

AI 赋能注塑成型仿真：面向成型制造智能仿真的教学改革与实践

李晓燕, 江鸿, 刘芳, 邱碧薇, 陈泽中
上海理工大学 材料与化学学院, 上海 200093
DOI: 10.61369/ETR.2025510034

摘要： 本研究针对传统成型仿真课程知识碎片化、难以培养学生系统性工程思维与实践能力的问题，以注塑成型仿真为例，开展了智能仿真教学的深层改革实践。通过将人工智能深度融入教学全流程，利用 AI 构建多维知识图谱整合分散知识，并依托“诊断-验证-迁移”的思维训练闭环，引导学生完成从现象解析、原理归纳到知识应用的认知进阶。该教学模式可以有效降低跨领域学习的认知障碍，营造个性化、探索式的学习环境，推动课程目标从单一软件技能训练转向系统性工程思维与创新实践能力的培养，为智能制造时代的工程教育改革提供可推广的实践路径。

关键词： AI 赋能；教学改革；成型制造智能仿真；工程教育

AI-Enhanced Injection Molding Simulation: Teaching Reform and Practice for Intelligent Simulation in Molding Manufacturing

Li Xiaoyan, Jiang Hong, Liu Fang, Qiu Biwei, Chen Zezhong
School of Materials and Chemistry, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093

Abstract : This study addresses the issue of fragmented knowledge in traditional forming simulation courses, which fails to cultivate students' systematic engineering thinking and practical problem-solving abilities. Taking injection molding simulation as an example, we conducted an in-depth reform in intelligent simulation teaching. By deeply integrating artificial intelligence into the entire teaching process, AI was used to construct a multidimensional knowledge graph that integrates scattered knowledge elements, and a "diagnosis - verification - migration" thinking training loop was implemented to guide students through a complete cognitive progression—from phenomenon analysis and principle deduction to knowledge application. This AI-enhanced teaching model effectively reduces cognitive barriers in cross-domain learning, creates a personalized and exploratory learning environment, and shifts the course objective from mere software skill training to the development of systematic engineering thinking and innovative practical capabilities. It thus offers a replicable practice for engineering education reform in the era of smart manufacturing.

Keywords : AI-enhanced; teaching reform; intelligent simulation for molding manufacturing; engineering education

引言

随着智能制造的深入推进，成型制造仿真已成为衡量制造业先进水平的关键指标^[1]，也对熟练掌握该技术、能够解决复杂工程问题的专业人才提出了迫切需求。成型制造仿真课程肩负着培养新一代工程人才的关键使命^[2]，是传授仿真技术的平台，更是培养学生将多学科知识融会贯通的重要环节^[3]。通过课程的学习，学生能够获得解决实际工程问题的能力，为未来从事产品研发、工艺优化和智能制造奠定坚实基础^[4]。

成型制造仿真课程具有鲜明的特点，不仅涵盖本构模型、有限元理论等数理基础，更强调理论在工程实践中的应用，如预测产品缺陷、优化工艺参数与模具设计等，具有高度交叉性与综合性^[5]。其次，课程既训练学生根据输入参数预测成型结果的正向分析能力，也培养他们根据仿真缺陷反向优化设计参数的逆向思维能力^[6]。再者，课程教学高度依赖 CAE 软件等数字化工具，强调理论讲授与软件实操、结果判读的深度融合^[7]。最后，由于成型过程中材料、几何、工艺与模具等多参数耦合作用显著，课程还特别注重培养学生理解仿真的不确定性及其验证必要性，从而建立严谨的工程分析习惯^[8]。

在众多成型制造方法中，注塑成型因其应用广泛且工艺复杂，其仿真流程具有高度的典型性与代表性，其仿真流程如图 1 所示。

由图1可以看出,注塑成型仿真作为核心工具,将聚合物材料、产品、工艺与注射模具设计紧密衔接^[9]。然而,传统的成型仿真课程教学,正面临与新时代工程教育理念及人才培养需求脱节的严峻挑战。在此背景下,将人工智能技术引入成型制造智能仿真教学,为解决上述困境提供了全新路径。AI可以连接碎片化知识、降低认知负荷、构建系统思维,并赋能个性化与探索式学习体验^[10]。本论文以“三维复杂塑件注塑成型”为具体教学案例,开展“AI赋能注塑成型仿真”的教学改革实践。本文将详细探讨AI技术深度融入教学体系的路径与方法,分析其在帮助学生贯通从理论到实践、从分析到决策、从设计到创新的完整能力培养路径上的实施策略。我们期望培养出不仅懂软件操作,更具备系统性思维、创新能力和工程决策自信的卓越工程人才,以更好地适应智能制造时代的迫切需求。

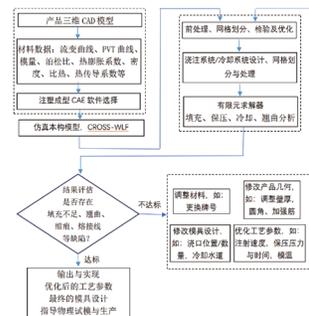


图1 注塑成型仿真流程

一、成型仿真课程的教学现状

成型仿真课程的教学目标是培养学生运用专业软件,针对三维复杂成型制件,完成成型过程分析、验证与优化的综合能力。课程内容围绕“材料—工艺—模具设计—仿真—优化”这一系统工程链条展开,旨在推动学生从“软件操作员”向具备系统性思维和决策能力的工程师转变。然而,当前教学仍处于从传统模式向智能化转型的关键阶段,面临诸多挑战。

首先是知识体系碎片化,难以构建系统思维:课程通常将高度系统化的工程链条拆解为孤立的知识点进行传授,学生难以形成整体认知框架。其次是跨学科认知壁垒高,成型仿真融合了材料科学、力学理论、数值方法与制造工艺等多学科知识,学生易产生畏难情绪。再次是当前教学偏重软件操作步骤的训练,忽视对物理背景、参数逻辑与工程判断能力的塑造。学生缺乏将理论知识转化为实际问题解决能力的机会,而教学资源与条件局限,教材案例更新缓慢,同时真实成型实验成本高、周期长,学生缺乏亲身体验与试错机会,教师也难以开展个性化指导。值得注意的是当前学生作为“数字原住民”,技术亲近感强,但也存在专业认知浅薄、深度思考能力弱、学习动机功利等问题。他们习惯于寻找“标准答案”,难以适应“假设—仿真—验证—修正”的开放性迭代循环,在参数理解、反向设计及批判性思维方面普遍薄弱。

上述痛点导致传统教学模式虽能培养“熟练的操作员”,却难以塑造“能举一反三的工程师”。为此,教学改革正逐步转向“案例牵引、问题驱动”的方法,并通过AI技术进行深度赋能。AI不仅作为效率工具,更在贯通从理论到实践、从分析到决策、从设计到创新的完整能力培养路径中,发挥关键支撑作用。

二、AI赋能成型制造智能仿真课程的实践路径

以培养学生“举一反三”的工程思维能力为核心,将AI深度融入教学全流程,可以构建一条从“思维外化”到“能力迁移”的闭环实践路径。

(一) 课前 AI 引导的思维预演与个性化起点诊断

在正式授课之前,教学闭环便已由AI驱动启动。在此预习阶段,学生面对一个新的三维塑件,将与扮演“思维教练”角色的

AI导师展开深度对话。AI引导学生构建系统性的分析框架,通过一系列结构化提问,例如“请首先考虑该塑料材料的流变特性可能如何影响填充行为”、“基于塑件几何对称性,初步构思浇口位置应遵循哪些原则”等,将学生的注意力聚焦于材料特性、塑件结构、工艺参数等核心决策维度。引导学生将原本模糊、隐性的工程直觉,外化为一套逻辑清晰、要素完整的结构化分析计划书。在此过程中,AI并非提供标准答案,而是通过刨根问底式的诘问,促使学生独立构思出可能合理的浇注系统与成型方案,形成个性化分析起点。教师在课前则可以洞察每个学生的思维特点、知识盲区与潜力所在,从而为课堂上的异质分组、辩论焦点设置以及个性化指导提供精准依据,真正实现了“以学定教”的教学开端。

(二) 课中 AI 驱动的“诊断—验证—迁移”思维循环

在智能成型仿真课堂中,教学以“诊断—验证—迁移”三层递进的AI驱动循环展开。课堂以学生预习阶段形成的分析计划书为起点,教师根据计划书中体现的不同思路与认知水平进行分组,并组织小组围绕各自的成型方案展开深度辩论。在这一环节中,AI为学生提供即时的原理性支持。例如,学生可向AI提出“评估此浇口位置对注射压力的影响”或“预测熔接线可能产生的位置及其强度风险”等问题。AI基于聚合物流动行为与材料流变特性,给出数据化、原理化的专业分析,将学生的讨论从主观猜测提升至有理论支撑的工程论证层面,从而帮助各组凝练出更科学、可行的仿真方案,将学生对成型仿真的直觉认知转化为系统论证。

在仿真方案确定后,学生在教师指导下执行成型仿真分析。当仿真结果呈现压力分布不均、或翘曲变形等复杂现象时,AI引导学生进行深度解析与多层次优化。通过回应“识别压力损失最大区域及其成因”或“分析流动不平衡与浇注系统的关联”等专业问题,AI帮助学生将仿真云图与剪切稀化、黏性热效应等核心物理原理建立深刻联系。比如,当观察到某处压力突变时,AI会引导学生思考:“此处的压力突变是否会引起收缩不均?这与塑件内应力分布及可能的翘曲变形有何关联?”,促使学生从表象观察走向本质理解。

基于仿真结果,AI进一步指导学生开展系统化的优化探索。在工艺参数层面,学生在设备能力范围内调整注射速度、保压压力等参数,分析其对流动前沿温度和固化行为的影响;在浇注系统层面,在模具设计约束下优化流道尺寸平衡与浇口位置,以改

善压力分布与熔接线；在塑件结构层面，在满足产品功能的前提下，通过调整壁厚分布与加强筋布局，减少因压力不均导致的缩痕与翘曲风险；在材料选择层面，基于流动性与机械性能要求，比较不同材料的成型窗口与缺陷敏感性。值得注意的是，AI 强调跨层级优化的协同关系，使学生深刻认识到在优化浇注系统时，需要同步考虑模具复杂度带来的成本约束与工艺窗口涉及的生产稳定性；在调整塑件结构时，则需要平衡成型性能与产品功能需求。通过系统化的训练，不仅学习准确解读仿真数据，更掌握从参数调整到系统设计的完整优化方法，根据实际生产约束制定出切实可行的改进方案。

课程的最终阶段着眼于能力的迁移与升华，利用 AI 推送经过精心设计的“挑战案例”。在限时条件下，学生必须灵活运用已总结的通用原则，独立完成对新塑件的仿真分析。AI 则用于对比学生的分析路径与原理模型，对出现的逻辑偏差或概念误用给予即时反馈。这种训练模式促使学生完成从“个案分析”到“类比迁移”的思维跃升，使他们在面对未来复杂工程问题时，能够展现出更强的适应性和解决问题的能力。AI 辅助教学不仅帮助学生掌握成型仿真的专业技能，更重要的是培养应对复杂工程问题的系统思维与创新解决能力，为成为卓越工程师奠定基础。

（三）课后 AI 赋能的个性化反思与精准补强

课程结束后，利用 AI 系统自动对学生课前的分析计划书与课上最终形成的仿真方案及成果进行深度对比，精准定位学生的“思维盲区”。例如，是忽略了浇口位置对流动平衡的宏观影响，还是未能正确理解压力损失与流道尺寸的定量关系。AI 为每位学生生成一份详尽的个人学习报告，呈现其认知演进路径，让学生直观地看到自己“最初的想法如何、在辩论和验证后如何修正、最终获得了什么原理”，从而对自身的思维模式建立清晰的元认知。

AI 将根据这份个性化的评估，为学生构建专属的“能力补强包”。例如学生在熔接线预测上存在薄弱环节，AI 会精准推送相关的高影响力学术文献、经典案例解析；同时，会生成一个针对“熔接线控制”的新的三维塑件微型仿真任务，直指学生的思维盲区，形成高度靶向的思维强化训练，形成教学的闭环。通过“精准诊断→可视化反馈→靶向训练”的流程，AI 确保了“举一反三”的培养节奏从课堂高效延伸至课外，让每一位学生都能在自身最短板上获得巩固与提升，实现个性化成长。

（四）课程全程与 AI 生态

基于“诊断-验证-迁移”教学全程，AI 作为“系统整合器”与“认知催化剂”，将成型仿真课程构建为一个深度融合的智能教育系统。

作为系统整合器，AI 依托其基于海量文献与工程数据构建的“多维知识图谱”，将分散在教材、论文与案例中的知识点有机串联。以汽车车门板这类三维复杂塑件的注塑成型仿真为例，AI 能够即时关联聚合物复合材料在剪切作用下的粘度变化与分子取向研究、多浇口热流道系统布局原则，以及相似结构中短射、熔接线、翘曲变形等缺陷分析案例。这种跨领域知识的无缝衔接，使学生在面对“如何通过调整注射速度与温度控制材料流动性”

等具体问题时，能在深层次的工程原理网络中找到依据，确保学习建立在系统化的知识体系上。

作为认知催化剂，AI 通过全程的深度追问、精准诊断与即时反馈，持续推动学生思维层级的跃迁。例如在分析具有薄壁与厚肋结构的电子外壳时，AI 引导的对话从“如何设置浇口”的操作层面，逐步深化至“评估浇口位置对压力分布、分子取向及最终制品内应力与翘曲变形的影响”等原理层面。完成基础案例后，AI 会推送结构类似但材料特性迥异的新案例，要求学生运用已建立的“流动平衡”原则进行迁移分析。这一过程促使学生的认知重心从软件操作技能，彻底转向对工程问题本质的洞察与系统性解决方案的构建能力。

通过 AI 赋能的实践路径，成型仿真教学实现从软件命令记忆+固定案例操作”向“工程思维培养与创新能力迁移”的现代教育范式转型。学生最终获得的不仅是软件操作熟练度，更是面对任何复杂三维塑件时，能够系统分析、精准决策并创新解决问题的核心素养，为培养引领未来的卓越工程师奠定了坚实基础。

三、结语

本教学研究构建并实践了以 AI 为核心驱动力、以思维外化与能力迁移为目标的成型制造智能仿真教学新路径。通过将 AI 深度融入课前、课中、课后全教学周期，实现了教学重心从传统的软件操作训练向系统性工程思维培养的根本转变。在教学过程中，AI 通过多维角色支持学生全周期学习：课前作为思维教练，课中担任实时顾问，课后成为个性化管家，形成完整教学闭环，从而提升学生抽象概括、类比迁移及解决复杂工程问题的核心素养。该教学模式可进一步拓展至材料成型工程训练更多领域，为培养洞察问题本质、具备卓越创新与实践能力的工程师提供有效路径。

参考文献

- [1] 汪锐, 王欢文, 公衍生. 智能制造背景下复合材料与加工成型课程教学改革探索 [J]. 教育信息化论坛, 2025(13): 76-78.
- [2] 姜春晓, 吴莉莉, 姜姆姆. "材料成型数值模拟" 虚拟仿真实践教学探索 [J]. 科教导刊 (电子版), 2025(25): 296-298.
- [3] 罗从丛, 么冰, 周俊, 等. 基于 OBE 理念的混合式教学在“高分子材料成型工艺与设备”课程中的应用与实践 [J]. 安徽化工, 2023, 49(6): 195-200.
- [4] 梁雄, 伍晓宇, 彭太江, 等. 基于 PBL 模式的塑料成型工艺与模具精品课程实践教学研究 [J]. 中国教育技术装备, 2013(3): 154-157.
- [5] 周钰博, 李敏, 王绍凯, 等. 面向 AI 时代的纤维增强树脂基复合材料工艺仿真 [J]. 航空材料学报, 2024, 44(5): 17-36.
- [6] 王钰明, 顾添翼, 陈一泉, 等. 虚拟仿真取代实车测试的高校教学研究 [J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(2): 79-82, 130.
- [7] 张晓光, 王宏祥. CAE 技术在模具设计与制造实验课程中的应用 [J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(4): 187-190.
- [8] 钟燕, 黎清宁, 刘贵仲. 新工科背景下材料成型及控制工程专业的数字化改造升级路径探索与实践 [J]. 科教导刊 (电子版), 2025(20): 227-229.
- [9] 曹芳, 肖光春. 模具类课程虚拟仿真实验教学系统设计与实现—以塑料成型工艺及模具课程为例 [J]. 大学教育, 2020(8): 5-8, 18.
- [10] 曹勇. 人工智能背景下高校课程教学改革探索和研究 [J]. 科教文汇, 2025(8): 87-90.