

融合代理模型的电气工程专业课程教学改革

池 源, 陆正媚, 张小锋, 吴 昭*

重庆科技大学电子与电气工程学院, 重庆

收稿日期: 2025年6月17日; 录用日期: 2025年7月31日; 发布日期: 2025年8月8日

摘 要

为应对新一轮科技革命对电气工程人才培养提出的新要求, 并解决当前教学存在的课程孤岛化、理论与实践脱节、创新能力培养不足等问题, 本文系统性地提出了一套融合“代理模型”(Surrogate Model)的电气工程专业课程教学改革方案。该方案以数据驱动的代理模型技术为核心抓手, 主张对《电力系统分析》《电力电子技术》等核心课程进行现代化重构, 增设数据驱动建模与分析模块。改革的核心在于推动教学模式从以知识传授为中心, 转向以问题驱动、能力培养为导向; 将实践环节从传统的验证性实验, 转变为基于代理模型的设计性、创新性综合项目; 引入机器学习库(如PyTorch)与专业仿真软件(如PSCAD)深度融合的教学工具。同时, 构建一套包含项目报告、代码实现的多元化、过程性考核机制。本教学改革旨在将人工智能技术与专业知识深度耦合, 着力培养学生的数据素养、工程思维与创新精神, 以满足“新工科”背景下对复合型创新人才的迫切需求。

关键词

电气工程, 代理模型, 数据驱动, 新工科

Curriculum Reform of Electrical Engineering Courses Incorporating Surrogate Models

Yuan Chi, Zhengmei Lu, Xiaofeng Zhang, Zhao Wu*

School of Electronic and Electrical Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing

Received: Jun. 17th, 2025; accepted: Jul. 31st, 2025; published: Aug. 8th, 2025

Abstract

To address the new demands placed on cultivating talent in electrical engineering by the new wave

*通讯作者。

文章引用: 池源, 陆正媚, 张小锋, 吴昭. 融合代理模型的电气工程专业课程教学改革[J]. 创新教育研究, 2025, 13(8): 165-175. DOI: 10.12677/ces.2025.138582

of technological revolution and to solve prevailing issues in current pedagogy—such as curriculum silos, a disconnect between theory and practice, and insufficient cultivation of innovative skills, this paper systematically proposes a teaching reform plan for the electrical engineering curriculum centered on the integration of surrogate models. The plan leverages data-driven surrogate model technology as its core, advocating for the modernization of core courses like Power System Analysis and Power Electronics by adding modules on data-driven modeling and analysis. The essence of this reform lies in shifting the pedagogical model from a knowledge-transmission focus to a problem-driven, competency-oriented approach; transforming practical sessions from traditional verification-based labs to comprehensive, innovative, and design-oriented projects based on surrogate models; and integrating teaching tools that deeply fuse machine learning libraries (e.g., PyTorch) with professional simulation software (e.g., PSCAD). Concurrently, a diversified, process-oriented assessment mechanism is established, incorporating project reports and code implementation. This educational reform aims to deeply couple artificial intelligence technology with specialized knowledge, focusing on cultivating students' data literacy, engineering thinking, and innovative spirit to meet the urgent demand for versatile and innovative talents in the context of the “New Engineering” disciplines.

Keywords

Electrical Engineering, Surrogate Model, Data-Driven, New Engineering Disciplines

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

新一轮科技革命和产业变革正以前所未有的速度重塑全球经济结构和创新版图，其中，人工智能、大数据、物联网等新兴技术的飞速发展对传统工程领域，特别是电气工程行业，带来了深刻影响。智能电网的广泛部署、能源互联网的兴起、综合能源系统以及“双碳”目标的提出，都对电气工程人才的知识结构和能力模型提出了全新的、更高的要求[1][2]。综合来看，“新工科”建设的持续深化、教育数字化转型的全面推进、以及“新质生产力”发展对高素质创新人才的迫切需求，共同构成了当前中国电气工程教育改革的时代背景。

然而，当前电气工程教育在适应这些变革方面普遍存在一定的滞后性。面对新时代的挑战，现有课程教学模式仍存在一些亟待解决的突出问题，主要包括：课程孤岛化与讲授式教学模式固化[2]，教学模式未能与人工智能和数字技术深度融合[3][4]，公共基础课与专业基础课与工程需求脱节[5]，实验教学以验证性为主，缺乏创新实践环节[6]，它们共同构成了制约当前电气工程教育质量提升和创新人才培养的系统性障碍。因此，推动系统性的教学改革，引入如代理模型这类能够促进多方面能力提升的教学内容与方法，显得尤为迫切和重要。

“代理模型” (Surrogate Model)，是一种先进的数据驱动建模方法[7]。当面对复杂工程系统，其完整的高精度仿真模型计算成本过高或难以直接进行优化分析时，代理模型能够以较低的计算代价构建一个近似数学模型，用以模拟原始模型的输入输出行为。代理模型在处理电力系统暂态稳定性分析、运行优化、设备设计以及性能指标评估等复杂问题方面展现出巨大潜力[8]。将代理模型及其构建方法融入电气工程专业的核心课程(如《电力系统分析》《电力电子技术》《电机学》等)，是提升教学质量、培养学生数据素养、计算思维和创新能力的有效途径。这不仅能够使学生掌握一种前沿的工程分析工具，还能引

引导学生理解并应用数据驱动的思维方式来解决复杂工程问题。代理模型作为一种典型的“数智技术”，直接响应了“新工科”建设中关于培养学生“创新设计能力”、“解决复杂工程问题能力”以及推动“学科交叉融合”的要求[1]。代理模型本身就是一种处理复杂系统的前沿方法，其构建与应用过程天然地融合了数学、统计、计算机科学(特别是机器学习)与电气工程专业知识。其次，这与《关于加快推进教育数字化的意见》中提出的“将人工智能技术融入教育教学的全要素过程”、“培养学生高阶思维、思考判断能力、实践能力”等目标完全一致[9]。学生通过学习和应用代理模型，一方面能够实际操作和体验人工智能技术在解决本专业问题中的潜力；另一方面，代理模型的数据驱动特性有助于打破传统理论教学与实践教学局限，为开展创新性实践项目提供了理想载体。学术界也对将人工智能融入电气工程教育进行了积极探索，探讨了电气工程专业跨学科课程的建设[10]，研究了人工智能背景下电气工程专业课程的数字化改造路径[4]，同时积极探索人工智能协助教师提高教学质量和效率的有效策略[11]。这些研究表明，将 AI 技术融入电气工程教育已成为学界的共识和研究热点。本研究提出的融合代理模型的教学改革，正是这一趋势下的具体实践和深化。本研究的独特之处在于并非单纯增加一个 AI 知识点或应用案例，而是将“代理模型”这一特定的、强大的数据驱动方法论，作为一种核心的教学手段和认知桥梁。代理模型不再仅仅是一个被学习的“对象”，而是成为一个驱动学生整合多领域知识、解决复杂问题的工具和媒介。

本教学改革核心理念是：以学生为中心，以真实工程问题为导向，以综合性项目为载体，通过代理模型的系统学习与实践应用，强化理论知识与工程实践的深度融合，着力培养学生运用现代信息技术和人工智能方法分析并解决复杂电气工程问题的核心能力与创新精神。因此，本文的创新性体现在超越了简单地教会学生如何“使用”代理模型，更致力于培养他们以数据驱动、模型为中心的思维方式。通过引入代理模型，旨在培养学生的“数智融合”能力，这不仅是简单地使用数字化工具，更是要形成一种融合数字技术和智能算法的工程思维模式。这种能力是“教育数字化”的核心目标之一，也是未来工程师在“新质生产力”驱动的产业变革中取得成功的关键。

2. 代理模型理论基础及融入教学的意义

2.1. 基本概念与构建方法

代理模型，作为一种重要的工程分析与设计工具，其核心思想在于用一个计算效率更高的简化模型来近似替代复杂、耗时的原始物理模型或仿真模型。代理模型的构建不要求完全洞悉原始模型内部错综复杂的物理机制，而是更侧重于学习和复现其宏观的输入-输出响应特性，这使其具有一定的“黑箱”建模特点[8]。代理模型的构建通常遵循一个迭代的流程，主要包括以下三个关键环节：

- **数据采集与实验设计**：此环节的目的在于在原始模型(通常是高精度仿真模型)的参数空间中选择一组具有代表性的样本点，并运行原始模型得到相应的输出响应。
- **代理模型类型的选择与构建**：根据电力系统工程问题的特性(如参数维度、非线性程度、数据量大小等)选择合适代理模型类型。常见的代理模型技术包括：克里金模型(Kriging)，高斯过程回归(Gaussian Process Regression)，径向基函数网络(Radial Basis Function Networks)，支持向量回归(Support Vector Regression)，人工神经网络(Artificial Neural Networks)。
- **模型验证与评估**：构建完成后，需要对代理模型的精度和泛化能力进行严格评估。常用的方法包括交叉验证、均方根误差、决定系数等度量指标。

2.2. “代理模型”融入教学的意义

将代理模型的理论与应用系统地融入电气工程专业教学，对于提升学生的综合素质具有深远意义，

并直接呼应了“新工科”对人才培养“厚基础、宽口径、强能力、高素质、复合型、国际化”的要求。

- **弥合理论与实践的鸿沟：**传统的电气工程教学往往侧重于理想化模型和解析计算，与复杂多变的工程实际存在一定距离。代理模型使学生能够接触并运用前沿的工程分析工具，理解复杂系统建模的近似思想、数据驱动方法以及不确定性思维，而不仅仅停留在求解确定性的、简化的理论问题。
- **培养数据素养和人工智能思维：**代理模型的构建和应用过程本身就是一个完整的数据科学与机器学习项目。学生通过参与数据生成(或采集)、数据预处理、模型选择、训练、验证及最终应用的全流程，能够显著提升其在人工智能时代所需的核心竞争力，如数据分析能力、编程能力、算法理解能力等。
- **激发创新思维与探索精神：**代理模型支持对设计空间进行快速、广泛的探索，使得学生可以便捷地比较多种设计方案和优化策略的优劣。传统教学中缺乏的“探究性、创新性设计”可以通过代理模型得到弥补，因为其赋予了学生快速验证多种创新想法的能力。

另一方面，教学中需要格外注意代理模型“黑箱”特性的两面性：其优势在于学生可以高效学习复杂的系统级仿真和分析；其挑战在于需要确保学生在运用代理模型的同时，依然能够扎实掌握电气工程的基本物理原理和核心概念。因此，课程设计中应注重将代理模型的应用与相关基础理论的教学相结合，使代理模型成为知识深化理解和拓展应用的工具，而非仅仅物理模型与现象的替代品。

3. 电气工程课程教学模式困境与代理模型应用前景

当前电气工程专业的教学模式，在知识体系传授方面取得较好的效果，但在适应新时代对创新型、复合型工程人才的需求方面，仍面临诸多的困境，它们不仅制约了学生综合能力的全面发展，也对教学质量的进一步提升构成了挑战。

- **知识传授为核心的教学模式的弊端：**我国电气工程专业多数课程仍以“教师为中心、教材为中心、课堂为中心”的知识传授模式为主导。在此模式下，教师是权威的知识发布者，而学生则是知识的被动接收者，导致学生的学习主动性和积极性难以充分激发、课堂互动不足、对知识的理解往往停留在表面、知识内化效果不佳，相对忽视了对学生创新能力、解决复杂问题能力和跨学科协作能力的培养。
- **人工智能与数字技术融合的表浅化：**尽管人工智能技术已成为电气工程行业发展的重要引擎，但在当前的教学实践中，这些技术的融合往往较为表浅。例如，教师可能使用多媒体课件、在线教学平台、大语言模型等数字工具辅助教学，但这些工具更多的是作为信息呈现和传递的载体，未能从根本上改变教学内容的组织方式和师生互动模式。
- **创新实践机会与个性化培养机制的缺失：**当前电气工程专业的实践教学环节，尤其是实验课程，大多以验证性、演示性内容为主，学生按照既定的实验步骤和指导书进行操作，重复已知结论，限制了学生面对真实、开放式工程问题的综合训练机会，难以激发其探索未知、大胆尝试的创新潜能。

Table 1. Traditional vs. innovative teaching models with integrated surrogate models

表 1. 传统教学模式与融合“代理模型”的创新教学模式对比

特征	传统教学模式	融合代理模型的教学模式
教学核心	知识点传授	问题驱动、能力培养
学生角色	被动接收者	主动探索者、设计者
实践环节	验证性实验、既定步骤	设计性、创新性项目，探索性实践
技术融合	辅助工具使用	AI/数据驱动方法深度融入核心内容
创新探索	较少强调	鼓励模型创新、方法创新、应用创新
考核评价	结果导向、知识记忆	过程与结果并重，能力导向

综上所述,当前电气工程课程教学模式中存在的困境,其核心在于未能完全适应“以学生发展为中心”的现代教育理念、未能及时响应科技进步和产业升级对人才培养提出的新要求。引入代理模型等数据驱动、AI 赋能的先进教学内容和方法,正是突破这些困境、推动教学模式向更高级阶段演进的重要契机。表 1 对比了两种教学模式在核心理念、学生角色、实践方式、技术应用、创新导向、资源管理和考核评价等多个维度的显著差异。

4. 融合“代理模型”的电气工程课程创新教学体系

为有效解决前述教学困境,培养适应新时代发展需求的电气工程创新人才,本文提出构建一套深度融合“代理模型”的电气工程课程创新教学体系。该体系旨在通过对课程内容、教学方法、资源建设、实践环节及考核评价等方面的系统性改革,实现从以知识传授为中心向以能力培养为中心,特别是以提升学生数据素养、AI 应用能力和工程创新能力为核心的转变。

4.1. 课程内容与知识体系的现代化重构

课程内容的现代化是教学改革的基石。引入代理模型不仅是增加一个新的知识点,而是将其模块化融入理论和实验教学中,使其更贴近数据驱动和智能化时代对工程师能力的要求。

4.1.1. 代理模型系统性引入及其在电力系统中的应用

在《电力系统分析》《电力电子技术》《电机学》《高电压技术》等核心专业课程中,应增设“数据驱动建模与分析”、“智能计算在电力系统中的应用”或“工程代理模型技术”等相关模块或章节。这些新增内容不应是孤立的,而应与课程原有知识体系有机结合。例如,在讲授电力系统稳定性时,可以引入基于代理模型的暂态稳定快速评估方法;在讲授电力电子变换器设计时,可以介绍如何利用代理模型进行多目标参数优化。教学内容应全面覆盖代理模型的基本原理(如近似理论、误差分析)、常用建模技术(如人工神经网络、高斯过程回归、支持向量回归等机器学习方法)、数据获取与预处理方法(如实验设计、数据清洗)、模型训练与验证技术(如交叉验证、性能指标评估)以及代理模型在电力系统仿真、优化、控制、故障诊断、状态监测等领域的具体应用场景和案例分析。普渡大学开设的 AAE59000《代理方法》课程[12],其内容涵盖了采样设计、模型构建、模型验证、代理模型的探索与应用、以及基于代理模型的设计优化等,为电气工程专业相关课程模块的设计提供了极佳的蓝本。

4.1.2. 面向电力系统复杂仿真及分析的教学模块

传统电气工程课程的实验课程多以验证、演示内容为主,重复已知的结论,基于代理模型开发一系列模块化的教学内容可以极大节省课堂中重复性工作,让学生专注于“仿真结果”的应用与分析。这些模块应具有高度的实践性和针对性,本文结合电力系统复杂仿真与分析的需求、电气工程核心专业课程的传统设置,提出基于模块化代理模型的教学框架,如图 1 所示。

代理模型既可以作为一门独立的专业选修课程或项目拓展课程开设,也可以作为核心技术模块融入到相关的专业基础或核心课程(如电力系统分析、电力电子技术中的实验仿真方法或人工智能应用部分)。这种模块化的课程设计,使得代理模型的教学能够根据不同专业方向的需求和学生的兴趣进行定制和深化,从而更好地支撑个性化人才培养目标的实现。

4.2. 教学方法与模式的多元化创新

为配合现代化课程内容的实施,教学方法与模式的创新至关重要。融合代理模型的教学应打破传统讲授模式,采用更能激发学生主动性和创造性的多元化方法。例如,案例教学法可选取电力系统典型工程案例进行代理模型分析与求解,利用代理模型优化无功补偿设备布局以提升补偿效率。在教学中,教

师应引导学生深入分析案例的问题背景、技术挑战、代理模型的选择依据、建模过程中的关键步骤、所采用的技术路径以及最终的应用效果和局限性。通过课堂讨论、小组辩论等形式，培养学生从实际案例中学习、借鉴和迁移知识的能力，并启发他们思考代理模型在其他类似工程问题中的潜在应用。

在工具与技术融合方面，代理模型的构建与应用高度依赖于计算工具，实践教学环节要求学生熟练掌握和运用相关的软件工具。例如机器学习库(如 PyTorch, Pandas, TensorFlow)以及开源代理模型工具箱。学生应学习使用这些库进行数据处理、模型搭建、训练、评估和可视化。此外，专业电力系统仿真软件(如 PSCAD/EMTDC, ETAP, PSS®E 等)生成训练代理模型所需的高保真原始数据作为训练样本时，学生需要学习如何通过这些软件进行参数化建模、批量仿真和数据导出。



Figure 1. A surrogate model-based modular teaching framework for complex power system simulation and analysis

图 1. 面向电力系统复杂仿真与分析的代理模型模块化教学框架

4.3. 实践教学环节的创新性改革

实践教学是培养学生工程能力的关键环节。引入代理模型为实践教学的创新提供了广阔空间，核心在于实现从传统的验证性实验向综合性、设计性、创新性实践的根本转变。

- **从验证性实验向基于代理模型的设计、优化与创新综合实践的转变：**传统的实验教学往往侧重于验证已知的理论和公式，学生按照固定的步骤操作。在新的教学体系下，应增加基于代理模型的设计、优化和创新类综合实践项目。这些项目可以作为课程设计、小学期实践、甚至毕业设计的主要内容。例如，在《电力系统分析》课程设计中，可以要求学生不再是简单地手算或用软件重复潮流、短路、稳定计算，而是针对一个给定或自选的电力系统问题(如优化某配电网的电压、降低某区域线损等)，选择合适的代理模型方法，收集或生成所需数据，编程实现代理模型的构建与验证，并利用该模型进行方案设计或性能评估，最终提交包含完整分析过程和创新见解的设计报告和成果演示。
- **引导学生自主设计性能指标，利用代理模型进行电力系统分析与决策：**工程实践中，如何科学地评价一个系统或方案的优劣至关重要。除了应用已有的标准性能指标外，更应鼓励学生根据具体的工程需求和问题背景，思考并设计出新的、更全面、更具针对性的性能评价指标。代理模型由于其计算的高效性，为快速评估不同方案在多种指标(包括新的自定义指标)下的表现提供了可能。例如，在新能源并网站点规划项目中，学生不仅要考虑经济性指标，还可以结合代理模型，评估诸如电压支撑能力、频率响应能力、功率波动程度等，设计相应指标，从而辅助做出更科学的决策。这种训练能够培养学生系统思考、定义问题和量化评估的能力。
- **与完整的工程项目实践流程相融合：**强调在教学环节中加载“需求分析、文献查阅、探索创新、研究设计、工程实现、成效评价”等环节。这意味着基于代理模型的实践项目不仅仅停留在模型构建的技术层面，而应扩展为一个完整的工程实践周期。学生需要从理解实际工程需求出发(需求分析)，调研现有解决方案和相关技术(文献查阅)，思考如何创新性地应用代理模型(探索创新)，设计详细的技术方案和实验流程(研究设计)，动手编程实现模型并进行测试(工程实现)，最终对模型的性能和应用效果进行全面评估(成效评价)。上述全流程训练，能够使學生更深刻地理解工程项目的复杂性和系统性，培养其综合运用知识解决实际问题的能力。

为了具体地展示上述改革理念如何在电气工程专业教学中落地，此处以《电力系统分析》课程的综合性课程设计为例阐述一个实践项目。

1. 项目定位：

作为《电力系统分析》课程的核心实践环节，替代传统的、基于手算或简单软件重复验证的潮流与稳定计算作业，让学生尝试解决一个更综合的工程问题。

2. 项目背景：

随着风电、光伏等新能源的大规模并网，系统的转动惯量持续下降，其抵御扰动的能力减弱，暂态稳定问题日益突出。传统的时域仿真方法虽然精确，但计算耗时巨大，难以满足在线预警和实时控制的需求。利用 AI 技术构建暂态稳定快速评估的代理模型，是解决这一问题的热点研究方向。

3. 项目目标：

知识层面：巩固和深化对电力系统暂态稳定机理、影响因素及评估指标的理解。

技能层面：掌握使用专业仿真软件进行系统建模与批量仿真的方法；获得数据预处理、模型选择、训练与验证等机器学习全流程的实践经验。

能力层面：培养利用数据驱动方法解决复杂工程问题的能力，能够对模型结果进行批判性分析并做出工程判断。

创新层面：激发学生探索不同的模型或采样策略以提升模型性能的创新意识。

4. 项目任务分解：

阶段一：理论学习与文献调研。学生以小组为单位(4~6 人)，在复习暂态稳定的基本理论的基础上，查阅相关文献，了解基于机器学习的暂态稳定评估研究现状，完成开题报告。

阶段二：数据生成。在教师指导下，学生使用标准测试系统(如 IEEE 39 节点系统)在 PSCAD 中搭建仿真模型。通过编写脚本，自动化地改变故障类型、故障位置、负荷水平、新能源渗透率等参数，生成一个包含系统运行参数(输入特征)和对应的稳定与否标签(输出)的原始数据集。

阶段三：模型构建与训练。学生使用 Python 及其科学计算库对生成的数据进行清洗、归一化等预处理。然后，选择并构建代理模型，划分训练集和测试集，对模型进行训练和参数调优。

阶段四：模型评估与分析。学生需从准确率、训练时间等多个指标全面评估代理模型的性能。将代理模型的评估速度(毫秒级)与原始 PSCAD 仿真所需时间(数十秒级甚至分钟级)进行对比，量化其在计算效率上的优势。同时，辨识出模型在哪些工况下容易出错，并探讨其原因。

阶段五：报告撰写与成果展示。学生需提交一份完整的项目报告，内容包括问题背景、技术路线、数据生成方案、模型设计与实现、结果分析及结论。同时，提交所有可运行的源代码，并进行小组口头答辩和成果演示。

4.4. 构建多元化、过程性、能力导向的考核评价新机制

以期末闭卷考试为主的传统考核方式，难以全面、准确地评价学生在融合代理模型教学改革中所应获得的综合能力。因此，须构建一套多元化、注重过程、以能力为导向的新型考核评价机制。考核重点应从对孤立知识点记忆和再现，转向对学生在解决复杂工程问题过程中所展现出的综合能力评价，考核方式应多样化组合，包括但不限于：

- **项目报告：**详细记录项目背景、问题定义、研究方法、代理模型构建与验证过程、结果分析、结论与展望。
- **代码实现与模型演示：**提交完整的、可运行的代理模型代码，并进行现场演示，展示模型的功能和性能。
- **口头答辩：**针对项目内容和所用理论方法进行提问，考察学生的理解深度和应变能力。
- **同行评议：**在项目中期/末期，组织学生对其他小组的项目进行互评，培养批判性思维和沟通能力。
- **平时表现：**包括课堂参与、阶段性任务完成情况、文献阅读报告等。
- **评价标准：**关注学生在问题分析的深度、数据处理的规范性、模型选择的合理性、参数调优的逻辑性、结果解释的科学性、以及在模型构建过程中体现出的创新思维 and 解决困难的能力。团队协作精神、沟通过达能力、以及对工程伦理的考量也应纳入评价范畴。

通过这样的考核评价机制改革，旨在引导学生将学习重心从应试转向能力的真实提升，充分发挥评价的诊断、激励和导向作用。

5. 改革效果评估方案

为了科学、客观地验证本教学改革方案的有效性，需要设计一套系统化的评估方案。本节提出一个结合定量与定性分析的混合方法评估框架，旨在从 5 个维度对教学改革的效果进行深入、全面的考察。

评估将在改革实施前和实施后(如一个学期结束后)对实验组(参与改革的班级)和对照组(采用传统教学模式的班级)的学生进行数据采集和比较分析。其核心工具是“改革效果评估框架”(见表 2)，它将抽象的能力培养目标具体化为可观测、可测量的指标。

Table 2. Evaluation framework for reform effectiveness
表 2. 改革效果评估框架

评估维度	核心评估点	数据来源/工具	方法
数据素养	1. 数据处理与分析能力	数据预处理方法；代码规范性	定性评分
	2. 模型选择与验证的合理性	项目报告；口头答辩记录	专家评分
AI 应用能力	1. 编程实现能力	提交的代码；现场演示	功能/性能测试
	2. 模型性能	项目报告中的性能指标对比	定量评分
工程问题解决能力	1. 问题定义与分解能力	项目开题/中期报告	定性评分
	2. 方案设计与论证的系统性	项目最终报告/答辩	专家评分
工程创新能力	1. 方案的创新性	创新点阐述；代码实现	定性评分
	2. 对模型局限性的批判性反思	过程讨论；问答问答	专家评分
学习体验与自我效能	1. 学习兴趣与参与度	课堂观察记录；反馈数据	定量评分
	2. 自我效能感	问卷调查	样本对比

6. 实施策略及挑战、对策

将上述创新的教学理念转化为可持续的教学实践，需要详尽的实施策略、客观的可行性分析以及有力的保障措施。本节将从教学能力提升与师资队伍发展、教学资源共建共享、课程体系动态调整三个方面对实施策略进行详述，并从政策、资源、师资等方面进行可行性分析，最终提出相应保障措施建议。

6.1. 教学能力提升与师资队伍发展

代理模型技术融合了电气工程、数学、统计学、计算机科学(特别是机器学习)等多个领域知识，对教师知识结构和实践能力提出了较高要求。目前，多数电气工程专业教师可能在机器学习算法、数据处理、Python 编程以及先进仿真工具的深度应用等方面缺乏系统的知识储备和丰富的实践经验。因此，可从四方面对教师教学能力和师资队伍发展予以提升：

- **系统化培训与工作坊：**定期组织针对代理模型理论、关键技术、编程实践(Python, TensorFlow 等)以及在电力系统中应用的专题培训班和教学工作坊。邀请校内外在相关领域具有深厚造诣的专家学者进行授课和指导，分享教学经验和案例。
- **鼓励参与科研与产学研合作：**鼓励教师积极参与将代理模型应用于电力系统实际问题的科研项目，或与企业开展相关技术合作。通过科研实践，教师能够深化对代理模型技术的理解，积累第一手应用经验和数据，并将工程案例反哺到教学中。
- **组建跨学科教学团队：**打破院系壁垒，鼓励电气工程学院与计算机学院、数学学院等相关院系的教师组建跨学科教学团队，进行集体备课、共同开发教学资源、合作指导学生项目。
- **提供在线学习资源与进修机会：**为教师提供优质的在线学习课程(如 Coursera 上关于机器学习、数据科学的课程，以及 IEEE 等专业学会提供的培训资源)，并支持教师参加相关的学术会议和短期进修，以持续更新知识和技能。

6.2. 教学资源共建共享

开发高质量的、适用于教学的代理模型案例、标准化的实践数据集、以及支持大规模数据处理和模型训练的实验平台，单个教师/课程组难以独立完成，在教学资源方面，可从以下两方面开展共享共建：

- **校企合作共建教学资源：**积极与电力行业企业、研究院所建立合作关系，共同梳理行业对代理模型技

术应用的实际需求，在确保数据安全和隐私前提下，企业可以提供脱敏的实际数据或仿真模型，学校则可以发挥教学设计和人才培养的优势，联合建立面向真实工程场景的教学案例库。

- **开源教学资源开发与共享：**借鉴开源社区的理念，鼓励教师和学生将开发成熟的教学模块、代码示例、脱敏处理的数据集等以开源形式进行共享。建立校级或区域性的电气工程教学资源共享平台，促进优质资源的流通和复用。例如，BPA、PSS/E 等电力系统分析工具及其配套的测试系统数据，为学生实践提供了便利。

6.3. 课程体系动态调整

代理模型技术及其在电气工程中应用都处于快速发展之中，新算法、工具和场景层出不穷。如果课程内容和教学方法不能及时更新，教学效果将会大打折扣。在课程体系方面，可从三方面开展动态调整：

- **课程评估与反馈常态化：**每学期或学年结束后，通过问卷调查、学生座谈、教师研讨等多种形式，收集对课程教学效果的反馈信息，分析存在的问题和不足。
- **教学大纲和课程内容优化：**成立由校内、外专家组成的课程指导委员会，定期(如每 1~2 年)审议教学大纲，根据技术发展趋势、行业需求变化以及教学反馈，对课程内容、案例、实践项目等进行动态调整和优化。
- **科研成果融入教学：**建立激励机制，鼓励教师将自己的科研成果和对行业前沿技术的理解，及时地、以适合教学的方式融入到课堂讲授和项目指导中，保持教学内容的实效性和启发性。

6.4. 可行性分析与保障措施

在政策与环境方面，本改革方案与国家大力倡导的“新工科”建设理念[1]和教育数字化转型战略[9]高度契合，易于获得学校层面的政策支持和资源倾斜；在硬件、软件资源方面，一方面可充分利用现有的计算机实验室，另一方面，专业仿真软件(如 PSCAD)通常有高校教育版授权，而核心的建模与分析工具(Python, PyTorch 等)均为开源软件，无需额外成本，课程改革的经济可行性较高。在师资方面，通过前述系统化的培训、跨学科团队的协作支持，以及先在 1~2 门核心课程中由骨干教师团队进行试点，总结经验后再逐步推广的方式，可以有效管理改革初期的风险和教师的工作负荷。

此外，学校应在教学成果奖励、工作量计算、职称评定等方面，对参与并取得优异成绩的教学改革的教师予以倾斜，以制度保障激发教师的改革热情和投入。



Figure 2. Curriculum framework of electrical engineering courses incorporating surrogate models
图 2. 融合代理模型的电气工程专业课程教学体系

7. 结论

本文针对当前电气工程教育在面对智能化、数字化时代挑战时所暴露出的若干核心问题，系统地提出并阐述了一套以“代理模型”为驱动的创新教学改革方案，如图 2 所示。本教学改革方案的核心思想在于：以“代理模型”这一先进的数据驱动建模技术为切入点，推动电气工程专业教学从传统的以知识传授为中心，向以学生能力培养为中心，特别是以提升学生数据素养、人工智能应用能力、复杂工程问题解决能力和工程创新能力为目标的模式转型。其主要创新点体现在：

- **系统性融合**：首次尝试将代理模型的理论、方法、工具及其在电力系统暂态分析、优化设计、性能指标评估等领域的应用，系统性地、全方位地融入电气工程专业的核心课程内容、教学方法(如项目驱动式学习、案例教学)、实践教学环节以及考核评价体系之中。
- **AI 与专业的深度耦合**：强调人工智能技术不再是电气工程专业的辅助工具或选修知识，而是作为解决本专业复杂问题的内生核心技能进行培养，实现了 AI 技术与电气专业知识的深度耦合与双向赋能。
- **能力导向的实践创新**：通过引入源于真实工程需求的、具有探索性和设计性的综合项目，彻底改变了以往验证性实验为主的实践教学模式，着力培养学生复杂、不确定环境下定义问题、分析问题、设计方案、动手实践和创新求解的综合能力。

参考文献

- [1] 教育部, 工业和信息化部, 中国工程院. 关于加快建设发展新工科实施卓越工程师教育培养计划 2.0 的意见[EB/OL]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2018-12/31/content_5443530.htm, 2025-04-02.
- [2] 杨勇, 李红斌, 文劲宇, 等. 新工科电气工程实践教学体系重构与实践[J]. 电工技术学报, 2022, 37(19): 5074-5080.
- [3] 秦善强, 黄江波, 申梦思. 基于人工智能的电路分析教学的新实践[J]. 教育进展, 2022, 12(11): 4887-4891.
- [4] 丁艳玲, 武建卫, 李银露. 人工智能背景下电气自动化专业课程数字化改造[J]. 办公自动化, 2025, 30(1): 51-53.
- [5] 来文豪, 李平, 李梅, 等. “新型电力系统”背景下电气工程及其自动化专业教学改革探索[J]. 黑龙江工业学院学报(综合版), 2024, 24(12): 24-27.
- [6] 赵四洪, 毕贵红, 陈仕龙. 融合电磁场的“电气工程 CAD”实践教改[J]. 电气电子教学学报, 2024, 46(1): 223-227.
- [7] Chi, Y., Zou, Y., Zheng, X.Y., et al. (2024) Hybrid Model-Data-Driven Dynamic VAR Planning for Wind-Penetrated Power System Using Spectral Surrogate Techniques. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, **159**, Article ID: 109998. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2024.109998>
- [8] 王强钢, 刘浩宇, 池源, 等. 新型电力系统中代理模型的研究进展与应用分析[J/OL]. 中国电机工程学报. <https://link.cnki.net/urlid/11.2107.tm.20250411.1045.002>, 2025-04-13.
- [9] 教育部等九部门. 关于加快推进教育数字化的意见[EB/OL]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202504/content_7019045.htm, 2025-05-03.
- [10] 张宁, 余扬昊, 章家维, 等. 面向电气工程学科的“大数据技术与应用”课程构建与教学实践[J]. 中国电机工程学报, 2023, 43(19): 7749-7759.
- [11] 马秀麟, 凡雨, 王滕, 等. 生成式人工智能赋能教学: 策略、价值及误区[J]. 中国教育信息化, 2025, 31(5): 13-23.
- [12] Purdue University (2025) AAE5900 Surrogate Methods. <https://engineering.purdue.edu/online/courses/surrogate-methods>