**可行性研究报告**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称： | 面向工艺节能与多能耦合的规划仿真与优化调控平台研发项目 |
| 申请单位： | 中国电气装备集团科学技术研究院有限公司 |
| 起止时间： | 2023年9月 至 2024年5月 |
| 项目负责人： | 李洋 陈亚临 |
| 通信地址： | 上海市静安区康宁路市北高新区块链生态谷4号楼8楼 |
| 邮政编码： | 200436 |
| 联系电话： | 15010171301 |
| 传 真： |  |
| 申请日期： | 2023年 9 月 |

1. **项目背景和意义**
   1. **项目背景**

当前，我国能源结构转型、能源系统形态呈现新的发展趋势。随着互联网信息技术、可再生能源技术以及电力改革进程加快，开展综合能源服务已成为各行业低碳转型的有力抓手，也是提升能源效率、降低用能成本的重要途径，也成为各企业新的战略竞争与合作焦点。

中国电气装备在综合能源领域布局较早，围绕“智慧电气、系统服务、高效能源”为总体布局，践行“赋能智慧电气、创引绿色能源”企业使命，同时立足于自身传统优势业务，向其他能源领域拓展渗透，并积极转变理念，主动适应综合化的发展趋势，加强优势互补和合作，加速创新。

以电力系统为核心，多种类型能源在物理网络上互联互通，充分利用互联网思维和物联网技术，实现横向多能互补，纵向“源网荷储”协调优化，具备全面互联、全面感知、全面智能，建立多种能源形式智慧集成，提升能源生产、消费智慧化水平，将极大提升能源效率。行业整体来看，智慧能源是全行业全产业链价值体系的重构，将目前主要基于化石能源特性完全耦合的既有能源体系，演变成为可再生能源为主体、用户充分参与、源网荷储协调发展的现代能源体系。能源的智慧化是支撑现代能源体系建设、重塑能源价值链的新动能。

智慧能源是实现能源行业高质量发展的有效途径。全面推进能源革命，不再是简单地增加供给、提高利用效率，而是需要全面革命，对能源供给和消费方式进行重构，用开放的思维和创新的形式建立一套全新能源流动体系，重新定义价值链，实现基础设施智能化、生产消费互动化、信息流动充分化。从长远看，智慧能源将超越技术范畴，成为一种具有超强融合能力的产业生态，可能会颠覆传统能源行业的产业结构、市场环境、商业模式、技术体系及管理机制，带来巨大变革。

* 1. **项目意义**

**1）为集团综合能源项目开展综合能源新型业务提供技术支撑**

通过数据采集、集成、云计算等技术等进行数据分析、挖掘，监测集团综合能源项目能源管理状态并及时进行动态调整。为集团综合能源项目提供能源监测、运行监控、计量结付、能源交易、智慧运维、碳排放管理等业务提供数字化支撑工具，带来能源管理效率和成本优势，充分发挥技术创新的支撑作用，促进数字化和绿色化的产业融合，最终推动集团各综合能源项目能源绿色生态建设，实现能源转型升级和长期可持续发展的。

**2）完成综合智慧能源管控平台先进技术的研究与示范应用**

采用先进的智能化集成技术，以综合能源系统为核心纽带,构建多类型能源互联网络,利用互联网、新一代信息化技术改造传统能源管理模式，构建多类型能源互联网络，实现“电、热、冷、气、水”横向多源互补，纵向“源—网—荷—储”多方协调，从帮助集团各综合能源项目更有效的使用能源，打造区域示范工程，从而实现集团整个能源网络的清洁低碳与安全高效，推动集团能源战略的升级革命。

**3）为未来发展多种应用场景提供实践支撑**

智慧能源项目涵盖技术广、模式复杂、能力要求高、可借鉴的成熟经验少，业务整体还处在探索阶段。本项目通过探索综合智慧能源的开发，探索综合能源、能源互联网、智慧能源等新技术、新模式在集团的落地，为集团各业态发展带来更多的活力和创新。

* 1. **成果应用及推广**

**1）推广路径**

充分结合自身优势，未来5年中国电气装备综合能源服务的业务实施路线，主要分为大力推进型业务、储备型业务、前瞻型业务三类。大力推进型业务，即开拓发展分布式能源，着力推进综合能源规划设计及能源数字化规划设计服务，扩大高耗能冶金企业、校园及工业园区、建筑楼宇等业务范畴，全面拓展综合能效服务，积极开展多能供应服务。储备型业务，即适时开展碳资产管理、碳交易等业务，合理布局储能业务，加快建设面向工艺节能与多能耦合的优化调控平台，创新开展能源托管+增量配电业务+增值服务，尝试开展虚拟电厂试点等。前瞻型业务，即探索布局“制储输用”一体化绿氢产业链，重点培育数据增值服务，适时开展能源金融服务等。

**2）商业模式**

开展综合能源服务要遵循“硬件+软件+服务”的商业模式，即以互联网思维打造硬件和软件，构建综合能源服务生态，积累海量用户，通过服务变现。硬件板块的业务包括能源供应及转换设备、能源输配网络、能源存储设备、物联网设备、智能家居等；软件板块的业务包括规划仿真系统、优化调度系统、云平台、物联网平台、交易平台等；服务板块的业务是线上服务和线下服务两者的结合，包括代运维服务、规划设计咨询服务、工程建设服务、节能服务、需求响应、辅助服务、数据增值服务、能源交易及金融服务等。硬件、软件、服务三者之间有较强的协同效应。硬件是软件的物理支撑，软件也会引导硬件的销售；硬件同时也支撑线上和线下服务业务的开展，服务同样会推动硬件的销售；软件通过流量扩大服务规模，实现流量变现，服务反过来会为软件平台提供数据，从而有助于更广泛、更精准地获取用户。通过自研与投资持续扩大生态链业务，并不断丰富互联网服务，同时寻求更广泛的引流和营销渠道。

* 1. **直接和间接效益分析**

1. 完成面向工艺节能与多能耦合的规划仿真与优化调控平台的建设与示范应用，从而使研究院各组织能够掌握本项目研究的核心技术，提高数字化解决方案能力，系统集成能力，提升能源规划运营能力。
2. 推动工艺节能优化、综合能源多能耦合、综合能源规划仿真、能源优化调度等新技术、新模式在高能耗产业及工业园区等应用场景的落地，为研究院新业态发展带来更多的技术和创新支撑。
3. 为研究院开展综合能源规划设计、配置与优化、投资与分析、风险评估、优化运营等新型业务提供数字化解决方案实践支撑。
4. 工艺节能与多能耦合的规划仿真系统的建设，能够为广大的设计人员提供标准化设计模板和流程。降低方案设计过程中面临着建模难度大、边界参数多变、评价指标不明确等问题，方案设计时间预计可以从原来的3天缩减为仅需1小时，提高人力使用效率，保障成品质量及移交效率。
5. 工艺节能与多能耦合的优化调度系统的建设，可实现企业综合能源利用效率提升10%以上，综合能源耗量降低8%以上，降低企业能源管理成本5%以上。
6. **技术发展趋势及国内外研究现状**
   1. **技术发展历史回顾**

**1）平台发展历程**

初期阶段：20世纪90年代至2000年代初期，能源规划仿真与优化调度平台主要是由国外大型能源公司和科研机构开发，以电力市场化改革和能源节约减排为主要背景，此时平台的智能化程度比较低。

成长阶段：2000年代中期至2010年代初期，能源规划仿真与优化调度平台逐渐成为国内外能源领域的热点之一，尤其是在发达国家和地区，如欧美、日本、韩国等，此时平台的智能化程度得到了明显提高。

成熟阶段：2010年代至今，随着互联网技术和人工智能算法的不断发展，能源规划仿真与优化调度平台的智能化程度得到了进一步提高，涵盖的应用场景也越来越广泛，从单一的电力生产、调度和交易到包括新能源和能源存储等多个领域。

**2）技术发展历程**

物联网技术的应用：能源规划仿真与优化调度平台的数据来源越来越多元化，其中物联网技术将会成为主要的数据来源之一。通过无线传感器和物联网技术，能够实时获取能源的使用情况、能源消耗情况、环境变化等数据，提高数据的准确性和实时性。

大数据分析技术的应用：能源规划仿真与优化调度平台需要处理海量的数据，因此需要采用大数据分析技术来对这些数据进行处理和分析。大数据分析技术能够挖掘数据背后的信息和规律，为能源管理提供更精准和有效的决策支持。

人工智能技术的应用：随着人工智能技术的不断发展和应用，能源规划仿真与优化调度平台将会借助人工智能技术来提高系统的自动化水平和智能化水平，实现对能源的自动化监测、预测和控制。

云计算技术的应用：云计算技术可以提供强大的计算和存储能力，可以将数据和应用程序部署在云端，实现数据的实时共享和交互。通过云计算技术，能源规划仿真与优化调度平台可以实现更高效、更灵活和更可靠的能源管理。

区块链技术的应用：区块链技术可以实现信息的安全共享和去中心化管理，可以为能源规划仿真与优化调度平台提供更加安全和可靠的数据共享和交互。通过区块链技术，能源规划仿真与优化调度平台可以实现数据共享和交互的信任机制，提高系统的透明度和可信度。

* 1. **国内外研究水平的现状和发展趋势**

1. **研究现状**

目前，国内外开发的综合能源系统相关平台多以能源监测平台、综合能源服务管理平台为主，且均未涉及工艺节能。在综合能源系统仿真平台研发方面，已有高校、科研机构及能源企业围绕综合能源系统仿真的某一、多个模块进行了仿真平台的开发并进行了应用，如西门子的综合能源规划仿真平台、清华大学能源互联网研究院研发的能源互联网规划云平台 Cloud EIP、华北电力大学研发的综合能源系统仿真平台以及部分能源企业自主研发的 CCHP、微网仿真平台，还未开发出综合能源市场交易仿真和性能及效益评估的平台工具已有规划仿真平台大多应用于高校科研、企业开展系统运营，但仍未达到满足辅助决策、市场化推广的要求，尚未应用于政府部门政策制定参考、设计院等业务部门规划业务开展等领域。在综合能源优化调度系统研发方面，由仪表厂家、节能服务公司及能源企业为主，主要围绕电力监控系统，在综合能源领域涉足较少，均未涉及工艺节能，且以能源数据监测，诊断，分析为主，缺少结合人工智能、大数据及区块链等新型技术下综合能源优化调度及闭环控制应用；单能源系统自动控制以DCS或SCADA等工业控制为主，缺少结合AI算法、负荷预测及机理模型的智能控制手段。

1. **发展趋势**

从市场规模来看，据中国电力企业联合会披露的数据显示，综合能源服务的市场需求将不断扩大，2020-2025年市场规模将达到0.8-1.2万亿元，2035年市场规模将达到1.3-1.8万亿元。电力、石油、天然气等能源行业体制改革的不断深入，都将为综合能源服务产业的全面发展构建良好政策环境。

从技术角度来看，综合能源服务模式业态随着互联网创新技术的发展，将会涌现更多深化技术，综合能源系统优化运行将是综合能源服务发展的大方向，可实现能源预测和多能互补优化调度，包括数据处理、模型训练、策略优化、动态预测等。而数字孪生模型可实现功能模块化设计，满足不同类型客户的不同需求。互联网与传统能源的跨界融合，还将推动各类市场主体实现线下资源整合和业务落地开展，共同打造“共建、共赢、共享”的综合能源服务生态圈。

* **低碳化：大规模利用可再生能源**

由于“双碳”目标的提出，新能源将成为主体能源。未来综合能源势必朝着低碳化方向发展。当前我国的光伏、风电技术的发展日新月异、成本快速下降，光伏发电、风电有望在近期内实现平价上网。储电、储冷、储热、储氢等各类储能技术的研发方兴未艾，可靠性、储能容量、储能密度、设备寿命、储能成本等技术经济指标不断改进，渐渐步入商业化或示范应用。随着快充、慢充、无线充电等多种电动汽车充电技术的发展，电动汽车单次充电续航里程势将与常规燃油车齐平。这些能源新技术的快速发展与应用，势必为分布式能源开发利用服务、综合储能服务、电动汽车充电服务的发展提供越来越坚实的技术支撑。

* **智能化：能源流与信息流融合**

随着“大云物移智链”等先进信息通信技术与能源系统的加速融合，将推动综合能源服务向信息物理深度一体化应用方向发展，带来新的发展机遇，包括能源智慧输配服务、智慧用能服务、能源智慧生产服务、能源智慧交易服务、能源金融智慧化服务等。尤其要重点关注基于物联网的智慧能源管控技术、能源区块链技术等。如能源区块链技术是掌控海量分布式能源，支撑其互动互济、协同优化的重要技术，迫切需要在智能合约、共识机制、加密算法等方面进行攻关，解决能源调度和交易等信息的分布式记录与存储、能源数据的广泛共享等问题，从而形成与综合能源系统供需相关的信用体系，促进综合能源交易的灵活开展及供需双方的高效协同。

* **差异化：商务模式多元化创新**

目前，综合能源服务类型主要是线下型，以效益分享型EMC 模式为主的投资型综合能源项目，是当前比较成熟的商业模式，具备可操作和可推广性。由于契合了“重资产、重投资”的能源行业基建思路，易被能源企业接受，也是目前较为主流的方向。综合能源服务贴近用户侧，为满足用户多元化需求，必然要求采用更加多样的商业模式与之相适应，未来将以用户需求为中心，进行个性化定制，采用线下线上相结合，形成以能源托管为主的商业模式。随着客户需求多元化、数字化技术的不断进步，将衍生出更多新的商业模式。

* **集成化：注重过程节能和管理节能**

在综合能源的软服务领域，存在巨大的市场需求和服务空白，将是能源产业未来的升级方向。就节能服务而言，国内大多数的节能服务公司还是以项目型、单体设备改造为主。发达国家已经逐渐从单体的设备节能，逐步走向工艺流程节能（系统升级节能）和行为节能（管理节能），这是节能服务的高级层次，均以软性服务为抓手。当前节能技术已经由单一的节电、节水、节气转变为多种高效实用的新型能源转换，高能效的新型生产程序，能量的梯级利用等。未来我国的节能减排工作重点将从局部、单体节能向全流程和系统综合化节能转变，技术系统集成和智能优化应用是未来的重点方向。

* 1. **国外研究概况**

RETScreen是由加拿大环保部基于 Microsoft Excel开发的清洁能源管理软件，主要适用于分析各类可再生能源系统包含风力发电、光伏发电、水力发电、生物质能、太阳能、地源热能、水源热能等独立的系统模块；可针对性地分析投资运行节能收益、可再生能源生产量、能源系统寿命周期以及减排量等；每个系统模块包含模型设定、设备数据参数设定、成本分析、温室气体排放设定、财务信息总结等。但RETScreen只能对单一资源系统进行运算分析，无法对多种混合的可再生能源发电系统进行仿真模拟。

EnergyPLAN是由丹麦奥尔堡大学开发的综合能源仿真计算模拟软件，适用于并网型和独立性的可再生能源发电系统。该软件主要包括光伏发电、热电联产（CHP）、波浪能发电、风机发电等系统，模拟储能系统类型包括抽水储能和电解槽储能。EnergyPLAN可以适用于分析地块、城市到国家尺度中的自然环境资源、经济发展状态以及能源产业结构，并在此基础上给出相应能源环境系统的优化建议以及政策机制，但是优化范围只限于给定系统的运行并不包括投资决策。

DER-CAM由美国劳伦斯伯克利国家实验室开发的针对分布式能源系统进行策略优化的软件。DER-CAM主要包括热电联产、光伏发电和传统的燃料燃烧技术发电；储能技术包括电动汽车电池形式的移动储存、固定储存和热储罐等形式。软件分为系统规划和运行分析两个板块，系统规划板块适用于分析规划阶段项目的可行性，提出最优的分布式能源系统规划方案；运行分析版本只考虑能源系统运行的维护成本，为已经建成的分布式能源系统能源系统提供最佳的优化运行策略。

HOMER广泛应用于分析离网的能源系统，是由美国国家可再生能源实验室研发的软件平台。HOMER主要功能包括系统仿真模拟运算、系统设计及运行策略优化方案分析以及能源系统敏感性分析。软件分析的能源类型包括太阳能发电、生物质能发电、传统水力发电、河流水力发电、电力公用电网、风电、共燃发电机和燃料电池等，软件分析的负荷类型包括热、电和氢。该软件可以测算不同方案的可行性和经济效益，可以分析计算净现值成本达到最低的能源系统策略，为区域内不用种类的能源形式实现并网、多级能源利用进行热力供给以及氢能源使用规划设计方案。该软件主要适用于小功率类型的可再生能源系统。

* 1. **国内研究概况**

IEMS是由清华大学开发的一套适应调度系统需求的综合支撑平台。该平台以中间件技术为核心，采用多层体系结构，包括硬件、软件、数据库以及应用。其主要功能包括：现多能流数据的监测、状态估计、安全评估与控制、优化调度、节点能价和虚拟电厂六部分，属于多能流能量管理系统。

CloudEIP是由清华大学开发的一款平台软件，主要应用的规模在地块尺度、园区级别到城市尺度，可规划及评估的系统包含微型能源系统、分布式能源系统以及综合能源系统。其主要功能为多类型能源系统规划和评估，包括能源需求负荷分析、能源系统经济性分析、综合能源系统优化及评估。

CloudPSS平台是由清华大学开发的综合能源系统模拟分析运算平台，该软件支持数十种常见的能源系统设备模型。该系统主要包括建模仿真模块和规划设计模块。其中，建模仿真模块可对综合能源系统的设计数据进行高效管理，同时灵活便捷地搭建综合能源系统拓扑，实现全生命周期的能量流仿真计算；规划设计模块可辅助用户实现综合能源系统的设备选型配置、运行方式优化和经济/环保效益评估。

华北电力大学开发的综合能源系统模拟软件包括设计和运维平台两部分组成，主要包括四大功能，即规划优化，可以优化顶层设计规划方案，为勘测设计部门提供设计支持；运行优化，通过搭建运维平台，对各类型能源的出力根据不同时间段进行优化；效益评估，包括对经济效益、环境效益和社会效益进行评估；市场交易，主要实现能源微网、综合能源、分布式能源等多种类能源之间的交易。

IES-Plan是由东南大学开发的一款软件，主要应用系统包括锅炉、热电联供机组、光伏发电、风力发电机等多种能源设备，支持多能互补及综合能源系统并行规划和比较。IES-Plan通过自然资源评估算法对当地的自然资源进行分析模拟，按照核心设备、业务类型和细分行业分别对应的用户需求来提供不同种类的负荷估算。

PIES是由国网能源研究院能源互联网研究所开发的综合能源规划设计与仿真工具，该软件以投资成本最低为优化目标，实现综合能源系统设计的技术组合与设备容量最优。软件包括15类能源转换设备和3类能源网络，主要功能包括负荷预测、资源评估、优化规划、生产模拟和财务评价。

1. **项目理论与实践依据**
   1. **项目研究内容原理**

从综合能源的智慧化典型场景出发，统筹项目地负荷需求、资源禀赋、基建条件、能源政策信息，利用自主研发的数据库及算法，基于“源网荷储”各环节交叉共建，模拟能源供需过程，通过供需平衡与多目标优化算法实现方案比选和规划设计，满足项目可行性分析与初步规划设计。设计过程中形成数据资产，拓展数字化移交、数字孪生和智慧管理等业务。最终形成集能源分析、负荷预测、设备选型、系统优化、经济评估等多功能于一体的工艺节能与多能耦合的规划仿真系统平台。

通过标准化建模、组件化、Docker、微服务、大数据能力构建松耦合的应用架构，及“四库一平台两系统”即“行业高复用的数据库、模型库、案例库及知识库”，实现应用与场景的弹性组合，从而保障综合能源业务拓展过程中的易用性和延展性。结合工业互联网和大数据技术，引入边缘计算和控制技术，实现能源转换及新能源发电系统云-边-端的策略控制和优化调度，使分布式能源及用户侧的负荷能够参与到电网调峰。打通能源在生产、转换、运维阶段数据，实现能源高效利用，立足双碳理论对能源的效率和价值进行多维分析，实现能源的精细化管理和业务赋能。  
 通过平台的建设和数据模型的完善，可以将离散能源数据进行有效的整合，从而从定性向以数据为支撑的定量、定质的能源精细化管理，为决策者推进能源战略提供决策依据。同时基于规划仿真结果、优化策略、机理模型、AI算法等关键数据，用于优化调控系统的输入参数，实现综合能源系统运行工况自动寻优，在保障工艺需求的前提下达到系统运行态整体能耗最低，成本最优。

* 1. **理论及实践依据**

1. **对于规划仿真设计相关内容**

有自然人“樊朝晖;李庄;彭旭华;谢东亮”申请的“一种储配一体化设计微网控制方法”，该发明公开了一种储配一体化设计微网控制方法。它以分布于各微网内的储能阵列为核心控制对象，实现相连微网群的有功、无功自动平衡控制。

1. **对于多能耦合优化调控相关研究内容**

有国家电网有限公司技术学院分公司申请的“风光水火储多能互补微电网联合优化调度方法及系统”，华北电力大学申请的“一种风光水火储联合系统的多时间尺度协调调度方法”，东北电力大学申请的“一种基于风光水火储联合系统的多能互补协调发电调度方法”，但均为静态的分析模型，未考虑负荷侧的动态变化，未涉及实时分析。“多能源协同”关键字搜索专利较多，但均只考虑某几种能源形式，如风+光，风+光+生物质等，或增加三联供的形式等，考虑能源形式较为单一，且算法的可扩展性差。

1. **关于“综合能源仿真”相关内容**

有国家电网有限公司申请的“一种综合能源系统的动态仿真系统和方法”，上海科梁信息工程股份有限公司申请的“一种综合能源仿真方法和仿真系统”，北京科东电力控制系统有限责任公司申请的“一种用于综合能源系统的供热管网仿真方法和装置”等等，相关专利涉及的产品耦合种类单一，未形成全面的、完整的综合能源规划设计运行架构，构架设计不够灵活，没有设备库、方案库、经验数据库的融合考虑，无法满足设计院标准化的技术积累。

* 1. **项目研究的关键和难点**

1. **基于微服架构的业务解耦与协同关键技术研究**

伴随着新能源与可再生能源的扩增，虽然微服务架构从整体上优化了面向工艺节能与多能耦合的规划仿真与优化调控平台的可伸缩性、可扩展性等问题，接踵而来的业务解耦与协同问题也成为了项目规划与技术开发人员需核心关注的问题。因而项目提出了基于业务能力和领域驱动、业务边界和DDD方法（上下文、聚合边界）、按组织结构要求进行耦合分离等方法进行业务的解耦；同时提出基于数据的一致性、数据依赖、工作流与编排、应用接口调用的原则研究面向工艺节能与多能耦合的规划仿真与优化调控平台业务的协同，从而保证平台微服架构的业务解耦与协同的平衡性。支撑综合能源、光伏、风电、储能等各系统应用，打破系统信息孤岛，形成资源统一、流程优化、运作协调的数据底座，减少重复建设。

1. **基于工艺节能与多能耦合的综合能源系统多目标优化调控技术**

多能互补是工艺节能与多能耦合优化调控的基础，通过传统能源（水、电、气、热等）、新能源（风、光、氢等）等多种能源生产设备、能源转换设备和能源消费模式的集成利用，才能够有效提高能源利用率，所以必须对多能源系统进行优化调控，通过建立多目标优化模型，对其进行求解，进而得到优化调控的策略，更好的指导工艺节能与多能耦合优化调控平台的运行方案，平抑新能源的波动、确保各系统之间安全稳定运行、节约能源。

1. **基于人效物效能效多元变形数据采集、存储及应用**

在人效、物效、能效多源数据采集、存储、分析的过程中，因维度膨胀而导致的“维数灾难”，给面向工艺节能与多能耦合的规划仿真与优化调控平台协同优化带来巨大挑战，本文将研究提出一种跨平台多源异构数据的接入方法、解析方法、融合方法为一体的综合能源数据中台架构，实现基础数据的归集与支撑计算，构建高复用的“四库”即：数据库、模型库、知识库、案例库，实现不同结构的数据之间的能耗数据信息资源、硬件设备资源、成本数据、气候数据和人力资源的合并和共享。通过各种工具和处理逻辑建立全局的统一的数据或视图，实现综合能源全业务场景对数据的协同利用融合。

1. **基于能源系统标准化建模的异构数据统一整合分析**

基于能源系统标准化建模实现不同结构的数据之间的能耗数据信息资源、硬件设备资源和人力资源的合并和共享。以分散的局部的能源数据和设备CIM建模为基础，通过各种工具和处理逻辑建立全局的统一的数据或视图。

1. **满足多体系下各市场各行业的碳排放核算技术**

针对不同碳排放权体系及不同碳市场、不同行业中存在的碳排放核算公式准则，研究不同模式下碳排放核算方法规律，构建基于精准核算机制的监测监控与分析核算技术，保证碳核算数据可靠可用。

1. **复杂因素条件下的多系统运行控制软硬件集成技术**

工艺节能与多能耦合的规划仿真与优化调控平台运行过程中，存在系统供需匹配调控、多种能源间调控以及实际与预期预警分析调控等多目标控制需求，多种能源物联设备与系统数据集成关联性强，为减低运行控制软硬件系统冗余，提高响应控制效率，有必要提出满足多目标需求的运行控制软硬件集成技术。

1. **项目研究内容和实施方案**
   1. **项目研究内容**
2. **工艺节能与多能耦合的规划仿真系统研发**

基于现场采集数据准确性、完整性、可持续性、可读性、可维护性，研究现场采集数据的生产数据拟合方法；采用可靠的物理参数与AI智能算法建立能源公辅设备白盒模型与黑盒模型，丰富系统模型设备资源库；研究基于生产用能云-边-端协同控制方法，实现云-边-端、云-边、边-端等多场景的分层控制机制；基于仿真规划平台通用系统功能设计，开发工艺节能与多能耦合的规划仿真系统；基于规划仿真结果、优化策略、机理模型、AI算法等关键数据，通过边缘智能终端/PLC执行边缘调节指令，实现综合能源系统高效、低碳、智能运行。

1. **工艺节能与多能耦合的优化调度系统研发**

建立钢铁行业煤气泛化生产工艺中能耗模型的构建方法，研究钢铁行业煤气泛化生产工艺生产能耗模型结构、建模方法及仿真算例结果分析；建立钢铁行业煤气生产工艺用能源荷优化调控方法，研究生产工艺用能数据采集、数据建模、优化调控算法到仿真执行的源荷全过程优化调控方法；基于行业生产特征及规律，研究先进精准的生产用能拟合数据，提供工艺节能与多能耦合的优化调控算法支撑；构建高复用的“四库”一平台技术支撑底座；基于通用优化调度系统系统功能设计，开发工艺节能与多能耦合的优化调控系统。

1. **基于云平台训练学习的小模型边缘智能控制终端**

研究针对特定场景（制冷、空压、供热等）的基于云平台系统训练学习生成的小模型，如：MCS模型、日供冷负荷预测模型和机组能效模型等；研究端-云协同框架下端模型和云模型的协同机理；研究边缘智能控制终端硬件产品设计，并针对特定场景闭环应用实践，支持将算法模型下发，部署到DCS或SCADA等工业控制系统。

* 1. **项目实施方案**

1. **工艺节能与多能耦合的规划仿真系统研发**

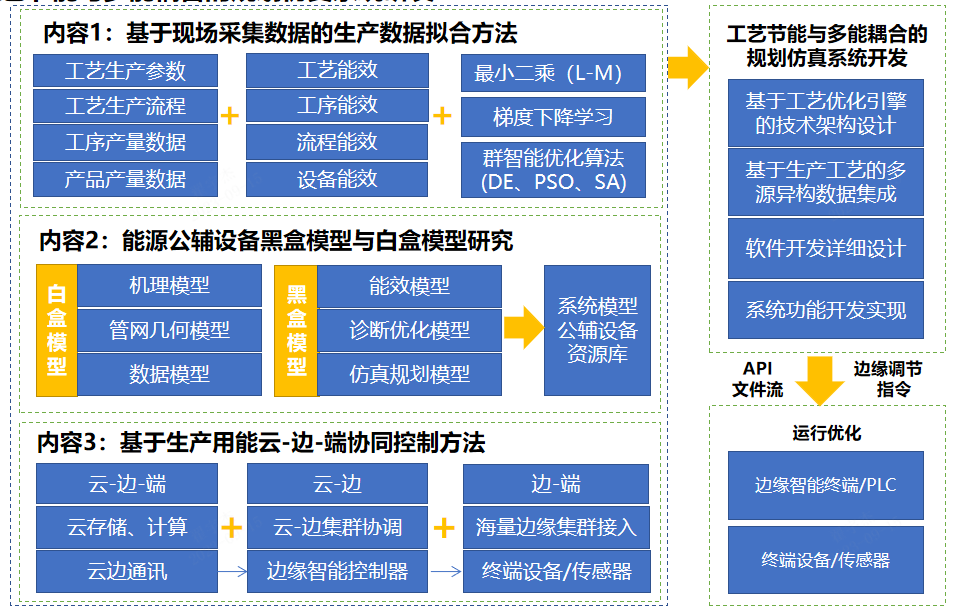
以投资、能效、环保等指标为优化目标，涵盖一次能源、风机、光伏、储能、冷热电联供等多种能源技术类型，通过设计与咨询、配置与优化、投资与分析等服务，打造综合能源系统规划设计、投资分析、风险评估、优化运营等一体化、全方位数字化规划仿真平台。

融合传统经验公式、基于机理的科学计算模型及基于数据驱动的人工智能模型，构建具有丰富的综合能源行业高复用模型库，同时支持多源异构模型集成、开发、测试、维护与发布的模型全寿命周期管理，为工艺仿真优化的协作开发提供支撑，同时可以将仿真模型下发部署到DCS或SCADA等工业控制系统。

提供集成解决方案，通过资源禀赋、设备型号、负荷特性、环境数据、用户需求等，确定边界条件及设计目标（经济最优，能效最高、碳排最小等），通过冷、热、电、气、氢等多种能源耦合优化设计，得到适合具体项目的技术选型，设备容量等整体解决方案。

对于新建项目，构建高复用的“四库”即数据库、模型库、案例库及知识库，并采用可靠的物理参数与AI智能算法建立能源公辅设备白盒模型与黑盒模型，丰富系统模型设备资源库；基于行业仿真规划平台通用系统功能设计，开发工艺节能与多能耦合的规划仿真系统。

基于现场准确、完整、可持续、可读、可维护的采集数据，研究生产数据拟合方法；研究基于生产用能云-边-端协同控制方法，实现云-边-端、云-边、边-端等多场景的分层控制机制；基于设计态规划仿真结果、优化策略、机理模型、AI算法等关键数据，通过边缘智能终端/PLC执行边缘调节指令，实现综合能源系统高效、低碳、智能运行。技术路线与实施路径示意图如下：



1. **基于现场采集数据的生产数据拟合方法研究**
   1. 现场数据采集

工艺生产数据的实时采集是工艺节能得以实现的重要部分，为工艺节能与多能耦合的规划仿真提供基础数据。本项目现场数据采集的方式主要分为人工采集和自动采集两种。利用泛在感知技术对多源异构设备和系统、能源、环境、人员等一切要素信息进行采集，并通过一定的接口与协议对采集的数据进行解析。数据采集方式包括：传感器采集、条码采集、RFID技术采集、工业数据网关以及人工方式；数据采集内容包括：工艺生产参数、工艺生产流程、工艺生产能耗、工序产量数据、产品产量数据等。

* 1. 生产系统能耗统计模型

本节针对企业生产系统总和能耗和生产工艺的能耗统计进行研究，分析影响工艺生产能耗的因素，根据工艺生产实际情况，并参考《综合能耗计算通则》，将工艺生产用能按能耗用途进行分类，在结合生产工艺流程，构建不同生产过程的能源数据模型，包含工艺能效、工序能效、流程能效、设备能效等，从根本上了解生产系统能耗情况，并为工艺节能与多能耦合的规划仿真及优化调度提供理论参考。

* 1. 生产数据拟合算法

选择不同数据拟合方法，如最小二乘、Levenberg-Marquardt、信頼域、梯度下降学习、群智能优化算法：DE、PSO、SA等，对生产系统能耗统计模型进行拟合求解，并通过误差平方和、回归平方和、拟合优度等指标进行评价，得到最佳生产数据拟合方法。

1. **能源公辅设备黑盒模型与白盒模型研究**

综合能源系统涉及的设备类型众多，每种设备都有其自身的技术和经济属性，这些属性都会直接或间接影响系统规划方案的建设和运行成本。为了更合理的构建综合能源系统的规划模型，本文将分别对一次能源转换设备、二次能源转换设备和能量存储设备的典型数学模型（黑盒模型与白盒模型）进行研究和总结。

包括不局限于以下类型：

* 1. 配电系统：
     1. 分布式能源（分布式光伏、分散式风电、CCHP、CHP、生物质等）
     2. 配电网（线路、母线、变压器等）
     3. 储能（电化学储能、动力储能等）
     4. 配电负荷（终端用电设备，包含电量和功率的负荷曲线描述）
  2. 制冷系统
     1. 制冷站（冷水机组、热泵、溴化锂机组等）
     2. 冷水管网（管路、循环泵、加压泵等）
     3. 蓄冷（ 冷水罐、蓄冰槽等 ）
     4. 用冷负荷（ 风系统设备、组合式空调、风机盘管、蒸发式末端等包含冷量和温度需求的负荷曲线描述 ）
  3. 供热系统
     1. 热源站（锅炉、热泵、天然气机组、生物质等）
     2. 热水管网（管路、循环泵、加压泵等）
     3. 储热（热水罐、固体储热等）
     4. 用热负荷（风系统设备、组合式空调、风机盘管、蒸发式末端等包含热量和温度需求的负荷曲线描述）

1. **基于生产用能云-边-端协同控制方法研究**

基于云计算、边缘计算和终端设备研究生产用能云-边-端协同控制方法，实现云-边-端、云-边、边-端等多场景的分层控制机制，满足不同场景下生产用能的精准调控。

* 1. 调度控制架构研究

考虑到多能流动态的多时间尺度特性和工程应用兼容性，调度控制拟采用分层协同架构，分为调度层（部署于工艺节能与多能耦合规划仿真与优化调度平台）和边缘层（厂站现场自控设备装置构成），调度层下发实控命令集至边缘层，由边缘层直接控制现场设备。

调度层（ 调度计划①->运行策略② ）-> 实控命令集③ -> 边缘层

基于网络拓扑结构、预测数据和费价模型，设置优化目标，调用基于工艺节能与多能耦合优化调度服务引擎生成调度计划，调度计划是面向综合能源系统的全局时序运行计划，计划执行单元为厂站级（负荷单元需要根据现场情况进行拟合），需要根据网络拓扑架构对调度计划进行分解生成厂站级运行策略，运行策略是调度计划中对应某厂站的部分组成。

根据时序运行规则，基于训练拟合的设备能效曲线、设备控制模型和运行约束，将厂站级下一时间断面的运行策略分解生成设备级实际控制命令集，下发至边缘层，命令集执行单元为设备级。

边缘层接收实控命令集，将其作为目标或基线参数，基于自控逻辑控制设备运行，根据现场数据进行反馈调节：（1）约束调节区间之内，持续跟踪目标或保持基线；（2）约束调节区间之外，优先满足供需平衡等约束要求，放弃执行该时间断面的实控命令集。

* 1. 云-边-端协同机制研究

云控制平台层包括云控制与决策、云存储、规则库和算法库等模块。对规则库中的模型和云存储中的数据进行融合和更新，在云控制与决策模块中调取算法库中的算法，并驱动规划仿真引擎模拟运行、演判态势，得到全局优化管控方案，将控制调度指令发到各能源站、生产系统及终端设备，完成云边端协同。

* 1. 协同控制方法研究

研究基于生产系统的综合能源物理调控特性，提出多能互补的优化配置方法与解耦运行策略，揭示随机不确定性对系统调度运行决策的影响规律，提出数据驱动的全工况优化运行控制方法。

1. **基于行业仿真规划平台通用系统功能**
   1. 数据管理

基于智慧能源数据底座平台的业务数据整合，研究不同行业的典型用能曲线、碳计量方法、费价模型、经济发展数据和国际权威气象资源数据库。为风、光、冷、热、储多种能源设备，以及冷、热、电多能流的典型年8760小时的动态仿真及多能耦合规划仿真提供数据支撑。

* 全部工业分类：31个大类、120个中类、765个小类。
* 全部工业能耗：电力、蒸汽、热水、冷水、燃气等等。
* 支持燃料、电、冷、热等能源价格自定义。
* 支持对多种类型的基础数据进行录入和管理。
  1. 图模组态工具

通过能源系统模型、生产能耗模型、计量拓扑模型、设备资产模型等综合能源模型的研究，为底层多类型设备数据的标准化、应用服务的数据调用、综合能源服务智能优化、图模数据可视化等功能提供了标准和基础数据。

* 构建丰富的模型资源库，包括能源、电力、工业、商业，建筑等领域电、冷、热等通用模块；
* 提供人机界面，构建丰富的元件资源库，支持元件自定义绘制功能；
* 提供人机界面，运用图形化方法通过元器件的拖、拉、拽等操作进行建模；
* 用于管理和维护模块库；
  1. 综合能源规划仿真工具

通过图模组态工具，生成综合能源网络拓扑，并对设备进行机理模型、能效模型、预测模型的绑定，并对约束条件、决策变量、优化目标进行设置，利用规划仿真引擎，进行优化引擎计算，通过优化设计得到适合具体项目的技术选型、具体选型、容量匹配等。

* 1. 规划仿真高级应用
     1. 机理模型库：基于 TRNSYS 库中的通用设备创建设备的机理模型库。
     2. 能效拟合：开发先进的能效曲线拟合方法，涵盖传统的Spline插值法、牛顿插值法以及拉格朗日插值法，同时还包括应用深度神经网络算法如RNN/LSTM进行精准的能效曲线建模。
     3. 仿真模拟：规划仿真引擎基于建立的模型，通过模拟能源系统的运行情况和各种决策方案的实施效果。它可以考虑多种因素，如能源供需关系、技术效率、经济约束、环境影响等，进行长期的仿真模拟，以理解能源系统的动态行为和优化潜力。
     4. 优化分析：规划仿真引擎具备优化算法和分析工具，可以根据设定的目标函数和约束条件，对各种规划方案进行评估和优化。它可以自动搜索最优解或提供多个可行的优化方案供用户选择，以帮助决策者制定最佳的能源规划策略。
     5. 可视化和报告：规划仿真引擎通常提供直观的可视化界面，以展示模拟结果和优化方案。它可以生成图表、图像、动画和报告等输出形式，使用户能够更直观地理解和解读分析结果。

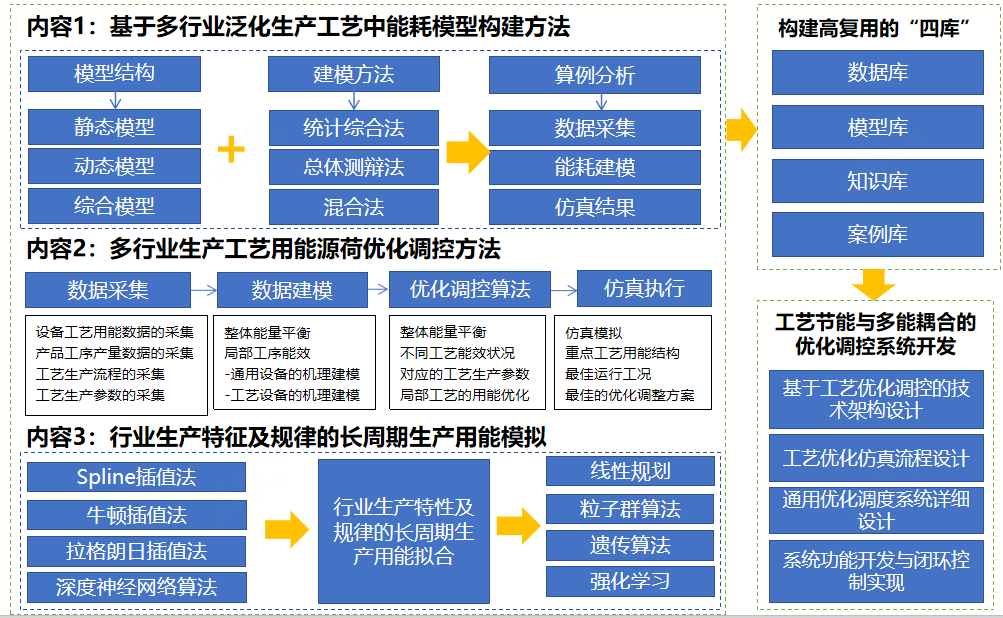
1. **工艺节能与多能耦合的优化调控系统研发**

围绕工业园区的节能降耗减排目标，通过多能互补、工艺优化、供配储用等集成技术，构建自定义组合的优化调控系统，实现源头脱碳（可再生能源替代）、过程减碳（工艺优化节能、余热余压余气）、终端降碳（电能替代）、智慧管碳（数字化平台）。

聚合工业园区内新能源发电、生产可调负荷、增量能源转换站、蓄冷储热储电及周边柔性负荷，依托“冷-热-电-气”负荷和生产订单计划数据，通过优化调控系统及边缘控制技术，实现日前/日内-多目标综合优化调度，支撑能源系统托管运营业务，提供能源购进， 转出及结算服务。

聚焦钢铁厂、铝厂、汽车制造、总部园区等应用场景和对象，建立泛化生产工艺中能耗模型的构建方法，研究泛化生产工艺生产能耗模型结构、建模方法及仿真算例结果分析；建立生产工艺用能源荷优化调控方法，研究生产工艺用能数据采集、数据建模、优化调控算法到仿真执行的源荷全过程优化调控方法；基于行业生产特征及规律，研究先进精准的生产用能拟合数据，提供工艺节能与多能耦合的优化调控算法支撑；构建高复用的“四库”技术支撑底座；基于行业通用优化调度系统系统功能设计，开发工艺节能与多能耦合的优化调控系统。

以钢铁厂为例，首先针对钢铁企业煤气系统的组成进行调研，然后对煤气平衡问题及煤气调度进行了分析，通过钢铁企业煤气泛化生产工艺中能耗模型构建方法与钢铁行业煤气生产特征及规律的长周期生产用能模拟的研究，最后对钢铁企业煤气预测与调度优化系统的系统目标、系统模型、系统功能及实施效果进行研究。通过建立生产用能拟合模型、AI智能算法和优化调控系统，对煤气的产生与消耗进行预测，保证煤气系统的平衡，减少煤气放散，提高煤气利用率，实现节能降耗。技术路线与实施路径示意图如下：



1. **基于多行业泛化生产工艺中能耗模型构建方法**

因为行业种类和能源介质品种繁多，不同行业能源管理又有不同的特点，各设备之间相互连接，形成复杂的能源网络，设计一个适用于多行业领域的、可复用的、容易理解的、使用简单的泛化生产工艺中能耗数据模型是工艺节能与多能耦合的优化调控系统产品化设计的核心内容，同时也是一项困难任务。

如钢铁生产过程设计的能源介质种类非常多，主要涉及高炉煤气、焦炉煤气、转炉煤气、蒸汽、氧气、氮气、电力等。这些能源介质会因供需关系形成了复杂庞大的能源系统网络，各能源之间既相互独立，又相互联系。钢铁生产过程伴随着大量的能量转换，既要消耗大量的煤炭等天然能源，也产生大量的余热资源，基于钢铁行业煤气泛化生产工艺中能耗模型构建的研究是钢铁生产过程中实现能源高效转换、存储、分配、使用和优化调控的重要研究方法。

* 1. 模型结构分析

研究多行业生产工艺中各类模型结构原理的基础上，对比分析静态模型、动态模型、综合模型的优缺点及使用环境，考虑对系统稳态过程及动态过程都具有很好拟合效果的综合能耗模型作为本项目建模的基础结构。

如煤气的供需平衡是一个复杂的系统工程，实际生产中煤气的产生与消耗时刻在发生着变化。对于钢铁企业煤气的产出、消耗、传输、存储及排放之间的瞬时不平衡，若用静态分析的方法很难得到准确的预测信息，需要建立动态模型，才能进行有效的分析。构建包括煤气产生系统、煤气消耗系统、煤气传输系统、煤气存储系统、煤气转化系统；生产过程主要包括包含焦化、烧结、高炉炼钢、转炉炼钢、轧钢和其他生产工序，以及主要能源系统包括煤气、蒸汽和电力的供应与分配，能源介质的流动方向。

* 1. 模型构建

基于钢铁生产过程物质流、能量流分析，以典型生产工艺中耗能设备的能耗及负荷特性为依托，通过实验测量确定各工艺各类型耗能设备的平均能耗及负荷特性，并统计每类耗能设备在各工艺中所占比例，采用加权的方法计算各工艺的比例并综合各能耗及负荷特性，最终完成能耗及负荷模型。同理，采用总体测辩法与混合法构建相应的能耗及负荷模型。

* 1. 算例分析

研究各类建模方法（如统计综合法、总体测辩法及混合法等）及其优缺点，通过算力仿真对比分析结果，选择总体测辩法进行模型构建，基于对最小二乘法和粒子群优化算法的对比分析，选择最优算法进行参数辨识，并通过大量算力仿真实验，不断修正和校核，最终完成基于钢铁行业煤气泛化生产工艺中能耗模型构建。

本文为了研究不同行业不同工艺运行工况和不同负荷水平下所建模型的泛化能力，利用仿真系统获得负荷特性作为能耗模型的基础数据，通过算例仿真，对比已建能耗模型在不同行业不同工艺不同运行调节下的泛化能力，对仿真结果进行研究总结，选择基于多行业泛化生产工艺中最优能耗模型。

1. **多行业生产工艺用能源荷优化调控方法**

基于多行业生产工艺负荷的响应能力，建立以摒弃风、光电量和系统运行成本最小的源荷互动多目标优化模型，并采用AI算法对模型进行求解，获得最优解集，并利用满意度评价方法选取最优折衷解，从而得到生产工艺可调负荷参与优化调控方法，并通过系统仿真对优化调控结果进行验证。

* 1. 生产工艺用能负荷调节特性分析

对钢铁生产工艺用能负荷调节特性进行分析，构建可离散调节负荷与可连续调节负荷。可离散调节负荷指在生产过程中不能连续调节，调节操作需要保持几个调节时段的负荷。可连续调节负荷是指可以在一定范围内连续调节，没有稳定功率时长要求的负荷。

* 1. 模型建立

通过时间序列方法、神经网络方法、平滑指数法和线性回归法对煤气的产生量进行建模预测，以此模型的预测结果作为优化系统的输入值，构建钢铁行业煤气泛化生产系统动态优化调度模型。

在钢铁行业煤气生产工艺用能源荷优化调控模式中，既要使弃风、光电量达到最低值，又不能因为提高风、光电消纳而造成工艺生产系统运行成本上升，还需要考虑电网运行成本最小的需求，因此，本文在日前调度计划下，将摒弃风、光电量和系统运行成本最低作为优化目标，建立源荷优化调控模型。包括弃风、光电量最小化模型，系统运行成本最小化模型。

* 1. 约束条件

约束主要包含生产工艺约束模型，具体包括：炼焦过程配煤投入量与焦炭产出量关系模焦炉煤气产生量模型；烧结矿碱度模型和冷却模型；高炉炼铁Fe平衡、碱度平衡、风口区碳平衡、热平衡等模型。能源约束主要包括：能源介质包括煤气、蒸汽、电力等供需约束、生产过程热值约束、设备能力约束等。结合能量守恒、物料守恒、资源平衡、设备操作、用户优先级等约束条件，在煤气产生与消耗预测的基础上，得到优化调度模型。

* 1. 模型求解

以系统整体能量平衡、不同工艺能效状况、对应的工艺生产负荷参数、局部工艺的用能负荷为约束条件，采用不同算法进行求解，例如NSGA-2算法、模糊数学等方法，得到约束条件下的多个最优解集。

* 1. 算例分析

以系统运行成本最低，摒弃风、光电量最小为目标，通过最优解集筛选、对比，对工艺生产负荷分析、风光消纳分析、常规电源出力分析、系统运行成本分析等，确定最优折衷解，从而确定生产工艺用能源荷调控下吨钢综合能耗和吨钢直接碳排放最优值。

1. **行业生产特征及规律的长周期生产用能模拟**

工程实践中，经常需要优化工艺过程的能耗、产量、产品质量等指标，通过建立响应的模型并进行模拟，可以评估不同操作条件下的工艺过程，找到最优的操作条件，提高工艺过程的效率及经济性，本文通过对钢铁行业煤气生产特征及规律研究分析，并对其进行拟合建模，预测和优化工艺过程的能效和节能效果，同时进行模拟和分析生产过程中的能耗异常原因和影响，找到优化解决问题的方法，帮助用户快速解决用能异常，提高生产过程工艺的稳定性和可靠性。是综合能源系统规划和生产过程运行优化的重要方法和工具。

* 1. 如钢铁行业生产特征及规律研究分析；包括煤气系统结构分析、生产用能分析和调度基本流程分析。系统结构主要包括各煤气管网连接、煤气设备分布等；生产用能分析主要包括煤气设备用能、工序用能、工艺用能，吨钢综合用能等；调度基本流程主要包括煤气产生与消耗流程、调度工艺流程等。
  2. 基于各类能源系统与能源设备的历史数据，考虑数据特征、模型复杂度、计算效率与模型的解释力，研究行业生产特征及规律的长周期生产用能模拟，涵盖传统的Spline插值法、牛顿插值法以及拉格朗日插值法，同时还包括应用深度神经网络算法如RNN/LSTM进行精准的能效曲线建模。

1. **满足工艺节能与多能耦合需求的数字化产品矩阵**
   1. 面向工艺节能的能源智能监测高级应用

聚焦钢铁厂、铝厂、汽车制造、总部园区等作为应用场景和对象，以工艺生产用能为研究对象，以区域和能源整体规划设施为背景，构建面向工艺节能的能源智能监测高级应用，对能源投入、转换、分配、使用过程中各个环节的关键指标进行诊断分析，实现集团综合能源项目能源精细化管理，提高能源利用率，减少不必要的能源消耗。

* 1. 面向工艺节能的多能流运行监控高级应用

基于3D技术，对各能源系统设备及工艺生产进行数据建模，利用HI+AI技术，深度挖掘工艺生产、配电、制冷、供热、光伏、储能、风电、充换电等多种能源系统特征，以保障低碳经济为调控目标约束，研究能源系统优化控制策略执行机制及分层控制架构调控策略设计。实现各能源系统优化运行，提升设备运行效率，节能降耗。

* 1. 计量结付

通过对钢铁厂、铝厂、汽车制造、总部园区等应用场景中计量结付业务流程及需求特征进行研究，采用数据分析技术，以统一基准对多品类能源进行统计分析，研究计量设备建模拓扑方法，实现对计量表计的智能管理，保障各应用场景能源计量结付数据的准确性、可信性。

* 1. 面向工艺节能的智慧运维高级应用

研究工艺生产能源系统的运维业务特点，以安全、便捷、高效作为优化目标，构建企业运维标准化（SOP）工作流模型，研究结合运维业务操作风险，对运维知识进行建模，实现知识的结构化，形成运维知识图谱，基于不断沉淀的知识逻辑，以数字化的指导提升运维人员工作效率和业务质量，降低运维人员对经验的依赖，从而实现人员岗位融合及成本优化。

* 1. 碳排放管理

研究碳数据量化的三种方式：排放因子法、质量平衡法、实测法；研究国内发电、钢铁、造纸、航空、有色、水泥、石化、服务业等主体碳排放量核算准则；研究各市场纳入监管的温室气体种类；研究碳排核查领域成熟技术，如烟气排放连续监测系统CEMS实时监测排放物浓度、排放量的可行性；研究数据直报系统对数据报送的要求。

基于研究，搭建核算边界与排放源边界建模工具，使用可视化方式创建企业自身核算边界，辅助企业碳核算业务；基于研究，系统内置24个行业碳排放核算模型；基于研究，搭建检测计划、核算报告模板，供企业自动生成可报送的碳排报告。

* 1. 面向工艺节能的优化调控高级应用

研究工艺节能与多能耦合优化调度高级应用，实现制定动力保障最优产能的能源生产计划策略，下发到各动力集控系统，组织开展能源的生产、供能和使用。并对能源生产、用能及供应情况的及时感知、异常监测，及时指导生产及用能，改进和优化能源平衡，实现智能化、精益化的能源管理。

主要功能包括：多能流负荷及需量预测，综合能源动态优化，专家经验人工设置，调度计划执行监测，，计划方式管理，优化目标校核&指标性评价。

1. **基于云平台训练学习的小模型边缘智能控制终端研发**

研究针对制冷系统、空压系统、供热系统特定应用场景的基于云平台系统训练学习生成的小模型，如：MCS模型、日供冷负荷预测模型和机组能效模型等；研究端-云协同框架下端模型和云模型的协同机理；研究边缘智能控制终端硬件产品设计，并针对特定场景闭环应用实践，支持将算法模型下发，部署到DCS或SCADA等工业控制系统。

* 1. 综合能源优化调度与能源站智能群控分层协同算法研究

研究面向多场景应用的能源系统优化调度协同机制，构建云-边-端、云-端、边-端等多场景的分层控制机制，面向不同场景确保体系结构的可靠性部署和灵活性拓展，根据不同的交互机制保证云平台、站平台、边缘侧装置等不同层级之间的数据交互。以冷站应用场景为例，通过将冷站智能群控算法作为底层控制策略，实现对冷站设备的实时监测和控制；同时将综合能源优化调度算法作为上层控制策略，实现对综合能源系统的能耗和运行状态的全局优化和调度，以实现能源的高效利用和节能减排。

* 1. 基于HI+AI边缘智能群控算法研究

以冷站应用场景为例，在多建筑物的园区内集中供冷场景下，结合历史数据、电价、气象条件、及其它影响条件实现对整个用冷园区第二日的用冷需求预测，为冷站的智能群控和蓄冷调度算法提供数据支持，再利用设备性能预测算法和用冷供需平衡策略，生成第二日的用冷调度策略。蓄冷的制冷站群控算法研究是通过控制策略的优化，降低蓄冷系统的用能费用和提升运行稳定性。

* 1. 自主可控边缘智控装置软硬件研发

（以冷站应用场景为例）在软件层面利用物联网技术对制冷系统进行多元数据采集，结合多种智能优化算法，以确保制冷系统在安全稳定运行的前提下，实现低碳经济的调控目标约束，研究并开发适应多场景的制冷系统控制功能应用，主要对实时远程直控、策略控制两种不同的控制方式进行研究。

实时远程直控根据主要研究包含全站启停、机组分区启停、紧急制动等实时控制命令管理功能，通过边缘智控装置下发控制命令实现对系统和机组的直接控制和启停。这一应用能够快速响应实时需求并做出相应调整，从而保证制冷系统稳定可靠地运行。

策略控制将主要研究利用上层平台训练生成的多种冷站智能群控算法模型结合机组单元负载、机组能效、供回水温差等关键运行指标参数，生成制定冷站群控、制冷机组等设备单点控制的运行控制策略；实现通过边缘直控装置远程下发控制策略对制冷系统和机组进行智能调控。这一应用能够根据预测模型和优化算法提前制定最佳的供冷计划，实现制冷系统的高效运行和能源消耗的最小化。

在硬件层面针对当前边缘智控装置多采用通用型硬件装置造成性能资源浪费、标准化程度低、智能化缺少科学逻辑和数据支持、国产化低不能自主可控等问题，本研究基于边缘设备的硬件和软件特性、边缘设备的计算和存储限制、边缘设备的特性和安全威胁、边缘设备的网络特性和通信限制、边缘设备的资源限制和使用需求等方面考虑，提出一种兼容多种异构底层系统的边缘智控装置，为边缘智控装置的上层应用开发和运行提供坚实、可靠的平台支撑，支持多种自主可控异构底层系统、同时也兼容进口处理器及操作系统，从而满足际应用的功能与性能要求。具体研究内容包括鲲鹏、海光、兆芯和飞腾等国产处理器、凝思和麒麟等国产系统、进口处理器及操作系统的兼容性和稳定性、ARM或x86架构与软件的适配性等内容。

* 1. **理论研究和试验内容与项目总目标的因果关系**

工艺节能与多能耦合的规划仿真系统研发为研究院开展综合能源规划设计、配置与优化、投资与分析、风险评估等新型业务提供数字化解决方案实践支撑，实现研究院规划仿真与数据分析分析能力提升目标；

工艺节能与多能耦合的优化调控系统研发，为研究院开展面向工艺侧能源监测、运行监控、智慧运维、碳排放管理等新型业务提供数字化解决方案实践支撑，实现提升系统集成服务能力目标。

通过交付工艺节能优化与多能耦合的模拟仿真及优化调控平台（模拟仿真子系统+优化调控子系统），沉淀重点行业高复用的数据库、模型库、案例库及知识库，实现构建研究院技术支撑底座研究目标。

* 1. **项目主要创新点**
* 创新点一：集规划、设计、仿真、运行为一体的多能耦合规划仿真及优化调控系统，支持多场景、多目标应用。（架构创新）

1. 规划态与运行态为一体：构建统一的数据底座，采用相同的机理模型、AI算法及数据源；对于新建项目以规划仿真平台为主，对于节能技改项目，则通过规划仿真平台进行设备选型、方案选优，同时仿真过程中涉及的统一数据、机理模型、AI算法可用于优化调控平台。
2. 设计态仿真：通过规划仿真系统开展能源系统规划设计、投资分析、风险评估等业务；
3. 运行态优化：通过规划仿真系统得到基于规划仿真结果、优化策略、机理模型、AI算法等关键数据，用于优化调控系统的输入参数，实现综合能源系统运行工况自动寻优，在保障工艺需求的前提下达到系统运行态整体能耗最低，成本最优。

* 创新点二：生产工艺用能及公辅系统用能相结合的多能耦合系统应用（技术创新）

1. 本项目基于现场采集的生产数据拟合，将公辅、生产用能数据、生产工艺数据与企业多维数据整合，从而使工艺生产用能与公辅系统用能相耦合，进而实现精准工艺用能诊断分析；
2. 基于云-边-端的协同控制方法在工艺节能与多能耦合的优化调度系统应用，从而实现工艺节能优化的闭环控制；
3. 市政供能系统、园区能源系统、试验能源系统多能耦合，通过试验环境验证，挖掘源侧增量潜力及荷侧可调节响应能力。

* 创新点三：基于工艺节能与多能耦合的多目标优化调控技术应用（技术创新）

1. 构建贯穿工艺生产、设施设备、系统组合、综合系统集成、运行优化等环节的多目标优化管理技术与服务体系；
2. 基于生产工艺用能的源荷优化调控方法研究，为能源系统供给侧到工艺侧节能优化闭环控制提供方法支撑；
3. 基于行业生产特征及规律的长周期生产用能模拟，建立精准企业连续性生产过程能源消耗预测模型，并为工艺节能与多能耦合的优化调控算法服务提供支撑。
   1. **理论和试验研究的工作量**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **平台名称** | **应用名称** | **类型/配置** | **人员级别** | **数量**（人天） |
| 1 | 工艺节能与多能耦合的规划仿真系统 | 图模一体化组态工具 | 可视化拓扑绘制、设备实例操作、实时状态展示和分析等 | 高级工程师 | 100 |
| 2 | 中级工程师 | 175 |
| 3 | 基础支撑底座 | 高复用的数据库、模型库、知识库、案例库 | 高级工程师 | 200 |
| 4 | 中级工程师 | 200 |
| 5 | 综合能源规划态仿真工具 | 规划仿真引擎 | 高级工程师 | 340 |
| 6 | 中级工程师 | 175 |
| 7 | 规划仿真系统高级应用 | 1）数据仓储管理，2）能效拟合，3）机理模型库，4）规划仿真，5）可视化分析及报告 | 高级工程师 | 200 |
| 8 | 中级工程师 | 200 |
| 9 | 工艺节能与多能耦合的优化调度系统 | 基于工艺节能与多能耦合优化调度服务引擎 | 优化调度服务引擎 | 高级工程师 | 400 |
| 10 | 中级工程师 | 100 |
| 11 | 基于微服务应用的物联与大数据管理 | 技术底座 | 高级工程师 | 180 |
| 12 | 中级工程师 | 75 |
| 13 | 优化调度系统高级应用 | 1）多能流负荷及需量预测，2）综合能源建模调用，3）综合能源动态优化，4）专家经验人工设置，5）调度计划执行监测，6）计划方式管理，7）优化目标校核&指标性评价 | 高级工程师 | 200 |
| 14 | 中级工程师 | 200 |
| 15 | 满足工艺节能与多能耦合需求的数字化产品矩阵 | 1）面向工艺节能的能源智能监测高级应用，2）面向工艺节能的多能流运行监控高级应用，3）计量结付，4）面向工艺节能的智慧运维高级应用，5）碳排放管理，6）面向工艺节能的优化调控高级应用 | 高级工程师 | 395 |
| 16 | 中级工程师 | 200 |
| 17 | 基于云平台训练学习的小模型边缘智能控制终端 | 制冷系统边缘智能控制终端 | 软件及硬件一体 | 高级工程师 | 120 |
| 18 | 中级工程师 | 75 |
| 19 | 供热系统边缘智能控制终端 | 软件及硬件一体 | 高级工程师 | 120 |
| 20 | 中级工程师 | 75 |
| 21 | 空压系统边缘智能控制终端 | 软件及硬件一体 | 高级工程师 | 120 |
| 22 | 中级工程师 | 75 |

* 1. **项目组织与分工**

1. 组织及分工

**课题承担单位：中国电气装备集团科学技术研究院有限公司**

负责整个课题的规划、组织和协调,协助团队成员进行研究工作,并监督项目进展和达成研究目标；软著及专利的撰写及申请。

项目负责人总体协调各项目内容的交叉研究部分，并牵头各参与单位完成平台的建设。

设项目管理组负责具体执行，负责对项目进行进度、质量及安全管理，保证项目按计划推进。日常工作中，项目管理组负责对项目的执行进行总体把握和协调，召集参与单位共同完成项目内容的理论研究、关键技术研究及软硬件开发。

设专家指导组，由技术骨干和行业专家组成，对项目进行技术指导；定期向业务等负责部门沟通汇报。

下设多个功能组，包括：产品经理组、UI组、前后端开发组、应用开发组、算法开发组、功能测试及现场实施组等。主要负责协助完成关键技术的研究及项目的实施，以及对系统设计、开发、测试、安装及调试。

项目工作组每两周不少于 1 次以书面形式向项目管理组汇报工作进展及需要协调的问题。同时项目需要定期集中召开会议，沟通项目的进展情况，集中开会为至少每月1次。

1. 合作方式

跨学科合作及联合实验室。

项目由中国电气装备集团科学技术研究院有限公司牵头，以促进技术创新和经济发展的合作模式，发挥各自的优势，实现资源共享、风险共担、利益共享，提高创新效率和技术转化成功率。

3）知识产权及成果分享

交付形式：软件系统，源代码，设计方案，样机

验收指标：软件功能26项，软件著作权12项，专利2项，样机3套

知识产权相关权益：研发成果的所有权归属研究院

* 1. **设备采购**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **硬件名称** | **类型/配置** | **数量** | **单位** | **产地** |
| 1 | 应用服务器 | 内存：64G  CPU：2\*(6C 1.9G)  硬盘总容量：2T | 2 | 台 | 中国 |
| 2 | 数据服务器 | 内存：64G   CPU：2\*(6C 1.9G)   硬盘总容量：20T | 2 | 台 | 中国 |
| 3 | 数据分析服务器 | 内存：64G   CPU：2\*(6C 1.9G)  硬盘总容量：4T | 1 | 台 | 中国 |
| 4 | 应用发布服务器 | 内存：32G   CPU：1\*(6C 1.9G)   硬盘总容量：2T | 1 | 台 | 中国 |
| 5 | 数据采集服务器 | 内存：64G   CPU：2\*(6C 1.9G)   硬盘总容量：4T | 1 | 台 | 中国 |
| 6 | 移动工作站 | 14英寸，英特尔11代酷睿 i7 CPU，32G DDR4，500GB PCIe固态硬盘，千兆网卡，2G显存独立显卡 | 8 | 台 | 中国 |

* 1. **外委工作内容及工作量**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **平台名称** | **应用名称** | **类型/配置** | **人员级别** | **数量**（人天） |
| 1 | 工艺节能与多能耦合的规划仿真系统 | 图模一体化组态工具 | 可视化拓扑绘制、设备实例操作、实时状态展示和分析等 | 高级工程师 | 100 |
| 2 | 中级工程师 | 175 |
| 3 | 基础支撑底座 | 高复用的数据库、模型库、知识库、案例库 | 高级工程师 | 200 |
| 4 | 中级工程师 | 200 |
| 5 | 综合能源规划态仿真工具 | 规划仿真引擎 | 高级工程师 | 340 |
| 6 | 中级工程师 | 175 |
| 7 | 规划仿真系统高级应用 | 1）数据仓储管理，2）能效拟合，3）机理模型库，4）规划仿真，5）可视化分析及报告 | 高级工程师 | 200 |
| 8 | 中级工程师 | 200 |
| 9 | 工艺节能与多能耦合的优化调度系统 | 基于工艺节能与多能耦合优化调度服务引擎 | 优化调度服务引擎 | 高级工程师 | 400 |
| 10 | 中级工程师 | 100 |
| 11 | 基于微服务应用的物联与大数据管理 | 技术底座 | 高级工程师 | 180 |
| 12 | 中级工程师 | 75 |
| 13 | 优化调度系统高级应用 | 1）多能流负荷及需量预测，2）综合能源建模调用，3）综合能源动态优化，4）专家经验人工设置，5）调度计划执行监测，6）计划方式管理，7）优化目标校核&指标性评价 | 高级工程师 | 200 |
| 14 | 中级工程师 | 200 |
| 15 | 满足工艺节能与多能耦合需求的数字化产品矩阵 | 1）面向工艺节能的能源智能监测高级应用，2）面向工艺节能的多能流运行监控高级应用，3）计量结付，4）面向工艺节能的智慧运维高级应用，5）碳排放管理，6）面向工艺节能的优化调控高级应用 | 高级工程师 | 395 |
| 16 | 中级工程师 | 200 |
| 17 | 基于云平台训练学习的小模型边缘智能控制终端 | 制冷系统边缘智能控制终端 | 软件及硬件一体 | 高级工程师 | 120 |
| 18 | 中级工程师 | 75 |
| 19 | 供热系统边缘智能控制终端 | 软件及硬件一体 | 高级工程师 | 120 |
| 20 | 中级工程师 | 75 |
| 21 | 空压系统边缘智能控制终端 | 软件及硬件一体 | 高级工程师 | 120 |
| 22 | 中级工程师 | 75 |

* 1. **项目开发计划**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **里程碑** | **主要内容** | **完成时间** |
| 1 | 项目科研立项、启动，完成招标与采购 | (1)项目科研立项，项目启动；  (2)招标与采购。 | 2023年9月— 2023 年 9月 |
| 2 | 工艺节能与多能耦合的优化调度系统 | (1)完成基于多行业泛化生产工艺中能耗模型构建方法；  (2)完成多行业生产工艺用能源荷优化调控方法；  (3)完成行业生产特征及规律的长周期生产用能模拟；  (4)完成工艺节能与多能耦合的优化调度系统。 | 2023年10月— 2023 年 12月 |
| 3 | 项目中期工作汇报和总结 | (1)项目中期评审，评估项目完成情况；  (2)审核项目资金使用情况，撰写中期报告，做中期工作汇报和总结。 | 2024年1月— 2024 年 1月 |
| 4 | 工艺节能与多能耦合的规划仿真系统 | (1)完成基于现场采集数据的生产数据拟合方法；  (2)完成能源公辅设备黑盒模型与白盒模型研究；  (3)完成基于生产用能云-边-端协同控制方法；  (4)完成工艺节能与多能耦合的优化调度系统开发。 | 2024年1月— 2024 年 4月 |
| 5 | 基于云平台训练学习的小模型边缘智能控制终端研发 | (1)基于云平台训练学习的小模型边缘智能控制终端研发（制冷场景、供热场景、空压场景） | 2024年2月— 2024 年 4月 |
| 6 | 知识产权成果申请 | 专利申请；软件著作权申请； | 2024年2月— 2024 年 4月 |
| 7 | 项目结题工作汇报和总结，完成项目验收 | 撰写结题报告，结题工作汇报和总结，各项成果验收。 | 2024年5月— 2024 年 5月 |

1. **预期目标和成果形式**
   1. **项目预期目标**

**1）构建技术支撑底座**

建成集团综合能源领域“四库一平台”技术支撑底座，交付工艺节能优化与多能耦合的模拟仿真及优化调控平台（模拟仿真子系统+优化调控子系统），沉淀重点行业高复用的数据库、模型库、案例库及知识库。

**2）规划仿真与数据分析能力**

通过将公辅、生产用能数据、生产工艺数据与企业多维数据整合，实现研究院综合能源系统规划与设计、配置与优化、投资与分析、风险评估、优化运营等服务研究实践，提升研究院规划仿真与数据分析能力。

**3）提升系统集成服务能力**

为高耗能冶金企业、校园及工业园区、建筑楼宇等不同场景的综合能源方案设计提供一站式规划设计与运行管理服务，为集团开展面向工艺侧能源监测、运行监控、智慧运维、碳排放管理等新型业务提供数字化解决方案实践支撑，从而提升系统集成服务能力，具备系统工程应用能力。

* 1. **项目交付成果**

**1）工艺节能与多能耦合的规划仿真系统**

-图模一体化组态工具

-综合能源规划态仿真工具

-基础支撑底座（数据库、模型库、知识库、案例库）

-规划仿真系统高级应用：

a .数据仓储管理，b .能效拟合，c .机理模型库，d .规划仿真，e .可视化分析及报告

**2）工艺节能与多能耦合的优化调度系统**

-基于工艺节能与多能耦合优化调度服务引擎

-基于微服务应用的物联与大数据管理

-优化调度系统高级应用：

a .多能流负荷及需量预测，b .综合能源建模调用，c .综合能源动态优化，d .专家经验人工设置，e .调度计划执行监测，f .计划方式管理，g .优化目标校核&指标性评价

-满足工艺节能与多能耦合需求的数字化产品矩阵：

a .面向工艺节能的能源智能监测高级应用，b .面向工艺节能的多能流运行监控高级应用，c .计量结付，d .面向工艺节能的智慧运维高级应用，e .碳排放管理，f .面向工艺节能的优化调控高级应用

**3）基于云平台训练学习的小模型边缘智能控制终端**

a .制冷场景边缘智能控制终端；b .供热场景边缘智能控制终端；c .压空场景边缘智能控制终端。

**4）项目形成的软件著作权12项**

**5）发明或实用新型专利2项**

1. **项目承担单位的条件**
   1. **项目负责人**

李洋，男，博士，高级工程师，现任中国电气装备集团科学技术研究院技术发展副总监，中国电机工程学会人工智能专委会委员，国家科技部科技专家，国网“十四五”数字化专家。曾担任 IEC SEG6、IEEE P2030.9、IEEE P2030.3工作组成员、全国微电网与分布式电源并网标委会工作组成员，中电联全国输配电技术协作网新能源发电及并网技术委员会委员。近年来，一直从事分布式能源与微电网、大数据与电力信息化等领域的技术研究与应用工作。累计出版专著1部、申请软著13项，授权发明专利16项，发表SCI、EI 等学术论文44 篇；参与发布国际标准1项、国家标准2项，能源行业标准3项，国家电网公司标准3项；获省部级/行业级奖励7项、主持研发软性产品获得中国软件协会十大创新云服务平台、中国软件协会优秀工业 APP、优秀工业互联网平台。

* 1. **项目研究人员**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **姓名** | | **单位** | **性别** | **出生年月** | **技术职称** | **专业** | **承担的主要工作** | **投入天数** |
| 负  责  人 | 李洋 | 中国电气装备集团科学技术研究院有限公司 | 男 | 1982.09 | 高级工程师 | 能源系统工程 | 项目负责人 | 180 |
| 主  要  工  作  人  员 | 陈亚临 | 中国电气装备集团科学技术研究院有限公司 | 男 | 1990.08 | 中级工程师 | 电气工程及其自动化 | 高级技术经理 | 180 |
| 方翔 | 中国电气装备集团科学技术研究院有限公司 | 男 | 1978.08 | 高级工程师 | 工业自动化 | 高级技术经理 | 180 |
| 翟宇杰 | 项目管理组 | 男 | 1989.11 | 高级工程师 | 机械工程及自动化 | 项目经理 | 175 |
| 张臻 | 产品经理组 | 女 | 1989.06 | 高级工程师 | 电力市场营销 | 产品经理 | 120 |
| 郭东山 | 产品经理组 | 男 | 1994.06 | 中级工程师 | 电气工程及其自动化 | 产品经理 | 150 |
| 王朝 | 专家指导组 | 男 | 1986.04 | 高级工程师 | 电气工程与自动化 | 能源专家 | 120 |
| 马钰 | 专家指导组 | 男 | 1989.09 | 高级工程师 | 建筑环境与设备工程 | 能源专家 | 120 |
| 董晓杰 | 专家指导组 | 女 | 1989.12 | 高级工程师 | 供热、供燃气、通风及空调工程 | 能源专家 | 120 |
| 赵渊 | UI组 | 男 | 1989.05 | 高级工程师 | 视觉传达 | UI工程师 | 100 |
| 王佩雯 | UI组 | 女 | 1990.02 | 中级工程师 | 英语 | UI工程师 | 100 |
| 赵超 | 前后端开发组 | 男 | 1986.03 | 高级工程师 | 工业设计 | 研发总监 | 80 |
| 任敬佩 | 前后端开发组 | 男 | 1987.02 | 高级工程师 | 软件工程 | 架构师 | 80 |
| 梁斌章 | 前后端开发组 | 男 | 1984.02 | 高级工程师 | 通信工程 | 前端工程师 | 160 |
| 李航 | 前后端开发组 | 男 | 1988.12 | 高级工程师 | 教育技术学 | 前端工程师 | 160 |
| 屠钰杰 | 前后端开发组 | 男 | 1997.05 | 中级工程师 | 计算机科学与技术 | 前端工程师 | 150 |
| 张楠 | 前后端开发组 | 男 | 1992.11 | 中级工程师 | 计算机科学与技术 | 前端工程师 | 150 |
| 张旭科 | 前后端开发组 | 男 | 1990.03 | 高级工程师 | 电气工程及其自动化 | 后端工程师 | 160 |
| 王康建 | 前后端开发组 | 男 | 1993.03 | 高级工程师 | 机械设计制造及其自动化 | 后端工程师 | 160 |
| 张赞武 | 前后端开发组 | 男 | 1993.07 | 中级工程师 | 市场营销 | 后端工程师 | 150 |
| 王鸽伟 | 前后端开发组 | 男 | 1994.05 | 中级工程师 | 机械设计制造及其自动化 | 后端工程师 | 150 |
| 王玉玉 | 应用开发组 | 女 | 1990.11 | 高级工程师 | 电子信息工程 | 应用工程师 | 160 |
| 高梦瑶 | 应用开发组 | 女 | 1995.08 | 高级工程师 | 软件工程 | 应用工程师 | 160 |
| 拜志鹏 | 应用开发组 | 男 | 1990.02 | 中级工程师 | 信息对抗技术 | 应用工程师 | 150 |
| 王凯 | 应用开发组 | 男 | 1997.01 | 中级工程师 | 机械工程 | 应用工程师 | 150 |
| 顾思源 | 算法开发组 | 男 | 1984.07 | 高级工程师 | 经济与信息学 | 算法总监 | 80 |
| 景晨英 | 算法开发组 | 女 | 1994.11 | 高级工程师 | 控制科学与工程 | 算法工程师 | 160 |
| 王安倩 | 算法开发组 | 女 | 1993.12 | 高级工程师 | 心理学 | 算法工程师 | 160 |
| 甘鹏 | 功能测试及现场实施组 | 男 | 1994.06 | 高级工程师 | 电子信息工程 | 测试工程师 | 100 |
| 邵世超 | 功能测试及现场实施组 | 男 | 1998.05 | 中级工程师 | 信息管理与信息系统 | 测试工程师 | 100 |
| 黄循博 | 功能测试及现场实施组 | 男 | 1997.02 | 中级工程师 | 计算机科学与工程 | 测试工程师 | 100 |
| 高卫东 | 功能测试及现场实施组 | 男 | 1991.09 | 中级工程师 | 轻化工程 | 测试工程师 | 100 |
| 杨佩 | 功能测试及现场实施组 | 男 | 1991.12 | 中级工程师 | 计算机科学与技术 | 实施工程师 | 50 |
| 姚赛 | 功能测试及现场实施组 | 男 | 1990.12 | 中级工程师 | 物理学 | 实施工程师 | 50 |

* 1. **实验室条件**

**1）软件开发环境**

* 后端

核心框架：SpringCloud与Spring Boot

安全框架：Apache Shiro

模板引擎：Thymeleaf

持久层框架：MyBatis

数据库连接池：Alibaba Druid

缓存框架：Ehcache 、Redis

日志管理：SLF4J

工具类：Apache Commons、Jackson

* 前端

css框架 NG-ZORRO

JS框架：jQuery，Vue

客户端验证：JQuery Validation

富文本在线编辑：summernote

数据表格：bootstrapTable

弹出层：layer

树结构控件：jsTree

* 平台

服务器中间件：SpringBoot内置。

数据库支持：目前仅提供MySql数据库的支持，但不限于数据库。

开发环境：Java、Idea 、Maven 、Git。

开发语言：系统采用Java 语言开发，具有卓越的通用性、高效性、平台移植性和安全性。

* 大数据平台

分布式系统基础架构：Hadoop、Hbase、Hive、Spark、FLink、Zookeeper

中间件：MQTT，RabbitMQ、

语言：Scala、Java与Python

* 系统软件

操作系统：CentOS7.4以上、Windows7以上或Ubuntu17以上版本

运行环境：JRE1.8\*

**2）服务器及工作站**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **硬件名称** | **类型/配置** | **数量**  **（台）** |
| 1 | 应用服务器 | 内存：64G  CPU：2\*(6C 1.9G)  硬盘总容量：2T | 2 |
| 2 | 数据服务器 | 内存：64G   CPU：2\*(6C 1.9G)   硬盘总容量：20T | 2 |
| 3 | 数据分析服务器 | 内存：64G   CPU：2\*(6C 1.9G)  硬盘总容量：4T | 1 |
| 4 | 应用发布服务器 | 内存：32G   CPU：1\*(6C 1.9G)   硬盘总容量：2T | 1 |
| 5 | 数据采集服务器 | 内存：64G   CPU：2\*(6C 1.9G)   硬盘总容量：4T | 1 |
| 6 | 移动工作站 | 14英寸，英特尔11代酷睿 i7 CPU，32G DDR4，500GB PCIe固态硬盘，千兆网卡，2G显存独立显卡 | 8 |

* 1. **理论研究环境**

聚焦综合能源能力平台和业务平台的建设，包括关键技术研究、核心产品研发、集成解决方案以及综合能源服务等核心竞争力的构建。

以装备制造、冶金等行业和工业园区为切入点，围绕“多能源品类、多流程环节、多技术融合“技术主线，通过对工艺优化节能降碳、冷热电气氢多能耦合、余热余压余气优化，以及运行态系统节能、智能运维托管等多重举措，满足客户深度节能提效减碳降本的综合诉求，打造首个或首批典型示范项目。

通过科技投资或股份合作方式，从技术、产品、市场、团队等方面进行能力导入，快速构建集团级集成支撑服务能力，形成标准化、高复用的解决方案和核心产品，助力集团纵向技术升级和横向业务拓展。旨在打造中国一流的智慧综合能源解决方案公司，树立国内综合能源及能源消费行业的领导地位。牵头并制定国家综合能源相关标准，引领行业健康、稳健、快速发展，为加速落实我国“双碳目标”落地，促进我国能源消费升级、建设能源强国贡献力量。

1. **项目的进度安排**

| 序号 | 时间段 | 内 容 |
| --- | --- | --- |
|  | 2023年9月— 2023年9月 | (1)项目科研立项，项目启动；  (2)招标与采购。 |
|  | 2023年10月—2023年12月 | (1)完成基于多行业泛化生产工艺中能耗模型构建方法；  (2)完成多行业生产工艺用能源荷优化调控方法；  (3)完成行业生产特征及规律的长周期生产用能模拟；  (4)完成工艺节能与多能耦合的优化调度系统。 |
|  | 2024年1月—2024年1月 | (1)项目中期评审，评估项目完成情况；  (2)审核项目资金使用情况，撰写中期报告，做中期工作汇报和总结。 |
|  | 2024年1月—2024年4月 | (1)完成基于现场采集数据的生产数据拟合方法；  (2)完成能源公辅设备黑盒模型与白盒模型研究；  (3)完成基于生产用能云-边-端协同控制方法；  (4)完成工艺节能与多能耦合的优化调度系统开发。 |
|  | 2024年2月—2024 年4月 | (1)基于云平台训练学习的小模型边缘智能控制终端研发（制冷场景、供热场景、空压场景） |
|  | 2024年2月—2024年4月 | 专利申请；软件著作权申请； |
|  | 2024年5月—2024年5月 | 撰写结题报告，结题工作汇报和总结，各项成果验收。 |

1. **项目经费预算**

单位：万元

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **科目名称** | **预算金额** | **2023年** | **2024年** | **2025年** | **备注** |
| **（一）直接费** | 107 | 56 | 51 | 0 |  |
| 1.人工费 | 79 | 30 | 49 | 0 |  |
| （1）专职研究人员人工费 | 79 | 30 | 49 | 0 |  |
| （2）劳务外包人员人工费 | 0 | 0 | 0 | 0 |  |
| （3）临时性研究人员人工费 | 0 | 0 | 0 | 0 |  |
| 2.设备使用、购置费 | 24 | 24 | 0 | 0 |  |
| （1）仪器设备使用、购置费 | 24 | 24 | 0 | 0 | 附件1 |
| （2）软件使用、购置费 | 0 | 0 | 0 | 0 |  |
| 3.业务费 | 4 | 2 | 2 | 0 |  |
| （1）材料费 | 0 | 0 | 0 | 0 |  |
| （2）资料、印刷及知识产权费 | 2 | 1 | 1 | 0 |  |
| （3）会议、差旅及国际合作交流费 | 2 | 1 | 1 | 0 |  |
| 4.场地使用费 | 0 | 0 | 0 | 0 |  |
| （1）场地物业费 | 0 | 0 | 0 | 0 |  |
| （2）场地使用租金 | 0 | 0 | 0 | 0 |  |
| 5.专家咨询费 | 0 | 0 | 0 | 0 |  |
| **（二）间接费** | 0 | 0 | 0 | 0 |  |
| **（三）外委支出费** | 753 | 217 | 464 | 72 |  |
| 1.外委合作研究支出费 | 723 | 217 | 434 | 72 | 附件3 |
| 2.仪器设备租赁费 | 0 | 0 | 0 | 0 |  |
| 3.外协测试试验与加工费 | 30 | 0 | 30 | 0 | 附件4 |
| **（四）税金** | 0 | 0 | 0 | 0 |  |
| **合 计** | 860 | 273 | 515 | 72 |  |

1. **审查意见**

|  |
| --- |
| 项目负责人意见  签字： 日期： |
| 项目管理岗意见  签字： 日期： |
| 分管副院长意见  签字： 日期： |
| 院长意见  签字： 日期： |

**附件1 仪器、设备使用预算明细表（单价5万元以上）**

单位：万元

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **设备**  **名称** | **设备**  **型号** | **单　价**  **(万元/台件)** | **数量**  **（台件）** | **总价** | **生产国别与地区** | **隶属单位** | **设备状况及主要性能指标** | **购置时间** | **使用费计取单价** |
| 1 | 应用服务器 | / | 2 | 2 | 4 | 国产 | 中国电气装备集团科学技术研究院有限公司 | 内存：64G CPU：2\*(6C 1.9G) 硬盘总容量：2T | 2023年 | / |
| 2 | 数据服务器 | / | 3 | 2 | 6 | 国产 | 中国电气装备集团科学技术研究院有限公司 | 内存：64G CPU：2\*(6C 1.9G) 硬盘总容量：20T | 2023年 | / |
| 3 | 数据分析服务器 | / | 2 | 1 | 2 | 国产 | 中国电气装备集团科学技术研究院有限公司 | 内存：64G CPU：2\*(6C 1.9G) 硬盘总容量：4T | 2023年 | / |
| 4 | 应用发布服务器 | / | 2 | 1 | 2 | 国产 | 中国电气装备集团科学技术研究院有限公司 | 内存：32G CPU：1\*(6C 1.9G) 硬盘总容量：2T | 2023年 | / |
| 5 | 数据采集服务器 | / | 2 | 1 | 2 | 国产 | 中国电气装备集团科学技术研究院有限公司 | 内存：64G CPU：2\*(6C 1.9G) 硬盘总容量：4T | 2023年 | / |
| 6 | 移动工作站 | / | 1 | 8 | 8 | 国产 | 中国电气装备集团科学技术研究院有限公司 | 14英寸，英特尔11代酷睿 i7 CPU，32G DDR4，500GB PCIe固态硬盘，千兆网卡，2G显存独立显卡 | 2023年 | / |
| **累计** | | / | / | / | 24 | / | / | / | / | / |

**附件2** **材料费预算明细表（总价5万元以上的材料）**

单位：万元

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **材料名称** | **规格或型号** | **计量单位** | **单 价**  **（万元/单位数量）** | **材料费用** | **经费列支** |
| / | / | / | / | / | / | / |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **总价5万元以上材料合计** | |  |  |  |  |  |
| **其他材料** | |  |  |  |  |  |
| **累 计** | |  |  |  |  |  |

注：表中应包括：材料原价、供销部门手续费、包装费、运杂费、采购及保管费等内容。

**附件3 外委研究支出预算明细表**

单位：万元

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **协作研究任务名称** | **协作研究任务内容** | **协作研究任务承担单位** | **经费列支** |
| 1 | 工艺节能与多能耦合的规划仿真系统的研发 | 内容1：基于现场采集数据的生产数据拟合方法；  内容2：能源公辅设备黑盒模型与白盒模型研究；  内容3：基于生产用能云-边-端协同控制方法。 | 待定 | 288 |
| 2 | 工艺节能与多能耦合的优化调度系统的研发 | 内容1：基于多行业泛化生产工艺中能耗模型构建方法；  内容2：多行业生产工艺用能源荷优化调控方法；  内容3：行业生产特征及规律的长周期生产用能模拟。 | 待定 | 327 |
| 3 | 基于云平台训练学习的小模型边缘智能控制终端的研发 | 内容1：研究针对特定场景（制冷、空压、供热等）的基于云平台系统训练学习生成的小模型；  内容2：研究端-云协同框架下端模型和云模型的协同机理；  内容3：研究边缘智能控制终端硬件产品设计，并针对特定场景闭环应用实践，支持将算法模型下发，部署到DCS或SCADA等工业控制系统。 | 待定 | 108 |
| 累 计 | | | | 723 |

分四期支付，节点如下：

* 签订合同后预付：2023年10月，支付比例30%；
* 中期验收：2024年1月，支付比例30%；
* 项目终验：2024年5月，支付比例30 %；
* 质保期结束：2025年5月，支付比例10%。 **附件4 外协测试试验与加工费预算明细表（量大或价高的外协测试试验与加工项目）**

单位：万元

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **外协测试试验与加工的内容** | **外协测试化验与加工单位** | **计量**  **单位** | **单价（万元/单位数量）** | **外协测试化验与加工费用** | **经费**  **列支** |
| 1 | 信息安全等保评测 | / | 1 | 15 | 15 | / |
| 2 | 第三方软件评测 | / | 1 | 15 | 15 | / |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | |  |  |  |  |  |
| **其他外协测试化验与加工项目** | |  |  |  |  |  |
| **累 计** | |  |  |  | 30 |  |

附录：

可研报告补充说明材料

1. **经费预算编制依据**

编制项目经费预算，同时列出预算编制依据及说明，填写表2。

**表1：项目经费预算及依据表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **科目名称** | **预算经费**  **（万元）** | **经费预算依据及说明** |
| **（一）直接费** | **107** | / |
| 1.人工费 | 79 | / |
| （1）专职研究人员人工费 | 79 | / |
| （2）劳务外包人员人工费 | 0 | / |
| （3）临时性研究人员人工费 | 0 | / |
| 2.设备使用费 | 24 | / |
| （1）仪器设备使用费 | 24 | / |
| （2）软件使用费 | 0 | / |
| 3.业务费 | 4 | / |
| （1）材料费 | 0 | / |
| （2）资料、印刷及知识产权费 | 2 | / |
| （3）会议、差旅及国际合作交流费 | 2 | / |
| 4.场地使用费 | 0 | / |
| （1）场地物业费 | 0 | / |
| （2）场地使用租金 | 0 | / |
| 5.专家咨询费 | 0 | / |
| **（二）间接费** | **0** | / |
| **（三）外委支出费** | **753** | / |
| 1.外委研究支出费 | 723 | / |
| 2.仪器设备租赁费 | 0 | / |
| 3.外协测试试验与加工费 | 30 | / |
| **（四）税金** |  | / |
| 合 计 | **860** | / |

其中外委研究支出费支出明细如下：

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **平台名称** | **应用名称** | **类型/配置** | **投入资源** | **数量**  （人天） | **单价**  （万元） | **费用**  （万元） |
| 1 | 工艺节能与多能耦合的规划仿真系统 | 图模一体化组态工具 | 可视化拓扑绘制、设备实例操作、实时状态展示和分析等 | 高级技术人员 | 100 | 0.2 | 20 |
| 2 | 中级技术人员 | 175 | 0.16 | 28 |
| 3 | 基础支撑底座 | 高复用的数据库、模型库、知识库、案例库 | 高级技术人员 | 200 | 0.2 | 40 |
| 4 | 中级技术人员 | 200 | 0.16 | 32 |
| 5 | 综合能源规划态仿真工具 | 规划仿真引擎 | 高级技术人员 | 340 | 0.2 | 68 |
| 6 | 中级技术人员 | 175 | 0.16 | 28 |
| 7 | 规划仿真系统高级应用 | 1）数据仓储管理，2）能效拟合，3）机理模型库，4）规划仿真，5）可视化分析及报告 | 高级技术人员 | 200 | 0.2 | 40 |
| 8 | 中级技术人员 | 200 | 0.16 | 32 |
| 9 | 工艺节能与多能耦合的优化调度系统 | 基于工艺节能与多能耦合优化调度服务引擎 | 优化调度服务引擎 | 高级技术人员 | 400 | 0.2 | 80 |
| 10 | 中级技术人员 | 100 | 0.16 | 16 |
| 11 | 基于微服务应用的物联与大数据管理 | 技术底座 | 高级技术人员 | 180 | 0.2 | 36 |
| 12 | 中级技术人员 | 75 | 0.16 | 12 |
| 13 | 优化调度系统高级应用 | 1）多能流负荷及需量预测，2）综合能源建模调用，3）综合能源动态优化，4）专家经验人工设置，5）调度计划执行监测，6）计划方式管理，7）优化目标校核&指标性评价 | 高级技术人员 | 200 | 0.2 | 40 |
| 14 | 中级技术人员 | 200 | 0.16 | 32 |
| 15 | 满足工艺节能与多能耦合需求的数字化产品矩阵 | 1）面向工艺节能的能源智能监测高级应用，2）面向工艺节能的多能流运行监控高级应用，3）计量结付，4）面向工艺节能的智慧运维高级应用，5）碳排放管理，6）面向工艺节能的优化调控高级应用 | 高级技术人员 | 395 | 0.2 | 79 |
| 16 | 中级技术人员 | 200 | 0.16 | 32 |
| 17 | 基于云平台训练学习的小模型边缘智能控制终端 | 制冷系统边缘智能控制终端 | 软件及硬件一体 | 高级技术人员 | 120 | 0.2 | 24 |
| 18 | 中级技术人员 | 75 | 0.16 | 12 |
| 19 | 供热系统边缘智能控制终端 | 软件及硬件一体 | 高级技术人员 | 120 | 0.2 | 24 |
| 20 | 中级技术人员 | 75 | 0.16 | 12 |
| 21 | 空压系统边缘智能控制终端 | 软件及硬件一体 | 高级技术人员 | 120 | 0.2 | 24 |
| 22 | 中级技术人员 | 75 | 0.16 | 12 |
| **合计** | | | | | **723万元** | | |

1. **任务及经费分解方案**

**表2：项目任务及经费分解表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **研究任务** | **承担单位** | **研究经费** |
| 负责整个课题的规划、组织和协调,协助团队成员进行研究工作,并监督项目进展和达成研究目标。软著及专利的撰写及申请。 | 中国电气装备集团科学技术研究院有限公司 | 79万元 |
| 协助完成关键技术的研究及项目的实施；对系统设计、开发、测试、安装及调试。 | 中国电气装备集团科学技术研究院有限公司 | 723万元 |

1. **示范应用情况**

暂无。

1. **申报合作协议**

暂无。

1. **组织管理方式**

暂无。

1. **其它需要说明的事项**

暂无。