

浅谈复合材料无人机机翼的轻量化工艺

方晓

(江西省化学工业学校 江西 南昌 330012)

[摘要]文章主要研究了复合材料在无人机中的应用,以及复合材料无人机机翼的轻量化工艺分析。经研究发现,复合材料是无人机结构设计中不可缺少的材料,也是无人机领域中的重点研发内容。复合材料无人机机翼的轻量化设计要基于机翼外形要求,且无人机结构布局的轻量化设计对无人机机翼的承力影响较大。

[关键词]复合材料;无人机;机翼;轻量化工艺

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-627X.2021.08.1113

2021年9月17日,西安交通大学国家技术转移中心与西安航空基地管委会联合举办了“秦创原·先进复合材料科技成果协同创新对接会”,希望借此进一步激发无人机、复合材料及相关领域的科技创新活力。其中,无人机的设计与制造需要考虑到成本、结构、隐身性能、航时航距、机动性能等方面的潜力,保证无人机的应用优势。而与这些专业的设计目标关联紧密的就是无人机机翼设计。无人机的设计原则要求轻便、耐受、有一定的承载力,这就需要无人机机翼既能满足设计指标的要求,还要保证在复合材料构建下的机翼及其轻量化工艺具备较强的综合性能。而为了满足不同的无人机机翼设计要求,机翼的结构和复合材料的选择也较为复杂。因此,要切实了解无人机机翼的设计需要,则需要对复合材料无人机机翼的轻量化工艺进行专业的学习。

一、复合材料在无人机中应用分析

无人机在材料的选择上要求较高,由于其特别的性质与使用范围的需要,无人机对材料的性能更加注重,对材料的轻量特性的要求比一般航空工具更高。无人机设计和技术特点要求其结构轻但耐受力较强,持续航行里程较长,机动性能水平较高,隐身条件好,过载能力强,因此,减重减压是保障无人机飞行的基本条件,也是无人机升级的迫切需求之一^[1]。而这也体现了复合材料对促进无人机优化升级的重要性。我国航空领域的复合材料发展起步于二十世纪六十年代末,一直到二十世纪七十年代中期才出现首个复合材料专用的部件。而直到上世纪九十年代,我国航空领域才具备了自主研发和制造复合材料机翼的基本能力。直至2008年我国航空领域中对复合材料机翼的研发设计和制造才正式步入新的时代篇章,逐步取得更高成就。时至今日,无人机领域又设计出了不同应用范围的无人机机型,包括摄影类无人机、红外线勘测类无人机等等。虽然我国复合材料无人机机翼的技术和水平在不断提升,但是与部分发达国家的航空工艺技术相比,仍需加快研发步伐。

二、复合材料在无人机机翼中应用的优势

(一)复合材料的可设计性较强

无人机机翼所采用的纤维复合材料与金属材料不同,其特性之一就是各向异性,同时纤维复合材料是非均质工艺材料。所以在使用纤维复合材料时,对它的具体应用设计、材料性质分析与验证、结构面积计算等前期工艺进行严谨分析。虽然复合材料的设计要求较高,但是它比一般金属材料的可设计性要更强。并且复合材料的在无人机机翼上的设计与应用,可以依照机翼结构特点进行细节化调整,实现复合材料设计与机翼

整体结构的最优化。复合材料按照无人机机翼结构进行制作,通常会选择将其放入机翼结构的模具当中,通过热压处理将复合材料固化成型。技术人员会将预浸料先进行铺层处理,再使用复合材料的热压工艺技术对模具内材料进行加工,促使原始的纤维材料发生化学反应,就可以得到完整、已经成型的复合材料。同一结构不同部分的复合材料,只需要进行二次胶接等工艺就可以实现完整结构的成形。复合材料的可设计性不但能够减少机械加工的工作量,控制无人机机翼的装配成本,还可以改良机翼的使用性能。

(二)复合材料的特殊性能

无人机的应用还包括执行一些特殊任务,例如侦查、反潜、电子干扰等。所以复合材料的性能优势需要比其他材料更突出,才能实现关键性的辅助作用。其中,在适用于无人机机翼的材料中,复合材料的比强度和比模量比大部分材料都要高。而比强度和比模量较高有利于无人机的低载荷,促进无人机机翼结构的轻质轻量、小型便捷、性能优异^[2]。并且复合材料的耐腐蚀性和耐高温性能较强,无人机机翼使用复合材料则可以在恶劣环境下的飞行、运作,增加无人机机翼的使用寿命,减少机翼维护所消耗的成本。另外,聚合物基复合材料特有的电磁性能,能够满足无人机的隐身要求。技术人员只需要根据电磁特型,结合其电磁系数对其进行改性处理,就能实现隐身效果。另外,复合材料与金属材料相比,更容易植入芯片与传感器,并且能促使复合材料实现智能化特性,组合成智能机翼。

三、无人机机翼的复合材料制造技术

(一)低成本制造技术

无人机机翼的复合材料应用需求和工艺技术水平的要求较高,并且机翼的复合材料制造技术还要符合经济结构的合理化要求。无人机机翼对先进复合材料的选择,需要对其研制成本作出全面判断分析并制定最优方案。要求机翼复合材料的制造总费用不能超过无人机制作成本的40%,但是在使用低成本制造技术之前,无人机机翼的复合材料制造成本在总成本中占比高达71%,导致复合材料在无人机机翼应用中的资金结构不合理^[3]。直到低成本制造技术被正式运用到复合材料制造当中,才有效解决了成本资金结构的问题。低成本制造技术是将制聚氨酯等原材料,放置在低温环境中进行固化定型等工艺。低成本制造技术可以最大程度的保证复合材料的完整性,同时实现在机翼结构的模具中同步定型。由低成本制造技术制作的机翼复合材料,还能保证刚度、硬度、质量重量的性能稳定,与

热压工艺所制造出来的复合材料相差无几，还能减少一半的总制造成本，低成本制造技术也因此受到更多青睐。

（二）3D打印制造技术

在复合材料的制造工艺中，3D打印技术具有鲜明的特性，它不像其他制造技术需要进行结构与参数调正。3D打印制造技术是通过图片扫描处理，由计算机内核系统进行图形复制并经过软件绘制，再构建数字模型完成系数对比分析，根据相关数据调整3D打印工具，最后通过可黏合粉末实施分层打印。如此，就能够得到无人机机翼的复合材料结构和组件，技术人员可以根据不同机型的机翼结构选择是否进行二次胶接。第一台基于3D打印制造技术所制作出来的无人机，是由英国工程师制造的SULSA无人机，其翼展有2m。该无人机主要运用于南极科考，机翼性能良好并且最高时速可达每小时160公里。其中，SULSA无人机的原材料主要是塑料黏合粉末等，并且只需要花几分钟时间，就能完整无人机的整体组装。由此可见，3D打印技术对无人机机翼复合材料的制造存在一定优势，并且经美国专业人员的研究与验证表明，由3D打印制造技术生产出来的复合材料具备较强的稳定性，可以应用于空军领域的无人机制造。

四、复合材料无人机机翼的轻量化工艺分析

（一）无人机机翼轻量化设计要求

复合材料无人机机翼的轻量化设计要基于机翼外形要求，在保证机翼结构与无人机整体设计的外形相一致，并且要确保相关参数在规定的范围内：机翼展长1400mm、机翼根弦长470mm、梢弦长210mm、展弦比2.2、机翼面积 0.476m^2 。并且要保证机翼外形的表面足够光滑，从而保障复合材料无人机机翼的气动特性。而基于强度要求，复合材料无人机机翼的轻量化设计要结合外载荷进行强度设计，主要考虑无人机在起降时的前旋翼升力和平飞时的单机翼升力及其外载荷大小。同时，还需要考虑到无人机机翼的刚度要求。为了保障无人机的气动特性，复合材料无人机机翼的轻量化工艺要依照机翼刚度准则进行结构设计，所以要保证起降时的前旋翼Z向最大变形 $\leq 20\text{mm}$ ，平飞时的机翼翼梢变形 $\leq 30\text{mm}$ 。另外，复合材料无人机机翼的轻量化工艺设计要根据不同机型、加工条件等，综合考虑无人机制造成本与工艺性。

（二）无人机结构布局的轻量化设计

无人机机翼作为整个机体的重要承力部分，其工艺设计要求较高。并且在无人机的起降过程中，机翼主要承受由无人机前旋翼运作时所产生的集中力，而无人机在平飞时，机翼主要承受机体的气动力以及无人机前旋翼的总体重力。因此，无人机机翼的受力情况比较复杂，要实现在不增加额外重量的基础上，对无人机机翼结构的刚度进行优化升级是首要任务。首先，设计人员要对主要机型及机体机翼的主要受力区、应力水平进行全方位分析。复合材料无人机机翼要选择双梁式结构，其中，主要包括机翼主梁结构、机身碳管、副翼梁结构、加强梁结构。而复合材料无人机机翼的翼肋结构主要包含一个翼根肋、一个翼梢肋、三个副翼肋、两个加强肋。其次，复合材料

无人机结构布局的轻量化设计，要经过起降和平飞两种情况下的测试，并对无人机机翼的初始结构结合测试实况，对其展开传力分析。设计人员要对复合材料无人机起降时的集中载荷的传递进行传力分析，要保证无人机机翼的前旋翼碳管将集中载荷传递给机体主梁和机翼碳管，再由机体主梁将其载荷传递给机体根部加强肋，而机翼碳管选择会将其载荷传递给连接接头^[4]。同样，设计人员要保证无人机平飞时的气动载荷的有效传递，要确认蒙皮能够将气动载荷传递给机体翼梁和翼肋，在通过剪流形式将载荷传给蒙皮。最后，设计人员要结合设计准则、外部环境及参数范围，对复合材料无人机机翼的前梁进行合理布置。

（三）复合材料部件铺层的轻量化设计

复合材料无人机的部件铺层中，蒙皮、机翼的翼梁、主副翼肋需要使用层板夹芯结构。其中，弹性模量 E_1/GPa 的材料参数：碳纤维编织布50、玻璃纤维24、木板12、泡沫0.074。弹性模量 E_2/GPa 的材料参数：碳纤维编织布6.9、玻璃纤维9。剪切模量 G_2/GPa 的材料参数：碳纤维编织布3.3、玻璃纤维4.7。密度的材料参数：碳纤维编织布1420、玻璃纤维1720、木板534、泡沫52。泊松比材料参数：碳纤维编织布0.3、玻璃纤维0.3、木板0.3、泡沫0.3。而复合材料无人机机翼的铺层设计主要有：翼根肋需要碳板1份；机翼碳管需要碳管2份；副翼梁、加强肋与功能肋都需要一层玻璃纤维布，中间一层椴木板，再加一层玻璃纤维布；主梁则需要一层玻璃纤维布，中间一层泡沫，再加一层玻璃纤维布。复合材料部件铺层经过合理的轻量化设计能够增强机翼的稳定性。

五、结语

复合材料无人机机翼的轻量化工艺比较复杂，并且工艺技术要求较高。虽然复合材料在无人机中的应用与发展在不断突破，但是科技工艺离不开创新。并且复合材料无人机机翼在研发过程中的综合性要求较高，经过对其进行研究分析得出，复合材料无人机机翼的轻量化工艺与机翼结构、整体布局和部件铺层之间的影响较深。

参考文献

- [1] 宋思勤, 吴钢, 张文靖. 通过增材制造的晶格结构实现无人机轻量化[J]. 机械设计, 2021(06): 25-29.
- [2] 碳纤维复合材料成无人机的主力材料[J]. 橡塑技术与装备, 2020(02): 58.
- [3] 艾森, 常亮, 罗利龙, 王立凯. 具有工程适用性的复合材料机翼结构快速设计[J]. 工程与试验, 2021(03): 24-26+74.
- [4] 陈刚, 王校培, 宋军, 唐军军, 沈浩杰. 某高载荷大后掠无人机复合材料机翼结构设计及试验验证[J]. 南京航空航天大学学报, 2021(04): 613-619.

作者简介:

方晓(1971—),女,江西省南昌市人,本科,研究方向:化学工艺。