

附件 8

2025 年湖南省普通本科高校教育教学改革 典型分享项目成果简介

项目名称： 一流本科专业建设背景下虚拟仿真技术在核
工程与核技术实践教学中的改革与实践

单位名称： 南华大学

项目主持人： 刘紫静

团队成员： 赵鹏程、左国平、陈珍平、曾文杰

一、项目研究背景

(一) 教育部的“国家级一流本科专业”建设计划对高质量核工程与核技术人才培养提出了更高要求，而核行业的特殊性和敏感性等原因导致现有核工程与核技术专业实践教学存在“实践难”这一瓶颈问题，亟需针对性开展适应“新时代”的实践教学改革研究。

当前，我国核电事业蓬勃发展，核技术工程研究领域不断拓展深化，对高素质核工程与核技术人才的需求日益迫切。实践教学作为高校核工程与核技术专业教学的关键环节，在培养学生的实践创新能力方面发挥着不可替代的重要作用。2019年4月，教育部办公厅发布《关于实施一流本科专业建设“双万计划”的通知》，并于同年12月公布2019年度国家级和省级一流本科专业建设点名单，明确提出“不断优化实践教学机制，强化实践教学，提升学生实践能力”是一流本科专业建设的核心原则之一。

自2020年起，教育部持续深化工程教育改革，立足国家“双一流”建设与“十四五”教育高质量发展战略布局，进一步完善“卓越工程师教育培养计划2.0”与“新工科”协同推进机制。2020年发布的《未来技术学院建设指南》首次将核能纳入首批12个重点领域，强调构建“数字孪生驱动、多学科交叉融合”的实践教学体系。2021年，国务院印发《全民科学素质行动规划纲要（2021—2035年）》，明确提出“推动核能科普与工程教育深度融合”，着重强化核科技人才的实践创新能力培养。在国家政策的引导下，众多涉核高校逐步重视核工程与核技术专业的实践教学条件和工程实践平台建设，积极探索并推进实践教学改革。然而，从整体来看，受应试教育观念的影响，以及核行业本身的特殊性与敏感性等因素制约，实践教学仍是当前核工程与核技术专业教学工作的薄弱环节，成为制约我国核科学与技术高等教育质量提升的关键瓶颈。

南华大学核工程与核技术专业作为首批国家级一流本科专业建设点、教育部“卓越工程师培养计划”和国家首批“新工科”研究与实践项目试点专业，如何以国家级一流本科专业提质升级为引领，以卓越计划和工程教育专业认证为抓手，以核工程与核技术专业实践教学为切入点，面向数字化技术、虚拟现实技术和高精度建模等虚拟仿真技术，探索基于现有专业实践教学改造升级的新方向、新领域，逐步形成新的且合理可行的核工程与核技术虚拟仿真实实践教学体系，是“新

时代”核工程与核技术专业人才培养改革与实践的重要发展方向。

(二) 数字化反应堆技术作为反应堆虚拟仿真的前沿和热点技术，正在掀起核能领域的技术革命，其可利用数字化技术、虚拟现实技术和高精度建模技术等实现现有实践教学不具备或难以具备的教学功能，能极大丰富实践教学内容，拓展实践教学范围，保障实践教学安全，将成为突破核工程与核技术专业教学中“实践难”这一瓶颈问题的有力工具之一。

数字化反应堆技术是基于当今高性能计算、基础科学及软件发展而产生的新一代先进虚拟仿真技术，是目前反应堆虚拟仿真的前沿和热点技术。数字化反应堆技术是将数字化技术和反应堆技术有机结合，依托高性能计算平台，应用虚拟现实技术、高精度模拟技术、大数据技术和高速数据传输技术，采用先进的核能专业软件，对核电站进行全方位、全寿期的数字化模拟，使之具有可视和可操作性的特点，已成为是近年来核能学术界、工业界日益关注的一个新兴技术领域。数字化反应堆技术已掀起核电站研究、设计、运行和人员培养的一场技术革命，可有效解决核工程与核技术实践教学中所面临的突出问题。

数字化反应堆教学是指利用虚拟现实技术、高性能计算技术和核电设计软件等共同模拟出核电站设计、建造、运行和退役等真实的情境，通过交互式环境、情景复现等功能以及一对一的实践，实现让学生在虚拟现实的情境下进行探究性学习。该教学模式可实现真实实践教学不具备或难以具备的教学功能，在涉及高危或极端环境、不可及或不可逆的操作，高成本、高消耗、大型或综合训练以及现有实验条件不足或学生自主开展实验与创新训练情况时，提供可靠、安全和经济的实践项目，从而达到教学互动、资源共享、不受时空限制、全天候的数字化实践的教學目的。

数字化反应堆教学模式生动形象，可涵盖核电站从最开始的研究设计到最终的退役过程的方方面面，使学生在短时间内进入相应情境，真实的体验在现实生活中进行学习和操作的感觉，以达到更快掌握核工程与核技术基础理论知识，增强学生对核电站的感性认识的目的，而且这种教学方法可以利用核电软件的优势创造出灵活多样的工作场景，使学生掌握更多的核反应堆运行和事故处理技能。数字化反应堆技术可实现理论教学和实践教学的无缝融合，极大丰富实践教学内容，拓展实践教学范围。数字化反应堆教学以其高效率、高真实、低成本、内容丰富、性能有效和安全等优势，在核工程与核技术专业教学方面具有广阔的应用

和推广前景。

(三) 南华大学核工程与核技术专业作为首批国家级一流本科专业建设点、教育部“卓越工程师培养计划”和国家首批“新工科”研究与实践项目试点专业，亟需充分利用学校在数字化反应堆领域拥有的突出技术优势，针对性开展以数字化反应堆为代表的虚拟仿真技术在核工程与核技术专业实践教学中的应用研究，实施实践教学改革与创新，探索特色鲜明、具有前瞻性的专业教改之路。

南华大学作为国内核类专业人才培养规模最大、体系最完整、专业最齐全的综合性大学，是我国重要的高素质核工程与核技术人才培养基地。学校凭借扎实的专业基础和持续的教育探索，入选首批国家级一流本科专业建设点，同时跻身教育部“卓越工程师培养计划”和国家首批“新工科”研究与实践项目试点专业。肩负深化我国核工程与核技术专业工程教育改革的重任，南华大学致力于培养实践创新能力强、契合我国核工业发展需求的高质量核工程与核技术人才。

学校“核能与核技术工程虚拟仿真实验教学中心”获评为“国家级虚拟仿真实验教学中心”，基于该中心开发的虚拟核电厂系统与设备软件等一系列虚拟仿真实验教学资源，极大地拓展了核工程与核技术专业的实验教学范围和手段，为实践教学注入了新的活力。依托“核能与核技术工程虚拟仿真实验教学中心”以及学校在数字化反应堆领域的技术优势，南华大学联合镭目科技有限责任公司和中核集团核动力运行研究所，成功申报“湖南省数字化反应堆工程技术研究中心”，开启深度的数字化反应堆技术产学研合作。其中，探索与实践基于数字化反应堆技术的核工程与核技术专业创新实践教学模式，是该中心成立的重要宗旨之一。由此可见，南华大学在相关软硬件平台建设方面取得的丰硕成果，为数字化反应堆技术在核工程与核技术专业实践教学中的应用提供了坚实基础，创造了良好的实施条件，为我国核工程与核技术专业教育的高质量发展注入了强大动力。

但是，当前无论是“核能与核技术工程虚拟仿真实验教学中心”还是“数字化反应堆湖南省工程技术研究中心”建立的时间都不长，相应的核工程与核技术实践教学手段、教学方法还在不断探索、实践和完善中，尤其是以数字化反应堆为代表的虚拟仿真教学这一领域，国内在这方面的研究还处于刚刚起步阶段。因此，迫切需要基于数字化反应堆技术，开展虚拟仿真教学在核工程与核技术专业认知实习、实验教学、课程设计、实习实训和毕业实习等实践教学环节的教学改

革研究，分析数字化反应堆技术对核工程与核技术专业人才培养的促进作用，提出以数字化反应堆为代表的虚拟仿真教学方法和教学手段，探索出一条有特色、理论教学与实践教学、教学与科研相结合的专业教改之路，这对充分调用学生的积极性、主动性和创造能力，全面提高核工程与核技术专业人才的培养质量，为我国核工业发展输送更多一流专业人才具有重要意义。

二、研究目标、任务和主要思路

（一）研究目标

本项目聚焦于数字化反应堆技术在核工程与核技术实践教学中的创新应用，重点围绕教学内容、教学方法和教学过程展开系统性研究。项目以数字化反应堆平台为依托，致力于构建一套完整的数字化实践教学体系，涵盖认知实习、课程实验、课程设计、毕业实习以及综合创新五大核心模块。同时，项目将深入改革实践教学考核评价模式，结合教学效果反馈机制，构建科学合理、高效实用的核工程与核技术数字化实践教学体系。

通过这一系列探索与实践，项目旨在开辟一条具有鲜明特色的专业教育改革路径，实现理论教学与实践教学的深度融合，促进教学与科研的协同发展，为核工程与核技术专业人才培养提供创新模式和有力支撑。

（二）研究任务

本项目将分阶段推进核工程与核技术专业数字化实践教学体系的建设与优化，具体规划如下：

①第一阶段：对南华大学 2019 届核工程与核技术专业学生特征进行全面调研，并深入方家山核电、江苏田湾核电、海南昌江核电三家企业以及核动力研究设计院、中核核动力运行研究所两所科研单位，精准把握行业对核工程与核技术人才的需求特点。在此基础上，以产学研合作为依托，科学制定认知实习、课程实验、课程设计、毕业实习和综合创新五大实践环节的教学目标、实践层次和教学大纲，确保实践教学内容与行业需求紧密对接。

②第二阶段：围绕数字化反应堆技术，系统开展核工程与核技术专业五大实践环节的教学内容、教学方法和教学过程研究。针对每个实践环节，开发相应的数字化实践教学模块，初步构建完整的数字化反应堆实践教学体系，并对教学实施过程进行全程跟踪，详细记录教学效果反馈，为后续优化提供数据支持。

③第三阶段：基于前期教学效果反馈，深入开展数字化实践教学考核评价模式的革新研究。结合反馈结果，对数字化反应堆实践教学体系进行全面优化，进一步提升教学体系的科学性、实用性和有效性，确保其能够更好地服务于核工程与核技术专业人才的培养目标。

通过以上分阶段实施，项目将逐步完善核工程与核技术专业的数字化实践教

学体系,为专业教育改革提供有力支撑,助力高素质核工程与核技术人才的培养。

(三) 研究主要思路

本项目拟根据我国核工程与技术专业实践教学中的实际情况调研分析,结合我国新工科教育改革、卓越工程师教育计划及我国核工业发展的新需求,构建出一套合理可行的数字化反应堆实践教学体系。本项目计划在以下几个方面做出具体研究:

(1) 科学调研分析学生特征、企业和科研单位人才需求,结合数字化反应堆的技术特点,合理制定认知实习、课程实验、课程设计、毕业实习和综合创新五大实践环节的教学目标、实践层次和教学大纲。

(2) 重点开展数字化反应堆技术在核工程与核技术专业五大实践环节下的教学内容、教学方法和教学过程研究,开发对应环节的数字化实践教学模块,初步构建数字化反应堆实践教学体系并加以实施。

(3) 改革实践教学考核评价模式,探索学生自评与互评、师生互评、教师评价与互评、行业及企业专家评价等评价主体多元化,口试、现场操作、答辩、实习实验报告等考核形式多样化;系统总结分析教学反馈结果,优化数字化反应堆实践教学体系。

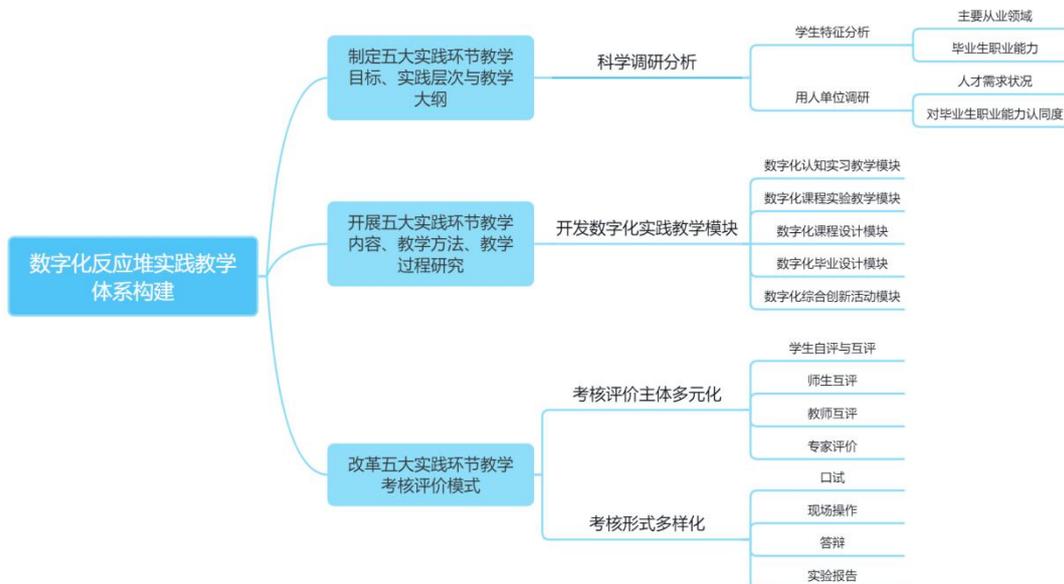


图 1 研究思路框架图

三、主要工作举措

本项目拟围绕国家级一流本科专业实践教学的具体要求，依托南华大学“核能与核技术工程国家级虚拟仿真实验教学中心”和“湖南省数字化反应堆工程技术研究中心”，以2019级核工程与核技术专业为研究追踪对象，开展以数字化反应堆为代表的虚拟仿真技术在核工程与核技术专业实践教学中的应用研究。

具体工作举措如下：

(1) 本项目采用理论与实践探索相结合的研究方法，综合运用了多种研究手段，确保数字化反应堆实践教学体系的科学性与实用性。具体实践方法如下：

①文献调研法：系统梳理了国内外数字化反应堆实践教学的相关研究成果，通过调研、归纳和总结，提炼出适用于本项目的理论框架和实践经验，为构建数字化反应堆实践教学体系提供坚实的学术基础和理论依据。

②问卷调查法：面向学生、企业及科研单位设计并发放调查问卷，全面了解了参与项目的学生特征、教学效果反馈以及企业和科研单位的实际需求。通过广泛收集一手数据，为数字化反应堆实践教学体系的构建提供实践依据，确保教学体系与实际需求紧密结合。

③统计分析法：运用科学的统计学方法对调查数据进行深入分析，挖掘了数据背后的规律和趋势，为制定科学合理、切实可行的数字化反应堆实践教学体系提供有力支持。通过数据驱动的决策，确保教学体系的优化与完善具有充分的实证基础。

(2) 重点开展了数字化反应堆技术在核工程与核技术专业五大实践环节下的教学内容、教学方法和教学过程研究，开发对应环节的数字化实践教学模块，初步构建了数字化反应堆实践教学体系并加以实施。具体实践过程如下：

①将数字化反应堆技术引入核工程与核技术认知实习，可以充分利用核能与核技术国家级虚拟仿真中心平台的先进设备，如核电漫游机、核电系统展示机和核电站模拟主控室等。通过虚实结合模拟体介绍电站的厂房和设备布局。其中，实物模拟体以模型形式直观展示电站的厂房和设备结构（如图2所示）；虚拟模型则借助三维交互软件和多媒体软件，真实还原并详细介绍重要厂房和设备的特性与构造（如图3所示）。可以通过浏览核电站厂区的整体环境与厂房布置，深

入了解核岛厂房、汽轮机厂房、主控室等主要厂房的三维模型，掌握其内部结构和关键设备的布局。此外，借助三维导航和二维导航功能，能够快速定位厂房内部任意设备的具体位置，从而对核电厂形成系统且具体的整体认知。



图2 秦山一期核电厂模型

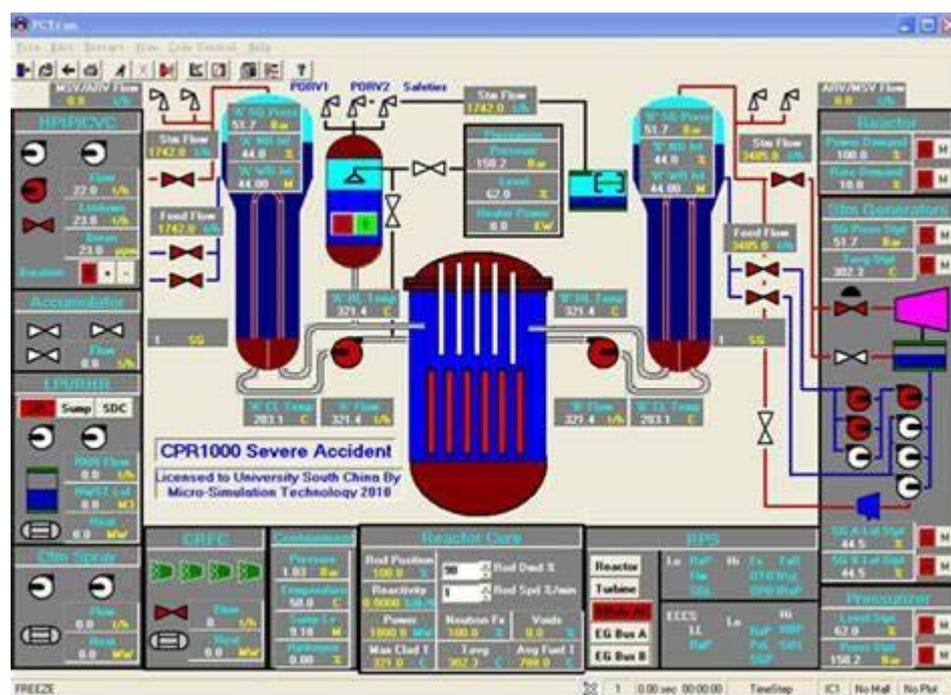


图3 核电厂主系统与设备模拟

②通过建立虚拟仿真计算中心，基于云计算的虚拟仿真实验教学平台，采用桌面云方案，结合数字化反应堆技术，对各类虚拟仿真实验的需求进行系统集成与分析，突破传统实验室在“时间、地点、资源”方面的限制。在此基础上，开发了一系列核工程类虚拟仿真实验课程，涵盖反应堆、核电厂系统与设备等多个实验项目。具体包括基于数字化反应堆的虚拟反应堆堆本体仿真、虚拟蒸汽发生

器仿真、虚拟反应堆冷却剂泵仿真、虚拟换料仿真、虚拟设备定位系统，以及 AP1000 核电厂蒸汽发生器传热管破裂事故分析等实验项目，实验教学流程如图 4 所示。这些虚拟仿真实验课程与《核电厂系统与设备》《核电厂运行》《反应堆物理分析》《反应堆热工学》《反应堆安全分析》等理论课程紧密结合，为本科生和研究生开设了压水堆核电厂系统与设备的实验项目，进一步完善核工程与核技术专业的实践教学体系。

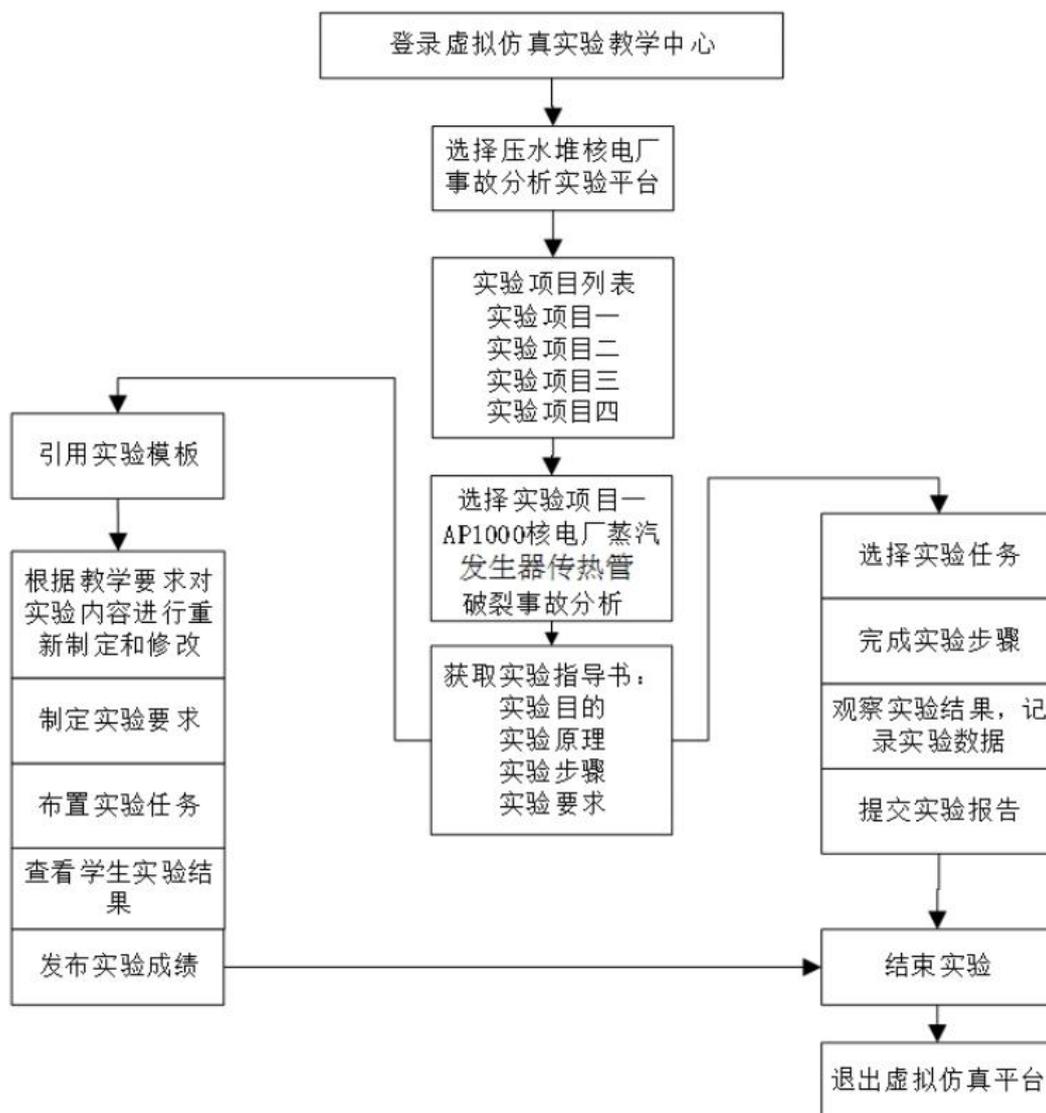


图 4 基于虚拟仿真实验教学平台的实验教学流程

③将数字化反应堆技术和核工程与核技术专业教学的特点真正结合起来，设计出更贴近企业和科研单位现实的教学情境，开发了适用于不同专业课程的数字化实验实训模块，对培养学生的实践创新能力大有裨益；同时可依托数字化反应堆的先进建模技术、高性能计算技术，针对先进裂变反应堆和聚变反应堆的关键

科学问题开展探索性研究。这两方面的结合可为学生提供丰富的科研实践机会，衍生出诸多具有高度创新性的毕业设计课题。

④建立“核研社”、“先进核能技术”等科技活动小组，并形成由导师指导、高年级学生带低年级学生的培养模式，指导、带动学生自主开展各项创新科技活动。创新科技活动涵盖了大学生物理竞赛、数学建模竞赛、“核+X”大赛、大学生创新实验项目、“挑战杯”科技作品竞赛以及社会实践等多个领域。通过组建多样化的科技活动小组，培养学生的专业特长，激发学生对专业知识的学习兴趣，同时为学生搭建展示才华的广阔平台。课外科技活动小组主要由积极参与课外科技活动的学生组成。小组的实践课题以核工程与核技术专业相关研究课题为基础，紧密结合学科前沿和实际需求。活动小组的设备由实验室提供资助，并由指导教师进行管理，学生可根据需要随时使用相关设备，确保实践活动的顺利开展。实践课程体系完整架构如图 5 所示。

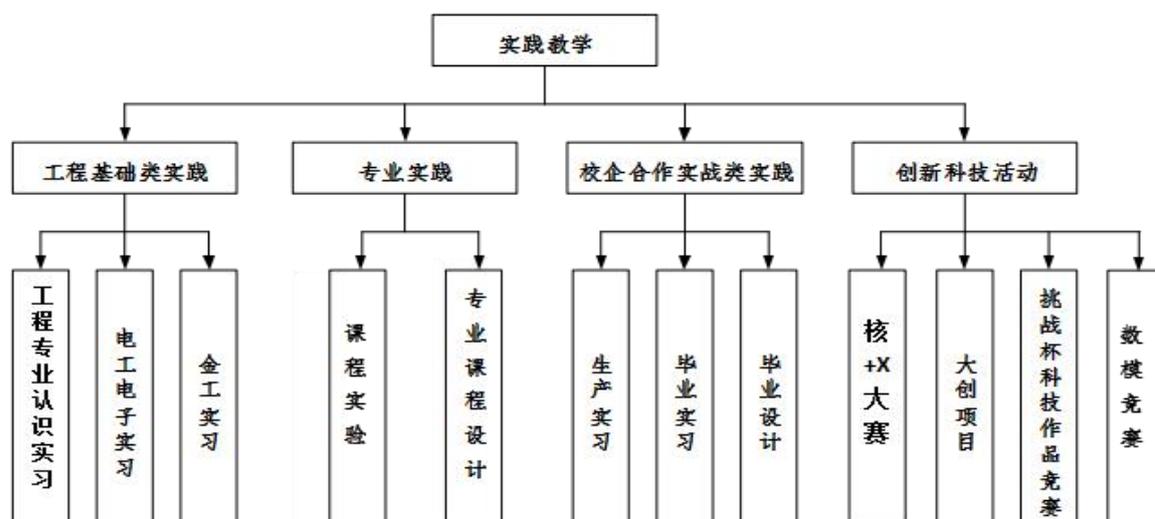


图 5 实践课程体系架构图

四、取得的工作成效

(一) 研究与改革取得的主要成绩

①完成了学生特征问卷调查表以及企业、科研单位需求调研报告 1 份；

②完成了认知实习、课程实验、课程设计、毕业实习和毕业设计的实践教学课件 1 份；

③完成了认知实习、课程实验、课程设计、毕业实习和毕业设计的实践教学数字化教学资源开发 1 套；

④完成了《基于数字化反应堆技术的核工程与核技术实践课程体系报告》1 份；

⑤完成了发表教学改革研究论文 5 篇。

[1]赵鹏程,刘紫静,于涛,曾文杰,谢金森,陈珍平.核工程类人才培养“三融一体”改革与实践[J].中国电力教育,2021(04):44-46.

[2]赵鹏程,刘紫静,于涛,王振华,谢金森,陈珍平.新工科背景下核安全人才培养创新平台建设的改革探索与实践[J].中国电力教育,2021(03):41-43.

[3]刘紫静,赵鹏程,赵亚楠,何丽华.基于数字化反应堆技术的核工程与核技术专业实践教学改革探索[J].中国教师,2024(22):125-126.

[4]刘紫静,赵鹏程,赵亚楠,何丽华.融合数字化反应堆的核工程与核技术虚拟仿真实践教学创新路径研究[J].教学与研究,2024(22):171.

[5]何丽华,刘紫静,于涛,等.《核电厂系统与设备》沉浸式信息化教学创新与实践[J].电脑校园,2025(3):229-231.

(二) 校内外应用和推广情况

①促进了资源共享、提高了核能教育的覆盖面。

南华大学充分发挥在核科学与技术领域的学科优势,深度融合云技术、大数据、移动互联以及 AR/VR 等前沿科技,精心打造了数字化反应堆实验教学平台。该平台通过创新的远程学习共享机制,为学生提供了突破时空限制的学习环境,使其能够充分利用碎片化时间,以开放、自主的方式完成学习实践活动,显著提升了学习的广度与深度。自平台建立以来,已累计服务学生学习时长 52112 人时,成功开发并上线了 124 个数字化实验项目。

②降低了核能专业教育和学习的成本。

通过数字化反应堆技术的应用能够提供安全、经济的实验项目,帮助学生掌握专业知识和技能、培养创新思维、提升就业能力,实现真实实验条件不具备或难以达到的教学功能。同时中心结合学科优势,自主开发软件以替代商业采购,可进一步降低平台的成本,也能锻炼和培养学生的软件研发能力。

③促进核能专业实验教学改革及信息化建设。

数字化反应堆实验平台的建设,不仅对实验室教学管理的信息化、资源开放能力提出了新要求,更是对教师原有的教学方式以及教学方法提出了挑战,需要教师具备更新的教育教学意识。对实验教学环节的设计不仅要着眼于学生实践能力的培养,更要在开放实验中体现综合设计和创新应用,思考如何让学生利用数字化反应堆平台将所学知识转化为解决科研和生产实际问题的能力,从而提高工程实践能力和研究创新能力。目前在专业基础和核心教学中,教师将部分数字化实验教学置于课程教学之前,利用教师设置的思考题,引导学生在虚拟实验中发现问题、思考问题,而后带着问题进入课堂,在课堂上采用演讲、讨论、报告等形式,结合教师讲授开展学习,最后开展实际的操作实验,深化理论知识的理解。虚拟仿真技术的应用对实验教学改革及信息化建设均有很强的促进作用。基于该平台,教师承担的教学改革项目 5 项,获批发明专利 4 个,发表论文 21 篇。

④提升了核能专业人才培养与社会服务能力。

数字化反应堆实验教学将数字化实验与课程教学、实践教学和创新创业训练进行深度融合,以知识学习、能力培养为核心,培养了学生自主探究知识的能力,提升学生综合能力。基于本平台,学生多次参加全国竞赛,其中有 9 人获奖,发表论文 76 篇,申请发明专利 6 项。同时利用虚拟仿真技术大大扩宽了示范辐射范围,提升了社会服务能力。该平台承办国内外大型会议 30 余次,对外接待参观访问百余人次。

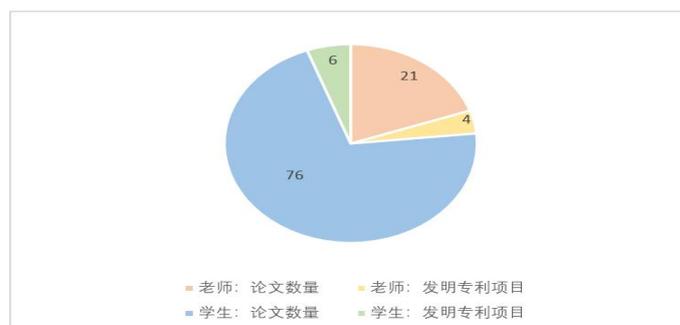


图 6 2020~2024 年基于数字化反应堆实验平台成果展示图

五、特色和创新点

项目特色和 innovation 主要体现在以下两个方面：

①数字化反应堆教学激发了学生的专业学习兴趣

作为一门技术复杂、设备众多的学科,核工程与核技术专业教学的一个重要要求就是直观、形象、生动,但在目前国内广大院校的实际教学中往往难以直接展示系统的结构、作用原理及工作流程等教学内容,这对学生更好地掌握专业知识极为不利。通过数字化反应堆技术建立的核电站系统与设备模型,可以使学生通过人机交互的方式对核电模型进行浏览,在模型内部自由“漫游”,使他们能非常直观地学习核电站系统与设备结构。这样不仅将复杂、抽象的内容具体化、形象化,提高了教学质量,而且还可以调动了学生的学习兴趣。

此外,核工程与核技术是一门实践性很强的学科,实验和实习应贯穿于整个教学过程。实践教学环境的好坏对掌握专业知识至关重要。三维虚拟软件和多媒体系统的开发与应用,可对专业教育起到很好的促进作用。三维虚拟软件与多媒体系统相结合,打破了时间、空间、经费等方面的局限性,为学生提供了真正的“开放性教学环境”,提高了学生的自主动手能力和创新能力。相对于传统的“板书+挂图”或纯 PPT 播放等教学形式而言,数字化反应堆教学形式新颖,能够充分调动学生的学习兴趣,激发他们的求知欲望,有利于提高教学效果。虚拟技术改善了教育、教学环境,扩大了学生学习的空间和时间,培养了学生的实践能力和学习能力。

②数字化反应堆教学提高了学生的空间想象能力

利用数字化的方法能形象、生动地描绘出传统课堂上无法准确、细致表达的复杂图形、图像等。借助虚拟现实、计算机仿真、计算机辅助设计软件等模拟出核电站复杂系统和设备的结构、原理、工作流程、空间位置布局、立体图形的生成过程等。通过对这些过程的模拟可以实现由点、线、面到体的全程模拟,帮助提高学生的空间想象能力和形象思维能力。通过数字化反应堆技术可以使对系统的理解更形象、直观且全面,也克服了专业教学中教师难讲,学生难学的弊端。