

面向解决复杂工程问题能力培养的《金属压力加工工艺学》 教学实践

张大征 王振敏 李雪

辽宁科技大学 材料与冶金学院

摘要: 随着工程教育对解决复杂工程问题能力的要求日益提高,传统的《金属压力加工工艺学》教学模式已难以满足现代工程人才培养的需求。本文旨在探讨如何通过教学改革,提升学生在金属压力加工领域的复杂工程问题解决能力。本文通过结合“线上”+“线下”混合式教学、虚拟仿真技术以及课程思政,探索了一种面向复杂工程问题能力培养的教学模式。通过融合式教学和项目式学习,提升学生的工程实践能力和创新思维,同时融入思政教育,培养具有社会责任感和工程伦理意识的高素质人才。

关键词: 复杂工程问题; 金属压力加工; 融合式教学; 虚拟仿真; 课程思政

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-6288.2025.10.051

引言

随着现代工业的快速发展,金属压力加工技术在航空航天、汽车制造、能源装备、矿山机械等领域得到了广泛应用。然而,面对日益复杂的工程问题,以课堂讲授为主的传统《金属压力加工工艺学》教学模式在培养学生解决复杂工程问题能力方面存在明显不足。此外,现有教学内容多为基础知识的讲解,缺乏对复杂工程问题的系统性训练,学生难以应对实际工程中的复杂问题。目前,工程教育认证要求通过明确标准、优化课程、强化实践、持续改进和国际化来推动学生解决复杂工程问题能力的培养。因此,如何通过教学改革,提升学生的工程实践能力和分析、设计、开发、测试、评估复杂工程系统的能力,成为当前工程教育的重要课题^[1,2]。近年来,“线上”+“线下”混合式教学、项目式学习、虚拟仿真教学、课程思政等手段成为改革教学模式、提升教学效果、培养问题解决能力的有效方法^[3-7],因此,本文从课程目标与特点、“线上”+“线下”混合式教学、基于虚拟仿真形式的项目式学习、课程思政四个方面阐述了面向解决复杂工程问题能力培养的《金属压力加工工艺学》教学实践过程与效果。

一、课程目标与特点

辽宁科技大学为传统冶金类院校,具备了钢铁生产全流程工艺链条所对应的专业。材料成型及控制工程专业的主要特色和优势为钢铁材料成型与制备,因此,《金属压力加工工艺学》是辽宁科技大学材料成型及控制工程专业的核心课程,主要授课内容为轧钢工艺学,其内容包含板材、管材和型材生产工艺三大部分。本课程旨在培养学生掌握轧钢生产工艺的基本原理、生产工艺流程、设备结构和操作、压下制度制定,并具备分析和解决轧钢生产过程中复杂工程问题的能力。课程具有理论

性强、实践性强和综合性强三大特点。理论性强是指本课程涉及金属学与热处理、金属塑性变形理论、轧制原理、轧制力能参数计算等理论知识。实践性强则需要学生依托实际工业生产线掌握轧钢生产工艺流程、设备结构和工作原理等实践技能。综合性强是指需要学生综合运用物理冶金学、机械工程、自动化控制等多学科知识解决实际问题。综上,本课程是一门综合性、实践性强的课程,理论内容丰富、知识点多,具有学科交叉性强、技术更新快、理论深度高等特点,需要多门专业基础课做理论支撑,知识点丰富、内涵较深、外延较广,学习难度大。

二、“线上”+“线下”混合式教学

为克服传统教学模式中理论与实践脱节、学生参与度不高等问题,课程采用“线上”+“线下”混合式教学模式。基于雨课堂和超星学习通平台的混合式教学,能够有效整合线上与线下资源,提升教学效率和学生参与度,同时培养学生的自主学习能力。课程组持续更新、扩充相关课程资料,及时更新任务点与知识点,完善与补充课程实验,增加实践教学环节与学生创新活动板块内容。依托多样化的教学资源,以雨课堂和超星学习通为平台,构建知识学习、能力训练、自主学习的学习环境,开展“课前线上自学一课中线下教学一课后的实践应用”进阶式教学过程。

课前在雨课堂和超星学习通平台上发布教学视频,如轧钢变形过程动画、中厚板产品生产工艺流程动画等供学生初步认识课程内容,同时发布教案、教学大纲、教学课件、预习自测题、讨论话题等促进学生进一步自学,最后发布调查问卷以调研掌握学生预习情况,为课堂线下讲授内容调整做准备。课中首先对线上自学效果不理想的知识以及课程的重点和难点进行课堂讲授,强化学生认知和理解。然后引出生产实际中的工程问题,引

导学生利用整合已学的专业基础课和专业课知识进行分析、评估、解决，提升学生对知识的整合、归纳和运用能力。同时利用雨课堂和超星学习通平台开展随机点名、知识抢答、分组讨论等，活跃课堂气氛，激发学生热情，提高课堂参与度。课后在雨课堂和超星学习通平台发放作业和测验并线上批阅和答疑，强化学生对知识内容的掌握。根据授课进度，课后及时开展实验课程，促进学生对轧制过程、轧制参数和轧机构造的深度理解。最后，组织学生分组讨论复杂工程问题，培养团队协作和问题解决能力。例如，以“生产8mm厚的管线钢产品，需要采用哪种生产线并指出相应的生产工艺流程和关键装备，其工艺参数制定的物理冶金学原理是什么？”为题目，分组讨论并解决这一问题。针对这个案例，结合问题导向学习和小组协作形式，分为三个阶段实施“线上”+“线下”混合式教学：

（一）线上预习阶段（课前）

首先开展资源推送与任务布置，在线上平台（如雨课堂或超星学习通）发布任务书和资源包，其内容包括：①基础资料：管线钢 J55/X70 标准、热连轧 / 中厚板生产线介绍视频；②关键论文：《TMCP 工艺对管线钢组织性能的影响》。然后设置小组任务，其内容包括：①绘制思维导图对比不同生产线（热连轧 vs 中厚板）的适用性；②列出 8mm 厚管线钢关键性能指标（强度、塑性、韧性、DWT 性能等）。最后进行线上讨论预热，讨论区发起投票：“8mm 管线钢更适合热连轧还是中厚板？”并要求每组提交 1 个预习疑问（如“如何控制终冷温度？”）。

（二）线下课堂阶段（课中）

首先在导入环节，向同学们展示实物，也即 8mm 管线钢试样 + 金相显微组织照片。随后实施案例导入，某钢厂因工艺参数失误导致分层缺陷的失效分析报告。案例导入后对学生分组（3 ~ 5 人一组）并开展分组研讨，每个小组都配备工艺卡片（含产线设备参数表）和平板电脑访问材料数据库（JMatPro 软件）。与此同时，教师向学生提供一些关键信息，如产线选择决策树（中厚板产品厚度范围是 4.5 ~ 25mm；热连轧产品厚度范围是 1.2 ~ 16mm）和关键工艺窗口提示（如精轧温度需控制在 Ar_3 以上 50℃）。分组研讨完成后，要求每组用 Visio 绘制工艺流程图，标注 3 个关键控制点（如层流冷却速率 $\geq 30^\circ\text{C}/\text{s}$ ）并用 Hall-Petch 公式解释晶粒细化原理。

（三）线上深化（课后）阶段

课后为了强化学习效果，加强实践应用，首先开展虚拟实验，利用课程组搭建的虚拟仿真教学平台，登录“网络轧钢”仿真系统，调整工艺参数以观察组织演变。

之后进行专家连线，邀请企业生产现场的轧钢工程师直播讲解，讲授实际生产中的参数波动处理（如带钢头尾温差补偿），展示实际工业生产的调控过程及效果。

三、基于虚拟仿真形式的项目式学习

为解决传统实验教学中设备不足、成本高、安全风险大等问题，课程引入了虚拟仿真技术，开展项目式学习。通过开发虚拟仿真实验平台，课程组利用网络轧钢操作系统和软件可以生动模拟轧钢生产的真实场景和设备操作，为学生提供沉浸式的学习体验。课程组在虚拟仿真实验平台开发了中厚板产品轧制、热连轧带钢轧制、冷连轧带钢轧制和线材轧制四大模块，不仅可以通过动画、视频展示不同钢铁产品生产工艺流程，并对每一个工艺环节及其采用的关键设备配备了图文介绍，有效加深了学生对金属压力加工工艺的认知和理解，激发了学生学习热情。针对不同的虚拟仿真轧钢模块，设计项目式学习任务，将轧钢生产过程中的实际问题转化为项目任务，引导学生运用虚拟仿真平台进行方案设计、参数优化和结果分析。例如：采用中厚板轧制模块，要求选取合适的化学成分、生产工艺（加热、粗轧、精轧和冷却）参数以获得力学性能、板形和成材率均满足要求的目标产品，据此设计虚拟仿真操作方案并完成网络模拟轧钢操作流程。学生根据此项目开展小组合作学习，各成员明确分工，各司其职，通过团队协作和沟通共同完成项目任务，项目完成之后，虚拟仿真平台系统可根据评分点自动评分以评价学习效果。针对这个案例，可设计中厚板轧制虚拟仿真项目的项目式学习方案，深度融合虚拟仿真技术与协作学习策略，具体开展过程如下：

（一）项目总体框架

项目名称：《产品厚度为 8mm 的 X80 管线钢中厚板轧制工艺虚拟优化》；仿真平台：钢铁智慧轧制平台（网络模拟轧钢）；学习目标：掌握成分设计 - 工艺 - 性能的定量关系，培养跨工序参数协同优化能力，提升基于数据驱动的工艺决策水平。

（二）项目准备

首先是对学生进行分组（4 人组）并进行角色分工与知识建构，小组角色分别为：①品种开发工程师，职责为成分设计和 CCT 曲线预测；②轧制工艺师，职责为规程制定 / 轧制力计算；③设备操作员，职责为参数输入和轧机调整；④质量检验员，职责为组织性能检测和缺陷分析。

（三）仿真操作（线下机房）

首先进行任务发布，任务初始条件为：坯料尺寸：220mm×1500mm×2500mm；目标性能： $R_{el} \geq 555 \text{ MPa}$ ， -20°C 冲击功大于 80J， $DWT \geq 85\%$ 。任务的约束条件为：如果终轧温度大于 Ar_3 ，则板形指标评分加 5 分；如果

轧后冷却速率大于 $10^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ，则强度指标评分加 5 分。

任务发布后，各小组开始进行多轮次仿真操作实验，操作流程为成分设计→加热制度制定→高压水除鳞设定→轧制规程编排→冷却策略优化。其中，工艺关键交互环节为：拖动滑块调整轧制道次（如：第 5 道次压下率从 35% 调整至 28%）和点击冷却喷嘴开关控制冷却路径。

（四）评估展示

待学生操作完成并提交以后，虚拟仿真平台启动自动评分系统，依据各个关键工艺环节（加热炉、除鳞、粗轧、精轧、冷却、板形调控、换辊）操作合理程度分别评分。之后各小组分别提交三维成果展示，通过虚拟展板呈现工艺路线动态流程图（点击该流程图可查看各工序下显微组织演变过程）和成本核算表（合金成本+能耗成本对比）。

利用虚拟仿真平台开展项目式学习，通过“虚拟操作-真实数据-工业标准”三元耦合，实现从技能训练到工程思维培养的跃升，对培养本科生自主学习能力和问题解决能力，尤其是解决复杂工程问题能力具有显著作用。

四、课程思政

在《金属压力加工工艺学》授课过程中，结合钢铁行业的特色和社会主义核心价值观，将大国工匠精神、大国重器的自豪感、钢铁脊梁的担当意识等思政元素有机融入专业教学中，旨在将思想政治教育与专业课程有机结合，实现知识传授与价值引领的统一，以有效落实立德树人根本任务。在专业课程教学中融入思政教育，是培养德才兼备的工程人才的重要途径。课程通过以下方式实现思政教育与专业教学的有机融合。

在引入“大国工匠”的思政元素时，其融入点为：在讲解轧钢工艺的精准控制（如温度、压力、速度等参数）时，强调工匠精神对产品质量的重要性。介绍鞍钢集团孟泰、宝武集团郭明义等钢铁行业劳模的事迹，展现他们精益求精、追求卓越的工匠精神。结合轧钢生产中连铸坯尺寸的“毫厘之差”，导致成品尺寸误差的显著放大，让学生理解“差之毫厘，谬以千里”的严谨态度。在引入“大国重器与科技创新”的思政元素时，其融入点为：在讲授轧钢设备（如连轧机、冷轧热轧技术）时，突出中国钢铁工业从“跟跑”到“领跑”的历程。介绍中国自主研发的“超级钢”（高强、高韧钢材）在高铁、航母、航天等领域的应用，体现“大国重器”背后的科技支撑。对比国内外轧钢技术发展，强调自主创新的重要性（如宝武集团的智能轧钢生产线）。在引入“钢铁脊梁与责任担当”的思政元素时，其融入点为：在课程导论或行

业发展章节中，强调钢铁工业对国家经济和安全的意义。引用“一个粮食，一个钢铁，有了这两样东西就什么都好办了”的论述，说明钢铁是工业的“脊梁”。结合汶川地震、抗疫救灾中钢铁企业保障物资供应的案例，诠释“钢铁硬汉”的社会责任。

通过将“大国工匠”的严谨、“大国重器”的自豪、“钢铁脊梁”的担当等元素融入《金属压力加工工艺学》，既能提升学生的专业认同感，又能培养其家国情怀和职业使命感。最终实现“知识传授-能力培养-价值引领”三位一体的教学目标。

结语

本文通过“线上”+“线下”混合式教学、虚拟仿真技术和课程思政的有机结合，探索了一种面向复杂工程问题能力培养的《金属压力加工工艺学》教学模式。实践表明，该模式能够有效提升学生的工程实践能力、创新思维和社会责任感，为培养高素质工程人才提供了新的思路。未来，可以进一步探索人工智能、大数据等新兴技术在课程教学中的应用，以进一步提升教学效果。

参考文献

- [1] 高秀华, 袁国, 邱春林, 张晓明. 基于解决复杂工程问题的课程教学实践[J]. 科教导刊, 2021, (08): 133-135.
 - [2] 宋广胜, 徐前刚, 高恩智. 基于面向工程实践《材料成形工艺学》课程教学方法探索[J]. 铸造技术, 2020, 41(11): 1099-1101+1108.
 - [3] 唐正友, 彭良贵, 高彩茹, 等. 融合教学模式下工程实践课程教学改革[J]. 科教导刊, 2023, (14): 71-73.
 - [4] 杨敏, 李长河, 刘永红, 等. 项目驱动的“金属工艺学”教学实践研究[J]. 教育教学论坛, 2021, (39): 140-143.
 - [5] 丁桦, 李艳梅, 唐正友. 课程思政在材料类课程中的探索与实践——以“材料成形金属学”课程教学为例[J]. 教育教学论坛, 2024, (37): 133-136.
 - [6] 李鸿, 王旭峰, 邢剑飞, 等. 一流课程视域下混合式教学模式的探索与实践——以“材料成型技术基础”为例[J]. 教育教学论坛, 2025, (05): 105-108.
 - [7] 郭瑞华, 李振亮, 陈林, 等. 虚拟仿真教学平台在材料成型专业中的应用探索[J]. 科技创新导报, 2017, 14(34): 233-235.
- 作者简介：张大征，1989.09.06，男，汉，河南信阳，研究生，副教授，研究方向：金属轧制理论与工艺。
- 基金项目：2025 年辽宁科技大学教育科学研究项目（GJ25YB15）；2025 年辽宁科技大学本科教学改革研究项目；国家自然科学基金（52204346）。