

增材制造与先进制造教学改革与课程思政

于天宇^{1,2} 何昕恬³

1. 机器人技术与系统全国重点实验室, 黑龙江省 哈尔滨 150001
2. 哈尔滨工业大学 机电工程学院, 黑龙江省 哈尔滨 150001
3. 哈尔滨工业大学 未来技术学院, 黑龙江省 哈尔滨 150001

[摘要]课程以增材制造与先进制造技术在航空航天领域的创新应用为载体, 深度融合课程思政育人目标, 构建知识传授-能力培养-价值引领三位一体的教学体系。课程通过长征火箭发动机部件、嫦娥五号轻量化构件等国家重大工程案例, 强化学生科技报国使命感与核心技术自主可控的坚定信念; 结合航天工程严苛标准与钱学森等科学家的奉献精神, 培育精益求精的工匠精神与责任担当意识; 依托拓扑优化、太空制造等前沿教学内容和跨学科团队协作实践, 激发创新思维与协同能力。课程采用案例教学、项目式实践、翻转课堂等多元方法, 并通过实地研学与价值观反思实现思政元素的有机渗透。通过模块化思政案例库、数字化资源共享平台、校企协同育人机制及师资工作坊等举措, 课程成果可从单一课堂拓展为跨学科、跨院校的思政育人生态系统, 为新时代航空航天工程教育提供技术+思政双驱动的创新范式, 培养技艺精湛、心怀家国的复合型人才。

[关键词]增材制造; 先进制造; 课程思政; 教学改革; 自主创新

DOI: 10.33142/fme.v7i8.20459

中图分类号: G642.0

文献标识码: A

Teaching Reform and Course Ideology of Additive Manufacturing and Advanced Manufacturing

YU Tianyu^{1,2}, HE Xintian³

1. State Key Laboratory of Robotics and System, Harbin, Heilongjiang, 150001, China
2. School of Mechatronics Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang, 150001, China
3. School of Future Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang, 150001, China

Abstract: The course takes the innovative application of additive manufacturing and advanced manufacturing technology in the aerospace field as the carrier, deeply integrates the ideological and political education goals of the course, and constructs a teaching system that integrates knowledge imparting, ability cultivation, and value guidance. The course strengthens students' sense of mission to serve the country through science and technology and their firm belief in independent and controllable core technologies through national major engineering cases such as Long March rocket engine components and Chang'e-5 lightweight components; Combining the rigorous standards of aerospace engineering with the dedication of scientists such as Qian Xuesen, cultivate a craftsman spirit of excellence and a sense of responsibility; By relying on cutting-edge teaching content such as Topology optimization and space manufacturing, as well as interdisciplinary team collaboration practices, we aim to stimulate innovative thinking and collaborative abilities. The course adopts multiple methods such as case teaching, project-based practice, and flipped classroom, and achieves organic infiltration of ideological and political elements through field research and value reflection. Through measures such as modular ideological and political case libraries, digital resource sharing platforms, school enterprise collaborative education mechanisms, and teacher workshops, course outcomes can be expanded from a single classroom to an interdisciplinary and cross institutional ideological and political education ecosystem, providing an innovative paradigm of technology + ideological and political dual drive for aerospace engineering education in the new era, and cultivating skilled and patriotic composite talents.

Keywords: additive manufacturing; advanced manufacturing; course ideology and politics; teaching reform; independent innovation

引言

增材制造技术，即 3D 打印，在航空航天领域的应用正深刻改变着从设计、制造和维护的全生命周期^[1]。增材制造与先进制造课程的开设对航空航天行业的人才培养、技术创新和产业发展具有重要意义。增材制造技术不仅是科技创新与信息化、智能化发展的体现，更融合了家国情怀与科技自立自强的精神，增材制造前沿技术的突破是建立在家国情怀与科技自立基础上的^[2,3]，学习增材制造与先进制造前沿技术有助于我们突破前沿技术的自立自强，突破西方国家的封锁，早日实现中华民族的伟大复兴。

1 增材制造前沿技术与航空航天应用课程创新举措

课程面向课程思政的内涵建设要求，聚焦需要解决的课程思政教学过程中的问题，设立了以下教学目标：

课程目标 1 知识获取：掌握增材制造技术所涵盖的基本加工原理与工艺，具备正确选择制造工艺、材料、合理分析增材制造过程表面质量、面型精度、后处理工艺并提出控制方法的知识基础；掌握金属与非金属增材制造设

计的基本知识；掌握激光选区熔化、直接能量沉积、立体光固化，熔融沉积成型中影响加工尺寸与精度的主要因素，了解 CAD 三维结构设计与切片软件轨迹规划的选用原则和基本设计计算过程，分析高温合金、钛合金、陶瓷基复合材料等在航空航天环境下的性能优化。通过 ANSYS、COMSOL 等有限元软件模拟熔池动态、残余应力分布，预测打印缺陷。

课程目标 2 能力培养：了解航空航天、地外制造、地外原位制造中增材制造的前沿应用与技术，熟悉和掌握对加工质量影响的分析和检测基本技能，使得实验方案设计和实验技能获得基本训练，与中航工业、商飞等企业合作，让学生参与真实研发项目如卫星支架轻量化设计，接触企业级设计规范与标准，逐步具备应用先进工具解决工程实际问题的能力，突破传统设计边界，借鉴生物结构如蜂窝、骨骼设计高强度轻量化部件。尝试金属-陶瓷梯度材料打印，满足极端环境需求。从零件设计、制造、服役到回收，分析增材制造的可持续性。培养解决复杂工程问题的能力、跨学科协作意识及前沿技术敏感度。

表 1 增材制造前沿技术与航空航天应用的教学内容与课程思政对应表

增材制造前沿技术与航空航天应用 课程内容	课程思政元素	课程思政分析
增材制造技术基本概念与理论	增材制造技术是未来先进制造智能制造的关键前沿科技，它不仅是科技创新的体现，更蕴含着深刻的课程思政元素，可提及古代中国的失蜡法铸造工艺，通过制作蜡模、包裹泥壳、加热脱蜡后进行青铜浇铸，与现代增材制造中 3D 打印的分层制造思路不谋而合。	介绍增材制造技术发展历程时融入我国古代科技成就对现代增材制造理念的启发。详细阐述我国古代在材料成型制造领域的辉煌成就，激发学生对中华民族历史文化的认同与自豪感，使学生意识到传承和发扬民族优秀科技传统的责任，激励他们在现代增材制造技术领域努力创新。
激光选区熔化研究、金属直接能量沉积研究、熔融沉积成型与材料直写 3D 打印研究前沿及应用	生物 3D 打印技术发展中，如何攻克细胞存活、材料生物相容性等难题。介绍科研团队不断提出假设、反复实验、改进方案的探索过程，培养学生严谨的科学态度。	鼓励学生在课程学习和实践中大胆创新，突破传统制造思维定式，敢于尝试新方法、新思路解决增材制造中的技术问题，引导学生自主探索能场辅助应用于 3D 打印，培养其创新思维和实践能力。在课程实践环节，讨论大规模应用增材制造技术在知识产权保护、产品质量监管、环境保护等方面带来的新问题。分析一些因 3D 打印产品质量不过关导致安全事故的案例。
碳纤维增强复合材料增材制造技术、陶瓷材料在航空航天增材制造中的应用	强调增材制造技术对环境的影响，如材料浪费、能源消耗等问题，引导学生在技术应用中树立环保意识，从设计优化、材料选择等方面降低负面影响，培养学生的工程伦理素养和社会责任感。卫星支架轻量化设计融入中国航天减重一克，价值千金的理念。	组织参观航天三院增材制造中心，现场感受陶瓷增材部件在导弹热防护系统中的应用，强化为国铸盾的使命感。CFRP 铺层设计的毫厘之争：通过复材铺层角度误差对力学性能的影响案例，强调一丝不苟的工匠态度。结合火箭发动机陶瓷喷管的打印工艺，讨论如何通过参数优化实现微裂纹控制，体现精益求精的精神。
增材制造在地外原位制造中的应用与展望，增材制造在航空航天中的发展前景探讨	解析嫦娥五号月壤采样与未来月球科研站建设中 3D 打印技术的应用场景，关联我国地月空间开发战略，强调技术突破对国家深空探索能力的支撑。介绍中国空间站天宫空间站维修案例的首次在轨 3D 打印实验，对比国际空间站依赖地面补给的模式，凸显中国技术的自主性与前瞻性。	回顾国际空间站初期对中国参与的限制，攻克月壤打印粘结剂配方、微重力环境工艺控制等难题。通过地外打印设备在极端温差下的形变控制案例，强调航天领域的质量意识。讨论月球基地建设需满足百年耐久性要求，培养学生对航天质量即国家信誉的深刻认知。要求学生在设计中兼顾资源循环、能源效率和生态伦理，呼应人类共同遗产理念。将轨道废弃金属转化为太空站备用零件，传递和平利用太空的中国主张。

课程目标 3 素质提升：增材制造作为航空航天领域的革命性技术，其前沿应用课程的开设对学生的专业能力与综合素质培养至关重要，激发学生的科研兴趣，通过课程设计构建多学科融合的知识体系，将基础理论与前沿技术结合，学习梯度材料、智能结构、4D 打印、数字孪生与过程监控，通过案例驱动教学引导学生理解工艺-结构-性能的关联性，从制造全流程中激发创新思维与工程实践能力，掌握从设计到后处理的完整技术链，熟练使用工业级软件，增强就业优势。

课程在教学设计与教学内容方面聚焦需要解决的课程思政教学过程的问题，在教学内容中提出了创新性举措，将增材制造前沿技术与航空航天应用的教学内容和课程思政相融合，课程内容与课程思政元素和分析对应表如上所示。

课程以落实立德树人根本任务为导向，立足于航空航天增材制造的育人特点和要求，发现和解决本课程开展课堂思政教学过程中的真实问题，例如对比中国独立建成天宫空间站并开展地外制造研究，引导学生理解核心技术靠化缘是要不来的。结合钱学森“航天报国”思想，讲述当代航天科技团队如何继承其精神，讲述杜善义院士推动中国复合材料从跟踪仿制到自主创新的奋斗历程，传递甘坐冷板凳的科研精神。介绍中南大学黄伯云团队研发飞机刹车盘陶瓷基复合材料，获国家技术发明一等奖的艰难历程，培养同学们的家国情怀和科技自立的精神。

课程教学方法提出了小班或中班的上课形式，采用问题引导、项目教学等教学方法，对工程实际中易出现错误的案例进行讨论，培养学生对问题进行综合分析、深入探

究的意识，以及对实际工程问题的合理性判断能力。充分利用智慧课堂资源将知识吃透并灵活应用，由学生提出解决增材设计与制造工艺路线方案，培养学生独立思考、设计与制造能力，总结设计方案的可行性与经济性，由小组共同完成分析讨论，并由指导教师点评打分。在考核评价方面采用最新文献检索报告与 PPT 汇报相结合的方式，考察研究与最新文献检索报告的新颖性与规范性、内容相关性、深度与逻辑性，考察汇报内容深度与回答问题等情况，提升课程的针对性、创新性与可操作性。

2 增材制造与先进制造技术的家国情怀和科技自立

通过哈尔滨工业大学八百壮士的事迹，20 世纪 50 年代，为响应国家工业化建设需求，哈工大从全国抽调八百余名青年教师（平均年龄仅 27.5 岁），在苏联专家指导下快速组建师资队伍，开创了新中国工科教育体系的“哈工大模式”，这批教师承担了焊接、航天、机械等关键学科建设，参与“两弹一星”、三峡工程等国家重大工程，被誉为“中国工科教育的脊梁”，这种教育不仅培养工程师，更塑造心怀国之大者的新时代科技人才。以国家重大工程为引，激发民族自豪感，国产大飞机 C919：解析增材制造在钛合金舱门支架、发动机部件中的应用，强调其减重增效对国产大飞机适航认证的贡献。长征系列火箭：介绍 3D 打印轻量化燃料喷嘴如何提升火箭推力和可靠性，助力中国航天突破一箭多星技术瓶颈。探月与深空探测：展示月壤钻探与原位 3D 打印技术模拟实验，关联嫦娥工程与未来月球基地建设的国家战略。



图 1 通过增材制造前沿技术突破技术壁垒与实现科技自立

2.1 历史追溯与爱国情怀启蒙

回顾航空航天发展历程，早期我国面临技术封锁、资源匮乏等难题，老一辈科学家怀揣着对祖国的无限热爱和让国家强大的信念，毅然投身航空航天事业。例如“两弹一星”元勋们，他们放弃国外优厚待遇，冲破重重阻碍回国，在艰苦环境中开展科研工作。这种爱国奉献精神为增材制造技术发展奠定精神根基，激励着当代科研人员和学生为实现航空航天强国梦而奋斗。如今增材制造技术在航空航天中的应用，是对哈工大八百壮士等先辈精神传承，激励我们以国家发展为己任，在科研道路上砥砺前行。

2.2 科技自立自强的时代担当

在国际竞争日益激烈的当下，航空航天技术是大国博弈的重要领域。增材制造技术能实现复杂零部件一体化制造，减轻重量、提高性能，对提升我国航空航天装备竞争

力至关重要。然而，国外对核心技术实施严格封锁，这让我们深刻认识到科技自立自强的紧迫性。研发增材制造前沿技术，是打破国外技术垄断的关键，是保障国家航空航天安全、维护国家主权的必然选择。科研人员日夜攻关，不断探索新的材料、工艺和设备，力求掌握自主知识产权，体现了强烈的时代担当。

2.3 团队协作与家国情怀升华

增材制造技术从基础研究到工程应用，涉及材料学、机械工程、计算机科学等多学科领域，需要众多科研人员、工程师紧密合作。这种团队协作精神，不仅是实现技术突破的保障，更是家国情怀的升华。大家凝心聚力将个人理想融入国家航空航天事业，在各自岗位上发光发热，彰显了为国家繁荣富强无私奉献的高尚情怀与航天精神，引导学生树立大局意识，培养团队合作精神

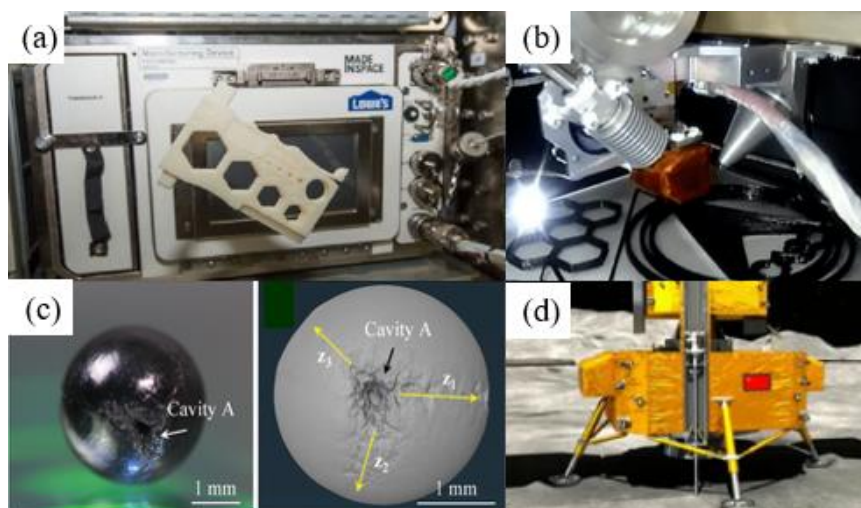


图2 太空增材制造的团队协作与家国情怀升华

西安交通大学李涤尘与田小永教授团队创新性地提出了基于连续纤维增强复合材料的3D打印技术，与北京卫星制造厂联合研发的太空3D打印机成功搭载长征五号B运载火箭，在全球首次实现连续纤维增强复合材料的太空3D打印，该团队另设计了一种适用于真空环境的红外辐射加热回收装置，并优化了温度分布，实现了连续碳纤维增强聚醚醚酮薄壁旋转结构的回收。哈尔滨工业大学冷劲松院士团队研制的多种4D打印形状记忆聚合物于2023年3月在中国空间站舱外开始暴露试验，2024年4月返回第一批样品，开创了我国形状记忆聚合物空间辐照功能性降解研究的先河。

3 增材制造前沿技术与工匠精神和责任担当

在航空航天领域，增材制造前沿技术不仅是科技创新的关键力量，还蕴含着深厚的工匠精神与责任担当内涵，

为课程思政提供了丰富素材。

3.1 追求极致：精益求精的工匠精神

增材制造用于航空航天零部件生产时，对精度、质量要求极高。一个微小瑕疵都可能引发严重后果。比如航空发动机叶片制造，其复杂的冷却结构通过增材制造实现。技术人员需对每一层材料堆积厚度、激光烧结参数等反复调试，确保叶片性能稳定。他们凭借对工艺细节的执着追求，将误差控制在微米级，像工匠雕琢艺术品一样对待每一个零部件，这种精益求精的精神正是工匠精神的核心体现。这启发学生在学习和未来工作中，要树立严谨态度，不放过任何细节，追求卓越品质。

3.2 传承创新：时代赋予的使命担当

航空航天增材制造领域，老一辈粉末冶金与数字化制造技术专家积累了丰富经验，年轻一代科研人员在例如粉

末冶金材料与工艺上的传承基础上创新。他们学习传统制造工艺精髓,结合前沿科技如人工智能、大数据优化增材制造流程。例如利用智能算法优化打印路径,提高制造效率与质量。传承是对工匠精神的延续,创新则是顺应时代发展、提升国家竞争力的必然要求。这教导学生尊重传统、勇于创新,认识到在时代发展中,继承前人智慧,开拓新思路是每个人的使命,为推动我国航空航天事业迈向更高台阶贡献智慧与力量。

2023 年,由哈尔滨工业大学联合中国航天科技集团有限公司承建的空间环境地面模拟装置,通过国家发改委立项审批,标志着项目转入可研阶段。作为国家航天领域、工业和信息化部、东北三省一项大科学工程,该项目是国家“十二五”期间重点规划项目,也是国务院加强东北地区创新基础条件建设的具体措施,写入国务院发布的“关于近期支持东北振兴若干重大政策举措的意见”。项目总投资 15 亿元,省市政府提供约 35 万 m^2 的建设用地及相应配套资金支持。为保障项目的顺利实施,学校成立了“大科学工程专项建设指挥部暨空间基础科学研究中心”。指挥部组建了由丁肇中教授任科技咨询委员会主席的高水平科学家队伍和由我校相关学科骨干教师、国内外优势单位科研人员组成的高水平工程技术队伍。围绕装置的建设,我校与普林斯顿大学、慕尼黑工业大学、北京大学、清华

大学等国内外百余所著名高校和科研机构开展交流与合作研究工作。该项目已经开展了超高真空互联装置、电磁波与黑障等离子体相互作用研究平台、零磁环境预研装置、束流光学设计等关键装置和技术的预先研究,取得多项标志性成果,空间环境地面模拟装置是由中国航天科技集团、哈尔滨工业大学联合建设的航天技术和空间科学领域的基础科学研究平台,包括空间综合环境模拟与研究系统、空间磁环境模拟与研究系统、空间等离子体环境模拟与研究系统、数值仿真与中央监控系统、建安工程与配套公用设施等,可为研究空间环境与材料、器件及生命体的相互作用等提供重要支撑。如图 3 所示,哈尔滨工业大学的地面空间模拟装置可以协助开展地面空间环境模拟装置试验,探究电磁功能复合材料层间结合能力与形状记忆特性在原子氧剥蚀、粒子与等离子体辐射、冷热交变过程中的演变规律。研究空间辐照对电驱-磁驱形状记忆形变的影响规律,阐明空间低温环境下静磁场辅助形状记忆效应快速驱动的物理机制。研究多材料打印梯度结构聚醚酰亚胺 PEI 防护层对空间综合辐照的屏蔽物理机制,对于揭示原子氧剥蚀、高能粒子与等离子体辐射、冷热交变等空间综合辐照环境下电磁双驱动材料的功能性演变机制,实现功能材料在电场与磁场作用下的形状回复协同增效。

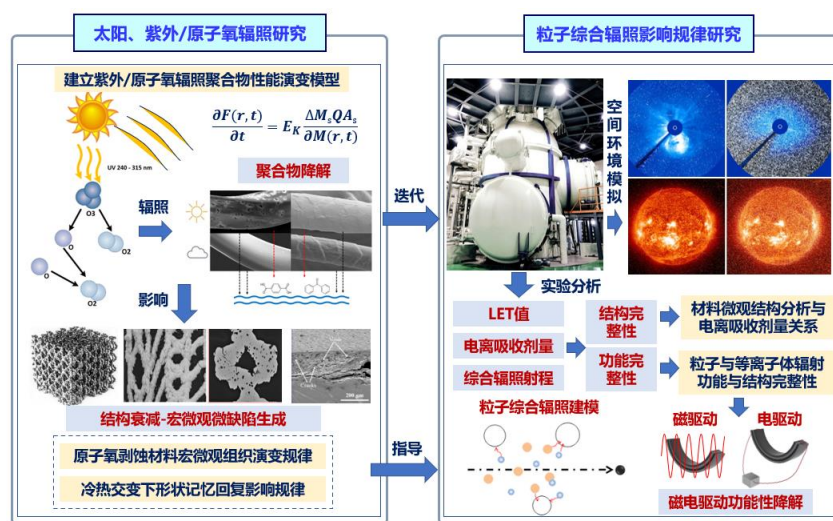


图 3 太空增材制造前沿与哈工大地面空间模拟装置

4 结束语

通过课程思政与教学改革以激励学生在增材制造与先进制造学习中培养专注精神与创新担当,面对困难不轻易放弃,树立为国家科技发展贡献力量的责任感。课程通过模块化思政案例库、数字化资源共享平台、校企协同育人机制及师资工作坊等结合的举措,从单一课堂拓展为跨

学科、跨院校的思政育人教育系统,为新时代航空航天工程教育与哈工大八百壮士精神的传承提供技术与思政双驱动的创新范式,秉承习总书记核心精神,打造新一批国之重器,培养新一批杰出人才,扎根边疆、走在前列、追求卓越。

基金项目:国家重点研发计划“增材制造与激光制造”重点专项资助,项目号(2025YFB4611100);哈尔滨工业

大学“人工智能赋能拔尖创新人才自主培养”教学改革及课程建设专项资助，资助号 25Z-AIJG003。

[参考文献]

- [1]史玉生.增材制造技术[M].北京:清华大学出版社,2022.
- [2]吴春亚,郭闯强,吴佳昊,等.课程思政视域下的“制造技术基础类”课程教学实践探索[J].现代教育前沿,2024,2(5):56-58.
- [3]于天宇,常荻娜,吴春亚,等.智能制造工程专业智能制造

技术基础课程建设实践[J].现代教育前沿,2024,2(5):27-29.

作者简介：于天宇（1987—），男，汉族，吉林省四平人，教授，博士研究生，毕业于爱荷华州立大学工程力学专业，研究方向为增材制造、太空制造、智能材料与损伤力学；何昕恬（1999—），女，汉族，黑龙江省哈尔滨人，助教，硕士研究生，毕业于哈尔滨工业大学电气工程及自动化学院电气工程专业，研究方向/现从事工作为思想政治教育、大学生就业指导与职业生涯规划。