电力系统继电保护课程 AI 辅助教学边界探索及其实践

朱三立

南京邮电大学自动化学院　江苏南京

【摘要】针对合理界定人工智能（Artificial Intelligence, AI）教辅手段在电力系统继电保护课程中的应用边界这一热点问题，文章基于成果导向教育（Outcome-Based Education, OBE）框架深度剖析了 AI 技术工具在理论教学、实验教学和考核评价环节中的整合方法及其实现路径。综述了继电保护的课程特点以及传统教学方式面临的突出问题，构建了面向学习成果的 AI 嵌入式辅助教学模型，明确了 AI 技术工具在知识传授、能力培养、素质教育等方面的合理应用范围。教学实践表明，优化教学目标、协调人机关系、突出学生主体地位等路径有助于提升 AI 辅助教学质量和学生学习效果。文章对电子信息与电气工程类专业课程的 AI 辅助教学改革具有一定的借鉴意义。

【关键词】继电保护；AI 辅助教学；OBE 理念；教学实践

【基金项目】国家自然科学基金资助项目（62302234）

【收稿日期】2026 年 8 月 15 日　【出刊日期】2026 年 9 月 20 日　【DOI】10.12208/j.jeea.20260022

Analysis on the boundaries and practical application of AI-assisted teaching in the power system relay protection course

Sanli Zhu

School of Automation, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, Jiangsu

【**Abstract**】Addressing the topical issue of reasonably defining the application boundaries of Artificial Intelligence (AI) tools in the Power System Relay Protection course, this paper provides an in-depth analysis of their integration methods and implementation pathways in theoretical teaching, experimental instruction, and assessment evaluation, based on the Outcome-Based Education (OBE) framework. It summarizes the distinctive characteristics of the relay protection course and the prominent problems associated with traditional teaching approaches. An AI-assisted teaching model oriented towards learning outcomes is constructed, which clarifies the appropriate scope of AI tool application in knowledge transmission, ability development, and comprehensive quality cultivation. Teaching practice demonstrates that strategies such as refining teaching objectives, coordinating the human-AI relationship, and emphasizing the student-centered role improve the quality of AI-assisted instruction and enhance student learning outcomes. This paper offers valuable references for the AI-assisted teaching reform of courses in electronic information and electrical engineering disciplines.

【**Keywords**】Relay protection; AI-assisted teaching; OBE concept; Teaching practice

1 引言

在全球能源转型与新型电力系统构建的时代背景下，电力系统作为国民经济的基础性支柱产业，正经历着深刻的技术变革[1-4]。继电保护作为保障电网安全运行的第一道防线，其技术体系和工程模式持续迭代，对从业人员的知识结构、工程实践能力和复杂故障分析水平提出了更高要求[5-8]。然而，当前高校继电保护课程教学改革却面临着结构性困境：传统理论教学以教师讲授为主，学生长期处于被动接受状态[9]，基于课本与课件的单向知识传递难以帮助学生理解复杂的保护动作逻辑，更无法有效培养其将理论知识转化为工程化方案的能力[10-12]；实验教学平台普遍偏重微机界面操作，局限于接线、读数、参数微调等基础环节[13]，难以复现新型电力系统场景下的复杂故障情况，学生对前沿保护技术的了解十分有限；考核评价仍以理论考试为主导，难以真实反映学生工程实践能力与解决复杂工程问题的水平[14]。上述问题导致传统继电保护课程在融入 OBE 理念时举步维艰——以教师为中心的教学模式无法支撑“以学生为中心”与“逆向设计”原则，滞后的实验平台与单一的考核方式难以实现“能力导

向评价”与“全过程追踪”。

以人工智能为代表的数字技术，为高校工科课程突破传统教学局限提供了新的可能。AI 技术能够实现知识点的智能化组织、个性化学习路径推荐、虚拟仿真实验以及学习行为的全过程分析，有望有效缓解实验条件不足、学生个体差异大、工程实践场景匮乏等长期存在的教学痛点。但技术赋能并非工具与形式的简单叠加，如何将 AI 技术工具与工程教育 OBE 理念深度融合，如何在 AI 辅助教学中合理界定技术与教师、学生的角色边界，避免学生陷入过度依赖智能系统的认知惰性，以及如何借助 AI 重构教学目标、教学过程与多维度评价体系，均为当前继电保护课程改革亟待破解的核心难题。与此同时，《工程教育认证通用标准》[15]明确要求培养学生解决复杂工程问题的能力，强调对毕业生要求的达成度评价。因此，继电保护课程如何在 AI 辅助教学背景下，既发挥智能技术在信息处理、个性化支持方面的优势，又守住工程直觉、系统思维与专业判断能力培养的底线，成为必须回答的新命题[16]。

本文聚焦教育数字化背景下继电保护课程改革的特色路径探索，首先，打造 AI 辅助教学与 OBE 理念深度融合的创新教学模式，划定其具体的技术边界、教学边界与认知边界；然后，重构改革实践目标并建立效果评价体系，以电力系统继电保护课程中实施的“AI 辅助 OBE 导向教学改革”为例，阐述其理论基础、边界界定、实践模式设计与实施成效，以期为新时代工科专业课程的智能化转型与工程教育认证导向的协同发展提供实践借鉴。

2 继电保护课程教学改革理论基础

2.1 传统教学模式局限性分析

传统电力系统继电保护课程在理论教学、实验教学以及考核评价等方面均存在诸多不足之处。首先，理论教学主要以教师讲授为主，学生长期处于被动接受的状态，基于课本和课件的知识传授难以帮助学生理解复杂的保护动作逻辑，难以培养学生将理论知识转化为工程化方案的能力；其次，当前高等院校继电保护实验平台倾向于使用微机界面，实验过程局限于接线、读数、微调面板参数等操作，不能很好地复现复杂故障情况，导致学生对有源配电网、新能源接入等新型电力系统的保护问题以及前沿保护技术的应用了解甚少，图 1 所示为正在投入使用的某型电气控制及继电保护试验台；最后，现有考核评价主要是以理论考试为主，不能充分反映学生工程实践能力和解决复杂工程问题的能力。这些问题导致传统继电保护课程在融入 OBE 理念时困难重重，即：以教师为中心的理论教学模式，难以支撑 OBE 所强调的“以学生为中心”及“逆向设计”原则，滞后的实验平台与单一的考核方式无法有效实现 OBE 所要求的“能力导向评价”与“全过程追踪”。

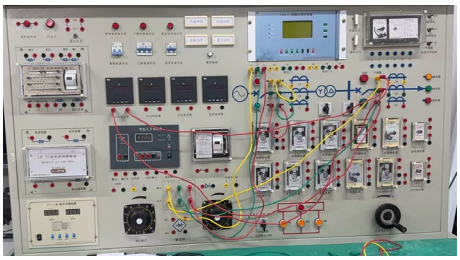


图 1 电气控制及继电保护试验台

2.2 工程教育 OBE 理念应用路径

OBE 理念在工程教育中的应用路径是以预期学习成果为出发点进行反向设计的过程，根据学生毕业时应该具有的知识、能力和素质来反推教学内容、教学方式以及考核评价方式等。在电力系统继电保护课程教学中，OBE 理念要求以解决复杂工程问题为培养目标，面向不断迭代和提升的行业需求，明确学生需要掌握的保护原理、整定计算、故障分析等能力要求，图 2 所示为基于OBE理念构建的电力系统继电保护教学框架，其中，毕业要求、毕业要求指标点、课程目标节选自教学大纲，具有清晰的对应关系。

如图 2 所示，行业和社会需求作为外部输入决定毕业要求，毕业要求面向电子信息与电气工程类专业，具体数量和内涵根据专业特色作进一步分解，形成若干指标点。在此基础上，继电保护课程按照素质教育、知识教学目标、能力教学目标等，将各类课程目标指标点映射到毕业要求指标点并开展达成度评价，形成反向支撑。该设计理念充分体现了以学生为中心、注重过程性评价以及结果导向三个方面的特点，通过对学生学习情况的及时反馈保证预期学习成果的实现。

2.3 AI 辅助教学理论框架构建

AI 辅助教学理论框架的核心是在引入 OBE 理念的传统教学模式下，嵌入 AI 技术工具，构建 OBE-AI 融合的教学框架，并合理限定其使用边界，在维持教师全局掌控的前提下突出学生主体地位的一种新型理论框架。因此，框架顶层需要结合认知科学、教育技术学以及前沿人工智能理论，建立一套以 AI 技术工具为桥梁，连接学生（学习中心）和教师（教学设计者）的智能化教学体系。图 3 所示为所提 AI 辅助教学理论框架，该框架以知识图谱、自然语言处理、机器学习等 AI 技术为依托，在教学主体层嵌入认知类、交互类等多类

AI 技术工具，利用 ODEpower、OpenMAIC 等开源平台（工具集）对教学内容进行智能化组织和展示。

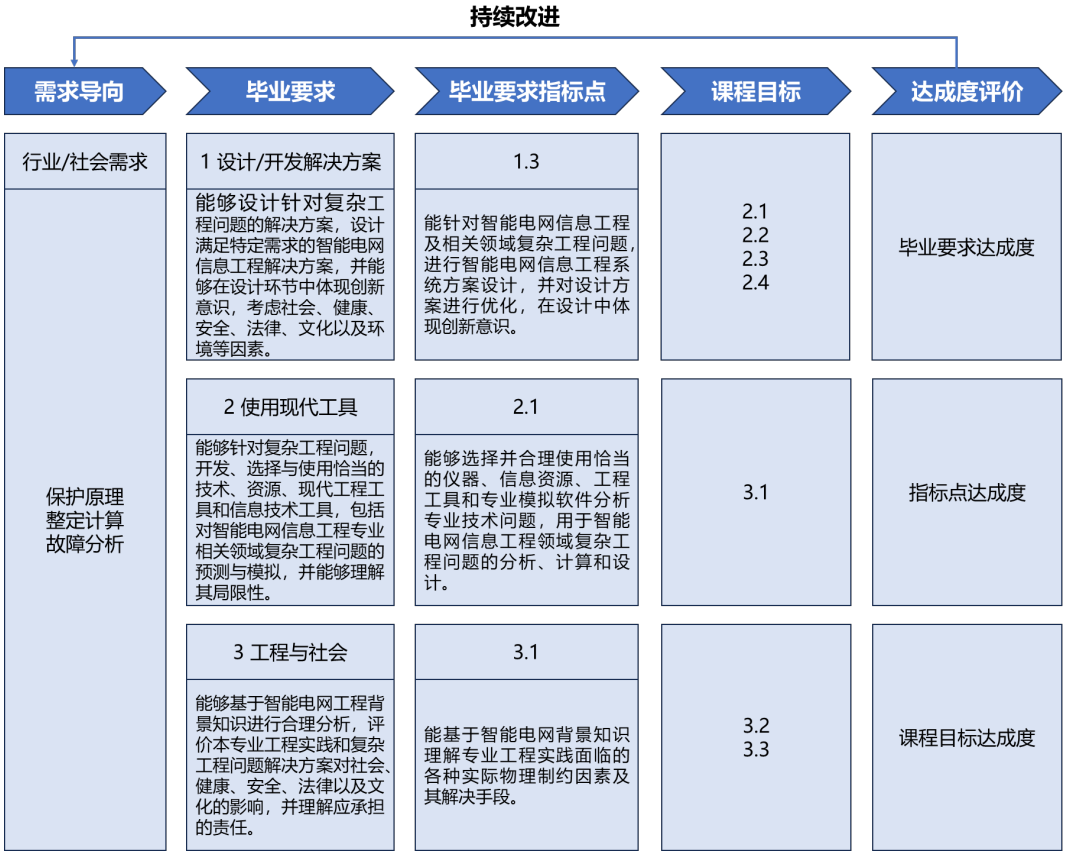


图 2　电力系统继电保护课程 OBE 教学框架

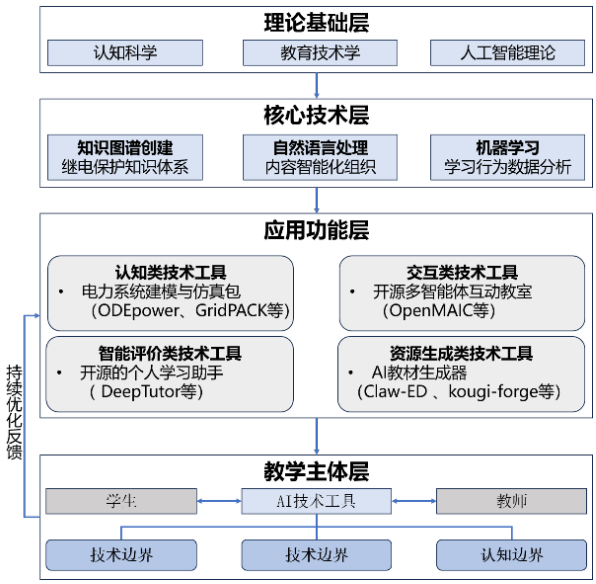


图 3　AI 辅助教学理论框架

如上图所示，AI 技术工具基于学习行为和认知特征为学生提供个性化的学习路径，其中，应用功能层的智能问答系统和虚拟仿真实验室可以有效解决实验平台滞后问题，有助于学生深入理解工程实际中复杂故障的分析流程。教学主体层一方面通过收集、处理海量教学信息，对整个学习过程以及学生学习效果进行综合评价，从而挖掘学生不足之处，给出相应的学习建议或者补救措施，促进学生个性化发展；另一方面，在教学内容生成、作业批改以及学习情况分析等工作中发挥辅助作用，有效减少教师冗余工作量，使其专注于深层次的教学设计。值得注意的是，AI 辅助教学也有其局限性和边界问题，主要体现在底层教学生态的创建过程中：例如，技术层面的人机协作范围界定以及伦理层面的教育目标服务性等。

3　继电保护课程 AI 辅助教学边界界定

如何划分 AI 辅助教学在继电保护课程中的应用边界，是一个需要综合考量技术效能、教学效果与认知发展的多维优化问题，通过设计实验定量分析 AI 工具在不同教学场景下的介入范围，可为边界界定提供数据支撑和判定依据。

3.1　技术边界分析

从技术能力维度看，AI 在信息检索、模式识别、

计算执行和虚拟仿真等方面具有显著优势，适用于继电保护课程中的知识展示、典型故障案例复现、保护定值计算辅助以及个性化学习路径推荐等场景。然而，AI 在工程经验整合、非标准工况推理、系统级保护策略制定等需要深度专业判断和创新思维的环节中，其能力边界明显受限。因此，后一类教学目标的实现，仍依赖教师的专业经验传授和学生的独立思考。

为将技术边界从定性描述转化为可操作的判定准则，提出基于任务复杂度与 AI 辅助效能的二维评估实验框架。

选取继电保护课程中三类典型教学任务作为实验对象：（1）保护装置参数整定计算（低复杂度）；（2）标准故障案例仿真分析（中复杂度）；（3）非标准工况下的保护方案综合设计（高复杂度）。然后，将学生随机分为四组，分别对应 AI 工具的不同介入强度，如表 1 所示。

表 1　技术边界分析实验分组方式

编号	介入深度	介入方式
1 组	无	无 AI 辅助（对照组）
2 组	弱	提供计算结果
3 组	中	提供计算结果并推荐方案
4 组	强	提供计算结果、推荐方案并优化解释

基于上表，组织三人以上教研组专家对各组学生任务完成准确率、完成时间、方案创新性进行盲审，评分作为效能指标。当某一介入深度相较于前一水平在效能指标上无显著提升，或引入更高介入深度后学生的自主判断空间受到显著压缩时，该介入深度的上限即被界定为技术边界。

3.2 教学边界分析

教学边界关注的是AI辅助教学与教师主导的传统教学在不同教学环节中的职责划分与协同机制。在知识讲授、实验训练和能力培养等环节中，AI 与传统教学各有其效能优势区间：AI 在信息呈现的标准化、个性化学习节奏适配和批量作业反馈方面具备效率优势；而教师在复杂概念的情景化阐释、工程经验的具象化传递与量化评价，以及系统思维、批判性思维的引导方面不可替代。

为将教学边界从定性描述转化为可操作的判定准则，提出将教学边界的界定等效为一个教学效能最优化问题，即在给定教学目标下，确定 AI 与教师的分工边界，使教学效果达到最优。

选取继电保护课程中同一教学内容设计三种教学方案，各组在总教学时长和内容覆盖上保持一致，如表 2 所示。

表 2　教学边界分析实验分组方式

编号	介入强度	介入方式
1 组	无	教师授课+教师辅导
2 组	弱	教师授课+AI 辅导
3 组	强	AI 授课+AI 辅导

基于上表，教师可采用标准化测试（试卷）考核学生对教学内容的掌握度，采用随堂问答方式考核学生学习投入度，采用非标准测试（课外习题）考核学生知识迁移能力。以 AI 弱介入为基准，若 3 组在迁移能力上显著低于 2 组，说明 AI 在授课环节的介入替代了教师的情景化经验传递；若 1 组在平均掌握时间上显著劣于 2 组，则说明 AI 在练习辅导环节的介入具有明显的效率价值，教学边界即位于两类失效模式之间的最优分工点。

3.3 认知边界分析

认知边界关注的是AI技术工具对学生认知活动干预的合理限度。在学习的初级阶段，学生因基础知识薄弱和操作经验不足，内在认知负荷较高，AI 的适度介入可有效降低外在认知负荷，促进知识的内化。然而，当学习进入高阶阶段，涉及复杂工程问题的综合判断和方案创新时，过度的 AI 介入将导致学生批判性思维和工程直觉发展不足。

为将认知边界从定性描述转化为可操作的判定准则，提出可量化的 AI 介入度-认知发展响应模型：首先，定义 AI 介入度指标，包括但不限于提示频率（每知识点的平均提示次数）、解释详尽度（简略提示/分步引导/完整解答）、纠错及时性（即时纠错/延时纠错）等。然后，在继电保护课程教学进程中的三个时间节点（学习初期、中期、后期）分别安排 AI 介入度不同的实验条件，采集学生认知负荷和思维能力的动态变化数据。最后，对实验数据进行回归分析，当 AI 介入度超过某一阈值后，若学生的迁移能力得分出现显著下降，或认知负荷的下降不再伴随学习效果的提升，则该阈值即为认知边界。

4 AI 辅助教学实践模式设计与应用

4.1 基于 OBE 理念的课程目标重构

基于OBE理念的继电保护课程目标重构要明确学

生学习之后应该达到的能力要求以及对知识的应用程度。传统课程目标一般是以知识点的掌握和理论的理解为出发点，而 OBE 理念是以学生的学习成果和能力表现为基础来制定课程目标。在 AI 辅助教学背景下，课程目标重构首先要考虑继电保护专业人才在工作上需要具备的能力，如对保护原理的理解、对复杂故障进行分析判断、保护配合方案的设计以及现代保护技术的应用等。根据电力行业对人才的需求以及对毕业生的跟踪调查，重新确定课程的知识目标、能力目标和素质目标，使每一个目标都可以用具体的学习成果来衡量和评价，图 4 所示为基于 OBE 理念的继电保护课程目标重构路径。



图 4　基于 OBE 理念的继电保护课程目标重构路径

如上图所示，课程目标的重构要考虑到人工智能对于学习过程以及学习效果的影响，在 AI 技术工具的帮助下可以及时获取学生的学习行为以及所学知识的掌握程度，从而为OBE 目标实现提供精准的数据支撑。重构后的课程目标更加强调学生解决复杂工程问题的能力，注重理论与实践相结合。通过对可观察、可量化的学习成果进行描述（例如，保护方案设计的合理性、故障分析的准确性以及保护参数整定的合理性等），使得能力达成方向更为明确。同时，目标重构也要体现继电保护技术发展最新动态和发展趋势，在课程目标中加入智能电网、新能源接入以及数字化保护等新技术内容，使学生紧跟电力行业发展步伐。

4.2 多维度教学效果评价体系构建

多维度教学效果评价体系的建立要从知识、能力和素质三个方面进行考量。在 AI 辅助教学中，评价体系可以借助大数据分析技术对学生的整个学习过程进行全面监控以及多方面评价。对于知识方面的评价，可以使用智能测试系统对学生对继电保护的基本概念、计算方法以及原理的理解程度进行量化评价，系统可以根据学生答题情况以及错误类型判断其对知识掌握的程度和范围。对于能力方面的评价，主要考察学生解决复杂问题、制定工程方案以及动手操作的能力，在虚拟仿真实验以及项目化学习任务中对学生的能力进行考查。

评价体系的多维度特点也表现在评价主体的多样性和评价方法的丰富性上。除了传统的教师评价和学生自评之外，还有 AI 辅助工具提供的智能化评价可以对学生的学习行为、知识建构以及能力发展等方面做出客观公正的评价。利用学习分析的方法，系统可以发现学生在各个知识点上的学习效果、掌握程度以及运用情况，从而为个性化教学提供有力支持。同时，评价体系也注重过程性评价和结果性评价相结合的原则，在关注学生最终学习成果的同时，更加关注学生学习过程中的进步与成长。通过对学习档案以及能力发展轨迹图进行整理，全方位地展示学生在继电保护课程学习过程中所取得的成绩，对后续专业课程学习起到促进作用。

4.3 实践案例分析与效果验证

通过对某高校电气工程及其自动化专业两个学期的教学实践，对 AI 辅助教学在继电保护课程中的应用

效果进行了总结与反思。在教学过程中选取两个平行班（由教研组同一名教师授课）进行对比试验，其中，实验班（N_1=26 人）使用 AI 辅助教学，对照班（N_2=33 人）使用传统教学方法，两个班学生电力系统分析等先修课程班级平均绩点相近，且独立样本检验显示差异不显著。AI 辅助教学系统在实验班中起到概念可视化、复杂计算帮助、仿真实验指导以及个性化练习推荐的作用，而教师主要进行工程实例分析、系统思维训练以及创新意识培养，表 3 从六个维度对两个班级的教学效果进行比对，涵盖知识掌握、能力发展和学习体验三个方面，评价工具包括期末标准化考试（基础概念理解、计算能力测试、原理分析能力等）、项目化学习实验评分（方案设计质量、故障诊断准确率）以及学习满意度问卷调查。所有考试成绩由教研组另外两名不直接参与对照班、实验班教学的教师独立评阅，评分者信度较高，采用独立样本 t 检验进行组间差异显著性分析，并使用 Cohen's d 计算效应量，以衡量差异的实际显著性程度。

表 3　AI 辅助教学效果对比分析（分）

评价维度	对照班分数（均值±标准差）	实验班分数（均值±标准差）	t 值	p 值	Cohen's d
基础概念理解	76.4±10.2	88.1±8.7	4.72	<0.001	1.23
计算能力测试	73.2±11.5	85.6±9.3	4.41	<0.001	1.17
原理分析能力	68.9±12.8	82.3±10.1	4.38	<0.001	1.15
方案设计质量	71.5±11.9	84.9±9.7	4.63	<0.001	1.21
故障诊断准确率	65.8±13.5	80.4±10.8	4.52	<0.001	1.19
学习满意度	3.2±0.9	4.3±0.7	5.17	<0.001	1.36

实验班在全部六个评价维度上均显著优于对照班（$p<0.001$），效应量 Cohen's d 介于 1.15 至 1.36 之间，均属大效应量（$d>0.8$），表明 AI 辅助教学具有显著且实际的教学增益效果。具体而言，实验班在基础概念理解（$t=4.72$，$p<0.001$，$d=1.23$）和计算能力（$t=4.41$，$p<0.001$，$d=1.17$）等知识掌握维度上显著高于对照班，说明 AI 的概念可视化和个性化练习功能有效促进了学生对基础知识的理解与巩固；在原理分析能力（$t=4.38$，$p<0.001$，$d=1.15$）方面，实验班同样表现更优，反映 AI 辅助下的仿真实验与多轮次虚拟操作有助于加深学生对保护原理的认知深度。在能力发展维度上，实验班在方案设计质量（$t=4.63$，$p<0.001$，$d=1.21$）和故障诊断准确率（$t=4.52$，$p<0.001$，$d=1.19$）方面均显著优于对照班，表明教师在 AI 辅助下得以将更多教学精力投入工程实例分析和系统思维训练，从而有效提升了学生解决实际工程问题的能力。学习满意度方面，实验班评分为 4.3±0.7，显著高于对照班的 3.2±0.9（$t(57)=5.17$，$p<0.001$，$d=1.36$），说明学生对 AI 辅助教学模式具有更高的接受度和学习体验评价。初步观察表明，实验班学生后续专业课学习能力更强，适应性更好，在电力系统分析、电力系统自动化等课程上成绩普遍高于对照班学生。未来将持续观察并进一步验证接受 AI 辅助教学学生工作后技术理解能力和学习适应能力的改善情况，但是，在实际操作中也存在一些问题，个别学生过分依赖 AI 系统，在自主思考以及创新意识方面还需要进一步提高。

5 结论

通过对电力系统继电保护课程 AI 辅助教学边界的深入研究和实践探索，得出在专业课程中应用人工智能技术需要注意技术适用性、教学协同性和认知发展规律等边界问题。AI 技术在继电保护课程中可以提高基础知识传授效率、加深复杂概念理解程度以及改善实践训练效果，但不能完全取代教师对于高阶能力培养和工程经验传授的作用。基于 OBE 理念的课程改革表明，合理的 AI 辅助教学可以有效提升学生的学业成绩和专业能力发展水平，有利于电力行业数字化转型所需人才的培养。本文提出的多维度教学效果评价方法和教学实践模式，对类似专业的 AI 辅助教学改革具有一定的借鉴意义，有望未来教学过程中不断改进和完善边界定义标准，使人工智能技术更好地服务于高质量人才培养的目标。

参考文献

[1] 葛辉,刘程子,张腾飞,等.智能电网信息安全实践教学环节的思考[J].科技与创新,2021,(11):124-125.

[2] 王卫民, 黄煜, 胡松林, 王毅, 信息-物理耦合网络在新型电力系统中的应用与挑战[J]. 电气工程与自动化, 2025; 4: (3) : 71-76.

[3] 阮广春,何一鎏,谭振飞,等. 面向新型电力系统运行的数据-物理融合建模综述 [J]. 中国电机工程学报, 2024, 44 (13): 5021-5037.

[4] 李秀,陆军,牛颂杰,等.人工智能时代计算机基础课程建设与教育教学思考[J].清华大学教育研究,2024,45(2):42-49+70.

[5] 司光阳, 基于智能继电保护技术的电力系统故障检测与自动切换研究[J]. 电气工程与自动化, 2023; 2: (4) : 5-8.

[6] 徐林菊,伏钰,张横,等.新型电力系统背景下“电力系统继电保护”课程教学改革[J].教育教学论坛,2025,(52):89-93.

[7] 张继红,杨培宏,张自雷,等.工程认证的《电力系统继电保护》课程教改探讨[J].中国电力教育,2020,(10):71-72.

[8] 石杰,徐祥征,钟汉华,等.电力系统继电保护课程思政教学创新与实践探索[J].成才,2025,(22):118-120.

[9] 杜尊峰,蔡雨露,朱海明.生成式 AI融入船舶工程专业教学的探索与实践[J].大学教育,2025,(21):24-28.

[10] 赵秋伶,王玉荣,王宇,等.人工智能融入生物技术专业课程体系建设的思考[J].大学教育,2026,(1):37-40.

[11] 聂贞,杨捷,张继阳.AI 技术在电力系统继电保护课程改革中的赋能策略与实践探究[J].信息与电脑,2025,37(15):233-235.

[12] 杨贵先,李从善,王延峰,等.电力系统继电保护课程教学知识图谱的构建探讨[J].大学,2025,(35):109-112.

[13] 肖丽,摄小雪,刘培超,等.继电保护调试的实验课程教学设计[J].电子技术,2025,54(6):371-373.

[14] 徐霄,朱三立,高辉.工科大学生创新创业教育的有效模式研究[J].大学教育,2025,(2):132-139.

[15] 中国工程教育专业认证协会. 关于印发《工程教育认证通用标准解读及使用指南(2022 版)》的通告[EB/OL]. 2022.11.19.
https://www.ceeaa.org.cn/index.php

[16] 袁磊,雷敏,徐济远.技术赋能、以人为本的智能教育生态:内涵、特征与建设路径[J].开放教育研究,2023,29(2):74-80.

版权声明：©2026 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

OPEN ACCESS