# 五、核科学与工程学院

## 快堆系统分析软件开发及快堆仿真机研制

发展快堆技术对保持核电可持续发展具有十分重要的战略意义。系统分析软件对于核电站安全系统的设计、执照申请与审核、法规制定等工作至关重要。以系统分析软件作为核心计算软件开发快堆仿真机，并对核电站操纵员和管理人员进行培训，是核电站安全经济运行的前提。以中国实验快堆(CEFR)为研究和建模对象，通过建立池式快堆三个回路关键部件的物理模型、开发计算逻辑和算法、编制计算程序等，完成堆芯上腔三维化的池式快堆系统分析软件的开发。该成果成功用于中国实验快堆（CEFR）的首次并网发电。

通过进一步开发仿真机监控界面、数据通信接口、控制算法模型、仿真机实时数据库等，开发出快堆原理型仿真系统。系统分析软件中关键模型的开发与耦合处于国际先进水平，快堆原理型仿真机的研制填补了我国快堆仿真领域的空白。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

## 基于磁性温度感知合金的核电站非能动停堆技术研究

电站的安全性和可靠性是我国核电事业发展的关键。基于磁性温度感知合金的核电站非能动停堆系统是将控制棒与驱动机构间用磁性物质连接，利用磁性材料具有居里点温度的特性，实现非能动停堆。该系统利用自然力量实现核电站安全保护功能，能有效提高反应堆的安全系数。

该技术以中国实验快堆为试用对象，首先通过研究温度感知永磁体和居里点软磁合金的成分配方，制备出居里点软磁合金Fe-Ni-(Co, Cu, Mo, Cr, Mn 等)和温度感知永磁材料。通过进一步设计并制造出由温度感知永磁体和居里点软磁合金构成的磁性居里点合金组件，并最终开发出温度触发的非能动停堆系统的控制棒驱动装置，完成堆外模拟实验。

通过该非能动停堆装置的研发，掌握了非能动智能触发停堆系统技术中的关键问题，占领了非能动停堆技术工程化领域的先机。已获得实用新型专利2 项，发表论文5 篇。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

## 核反应堆物理与屏蔽程序开发与研究

针对我国核电自主化的战略需求，建立自主化的多功能、多维耦合的核电中子物理与屏蔽软件分析模拟平台，开发具有自主知识产权的核电中子物理与

屏蔽设计分析软件，是核反应堆物理领域面临的前沿和挑战性课题。

本研究在中子输运理论及其数值模拟、大型核装置三维精确辐射屏蔽方法及应用、聚变中子学、核燃料循环与后处理研究等方面开展了大量工作，与国内重要的核电企业及研究设计单位建立了密切的合作关系，开发了一系列先进计算方法、程序及核截面数据库。本方向凝聚了一批高学历、具有海外背景的中青年教师，是国内为数不多、高校中唯一掌握大型核装置三维精确屏蔽设计能力的科研团队。近5 年发表学术论文180 余篇，三大检索论文40 余篇；目前在研科研经费总额500 余万元；获得计算机软件著作权1 项。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

## 非能动核能安全技术（自然循环及核热耦合）

自然循环可以有效的提高反应堆的固有安全性，自然循环流动中的过冷沸腾起始点（ONB）和临界热流密度（CHF）是随热量增大而先后出现的两个重要热工现象。ONB 点前后的换热存在很大差异，而CHF 限制了设备功率的提高。同时自然循环更易产生流动不稳定性。对这三个现象的研究将有助于自然循环学科的发展。

搭建了自然循环热工水力试验台架，在0.1MPa-1.0MPa 压力范围内开展了自然循环实验研究。完成了欠热沸腾起始点发生机理分析、自然循环下的临界热流密度发生机理、流量漂移特性分析。

针对超临界水冷反应堆的典型设计，开发了反应堆核热耦合分析程序，可完成窄缝效应研究和流量分配优化、MOX 燃料方案的热工特性、滑压启动特性、事故瞬态工况下的安全特性等分析。近5 年来发表国内外学术期刊论文近50 篇，20 余篇被SCI 和EI 检索收录；获授权发明专利10余项。



## 微纳结构CsI（Na）晶体加快发光探测机理研究

核辐射探测材料的发光特性是影响辐射探测性能的关键因素，无机CsI（Na）晶体由于其发光效率高、密度大等优点，被广泛用于核辐射成像、核医学、暗物质探测等领域。但其慢发光衰减时间特性限制了在快脉冲辐射场探测方面的应用。

本研究建立并完善了单光子计数系统、快脉冲X 射线探测系统等辐射探测实验平台；首次发现微纳结构CsI（Na）晶体的加快发光特性，提出具有自主知识产权的微纳结构CsI（Na）晶体制备方法，解决了CsI（Na）晶体受制于慢发光衰减时间的核心难题。为快脉冲辐射探测领域提供了新的优选探测材料，从源头上保证了具有自主产权快脉冲辐射场薄膜探测器的研制及应用。

近年来，团队成员发表SCI、EI 论文近40 篇，获国家科技进步奖、技术发明奖5 项，部委科技进步一、二等奖10 项，授权发明专利18 项。

|  |
| --- |
|  |
|  |
|  |

## AP1000 核岛主系统模拟运行仪器

核电站核岛安全壳内部具有严格的封闭性，使得核电厂员工以及核电专业学生无法对其内部正常工况下一、二回路的循环过程以及LOCA 失水事故工况下安全注射系统和非能动余热排出热交换器的运行过程有直观的了解。而目前，广泛用于教学的演示模型多为塑料或泡沫制成的静态模型，无法实现各运行过程的动态模拟。

本项目针对现有先进压水堆静态模型无法动态模拟实际运行过程的缺点，提供了一种AP1000 核岛主系统模拟运行仪器。根据先进压水堆核岛内部构件组成及非能动安全系统工作原理，由蒸汽发生器、压力容器、稳压器、安注水箱、堆芯补水箱、内置换料水箱、非能动余热排出热交换器、主泵、管路、测量系统以及加热元件构成，采用强迫循环。以水作为一、二回路以及非能动安全注射系统中的工质。仪器所有部件均由钢架支撑。本项目申请发明专利2 项。

