

数智融合与自适应进化：新工科背景下《生物分离工程》智慧课程生态的构建与实证

张兴明¹ 冀金龙² 李横江¹ 雷诗涵¹ 高紫菱¹ 张小菊¹

1 武昌首义学院, 湖北武汉, 430064;

2 武汉贝纳科技有限公司, 湖北武汉, 430064;

摘要: 在“新工科”建设向纵深推进的背景下, 生物制造产业技术的指数级迭代与传统工程教育资源相对静止之间的结构性矛盾日益凸显。作为连接上游发酵工艺与终端产品的核心枢纽, 《生物分离工程》课程面临着知识供给滞后、学情需求异质化及工程实训“离身化”的现实困境。本研究基于 OBE (成果导向教育) 理念与数智赋能策略, 重构了课程的本体论与方法论, 提出并实践了一种具备“感知—决策—反馈”闭环能力的智慧课程新范式。该范式通过解构线性教学大纲, 构建了“原理—场景—逻辑”多维映射的动态知识拓扑网络, 实现了教学资源的结构化重组; 引入智能代理系统, 建立了涵盖“精准诊断—路径规划—即时干预”的自适应学习机制; 突破物理边界, 借助虚实融合技术实现多场域的深度耦合, 并基于全周期伴随式数据流重塑了增值性评价模型。实证研究表明, 该智慧生态有效消弭了知识迭代的“时间鸿沟”, 精准回应了学习者的差异化需求, 显著增强了其解决复杂工程问题的系统思维与创新能力, 为工科课程的数字化转型提供了具有推广价值的实证样本。

关键词: 智慧教育生态; 生物分离工程; 知识图谱; 自适应学习; 数智融合; 教育数字化

DOI: 10.69979/3029-2735.26.04.046

1 引言

随着“生物经济”时代的到来, 以合成生物学、连续流制造、智能分离为代表的新兴技术正重塑着生物医药与工业生物技术的产业版图。这种变革要求工程人才不仅要掌握确定的单元操作技能, 更需具备在不确定性环境中进行系统集成与工艺优化的复杂工程能力。《生物分离工程》作为生物工程类专业的主干课程, 具有极强的工程应用属性和多学科交叉特征 (涵盖生物学、化学工程、材料科学及自动化控制)。然而, 审视当前的教学现状, 传统范式与新型人才培养需求之间存在着显著的张力, 主要体现在以下三个维度的非同步性:

1.1 静态知识载体与动态产业技术之间的时间鸿沟

教材作为知识的主要载体, 其出版周期通常以年为单位, 而生物产业技术的迭代周期已缩短至月甚至周。例如, 当前行业主流的“高通量层析筛选”、“一次性膜过滤技术”等内容, 在现有经典教材中往往难觅踪影或仅作为附录简述。这种知识供给侧的滞后效应, 导致教学内容与职业场域的实际需求发生错位, 学习者面临着所学即过时的知识折旧风险, 难以支撑其毕业后的职

业适应性。

1.2 均质化教学供给与异质化认知需求之间的结构性矛盾

在传统班级授课制下, 教学进度的设定往往基于“平均学情”, 难以兼顾学习者的个体差异。由于《生物分离工程》对前置课程 (如化工原理、生物化学、物理化学) 的依赖度极高, 学生在先修知识掌握程度上的离散性, 直接导致了课堂上的认知分层: 基础薄弱者因认知负荷过重而产生习得性无助, 而高潜能者则因挑战度不足而陷入学习倦怠。缺乏数据支撑的精准育人, 使得因材施教往往停留在口号层面。

1.3 物理空间局限导致的工程认知“离身化”

工程教育的核心在于培养工程直觉与实践智慧, 这需要具身认知的参与。然而, 受制于生物制药设备的高昂造价、严苛的 GMP (药品生产质量管理规范) 环境要求以及潜在的生物安全风险, 高校校内实训往往只能局限于小型化、验证性的实验室操作。学习者难以触及真实的工业级生产环境, 无法感知大规模生产中的放大效应、能耗控制及应急处理, 导致理论模型与工程现实

之间存在巨大的真空地带,工程思维难以真正落地^{[1][2]}。

面对上述深层次的结构性困境,单纯的教学手段微调已无法触及根本。必须借助大数据、知识图谱、人工智能等新一代信息技术,对课程的资源形态、交互方式及评价体系进行全方位的系统性重塑,构建一个能够自我更新、智能适配的智慧课程生态。

2 智慧底座:基于本体论的动态知识拓扑网络构建

智慧课程的首要任务是实现知识的数字化与结构化,使其从静态的文本转化为可计算、可推理的智能实体。本研究突破了传统线性的章节目录结构,引入本体论思想,构建了覆盖课程全域的三维动态知识图谱。

在这一网络状的知识架构中,每个节点不再是孤立的信息点,而是成为了多模态资源的聚合枢纽。例如,在“细胞破碎”这一核心节点,系统不仅挂载了高压匀浆机理的微课视频与原理动画,更深度关联了“革兰氏菌细胞壁结构”的生物学基础以及“破碎阻力模型”的数学计算逻辑更为关键的是,图谱建立了与产业端的数据映射接口。通过与武汉光谷生物城合作企业的深度协同,将“连续流层析”、“智能膜组件”等前沿工艺的参数、视频及操作规范,经过脱敏处理后转化为图谱中的动态节点。这种机制使得课程内容具备了自生长能力,教学素材的年均更新率维持在15%以上,有效填补了教材滞后的空白。

此外,为了强化课程思政的育人功能,图谱采用了可视化标记技术。红色节点代表高难度的工程计算模型,提示重点攻关;蓝色节点则关联着“绿色制造”、“工程伦理”、“工匠精神”等思政元素。例如,在溶剂萃取节点,图谱自动延伸至有机溶剂回收与环境影响评价的案例,引导学习者在掌握技术方案的同时,潜移默化地内化生态文明意识与社会责任感,实现了知识传授与价值塑造的深度融合。

3 过程重塑:AI赋能的自适应学习路径生成

依托结构化的知识图谱,课程引入了AI智能代理系统,构建了“测-导-学-馈”一体化的自适应学习闭环,推动教学模式从标准化大水漫灌向个性化精准滴灌的根本性转型。

在每个学习单元启动前,系统会自动执行认知诊断程序。通过推送包含前置学科关键概念的自适应测试题,

算法能够精准扫描学习者的知识盲区。一旦监测到学生在“流体性质”或“蛋白质等电点”等基础知识上存在短板,系统即刻触发“脚手架”机制,自动生成包含基础微课与强化习题的“专属预备包”,并设定为解锁后续课程的前置条件。这种前置性的补救策略,有效抹平了学生间的认知起点差异,降低了新知识学习时的认知负荷。

进入核心学习阶段,AI算法依据学习者的实时交互数据(如答题正确率、视频观看驻留点、作业完成时长),动态调整资源推送策略。针对基础型学习者,系统规划低阶夯实路径,侧重于原理演示、基础参数计算与规范化操作模拟,确保其达到课程标准的基本要求;针对进阶型学习者,则自动解锁高阶探究路径,直接推送如单克隆抗体纯化工艺的极限优化等具有挑战性的企业级课题,要求其利用数字工具进行专利检索与方案设计。这种分层教学策略,既保护了后进生的学习自信,又激发了优等生的探索欲望。

这种差异化的教学策略还伴随着实时的智能干预。教师端的“教学驾驶舱”能实时呈现班级的“认知热力图”。当系统监测到某一知识点(如“包涵体复性”)的错误率突破警戒阈值,或发现部分学生出现“刷课”(非正常倍速播放)行为时,会自动向教师发出预警,并智能推荐针对性的翻转课堂设计方案。教师据此可以及时调整教学节奏,将课堂重心从单纯的讲授转移到重难点的集中释疑与深度研讨上,实现了教学干预的精准化与时效性。

4 场域融合:虚实联动的沉浸式工程实训

为突破物理时空的局限,解决工程实训难、贵、险的痛点,本课程构建了融合数字空间与物理实体的混合式教学场域,利用虚实融合技术实现了理论学习与工程实战的无缝耦合。

在线虚拟仿真平台充当了学生工程思维的“孵化器”。以“丙氨酸及其系列产品的分离纯化”为例,学习者在仿真界面中需自主设定跨膜压、流速、温度、pH值等关键工艺参数。系统内置的高保真仿真算法会根据操作实时反馈工艺结果,甚至模拟“膜组件破裂”、“层析柱堵塞”、“产品纯度不达标”等工程故障场景。这种“零成本、零风险”的交互环境,鼓励学习者大胆尝试不同的工艺路线,在反复的“假设—验证—修正”循环中,建立起对工程参数敏感性的直觉,深刻理解多变

量耦合对分离效果的影响。

线下的物理课堂则转型为基于数据的“研讨中心”。教师不再进行单向的知识输出,而是基于学生在虚拟仿真中产生的数据报告进行案例复盘。引入团队导向学习模式,学习者分组承接综合设计项目,将企业导师提供的工业现场视频(如自动化压滤设备的实际运行流)与自身的仿真方案进行比对。通过剖析理想模型与工业现实环境(如杂质干扰、设备死体积)之间的偏差,引导学生思考工程放大的复杂性,培育其解决复杂问题的系统思维与批判性思维^[3]。

教学链条的最终端延伸至生产一线。通过校企深度协同,学生携带优化后的设计方案进入光谷生物城的标准化GMP车间。在企业工程师的指导下,近距离观测大型层析柱的装填、维护以及自动化控制系统的运行逻辑,并参与部分非核心工序的辅助操作。这种“理论认知—数字模拟—实体验证”的闭环体验,完成了从实验室小试思维到工业化大生产视野的跨越,同时在真实的职业场景中强化了安全规范与工程伦理意识。

5 评价变革: 基于多维画像的增值性评价

智慧课程的建设为教育评价的科学化提供了坚实的数据底座。本课程摒弃了过去单一维度的终结性考核,确立了包含成效评价、过程评价与能力评价的复合模型,并将实践能力的考核权重提升至40%。

全周期的伴随式数据采集。依托智慧教学平台,系统能够全过程、无感地抓取学习者的海量行为数据,包括视频观看的专注度、讨论区发言的语义质量、虚拟仿真实验的操作轨迹、项目文档的查重率及团队协作的贡献度等。这些痕迹数据客观记录了学生的学习投入与思维过程,避免了一张试卷定终身的片面性。

多维能力雷达图的自动生成。基于采集的数据,AI算法从“逻辑构建力、知识精确度、素养内化度、工程创新力、团队协作力”五个象限,为每位学习者自动生成动态的能力雷达图。这种可视化的学情画像不仅作为评分依据,更构成了师生深度对话的基石。

反馈驱动的增值性评价。评价的终极目的在于促进发展,系统依据画像识别出的个性化短板-例如,发现某生在理论测试中得分较高,但在工程创新力维度表现薄弱(如仿真实验中只会按部就班,缺乏参数优化尝试),系统会自动提示教师,并向该生推荐相关的拓展性案例

与操作规范视频。这种监测—反馈—修正—再监测的闭环机制,使评价不再是学习的终结,而成为能力进阶的助推器,真正实现了关注个体成长的增值性评价^[4]。

6 结语

基于数智融合的《生物分离工程》智慧课程建设,不仅是一次教学技术的革新,更是一场深刻的教育范式革命。通过构建动态生长的知识图谱、打造自适应的学习系统以及实施虚实联动的教学模式,本课程成功打破了传统工程教育的时间与空间壁垒,构建了一个产教深度融合、师生协同进化的智慧育人生态。

近几年的实践数据表明,该模式显著提升了学生的学习主动性与工程实践能力,学生在各类学科竞赛及创新创业项目中屡获佳绩,企业对毕业生的满意度大幅提升。未来,课题组将进一步深化生成式AI(AIGC)在教学场景中的应用,探索构建跨校、跨企业的智慧课程云联盟,持续推动生物工程教育向更高水平的数字化、智能化方向发展。

参考文献

- [1] 韩小龙, 胡彦营, 成冬冬, 等. 工程教育认证背景下“生物分离工程”课程教学改革探索[J]. 食品工业, 2024(45): 203-207.
- [2] 梅余霞, 何进, 胡涌刚. 基于知识—能力—素养的生物分离工程课程教学改革与实践[J]. 中国教育技术装备, 2024(13): 79-88.
- [3] 郭金玲, 龚大春, 涂志英, 等. 基于“案例+翻转课堂”的线上线下混合式教学模式研究——以“生物分离工程”为例[J]. 农产品加工, 2025(1): 134-136.
- [4] 卫蔚, 林洁, 康利琴, 等. 基于新工科建设的“生物分离工程”混合式教学改革与探索[J]. 秦智, 2023(12): 37-39.

作者简介: 张兴明(1989.02-)女, 汉族, 湖北宜昌人, 硕士研究生, 讲师, 研究方向: 微生物学、生态学

本文为“武昌首义学院校级智慧课程建设项目-《生物分离工程》(2025ZH020); 湖北省普通本科高校新工科课程建设项目-《生物分离工程》(XGK01121); 武昌首义学院特色应用型课程建设项目-《生物分离工程》(2024YY4)。”研究成果。