

预浸料

预浸料是指树脂基体以一定方式浸渍于增强纤维上，形成厚度均匀的带状或薄片状半成品片，是复合材料由原料向制品过渡的中间产品。包含有**基体树脂**和**增强体纤维**。[1]

➤ 预浸料种类与特性

纤维类型[2]

碳纤维预浸料：在高端应用领域占据主导地位。这主要得益于其卓越的性能，例如 T700 级碳纤维预浸料，拉伸强度高，模量大，在航空航天领域应用极为广泛。在体育用品方面，高端的高尔夫球杆和自行车车架也常使用碳纤维预浸料，显著提升产品的强度与轻量化水平，增强其性能。抗拉强度 3-7GPa，模量 200-900GPa，密度 1.7-1.8g/cm³，成本为玻璃纤维的 5-10 倍。[2]

玻璃纤维预浸料：成本优势显著（碳纤维的 1/10），价格低廉，使其在建筑与汽车轻量化部件领域应用较多。在建筑领域，玻璃纤维预浸料可用于制造轻质隔墙板、建筑模板等，既能减轻建筑结构重量，又能降低成本。在汽车领域，一些汽车内饰件和非关键结构件会采用玻璃纤维预浸料，在保证一定强度的同时实现轻量化，降低整车能耗。

芳纶纤维预浸料：抗冲击性极强（断裂功是碳纤维的 5-10 倍），但抗压强度仅为碳纤维的 1/3，由其制成的预浸料是制造防弹衣、防弹头盔等防护装备的理想材料。然而，芳纶纤维生产工艺复杂，成本居高不下，限制了其大规模应用。

生物基预浸料：如亚麻纤维与生物树脂结合的预浸料，具有可降解性，顺应环保趋势，逐渐在环保产品领域崭露头角。在包装领域，生物基预浸料可用于制造可降解的包装材料，减少传统塑料包装对环境的污染。在一些对环保要求较高的消费产品中，如环保餐具、一次性水杯等，也开始尝试使用生物基预浸料，为可持续发展提供了新的材料选择。

树脂基体类型

树脂以及树脂的配比对碳纤维预浸料的性能影响较大。一般来说，通过单一的树脂很难满足工艺性能要求，通常是采用几种树脂组合来实现工艺操作，如采用几种不同环氧树脂组合来提高常温或低温下树脂体系的粘度。

热固性树脂：环氧树脂在热固性树脂预浸料中占主导地位。工艺性好（固化温度 120-180℃），耐温≤120℃、粘结性能优异、机械性能良好和耐化学腐蚀性，应用广泛。在航空航天中，飞机的机身、机翼等主承力结构件常采用环氧树脂基预浸料，能保证结构的高强度和可靠性。在电子电气领域，环氧树脂预浸料可用于制造印刷电路板的基材，提供良好的电气绝缘性能和机械强度。另一种是酚醛树脂，具有优异的阻燃性（氧指数>30），用于飞机防火部件。

热塑性树脂：有可回收性和快速成型的优势。例如聚醚醚酮（PEEK）具有耐高温（200℃）、耐磨损、高强度等特性，在医疗植入领域和航空发动机部件应用前景广阔，如制造人工关节、脊柱植入物等，其良好的生物相容性和机械性能可满足人体植入的严苛要求。在汽车制造中，热塑性预浸料可用于制造汽车的保险杠、仪表盘骨架等部件，通过快速成型工艺，能提高生产效率，降低生产成本，同时实现汽车的轻量化目标。

➤ 价值和挑战

预浸料的三大市场价值

总体市场规模：根据 DataBridge 资料，全球预浸料市场价值预计从 2022 年的 110.5 亿美元增长至 2030 年的 251.8 亿美元，年复合增长率 10.8%[\[2.0\]](#)。而 Research and Markets 的战略行业报告指出，全球预浸料市场在 2024 年的估值为 94 亿美元，预计到 2030 年将达到 180 亿美元，年均增长率为 11.5%[\[2.1\]](#)。（两项独立报告的增长率估值相差不远，可信度较高）

航空航天：碳纤维发动机罩使用碳纤维预浸料材料可减重 51.2%，同时提升刚度和模态性能。例如波音 787 使用碳纤维预浸料减重 20%，燃油效率提升 25%。[\[2.2\]](#) 从航空碳纤维复材价值链来看，预浸料的价值量占航空碳纤维复合材料零部件价格的 48.24%，市场规模约为复材零部件市场规模的 50%。航空碳纤维复合材料零部件价格中，各类原材料总体占 8.83%，而预浸料是其中重要组成部分，这体现了预浸料在航空碳纤维复合材料零部件成本中的重要地位。[\[2.3\]](#) eVTOL（电动垂直起降飞行器）机身 90% 采用航空复材，而预浸料是复材的核心原材料，其成本占 eVTOL 机身成本的 25%。例如 [Lilium](#) 的 eVTOL 单机成本为 250 万美元，其中结构和内置成本占比约 25%，这部分成本中预浸料占比较大。[\[2.3\]](#)

风电市场：碳纤维预浸料在风电市场的占比尚无一个固定不变的数值，根据不同统计口径和统计时间，其占比有所不同，大致在 18%-36% 左右，且呈现出增长趋势。[\[3、3.1\]](#)

体育器材：碳纤维预浸料制造的自行车架、高尔夫球杆等产品，性能远超传统金属材料。在自行车架制造中，碳纤维预浸料可根据骑行时的受力情况进行优化设计，使车架在保证高强度的同时，重量大幅减轻，提升自行车的骑行性能和操控性。采用碳纤维预浸料制造的高端自行车架，重量可控制在 1kg 左右，而传统铝合金车架重量通常在 2-3kg。在高尔夫球杆制造中，碳纤维预浸料能使球杆具有更好的弹性和击球手感，提高击球距离和准确性。例如，一些顶级高尔夫球杆品牌采用先进的碳纤维预浸料技术，通过精确控制纤维铺层和树脂配方，为高尔夫球手提供更优质的击球体验。碳纤维预浸料在体育器材领域的市场规模呈现快速增长态势，其全球市场规模在 2023 年已达到 19 亿美元，预计到 2030 年将增至 51 亿美元，年复合增长率（CAGR）为 13.8%[\[4\]](#)

挑战

原材料瓶颈：预浸料的重要材料工业树脂 100%由石油提炼而来。其中的高端树脂（[双马来酰亚胺 BMI](#)）的重要基础原材料[马来酸酐（MA）](#)和耐热性辅助原料[芳香族二元胺（MDA）](#)都是影响 BMI 生产的关键环节，且均受石油供应影响且无替代物。目前我国高端的预浸料大量依赖进口。[\[5.0\]](#)

生产工艺与技术瓶颈：据专利研究：传统热熔法和湿法预浸料生产需高温处理（如 140-160℃ 固化），且湿法工艺使用的挥发性溶剂可能污染环境并影响工人健康[\[5\]](#)。2022 年有专利表明预浸料成型依赖人工操作，自动铺带机虽可实现复杂结构铺设，但设备成本高，且效率无法满足大批量生产需求[\[5.1\]](#)。

回收与可持续发展困境：由于高度加工的碳纤维（树脂预浸料）几乎无法自然降解[\[5.2\]](#)，传统回收方法成本极高。根据国际自行车联盟（[UCI](#)，全球自行车运动管理机构）提供的数据，体育产业是全球第三大碳纤维（包含预浸料）用户；大多数碳纤维运动器材的平均使用寿命为 3 年；而其中 90%的报废碳纤维设备最终被填埋[\[5.3\]](#)，成为环境问题。

➤ 发展历程

技术探索与进口依赖阶段（1980-1990）

技术启蒙：1987 年，光威集团开始生产玻璃纤维预浸料，用于钓具制造 [6.0]。

进口垄断：航空航天等高端领域所需的碳纤维预浸料完全依赖日本、美国进口，且面临严格的技术封锁[6.1]。

技术引进与国产化萌芽阶段（1990-2000）

关键突破：1998 年，光威集团斥资引进国内首条宽幅碳纤维预浸料生产线，打破技术孤岛，同年成立新型复合材料研究中心，开启国产化探索[6.2]。

技术迭代：通过改造进口设备和自主研发树脂配方，2001 年光威成功推出首条完全自主知识产权的碳纤维预浸料生产线，攻克超薄玻璃托布等 7 项核心技术[6.0]。

规模化扩张与应用拓展阶段（2000-2010 年）

产能释放：光威、中航复材等企业通过技术积累实现批量生产，2006 年光威为歌美飒定制玻璃纤维预浸料，标志着国产预浸料正式进入风电领域。

标准建立：行业逐步建立树脂体系、成型工艺等技术标准，推动预浸料工业化应用 [6.1]]。

国产化突破与高端替代阶段（2010-2020）

航空航天突破：2018 年中航复材完成国产大飞机 C919 用预浸料首批交付，实现高端领域零的突破。恒神股份 EH107 系列 T800 级碳纤维预浸料通过适航认证，应用于 ARJ21 飞机。[6.3]

风电与汽车规模化：2015 年光威通过维斯塔斯认证，2016 年实现风电碳梁小批量供货，至 2021 年建成 50 条生产线，成为全球主要供应商之一。新能源汽车轻量化需求推动预浸料在电池壳等部件的应用。

政策催化：“十三五” 规划将复合材料列为重点发展领域，地方政府如镇江市对高性能预浸料项目给予专项支持。

智能化升级与全球化竞争阶段（2020 至今）

产能与技术领先：2024 年光威建成 10 条全球最先进的智能化碳纤维预浸料生产线，产能提升 8 倍，实现从设备到工艺的全链条国产化。

出口突破：2024 年 11 月中国首次实现碳纤维预浸料净出口（19.84 吨），打破长期进口依赖，产品出口至越南、土耳其等新兴市场。

绿色转型：无溶剂树脂、生物基材料研发加速，HRC 等企业建立碳纤维回收体系，响应 “双碳” 目标。

应用拓展：无人机、深海探测平台等新兴领域需求激增，预浸料向多功能化发展，如光威研发的半预浸料提升风电叶片效率。

➤ 前沿

中国预浸料领域近年来在材料创新、工艺革新及应用拓展方面取得显著突破，以下从四大核心方向梳理最新研究进展及未来趋势：

高性能材料体系突破

生物基树脂产业化：浙江禾邦生物利用秸秆提取的高纯木质素开发出全球首款生物基环氧树脂预浸料，其 BR909 系列产品生物基含量超 20%，层剪强度达传统材料的 90%，已应用于新能源汽车电池壳和轨道交通座椅骨架[7.0, 7.1]。三菱化学推出的 BiOpreg #400 系列植物衍生预浸

料，生物质含量达 25%，性能与传统产品持平，率先在运动器材领域实现商业化[7.2]。这类材料全生命周期碳排放降低 47%，契合欧盟 2030 年生物基材料使用率不低于 30% 的法规要求[7.3]。

热塑性复合材料循环革命：法国阿尔斯通在 TGV 列车中批量使用 PAEK 热塑性预浸料窗框，报废部件经粉碎后可直接注塑成型，材料利用率从 35% 提升至 92%[7.3]。国内宝威新材料开发的半预浸料技术，通过激光辅助原位焊接实现热塑性复合材料连接强度达母材 85%，为风电叶片轻量化提供新方案[7.4]。

回收碳纤维应用突破：ReCarbon 与 Fibertech Group 合作开发的回收碳纤维预浸料，旨在开发可回收碳纤维的供应体系。[7.5]

制造工艺智能化升级

5G + 工业互联网赋能：威海宝威建成全球首个碳纤维预浸料智能工厂，通过 10 万 + 传感器实时监控生产，使产品不良率降为零，生产效率提升 80%，一卷预浸布生产时间从 1 小时缩短至 5 分钟[7.4]。光威复材声称已实现预浸料制备设备的智能化升级和检测流程的全自动化，并在制备工艺上取得了突破性进展[7.5]。

多项新突破（根据中国复合材料工业协会）[7.6]：

原位固结与 3D 打印融合中车株洲所开发的激光辅助原位固结技术，在铺丝过程中同步完成熔融固结，使 CF/PPS 复合材料层间结合度达 85%，接近热压罐成型水平。同济大学研发的连续纤维 3D 打印技术可成型 12 米长车顶梁，减重 31%，连接点减少 93%。[7.6]

纳米增强技术突破：添加 0.5wt% 石墨烯的环氧树脂预浸料，层间剪切强度提升 40%；西南交大开发的碳纳米管“仿生根须”结构，使制动盘摩擦系数稳定性提升 60%，磨损率降至传统材料的 1/4。[7.6]

应用领域多维拓展

航空航天高端化：恒神股份 EH107 系列 T800 级预浸料通过适航认证[8.0]。中德产业园内百思通公司与武汉理工大学合作，将碳纤维预浸料关键指标稳定性提升 44%，助力 C919 国产化率突破 70%[8.1]。

低空经济与新能源：恒神股份为 eVTOL 开发的碳纤维螺旋桨叶，已完成试飞验证。光威研发的半预浸料技术使风电叶片效率提升 15%，适配 16MW 以上超大单机容量机组[8.2]。

轨道交通智能化：中车唐山的“三明治”结构预浸料同时实现承载、隔音、防火三大功能，应用于京张智能动车组设备舱，防火性能通过 EN45545-2 HL3 级认证。玄武岩纤维预浸料在成都地铁 18 号线车厢顶板应用，成本仅为碳纤维的 1/3。[7.6]

绿色制造与可持续发展

无溶剂工艺普及：悬浮热熔法成为主流技术，通过水基悬浮液替代有机溶剂，生产过程无 VOC 排放，已实现 PEEK、PPS 预浸料规模化制备，纤维体积分数达 60%。[8.0]

生物基材料全链条开发：中车四方的亚麻纤维 / 聚乳酸座椅骨架，相比玻纤材料减重 22%，碳排放减少 47%。禾邦生物的秸秆基(生物基)环氧树脂预浸料，阻燃性能达 V0 级，可减少 25% 碳纤维用量。[8.1, 7.6]

循环经济体系构建：HRC 建立的碳纤维回收体系，通过化学解聚技术使废料再生利用率超 90%，成本降低 30%。中复神鹰的湿法纺丝 T800 级碳纤维，生产成本下降 35%，推动热塑性预浸料成本向铝合金靠拢。[7.6, 8.1]