

# 新工科导向的“智能选矿”课程教学方法探索

吕子奇, 孙美洁, 王卫东, 涂亚楠, 徐志强, 解维伟

中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院, 北京

收稿日期: 2024年12月18日; 录用日期: 2025年2月6日; 发布日期: 2025年2月17日

## 摘要

围绕“智能选矿”课程的教学设计与实施展开探讨, 分析了课程在新工科背景下面临的主要问题及解决策略。课程内容涉及人工智能与矿物加工两大领域, 针对学时限制、知识体系庞杂以及前置课程设置薄弱等问题, 提出了通过合理设置课程目标、线上线下结合、交互式教学组件等方式, 优化课程结构与教学模式。通过案例教学与实践操作, 提升了学生的实际应用能力与创新思维, 推动了理论与实践的深度融合。课程的开展不仅满足了煤炭行业智能化人才培养的需求, 也为矿物加工工程的智能化转型提供了理论依据与实践指导。

## 关键词

新工科, 矿物加工, 人工智能, 智能选矿, 教学方法

# Exploration of Teaching Methods for “Intelligent Beneficiation” Course under the New Engineering Education Framework

Ziqi Lyu, Meijie Sun, Weidong Wang, Yanan Tu, Zhiqiang Xu, Weiwei Xie

School of Chemical & Environmental Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing

Received: Dec. 18<sup>th</sup>, 2024; accepted: Feb. 6<sup>th</sup>, 2025; published: Feb. 17<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

This paper explores the teaching design and implementation of the “Intelligent Beneficiation” course, analyzing the main challenges and solutions faced under the framework of New Engineering Education. The course content spans two major fields: artificial intelligence and mineral processing. In response to challenges such as time constraints, a complex knowledge system, and weak prerequisite courses, the paper proposes strategies to optimize the course structure and teaching model,

**including setting clear course objectives, combining online and offline learning, and incorporating interactive teaching components. Through case-based teaching and practical operations, the course enhances students' practical application skills and innovative thinking, fostering a deeper integration of theory and practice. The implementation of this course not only meets the demand for talent development in the intelligent coal industry but also provides a theoretical foundation and practical guidance for the intelligent transformation of mineral processing engineering.**

## Keywords

**New Engineering Education, Mineral Processing, Artificial Intelligence, Intelligent Beneficiation, Teaching Methods**

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

随着科技的迅猛发展和工业生产的不断进步,我国高等教育领域正在逐步转型,以适应新兴产业和新经济对复合型高素质人才的迫切需求。新工科的提出不仅是对传统工科教学理念的升级,更是对实践能力、创新能力和国际竞争力的全面提升[1]。面向未来,以互联网、大数据、人工智能和区块链等为核心的技术浪潮,正深刻地重塑全球工业体系。在此背景下,高等教育必须在教学内容和培养目标上做出积极调整,以培养能够在复杂工程环境中灵活应用新技术、解决实际问题的复合型工程技术人才。

与此同时,煤炭作为我国能源结构中的主体,其绿色智能开采与加工在保障国家能源安全的过程中始终占据着重要地位。然而,传统煤矿行业面临诸多挑战:资源开采条件复杂化、安全生产需求迫切化,以及节能环保目标严格化。为此,我国政府在煤矿智能化建设方面制定了一系列战略规划和指导意见。八部委联合印发的《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》,为煤炭行业的智能化发展指明了方向,明确了智能化技术与产业深度融合的重要性,强调了煤炭工业高质量发展的必要性[2]。这不仅推动了煤矿生产方式的深刻变革,也对矿物加工工程领域的智能化转型提出了新的要求。

在这一新时代背景下,矿物加工工程专业面临全新的机遇与挑战。智能化技术的快速发展要求专业技术人才具备多学科交叉背景和实践能力,不仅能够掌握矿物加工过程的基本理论,还能熟练应用人工智能、大数据分析处理技术,解决生产实际中的复杂工程问题[3]。因此,高校教育体系必须在教学内容、实验设计、实践环节等方面进行全面升级,培养符合行业发展需求的创新型人才。目前,国内各大矿业类高校均围绕智能化目标对本科教学与试验方法进行创新性调整,如安徽理工大学开设了“智能选矿”课程,并基于“线上线下+虚拟仿真”模式对矿物加工工程专业的生产实习环节进行创新[4][5]。中南大学引入虚拟仿真的教学手段,解决了传统教学无法开展全流程实验的难题[6]。中国矿业大学(北京)建立智能化实验管理系统,对矿物加工工程专业实验室进行升级改造[7]。上述教学、实验、实践环节的创新都对行业人才的培养起到推动作用,也凸显了智能化人才培养在矿业领域的重要性与迫切性。

为响应这一时代诉求,中国矿业大学(北京)矿物加工工程专业开设了“智能选矿”课程。这门课程旨在满足矿物加工工程专业人才培养的新要求,通过教学内容的创新设计,为学生搭建矿物加工智能化理论与实践相结合的平台。课程的核心目标在于使学生能够系统掌握矿物加工智能化的概念、发展现状及未来趋势,深入理解智能化建设的目标与框架结构,熟悉人工智能技术的基本原理及其在选矿过程中的应用路径。

## 2. 课程教学面临的主要问题

### (1) 行业对人才需求与课程培养定位的平衡

随着智能化技术在矿物加工领域的深入应用，行业对相关人才的需求愈加迫切。智能选矿课程融合了人工智能和矿物加工两大领域，二者在知识体系和技术应用上存在显著差异。人工智能侧重于数学建模、算法设计及编程实现，而矿物加工则以传统工艺与生产优化为核心。这样跨学科的课程内容对知识体系的搭建提出了挑战。如何定位课程培养目标，既满足行业对智能化技术的需求，又能够与学生现有知识水平相匹配，是课程设计的核心问题。

### (2) 教师对少学时课程与庞杂知识体系的平衡

智能选矿课程内容涉及多个领域的知识，但当前作为专业选修课程，其学时设置不宜过多。如何在短时间内高效传授这些庞杂的知识体系，是授课教师面临的重要挑战。由于该课程开设较新，前置课程的相关知识尚不完善，部分学生缺乏对人工智能基础理论知识的理解。因此，教师如何通过合理的课程结构设计，将复杂内容进行有效的拆解与整合，分层次、模块化地进行讲解，是课程讲授的难点。

### (3) 学生对智能化技术新鲜感与对复杂数学知识畏难感的平衡

智能化技术的迅猛发展吸引了许多学生的兴趣，尤其是在图像处理、机器学习和数据分析领域。然而，实现智能化的底层算法中涉及大量复杂的数学理论，如高等数学、概率论、线性代数等，这些理论对大部分学生来说较为抽象，学习起来可能感到困难，进而产生畏难情绪[8][9]。因此，如何利用学生对智能化技术的兴趣，激发他们的学习热情，深入浅出地讲解数学原理，成为教师的重要任务。

## 3. 融入多元化教学模式的课程设计

“智能选矿”课程的开设不仅是响应行业需求的必然选择，更是培养学生具备应对未来行业挑战的关键步骤。在此背景下，本文提出以下五个方面，来应对当前课程教学与人才培养中遇到的难题。

### 3.1. 合理设置课程目标，推进课程培养效果向行业需求对齐

课程目标的设置必须全面考虑矿物加工行业的现状和发展趋势。智能化选矿技术的发展使得人工智能、机器学习、大数据分析等技术在选矿过程中的应用逐渐成为行业竞争力的重要因素。课程目标应当结合这一趋势，培养学生能够在智能选矿过程中，综合运用人工智能技术与矿物加工专业知识，解决实际工程问题的能力。因此，课程的核心目标应包括三个方面：理论知识的掌握、技术应用的能力、以及解决实际问题的能力。

具体而言，课程目标可分为以下几方面：

(1) 掌握矿物加工智能化的基本概念与现状：学生应系统了解智能选矿的背景、基本概念以及当前行业中的智能化发展现状。这一目标要求学生不仅能理解智能选矿的内涵，还能清楚行业的智能化发展趋势，具备行业发展动向的敏感性。

(2) 掌握人工智能与矿物加工的交叉技术：课程应帮助学生掌握人工智能的基本原理，从特征工程、线性回归理论、卷积神经网络等基础理论，延伸到图像识别分类、时序信号分析、强化学习等先进任务，并且要能够在讲述上述理论知识时与矿物加工工艺相结合，形成完整且适用于矿物加工专业学生的智能选矿技术框架。

(3) 培养解决工程实际问题的能力：课程目标还应包括培养学生通过案例分析、数据建模等方式，解决矿物加工中的实际问题，尤其是在智能化应用方面的挑战。例如，如何通过图像分析实现煤矸石的自动识别，如何利用机器学习提高典型工艺过程(如浮选、重选、固液分离等)的选矿效率，如何在复杂的矿物处理过程中利用智能化手段进行实时监控和反馈。

### 3.2. 线上线下相结合，拓宽课堂教学内容与学生学习路径

由于人工智能理论知识的复杂性和知识更新的迅速性，教师和学生都面临着如何在有限的学时内高效传授和学习大量理论与技术的问题。因此，结合线上和线下教学，拓宽课堂教学内容和学生学习路径，成为提升教学质量、促进学生全面发展的重要手段。在线学习平台的广泛应用，使得课程内容不仅仅局限于课堂的讲解，还可以通过网络平台延伸到课外学习。这种教学模式不仅方便学生自主学习，还能让学生在课堂之外进行更深入的探讨和思考，从而弥补课堂时间的局限性，实现更全面的知识掌握。

(1) 线上资源的有效整合与利用：人工智能的相关理论部分，许多概念和算法较为抽象，需要学生在课堂之外进行深入了解。为了有效弥补这一知识差距，教师可以通过线上平台将理论教学与实践应用有机结合。以开源精神为依托，教师可以引导学生参考国内外的优秀在线资源，例如斯坦福大学的“CS231n: Deep Learning for Computer Vision”、麻省理工学院的“Artificial Intelligence”浙江大学的“人工智能：模型与算法 - 吴飞”等，利用这些公开课和学习资料，帮助学生全面理解人工智能的基本理论和方法[10]。

(2) 线下课堂的重点与难点突破：尽管线上学习资源丰富，但在线学习并不能完全替代面对面的课堂互动。线下课堂仍然在学生在学习过程中起着至关重要的作用，尤其是当涉及理论复杂、实践环节较多的课程时，线下教学可以为学生提供必要的指导和帮助。在“智能选矿”课程的设计中，线下教学应以重点难点突破为核心，帮助学生在算法理解和实际应用时，能够更好地消化和理解。

(3) 师生互动与课程持续优化：针对课程中的编程与算法应用部分，教师可以依托当前流行的在线学习平台，设计线上作业和编程任务，要求学生利用所学的编程语言(如 Python)编写代码，进行矿物加工中的数据处理、图像识别等实验。这不仅能帮助学生加深对算法原理的理解，还能提升其实际编程能力和问题解决能力。通过师生互动的深化，教师还可以根据学生的学习情况，针对性地调整教学策略。例如，在学生在学习过程中遇到的困难，教师可以通过线上平台进行集中讲解和辅导，帮助学生及时消化难点，确保每一位学生都能跟上课程进度。此外，教师还可以根据学生的学习反馈，进一步优化课程内容，确保教学质量的持续提升。

### 3.3. 编程开发交互式教学组件，实现关键知识内容的立体化呈现

在智能选矿的教学中，许多核心概念和算法往往涉及复杂的数学原理和动态变化过程。学生往往难以通过传统的文字、图片和视频等多媒体方式完全理解这些内容，因为这些表现形式缺乏交互性，难以让学生感受到算法运行的动态过程，从而导致知识理解得不深刻。为了弥补这一不足，开发交互式教学示例，能够让学生直观地感知和操作关键知识内容，提升学习效果。

交互式教学组件是一种基于计算机编程语言开发的教学工具，它通过模拟和展示算法的实时运作，让学生能够在实践中直观感知理论的实际应用[11][12]。这种方式突破了传统教学方法的限制，将抽象的算法与数学模型转化为可操作、可视化的过程。学生可以通过调整参数、运行程序，实时看到不同输入条件下的算法表现，从而更加深入地理解算法背后的原理和机制。与传统的教学方式相比，交互式教学组件有以下几个显著优势：1) 动态可视化：学生可以直观地看到算法运行的过程，帮助他们更好地理解每个步骤和计算背后的意义。2) 即时反馈：学生可以通过调整参数，立即看到不同设置对结果的影响，这种即时反馈能够促进学生深入思考和自我修正。3) 增强参与感：通过交互式操作，学生能够主动参与到学习过程中，提升他们的学习兴趣和参与度。

在“智能选矿”课程中，PID 控制算法是一个典型的案例。PID 控制是自动控制理论中最常用的一种算法，广泛应用于矿物加工过程中设备的自动调节和控制。传统的教学方式通常通过数学公式和静态图表来展示 PID 控制的基本原理，虽然能够传达算法的数学背景，但缺乏动态的展示，难以帮助学生真正理解比例、积分和微分三部分的作用[13]。为了解决这一问题，可以通过编程开发一个交互式教学组件，

允许学生在界面上调整比例、积分和微分三个控制环节的参数，并实时观察这些参数变化对控制结果的影响。例如，学生可以通过滑动条调节 P、I、D 三个超参数的数值，然后系统会实时显示系统的响应曲线，让学生直观感知每个参数的调整如何影响控制过程，如何影响系统的稳定性与响应速度。如图 1 所示，交互软件以无人机悬停高度控制为例，通过将积分系数调节为零，可以使学生直观感受积分系数对静态误差的消除作用。这种互动式的学习方式不仅能帮助学生更好地理解 PID 算法的工作原理，还能使他们在实践中掌握调节和优化控制策略的能力。

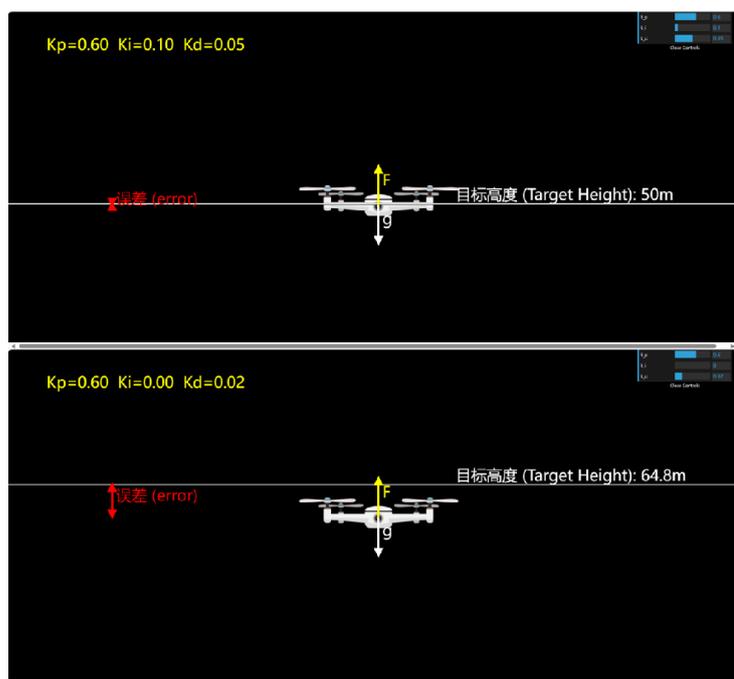


Figure 1. PID teaching interactive component  
图 1. PID 教学交互式组件

另一个经典的例子是支持向量机(Support Vector Mechanics, SVM)算法，SVM 广泛应用于图像识别和分类任务中，它的核心思想是通过核函数将数据映射到高维空间，并利用超平面将数据分割成不同类别 [14]。SVM 的基本理论较为抽象，尤其是核函数如何作用、如何在高维空间中找到最优超平面等概念，学生往往难以直观理解。为了帮助学生理解 SVM 的核心思想，可以开发一个交互式程序，允许学生通过调整不同的核函数(如线性核、径向基核等)来观察数据点在高维空间中的映射变化。学生可以通过该程序选择不同的核函数，并实时看到数据在二维或三维空间中的分布情况，进一步理解不同核函数如何影响特征空间的维度转换和分类结果。同时，程序还可以动态展示如何通过超平面来划分不同类别，学生可以通过调整超平面的参数，观察分类结果的变化，直观地理解超平面的优化和分类的过程。

### 3.4. 理论实践相结合，以矿物加工场景下的实际任务为导向融汇教学内容

“智能选矿”课程的核心目标利用人工智能技术解决传统矿物加工领域的问题。因此，课程除了人工智能理论知识的传授外，教学内容应紧密结合矿物加工的实际工艺，运用具体的工程任务作为驱动，使学生能够理解并掌握人工智能技术如何在矿物加工领域发挥作用。接下来以两个典型工艺过程为例阐述教学内容设计思路。

#### (1) 原煤预排矸与除杂

在矿物加工的过程中,原煤预排矸与除杂是一个至关重要的环节。传统的人工分选方法存在效率低、准确性差、劳动强度大等问题,而基于深度学习的目标检测与识别技术的应用,能够极大提高分选的精度和效率[15][16]。目前,基于图像与深度学习的煤矸识别研究已相对成熟,而且图像识别类算法作为深度学习知识的入门级知识,适宜引入本科生教学[17]-[20]。在课程教学中,需要让学生了解如何制作高质量的图像数据,如何构建并训练深度学习模型,最终实现基于图像数据的自动识别与分选。通过该部分教学,学生不仅能够掌握深度学习的基本原理和技术,还能了解到深度学习如何具体应用于矿物加工中的图像识别任务,帮助他们理解如何通过数据分析解决实际工程问题。

(2) 浮选过程监测与控制

浮选过程是矿物加工中的一项关键工艺,主要用于从矿石中分离出有用矿物。在传统的浮选过程中,操作人员需要根据经验来调节浮选池的运行参数,如气泡的产生、药剂的投加量、矿浆的浓度等。这种方法不仅依赖于人工经验,还容易受到环境变化的影响,导致浮选效果的波动[21]。而随着智能化技术的发展,基于浮选过程的图像分析和工艺控制的智能化逐渐成为一种趋势。在此类技术中,针对浮选泡沫图像的分析作为整套智能化技术方案的前置环节,同样研究相对成熟,因此适宜引入本科生教学[22][23]。在课程设计中,可以引导学生思考如何通过图像处理技术,分析浮选泡沫的大小、分布以及动态变化,进而推断出浮选过程中的药剂投加量、气泡产生速度等关键参数的变化,从而为浮选过程的优化提供数据支持。进一步地,讲授如何构建基于数据分析的智能控制系统,掌握如何利用人工智能技术对浮选过程进行自动化调整,从而提高分选的效率和质量。

如以上两个教学内容的论述,课程设计需要注重将人工智能技术应用到实际任务中。学生能够在实际工程背景下进行学习,避免单纯的理论学习和抽象应用。同时,这种任务导向的教学方法能够帮助学生将所学的知识与现实世界的需求紧密对接,使其在未来的工作中能够更好地应对矿物加工领域的复杂问题。

4. 教学实践与效果评价



Figure 2. Excellent student course design example  
图 2. 优秀学生课程设计示例

“智能选矿”课程自2023年春季学期开始实施,通过合理设置课程目标和优化教学设计,解决了行业需求与课程定位、学时与知识体系的平衡、以及学生学习兴趣与基础能力的矛盾。课程紧密结合人工智能技术与矿物加工工艺,帮助学生理解智能化在煤矸石识别、浮选智能化等工艺中的应用,提升了学生的实践能力。在教学方法上,线上线下相结合的模式使学生能够自主学习人工智能相关基础知识,同时通过在线作业与编程实践,增强了其动手能力。交互式教学组件的使用,使得抽象的算法原理得以直观展示,学生通过编程调整控制参数和核函数等,深入理解算法本质。通过课程培养,学生可以围绕矿物加工工艺中的典型工艺环节及其问题,合理分析工艺需求、设计可靠的技术路线、实现关键技术环节(如图2所示)。基于教学方法的更新,24年学生平均成绩较23年上涨7.5分,优秀率上涨14.6%。综上,有针对性的课程设计取得了显著成效,未来将继续优化教学内容与方法,培养更多符合行业需求的创新型人才。

## 5. 结语

“智能选矿”课程的教学实践不仅顺应了新工科背景下对复合型人才的需求,也紧密结合了煤炭行业智能化转型的实际需求。通过优化课程目标、融入多元化教学模式、结合人工智能技术与矿物加工实践,成功解决了行业需求与课程定位、学时与知识体系等教学难题。实践表明,创新的教学方式和跨学科的内容整合有效激发了学生的学习兴趣和实践能力,提升了其在智能化选矿领域的应用能力。未来,课程将在不断反馈与调整中,继续探索更加适应行业需求的教学方法,为培养高素质的矿物加工创新型人才贡献力量。

## 基金项目

中国矿业大学(北京)本科教育教学改革与研究项目“‘人工智能+’背景下《智能选矿》课程教学方法研究”(J240304)。

## 参考文献

- [1] 钟登华. 新工科建设的内涵与行动[J]. 高等工程教育研究, 2017(3): 1-6.
- [2] 关于加快煤矿智能化发展的指导意见[N]. 中国煤炭报, 2020-03-05(002).
- [3] 丁阳, 高龙, 王兵生, 等. 煤矿企业智能化人才培养路径探究[J]. 中外企业文化, 2024(6): 77-79.
- [4] 吕文豹, 刘海增, 马克平, 等. 《智能选矿》课程项目化教学的探索和实践[J]. 办公自动化, 2023, 28(2): 37-39+46.
- [5] 王传真, 刘海增. 基于“线上线下+虚拟仿真”模式下的矿物加工工程专业生产实习创新与实践研究[J]. 长春大学学报, 2023, 33(8): 97-103.
- [6] 范晓慧, 陈凤, 唐鸿鹄, 等. 矿物加工虚拟仿真实验教学建设及实践——以中南大学矿业学科为例[J]. 创新与创业教育, 2024, 15(2): 89-95.
- [7] 王卫东, 涂亚楠, 徐宏祥, 等. 矿物加工工程专业实验室智能管理系统设计与实践[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(12): 10-13+18.
- [8] 伊宸廷. 人工智能赋能高校人才培养的时代意义与实践路径[J]. 黑龙江教育(高教研究与评估), 2024(12): 49-52.
- [9] 王兴梅, 杨东梅, 蔡成涛. 新工科背景下“五融入”创新人才培养模式研究——以“机器学习”课程为例[J]. 科教导刊, 2024(1): 80-82.
- [10] 杨平展, 蒋嘉伟, 廖容宽. 具身认知视角下线上课程开发的未来走向[J]. 中国教育信息化, 2024, 30(1): 120-128.
- [11] 李佳坤, 钟蕾. 基于 CAID 的人工智能交互式教学方法在研究生教育改革中的应用[J]. 包装工程, 2024, 45(S1): 489-493.
- [12] 康皓, 李月华, 杨硕. 多模态影像技术交互式教学平台在眼科临床教学中的应用[J]. 中国病案, 2024, 25(7): 89-92.
- [13] 司明, 胡灿, 鄂伯藩, 等. PID 控制与性能评价仿真实验系统设计[J]. 实验室研究与探索, 2023, 42(12): 100-

105+209.

- [14] 张学工. 关于统计学习理论与支持向量机[J]. 自动化学报, 2000(1): 36-46.
- [15] 徐志强, 吕子奇, 王卫东, 等. 煤矸智能分选的机器视觉识别方法与优化[J]. 煤炭学报, 2020, 45(6): 2207-2216.
- [16] Lv, Z., Wang, W., Xu, Z., Zhang, K. and Lv, H. (2021) Cascade Network for Detection of Coal and Gangue in the Production Context. *Powder Technology*, **377**, 361-371. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.08.088>
- [17] Lv, Z., Wang, W., Xu, Z., Zhang, K., Fan, Y. and Song, Y. (2021) Fine-Grained Object Detection Method Using Attention Mechanism and Its Application in Coal-Gangue Detection. *Applied Soft Computing*, **113**, Article ID: 107891. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107891>
- [18] Lv, Z., Wang, W., Zhang, K., Li, W., Feng, J. and Xu, Z. (2022) A Synchronous Detection-Segmentation Method for Oversized Gangue on a Coal Preparation Plant Based on Multi-Task Learning. *Minerals Engineering*, **187**, Article ID: 107806. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2022.107806>
- [19] Lv, Z., Cui, Y., Zhang, K., Sun, M., Li, H. and Wang, W. (2023) Investigating Comparisons on the Coal and Gangue in Various Scenarios Using Multidimensional Image Features. *Minerals Engineering*, **204**, Article ID: 108450. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2023.108450>
- [20] Lv, Z., Wang, W., Zhang, K., Tian, R., Lv, Y., Sun, M., et al. (2024) A High-Confidence Instance Boundary Regression Approach and Its Application in Coal-Gangue Separation. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **132**, Article ID: 107894. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.107894>
- [21] 王占富, 程会朝, 许慧林, 等. 煤泥浮选智能化控制系统研制[J]. 煤炭加工与综合利用, 2022(8): 6-11.
- [22] Fan, Y., Lv, Z., Wang, W., Tian, R., Zhang, K., Wang, M., et al. (2022) A Density Map Regression Method and Its Application in the Coal Flotation Froth Image Analysis. *Measurement*, **205**, Article ID: 112212. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.112212>
- [23] Fan, Y., Lv, Z., Song, Y., Zhang, K., Wang, W., Chen, S., et al. (2024) Optimizing Flotation Froth Image Segmentation via Parallel Branch Network and Hybrid Loss Supervision. *Minerals Engineering*, **219**, Article ID: 109060. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2024.109060>