

复合材料将继续领跑 航空工业的未来

Composites Will Continue to Define the Future of Aerospace



Gerould Young
战略发展副总裁
DELMIA

先进材料已经成为并将继续成为航空工业创新的主要技术。最初,人们采用木头和布制造飞机主结构。而后,铝和高强度铝又被优化作为特殊应用。今天,高强轻质的树脂基复合材料成为新型飞机结构的主要选择。

目前,对复合材料技术的研究主要集中在性能、多功能性、制造工艺、多学科优化设计工具、快速开发以及验证过程等方面,这为改善未来航空产品的性能和成本效益奠定了基础。

复合材料在航空工业的广泛应用

轻质减重的特点推动了复合材料体系在航空产品的用量增长,用于商用飞机上的复合材料结构的重量比例正在稳步攀升。如波音 777 和空客 A330 上使用的复合材料用量大约为 10%,这个比值在波音 787 上已增加到约 50%,在空客 A350 上预计也将增加到 50%。复合材料在航空工业的用量增长趋势也曾在能源、体育用品以及汽车行业中发生过。

复合材料在航空领域的应用可以追溯到 20 世纪 70 年代,当时只有少量被应用于军用飞机的次承力结构。然而,今天复合材料已被广泛应用于商用飞机体系的机翼、机身等主

承力结构。材料体系也已从低模量纤维和未增韧基体发展到高模量纤维和第二代增韧基体。与此同时,制造技术也从简单层压板零件的手工铺层发展到整体复杂结构的自动化制造。传统的结构复合材料需要在热压罐中固化,但是现在的材料技术允许其仅在真空压力下固化就可以达到同等性能。

复合材料面临的挑战

复合材料虽已在航空工业得到大量应用,但其应用持续增长还将面临 4 个方面的挑战:

(1) 材料性能的改善,包括强度、刚度和层间剪切性能,以及针对某些特定应用、特定结构位置处的材料优化和材料的多功能化;

(2) 高度整体化结构的低成本、自动化和批量制造工艺及其质量和稳定性控制;

(3) 采用设计优化工具和三维失效分析,以拓展设计空间;

(4) 材料的快速开发验证周期的缩减。

改善材料性能

航空产品的研发主要瞄准性能更高和耐极端高温的复合材料,这些性能的改善将直接决定复合材料的应用部件位置和用量。例如,层间剪切性能的改善与复合材料的韧性相关,它直接影响材料在冲击损伤过程中抵御分层和裂缝扩展的能力。优化复合材料的某些特定性能,使其适用于局部环境和载荷工况,正如为满足航空工业某些特定的需求,曾对铝合金的性能也进行剪裁优化一样。与此同时,进一步开发复合材料的多功能性同样是一个巨大的挑战。例如,铝合金和复合材料由于具有不同的比电导率和比强度,因而具有不同的设计空间,如图 1 所示。

正如铝合金的电磁性能设计空间大,新型复合材料由于比强度高,其重量设计空间也较大。理想的多

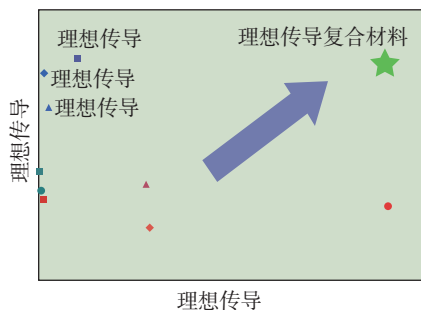


图1 多功能材料

功能材料应位于图 1 中的右上角部分,也就需要在目前复合材料的比强度基础上将其电导率改善几个数量级,无需与额外的材料结构组合,以达到所需的电磁性能。目前的最大挑战是大力改善复合材料的电导率并维持其高度优化的结构性能。

低成本、可扩展及可重复性制造工艺

目前,设计师一定会考虑质量以及工艺可重复性。孔隙、表面不规整度、纤维屈曲以及工艺不稳定都会减少材料的应用,如图 2 所示。改善工艺稳定性和可重复性,以改善现有材料和新材料的成本和性能。从图 2 可以发现,采用特定的质量量化理论上可以改善多少重量。褶皱和孔隙是制造整体复杂结构所面临的挑战,而生产工艺的自动化可实现工艺的可重复性和可扩展性。进一步而言,建立评估材料制造工艺质量和稳定性的方法可以改善设计空间并提高材料用量。这些评估方法可以加速复合材料的工艺放大试验、规范和验

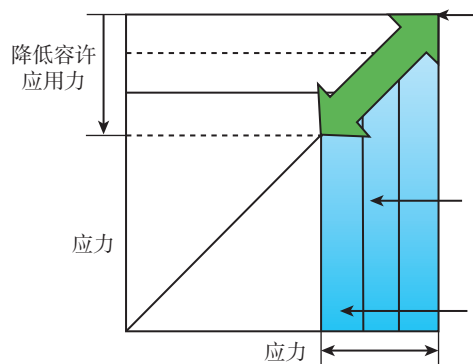


图2 改良后的复合材料

证进度,并降低新材料投入成熟应用的成本。

拓展设计空间

新型复合材料的灵活性允许其采用新颖的设计,但是提高设计空间也将带来新的挑战。因此,需有规范的设计准则,例如,留给设计师的设计变量众多,包括铺层方向、铺层顺序以及与特定几何形状部件相关的传统设计变量。这些设计变量的众多组合方式对于设计师的设计优化工作是一个巨大挑战。设计指南的规范,如铺层顺序,将导致更优的设计,并使其制造工艺的重复性和稳定性更高。这些设计规范将为设计师带来巨大好处,减少设计开发过程中的时间消耗。

随着复合材料使用量的不断增加,设计者一直在寻找采用三维织物、缝合或三维编织复合材料来代替金属结构件。但由于在三维载荷下材料体系的变量和行为变得更关键,因此这种结构类型材料的分析和验证是一项巨大的挑战。此类材料体系的纯拉伸、挤压、弯曲、分层和层间剪切失效模式必须被准确预测。因此,开发一套支持设计开发和验证的稳定的复合材料分析工具对于拓展设计空间和降低三维复合材料的成本显得尤为重要。

快速开发和验证周期

最后,快速开发材料及其制造工艺,缩短验证时间都非常关键。在航空领域,对于一个快速产业化过程,产品开发周期需要 6~8 年。大量的计算机辅助技术已经应用到产品的设计和分析过程中。

在过去 20 年中,计算机辅助设计(CAD)已被应用于加速设计工艺,并可以通过数据库链接到制造过程。已有利用 CAD 设计机械加工的例子作为参考。计算

流体动力学可以从很大程度上减小风洞试验的必要性,并更利于理解复杂流体以及设计细节对性能的影响。有限元技术可以用来模拟结构性能,从而加速结构开发,并更利于让人理解结构与环境的相互作用关系。

飞机结构用材料的开发需要相当长的时间,这是因为材料从最初设想到达到性能和制造工艺的成熟一般需花费 15~18 年的时间和数百万美元。由于开发一种结构材料比发展一种新型飞机需要花费更长的时间,因此设计师更倾向于采用上一代材料。

计算机和软件的快速发展为材料和制造工艺的快速发展带来了新机遇。软件和计算机为工程师们提供了从量子水平到整机水平的研究工具,以模拟在制造和使用中材料的行为。现在,这些工具可以和大量的实验设备链接使用。计算机为我们提供了一个完美的实验室,或者说一种可多次反复试验并获得准确结果的场所。工程师们可以开展任意尺度的试验并进行比较研究,以更好地理解在制造和使用过程中材料原子尺度的细节,这些知识可被用于提前预测材料的物理演化行为。因此,材料性能被工程师们提前掌握,开发周期也将随着测试和生产工艺的成熟而缩短。现在就有一个绝好的机会,因为计算材料的应用和制造工艺的模拟可缩短材料开发时间,并可能缩短产品开发周期。

复合材料具有光明的发展前景。改善复合材料体系的多功能化性能,采用优化技术拓展新的设计空间,并用于目前还被均质材料主导的领域,将使复合材料在航空业的应用继续增加。通过自动化生产降低成本、先进的知识改善工艺质量,以及引入设计变量、使用计算工具缩短产品研发周期将会使复合材料的应用更加广泛。

(翻译 王迎考 责编 亦非 夏宛)