

碳储科学与工程专业项目制课程教学大纲设计

——以碳封存技术开发与应用为例

陈强^{1,2*}, 罗永江^{1,2}, 刘晓茜^{1,2}, 陈孝君^{1,2}, 田键^{1,2}, 廖志伟^{1,2}, 秦朝中^{1,2}

¹重庆大学资源与安全学院, 重庆

²重庆大学煤矿灾害动力学与控制全国重点实验室, 重庆

收稿日期: 2026年4月2日; 录用日期: 2026年5月2日; 发布日期: 2026年5月11日

摘要

在“双碳”目标与新工科建设背景下, 碳储科学与工程专业对学生工程实践能力、综合分析能力和技术方案设计能力提出了更高要求。《碳封存技术开发与应用》作为高年级专业课程, 具有多学科交叉、工程应用性强、知识综合程度高等特点, 但传统教学中仍存在教学内容碎片化、实践情境不足、考核方式偏重结果评价等问题, 难以有效支撑学生解决复杂工程问题能力的形成。结合项目式教学理念, 围绕课程定位、课程目标、教学内容、实施流程、考核评价和持续改进机制, 对重庆大学《碳封存技术开发与应用》课程教学大纲进行了系统设计。课程依托“二氧化碳地质封存”教学团队, 将前置课程知识、实验训练、数值模拟和工程选题有机衔接, 构建“知识准备-实验与软件训练-自主选题开发-技术方案形成-公开答辩”的项目制教学链条, 增强学术型学生综合运用地质、力学、渗流、监测与数值模拟方法开展碳封存技术开发的能力。

关键词

项目制教学, 碳封存, 教学大纲, 碳储科学与工程, 新工科

Design of Project-Based Course Syllabi for the Carbon Storage Science and Engineering Major

—A Case Study of Carbon Sequestration Technology Development and Application

Qiang Chen^{1,2*}, Yongjiang Luo^{1,2}, Xiaoqian Liu^{1,2}, Xiaojun Chen^{1,2}, Jian Tian^{1,2}, Zhiwei Liao^{1,2}, Chaozhong Qin^{1,2}

¹School of Resources and Safety Engineering, Chongqing University, Chongqing

*通讯作者。

文章引用: 陈强, 罗永江, 刘晓茜, 陈孝君, 田键, 廖志伟, 秦朝中. 碳储科学与工程专业项目制课程教学大纲设计[J]. 教育进展, 2026, 16(5): 421-427. DOI: 10.12677/ae.2026.165874

Abstract

Under the context of “Dual Carbon” goals and the development of New Engineering Education, the Carbon Science and Engineering major has set higher requirements for students’ engineering practice, comprehensive analysis, and technical design capabilities. As a specialized elective course for senior students, “Carbon Sequestration Technology Development and Application” is characterized by its interdisciplinary nature, strong engineering orientation, and high degree of knowledge integration. However, traditional teaching models still face challenges such as fragmented content, insufficient practical scenarios, and an over-reliance on summative result evaluation, which hinder the effective cultivation of students’ ability to solve complex engineering problems. Integrating the philosophy of Project-Based Learning (PBL), this paper systematically designs a new course syllabus focusing on course positioning, objectives, content, implementation processes, assessment methods, and continuous improvement mechanisms. Relying on the “CO₂ Geological Sequestration” teaching team, the course bridges prerequisite knowledge, experimental training, numerical simulation, and engineering topics. It constructs a project-based teaching chain consisting of “Knowledge Preparation-Experimental and Software Training-Autonomous Topic Selection-Technical Scheme Formulation-Public Defense”. This approach aims to enhance academic students’ comprehensive ability to develop carbon sequestration technologies by synthesizing methods from geology, mechanics, flow in porous media, monitoring, and numerical simulation.

Keywords

Project-Based Learning (PBL), Carbon Sequestration, Syllabus, Carbon Science and Engineering, New Engineering Education

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在“双碳”战略持续推进和新工科建设不断深化的背景下，高校工程类专业人才培养正由知识传授导向加快转向能力培养导向，课程体系建设也更加重视面向真实工程场景的综合训练。碳储科学与工程专业聚焦碳捕集、碳利用、碳封存(Carbon Capture, Utilization and Storage, 简称 CCUS)全链条及其延伸场景，涉及资源、能源、地质、化工、环境、安全、经济等多个学科专业，具有显著的多学科交叉特征 [1]-[6]。这类专业不仅要求学生掌握扎实的理论基础，更要求其具备在复杂约束条件下开展工程分析、技术设计和方案论证的能力。因此，如何围绕工程问题重构课程教学内容与组织方式，已成为碳储科学与工程专业课程建设中的核心议题。

《碳封存技术开发与应用》是面向重庆大学碳储科学与工程专业高年级学术型学生开设的一门专业课程，设置 64 学时，课程内容涵盖储层与盖层评价、井筒完整性分析、流体运移与压力响应预测、封存容量优化设计、泄漏风险控制以及强化能源开发效益分析等多个模块，具有知识跨度大、工程属性强、综合要求高等特点。若仍采用传统的“章节讲授 + 课后作业 + 期末考试”教学模式，虽然能够在一定

程度上完成知识传递，但往往难以将离散知识整合为面向真实工程场景的技术方案，学生也较难在学习过程中形成持续探究、团队协作和综合表达能力。对于交叉工程类课程，单纯依赖讲授式教学容易造成知识组织碎片化、实践情境弱化和考核结果偏知识记忆而轻能力表现的问题[7]-[10]。因此，仅从知识点覆盖角度设计教学大纲，已难以满足新工科背景下碳储专业人才培养的实际需求。

在此背景下，项目制教学为工程类课程改革提供了重要思路。国际工程教育研究表明，项目式学习或项目制教学并非简单地在课程末端附加一个设计任务，而是一种以真实问题或项目任务为驱动、以学生主动建构为核心、以阶段成果输出和反思改进为特征的教学组织方式。Blumenfeld 等指出，项目式学习的关键价值在于把学习过程嵌入有意义的问题解决与成果产出之中，通过持续探究支撑学生的学习动机和高阶认知发展[11]；Thomas 进一步强调，项目应具有真实性、复杂性、问题驱动性和成果导向性，否则就会退化为传统教学后的附属练习[12]。在工程教育场景中，de Graaff 和 Kolmos 认为，PBL 通常具有以问题为起点、强调学生主体性、突出跨学科整合和依托团队协作开展项目研究等典型特征[13]；Prince 和 Felder 则将项目式学习、问题式学习等纳入归纳式教学体系，指出其更适合培养学生在复杂情境中综合运用知识的能力[14]。

基于上述认识，笔者以重庆大学《碳封存技术开发与应用》课程为对象，在分析传统教学中存在的知识组织分散、工程情境不足、过程评价薄弱等问题的基础上，依托碳储科学与工程专业已有课程体系、科研平台和教学团队，提出项目制驱动的课程教学大纲设计方案，为碳储科学与工程专业高年级课程建设提供一种可操作、可评价、可持续改进的教学大纲设计思路，也为新工科背景下交叉工程类课程的项目制改革提供参考。

2. 课程教学中存在的主要问题

2.1. 教学内容综合性强，知识组织偏分散

碳封存工程涉及储层条件评价、盖层密封性分析、井筒完整性控制、流体运移模拟、风险预测与监测优化等多个环节，知识之间具有明显的耦合关系。传统教学中，课程内容往往按章节平行展开，知识点之间缺乏统一的工程问题牵引，导致学生对单个知识点有所了解，但难以形成系统的工程认知[15]。

2.2. 实践性要求较高，课堂教学真实性不足

该课程本质上是一门技术开发与应用类课程，目标不应止于“知道原理”，而应进一步达到“会分析问题、会设计方案、会开展论证”。然而在传统教学方式下，课堂主要以教师讲授为主，学生参与度有限，实验训练、软件训练与课程内容之间衔接不够紧密，工程情境不强，难以有效调动学生主动学习和综合应用的积极性。

2.3. 考核方式偏重终结评价，能力导向体现不足

单一结果性评价不利于反映学生在问题分析、资料整理、团队协作和方案设计等方面的真实表现，应加强过程性评价和多元评价。目前若仅以期末考试为主，往往只能考查学生对知识点的记忆和理解程度，难以全面评价学生解决复杂工程问题的能力。

2.4. 传统教学大纲重知识安排，轻项目链条设计

从教学大纲编制角度看，传统课程大纲更强调教学内容、学时分配和考核办法，但对“以什么项目驱动教学”“各教学环节如何支撑课程目标”“学生最终形成什么成果”等问题呈现不够充分。工程教育背景下的课程大纲设计应强化课程目标与教学内容、考核方式之间的对应关系，并形成可实施、可评价、

可改进的闭环。

3. 项目制课程实施基础

重庆大学是全国首批开设碳储科学与工程专业的高校，2022 年开始招收首届本科生，2022~2025 年期间软科排名蝉联全国第一、A+专业。依托重庆大学碳储科学与工程专业人才培养方案，大二先修了专业基础课《碳中和概论》《碳储地质学》《岩石力学》《地球物理学》《流体力学》等，已大幅提升学生专业知识储备；大二、大三开设了理论课《二氧化碳地质封存》、科研实践课《碳储科学与工程创新实践(I、II)》《碳储综合实验课(I、II)》，同时大三期间学生完成了以“二氧化碳地质封存机理、二氧化碳地质封存体稳定性预测、二氧化碳封存地质体选址、地质封存二氧化碳泄漏与安全性评价”为核心知识点的课程学习与科研训练项目，为《碳封存技术开发与应用》实施项目制教学提供了较为完整的课程体系支撑(图 1)。

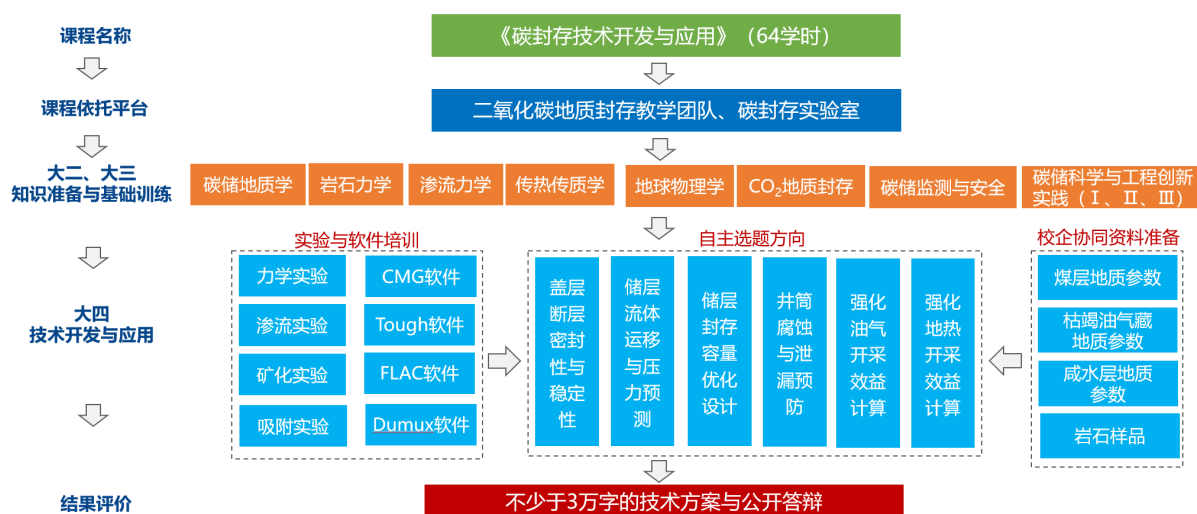


Figure 1. Foundations and development strategies for the PBL course on “Carbon Sequestration Technology Development and Application”

图 1. 《碳封存技术开发与应用》项目制课程的实施基础与建设思路

从平台与科研条件看，重庆大学资源与安全学院作为碳储科学与工程专业人才培养的主体单位，拥有矿业工程、安全科学与工程等一级学科博士学位授权点，建有全国重点实验室、国家工程实验室，在煤层、油气层二氧化碳地质封存研究方面布局较早，并在二氧化碳捕集、二氧化碳强化煤层气/页岩气开采及地下封存一体化、二氧化碳地质封存等方面形成了较为扎实的科研积累。近年，相关团队承担了多项国家重点研发计划项目、国家自然科学基金项目，并与国家能源集团、神华集团、中石油、中石化、中海油、延长油田等单位建立了工程技术合作关系。这些科研平台、项目资源与行业联系，为课程项目选题、工程案例引入、实验条件配置和真实资料支撑提供了良好基础。

4. 项目制驱动的课程教学大纲设计

4.1. 明确课程定位与课程目标

《碳封存技术开发与应用》定位为碳储专业大四学年的专业选修课程，总学时为 64 学时。课程目标应由传统的知识性目标拓展为知识、能力和素质相结合的综合目标：一是系统掌握碳封存工程中储层、盖层、井筒、监测与安全等方面的基础知识；二是能够综合运用实验、数值模拟和资料分析方法开展工

程问题分析与方案设计；三是能够完成技术报告撰写、项目展示和公开答辩，形成较好的团队协作与工程表达能力。

4.2. 构建“项目任务链”式教学内容体系

结合课程框架，课程内容可按照“知识准备 - 技能训练 - 项目开发 - 成果展示”四个阶段组织。第一阶段重点学习碳储地质学、岩石力学、渗流力学、传热传质学、地球物理学、二氧化碳地质封存和监测安全等基础知识，帮助学生建立碳封存工程问题的总体认知。第二阶段依托“二氧化碳地质封存”教学团队与实验室，组织学生开展力学实验、渗流实验、矿化实验和吸附实验，并结合 CMG、TOUGH、FLAC、Dumux 等软件训练，使学生掌握后续项目开发所需的基本方法与工具。第三阶段围绕盖层断层密封性与稳定性、储层流体运移与压力预测、储层封存容量优化设计、井筒腐蚀与泄漏预防、强化油气开发效益计算、强化地热开发效益计算等方向开展自主选题开发。第四阶段形成技术方案书并完成公开答辩，实现由“知识学习”向“成果形成”的转变。

4.3. 强化课程内容与项目任务的对应关系

项目制教学的关键不在于简单增加一个课程设计环节，而在于实现课程目标、教学内容和项目任务之间的全过程对应[15]-[17]。对于盖层断层密封性与稳定性项目，应重点支撑岩石力学、渗流力学和监测安全知识；对于储层流体运移与压力预测项目，应重点调用渗流理论、传热传质理论及数值模拟方法；对于井筒腐蚀与泄漏预防项目，则应突出井筒完整性、材料腐蚀和风险控制内容。通过这种对应设计，可使学生明确各模块知识在工程任务中的具体作用，增强课程学习的目的性和系统性。

4.4. 突出真实工程情境与自主探究

项目制课程应尽可能引入真实或准真实工程背景，可围绕煤层、枯竭油气藏和咸水层等典型封存对象，构建标准化项目资料包，为学生项目开发提供基础参数、样品信息和工程情境。教师在教学过程中不再只是知识传授者，更是项目组织者和过程指导者，通过阶段汇报、方案研讨和过程反馈，引导学生在资料搜集、参数分析、模型构建和方案比选中逐步形成独立分析能力。重庆大学前期围绕《二氧化碳地质封存》课程提出的“项目基础训练 - 项目应用训练 - 项目开发训练”三层次组织思路，也可直接转化为本课程的项目推进路径。

4.5. 融入课程思政与工程责任教育

碳封存课程天然具有服务国家“双碳”战略和能源转型的时代背景。项目设计中可将课程思政融入三个层面：一是在项目导入阶段，引导学生认识碳减排、能源安全与地质封存的国需求；二是在方案设计阶段，引导学生理解技术可行性、经济性与安全性之间的平衡，树立工程责任意识；三是在成果答辩阶段，强调数据真实性、结论边界和学术诚信，培养严谨求实的工程职业素养。

5. 项目制课程的考核评价与实施保障

5.1. 建立过程性评价和结果性评价相结合的考核体系

本课程考核应坚持过程性评价和结果性评价相结合，更加注重学生分析问题、解决问题能力的形成。总评可由平时参与、实验与软件训练、中期汇报、技术方案书和终期答辩共同构成。平时参与重点考查学生的课堂投入和项目推进情况；实验与软件训练考查方法掌握程度；中期汇报考查问题分析与项目进展；技术方案书重点评价工程分析深度、方案完整性和规范性；终期答辩则重点考查学生的综合表达、逻辑应答和团队协作水平。

5.2. 建立课程目标达成与持续改进机制

课程大纲设计不能停留在教学安排层面，还应建立目标达成评价和持续改进机制。本课程可根据各考核环节与课程目标的对应关系，分析学生在工程认知、方案设计和综合表达等方面的达成情况，并通过学生反馈、教师研讨和项目成果分析，对下一轮课程的选题设置、资料准备、训练内容和评价办法进行调整优化，形成“教学实施 - 效果评价 - 问题反馈 - 持续改进”的闭环。

5.3. 完善课程实施保障条件

项目制课程顺利实施，需要实验平台、软件条件、案例资源和师资队伍共同支撑。课程应依托二氧化碳地质封存教学团队与碳封存实验室，持续完善实验项目和软件训练内容；同时构建由地质、力学、渗流、模拟和工程应用教师共同参与的课程团队，增强对学生项目开发的全过程指导能力。必要时，可邀请企业工程技术人员参与中期评议和终期答辩，以提高课程成果的工程导向性和真实性。

6. 项目制课程实施挑战与应对策略

6.1. 项目任务复杂度较高，学生能力差异可能导致参与不均衡

碳封存技术开发与应用课程涉及地质、力学、渗流、监测和数值模拟等多学科知识，不同学生在理论基础、软件能力和工程理解方面存在明显差异。若项目任务设置过大、过难，容易造成少数学生承担主要分析工作、部分学生处于“边缘参与”状态，从而削弱项目制教学的整体效果。对此，可采用“分层任务 + 阶段递进”的组织方式，即前期以基础训练项目帮助学生完成共同的知识唤醒和方法熟悉，中期通过分工设置资料整理、实验验证、模型构建、结果分析等不同角色任务，后期再汇聚为完整技术方案，以兼顾项目综合性与学生可承受性。

6.2. 过程评价难度较大，容易出现评价主观化或结果导向失衡

项目制教学强调过程性评价，但过程评价如果缺乏清晰标准，容易出现评分依据不透明、评价主观性较强等问题；若过度强调最终成果，又可能重新回到“只看结果”的传统考核路径。对此，应构建“阶段汇报 - 过程记录 - 成果文本 - 终期答辩”相结合的评价链条，并将课程目标细化到不同评价环节。例如，工程认知能力可通过选题论证和资料分析评价，方案设计能力可通过技术路线、模型构建和结果分析评价，综合表达能力可通过中期汇报和终期答辩评价。必要时还可引入组内互评和企业专家评价，以增强评价的客观性和工程导向性。

6.3. 真实工程资料获取与教学资源配置存在约束

碳封存工程问题具有较强行业依赖性，真实工程资料往往涉及企业数据共享、案例保密和实验条件受限等现实问题。若教学项目缺乏真实性，项目制教学就可能退化为模拟性的课堂练习；若完全依赖真实工程资料，又会受到资源获取和教学组织边界的限制。对此，可采用“真实案例框架 + 教学化数据包”的策略：一方面，选取典型公开工程实例作为项目背景；另一方面，对科研项目和工程合作资料进行脱敏处理，形成适合教学使用的标准化参数包、样品包和任务书，以平衡真实性与可操作性。

7. 结语

结合项目制教学理念，并基于重庆大学在专业建设、平台条件、师资队伍、学生基础和前期教改探索方面的实施基础，对课程教学大纲进行了系统设计。该设计将前置知识、实验训练、软件训练、工程选题和成果展示有机整合，构建了“知识准备 - 训练支撑 - 项目开发 - 技术方案 - 公开答辩”的教学链

条,有助于推动课程由知识传授型向能力培养型转变,增强学生面向碳封存复杂工程问题开展分析、设计和论证的综合能力。

致 谢

感谢重庆大学资源与安全学院“二氧化碳地质封存”教学团队与重庆大学碳储科学与工程系全体教师对本文提出的宝贵意见。

基金项目

重庆市高等教育教学改革研究项目:面向碳储科学与工程专业人才培养的课程项目制教学模式探索与实践(243033);重庆市高等教育教学改革研究项目:课程思政与信息化视域下碳储专业地质教学体系改革探索研究(243032);重庆大学研究生教育教学改革研究项目:课程思政与跨学科融合培养改革探索研究——以《能源地质学》为例(cqu230211)。

参考文献

- [1] 高志前,李治平,赖枫鹏,等.碳储科学与工程新专业建设模式探索与发展方向思考[J].中国地质教育,2023(1):14-19.
- [2] 芮振华,张凤远,梁永图,等.“双碳”目标下高校开设碳储科学与工程专业的必要性与初步实践[J].石油钻采工艺,2023,45(3):385-392.
- [3] 潘德安,陶帅,胡二峰.重庆大学碳储专业“三维递进-四域协同”人才培养模式探析[J].人才资源开发,2025(11):34-37.
- [4] 吕石磊,王冉.“30·60”双碳目标下建环专业的教学改革与思考[J].高教学刊,2021,7(30):62-65.
- [5] 王林,李咏梅,谢丽,等.“双碳”背景下环境类专业实践课程模块化教学探索——以同济大学环境工程专业为例[J].环境教育,2022(4):32-34.
- [6] 穆卫军,苏丹蕾,毛燕梅.碳中和目标背景下的加拿大高校绿色可持续发展的经验与启示——以英属哥伦比亚大学为例[J].高教论坛,2022(3):119-124.
- [7] 刘伟,张双圣,黄蕾,等.新工科背景下“环境化学”课程教学改革研究[J].教育进展,2025,15(12):1874-1878.
- [8] 燕静.项目制教学与工程教育人才培养模式改革[J].长江大学学报(社会科学版),2018,41(4):120-124.
- [9] 程志红,刘送永,王德伦,等.新工科背景下多元协同贯通式项目制教学体系研究[J].高等工程教育研究,2024(6):79-84.
- [10] 刘建国,李腾,牟怿,等.工程教育专业认证背景下课程教学大纲设计——以“仪表与过程控制系统”课程为例[J].教育进展,2026,16(4):111-117.
- [11] Blumenfeld, P.C., Soloway, E., Marx, R.W., Krajcik, J.S., Guzdial, M. and Palincsar, A. (1991) Motivating Project-Based Learning: Sustaining the Doing, Supporting the Learning. *Educational Psychologist*, **26**, 369-398. <https://doi.org/10.1080/00461520.1991.9653139>
- [12] Thomas, J.W. (2000) A Review of Research on Project-Based Learning. Autodesk Foundation.
- [13] de Graaff, E. and Kolmos, A. (2003) Characteristics of Problem-Based Learning. *International Journal of Engineering Education*, **19**, 657-662.
- [14] Prince, M.J. and Felder, R.M. (2006) Inductive Teaching and Learning Methods: Definitions, Comparisons, and Research Bases. *Journal of Engineering Education*, **95**, 123-138. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00884.x>
- [15] 周鑫,沈娜,何晓英,等.项目制与课程制融合教学模式研究——以“工程地质及水文地质勘察”课程为例[J].科教文汇,2024(11):81-84.
- [16] 李忠武,肖涛,聂小东,等.科研素养提升是教学与科研相互融合的纽带——以地理学为例[J].高教学刊,2023,9(32):86-90.
- [17] 李欣旖,邴海霞.基于学习进阶的本科项目制教学实践特征与行动逻辑[J].高等工程教育研究,2022(2):93-99.