

双碳目标下“化学 + 能源 + 环境”类课程整合

张 为, 刘利强

长春理工大学机电工程学院, 吉林 长春

收稿日期: 2024年10月24日; 录用日期: 2024年12月16日; 发布日期: 2024年12月25日

摘 要

碳达峰、碳中和是党中央提出的重大目标, 在“双碳”目标下面向我国能源产业和制造业等支柱型产业的绿色低碳生产方式转型的需求, 对过程装备与控制工程专业的人才培养方向提出了新的要求。本文对多类高校过程装备与控制工程专业的课程设置和教材选用进行调研及课程整合, 以提高课程质量, 并结合双碳背景优化课程教学大纲, 完成教材讲义撰写。

关键词

双碳, 过程装备与控制工程, 课程整合

Under the Dual Carbon Goals: Integration of “Chemistry + Energy + Environment” Courses

Wei Zhang, Liqiang Liu

School of Mechanical and Electrical Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun Jilin

Received: Oct. 24th, 2024; accepted: Dec. 16th, 2024; published: Dec. 25th, 2024

Abstract

Carbon peak and carbon neutrality are major goals proposed by the Central Committee of the Communist Party of China. Under the “dual carbon” goals, there is a demand for the transformation of green and low-carbon production methods in pillar industries such as the energy industry and manufacturing industry in our country. This has put forward new requirements for the talent training

direction of the Process Equipment and Control Engineering major. This paper conducts research on the curriculum setup and selection of teaching materials for the Process Equipment and Control Engineering major in various universities, and integrates the courses to improve the quality of the curriculum. It also optimizes the course syllabus in line with the dual carbon background and completes the writing of teaching materials and lecture notes.

Keywords

Double Carbon, Process Equipment and Control Engineering, Curriculum Integration

Copyright © 2024 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

2020年9月,中国提出二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和[1]。“双碳”目标的提出已经把我国的绿色发展之路提升到了新高度,将极大地推动我国经济社会发展全面绿色转型。立足“双碳”目标下的新发展阶段,需要全社会强化“双碳”意识、践行绿色低碳的新发展理念[2]。高等学校作为基础研究主力军和科技创新策源地,应主动将课程内涵与碳中和理念融合,为“双碳”目标的实现提供科技支撑和人才保障[3]。2021年7月,教育部印发了《高等学校碳中和科技创新行动计划》,指出高等学校应发挥人才培养、学科建设、基础研究等方面的优势,加快构建高校碳中和和科技创新体系和人才培养体系,着力提升科技创新能力和创新人才培养水平[4][5]。此外,作为高校碳中和和人才培养提质行动的重要举措,要建设一批国家级碳中和相关一流本科专业,鼓励开设碳中和基础课程,将碳中和理念与实践融入人才培养体系。而碳中和基础课程在我国属于刚起步阶段,急需此类课程的支撑,提供人才保障,这就需要大批专业针对相关课程进行调整和课程体系内容构建,以满足当下的国家发展战略。

过程装备与控制工程专业覆盖过程装备设计及过程装备控制等工业领域,实行大口径、宽适应方向办学。强调学生的动手能力、创新能力的基本训练,培养从事过程装备设计、机械制造自动化、过程装备控制等领域的高级人才[6]-[10]。而高质量的专业课程既是培养高级人才的重要环节,同时也是一所大学开展优秀课程建设的基础和前提,进行本科创新培养的重要阵地和展现渠道。为了满足上述质量要求,对过程装备与控制工程专业“化学+能源+环境”类课程进行整合。通过对各类高校课程调研,针对课程设置、教材选用等内容进行分析总结。

2. 课程设置

课程设置从三种情况进行分析,分别为重点本科、普通本科及三本院校。以这三类学校培养方案为主体,分析其开课情况、课程性质、理论与实验学时分配及开课学期设置。通过分析这几项内容,进而得到相关课程之间的联系以及内容上的删减、提升,整合出符合大类院校培养方案要求的相关材料。下面就分别重点分析这三类院校的课程设置情况。

2.1. 重点本科

根据表1绘制重点本科学校“化学+能源+环境”类课程分布比例图,总结出课程与课程之间知识的交叉和融合。

Table 1. Status of “Chemistry + Energy” course construction in key undergraduate institutions
表 1. 重点本科学校“化学 + 能源”类课程建设情况

| 编号 | 学校 | 课程 | 性质 | 学分 | 理论学时 | 实验学时 | 开课学期 |
|----|--------|-------------|----|-----|------|------|------|
| 1 | 北京化工大学 | 大学化学 | 必修 | 2 | 32 | 0 | 2 |
| | | 工业化学 | 限选 | 1.5 | 24 | 0 | 8 |
| 2 | 浙江大学 | 工程化学 | 必修 | 2.5 | 32 | 8 | 2 |
| 3 | 天津大学 | 工程化学 | 必修 | 2 | 28 | 8 | 2 |
| | | 工业化学 | 必修 | 3 | 48 | 0 | 6 |
| 4 | 郑州大学 | 能源工程与节能技术 | 选修 | 2 | 32 | 0 | 7 |
| | | 资源、能源、环境、社会 | 选修 | 1 | 16 | 0 | 7 |
| 5 | 大连理工大学 | 工科化学基础 | 必修 | 2 | 32 | 32 | 4 |
| 6 | 中国石油大学 | 化学工程基础 | 必修 | 3 | 44 | 4 | 5 |
| 7 | 东北大学 | 环境概论 | 必修 | 1.5 | 24 | 0 | 6 |
| 8 | 华东理工大学 | 环境工程导论 | 必修 | 1.5 | 24 | 0 | 1 |
| 9 | 华南理工大学 | 大学化学 | 必修 | 2.5 | 32 | 16 | 2 |
| 10 | 宁夏大学 | 工程化学 | 必修 | 2 | 32 | 0 | 1 |
| 11 | 青海大学 | 普通化学 | 必修 | 4 | 48 | 16 | 1 |
| | | 有机化学 | 必修 | 4 | 48 | 16 | 2 |
| | | 无机与分析化学 | 必修 | 4 | 56 | 8 | 1 |
| 12 | 西安交通大学 | 化工工艺学 | 选修 | 1.5 | 24 | 24 | 6 |
| | | 能源化工过程安全 | 选修 | 1.5 | 24 | 24 | 6 |
| | | 工程化学 | 必修 | 3.5 | 56 | 0 | 4 |
| 13 | 中国矿业大学 | 能源化工工艺学 | 选修 | 2 | 32 | 0 | 6 |
| | | 大学化学 | 必修 | 2 | 32 | 0 | 2 |

课程比例分布图

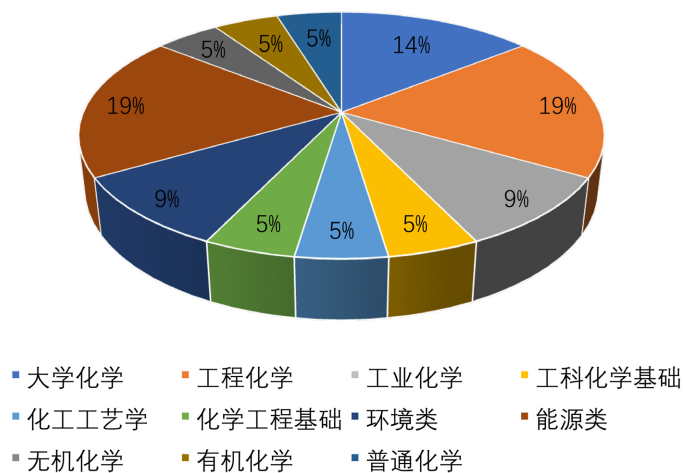


Figure 1. Distribution proportion of “chemistry + energy + environment” courses in key undergraduate institutions

图 1. 重点本科学校“化学 + 能源 + 环境”类课程分布比例图

通过对表 1 和图 1 的分析可以得出以下结论:

(1) 课程分布: 各个学校根据培养方案要求不同设置的课程个数不等, 分别为一门课(大学化学)、一门课(工程化学)、一门课(工科化学基础)、两门课(大学化学、工业化学)、两门课(普通化学、有机化学)、两门课(工程化学、能源化工工艺学)。其中除了单独一门课以外的也都是各种化学类课程的结合, 只有少数是有机和无机相结合, 设置的课程数较多。从该种分布情况来看, 化学相关课程占有的比例最大为 19%, 而工程化学占比为 19%, 而单一化学类课程仅占其中的 5%, 这就说明重点本科院校依然以化学基础为主、工程应用为辅进行授课, 从而看出, 课程整合的一个必然趋势也是如此, 将单一的化学和应用进行结合, 同时将设置多类课程进行调整, 以适应重点本科学校。

(2) 课程性质: 从表中可以看出, 几乎所有的化学类课程及其应用都是必修课, 只有一部分能源和工艺类课程为选修课, 这就说明在过程装备控制工程专业中化学类课程一直为专业特色课程设置, 并且重点授课。而纯化学课程相对要少很多, 所以在整合过程中必然是以化学基础类与工程应用类相结合, 并辅以相关重要实例。

(3) 学时分布: 该类课程学时设置从 16 到 56 不等, 其中实验学时较多为化学基础课, 同时单一课程还好, 如果是化学类和工程应用类相结合的话, 设置的学时过多, 这也会增加学生的负担, 所以说化学类和工程应用类课程整合过程中对控制工程基础进行重点总结分析的同时, 也要既能考虑符合学时要求又能保证降低学生负担使其提升知识点掌握的能力。

(4) 学期设置: 从开课学期设置来看, 一般化学工程基础类为第 1、2 学期为主, 其他工程应用类课均设置在第 6、7 学期, 这是说明后续这几门课程均以化学工程基础为先学课程进行学习, 表现出了其主体性。

2.2. 普通本科

根据表 2 绘制普通本科学校“化学 + 能源 + 环境”类课程分布比例图总结出课程与课程之间知识的交叉和融合。

Table 2. Status of “chemistry + energy” course construction in general undergraduate institutions

表 2. 普通本科学校“化学 + 能源”类课程建设情况

| 编号 | 学校 | 课程 | 性质 | 学分 | 理论学时 | 实验学时 | 开课学期 |
|----|----------|--------|----|-----|------|------|------|
| 1 | 东北石油大学 | 基础化学 | 必修 | 3 | 48 | 0 | 1 |
| 2 | 长江大学 | 物理化学 | 必修 | 3 | 48 | 0 | 5 |
| 3 | 安徽工程大学 | 工程化学基础 | 选修 | 2 | 28 | 4 | 6 |
| 4 | 河北工程大学 | 工程化学 | 必修 | 2.5 | 40 | 0 | 1 |
| 5 | 吉林化工学院 | 普通化学 | 必修 | 2.5 | 32 | 8 | 1 |
| 6 | 兰州理工大学 | 工程化学 | 必修 | 2 | 32 | 0 | 3 |
| 7 | 陕西科技大学 | 工业化学基础 | 必修 | 2.5 | 40 | 0 | 3 |
| | | 化工环保概论 | 选修 | 2 | 32 | 0 | 7 |
| 8 | 山东科技大学 | 工业化学 | 必修 | 2 | 32 | 0 | 5 |
| 9 | 上海理工大学 | 化学工艺概论 | 必修 | 2 | 32 | 0 | 6 |
| 10 | 武汉工程大学 | 工业化学 | 必修 | 1.5 | 16 | 8 | 1 |
| 11 | 武汉轻工大学 | 工程化学 | 必修 | 3 | 36 | 12 | 1 |
| 12 | 北京石油化工学院 | 大学化学 | 必修 | 2 | 32 | 4 | 1 |

续表

| | | | | | | | |
|----|--------|--------|----|---|----|---------|---|
| 13 | 湘潭大学 | 工程化学 | 必修 | 5 | 72 | 8 | 3 |
| | | 节能技术 | 选修 | 2 | 32 | 0 | 7 |
| 14 | 天津理工大学 | 工程化学 | 必修 | 2 | 24 | 8 | 3 |
| 15 | 南华大学 | 普通化学 | 必修 | 2 | 24 | 8 | 3 |
| 16 | 常州大学 | 普通化学 | 必修 | 3 | 40 | 8 | 4 |
| | | 大学化学 | 必修 | 6 | 96 | 60 + 36 | 1 |
| 17 | 宿州学院 | 环境保护概论 | 选修 | 2 | 32 | 32 | 6 |
| | | 能源化学工程 | 选修 | 2 | 32 | 32 | 6 |
| 18 | 淮海工学院 | 环境工程概论 | 选修 | 2 | 32 | 0 | 7 |

课程比例分布图

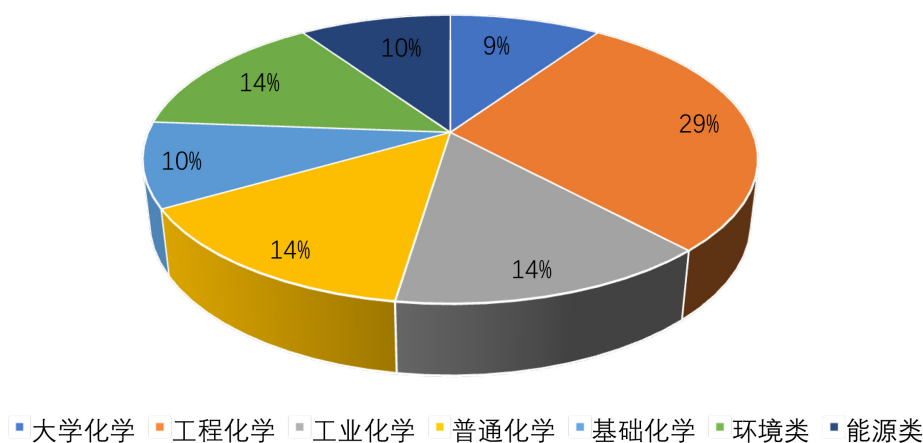


Figure 2. Distribution proportion of “chemistry + energy + environment” courses in general undergraduate institutions

图 2. 普通本科学校“化学 + 能源 + 环境”类课程分布比例图

通过对表 2 和图 2 的分析可以得出以下结论:

(1) 课程分布: 各个学校的根据培养方案要求的不同设置的课程个数不等, 分别为为一门课(基础化学)、两门课(工业化学、化工环保概论)、两门课(工程化学、节能技术)、三门课(大学化学、环境保护概论、能源化学工程)、一门课(物理化学)、一门课(工程化学)、一门课(普通化学)、一门课(工业化学)。其中设置两门课及以上的均是化学基础类与工程应用类相结合, 从该种分布情况来看, 化学基础相关课程占有的比例最大为 29%, 而工程化学的比例为 29%, 应用类占其中的 9%, 而纯化学基础课程仅占其中的 10%。这就说明普通本科院校进行了两者之间的结合, 但是设置的课程较多, 增加学生负担, 从而看出, 课程整合是一个必然趋势, 将单一的化学类与工程应用进行结合, 同时将设置多类课程进行调整, 以适应普通本科院校。

(2) 课程性质: 从表中可以看出, 几乎所有的工程化学都是必修课, 只有一部分化学基础课与工程应用课为选修课, 这就说明在过程装备控制工程专业中化学类与工程应用类课程已经逐渐走向均衡, 但授课课程相对较多, 所以课程之间的整合是一种未来授课的必然趋势。

(3) 学时分布: 该类课程学时设置从 16 到 96 不等, 其中多数学校的化学工程基础课与工程应用类课程的实验学时已基本达到持平, 这也充分说明了课程整合过程中对化学类与工程应用类课程之间要有一

定的均衡划定, 保证满足大类院校的培养方案要求。

(4) 学期设置: 从开课学期设置来看, 一般工程化学课程以第 1、2、3 学期为主, 工程应用类课程为第 6、7 学期, 其他选修课均设置在第 6 或 7 学期, 这是说明后续这几门课程均以化学工程基础为先学课程进行学习, 表现出了其主体性。

3. 教材选用

如表 3 所示, 文中所选用的主要是大类院校所使用过的教材, 其中化工工程类课程教材 8 本, 每本教材使用的课程均在一门及以上课程, 但只是单纯适合工程应用类课程极少数教材两者均适合使用。下面就在化学类和工程应用类教材中各选用 2 本进行分析。

Table 3. Distribution of textbook selection for “chemistry + energy” courses

表 3. “化学 + 能源”类课程教材选用分布情况

| 编号 | 教材名称及作者 | 课程 |
|----|--------------|----------------------------------|
| 1 | 大学化学/张志成 | 大学化学 化学工程基础 |
| 2 | 工业化学/吴志泉 | 工业化学 工业化学基础 化工工艺学 |
| 3 | 工程化学/徐甲强 | 工程化学 工程化学基础 |
| 4 | 工科化学/戴春爱 | 大学化学 工程化学 普通化学 |
| 5 | 物理化学/韩德刚 | 物理化学 普通化学 |
| 6 | 普通化学/徐端钧 | 大学化学 基础化学 |
| 7 | 有机化学/黄怡 | 有机化学 |
| 8 | 化学工程基础/李德华 | 化学工程基础 工程化学 |
| 9 | 无机与分析化学/陈若愚 | 无机与分析化学 |
| 10 | 环境工程概论/曲向荣 | 环境保护概论 环境工程概论 环境工程导论 |
| 11 | 化工环境保护概论/杨永杰 | 环境概论 化工环保概论 环境工程导论 |
| 12 | 能源化学工程概论/李文翠 | 资源、能源、环境、社会 能源工程与节能技术 节能技术 |

续表

能源化工工艺学
能源工程与节能技术
能源化学工程

3.1. 化学类教材

(1) 普通化学(第七版)

全书分 9 章。第 1~4 章以化学反应基本原理为主线, 分别介绍热化学、化学反应的基本原理、水溶液化学和电化学与金属腐蚀的基础知识, 第 5 章介绍物质结构基础, 第 6~8 章分别介绍无机化合物、高分子化合物和生物大分子基础知识, 第 9 章简要介绍仪器分析基础。各章均有内容提要和学习要求、选读材料、小结、思考题和习题。

(2) 工科化学(第二版)

《工科化学》(第 2 版)分为理论篇和实验篇两篇, 主要内容包括化学基础知识、物质的聚集状态、化学热力学、化学动力学基础、水溶液反应原理、氧化还原反应与电化学、物质结构基础、危险货物基础知识、化学与材料和化学实验。

从 2 本化学类教材内容中可以看出, 化学类课程所选用的教材一般都是化学基础知识并进行介绍, 除此之外就是有些教材中还含有相关的工程应用案例分析内容, 很少有体现出与之相关的能源、环境类内容。

3.2. 能源、环境类教材

(1) 环境工程概论

要介绍环境工程水、气、固、废四大污染源的处理与处置措施, 以及土壤污染控制、清洁生产、环境保护法、城市综合治理及生态城市建设等内容。本书结构科学、内容新颖、理论密切联系实际、案例典型、能够很好地反映环境工程学科的最新内容和进展。

(2) 能源化学工程概论

全书共 9 章, 包括: 绪论、新型煤化工、石油化工、天然气、生物质能、锂离子电池、燃料电池、超级电容器、CO₂ 的捕集与资源化利用。

从 2 本能源、环境类教材中可以看出, 课程内容针对性极强, 都是以工程应用为主进行介绍, 又需要一定的化学知识作为先修, 但是在课程设置中几乎没有体现与化学类教材之间的结合。

通过对化学类和工程应用类中各 2 本教材分析发现, 化学类教材以化学工程基础为主, 工程应用为辅; 工程类教材完全以定向应用为主; 两者均缺少过程装备与控制工程专业本科生学习中加深知识理解的工程实例。但不难看出, 两者之间的交叉与融合主要体现在化学基础在环保和能源转型上, 所以需进行课程整合, 提出新的教材。

4. 结论

双碳目标下, 针对各个高校的相关课程和教材进行调研, 从结果分析来看, “化学 + 能源 + 环境”类课程整合将是一个必然趋势, 那么环保和能源转型这部分内容将是一个非常重要的切入点, 使化学类与工程应用类进行结合, 同时加入与过程装备与控制工程专业相关的工程实例, 最终整合出符合大类院校本科生培养方案所要求的教材。

整合后课程的教学内容、基本要求与学时分配:

| 序号 | 教学内容 | 教学基本要求 | 学时 | 教学方式 | 对应课程目标 | 课程思政融入点 |
|----|--|--|----|----------------------|--------|---|
| 1 | 第1篇：绪论 ① 化学的意义与研究对象 ② 化学的地位 ③ 化学的发展历程 | ① 记忆化学反应的基本概念与常用术语； ② 记忆化学的地位和发展历程。 | 1 | 课堂讲授、 案例导入 | 1 | 【文化自信】 明确我国古代及现代对化学领域的贡献，树立文化自信。 |
| 2 | 第2篇：物质的聚集状态 ① 气态 ② 液态 ③ 溶液 ④ 胶体 ⑤ 固态 | ① 运用物质聚集形态的定义及相关计算方法分析溶液的依数性； ② 根据不同形态物质关系判断物质形态。 | 4 | 课堂讲授 | 1 | 【家国情怀】 引入水的三相点研究历程，体现家国情怀。 |
| 3 | 第3篇：化学热力学 ① 基本概念 ② 热力学第一定律 ③ 化学反应的热效应 ④ 反应热的计算 ⑤ 化学反应的方向 ⑥ 化学平衡 | ① 记忆化学热力学基本概念及相关定律； ② 熟练运用化学反应平衡及影响因素判断化学反应的方向。 | 7 | 课堂讲授、 案例分析 | 1、3 | 【科学精神】 引入太阳能分解水制氢，培养学生勇于探索的科学精神。 |
| 4 | 第4篇：化学动力学基础 ① 化学反应速率的定义 ② 化学反应速率的测定 ③ 浓度对化学反应速率的影响 ④ 温度对化学反应速率的影响 ⑤ 活化能和催化剂 | ① 总结化学反应速率的定义及其影响因素，讨论其在石油化工、流程性工业中的重要作用； ② 举例说明化学反应速率的测定方法。 | 6 | 课堂讲授、 案例分析 | 1、3 | 【科学精神】 引入合成氨工业史话，培养学生创新科学精神。 |
| 5 | 第5篇：水溶液反应原理 ① 酸碱平衡 ② 沉淀溶液平衡 | ① 运用酸碱平衡及其影响因素分析弱酸弱碱的浓度和pH值； ② 描述沉淀平衡。 | 2 | 课堂讲授 | 1 | |
| 6 | 第6篇：氧化还原反应与电化学 ① 原电池 ② 电极电势 ③ 电极电势的影响因素 ④ 电极电势的应用 ⑤ 电化学应用 | ① 界定原电池与电极电势的定义、原理及计算过程等； ② 运用电极电势原理设计化学电源、评价金属腐蚀与防护。 | 4 | 课堂讲授、 案例分析 | 1、3 | 【勇于探索】 探讨改变世界的锂离子电池研究历程，激励学生勇于探索。 |
| 7 | 第7篇：能源工程中的化学 ① 能源概论 ② 化石燃料的有效利用和清洁生产 ③ 氢能的开发和利用 ④ 可再生能源的开发 | ① 界定能源的分类及相关定义； ② 研究化石燃料的有效利用与清洁生产及氢能的开发与利用； ③ 论证可再生能源的开发。 | 4 | 课堂 讲授 翻转 课堂 | 2、3 | 【使命担当】 结合双碳目标，讨论能源转型问题，激发使命担当。 |
| 8 | 第8篇：环境工程中的化学 ① 大气污染及其防治 ② 水体污染及其防治 ③ 土壤污染及其防治。 ④ 危险化学品安全管理基础知识 ⑤ 危险化学品事故的预防和事故处理 ⑥ 危险化学品的消防 | ① 识别大气、水体及土壤的污染情况，归类防治措施； ② 根据危险化学品的安全管理知识，能够实施预防及事故处理等。 | 4 | 课堂讲授、 案例分析 | 2 | 【安全和责任意识】 引入事故案例，培养学生安全和责任意识。 |

整合后课程的考核与成绩评定

1) 考核环节及权重

根据课程目标达成要求, 考核项目包括在线测试、作业训练、翻转课堂和期末考试等多个环节, 考核方式具体说明:

- ① 过程性考核: 包括在线测试、平时作业、翻转课堂等。
- ② 终结性考核: 期末考试, 闭卷。
- ③ 考核比例构成: 过程性考核 50%, 终结性考核 50%。
- ④ 育人目标达成融入过程性考核项目中, 可辅助学生问卷调查等方式考核。

| 课程目标 | 过程性(50%) | | | 终结性(50%) | 成绩比例 (100%) |
|------|----------|------|------|----------|----------------|
| | 在线测试 | 平时作业 | 翻转课堂 | 期末考试 | |
| 1 | 20 | 10 | | 10 | 40 |
| 2 | | | | 20 | 20 |
| 3 | | 10 | 10 | 20 | 40 |
| 合计 | 20 | 20 | 10 | 50 | 100 |

基金项目

长春理工大学高等教育教学改革研究课题“双碳目标下过程装备与控制工程专业‘化学 + 能源 + 环境’类课程建设与实践”。

参考文献

- [1] 张大全, 辛志玲, 李瑾. “双碳”目标下《大气污染控制工程》课程建设要求[J]. 中国电力教育, 2021(S1): 95+96.
- [2] 刘中民. “碳达峰”与“碳中和”——绿色发展的必由之路[EB/OL]. <http://qh.people.com.cn/GB/n2/2021/0813/c182756-34866022.html>, 2021-08-13.
- [3] 赵传松, 池天昊, 刘凯. 碳达峰碳中和背景下的“低碳经济学”课程改革探索——基于 PBL 理念的教学模式设计[J]. 黑龙江教育(高教研究与评估), 2023(6): 65-67.
- [4] 张楚虹, 聂敏, 刘新刚, 等. 双碳背景下《材料科学与工程选论》课程教学改革探讨[J]. 高分子材料科学与工程, 2022, 38(6): 178-181.
- [5] Ji, F., Zhao, G., Meng, L., Tehseen, R. and Wang, F. (2022) Cultivating Talents for Reporting Environmental News on China's Carbon Neutrality Policy. *Sustainability*, **14**, Article No. 16795. <https://doi.org/10.3390/su142416795>
- [6] 黄本清, 常爱莲, 朱音凡. “双碳”目标下过程装备与控制工程专业本科人才培养思路探究[J]. 江苏科技信息, 2024, 41(3): 93-96+102.
- [7] 王庆锋, 于洪杰, 段成红. 双碳目标下过程装备与控制工程专业流体机械课程教学改革探索[J]. 广东化工, 2023, 50(23): 180-182.
- [8] 毛庆, 潘艳秋. “双碳”目标下化工专业实验虚实结合教学模式的探索与实践[J]. 化工高等教育, 2023, 40(1): 88-93.
- [9] 刘垚, 钱永, 韩志慧, 等. 适合应用型人才培养的化工类课程群教学内容的整合与优化[J]. 安徽化工, 2018, 44(2): 142-144.
- [10] 肖慧芳, 彭雪莹, 张田田, 等. 地方高校化工专业绿色工程课程建设研究[J]. 云南化工, 2024, 51(3): 183-186.