

智能制造工程专业智能制造技术基础课程建设实践

于天宇^{1,2*} 常荻娜³ 吴春亚^{1,2} 陈明君^{1,2}

1. 机器人技术与系统全国重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001
2. 哈尔滨工业大学机电工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001
3. 哈尔滨工业大学卓越工程师学院, 黑龙江 哈尔滨 150001

[摘要]近年来, 全国 300 多所普通高校成功备案“智能制造工程”本科专业, 哈尔滨工业大学在各大专业排行榜单上稳居前两位, 基于人工智能、机器人与 3D 打印的新一轮科技与产业革命正如火如荼地进行着, 如何将数字技术、网络技术、工业互联网与人工智能技术高效、可靠的应用在产品生产的全生命周期中是智能制造工程需要解决的关键问题, 也是该专业核心课程智能制造技术基础课程建设的核心关键, 文章通过智能制造工程专业大三核心课程“智能制造技术基础”的课程建设目标、内容、教学的方式方法与考核办法等探索, 有助于交流智能制造相关核心课程的教学经验, 提升课程建设与教学质量。

[关键词]智能制造; 3D 打印; 机器人; 教学实践; 工科教育

DOI: 10.33142/fme.v5i2.12909

中图分类号: TP278

文献标识码: A

Practical Construction of Fundamentals of Intelligent Manufacturing Technology in Intelligent Manufacturing Engineering

YU Tianyu^{1,2*}, CHANG Dina³, WU Chunya^{1,2}, CHEN Mingjun^{1,2}

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. Elite Engineers School, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang, 150001, China

Abstract: Nowadays, more than 300 universities in China have successfully registered the undergraduate major of "Intelligent Manufacturing Engineering", and Harbin Institute of Technology ranks firmly in the top two in different major rankings. A new round of technology and industrial revolution is in full swing based on artificial intelligence, robotics and 3D printing technology. How to efficiently and reliably apply digital technology, network technology, industrial Internet and artificial intelligence technology into the entire life cycle of product production is a key issue that needs to be solved in intelligent manufacturing engineering, and it is also the core of this major, the key to the construction of the "fundamentals of intelligent manufacturing technology". This article explores the course construction objectives, content, teaching methods and assessment methods of the core course "fundamentals of intelligent manufacturing technology" for the junior year of the intelligent manufacturing engineering major and helps to communicate about intelligent manufacturing, teaching experience to improve course construction and teaching quality.

Keywords: intelligent manufacturing; 3D printing; robots; teaching practice; engineering education

引言

当前, 国内各高校新成立了“智能制造工程”新专业, 各专业模块例如哈尔滨工业大学的智能装备大专业也将“智能制造技术基础”列为本科生培养的核心课程, 并为大一同学开设了“智能制造导论”课程, 在新一轮信息工业革命的推动下, 各工业巨头大力发展 AI 技术、机器人与 3D 打印技术(统称为智能制造核心技术), 并通过这些技术推动智能制造的发展, 积极抢占智能制造的市场, 形成了例如特斯拉、spaceX 等一系列国际知名制造企业, 智能制造核心技术竞争力的关键是人才、信息与制造技术的高度融合, “智能制造技术基础”课程是培养我国相关人才的关键, 大力推动智能制造技术是实现科技强国、发展自主创新、突破关键技术瓶颈的必经之路^[1-2]。

形成支撑制造业发展的关键技术、核心系统与工程应用等构成的智能制造工程概念体系, 是掌握智能制造工程专

业知识、建构知识体系的基础, “智能制造技术基础”的课程建设能让学生认识到自身处在新一轮科技革命之中, 改变并更新学生对制造行业与制造技术的认知, 使学生了解智能制造相关的基本概念、关键技术与基础知识, 为日后从事智能制造相关的工作或者进一步深造提供有力的支撑。

本文通过介绍哈尔滨工业大学“智能制造技术基础”(以下简称“本课程”)的建设与教学实践, 从课程建设的挑战与困难、课程建设的思路、课程教学目标、教学内容的确立、教学模式、教学创新等多个方面, 建立较为独特且适用于研究型本科的“智能制造技术基础”课程教学实施方案, 可为其他高校智能制造工程专业教学提供借鉴, 优势互补, 同时为青年教师开设智能制造新课程提供案例与借鉴。

1 课程建设的思路与挑战

1.1 课程建设的思路

智能制造是先进制造技术近年来的重点发展领域, 是

现代制造技术、人工智能技术和计算机科学技术三者结合的产物。“智能制造技术基础”是智能制造工程专业的专业核心课程，课程内涵始终紧密结合尖端人才培养需求、国内外最新发展动态与前沿制造技术，课程内容是从事智能制造领域人才所必需的专业知识，是进一步发展高尖端智能制造的技术基础。通过该课程的学习，培养学生对智能制造技术主动思考和深入探究的学习态度，扎实掌握未来从事智能制造所必备的基础知识，有效提升学生的综合工程素质及解决复杂智能制造工程问题的能力，为后续智能制造相关课程的学习，以及可能开展的智能制造相关科学研究和工程实践奠定坚实的理论基础。

课程设置为 48 学时，主要涵盖了第一章智能制造技术概述，介绍智能制造技术发展背景和意义，智能制造技术内涵、特征与发展趋势，以及智能制造技术体系；第二章人工智能主要介绍机器学习与人工神经网络，这里选取了人工智能中最典型与重要的知识点进行介绍，例如机器学习中的决策树、随机树等算法与应用；第三章为该课程的核心部分，主要包括智能设计与决策，智能设计系统，智能 CAD 系统，智能加工工艺与智能制造数据库与建模；第四章介绍智能监测、诊断与预测技术与实例，主要是讲授如何应用人工智能技术解决产品制造、运行等全生命周期中的问题；第五章智能制造系统介绍智能制造系统特征与架构，智能制造系统调度控制，智能制造系统供应链管理，智能制造系统运维与服务；第六章智能制造装备讲授智能数控机床、3D 打印设备与工业机器人，以及智能生产线与智能工厂。

1.2 课程建设的挑战与困难

我们正处于新一轮信息技术革命的起步阶段，许多新概念、新技术、新名词层出不穷，同样的一个技术或者类似的技术可能出现多种名词，而这些名词最初大多数是英文，在翻译为中文的过程中容易出现歧义或者衍生出更多相似的名词。另外，例如云计算、云储存、云制造、信息物理系统等一系列新概念与理论与学生们传统学习到的理论与知识维度不同，网络技术给人类带来的虚无缥缈感觉也转嫁到了该课程之中，介绍新概念过多容易使学生感觉枯燥，并使师生迷失在大量的新概念、新理论之中，失去与传统制造技术的有效链接。

该课程体系庞大，涵盖内容包括人工智能、先进制造技术、仿真与设计技术、制造系统管理与运维、智能制造系统供应链管理、智能制造装备等，这些内容任意一个单独拿出来都是一门成体系的课程，如何在 48 学时或者 32 学时的有限时间内进行有效的知识灌输与讲解，对于课程讲授教师来讲，充满了挑战。

2 课程教学目标的确定

结合我校立足航天、服务国防，与国家同向而行的人才培养定位，服务国家重大项目战略与地区经济发展需求，确定了“智能制造技术基础”课程的教学目标，如图 1 所示。

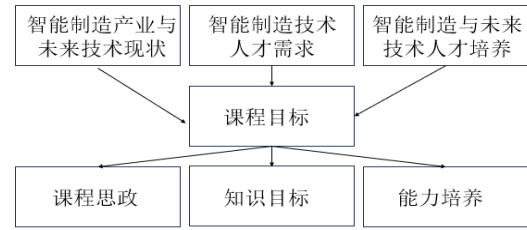


图 1 课程教学目标的确定

思政目标：学习习近平总书记向哈尔滨工业大学建校 100 周年致贺信精神，“新中国成立以来，在党的领导下，学校扎根东北、爱国奉献、艰苦创业，打造了一大批国之重器，培养了一大批杰出人才，为党和人民作出了重要贡献。”在新的 100 年哈工大会“坚持社会主义办学方向，紧扣立德树人根本任务，在科研攻关中提炼教书育人本质，不断改革创新、奋发作为、追求卓越”，培养新的大批杰出人才、打造新一批国之重器，结合“祖国以光”，“卫国镇海”等贺信精神，确立了“2025 年更多学科进入世界一流行列、2035 年进入世界一流大学前列、到本世纪中叶成为世界顶尖大学”的“三步走”发展战略。智能制造是打造未来国之重器的核心技术，如何启发学生的探索与求是精神，激发学生追求卓越，规格严格的动力，培养智能制造相关杰出人才、是秉承贺信精神并实现中国梦的重要环节。

知识目标与能力培养：了解传统制造、精密与精益制造的发展历程，了解未来 10 年各国家的智能制造战略布局，各领域智能制造的发展与应用情况；掌握智能制造关键技术的定义、内涵与体系架构；熟练掌握智能制造技术中所涵盖的智能设计技术，包括智能映射与决策、智能设计系统和智能 CAD 系统，熟悉人工智能中机器学习与人工神经网络的基本原理，掌握智能加工技术包含的智能加工工艺、智能制造数据库与建模、数控加工智能编程等技术的原理，掌握机械工程领域的现代智能设计方法和先进信息技术工具的工作原理与开发方法，并了解其局限性；掌握机械加工过程智能监测与控制技术中的无损检测技术、智能诊断、智能预测与控制方法概念与内涵，了解先进的故障预测与健康管理系统运行原理，了解人工智能在智能制造中的典型应用，并能根据智能加工系统中加工精度、加工表面质量和刀具磨损等问题分析根源并提出合理的解决方案。能够选择和使用恰当的智能制造技术、现代工程工具和信息技术工具，解决复杂的现代机械加工工程问题。掌握智能制造系统的体系架构与调度控制原理，了解智能制造系统的供应链管理、智能管理与运维系统的内涵，掌握智能制造装备中高档数控机床，高端 3D 打印装备，智能工厂的概念与运行原理，能够选择和使用恰当的智能制造系统、智能制造装备和智能制造方法，解决复杂的机械制造工程问题，体现创新意识，并具有综合运用知识、查阅及分析文献的能力。

3 课程教学内容的建设

3.1 理论教学内容

智能制造涵盖内容十分广泛，多而繁杂，首先应该根据学时数例如 48 学时、32 学时或者 24 学时进行课程组内部讨论，确定重点讲授的部分，将重点部分合理安排讲授内容与学时数，再安排其他章节，另外需要与智能制造工程其他课程组沟通、讨论，避免内容的重复，例如人工智能、智能装备、智能传感器等都有可能开设了单独的课程，建议将机器学习、智能设计与加工、智能制造装备中的机器人与 3D 打印设备作为重点讲授。

3.2 实践教学内容

实践教学内容可以考虑从软件培训与硬件培训两个部分展开，(1) 软件部分可以讲授基于 python 或 matlab 的机器学习、深度学习算法与实践，有限元软件中的拓扑优化与衍生设计，3D 打印切片软件 Cura 的切片、参数设置与路径生成，机器人运动模拟与控制软件，UG 加工轨迹生成等；(2) 硬件部分根据各课程组与学科现有条件建议讲授 CNC 数控加工系统智能制造相关内容，例如刀具磨损识别与智能轨迹优化等，工业机器人与各种 3D 打印机的实践教学，视觉识别系统、智能控制系统等等。

4 课程教学方式与方法的创新

哈尔滨工业大学依托机械工程“双一流”A+学科，机器人技术与系统全国重点实验室、微系统与微结构制造教育部重点实验室等优势资源，设置了“智能制造工程”新工科专业，并于 2022 年开始招生。该专业面向国家对智能制造专业技术人才的需求，培养立志于科技创新，具有从事智能制造技术与系统的设计制造、科学研究、技术开发、工程应用及工程管理等方面的工作能力，在智能制造相关领域引领未来发展的复合型杰出创新人才。智能制造工程专业拥有一支高层次人才（院士、国家级人才等）领衔的优秀师资队伍，结合未来技术学院智能装备模块等，励志将该专业方向打造成精品专业。针对该课程的教学方式，采用了课堂讲授，机器人、3D 打印、精密加工实验室参观与操作，CNC 数控机床与 3D 打印现场原理与操作讲解，机器学习/深度学习软件编程实际操作，3D 打印切片软件实际操作，有限元软件实际操作与学习等，部分解决课程新概念、新知识多、理论复杂冗长枯燥等问题。

课程另外考虑了结合智能制造教师相关科研项目，对相关章节进行深入分析与讲解，结合实际案例可以更生动的让学生掌握和理解采用什么样的人工智能方法，如何解决先进制造中的关键问题，例如图 2 所示采用机器学习方法建立激光粉末床熔融 3D 打印铝合金微观组织与样品硬度/致密度预测模型^[3]，是典型的利用 AI 技术（机器学习方法例如 AdaBoost、Gradient Boost、KNN 等）解决先进制造（激光 3D 打印）中性能预测的问题，课程也结合了问天实验舱机械臂、新型人形机器人、月壤钻探机器人、

火星车、工业机器人等典型案例，使同学们对智能制造技术有了更深一步的了解，取得了良好的授课效果。

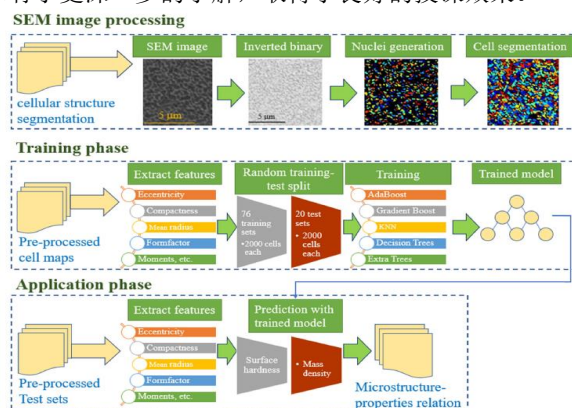


图 2 采用机器学习方法建立激光粉末床熔融 3D 打印铝合金微观组织与样品硬度/致密度预测模型

5 结束语

本文通过分享智能制造工程新专业的核心课程“智能制造技术基础”对课程教学与建设的内涵需求，提供了该课程完备的建设与实施方案，包括课程建设的思路，课程建设的挑战与困难，课程目标的确立与课程内容的选择，理论与实践教学内容建议，课程教学方式与方法的创新等，凸显了“智能制造技术基础”课程建设与目标实现的导向性，秉承习近平主席的核心精神将工程、科研与课程思政相融合，通过教学实践检验，学生学习效果和课程组课程建设效果均达到了预期目标。该课程的建设与实施方案可为国内其他高校智能制造专业的相关课程提供案例参考。

基金项目：2023 年哈尔滨工业大学研究生教学改革项目（专业学位研究生人才培养改革专项），面向工程硕博推免选拔的有组织招生机制与有效提高生源质量的体系构建，编号 ZYMS0016。

[参考文献]

[1]陈明,张光新,向宏. 智能制造导论[M]. 北京:机械工业出版社,2021.
[2]周济,李培根. 智能制造导论[M]. 北京:高等教育出版社,2021.
[3]Tianyu Yu, Xuandong Mo, Mingjun Chen, Changfeng Yao. Machine-learning assisted microstructure-property linkages of carbon nanotubes reinforced aluminum matrix nanocomposites produced by laser powder bed fusion[J]. Nanotechnology Reviews, 2021, 1(10): 1410-1424.
作者简介:于天宇,哈尔滨工业大学机电工程学院,教授,工学博士,主要研究方向为增材制造技术与智能材料;主讲课程为《智能制造技术基础》,《增材制造(3D 打印)技术在航空航天中的研究前沿及应用》,《先进制造中的塑性变形与相变原理》。