

生成式人工智能在熔模铸造实践教学中的应用

李玄霜, 孔祥发, 郑志军, 夏琴香, 张志明

(华南理工大学 机械与汽车工程学院, 广东广州 510000)

摘要: 本研究针对熔模铸造实践教学中存在的学生3D建模能力参差不齐、金属液充型与凝固过程难以直观观察等问题, 探讨生成式人工智能 (Gen AI) 在熔模铸造实践教学中的应用模式, 提出生成式人工智能与AnyCasting数值模拟相结合的融合教学策略。利用生成式人工智能实现由图生3D模型, 支持个性化铸件设计与快速成型, 降低熔模铸造技术学习门槛, 激发学生学习兴趣, 推动工程教育与历史文化融合创新; 借助AnyCasting开展标准化数值分析, 可直观呈现铸造过程, 为实践操作提供精准指导, 帮助学生深刻理解铸造机理, 提升数字化与智能化工程实践能力。研究为生成式人工智能在高等工程教育中的创新应用提供新思路, 也为文创类熔模铸件的工业化生产与教学转化提供参考。

关键词: 生成式人工智能; 熔模铸造; 实践教学; 数值模拟; AnyCasting; 工程教育

中图分类号: TG249.5; G434 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4977 (2026) 05-0492-05

DOI: 10.27014/j.cnki.zhuzao.2026.0066

Application of Generative Artificial Intelligence in Practical Teaching of Investment Casting

LI Xuan-shuang, KONG Xiang-fa, ZHENG Zhi-jun, XIA Qin-xiang, ZHANG Zhi-ming

(School of Mechanical and Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510000, Guangdong, China)

Abstract: Aiming at the problems existing in the practical teaching of investment casting, such as uneven students' 3D modeling ability and difficulty in directly observing the mold filling and solidification processes of molten metal, this research discusses the application mode of Generative AI (Gen AI) in the practical teaching of investment casting, and proposes an integrated teaching strategy combining Generative AI with AnyCasting numerical simulation. Generative AI is used to generate 3D models from images, supporting personalized casting design and rapid prototyping, which lowers the learning threshold of investment casting, stimulates students' learning interest, and promotes the integrated innovation of engineering education and historical culture. By carrying out standardized numerical analysis with AnyCasting, the casting process can be visually displayed, providing accurate guidance for practical operation, helping students deeply understand the casting mechanism, and improving their digital and intelligent engineering practice ability. The research provides new ideas for the innovative application of Generative AI in higher engineering education, and also offers a reference for the industrial production and teaching transformation of cultural and creative investment castings.

Key words: generative AI; investment casting; practical teaching; numerical simulation; AnyCasting; engineering education

熔模铸造工艺能够高度还原学生天马行空的创意设计, 激发学生自主学习兴趣, 进而实现内驱力学习的目标。国内多所重点高校, 如清华大学^[1]、华中科技大学^[2]、重庆大学^[3]等, 将熔模铸造工艺作为本科生工程实践的必修课程。尽管如此, 在熔模铸造实践教学过程中, 仍存在一些亟待解决的问题:

(1) 学生3D建模能力参差不齐。根据本校教学安排, 熔模铸造实践教学面向全校大二年级本科生, 涵盖机械类、近机械类和文科类专业。近机械类专业 (如电力、电信等) 的学生能够设计简单模型, 但复杂模型设计受限于时间和经验; 文科类专业 (如外语、设计和工管等) 的学生虽富有想象力, 却缺乏建

基金项目: 国家自然科学基金项目 (52275330); 2024年度华南理工大学本科教研教改项目 (C9249180)。

收稿日期: 2026-02-02 收到初稿, 2026-02-20 收到修订稿。

作者简介: 李玄霜 (1992-), 女, 工程师, 硕士, 主要从事材料加工方面新材料、新结构和新工艺研究工作。E-mail: lixuanshuang@scut.edu.cn

引用格式: 李玄霜, 孔祥发, 郑志军, 等. 生成式人工智能在熔模铸造实践教学中的应用 [J]. 铸造, 2026, 75 (5): 492-496.

LI Xuanshuang, KONG Xiangfa, ZHENG Zhijun, et al. Application of generative artificial intelligence in practical teaching of investment casting [J]. Foundry, 2026, 75 (5): 492-496.

模软件基础,导致实践体验感差。学生3D建模能力的差异使得熔模铸造整体教学效果不佳,这一直是熔模铸造实践教学的痛点。

(2) 金属液浇注过程不可见。在熔融金属液浇注型腔时,由于石膏模具不透明,学生无法观察到型腔内部金属液的流动过程及充填顺序,导致学生对影响铸件质量的铸型结构、浇注温度和浇注速度等关键因素,缺乏直观而准确的理解。并且,由于课时限制,帮助学生理解这些关键因素影响机制的“铸型分析”工序被迫省略。这使得熔模铸造实践教学停留在表面操作,难以引导学生进行深度思考与自主总结。

(3) 工程类课程文化创新不足。当前熔模铸造课程多侧重于理论和技术的传授,忽视了文化对技术创新的重要影响,未能将工程学科与人文社科有机结合,导致学生在实践教学中创意设计思路受限。

本研究立足本校“三创型”(创新、创业、创造)人才培养目标,深入探讨Gen AI助力解决问题的路径与方法,以实现降低熔模铸造学习门槛、提升学生学习效率和学习积极性的目的。

1 熔模铸造实践教学改革思路

近年来,科研工作者在驾驭AI融合铸造方面做了大量探索。例如,在AI赋能一体化压铸模具设计框架^[4]、大语言模型辅助机械设计^[5-7]、AI辅助监控铸造生产过程^[8]、AI辅助预测充型/凝固过程^[9-10]、AI图像分析铸造原砂粒度粒形^[11]等领域,为本研究借助AI工具解决熔模铸造实践教学中的问题提供了借鉴。本研究从Gen AI图生3D模型应用思路、标准化AnyCasting数值模拟分析方法和融合历史文化的工程课程设计方面入手,激发学生的学习主动性,助力其更好地理解复杂铸造机制,从而提升熔模铸造实践教学效果。

1.1 Gen AI 图生 3D 模型应用思路

利用Gen AI的“文生图”和“图生文”功能,已在教育教学领域得到广泛应用。而“图生3D模型”或“文生3D模型”技术,目前主要应用于游戏开发、VR及数字内容创作等领域^[12-13],作为教学手段进入课堂,尚未得到充分探索。本研究将Gen AI生成高质量3D模型的方法,应用于熔模铸造实践课堂,以解决各专业学生建模能力参差不齐的痛点,具体分以下两步实现。

(1) 文生图、图生图。学生可以利用豆包、ChatGPT等AI工具,通过文字描述生成所需的产品图。这种“文生图”模式,适用于对产品图没有特殊要求的学生。对于那些对产品某些特征有具体要求的学生,推荐先寻找具有相关特征的图片,将其导入Gen

AI,然后通过文字描述,要求AI把所需特征融合到具体的产品设计中。通过这种“图生图”模式生成的产品图,能够高度契合学生的创意设想。

(2) 图生3D模型。将生成的产品图导入图生模型AI中,例如腾讯混元3D,依据实践需求和硬件条件调整模型参数,如模型面数和模型类型。图生模型AI可以快速生成与产品图高度匹配的高质量3D模型。

1.2 标准化 AnyCasting 数值模拟分析方法

为了帮助学生深入理解金属充型凝固过程、铸件缺陷种类以及铸型型腔对铸件成形质量的影响,本研究引入AnyCasting数值模拟分析手段,聚焦AnyPRE和AnyPOST两个模块。通过制定《熔模铸造数值模拟分析指导书》,引导学生按照规定步骤设置AnyPRE前处理条件,并在AnyPOST模块中掌握结果文件的观察方法,如熔模铸造工艺中关注的“充型顺序”、“凝固顺序”和“残余熔体模数”等项目的分析方法。

1.3 融合历史文化的工程课程设计

建立具有中华优秀传统文化元素的“铸造纹饰数据库”,如饕餮纹、云雷纹、鸟纹和蛙纹等。该数据库包含纹饰的简介(起源、发展和应用领域)以及图案。学生在1.1节利用Gen AI“图生图”功能时,可直接调用“铸造纹饰数据库”,以此引导学生生成具有中华优秀传统文化元素的创意作品,有意识地培养学生在工程设计中引入历史文化元素的能力,进而提升工程设计的文化性。

2 熔模铸造实践教学改革实施

2.1 Gen AI 图生 3D 模型

熔模铸造教学实践中图生模型的具体应用案例如表1所示。首先,在“铸造纹饰数据库”中检索与设计主题相匹配的中华优秀传统文化纹样,将其导入豆包(www.doubao.com)中,准确描述生成任务,生成“产品图”。检查图片质量后,将“产品图”导入图生模型AI(3d.hunyuan.tencent.com)中,选择“3D生成-V3.0”模型、“1.5m(即150万个三角面)”模型面数、“几何+纹理”模型类型,快速生成相应的3D模型,导出需要的模型格式,如.stl格式。

经多次生成测试,所生成的产品图在视觉效果上表现自然,轮廓清晰,主体内容与创意主题高度契合,整体表现良好。然而,在基于产品图生成的3D模型中,不同线稿风格呈现显著差异:弯曲线稿生成的3D模型较为准确,如饕餮戒指和蛙纹冰箱贴;而规整平直线稿生成的3D模型与产品图相似度偏低,如云雷

表1 Gen AI图生3D模型
Tab. 1 The 3D models generated from images by Gen AI

任务描述	产品图输出	3D模型输出	检查模型
 生成新图片：图片为饕餮纹，生成以饕餮纹为花纹的戒指			OK
 生成新图片：图片为云雷纹，生成以云雷纹为花纹的戒指			NG
 生成新图片：图片为蛙纹，生成以蛙纹为花纹的冰箱贴			OK
铸造纹饰数据库	AI工具：豆包 (www.doubao.com)	AI工具：腾讯混元3D (3d.hunyuan.tencent.com)	

纹戒指。此外，对3D模型进行尺寸测量发现，其最大方向尺寸均为1.1 mm，不满足产品设计规格要求。因此，需依据设计尺寸对模型进行比例缩放。最后，将调整后的模型导入3D打印软件（3D Sprint）中，合理布局排列方式，完成3D打印，获取蜡制件。

2.2 数值模拟分析

2.2.1 建立模型

将经过尺寸调整的3D模型（以饕餮戒指为例）导入三维建模软件，完成装配工序，形成完整的浇冒系统，如图1所示。

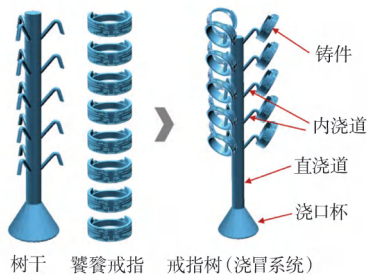


图1 浇冒系统设计
Fig. 1 Design of gating and feeding system

2.2.2 设置计算条件

将模型导入anyPRE模块，依据《熔模铸造数值模拟分析指导书》的操作步骤，设置相应前处理参数。网格数量14 979 146，铸件材料为CuZn25Al5，铸型材料为石膏。铸件材料在AnyCasting材料库中选择，铸型材料在用户数据库中选择。初始浇注温度为1 000 °C，铸型初始温度为500 °C，充型速度230 mm/s，铸件-铸型之间的换热系数为200 W/(m²·K)，浇注方式为重力浇注，连续浇注。设置完成后运用anySOLVER求解器完成数值计算。

2.2.3 数值模拟结果及分析

在anyPOST模块查看并分析模拟结果。对于熔模铸造，主要关注充型顺序、凝固顺序、充型温度和概率缺陷参数。

(1) 充型顺序。在充型过程中，需关注是否出现紊流和汇流现象，以及充型是否按顺序进行。在金属液凝固前，充型速度越慢越有利于完美充型，这能有效避免紊流和汇流的发生。

通常，金属液从浇口杯经直浇道、内浇道进入铸件。在自身重力作用下，应按照自下而上的顺序充型^[14]，以实现良好的补缩效果，如图2所示。

(2) 凝固顺序。受充型顺序和铸型型腔结构的影响，型腔内的金属液凝固速率存在差异，这可能导致无法按照顺序凝固，在断开处出现孤立液相，最终形成缩松、缩孔等缺陷。通常需要结合凝固过程温度场进行综合分析。

(3) 充型温度。云图的最低温度为铸件材料的固相线温度885 °C，最高温度为浇注温度1 000 °C。为保

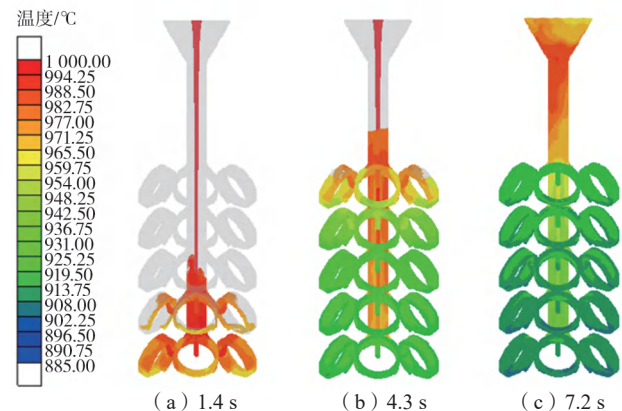


图2 充型过程数值模拟结果
Fig. 2 Numerical simulation result of mold filling process

障充型完整, 充型结束时铸件温度应均高于液相线温度, 以确保凝固过程补缩通畅, 因此浇注温度不宜过低; 但过高的浇注温度又会增加针孔等析出性缺陷的风险^[15-16]。本研究所用铜合金的液相线温度为923 ℃, 由于铸型型腔温度较高(500 ℃), 选取了CuZn25Al5合金浇注温度区间(1 000~1 040 ℃)的下限1 000 ℃, 此温度高于液相线温度77 ℃, 目的是促使铸件微观组织更加致密, 提高铸件表面质量。

(4) 概率缺陷参数。关注残余熔体模数, 即金属液达到临界固相率时, 残余熔体体积与表面积之比。利用残余熔体模数预测凝固过程中孤立液相区导致宏观缩松出现的位置和概率, 以及预判浇注温度、浇注速度和铸型温度选择的合理性。

2.3 教学改革实践操作

根据AnyCasting数值模拟分析结果, 将3D打印的蜡制件焊接至蜡树上, 经过灌注石膏浆、高温焙烧制成铸型型腔。随后, 熔炼CuZn25Al5铜合金进行浇注。铸件脱模后, 依次进行打磨、抛光和超声波清洗等后处理, 最后进行珐琅上色美化, 获得成品。整个熔模铸造的实践操作过程如图3所示。

面向文科类专业学生开展的试点教学结果表明, 通过借助Gen AI生成融合中华优秀传统文化元素的3D模型, 再结合AnyCasting快速完成数值模拟分析, 并以此指导铸型型腔设计和浇注过程, 最终完成铸造成型的教学方法是可行的, 且应用效果良好。



图3 熔模铸造教学改革实践

Fig. 3 Practice of investment casting teaching reform

3 熔模铸造教学改革成效

(1) 降低熔模铸造学习门槛, 提高教学深度与教学效率。利用Gen AI图生3D模型的手段, 降低了熔模铸造学习门槛, 文科类学生不再望而却步。文科类、近机械类和机械类专业学生在实践操作环节基本可以做到节奏一致, 从而改善了教学效果。AnyCasting数值模拟分析手段的加入, 不仅能够指导学生在组焊工

序自主设计浇冒系统, 而且助力学生理解铸造基本原理、探究铸造缺陷的成因, 进而提高了教学深度。此外, 从表2所示的教学改革前后各工序耗时对比可以看出, 借助Gen AI图生3D模型的手段, 使得“产品设计”时间大大缩短; 运用AnyCasting完成“铸型分析”仅需90 min, 改革后学生在课堂中的实践操作时间减少了75 min, 教学效率得到显著提升。

表2 熔模铸造教学安排
Tab. 2 Investment casting teaching schedule

序号	课程 内容	课程时长/min		备注
		改革前	改革后	
1	理论讲解	45	45	
2	产品设计	180	15	
3	铸型分析	/	90	计算时间课外完成
4	3D打印蜡模	10	10	打印时间课外完成
5	修模组焊蜡树	45	45	
6	石膏灌浆	10	10	
7	焙烧	10	10	焙烧时间课外完成
8	金属熔铸	10	10	
9	打磨抛光珐琅	90	90	
课堂内总时长		400	325	

(2) 实现产品个性化定制, 激发学生学习兴趣。熔模铸造工艺与砂型铸造、压力铸造、金属型铸造等铸造工艺不同, 产品形状不受限制。学生可以在“铸造纹饰数据库”挑选花纹, 利用Gen AI生成任意产品。这使得学生能够获得专属于自己的产品, 实现个性化定制, 符合当代大学生追求“与众不同”的个性化需

参考文献:

- [1] 杜平, 汤彬, 马运, 等. 3D精密铸造实验虚拟仿真系统的设计与实现[J]. 实验室研究与探索, 2024, 43(11): 113-117.
- [2] 范淑媛, 廖敦明, 凌东鑫, 等. 基于Unity3d的消失模铸造虚拟现实系统研发[J]. 实验室研究与探索, 2018, 37(5): 108-113.
- [3] 王亚军, 江书宇, 瞿佰华. 材料成型创新综合实验平台的实验教学改革与探索[J]. 实验室研究与探索, 2024, 43(12): 131-135.
- [4] SUN Q Z, LIU W P, PENG T, et al. AI-empowered die design framework for giga-casting[J]. Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 2026, 98: 103179.
- [5] LV C F, BAO J S. CADInstruct: a multimodal dataset for natural language-guided CAD program synthesis[J]. Computer-Aided Design, 2025, 188: 103926.
- [6] LIU X R, ZHAO Y H, WANG L Q, et al. LLMs driven fusion AI-AD system for mechanical design: from understanding to generation[J]. Advanced Engineering Informatics, 2025, 68: 103745.
- [7] YUAN Z, SHI J S, HUANG Y H. OpenECAD: An efficient visual language model for editable 3D-CAD design[J]. Computers & Graphics, 2024, 124: 104048.
- [8] LI Z Y, TAN H, JARFORS A E, et al. Smart-cast: an AI-

based system for semisolid casting process control[J]. Procedia Computer Science, 2024, 232: 2440-2447.

求, 从而大大激发了学生的学习兴趣。
(3) 课程与历史文化的融合贯彻始终, 增强了工程设计的文化性。依托璀璨丰富的中华传统器物纹饰文化, 课程引导学生在产品设计中灵活运用代表性纹样, 学生表现出浓厚的兴趣。在后处理工序的珐琅工艺中, 通过手工实践的方式, 学生能够切身感受到传统工艺的魅力, 收获直观且深刻的实践体验, 加深了对工程设计可以具有一定文化内涵的新认识。

4 结语

本研究探索了一条Gen AI赋能教育教学的新路径。教学实践表明, 该方案切实可行, 且能有效提升学生的学习积极性。然而, 在实施过程中也发现了一些新问题, 例如文科类专业学生对数值模拟的理解存在一定困难。为此, 后续计划开发数值模拟可视化教学资源, 以帮助学生掌握计算条件设置和数值模拟结果分析的基本方法。此外, 仍需持续跟踪人工智能技术进程, 进一步优化其在熔模铸造实践教学中的应用模式, 提升应用成效。

- [9] KANG J W, WANG J W, HAN X, et al. Deep learning based heat transfer simulation of the casting process[J]. Scientific Reports, 2024, 14: 29068.
- [10] 桑森, 李晓峰, 张开翔, 等. 基于AI数字孪生的过程优化技术在连铸机中的应用[J]. 山东冶金, 2025, 47(2): 78-80.
- [11] 李贝贝, 郭树人, 曹华堂, 等. 基于AI图像分析的铸造原砂粒度粒形检测法[J]. 铸造, 2024, 73(4): 520-526.
- [12] LI X Y, ZHANG Q, KANG D, et al. Advances in 3D generation: a survey [EB/OL]. (2024-01-31) [2025-10-15]. <https://arxiv.org/abs/2401.17807>.
- [13] LIU J, HUANG X S, HUANG T Y, et al. A comprehensive survey on 3D content generation [EB/OL]. (2024-03-19) [2025-10-15]. <https://arxiv.org/abs/2402.01166>.
- [14] 李世新, 李新雷, 尹承泽, 等. 艺术类熔模精铸件真空吸铸成形技术与工艺研究[J]. 特种铸造及有色合金, 2020, 40(5): 549-552.
- [15] 林佳武, 李玄霜, 陈宗明, 等. 真空高压铸造铝合金车身轻量化设计[J]. 汽车工程, 2020, 42(3): 383-389, 400.
- [16] 孙喜梅, 王治民. 挤压铸造浇注温度对Al-Si-Cu-Mg合金组织及性能的影响[J]. 热加工工艺, 2025, 54(10): 145-147.