缩小的方法，1938—2024 年全球碳纤维采用碎片化回收法的 16 件专利中，上述方法的数量分别是 4 件、2 件、10 件，占比分别为 25%、13%和 62%。该工艺涉及强声波脉冲，当声波撞击材料时，碳纤维与聚合物树脂分离。高压碎片法（HVF）是使用大约 160 kV 的高压脉冲来破碎分解碳纤维聚合物废料，回收得到长而干净的碳纤维，其弊端是回收的碳纤维会产生明显的质量损失且树脂去除率较低<sup>[23]</sup>。电动碎片法（EDF）是通过向电离水施加 50—200kV 的高压脉冲，将碳纤维增强聚合物废物分解成微小的碎片。电液碎片法（EHF）也可以将碳纤维增强聚合物废料分离成碳纤维和聚合物基体，此过程回收的碳纤维相比于 HVF 和 EDF 回收的碳纤维质量更高，且几乎没有聚合物基质残留在纤维表面，可以直接回收再使用。

#### 5 专利申请分析

对检索得到的碳纤维回收再利用相关专利进行全球主要专利申请人分析，图 3 展示了 1938—2024 年全球排名前十五的主要专利申请人及其申请数量。由图可以看出，全球范围内碳纤维回收再利用专利申请量排在前列的主要为中国和英国的高校、科研单位和企业，包括吉林重通成飞新材料股份公司、ELG、南通复源新材料科技有限公司等。中国专利申请人中吉林重通成飞新材料股份公司、南通复源新材料科技有限公司和上海交通大学的专利申请量排在前列，三者专利申请量达到前十五位专利申请人申请总量的 29.5%。

就国内而言，申请人主要集中于高校、科研单位和从事碳纤维生产经营的企业。综合来看，我国专利产业化率整体呈稳步上升态势，但不同类型申请人间的专利产业化率存在较大差异，企业的专利产业化率领先于高校和院所，原因在于高校和院所的成果与市场的需求匹配度不高，转化环节和链条不够完备<sup>[24]</sup>。



图 3 1938—2024 年全球排名前十五的主要专利申请人及其申请数量图

#### 6 结论

近年来，碳纤维的需求量和报废量均逐年增加，实现这些废弃物中高价值碳纤维的回收利用具有重要意义。基于对碳纤维回收和再利用工艺技术专利的分析，可以得出以下结论：

(1) 从国内外对比看,我国在碳纤维回收再利用工艺技术领域的研发较晚,上海交通大学的杨斌教授于2015年成功开发出第一项我国自主知识产权的规模化碳纤维复合材料废弃物新型裂解回收技术和装备<sup>[25]</sup>,在此之前,德国(ELG Carbon Fibre Ltd.)、日本(碳纤维回收工业公司)和美国(MIT-RCF Ltd.)的公司已经拥有回收处理碳纤维复合材料废弃物的产业化技术了。我国虽然起步较晚,但却后来居上,目前在该领域的专利总量统计排名稳居前列,且保持着较好的增长势头。如此大量的专利产出可能会存在良莠不齐的现象,因此,我国碳纤维回收再利用专利的研发申请在提高数量的同时,一定要切实保证质量。

(2) 目前的专利涉及机械、热解、化学等回收方法,并且实现了回收碳纤维在汽车、体育用品、船艇、建材(混凝土、水泥、沥青等)、海上平台等领域的再利用。碳纤维的回收方法多样,回收效率动态提高,但回收的碳纤维性能不强、回收过程易产生二次污染且回收技术基本都需要高温高压的苛刻环境,如果实现产业化不仅有一定危险性,成本也非常高。因此,为了确保高质量的回收及良好的经济效益,开发温和且高效率的回收再利用技术势在必行。

(3) 近年来,我国对碳纤维的回收与再利用越来越重视,加大了此领域专利技术研究的投入。在政策引导与市场需求的驱动下,上海交通大学、北京化工大学、深圳大学、昆明理工大学等高等院校、研究院及相关企业相继研发出了一系列回收再利用工艺技术。但相比欧美和日本,我国对回收再利用重点专利的发展趋势把控较弱,在专利成果转化上也存在一定差距,应通过产学研结合掌握可放大碳纤维产业化的核心与关键技术,进一步完善我国在碳纤维回收再利用领域的专利布局和产业布局。

#### 参考文献

- [1] 胡炜杰,钟明建,杨营,等.碳纤维复合材料的回收与再利用技术[J].材料导报,2021,35(S2):627-633.
- [2] 汪东,李丽英,吴霄,等.基于高温蒸汽热解的碳纤维复合材料高效回收及其性能[J].材料科学与工程学报,2022,40(04):551-556,574.
- [3] 圣冬冬,宋振亚,华春,等.碳纤维复合材料专利分析[J].化工新型材料,2022,50(S1):151-155.
- [4] 钱伯章.2025年全球回收碳纤维的市场规模有望达到1.93亿美元[J].合成纤维,2020,49(07):54-55.
- [5] 谷雨.碳纤维增强聚合物复合材料在航空航天领域的研究进展[J].冶金与材料,2023,43(07):118-120.
- [6] 罗益锋,罗晰旻.低成本聚丙烯腈基碳纤维的创新发展[J].新材料产业,2017,(08):33-37.
- [7] 林刚.2023全球碳纤维复合材料市场报告[J].纺织科学研究,2024,(06):13-34.
- [8] 么新.加快建设废旧物资循环利用体系助力实现碳达峰碳中和目标[J].中国轮胎资源综合利用,2022,(05):47-48.
- [9] 李大伟.碳纤维复合材料回收利用现状[J].当代化工研究,2022,(12):40-42.
- [10] 布风景.再生碳纤维的回收及应用现状[J].化工新型材料,2023,51(S2):60-64.
- [11] 李丽英,尹先鹏,汪东,等.碳纤维增强树脂基复合材料回收技术研究进展[J].化工新型材料,2021,49(09):20-22,27.
- [12] 刘雪辉,徐世美,王玉忠.热固性树脂及其复合材料的升级回收新方法[J].中国材料进展,2022,41(01):7-13,66.
- [13] 张灵静,陈桦,蒋建军,等.碳纤维增强热固性复合材料回收再利用技术研究进展[J].工程塑料应用,2019,47(07):134-140,150.
- [14] 金鑫,隋刚,杨小平.T700碳纤维/环氧树脂复合材料热降解实验研究[J].玻璃钢/复合材料,2017,(11):56-61.
- [15] 赵永霞,宋富佳,张荫楠,等.世界纺织科技新进展(二)[J].纺织导报,2018,(02):25-29.
- [16] 惠林海,张璐,李华,等.碳纤维增强树脂复合材料废弃物回收技术研究现状[J].工程塑料应用,2020,48(08):149-152.
- [17] Deng J, Xu L, Zhang L, et al. Recycling of carbon fibers from CFRP waste by microwave thermolysis[J]. Processes, 2019, 7(4):207.

- [18] 张洋, 张隽爽, 马崇攀, 等. 碳纤维增强含酯键环氧树脂基复合材料的化学降解与回收[J]. 复合材料学报, 2023, 40(09):5026-5034.
- [19] 刘胜强, 贺升, 周益辉, 等. 风电叶片废弃物回收技术综述[J]. 中国资源综合利用, 2021, 39(11):109-111.
- [20] 周景凤, 浦鸿汀, 刘庭志, 等. 回收碳纤维及其增强尼龙 6 复合材料的研究[J]. 塑料工业, 2023, 51(11):57-62, 147.
- [21] Tian Z, Wang Y, Hou X. Review of chemical recycling and reuse of carbon fiber reinforced epoxy resin composites[J]. *New Carbon Materials*, 2022, 37(6):1021-1041.
- [22] Qin B, Liu S, Xu J F. Reversible amidation chemistry enables closed-loop chemical recycling of carbon fiber reinforced polymer composites to monomers and fibers[J]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2023, 62(43): e202311856.
- [23] Karatairi E, Bischler R. Gone with the wind: the life and death of a wind turbine rotor blade[J]. *MRS Bulletin*, 2020, 45(3):178-179.
- [24] 杜晓渊, 程小全, 王志勇, 等. 碳纤维复合材料回收与再利用技术进展[J]. 高分子材料科学与工程, 2020, 36(08):182-190.
- [25] 郭智臣. 上海交通大学碳纤维复合材料废弃物低成本回收技术取得重大进展[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2016, 14(02):63.