高 分 子 通 报
POLYMER BULLETIN

教育与教学 / Education DOI: 10.11687/j.issn1003-3726.2026.26400

人工智能与高分子交叉课程建设探索

王浩然[1*] 杨辰龙[2,3*] 刘 勇[4] 王孟志[4] 丁 筠[1] 刘 玲[1]

([1]北京化工大学材料科学与工程学院 北京 100029)
([2]北京大学第三医院神经外科 血管稳态与重构国家重点实验室 北京 100191)
([3]北京大学医学部精准神经外科与肿瘤研究中心 北京 100191)
([4]北京化工大学信息科学与技术学院 北京 100029)

摘 要 人工智能与高分子的深度融合为科学发展和人才培养带来了新的机遇。本研究以“相互支撑、交叉育人”为主旨，提出由双向支撑学理、课程建设依据与运行机制构成的三层课程建设框架。课堂教学形成6个模块、32学时的递进安排，采取“先基础、再交叉、后应用”的编排，并以问题驱动、原理建构、实验实践、模型探究、设计创造、验证表达6个环节实现课堂知识向学生实践的转化；在运行上探索以多场域育人共同体为框架，链接课堂与研讨、学术会议、学术出版、实验室、校外单位与科创产业等多类场域，以可核验的成果产出为牵引，通过内外双循环实现课程的持续改进与成果延续。本研究可为高分子及相关专业开设人工智能交叉课程提供参考。

关键词 人工智能；高分子；交叉课程；课程建设；教育教学

Investigation of Interdisciplinary Course Construction on Artificial Intelligence and Polymer

Haoran Wang[1*], Chenlong Yang[2,3*], Yong Liu[4], Mengzhi Wang[4], Yun Ding[1], Ling Liu[1]

([1] *College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029*)
([2] *Department of Neurosurgery, State Key Laboratory of Vascular Homeostasis and Remodeling, Peking University Third Hospital, Beijing 100191*)
([3] *Center for Precision Neurosurgery and Oncology, Peking University Health Science Center, Beijing 100191*)
([4] *College of Information Science and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029*)

Abstract The combination of artificial intelligence (AI) and polymer science (PS) brings new opportunities for science and talent development. Based on the idea of “interdisciplinary education and reciprocal support”, this study presents a three-layer course construction framework, covering reciprocal support theory, course construction foundation, and operation mechanism. The 32-hour course content includes six well-organized modules from fundamental knowledge to practical application. Student practice is realized through six phases: problem driving, conceptual construction, experiment and practice, model-based investigation, design and creation, and validation & communication. A multi-environment education community is proposed to connect classes and seminars, academic conferences, academic publishing, laboratories, partner organizations, and industry and companies. In addition, the set of outcome verification and feedback loops (internal and external) allows for continuous improvement and development. This study will be helpful for other interdisciplinary course constructions.

Keywords Artificial intelligence; Polymer; Interdisciplinary course; Course construction; Education and teaching

2026-09-04 收稿, 2026-09-23 录用

基金项目: 中央高校基本科研业务费(基金号 PT2026-13); 北京大学第三医院交叉联合专项基金(基金号 BYSYJC2025027)

* 通信联系人: 王浩然, E-mail: wanghr@buct.edu.cn, wanghr012@163.com; 杨辰龙, E-mail: vik.yang@pku.edu.cn

引用:王浩然, 杨辰龙, 刘勇, 王孟志, 丁筠, 刘玲. 人工智能与高分子交叉课程建设探索. 高分子通报, doi: 10.11687/j.issn1003-3726.2026.26400

Citation: Wang, H, R.; Yang, C. L.; Liu, Y.; Wang, M. Z.; Ding, Y.; Liu, L. Investigation of interdisciplinary course construction on artificial intelligence and polymer. *Polymer Bulletin* (in Chinese), doi: 10.11687/j.issn1003-3726.2026.26400

得益于近些年硬件、算法和大数据的不断发展，人工智能技术对人类社会产生了重大影响，对科学研究、工程设计和知识学习的影响也在不断加深。对高分子学科而言，其复杂物质系统、多尺度结构、加工过程依赖以及应用广泛等特点为人工智能理解和进入现实物理世界提供了基础；反之，人工智能则为高分子学科领域的数据表征、关联学习、扩展知识、结构设计、性能预测和候选筛选提供了新的方法。因此，二者的结合为科学发展和人才培养带来了新的机遇。

人工智能和高分子相关交叉领域的3个前沿进展如图1所示。图1(a)展示了一种由人工智能驱动的高分子研究机器学习流程；该流程将多样的高分子实验数据转化为可验证且可预测的结果，形成了一套完整研发链条[1]。图1(b)展示了一种面向聚酯多任务预测的图神经网络架构；该项工作表明人工智能与高分子研发体系交叉的关键不仅在于模型算法的选择应用，更在于构建与高分子的多层级特征相适配的表征体系[2]。图1(c)展示了一种用于材料研发的闭环自主实验室平台；该平台每一轮生成的实验结果能够持续地用来修正下一轮的实验决策[3]。该案例虽然源自无机材料研发，但是其思路可以直接迁移至许多高分子体系。可见，人工智能正在与高分子的科研体系深入融合；这种先进研究范式的演进对兼具高分子专业基础与人工智能素养的交叉人才培养提出了新的期待[1~3]。

近年来，人工智能赋能高分子相关课程教学、科教融合课程建设和教学多元评价机制等方面已有一些进展[4~6]。这些工作说明人工智能可以进入高分子专业课程，也为培养学生的数据思维与交叉视野提供了可行路径。但2个学科的融合多停留在教学环节的局部改造，尚未深入到知识组织的层面。围绕2门学科在科研与工程实践中的真实问题，把知识教学与实践教学连成一条贯通的链条，正是交叉课程有待建设的方向。

综上，本研究立足于高分子物质系统和人工智能信息系统的学科特点，探讨“人工智能与高分子”交叉课程的建设。课程以真实科学与工程问题贯通原理学习、模型探究、实验实践、设计创造与验证表达，实现课堂知识向学生实践转化。课堂教学从学科基础知识与方法出发，逐步扩展到交叉应用与案例分析，形成6个递进教学模块。课程建设提出多场域育人共同体运行方法，联合课堂教学、学术交流及各类校内外协同育人场域，使课程实践、资源积累与成果延续一体推进。本研究进一步提出2个学科“相互支撑、交叉育人”的建设理念，引导学生在高分子原理、人工智能方法与实验实践中夯实专业基础、发展创新能力、涵养责任担当，走向更加广阔的科学研究、工程实践与产业创新天地，为人类社会科学进步和更加美好的生活贡献智慧与力量。

1 交叉课程建设的系统框架

基于2门学科的内在联系与课程实施需求，本课程以“相互支撑、交叉育人”为主旨，通过三层框架进行系统建设(图2)。第一层为高分子与人工智能的双向支撑关系，阐明交叉课程的学理基础；第二层为课程建设依据，包括学科发展前沿、人才培养需求、真实问题牵引、学生知识基础、教学资源条件和工程实践需求；第三层为由六环节教学闭环、多场域育人共同体和内外双循环发展路线形成的运行机制。三层之间依次衔接：交叉学理界定课程内容，建设依据校准任务范围与学习要求，运行机制保障课程实践、成果积累与持续改进。在课程教学中，人工智能方法与高分子原理围绕同一问题相互约束：前者提供表征与推断手段，后者限定数据含义、验证路径和结论边界，交叉课程的主体性由此在真实知识实践中确立。

2门学科进行交叉的基础来自方法论上的契合。高分子学科主要研究“物质如何由分子结构形成宏观功能”，具有复杂物质系统、多尺度特征、过程依赖性以及科学性与工程性高度统一等特点；人工智能学科主要研究“信息如何由数据表征形成模型能力”，具有复杂信息系统的特征，依托模型构建与算法算力支撑，擅长处理复杂关联。尽管具有不同特点，2门学科却具有“由微小(底部)单元的组合规律推演系统层面涌现行为”的共同基础。近年来，人工智能的发展催生出了新的科学研究范式[7]，形成了整合

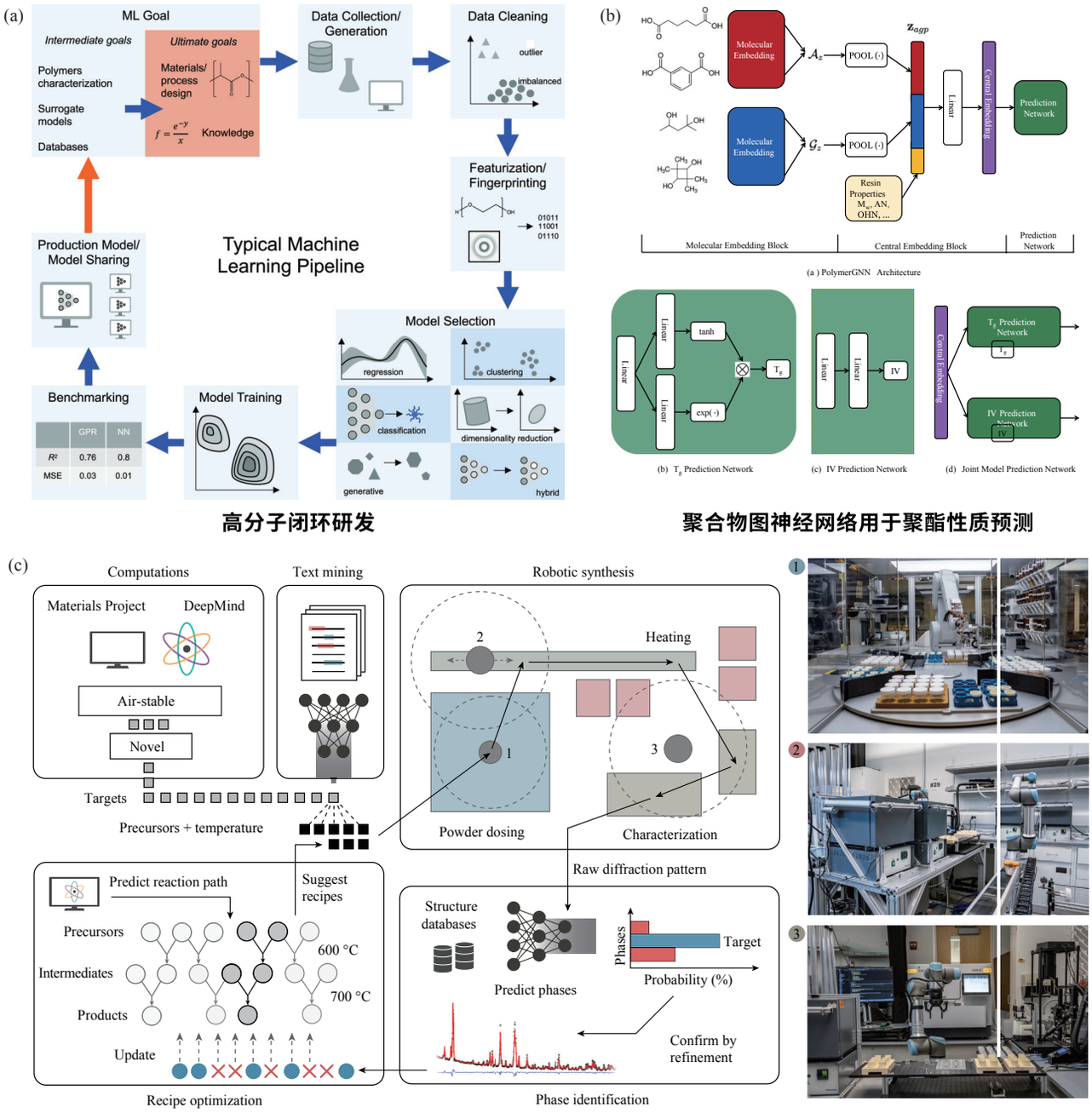

图 1 人工智能驱动的高分子科学研究介绍：(a)一种用于高分子研发的典型机器学习流程[1] (Reprinted under the terms of CC-BY Creative Commons Attribution 4.0 International License, 2023 American Chemical Society 出版开源文献)；(b)一种用于聚酯性质预测的聚合物图神经网络架构[2] (Reprinted under the terms of CC-BY Creative Commons Attribution 4.0 International License, 2023 Springer Nature 出版开源文献)；(c)一种用于新材料研发的自驱动实验室[3] (Reprinted under the terms of CC-BY Creative Commons Attribution 4.0 International License, 2023 Springer Nature 出版开源文献)

Fig. 1 Introduction of AI-driven polymer research and development: (a) A typical machine-learning research protocol for polymers[1] (Reprinted under the terms of CC-BY Creative Commons Attribution 4.0 International License, published in (2023) by American Chemical Society); (b) A graph neural network architecture for property prediction of polyesters[2] (Reprinted under the terms of CC-BY Creative Commons Attribution 4.0 International License, Copyright (2023) the Authors, published by Springer Nature); (c) An autonomous laboratory platform for new material development[3] (Reprinted under the terms of CC-BY Creative Commons Attribution 4.0 International License, Copyright (2023) the Authors, published by Springer Nature)

高分子科学、数据科学与人工智能方法的高分子信息学[8]；自驱动实验室又前进一步，把人工智能方法、机器人系统与控制软件统筹整合于一体，实现了实验室的升级[9]。并且，高分子为人工智能进入物理世

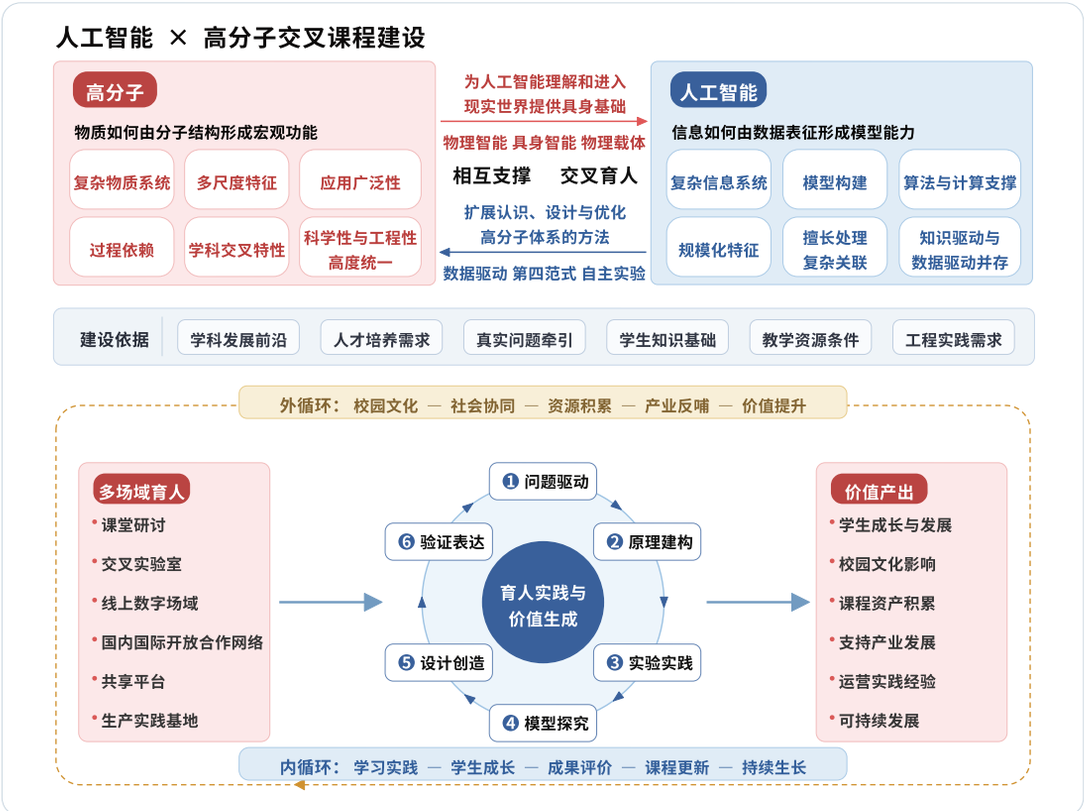

图 2 “人工智能×高分子”交叉课程建设的系统框架

Fig. 2 System framework for the construction of the “AI × Polymer” interdisciplinary course

界提供了理论基础和物质载体。智能软物质集感知、记忆与驱动功能于一身，材料依靠本体性质即可实现智能响应乃至完成“计算”，这被认为是通向具身智能的路径之一[10]；此外，高分子柔性智能材料改善了机器人系统的适应性与触觉感知，为感知、驱动与具身智能之间建立闭环提供了方案[11]。

2 课堂教学与知识实践转化

在课程教学中，已经形成6个模块、32学时的授课内容，如图3所示。国际同类交叉课程的建设经验表明，人工智能工具应分阶段呈现，以降低学生的学习负担，并使用学生熟悉的本学科数据集和应用情境衔接专业知识[12]；本课程据此采取“先基础、再交叉、后应用”的课程安排。在导入模块M0，课程以人工智能背景、人工智能概念和学科交叉融合3个分支，依次回答“为什么学习交叉课程?”“人工智能的基本内涵是什么?”“2个学科如何发生联系?”。学习动因从科研前沿、工程问题和能力发展展开，自驱动实验室案例使学生在第一次课上即可看到人工智能在化学与高分子相关领域形成的研究范式[9]，从而建立对课程问题链的整体认识。下一个模块M1为“高分子学科基础”，内容主要包括高分子基本概念与发展历史、聚合反应机理与工艺和高分子结构、性能与材料。模块M2为机器学习基础，包含机器学习流程、知识与知识表示、机器学习模型3个分模块。其中，知识与知识表示分模块的内容介绍了高分子复杂体系如何转变为机器可以学习的知识内容，并以OpenPoly等公开数据库为例，帮助学生了解表征方法的构造与局限[13,14]；模块M3由生物神经元和生物神经网络过渡到人工神经网络，逐步讲授卷积网络、图神经网络、生成模型、循环网络、记忆与注意力机制。模块M4集中呈现2个学科交叉形成的新型研究范式与应用案例。模块M5完成知识实践转化：决策树案例训练机器学习建模基本功，图神经网络案例训练分子图构建与环境搭建，性质预测案例贯通数据、训练与预测的完整流程。上述课程内容的编排借鉴了国内同类实践课程和人工智能辅助实验课程的建设经验[15,16]。

3 多场域协同育人共同体

课程的良好运行不仅在于课堂的知识传授，还在于多场域协同育人(图4)。多场域育人共同体链接课堂与研讨、学术会议、学术出版、实验室、校外单位与科创产业6类场域；维系愿景、目标、资源、责任与发展五重纽带；承载愿景融通、资源对接、联动沟



图 3 “人工智能与高分子”交叉课程内容与教学进度安排

Fig. 3 Knowledge content and teaching schedule of the “AI and Polymer” interdisciplinary course

通、激励提升与主体权责5项机制；支持教学、学术、科创与育人4类成果的形成与沉淀。共同体由此成为承载课程运行、教师协同、学生实践和成果复用的平台。实践过程是学生学习的重要部分。贯穿学生的整个学习阶段，实践过程最好具备5个基础模块(图4)：(1)大语言模型的应用与智能体构建模块，该模块以大语言模型为核心，集成文献检索、方案规划、算法开发、代码执行与自动化实验，相关研究表明使用大语言模型及相关智能体，已能将自然语言指令转化为可执行的合成方案并由自动化平台完成验证，并应用于有机合成与材料设计[17,18]；(2)高分子合成与制备和(3)测试与表征2个模块承担高分子学科基础实验能力训练；(2和3两部分内容已被现有实验课程所涵盖)；(4)模拟、物理人工智能与具身智能模块上承课程教学中有关人工智能的方法内容，下接“设计—合成—测试—人工智能学习”的闭环实验形态，也是第2节所述高分子为人工智能提供理论基础和物质载体这一路径在实验室的实践落点；(5)工程应用

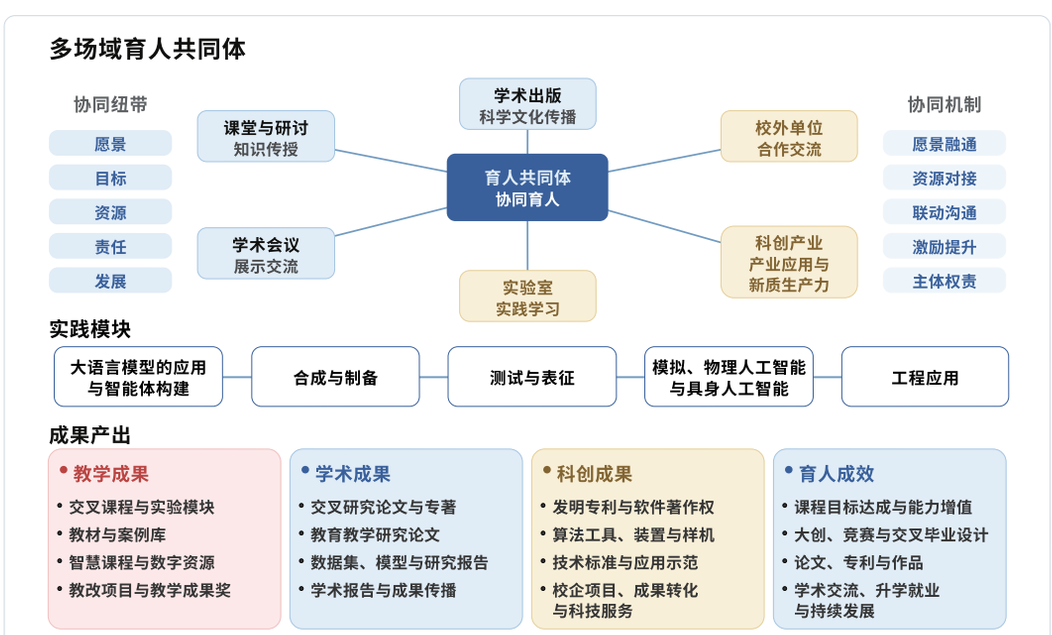

图 4 多场域育人共同体与成果产出

Fig. 4 Multi-environment education community and achievement production

模块则为知识实践转化提供切合工程实际的问题来源。

6类场域的协同由共享目标、任务资源与反馈机制共同维系(图4)。课堂与研讨负责概念建构和方法训练，学术会议、学术出版与国际交流承担成果表达、同行质询和学术规范学习，校外单位与科创产业则提供真实问题及工程约束。课程在对接校外单位与科创产业时，建立“真实问题引入课程、阶段成果反馈合作”的双向协同机制。本课程依托与北京大学第三医院围绕医用高分子智能设计开展的科研合作，对合作研究中的真实问题进行简化与教学化重构，作为学生开展交叉研究的课题来源；学生形成的阶段性建模结果则反馈至合作研究(图5)。由此，科研问题转化为课程内容，学生学习成果也可为后续研究提供新的思路，使校外协同在人才培养与科研探索2个层面形成双向价值。



图 5 人工智能驱动的多功能医用导管研发框架

Fig. 5 AI-driven research framework for the development of multifunctional medical catheters

4 育人成效与持续提升

课程的成果产出与价值生成机制如图2和图4所示。课堂研讨、实验室、线上数字场域、共享平台、生产实践基地与国内国际开放合作网络等多类场域，为学生提供真实问题与实践条件；问题驱动、原理建构、实验实践、模型探究、设计创造与验证表达6个环节，则将这些条件转化为可见产出，构成“育人实践与价值生成”的核心闭环。图4将成果分为4类，其差别不在形态，而在归属与去向。教学成果留存于课程内部，包括交叉课程与实验模块、教材与案例库、智慧课程与数字资源、教改项目与教学成果奖；学术成果进入学科共同体，包括交叉研究论文与专著、教育教学研究论文、数据集、模型与研究报告，以及学术报告与成果传播；科创成果面向工程实践，包括发明专利与软件著作权、算法工具、装置与样机、技术标准与应用示范以及校企合作成果；育人成效则附着于学生本人，表现为课程目标达成与能力增值、创新训练与交叉毕业设计、论文专利与作品，以及学术交流、升学就业与持续发展。经质量审核、贡献确认和边界审查的成熟成果，可进入后续课程、创新训练、交叉毕业设计或科研合作；学生成果只有在新的教学与研究情境中被再次使用，才真正实现由一次性作业向课程资产的转化。

成果可以列出归纳，价值则需时间显现。学生成长与发展、校园文化影响、课程资产积累、支持产业发展、运营实践经验与可持续发展六项价值产出如图2所示，是4类成果经积累和沉淀后的价值显现，其显现周期长短不一：教学成果一个学期即可见，课程改进的周期通常为一年，育人成效则需更长时间方能由升学、就业与职业发展加以验证。正因存在这一时间尺度上的差异，课程的持续提升需由内外双循环共同完成。内循环沿“学习实践—学生成长—成果评价—课程更新—持续生长”运行，依据课程目标达成度与答辩记录等可即时获取的指标定位薄弱环节，据此调整模块权重与案例选取，图3所示的课程

内容与教学进度安排亦随之更新版本。外循环沿“校园文化—社会协同—资源积累—产业反哺—价值提升”运行，依据校外单位与科创产业的问题输入以及学术会议与国际交流的同行反馈，校准课程目标是否仍与真实需求相符。内循环使课程在既定目标上不断精进，外循环使这一目标始终朝向真实需求。六项价值产出中，学生成长与发展居于首位，而它同时又是内循环的组成环节；这一重合说明学生每一轮的成长既是课程的产出，也是课程改进的依据。就本课程而言，首轮教学结束后已依据达成度数据与学生反馈，在下一轮增设课前编程预备资源包并调整了案例选取；育人成效的显现尚需时日，有待后续轮次与毕业生的成长轨迹逐步印证。

5 结语

围绕人工智能与高分子的交叉课程建设，提出并实践了“相互支撑、交叉育人”的建设理念。在学理层面，课程确立了2门学科的双向支撑关系：人工智能为认识、设计与优化高分子体系提供新的方法，高分子则为人工智能进入物理世界提供理论基础与物质载体，二者在课程教学中互为研究对象。在内容层面，课程形成6个模块、32学时的教学安排，按“先基础、再交叉、后应用”逐级展开，并以问题驱动至验证表达的6个环节实现课堂知识向学生实践的转化。在运行层面，课程探索以多场域育人共同体为中枢，联结课堂与研讨、学术会议、学术出版、实验室、校外单位与科创产业等多类场域，使教学、学术、科创与育人4类成果得以沉淀，并通过内外双循环实现持续更新。课程的长期运行还需通过任务共建、资源维护、教师协同和成果复用形成稳定的工作机制，使课程建设由单次实施转向可积累、可检验和可迭代的长期实践。

参 考 文 献

1 Martin, T. B.; Audus, D. J. Emerging trends in machine learning: a polymer perspective. *ACS Polym. Au*, **2023**, 3(3), 239−258.

2 Queen, O.; McCarver, G. A.; Thatigotla, S.; Abolins, B. P.; Brown, C. L.; Maroulas, V.; Vogiatzis, K. D. Polymer graph neural networks for multitask property learning. *npj Comput. Mater.*, **2023**, 9, 90.

3 Szymanski, N. J.; Rendy, B.; Fei, Y. X.; Kumar, R. E.; He, T. J.; Milsted, D.; McDermott, M. J.; Gallant, M.; Cubuk, E. D.; Merchant, A.; Kim, H.; Jain, A.; Bartel, C. J.; Persson, K.; Zeng, Y.; Ceder, G. An autonomous laboratory for the accelerated synthesis of inorganic materials. *Nature*, **2023**, 624(7990), 86−91.

4 丁海, 和淑文, 王利丹, 李发闯, 闵志宇, 曹伟. 人工智能技术在《高分子材料》课程中的教学应用与探索. 高分子通报, **2025**, 38(10), 1567−1575.

5 隋刚, 王亚琴, 王双红, 段顺, 张晨. 基于科教融合的高分子材料与工程一流专业创新人才培养探索. 高分子通报, **2025**, 38(3), 509−514.

6 夏天, 李又兵, 吕文晏, 杨屹, 朱海娥. 工程教育背景下《高分子物理》多元化课程评价体系探讨. 高分子通报, **2024**, 37(7), 974−978.

7 Xie, C. H.; Qiu, H. K.; Liu, L.; You, Y.; Li, H. F.; Li, Y. Q.; Sun, Z. Y.; Lin, J. P.; An, L. J. Machine learning approaches in polymer science: progress and fundamental for a new paradigm. *SmartMat*, **2025**, 6, e1320.

8 Ge, W.; De Silva, R.; Fan, Y. N.; Sisson, S. A.; Stenzel, M. H. Machine learning in polymer research. *Adv. Mater.*, **2025**, 37(11), 2413695.

9 Tom, G.; Schmid, S. P.; Baird, S. G.; Cao, Y.; Darvish, K.; Hao, H.; Lo, S.; Pablo-García, S.; Rajaonson, E. M.; Skreta, M.; Yoshikawa, N.; Corapi, S.; Akkoc, G. D.; Strieth-Kalthoff, F.; Seifrid, M.; Aspuru-Guzik, A. Self-driving laboratories for chemistry and materials science. *Chem. Rev.*, **2024**, 124(16), 9633−9732.

10 Baulin, V. A.; Giacometti, A.; Fedosov, D. A.; Ebbens, S.; Varela-Rosales, N. R.; Feliu, N.; Chowdhury, M.; Hu, M. H.; Füchslin, R.; Dijkstra, M.; Mussel, M.; van Roij, R.; Xie, D.; Tzanov, V.; Zu, M. J.; Hidalgo-Caballero, S.; Yuan, Y.; Cocconi, L.; Ghim, C. M.; Cottin-Bizonne, C.; Miguel, M. C.; Esplandiu, M. J.; Simmchen, J.; Parak, W. J.; Werner, M.; Gompper, G.; Hanczyc, M. M. Intelligent soft matter: towards embodied intelligence. *Soft Matter*, **2025**, 21(21), 4129−4145.

11 Castro, N.; Costa, C. M.; Bicho, E.; Lanceros-Mendez, S. Polymer-based smart materials for adaptive and sustainable robotic systems: a review. *RSC Appl. Polym.*, **2026**, 4(3), 923−942.

12 Zheng, Z. L. Developing an AI course for synthetic chemistry students. *J. Chem. Educ.*, **2026**, 103(5), 2621−2633.

13 Ma, R. M.; Luo, T. F. PI1M: a benchmark database for polymer informatics. *J. Chem. Inf. Model.*, **2020**, 60(10), 4684−4690.

14 Wang, J. F.; Sun, Y. B.; Chen, Q. T.; Ji, F. F.; Song, Y. Y.; Ruan, M. Y.; Wang, Y. OpenPoly: a polymer database empowering benchmarking and multi-property predictions. *Chinese J. Polym. Sci.*, **2025**, 43(10), 1749−1760.

15 仝维鋆, 李寒莹, 张兴宏, 刘建钊, 吴子良. 科教融合的《高分子材料设计与实践》课程的建设探索. 高分子通报, **2025**, 38(3), 504−508.

16 佘砚, 庄启昕, 张浩然, 左沛元, 顾金楼, 滕鑫. 数智化时代生成式AI助力材料专业实验课程探索研究. 高分子通报, **2025**,

38(6), 958−966.

17 Bran, A. M.; Cox, S.; Schilter, O.; Baldassari, C.; White, A. D.; Schwaller, P. Augmenting large language models with chemistry tools. *Nat. Mach. Intell.*, **2024**, 6(5), 525−535.

18 Boiko, D. A.; MacKnight, R.; Kline, B.; Gomes, G. Autonomous chemical research with large language models. *Nature*, **2023**, 624(7992), 570−578.