

增材制造技术在机械工程中的创新应用与发展

罗岩刚¹, 徐先照², 张理强¹

¹克拉玛依普泰能源技术服务有限公司 新疆克拉玛依

²中国石油天然气股份有限公司新疆油田分公司石西油田作业区油气处理运行维护中心 新疆克拉玛依

【摘要】增材制造技术作为现代机械工程中的重要创新手段,正在突破传统制造在结构设计、生产效率和材料应用等方面的限制。通过对该技术在设计自由度提升、成本控制策略、复杂零件制造实践及未来发展趋势的系统分析,可以看出其在推动行业升级方面具有巨大潜力。该技术不仅优化了产品性能与制造流程,也为智能制造和绿色制造提供了有效路径。随着相关技术的不断成熟,增材制造将在更广泛的工业领域发挥关键作用。

【关键词】增材制造; 机械工程; 设计灵活性; 生产效率; 技术创新

【收稿日期】2025 年 4 月 17 日

【出刊日期】2025 年 5 月 26 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250244

Innovative applications and development of additive manufacturing technology in mechanical engineering

Yangang Luo¹, Xianzhao Xu², Liqiang Zhang¹

¹Karamay Putai Energy Technology Service Co., Ltd., Karamay, Xinjiang

²Oil and Gas Processing, Operation and Maintenance Center of Shixi Oilfield Operation Area, Xinjiang Oilfield Branch of China National Petroleum Corporation, Karamay, Xinjiang

【Abstract】Additive manufacturing technology, as a key innovative method in modern mechanical engineering, is breaking through the limitations of traditional manufacturing in structural design, production efficiency, and material application. Through systematic analysis of its advancements in enhancing design freedom, cost control strategies, practical applications in complex part fabrication, and future development trends, it is evident that additive manufacturing holds significant potential in driving industry-wide upgrades. This technology not only optimizes product performance and manufacturing processes but also provides an effective pathway toward smart and sustainable manufacturing. As related technologies continue to mature, additive manufacturing is poised to play a crucial role across a broader range of industrial fields.

【 Keywords 】Additive manufacturing; Mechanical engineering; Design flexibility; Production efficiency; Technological innovation

引言

机械工程正面临日益增长的个性化、轻量化与高性能需求,传统制造方式在应对这些挑战时表现出一定的局限性。增材制造技术凭借其高度灵活的设计实现能力和材料利用率,为行业提供了全新的解决方案。近年来,该技术在多个高端制造领域取得突破,并逐步由原型制作向实际生产转化。面对制造模式的深度变革,深入探讨增材制造的应用现状与发展路径,对于推动机械工程的技术进步具有重要意义。

1 增材制造技术提升机械设计自由度

增材制造技术,又称 3D 打印技术,作为近年来迅速发展的先进制造方式,正在从根本上改变传统机械工程中的设计理念与实现路径。该技术通过逐层堆积

材料的方式构建三维实体结构,突破了传统减材加工和等材成型在几何形态上的诸多限制,为复杂结构的实现提供了全新的可能性。这种制造模式不仅实现了高精度的空间定位控制,还能够有效整合多个零件功能,在单一构件中完成多种结构特性的集成,从而显著提升了产品设计的灵活性与多样性。

在传统机械制造过程中,设计往往受到工艺可行性的制约,许多复杂的内部流道、拓扑优化结构或轻量化特征难以通过常规手段实现。而增材制造则通过数字化建模与精确控制,使这些原本受限于工艺的设计构想得以落地。尤其在航空、航天、汽车及医疗器械等领域,对零部件的功能性、轻量化和结构复杂性要求不断提高,增材制造技术使得设计师可以更加专注于性

能需求本身,而非制造过程的可行性约束。这不仅缩短了从概念到实物的周期,也提高了产品的整体性能表现。增材制造技术还推动了个性化定制与小批量生产的普及。

在传统制造模式下,模具开发成本高昂,生产柔性较差,难以适应多样化、个性化的市场需求。而该技术无需更换模具即可直接依据数字模型进行制造,极大降低了试制成本,提高了设计迭代的效率。设计师可以在短时间内完成多轮结构优化,快速验证创新想法,从而加速新产品的研发进程。随着材料科学的进步和成形工艺的发展,增材制造所使用的材料种类不断扩展,包括金属、聚合物、陶瓷及其复合材料等,进一步拓宽了其在机械工程中的应用边界。不同材料的选择和组合使用,使得设计者可以根据具体应用场景对零件的力学性能、热学性能、耐磨性等进行精准调控,赋予结构更多功能性特征。

2 解决增材制造高成本问题的方法探索

增材制造技术虽然在机械工程领域展现出显著的技术优势,但其较高的制造成本仍是制约其大规模推广应用的重要因素。该成本主要来源于设备投入、原材料价格、制造过程中的能耗以及后处理工序的复杂性等多个方面。因此,降低整体制造成本需要从多个维度出发,系统性地优化各个环节的资源配置与工艺流程。在设备层面,当前主流的金属增材制造设备普遍采用激光或电子束作为能量源,这类设备不仅购置成本高昂,同时维护和运行费用也较高。

为缓解这一问题,相关企业和机构正致力于开发更具性价比的能量源系统,并推动模块化设备架构的设计,以提高设备的通用性和可扩展性。通过提升设备的自动化水平和生产效率,例如增加打印头数量、优化扫描路径规划等方式,也有助于提升单位时间内的产出率,从而摊薄单件产品的设备分摊成本。材料成本同样是影响增材制造经济性的关键因素之一。目前用于高性能零部件制造的专用粉末或丝材价格偏高,且部分材料存在回收利用率低的问题。针对这一瓶颈,科研人员正在加快对低成本替代材料的研发进程,同时优化现有材料的制备工艺,以降低单位质量材料的成本。

另外,通过对废旧材料进行高效筛分与再利用技术的改进,提升材料的循环使用比例,也能在一定程度上减少原料采购支出。制造过程中的能耗控制也是降低成本不可忽视的一环。相较于传统加工方式,增材制造在成形过程中往往需要维持高温、高真空或其他特

殊环境条件,导致能源消耗较大。为此,优化设备热管理策略、引入节能型控制系统以及合理安排生产批次,均有助于提升能源利用效率,降低单位产品的能耗成本。后处理环节的复杂性同样增加了整体制造成本。由于增材制造零件通常具有复杂的几何结构和内部支撑特征,去除支撑结构、表面精加工及热处理等后续步骤耗时较长,且人工干预较多。

3 增材制造在复杂机械零件生产的成功实践

随着机械工程对零部件性能要求的不断提升,传统制造工艺在应对高度集成化、结构复杂化和功能多样化的设计需求方面逐渐显现出局限性。而增材制造技术凭借其独特的逐层成形机制,在复杂机械零件的生产中展现出显著优势,逐步成为解决高难度制造任务的重要手段。在复杂几何结构的实现方面,增材制造突破了传统加工方式对内部空腔、自由曲面及多孔结构等特征的限制,能够直接依据三维数字模型构建具有高度空间自由度的零件。这种能力在制造具有内嵌流道、拓扑优化结构或梯度材料分布的零部件时尤为突出,使得设计者可以更加专注于功能需求的满足,而非制造可行性的妥协。此类零件广泛应用于高温高压环境下的动力系统、轻量化要求严苛的航空航天结构以及个性化程度高的医疗植入物等领域。

在一体化集成制造方面,增材制造能够将多个传统零件的功能整合于一个构件之中,大幅减少装配环节的需求。这种集成化制造不仅降低了整体系统的连接误差与失效风险,还有效减少了零部件数量,提高了结构可靠性与装配效率。同时,这种制造方式也简化了供应链管理流程,缩短了产品从设计到交付的整体周期。在材料应用层面,增材制造支持多种高性能工程材料的直接成形,包括高强度铝合金、钛合金、镍基高温合金以及特种陶瓷等。这些材料通常具备优异的力学性能和耐极端环境能力,适用于对强度、耐腐蚀性和热稳定性的要求较高的复杂零件制造。

通过精确控制熔融过程与冷却速率,该技术能够在微观组织层面实现更均匀的结构分布,从而提升成品的综合性能。增材制造技术还推动了快速试制与小批量定制化生产的实现。针对结构复杂、更新迭代频繁的机械零件,传统工艺往往因模具开发周期长、成本高而难以适应,而增材制造则可基于数字化模型直接进行制造,无需更换工装设备即可完成不同产品的切换,极大提升了制造系统的柔性及响应速度。通过持续的技术进步与工艺优化,增材制造已在复杂机械零件的实际生产中实现了广泛应用,并不断拓展其在高端制

造领域的边界。其在提高零件性能、简化制造流程和增强设计实现能力等方面所体现出的独特价值,正逐步改变现代机械工程的制造模式。

4 未来增材制造技术对机械工程的影响预测

随着材料科学、数字建模、智能制造和自动化技术的持续进步,增材制造技术正逐步从原型制造向批量生产、从辅助工艺向核心制造环节转变。这一发展趋势将对机械工程的整体架构、设计方法、制造流程以及产品生命周期管理产生深远影响。在未来的设计阶段,机械产品的开发将更加注重功能导向与性能优化,而非传统制造工艺的限制。借助人工智能和拓扑优化算法,设计师可以生成高度定制化、结构复杂且性能最优的零件模型,并通过仿真技术提前验证其力学、热学及流体动力学特性。这种基于数据驱动的设计模式将进一步提升产品的集成度与功能性,推动机械系统向轻量化、高效能方向演进。

在制造环节,增材制造的数字化特性将加速工业生产向柔性制造和分布式制造转型。传统集中式生产线依赖大量专用设备和模具,而增材制造则依托于统一的数字模型文件即可实现多品种、小批量的高效生产。这种制造方式不仅降低了对物理基础设施的依赖,也提升了企业应对市场变化的响应能力。同时,远程制造与本地化生产的结合,也将减少物流成本和供应链风险,重塑全球制造业的布局结构。随着材料数据库的不断完善和技术标准的逐步建立,增材制造在关键领域的应用范围将持续扩大。未来的高性能材料不仅涵盖当前常用的金属与聚合物,还将包括具有特殊物理、化学或生物功能的复合材料。这些材料的应用将推动机械工程向多功能化、智能化方向发展,满足航空航天、能源装备、生物医药等高端领域对极端环境适应性和长期稳定性的更高要求。

增材制造与智能制造系统的深度融合也将带来生产管理方式的变革。通过物联网、大数据和云计算技术,制造过程中的参数采集、质量监控与工艺调整将实现高度自动化和实时优化。这不仅提高了制造精度与一致性,也为构建智能工厂、实现全生命周期可追溯性提供了技术支持。在可持续发展的背景下,增材制造还将促进绿色制造理念的深入实施。由于其材料利用率高、废弃物少、能耗可控,该技术有助于降低资源消耗和环

境污染。同时,废旧材料的回收再利用与打印失败件的重新成形将成为未来循环经济体系的重要组成部分。

5 结语

增材制造技术正以前所未有的速度推动机械工程领域的深刻变革。从提升设计自由度、解决成本难题,到实现复杂零件的高效制造,该技术已在多个层面展现出显著优势。随着材料、工艺和智能化水平的持续进步,其应用边界不断拓展,为制造业带来了更高的灵活性与可持续性。未来,增材制造有望成为机械工程的核心支撑技术之一,引领产业向数字化、智能化和绿色化方向发展,重塑全球制造格局。

参考文献

- [1] 邓中华.增材制造技术在航空发动机叶片再制造中的应用研究[J].模具制造,2025,25(04):155-157.
- [2] 周航.增材制造技术在飞机起落架上的应用[J].中国科技信息,2025,(06):19-21.
- [3] 王琪娟.增材制造技术在轨道交通行业中的应用与展望[J].表面工程与再制造,2025,25(01):53-58.
- [4] 牛晓彤,徐根涛,曹晓良,等.增材制造熔融沉积技术在钢管工业中的应用[J].钢管,2025,54(01):62-67.
- [5] 叶霜,唐萌,陈斌,等.面向增材制造技术的机械臂轻量化设计与工艺仿真[J].南方农机,2024,55(24):36-39.
- [6] 刘凯,陈鹏.增材制造技术课程思政融入与多维度教学方法探究[J].高教学刊,2024,10(36):18-22.
- [7] 黄继波,张科杰,兰海明,等.冷喷涂增材制造技术研究进展与应用现状[J].有色金属工程,2024,14(12):108-121+128.
- [8] 路文睿,杨冉升,邓如坦,等.基于增材制造技术的航空发动机管路系统设计[C]//中国航空学会.第七届中国航空科学技术大会论文集.中国航发沈阳发动机研究所总体四部,2024:604-608.

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/>

