

课题编号：2020YFB1901901

密 级：公开

## 国家重点研发计划 课题任务书

课题名称：	小型氦氘冷却移动式固体核反应堆电源总体方案及智能化控制技术研究
所属项目：	小型氦氘冷却移动式固体核反应堆电源
所属专项：	核安全与先进核能技术
项目牵头承担单位：	上海交通大学
课题承担单位：	上海交通大学
课题负责人：	刘晓晶
执行期限：	2020 年 11 月 至 2023 年 10 月

中华人民共和国科学技术部制

2020 年 11 月 17 日

0003YF 2020YFB1901901 2020-11-17 07:46:14



## 填写说明

- 一、任务书甲方即项目牵头承担单位，乙方即课题承担单位。
- 二、任务书通过“国家科技计划管理信息系统公共服务平台”，按照系统提示在线填写。
- 三、任务书中的单位名称，请按规范全称填写，并与单位公章一致。
- 四、任务书要求提供乙方与所有参加单位的合作协议，需对原件进行扫描后在线提交。
- 五、任务书中文字须用宋体小四号字填写。
- 六、凡不填写内容的栏目，请用“无”表示。
- 七、乙方完成任务书的在线填写，提交甲方审核确认后，用 A4 纸在线打印、装订、签章。一式八份报项目牵头承担单位签章，其中课题承担单位一份，课题负责人一份，作为项目任务书附件六份。
- 八、如项目下仅设一个课题，课题任务书只需填报课题预算部分。
- 九、涉密课题请在“国家科技计划管理信息系统公共服务平台”下载任务书的电子版模板，按保密要求离线填写、报送。
- 十、《项目申报书》和《项目任务书》是本任务书填报的重要依据，任务书填报不得降低考核指标，不得自行对主要研究内容作大的调整。《项目申报书》、《项目任务书》和本任务书将共同作为课题过程管理、验收和监督评估的重要依据。



课题基本信息表

课题名称		小型氦氘冷却移动式固体核反应堆电源总体方案及智能化控制技术研究				
课题编号		2020YFB1901901				
所属项目		小型氦氘冷却移动式固体核反应堆电源				
所属专项		核安全与先进核能技术				
密级		■公开 □秘密 □机密		单位总数	3	
课题类型		■基础前沿□重大共性关键技术□应用示范研究□其他				
课题活动类型		■基础前沿□应用研究□试验发展				
课题研究 所属学科		核科学技术 核动力工程技术				
课题成果应用的主要国民经济行业		电力、热力、燃气及水生产和供应业 电力、热力生产和供应业 电力生产 核力发电				
课题的社会经济目标		能源生产、分配和合理利用 能源一般问题研究				
经费预算		总需求 299.00 万元，其中中央财政专项资金需求 299.00 万元				
课题周期节点		起始时间	2020 年 11 月	结束时间	2023 年 10 月	
		实施周期	共 36 个月	预计中期时间点	2022 年 05 月	
课题承担单位	单位名称	上海交通大学			单位性质	大专院校
	单位所在地	上海市 上海市 闵行区			组织机构代码	1210000042500615X0
	通信地址	上海市东川路 800 号			邮政编码	200240
	银行账号	439059226890			法定代表人姓名	林忠钦
	单位开户名称	上海交通大学				
	开户银行（全称）	104290050144  中国银行上海市上海交通大学支行				



课题负责人	姓 名	刘晓晶	性 别	<input checked="" type="checkbox"/> 男 <input type="checkbox"/> 女	出生日期	1981-06-09
	证件类型	身份证	证件号码	130602198106090616		
	所在单位	上海交通大学				
	最高学位	<input checked="" type="checkbox"/> 博士 <input type="checkbox"/> 硕士 <input type="checkbox"/> 学士 <input type="checkbox"/> 其他				
	职 称	<input checked="" type="checkbox"/> 正高级 <input type="checkbox"/> 副高级 <input type="checkbox"/> 中级 <input type="checkbox"/> 初级 <input type="checkbox"/> 其他			职务	核科学与工程学院书记
	电子邮箱	xiaojingliu@sjtu.edu.cn		移动电话		13761043485
课题联系人	姓 名	柴翔	电子邮箱	xiangchai@sjtu.edu.cn		
	固定电话	021-34207121	移动电话	15821856304		
	证件类型	身份证	证件号码	34040319860823141X		
课题财务负责人	姓 名	王光艳	电子邮箱	gywang@sjtu.edu.cn		
	固定电话	021-34206445	移动电话	13918205807		
	证件类型	身份证	证件号码	142602197610111024		
其他参与单位	序号	单位名称		单位性质		组织机构代码
	1	中国科学院合肥物质科学研究院		事业型研究单位		121000007178068020
	2	华北电力大学		大专院校		1210000040000983X8
课题参加人数	<u>23</u> 人。其中：		高级职称 <u>5</u> 人，中级职称 <u>2</u> 人，初级职称 <u>0</u> 人，其他 <u>16</u> 人；			
			博士学位 <u>5</u> 人，硕士学位 <u>7</u> 人，学士学位 <u>11</u> 人，其他 <u>0</u> 人。			
课题简介 (限 500 字以内)	<p>本课题通过综合考虑输出功率、堆芯寿期、重量限制、辐射安全等设计要求拟定初步构型设计。针对直接循环氦气冷却反应堆的特点，建立氦气气体强迫对流换热模型以及非能动安全设施、透平、压气机和 PCHE 等关键设备的系统分析计算模块，搭建全系统数值模拟软件平台，模拟陆上移动式核反应堆电源运行瞬态条件下反应堆、透平及其他辅助系统的运行特性，研究控制系统动作对反应堆系统响应特性的影响规律，基于综合评价优化方法，经过多轮迭代后，形成最终设计方案。在智能化控制技术方面，通过对时间、温度、流量、中子通量等输入参数进行归一化处理，解决控制系统中多尺度参量问题。采用多层感知和反向算法，以充分反映各输入变量间的非线性特征，最终建立最优监测与控制模块。建立诊断、决策、人机接口等最优控制模块，搭建完整智能控制系统，实现自主智能化多尺度耦合控制。</p>					



一、目标及考核指标、评测方式/方法

请填写下表。

课题目标、成果与考核指标表

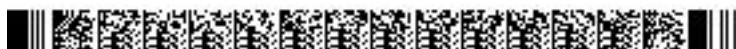
课题目标 <sup>1</sup>	成果名称	成果类型	考核指标 <sup>2</sup>				考核方式 (方法)及 评价手段 <sup>4</sup>
			指标名称	立项时已有指标 值/状态	中期指标值/ 状态 <sup>3</sup>	完成时指标 值/状态	
针对陆上移动核反应堆电源需求开展特殊场景论证与可行性研究,基于紧凑式氦氘冷却固体堆芯设计和布雷顿循环能量转换技术,设计创新型超长寿期核反应堆电源方案,开发全系统数值模拟软件平台;基于感知、决	1. 建立总体方案研究、评估和论证方法,给出总体方案和设计参数	■ 论文 ■ 软件 ■ 发明专利	1.1 陆上移动式固体核反应堆电源应用场景论证	美国已初步论证了移动式核反应堆电源的初步应用场景	分析固体核反应堆电源应用场景	基于应用场景论证 8MWe 核电源应用场景	编制测试方案,提供运行数据及测试报告,行业协会/学会/权威机构组织专家评审,提供评审报告。
			1.2 陆上移动式固体核反应堆电源总体方案设计	美国已初步完成了兆瓦级陆上移动式核反应堆电源概念设计	总体方案初步概念设计,总重量小于40吨,热功率不低于20MWt,寿期不低于3000EFPD	完成总体方案设计,总重量小于26吨,热功率不低于20MWt,寿期不低于3300 EFPD,直径不大于1.8米,可容纳于标准集装箱,放射性物质外泄概率低于10 <sup>-7</sup> 堆年	



策、操控的自动控制逻辑，建立由子系统到总系统的全系统智能化自主控制技术。	2. 全系统数值仿真平台	■新方法 ■论文 ■软件 ■发明专利	1.3 全系统数值仿真平台 a) 仿真模块 b) 监测数据 c) 运行工况	美国已针对 kW 级空间核反应堆电源开发了数值仿真平台	系统中包含的仿真模块数量不少于 3 个；监测的系统数据不少 2 种；模拟的运行工况不少 2 个	系统中包含的仿真模块数量不少于 5 个；监测的系统数据不少 3 种；模拟的运行工况不少于 3 个	编制测试方案，测试方案通过专家评审论证后，承担单位提供原始实验/运行数据及测试报告，由现场考察专家组见证考核，并形成现场见证报告；
			1.4 全系统运行特性 a) 稳态 b) 瞬态	美国已针对 kW 级空间核反应堆电源进行了稳态和瞬态分析	模拟全系统稳态运行特性工况数量不少于 2 个	模拟全系统稳态运行特性工况数量不少于 2 个	
	3. 陆上移动式固体核反应堆电源自主智能控制系统	■新技术 ■新方法 ■软件 ■论文 ■发明专利	1.5 核能控制系统中面向多尺度耦合输入参量的监测、诊断和决策等智能控制模块	已初步建立监测智能控制模块，尚未对其开展训练和优化。	建立监测、诊断和决策等智能控制模块数量不少于 3 个。	训练后的监测、诊断和决策等最优智能控制模块数量不少于 3 个。	编制测试方案，提供运行数据及测试报告，行业协会/学会/权威机构组织专家评审，提供评审报告。
			1.6 陆上移动式核反应电源瞬态工况智能控制系统	目前尚无类似成果	搭建 1 个完整的智能控制系统，采用 3 个以上瞬态运行事件的数值结果对其进行初步训练。	智能控制系统可实现对 3 个以上瞬态运行事件的自主智能控制，满足机动性要求	



			1.7 事故工况下陆上移动式核反应电源智能保护系统	目前尚无类似成果	采用 3 个以上事故工况的数值结果对智能控制系统开展训练和优化。	智能控制系统可对 3 个以上的事故工况和 3 个未期事件做出响应和智能化控制,超功率/超温响应时间小于 6 秒,控制水平满足对机动性的要求	
预期取得的知识产权成果、人才培养的累计数量 a) 发表论文 b) 申请发明专利 c) 培养研究生				/	a) 3 篇 b) 3 项 c) /	a) 7 篇 b) 6 项 c) 6 人	已发表论文全文,发明专利申请/授权证明文件
科技报告考核指标	序号	报告类型 <sup>5</sup>	数量	提交时间		公开类别及时限 <sup>6</sup>	
	1	课题年度执行情况报告	3	2021 年 11 月、2022 年 11 月、2023 年 11 月		公开	
	2	课题中期执行情况报告	1	2022 年 05 月		公开	
	3	课题绩效自我评价报告	1	2023 年 10 月		公开	
	4	陆上移动式固体核反应堆电源总体方案设计专题报告	1	2023 年 6 月		公开	
	5	陆上移动式固体核反应堆电源全系统数值模拟分析报告	1	2023 年 6 月		公开	
	6	陆上移动式固体	1	2023 年 6 月		公开	



		核反应堆电源智能控制系统技术 专题报告			
<p>其他目标与考核指标完成情况</p> <p>1. 项目考核指标</p> <p>1) <b>反应堆总体指标:</b> 电功率<math>\geq 8\text{MWe}</math>, 全系统总重量<math>\leq 26</math> 吨, 可容纳于标准集装箱中;</p> <p>2) <b>智能化控制系统设计指标:</b> 超功率/超温响应时间小于 6 秒, 控制水平满足对机动性的要求;</p> <p>3) <b>其他指标:</b> 建立数值模拟平台, 论证 8MWe 小型陆上移动式核反应堆概念设计及其关键技术; 完成技术方案、系统和设备配置可行性研究; 总体技术国际先进, 部分技术指标达到国际领先。</p> <p>4) <b>预期取得的知识产权成果、人才培养的累计数量:</b> 项目申请书中表明发表论文 7 篇, 申请发明专利 6 项; 根据综合绩效评价的相关要求, 项目实施期满时, 提交的代表性论文 3 篇, 核心关键技术发明专利 3 项。</p>					





备注：

1. **“课题目标”**，应从以下方面明确描述：（1）研发主要针对什么问题和需求；（2）将要解决哪些科学问题、突破哪些核心/共性/关键技术；（3）预期成果；（4）成果将以何种方式应用在哪些领域/行业/重大工程等，并拟在科技、经济、社会、环境或国防安全等方面发挥何种的作用和影响。
2. **“考核指标”**，指相应成果的数量指标、技术指标、质量指标、应用指标和产业化指标等，其中，数量指标可以为论文、专利、产品等的数量；技术指标可以为关键技术、产品的性能参数等；质量指标可以为产品的耐震动、高低温、无故障运行时间等；应用指标可以为成果应用的对象、范围和效果等；产业化指标可以为成果产业化的数量、经济效益等。同时，对各项考核指标需填写立项时已有的指标值/状态以及课题完成时要到达的指标值/状态。同时，考核指标也应包括支撑和服务其他重大科研、经济、社会发展、生态环境、科学普及需求等方面的直接和间接效益。如对国家重大工程、社会民生发展等提供了关键技术支撑，成果转让并带动了环境改善、实现了销售收入等。若某项成果属于开创性的成果，立项时已有指标值/状态可填写“无”，若某项成果在立项时已有指标值/状态难以界定，则可填写“/”。
3. **“中期指标”**，各专项根据管理特点，确定是否填写，鼓励阶段目标明确的项目课题填写中期指标。
4. **“考核方式方法”**，应提出符合相关研究成果与指标的具体考核技术方法、测算方法等。
5. **“科技报告类型”**，包括项目验收前撰写的全面描述研究过程和技术内容的最终科技报告、项目年度或中期检查时撰写的描述本年度研究过程和进展的年度技术进展报告以及在项目实施过程中撰写的包含科研活动细节及基础数据的专题科技报告（如实验报告、试验报告、调研报告、技术考察报告、设计报告、测试报告等）。其中，每个项目在验收前应撰写一份最终科技报告；研究期限超过2年（含2年）的项目，应根据管理要求，每年撰写一份年度技术进展报告；每个项目可根据研究内容、期限和经费强度，撰写数量不等的专题科技报告。科技报告应按国家标准规定的格式撰写。
6. **“公开类别及时限”**，公开项目科技报告分为公开或延期公开，内容需要发表论文、申请专利、出版专著或涉及技术诀窍的，可标注为“延期公开”。需要发表论文的，延期公开时限原则上在2年（含2年）以内；需要申请专利、出版专著的，延期公开时限原则上在3年（含3年）以内；涉及技术诀窍的，延期公开时限原则上在5年（含5年）以内。涉密项目科技报告按照有关规定管理。



二、课题研究方向、研究方法及技术路线

(一) 课题的主要研究内容

拟解决的关键科学问题、关键技术问题，针对这些问题拟开展的主要研究内容，限1000 字以内。

具有小体积、高功率密度和固有安全等特点的智能化小型陆上移动式核反应堆电源总体概念设计与数值平台构建是关键技术难题之一。围绕该问题，本课题将分别针对总体方案设计、全系统数值模拟平台构建和系统智能自主控制技术开展研究。

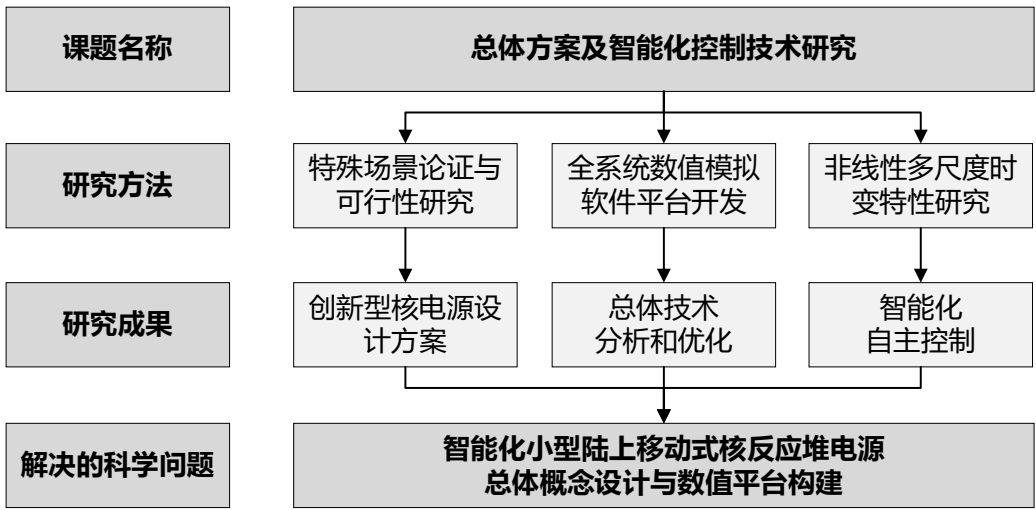


图 1 研究内容

子课题 1：核反应堆电源总体方案研究、评估及论证

针对陆上移动核反应堆电源需求开展应用场景分析，根据紧凑式氦氘冷却固体堆芯设计和布雷顿循环能量转换技术的技术路线, 基于综合评价优化方法，如图 2 所示，建立移动式固体核反应堆电源综合评价优化模型，在多学科分析模型的基础上，统筹考虑设计变量、设计约束和设计目标，实现功率、质量和安全性能的多目标优化，完成堆芯、能量转换系统和安全系统的多学科设计优化，评估功率、体积、重量、寿命等关键技术指标，在固有安全基础上满足全系统小型化和机动性要求并确定初步概念设计。



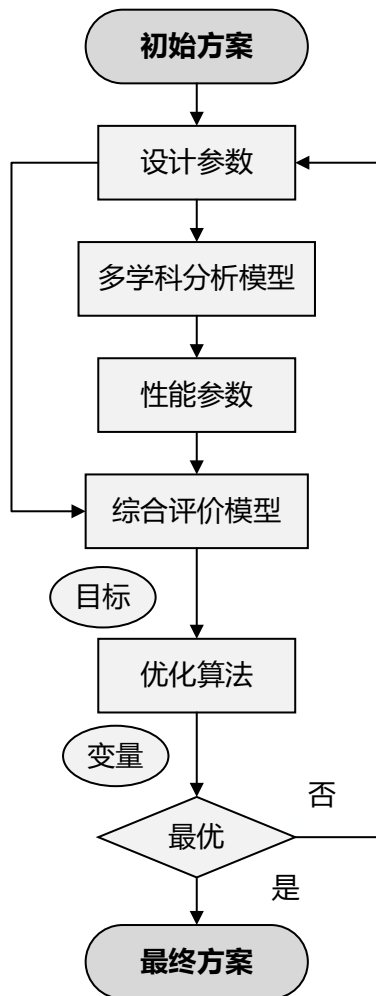


图 2 总体方案综合评价优化模型

### 子课题 2：全系统数值模拟平台构建

基于初步设计参数，针对直接循环氦氘冷却反应堆关键设备及关键物理现象建立仿真计算模块，搭建反应堆系统分析模型，建立反应堆、透平、压气机、PCHE 等关键部件和非能动冷却系统的全系统数值模拟软件平台，掌握典型陆上移动条件及可预见瞬态工况下反应堆运行特性和事故响应特性，通过优化模型和算法，实现全系统运行瞬态和事故的实时甚至超实时仿真。

### 子课题 3：系统智能自主控制技术研究

针对系统中多尺度参数耦合及其非线性特征，采用基于多层感知和反向传播的深度神经网络方法分别建立监测、诊断、决策以及人机接口等智能控制模块。结合数值平台结果对每个控制模块进行训练和优化。根据陆基核电站的系统特征和具体应用场景，搭建智能控制体系。在智能控制体系的基础上，以控制系统功能为导向关联不同控制模块，如图 3 所示，建立由子系统到总系统的全系统智能化自主控制技术。结合数值平台的计



算结果，对智能控制系统进行训练和优化，实现陆上移动核反应堆电源在运输、运行和事故工况下的自主智能化多尺度耦合控制。

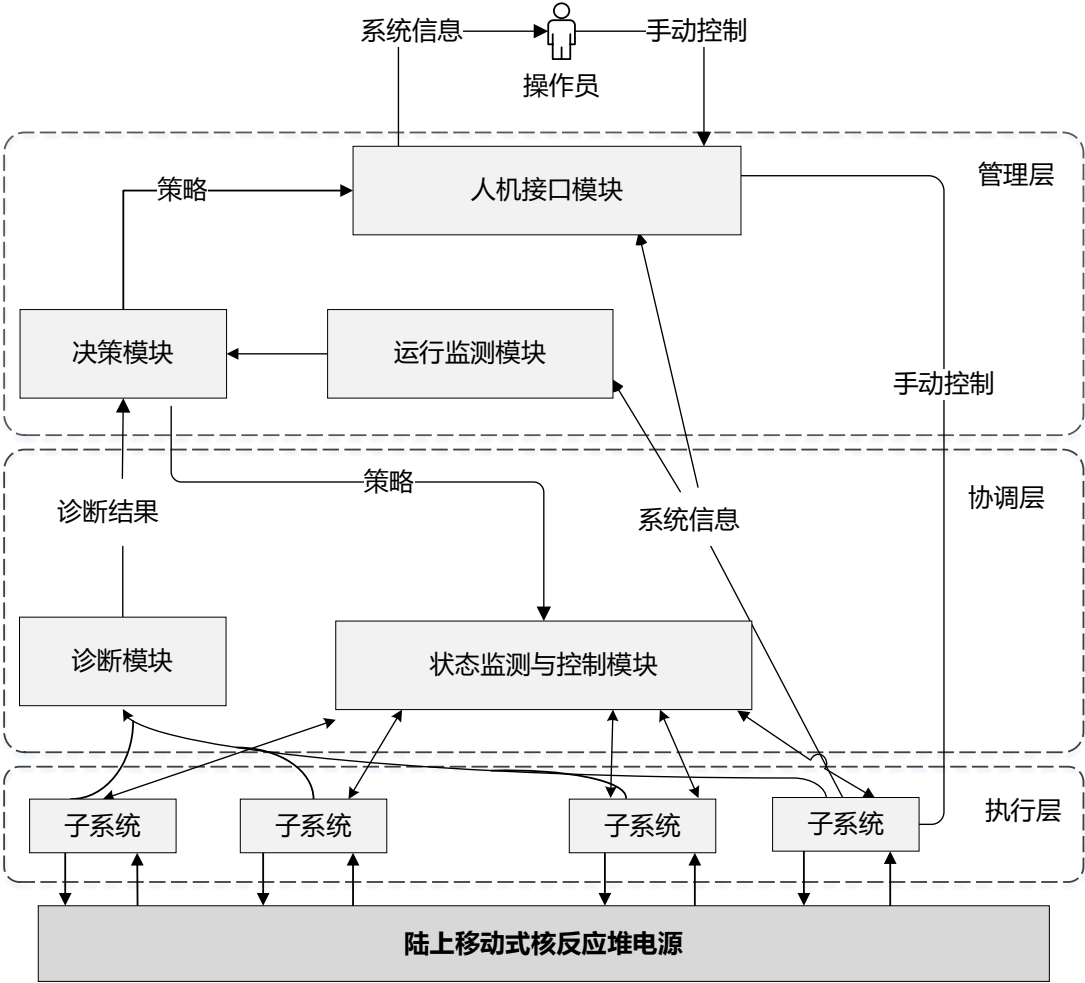


图 3 总体方案综合评价优化模型智能化控制体系

## （二）课题采取的研究方法

针对课题研究拟解决的问题，拟采用的方法、原理、机理、算法、模型等  
限 1000 字以内。

陆上移动式核反应堆电源的总体设计流程如图 4 所示，通过综合考虑输出功率、堆芯寿期、重量限制、辐射安全等设计要求拟定初步构型设计。针对直接循环氦氘冷却反应堆的特点，建立氦氘气体强迫对流换热模型以及非能动安全设施、透平、压气机和 PCHE 等关键设备的系统分析计算模块，搭建全系统数值模拟软件平台，模拟陆上移动式核反应堆电源运行瞬态条件下反应堆、透平及其他辅助系统的运行特性，研究控制系统动作对反应堆系统响应特性的影响规律，基于综合评价优化方法，经过多轮迭代后，形成最终设计方案。



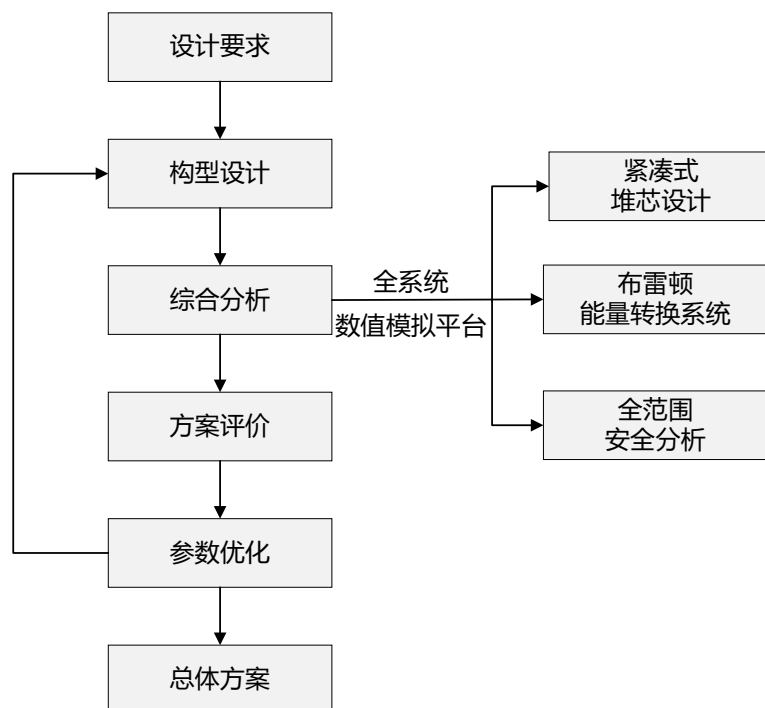


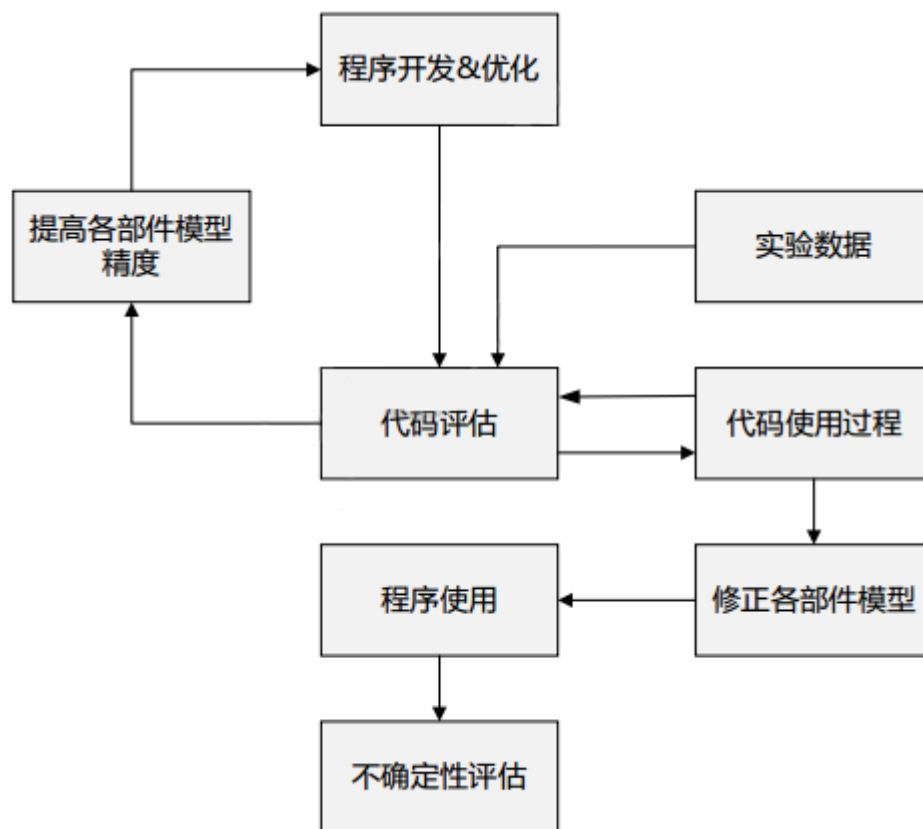
图 4 总体设计流程

全系统数值模拟是分析核反应堆电源运行特性的有效方法之一。在数值模拟平台开发方面将针对陆上移动式固体核反应堆电源关键设备及关键物理现象建立仿真计算模块，搭建全系统系统分析模型。在此基础上，进一步优化模型和算法，实现反应堆运行瞬态和事故的实时甚至超实时仿真。基于系统仿真，研究反应堆运行特性和事故响应特性。具体如下：

#### 1) 关键计算模块开发和控制逻辑实现

为了实现直接循环氦气冷却反应堆的系统仿真分析，本子课题将针对直接循环氦气冷却反应堆的特点，建立氦气强迫对流换热模型以及非能动安全设施、透平、压气机和 PCHE 等关键设备的系统分析计算模块,并在仿真模型上实现反应堆的控制逻辑。





## 2) 系统仿真的模型和算法优化

为了实现反应堆运行瞬态和失流等事故工况的实时甚至超实时仿真，本子课题将在保证计算精度的条件下对失流、失冷条件下的非能动余热排出系统模型等关键现象的物理模型进行优化。同时，进一步改进仿真计算的数值算法，使计算效率进一步提高。

## 3) 运行瞬态系统响应特性分析

基于系统仿真分析，模拟典型陆上移动条件及可预见瞬态工况下反应堆、透平及其他辅助系统运行特性和事故响应特性，研究控制系统动作对反应堆系统响应特性的影响规律，为控制逻辑优化提供依据。

在智能化控制技术方面，拟建立的监测与控制模块示意图如图 6 所示，通过对时间、温度、流量、中子通量等输入参数进行归一化处理，解决控制系统中多尺度参量问题。采用多层感知和反向算法，以解决各输入变量间的非线性特征，模块输出可作为子系统设备的控制信号和其他智能控制模块的输入。采用类似方法分别建立诊断、决策、人机接口等最优控制模块。根据陆基核电站的系统特征和具体应用场景，搭建智能控制体系耦合各智能控制模块，搭建完整智能控制系统。结合数值模拟平台对瞬



态运行和事故工况的计算结果对智能控制系统进行训练和优化，使用末期事件对智能控制系统进行验证和优化。

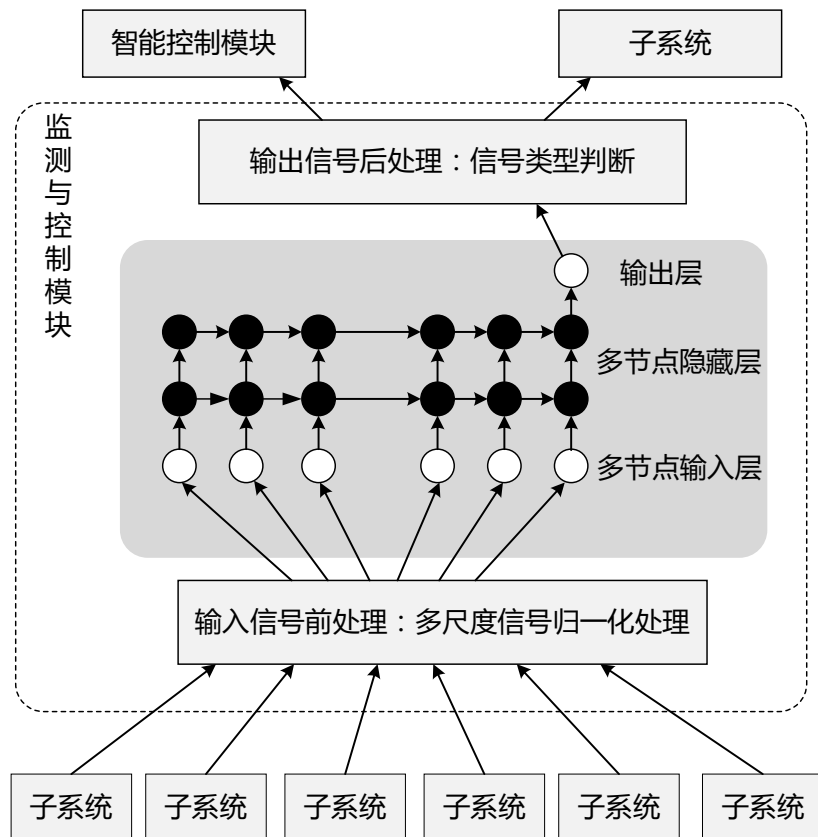
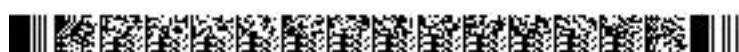


图 6 监测与控制模块示意图

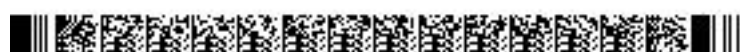


### 三、主要创新点

围绕基础前沿、共性关键技术或应用示范等层面，简述课题的主要创新点。具体内容应包括该项创新的基本形态及其前沿性、时效性等，并说明是否具备方法、理论和知识产权特征。每项创新点的描述限 500 字以内。

创新点：基于数值模拟平台的智能化控制技术

由于核能控制系统的复杂性，核能系统的自主智能控制研究尚处于起步阶段。目前美国和俄罗斯等国均已开展部分研究，已针对特定事件建立了智能控制模块和初步搭建了智能控制体系。我国尚处于起步阶段，尚未解决核能控制系统中的多尺度和非线性问题。本课题针对陆上移动式固体核反应堆电源的系统特征，通过开发全系统数值模拟软件平台，模拟在不同应用场景下的多种运行和事故工况及其响应过程，采用大量数据点对不同智能控制模块进行训练和优化。同时本课题针对陆上移动式固体核反应堆电源的系统特征，采用深化神经网络方法建立智能控制模块，结合数值平台计算结果对控制模块进行训练和优化。以需求为导向，划分子系统，并确定各子系统状态监测参数。建立由子系统到总系统的自下而上的全堆控制逻辑。应用感知、决策、操控的自动控制逻辑，耦合各最优控制模块，构建含执行、协调、管理和人员参与的阶层式完整智能控制体系。最终实现陆基核电站在不同应用场景和事件下的全系统智能化自主控制。





## 四、预期经济社会效益

课题的科学、技术、产业预期指标及科学价值、社会、经济、生态效益。限 500 字以内。

1) **在服务国家战略方面：**陆上移动式核反应堆电源的研发具有重要的国防效益。小型移动式核反应堆电源具有运行功率大、续航时间久、不依赖光照、风力和氧气、高安全、高可靠的优点，可满足日益增多的陆地边远地区、海洋、空间领域的国防任务，如边远岗哨、雷达电站、空间侦查、情报搜集、海下巡航等任务。

2) **在科学价值方面：**解决核能控制系统中多尺度参数及其非线性问题，训练兼容各子系统的智能控制模块；关联各最优控制模块，建立适用于不同应用场景和工况的智能控制系统；减少人因干预，降低运维成本，满足安全性要求，实现陆上移动式核反应堆电源在不同应用场景下的自主智能控制，促进对荒漠、孤岛等区域的开发和利用；实现核能系统的自主智能控制可促进我国在小、微型核反应堆的发展。

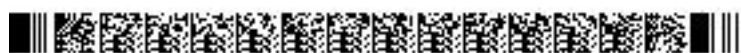
3) **在社会经济价值方面：**陆上移动式核反应堆电源的研发具有重要的经济和社会效益。近年来我国移动式陆海装备发展迅速，推动我国信息技术、智能制造及岛礁开发利用、深海探索、海上石油开采等领域的发展，也对更大功率、更高安全、更少质量、更小尺寸的动力装置提出了需求，而陆上移动式核反应堆电源的转换效率、安全性、可靠性对动力电源的体积、重量、寿命有着直接的影响，是热电输出与应用的关键。屏蔽技术的发展促进我国高端材料领域的发展，提升相关的技术的升级，促进我国国民和社会经济的发展。



## 五、课题年度计划

按每 6 个月制定形成课题的计划进度，应将课题的考核指标分解落实到年度计划中。

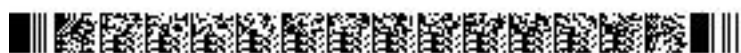
年度	时间	任务	考核指标	成果形式
2020 年	11 月-12 月	(1) 开展移动式固体核反应堆电源应用场景论证； (2) 建立监测和控制、诊断和决策等智能控制模块；	(1) 论证典型陆上条件下固体核反应堆电源限制条件； (2) 建立智能控制模块数量不少于 3 个。	(1) 调研报告； (2) 智能控制模块程序；
2021 年	1 月-6 月	(1) 基于综合评价优化方法，建立评价优化模型； (2) 建立仿真计算模块，搭建反应堆系统分析模型； (3) 结合仿真计算结果，完成模块的训练和验证，初步完成子系统划分并确定关键参数。	(1) 论证核反应堆电源总体评价优化方法； (2) 反应堆系统分析模型一套； (3) 所训练智能控制模块不少于 3 个。 (4) 发表期刊论文 1 篇。	(1) 撰写技术报告； (2) 计算模型； (3) 智能化控制相关期刊论文 1 篇和智能化控制程序 1 套。
2021 年	7 月-12 月	(1) 完成堆芯、能量转换系统和安全系统多学科设计优化； (2) 建立透平和压气机数值模拟软件平台； (3) 完成子系统划分，确定全系统控制逻辑。结合智能控制模块，搭建智能控制体系。采用单一事件对整个控制系统开展训练和优化	(1) 透平、压气机模块数值模拟模型； (2) 子系统不少于 3 个，总系统可对特定事件做出响应和反应堆保护 (3) 发表期刊论文 1 篇 (4) 课题年度技术进展报告 1 份。	(1) 全系统数值模拟软件平台 1 套； (2) 智能控制体系相关期刊论文 1 篇和智能控制总系统程序 1 套。 (3) 课题年度技术进展报告 1 份。
2022 年	1 月-6 月	(1) 评估创新型核动力电源在功率、体积、重量、寿命等关键技术指标； (2) 建立 PCHE 数值模拟软件平台； (3) 根据数值平台对瞬态运行工况的计算结果，对整个控制系统开展训练和优化，实现其对瞬态运行工况的智能化控制。	(1) PCHE 数值模拟模型； (2) 总系统可对多个瞬态运行工况做出响应和智能化控制； (3) 发表期刊论文 1 篇，申请专利 1 项 (4) 课题中期报告 1 份。	(1) 改进后的全系统数值模拟软件平台 1 套； (2) 发表期刊论文 1 篇，申请专利 1 项。 (3) 课题中期报告 1 份。
2022 年	5 月 中期考核	(1) 完成陆上移动式固体核反应堆电源初步概念设计；	(1) 陆上移动式固体核反应堆电源概念设计一个；	(1) 全系统数值模拟软件平台 1 套；



		<p>(2) 初步搭建全系统数值模拟平台；</p> <p>(3) 完成各个智能控制模块的训练和优化，搭建智能控制系统</p>	<p>(2) 全系统数值模拟软件平台 1 套；</p> <p>(3) 控制系统可对多个瞬态运行事件实现智能化控制；</p> <p>(4) 发表期刊论文 3 篇。申请发明专利 3 项，课题中期报告 1 份。</p>	<p>(2) 期刊论文、专利、项目报告</p>
2022 年	6 月 关键节点		<p>(1) 训练和优化陆基核电站的完整智能控制系统，实现其对瞬态运行工况的智能化控制</p> <p>(2) 总系统可对多个瞬态运行工况做出响应和智能化控制；</p> <p>(3) 发表期刊论文 1 篇，申请专利 1 项；</p>	
2022 年	7 月-12 月	<p>(1) 实现创新型核动力电源总体技术分析和优化</p> <p>(2) 建立冷却系统数值模拟软件平台</p> <p>(3) 根据数值平台对事故工况的计算结果，对整个控制系统开展训练和优化。实现智能控制系统对事故工况的智能化控制，申请发明专利；</p>	<p>(1) 总系统可对多个事故工况做出响应和智能化控制，超功率/超温响应时间小于 6 秒，控制水平满足对机动性的要求；</p> <p>(2) 发表期刊论文 1 篇，申请发明专利 2 项</p> <p>(3) 课题年度技术进展报告 1 份。</p>	<p>(1) 改进后的全系统数值模拟软件平台 1 套；</p> <p>(2) 发表期刊论文 1 篇；</p> <p>(3) 申请发明专利 2 项。</p> <p>(4) 课题年度技术进展报告 1 份。</p>
2022 年	12 月 关键节点		<p>(1) 实现陆基核电站智能控制系统对事故工况的智能化控制</p> <p>(2) 总系统可对多个事故工况做出响应和智能化控制；</p> <p>(3) 发表期刊论文 1 篇，申请专利 1 项；</p>	
2023 年	1 月-6 月	<p>(1) 在固有安全基础上满足全系统小型化和机动性要求并确定初步概念设计；</p> <p>(2) 全系统运行瞬态和事故实时甚至超实时仿真；</p>	<p>(1) 全系统质量和体积满足陆上移动性能指标；</p> <p>(2) 智能化总系统可对多个末期事件做出响应和反应堆保护，超功率/超温响应时间小于 6 秒，控制水平满足对</p>	<p>(1) 撰写《陆上移动式固体核反应堆电源总体方案设计专题报告》报告 1 份，《陆上移动式固体核反应堆电源全系统数值模拟分析报告》报告 1 份，《陆上移动式固体核反应堆电源智能控</p>



		(3) 根据数值平台对末期事件的计算结果,对整个控制系统进行验证和优化;	机动性的要求; (3) 发表期刊论文 1 篇, 申请发明专利 1 项	制系统技术专题报告》报告 1 份。 (2) 发表期刊论文 1 篇; (3) 申请发明专利 1 项。
2023 年	7 月-11 月	(1) 综合考虑各个方面因素,设计陆上移动式固体核反应堆电源的最终方案,给出关键设计参数;	(1) 确定最终设计方案。 (2) 发表期刊论文 2 篇, 申请发明专利 2 项 (3) 课题年度技术进展报告 1 份。	(1) 课题绩效自我评价报告; (2) 移动式固体核反应堆电源全系统数值模拟平台 1 套; (3) 智能化控制系统 1 套; (4) 发表期刊论文 2 篇; (5) 申请发明专利 2 项; (6) 课题年度技术进展报告 1 份。



## 六、课题组织实施机制及保障措施

1、课题的内部组织管理方式、协调机制等，限 500 字以内。

**组织管理方式：**本项目实施过程中引入规范化、科学化管理模式，依据 ISO9001 质量管理体系要求，采用项目责任制与阶段进度评估的管理办法，建立项目牵头组织单位和课题参与单位共同参与，责、权、利明确的项目组织管理形式。

本课题的牵头单位是上海交通大学，课题参与单位包括科研院校等研发设计单位。在课题牵头单位的统一领导下，课题参与单位各行其责，共同开展项目的研究、示范工作。牵头单位负责项目的总体组织协调工作，根据项目申报书以及联合协议的要求，定期或不定期组织项目的实施和监督检查，协调并处理项目执行过程中出现的有关问题。根据项目申报书的总体要求，落实项目各项任务，保障项目实施的配套条件和人员投入；接受有关管理部门的管理和监督，按要求汇总、报告项目执行情况，及时汇报项目执行中出现的重大问题，组织实施课题验收。

**协调机制：**为了确保项目计划的有效进行，上海交通大学将成立专门的项目团队，并自上而下的安排各课题负责人开始组织与协调。安排课题负责人对项目进行总体管理，然后根据工作强度将课题划分成若干个子课题，每个子课题成员得到相应的职责分工。

2、课题实施的相关政策，已有的组织、技术基础，支撑保障条件，限 500 字以内。

### 政策保障

本项目申报书依据“国科发资〔2020〕63 号”中“核安全与先进核能技术”重点专项申报指南中的“2.2 创新型可移动小型核反应堆技术（基础研究类）”的要求编写，符合指南要求。

### 组织执行方面：

1、建立配套齐全的研发队伍，设立项目负责人及行政指挥，加强过程控制和跟踪指导，及时把握项目进展情况，组织开展关键技术攻关，紧密协作，提高效率；

2、加强年度节点和里程碑节点的质量控制及考核力度，合理分配节点，明确各节点任务、质量、交付考核形式。严格按照年度合同要求，定期检查，编制节点总结报告；

3、充分利用和借鉴国内优势单位的技术力量和资源，积极寻求对外技术合作，提高研制起点，降低技术风险。

### 资源支撑条件

课题牵头单位上海交通大学核科学与技术学科长期从事先进核反应堆相关领域的



理论研究和应用开发工作，受科工局国防特色学科两期资助，具备了开展此项工作的软硬件条件。在先进核能系统开发、核反应堆安全分析、核反应堆堆芯设计、精细化多物理过程数值模拟等方面具有丰富的科研基础，并有包括多名知名学者组成的联合研发团队。2016 年成立了上海交通大学数值反应堆技术实验室，发挥多学科优势开展数值反应堆技术的攻关研发。

综合看来，本项目拥有良好的研究工作基础和资源，能保障项目的顺利实施完成。

3、对实现项目总目标的支撑作用，及与项目内其他课题的协同机制，限 500 字以内。

核反应堆电源总体方案的研究在论证陆上应用场景的基础上，完成各系统及总体方案设计，通过构建全系统数值模拟平台并结合模拟结果实现智能控制系统的训练和优化，完成自主智能化多尺度耦合控制。这三个子课题的研究是实现移动式核反应堆电源设计的基础，通过耦合其他课题的研究成果，评估创新型核反应堆电源在安全、效率、机动性等方面的关键技术指标，是实现整个项目目标的关键。

子课题 1 “总体方案研究、评估及论证”主要围绕应用场景和技术指标，建立综合评价优化模型，并确定初步概念设计，是本课题研究的基础。

子课题 2 “全系统数值模拟平台构建”主要围绕子课题 1 的概念设计，建立涵盖全系统关键部件的数值模拟平台，实现全系统运行瞬态和事故仿真。

子课题 3 “系统智能自主控制技术研究”利用子课题 2 中数值模拟平台的计算结果优化各控制模块，从而验证和完善最终智能控制系统。

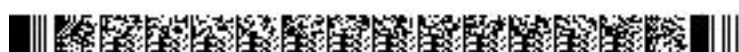


## 七、知识产权对策、成果管理及合作权益分配

限 500 字以内。

**知识产权对策：**在课题研究中，对于创造性提出新方法、研制的新装置、新工艺等，要第一时间积极申报发明专利、实用新型专利，避免先发论文、申请科技成果，后报专利，导致成果丧失新颖性而无法获得专利权。课题研究中，会有大量的资料调研、收集、整理和分析工作，要充分利用现有资源，并利用网站等积极查阅科技信息资源，避免盲目仿制、重复研究、浪费资源现象，也要防止非法窃取他人的技术成果、侵犯专利权的违法行为发生。

**成果管理：**严格遵守有关法律法规，本课题各单位提前签署技术合作协议，规定该知识产权的归属、比例、共享、转让等权利义务，明确成果管理及权益分配。因实施本子课题所产生的知识产权，涉及国家安全、国家利益和重大社会公共利益的，属于国家，项目责任单位有免费使用的权利。将本课题研究成果申报各类奖项，征求其他合作单位的意见，做到公开透明。



## 八、需要约定的其他内容

限 500 字以内。

1. 项目未完成任务目标，项目综合绩效评价结论为结题和未通过的，项目下所有课题结余资金由项目牵头单位统一组织上交专业机构。

### 课题任务书补充条款

第一条 甲乙双方要本着高度负责的态度和严谨的工作作风，严格按照《国家重点研发计划管理暂行办法》和《国家重点研发计划资金管理办法》的要求及相关管理规定，认真履行各自职责，保证任务目标按时完成。

第二条 甲方依据相关管理规定和管理工作的实施需求，对项目进行检查、抽查等工作。检查、抽查等工作结束后，甲方将结果及时反馈乙方，并以适当的形式、在适当范围公布。

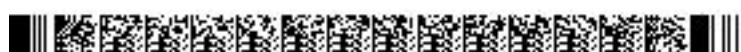
第三条 在项目实施过程中，实行重大事项报告制度。发生如下事项的，乙方应该在 5 日内，以书面的形式告知甲方：

1. 项目执行过程中实现重大突破的；
2. 乙方或其他参加单位发生重大变故、出现财务状况危机的；
3. 乙方或其他参加单位的研究进度严重滞后的；
4. 主要研究人员不能正常履行职责，严重影响课题研究工作的；
5. 其他应该通知甲方的事项。

第四条 为体现国家战略目标和专项实施效果，在项目实施周期内，如标准、技术、市场等发生重要变化，或科学理论、实验手段出现重大突破时，甲方可根据实际情况调整项目研究内容，提高项目考核指标。

第五条 在项目实施过程中，对于所需的保障条件，涉及的配套政策、配套工程和配套经费等未能如期落实以及超出乙方职权范围的事宜，必要时，甲方应当应乙方要求与相关行业主管部门、地方政府进行协调。

第六条 在项目实施过程中，项目人员队伍应保持整体稳定，原则上不作调整。确需





调整的，乙方应当在遵守科研人员限项规定及符合诚信要求的前提下，按相关规定根据具体情况进行分类审批和相应调整。

第七条 在项目实施过程中，对于政府间的国际交流与合作，甲方应当应乙方要求协助乙方与外方政府及国际组织进行联系和协调。

第八条 在项目实施周期内，乙方应围绕所承担的国家科技计划项目，履行宣传与科普的义务。

第九条 项目综合绩效评价后，本任务书终止。乙方在项目结束 3 年内根据需要或按照甲方要求，有报送项目成果应用、转让等情况的义务。

第十条 当国家重点研发计划的相关管理办法发生变化与调整时，甲乙双方按照新的要求执行。

#### 第十一条 科研诚信条款

1. 甲方将严格按照科研诚信要求，加强对乙方、项目下设课题承担单位、参与单位及相关人员科研诚信管理，对项目实施中的违背科研诚信要求的行为严肃查处。

2. 乙方应建立健全本单位学术论文发表诚信承诺制度、科研过程可追溯制度、科研成果检查和报告制度等成果管理制度。对本项目形成的重要论文等科研成果的署名、研究数据真实性、实验可重复性等进行诚信审核和学术把关。

3. 乙方应督促项目参加人员坚守底线、严格自律，恪守科学道德准则，遵守科研活动规范，践行科研诚信要求。乙方应加强对项目参加人员的科研诚信教育，对在科研诚信方面存在倾向性、苗头性问题的，应当及时开展科研诚信诫勉谈话，加强教育；情节较严重的，应按程序及时调整出项目团队。

4. 乙方应加强对项目下设课题的承担单位、参与单位的科研诚信管理，正确履行管理、指导、监督职责，全面落实科研诚信要求。

5. 乙方或项目下设课题承担单位、参与单位及其相关人员被纳入科研严重失信行为记录或相关社会领域信用“黑名单”，乙方应第一时间以书面形式报告甲方。

6. 在项目实施过程中，对乙方或项目下设课题承担单位、参与单位及其相关人员有严重违背科研诚信要求的行为，甲方和相关部门应对乙方采取约谈主要负责人、停拨或核减经费、记入科研诚信严重失信行为数据库、移送至有管理权限的纪检监察部门等处理处罚措施。

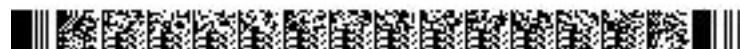


九、课题参加人员基本情况表

<b>填表说明：</b> 1. 专业技术职称：A、正高级 B、副高级 C、中级 D、初级 E、其他； 2. 投入本课题的全时工作时间（人月）是指在课题实施期间该人总共为课题工作的满月度工作量；累计是指课题组所有人员投入人月之和； 3. 课题固定研究人员需填写人员明细； 4. 是否有工资性收入：Y、是 N、否； 5. 人员分类代码：B、课题负责人 C、项目/课题骨干 D、其他研究人员； 6. 工作单位：填写单位全称，其中高校要具体填写到所在院系。														
序号	姓名	性别	出生日期	证件类型	证件号码	专业技术职称	职务	最高学位	专业	投入本课题的全时工作时间（人月）	人员分类代码	在课题中分担的任务	是否有工资性收入	工作单位
1	刘晓晶	男	1981-06-09	身份证	130602198106090616	正高级	核科学与工程 学院书记	博士	先进反应堆研发	24	课题负责人	核电源概念设计	是	上海交通大学机械与动力工程学院
2	柴翔	男	1986-08-23	身份证	34040319860823141X	副高级	无	博士	反应堆热工水力	18	课题骨干	移动场景论证	是	上海交通大学机械与动力工程学院
3	周涛	男	1982-10-23	身份证	610102198210233194	副高级	中心主任	博士	核能科学与工程	18	课题骨干	数值模拟	是	中国科学院合肥物质科学研究院
4	赵后剑	男	1989-05-13	身份证	370126198905130416	中级	无	博士	核科学与技术	18	课题骨干	全系统智能化研究	是	华北电力大学核科学与工程学院
5	吴浩	男	1989-08-18	身份证	341225198908187236	中级	讲师	博士	核科学与技术	18	课题骨干	智能化控制技术研究	是	华北电力大学核科学与工程学院
6	梅华平	男	1983-08-14	身份证	421087198308145030	副高级	无	学士	核技术	18	课题骨干	数值模拟	是	中国科学院合肥物质科学研究院
7	谢秋霞	女	1997-09-23	身份证	500234199709234087	其他	无	学士	核科学与工程	24	其他研究人员	核反应堆电源总体设计	否	上海交通大学机械与动力工程学院



8	杨清	男	1994-02-28	身份证	142727199402281258	其他	无	硕士	核科学与工程	24	其他研究人员	核反应堆电源总体设计	否	上海交通大学机械与动力工程学院
9	夏建华	男	1991-12-18	身份证	320981199112181778	其他	无	硕士	核科学与工程	24	其他研究人员	核反应堆电源总体设计	否	上海交通大学机械与动力工程学院
10	王洪彬	男	1992-06-20	身份证	411325199206205012	其他	无	硕士	核科学与工程	24	其他研究人员	核反应堆电源总体设计	否	上海交通大学机械与动力工程学院
11	王季	男	1992-09-11	身份证	321283199209110816	其他	无	硕士	核科学与工程	24	其他研究人员	核反应堆电源总体设计	否	上海交通大学机械与动力工程学院
12	杨宜昂	男	1995-12-28	身份证	41048219951228059X	其他	无	硕士	核科学与工程	24	其他研究人员	核反应堆电源总体设计	否	上海交通大学机械与动力工程学院
13	宋美琪	女	1992-03-10	身份证	370481199203102926	其他	无	硕士	核科学与工程	24	其他研究人员	核反应堆电源总体设计	否	上海交通大学机械与动力工程学院
14	李涛	男	1997-11-20	身份证	370881199711205317	其他	无	学士	核科学与工程	18	其他研究人员	核反应堆电源总体设计	否	上海交通大学机械与动力工程学院
15	管超然	男	1995-04-08	身份证	130821199504086617	其他	无	学士	核科学与工程	18	其他研究人员	核反应堆电源总体设计	否	上海交通大学机械与动力工程学院
16	邓永皓	男	1996-09-01	身份证	510302199609011018	其他	无	学士	核科学与工程	18	其他研究人员	核反应堆电源总体设计	否	上海交通大学机械与动力工程学院
17	彭唯实	男	1997-09-25	身份证	510105199709253012	其他	无	学士	核科学与工程	18	其他研究人员	核反应堆电源总体设计	否	上海交通大学机械与动力工程学院
18	吴应杰	男	1996-12-06	身份证	620421199612063636	其他	无	学士	核科学与技术	18	其他研究人员	智能化控制技术研究	否	华北电力大学核科学与工程学院
19	陈耀峰	男	1995-05-06	身份证	410803199505060050	其他	无	学士	核科学与技术	18	其他研究人员	智能化控制技术研究	否	华北电力大学核科学与工程学院
20	童彦钧	男	1998-08-12	身份证	510321199808122692	其他	无	学士	核能与核技术工程	18	其他研究人员	智能化控制技术研究	否	华北电力大学核科学与工程学院
21	王子帮	男	1981-11-02	身份证	341224198111028514	副高级	无	学士	辐射监测与防护	18	其他研究人员	数值模拟	是	中国科学院合肥物质科学研究院



22	杨国威	男	1991-02-22	身份证	371521199102220034	其他	学生	学士	核能工程与技术	18	其他研究人员	数值模拟	否	中国科学院合肥物质科学研究院
23	孙永菊	女	1985-12-02	身份证	341226198512022749	其他	学生	硕士	核能科学与工程	18	其他研究人员	数值模拟	否	中国科学院合肥物质科学研究院
		固定研究人员合计								462	/	/	/	/
		流动人员或临时聘用人员合计								0	/	/	/	/
		累计								462	/	/	/	/



## 十、经费预算

课题（2020YFB1901901）承担单位基本情况表

表B1

填表说明：1. 组织机构代码指企事业单位国家标准代码，单位若已三证合一请填写单位统一社会信用代码，无组织机构代码的单位填写“000000000”； 2. 单位公章名称必须与单位名称一致。					
课题编号	2020YFB1901901		执行周期（月）	36	
课题名称	小型氦氙冷却移动式固体核反应堆电源总体方案及智能化控制技术研究				
课题承担单位	单位名称	上海交通大学			
	单位性质	大专院校			
	单位主管部门	教育部	隶属关系	中央	
	单位组织机构代码	1210000042500615X0			
	单位法定代表人姓名	林忠钦			
	单位所属地区	上海市	上海市	闵行区	
	电子邮箱	jhk-kjb@sjtu.edu.cn			
	通信地址	上海市东川路800号			
	邮政编码	200240			
相关责任人	课题负责人	姓名	刘晓晶		
		身份证号码	130602198106090616		
		工作单位	上海交通大学		
		电话号码	021-34207117	手机号码	13761043485
		电子邮箱	xiaojingliu@sjtu.edu.cn	邮政编码	200240
		通信地址	上海市闵行区东川路800号		
	课题财务负责人	姓名	王光艳		
		电话号码	021-34206445	手机号码	13918205807
		传真号码	021-34205182		
		电子邮箱	gywang@sjtu.edu.cn		



## 试点国家重点研发计划课题预算表

表B2 课题编号: 2020YFB1901901      课题名称: 小型氦氘冷却移动式固体核反应堆电源总体方案及智能化控制技术研究      金额单位: 万元

序号	预算科目名称	合计	中央财政专项资金	其他来源资金
	(1)	(2)	(3)	(4)
1	一、资金支出	299.00	299.00	
2	(一) 直接费用	260.51	260.51	
3	1. 设备费	67.87	67.87	
4	(1) 购置设备费	67.87	67.87	
5	(2) 设备试制/改造/租赁费			
6	2. 材料费、测试化验加工费、燃料动力费、出版/文献/信息传播/知识产权事务费	60.90	60.90	
7	3. 会议/差旅/国际合作交流费、劳务/专家咨询费、其他支出	131.74	131.74	
8	(二) 间接费用	38.49	38.49	
9	二、资金来源	299.00	299.00	
10	(一) 中央财政专项资金	299.00	299.00	/
11	(二) 其他来源资金		/	
12	1. 地方财政资金		/	
13	2. 单位自筹资金		/	
14	3. 其他渠道获得资金		/	



设备费——购置/试制设备预算明细表

表B3 课题编号： 2020YFB1901901 课题名称： 小型氦氖冷却移动式固体核反应堆电源总体方案及智能化控制技术研究 金额单位： 万元

填表说明： 1.设备分类：购置、试制； 2.购置设备类型：通用、专用； 3.资金来源：中央财政专项资金、其他来源资金； 4.试制设备不需填列本表（10）列、（11）列、（12）列、（13）列； 5.设备单价的单位为万元/台套，设备数量的单位为台套； 6.10万元以下的设备不用填写明细。													
序号	设备名称	设备分类	功能和技术指标	单价	数量	金额	资金来源	购置或试制单位	安置单位	购置设备类型	主要生产厂及国别	规格型号	拟开放共享范围
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	NVIDIA GPU DGX STATION深度学习工作站	购置	支持最新NVIDIA计算卡TeslaV10	28.14	1	28.14	中央财政专项资金	华北电力大学	华北电力大学	通用	东方利贞/中国	NVIDIA GPU DGX STATION	内部共享
单价10万元以上购置设备合计					1	28.14	/	/	/	/	/	/	/
单价10万元以上试制设备合计							/	/	/	/	/	/	/
单价10万元以下购置设备合计					8	39.73	/	/	/	/	/	/	/
单价10万元以下试制设备合计							/	/	/	/	/	/	/
累计					9	67.87	/	/	/	/	/	/	/



单位研究经费支出预算明细表

表B4 课题编号： 2020YFB1901901                      课题名称： 小型氦气冷却移动式固体核反应堆电源总体方案及智能化控制技术研究                      金额单位：万元

填表说明： 1.单位类型分课题承担单位、课题参与单位； 2.组织机构代码指企事业单位国家标准代码，单位若已三证合一请填写单位统一社会信用代码，无组织机构代码的单位填写“000000000”。										
序号	单位名称	组织机构代码-统一社会信用代码		单位类型	任务分工	研究任务负责人	合计	中央财政专项资金		其他来源资金
								小计	其中：间接费用	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	上海交通大学	统一社会信用代码	1210000042500615X0	课题承担单位	针对陆上移动核反应堆电源需求开展应用场景分析，根据紧凑式氦气冷却固体堆芯设计和布雷顿循环能量转换技术的技术路线，基于综合评价优化方法，建立移动式固体核反应堆电源综合评价优化模型，在多学科分析模型的基础上，统筹考虑设计变量、设计约束和设计目标，实现功率、质量和安全性能的多目标优化，完成堆芯、能量转换系统和安全系统的多学科设计优化，评估功率、体积、重量、寿命等关键技术指标，在固有安全基础上满足全系统小型化和机动性要求并确定初步概念设计。	刘晓晶	126.50	126.50	16.28	





单位研究经费支出预算明细表

表B4 课题编号： 2020YFB1901901                      课题名称： 小型氦氘冷却移动式固体核反应堆电源总体方案及智能化控制技术研究                      金额单位：万元

填表说明： 1.单位类型分课题承担单位、课题参与单位； 2.组织机构代码指企事业单位国家标准代码，单位若已三证合一请填写单位统一社会信用代码，无组织机构代码的单位填写“000000000”。										
序号	单位名称	组织机构代码-统一社会信用代码		单位类型	任务分工	研究任务负责人	合计	中央财政专项资金		其他来源资金
								小计	其中：间接费用	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
2	中国科学院合肥物质科学研究院	统一社会信用代码	121000007178068020	课题参与单位	基于初步设计参数，针对直接循环氦氘冷却反应堆关键设备及关键物理现象建立仿真计算模块，搭建反应堆系统分析模型，建立反应堆、透平、压气机、PCHE等关键部件和非能动冷却系统的全系统数值模拟软件平台，掌握典型陆上移动条件及可预见瞬态工况下反应堆运行特性和事故响应特性，通过优化模型和算法，实现全系统运行瞬态和事故的实时甚至超实时仿真。	周涛	80.50	80.50	10.37	



单位研究经费支出预算明细表

表B4 课题编号： 2020YFB1901901                      课题名称： 小型氦氙冷却移动式固体核反应堆电源总体方案及智能化控制技术研究                      金额单位：万元

填表说明： 1.单位类型分课题承担单位、课题参与单位； 2.组织机构代码指企事业单位国家标准代码，单位若已三证合一请填写单位统一社会信用代码，无组织机构代码的单位填写“000000000”。										
序号	单位名称	组织机构代码-统一社会信用代码		单位类型	任务分工	研究任务负责人	合计	中央财政专项资金		其他来源资金
								小计	其中：间接费用	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
3	华北电力大学	统一社会信用代码	1210000040000983X8	课题参与单位	针对系统中多尺度参数耦合及其非线性特征，采用基于多层感知和反向传播的深度神经网络方法，基于感知、决策、操控的自动控制逻辑，探索系统非线性时变原理。通过关联不同控制模块，如图16所示，建立由子系统到总系统的全系统智能化自主控制技术，结合数值平台的计算结果，对控制模块进行训练和优化，实现陆上移动核反应堆电源在运输、运行和事故工况下的自主智能化多尺度耦合控制。	赵后剑	92.00	92.00	11.84	
累计							299.00	299.00	38.49	



预算说明

根据《国家重点研发计划重点专项项目预算申报编报指南》，对本课题直接费用各科目支出主要用途、与课题研究的相关性、必要性及测算方法、测算依据进行详细说明，不得简单按比例编列；如同一科目同时编列中央财政资金和其他来源资金的，应分别就中央财政专项资金、其他来源资金在本科目的具体用途予以说明。（附：预算编制模板）

1. 设备费，67.87 万元。

（1）购置设备费，67.87 万元。

在核反应堆电源总体研究、评估及论证中，需要通过大量的数值计算和数据处理评估反应堆总体设计参数及各系统设计的合理性，包括堆芯的几何建模、功率计算，能量转换子系统效率计算，屏蔽安全分析等。在构建系统数值模拟软件平台时，需将各个子系统进行整合，并进行计算分析、验证调试。为了搭建完整智能控制系统，需要基于深度学习的方法建立最优监测与控制模块。因此计划购置戴尔 Precision T7820 系列台式工作站 3 台，9.65 万元/台，小计 28.95 万元；计划购置戴尔 Precision 5750 系列移动工作站 2 台，4 万元/台，小计 8.0 万元；计划购置成品移动工作站 1 台（型号为戴尔 7750）2.78 万元/台，小计 2.89 万元；计划购买 NVIDIA GPU DGX STATION 深度学习工作站 1 台，支持最新 NVIDIA 计算卡 Tesla V10，0 能够提供上千层神经网络计算能力，经询价调研，同时考虑计算设备降价等因素，价格 28.14 万/台。



## 报价单

购货方：华北电力大学

供货方：北京海洋星辉商贸中心

根据甲方要求，乙方向甲方推荐如下设备：

货品名称	型 号 规 格	数量	单价 (RMB 元)	总价 (RMB 元)
NVIDIA DGX 工作站	英特尔 E5-2698V4/256G 内存/4×1.92T 固态/4×Tesla V100 128G 总显存/3×DP 接口/支持 4K/双万兆网卡	1	327800	327800
合计金额：	大写：人民币叁拾贰万柒仟捌佰元整		小写：327800.00 元	

付款方式：支票或对公转账。

购货方：

单位名称：华北电力大学

委托代理人：赵后剑

联系电话：15801335007

供货方：

单位名称：北京海洋星辉商贸中心

委托代理人：李雪亮

联系电话：13911223226



2020 年 7 月 21 日





北京泓葳博业科技发展有限公司  
Beijing H.W.B.Y. Technology Development Co., Ltd.

## 报价单

名 称:	北京泓葳博业科技发展有限公司
联 系 人:	范炜
地 址:	北京市海淀区中关村大街 18 号 15 层 1717-2
电 话:	13810394299
邮 箱:	13810394299@139.com



## 服务器

名称	配置	价格(含税)
NVIDIA DGX Station	Intel Xeon E5-2698 V4/256G RDIMM DDR4/1.92 TB SSD+3*1.92TB SSD Raid0/4*Tesla V100 128G Total system/Dual 10GBASE-T(RJ45)/3*DP 4K	350000/台

2020 年 7 月 21 日



## 工作站报价单

公司	北京古德方舟信息咨询有限公司
联系人	王欣
电话	13521258764

需方:

公司	华北电力大学
联系人	赵后剑
电话	15801335007

项目	配置明细	数量	价格(元)	合计(元)
英伟达 DGX 工作站	Intel Xeon E5-2698 V4/256G DDR4 RDIMM/4*1.92T SSD/4*Tesla V100 128G GPU Memory/4K/3*DP/2*10GB RJ45	1	360000	360000
合计				36000

注意事项:

付款方式需为对公转账, 不可以现金付款

2020 年 7 月 21 日



## 联络资料 Contact Information

TO: 上海交通大学

From: 上海有卅信息科技有限公司

To: 柴翔老师

From: 何进

Tel:

Tel: 021-64985167 1860211686

Fax:

Fax:

Date: 2020年9月7日

Page: 第 1 页; 共 1 页

## 主题 Subject: 产品报价 Products Quotation

No. 编号	Descripti on 产品名称/ 编号	Specifications 规格	Qty. 数量	Unit Price 单价	Total Amount 总价
1	戴尔 Precision T7820	CPU: 英特尔至强 金牌 6238 2.1GHz, 3.7GHz Turbo, 22C, 10.4GT/s 3UPI, 30.25MB 缓 存, HT(130W) DDR4-2933 内存: 64GB (4*16GB) 2666MHz DDR4 ECC RDIMM 固态硬盘: 2.5英寸 256GB SATA Class 20 CPU: Nvidia Quadro RTX5000 服务: 三年技术支持, 三年服务	4	96,500.00	386,000.00
2	戴尔 Precision 5750	CPU: 英特尔酷睿 处理器 i7-10850H (6 核, 12MB 缓存, 2.70 GHz 至 5.10 GHz, 45W, vPro) 内存: 16GB, 2X8GB, DDR4 2933Mhz 非-ECC 内存 固态硬盘: M.2 1TB PCIe NVMe Class 40 CPU: CPU: NVIDIA Quadro T1000 含4GB GDDR6 服务: 三年技术支持, 三年服务	4	34,000.00	136,000.00
2	戴尔 7750	CPU: 英特尔酷睿 处理器 i5-10400H (4 核, 8MB 缓存, 2.60 GHz 至 4.60 GHz, 45W, vPro) 内存: 16GB, 2X8GB, DDR4 2933Mhz 非-ECC 内存 固态硬盘: M.2 256GB PCIe NVMe Class 40 CPU: NVIDIA Quadro T1000 含4GB GDDR6 服务: 三年技术支持, 三年服务	1	28,899.00	28,899.00

## 其他信息 Other Information

- 1、 以上产品符合产品生产商所承诺的品种、型号、规格、数量、质量。  
2、 本报价单中的单价总价均以人民币为计算价格。  
3、 本报价有效期为 30 天。

(2) 试制设备费, 无。

(3) 设备改造费, 无。

(4) 设备租赁费, 无。

2. 材料费、测试化验加工费、燃料动力费、出版/文献/信息传播/知识产权事务费(单品类 10 万元(含)以上的材料, 单次或累计 10 万元(含)以上的测试项目, 单价 10 万元(含)以上的资料购买、软件购买、委托开发按要求详细说明; 其余支出分类说明。)



(1) 材料费, 17.77 万元。

涉及购买相关计算软件授权使用, 堆芯热工水力软件授权使用费, 小计 6.0 万元; 堆芯计算固体力学软件授权使用费, 小计 6.0 万元; 反应堆系统程序软件授权使用费, 小计 5.77 万元。

(2) 测试化验加工费, 29.0 万元。

在数值模拟平台的应用过程中, 由于需要对大量的子系统和设计变量进行优化分析和迭代计算, 因此产生了大量的计算数据。由于模拟数据可达 100TB 量级, 因此使用工作站进行处理和分析面临着效率低、进度慢的问题。因此需要借助大规模超级计算机对各子系统的模拟数据进行加工整理, 因此产生了超算使用费用。按照平均计算机时费计算  $0.2 \text{ 元/核时} \times 11.5 \text{ 万核时} = 2.3 \text{ 万元}$ 。

为了搭建完整智能控制系统, 需要基于数值模拟平台的计算结构优化智能控制系统建立最优监测与控制模块, 由于涉及到的模拟数据可达 100TB 量级, 需要租用超级计算中心 GPU 卡搭建和训练完整智能控制系统  $2.67 \text{ 元/卡时} \times 2000 \text{ 卡时/事件} \times 50 \text{ 事件} = 26.7 \text{ 万元}$ 。

(3) 燃料动力费, 无。

(4) 出版/文献/信息传播/知识产权事务费, 14.13 万元。

项目期间拟发表期刊论文 14 篇, 版面费 4000 元/篇, 小计 6.4 万元;

项目期间文献期刊购买、文献检索费、相关打印复印费用和图书和网络信息等费用 3.83 万元;

项目期间拟申请 6 份国家发明专利, 发明专利申请费 4000 元/项, 小计 2.4 万元;

项目涉及软件专著专利申请费用:  $0.5 \text{ 万元/项} \times 3 \text{ 项} = 1.5 \text{ 万元}$ ;

3. 会议/差旅/国际合作交流费、劳务/专家咨询费、其他支出 (会议/差旅/国际合作交流费不超过直接费用预算 10% 的, 无需编制测算依据, 超过 10% 的, 分类说明; 其余支出分类估算说明)

(1) 会议/差旅/国际合作交流费, 68.2 万元。

a) 会议费

根据 2013 年 9 月 13 日, 财政部、国家机关事务管理局和中共中央直属机关事务管理局共同印发的《中央和国家机关会议费管理办法》(2014 年 1 月 1





日起执行)第三章“会议费开支范围、标准和报销支付”第十五条会议费综合定额标准,一类会议标准为660元/人天,二类会议标准为550元/人天,三、四类会议标准为450元/人天。本课题相关会议参考标准为550元/人天(其中住宿费340元/天,伙食补助130元/天,其他费用80元/天)。

拟组织召开会议10次,主要用于组织项目启动会、项目年度总结、项目中期汇报、项目技术交流、项目预验收、项目验收等会议等多次会议,并邀请国内同行专家进行学术探讨,每次会议时间2天,参会人员20人,按二类会议标准计算,小计22万元;预计国际会议交流费用:2万元/人次\*4人次=8万元,国内会议交流费用:0.5万元/人次\*4人次=2万元。

b) 差旅/国际合作交流费

根据2013年12月31日财政部印发的《中央和国家机关差旅费管理办法》(2014年1月1日起执行)第三章“住宿费”第十二条中的附表《中央和国家机关差旅住宿费和伙食补助费标准表》,部级人员住宿费标准为800元/天,司局级住宿费标准为500元/天,其他人员住宿费标准为350元/天,餐饮补助、交通费平均为180元/人天。

核反应堆总体方案研究涉及领域广、系统性强,根据调研、技术咨询、交流合作的需要,本项目期间拟赴国内从事反应堆安全分析研究的多家研究机构或大学进行调研与学术交流,主要地点集中在北京、成都、西安、合肥、哈尔滨等,往返交通费2000~4000元/人次,按平均3000元/人次计算,每次平均出差时间2天,住宿费350元/人次,伙食、交通及通讯补贴费不高于150元/人天。项目总计进行8次调研交流,每次8人参与,小计24.88万元。

为完成考核指标要求的发表论文,在相关领域国内高水平会议上发表论文,展示课题研究成果,与专家交流领域先进技术,需支持课题研究人员去往为北京、上海、成都、哈尔滨等地进行学术交流、技术交流等,项目预计出差28人次,每次出差时间2天,根据目前机票价格,往返北京1910元/次,往返成都2100元/次,往返上海980元/次。赴北京进行交流,4人\*2次,预计1.52万元;赴成都进行交流,6人\*2次,预计2.52万元;赴上海进行交流,4人\*3次,预计1.178万元;费用小计5.27万元。

预计前往北京、合肥和上海等地与合作单位就课题内容进行技术交流,根



据机票、住宿和伙食交通补助标准计算，按约 0.5 万元/次计算。国内技术交流差旅费用：0.3 万元/人次\*20 人次=6 万元。

(2) 劳务/专家咨询费, 63.54 万元。

劳务费主要支付给参与该项目工作的硕、博士生作为助研津贴。

课题拟计划招募 5 名博士研究生、10 名硕士研究生参与课题的研究工作。

博士助研津贴按 3000 元/人计算，硕士生助研津贴按 2000 元/月，用于研究生的助研津贴小计 55.8 万元，详细说明如下表所示

劳务费详细说明表

序号	研究内容	研究生类型	劳务费标准	三年累计参与 本课题研究人 月	人员费（万 元）
1	陆上移动式固体核反应堆电源总体方案设计	博士研究生	3000 元/月	40	12
2	陆上移动式固体核反应堆电源应用场景论证	硕士研究生	2000 元/月	54	10.8
3	全系统数值仿真平台构建	博士研究生	3000 元/月	50	15
4	全系统运行特性分析	硕士研究生	2000 元/月	50	10
5	自主智能控制系统构建	硕士研究生	2000 元/月	40	8
总计					55.8

根据财政部 2017 年《中央财政科研项目专家咨询费管理办法》，高级专业技术职称人员的专家咨询费标准为 1500-2400 元/人天（税后）；其他专业人员的专家咨询费标准为 900-1500 元/人天（税后）。

- a) 拟邀请国内外专家通过会议等方式对小型氦氘混合气体冷却反应堆设计、软件编程、各系统耦合进行指导、评审及咨询等，每次邀请专家 3 人天，拟交流次数 4 次，共计 12 人天，计划交流内容和所邀请的具体领域专



家数量如下表所示：

时间	交流内容	邀请领域专家	人天
2020 年 1 次	建立总体优化模型确立及其方案研究	反应堆设计领域专家 1 人，数值模拟领域 1 人，反应堆系统分析领域 1 人。	3
2021 年第 1 次	给出总体方案设计及分系统优化	反应堆设计领域专家 1 人，数值模拟领域 1 人，反应堆系统分析领域 1 人	3
2021 年第 2 次	全系统数值模拟平台构建	反应堆设计领域专家 1 人，数值模拟领域 1 人，反应堆系统分析领域 1 人	3
2022 年第 1 次	全系统稳态、瞬态模拟流程优化及超实时模拟	反应堆设计领域专家 1 人，数值模拟领域 1 人，反应堆系统分析领域 1 人	3

- b) 课题承担单位上海交通大学同时做为项目承担单位，在项目执行期间需要组织项目启动会、项目年度总结、项目中期汇报、项目技术交流、项目预验收、项目验收等会议等多次会议。会议中拟邀请国内知名专家对项目执行情况进行评估，对工作大纲、技术方案进行评审给出建议，同时也为项目后续进展进言献策。为了项目正常进展拟召开的各项会议共计 10 次，每次拟邀请专家 3 人天，共计 30 人天；
- c) 在智能化平台构建，需要相关领域专家咨询，商讨相应技术难点的解决方案，每次邀请专家 3 人天，拟交流次数 4 次，共计 12 人天。

时间	交流内容	邀请领域专家	人天
2021 年第 2 次	选取陆基核能系统中的瞬态运行事件，训练和优化智能控制系统。	神经网络算法专家 1 人天，核能控制领域专家 1 人天，核安全领域专家 1 人天。	3
2022 年第 1 次	选取陆基核能系统中的事故工况，训练和优化智能控制系统。	神经网络算法专家 1 人天，核能控制领域专家 1 人天，核安全领域专家 1 人天。	3



2022 年第 2 次	选取末期事件对智能控制系统进行整体验证。	神经网络算法专家 1 人天， 核能控制领域专家 1 人天， 核安全领域专家 1 人天。	3
2023 年 1 次	评审整体方案，给出优化建议。	神经网络算法专家 1 人天， 核能控制领域专家 1 人天， 核安全领域专家 1 人天。	3

根据财政部 2017 年《中央财政科研项目专家咨询费管理办法》，高级专业技术职称人员的专家咨询费标准为 1500-2400 元/人天（税后）；其他专业人员的专家咨询费标准为 900-1500 元/人天（税后）。按照拟邀请专家 54 人天计算，平均专家咨询费标准约为：1500 元/人天。

（3）其他支出，无。

**间接费用，43.0 万元。**



## 十一、相关附件

1. 乙方与参加单位有关协议（须加盖乙方与参加单位公章、法人签字签章；协议文件须扫描上传。如无参加单位，则不填）；

**小型氦氘冷却移动式固体核反应堆电源**  
**课题组织实施协议**

甲方：上海交通大学  
乙方：中国科学院合肥物质科学研究院

甲乙双方就共同承担 2020 年国家重点研发计划“核安全与先进核能技术”重点专项《小型氦氘冷却移动式固体核反应堆电源》项目中《小型氦氘冷却移动式固体核反应堆电源总体方案及智能化控制技术研究》课题事宜，经过双方友好协商，达成如下合作协议：

- 一、甲方为本课题承担单位，乙方为本课题参与单位，与本课题其他单位共同组成课题工作团队，充分发挥各自优势。
- 二、甲乙双方任务分工如下：
  - 1、甲方主要负责课题组织、协调、节点控制、进度检查和课题验收组织等工作；
  - 2、乙方按照任务分工和计划进度完成《课题任务书》确定的研究目标和内容，并配合完成课题验收及相关审计工作；
  - 3、上述研究和开发工作的具体内容、考核指标和进度安排以双方签署的技术合同获任务合同书为准；
- 三、双方就本课题经费使用作出以下承诺：
  - 1、乙方承诺按照所提供的自筹经费证明落实相应的自筹经费；
  - 2、专项经费的使用严格按照科技经费相关管理办法规定执行；
  - 3、甲方有权监督和检查课题执行情况和专项经费使用情况。
- 四、乙方的考核指标及评测方式等按照甲乙双方签订的《课题任务书》执行。
- 五、在项目执行过程中，由各方独立完成的科技成果及其形成的知识产权归各方所有，由双方共同完成的归双方共有。
- 六、甲乙双方均有责任配合项目组织单位和相关专业机构完成对本课题实施的监督和检查，并为本课题不能通过检查和验收承担相应的责任。
- 七、保密条款：甲乙双方对项目（课题）执行期间所得到的双方相关信息、技术等负保密责任，不得向外泄露。本研究期间所获得的双方共有成果的应用和转让，须经双方协商同意后方可进行，任何一方无权单独对共有成果进行应用和转让。
- 八、如课题执行过程中出现任何重点调整（如任务考核指标调整、经费调整、参加单位变化等），双方应及时通知对方，并以签署补充协议方式确定后



续事项。补充协议与本协议具有同等效力。

九、 未尽事宜，甲乙双方本着合作、诚信原则协商解决。

十、 本协议自双方签字之日起生效，一式四份，甲方和乙方各执两份。

甲方：上海交通大学

法人代表：

日期： 年 月 日

乙方：中国科学院合肥物质科学研究院

法人代表：

日期： 年 月 日





## 小型氦氘冷却移动式固体核反应堆电源 课题组织实施协议

甲方：上海交通大学

乙方：华北电力大学

甲乙双方就共同承担 2020 年国家重点研发计划“核安全与先进核能技术”重点专项《小型氦氘冷却移动式固体核反应堆电源》项目中《小型氦氘冷却移动式固体核反应堆电源总体方案及智能化控制技术研究》课题事宜，经过双方友好协商，达成如下合作协议：

- 一、甲方为本课题承担单位，乙方为本课题参与单位，与本课题其他单位共同组成课题工作团队，充分发挥各自优势。
- 二、甲乙双方任务分工如下：
  - 1、甲方主要负责课题组织、协调、节点控制、进度检查和课题验收组织等工作；
  - 2、乙方按照任务分工和计划进度完成《课题任务书》确定的研究目标和内容，并配合完成课题验收及相关审计工作；
  - 3、上述研究和开发工作的具体内容、考核指标和进度安排以双方签署的技术合同获任务合同书为准；
- 三、双方就本课题经费使用作出以下承诺：
  - 1、乙方承诺按照所提供的自筹经费证明落实相应的自筹经费；
  - 2、专项经费的使用严格按照科技经费相关管理办法规定执行；
  - 3、甲方有权监督和检查课题执行情况和专项经费使用情况。
- 四、乙方的考核指标及评测方式等按照甲乙双方签订的《课题任务书》执行。
- 五、在项目执行过程中，由各方独立完成的科技成果及其形成的知识产权归各方所有，由双方共同完成的归双方共有。
- 六、甲乙双方均有责任配合项目组织单位和相关专业机构完成对本课题实施的监督和检查，并为本课题不能通过检查和验收承担相应的责任。
- 七、保密条款：甲乙双方对项目（课题）执行期间所得到的双方相关信息、技术等负保密责任，不得向外泄露。本研究期间所获得的双方共有成果的应用和转让，须经双方协商同意后方可进行，任何一方无权单独对共有成果进行应用和转让。
- 八、如课题执行过程中出现任何重点调整（如任务考核指标调整、经费调整、参加单位变化等），双方应及时通知对方，并以签署补充协议方式确定后



续事项。补充协议与本协议具有同等效力。

九、 未尽事宜，甲乙双方本着合作、诚信原则协商解决。

十、 本协议书自双方签字之日起生效，一式四份，甲方和乙方各执两份。

甲方：上海交通大学

法人代表：

林忠钦

日期： 年 月 日

乙方：华北电力大学

法人代表：

杨勇平

日期： 年 月 日

2. 申报指南规定的其他附件。





## 任务书签署

甲乙双方根据《国务院关于改进加强中央财政科研项目和资金管理的若干意见》（国发〔2014〕11号）、《国务院印发关于深化中央财政科技计划（专项、基金）管理改革方案的通知》（国发〔2014〕64号）、《国务院关于优化科研管理提升科研绩效若干措施的通知》（国发〔2018〕25号）、《科技部 财政部关于印发〈国家重点研发计划管理暂行办法〉的通知》（国科发资〔2017〕152号）、《财政部 科技部关于印发〈国家重点研发计划资金管理办法〉的通知》（财科教〔2016〕113号）、《科技部财政部关于印发〈中央财政科技计划（专项、基金等）监督工作暂行规定〉的通知》（国科发政〔2015〕471号）等有关文件规定，以及有关法律、政策和管理要求，依据项目立项通知，签署本任务书。

项目牵头承担单位（甲方）：

法定代表人签字（签章）：

林忠钦



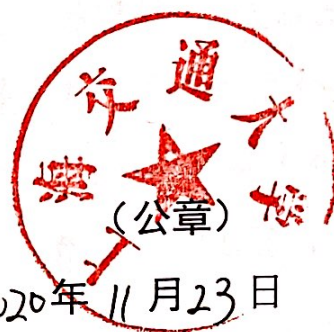
项目负责人签字（签章）： 


2020年11月23日

课题承担单位（乙方）：

法定代表人签字（签章）：





课题负责人签字（签章）： 

2020年11月23日

