

# 石墨烯-高分子复合材料的制备及在航空领域的应用

吴 双\*

(上海飞机设计研究院,上海 201210)

**摘 要:** 实现航空器轻量化可有效减少资源浪费,提升经济效益和使用性能。目前,使用复合材料替代传统金属材料是减轻航空器质量最主要的手段,国际市场中一些先进机型的复合材料用量可达 50% 以上。高分子材料来源广泛,加工性能好、耐腐蚀性好,质量远低于金属材料,将其作为复合材料基体应用到航空领域可有效减轻航空器质量。石墨烯是目前已知的强度最高的材料之一,具有极好的韧性、导电性,当其作为分散相加入到高分子材料基体后,可有效提升其力学及电学性能。所以,石墨烯-高分子航空复合材料被视为传统金属材料的理想替代品,在航空器功能、结构材料领域都有巨大的研究价值。介绍了石墨烯-高分子复合材料的原料制备方法、成型技术及其在航空领域应用的研究。

**关键词:** 石墨烯;高分子;复合材料;航空

中图分类号: TB333.2<sup>+</sup>3

文献标识码: A

OSID: 

## 0 引言

减轻航空器质量,实现航空器轻量化飞行可有效降低其燃料消耗,增大运量和航程,拓宽航空器内部空间,减小排放造成的环境污染,是提升航空器竞争力的必要手段。20 世纪中末期,研究人员发现,与传统金属材料相比,复合材料具有大幅度减轻航空器质量的潜力,使用复合材料替代金属材料后,航空器质量可减轻 20% ~ 30%,目前轻型飞机和通用航空器复合材料用量可达 70% ~ 90%,直升机中复合材料用量可达 50% ~ 80%<sup>[1-2]</sup>。广义的复合材料是指由两种或两种以上不同材料经过混合工艺组成的新型材料,其优势在于既可保持原组分材料的性能,又可通过两组分混合获取单组分材料无法比拟的新型材料。复合材料主要由基体和分散相构成,在航空领域,常以高分子材料作为基体。

高分子材料具有耐磨、耐腐蚀性好、可塑性好、加

工性能好等多种优势,其来源十分广泛,可分为天然高分子材料、半合成高分子材料及合成高分子材料。相较于金属材料,高分子材料较轻的质量及更低廉的生产成本使其被视为制造航空器的理想材料<sup>[3-5]</sup>。然而,由于分子链中存在大量的缺陷和断位,制备过程中常引入一定量杂质,使大多数高分子材料强度较低,同时,由于缺乏可自由移动的电子,限制了高分子材料的导电性能<sup>[6]</sup>。因此,常将其与其它高强度、高导电性材料混合制成复合材料后应用于工业生产中。

石墨烯是一种典型二维纳米材料,单原子层排列方式决定其具备高强、高韧、高导电等诸多优异性质,同时,相较于大多数金属材料,石墨烯具有更轻的质量及更优异的力学和电学性能,被广泛用于航空、航天领域的研究中。研究表明,当其作为填料与高分子材料混合后,可有效提升原基体材料的强度、韧性,改善其导电性差的问题<sup>[7-9]</sup>。

因此,本文介绍了石墨烯-高分子复合材料的制

\* 通信作者. E-mail: 18745291863@163.com

引用格式: 吴双. 石墨烯-高分子复合材料的制备及在航空领域的应用[J]. 民用飞机设计与研究,2021(4):114-117. WU S. Preparation and application of the graphene-polymer composites[J]. Civil Aircraft Design and Research,2021(4):114-117 (in Chinese).

备方法、成型技术以及其在航空领域的应用,以期为后续研究提供一定参考。

## 1 材料制备方法

使基体与分散相充分、均匀混合是保障复合材料性能的重要手段。石墨烯-高分子复合材料制备方法主要有原位聚合法、溶液共混法及熔融共混法。

### 1.1 原位聚合法

原位聚合法是指将反应单体与催化剂共同加入到分散相或连续相中,单体逐步聚合后沉积在分散相表面,最终形成理想的复合材料。原位聚合法是制备石墨烯复合材料的常用方法,其优点在于在各基团间的相互作用下,石墨烯可均匀分散在聚合物基体中。但由于此方法操作复杂,产量小难以应用于大规模生产中,因此其生产及应用也受到了一定的限制<sup>[10]</sup>。

### 1.2 溶液共混法

溶液共混法主要是将石墨烯分散在合适的溶剂中使其与高分子填料实现互溶,待溶剂挥发后实现片层自组装,形成氧化石墨烯-高分子复合材料夹层聚合物。此方法具有操作简单、组分易于控制等多种优点,被广泛应用于石墨烯复合材料的制备过程中<sup>[11-12]</sup>。

### 1.3 熔融共混法

熔融共混法指当基体处于熔融状态下,利用剪切力使石墨烯与基体充分混合后均匀分布于基体中<sup>[13]</sup>。目前,熔融共混法是工业上制备石墨烯-高分子复合材料最常用的方法之一,尤其在热塑性石墨烯-高分子复合材料的制备中应用最为广泛,且在其制备过程中无需使用任何溶剂、催化剂,具有较好的环保性。但由于混合过程中会受到料筒温度、螺杆速度等多种因素影响,也使其混合效果弱于原位聚合法和溶液共混法<sup>[14]</sup>。

## 2 成型制造技术

先进的成型技术是复合材料发展的基础和条件,对最终成品件的性能具有决定性作用。石墨烯-高分子复合材料成型技术主要有3D打印技术、静电纺丝技术及模压成型技术。

### 2.1 3D打印技术

3D打印技术可将液态的石墨烯-高分子混合物按设定程序通过喷头挤出,使材料不断堆积成型。

使用3D打印技术成型的混合物可以是溶液态或熔融态,具有较宽的可选择性。同时,3D打印技术制造成品件也可缩短工艺流程,提高生产效率、节约原材料。此外,3D打印技术无需机械加工或任何模具,即可获得与计算机程序设定一致的产品<sup>[15]</sup>,从上而下的材料堆积方式可实现非匀质成品件和梯度成品件的制造,无需拼接、组装即可获得复杂结构的成品件。诸多的制造优势使其成为目前研究最热门、最有前景的成型技术之一<sup>[16]</sup>。

### 2.2 静电纺丝技术

使用静电纺丝技术制备石墨烯-高分子复合材料时,在外电场的作用下,液态的石墨烯-高分子混合物在泰勒锥处被拉伸成细小射流,并最终固化在接收板上,形成超细纤维。此方法的优点是:成本低,操作较为简便,可制备直径在纳、微米级别的超细纤维,满足部分材料的特殊需求<sup>[17]</sup>。但是,由于产量小的问题,也使静电纺丝技术难以广泛应用于工业生产中,目前,研究人员尝试以多喷头共纺等方法来提升其产量<sup>[18]</sup>。

### 2.3 模压成型技术

模压成型,又称为压制成型或压缩成型,是指将粉、粒或纤维状原材料放入成型温度下的模具中使其固化成型的方法,被广泛应用于工业领域<sup>[19]</sup>。其优点为原料利用率高,制品机械性能好,成型过程简单。但是,其成型周期较长,效率低,模具成本高,有待进一步改进<sup>[14]</sup>。

## 3 航空领域研究进展

### 3.1 电磁屏蔽材料

对于航空器而言,提高其在复杂环境下的兼容性,消除电磁辐射场对飞行人员的危害,是保障其安全性、可靠性的重要手段。目前,常见的电磁屏蔽材料主要有:金属丝网、镍-铜-镍导电布、硅酯导电胶等,虽已能对复杂电磁场下的电磁辐射进行有效防护,但仍存在质量大等缺点。由于屏蔽性能好,质量轻,聚合物-纳米复合材料逐渐吸引了研究者的关注。李洋等尝试将石墨烯与聚酰亚胺复合后制备出具有三明治结构的复合泡沫,研究表明该材料不仅质量轻还具有优异的电磁屏蔽性、良好的耐高温性等特征,并且能吸附自身重量47倍~120倍的有机污染物<sup>[20]</sup>,具有巨大的应用价值。

### 3.2 航空智能材料

因结构灵活、形状可变,变体航空器已成为未来

先进飞行器的重要发展方向。由于构成变体飞行器的传统智能材料存在质量大、成本高、形状记忆效应有待提升的问题,研究人员尝试采用轻质的聚氨酯复合材料对其进行代替。聚氨酯介电弹性体具有电质形变大、响应速度快、弹性高、质量轻等诸多优势,具有很高的研究价值。研究发现:以适量二氧化钛修饰的石墨烯为填料,对聚氨酯基体进行功能改性,功能弹性体最大电致应变值可达普通聚氨酯基体的 1.8 倍<sup>[21]</sup>,在航空智能材料领域具有一定的应用前景。

### 3.3 雷击防护膜

对于航空器而言,在其表面构筑导电性能优异的累积防护膜,可降低其对强电磁效应的累积从而提升飞行安全。研究尝试将石墨烯分散在环氧树脂中制成湿胶膜,涂在镀银无纺布上后烘干,制备出雷击防护膜的导电导热层,这种导电导热层成型后具有良好的外观,无缺胶、褶皱或不粘连的情况发生,不但质量轻,多层叠加后还具有良好的防雷击效果<sup>[22]</sup>。

### 3.4 承力结构件材料

环氧树脂具有质量轻、附着性好、生产成本较低、收缩性低、易于成型、强度较高等多种优势,被广泛应用于飞机承力结构材料领域。研究表明,向树脂基体中添加适量纳米石墨烯所得的复合材料相较于纯树脂材料其弯曲强度最高提升了 31.9%,拉伸强度最高提升了 53.4%<sup>[23]</sup>,为在承力结构材料领域的发展提供了更多的可行性。

## 4 结论

通过对石墨烯-高分子复合材料的研究得出结论如下:

(1)目前,石墨烯-高分子复合材料的制备方法及其成型技术已较为成熟,但其在航空领域仍以试验室研究为主,有待于研究人员的进一步开发;

(2)石墨烯-高分子复合材料的优异性能决定了其在航空领域广阔的发展前景,具有巨大的开发价值。

### 参考文献:

[1] 杜善义. 先进复合材料与航空航天[J]. 复合材料学报, 2007, 1: 1-12.  
[2] 马立敏, 张嘉振, 岳广全, 等. 复合材料在新一代大型民用飞机中的应用[J]. 复合材料学报, 2015, 2:

317-322.

[3] 史美玲, 辛朝军, 杨晨, 等. 金属有机高分子材料国内外研究现状[J]. 宇航材料工艺, 2020, 2: 8-15.  
[4] 全婷婷, 黄照夏, 肖和平, 等. 高分子材料体积拉伸流变加工技术进展[J]. 塑料, 2020, 2: 85-89.  
[5] 杨斌, 李云龙, 王世杰, 等. 拉应力下碳纳米管增强高分子基复合材料的应力分布[J]. 材料工程, 2020, 48(2): 79-86.  
[6] 夏珊. 导电高分子水凝胶的制备及其在可穿戴传感器的应用研究[D]. 长春: 长春工业大学, 2020.  
[7] 陈宇, 张代军, 李军. 石墨烯改性碳纤维树脂基复合材料的制备和性能评价[J]. 材料工程, 2020, 48(10): 82-87.  
[8] 暴睿, 尚玉栋, 贺江平, 等. 石墨烯复合材料研究进展及应用[J]. 针织工业, 2020, 9: 18-22.  
[9] 陈宇, 张代军, 李军, 等. 石墨烯改性碳纤维树脂基复合材料的制备和性能评价[J]. 材料工程, 2020, 48(10): 82-87.  
[10] 毛赫南, 王晓工. 原位聚合法在石墨烯/聚合物纳米复合材料中的应用[J]. 新型炭材料, 2020, 04: 336-343.  
[11] 张新庄, 张书勤, 闫鹏, 等. 聚丙烯基石墨烯改性复合材料的导电及热稳定性[J]. 化学工业与工程, 2019, 36(6): 60-64.  
[12] 宣鹏. 氧化石墨烯/聚乙烯醇复合膜的性能研究[J]. 化工新型材料, 2019, 4: 47-49.  
[13] 张先叶, 高雪峰, 于文广, 等. 亚微米尺度氧化石墨烯的制备及增强聚酯复合材料[J]. 高分子材料科学与工程, 2020, 36(7): 87-93.  
[14] 于方波. 石墨烯与聚烯烃的复合方法及其对聚烯烃改性效果的研究[D]. 厦门: 华侨大学, 2016.  
[15] 田清泉. 3D 打印石墨烯/聚合物复合材料成型技术研究进展[J]. 合成材料老化及应用, 2018, 6: 84-87.  
[16] 黄哲观. 基于喷墨 3D 打印的石墨烯复合材料的研究[J]. 合肥: 中国科学技术大学, 2020.  
[17] 颜鼎荷, 肖长发, 陈明星, 等. 增强型管状聚偏氟乙烯/石墨烯纳米纤维膜制备与性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2020, 4: 112-118, 127.  
[18] 张霞, 韩玉芳, 王亚丽, 等. 石墨烯/纳米碳纤维的制备工艺研究[J]. 炭素技术, 2019, 6: 33-37.  
[19] 刘永娜. 氧化石墨烯/碳纳米管组装及其复合材料性能[D]. 沈阳: 沈阳航空航天大学, 2018.  
[20] 李洋. 石墨烯基轻质电磁屏蔽材料的制备与研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2017.  
[21] 陈田. 聚氨酯介电弹性体复合材料的电机械性能研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2016.

- [22] 赵中杰. 结构-导电复合材料的制备及其导电性能研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2018.
- [23] 侯小龙. 环氧树脂基/碳纤维复合材料的界面设计与性能 [D]. 南昌:南昌航空大学, 2019.

**作者简介**

吴 双 女, 硕士, 助理工程师。主要研究方向: 航空材料。

E-mail: 18745291863@163.com

## Preparation and application of the graphene-polymer composites

WU Shuang \*

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

**Abstract:** Lightweight aircraft can effectively reduce the waste of resources, and improve the economic efficiency and performance. At present, using the composite materials to replace traditional metal materials is the most important method to reduce the weight of aircraft. For some advanced aircraft models, the composite materials were used more than 50%. Polymer materials possess the advantages such as good processability, favorable corrosion resistance and lower weight than metal, when polymer composite materials used in aviation field can effectively reduce the weight of the aircraft. Graphene is one of the strongest material in the world, which possess good toughness and excellent electrical conductivity. when graphene is added to polymer matrix, it can effectively improve its mechanical and electrical property. Thus, graphene-polymer composite materials was regarded as an ideal substitute to replace the traditional metal materials in aircraft, which have great research value in aircraft materials field. Thus, the preparation method, molding technology and the applications in aviation of the graphene-polymer composites were introduced in this paper.

**Keywords:** graphene; polymer; composites; aviation

---

\* Corresponding author. E-mail: 18745291863@163.com