

# Research on the Application of Carbon Fiber Reinforced Composites in Aerospace

Fenglei Sun

Jinan Steel Four New Industry Development (Shandong) Co., Ltd., Jinan, Shandong, 252000, China

## Abstract

In the context of the continuous development of modern science and technology and aerospace industry, the performance requirements for aircraft are becoming higher and higher. Carbon fiber reinforced composite materials are widely used in the aerospace field because of their comprehensive performance advantages such as high strength, low density and high temperature resistance, saving fuel and reducing maintenance costs on the basis of reducing the weight of various types of aircraft. This paper takes carbon fiber reinforced composite as the research object, elaborates the performance characteristics of carbon fiber reinforced composite and its application in the aerospace field in detail, and puts forward several effective countermeasures around the development trend of carbon fiber reinforced composite in the aerospace field for reference.

## Keywords

carbon fiber reinforced composite; aerospace; apply; study

## 碳纤维增强复合材料在航空航天中的应用研究

孙凤雷

济钢四新产业发展(山东)有限公司, 中国·山东 济南 252000

## 摘要

在现代科学技术和航空航天事业不断发展背景下,对飞行器的性能要求也越来越高。碳纤维增强复合材料因其展现出的高强度、低密度、耐高温等综合性能优势,被广泛应用到航空航天领域当中,在减轻各类飞行器重量的基础上,节省燃油和降低维护成本。论文以碳纤维增强复合材料为研究对象,细致阐述碳纤维增强复合材料的性能特点及在航空航天领域的应用状况,围绕航空航天领域碳纤维增强复合材料的发展趋势,提出几点有效应对建议,以供参考。

## 关键词

碳纤维增强复合材料; 航空航天; 应用; 研究

## 1 引言

在航空航天领域,对碳纤维增强复合材料进行应用,不仅有助于飞行器减重,使其结构效率增加,还能有效抵御外部打击和温度变化带来的影响,助推中国航空航天事业获得高质量的发展。然而受到碳纤维增强复合材料综合性能及其实际应用范围了解不足影响,导致碳纤维增强复合材料在航空航天领域应用与发展受到诸多的限制。需要加强碳纤维增强复合材料研究与分析,在全面细致了解其在航空航天飞机结构、航天器等方面的应用状况及取得效果后,明确高性能和多尺度复合材料是未来的主流趋势,将助力航空航天领域解决更多痛点问题<sup>[1]</sup>。

## 2 碳纤维增强复合材料的性能特点

碳纤维增强复合材料主要是以碳纤维或碳纤维织物为增强体,以树脂、金属、陶瓷、橡胶等为基体,所形成的复合材料。其性能特点有:①高强度。碳纤维的比强度,即抗拉强度与密度的比值,为钢的6倍、铝的17倍。这使得碳纤维增强复合材料可以承受较大的工作负荷,最大工作压力可达到 $350\text{kg}/\text{cm}^2$ 。②轻质化。碳纤维增强复合材料的重量较轻,仅为钢的1/5,这使它在减轻产品自重、提高能源效率等方面,拥有较为显著的应用优势。③机械性能好。碳纤维增强复合材料还拥有优异的抗蠕变、耐疲劳等性能,并且这些性能要比环氧树脂和传统金属材料高得多。④耐腐蚀。碳纤维增强复合材料耐酸、碱、盐及大气环境的腐蚀,实际运用即便是不对其进行定期维护保养,使用寿命就可达15年以上。⑤耐热性。碳纤维增强复合材料还具有良好的导热和耐热性能,支持在 $-120^{\circ}\text{C}\sim 350^{\circ}\text{C}$ 的温度环境下稳定的工作。同时,在惰性气体中,该材料适应温度还能达到

【作者简介】孙凤雷(1983-),男,中国山东聊城人,本科,工程师,从事空天产业应用材料研究。

2000°C左右,拥有较好的经受热冷急剧变化的性能优势。⑥导电导热和抗震性能。碳纤维增强复合材料所具有的导电和导热性能,使其适用于需要良好热管理和电磁屏蔽的应用领域。同时,拥有的良好抗震性,又使之成为减震消音的优良材料<sup>[2]</sup>。

### 3 碳纤维增强复合材料在航空航天中的应用情况

#### 3.1 飞机结构件

碳纤维增强复合材料在航空航天飞机结构件上应用,为飞机设计建造带来重大的突破与改革,使飞机的飞行性能得到极大的提升。实际应用表现为:①机身结构。相较于传统金属材料,碳纤维增强复合材料拥有更高的强度和刚度,再加上出色的抗疲劳性能,将之运用到飞机机身设计和制造中,可使飞机机身更轻和更坚固。特别是在无人机领域,碳纤维增强复合材料被广泛应用到整体机身制造当中,包括翼梁、机身梁及其他承受高荷载的结构件,即使无人机结构更加轻量化,又保持了良好的强度和耐腐蚀性能,见图1。②机翼和尾翼。碳纤维增强复合材料用于制造机翼和尾翼,可以有效减轻整体重量,提高性能和燃油效率。究其原因在于碳纤维增强复合材料拥有高比强度、高比模量,运用以后可取得减少飞机制造结构重量、增强飞机结构强度等的效果。同时,经过精确的层叠设计、纤维取向控制以后,通过使用的碳纤维增强复合材料,还能实现对机翼结构刚度、强度的精确调整与控制,使飞机的飞行性能得到大幅度的提升。③机身和起落架。将碳纤维增强复合材料用于机身和起落架的制造中,可以承受较大的静荷载和动荷载。同时,还能有效运用到各种连接件和细部构件当中,比如飞机舱门,不仅可以减轻飞机结构负担,还能为飞机优化设计提供更多的可能性<sup>[3]</sup>。



图1 GE90 发动机使用碳纤维增强复合材料设计制造风扇叶片

#### 3.2 发动机

在提高航空航天发动机性能、降低燃油消耗率等方面,碳纤维增强复合材料也发挥着至关重要的作用。实际运用表现为:①发动机外壳和外部结构。在航空航天发动机领域,要求发动机外壳必须具备轻量化、高强度、耐腐蚀等特性,

而碳纤维增强复合材料本身具备的高强度、耐腐蚀等优良性能,就成为了发动机设计制造的理想材料,实际运用可有效减轻发动机的负荷,使整个系统燃油效率得到提升。②发动机叶片。对于飞机发动机的叶片,不仅要求可以在高温高压环境下正常保持工作,还要确保整体结构完整性和轻量化。对碳纤维增强复合材料运用后,既能减小叶片的质量,又能提高动力传输的效率。比如GE90发动机就是首个使用碳纤维增强复合材料设计制造风扇叶片,并直接进入实际服役的涡扇发动机,每个叶片使用超过1700个手工铺层的碳纤维预浸料制造,通过热压罐固化和精加工,使其具备优良的耐高温高压、轻量化等使用性能。③结构加强件及附件。碳纤维增强复合材料在航空航天发动机的结构加强件及附件领域应用,多体现在支撑结构制造、发动机管道等方面,可提高发动机的整体强度,有效预防疲劳破坏带来的不利影响。

#### 3.3 航天器

碳纤维增强复合材料在航天器上应用十分广泛,主要包括:①天线罩。作为保护航天器上天线及其他敏感设备的重要内容,要求其具备轻量化、高强度、低热膨胀的使用性能。由于航天器中每公斤质量都会对整个系统运载和性能产生极大的影响,因此对碳纤维增强复合材料拥有的轻量特性进行运用,就有助于减轻航天器的整体负荷,实现对其使用性能的优化改进。同时,碳纤维增强复合材料具有的高强度特性,可使航天器的天线罩在极端的空间环境中承受较大的外部压力与振动,以此实现对航天器上各种设备的有效保护。②次级结构件。碳纤维增强复合材料在航天器次级结构件中也有创新性的应用。比如航天器对质量较为敏感,碳纤维增强复合材料所体现出的高强度和高刚度性能,就为航天器提供十分卓越的结构支持,确保次级结构件能够更好地承受极端温度变化、空间真空等。同时,有效利用碳纤维增强复合材料的可塑性和可成形性,就能根据复杂的几何形状对航天器次级结构件进行设计与定制,在切实满足不同载荷需求的同时,推动航天器结构设计精细化进程。③热防护层。碳纤维增强复合材料在航天器的热防护层上应用,可极大保护航天器不受高温和极端气流的影响。在航天器进入大气层时,往往容易受到高速运动产生的空气摩擦影响,导致其运行不够稳定可靠。这时利用碳纤维增强复合材料的高温稳定性和热传导性能,就能增强航天器自身防护能力,避免内部结构遭受到外部高温高压环境的影响。另外,利用碳纤维增强复合材料在制造过程中的可塑性和成型灵活性,还能促进热防护层根据实际航天器外形进行优化设计和制作,在满足各类航天任务需求的基础上,保证航天器进入大气层后可以安全返回来<sup>[4]</sup>。

#### 3.4 其他方面

碳纤维增强复合材料在航空航天领域其他方面进行应用,包括座椅、仪表板、油箱油管等内容。对于座椅、仪表板这些航空器内部构件,在制作时考虑使用碳纤维增强复合

材料,就能利用其轻质、高强的特性,使飞机内部构件更加轻便。对于航空器的油箱油管,则能利用碳纤维增强复合材料的耐腐蚀、兼容性好等优势,保障和提升航空燃油系统的安全性与可靠性。

## 4 碳纤维增强复合材料在航空航天中的发展趋势及有效建议

### 4.1 发展趋势

碳纤维增强复合材料在航空航天领域中的发展趋势包括:①高性能复合材料。复合材料是人们运用先进材料制备技术,将不同性质的材料组分优化组合而成的新材料。尽管现阶段碳纤维增强复合材料在航空航天领域中应用,取得了增强内部结构稳定性、提升整体飞行性能、减少燃油损耗等的效果。但是没有准确把握碳纤维增强复合材料主要聚焦高性能复合材料研究与应用的发展趋势,也会对碳纤维增强复合材料实际应用性能优化和扩大产生极大的影响。新时期必须将注意力放在高性能复合材料研究与应用分析上面,通过研究开发具有更加卓越性能的复合材料,比如新型环氧树脂、聚酰亚胺等,强化碳纤维增强复合材料在高温和极端环境下的性能表现,促进其在航空航天领域得到更加深入应用,并助推中国航空航天事业朝着更好的方向发展。②多尺度复合材料。在碳纤维增强复合材料中逐步引入微观、纳米级别等的增强材料,并在进行制备过程中,有效运用纤维增强、人工智能等技术,不仅可以持续改进材料的导热、耐磨等性能,还使复合材料具有感知性、形状记忆等智能功能,依托其可在多尺度上精心设计材料结构,甚至是对材料性能进行精细调控,延伸和拓展碳纤维增强复合材料在航空航天领域的应用范围,新时期航空航天事业发展对于高性能材料的需求也能得到切实的满足<sup>[5]</sup>。

### 4.2 有效建议

要促进碳纤维增强复合材料在航空航天领域得到有效应用和深度发展,就要对以下工作加以重视:①加强碳纤维增强复合材料研究分析。紧密围绕碳纤维增强复合材料在航空航天领域中有效应用,构建专门的研究队伍,对碳纤维增强复合材料的特性及其在航空航天领域应用的范围进行细致把握。然后从高性能化、低成本化、绿色智能等角度入手,

深入研究采用怎样的方式提高碳纤维纯度和性能、优化树脂基体配方和工艺、实施大规模碳纤维复合材料制造等,确保碳纤维增强复合材料能够满足航空航天各项需求。②持续优化相关工艺技术。在改进生产工艺方面,通过调整共聚单体组分实现快速可控的氧化工艺,再利用共聚单体的结构特点,加快氧化反应速率,最后采用干喷湿纺工艺,降低成本和提高产量。在应用创新技术方面,可考虑使用等离子氧化技术,对更高质量和低成本碳纤维产品进行制备。同时,采用微波氧化工艺和余热利用技术,可显著降低生产过程中的能耗与碳排放,促进碳纤维增强复合材料可持续发展,为其在航空航天领域有效应用奠定良好的基础。

## 5 结语

论文是对碳纤维增强复合材料在航空航天中应用的研究与分析。随着中国航空航天事业不断发展,组织开展飞机机身、内部结构构件等设计制造工作,对使用材料也提出更高的要求,主要体现在高强度、轻量化、耐腐蚀、耐高温等方面。碳纤维增强复合材料作为一种轻质坚固的新材料,在航空航天内部结构件、航天器、发动机等中应用,可使飞机、航天器等整体性能得到全面的提升。新时期必须加强对碳纤维增强复合材料在航空航天领域中的应用的研究与分析,并紧跟时代发展步伐,有效利用先进工艺、技术、材料等,对碳纤维增强复合材料的性能进行持续优化改进,促进其在航空航天领域得到更大范围的应用,在充分发挥其优势性能的同时,引领航空航天事业朝着更好的方向迈进。

### 参考文献

- [1] 余粤凯.金属/碳纤维增强复合材料低速冲击和层间增强机理研究[D].南昌:华东交通大学,2023.
- [2] 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(7):118-120.
- [3] 吕淑扬,郑凯,赵英男,等.碳纤维增强复合材料在航空航天领域的应用[J].聚酯工业,2024,37(3):71-73.
- [4] 孙国栋,吕龙飞,解静,等.碳纤维增强复合材料阻尼性能的研究进展[J].材料导报,2023(7):1-22.
- [5] 李欣,宋绮梦,张学强,等.激光加工碳纤维增强复合材料及其在航空航天领域应用(特邀)[J].中国激光,2024,51(4):9-30.