

基于 OBE 理念的精轧 AGC 虚拟仿真实验系统

万春秋, 李擎, 李希胜, 崔家瑞, 徐银梅

(北京科技大学 自动化学院, 北京 100083)

摘要: 为了满足工程教育专业认证对自动化专业人才培养的要求, 借鉴 OBE 成果导向教育理念, 设计开发了精轧 AGC 虚拟仿真实验系统。首先, 基于冶金行业自动化专业人才培养需求, 制定出虚拟仿真实验系统建设目标和总体建设思路; 然后, 从开发方案、软件界面设计、实验案例三方面详细介绍了实验系统的建设内容; 最后, 围绕工程教育“以学生为中心”的理念概要说明了实验系统的教学实践模式。该实验系统紧贴工程实际, 涵盖了精轧 AGC 控制系统设计相关的全部内容, 教学实施各阶段均以学生为主体, 可较大激发学生的实验积极性, 有利于学生综合创新和工程实践能力的培养。

关键词: OBE 成果导向教育; 精轧 AGC 系统; 虚拟仿真实验教学; 以学生为中心

The virtual simulation experimental system for AGC based on OBE concept

Wan Chunqiu, Li Qing, Li Xisheng, Cui Jiarui, Xu Yinmei

(School of Automation and Electrical Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing
100083, China)

Abstract : In order to meet the requirements of engineering education accreditation for the cultivation of automation talents, the virtual simulation experimental system for Automatic Gauge Control (AGC) is designed and developed by using the Outcomes-Based Education (OBE) concept. Firstly, the construction target and the overall construction idea of the experimental system are formulated based on the talent training demand of automation specialty in Metallurgical Industry. Secondly, the construction content of the experimental system is introduced in detail from three aspects: the development scheme, the software interface design and the experimental cases. Lastly, the teaching practice mode is briefly explained based on the Student-Centered concept of engineering education. This present experimental system is close to the engineering reality, and covers all the contents related to the control system design of AGC system. The Student-Centered concept is applied in every stage of teaching implementation, which

greatly stimulates the students' experimental enthusiasm. And it is beneficial to the cultivation of students' comprehensive innovation and engineering practice ability.

Keywords: Outcomes-Based Education (OBE); AGC system; virtual simulation experimental teaching; Student-Centered

1 引言

根据 2017 年 4 月教育部发布的“新工科”建设行动路线（“天大行动”），高校要“推进信息技术与教育教学深度融合”，“充分利用虚拟仿真等技术创新工程教育实践教学方式”^[1]。教育部 2018 年 5 月发布的《关于开展国家虚拟仿真实验教学项目建设工作的通知》指出，开展虚拟仿真实验教学项目建设，是推进现代信息技术与实验教学项目深度融合、拓展实验教学内容广度和深度、延伸实验教学时间和空间、提升实验教学质量和水平的重要举措^[2]。为了满足新工科背景下高校实践教学改革创新的要求，提升实践教学质量，各大高校纷纷开展虚拟仿真实验教学项目研究，并取得了一些成果^[3-7]。

北京科技大学自动化学院经过 60 余年的发展，在孙一康等老一辈专家学者的带领下，经过几代人的精耕细作，逐步确立了在冶金自动化领域的领先地位。我校自动化专业于 2019 年入选首批国家一流本科专业建设点，是国家级特色专业并通过两轮工程教育专业认证，在实验实践类课程教学改革方面取得了一系列成果^[8-12]。基于以上背景，自动化专业的人才培养要求定位为：“培养具有冶金行业特色的自动化领域复合创新型工程技术人才”。

基于我校自动化学院冶金自动化学科特点和高校实践教学信息化发展需求，从自动化专业本科生培养目标和工程实践需求出发，遵从 OBE 工程教育理念，以精轧 AGC 系统为对象，按照“系统建设目标→系统建设思路→系统建设内容→系统教学实践”的思路进行反向设计，完成基于实际工程问题的虚拟仿真实验系统建设，为自动化专业本科生《自动化生产线实训》等课程实践教学提供支撑，重点培养学生解决冶金自动化领域复杂工程问题的能力。

2 系统建设目标及思路

2.1 系统建设目标

带钢热连轧自动控制是冶金工业生产中应用自动控制技术最成功、最有效的领域之一。热连轧的工艺过程复杂，其中精轧决定了厚度精度、板形质量、力学性能等主要指标，精轧生产过程的先进控制技术是钢铁行业研究的一个重要方向^[13-17]，对于以冶金为特色学科的高校自动化类学生的工程实践具有重要意义。

基于精轧系统生产工艺控制要求，以及自动化专业本科生工程实践能力培养要求，精轧 AGC 虚拟仿真实验系统建设目标设计为：

- 1) 了解冶金行业典型环节基本组成与工艺流程；
- 2) 熟悉精轧 AGC 系统控制原理、数学模型构建方法、核心技术指标及特点；
- 3) 掌握精轧 AGC 系统带钢出口厚度等控制目标值设定方法；
- 4) 掌握 Simulink 控制系统建模方法和经典控制算法逻辑机理，能够运用控制理论知识和现代软件工具进行实际工程问题控制系统的设计与实现；
- 5) 精通精轧 AGC 系统控制参数整定方法和动态性能指标分析方法，能够运用控制理论知识研究解决实际工程问题，创新控制系统解决方案。

2.2 系统建设思路

OBE 强调围绕预期学习成果开展教学活动，认为教学设计和教学实施的目标是学生通过教育过程最后所取得的学习成果^[18]。我校自动化专业基于学校办学定位，将学生培养目标细化为具体的知识、能力、素质要求，依此制定实践类课程能力培养要求，具体包括工程知识应用、建模与设计、工程研究、现代工具使用、职业规范、沟通和自主学习等七大能力。

基于 OBE 工程教育理念，虚拟仿真实验系统建设从冶金行业发展需求和自动化专业学生实践创新能力培养出发，基于精轧 AGC 系统工程实践典型成果，设计了轧制规程设定和 AGC 系统控制过程两个实验模块共 6 个实验项目，使学生了解和掌握带钢热连轧工艺流程、自动厚度控制原理、控制系统设计与实现方法等，培养学生的工程知识应用、工程研究等工程实践能力，系统整体架构及能力培养方案分别如图 1 和图 2 所示。

3 系统建设内容

3.1 系统开发方案

借助 Matlab2018b 完成虚拟仿真实验系统软件平台的开发，主要开发方案如下：

- 1) 利用 Matlab/GUI 可视化功能完成系统主界面和各实验项目人机交互界面的设计，用于实验参数设置、实验操作和实验结果展示等；
- 2) 利用 Matlab/Simulink 控制系统仿真功能完成 AGC 控制系统仿真模型搭建，用于执行核心控制算法的仿真运算；
- 3) 利用 Matlab 控制系统库函数完成后台程序编制，包括轧制规程设定过程仿真、AGC 系统 Simulink 仿真模型调用和仿真结果分析等。

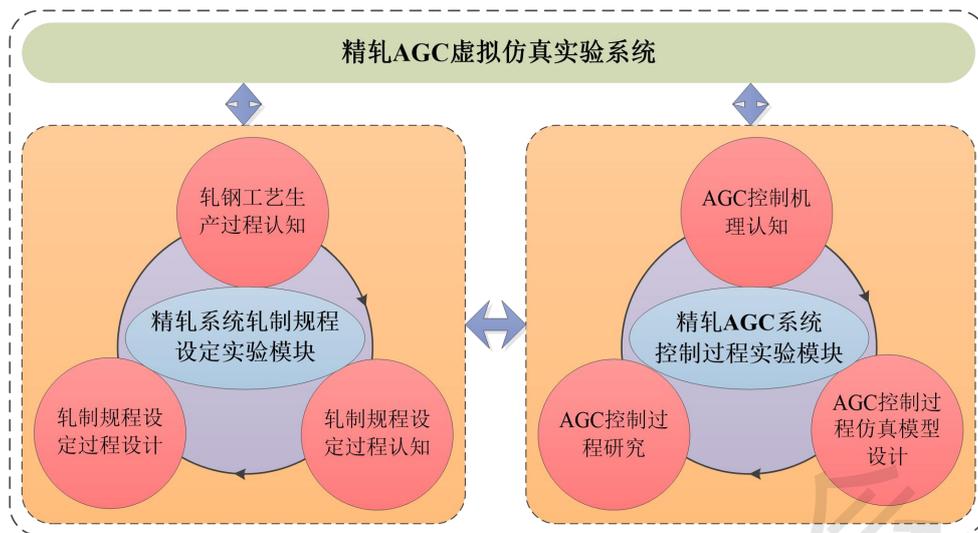


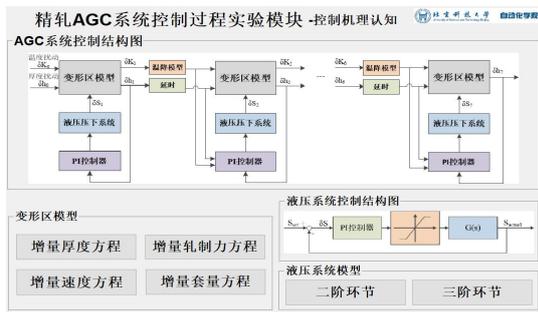
图1 虚拟仿真实验系统整体架构



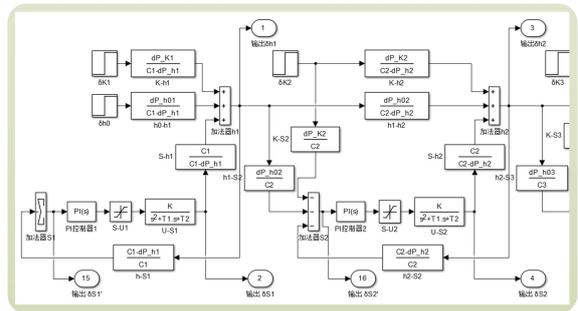
图2 虚拟仿真实验系统能力培养方案

3.2 系统软件界面设计

根据系统构建方案，虚拟仿真实验系统主界面及各实验项目软件界面分别如图3、图4和图5所示。



(a) AGC 控制机理认知实验



(b) AGC 控制过程仿真模型设计实验



(c) AGC 控制过程研究实验

图 5 精轧 AGC 系统控制过程实验模块软件界面

3.3 实验案例设计与应用

采用层次递进式系统设计方案,虚拟仿真实验系统建设的目标是引导学生由浅入深地完成带钢热连轧自动厚度控制系统的设计与研究,因此,AGC 控制过程研究实验为虚仿系统设计的核心,以下重点介绍该实验的设计与应用思路。

1) 实验目的

本项实验属于探索研究型实验,主要实验目的是使学生具备以下能力:

- (1) 掌握 AGC 系统控制过程研究中变形区、液压系统、控制器等参数设置方法;
- (2) 掌握超调量、调节时间等动态性能指标分析方法;
- (3) 了解比例常数等对 AGC 系统控制性能的不同影响,掌握 PI 控制器参数整定方法;
- (4) 能够根据生产需求创新控制系统设计方案,具备运用控制理论知识研究解决实际工程问题的能力。

2) 实验界面设计

基于以上实验目的,实验界面设计为参数设置、仿真结果展示和控制按钮三个区域,如图 6 所示。

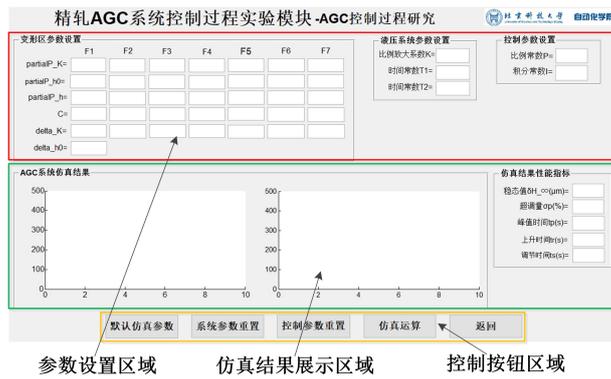


图 6 AGC 控制过程研究实验界面设计方案

- (1) 参数设置区域。用于依据生产工艺和研究需求进行变形区、控制系统等参数设置。
- (2) 仿真结果区域。用于展示主要控制指标时域曲线及仿真结果性能指标，供学生进行不同控制方案的研究分析。
- (3) 控制按钮区域。用于 AGC 控制系统研究的参数设置、仿真运算等实验操作。

3) 后台程序设计

在 Matlab2018b 开发环境下，通过回调函数编程、Simulink 仿真模型调用等实现实验界面“仿真运算”等不同功能按钮后台程序的设计，软件流程结构如图 7 所示。

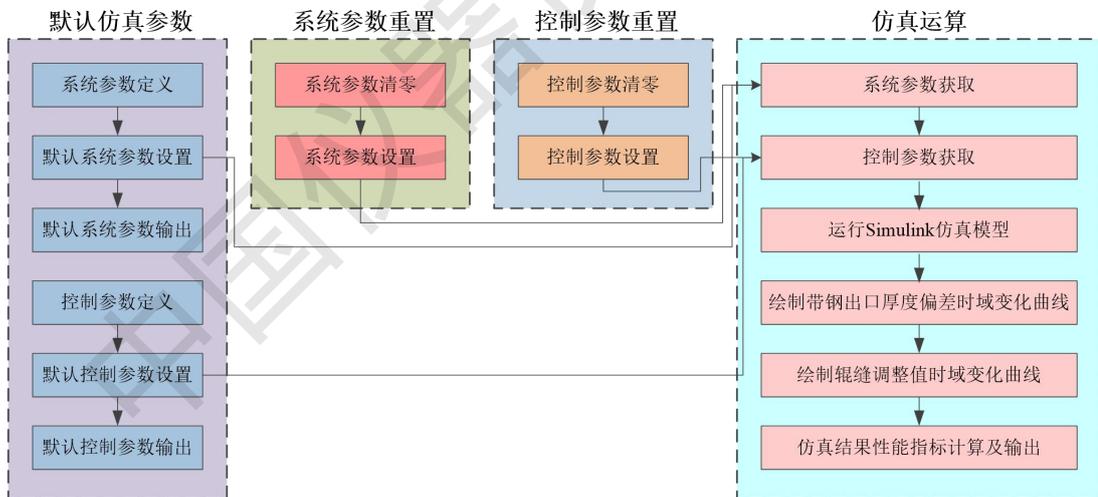


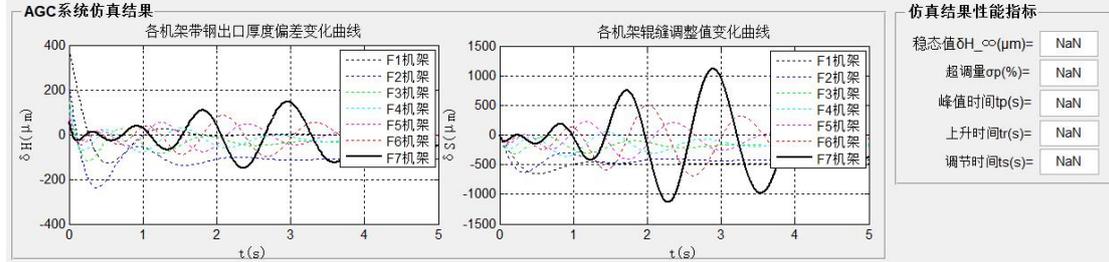
图 7 AGC 控制过程研究实验软件流程

由图 7 可知，“仿真运算”为 AGC 控制过程研究实验的核心模块，Simulink 模型的仿真运算、主要控制指标时域曲线绘制及控制结果性能指标计算均由本模块实现，“默认仿真参数”等三个参数设置模块为“仿真运算”模块提供仿真实验的系统参数和控制参数。

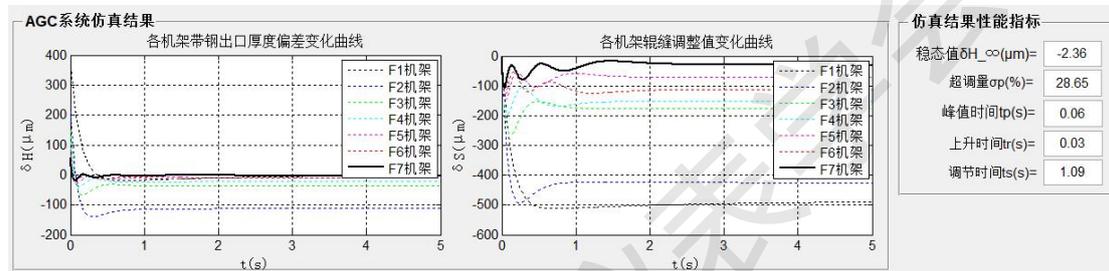
4) 实验仿真分析

以鞍钢 1700mm 热连轧为例，对 AGC 系统控制过程研究实验进行说明。钢种为 Q235，

带钢入口厚度 $h_0=32\text{mm}$ ，成品厚度 $h=2\text{mm}$ ，厚度扰动 $\delta h_0=1.5\text{mm}$ ，温度扰动 $\delta T=20^\circ\text{C}$ 。设置两组 PI 控制器参数 $P=4/I=20$ 和 $P=7.5/I=4$ ，分别运行仿真运算程序，获得主要控制指标时域曲线及仿真结果性能指标如图 8 所示。



(a) $P=4/I=20$ (系统发散)



(b) $P=7.5/I=4$ (系统稳定)

图 8 AGC 系统控制过程研究实验结果

根据图 8 (a)，控制参数取 $P=4/I=20$ 时，各机架带钢出口厚度偏差和辊缝调整值均随时间变化振荡发散，系统不稳定。当控制参数取 $P=7.5/I=4$ 时，各机架带钢出口厚度偏差随时间调整逐渐减小，末机架控制结果与目标值基本一致，取得较好的控制效果，如图 8 (b) 所示。

对于不同型号 AGC 系统，可通过系统及控制参数设置与仿真运算，获得满足性能指标要求的控制方案，供学生对 AGC 系统控制性能影响因素进行研究分析。

3.4 系统教学实践

根据工程教育“以学生为中心”的理念，在虚拟仿真实验教学实践中，采用以“教师为主导、学生为主体”的教学模式，具体的教学方法及实现路径如图 9 所示。

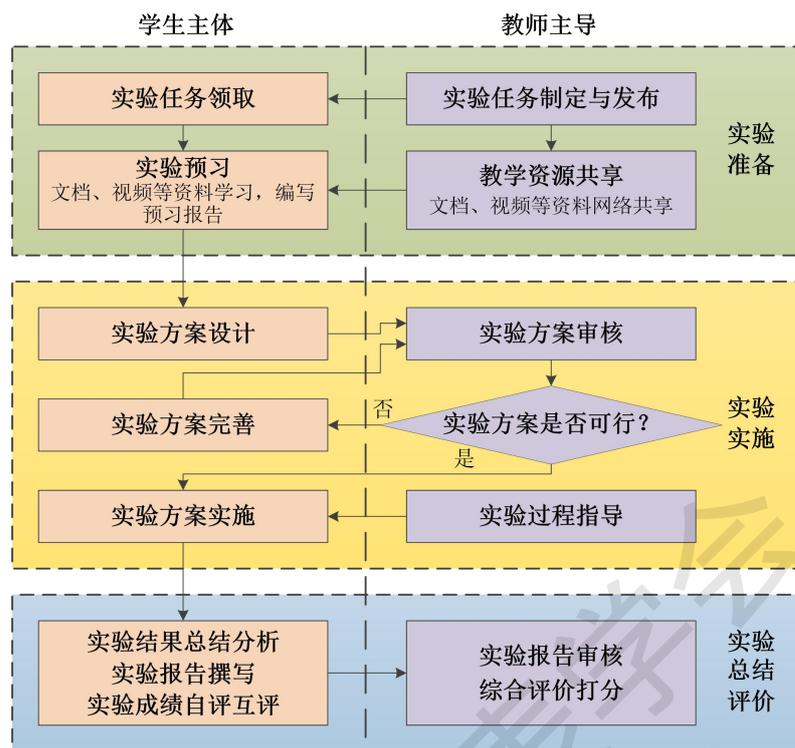


图9 虚拟仿真实验教学流程图

根据图9实践教学方案，在实验准备、实验实施和实验总结各阶段均由学生作为主体完成，以充分调动学生参与实验的积极性。同时，在整体实验过程中，教师在制定实验任务、指导学生实验方案设计、引导学生实验问题思考、实验结果评定等方面均发挥着主导作用。

4 系统特色及应用效果

4.1 系统特色

通过虚拟仿真实验系统，可以使学生学习了解冶金行业轧钢生产典型工艺流程、AGC系统控制原理等，掌握控制系统建模及设计方法、控制参数整定方法等。主要特色如下：

1) 紧贴生产的工程性。本实验系统基于我校自动化学院冶金自动化学科特点进行设计，紧密联系行业发展需求，实现了本科教学与实际工程问题的有效融合，有助于培养学生的工程意识，对于学生的行业认知与就业选择均有较大的促进作用。

2) 平台设计的系统性。本实验系统涵盖了热连轧整体生产流程、轧制规程设定、自动厚度控制等精轧AGC系统设计相关的全部内容，有利于学生系统掌握AGC控制系统设计方法，进而培养学生综合应用专业知识解决冶金自动化领域复杂工程问题的能力。

3) 教学方法的创新性。实验教学过程秉持“以学生为中心”理念,实现教学过程“三结合”:“授课方式‘线上’与‘线下’相结合、实验方案自主设计与教师指导相结合、考核方式学生自评互评与教师评价相结合”,有利于激发学生实验积极性,提升实验教学质量。

4.2 系统应用效果

虚拟仿真实验系统能够为我校自动化专业每年 500 人次学生《过程控制系统》、《自动化生产线实训》、《生产实习》等 3 门课程实践教学提供支撑。实验平台研发过程中产生的知识产权也获得软件著作权授权,可为学生知识产权保护意识的培养提供案例支撑。

基于实验系统鲜明的冶金自动化学科特色,以及与工程实际问题的紧密联系性,较大激发了学生的实验兴趣,学生创新实践能力得到显著提升,近三年在“西门子杯”中国智能制造挑战赛中取得多项国家级和省部级奖励。

5 结论

根据新工科建设创新实践教学方式的要求,基于我校自动化学院冶金自动化学科特点,遵从 OBE 成果导向教育理念,设计开发了精轧 AGC 虚拟仿真实验系统。本实验系统从冶金行业发展需求和自动化专业学生实践创新能力培养出发,紧贴工程实际,有利于学生从多个方面了解精轧 AGC 系统生产过程,研究控制系统设计与实现方法,加强学生理论知识与工程实践的深度融合,对于学生“解决复杂工程问题能力”培养具有重要的支撑作用。

虚拟仿真实验教学实践中,遵从工程教育“以学生为中心”的理念,创新教学模式,充分发挥传统教学和网络教学的双重优势,发挥教师主导作用的同时突出学生主体地位,充分调动了学生参与实验的积极性和主动性,增强了学生自主学习能力,有效提升了学生解决冶金自动化领域复杂工程问题的能力。

参考文献:

- [1] “新工科”建设行动路线(“天大行动”) [J]. 高等工程教育研究, 2017, (2): 24-25.
- [2] 教育部. 关于开展国家虚拟仿真实验教学项目建设工作的通知 [EB/OL]. (2022-10-06) [2018-06-05]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7945/s7946/201806/t20180607_338713.html.
- [3] 苏关东, 顾勋, 张鹏, 等. 基于 Matlab GUI 的渗流力学虚拟仿真实验平台开发 [J]. 实验室研究与探索, 2018, 37(6): 129-134.

- [4] 于向前, 郭艳军, 张媛. 虚拟仿真技术在空间科学实验教学中的应用 [J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(2): 131-135.
- [5] 高明, 徐洁, 盛立, 等. 基于强跟踪滤波的三容水箱液位估计仿真实验平台设计 [J]. 实验技术与管理, 2021, 38(4): 156-160.
- [6] 田社平, 韩韬, 蔡萍, 等. 基于原子频标的守时与远程时间比对虚拟实验设计与应用 [J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(8): 109-113.
- [7] 严金凤, 居里锴, 周成. 新工科背景下机械安全虚拟仿真实验教学探索 [J]. 实验技术与管理, 2022, 39(1): 98-102.
- [8] 阎群, 李擎, 崔家瑞, 等. OBE 准则下 CDIO 在实验室建设中的探索 [J]. 实验技术与管理, 2017, 34(8): 231-234.
- [9] 崔家瑞, 李擎, 阎群, 等. 省级实验教学示范中心的持续创新发展 [J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(4): 133-137.
- [10] 李擎, 崔家瑞, 杨旭, 等. 基于工程认证持续改进理念的云景互动实践教学平台 [J]. 高等工程教育研究, 2020, (4): 99-106.
- [11] 阎群, 李擎, 崔家瑞, 等. 新工科背景下实践类课程混合教学模式研究 [J]. 实验技术与管理, 2021, 38(1): 198-201.
- [12] 李擎, 崔家瑞, 杨旭, 等. 自动化专业三创能力培养方案的构建与实施 [J]. 高等工程教育研究, 2021, (2): 55-61.
- [13] 孙一康. 冷热轧板带轧机的模型与控制 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2010: 3-4, 49-204.
- [14] 孙一康. 热连轧精轧设定模型的实验研究 [J]. 北京钢铁学院学报, 1979, (2): 69-81.
- [15] 孙一康. 带钢热连轧机自动厚度控制系统 [J]. 电气传动, 1979, (4): 13-23.
- [16] 孙一康, 翟寿德, 马正午. 热连轧自动厚度控制系统最优化的仿真研究 [J]. 北京钢铁学院学报, 1982, (1): 104-120.
- [17] 王正林, 童朝南, 孙一康, 等. 带钢热连轧 AGC 系统实时仿真 [J]. 北京科技大学学报, 2005, 27(5): 600-603.
- [18] 李志义, 朱泓, 刘志军, 等. 用成果导向教育理念引导高等工程教育教学改革 [J]. 高等工程教育研究, 2014, (2): 29-34, 70.