

航空航天领域复合材料的应用探究

程 畅 孙 喆

航天规划设计集团有限公司 北京 100071

摘 要: 复合材料作为一种性能优良、重量轻、强度高的新型材料,已经成为航空航天领域的重要材料之一。本文介绍了复合材料在航空航天领域的应用现状,包括复合材料在飞机、火箭、卫星等载体上的应用,以及在航空发动机、翼型、螺旋桨等结构件上的应用。综合分析了复合材料在航空航天领域中的优点和挑战,并展望了未来航空航天领域复合材料的发展趋势。

关键词: 航空航天; 复合材料; 应用

1 航空航天领域的特点

1.1 航空航天领域对材料性能的高要求

航空航天领域对材料性能的要求非常高,这是因为航空航天器在运行过程中需要面对极其严苛的环境和条件。以下是一些对材料性能的高要求:(1)耐高温性能:航空航天器在高速飞行时,会受到空气的摩擦,导致机身和机翼表面的温度升高。因此,材料需要具有极高的耐高温性能,能够承受极端的温度而不会变形或熔化。(2)轻量化:航空航天器的重量对于其性能和燃油效率至关重要。为了提高航空航天器的性能和燃油效率,材料需要具有轻量化的特点,以减少飞行重量。(3)抗疲劳性能:航空航天器在长时间的使用过程中,会受到周期性的载荷和应力,导致材料的疲劳失效。因此,材料需要具有抗疲劳性能,能够承受长期的周期性载荷和应力。(4)抗腐蚀性能:航空航天器在运行过程中会受到大气中的腐蚀作用,特别是在高湿度和高温的环境下,腐蚀作用更加明显。因此,材料需要具有抗腐蚀性能,能够长期保持其结构和性能的完整性。(5)可靠性:航空航天器的安全性和可靠性至关重要。因此,材料需要具有高度的可靠性,能够保证航空航天器在长时间的使用过程中不会出现故障或失效^[1]。

1.2 传统材料在航空航天领域的局限

传统材料在航空航天领域存在一些局限性。首先,航空航天行业对材料的要求非常高,包括高强度、低密度、耐高温、耐腐蚀等。传统材料如钢铁、铝合金等虽然具有一定的强度和刚性,但它们的密度较高且重量较大,不利于提高飞行器的载荷能力和燃油效率。此外,传统材料在高温和腐蚀环境下的性能不够理想,容易受到氧化和腐蚀的影响,导致飞行器的寿命缩短和飞行安全问题。其次,传统材料的加工难度较大,需要进行多道工序处理和加工,导致制造成本较高。如钛合金是目

前广泛应用于航空航天领域的一种轻质高强度材料其加工难度大,需要高温熔炼和精密加工,加工过程复杂且耗时,使较高^[2]。最后,传统材料的刚度和强度也存在一定的限制。随着航空航天技术的不断发展,飞行速度和飞行高度的要求越来越高,对材料的刚度和强度提出了更高的要求。传统材料很难满足这些需求,需要开发新型材料来替代传统材料。

2 复合材料的组成与特性

2.1 复合材料的定义和类型

复合材料在航空航天领域发挥着极为重要的作用,其定义为由两种或两种以上的不同材料组成的一种新型材料,结合后具备了单一材料所不具备的多种性能。复合材料的高性能、轻量化是其在航空航天领域得以广泛应用的重要原因。航空航天领域常用的复合材料类型包括夹芯材料、层合板材料和缠绕复合材料。夹芯材料是由一层面板和一层夹芯层组成,常用的夹芯材料包括铝、玻璃和碳等。夹芯材料的主要优点是重量轻,具有极高的刚度和强度,可以在飞机等设备的机翼、蒙皮、舱壁等部位使用。层合板材料是由多个薄层之间交替制成的,由于每层材料弯曲时均处于最高强度状态,因此具有较高的强度和刚度。常见的层合板材料包括复合材料及纤维增强材料等,主要应用于飞机机身壳体和翼面等部位。缠绕复合材料是由不同方向缠绕而成,具有较好的吸能性能和抗弯曲能力。常用于制造压力容器、涡轮发动机等航空航天设备中,具有较好的抗损伤性能和耐热性^[3]。

2.2 复合材料的特性和优点

航空航天领域对材料性能的要求非常高,复合材料因其优异的特性和优点在航空航天领域中应用越来越广泛。复合材料的主要特性是重量轻、强度和刚度高、耐腐蚀和热膨胀系数低,同时具有形状可定制等优点。首

先,复合材料重量轻是其最显著的优点之一。航空器的整体质量越轻,可以搭载的有效载荷就越大,同时需要的油耗和发动机功率也就越小,航程和速度也越快。其次,相对于传统的金属材料,复合材料仅需很少的材料就可以达到同样的强度和刚度。这使得复合材料在制造航空器时可以减少材料浪费,提高运用效率并降低使用成本,而且在一定程度上有益于环境保护^[4]。此外,由于复合材料具有优异的化学稳定性和耐腐蚀性,可以减少维护和维修成本,并且延长器件的使用寿命。再者,可以根据需要将复合材料的纤维方向定向,从而提高其力学性能,并且可以生产出任意复杂的形状,节省工序和时间。

2.3 复合材料与其他材料的比较

传统的材料在航空航天领域中存在很多局限性,例如重量较大、强度不足、易烧蚀等问题。相比之下,复合材料在航空航天领域中的应用优势非常明显。与金属材料相比,由于复合材料具有轻量、高强和耐蚀的特性,导致其可以在航空领域中取代重量较大的金属材料,并且可以提升飞行器在空中的速度和航程。此外,复合材料比起铁、钢等金属材料,其密度更低,因此可以节约燃料费用,降低污染物排放。与塑料或其他高分子材料相比,复合材料的强度和刚度更高,且更能承受高温和低温环境的考验,同时具备更好的防火、耐腐蚀等性能,适用于一些特殊场合的应用^[5]。此外,与金属材料和高分子材料不同,复合材料可以通过控制材料的纤维方向调整材料的力学性能,满足航空器不同部位的不同需求。基于高模量和高抗拉强度的特性,复合材料高强度与低密度的特性使得它成为了现代飞机和卫星中的主要结构材料。这也是复合材料在航空航天领域中广受欢迎的重要原因。

3 复合材料在航空航天领域的应用

3.1 飞机制造方面的应用

复合材料在航空航天领域中得到广泛应用,其中飞机制造方面是它最主要的应用之一。在飞机制造中,复合材料的应用从飞机机体到零部件中都得到了充分的应用。在飞机机体中,复合材料可以替代金属材料,减轻重量,增强强度,提高耐久性,并且减少了燃油消耗和排放的污染物。例如,美国波音公司的“梦想飞机”787,在其设计和建造中使用了大量的复合材料,使其整体重量比同级别的飞机轻约20%,能够更快地飞行,航程更远,同时也更节省燃油。在机翼、尾翼等部位,复合材料的高刚度和低膨胀系数,能够保证飞机在高速飞行时具有足够的稳定性。除了机体外,复合材料在航

空飞行器中的零部件中也得到了广泛的应用。例如,复合材料制成的发动机叶片可以减轻重量,提高对空气流动的控制,对燃料效率和飞行速度都有显著提升^[1]。

3.2 火箭制造方面的应用

火箭是航空航天领域中最重要、最复杂的器件之一。复合材料在火箭制造中的应用已经成为了不可或缺的一部分,被认为是现代火箭制造中的重要技术之一。首先,在火箭制造中,复合材料的应用可以提高火箭的耐用性和质量,减轻火箭的重量,同时提高其性能和使用寿命。例如,固体火箭发动机中可以采用UHMWPE和PPS等聚合物纤维增强复合材料,可以在高温和高压环境下表现出较好的性能,降低了火箭的重量以及耐受高温和高压的能力。其次,火箭制造中还广泛使用碳纤维增强复合材料(CFRP)。CFRP可以在飞行前经过快速加热,并快速冷却,增强了火箭尾部结构的刚性,并使其可以在高温和重载环境下运行。以国际上最大的运载火箭—长征五号系列火箭为例,其大量使用碳纤维增强复合材料来制造箭体、液氧罐以及推进罐等各种部件,以实现更大的发射载荷和更远的航程,同时还能够减少整体重量,节约燃料成本。

3.3 卫星制造方面的应用

卫星是人类探索外太空的重要工具之一。在卫星制造方面,复合材料的应用具有非常广泛的优势。复合材料被广泛应用于卫星的外壳结构、载荷、反射器、天线罩、支撑结构等部分。首先,复合材料在卫星的外壳结构中得到广泛应用。由于卫星需要在太空中长时间运行,卫星外壳需要具备轻质、高强度、抗热、耐腐蚀等特性,这正是复合材料具备的优势。例如,针对地球遥感卫星,它需要具有地面像素分辨率和空间分辨率等方面的指标,因此需要采用多层复合材料构成外壳,确保卫星质量和稳定性。其次,复合材料在反射器和天线罩的制造中也具有广泛的应用^[2]。卫星的反射器和天线罩需要具备高强度、高稳定性、抗风化,这时常用的方法是采用碳纤维增强复合材料,这样既能保证其强度和稳定性,同时还可以降低卫星重量和整体成本。此外,复合材料还被广泛应用于支撑结构上。卫星的支撑结构要求轻量化、大尺寸、高精度,在这方面碳纤维增强复合材料是最常用的。例如,中国的载人航天工程项目中,采用的空间实验室中的大部分构件都是采用碳纤维增强复合材料制造的。

4 未来发展趋势

4.1 强化复合材料的生产和制造工艺

首先,复合材料应用领域的拓宽。虽然复合材料在

航空航天、航海、体育器材等领域已经被广泛应用，但是随着各行各业的不断发展，复合材料的应用领域还会进一步拓宽。例如，医疗、环保和节能等领域都可以使用复合材料制造各种产品。其次，新型复合材料的研究和开发。人们一直在探究如何开发更为优良的复合材料。比如，热塑性复合材料可以多次加工回收，使用损耗低；同时还有金属基复合材料，包括金属—陶瓷复合材料和金属—高分子复合材料等。强化复合材料的生产和制造工艺。目前，复合材料的生产和制造工艺仍然存在一些难以克服的问题，比如成本较高，生产过程复杂等。因此，越来越多的研究人员将关注于如何改善复合材料生产制造过程，以提高其生产效率和降低成本。例如，采用自动化技术和人工智能等技术，来实现复合材料的规模化生产和质量控制^[3]。

4.2 多材料的重复使用和再生利用

随着全球环保理念的不断提高和可持续发展的号召，多材料的重复使用和再生利用成为了复合材料未来发展的趋势之一。在未来，复合材料的应用领域将会更加广泛。例如，未来的新能源汽车、风力发电设备、建筑、轻量化运动器材等领域都将需要大量的轻量、高强度、高韧性、防腐蚀等特性的复合材料。多种复合材料的开发和应用，将会推动其向更广泛领域的拓展。多材料的重复使用和再生利用也将成为未来的研究重点之一。这几年已经有多项关于如何重复使用和再生利用复合材料的研究和实践。例如，利用废旧复合材料制造新型复合材料，以达到废物化解、节约资源、减少污染等多种效应。这样一来不仅节约原材料，同时还能够减少对环境的影响，实现可持续发展。开发环保型复合材料也将成为未来的研究重点。随着环境问题的不断凸显，为实现可持续发展，开发环保型复合材料也成为了一个重要的研究方向^[4]。例如，研制生物基复合材料、可降解复合材料和可回收再利用复合材料等，都是未来环保领域中的重要发展方向。

4.3 开发新型复合材料，满足不同应用需求

开发新型复合材料是由于目前传统的复合材料已经不能满足不同应用需求，因此为了适应未来市场的需求，需要开发出更优良性能和更多应用的新型复合材

料。但是，这需要对材料的制备、结构设计、材料性能和制造工艺等方面进行全面研究和优化。

下面提供两个例子：（1）高性能碳纤维增强环氧树脂复合材料：此类复合材料的高强度和刚度使其成为高端载体材料，广泛用于航天、航空及民用领域。新型的高性能碳纤维增强环氧树脂复合材料将以调控表面微结构、进一步提高界面性能和优化增强松散状态等方面来达到改进和完善的目的。（2）碳纳米管增强热塑性复合材料：传统的热塑性树脂复合材料的强度和刚度通常较低，而碳纳米管能够显著提高热塑性塑料的力学性能。研究发现，碳纳米管增强的热塑性复合材料具有极高的强度、刚度和韧性，因此在海洋、航天、汽车等领域有着广阔的应用前景。热塑性复合材料的制备还需要在碳纳米管增强方法、热可塑性树脂和碳纳米管界面的相关研究等方面有所突破^[5]。

结束语

随着科技的不断发展，复合材料已经成为航空航天领域不可或缺的材料之一。其轻量化、高强度、高韧性、耐热、防腐蚀等特性，大大提高了载体结构的性能和可靠性。然而，复合材料在制备、加工、维修和回收等方面仍面临着一些挑战，如制造成本高、废弃物难处理，加工难度大等。未来，我们需要继续深入研究复合材料在航空航天领域中的应用，推动其在成本、性能和重量等方面的进一步发展，为航空航天领域的发展做出更大贡献。

参考文献

- [1]汤旭,李征,孙程阳.先进复合材料在航空航天领域的应用[J].中国高新技术企业,2021,(06):13-15.
- [2]朱晋生,王卓,欧峰.先进复合材料在航空航天领域的应用[J].新技术新工艺,2020,(10).
- [3]寇天翔.航空航天领域先进复合材料的应用探讨[J].中国高新科技,2021(21):112+122.
- [4]蔡菊生.先进复合材料在航空航天领域的应用[J].合成材料老化与应用,2020,47(06):94-97.
- [5]朱晨,纪朝辉,郭英.复合材料在航空工程中的应用研究现状及展望[J].航空维修与工程,2019(3):25-27.