

我国航空复合材料产业发展展望

杨艳阳

(中国航空制造技术研究院复合材料技术中心 北京 101300)

摘要: 航空复合材料产业市场前景广阔,该文回顾了国内航空复合材料发展历程,分析了国内外航空复合材料技术与产业格局,结合国内外市场发展需求,基于工业大数据现代化产业发展现状和国内外产业发展形势,提出了国内航空复合材料未来发展方向,展望了一个更高质量、更高效率、更加公平、更可持续的航空复合材料产业新发展格局。

关键词: 航空复合材料 复合材料技术 航空飞行器 树脂基复合材料

中图分类号: TB331

文献标识码: A

文章编号: 1672-3791(2022)09(b)-0161-03

航空复合材料的应用发展大致经历了3个阶段,即在次承力结构中的应用、向主承力结构发展以及在飞机结构中的规模化应用。复合材料应用技术是随着设计、材料、工艺、设备、检验技术的不断成熟逐渐在飞机结构中进行验证应用的,最开始是复合材料整流罩和活动翼面等次承力或非承力构件,但随着复合材料用量需求的增多,技术成熟度及产品性能的逐步提高,其应用部位已扩展到了主承力构件,并得到充分考核验证,为复合材料更广泛的应用奠定了坚实的基础。波音787飞机首次大规模使用复合材料结构,标志着“航空复合材料”的飞机时代已经开启,复合材料已经成为飞机结构减重的首选材料,其在大型飞机结构中的应用已提升到50%以上^[1-2]。

1 我国航空复合材料发展历程

我国航空复合材料技术始于20世纪70年代,在航空装备研制需求的牵引下,航空工业部门组织开展复合材料及其相关技术研究,开启了我国航空复合材料发展历程,并初步建立了专业和技术基础。20世纪80年代起,以碳纤维复合材料为标志,开展了原材料(含树脂基体和增强纤维)、结构设计、制造工艺、连接装配、检测等关键技术研究,并在航空产品上得到初步应用,带动了复合材料专业技术的全面发展。2000年以后,随着我国航空装备的高速发展,高性能、多功能航空复合材料,大型复合材料整体结构,先进的复合材料工艺装备工程应用等重大关键技术研究取得了显著的成果,实现了航空复合材料产品规模化生产,已基本形

成航空复合材料产业。

2 航空复合材料技术与产业格局

目前,航空复合材料按增强基体可分为树脂基复合材料、碳基复合材料、陶瓷基复合材料和金属基复合材料,其中树脂基复合材料是目前航空复合材料家族中应用量最大、技术成熟的材料,广泛应用于民机、军机、发动机领域,对推动航空装备升级换代起到关键作用。航空复合材料的应用技术水平与各国政治、经济、国防技术发展水平相关,其最初的推广应用者和目前的最高水平代表仍然是美国,由NASA主导并推动,其次是欧盟、日本。国外的航空复合材料在飞机(包括航空发动机)上已经实现了广泛应用,材料体系、制造技术和工艺装备的发展日趋成熟。该文主要针对高性能树脂基复合材料产业市场展开研究。

2.1 国外航空复合材料技术发展现状

航空飞行器主要要求树脂基复合材料具有高耐湿热性能、优异的工艺性和高抗冲击韧性等特点。航空树脂基复合材料已经历了3个代次的发展,T800纤维/第三代高韧性树脂已用于复合材料机翼,CAI值达到368 MPa,微纳米增韧成为未来研究方向;聚酰亚胺树脂长期使用温度已从316℃提升到370℃,并发展了第四代400℃以上的树脂体系。

在增强材料方面,各国已经开发出若干类用于结构材料的聚丙烯腈碳纤维,以东丽碳纤维为例,其产品主要有T(T300、T400、T700、T800、T1000)、M(M30、M35、M40、M46、M50、M55、M60)和MJ(M35J、M40J、

作者简介:杨艳阳(1984—),男,博士,工程师,研究方向为复合材料、相变储能材料。

M46J、M50J、M55J、M60J、M70J)这3个系列的碳纤维。未来碳纤维将朝更高模量、更高强度碳纤维,多功能及低成本(大丝束)技术方向发展。

在基体材料方面,双马树脂、环氧树脂是航空树脂基复合材料最常用的两种基体材料,广泛应用于大型飞机、直升飞机、通用航空和歼击机等飞行器。为提高树脂基复合材料的韧性,树脂基体经历了标准韧性、中等韧性、高韧性和超高韧性的发展过程。第三代超高韧性树脂基复合材料的CAI已经达到315 MPa以上,主要包括覆盖中温、中高温的5260/IM7、5276-1/IM7、8551-7/IM7、977-1/IM7和3900-2/T800等复合材料体系。

国外在研究具有高韧性复合材料的同时,也非常注重保持或提高其耐热性能。不仅发展了拥有成熟商品的双马树脂体系(如5245C、5250-2、5250-3、5250-4、5260、5270-1、F650、F652、F655、M65、XU292、V391等),还发展了低成本RTM双马树脂,包括索尔维公司(氰特被收购后,所有业务并入索尔维)的CYCOM 5250-4RTM和CYCOM 5270-1 RTM(长期使用温度232℃),以及赫氏公司的RTM650、RTM651双马RTM树脂体系。

此外,聚酰亚胺树脂(使用温度为288℃~316℃)已成为航空发动机和高温飞机上应用最广泛的航空复合材料基体。有研究人员已开发了耐温426℃~500℃的第四代聚酰亚胺树脂(P2SI900HT)和可RTM工艺成型的苯乙炔苯酞(4-PEPA)封端聚酰亚胺树脂基体(PETI-298、PETI-330、PETI-375),进一步提高了聚酰亚胺复合材料的耐热特性。随着未来材料基因组技术的发展,有机及无机化学结构的工艺及性能特点将得以融合,耐500℃以上,甚至600℃高温树脂基复合材料不再是梦想,树脂基复合材料的应用范围进一步扩大至足以覆盖钛合金材料的使用温度范围,进一步减轻航空装备的结构重量^[3-4]。

2.2 国外航空复合材料产业格局

从全球市场分布来看,航空复合材料在北美市场占有率约为58%,在欧洲市场占有率为38%,亚太地区仅占市场份额的4%~5%。

美国是全球复合材料技术最先进,产业最发达的国家,拥有完整的航空复合材料产业链和全球领先的厂商。以赫氏公司为代表的碳纤维生产商占据了产业链中上游,拥有25%的航空碳纤维市场份额,40%的碳纤维预浸料市场份额和28%的玻璃纤维预浸料市场份额。以波音公司为代表的飞机制造商作为产业链的末端,占据了20%航空复合材料市场份额。

欧洲复合材料产业发达的国家主要有英国、法国、德国、西班牙和意大利5个国家。这5个国家分担了全欧洲1/3以上的复合材料产量。最具代表的碳纤维厂商是索尔维公司,其不仅拥有15%的航空碳纤维市场份额,还与赫氏公司拥有同样的碳纤维预浸料市场份额(40%),在玻璃纤维预浸料市场上占据了21%的份额。空客公司是欧洲航空复合材料市场最大的应用型厂商,同样占据了全球航空复合材料市场份额的20%。

亚太地区复合材料市场占比相对较低,以日本东丽、帝人和三菱丽阳为代表的碳纤维厂家占据了全世界超过一半的碳纤维市场份额。日本研发生产的碳纤维无论是在品种、工艺、产量,还是质量方面都位居全球领先地位,研发的高强高模碳纤维增强复合材料在航空领域构成了寡头垄断^[5]。

2.3 国内航空复合材料技术发展现状

我国航空复合材料技术已初具规模,开始进入较大比例应用的阶段,虽然距离国际顶尖水平仍有一定的差距,但已初步形成了航空复合材料设计、研发、制造、检测等技术和工艺装备体系,拥有先进的航空复合材料研发和生产基地。

经过多年发展,我国高性能树脂基复合材料技术已取得巨大突破。在增强材料方面,国产T300级碳纤维已实现了千吨级产业化生产,其复合材料性能达到东丽同等水平,完全实现了航空航天用T300级碳纤维的自主保障;国产T700级碳纤维实现了百吨级批产,并已实现产品应用等;国产T800级碳纤维关键制备技术已取得突破,主要力学性能接近东丽T800碳纤维,建成了多条T800级碳纤维生产线,已实现百吨级稳定性生产,为应用验证奠定了良好的基础。在树脂基体方面,航空工业复材研发的国产T800级碳纤维增强高韧性环氧树脂复合材料CAI值(330MPa)已达到第三代韧性复合材料的水平。第三代聚酰亚胺树脂体系的关键技术已经突破了,并得到了考核验证^[6]。

2.4 国内航空复合材料产业格局

我国不仅具备完整的航空复合材料产业链,在国家相关产业政策和龙头企业的带领下,产业链各环节均已贯通,实现了以国产T300和T700为代表的国产碳纤维原材料到产品装机应用的全产业链大协同发展格局。从产业链布局看,有以威海拓展、中简科技为代表,服务于航空应用的碳纤维企业;有以航空工业复材为代表,服务于航空整机制造厂的先进树脂及预浸料及构件产品企业;有以中国商飞为代表,航空复合材料产品应用型厂商,正合力推动着我国航空复合材料飞速发展。

3 航空复合材料市场分析

充分利用航空复合材料是实现飞机轻量化的重要途径之一,民用飞机复合材料结构用量已超过50%,无人机已实现主体结构用量100%。未来航空复合材料在航空飞行器上的用量会继续增加,而且这一增加趋势将是长久和持续的。

预计到2035年世界航空航天复合材料市场规模将达到500亿美元,其中民航产业占比达到60%,军用产业占比达到30%,航天产业将占10%。北美仍将是最大的市场,预计市场份额将占全球总市场的40%~45%。亚太地区受地缘政治影响,以及中、印等国经济发展的推动,其航空复合材料市场将会超越欧洲成为全球第二大市场。

4 我国航空复合材料产业发展方向

经过近40年的发展,国内航空复合材料产业正逐步缩小与国际领先企业的差距,国产宽体客机C919复合材料用量约为12%,CRJ929预计要达到50%以上,这将成为国内航空复合材料产业高速发展,改变航空复合材料产业布局的重要契机^[7]。

4.1 大数据将改变传统的发展模式

随着大数据在社会经济各个领域的广泛应用,云计算、3D技术、人机交互、智能工厂等技术逐渐成熟应用,势必引发新一轮工业革命,航空复合材料的研发、生产和商业模式都将借助信息技术插上腾飞的翅膀,加快从实验室走向更广阔应用领域的步伐。

4.1.1 研发模式向数据化转变

随着航空复合材料应用越来越广泛,材料品种也越来越多,新品种层出不穷,原来由科学家封闭在实验室研究的模式会渐渐向标准化、智能化、共享化转变。随着大数据和云计算技术的出现,未来计算机可以迅速在虚拟环境仿真人几百年都做不完的试验,并快速从中选出最适合自己的个性化需求的材料配方、工艺等数据。

4.1.2 生产模式向智能化转变

随着航空复合材料研发方式的转变,设计制造一体化技术会将实验室与工厂无缝连接,实现跨企业、跨域协同设计制造;人机交互、智能工厂将不断涌现,航空复合材料柔性化制造能力将更加凸显,能够比其他材料做到快速响应市场个性化需求。

4.1.3 商业模式向平台化转变

智能、共享、快速的电商平台发展理念必然会推动航空复合材料商业模式转变,出现与电商平台类似的共享平台,以技术共享、研究成果共享、产品共享等多种方式,实现开放协同的产业链资本流转^[8-9]。

4.2 产业体系和准入标准将更加完善

随着应用领域和市场规模的不断扩大,航空复合材料的行业规范、材料认证、检测、失效分析等基础性、精细化要求越来越高,国内航空复合材料产业体系将逐步与国际接轨,建立航空复合材料设计、制造、材料、检验、维修、装配体系,形成专业数据库、专利、技术秘密涵盖各种设计数据、制造工艺文件、材料性能手册、维修保养手册、装配技术文件,有效促进航空复合材料研发的标准化、系列化、通用化,支持航空复合材料产业的创新及可持续发展,逐步形成统一行业准入标准与规范,使工艺评价及鉴定认证体系将更加完备,促进航空复合材料供应链现代化和产业链高级化发展。

4.3 产业链更加成熟完备

未来中国航空市场巨大,国内产业链优势资源将更加集中,形成了从上游原丝制造到下游复合材料制品设计制造的完整产业链。国内航空复合材料企业凭借其对原材料透彻深入的了解、精湛的复合材料制造技术以及广泛的应用和工程技能融入国际市场,同时以其航空技术与产业能力优势发挥产业溢出效应,进一步拓展非航市场应用的深度和广度,构建更高质量、更高效率、更加公平、更可持续的新发展格局,形成国内航空复合材料行业有序竞争、互利合作的良好生态圈,融入国际产业链。

参考文献

- [1] 邢丽英.先进树脂基复合材料自动化制造技术[M].北京:航空工业出版社,2014.
- [2] 益小苏.航空复合材料科学与技术[M].北京:航空工业出版社,2013.
- [3] 中国航空工业集团公司复合材料技术中心.航空复合材料技术[M].北京:航空工业出版社,2013.
- [4] 包建文,蒋诗才,张代军.航空碳纤维树脂基复合材料的发展现状和趋势[J].科技导报,2018,36(19):52-63.
- [5] 航空材料发展进入“复合材料”时代,2025年规模将达2000亿[J].热固性树脂,2021,36(3):24.
- [6] 王军照.碳纤维复合材料在航空领域中的应用现状及改进[J].今日制造与升级,2020(8):48-49.
- [7] 宁莉,杨绍昌,冷悦,等.先进复合材料在飞机上的应用及其制造技术发展概述[J].复合材料科学与工程,2020(5):123-128.
- [8] 邹雪丰.基于碳纳米管薄膜的复合材料结构多功能化研究[D].南京:南京航空航天大学,2020.
- [9] 陈冠旭,赵立杰,李淑萍,等.通用航空领域复合材料制备工艺的研究[J].科技创新导报,2020,17(20):8-10,256.