

信息化时代下爆破专业课程教育模式的思考

吉凌¹ 尹涛¹ 程兵² 汪海波¹

1. 安徽理工大学 土木建筑学院; 2. 安徽理工大学 化工与爆破学院

摘要: 人工智能(AI)技术的革命性突破正深度重构爆破工程领域的技术范式与教育体系。传统培养模式在应对智能爆破装备操作、多源数据融合分析等新型能力需求时已显现明显滞后性,如何将机器学习算法、数字孪生技术等前沿AI手段系统融入专业教学,培养具备智能爆破设计、数字化施工管控等核心竞争力的复合型人才,成为行业智能化转型的关键命题。本文基于“智慧矿山”国家战略导向及爆破工程国际化需求,结合数字孪生矿山、智能参数优化等技术创新实践,系统论证爆破工程专业课程智能化重构的必然性与实施路径。通过构建“智能算法基础-数字爆破仿真-跨国工程实训”三阶课程体系,创新提出基于强化学习的爆破参数动态优化教学模块、融合BIM与离散元分析的虚拟爆破实验平台建设方案,以及面向东南亚复杂岩体条件的智能爆破技术跨国联合培养机制,为破解传统培养模式与智能技术代际落差提供系统性解决方案。

关键词: 人工智能; 爆破工程; 课程改革; 教学模块; 人才培养

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-6288.2025.07.034

引言

国家“十四五”规划及2035年远景目标明确提出加强新型基础设施建设,为爆破工程领域带来了智能化转型升级的重要契机。在智慧矿山建设、城市地下空间开发等重大工程需求的推动下,爆破工程正朝着数字化设计、智能施工与安全管控一体化的方向发展^[1-2]。爆破工程作为土木工程的重要分支,其专业人才培养质量直接影响着国家重大工程建设的效率与安全。然而,传统培养模式过度依赖经典爆破理论教学,在智能参数优化、数字孪生模拟、智能安全预警等新兴技术领域存在明显滞后^[3-6]。

为响应国家智能建造战略需求,中国矿业大学构建了“爆破工程研究中心”,开发基于机器学习的爆破参数优化系统,将智能算法融入爆破振动控制课程模块;北京科技大学于2018年设立智能爆破虚拟仿真中心,构建三维地质建模-爆破效果预测-智能参数生成的完整教学体系,培养学生数字化爆破设计能力;中南大学近年创新开设“智能爆破安全监测”课程,整合物联网传感器、大数据分析等技术,建立爆破效应智能评估模型。2022年南京理工大学更是将BIM技术与爆破工程深度融合,打造“数字爆破全生命周期管理”特色培养方向。

由此可见,构建“智能技术+爆破工程”的跨学科培养体系,通过引入深度学习、数字孪生、智能感知等前沿技术重构课程模块,建立虚实结合的智能化实践平台,不仅能够突破传统教学中的技术壁垒,更能培养具备智能爆破设计、数字化施工管理、智能安全预警等核心竞争力的复合型人才,为新时代基础设施建设提供关键人才支撑。

一、人工智能技术对爆破工程的影响

近年来,人工智能技术的突破性进展正深刻重构爆破工程领域的技术体系,推动着该专业向数字化、智能化方向转型升级^[7-8]。人工智能技术对爆破工程专业的变革性影响主要体现在以下四个方面:

(一) 爆破参数智能优化中的AI应用

传统爆破设计高度依赖工程师经验与静态理论公式,难以应对复杂地质条件与动态施工环境。人工智能技术通过构建爆破效果预测模型,实现了参数设计的精准化与自适应调整。例如,在攀枝花铁矿的露天台阶爆破中,中国矿业大学研发的智能爆破设计系统,通过集成地质三维建模与深度学习算法,可实时分析岩体节理分布、岩石强度等参数,自动生成装药结构、孔网参数与起爆时序的优化方案。该系统将爆破大块率降低37%,振动速度预测误差控制在8%以内,显著提升了复杂矿岩条件下的爆破质量与安全性。

(二) 爆破安全智能预警中的AI应用

爆破振动与飞石风险管控是工程安全的核心难题,传统监测手段存在响应滞后、盲区覆盖不足等缺陷。基于AI的多源感知网络为实时风险预警提供了创新解决方案。北京科技大学在雄安新区地下管廊爆破工程中部署了智能安全预警平台,该系统通过融合微震监测仪、无人机航拍与红外热成像数据,利用卷积神经网络实时识别爆破振动传播规律与飞石运动轨迹。当预测振动值超过阈值或检测到异常抛掷物时,AI算法可在0.3秒内触发预警并自动调整延期时间,成功将周边建筑振动峰值控制在2cm/s以下,实现了城市密集区爆破的“零事故”施工。

（三）智能爆破施工中的 AI 应用

爆破施工过程涉及钻孔精度、装药密度等关键质量控制环节，传统人工监管模式存在效率低、标准化程度不足等问题。AI 驱动的智能化工装正在改变这一现状。在川藏铁路隧道爆破工程中，中铁科研院开发的智能钻孔机器人集成了机器视觉与强化学习技术，可自主识别掌子面岩体裂隙走向，动态调整钻孔角度与深度，将炮孔定位误差从 $\pm 15\text{cm}$ 缩减至 $\pm 3\text{cm}$ 。同时，搭载压力传感器的智能装药机械臂，通过实时反馈装药密度数据至 AI 控制中枢，使装药不均匀度下降 42%，大幅提升了光面爆破成型质量。

（四）爆破效应智能评估中的 AI 应用

爆破后效果评估长期依赖人工现场勘查，存在主观性强、数据维度单一等局限。AI 技术通过多模态数据分析实现了评估过程的量化与智能化。中南大学研发的“爆破效应数字孪生系统”，利用无人机倾斜摄影获取爆堆形态三维点云数据，结合高速摄影机捕捉的岩石破碎过程影像，通过生成对抗网络（GAN）重构爆破动态演化模型。该系统可自动计算岩石破碎块度分布、爆堆松散系数等 18 项指标，评估效率提升 5 倍以上，为爆破方案迭代优化提供了数据闭环支持。

二、爆破工程专业人才培养新模式的建立

随着智能化技术的迅猛发展，数字孪生、机器学习、智能传感与物联网等前沿技术在爆破工程中的应用持续深化。例如，通过三维地质建模、爆破参数优化算法、无人机智能布孔系统及爆破效应数字孪生平台，已实现从爆破设计、施工到效果评估的全流程智能化管控。基于这些技术革新，智能爆破工程正成为矿山开采、隧道建设等领域的核心发展方向。然而，智能化技术的渗透对爆破专业人才的能力结构提出全新挑战。传统培养模式偏重炸药理论、爆破工艺等基础能力训练，而面对智能化施工装备操作、多源数据融合分析、智能安全预警系统开发等新需求，工程师亟需兼具爆破力学、算法编程、智能装备运维的复合型知识体系^[9-12]。因此，构建“爆破+人工智能”的跨学科培养体系已成为高校专业改革的战略方向。

为应对行业变革，国内高校在爆破工程专业建设中加速推进教学模式重构。中国矿业大学、北京科技大学等院校率先开设《智能爆破参数设计》《爆破数字孪生技术》等前沿课程，涵盖智能算法开发、物联网感知系统、爆破虚拟仿真三大模块。其中，中南大学开发的“智能爆破虚拟实训平台”，通过融合 BIM 技术与离散元数值

模拟，让学生在虚拟矿山场景中完成三维地质解译-参数优化-效果预测的全流程训练，使复杂环境下的爆破方案设计失误率降低 53%。同时，高校与行业龙头企业共建实践基地，如安徽理工大学与铜陵有色集团联合建立的“智能爆破产学研中心”，将 5G 远程起爆系统、智能振动监测装备等先进技术引入实践教学。通过“企业工程师驻校授课+学生参与矿山数字化改造项目”的模式，学生可同步掌握智能电子雷管编程、爆破振动 AI 预测系统部署等新型技能。

未来，随着数字孪生矿山、无人化爆破作业等技术的突破，高校需进一步深化“智能技术链-爆破工程链-国际标准链”三链融合的培养体系，通过构建虚实联动的智能爆破教学工厂、开发跨国协同的云端实训平台，持续提升人才解决复杂工程问题的创新能力。

三、城市地下空间工程专业人才培养模式的改革建议

当前爆破工程专业课程体系主要围绕炸药化学、岩石力学、爆破安全等传统学科构建。随着智能感知、数字孪生等技术的突破性发展及国家“智慧矿山”“智能建造”战略的推进，AI 技术在爆破专业人才培养中的革新价值日益凸显。为应对智能化转型需求，爆破工程专业课程改革可重点实施以下举措：

（一）重构智能爆破课程模块

在保留爆破基础理论课程的同时，增设《爆破智能算法基础》《数字爆破工程》等交叉学科课程，系统讲授机器学习、计算机视觉、多物理场耦合仿真等技术原理及其在爆破工程中的典型应用场景。例如：在《爆破参数设计》课程中嵌入基于神经网络的孔网参数优化算法教学，在《爆破振动控制》课程增加数字孪生驱动振动预测模型构建训练。中国矿业大学已在《智能爆破技术》课程中引入“三维地质建模-爆破效果预测-参数动态调整”全流程虚拟仿真实验，使学生通过数字孪生平台直观掌握智能爆破设计方法。

（二）打造虚实融合的实践平台

通过校企协同建设“智能爆破创新实验室”，集成无人机三维扫描系统、智能电子雷管编程平台、爆破效应数字孪生系统等新型教学装备。例如北京科技大学与宏大爆破共建的“智慧爆破实训基地”，可开展基于机器视觉的智能布孔机器人操作、多源数据融合的爆破安全预警系统调试等实践项目。在矿山台阶爆破实践环节，学生可通过“爆破参数优化云平台”实时获取地质数据，运用随机森林算法迭代生成最优装药方案，将传统需要 3 天的参数设计流程压缩至 2 小时内完成。

（三）推行工程导向的项目制教学

设立“智能爆破创新工作坊”，以实际工程问题为课题开展项目攻关。如在隧道光面爆破项目中，要求学生结合地质雷达探测数据，利用 YOLO 算法自动识别岩体节理分布，进而生成适应地质缺陷的差异化装药方案；在建筑拆除爆破项目中，引导学生开发基于强化学习的倒塌轨迹预测模型。中南大学通过“数字爆破挑战赛”，推动学生运用生成对抗网络（GAN）重构爆破过程三维演化模型，其获奖作品爆破块度预测精度已达 91.7%，部分成果已应用于紫金山铜矿智能爆破系统升级。

（四）构建国际化的培养路径

针对沿线复杂岩体条件，开设《国际爆破标准与智能技术适配》课程模块。昆明理工大学与智利天主教大学联合开展的“安第斯山脉高应力矿岩智能爆破工作坊”，要求学生在掌握 ISO 爆破安全规范的同时，运用迁移学习技术解决硬岩破碎能量匹配难题。通过将海外工程案例纳入毕业设计选题，如“热带潮湿环境电子雷管延时精度控制”、“极寒地区爆破振动传播模型修正”等特色课题，培养学生跨地域工程适应能力。

结语

人工智能技术的深度应用正在重塑爆破工程专业的技术生态与人才培养范式。通过智能算法优化爆破参数设计、数字孪生驱动施工过程仿真、多源感知网络实现安全预警，AI 技术显著提升了爆破工程在效率、精度与安全性三大维度的表现。教学改革方面，高校通过构建“智能爆破算法-数字孪生平台-跨国工程实践”的三维培养体系，培育出兼具岩石力学专业素养与 AI 技术应用能力的复合型人才，其成果已在矿产资源开发、城市地下空间智能爆破等国家战略工程中实现规模化应用。尽管面临高精度爆破数据库构建、特殊地质场景算法适配等挑战，但随着 5G 远程操控、无人化爆破装备等技术的突破，爆破工程专业正加速向“感知-决策-执行”全链路智能化的新阶段演进，为全球复杂环境下的工程爆破提供中国智慧与技术范式。

参考文献

[1] 刘波, 何梦瑶, 柳晓飞. 新工科背景智慧矿山建设采矿工程专业人才培养方案改革研究 [J]. 新疆有色金属, 2024, 47(2): 76-78.

[2] 张帆, 王东, 王振利, 曹学成. 5G 技术在建设智慧矿山中的应用研究 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2022(1): 3.

[3] 王苏然, 陈有亮, 王琛. 多媒体弱化理念下土木工程课程教学优化路径——以“工程地质”课程为例 [J]. 大学 (教学与教育), 2024(1): 157-160.

[4] 车伟, 孙俊利, 杨震铂. 新工科背景下土木工程专业实习实践教学体系创新与实践——以中国地质大学 (北京) 为例 [J]. 高等建筑教育, 2022, 31(4): 7.

[5] 吴俊君, 陈海初, 张清华, 王志锋. 基于数字孪生技术的智能制造实训教学模式研究 [J]. 工业和信息化教育, 2022(2): 72-76.

[6] 郝晓剑, 刘俊, 张晓华. 新时代下本、研统筹人才培养模式研究——以信息技术领域为例 [J]. 工业和信息化教育, 2019, 000(007): 7-13.

[7] 王春杰. 人工智能在教育领域的应用难点与突破路径 [J]. 试题与研究: 教学论坛, 2020, 000(033): 0084-0084.

[8] 李宝. 生成式人工智能技术赋能教育变革的潜能、困境及突破路径 [J]. 井冈山大学学报 (社会科学版), 2024, 045(002): 125-132.

[9] 武威, 马小宁, 殷新贝, 张崇振, 刘军, 栾中. 面向重载铁路基础设施智能运维的朔黄铁路智能大脑平台总体设计及关键技术研究 [J]. 铁道运输与经济, 2023, 45(11): 11-21.

[10] 戴瑞婷, 李乐民. 面向产教融合的高校人工智能人才培养模式探索 [J]. 高等工程教育研究, 2024(3): 19-25.

[11] 赵鹏, 马伟斌. 基于数字孪生的铁路隧道智能运维关键技术与实现方法研究 [J]. 隧道建设 (中英文), 2024, 44(8): 1697-1712.

[12] 李丽娟, 杨文斌, 肖明, 章云. 跨学科多专业融合的新工科人才培养模式探索与实践 [J]. 高等工程教育研究, 2020(1): 6.

[13] 张来斌. 面向中国石油工业探索国际化人才培养体系——以中国石油大学 (北京) 为例 [J]. 大学 (研究版), 2012, 000(009): 53-58.

[14] 马媛, 徐永赞. 中外合作办学背景下高校人才培养模式创新研究 [J]. 河北科技大学学报: 社会科学版, 2016, 16(4): 5.

作者简介: 吉凌 (1995-), 女, 汉族, 四川南充人, 博士, 讲师。研究方向为地下工程爆破。

基金项目: 安徽理工大学校级教育教学改革研究项目 (2023xjjy027)。