

能源动力类专业虚拟仿真实验教学能力图谱构建研究

帅永, 翟明*, 高建民, 赵义军, 罗磊, 王祥锋

哈尔滨工业大学能源科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2024年10月25日; 录用日期: 2024年11月5日; 发布日期: 2024年12月17日

摘要

面对“双碳”目标和新能源革命的时代背景, 能源动力类专业人才培养面临新的机遇和挑战。虚拟仿真实验教学作为一种新型教学手段, 能够有效突破传统能源动力实验中设备规模大、实验成本高、安全风险大等局限, 但如何科学构建符合专业特色的虚拟仿真实验教学体系, 实现与新时期能源人才培养目标的有效对接, 仍需深入研究。本文立足能源动力类专业特点, 采用“自上而下”与“自下而上”相结合的研究思路, 通过分析专业培养方案、行业标准和企业需求, 构建了面向能源动力领域的“五层次”能力图谱架构。研究构建了包括总目标层、通用能力层(工程基础能力、专业核心能力、工程实践能力、创新研究能力、可持续发展能力、智能化应用能力)、专业能力层、实验能力单元层和具体实验项目层的完整体系。研究重点提取了专业核心能力要素, 同时突出新能源技术、智能控制、环境保护等新兴领域的的能力需求。在此基础上, 设计涵盖流体机械、传热传质、新能源系统等专业实验内容的四类虚拟仿真实验项目, 将知识图谱理论引入能源动力专业能力体系构建、提出适应专业特色的“五层次”能力图谱新架构、开发基于能力图谱的虚拟仿真实验教学新模式, 为能源动力类专业人才培养提供了新思路。

关键词

能源动力类专业, 虚拟仿真实验, 能力图谱, 实验教学, 人才培养

Research on the Construction of Virtual Simulation Experiment Teaching Ability Map for Energy and Power Majors

Yong Shuai, Ming Zhai*, Jianmin Gao, Yijun Zhao, Lei Luo, Xiangfeng Wang

School of Energy Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang

Received: Oct. 25th, 2024; accepted: Nov. 5th, 2024; published: Dec. 17th, 2024

*通讯作者。

文章引用: 帅永, 翟明, 高建民, 赵义军, 罗磊, 王祥锋. 能源动力类专业虚拟仿真实验教学能力图谱构建研究[J]. 教育进展, 2024, 14(12): 577-583. DOI: 10.12677/ae.2024.14122308

Abstract

In the context of “dual carbon” goals and new energy revolution, the cultivation of talents in energy and power engineering faces new opportunities and challenges. Virtual simulation experimental teaching, as a novel educational approach, can effectively overcome the limitations of traditional energy and power experiments, such as large equipment scale, high experimental costs, and significant safety risks. However, further research is needed on how to scientifically construct a virtual simulation experimental teaching system that aligns with professional characteristics and effectively connects with the talent training objectives in the new era. Based on the characteristics of energy and power engineering, this paper adopts a combined “top-down” and “bottom-up” research approach, analyzing professional training programs, industry standards, and enterprise requirements to construct a “five-level” competency map framework for the energy and power field. The study established a complete system including the overall goal level, general competency level (engineering foundation ability, professional core ability, engineering practice ability, innovative research ability, sustainable development ability, and intelligent application ability), professional ability level, experimental ability unit level and specific experiment project level. The study focuses on extracting core professional competency elements while emphasizing capability requirements in emerging fields, such as new energy technology, intelligent control, and environmental protection. On this foundation, four types of virtual simulation experimental projects were designed, covering professional experimental content including fluid machinery, heat and mass transfer, and new energy systems. By introducing knowledge graph theory into the construction of the energy and power professional competency system, proposing a new “five-level” competency map framework adapted to professional characteristics, and developing a new virtual simulation experimental teaching model based on the competency map, this research provides new insights for talent cultivation in energy and power engineering programs.

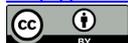
Keywords

Energy and Power Engineering, Virtual Simulation Experiment, Competency Map, Experimental Teaching, Talent Training

Copyright © 2024 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

1.1. 研究背景

当前，全球能源转型加速推进，我国“双碳”目标的提出为能源领域带来深刻变革。能源结构正由传统化石能源向清洁低碳能源转变，能源系统向智能化、集成化方向发展。这一背景下，能源动力类专业人才培养面临新的挑战：一是需要适应新能源技术快速发展的需求，培养具备跨学科知识背景的复合型人才；二是要满足能源系统智能化转型的要求，强化数字技术应用能力；三是要突出节能环保意识，培养具有“双碳”思维的创新型人才。

然而，传统的能源动力类专业实验教学面临诸多困境：大型能源设备实验环境建设成本高、运行维护费用大，如锅炉、汽轮机等核心设备动辄数百万元；实验过程存在较大安全风险，如高温高压工质、易燃易爆环境等；设备规模制约了实验开展，难以支持大规模学生同时实践。这些问题严重制约了实验

教学效果的提升。

虚拟仿真实验教学作为信息技术与教育教学深度融合的产物，为解决上述问题提供了新思路。通过数字孪生技术可以构建真实感知、实时交互的虚拟实验环境，既降低了实验成本和安全风险，又能突破场地和时间限制，支持学生自主实验和重复训练。但目前能源动力类专业虚拟仿真实验教学仍存在体系不完善、标准不统一、专业特色不突出等问题，亟需探索构建符合专业特点的实验教学新模式。

1.2. 研究目标

本研究旨在构建一个科学合理、富有专业特色的能源动力类专业虚拟仿真实验教学能力图谱体系。具体目标包括：探索建立符合能源动力类专业特点的能力图谱架构，实现虚拟仿真实验教学目标与新时期能源人才培养目标的有效对接；提取适应能源技术发展的核心能力要素，重点关注新能源技术、智能控制、环境保护等新兴领域的的能力需求；设计基于能力图谱的虚拟仿真实验项目体系，涵盖流体机械、传热传质、新能源系统等专业实验内容；构建多维度的教学质量评价体系，为保障实验教学效果提供科学依据。

1.3. 国内外研究现状

1.3.1. 虚拟仿真实验教学研究现状

近年来，随着信息技术的快速发展，虚拟仿真实验教学在能源动力类专业中的应用日益广泛。新工科背景下能源动力类专业虚拟仿真实验教学中心建设应注重资源建设、平台开发和教学改革的协同推进，特别强调要围绕新能源、智能化等产业新需求开展实验项目建设。我国高等教育通过不断调整专业结构，来适应经济社会发展对人才的新需求，因此专业实验课程体系和教学内容也应及时进行调整与重构，推动实验教学引领经济社会发展对高校人才培养变革的需求[1]。

在教学体系构建方面，刘金库等[2]提出了包括工程理念、专业能力、工程创新能力、工程伦理意识、协作沟通能力、系统思维能力、工程实践能力、使命担当意识等的工程能力培养目标。朱姝等[3]以南京审计大学经济学与管理学专业为基础，提出了包括认知能力、模仿能力、分析与思辨能力等的学习能力，包括探索能力、问题发现能力、试错与“破坏”能力、灵感捕获能力、概念组合与重构能力等的创新能力，以及包括人际关系、心理调试能力、换位思考能力、领导能力及集体协作能力等的合作能力。谢莉花等[4]针对能源与动力工程专业特点，研究了虚拟仿真实验教学项目的设计方法。产业对技术技能人才多样化的需求决定职业教育课程模式的多样化，为避免能力谱系限制多样化课程模式的生成，能力谱系应体现多种职业教育课程开发技术方法的共通路径。在教学模式方面，刘殷竹等[5]提出了理实融合的教学模式，强调要将虚拟仿真技术与实际工程问题相结合，通过创设真实的工程情境来培养学生的工程认知能力、实验操作能力和数据分析能力。实践表明，这种模式能够显著提升学生的学习积极性和实践创新能力。

1.3.2. 能力图谱研究现状

能力图谱是一种用于描述和组织能力要素的新型工具。江永亨等[6]提出了实验能力图谱的基础架构，采用“模式层”和“数据层”的两层设计思想，为实验教学改革提供了新的思路。“模式层”约束“数据层”中能力要素的组织形式，有助于实现能力培养的系统化和规范化。在技术方法方面，朱小燕等[7]的研究表明，知识图谱技术为能力图谱的构建提供了重要的方法论支撑。通过语义网络的形式展现知识间的内在联系，可以有效描述能力要素之间的复杂关系。这种基于图结构的知识组织方式，为实验教学能力体系的构建提供了新的视角。当前，能力图谱在虚拟仿真实验教学中的应用研究还处于起步阶段，主要存在以下问题：

1) 理论体系不完善: 虽然虚拟仿真实验教学和能力的培养各自都有相关理论研究, 但二者的关联机制研究还不够深入。特别是在虚拟仿真环境下如何实现能力的有效培养, 相关理论和方法还需要进一步探索。

2) 能力标准不统一: 目前各高校在开展虚拟仿真实验教学时, 大多是基于本校的具体情况设计实验项目和制定能力要求, 缺乏系统化、标准化的能力图谱构建方法。这种情况导致实验教学质量参差不齐, 难以形成可推广的经验。

3) 应用场景不充分: 现有研究多关注能力图谱本身的构建, 对其在实验教学中的具体应用研究较少。特别是在虚拟仿真环境下, 如何基于能力图谱开展教学设计、过程管理和质量监控等, 还缺乏深入的探讨和实践验证。

2. 研究方法

本研究采用“自上而下”与“自下而上”相结合的研究思路。“自上而下”分析过程包括: 从专业培养目标出发, 系统分析工程教育认证标准中对能源动力类专业毕业要求的具体规定; 结合新工科建设要求, 明确新时期能源动力类专业人才的核心能力指标; 基于“双碳”目标和能源转型背景, 分析行业发展对人才能力的新要求; 将上述要求逐层分解为可操作的能力指标。“自下而上”提取过程包括: 调研能源动力行业企业对人才能力的具体需求; 分析典型工作岗位所需的关键技能; 收集工程技术人员在实践中遇到的典型问题; 归纳总结能力要素, 构建基础能力单元。

在框架设计阶段, 基于前期需求分析结果, 构建能力图谱的层次结构。在能力要素分类和关联关系建立方面, 结合虚拟仿真实验教学的特点, 设计符合专业特色的能力培养路径。在内容构建和应用验证阶段, 注重理论与实践的结合。在具体实验项目设计和评价标准制定时, 充分考虑虚拟仿真环境的优势和局限, 通过试点实践不断优化和完善能力图谱体系。

3. 能力图谱构建

3.1. 构建原则

基于虚拟仿真实验教学的特点和工程教育认证的要求, 本研究遵循以下原则构建能力图谱:

1) 系统性原则: 系统性原则要求能力图谱的构建应体现整体性和层次性。设计“五层次”能力图谱架构, 包括总目标层、通用能力层、专业能力层、实验能力单元层和具体实验项目层, 各层次之间构成有机整体。同时, 基于系统工程的思想, 在横向上设置了多个能力维度, 确保能力培养的全面性。

2) 实践性原则: 能力图谱的构建必须紧密结合工程实践需求。通过调研能源动力行业的发展趋势和企业需求, 提取关键能力要素, 并将其融入虚拟仿真实验教学体系。特别是在实验项目设计方面, 注重体现工程实际问题的复杂性和综合性, 培养学生的工程实践能力。

3) 可操作性原则: 可操作性是能力图谱有效实施的关键。在设计能力要素时, 注重表述的具体化和量化, 便于教学实施和效果评价。同时, 结合虚拟仿真实验教学平台的功能特点, 设计了可实现的教学场景和评价方式。

3.2. 架构设计

3.2.1. 总体框架

本研究在充分分析能源动力类专业培养目标和虚拟仿真实验教学特点的基础上, 构建了“五层次”能力图谱架构(如图 1 所示)。将能力图谱的最高层设定为总目标层, 对应专业培养目标和毕业要求, 体现工程教育认证核心理念。

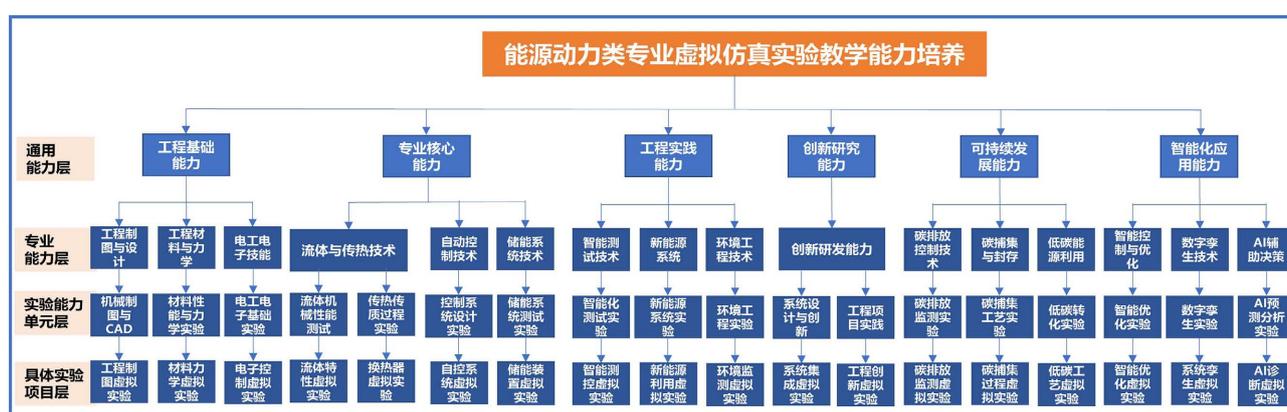


Figure 1. Diagram of the “five-level” capability map architecture

图 1. “五层次”能力图谱架构图

在总目标层之下设置通用能力层，包括工程基础能力、专业核心能力、工程实践能力、创新研究能力、可持续发展能力和智能化应用能力六个维度。其中，工程基础能力和专业核心能力是支撑专业知识体系的基础；工程实践能力和创新研究能力则体现了应用创新的要求；可持续发展能力反映了新工科背景下对人才培养的新要求；智能化应用能力适应了能源系统智能化转型的需求。

专业能力层包含 16 类专业能力：工程制图与设计、工程材料与力学、电工电子技能、流体与传热技术、自动控制技术、储能系统技术、智能测试技术、新能源系统、环境工程技术、创新研发能力、碳排放控制技术、碳捕集与封存、低碳能源利用、智能控制与优化、数字孪生技术、AI 辅助决策。通过分析能源动力类专业的课程设置和行业调研结果，确定这些专业能力类别，使其既能覆盖专业知识体系的主要内容，又能反映行业技术发展的新要求。

在专业能力层之下是实验能力单元层，它包括 18 个具体的实验能力单元，如机械制图与 CAD、材料性能与力学实验、电工电子基础实验、流体机械性能测试、传热传质过程实验、控制系统设计实验、储能系统测试实验、智能化测试实验等。这些能力单元直接对应实验教学的具体内容。

最底层是具体实验项目层，包含 18 个支撑能力培养的虚拟仿真实验项目。每个项目都针对特定的能力单元，通过创设真实的工程情境，实现能力的具体培养。

3.2.2. 关联关系

能力要素之间的关联关系是能力图谱的重要组成部分。基于知识图谱的表示方法，通过“实体 - 关系 - 属性”模型描述了三类主要关联关系：层次关系体现了能力培养的递进性，上层能力由下层能力支撑构成；支撑关系表现为不同能力单元之间的相互支持和补充作用；前导关系则反映了能力培养的先后顺序和依赖关系。

3.2.3. 属性特征

为了实现能力要素的精确描述和有效评价，为每个能力要素设计了完整的属性特征体系。在内容描述方面，详细说明每个能力的具体内容和要求；培养目标方面，明确规定该能力培养的预期成果；评价指标方面，设置可测量的评价标准。这些属性特征的设计既保证了能力描述的规范性和完整性，又为后续的教学实施和效果评价提供了依据。

3.3. 具体实现

3.3.1. 能力要素提取

能力要素的提取是构建能力图谱的关键环节。本研究采用多维度分析方法，从专业培养方案、教学

大纲、行业标准和企业需求等多个维度提取能力要素。首先对能源动力类专业的培养方案进行对比分析,提取共性的能力要求。同时,通过对能源动力行业重点企业的调研,收集企业对人才能力的具体需求。在此基础上,对提取的能力要素进行了系统化整理和分类。

通过分析,本研究共提取了6类通用能力、16类专业能力、18个实验能力单元和18个具体实验项目。其中:通用能力层包括:工程基础能力、专业核心能力、工程实践能力、创新研究能力、可持续发展能力和智能化应用能力。专业能力层设置16类能力。

实验能力单元层包括18个具体单元,涵盖了从基础实验到前沿技术应用的完整实验体系。在能力要素提取过程中,特别注重体现行业技术发展的新趋势,强化了智能化应用、可持续发展等新兴领域的能力培养要求。

3.3.2. 实验项目设计

虚拟仿真实验项目是能力培养的具体载体。基于能力图谱的层次结构,本研究设计了六类虚拟仿真实验项目:

工程基础类实验主要面向工程基础能力培养,包括工程制图、材料力学和电气控制等虚拟实验。这类实验注重基本概念和原理的理解,通过虚拟仿真手段创设直观的实验环境。

专业核心类实验针对专业核心能力培养,包括流体特性、换热器、自控系统和储能装置等虚拟实验。这类实验通过仿真模拟复杂工程系统的运行过程,使学生深入理解专业知识,掌握关键技能。

工程实践类实验重点培养学生的工程实践能力,包括智能测控、新能源利用和环境监测等虚拟实验。基于实际工程案例,设计了贴近工程实践的虚拟仿真实验场景,提升学生解决复杂工程问题的能力。

创新研究类实验面向创新研究能力培养,包括系统集成和工程创新等开放性虚拟实验。这类实验不限定具体的实验方案,而是提供虚拟仿真实验平台和基本工具,鼓励学生自主设计实验方案,开展创新性研究。

可持续发展类实验对接“双碳”目标需求,包括碳排放监测、碳捕集过程和低碳工艺等虚拟实验。通过这类实验培养学生的可持续发展意识和低碳技术应用能力。

智能化应用类实验适应能源系统智能化转型需求,包括智能优化、系统孪生和AI诊断等虚拟实验。这类实验重点培养学生运用数字技术解决工程问题的能力。

3.3.3. 评价体系设计

科学的评价体系是保障能力培养效果的重要手段。本研究构建了多维度的评价体系,包括过程性评价和终结性评价两个方面。在过程性评价方面,虚拟仿真实验平台能够自动记录学生的实验操作过程,包括操作步骤、参数设置、数据处理等关键环节,实现对实验过程的全程监控。

在终结性评价方面,设置了知识掌握、技能应用、方案设计、创新能力四个维度的评价指标。每个维度都设定了具体的评分标准和权重。通过评价数据的统计分析,可以客观反映学生的能力达成度,为教学改进提供依据。

4. 结论与展望

4.1. 主要结论

本研究围绕能源动力类专业虚拟仿真实验教学能力图谱的构建开展研究,取得以下主要结论:

首先,提出了“五层次”能力图谱架构。通过融合能力模型理论、知识图谱理论和虚拟仿真教学理论,构建了从总目标层到具体实验项目层的完整架构体系,形成了包含六大通用能力维度的人才培养框架。研究表明,这种多层次的架构设计能够有效支撑虚拟仿真实验教学的系统化实施。

其次,创新了能力要素的提取方法。基于专业认证要求和行业发展需求,建立了多维度的能力要素提取机制。本研究通过对专业培养方案、行业标准和企业需求的综合分析,提取了涵盖智能化应用能力和可持续发展能力在内的核心能力要素,为虚拟仿真实验教学提供了明确的目标导向。

第三,设计了科学的评价体系。构建了包含过程性评价和终结性评价的多维度评价体系,实现了对学生能力达成度的客观评价。本研究开发的评价方法既体现了虚拟仿真实验的特点,又满足了工程教育认证的要求。

4.2. 创新点

1) 理论创新:将知识图谱理论引入虚拟仿真实验教学能力体系构建中。通过“实体-关系-属性”模型,构建能力要素的语义网络,实现能力单元间关系的形式化表达。与传统的线性能力框架相比,更能体现能力要素间的复杂关联。

2) 方法创新:提出“五层次”能力图谱架构。不同于传统的“三层次”或“四层次”模型,本研究构建了总目标层、通用能力层(六大维度)、专业能力层(16类)、实验能力单元层(18个)和具体实验项目层(18个)的完整体系,使虚拟仿真实验项目与能力目标的对应更加清晰。

3) 模式创新:开发基于能力图谱的虚拟仿真实验教学新模式,设计过程监控和效果评价的方法,提高实验教学的针对性和有效性。

4.3. 未来展望

未来研究将重点关注以下方面:探索人工智能技术在能力评价中的应用,提高评价的智能化和精准化水平。加强校企合作,建立产教融合的虚拟仿真实验资源建设机制。开展跨校协同研究,扩大实践验证范围,进一步完善和优化能力图谱体系。

基金项目

教育部实验教学和教学实验室建设研究项目(SYJX2024-060),黑龙江省实验教学和教学实验室建设研究项目(SJGZ20240004)。

参考文献

- [1] 熊宏齐. 基于虚拟仿真的线上线下融合专业实验教学体系构建[J]. 实验技术与管理, 2022, 39(3): 5-10+25.
- [2] 刘金库, 葛云晓, 黄婕, 等. 虚拟仿真实验教学课程:数字赋能工程能力培养新模式[J]. 高等工程教育研究, 2023(3): 85-88+113.
- [3] 朱姝. 实验教学体系的层次性与协同性研究——基于南京审计大学实验教学改革实践[J]. 教育学术月刊, 2020(7): 106-111.
- [4] 谢莉花, 彭程. 职业教育课程开发视阈下典型职业分析方法的比较与思考[J]. 中国职业技术教育, 2022(11): 5-16.
- [5] 刘殷竹, 张晨, 高学平. 理实融合导向的水利工程专业新工科实验教学改革[J]. 高等工程教育研究, 2023(3): 79-84.
- [6] 江永亨, 任艳频, 唐潇风. 高校实验能力图谱基础架构及关键问题探讨[J]. 实验技术与管理, 2023, 40(12): 187-191.
- [7] 朱小燕, 李晶, 郝宇, 等. 人工智能:知识图谱前沿技术[M]. 北京:电子工业出版社, 2020.