

增材制造技术在飞行器零部件生产中的运用

陈 洪

重庆交通大学 重庆

【摘要】增材制造技术以“逐层堆积”的核心原理突破传统减材制造瓶颈，凭借轻量化、复杂化、快速化的技术优势，成为飞行器零部件生产领域的关键变革力量。本文聚焦于增材制造技术在飞行器零部件生产中的运用研究，先阐述了增材制造技术在飞行器零部件生产中运用的意义，如有利于筑牢飞行器极端环境适配能力、有利于实现飞行器制造的降本增效等，然后又提出了几点运用的措施，进而不仅能精准匹配航空航天领域对零部件高度和高精度的需求，还能提高生产的效率，优化产品的性能，推动飞行器制造转型。

【关键词】增材制造技术；飞行器零部件生产；运用

【收稿日期】2025年11月6日

【出刊日期】2025年12月30日

【DOI】10.12208/j.jer.20250411

The application of additive manufacturing technology in the production of aircraft components

Hong Chen

Chongqing Jiaotong University, Chongqing

【Abstract】 Additive manufacturing technology breaks through the bottleneck of traditional subtractive manufacturing with the core principle of "layer by layer stacking". With the technological advantages of lightweight, complexity, and speed, it has become a key transformative force in the field of aircraft component production. This article focuses on the application of additive manufacturing technology in the production of aircraft components. Firstly, it elaborates on the significance of using additive manufacturing technology in the production of aircraft components, such as strengthening the adaptability of aircraft to extreme environments and achieving cost reduction and efficiency in aircraft manufacturing. Then, several measures for application are proposed, which can not only accurately match the requirements for component height and high precision in the aerospace industry, but also improve production efficiency, optimize product performance, and promote the transformation of aircraft manufacturing.

【Keywords】 Additive manufacturing technology; Production of aircraft components; Apply

引言：航空航天产业作为国家科技实力的核心象征，对飞行器零部件的要求比较高，需要通过轻量化设计降低能耗，满足高精度和长寿命以及高可靠性的硬性指标。从航空发动机涡轮叶片的气膜孔阵列，到航天器的点阵承力结构，这些“高精尖”零部件的制造难度成为制约产业升级的重要瓶颈。传统减材制造模式在飞行器零部件生产中的应用受局限，涡轮叶片的异形内腔需要通过多道锻造和切削工序分步加工，材料利用率不高，其内部流道精度难以把控。而以“逐层堆积”为核心的增材制造技术凭借自身的优势破解这些难题。这项技术通过数字化离散-堆积原理，可直接实现复杂拓扑结构的一体化成型，这除了能提高材料利用率以外，还能缩短生产周期，并通过微观组织调控，让钛合金和高温等特种材料的抗疲劳性能得到提高。所以在

今后有必要探讨增材制造技术在飞行器零部件生产中的应用。

1 增材制造技术在飞行器零部件生产中运用的意义

1.1 有利于筑牢飞行器极端环境适配能力

在飞行器零部件生产中，运用增材制造技术有利于提高飞行器极端环境适配能力。因为它通过结构优化和材料调控的双重创新，让零部件性能成为确保飞行器安全运行的重要支撑。

(1) 在结构性能优化上，增材制造实现“复杂结构一体化成型”的革命性突破。在传统工艺当中，不管是飞行器点阵承力结构，还是异形流通部件等复杂构件，都需要进行拆解，拆解为多个简单零件分布加工后再拼接，这往往会造成重量和装配误差。以某型无人机

的一体化机身框架为例，传统工艺拆解的部件比较多，需要多道工序制成，且焊接处的疲劳寿命仅为设计要求的 70%。但以选区激光熔化技术打印的钛合金机身框架为主，不仅能实现一体化成型，还能实现内部仿生蜂窝结构的孔隙率精准控制，提高抗冲击性能，疲劳寿命满足设计标准。

(2) 材料性能的精准调控强化零部件的极端环境适应性^[1]。利用增材制造技术，通过实现对激光功率和扫描速度等参数的控制，可定向调控材料微观组织，使传统铸造工艺中晶粒粗大和成分不均的问题得到解决。

1.2 有利于实现飞行器制造的降本增效

传统零部件制造还存在一些问题，如材料浪费严重、生产周期冗长，从而给产业规模化和市场化发展造成影响。但通过发挥增材制造技术的优势，再合理地利用，能通过精简工序和材料利用率的提升，重构飞行器零部件的生产经营逻辑，实现飞行器制造的降本增效。

(1) 材料利用率的革命提升是成本优化的重要抓手。飞行器部件所利用的特殊材料主要以钛合金和高温合金为主，单件成本比较高，而传统建材制造材料造成严重浪费的现象。但通过对增材制造技术进行充分地应用，直接使用 3 公斤钛合金末打印成型，提高材料利用率，降低单件材料成本^[2]。(2) 生产周期和工装成本的降低放大增效价值。在传统工艺中，复杂零部件生产需要经过的工序比较多，有模具设计制造、锻造、切削和热处理等，生产周期以“月”为单位，且专用模具具有较高的成本。但利用增材制造技术，能直接根据数字化模型打印成型，一个星期内就能将样品交付完成，无需专用模具，能降低综合成本。

2 增材制造技术在飞行器零部件生产中的运用

2.1 机身与结构件

机身构件是飞行器的重要核心承力部件，其制造质量会影响到飞行器的安全。传统机身构件运用多个简单零件通过焊接等方式组装而成，除了难以控制其精度以外，存在的应力集中点比较多，会给结构可靠性造成影响。所以在今后应注重对增材制造技术的应用，实现机身结构件的一体化成型，使传统制造存在的问题得到解决。

例如，某波音公司 787 梦想客机生产中，利用增材制造技术制备机身结构零部件，其中飞机舱内的隔框部件的制造运用钛合金激光熔化制造技术，这和传统锻造工艺对比，部件重量轻，能缩短生产周期。又比如，某空客公司在 350XWB 宽体客机上应用增材制造的钛合金支架部件，这部件通过拓扑优化设计，以镂空

晶格结构为主，材料利用率得到提升^[3]。

2.2 发动机零部件

航空发动机零部件工作环境极端，较其他领域相比，材料性能和结构精度以及可靠性要求比较高。其中最关键的部件不仅有发动机的涡轮叶和燃烧室，还有燃油喷嘴等，内部通道和冷却结构较为复杂，传统制造技术无法实现精准加工。但增材制造技术的利用，能凭借自身的优势成为发动机零部件制造的革命性技术^[4]。

其中涡轮叶片是航空发动机的核心极端部件，在高温燃气环境下承受的离心力和热应力大，还具有一定的制造难度。传统涡轮叶片以铸造工艺制造为主，内部冷却通道的设计和加工受到的局限大，难以提高冷却效率。但在今后可充分应用选择性激光熔化技术制造 LEAP 发动机涡轮叶片，并重点优化内部冷却通道结构，采用蜂窝状镂空设计。这样不仅能减轻叶片重量，还能提升 LEAP 发动机的燃油效率。

不管是发动机燃烧室，还是燃油喷嘴，这是增材制造技术应用的主要对象。燃烧室要实现燃油和空气混合燃烧，产生高温高压燃气，其内部合理性会关系到燃烧效率和污染物排放。某公司运用电子束熔融技术制造的 PW1100G 发动机燃烧室，通过一体化成型实现复杂火焰筒结构，提高燃油燃烧效率，降低氮氧化物排放。燃油喷嘴需要将燃油精准雾化均匀喷射在燃烧室中，传统喷嘴由多个零件焊接而成，雾化效果差，很有可能发生堵塞的现象。但利用增材制造技术制造的燃油喷嘴，将原来的多个零件一体化成型，也会实现内部通道精度控制，确保发动机燃烧稳定性。

2.3 航电和内饰件

在飞行器航电系统的集成化程度提高下，对航电零部件的小型化和轻量化需求日益迫切。但通过对增材制造技术充分的应用，除了能实现航电零部件成型以外，还能结合安装空间，根据性能要求实现个性化设计，从而提高航电系统的集成效率。而且增材制造技术在飞行器内饰件生产中的应用，实现个性化定制，优化乘客的乘坐体验。

在航电系统中，可运用增材制造技术实现雷达天线罩和电子设备外壳以及连接器等零部件生产。雷达天线罩具备良好的电磁透气性和结构强度，可利用碳纤维增强树脂基复合材料的立体光刻技术制造的雷达天线罩，通过对材料配比和成型工艺进行优化，提高电磁透过率和结构强度，提升雷达系统探测精度^[5]。电子设备外壳具备良好的散热性能和电磁屏蔽性能，运用金属基复材料的选择性激光熔化技术制造的外壳，通

过内部集成散热通道，提高通道散热效率，对航电设备的严苛工作要求，还能给予充分的满足。

增材制造技术在飞行器内饰件生产中还具有一定优势。比如，波音公司为 787 梦想客机制造客舱扶手和行李架支架等内饰件，利用聚醚醚酮材料的熔融沉积成型技术制造，可根据不同航空公司实现个性化设计，从而缩短周期。

2.4 卫星和航天器零部件

卫星和航天器等空间飞行器在太空中面临恶劣环境，如真空和极端温差以及强辐射，这也提高对零部件的轻量化和高可靠性以及极端环境适应性要求。但运用增材制造技术，不仅可以进行卫星零部件的复杂结构设计，还能实现高性能材料成型，提高卫星运载效率，延长在轨工作寿命^[6]。同时，增材制造技术在卫星结构件制造中的应用，还能提高卫星运载效率。在我国中国航天科技集团公司运用增材制造技术实现某型通信卫星的天线反射面支撑结构，运用碳纤维增强复合材料成型，减轻其重量，提高天线指向精度，增强卫星的通信性能。

3 增材制造技术在飞行器零部件生产中的发展趋势

(1) 材料体系不断丰富，高性能材料实现突破。未来增强制造专用材料的研发会成为重点的方向。具体要优化高温合金和钛合金等现有航空航天高性能材料，改善其增材制造工艺性能，减少成型缺陷。实现对耐高温陶瓷基复合材料和轻质高强的金属基复合材料的开发，并在极端工况下满足飞行器零部件的使用需求。材料回收利用技术会得到完善，通过建立闭环的材料回收体系，能降低材料成本，避免造成环境污染^[7]。

(2) 工艺技术持续优化，成型质量和效率得到提高。对增材制造成型机理的研究不断深入，还会实现对精准工艺参数模型的构建，实现工艺参数智能化优化和实时调控，确保成型质量。与此同时，还会提高增材制造设备的性能，通过发挥扫描系统和精准的控制系统优势，再合理的应用，提高打印速度^[8]。未来，增材制造和传统制造的复合加工模式会成为重要的趋势，比如利用增材制造技术成型零部件的复杂结构部分，利

用传统切削加工技术，提高零部件的表面精度。

结束语：综上所述，增材制造技术在机身机构件和发动机零部件以及航电系统组件等领域中的应用，不仅能实现轻量化和复杂结构成型，还能缩短生产周期。未来随着增材制造技术的发展和应用，在飞行器承力部件和复合材料等高难度领域中会有新的突破。

参考文献

- [1] 王亚娟,付继昇,刘文斌,梁怡富,张明康,印四华.增材制造技术在航空航天领域的应用与发展[J].机电工程技术,1-13.
- [2] 杨凯,王磊,汤永凯,刘谋斌,郭子傲.面向高端装备的金属激光增材制造技术发展与应用[J].中国机械工程,2025,36(09):2068-2080.
- [3] 时光辉,武文华,陶然,罗俊荣,林晔,李强,林晓虎,孙齐东.增材制造技术在飞行器结构上的应用需求分析[J].机械工程学报,2024,60(11):74-84.
- [4] 王天元,黄帅,周标,郑涛,张国栋,郭绍庆.航空装备激光增材制造技术发展及路线图[J].航空材料学报,2023,43(01):1-17.
- [5] 刘洋,周建平,张晓天.增材制造技术在载人航天工程中的应用与展望[J].北京航空航天大学学报,2023,49(01):83-91.
- [6] 刘洁,时云,崔宇涛,侯娟,张恺,黄爱军.空间在轨增材制造技术的研究进展与展望[J].中国空间科学技术,2022,42(06): 23-34.
- [7] 顾波.增材制造技术国内外应用与发展趋势[J].金属加工(热加工),2022,(03):1-16.
- [8] 刘景博,刘世锋,杨鑫,李安,时明军,张光曦,张智昶,韩松.金属增材制造技术轻量化应用研究进展[J].中国材料进展,2020,39(02):163-168.

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

