

“双碳”目标导向下冶金专业课程教学改革 ——以《非高炉炼铁》为例

周进东^{*}, 王 宝, 何环宇, 朱航宇, 刘成松

武汉科技大学冶金与能源学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2025年10月29日; 录用日期: 2025年11月27日; 发布日期: 2025年12月5日

摘要

本文针对《非高炉炼铁》课程的教学现状和存在的问题, 对课程内容、教学方法和考核方式进行了改革。构建了“价值塑造 - 知识传授 - 能力培养”三位一体的教学体系和“课程辩论 - 期末考试 - 综合评价”的多元化考核制度, 同时, 在教学过程中设计了“专业认知 - 行业责任 - 国家战略”三层次的素养目标培养路径。通过教学改革不仅提升了学生的课堂积极性和主动性, 而且显著增强了学生的环保和创新意识, 旨在为钢铁行业的低碳转型培养具备国际视野和创新能力的高素质冶金人才。

关键词

“双碳”目标, 非高炉炼铁, 教学改革, 素养目标

Teaching Reform of Metallurgy Courses Under the Guidance of the “Dual Carbon” Goals

—Taking the *Non-Coke Ironmaking* Course as an Example

Jindong Zhou*, Bao Wang, Huanyu He, Hangyu Zhu, Chengsong Liu

School of Metallurgy and Energy, Wuhan Institute of Science and Technology, Wuhan Hubei

Received: October 29, 2025; accepted: November 27, 2025; published: December 5, 2025

Abstract

This study implements reforms in course content, teaching methodologies, and assessment

*通讯作者。

文章引用: 周进东, 王宝, 何环宇, 朱航宇, 刘成松. “双碳”目标导向下冶金专业课程教学改革[J]. 教育进展, 2025, 15(12): 287-294. DOI: 10.12677/ae.2025.15122278

mechanisms in response to the current teaching status and existing challenges of the Non-Blast Furnace Ironmaking course. A tripartite teaching framework integrating “value cultivation, knowledge impartation, and competency development” has been established, alongside a diversified evaluation system comprising “course debates, final examinations, and comprehensive assessments.” Furthermore, the teaching framework embeds a three-tiered development path for holistic literacy aims: “professional cognition, industry accountability, national strategic alignment”. The reform enhances student engagement and initiative and significantly strengthens their environmental consciousness and innovative thinking. The initiative aims to cultivate high-quality metallurgical talents with global perspectives and innovative capabilities, thereby supporting the low-carbon transition of the iron and steel industry.

Keywords

“Dual Carbon” Goals, *Non-Coke Ironmaking*, Teaching Reform, Holistic Literacy Aims

Copyright © 2025 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”战略目标背景下[1]，钢铁工业作为能源消耗和碳排放大户，面临着低碳转型的巨大压力，要求钢铁行业必须走低碳、绿色、创新的发展道路。非高炉炼铁技术具有资源利用灵活、环境友好、碳排放低和工艺简化节能等优势，是钢铁行业实现低碳转型的重要方向[2][3]。《非高炉炼铁》课程的教学目标，不仅要为学生打下坚实的理论基础，还要培养学生的创新意识、实践能力和强化低碳理念。

目前，《非高炉炼铁》课程教学内容仅包含了非高炉炼铁发展概况，基本原理和典型工艺流程等，未能紧跟非高炉炼铁技术发展步伐和时代要求。同时，在教学过程中也存在一些问题：① 教材陈旧、内容更新慢和教学方法单一，无法满足课程教学目标的达成；② 大多数高校《非高炉炼铁》作为选修课程，学时仅有 16 学时，难以有效覆盖教学内容和非高炉炼铁发展趋势；③ 课程教学过程中未能充分引导学生对技术与环境关系的理解；④ 考核方式单一，学生单纯只想要学分，对课程学习的内容积极性不高。

当前，国内外工程教育研究呈现系统化、跨学科化发展趋势。例如，李正等[4]基于泰勒课程理论和组织变革理论框架分析了国外工程教育项目式课程体系的形成机理，指出国外知名学府在构建项目式课程体系时，以“解冻 - 变革 - 再冻结”为路径，设置问题导向目标，设计跨学科进阶内容，推行学生中心的教学模式，并实施多方参与的过程性评价，实现系统化改革。国内新工科建设倡导学科交叉与实践创新，但需加强课程体系的设计等。冶金专业教学改革主要聚焦“双碳”目标，钱立新等[5]将思政元素和虚拟仿真技术融入清洁生产课程，基于情境学习理论强化实践教学；贺山明等[6]提出“低碳冶金型”人才培养模式，通过课程更新和实践优化培养学生的工程伦理与创新能力。课程思政强调价值引领与专业教育融合，王晓蕾等[7]指出需在工程评价中融入社会主义核心价值观；钱立新等通过科研成果转化教学资源，培养学生的社会责任感。总体而言，国内外改革均以学生能力为核心，通过理论指导实践、实践反哺理论的循环机制推动教育优化。

因此，本文针对《非高炉炼铁》课程教学中存在的问题，及冶金工程专业的发展和改革要求，开展非高炉炼铁课程的教学改革与实践显得尤为迫切。

2. 课程教学现状与问题分析

2.1. 教学内容滞后于技术发展

目前，《非高炉炼铁》相关的著作最新的是2015年张建良教授主编的《非高炉炼铁》[8]，该书价格较高，读者需要有一定的基础，适合研究生阶段使用。其次是2013年杨双平教授主编的《直接还原与熔融还原冶金技术》[9]，该书适合本科生阶段使用，但内容以基础知识和传统工艺(Midrex、HYL、COREX)等为主。其它相关著作更为陈旧，且书中内容对近年兴起的氨基直接还原(如瑞典的 HYBRIT、奥钢联的 H2FUTURE、中国钢研的万吨级纯氢竖炉直接还原铁工艺)和氨基熔融还原(如底吹氢气熔融还原、侧吹氢气熔融还原)等[10]新技术涉及不多。教材的滞后直接影响了学生的学习兴趣，阻碍他们对非高炉炼铁关键知识点的深入理解和实际应用。

2.2. 教学模式缺乏互动创新

在《非高炉炼铁》课程教学过程中，仍主要依赖传统的“教师讲、学生听”的模式，这种简单的内容讲解和理论推导，内容抽象枯燥，过程单调乏味，学生理解困难，同时，课程内容仅限于课件和黑板板书，缺乏与实际生产的结合。例如BOPPPS教学[11]和对分课程PAD [12]等现代智慧教学模式，在课程教学过程中的应用还远远不够，导致学生对非高炉炼铁技术的理解往往停留在基础层面，未将抽象的概念与实际的工艺流程，以及减排理念有效联系起来。这种传统教学方法不能激发学生的学习兴趣，也不利于培养他们解决实际问题的能力。

2.3. 考核评价体系单一

《非高炉炼铁》作为专业选修课程，考核方式多以开卷考试为主，让学生在课堂上缺乏积极性，并且养成了课前不预习，课中听课不认真，课后不复习的坏习惯，考试后知识基本上又“还给”了授课教师。近年在研究生复试中，许多冶金工程专业的学生，对非高炉炼铁的基本工艺流程和设计理念等问题基本少有能回答上来的。这种“一考定成绩”的方式不仅无法激发学生学习的主动性，也与工程教育专业认证所倡导的OBE理念不符。

3. 基于“双碳”目标的教学改革

针对当前《非高炉炼铁》课程中存在的不足，本文从教学理念、教学内容、教学方式和考核体系等方面对《非高炉炼铁》课程进行了全面改革，以契合“双碳”目标的培养要求。

3.1. 课程改革理念

以“学生中心、产出导向、持续改进”为核心指导思想，构建了一个“价值塑造－知识传授－能力培养”三位一体的《非高炉炼铁》课程体系，如图1所示。该体系不仅将“双碳”目标贯穿于教学全过程，而且还注重培养学生具备以下能力：1) 扎实的非高炉炼铁专业知识，确保学生对基础理论知识的深入理解；2) 具备低碳技术创新实践能力，使学生能够将理论知识用于实践，推动绿色生产；3) 具有绿色发展的社会责任感，培养学生成为推动行业可持续发展的中坚力量。通过对《非高炉炼铁》课程教学改革，培养出既精通专业知识又具备创新精神和环保意识的冶金人才。

核心素养是学生在学习过程中形成的必备品格、关键能力和价值观念的综合体现，贯穿学习、技能和实际问题解决的全过程。其内涵包含学科知识理解、实践能力培养、思维方法塑造以及情感态度养成，是教育改革的关键目标[13]。对此，在《非高炉炼铁》课程中设计了“专业认知－行业责任－国家战略”三层次的素养目标培养路径。具体如下：

非高炉炼铁课程体系

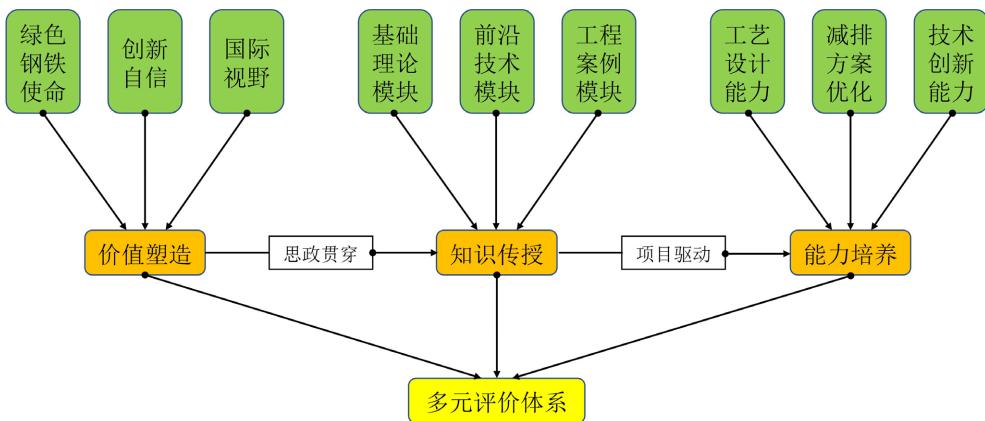


Figure 1. Trinity curriculum system of non-blast furnace ironmaking integrating “value shaping, knowledge imparting, and capacity cultivation”

图 1. “价值塑造 - 知识传授 - 能力培养”三位一体的非高炉炼铁课程体系

- 1) 专业认知。通过课堂教学、案例分析等方式，让学生深入了解非高炉炼铁技术的历史、发展过程和在冶金行业中的重要性。例如，在课堂中介绍我国非高炉炼铁技术的突破性进展及其对钢铁行业绿色转型的贡献；
- 2) 行业责任。结合行业现状和职业规范，引导学生作为专业技术人员应承担的社会责任。例如，在课堂中讨论钢铁企业通过技术创新实现节能减排，提升环保意识的实例；
- 3) 国家战略。将非高炉炼铁技术与国家节能减排战略相结合，让学生理解其在国家能源结构调整和生态文明建设中的重要地位。例如，在课堂中探讨非高炉炼铁在实现“双碳”战略目标中的意义和作用。

3.2. 教学内容重构优化

传统的《非高炉炼铁》课程内容单一，主要由三大部分组成：1) 非高炉炼铁概述(占 30%); 2) 非高炉炼铁基础理论(热动力学原理) (占 30%); 3) 非高炉炼铁典型工艺流程(占 40%)。传统的课程内容设置不能充分反应行业发展的最新趋势和需求。

为适应“双碳”战略目标和提升《非高炉炼铁》课程的实时性，在传统课程教学内容的基础上进行了重构，主要由三大模块构成，见图 2。

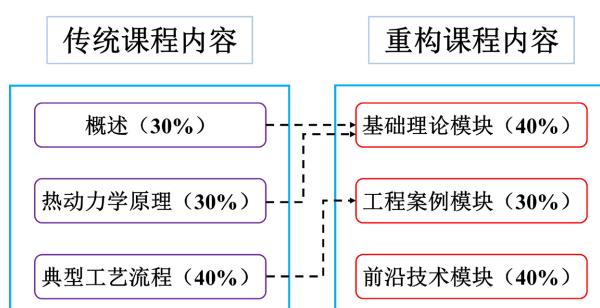


Figure 2. Comparison of non-blast furnace ironmaking before and after restructuring

图 2. 非高炉炼铁重构前后对比

- 1) 基础理论模块(40%): 将传统课程中的非高炉炼铁概述和基础理论进行合并, 突出直接还原和熔融还原的基本原理, 为学生打下坚实的理论基础;
- 2) 工程案例模块(30%): 整合传统课程中的典型工艺流程, 突出基础理论与工艺实践相结合, 分析非高炉炼铁在实现绿色低碳发展中的核心作用, 加深学生对非高炉炼铁技术的理解;
- 3) 前沿技术模块(30%): 新增非高炉炼铁近期具有突破性的研究或工程进展, 重点介绍氢冶金、碳中和等前沿技术, 使学生掌握非高炉炼铁领域的最新研究动态。

经对《非高炉炼铁》课程内容进行重构后, 其主要内容不仅紧跟行业发展趋势, 也凸显了非高炉炼铁在实现国家“双碳”战略目标中的重要性。

同时, 为了实现“三位一体”课程体系目标和素养培养, 在《非高炉炼铁》课堂中初步设计了相关的教学内容、案例和应达到的素养, 如表1所示。

Table 1. Curriculum design for competency cultivation in Non-Coke Ironmaking
表 1. 《非高炉炼铁》课程素养培养设计

教学模块	教学内容	案例	目标
工程案例	直接还原工艺	中国钢研的万吨级纯氢竖炉	培养创新自信
	熔融还原工艺	中国 COREX 技术引进消化再创新(欧冶炉)	强化工匠精神
前沿技术	氢冶金技术	瑞典钢铁 HYBRIT 项目[14]、萨尔茨吉特 SALCOS 项目[15]和奥钢联 H2FUTURE 项目[16]等与我国双碳战略对比	树立国际视野
	碳减排技术	钢铁行业碳配额交易案例[17][18]	增强社会责任感

3.3. 教学方式改革

围绕“双碳”战略目标, 结合非高炉炼铁技术的前沿性与实践性特点, 对传统“教师讲、学生听”的教学模式进行改革, 采用启发式、探究式、讨论式和参与式教学, 以此激发学生的学习兴趣和主动性。通过对教学方式的改革, 强化学生对新工艺(如氢基直接还原、熔融还原等)的认知, 培养学生创新能力与团队协作意识。

1) 以教师为主导的情景案例研讨

① 数据驱动: 授课教师提供某钢厂高炉-转炉长流程与典型非高炉流程(如 MIDREX、HYL/Energiron)的碳排放对比数据(如吨铁 CO₂ 排放、能耗指标), 结合国家钢铁行业有关碳达峰、碳中和等文件政策, 引导学生分析节能减排新技术替代的紧迫性;

② 案例聚焦: 例如, 以宝武八钢富氢碳循环氧气高炉(HyCROF)和瑞典 HYBRIT 氢基直接还原对比为案例, 解析其碳减排基本原理、技术瓶颈及经济性, 引导学生思考非高炉炼铁技术的重点发展方向。

2) 以学生为主体的分组任务与个性化学习

① 分组讨论: 将学生分成若干小组, 每组自主选取或由教师预先制定的若干选题中挑选一个非高炉炼铁技术, 鼓励学生从技术、经济、资源、环保等不同角度思考问题, 以此提高学生的团队协作能力和解决关键问题的能力。

② 资源支持: 教师提供国际钢铁协会(worldsteel 网址: <https://worldsteel.org/zh-hans/>)、中国金属学会等权威机构的技术报告, 以此加深对课程内容的理解; 引导学生合理利用图书馆和网络资源, 要求学生从权威检索平台获取相关资料, 例如, 知网、维普、万方、Wiley、EBSCO、SpringerLINK、EI Village 等专业平台检索最新文献等。锻炼学生的自学能力和信息检索能力。

3) 深度互动为主的课堂辩论与教师点评

在课堂上，各小组就其选题的关键点和主要内容进行讲述及辩论，教师提供专业点评，以此促进学生批判性思维的发展。教师主要以以下两个方面进行点评：

① 从技术可行性、经济性和碳减排潜力等方面进行评价；

② 纠正技术误区、补充行业动态和关联课程理论等。

3.4. 多元化考核体系

针对《非高炉炼铁》课程考核评价体系单一的问题，构建了“课程辩论－期末考试－综合评价”的多元化考核方式(见表 2)，以对应“价值塑造－知识传授－能力培养”三位一体的课程体系。其中，课程辩论是评估学生批判性思维、团队协作和沟通能力的重要环节；期末考试旨在评估学生对基础理论、工程案例和前沿技术的掌握程度；综合评价旨在全面评估学生的参与度、学习态度和创新能力等。具体细节如下：

课堂辩论采用“选题准备－资料搜集－小组预演－课堂辩论－教师点评”五阶段组织形式。首先由任课教师提供 6 个辩论主题(如“氢基直接还原与传统高炉炼铁技术经济性对比”)，然后学生以 5 人小组为单位选择主题并搜集资料，并对资料进行分析和归纳总结；在进行辩论之前先进行小组预演，教师担任指导者角色，针对论证逻辑、数据支撑等提供反馈；正式辩论，每组陈述 10 分钟，辩论 15 分钟，最后教师辩论情况进行点评。课堂辩论最终评价由准备充分度(30%)、论点清晰度(25%)、团队协助(20%)和辩论技巧(25%)四个维度组成，由教师和小组互评共同打分。

期末考试，教师将基础理论、工程案例和前沿技术三个模块的知识，通过选择题(20 分)、简答题(40 分)、论述题(20 分)和案例分析题(20 分)四大题型来综合考查学生对课程内容的掌握情况。其中基础理论部分(选择题和简答题)按知识点准确度评分；论述部分重点考察创新性和与国家战略契合度，按分析深度程度进行评分；案例分析根据技术可行性、经济性和碳减排潜力等表述情况进行评分。

综合评价体系采用形成性评价与终结性评价相结合的方式。主要包括课堂参与度跟踪表(20%)、小组作业(25%)、自主学习档案(25%)和创新思维评估(30%)。课堂参与度通过线上平台记录学生提问频次、讨论质量；小组作业主要根据分组任务中的各种表现及完成度进行评价；自主学习档案要求学生每周提交文献阅读笔记；创新思维评估则针对课程论文中的技术改进建议进行专项评分。所有评价标准均在课程开始时向学生明确公示，并说明评价的具体量化指标和成绩组成等。

通过上述精细化设计，教学干预确保了实施过程的规范性和可重复性。评价细则的量化指标既保证了评估的客观性，又为持续改进提供了数据支撑，为同类课程改革提供了可操作范本。

Table 2. Diversified evaluation content and indicators

表 2. 多元化考核内容及指标

课堂辩论			期末考试			综合评价		
内容	权重	考核指标	内容	权重	考核指标	内容	权重	考核指标
准备充分度	0.3	评估学生对辩论话题的深入研究程度和准备的全面性	选择题	0.4	测试学生对基础理论知识的掌握	课堂参与	0.3	评估学生在课堂讨论中的活跃程度和贡献
		评价学生论点的逻辑性和说服力			考察学生对典型工艺流程的理解			评估学生在分组任务中的表现，包括方案制定、资料收集和团队协作
论点清晰度			简答题			小组作业		

续表

团队协作	观察学生在小组中的角色和贡献，以及团队整体的表现	论述题	要求学生分析前沿技术的发展趋势和对行业的影响	自主学习	通过课后作业、资料收集和研讨活动，评估学生的自学能力和对课程内容的深入理解
辩论技巧	评估学生的辩论技巧，包括沟通能力、辩论和应对质疑的能力	案例分析	提供实际案例，要求学生运用所学知识进行分析，并提出解决方案。	创新思维	鼓励学生提出新的观点和解决方案，评价其创新能力对前沿技术的理解

4. 讨论与展望

本文围绕“双碳”目标，对《非高炉炼铁》课程进行了系统改革，构建了“价值塑造-知识传授-能力培养”三位一体的教学体系。实践表明，融合案例研讨、分组任务与多元考核的教学干预，有效提升了学生的专业素养、创新意识与低碳视野。

本改革与工程教育系统化改革的趋势一致。与文献[5]在课程思政与虚拟仿真方面的探索，以及文献[6]倡导的“低碳冶金型”人才培养方向高度契合，共同验证了跨学科融合与价值引领在专业教改中的重要性。本文进行了细化并提供了可操作的教学干预方案(如辩论评分量规、模块化考核等)，增强了实践参考价值。同时也存在一定的局限性，例如，评估偏重过程与结果，对学生低碳意识、工程伦理等核心素养的长期影响缺乏追踪；此外，前沿内容模块对教师个人科研背景依赖较强，课程质量在不同教学团队间可能存在差异。

针对上述局限，可以采取以下措施：

- ① 建立长效评估机制：构建毕业生追踪体系，持续评估学生核心素养的长期发展，全面衡量育人成效；
- ② 共建共享教学资源：推动校企、校际合作，共建开放、动态更新的“低碳冶金教学资源库”，降低对教师个体资源的依赖，提升课程内容的规范性与前沿性；
- ③ 深化产教融合：强化与企业的协同，将真实项目深度融入教学与考核，提升学生解决复杂工程问题的能力。

5. 结论

本文针对《非高炉炼铁》课程现状，以“学生中心、产出导向、持续改进”为核心，以“双碳”战略目标为导向，将素养培养目标有机融入课程教学改革之中，通过对课程教学内容重构、教学方式创新和多元化考核体系构建，能有效激发学生对课程兴趣、提升课堂参与度和提高其对“双碳”战略目标的理解。通过系统化的教学改革措施，不仅丰富了课程内容，提升了教学实效，而且通过强化理论与实践的结合，增强了学生的专业素养和环保意识，为钢铁行业的绿色转型输送具有国际视野和创新能力的高素质人才。

基金项目

面向新质生产力的冶金数智人才培养模式研究(中国冶金教育学会教育教学研究项目，No. YJJY2024028YB)；新时代冶金专业大学生价值塑造课程思政体系构建(武汉科技大学校级教学研究项目，No. 2022X014)。

参考文献

- [1] 周翔. “双碳”背景下我国炼铁碳减排路径[J]. 炼铁, 2022, 41(1): 49-53.
- [2] 张建良, 刘征建, 李克江, 等. “双碳”战略下我国炼铁工业的绿色低碳发展[J]. 炼铁, 2022, 41(5): 1-10.
- [3] 李翠, 郭会良, 玄振法, 等. 我国非高炉炼铁的现状与发展[J]. 山东冶金, 2024, 46(2): 7-10.
- [4] 李正, 梁思燕, 焦磊. 国外工程教育项目式课程体系的形成机理研究[J]. 高等工程教育研究, 2024(6): 161-169, 186.
- [5] 钱立新, 龙红明, 张颖异. “双碳”目标背景下冶金工程专业清洁生产课程教学改革研究[J]. 安徽工业大学学报(社会科学版), 2023, 40(4): 56-57, 90.
- [6] 贺山明, 王晓明, 佟志芳, 等. “双碳”目标视阈下冶金工程专业人才培养模式的教学改革与实践[J]. 科技风, 2024(25): 55-58.
- [7] 王晓蕾, 杨鹏. 国外工程教育质量评价标准研究及对我国应用型大学的启示[J]. 北京联合大学学报, 2024, 38(1): 29-36.
- [8] 张建良, 刘征建, 杨天钧. 非高炉炼铁[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2015.
- [9] 杨双平, 王苗, 折媛, 等. 直接还原与熔融还原冶金技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2013.
- [10] 卢立金, 王海风, 王锋, 等. 氢冶金工艺技术发展现状及应用[J]. 钢铁, 59(3): 183-196.
- [11] 陈晶, 杨吟宇, 伍雅倩, 等. OBE 教学理念与 BOPPPS 教学模式下药理学课程思政“金课”教学设计探索——以药品生产技术专业为例[J]. 广东化工, 2024, 51(16): 219-221.
- [12] 张娜, 任娟, 张丽菊. 以学生为中心采用 PAD 结合思维导图教学模式开展流行病学教学效果评价[J]. 卫生职业教育, 2024, 42(9): 61-64.
- [13] 王柳婷. “新工科”本科生核心素养及其培养研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北科技大学, 2020.
- [14] Pei, M., Petäjäniemi, M., Regnell, A. and Wijk, O. (2020) Toward a Fossil Free Future with HYBRIT: Development of Iron and Steelmaking Technology in Sweden and Finland. *Metals*, **10**, Article 972. <https://doi.org/10.3390/met10070972>
- [15] Tang, J., Chu, M., Li, F., Feng, C., Liu, Z. and Zhou, Y. (2020) Development and Progress on Hydrogen Metallurgy. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, **27**, 713-723. <https://doi.org/10.1007/s12613-020-2021-4>
- [16] 康斌. 欧洲钢铁企业氢能利用研究项目探析[J]. 冶金管理, 2019(10): 56-60.
- [17] 谭琦璐, 刘兰婷, 朱松丽. 全国碳交易下中国钢铁行业的基准线法研究[J]. 气候变化研究进展, 2021, 17(5): 590-597.
- [18] 朱齐艳, 陈卉, 柳金伟, 等. 钢铁生产企业典型工序的碳排放配额分配方案建议[J]. 工业安全与环保, 2023, 49(5): 100-102.