人工智能驱动的医药工交叉融合实践教学新范式构建与实践

杨 进[1], 饶 琰[1], 李金城[1,*]
1. 广东药科大学, 医药信息工程学院, 广东 广州, 510006

摘要：人工智能正加速渗透至药物研发、临床诊疗等医药全产业链，对医药工交叉复合型人才的实践能力提出新要求。然而，传统实践教学存在课程体系拼盘化、平台仿真化、协同表面化三大瓶颈，难以支撑 AI 原生时代的人才培养需求。本研究以医药工融合实践教学改革为对象，构建并实践了人工智能驱动的医药工交叉融合实践教学新范式。新范式以真实场景为牵引、大模型与知识图谱为引擎、产教闭环为保障为总体思路，形成基础资源数据层、核心平台引擎层、教学应用门户层与评价反馈层的四层架构。其核心创新在于：（1）以一体两翼方式重构场景化、模块化实践课程体系，将 AI 思维与医药场景深度融合；（2）以大模型与知识图谱双引擎驱动开放式 AI 医药实践云平台，集成真实脱敏多模态医药数据与科研级算法工具，弥合教学与产业代差；（3）构建医药学科教师、信息学科教师与行业导师三螺旋协同育人机制与人机协同综合评价体系，形成可持续的产教融合闭环。教学实践表明，该范式有效提升了学生利用 AI 解决复杂医药问题的交叉创新与实践能力，孵化了一批智能辅助诊疗原型、药物不良反应预警等竞赛成果与软件著作权，形成了一套可迁移的实践教学方案，为新医科背景下医药工交叉人才培养提供了路径参考。

关键词：医药工交叉融合；实践教学；大模型；知识图谱；三螺旋协同；新医科

Construction and Practice of a New Paradigm for AI-Driven Medical-Engineering Interdisciplinary Practice Teaching

Jin Yang[1], Yan Rao[1], Jincheng Li[1,*]
1. College of Medical Information Engineering, Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou 510006, China

Abstract: Artificial intelligence （AI） is rapidly penetrating the entire pharmaceutical-industrial chain, including drug discovery and clinical diagnosis, raising new demands for the practical capabilities of medical-engineering interdisciplinary talents. However, traditional practice teaching suffers from three bottlenecks: a patchwork curriculum system, a simulation-based platform, and a superficial industry education collaboration, which can hardly support the cultivation of talents in the AI-native era. Taking the medical engineering interdisciplinary practice-teaching reform as the research object, this study constructs and practices a new paradigm for AI driven medical engineering interdisciplinary practice teaching. Guided by the overall idea of real scenarios as the traction, large language models and knowledge graphs as the engine, and a closed industry-education loop as the guarantee, the paradigm forms a four-layer architecture covering the basic resource/data layer, the core platform/engine layer, the teaching-application/portal layer, and the evaluation/feedback layer. The core innovations include: （1）reconstructing a scenario-based and modularized practice curriculum system in a one-body with two-wings manner to deeply integrate AI thinking with pharmaceutical scenarios; （2） building an open AI pharmaceutical practice cloud platform driven by a large language model and knowledge graph dual engine, integrating real desensitized multi-

modal medical data and research-grade algorithm tools to bridge the gap between teaching and industry; and （3） establishing a triple-helix collaborative education mechanism that combines medical subject teachers, information subject teachers, and industry mentors, along with a human machine collaborative comprehensive evaluation system, forming a sustainable closed loop of industry education integration. Teaching practice shows that the paradigm effectively improves students' cross disciplinary innovation and practical ability in using AI to solve complex pharmaceutical problems, and incubates a batch of competition awards and software copyrights such as intelligent computer aided diagnosis prototypes and drug adverse reaction early warning systems. The practice teaching scheme formed in this study can be promoted to other medical and pharmaceutical universities, providing a reference for cultivating medical engineering interdisciplinary talents under the background of the new medical science.

Keywords: Medical-engineering interdisciplinary integration; Practice teaching; Large language model; Knowledge graph; Triple-helix collaboration; New medical science

人工智能正加速渗透至药物靶点发现、临床辅助诊断、合理用药等医药全产业链[1]。《医药工业数智化转型实施方案（2025—2030 年）》明确提出深化人工智能赋能应用、建立医药大模型创新平台，对医药工交叉复合型人才在真实数据环境+前沿 AI 工具下的实践能力提出新要求[1]。在新医科与新工科交汇的背景下，医工交叉实践课程在培养学生系统分析并解决复杂工程问题的能力方面具有不可替代的作用[2-4]；与此同时，生成式人工智能的爆发性迭代正在重塑学习场景、师生关系与评价范式[5]，为实践教学改革带来新的机遇与挑战。

然而，面向医药工交叉的实践教学长期存在三大共性瓶颈：（1） 课程体系拼盘化，医药背景知识介绍与计算机类实验机械组合，学生学完 AI 算法不知如何在医药场景中调用[6-7]；（2） 实践平台仿真化，实践项目围绕孤立算法/病例展开，学生接触不到真实多模态医药数据与产业级 AI 工具[8]；（3） 协同机制表面化，校企合作多停留在参观/数据提供，评价以实验报告和算法精度为主[9]。三大瓶颈造成实践环节与产业一线明显脱节，难以支撑 AI 原生时代的人才培养需求。

针对上述问题，国内外高校开展了多维度探索：浙江大学、四川大学、延安大学等依托知识图谱、大模型与 VR/AR 重构医学教育流程[12-13]；东北大学、华北理工大学等以产教融合+平台建设推进医工交叉人才培养。项目式学习（PBL）与跨学科项目课程群在提升大学生创新能力方面表现出显著优势[9-11]。但总体上，以 AI 原生为核心理念、将大模型+知识图谱作为双引擎、以三螺旋协同机制与人机协同评价体系破解医药工交叉实践教学三大瓶颈的研究尚不多见。

本文在《教育强国建设规划纲要（2024—2035 年）》《医药工业数智化转型实施方案（2025—2030 年）》及新医科新工科战略引领下，以医药工融合实践教学改革为对象，提出并实践人工智能驱动的医药工交叉融合实践教学新范式，阐述其改革设计、实施过程与初步成效，以期为同类医药院校提供可借鉴的实践教学方案。

1 改革设计与实施方法

1.1 现状剖析：实践教学的三大瓶颈

本研究采用文献分析、现场观察、深度访谈等混合研究方法，对理工类专业、药学类专业、临床医学类专业的实践教学现状进行系统调研。并与合作医院（如附属医院、合作共建医院、临床医学院等）药学与临床专家、企业导师开展半结构化访谈，归纳出三大核心瓶颈（表 1）。

表 1 医药工交叉实践教学的三大瓶颈与改革突破口

Table 1 Three bottlenecks and breakthrough points of medical-engineering practice teaching

瓶颈维度	典型表现	深层成因	改革突破口
一、实践课程体系拼盘化	医药背景介绍与计算机实验机械组合；学生学完 AI 算法不知如何在医药问题中调用	以学科为导向的课程壁垒未打破，缺少以真实医药场景为引领的项目化设计	重构场景化-模块化课程体系（一体两翼）
二、实践教学平台仿真化	围绕孤立算法/病例展开；学生接触不到真实多模态医药数据与产业级 AI 工具	平台建设与产业实战脱节，科研与教学资源未实现有效下沉	建设大模型+知识图谱双引擎 AI 医药实践云平台
三、实践教学协同表面化	校企合作多停留在参观/单一数据提供；评价以实验报告和算法精度为主	校-院-企-生四方利益与责任未理顺，综合性评价体系缺位	建立三螺旋协同机制与人机协同综合评价体系

1.2 新范式的总体框架

针对上述瓶颈，本文构建人工智能驱动的医药工交叉融合实践教学新范式，总体框架遵循数据驱动、AI 赋能、产教协同、闭环优化的原则，形成四层架构（图 1）：基础资源与数据层（多模态医药数据、医药知识图谱与算力资源池）、核心平台与引擎层（大模型赋能中心、专业算法库与教学管理与协同平台）、教学应用与门户层（学生工作台、教师与导师工作台）、评价与反馈层（过程性与终结性评价；评估与优化闭环）。

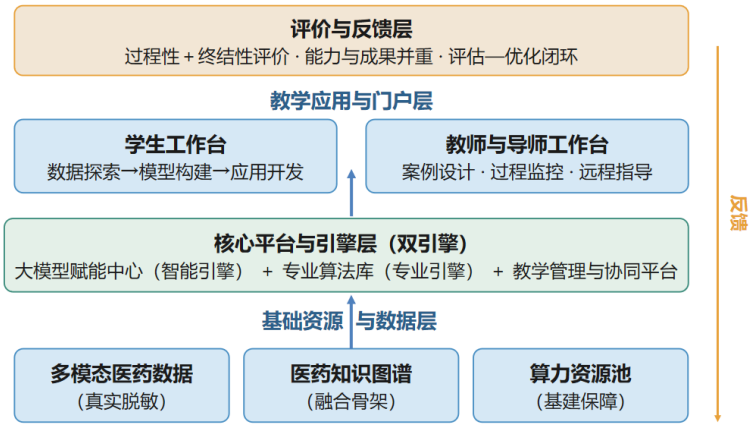


图 1 人工智能驱动的医药工交叉融合实践教学新范式总体框架

Fig. 1 Overall framework of the new paradigm for AI-driven medical-engineering practice teaching

1.3 场景化-模块化课程体系重构

课程体系以真实医药场景为引领，按基础通识层、方向进阶层及高阶实战层这三个层次、一体两翼架构进行重构（图 2、表 2）。

一体两翼架构中，一体为面向全校医药类学生开设的基础通识层，以《医药人工智能技术基础》公选课为核心载体，重点夯实学生的 AI 思维、数据素养与医药数据伦理基础，使不同专业背景的学生在进入专业实践前具备统一的 AI 认知底座；两翼为分别面向智能医学与智能药学两大方向的方向进阶层，以智能辅助诊疗、医学影像分析、药物重定位、不良反应预测等项目化案例为牵引，实现 AI 算法与医药专业知识的深度融合；高阶实战层则贯通两翼，以团队在研课题与产业真实需求为项目源，让学生在真实课题实践中实现知识应用向创新创造的跃迁。三个层次由浅入深、由通用到专用，构成通识奠基—方向进阶—实战贯通的递进式场景化、模块化课程体系，既化解了传统课程拼盘化的积弊，也为双引擎平台的实践项目供给提供了课程载体。

1.4 大模型+知识图谱双引擎 AI 医药实践云平台建设

平台建设采用双引擎驱动技术架构（图 3）：以大模型赋能中心作为智能引擎，承担智能问答、代码生成、个性化学习与 AI 助教等任务；以医药知识图谱作为融合引擎，保证专业知识的逻辑严谨性与语义准确性。二者互补，构成平台的中枢，避免单一技术方案灵活但不够专业、严谨但不够智能的局限。

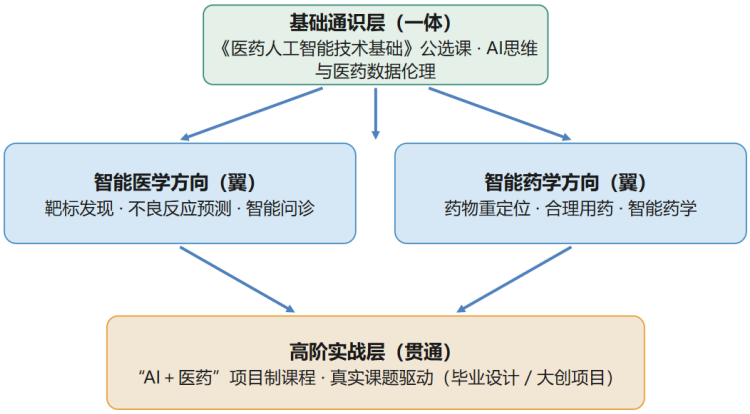


图 2 场景化-模块化实践课程体系（一体两翼）

Fig. 2 Scenario-based and modularized practice-curriculum system （one-body two-wings）

表 2 实践课程体系模块设计

Table 2 Modular design of the practice-curriculum system

层级	定位	核心载体 / 课程	产出形态
基础通识层（一体）	夯实 AI 思维与医药数据伦理基础	《医药人工智能技术基础》公选课；AI 与医药数据伦理专题	公选课覆盖全校医药类学生 ≥ 500 人·年
方向进阶层（两翼·智能医学）	面向真实临床场景的项目化实践	智能辅助诊疗、医学影像分析、靶标发现等系列项目化案例	项目化案例包；课程群教材
方向进阶层（两翼·智能药学）	面向真实药学场景的项目化实践	药物重定位、不良反应预测、合理用药等系列项目化案例	项目化案例包；课程群教材
高阶实战层（贯通）	以真实课题驱动做中学	AI+医药项目制课程；毕业设计/大学生创新创业训练计划	原型系统、竞赛作品、孵化创业项目

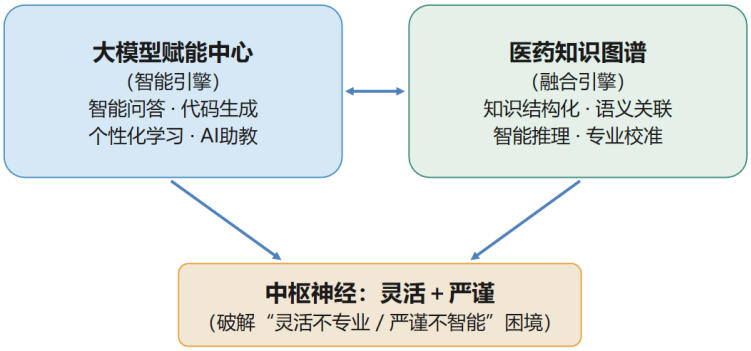


图 3 大模型+知识图谱双引擎驱动技术架构

Fig. 3 Dual-engine technical architecture （LLM + knowledge graph）

图 2 直观呈现了课程体系的层级结构与两翼分流关系，表 2 则从层级定位、核心载体与产出形态三个维度对各模块进行了细化。由图表可见，课程体系实现了三个关键转变：一是从以学科知识为中心转向以真实场景为中心，每一层级均以医药真实问题为出发点组织教学内容；二是从线性讲

授转向模块化弹性组合，基础通识、方向进阶与高阶实战三层模块可依据学生专业背景与学习进度灵活拼接；三是从知识传授转向成果产出，各层级均设定了可检验的产出形态，从公选课覆盖规模、项目化案例包到原型系统与竞赛作品，形成逐级递进的能力产出链条。

表 3 AI 医药实践云平台核心功能模块

Table 3 Core function modules of the AI-pharmaceutical practice cloud platform

模块	核心功能	关键技术/工具	教学作用
大模型赋能中心（智能引擎）	智能问答、代码生成、个性化学习、AI 助教	主流大模型 API（千问、盘古等）+ 本地化知识微调	为学生提供 24h 个性化助学；为教师提供备课与学情分析支持
专业算法库（专业引擎）	封装科研级 AI 工具，支持二次开发	不良反应预测模型、Linkage 基因调控位点分析工具、单细胞分析系统等	让学生直接调用科研级 AI 工具，缩短学习—科研距离
多模态医药数据资源	真实（脱敏）电子病历、组学数据等	220 万份流行病学样本 + 1.2 亿条临床诊疗数据（经严格脱敏）	使学生从标准数据集走向真操实练
教学管理与协同平台	案例管理、过程监控、三导师协同	项目管理 + 过程性数据采集 + AI 辅助评价	支撑三螺旋导师组的过程化指导与评价

表 3 进一步说明了云平台的功能构成与双引擎的落点：大模型赋能中心作为智能引擎，面向师生提供智能问答、代码生成与 AI 助教等通用智能服务；专业算法库作为专业引擎，将团队自主研制的药物不良反应预测、基因调控位点分析、单细胞表观基因组分析等科研级工具封装为可调用模块，保证实践内容的前沿性；多模态医药数据资源接入经严格脱敏的 220 万份流行病学样本与 1.2 亿条临床诊疗数据，使实践从标准数据集走向真实数据；教学管理与协同平台则承担案例管理、过程监控与三导师协同等功能。四个模块相互衔接，使平台同时具备智能、专业、真实、协同四大特性，为双引擎驱动与三螺旋协同提供了技术底座。

1.5 三螺旋协同与 AI 赋能评价机制

为破解产教表面化难题，将产业创新的三螺旋理论引入教学管理，构建医药学科教师、信息学科教师与行业导师三螺旋导师组（图 4），在案例共编、项目共导与成果共评的全流程中深度协同（表 4）。

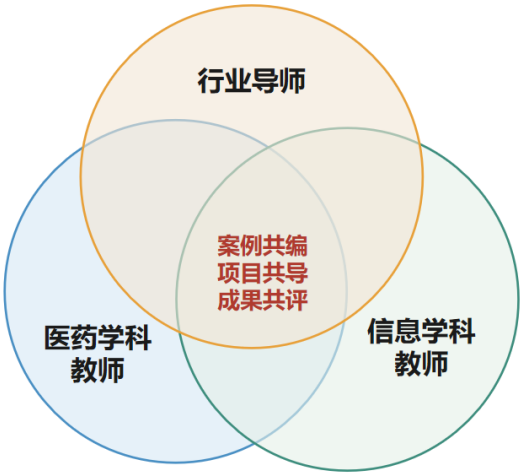


图 4 三螺旋协同育人机制

Fig. 4 Triple-helix collaborative education mechanism

表 4 三螺旋导师组角色分工

Table 4 Role division of the triple-helix mentor group

导师角色	学科背景	主要职责	协同节点
医药学科教师	药学/临床医学/中药学	把控实践案例的医药专业性与前沿性；提供真实临床/药学问题	案例设计 · 医药专业把关 · 学生评价
信息学科教师	计算机/人工智能/数据科学	把控实践案例的技术可行性与算法先进性；指导工程实现	案例设计 · 算法指导 · 工程实现把关
行业导师（产业方）	医院/AI 企业/制药企业	提供真实产业场景与脱敏数据；参与项目验收与产业评价	真实问题导入 · 过程咨询 · 成果共评

表 4 界定了三螺旋导师组三类角色的职责边界与协同节点：医药学科教师把控案例的医药专业性与前沿性，负责从临床与药学实践中提炼真实问题；信息学科教师把控技术可行性与算法先进性，指导学生完成工程实现；行业导师则提供真实产业场景、脱敏数据与产业评价视角。三类角色并非简单叠加，而是在案例设计、过程指导与成果共评的关键节点上深度交叠、互为支撑，有效避免了过去校企合作中企业参与不深入、评价重算法轻应用的浅层协同问题，使三螺旋从组织架构层面真正落地为育人合力。

在评价方式上，构建过程性+终结性相结合、能力与成果并重的综合评价体系（表 5），引入项目报告、系统演示、算法性能、创新性等多元指标，并依托平台采集的学情数据，结合 AI 助教学情报告，实现人机协同评价。

表 5 综合评价指标体系

Table 5 Comprehensive evaluation index system

一级指标	二级指标	考核方式	权重（参考）
过程性评价（40%）	项目参与度与协作贡献	平台过程数据 + 同伴互评	10%
过程性评价（40%）	阶段任务完成质量	阶段报告 + 导师组评议	15%
过程性评价（40%）	学习反思与改进	学习日志 + AI 助教学情报告	15%
终结性评价（60%）	项目报告与系统演示	三螺旋导师组答辩 + 同行评议	25%
终结性评价（60%）	算法性能与工程实现	代码审查 + 性能测试	15%
终结性评价（60%）	创新性与应用价值	专家函评 + 产业评价	20%

表 5 所示的综合评价体系体现了过程与结果并重、能力与成果并重的设计取向：过程性评价占比 40%，依托平台过程数据、同伴互评与 AI 助教学情报告，重点考察项目参与度、阶段任务完成质量与学习反思能力；终结性评价占比 60%，通过三螺旋导师组答辩、代码审查、专家函评与产业评价等方式，综合衡量项目完整度、算法性能与创新应用价值。这一体系将传统一考定音的终结性评价拓展为覆盖学习全周期的过程性证据链，并引入人机协同评价，使评价结果既能反映学生当下的能力表现，又能为教学持续改进提供数据依据，是 AI 赋能评价在实践层面的具体落地。

1.6 科研反哺教学闭环转化路径

新范式通过科研项目—科研成果—教学案例—实践教学—学生成果—反哺科研的闭环，将团队的科研产出系统性地转化为可被实践教学直接使用的高质量项目源（图 5），保障实践内容的前沿性、原创性与挑战度。

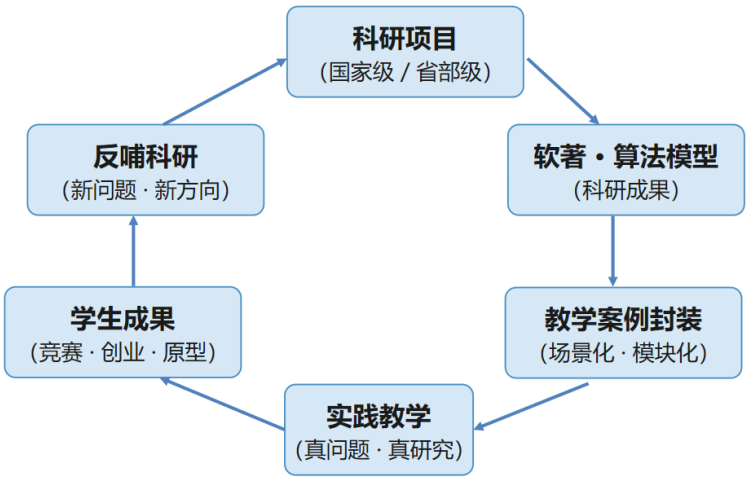


图 5 科研反哺教学闭环转化路径

Fig. 5 Closed-loop transformation path of research feeding teaching

1.7 研究方法

本研究综合采用行动研究法、案例研究法与数据驱动的综合评价法。（1） 行动研究法：以设计—实践—评估—优化螺旋推进，对课程体系、平台功能、协同机制进行持续迭代。（2） 案例研究法：选取试点班级与项目团队作为研究对象，通过观察、访谈、平台过程数据、作品分析等深度追踪改革对学生跨学科能力的影响。（3） 数据驱动的综合评价法：依托平台采集学习过程数据，结合项目成果、竞赛表现、行业评价等，运用科学的分析模型综合评估改革成效。

2 改革实践与初步成效

2.1 课程体系建设进展

在一体两翼架构下，《医药人工智能技术基础》公选课已完成两轮开课，面向全校医药类本科生开设，年均覆盖学生约 500 人；同时，智能医学与智能药学两翼的项目化案例库已初具规模，孵化出一批与团队科研项目直接对接的实践教学案例。

2.2 AI 医药实践云平台部署

基于已有的云实验教学管理平台进行赋能升级，已集成主流大模型 API、团队自主研发的算法库以及经过严格脱敏处理的多模态医药数据，使学生能在近乎真实的产业级环境中开展全链条项目实践。

2.3 教学案例库与科研成果转化

团队已登记《基于知识图谱的疾病辅助诊疗系统 V1.0》《基于大语言模型的糖脂代谢病问答系统 V1.0》《基于多组学测序数据的基因调控位点识别系统 V1.0》《基于 R-shiny 的单细胞表观基因组数据分析系统 V1.0》等 10 项软件著作权，授权《一种基于群体智能的药物-靶标相互作用预测方法》等 5 项发明专利，并已在 Applied Intelligence、BMC Genomics、Sensors 等期刊发表相关论文 20 余篇[14-16]。这些成果系统转化为实践教学可直接调用的教学案例原型与核心算法模块，显著提升了实践内容的前沿性与挑战度。

2.4 学生实践成果与产教融合成效

依托本范式指导学生开展项目化实践，孵化出一批代表性成果：单药安盾—大模型与多算法融合的药物不良反应智能预警平台获第七届中国研究生人工智能创新大赛全国三等奖；莱德医疗—基于大语言模型的糖脂代谢病体检报告分析及诊断问答系统获 2024 年中国大学生计算机设计大赛全国二等奖；城药安联—市域药品安全应急与网格化联动平台获第十一届中国研究生智慧城市技术与

创意设计大赛全国三等奖；牛磺酸通过调控肿瘤相关巨噬细胞 M1 极化抑制三阴性乳腺癌肺转移的机制研究获第十八届挑战杯全国大学生课外学术科技作品竞赛省级特等奖。这些获奖作品直接面向真实医药问题，是科研反哺教学路径有效性的最直接证明。

2.5 教学评价改革实践

采用过程性+终结性综合评价体系，依托平台过程数据、AI 助教学情报告与三螺旋导师组评议，对学生跨学科融合能力、AI 工具应用能力、工程实践能力、创新思维与团队协作能力等多维度进行综合评价（图 6）。多轮评估结果显示，学生在项目完整度、算法工程化、能力跨学科问题定义能力等关键指标上提升显著，综合性评价体系的落地也为持续改进教学模式提供了数据驱动的依据[18]。

3 讨论

本文构建的 AI 驱动医药工交叉融合实践教学新范式，将双引擎+三螺旋+科研反哺作为内核，与同类改革相比，不同点：

（1） 从 AI 工具辅助走向 AI 原生范式

与多数 AI 工具+医药案例的嫁接式改革不同，本范式将大模型与知识图谱视为构建实践教学生态的核心基础设施，强调培养学生在 AI 环境中思考医药问题的原生能力，推动教学目标从学会用 AI 转向与 AI 协同解决医药创新问题。

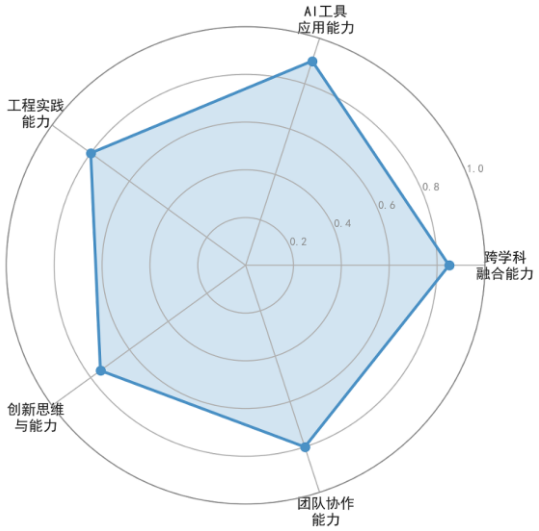


图 6 多维度综合评价指标体系设计

Fig. 6 Design of multi-dimensional comprehensive evaluation index system

（2） 从平台仿真走向数据真实+双引擎驱动

与已有的知识图谱辅助教学系统[13]相比，本范式同步建设大模型智能引擎+知识图谱融合引擎，并接入经严格脱敏的真实多模态医药数据（220 万份流行病学样本+1.2 亿条临床诊疗数据），让学生直面产业级数据挑战，缩短教学与产业之间的差距。

（3） 从产教表面化走向三螺旋深度协同

依托医药学科教师+信息学科教师+行业导师三螺旋导师组，在案例共编—项目共导—成果共评全流程中实现深度嵌入，配合人机协同综合评价体系，形成可持续的产教融合闭环。

同时，本研究也存在一定局限：（1） 改革周期尚短，部分成效（学生能力长期发展、毕业生就业质量等）有待持续跟踪；（2） AI 原生评价标准尚不成熟，过程性数据采集的隐私与伦理边界

需进一步厘清[17]；（3） 新范式对学校信息化基础设施与跨学科师资队伍提出了更高要求，在向不同类型院校推广时需结合校情差异化适配。

4 结论

（1） 针对医药工交叉实践教学课程拼盘化、平台仿真化、协同表面化三大瓶颈，本文提出并实践了以双引擎+三螺旋+科研反哺为内核的人工智能驱动的医药工交叉融合实践教学新范式，形成了基础数据—平台引擎—教学应用—评价反馈四层架构，为破解实践教学改革难题提供了系统化方案。

（2） 新范式以一体两翼方式重构了场景化-模块化课程体系，以大模型+知识图谱双引擎驱动开放式 AI 医药实践云平台，以三螺旋协同机制与人机协同综合评价体系保障产教深度融合，显著提升了实践内容的前沿性、原创性与挑战度。

（3） 教学实践表明，新范式有效提升了学生利用 AI 解决复杂医药问题的交叉创新与实践能力，孵化出一批智能辅助诊疗原型、药物不良反应预警等竞赛成果与软件著作权，并形成了具有推广价值的实践教学方案，可为新医科背景下医药工交叉人才培养提供借鉴。

参考文献

[1] 工业和信息化部, 商务部, 国家卫生健康委, 等. 医药工业数智化转型实施方案（2025—2030 年）: 工信部联消费〔2025〕79 号[Z]. 北京: 工业和信息化部, 2025.

[2] 国务院办公厅. 关于加快医学教育创新发展的指导意见: 国办发〔2020〕34 号[Z]. 北京: 国务院办公厅, 2020.

[3] 教育部. 高等学校人工智能创新行动计划: 教技〔2018〕3 号[Z]. 北京: 教育部, 2018.

[4] 吴 岩. 新工科: 高等工程教育的未来——对高等教育未来的战略考虑[J]. 高等工程教育研究, 2018（6）: 1-7.

[5] 朱永新, 杨 帆. ChatGPT/生成式人工智能与教育创新: 机遇、挑战以及未来[J]. 华东师范大学学报（教育科学版）, 2023, 41（7）: 1-14.

[6] 朱朝阳, 周恒达, 陈张一, 等. 智能时代医学+人工智能课程体系建设实践与探索[J]. 中国高等医学教育, 2026（2）: 10-11,14.

[7] 张洪玉, 黄柯奕, 邱小航. 人工智能辅助的医工交叉实践课程教学改革探索——以生医机械工程探索课程胶囊机器人项目为例[J]. 教学研究, 2026, 49（4）: 85-92.

[8] 梁东雪, 周志雄, 张 栋. AI 赋能体、医、工跨学科融合教学的创新实践——以《运动医学影像处理技术》为例[J]. 进展, 2025（7）: 212-214.

[9] 李 清, 潘 涛, 徐玉霞, 等. 项目式学习促进大学生创新能力培养的教学改革研究[J]. 扬州大学学报（高教研究版）, 2026, 30（4）: 67-75.

[10] 彭 岷, 刘 惠, 徐世中, 等. 聚焦能力交付的跨学科项目式课程群的研究与实践[J]. 高等工程教育研究, 2024（5）: 69-75,101.

[11] 谢宗杰, 毛 超, 潘毅夫. 项目式教学在研究生课堂教学中的理论探索和实践——以企业战略管理课程教学为例[J]. 高等建筑教育, 2025, 34（1）: 150-159.

[12] Krause S, Panchal B H, Ubhe N. Evolution of learning: assessing the transformative impact of generative AI on higher education[J]. Frontiers of Digital Education, 2025, 2（2）: 21.

[13] 张 宇, 王伟明, 李 静, 等. 新医科视域下知识图谱在医学教育中的构建与应用[J]. 中国高校科技, 2024（9）: 78-84.

[14] Yang J, Cai Y, Tang D, et al. Memetic quantum optimization algorithm with Lévy flight for high dimension function optimization[J]. Applied Intelligence, 2022, 52（15）: 17922-17940.

[15] Xu S, Luo Y, Liu Z, et al. Linkage: an interactive web application for linking of DNA regulatory peaks to genes[J]. BMC Genomics, 2025, 26: 890.

[16] Tang D Y, Mao Y J, Zhao J, et al. SEEI: spherical evolution with feedback mechanism for identifying epistatic interactions[J]. BMC Genomics, 2024, 25: 462.

[17] 吴 燕, 顾 丹, 程 曦. 生成式人工智能赋能医学教育改革的路径与挑战[J]. 医学与哲学, 2024, 45（12）: 71-76.

[18] 教育部. 教育部关于一流本科课程建设的实施意见: 教高〔2019〕8 号[Z]. 北京: 教育部, 2019.

基金项目：教育部产学合作协同育人项目智能医学工程实践基地建设（220500643174711）；广东省研究生教育创新计划项目《人工智能实践》教学案例库建设（2024ANLK_053）；广东药科大学校级高等教育教学改革项目。

[1]第 1 作者简介：杨 进（1977-）, 男, 工学博士，副教授，硕士生导师，研究方向: 医药人工智能、知识图谱、智能算法。E-mail: y.jin04@gdpu.edu.cn。

*** 通讯作者简介：**李金城（1984-），男，工学博士，讲师，研究方向: 医药人工智能、知识图谱、智能算法。E-mail: 394428196@qq.com。