

哈电集团-哈工大绿色低碳创新研究院

2024 年科研项目指南

构建低碳、绿色新型能源系统是实现“双碳”目标的必然要求，哈尔滨电气集团有限公司（以下简称“哈电集团”）与哈尔滨工业大学（以下简称“哈工大”）联合组建以支撑新型低碳绿色能源系统与碳中和为目标的科技创新平台：哈电集团-哈工大绿色低碳创新研究院。研究院将面向国家“双碳”及构建新型低碳能源系统的战略需求，围绕哈电集团转型发展的关键技术、核心工艺和共性问题，结合哈工大的优势特色，在低碳零碳新型电力系统、新型储能技术及系统等方面开展研究攻关，2025 年面向哈工大相关研究领域，发布 16 项项目指南。

项目一：大型燃煤机组掺氨燃烧关键技术研究

（一）技术需求背景：

在全球碳减排的背景下，为了应对温室气体排放造成的气候变化问题，为降低化石能源的消耗和对生态环境造成的负面影响，中国提出了CO₂减排的“双碳”目标，发展清洁能源已成为我国现阶段的一项重要任务。

氨作为氢的高效载体，其零碳燃料属性和储存运输优势使得燃煤机组掺氨发电成为可行且极具前景的源头降碳方案之一，使用新能源汽电生产绿氨替代部分煤炭可以减少燃煤电厂的碳排放，成为“双碳”目标下火电机组前端减碳的有效途径，正在获得国内外能源领域的高度关注和积极布局。

（二）主要研究内容：

为进一步降低煤电机组碳排放水平，电厂对掺氨比例提出了更高的要求，我公司现有氨-煤共燃系统已无法满足低NO_x排放要求。为探究大型燃煤机组大比例掺氨燃烧关键技术，需要在现有技术的基础上开发出宽比例掺氨燃烧器及燃烧系统。探究不同掺氨位置、掺氨比例及配风条件对燃烧系统特性的影响。此外，为满足掺氨技术路线的灵活多样性及燃煤机组更大比例掺氨的需求，需要开发纯氨燃烧器。

（三）技术需求目标及预期成果：

通过技术与开发，形成一系列关键技术，实现燃煤机组宽负荷、大比例掺氨，推动燃煤机组低碳化发展进程。

1. 形成氨-煤共燃直流燃烧技术。利用MW级中试试验台探究不同掺氨位置、掺氨比例及配风条件对燃烧系统特性的影响。

2. 开发出适用宽负荷稳燃的纯氨燃烧器，研究纯氨燃料燃烧特性，提出针对性的燃烧器低NO_x排放控制策略。

（四）产业化方向：

立足我国能源资源禀赋特点，加速现有燃煤电厂低碳化转型和火电机组灵活性改造，是我国推进建立清洁低碳能源体系的重要途径。掺烧绿氨发电成为可行且极具前景的源头降碳方案之一，正在获得国内外能源领域的高度关注和积极布局。积极进行市场开发，与用户充分沟通，推进大型燃煤机组掺氨燃烧技术产业化落地与推广。

作为我国主要的大型火电锅炉设计制造商之一，在国内拥有大量的在役火电锅炉机组业绩，我公司对这些在役机组的设计与运行状况具有深刻的认识，能够根据用户需求与具

体锅炉运行状态制定针对性的掺氨设计（改造）方案。为本技术产业化推广创造了便利条件。

（五）对揭榜方要求：

1. 具有丰富的氢氨等零碳燃料燃烧和煤粉锅炉燃烧方面的科研经验，在此方向上承担过国家级重要科研项目。

2. 具有国家或者省部级重点实验室的研究平台，具备能够支持氢氨燃烧和煤粉燃烧等的冷态和热态试验系统。

项目二：300MW重燃机组燃烧室相关零件压型工艺研究

（一）技术需求背景：

300MW级F级重型燃气轮机机组燃烧室中部分零件如发散面板、呼啦密封、招风耳等零件，需采用压铸成型，但这些零件形状复杂，材料回弹量大，现厂内成型较为困难，压型后，合格率较低，尺寸精度无法完全满足图纸要求，后续需要人工校型。

（二）主要研究内容：

发散面板材质GH3536，厚度3mm，该件需对7个孔及外圆进行翻边，要求翻边后7个孔内径分别为 $\phi 143.4(-0.4, +0.1)$ mm及 $\phi 163.9(-0.4, +0.1)$ mm，外圆翻边后直径精度 $\phi 562 \pm 0.3$ mm，各孔位置的0.25mm，表面平行度0.5mm。呼啦密封共有三种，材质为GH4145，此三种零件为整圈弹簧片结构，压型时回弹量较大。其中火焰筒及罩帽呼啦密封厚度为0.8mm，罩帽呼啦密封要求压型后鼓肚最大处外圆直径精度 $(0, +0.5)$ mm，火焰筒呼啦密封压型后鼓肚最大处外圆直径精度 $(0, +1)$ mm。喷嘴呼啦密封厚度为0.5mm，压型后要求鼓肚处精度 ± 1.5 mm。招风耳材质GH3536，厚度1mm，该零件

为类似半球形结构，要求压型后尺寸精度要求 $\pm 0.3\text{mm}$ 。

主要难点如下：

1. 研究难点零件如发散面板、呼啦密封及招风耳等零件的压型工装。

2. 研究难点零件如发散面板、呼啦密封及招风耳等零件的成型工艺。

3. 进行试验验证。

（三）技术需求目标及预期成果：

1. 设计出满足要求的压型工装。

2. 研究出适合的成型工艺。

3. 试验结果满足图纸要求。

（四）产业化方向：

本项目的研究成果将确保我公司顺利实现 300MW级F级重型燃气轮机机组燃烧室的生产任务，并促成其产业化进程。

（五）对揭榜方要求：

1. 具备高温合金零件压型工艺的实践经验。曾担任国家重点研发计划项目课题的负责人，主持并完成了多项国防科技项目。

2. 在项目领导与指导领域，该团队所研发的产品已在航天及高速铁路的重点型号中获得广泛应用，该研发团队隶属于国家级重点实验室。

项目三：阀杆、阀盖、套筒类产品激光熔覆耐蚀合金层新技术研发项目

（一）技术需求背景：

材质为 1Cr11MoNiW1VNbN和F92 的马氏体不锈钢阀盖、阀杆、衬套类产品，以往均是采用火焰喷涂等方法进行耐蚀合金涂层的制备，由于涂层与基体之间为机械结合，结合强度低、易脱落，服役寿命较短，急需开展激光熔覆新工艺的定向研发，该方法涂层与基体通过冶金结合、激光能量精确可控，可以显著提高涂层的结合强度、延长产品服役周期，提升产品的市场竞争力。

(二) 主要研究内容：

1. 对比研究不同成分耐蚀合金层的激光熔覆工艺与组织性能，明确与工艺相匹配的最优涂层成分。

2. 针对不同类型产品的材料与结构特征，开展耐蚀合金层的激光熔覆工艺研发，进行缺陷抑制及成形过程稳定性的控制。

3. 开展耐蚀合金层产品模拟件试验及产品应用。

(三) 技术需求目标及预期成果：

1. 筛选合适的耐蚀合金涂层粉末材料。

2. 获得优化的激光熔覆工艺规范。

3. 获得激光熔覆涂层性能测试结果及分析报告。

4. 制备出合格的激光熔覆产品模拟件。

(四) 产业化方向：

由于激光熔覆技术的应用目标产品结构形式相对统一，通过本项目的研究，可以突破生产应用的关键技术，验证工艺与装备生产应用的可行性与稳定性、与上下游工序的衔接性，并形成相关工艺规范。继而通过中试阶段的验证，不久将能够实现产业化的应用。

(五) 对揭榜方要求：

1. 具备担任国家重点研发计划项目课题负责人的经历，拥有十年以上的激光熔覆专业经验。

2. 具备承担多项国防类项目，并以项目负责人的身份领导并指导项目成功完成。此外，项目研发团队应隶属于全国重点实验室。

项目四：汽轮机快速启停调峰关键高温部件热应力智能感知与自适应运行指导技术

(一) 技术需求背景：

国家能源局明确表示燃煤发电机组在“十五五”期间需加快向调节性电源转型，怀柔实验室高灵活 600MW 级新型燃煤发电机组示范项目要求最小技术出力 15%Pe，一次调频功率变化幅值 8%Pe，30%~90% 负荷区间负荷速率 4%Pe/min，且具备日启停调峰运行能力启机时间 < 2h。快速变负荷、频繁启停下，汽轮机转子、汽缸、阀门等关键高温部件寿命损耗大，安全性面临巨大挑战。

然而目前主要采取基于经验的运行方式，调峰灵活性、频繁快速启停等问题研究较少，缺少高灵活复杂运行条件下关键高温部件热应力和寿命损耗智能感知手段以及机组启动参数自适应监控技术。需构建汽轮机关键高温部件快速变负荷、频繁启停过程热应力和寿命损耗智能感知评估算法，突破机组启动参数自适应调整技术，研发汽轮机快速启停调峰关键高温部件热应力智能感知与自适应监测系统，支撑新型燃煤发电机组高灵活快速启停调峰的关键高温部件寿命在线评估与启动参数的自适应运行。

(二) 主要研究内容:

1. 开展快速变负荷、频繁启停过程汽轮机转子、汽缸、阀门等高温部件温度场、应力场模拟，搭建高温部件典型结构热应力试验台和典型材料寿命损耗试验台，获得汽轮机高灵活快速启停调峰关键高温部件寿命损耗特性。

2. 突破基于CNN深度卷积网络、PINN物理信息神经网络等深度学习的关键高温部件温度场、热应力智能感知技术，构建汽轮机关键高温部件寿命损耗智能评估算法，实现高灵活复杂运行条件下关键高温部件寿命损耗实时在线评估。

3. 构建高温部件寿命损耗、调峰收益等多维评价目标函数，基于遗传算法等智能多目标优化算法，突破兼顾启停速率与寿命损耗的机组快速变负荷速率及启动过程参数智能自适应调整运行指导方法，形成基于高温部件场级状态精细智能感知的汽轮机快速启停调峰智能自适应参数调整运行指导技术。

4. 研发汽轮机快速启停调峰关键高温部件热应力智能感知与自适应参数调整运行指导系统，支撑新型燃煤发电机组高灵活快速启停调峰的关键高温部件寿命评估与启动参数的自适应调整运行指导，完成示范应用及试验验证。

(三) 技术需求目标及预期成果:

突破汽轮机快速启停调峰关键高温部件热应力智能感知与自适应参数调整运行指导技术，完成系统研发及应用验证，支撑新型燃煤发电机组高灵活快速启停调峰自适应安全运行。

1. 建立快速变负荷、频繁启停过程汽轮机转子、汽缸、

阀门等关键高温部件三维温度场、应力场模型，形成典型温度场、应力场案例集，案例集样本数量 ≥ 500 个，涵盖分别不少于5种初始条件、边界条件、变负荷范围、变负荷速率。

2. 搭建高温部件典型结构热应力试验台和典型材料寿命损耗试验台，获得不少于4种典型结构热应力试验特性以及不少于3种典型材料寿命损耗试验特性。

3. 突破基于CNN深度卷积网络、PINN物理信息神经网络等深度学习的关键高温部件温度场、热应力实时在线智能感知技术，温度场、热应力感知误差与三维计算模拟结果相比 $\leq 5\%$ ，实时感知计算时间 $\leq 10s$ 。

4. 形成兼顾启停速率与寿命损耗的机组快速变负荷速率及启动过程参数智能自适应调整协同匹配运行指导软件，指导新型燃煤发电机组高灵活快速启停调峰启动过程参数智能自适应调整与自适应安全运行。

5. 研发汽轮机快速启停调峰关键高温部件热应力智能感知与自适应参数调整运行指导系统产品，完成1台机组的示范应用及试验验证。

（四）产业化方向：

通过本项目研究，突破基于CNN深度卷积网络、PINN物理信息神经网络等深度学习的汽轮机转子、汽缸、阀门等关键高温部件温度场、热应力实时在线智能感知技术，实时评估关键高温部件寿命损耗；形成兼顾启停速率与寿命损耗的机组快速变负荷速率及启动过程参数智能自适应调整协同匹配运行指导软件；研发汽轮机快速启停调峰关键高温部件热应力智能感知与自适应参数调整运行指导系统产品，完成

1 台机组的示范应用及试验验证。

在此基础上，将项目研究成果应用于在役机组，为在役机组加装汽轮机快速启停调峰关键高温部件热应力智能感知与自适应参数调整运行指导系统，支撑在役机组快速变负荷和启动过程的寿命损耗实时在线评估及启机过程参数自适应调整运行指导，今年预计 50 台，每台机组 120 万-150 万，年销售额 6000 万-7500 万元。同时作为新机组标配系统随机安装部署，年预计 10 台，每台机组 120 万-150 万，年销售额 1200 万-1500 万元。

(五) 对揭榜方要求：

1. 具有丰富的汽轮机、燃气轮机等动力系统建模控制、故障诊断、智能感知方面的科研经验，在此方向上承担过国家级重要科研项目。
2. 具有能够支持温度场、应力场智能感知研究的GPU多卡并行计算平台。

项目五：窄间隙高稀释率工况下核电焊接转子的焊材优化及其断裂力学性能研究

(一) 技术需求背景：

核电低压焊接转子采用 25Cr2Ni2MoV 高强钢锻件组焊而成，最大壁厚超过 200mm，采用高效的窄间隙氩弧焊方法完成焊接，根部最小间隙仅 10mm 左右，所对应的母材熔入焊缝的稀释率较高，特别是高C、高Cr的母材成分熔入，显著改变了焊缝金属的组织及性能，在长时间高温热处理后，各种碳化物析出导致冲击韧性大幅降低。如何通过焊材优化，平衡母材高稀释率工况的影响。焊接接头的断裂力学性能研究

是接头完整性和运行安全性的重要保障，是评估优化后的焊材是否满足核电焊接转子使用要求的关键，充分开展焊接接头断裂力学试验，以满足核电焊接转子安全使用要求。

(二) 主要研究内容：

1. 开展核电焊接转子窄间隙接头根部区域的稀释率—成分评估，开展针对性的焊材成分优化。

2. 系统评估核电焊接转子接头的断裂韧性、裂纹扩展速率、门槛值等断裂力学试验，为焊接接头的安全性评价提供分析依据。

3. 依据上述试验结果和结果评估报告，指导核电焊接转子焊材研发工作。

(三) 技术需求目标及预期成果：

1. 获得核电焊接转子窄间隙接头根部区域的稀释率—成分规律，形成焊材优化设计补偿，并提供接头根部冲击性能试验结果及评估分析报告。

2. 获得核电焊接转子接头断裂韧性、裂纹扩展速率和门槛值实验结果及评估分析报告。

3. 优化核电焊接转子焊材成分，保证我公司核电焊接转子焊材研发成功，各项性能满足使用要求。

(四) 产业化方向：

通过开展本项目，可以保证我公司焊接转子项目顺利完成焊接接头的性能评估相关工作，支撑核电低压焊接转子的产品推介，保证我公司具备核电焊接转子产品顺利出产，并形成产业化能力。

(五) 对揭榜方要求：

具备曾参与焊接转子焊材研发工作，所属机构为国家重点实验室。

项目六：大型发电机非接触式局部放电检测技术研究

（一）技术需求背景：

在发电机实际运行中，定子绕组端部换相处容易产生局部放电，长期局部放电将对发电机的安全运行带来隐患，因此需要对定子绕组的局部放电进行实时监测。目前，国内大型发电机局部放电监测，主要采用接入耦合电容的方式，但近期发生了耦合电容绝缘故障导致主线路跳闸的事件，损失巨大，为此多个核电厂拆除了耦合电容，寻求非接触的局部放电监测方法。

（二）主要研究内容：

1. 发电机绕组局部放电机理研究。
2. 基于非接触（超高频）的发电机局部放电监测方法研究。
3. 超高频局部放电检测传感器研究。
4. 发电机绕组局部放电信号采集装置研究。
5. 发电机绕组局部放电信号分析、判别软件研究

（三）技术需求目标及预期成果：

现有基于耦合电容方式的发电机绕组局部放电监测方法，因为存在安全隐患正逐渐被核电厂家放弃，需求一种非接触的测量方式，采用基于非接触式的发电机绕组局部放电监测方式，替代原有耦合电容的监测方式。

1. 发电机绕组局部放电机理报告 1 套。
2. 基于超高频的发电机绕组局部放电监测系统样机 1

套。

3. 基于超高频的发电机绕组局部放电监测分析软件 1 套。

(四) 产业化方向：

1. 对发电机绕组局部放电机理进行研究。

2. 基于非接触（超高频）的发电机局部放电监测方法研究。

3. 基于超高频的发电机绕组局部放电监测传感器及系统样机研制，先进行离线试验，再进行实际发电机安装试验。

4. 小规模地安装调试和试验，积累数据，完善和优化，并进行市场推广。

(五) 对揭榜方要求：

1. 科研团队应具有从事局部放电检测技术相关研究的科研经历，承担过行业内局部放电相关科研经历，获得发电设备或电力行业内局部放电相关科研奖项。

2. 科研团队应具有和局部放电项目相关的知识产权，为项目开展提供可行的理论指导。

3. 科研团队所在院校应具有国家级重点实验室的研究平台，具备能够支撑局部放电检测仪器和设备的研发。

项目七：大型飞轮储能控制系统样机研制

(一) 技术需求背景：

国家能源局发布《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》提出了“到 2030 年我国风电、太阳能发电总装机容量达到 12 亿千瓦以上”的目标。风电和太阳能发电机随机波动性和间歇性特点，传统的调频技术已难以满足现代电网

的需求，飞轮储能技术以其高功率密度、快速响应能力、长寿命、绿色无污染等独特的技术优势，应用于电网调频中，对于稳定电力、调峰调谷、提高电能质量方面发挥重大作用，有助于实现碳达峰、碳中和目标。

(二) 主要研究内容：

大型飞轮储能控制系统主要实现飞轮储能充电状态、保持状态和放电状态的能量转换，对飞轮的转速、温度、振动等关键参数监测。样机研制的主要内容如下：

1. 硬件设计：研发控制系统的硬件平台，包括控制单元、功率单元、传感器等关键元件的选型和电路设计。控制单元是核心，负责信号处理和算法的实现。功率单元负责电能的转换和传输，包括整流器和逆变器等，确保飞轮储能系统的高效转换。传感器用于实时监测飞轮转速、温度、振动等关键参数，为控制系统提供准确信息。

2. 软件设计：软件设计包括控制算法、数据的采集与处理、用户界面等。飞轮储能控制系统的控制算法包括转速控制、充放电控制。数据采集处理负责收集信息，并进行滤波、校准等处理，为控制算法提供可靠的技术支持。用户界面为用户提供直观便捷的操作节点，便于用户监控飞轮储能系统的运行状态并进行参数设置。

3. 系统集成与测试：将硬件平台和软件进行集成，构建完整的飞轮储能控制系统样机，并进行全面的测试和验证，确保系统性能满足设计要求。

4. 系统优化：根据实际应用情况反馈对系统进行优化和改进。

(三) 技术需求目标及预期成果:

1. 设计并开发出一种高效的大型飞轮储能控制系统样机，实现电能与机械能之间的高效转换和储存。

2. 优化控制系统的结构和算法，提高系统的稳定性和响应速度。

3. 确保控制系统具备高可靠性和长寿命，满足实际应用需求。

4. 发表相关学术论文和专利，推动飞轮储能技术的理论研究和应用发展。

5. 培养一批具有掌握控制技术能力的研发人员，为公司发展提供人才支撑。

6. 推动飞轮储能技术应用和推广，为公司能源储存和转换领域的发展作出贡献。

(四) 产业化方向:

1. 明确技术需求与市场定位

2. 明确飞轮储能控制系统样机的技术需求，包括控制系统的稳定性、可靠性、效率以及与其他系统的兼容性等方面。对市场进行深入研究，了解电力行业对飞轮储能控制系统的具体需求，确定产品的市场定位和目标客户群体。

3. 加强技术研发与创新

4. 在明确技术需求和市场定位的基础上，加强技术研发与创新，提升飞轮储能控制系统样机的性能和质量。这包括优化控制系统的算法和策略，提高系统的稳定性和效率；使用先进的传感器，提高系统的精度和可靠性。

5. 推动样机测试与验证

6. 在技术研发阶段完成后，进行样机的测试与验证工作。这包括仿真及实验室环境下对样机进行各项性能指标的测试，以及在实际电力系统中进行应用验证。通过测试与验证，可以发现并解决样机存在的问题和不足，为后续的产业化生产提供可靠的技术保障。

（五）对揭榜方要求：

1. 具有丰富的从事飞轮储能、电力电子、自动控制、能源存储等相关领域科研经验，承担过飞轮储能变流器、控制器等相关的研发工作。

2. 拥有相关领域的国家或省部级重点实验室的研究平台，团队核心成员应具备承担国家级或省部级科研项目的经验。具有至少 1 项飞轮储能电能变换及控制研发业绩，能够提供相关科研成果（如论文、专利、项目案例等）。

项目八：大型交流励磁变速发电电动机电磁关键技术研究

（一）技术需求背景：

随着哈电机公司已中标的中洞抽水蓄能电站 400MW 变速机组和山东泰安二期抽水蓄能电站 300MW 变速机组工程项目的推进，为了完成中洞及泰安变速机组与业主签订的科研课题合同，需针对电磁关键技术中的机理及物理规律进行深入研究，目前我公司尚不完全具备此研发能力，需对外联合开发。

项目拟采用场路耦合有限元及数值暂态仿真计算方法，搭建变速发电电动机的场路耦合时步有限元模型及包含电网、发电电动机、水泵水轮机、转子变流器的系统仿真模型，开展考虑变流器及控制策略影响的大型变速抽水蓄能机组

电磁关键技术研究。研究交流励磁变速发电电动机磁-热-流多物理场耦合机理；提出交流励磁变速发电电动机电磁参数计算方法并建立电磁场数值仿真模型，计算中洞和泰安二期变速电机主要电磁参数；研究电磁参数对机网特性的影响，并提出合理的选取范围；研究转子变流器谐波对电机磁热性能的影响；研究系统极端运行工况下电机内部电磁性能。

目前研发主要存在以下难点：

1. 我公司对于常规水电机组的参数分析方法较为成熟，已形成标准化方法并广泛应用，但对于交流励磁变速发电电动机参数的精细化计算模型和方法及参数合理选取范围，经验还不足，国内外没有相关文献资料及标准规范可依据。

2. 多物理场耦合分析方法能够考虑多专业各种非线性因素的影响，从多方面对目标进行优化，目前已成为行业内发展趋势，但我公司在该方面研究刚刚起步，还不完全具备此研发能力。

3. 变频控制系统产生的谐波输出特性受拓扑结构、开关频率、调制方式、调幅比、调频比等参数影响，谐波对电机的影响复杂，目前公司还不具备搭建变流器及其控制与电机电磁场耦合模型的能力。

4. 变速机组采用的特殊交流励磁结构及复杂的控制方式，导致其在极端工况及外部故障下电磁特性的分析方法与常规定速机组相比差异巨大。

(二) 主要研究内容

针对中洞和泰安二期交流励磁变速发电电动机电磁关键技术，开展研究工作，主要内容包括：

交流励磁变速发电电动机关键电磁参数计算研究

1. 研究交流励磁变速发电电动机关键电磁参数的有限元计算方法，计算发电电动机关键电磁参数，并与解析计算结果相校验。

2. 研究电机不同结构尺寸对关键电磁参数的影响。

3. 建立交流励磁变速发电电动机机网系统仿真模型，研究关键电磁参数对机网特性的影响，确定电机关键电磁参数的合理选取范围。

交流励磁变速发电电动机磁-热-流多物理场耦合仿真研究

1. 建立交流励磁变速发电电动机磁-热-流多物理场耦合模型，研究耦合机理及仿真方法。

2. 探究大型变速发电电动机磁-热及流-热耦合分布规律，为电磁设计优化提供依据。

3. 转子变流器谐波对交流励磁变速发电电动机磁热性能的影响研究。建立考虑转子变流器的交流励磁变速发电电动机系统仿真模型，研究机组在稳态运行及启动工况下变流器谐波对发电电动机定转子的磁、热等特性的影响。

4. 系统非正常运行工况对交流励磁变速发电电动机的影响研究。建立变速抽水蓄能发电电动机机网系统暂态仿真模型，分析转子开路失磁、高低压穿越、缺相运行、变压器高压端和低压端短路等非正常运行工况下系统电气量和温度变化规律。

(三) 技术需求目标及预期成果

技术需求目标：

针对中洞和泰安二期两个项目，研究交流励磁变速发电电动机内部的多物理场耦合机理，并探索复杂工况下，电、磁、热物理规律，获得以下关键成果：

1. 研究大型交流励磁变速发电电动机关键电磁参数计算方法，分析不同结构尺寸及电网系统对电磁参数的影响，确定参数合理选取范围。

2. 研究大型交流励磁变速发电电动机磁-热-流多物理场耦合仿真方法，分析电磁场、温度场和流体场耦合的时空分布规律。

3. 建立大型交流变速发电电动机与转子变流器的系统仿真模型，研究转子变流器谐波对电机的影响。

4. 建立大型交流励磁变速发电电动机机网系统的场路耦合时步有限元模型，分析非正常运行工况下系统电气量和温度变化规律。

预期成果：

1. 按照项目研究成果交付时间安排，按照进度计划提交阶段性研究报告，每季度进行一次技术交流。

2. 《大型交流励磁变速发电电动机电磁关键技术研究报告》6份。

3. 提交源代码程序。

4. 中文核心期刊论文1篇，EI及以上期刊论文1篇，发明专利2项。

(四) 产业化方向

技术需求是针对中洞及泰安变速机组的实际需要，对电磁关键技术中的机理及物理规律进行深入研究，研究成果将应用于与业主签订的科研课题合同。对于未来的变速抽蓄项目设计和投标工作建立坚实的基础。

（五）对揭榜方要求：

1. 具备丰富从事电机电磁设计、电磁参数计算分析和多物理场耦合仿真分析的科研经历，承担过相关国家重点研发计划项目。

2. 具有国家或省部级重点实验室研究平台，可满足本项目所需的一切资质，能够提供本项目研究分析所需的设备、软件、人员以及分析试验的能力。

项目九：汽轮发电机用高稳定性多级风扇研制

（一）技术需求背景：

目前，国内汽轮发电机用多级风扇均为国外引进叶型，遭遇国外技术封锁，且国内没有自主研发经验。哈电公司多级风扇叶型为AP1000项目引进，虽有工程应用，却未进行深入研究，没有掌握多级风扇内部流场运行机理。随着百万及更大容量等级汽轮发电机组及核电机组的国产化研制。沿用引进叶型，一方面存在产权风险，另一方面也很难满足更大容量等级机组供风需要。为解决自主知识产权以及汽轮发电机产品向更大容量等级发展的需求，多级风扇自主化设计成为亟待攻克的瓶颈问题。基于原型尺寸的LPIV实测试验数据和仿真数据对原有多级风扇性能进行评估，并结合精细流场仿真及多尺度风洞PIV实验支撑的机理分析，实施叶片扭曲修型

及表面粗糙调控等前沿效率优化技术，完成新叶型开发，形成具有哈电自主知识产权的多级风扇，推动公司汽发、核电产品发展。

(二) 主要研究内容：

1. 多级风扇气动特性仿真研究。
2. 多级风扇斜激振特性研究。
3. 多级风扇多尺度流动特性试验研究。
4. 多级风扇叶型自主化设计。

(三) 技术需求目标及预期成果：

1. 形成具有自主知识产权的多级风扇设计结果。
2. 建立多级风扇气动特性仿真及多尺度PIV试验研究方法。
3. 培养 2-3 名多级风扇设计人员。
4. 自主研发 3-4 级多级风扇叶型，在流量为 $40\text{m}^3/\text{s}$ 的条件下，压比突破 1.5，效率提高 10%。
5. 发表论文 3 篇，撰写专利 2 项。

(四) 产业化方向：

容量的核电机组及汽轮发电机组具有发电效率高、单位建设成本和运营成本低，尤其适应经济发达地区和高能源消费中心对大量电力的需求。此项技术将有效助力电机多级风扇的独立自主设计开发，促进核电和常规汽轮发电机向更大容量等级发展，以满足市场需要，提升公司自主技术水平。

(五) 对揭榜方要求：

1. 具有丰富的从事十米级以上大尺度空气流动测量技术及多级叶片数值模拟优化相关科研经历，主持过国家级大

尺度流动测量项目相关研究工作。

2. 具有国家或省部级重点实验室的研究平台，具有至少 1 项气动叶片研发业绩。

3. 具有丰富的多尺度流场仿真、气动优化、风洞实验经验，具备国家级重大仪器项目经历。

项目十：水轮发电机立式电磁减载轴承测控技术研究及系统研制

（一）技术需求背景：

电磁减载系统是一项具有创新性和发展潜力的新兴技术。其借助先进的传感器技术和控制算法，能够精确控制电磁力的大小和作用时间，实现对载荷的精准调节。其中，高温、强磁防干扰测试技术、推力调控技术、满足重载推力调控要求的电磁推力高带宽冗余控制策略、满足推力平衡要求的主辅励磁电流鲁棒性解耦控制技术、适应复杂工况的推力波动抑制技术等是本课题的难点。为了加快研发速度，应加强与高校之间的合作，共同挖掘磁推力轴承开发过程中的技术难点与创新点，在市场上占得先机。

（二）主要研究内容：

本课题研究内容包括：推力负荷 100t 模拟试验台电磁减载系统测控技术研究及系统研制，并以真机为依托进行系统建模与仿真技术研究。具体研究内容如下：

1. 高温、强磁防干扰测试技术。
2. 推力调控技术。
3. 满足重载推力调控要求的电磁推力高带宽冗余控制策略。

4. 满足推力平衡要求的主辅励磁电流鲁棒性解耦控制技术。

5. 适应复杂工况的推力波动抑制技术。

6. 直流低压大电流高频响励磁电流调控技术。

7. 高实时性推力测控系统实现与优化设计技术。

8. 动态推力与推力波动高精度测量方法。

9. 推力系统信息感知传感器布局优化。

10. 位移、振动、漏磁等小量程弱信号高精度测量方法。

11. 电磁减载测控系统研制。

12. 真机系统建模与仿真技术研究。

(三) 技术需求目标及预期成果:

1. 主辅励磁额定电流 0-100A。

2. 直流励磁纹波率不大于 $\pm 5\%$ (FullScale)。

3. 输出电流摆率不小于 50A/ms。

4. 控制系统带宽不小于 1kHz。

5. 动态响应时间不大于 5ms。

6. 系统调节时间不大于 10ms。

7. 轴向推力不平衡度不大于 $\pm 0.1\%$ (推力负荷)。

8. 推力盘径向位移不大于 0.3mm。

9. 稳态推力调节精度不大于 $\pm 1\%$ (推力负荷)。

10. 动态推力调节精度不大于 $\pm 3\%$ (推力负荷)。

11. 稳态推力波动不大于 $\pm 0.5\%$ (推力负荷)。

12. 动态推力波动不大于 $\pm 1\%$ (推力负荷)。

13. 推力瓦轴向压力分辨率 16Bit。

14. 径向位移分辨率 16Bit。

15. 轴瓦温度测量精度 0.5% (FullScale)

16. 16. 推力盘轴向位移不大于 0.1mm。

(四) 产业化方向：

首先开展小功率抽蓄机组模拟试验平台技术验证研究，对磁推力调控装置、推力系统实现方案验证及控制技术、复杂工况的推力波动抑制技术、主辅励磁电流鲁棒性解耦控制技术、动态推力与推力波动高精度测量方法等内容进行研究与试验测试，全面验证样机理论分析与设计的正确性，掌握磁推力轴承系统设计方法与调试方法。

其次在小功率试验平台测试的基础上，结合试验数据对真机系统进行建模与仿真技术研究，解决力热电磁多场耦合下，大推力磁轴承系统仿真验证难题，为真机系统分析与设计提供模型基础；最后结合我公司抽蓄机组实际，开展磁推力轴承真机系统结构与工艺设计研究，完成真机系统试验测试平台搭建，对真机系统推力控制实际效果与可靠性进行全面验证，形成技术设计文档与调试规程，通过国家/行业标准认证，最终实现首台套产品示范工程应用。

(五) 对揭榜方要求：

1. 承担单位具有国家及省部级重点实验室支撑的科研平台，与哈电电机合作完成至少 1 项科研项目，且已通过验收。

2. 项目负责人具有博士学位正高级技术职称，承担过国家级科研项目/课题。

3. 团队具有丰富的大容量电力电子变换器与抽水蓄能机组控制系统设计与研发经验，相关业绩得到实际应用。

项目十一：水轮发电机转子监测设备低压电源开发

（一）技术需求背景：

在水轮发电机运行过程中，发电机转子上运行参数与运行状态是发电机安全运行的关键数据，但是发电机转子上进行数据在线监测设备的电力供给是个难题，目前在国内的机组中，丰满机组通过供电滑环提供电力，也有较少的机组使用无线传能，但都受限于机组结构，因此应用极少，如果能够通过励磁电源取电的方式在转子上解决供电问题，将是水轮发电机在线监测技术的一大跨越式的进步，可以在转子上进行磁极温度监测、磁极引线螺栓受力分析等多种转子参数在线监测工作，为发电机安全运行提供更多的保障。

（二）主要研究内容：

水轮发电机转子励磁电源为低压直流电，电压范围较宽，约几十伏至几百伏，从励磁取电的方式需要研究以下几个问题：

1. 取电装置对励磁系统的影响及安全风险防控。
2. 励磁电流变化对取电装置电压输出的影响。
3. 电压等级的变换。
4. 脉冲电压对取电装置的冲击。
5. 磁场屏蔽技术。
6. 取电装置机械结构设计及安装方式研究。

（三）技术需求目标及预期成果：

1. 完成总体方案设计，设计逆变、变压、整流、滤波、稳压等几个模块。
2. 设计各个模块的原理电路，并进行仿真验证。

3. 针对技术需要的几项内容进行模拟试验。
4. 制作可应用装置，择机进行真机试验。

（四）产业化方向：

PSFB隔离变换器的产业化需要从技术研发、生产制造到市场推广进行全方位规划。技术研发方面，与大学和研究机构合作，共同攻克关键技术难题，包括器件选型、高频化设计和数字化控制等方面，进行模块化和标准化设计，提高市场适应性。生产制造方面，优化制造工艺，包括磁性元件优化、封装技术优化和自动化生产等方面，开展寿命测试和可靠性评估，确保在极端条件下长期稳定运行，同时通过批量化生产降低单位成本。市场推广方面，锁定新能源车企、储能厂商、数据中心运营商等重点客户，通过行业展会、技术论坛等形式推广技术能力和产品性能，开展试点应用，形成标杆案例。

（五）对揭榜方要求：

1. 具有丰富的电力电子变换器控制相关的科研经历，承担过与项目内容相关的国家级项目。
2. 具有国家或省部级重点实验室的研究平台，具有至少 1 项电力电子变换器控制研发业绩。
3. 具有丰富的电力电子变换器研发成果，获得国家或省部级科研奖励。

项目十二：变极调速循环水泵电机设计研发

（一）技术需求背景：

哈尔滨热电厂二期 2×660MW 热电联产扩建项目循环水泵要求采用变极调速电机，极数为 16P 和 20P。需开发一种全

新的 16/20P 的电机。

(二) 主要研究内容:

完成 16/20P 变极调速电机的电磁方案设计并做电磁场分析。

(三) 技术需求目标及预期成果:

完成 YLKS3700/1950-16/20 变极调速循环泵电机设计研发, 并制造完成电机产品

(四) 产业化方向:

与国内高校合作开发变极调速循环泵电机的电磁设计, 形成系列化产品, 主要应用在火力发电厂的循环水泵机组。

(五) 对揭榜方要求:

1. 具有扎实的电机绕组理论及变极调速、谐波分析方面的科研经验。
2. 具备对 3Y/3Y+Y 变极有深刻的理解。

项目十三: 电磁轴承支撑的大功率高速实心转子异步电动机准确计算

(一) 技术需求背景:

新型一体化集成式压缩机组是一种适用于天然气管网输送的新型设备, 国外已有 10MW, 10000rpm 等级的成熟机组。国家石油天然气管网集团已将 18MW, 6500rpm 电磁轴承集成式压缩机组列为国产化需求产品。我公司已参与了 18MW, 6500rpm 集成式压缩机组国产化的前期研究工作并取得了一些成果。现在需要完成集成式压缩机用拖动电机的全部设计, 达到具备投产的状态, 以适应市场需求。

(二) 主要研究内容:

1. 电磁轴承支撑的大功率高速实心转子异步电动机准确计算。

2. 实心转子高速异步电动机电磁计算程序开发。

(三) 技术需求目标及预期成果:

1. 完成功率 18MW 实心转子异步电动机准确计算并形成详细技术报告。

2. 完成实心转子高速异步电动机电磁计算程序开发, 提供源程序及可执行文件, 达到可计算 100kW-30000kW 功率范围, 转速在 1500rpm-30000rpm 范围内任意功率及转速电机的准确计算目的。

(四) 产业化方向:

国外制造商近几年来已经研发了类似的产品, 说明其技术路线是可行的。为完成本次 18MW, 6500rpm 集成式压缩机用电机的开发设计, 我们采用调查研究、计算分析、合作研究等方法和技术路线完成本次项目的开发设计工作。

(五) 对揭榜方要求:

1. 具有高速高频实心转子电机有实际科研、试验经验。
2. 对实心转子结构电机的损耗计算和试验验证有较为深刻认识和掌握。

项目十四: 高功率密度高转速轴向磁通航空驱动电机研发

(一) 技术需求背景:

随着航空电动化趋势的加速, 对高功率密度、高转速航空驱动电机提出了迫切需求。传统径向磁通电机难以满足航空应用对电机体积、重量和效率的苛刻要求, 因此开发新型轴向磁通航空驱动电机具有重要意义。

(二) 主要研究内容:

1. 高功率密度轴向磁通电机拓扑结构设计: 研究适用于航空应用的高功率密度轴向磁通电机拓扑结构, 如双转子单定子、单转子双定子等, 优化电机磁路设计, 提高电机功率密度。

2. 轻量化设计技术: 研究航空驱动电机的轻量化设计技术, 采用高强度轻质材料、优化结构设计等手段, 降低电机重量。

3. 高温材料应用: 研究耐高温永磁材料、绝缘材料等在航空驱动电机中的应用, 提高电机工作温度, 满足航空器高温环境要求。

4. 高速轴承技术: 研究适用于高转速航空驱动电机的高速轴承技术, 解决轴承润滑、散热等问题, 提高电机可靠性。

5. 电机控制系统优化: 研究适用于高功率密度、高转速轴向磁通航空驱动电机的控制策略, 提高电机动态响应速度和运行稳定性。

(三) 技术需求目标及预期成果:

结合国内企业 (VISIONAERO) 和院所 (通用航空重点实验室) 对于样机产品的需求, 开发出功率密度 $\geq 10\text{kW/kg}$ 、最高转速 $\geq 20000\text{rpm}$ 、工作温度 $\geq 150^\circ\text{C}$ 的高功率密度、高转速轴向磁通航空驱动电机样机。

申请发明专利 1 项, 实用新型专利 1 项; 发表高水平学术论文 2 篇; 制定企业标准 1 项; 培养专业人才 2 名。

(四) 产业化方向:

本项目将采用“产学研用”相结合的产业化模式，以哈电先进电机技术公司为产业化平台，联合哈工大等高校和科研院所，共同推进技术成果转化和产业化。

(五) 对揭榜方要求：

1. 在海外取得博士学位，年龄不超过 38 周岁，具有丰富的高功率密度电机设计和电机新材料应用研究经验。

2. 具有国家或省部级国际合作平台，具备能够支持高功率密度电机研制评测的试验系统。

项目十五：矿用自卸车电驱动控制系统项目

(一) 技术需求背景：

矿用自卸车是矿山运输核心设备，传统燃油驱动存在高排放、高能耗、维护复杂等问题。全球碳中和政策推动矿山设备绿色转型，电驱动技术因零排放、高能效、低运营成本成为必然趋势。国内矿山企业极需通过电驱动系统升级，提升运输效率、降低环境压力，并满足智能化矿山对设备自动化、数据化的需求。

电驱动系统通过柴油机带动发电机发电，再将电能传递给电动机驱动车轮，这一过程相比传统的机械传动系统更为高效。电驱动系统能够更有效地利用能源，减少能源浪费。通过自主研发电驱动系统，可以打破国外公司的技术垄断，提升我国矿用车制造业的竞争力。

(二) 主要研究内容：

开发适配矿用自卸车的电驱动控制系统，包括：

1. 大功率控制：支持重载爬坡与复杂工况。
2. 能量回收系统：制动能量回收率 $\geq 30\%$ ，延长续航。

3. 智能控制算法：集成车辆状态监测、远程故障诊断。
4. 环境适应性设计：IP68 防护等级，耐温（ -40°C ~ $+50^{\circ}\text{C}$ ）、抗粉尘振动。
5. 模块化平台：兼容不同吨位车型，支持快速维护与升级。

（三）技术需求目标及预期成果：

实现电驱动控制系统国产化替代。

（四）产业化方向：

阶段一（1~2年）：联合高校、电机/电控企业完成样机验证。

阶段二（3~4年）：产品样机完成试验，小批量供货。

阶段三（5年后）：大规模向市场供货

（五）对揭榜方要求：

具有研发类似产品的设计经验，且设计的产品在实际中经过验证。

项目十六：构网型储能系统运行控制关键技术研究及应用

（一）技术需求背景：

近年来，随着新能源发电占比的快速提升，新型电力系统呈现“双高”特征，电力系统的惯量降低，调频能力逐渐下降。2024年7月，国家发展改革委与国家能源局联合发布了《加快构建新型电力系统行动方案（2024—2027年）》。方案中明确提出，需积极推进构网型技术的应用，根据高比例新能源电力系统的运行需求，选择典型场景应用构网型控制技术。构网型储能系统能够主动支撑电网的电压、频率和功角稳定，提升新型电力系统的安全性和稳定性。

目前，构网型储能已成为行业的关注热点，主流厂家刚刚推出具备构网能力的储能设备，并在部分项目中得到应用。然而，仍缺乏相应的标准和规范，例如技术规范、功能要求、测试标准和验收标准等亟待出台。近年来，哈电科技公司在微电网和储能系统集成方面具有一定的技术积累和应用案例，但在储能系统主动支撑能力、系统稳定性、构网控制策略等技术尚存在不足。这些问题需要我们进一步加强技术研发、降低成本、优化构网技术，以推动其健康发展。构网技术本身并不局限在构网储能，因为储能自带能量，是构网技术最好的载体，我们根据不同的技术路线和不同的能量载体系统集成系列构网装备，如构网型风机和构网型光伏。

（二）主要研究内容：

构网型储能的运行控制技术是支撑高比例、大规模新能源电力系统稳定运行的关键。因此，不但要研究以储能为基础的电网支撑型控制系统，构建一个理想同步电源，而且还要研究不同场景下的直流侧的时间尺度、能量载体配置，并且兼顾整个系统和经济性要求的构网技术，以满足不同电网或地区的差异化构网需求。

任务 1：研究构网型储能系统的惯量支撑与频率调节关键技术，提升其对电力系统瞬时与长时支撑的作用。

任务 2：采用多尺度电压幅频调制技术，结合宽频自稳与致稳控制技术，实现在不同电网规模和强度条件下的稳定并网和宽频振荡抑制。

任务 3: 深入研究构网型逆变器的虚拟同步机控制策略, 模拟同步发电机的二阶摇摆方程, 提升其惯性与阻尼特性。

任务 4: 研究构网型储能的孤岛运行技术及构网/跟网无缝切换技术, 提升负载供电的可靠性。

(三) 技术需求目标及预期成果:

本项目旨在攻克构网型储能系统运行控制关键技术难题。

1. 研发适应多种应用场景的构网型储能控制技术, 实现主动快速无功响应、有功支撑、故障穿越、抗冲击负荷和带载同步黑启动等功能。

2. 实现 10 秒内 3 倍高电流短时过载能力和随网充放电响应 $<20\text{ms}$ 。

3. 掌握构网型逆变器的虚拟同步机控制策略, 精确调控储能逆变器, 提升储能系统的电网主动支撑能力。

形成完整的构网型储能控制技术体系, 具体包括:

1. 掌握先进的虚拟同步机构网控制技术。

2. 交付一套适应多种应用场景的构网型储能电磁暂态仿真程序。

3. 交付一套硬件设计图纸、软件代码和设计手册。

4. 开发一台百千瓦构网型储能逆变器样机。

(四) 产业化方向:

首先, 依托哈电集团一哈工大绿色低碳能源创新研究院平台, 双方深入开展产学研用合作, 研制百千瓦构网型储能系统样机, 实现关键技术落地。样机将在江苏丰海公司微电

网实验基地或哈锅氢能产业园项目中进行功能和技术指标验证，并根据测试结果进行优化，达到工程样机标准。

其次，对关键技术成果进行知识产权保护，申请专利以构建技术壁垒。哈电科技掌握核心技术，并通过代工模式与电力设备制造企业合作，利用其生产能力开展产品中试、规模化生产及出厂测试。项目团队还将与电网公司和新能源发电企业建立合作，通过示范项目验证产品性能，收集反馈以优化迭代产品，确保产品通过国网电科院的型式认证测试。

此外，依据构网型储能系统的目标市场、客户需求及产品定位，制定差异化的产业化策略。利用哈电集团的品牌优势，提供一体化和定制化的构网型储能系统解决方案，拓展市场。通过参加行业展会、举办产品推介会等活动，提升产品品牌知名度，加速产品进入市场，实现产业化落地。

（五）对揭榜方要求：

1. 具有丰富的电力电子装备及其在电力系统中应用等方面的科研经验，在此方向上承担过国家级重要科研项目。
2. 具有国家或省部级重点实验室研究平台，具备能够支持构网型储能逆变器装备研发的功率硬件在环测试平台。