

# 航空航天领域复合材料的应用探究

龙海波 吴宏雨 张 振 王洪宇 刘昊翔  
首都航天机械有限公司 北京 100000

**摘要:** 本文主要探讨了复合材料在航空航天领域的应用。复合材料凭借其高强度、高模量、低密度和良好的抗疲劳性能等特点,在飞机机体结构、发动机部件、热防护系统以及其他部件中得到了广泛应用。文章介绍了复合材料的基本原理和类型,制造工艺及其在航空航天领域的关键作用,特别是在提高飞行器的性能、减轻结构重量、提高燃油效率和增强安全性方面的优势。随着技术的不断进步,复合材料在航空航天领域的应用前景将更加广阔。

**关键词:** 航空航天领域; 复合材料; 应用

引言: 随着航空航天技术的飞速发展,对高性能材料的需求日益迫切。复合材料作为一种集多种材料优点于一身的新型材料,凭借其卓越的力学性能、轻质化特点以及优良的抗腐蚀和耐候性能,在航空航天领域展现出了巨大的应用潜力。本文旨在深入探究复合材料在航空航天领域的应用现状和发展趋势,分析不同类型复合材料的特点及其在关键部件中的实际应用,以期对相关领域的科技进步和产业发展提供有益参考。

## 1 复合材料的基本原理与类型

复合材料是由两种或两种以上不同性质的材料,通过物理或化学的方法组合而成的多相固体材料。这种材料不仅保留了原始组份的优点,还通过组份间的协同作用,产生单一材料所不具备的优异性能。复合材料的性能取决于其组份的性能、组份之间的界面性质以及组份的体积分数。按照增强体的种类,复合材料通常可以分为以下几种: (1) 金属基复合材料: 以金属为基体,非金属(如纤维、颗粒等)为增强体。这种材料具有高比强度、高比模量、优良的导热导电性能等特点。(2) 聚合物基复合材料: 以聚合物为基体,如塑料、橡胶等,增强体可以是纤维、颗粒或其他形式。此类复合材料具有密度小、抗冲击强度高、疲劳性好等优点。(3) 陶瓷基复合材料: 以陶瓷为基体,增强体多为纤维或颗粒。陶瓷基复合材料具有高温稳定性好、硬度高、耐磨性强等特点。(4) 碳碳复合材料: 由碳纤维或其织物作为增强体,在碳质或有机物先驱体中,经热处理而成的材料。具有质轻、耐高温、抗烧蚀等特点,常用于航空航天领域<sup>[1]</sup>。在航空航天领域,由于需要承受极端的温度、压力和载荷条件,对材料的性能要求极高。因此,常用的航空航天复合材料具有以下特点: (1) 高温稳定性好: 能够抵抗高温甚至超高温环境的腐蚀和烧蚀,如陶瓷基复合材料和碳碳复合材料。(2) 高比强

度和比模量: 即在单位质量下具有较高的强度和模量,有利于减轻航空航天器的结构重量,如金属基复合材料和聚合物基复合材料。(3) 良好的抗疲劳和抗冲击性能: 在复杂多变的飞行环境中,能够保持结构的稳定性和安全性。(4) 良好的加工性和可设计性: 可以根据需要,通过调整组份和制造工艺,实现材料性能的定制和优化。常用的航空航天复合材料包括碳纤维增强聚合物基复合材料(CFRP)、玻璃纤维增强聚合物基复合材料(GFRP)、铝锂合金、钛合金、陶瓷基复合材料等。这些材料在航空航天领域的应用,不仅提高了飞行器的性能,还推动了复合材料科学和技术的发展。

## 2 复合材料的制造工艺

复合材料的制造工艺是确保复合材料性能达到要求的关键环节。它涉及到组份材料的选择、组份间的界面处理、以及复合材料的成型与固化等多个方面。复合材料的制备技术主要包括两种: 干法制备和湿法制备。

(1) 干法制备: 常见的干法制备有粉末冶金法、熔融浸渍法等。这些方法通常适用于金属基复合材料或陶瓷基复合材料。通过将增强体与基体粉末混合、压制、烧结等步骤,制备出所需的复合材料。(2) 湿法制备: 湿法制备包括溶液浸渍法、乳液法等。这种制备方法多用于聚合物基复合材料。通过将增强体浸泡在基体的溶液中,再经过蒸发、固化等步骤,得到复合材料。航空航天领域对复合材料的制造要求极高,因此需要采用先进的制造工艺来确保复合材料的性能与结构完整性。(1) 拉挤成型: 适用于生产连续长的型材,如飞机机身的加强梁等。这种方法可以实现连续、高效的生产,且制品的尺寸精度和稳定性较高。(2) 模压成型: 适用于生产形状复杂的零部件,如发动机叶片、隔热板等。通过加热和压力的作用,使复合材料在模具中成型并固化。(3) 缠绕成型: 主要用于制造圆柱形或管状的结构件,

如火箭发动机壳体等。通过连续地将复合材料预浸料缠绕在芯模上,再经过固化,得到所需的制品。(4)真空袋成型:适用于生产大型且形状复杂的航空航天部件,如机翼、机身壁板等。在真空袋的作用下,使复合材料在模具内得到充分的压实和固化。制造工艺的选择和控制对复合材料的性能具有至关重要的影响。(1)成型压力与温度:成型过程中的压力与温度直接影响到复合材料的密实度、孔隙率和微观结构,从而影响其力学性能和热性能。(2)固化时间与速率:固化时间过短或过长、固化速率过快或过慢都可能导致复合材料内部应力的产生,影响其尺寸稳定性和使用寿命。(3)界面处理:增强体与基体之间的界面结合状态直接影响到复合材料的力学性能和耐久性。因此,在制备过程中需要对界面进行适当的处理,如涂覆偶联剂、进行表面处理等,以提高界面的结合性能<sup>[2]</sup>。

### 3 航空航天领域复合材料的应用

#### 3.1 飞机机体结构中的复合材料应用

在航空工业中,飞机机体结构是直接关系到飞机性能和安全性关键部分。传统的飞机结构材料主要以金属为主,如铝合金和钛合金等。然而,随着航空技术的不断发展和对飞机性能要求的提高,传统的金属材料已经难以满足日益增长的需求。此时,复合材料凭借其独特的优势,开始在飞机机体结构中得到广泛应用。复合材料以其高强度、高模量、低密度和良好的抗疲劳性能等特点,成为了飞机机体结构制造的理想材料。与金属材料相比,复合材料具有更高的比强度和比模量,意味着在相同的重量下,复合材料可以提供更大的强度和刚度。这使得在飞机机体结构中使用复合材料可以显著减轻结构重量,从而提高飞机的飞行效率和减少燃油消耗。除了轻量化的优势外,复合材料还具有良好的抗腐蚀性和耐候性能,可以适应各种恶劣的飞行环境<sup>[3]</sup>。此外,复合材料还具有优良的抗疲劳性能,可以有效减少飞机在长时间飞行中出现的结构疲劳问题。以波音787梦想飞机为例,这款飞机大量使用了复合材料来制造机翼、机身和尾翼等大型部件。其中,机身的50%和机翼的80%都是由复合材料制成的。这种创新性的材料应用不仅使得波音787成为了世界上首款主要使用复合材料的商用飞机,也显著提高了飞机的燃油效率和降低了运营成本。此外,复合材料在飞机机体结构中的应用还有助于提高飞机的安全性和舒适性。例如,在紧急情况下,复合材料具有良好的抗冲击性能,可以保护乘客免受伤害。同时,复合材料还具有良好的隔音和减震性能,可以提高乘客的乘坐舒适度。随着航空技术的不断发展和

对飞机性能要求的不断提高,复合材料在飞机机体结构中的应用将会越来越广泛。未来,我们可以期待更多的创新材料和工艺的出现,为航空工业的持续发展注入新的动力。

#### 3.2 发动机部件中的复合材料应用

航空发动机是飞机的“心脏”,它的性能直接影响着飞机的飞行品质和安全性。在航空发动机中,风扇叶片、燃烧室和涡轮叶片等关键部件承受着极其苛刻的工作环境,如高温、高压和高速旋转。这些条件对材料的性能提出了极高的要求,而复合材料正是凭借其独特的优势,在这些部件的制造中发挥着至关重要的作用。风扇叶片是航空发动机中最早开始使用复合材料的部件之一。传统的风扇叶片通常由金属制成,但在高温和高速旋转的条件下,金属材料的强度和耐久性都会受到挑战。而复合材料以其高比强度和高比模量的特点,能够在承受相同载荷的情况下实现更轻的重量,从而减少了风扇叶片的惯性,提高了发动机的效率。除了风扇叶片外,复合材料还广泛应用于燃烧室和涡轮叶片的制造中。燃烧室是发动机中产生高温高压环境的关键部件,而涡轮叶片则需要承受高温和高速旋转的双重考验。复合材料在这些部件中的应用,不仅提高了它们的耐高温性能,还通过优化材料结构,减少了热传导和热膨胀,从而提高了发动机的稳定性和耐久性<sup>[4]</sup>。在众多复合材料中,CFRP(碳纤维增强聚合物基复合材料)以其优异的力学性能和热稳定性,成为航空发动机部件制造中的佼佼者。CFRP的高强度和高模量使其成为承受极端载荷的理想选择,而其良好的热稳定性和抗疲劳性能则使其在高温和高速旋转的环境中表现出色。值得注意的是,随着航空发动机技术的不断进步,对复合材料的要求也在不断提高。未来,复合材料需要具备更高的耐高温性能、更强的抗氧化能力以及更长的使用寿命,以满足航空发动机日益增长的性能需求。

#### 3.3 航空航天器热防护系统中的复合材料应用

在航空航天领域,热防护系统是确保飞行器在极端热环境下安全运行的关键技术之一。而在这一系统中,复合材料凭借其独特的物理和化学性质,发挥着不可替代的作用。特别是在航天飞机和再入式飞行器的制造中,复合材料的应用已成为一种行业标配。隔热瓦是航天飞机热防护系统的重要组成部分。在航天飞机返回地球大气层时,其表面会受到极高的温度,高达数千摄氏度。为了应对这种极端环境,隔热瓦采用了一种特殊的复合材料,这种材料通常具有高耐温、低导热、抗烧蚀等特性。其中,高耐温使得材料能够承受高温环境而不

发生破坏；低导热则有效减少热量向航天飞机内部传递，保护内部结构不受影响；抗烧蚀特性则使得材料在遭受高温气流冲刷时仍能保持稳定，从而确保航天飞机的安全返回。除了隔热瓦外，隔热层也是热防护系统中的重要组成部分。隔热层采用了一种多层复合材料结构，通过各层之间的协同作用，进一步提高隔热效果。这些复合材料通常具有良好的热稳定性和机械性能，能够在高温环境下保持结构的完整性和稳定性。值得一提的是，随着航空航天技术的不断发展，对热防护系统提出了更高的要求。这推动了复合材料技术的不断创新和发展。如今，我们已经能够制造出更加轻量化、高效化和持久化的复合材料，以满足更加严苛的飞行环境要求。在未来，随着航空航天事业的深入发展，我们可以期待更多的创新复合材料在热防护系统中的应用。这些材料不仅能够进一步提高飞行器的安全性和可靠性，还将推动航空航天技术的持续进步和创新。

### 3.4 复合材料在航空航天器其他部件的应用

在航空航天领域，复合材料的应用远不止于机体结构和发动机部件。事实上，由于其独特的物化特性，复合材料还广泛用于航空航天器的其他多个部件中，包括雷达天线罩、起落架、座椅、舱门等。这些部件虽然不直接承受极端的载荷和环境条件，但它们在飞行器的正常运行和乘客的舒适度方面起着至关重要的作用。雷达天线罩是飞机和航天器上的关键部件，用于保护雷达天线免受恶劣环境的影响。复合材料因其良好的透波性能、抗冲击性和耐候性能而被广泛应用于雷达天线罩的制造中。这种材料不仅能够确保雷达信号的准确传输，还能够有效抵抗风雨、冰雪等恶劣天气的侵袭，保障天线的长期稳定运行。起落架是飞机起飞和着陆时的关键部件，承受着巨大的冲击和振动。传统的金属材料难以满足起落架对轻量化和抗冲击性的要求，而复合材料则以其高强度、高模量和良好的抗疲劳性能成为理想的选

择。通过使用复合材料制造起落架，不仅可以减轻结构重量，提高飞机的燃油效率，还可以显著提高起落架的耐久性和使用寿命。座椅和舱门等内饰部件虽然看似不起眼，但对于乘客的舒适度和安全性却至关重要。复合材料在这些部件中的应用，不仅可以实现轻量化设计，提高飞行效率，还可以通过优化材料结构，提高座椅的舒适性和舱门的密封性。此外，复合材料还具有良好的耐候性能和抗老化性能，能够确保内饰部件在各种恶劣环境下都能保持良好的性能。总的来说，复合材料在航空航天器其他部件中的应用广泛而多样，这些应用不仅体现了复合材料的独特优势，也为航空航天器的性能提升和乘客舒适度改善做出了重要贡献。随着技术的不断进步和材料的不断创新，我们有理由相信，复合材料在未来航空航天领域的应用将会更加广泛和深入。

### 结束语

经过对航空航天领域复合材料应用的深入研究，我们深刻认识到了复合材料在这一关键领域的重要性。随着技术的不断进步和创新，复合材料的性能和应用范围将持续扩大，为航空航天器的设计、制造和运行带来革命性的变革。展望未来，我们期待复合材料在航空航天领域发挥更大的作用，推动整个行业向着更高、更快、更强的方向发展，为人类的太空探索事业做出更大的贡献。

### 参考文献

- [1] 张晓虎. 航空航天复合材料的应用及发展趋势[J]. 材料科学与工程学报, 2022, 40(3): 463-470.
- [2] 刘洋. 先进复合材料在航空航天领域的应用及挑战[J]. 中国材料进展, 2021, 40(6): 409-416.
- [3] 李宁, 王志国. 航空航天复合材料的发展现状与未来趋势[J]. 材料科学与工程学报, 2023, 41(1): 1-8.
- [4] 王俊峰. 航空航天领域复合材料的轻量化设计与应用[J]. 宇航材料工艺, 2022, 52(2): 1-7.