

副 本

甲方合同编号: 202103368

乙方合同编号: _____




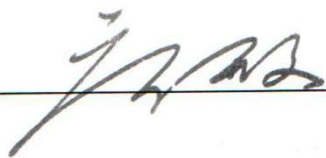
并网友好型风光储场站群智慧联合 调控运维关键技术研究项目合同

甲 方: 中国长江三峡集团有限公司

乙 方: 华北电力大学

签约地点: 北京

签约时间: 2021 年

甲方	 中国长江三峡集团有限公司 (盖章)	法定代表人	
		委托代理人	
开户银行	中国工商银行股份有限公司 三峡临江支行	帐 号	00102460275410
税 号	91110000100015058K	电 话	010-57081502
地 址	北京市海淀区玉渊潭南路 1 号		
签订日期	2021 年 6 月 17 日		
乙方	 华北电力大学 (盖章)	法定代表人	
		委托代理人	
开户银行	建设银行北京沙河支行	帐 号	11001016000056055041
税 号	1210000040000983X8	电 话	010-61772000
地 址	北京市昌平区朱辛庄北农路 2 号		
签订日期	2021 年 6 月 17 日		

为做好 并网友好型风光储场站群智慧联合调控运维关键技术研究 工作，中国长江三峡集团有限公司（以下简称甲方）委托 华北电力大学（以下简称乙方）开展“并网友好型风光储场站群智慧联合调控运维关键技术研究”科研工作。

根据《中华人民共和国民法典》及有关的法律规定，结合项目具体情况，双方本着自愿平等、互利和诚实信用的原则，经充分协商一致，订立本科研项目合同，并由双方共同遵守。

一、本协议中所用术语的含义与下文提到的合同条款中相应术语的含义相同。

二、下列文件应作为本合同协议书的组成部分：

1. 合同协议书及有关补充资料（如果有）；
2. 合同谈判备忘录（包括澄清材料）；
3. 成交通知书；
4. 经评审确认的具有标价的《报价表》；
5. 合同条款；
6. 技术条款；
7. 报价文件（包括投标辅助资料）；
8. 图纸（包括设计说明及技术文件）；
9. 其他任何组成合同的文件（包括采购文件第 1 章）。

三、项目名称、内容及解决主要问题：

项目名称:并网友好型风光储场站群智慧联合调控运维关键技术研究

项目内容及解决问题：智慧控制：（1）研究风光储场站的实时协调控制技术，解决风光储场站多种运行模式下的优化控制问题，解决经济最优、最大出力、调频、调压等多目标协同的控制问题；研究风光储场站的实时监测方法与保护新原理，解决风光储场站缺乏同步监测技术及传统保护无法适用的问题；（2）研究风光储场站群的智能优化调控技术，突破场站群协同优化控制、场站群惯量与一次调频能力评估与优化、市场模式下场站群优化调控技术，重点解决风光储场站群的并网友好性、控制协同性、系统稳定性、生产经济性等问题。

智慧运维：（1）研究区域风电场群功率集中式预测模型与机组诊断预警技术，开发高精度集中功率预测与机组智能诊断维护系统并示范应用；（2）研究大规模风电场效能评价与流场精细化模拟技术，开发风电场智能运维效能评价软件和流场精细化数值模

拟软件并示范应用；（3）研究光伏场站效能评价体系与全寿命周期故障表征方法，开发云团 3D 识别系统和太阳辐照各向异性模型，开发光伏发电智能诊断和预测性维护系统并示范应用；（4）研究光伏组件增效技术，掌握光伏电池能损过程追踪和优化设计方法，开发光伏组件增效的新产品、新装置和增效评估方法；（5）研究新能源场站输变电设备绝缘状态高可靠感知与诊断技术，解决大规模新能源电站关键输变电装备绝缘健康状态及时、准确诊断与评估的难题。

以上研究内容分为七个子课题，分别对应智慧控制 2 条，智慧运维 5 条，内容详见技术标准和要求部分。综合以上研究内容，系统解决乌兰察布并网友好型风光储场站群智慧联合调控运维关键技术问题。

四、甲方的权利和义务

1. 审定科研项目立项方案，负责协调相关科研项目实施的边界条件，并根据需要告知乙方。
2. 负责向乙方提供开展科研工作必需的、应由甲方负责的相关资料，但仅限于乙方在本项目使用，并保密。
3. 在本合同的执行过程中，协调乙方与本合同相关方的关系。
4. 根据实际情况，对年度科研工作计划做出调整，并告知乙方。
5. 对科研项目开展监督检查工作。
6. 甲方应在乙方提出项目中间成果和验收申请后，组织进行项目中间成果检查和验收。
7. 按时向乙方支付合同费用。
8. 甲方派遣科研人员或工程技术人员全程参与科研，甲方到乙方开展学术交流、参与共同研究，甲方需要乙方开放研发、测试与应用环境。

五、乙方的权利和义务

1. 根据本项目研究的内容、解决的主要问题和技术要求，在项目实施前提交项目科研大纲，报甲方审核。
2. 用于科研项目的仪器设备在使用前，需进行检验，合格后方可投入使用。科研项目实施过程中须做好原始记录，原始记录上须有操作人、分析人和校核人的签名。
3. 负责开展合同规定工作所需资料的收集，配合甲方做好相关工作。
4. 做好科研项目质量控制工作，若甲方对数据存在异议，乙方应按甲方要求开展复

核。

5. 按照本合同第六条规定向甲方提交相关成果,并按照甲方档案管理规定将全部合同项目文件资料向甲方归档移交。合同执行过程中,乙方应按照甲方要求的阶段性时间节点,向甲方提交阶段性成果和报告,汇报项目研究进展情况,并提出下一步计划。

6. 接受甲方对科研成果的审查和对工作过程的监督。甲方向乙方提出工作中存在的问题,乙方应予以纠正。

7. 乙方在甲方现场进行相关工作时,应遵守甲方关于安全、管理、环保、保密等方面的相关制度。

8. 为本项目从事现场工作的人员办理意外伤害等相关保险,费用已包含在合同总金额中。乙方必须负责承担为本项目所雇人员伤亡处理和善后保障的一切费用,包括人员伤亡、财产损失的赔偿费、诉讼费等有关费用。

9. 乙方应为本项目配备符合本项目合同要求的人员。乙方保证团队人员的稳定性,如需更换团队主要成员须提前 7 日书面通知甲方,获得甲方书面同意后方可更换,更换人应具备同等的专业技术水平及相应资质。若甲方认为乙方人员不符合要求的,可以书面要求乙方对其进行更换;乙方应在收到甲方书面要求后应于 7 日内对其进行更换。

10. 提供为履行合同所必须的设备设施及专业工具,并承担相关费用。

11. 为加计扣除留存备查,按照国家有关要求,在相关科技主管部门对本合同进行登记认定。

12. 甲方派遣科研人员或工程技术人员到乙方开展学术交流、参与共同研究时,乙方须对上述人员开放研发、测试与应用环境,并提供工作与生活便利;各子课题研究过程中的关键环节,乙方应主动邀请甲方参与;本项目中乙方委托第三方进行硬件研制与系统定制时,乙方应协调第三方为甲方到第三方实地深入开展工作提供与乙方同等便利。

六、提交成果及时间

1. 合同执行期间,按甲方要求及时提交阶段成果。

2. 按照甲方要求的标准格式,编制相关报表,并协助甲方录入信息系统。

3. 在科研成果验收前 15 天向甲方提交科研专题报告(送审稿);验收后 7 天内,提交按验收意见修改完善的专题报告最终成果。

4. 成果报告应结合研究的内容、解决的主要问题和技术要求进行分析,并对成果应用效果进行评价。

5. 向甲方提交科研成果(纸质版并加盖单位章)一式 10 份,并同时提交报告的电

子版（Office 系列、AutoCAD 等）2 份（U 盘及光盘各 1 份）。提供的成果材料包括（但不限于）：工作总结报告、财务决算报告、研究成果报告（含 500 字内容摘要）、完整的技术资料（包括图、表、计算机软件及音像资料等）、其他科研成果及上述材料电子文档。

6. 在提交科研过程资料时，应同时提交原始资料 2 份（若有），并同时提交电子版（Office 系列、AutoCAD 等）。

7. 甲方将在合同工作内容完成后组织项目验收，乙方按本条款要求提交的成果资料应符合甲方验收要求。

七、履行期限和进度

1. 合同生效后，乙方即按合同内容开展工作。本合同履行期限为30个月。

2. 工作进度

课题一

（1）合同生效后 5 个月内：完成风光储场站运行模式及控制策略、宽频同步测量方法等研究；完成风光储场站实时控制技术、站域与送出线保护新原理等研究；完成风光储场站控制装置、风光储场站小型化同步测量装置、风光储场站送出线快速保护装置以及风光储场站汇集系统站域保护装置样机试制及厂内测试；完成#4 站风光储场站控制装置、风光储场站小型化同步测量装置、风光储场站送出线快速保护装置以及风光储场站汇集系统站域保护装置的现场调试、功能验收及并网投运，具备专家验收条件。

（2）合同生效后 17 个月内：完成#1~#3 站风光储场站控制装置、风光储场站小型化同步测量装置、风光储场站送出线快速保护装置以及风光储场站汇集系统站域保护装置的现场调试、并网投运，并通过专家组验收；受理风光储场站控制相关发明专利 4 项；受理同步测量与保护相关发明专利 4 项。

（3）合同生效后 29 个月内完成运行数据分析、算法完善和消缺；累计受理风光储场站控制相关发明专利 5 项；累计受理同步测量与保护相关发明专利 7 项；发表核心期刊论文 2 篇；完成并提交《风光储场站的实时协调控制与保护技术研究》技术报告 1 篇。完成相关研究目标，整理研究成果，进行结题准备。结题验收，完成项目要求的所有考核指标。

课题二

（1）合同生效后 5 个月内：完成风光储场站群集群特性、灵活性调控模型、频率响应模型以及参与多元电力市场交易的动态风险收益特性评估等研究；完成风光储场站

群协同优化调控模型与快速求解算法、惯量与一次调频能力评估与优化以及参与多元电力市场交易的多场群协调控制技术研究；完成风光储场站群智能化协同调控软件系统的开发；完成场群协同优化控制模块的算法、场群惯量与一次调频能力评估模块的算法、市场模式下的场群优化调控模块的算法集成及厂内测试；完成风光储场站群智能优化调控软件实验室原型系统并进行半实物仿真验证；完成#4 站风光储场站群智能优化调控装置的现场调试、功能验收及并网投运，具备专家验收条件；

(2) 合同生效后 17 个月内完成#1~#3 站风光储场站群智能优化调控装置的现场调试及并网投运，并通过专家组验收；受理风光储场站群智能优化调控相关发明专利 5 项；发表核心期刊论文 1 篇。

(3) 合同生效后 29 个月内完成运行数据分析、算法完善和消缺；累计受理风光储场站群智能优化调控相关发明专利 7 项；累计发表核心期刊论文 2 篇；获得软件著作权 1 项；完成并提交企业标准送审稿《并网友好风光储场站群调控技术规范》1 项；完成并提交《并网友好的风光储场站群智能优化调控技术研究》技术报告 1 份。完成相关研究目标，整理研究成果，进行结题准备。结题验收，完成项目要求的所有考核指标。

课题三

(1) 合同生效后 5 个月内，1) 完成数值天气预报双层修正模型的算法编写工作；完成短期功率预测所需的时空预测模型算法编写工作；完成超短期功率预测所需的时空滚动的功率预测模型算法编写工作；完成各部分算法集成工作，确定系统架构，研发区域风电场群集中式功率预测系统；在现场完成系统部署及场内测试、调试工作；2) 完成故障诊断项目研究方案的规划部署，开发完成算法数量的 90%，并进行算法的封装。

(2) 合同生效后 11 个月内，1) 保证区域风电场群集中式功率预测系统试运行期间安全可靠运行，符合验收条件；受理风功率预测相关的发明专利 2 项；2) 完成所有故障诊断项目算法的现场部署，包括基于 SCADA 数据的 AE 预警模型；发电机定子绕组温度异常预警模型；基于 CMS 的齿轮箱行星级故障特征提取及故障诊断模型；基于 CMS 的齿轮箱中高速级故障特征提取及故障诊断模型；基于 SCADA 数据的风机变桨系统状态监测模型等 20 个模型+1 个数据库，在现场进行调试，并反馈修正。完成故障诊断项目 1 项发明专利申请。

(3) 合同生效后 29 个月内，完成本课题要求的所有考核指标，提供源程序及代码，整理研究成果，进行结题验收。

课题四

(1) 合同生效后 11 个月内，组织专家评审，完成风电机组异常运行数据动态辨识及重构、缺失数据插补算法；完成基于物理机理和统计特征的风电机组运行状态及性能识别算法；完成基于数据分布同化的多风电机组运行状态辨识及性能识别算法；申请运维效能评估相关发明专利 1 项；发表运维效能评估相关一般刊物及会议论文 1 篇。完成不同布机方式风电场的高精度数值模拟，揭示风电场和大气边界层的交互作用，完成风电场的等效模型，在典型排布方式下模型精度较 Frandsen 模型、Lattau 模型、Calaf 模型提高精度 10%，风电场等效模型相关发明专利受理数不少于 1 项。

(2) 合同生效后 17 个月内，组织专家评审，项目初验。构建基于时间维度、空间维度和指标维度的风电场智能运维效能评价指标体系；完成各部分核心算法编写及集成工作，研发一套风电场智能运维效能评价软件模块并完成在线投运；申请运维效能评估相关发明专利 1 项。完成等效模型嵌套，发展风电基地高精度数值模拟方法，风电基地模拟精度高于现有尾流叠加模型 5%，关于风电场尾流或风电机组精细化计算的发明专利受理不少于 1 项，关于风电基地数值模拟技术报告不少于 1 篇。

(3) 合同生效后 29 个月内，完成本课题要求的所有考核指标，提供源程序及代码，整理研究成果，进行结题验收。

课题五

(1) 合同生效后 10 个月内，子任务 1：完成基于相关性原理与数据驱动的光伏场站出力特性分析及模拟方法，完成光伏发电功率短期、超短期与分钟级预测方法关键技术攻关及相关内容，提出基于运动矩阵能量函数的光伏发电功率超短期与分钟级预测方法，提出面向气象波动过程的光伏发电功率多时空尺度概率预测方法。关于光伏发电功率预测技术发明专利受理不少于 3 项，关于光伏发电功率超短期与分钟级预测论文不少于 1 篇、软件著作权不少于 1 项。工程节点：完成区域光功率预测模块设计方案，算法集成，现场部署，现场全部功能运行测试。子任务 2 和 3：系统提出光伏电站核心关键设备-系统多层级多维度综合性能评价方法；掌握故障条件下光伏电站核心关键设备输出数据特性并实现特征提取，实现典型故障条件下光伏阵列输出数据的不确定性表达，系统提出光伏阵列故障诊断及预测性维护方法；完成光伏场站智能运行效能评价关键技术攻关及相关研究内容；完成光伏场站智能故障诊断关键技术攻关，关于光伏场站智能运行效能评价和故障诊断发明专利受理不少于 3 项，关于光伏场站智能运行效能评价和故障诊断论文不少于 2 篇，关于光伏场站智能运行效能评价和故障诊断技术报告不少于 2 篇。工程节点：完成光伏场站效能评价和故障诊断模块设计方案，完成功能模块初步

封装和现场测试，完成#4 厂区功能算法初步验收。子任务 4：开发云团的多摄像头信息融合算法，实现云团的 3D 识别与重构，实现云团位置、方向的预报，实验室可展示的硬性成果，完成首套多目视觉云团识别的程序代码，开发首套雾霾天气下的太阳散射辐照精细观测方法以及硬件系统（首台套）。建立太阳直接辐照、散射辐照的空间强度模型，实现雾霾天气下的太阳直接辐照、散射辐照天空分布精细测算。太阳跟踪、辐照观测相关发明专利受理不少于 1 项，太阳辐照精细测量论文不少于 1 篇。

（2）合同生效后 17 个月内，子任务 1：完成光伏功率预测评价体系与考核指标提升方法研究，完成光伏电站快速协同响应能力分析研究方法研究，完成验收专家组初验，完成初验结论整改工作，完成科技项目全部科研成果转化和示范应用验收。光伏发电功率预测技术发明专利受理不少于 2 项，光伏发电功率预测性能评价与响应能力研究发明专利受理 2 项，光伏发电功率预测与性能评价论文不少于 2 篇。工程节点：完成#1-3 厂区部署测试和调试。子任务 2 和 3：光伏场站智能运行效能评价和故障诊断算法部署，完成现场光伏场站智能运行效能评价软件模块和光伏场站设备智能诊断维护软件模块系统调试工作（两个首台套），完成验收专家组初验，完成初验结论整改工作，完成科技项目全部科研成果转化和示范应用验收，完成专家组终验。工程节点：#1-3 厂区部署调试和验收。子任务 4：完成云团 3D 重构、太阳辐照、光伏场站的 3D 可视化互动；完成光伏组件数字化开发，发表论文 1 篇，专利受理 1 项；可现场展示的硬性成果：完成云团 3D 重构的软硬件系统，并与太阳辐照精细测量系统联立工作。完成验收专家组初验，完成初验结论整改工作，完成科技项目全部科研成果转化和示范应用验收，完成专家组终验。

（3）合同生效后 29 个月内，子任务 1：完成相关研究目标，整理研究成果，进行结题准备，关于光伏发电功率预测、性能评价及软件和系统开发研究技术报告不少于 1 篇。完成结题验收，完成项目要求的所有考核指标。子任务 2 和 3：完成相关研究目标，整理研究成果，进行结题准备。结题验收，完成项目要求的所有考核指标。工程节点：#1-4 模块完善。子任务 4：完成相关研究目标，整理研究成果，受理发明专利 1 项，发表论文 1 篇，进行结题准备。结题验收，完成项目要求的所有考核指标。完成技术报告 1 份。

课题六

（1）合同生效后 10 个月内，子任务 1：合同生效 6 个月内完成光伏器件的工作原理推导，完成光伏器件的光电协同建模，合同生效 10 个月内完成光伏器件全物理过程

建模。子任务 2：合同生效 6 个月内完成光伏电池能量损失过程理论分析；合同生效 10 个月内完成固定热源输入光伏电池温度分布数值模拟，受理专利不少于 1 件；子任务 3：合同生效 6 个月内完成存量光伏组件增效数值模拟设计；合同生效 10 个月内完成新型光伏电池增效基础研究工作，电池效率超过 21.5%；进行透明电极制备工艺优化，发表论文不少于 1 篇；完成电力输出光伏-光热一体化系统设计和部分数值模拟工作，系统的设计热电综合效率超过 50%，受理专利不少于 1 件。

（2）合同生效后 17 个月内，子任务 1：合同生效 12 个月内完成光伏电池增效设计数值模拟软件算法设计；合同生效 17 个月内完成光伏电池增效设计数值模拟软件模块平台搭建，光吸收和电池效率预测结果与现有软件预测结果误差小于 10%；实现国内首套太阳电池光电热协同模拟的软件模块；实现能损和温度分布微尺度定量预测；发表论文不少于 1 篇，专利受理不少于 1 件。子任务 2：合同生效 12 个月内完成光伏电池微尺度分布与热源分布、效率之间的关联研究；合同生效 17 个月内建立光伏组件健康状态评价方法；发表论文不少于 1 篇；子任务 3：合同生效 12 个月内完成存量光伏组件增效装置开发，专利受理不少于 2 件；合同生效 17 个月内完成新型光伏电池器件开发测试，钙钛矿太阳电池实验室转换效率高于 22%；完成一种半透明器件开发，专利受理不少于 1 件；完成光伏-光热系统原理研究和设计、光伏光热一体化器件首台套样机试制，发表论文不少于 1 篇，专利受理不少于 2 件。

（3）合同生效后 29 个月内，子任务 1：合同生效 20 个月内完成光伏电池增效设计数值模拟软件模块的运行测试；合同生效 29 个月内完成光伏电池增效设计数值模拟软件模块首台套认证，完成技术报告 1 份。子任务 2：合同生效 20 个月内完成光伏电池能损过程分析，确定关键影响因素；合同生效 29 个月内完成光伏电池能损优化设计，与光伏组件实测数据的拟合曲线比较，误差小于 10%，专利受理不少于 1 件；完成技术报告 1 份。子任务 3：合同生效 20 个月内完成新型光伏电池器件稳定性研究，完成新型低成本、高效率、高稳定太阳电池器件首台套认证，钙钛矿电池效率高于 22%，稳定性测试可实现 2000 小时老化后效率衰减小于 20%；合同生效 29 个月内完成光伏-光热系统电热输出稳定性的评估，完成光伏-光热一体化器件样机首台套认证，测试光伏-光热一体化器件样机的热电综合转换效率高于 50%，专利受理不少于 2 件；完成存量光伏组件增效装置测试和首台套认证，可使商业化光伏组件在 40℃以上环境温度下的发电量提升 1%，专利受理不少于 1 件；完成 1~2 种红外透过率大于 70%的新型高效太阳电池材料器件开发。完成技术报告 1 份。完成相关研究目标，整理研究成果，完成项目要求的所

有考核指标，进行结题验收。

课题七

(1) 合同生效后根据工程进度，完成电缆、开关柜、GIS、变压器四类设备绝缘缺陷信号的时空分布特征、频谱特征攻关，给出传感器优化设计、安装布局依据，研制完成电缆、开关柜、GIS、变压器四类设备绝缘状态高可靠感知装置，并完成现场安装调试。

(2) 根据工程进度，完成四类设备绝缘状态诊断高级应用模块设计方案，完成四类设备绝缘故障发展过程中的信号演化规律试验，完成四类设备绝缘故障发展过程中的信号特征提取，开发四类设备绝缘状态诊断高级应用模块，在乌兰察布智慧联合集控中心一体化平台安装应用绝缘状态诊断高级应用模块并完成现场调试。受理发明专利申请4项。

(3) 根据工程进度，完成四类设备绝缘状态感知装置与诊断模块的数据分析，完成抗干扰、诊断技术优化研究，优化升级抗干扰、诊断模块，完成安装绝缘状态诊断高级应用模块的升级版本，完成数据分析开展四类设备绝缘状态感知装置与诊断模块的数据分析并现场测试，撰写完成验收报告1份。受理发明专利8件，发表或录用核心期刊论文4篇，完成四类设备《高温差恶劣环境新能源场站输变电设备绝缘状态高可靠感知与故障诊断预测关键技术研究》技术报告1套，提交《新能源场站35kV开关柜内置式高频局放检测导则》企业标准送审稿1篇，完成样本数据库4个，完成专家组验收。

乙方按上款规定时间开展工作并及时向甲方提交有关阶段成果和技术书文件，包括但不限于技术方案、设计图纸、详细设计文档、过程技术资料、程序源代码、测试与验证资料等。

八、合同金额与支付

1. 本合同总价款为：人民币（大写）玖仟伍佰壹拾伍万玖仟玖佰肆拾元壹角壹分（¥95,159,940.11）。其中，税前总价：人民币（大写）玖仟贰佰叁拾捌万捌仟贰佰玖拾壹元叁角柒分（¥92,388,291.37），销项增值税额：人民币（大写）贰佰柒拾柒万壹仟陆佰肆拾捌元柒角肆分（¥2,771,648.74），增值税税率：3%。

本合同为固定总价，在本合同履行过程中均固定不变（国家财税政策调整除外）。合同执行过程中，如发生国家财税政策调整，本合同不含税价不因增值税税率变化而调整，增值税税额将随适用的增值税税率调整而同步调整，合同含税总价相应调整。

2. 税费：乙方应按有关法律、法规的规定缴纳相关税费，乙方应缴纳的税费均包

括在合同价格中。

3. 支付方式:

合同生效后, 甲方按如下进度向乙方支付合同费用:

(1) 合同生效后, 乙方提交科研大纲并经甲方审核批准后, 甲方按签约合同总价的 10%向乙方支付合同价款, 共计人民币(大写)玖佰伍拾壹万伍仟玖佰玖拾肆元零壹分(¥95,159,94.01)。

(2) 项目每一个子课题完成对应考核指标一(见考核指标附表)后甲方按签约合同对应子课题总价的 20%向乙方支付合同价款, 共计人民币(大写)壹仟玖佰零叁万壹仟玖佰捌拾捌元零贰分(¥19031988.02)。

(3) 项目每一个子课题完成对应考核指标二(见考核指标附表)后甲方按签约合同对应子课题总价的 30%向乙方支付合同价款, 共计人民币(大写)贰仟捌佰伍拾肆万柒仟玖佰捌拾贰元零叁分(¥28547982.03)。

(4) 项目结题验收完成且按合同要求向甲方提交相关档案资料后, 乙方向甲方提供金额为合同总价 10%的质量保函, 甲方向乙方支付合同剩余价款, 共计人民币(大写)叁仟捌佰零陆万叁仟玖佰柒拾陆元零肆分(¥38063976.04)。

(5) 质保期结束后, 乙方向甲方提交质保结束申请, 经甲方验收合格同意后, 甲方在 30 个工作日内退还乙方质保函。

(6) 每期支付前, 乙方应向甲方提交支付申请书, 并根据甲方相关要求办理支付手续, 支付时, 乙方应向甲方提交满足甲方财务部门要求的相关增值税专用发票或其他票据。甲方在完成相关手续后 30 个工作日内向乙方支付当期合同价款。

质保期: 质保期限为合同结束后两年, 乙方需要在质保期限内完成科研合同内约定的后续成果, 包括但不限于, 工程模块的维护、发明专利的授权、国家及省部级奖励的申报、标准送审的工作。

考核指标附表

子课题	指标一	指标二
课题一	完成风光储场站运行模式及控制策略、宽频同步测量方法等研究; 完成风光储场站实时控制技术、站域与送出保护新原理等研究; 完成风光储场站控制装置、风光储场站小型化同步测量装置、风光储场站送出线快速保护装置以及风光储场站汇集系统站域保护装置样机试制及厂内测试; 完成#4 站风光储场站控制装置、风光储场站小型化同步测量装置、风光储场站送出线快速保护装置以及风光储场站汇集系统站域保护装置的现场调试、功能验收及并网投运, 具备专家验收条件	完成#1~#3 站风光储场站控制装置、风光储场站小型化同步测量装置、风光储场站送出线快速保护装置以及风光储场站汇集系统站域保护装置的现场调试、并网投运, 并通过专家组验收; 受理风光储场站控制相关发明专利 4 项; 受理同步测量与保护相关发明专利 4 项

课题二	完成风光储场站集群特性、灵活性调控模型、频率响应模型以及参与多元电力市场交易的动态风险收益特性评估等研究；完成风光储场站协同优化调控模型与快速求解算法、惯量与一次调频能力评估与优化以及参与多元电力市场交易的多场群协调控制技术的研究；完成风光储场站智能化协同调控软件系统的开发；完成场群协同优化控制模块的算法、场群惯量与一次调频能力评估模块的算法、市场模式下的场群优化调控模块的算法集成及厂内测试；完成风光储场站智能优化调控软件实验室原型系统并进行半实物仿真验证；完成#4 站风光储场站智能优化调控装置的现场调试、功能验收及并网投运，具备专家验收条件	完成#1~#3 站风光储场站智能优化调控装置的现场调试及并网投运，并通过专家组验收；受理风光储场站智能优化调控相关发明专利 5 项；发表核心期刊论文 1 篇
课题三	1) 完成数值天气预报双层修正模型的算法编写工作；完成短期功率预测所需的时空预测模型算法编写工作；完成超短期功率预测所需的时空滚动的功率预测模型算法编写工作；完成各部分算法集成工作，确定系统架构，研发区域风电场群集中式功率预测系统；在现场完成系统部署及场内测试、调试工作；2) 完成故障诊断项目研究方案的规划部署，开发完成算法数量的 90%，并进行算法的封装	1) 保证区域风电场群集中式功率预测系统试运行期间安全可靠运行，符合验收条件；受理风功率预测相关的发明专利 2 项；2) 完成所有故障诊断项目算法的现场部署，包括基于 SCADA 数据的 AE 预警模型；发电机定子绕组温度异常预警模型；基于 CMS 的齿轮箱行星级故障特征提取及故障诊断模型；基于 CMS 的齿轮箱中高速级故障特征提取及故障诊断模型；基于 SCADA 数据的风机变桨系统状态监测模型等 20 个模型+1 个数据库，在现场进行调试，并反馈修正。完成受理故障诊断项目 1 项发明专利
课题四	组织专家评审，完成风电机组异常运行数据动态辨识及重构、缺失数据插补算法；完成基于物理机理和统计特征的风电机组运行状态及性能识别算法；完成基于数据分布同化的多风电机组运行状态辨识及性能识别算法；受理运维效能评估相关发明专利 1 项；发表运维效能评估相关一般刊物及会议论文 1 篇。完成不同布机方式风电场的高精度数值模拟，揭示风电场和大气边界层的交互作用，完成风电场的等效模型，在典型排布方式下模型精度较 Frandsen 模型、Lattau 模型、Calaf 模型提高精度 10%，受理风电场等效模型相关发明专利不少于 1 项	组织专家评审，项目初验。构建基于时间维度、空间维度和指标维度的风电场智能运维效能评价指标体系；完成各部分核心算法编写及集成工作，研发一套风电场智能运维效能评价软件模块并完成在线投运；受理运维效能评估相关发明专利 1 项。完成等效模型嵌套，开发风电基地高精度数值模拟方法，风电基地模拟精度高于现有尾流叠加模型 5%，关于风电场尾流或风电机组精细化计算的发明专利受理不少于 1 项，关于风电基地数值模拟技术报告不少于 1 篇
课题五	子任务 1：完成基于相关性原理与数据驱动的光伏场站出力特性分析及模拟方法，完成光伏发电功率短期、超短期与分钟级预测方法关键技术攻关及相关内容，提出基于运动矩阵能量函数的光伏发电功率超短期与分钟级预测方法，提出面向气象波动过程的光伏发电功率多时空尺度概率预测方法。关于光伏发电功率预测技术发明专利受理不少于 3 项，关于光伏发电功率超短期与分钟级预测论文不少于 1 篇、软件著作权不少于 1 项。工程节点：完成区域光功率预测模块设计方案，算法集成，现场部署，现场全部功能运行测试。子任务 2 和 3：系统提出光伏电站核心关键设备-系统多层级多维度综合性能评价方法；掌握故障条件下光伏电站核心关键设备输出数据特性并实现特征提取，实现典型故障条件下光伏阵列输出数据的不确定性表达，系统提出光伏阵列故障诊断及预测性维护方法；完成光伏场站智能运行效能评价关键技术攻关及相关研究内容；完成光伏场站智能故障诊断关键技术攻关，关于光伏场站智能运行效能评价和故障诊断发明专利受理不少于 3 项，关于光伏场站智能运行效能评价和故障诊断论文不少于 2 篇，关于光伏场站智能运行效能评价和故障诊断技术报告不少于 2 篇。工程节点：完成光伏场站效能评价和故障诊断模块设计方案，完成功能模块初步封装现场测试，完成#4 厂区功能算法初步验收。子任务 4：开发云团的多摄像头信息融合算法，实现云团的 3D 识别与重构，	子任务 1：完成光伏功率预测评价体系与考核指标提升方法研究，完成光伏电站快速协同响应能力分析研究方法研究，完成验收专家组初验，完成初验结论整改工作，完成科技项目全部科研成果转化和示范应用验收。关于光伏发电功率预测技术发明专利受理不少于 2 项，关于光伏发电功率预测性能评价与响应能力研究发明专利受理 2 项，关于光伏发电功率预测与性能评价论文不少于 2 篇。工程节点：完成#1-3 厂区部署测试，完成#1-3 厂区部署调试。子任务 2 和 3：光伏场站智能运行效能评价和故障诊断算法部署，完成现场光伏场站智能运行效能评价软件模块和光伏场站设备智能诊断维护软件模块系统调试工作（两个首台套），完成验收专家组初验，完成初验结论整改工作，完成科技项目全部科研成果转化和示范应用验收，完成专家组终验。工程节点：#1-3 厂区部署调试，#1-3 厂区验收。子任务 4：完成云团 3D 重构、太阳辐照、光伏场站的 3D 可视化互动；完成光伏组件数字化开发，发表论文 1 篇，专利受理 1 项；可现场展示的硬性成果：完成云团 3D 重构的软硬件系统，

	实现云团位置、方向的预报，实验室可展示的硬性成果，完成首套多目视觉云团识别的程序代码，开发出首套雾霾天气下的太阳散射辐照精细观测方法以及硬件系统（首台套）。建立太阳直接辐照、散射辐照的空间强度模型，实现雾霾天气下的太阳直接辐照、散射天空分布精细测算。关于太阳跟踪、辐照观测相关发明专利受理不少于 1 项，关于太阳辐照精细测量论文不少于 1 篇	并与太阳辐照精细测量系统联立工作。完成验收专家组初验，完成初验结论整改工作，完成科技项目全部科研成果转化和示范应用验收，完成专家组终验
课题六	子任务 1: 合同生效 6 个月后完成光伏器件的工作原理推导，完成光伏器件的光电协同建模，合同生效 10 个月后完成光伏器件全物理过程建模。子任务 2: 合同生效 6 个月后完成光伏电池能量损失过程理论分析；合同生效 10 个月后完成固定热源输入光伏电池温度分布数值模拟，受理专利不少于 1 件；子任务 3: 合同生效 6 个月后完成存量光伏组件增效数值模拟设计；合同生效 10 个月后完成新型光伏电池增效基础研究工作，电池效率超过 21.5%，进行透明电极制备工艺优化，发表论文不少于 1 篇；完成电力输出光伏-光热一体化系统设计和部分数值模拟工作，系统的设计热电综合效率超过 50%，受理专利不少于 1 件	子任务 1: 完成光伏电池增效设计数值模拟软件算法设计；完成光伏电池增效设计数值模拟软件模块平台搭建，光吸收和电池效率预测结果与现有软件预测结果误差小于 10%；实现国内首套太阳电池光电热协同模拟的软件模块；实现能损和温度分布微尺度定量预测；发表论文不少于 1 篇，专利受理不少于 1 件。子任务 2: 完成光伏电池微尺度分布与热源分布、效率之间的关联研究；建立光伏组件健康状态评价方法；发表论文不少于 1 篇；子任务 3: 完成存量光伏组件增效装置开发，专利受理不少于 2 件；完成新型光伏电池器件开发测试，新型低成本高效钙钛矿太阳电池实验室转换效率高于 22%；完成 1~2 种红外透过率大于 70% 的新型高效太阳电池材料器件开发，专利受理不少于 1 件；完成光伏-光热系统原理研究和设计、光伏光热一体化器件首台套样机试制，测试光伏-光热一体化器件样机的热电综合转换效率大于 50%，发表论文不少于 1 篇，专利受理不少于 2 件
课题七	子任务 1: 完成 35 kV 电缆、35 kV 开关柜绝缘缺陷信号的时空分布特征、频谱特征攻关，给出传感器优化设计、安装布局依据，研制完成 35 kV 电缆、35 kV 开关柜绝缘状态高可靠感知装置，并完成现场安装调试。子任务 2: 完成 35 kV 电缆、35 kV 开关柜绝缘状态诊断高级应用模块设计方案，完成 35 kV 电缆、35 kV 开关柜绝缘故障发展过程中的信号演化规律试验，完成 35 kV 电缆、35 kV 开关柜绝缘故障发展过程中的信号特征提取，开发 35 kV 电缆、35 kV 开关柜绝缘状态诊断高级应用模块，在乌兰察布智慧联合集控中心一体化平台安装应用绝缘状态诊断高级应用模块并完成现场调试	子任务 1: 完成 220 kV GIS、220 kV 变压器绝缘缺陷信号的时空分布特征、频谱特征攻关，给出传感器优化设计、安装布局依据，研制完成 220 kV GIS、220 kV 变压器绝缘状态高可靠感知装置。根据工程进度完成现场安装调试。 子任务 2: 完成 220 kV GIS、220 kV 变压器绝缘状态诊断高级应用模块设计方案，完成 220 kV GIS、220 kV 变压器绝缘故障发展过程中的信号演化规律试验，完成 220 kV GIS、220 kV 变压器绝缘故障发展过程中的信号特征提取，开发 220 kV GIS、220 kV 变压器绝缘状态诊断高级应用模块，在乌兰察布智慧联合集控中心一体化平台安装应用绝缘状态诊断高级应用模块并完成现场调试。受理发明专利申请 4 项

4. 甲方增值税专用发票信息：

名称：中国长江三峡集团有限公司

纳税人识别号：91110000100015058K

地 址、电 话：北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 010-57081502

开户行及账号：中国工商银行股份有限公司三峡临江支行 00102460275410

5. 应按照结算款项金额向甲方提供符合税务规定的增值税专用发票，甲方在收到乙方提供的合格增值税专用发票后支付款项。

乙方应确保增值税专用发票真实、规范、合法，如乙方虚开或提供不合格的增值税专用发票，造成甲方经济损失的，乙方承担全部赔偿责任，并重新向甲方开具符合规定的增值税专用发票。

合同变更如涉及增值税专用发票记载项目发生变化的，应当约定作废、重开、补开、红字开具增值税专用发票。如果收票方取得增值税专用发票尚未认证抵扣，收票方应在开票之日起 180 天内退回原发票，则可以由开票方作废原发票，重新开具增值税专用发票；如果原增值税专用发票已经认证抵扣，则由开票方就合同增加的金额补开增值税专用发票，就减少的金额依据收票方提供的红字发票信息表开具红字增值税专用发票。

九、知识产权保护

1. 甲方为本项目向乙方提供的全部资料仅可用于本项目，其所有权始终归甲方所有。本合同因任何原因终止或解除时，乙方应归还全部资料。未经甲方同意，乙方不得将甲方提供的任何资料提供给任何甲方所属企业之外的第三方（以下简称第三方）使用。

2. 因履行本合同产生的研究成果及相应的知识产权（包括但不限于专利权、著作权、技术秘密等）归甲乙双方共同享有，未经甲方许可，乙方不得单独申请专利、登记软件著作权、公开技术秘密或向第三方转让、许可专利申请权、软件著作权、技术秘密。乙方取得专利权、著作权的，未经甲方许可，不得转让专利权、著作权或许可第三方实施该权利。若项目中有第三方参与并作出贡献，申请专利时若要加上第三方，由甲乙双方共同商议决定。

3. 甲乙双方均享有本合同产生的研究成果的使用权，但乙方仅能在甲方许可的范围内使用该研究成果。通过本项目研究形成的核心技术、装备和系统，可通过复制模式继续推广应用于三峡集团内的风光储场站群工程项目；若乙方将成果转化应用于其它企业的工程项目应书面征求甲方同意，成果转化效益归双方共有，并由乙方因使用该研究成果所产生的效益，由甲乙双方共同协商确定分配方案。如要交第三方使用，需经双方共同书面同意。

4. 本合同产生的研究成果的许可权及转让权属于甲方，乙方不得向第三方转让该研究成果或其使用权，亦不得许可第三方实施使用。乙方擅自许可所产生的利益归甲方所有，乙方擅自转让造成甲方权利瑕疵或给甲方造成其他损失的，应就此承担赔偿责任。

5. 履行本合同产生的研究成果（包括技术秘密）申请奖励的权利归甲乙双方共同享有。未经甲方许可，乙方不得单方申请奖励。排名顺序由双方依据具体情况协商，对于申报自然科学奖，乙方及其人员为第一完成单位或第一完成人，对于申报科技进步奖，

甲方及其人员为第一完成单位或第一完成人，未尽事宜，由甲乙双方共同商议决定。

6. 本合同所产生研究成果的发表权由甲乙双方共同享有。未经甲方许可，乙方不得单方发表。发表有关研究项目的论文应在专利受理、取得专利号后才可进行发表。同时，不得在论文中公开技术秘密。根据项目研究成果发表的论文须注明“中国长江三峡集团有限公司科研项目资助（合同编号：XXX）”字样；由甲乙双方项目人员在所有发表论文中交替作为第一作者，项目研究团队人员个人发表有关项目研究内容的论文须征得甲乙双方的同意，乙方应制定相应规章制度约束项目研究团队人员的个人行为。

7. 使用履行本合同产生的技术成果参与国际标准、国家标准或行业标准等的制定或修订工作的权利属于甲方所有，未经甲方许可，乙方不得单独参与此类工作。

8. 乙方保证向甲方提供的阶段性研究成果或最终研究成果及相关文件和信息不侵犯他人知识产权，甲方可以自由使用且不受乙方任何现有或未来知识产权的限制。因剽窃、抄袭等侵犯他人知识产权的行为遭受他人主张权利或索赔的，乙方应单独承担相应责任；因甲方使用研究成果而发生或引起的任何索赔或纠纷，由乙方负责处理并承担相应责任；由此给甲方造成损失的，乙方应承担赔偿责任。

9. 在本合同履行过程中，乙方有任何改进或优化的技术或方案，均有义务及时通知甲方，并经甲方同意后纳入本项目研究成果。本项目完成后，甲方有权进一步开发、完善或改进本项目研究成果，新增的知识产权归甲方所有。

10. 对于乙方已有代码在本项目中的应用，该代码仍归乙方所有。对于本项目研发过程中新增的源代码，乙方需开放共享给甲方，用于平台的后续维护与升级，新增源代码应用于第三方需经甲方书面同意。

十、违约责任

1. 甲方未按计划拨付项目经费，承担由此造成的项目延期、费用增加的责任。

2. 若因甲方原因中途终止合同，应根据实际完成工作量所占总工作量的比例支付费用，并赔偿违约金，违约金额不超过合同签订金额的 10%。

3. 在合同执行过程中，未经甲方同意，乙方不得擅自对研究内容、目标、进度、项目负责人、项目骨干成员等进行调整，否则，造成合同不能按期完成、合同目标有重大修改而影响成果质量，甲方将视情况追究乙方的违约责任。

4. 乙方未按合同要求履行或未能完成预期考核目标的，甲方将适当减少或暂停支付合同费用。

5. 乙方未足额提供应由其提供的项目经费，甲方有权停止拨付剩余的项目经费，

乙方应承担因此造成的甲方损失。

6. 乙方违反本合同约定义务的，应当退还甲方已支付的项目经费并赔偿因违约给甲方造成的一切损失。除此之外：

(1) 乙方违反第九条 2 款约定未经甲方同意单独申请专利的，甲方可根据情况要求乙方变更专利申请权人、专利权人，乙方应进行配合并承担由此产生的费用；或者在被授予专利权之前应撤回专利申请，在被授予专利权后应以书面声明放弃该专利权。未经甲方同意乙方转让专利权或许可第三方实施该专利的，所获收益及因该等专利获得的侵权损害赔偿费用，均归甲方所有。

(2) 违反第九条 5 款约定未经甲方同意乙方单方申请奖励的，被授予奖励之前应撤回奖励申请，在被授予奖励后应向颁奖机构申请撤销奖励并以书面声明放弃该奖励。

(3) 乙方违反第九条 7 款约定未经甲方许可单独参与有关国际标准、国家标准或行业标准等的制定或修订工作的，该工作仍在进行的，应立即退出，该工作已经结束的，应向有权机关申请撤销署名等相关权利并以书面声明形式放弃与该工作有关的一切权益。

7. 若乙方提供的数据存在真实性、有效性、完整性问题，乙方有义务作出解释、开展现场复测至甲方认为数据符合要求。

8. 若因乙方原因中途终止合同，应赔偿违约金，违约金额不超过合同签订金额的10%。甲方有权从合同价款中抵扣。由此造成甲方重大经济损失，甲方将保留追索的权利。

9. 任何一方违反合同约定的保密义务，应承担相应的法律责任并赔偿对方因此遭受的损失。

10. 因乙方造成的返工或误工，除乙方需无偿继续履行合同外，甲方有权推迟合同价款的支付时间。逾期违约超过 60 日的，甲方有权解除合同。

十一、合同变更

1. 本合同在执行过程中若与本合同约定有变化的，双方可协商研究相关事宜，引起合同变更的，可进行变更（包括但不限于：工期和费用）。

2. 变更估价原则

除另有约定外，因变更引起的价格调整按照本款约定处理：

(1) 合同费用清单中有适用于变更项目的，采用该项目的单价；

(2) 合同费用清单中无适用于变更项目的，可在合理范围内参照类似项目单价；

(3) 合同费用清单中无类似项目的单价或合价可供参考，则应由甲方和乙方协商，根据合同费用的基础价格及取费标准确定新的单价或合价。

十二、其他

1. 本合同一式捌份（其中正本贰份，双方各执壹份；副本陆份，甲方叁份，乙方叁份）。正本与副本具有同等法律效力，副本与正本有矛盾时，以正本为准。

2. 本合同经双方法定代表人或其委托代理人签署并盖章后生效。

3. 本合同未尽事宜，各方将协商解决。合同双方在履行合同中发生争议的，友好协商解决。协商不成的，向甲方所在地人民法院提起诉讼解决。

附件：1. 合同费用组成

2. 保密协议

3. 廉洁协议

4. 安全生产合同

5. 技术标准和要求

附件 1

合同费用组成

序号	项目名称	内 容 描 述	数量	单位	不含税金额	含税金额	备注
1	风光储场站的实时协调控制与保护技术研究	开展风光储场站运行模式及优化策略研究、风光储场站运行控制技术研究、宽频同步测量方法研究、保护原理研究，探索适用于规模化风光储发电基地的场站侧协同优化控制策略、同步测量与保护方法，研发装置样机，并进行示范验证	1	项	1836.552937	1891.649525	
1.1	场站有功功率优化平滑模块	风光储场站出力特性建模，风光储场站动态运行模式及相应控制策略	1	项	120.139539	123.743725	
1.2	场站有功指令优化跟踪模块	风光储场站有功无功分配方法、自动频率控制方法、自动电压控制方法	1	项	119.885049	123.481600	
1.3	场站一次调频优化控制模块	场站一次调频优化控制算法及模块	1	项	44.348835	45.679300	
1.4	场站风光储多运行模式控制模块	场站风光储多运行模式控制算法及模块	1	项	124.033301	127.754300	
1.5	风光储场站小型化同步测量装置样机 400 台	风光储场站的同步测量方法及其装备	400	台	1094.314078	1127.143500	
1.6	风光储场站送出线快速保护装置实验室样机 1 台	风光储场站送出线快速保护方法及其装备	1	台	141.418349	145.660900	
1.7	风光储场站汇集系统站域保护装置实验室样机 1 台	风光储场站汇集系统站域保护方法及其装备	1	台	141.418349	145.660900	
1.8	风光储场	用于监视、控制并网风	1	台	50.995437	52.525300	

	站协调控制装置	机、光伏逆变器、储能系统等场站内设备的运行状态，接收并执行 AGC、AVC 主站下发的指令，上送场站内设备信息					
2	电网友好的风光储场站群智能优化调控技术研究	研究风光储场站群协同优化控制策略，构建集群特性与灵活性调控模型，提出协同优化调控方法，研究优化控制策略的快速求解算法；建立频率响应模型、一次调频控制实施方案，提出多场群调控方法；研发智能优化调控软件实验室原型系统	1	项	726.660000	748.459800	
2.1	场群协同优化控制模块	风光储场站群协同优化控制方法及其装备	1	项	192.704854	198.486000	
2.2	场群惯量与一次调频能力评估模块	风光储场站群惯量、一次调频能力评估与优化方法及其装备	1	项	182.418835	187.891400	
2.3	市场模式下的场群优化调控模块	市场模式下风光储场站群的优化调控方法及其装备	1	项	180.518641	185.934200	
2.4	风光储场站群智能优化调控软件实验室原型系统研发	风光储场站群智能优化调控软件实验室	1	套	171.017670	176.148200	
3	区域风电场群功率智能进化多尺度集中式预测模型与机组诊断预警技术研究	风电场智慧运维技术主要从区域风电场群智能进化集中式功率预测技术和风电机组支撑与传动部件智能诊断及以可靠性为中心的维护技术两个方面开展研究	1	项	1161.600000	1196.448000	
3.1	区域风电场群智能进化集中式功率预测软件模块	区域风电场群多时空尺度集中式功率预测方法。区域风电场群智能进化集中式功率预测软件模块	1	项	884.840000	911.385200	
3.2	风电机组智能诊断与定量化	风电机组支撑与传动部件故障机理、诊断与寿命预测算法，基于监控数据	1	项	276.760000	285.062800	

	维护应用模块	的风电机组部件智能故障预警算法；以可靠性为中心的风电机组定量化检修维护策略					
4	基于深度学习的风电场效能评价与大型风电基地流场精细化模拟技术研究	对风电场多维数据进行综合分析，研究科学有效的风电场运维效能评估方法，从而定量评价在役风电场运维效能水平，实现与前期设计的闭环管理，同时支撑风电场运维，提高风电场精细化管理水平和经济效益	1	项	646.140000	665.524200	
4.1	风电场智能运维效能评价软件模块	风电机组运行状态及性能识别方法；风电场智能运维效能评价指标体系创建	1	项	322.377573	332.048900	
4.2	风电基地流场精细化数值模拟软件	大型风电基地高精度模拟方法	1	项	323.762427	333.475300	
5	基于数字孪生建模技术的光伏场站效能评价体系研究及智能运维系统开发	本课题以提高光伏场站智能化运维水平为目标，围绕光伏发电功率预测方法及系统开发、光伏场站智能运行效能评价方法与系统开发、光伏发电数字孪生建模与应用、光伏场站智能诊断和维护四个方面进行研究	1	项	1542.321000	1588.590630	
5.1	区域光伏场站群集中式功率预测软件模块	光伏场站出力特性分析及模拟方法；光伏发电功率超短期与分钟级预测方法；光伏场站多时空尺度功率预测方法；面向区域电网特点的光伏功率预测评价体系与考核指标提升方法；基于光伏功率预测误差分布特性的光伏场站频率响应能力分析	1	项	686.977796	707.587130	
5.2	光伏场站智能运行效能评价软件模块	光伏场站运行状态识别及多维能效评价体系；掌握光伏场站核心关键设备-系统-区域电站多维度评价方法	1	项	268.629126	276.688000	
5.3	光伏场站设备智能诊断维护软件模块	提出基于智能方法和数据驱动技术相结合的光伏场站智慧故障识别和诊断方法	1	项	284.293981	292.822800	

5.4	开发出光伏场站数字孪生体, 光伏场站数字孪生系统(辐照测量系统、多目视觉系统);	开发出光伏场站数字孪生体, 包括光伏场站的 3D 可视化, 开发出地基云团图像多目识别和 3D 重构硬件和软件, 建立电站就地使用的太阳辐照精细测量硬件系统和程序, 实现云团-辐照-场站的 3D 可视化数字孪生	1	项	159.796117	164.590000	
5.5	多目视觉云团识别系统	实现多目视觉云团识别	1	台	76.320485	78.610100	
5.6	光伏场站图像识别处理及 3D 可视化模块	实现光伏场站图像识别处理及 3D 可视化	1	台	66.303495	68.292600	
6	基于全物理过程建模的数值模拟和光伏组件增效技术研究	光伏场站的智慧运维、维护和故障诊断, 以及光伏发电的进一步提质增效, 均需探明光伏组件的精细工作状态。不同工况下光伏组件的出力特性和发热特征直接影响光伏组件寿命和运行安全。本项目考虑光电、光热、电热效应等全物理过程对光伏电池进行建模, 并在此基础上开展光伏组件增效技术研究	1	项	1113.092200	1146.484966	
6.1	光伏电池增效设计数值模拟软件模块;	建立考虑光电热全物理场耦合的光伏器件模型; 规范光学、电学和热学数值模块间的输入输出, 构建光伏电池增效设计数值模拟平台	1	项	235.981257	243.060695	
6.2	光伏电池能损过程高精度追踪	探明环境因素影响光伏电池内部能损过程、温度分布及其与效率之间的关联; 研发针对存量光伏组件的增效新技术和新方案	1	项	235.033539	242.084545	
6.3	光伏组件增效及稳定性提升	研发光伏组件增效的新产品或新装置, 建立组件增效评估方法; 研发新型的低本高效光伏电池, 实现低成本制备工艺和高稳定性; 获得电力输出稳	1	项	311.419415	320.761997	

		定的光伏-光热一体化系统和组件					
6.4	新型低本高效高稳定的太阳电池器件 1 种	新型低本高效高稳定的太阳电池器件	1	台	56.862997	58.568887	
6.5	光伏组件增效产品 1-3 种.	光伏组件增效产品	1	台	56.862900	58.568787	
6.6	光伏-光热一体化器件样机 1 台	光伏-光热一体化器件	1	台	66.340082	68.330285	
6.7	光伏电池增效设计数值模拟软件模块	太阳电池光电热协同模拟的软件模块	1	套	150.592010	155.109770	
7	高温差恶劣环境新能源场站输变电设备绝缘状态高可靠感知与故障诊断预测关键技术研究	围绕新能源场站 35kV 集电电缆、35kV 开关柜、220kV 气体绝缘开关设备、220kV 电力变压器设备高设备状态诊断预测技术开展研究，研发硬件装置及故障诊断预测高级应用软件模块，并在现场进行试点应用	1	项	2212.463000	2278.836890	
7.1	35kV 集电电缆绝缘状态高可靠感知与诊断模块	提出 35kV 集电电缆绝缘状态高可靠感知与诊断技术；35kV 集电电缆局部放电感知传感器与采集器；35kV 集电电缆接地故障感知传感器与采集器；35kV 集电电缆局部放电监测与定位高级应用模块；35kV 集电电缆接地故障监测与定位高级应用模块；35kV 集电电缆绝缘状态诊断预测高级应用模块，含数据库 1 个	1	项	771.364553	794.505490	
7.2	新能源场站 35kV 开关柜绝缘状态高可靠感知与诊断模块	提出新能源场站 35kV 开关柜绝缘状态高可靠感知与诊断技术；35kV 开关柜绝缘状态监测高级应用模块；35kV 开关柜绝缘状态感知传感器与采集器；35kV 开关柜绝缘状态诊断预测高级应	1	项	514.980874	530.430300	

		用模块。含数据库 1 个					
7.3	新能源场站 220kV 气体绝缘开关设备绝缘状态高可靠感知与诊断模块	提出新能源场站 220kV 气体绝缘开关设备绝缘状态高可靠感知与诊断技术；220kV 气体绝缘开关绝缘状态诊断预测高级应用模块。含数据库 1 个	1	项	454.670680	468.310800	
7.4	新能源场站 220kV 电力变压器绝缘状态高可靠感知与诊断模块	提出新能源场站 220kV 电力变压器绝缘状态高可靠感知与诊断技术；220kV 电力变压器绝缘状态诊断预测高级应用模块，含数据库 1 个	1	项	471.446893	485.590300	
8	合计	课题一到课题七的总价	-	-	9238.829137	9515.994011	

报价费用细化说明

序号	科目名称	金额（万元）	测算依据
1	（一）直接费用	8398.935579	
2	1. 设备费	1301.613579	
3	（1）购置设备费	0.000000	
4	（2）试制设备费	1167.930000	
5	（3）设备改造费	0	
6	（4）设备租赁费	133.683579	
7	2. 材料费	1465.030000	
8	3. 测试化验加工费	1736.300000	
9	4. 燃料动力费	0	
10	5. 出版/文献/信息传播/知识产权事务费	161.972000	
11	6. 会议/差旅/国际合作交流费	655.250000	
12	7. 人工费	1658.670000	
13	8. 劳务费	1292.100000	
14	9. 专家咨询费	128.000000	
15	（二）间接费用	1117.058432	
16	1. 管理费	839.893558	
17	2. 税金	277.164874	
18	（三）总经费	9515.994011	

课题一：风光储场站的实时协调控制与保护技术研究

序号	科目名称	金额（万元）	测算依据
1	（一）直接费用	1669.593579	
2	1. 设备费	237.683579	
3	（1）购置设备费	0	
4	（2）试制设备费	180.000000	小型化同步测量装置样机、站域保护样机、送出线路保护样机试制费
5	（3）设备改造费	0	
6	（4）设备租赁费	57.683579	租赁GH Bladed学术版软件一套（软件版本v4.11）
7	2. 材料费	671.610000	用于购置所有同步测量装置原材料、办公用易耗材料
8	3. 测试化验加工费	88.500000	用于装置和样机的第三方测试
9	4. 燃料动力费	0	
10	5. 出版/文献/信息传播/知识产权事务费	17.000000	用于项目研究相关论文、专利的知识产权费，打印项目报告等费用
11	6. 会议/差旅/国际合作交流费	63.700000	用于项目调研、召开项目进度讨论会议产生的会议、差旅费
12	7. 人工费	360.000000	课题研究过程中支付给课题组固定成员的劳务性费用
13	8. 劳务费	211.300000	课题研究过程中支付给研究生和临时聘用人员的劳务性费用
14	9. 专家咨询费	19.800000	召开项目进度会议，用于给参会专家发放专家咨询费
15	（二）间接费用	222.055946	
16	1. 管理费	166.959358	按照直接经费的10%计算
17	2. 税金	55.096588	按照管理费+直接经费的3%计算
18	（三）总经费	1891.649525	

经费说明及计费标准和依据：

（一）直接费用

(1) 设备费：237.6836 万元

(1-1) 购置设备费：无

(1-2) 试制设备费：180.00 万元

根据课题任务，课题组将开展两部分研究内容：1) 新能源场站同步测量技术研究，并研制小型化同步测量装置；2) 研制站域和送出线路保护装置。为验证所提方法的有效性和可靠性，需进行实验室样机研制，在满足性能要求的前提下才能安装于新能源场站。

同步测量装置实验室样机由 5 部分组成：1) 电压采样模块：用于将三相电压信号转换为数字量；2) 电流采样模块：用于将三相电流信号转换为数字量；3) 同步对时模块：为采样模块提供同步采样时钟；4) 北斗/GPS 天线：接收同步对时信号；5) 控制器模块：实现基波和宽频信号参数的计算、传输和存储。计划研制 5 套同步测量装置实验室样机，每套 20.00 万元，共计 $5 \times 20.00 = 100.00$ 万元。

保护样机包含两类：1) 站域保护样机，用于测试及验证课题所提新能源站域保护方法的正确有效性，计划研制 1 套，每套 40.00 万元；2) 送出线路保护样机，用于测试及验证课题所提新能源场站送出线路保护方法的正确有效性，计划研制 1 套，每套 40.00 万元。总计 2×40 万元 = 80.00 万元。

上述两类样机总预算为 100.00 万元 + 80.00 万元 = 180.00 万元。

(1-3) 设备改造费：无

(1-4) 设备租赁费：57.683579 万元

课题一拟租赁 GH Bladed 学术版软件一套（软件版本 v 4.11），租期为一年零六个月（18 个月）。GH Bladed 学术版软件为 DNV 公司为高校提供的 60%折扣的软件购买优惠版本，软件功能与正式版一致。软件租赁由挪威船级社(中国)有限公司(DNV(China)) 厂家直供，18 个月租期总报价为 576835.79 元人民币（含 13%增值税及首年升级 维护费用）。软件报价及租赁费用详细说明如下：

1) GH Bladed v4.11 全套软件报价

模块名称	用户数	授权形式	价格-人民币（元）
基本模块	1	密码狗	369068.46
控制模块	1	密码狗	52724.07
地震模块	1	密码狗	52724.07

硬件测试模块	1	密码狗	158172.20
高级传动链仿真接口模块	1	密码狗	104548.14
海上支撑机构模块	1	密码狗	158172.20
高级变桨执行器仿真模块	1	密码狗	52724.07
高级水动力模块	1	密码狗	52724.07
叶片稳定性模块	1	密码狗	52724.07
软件永久使用权购买价格（含13%增值税及首年维护费）			1053581.35
学术版购买价格（为高校用户提供60%折扣）			632148.81

2) 软件租赁系数

软件租赁系数根据租期不同，DNV 公司提供相应的租赁费用系数。

软件租期	软件租赁系数
3个月	0.16875
6个月	0.3175
1年	0.595

3) 18个月租期费用明细

拟租赁GH Bladed v4.11（学术版）一套，租期为一年零六个月，软件租赁费用明细如下：

学术版软件购买价格为632148.81元，一年期租赁系数为0.595，即软件租赁一年费用=632148.81*0.595=376128.54元人民币；

学术版软件购买价格为632148.81元，六月期租赁系数为0.3175，即软件租赁六月费用=632148.81*0.3175=200707.25元人民币；

软件租赁18个月总费用（含13%增值税与首年维护费）=376128.54+200707.25=576835.79元人民币。

（2）材料费：671.61万元

本课题材料费分为三部分：

1) 为保证课题顺利开展所需的一些辅助材料费，包括购买发电机组实物仿真模件等费用；同时为项目研究及落地实施所需消耗使用的原材料，包括场级能量管理组件，测点传感器等消耗品，以及用于服务器/台式机等相关设备的升级维修与零部件更换所使

用的费用，共计 63.93 万元。详细如下：

项目	规格	单价/元	用量	总价/万元
驱动器	台	45000	1	4.5
电驱动伺服模件	台	42000	1	4.2
扭矩传感器	组	17000	1	1.7
转速器	台	3000	1	0.3
联轴器	台	4000	1	0.4
隔离开关	个	3000	1	0.3
三相交流接触器	个	5000	1	0.5
铸铁平台	个	22000	1	2.2
法兰支架	个	15000	1	1.5
控制箱	台	12000	1	1.2
11KW AFE	台	12000	1	1.2
倍福 C6930 集成控制板卡	个	50000	2	10.00
高速 FPGA 开发板	个	3.14	5	15.70
模拟信号屏蔽线缆	组	0.226	12	2.71
数字信号屏蔽线缆	组	0.254	12	3.05
Dsub 端口接线盒	个	0.482	8	3.86
VHDC 端口接线盒	个	0.471	8	3.77
BNC 口转接板	个	0.646	8	5.17
DELL 机架式计算模件	个	16700	1	1.67
合计				63.93

2) 用于购置用于安装于新能源场站内部的小型化同步测量装置的原材料，计划研制 400 套小型化同步测量装置，每套原材料 1.50 万元，共计 400×1.50 万=600.00 万元，其中 293 万元拟外委于南京荣泰电气自动化有限公司，进行小型化同步测量装置原材料采购，用于小型化同步测量装置的研制，详细如下：

项目	规格	单价/元	用量	总价/万元
CPU 模块	组	2500	400	100.00
模拟量采集模块	组	2000	400	80.00
有线网络通信模块	组	1000	400	40.00
电源模块	组	1000	400	40.00
光纤交换机	组	4000	400	160.00

卫星信号接收模块	组	2000	400	80.00
结构件	套	2500	400	100.00
合计				600.00

3) 项目样机安装及测试过程中消耗的各种原材料、辅助材料、低值易耗品等的采购及运输、装卸、整理等费用, 共计 7.68 万元, 具体如下:

项目	规格	单价/元	用量	总价/万元
通讯光纤	米	30	200	0.60
测试用电缆	米	100	130	1.30
五金零件	套	500	4	0.20
胶带	卷	20	50	0.10
标签纸	袋	10	60	0.06
记号笔	盒	20	10	0.02
优盘	个	200	50	1.00
测试用板卡	个	2000	17	3.40
IGBT 替换模块	个	2500	4	1.00
合计				7.68

(3) 测试化验加工费: 88.50 万元

拟针对风光储出力特性模型及风光储多目标协同调控优化策略进行功能测试。其中各项出力特性模型主要测试稳态出力特性与动态调节特性, 按照第三方检测公司协议价, 单项测试为 2.5 万元/项; 风光储多目标协同调控优化策略单项测试为 4 万元/项, 共计 6.5 万元;

拟开展风光储电站功率控制调度技术、电压闭环自动控制调度技术以及频率自动控制调度技术进行测试, 并对以上三种控制调度策略进行可行性、安全性以及经济效益等方面的评估, 按照第三方检测公司协议价, 控制策略测试费用为 4 万元/项, 其他性能评估测试费用 3 万元, 共计 7.00 万元;

研制同步测量装置, 为完成算法和装置精度测试, 需要完成实验室级小型化同步测量装置的测量精度测试和响应速度测试。为保证上述任务的顺利开展与完成, 所需要的专项测试化验加工费明细如下: 计划对 400 台同步测量装置抽检 5 台进行检测, 按照第三方检测公司协议价, 每台测试费用为 11.00 万元, 共计 5×11.00 万元=55.00 万元;

开展站域保护样机和送出线路保护样机的安装及测试。计划搭建硬件在环测试系统, 用于为保护样机测试提供贴合实际的新能源场站故障特征, 分别建立新能源汇集场站测

试系统和新能源送出线路测试系统，对 2 套样机进行不同故障情景下的保护性能测试。按照第三方检测公司协议价，每套样机测试费用为 10.00 万元，共计 2 个×10.00 万元=20.00 万元。

上述课题测试共计 6.50 万元+7.00 万元+55.00 万元+20.00 万元=88.50 万元。

(4) 燃料动力费：0.00 万元

(5) 出版/文献/信息传播/知识产权事务费：17.00 万元

本课题出版/文献/信息传播/知识产权事务费预算为 17.00 万元，均为专项经费。根据课题任务需要，出版预算为 2.00 万元，阶段成果报告复印打印费（含彩色插页）预算为 3.00 万元，知识产权费预算为 9.60 万元，专业数据资料购买费为 2.40 万元。具体如下：

(5-1) 出版费用：本课题计划发表论文 2 篇，考虑部分国外期刊需交纳版面费和部分文章彩图印刷，SCI/EI 论文费用以平均 1.00 万元/篇计算，即 2.00 万元。

(5-2) 阶段成果报告复印打印费（含彩色插页）：主要用于课题研究周期内相关成果报告、参考资料、图集彩印和试验区的彩图等的打印、复印，按照成果咨询会议及中期和验收后成果提交，总计 5 次报告打印，每次报告打印 30 本，每本 200 元，即 5 次×30 本×200 元=3.00 万元。

(5-3) 知识产权费用：课题拟申请专利共 12 项，申请费用 0.80 万元/项，共 9.60 万元。

(5-4) 专业数据资料购买费：课题拟购买文献数据参考资料预计 120 本，每本 200 元，共计 2.40 万元。

(6) 差旅/会议/国际合作与交流费：63.70 万元

本课题差旅/会议/国际合作与交流费预算为 63.70 万元，均为专项经费。

(6-1) 差旅费：25.00 万元

根据《财政部关于印发<中央和国家机关差旅费管理办法>的通知》(财行〔2013〕531 号)，教授、研究员等高级职称人员以及其他人员标准：市内交通费 80 元/天。住宿费按照《关于调整中央和国家机关差旅住宿费标准等有关问题的通知》(财行[2015]497 号)最新要求执行，420 元/人天，开展野外考察和现场调研预计 10 次以上（每次分别按 5 人考虑），具体预算如下：

预算费用：

5 人×10 次×[(住宿费 420 元/人天+交通费 80 元/人天)×6 天+来回机票/高铁 2000

元/人]=25.00 万元。

(6-2) 会议费：24.30 万元

本课题召开的会议均为四类会议，其会议费标准按照“财政部关于印发《中央和国家机关会议费管理办法》的通知（财行[2013]286 号）”的要求制定，会期不超过 2 天，参会人员不超过 50 人，会议在四星级以下（含四星）定点饭店或单位内部会议室召开，会议费仅用于开支会议住宿费、伙食费等，综合定额标准为 450 元/人天。

本课题执行期间，拟组织的会议包括课题启动会，课题督导会、技术专题会、科研成果工程应用验收会、课题年度评审会、课题验收评审会等，考虑到课题执行的整体流程和成果要求，会议的设置原则是：（1）课题启动会 1 次；（2）在 2021 年 10 月份 4# 站示范工程技术成果落地之前，每个月 1 次课题督导会，2022 年 3 月和 9 月各 1 次课题督导会；（4）技术专题会按课题任务设置，每个任务安排 1 次技术专题会；（5）结合 4#和 1-3#站并网运行两个时间节点，安排 2 次科研成果工程应用验收会；（6）2021、2022 年底组织 2 次课题年度评审会；（7）2023 年组织 1 次课题验收评审会。

共计 24.30 万元，具体明细如下表：

序号	时间	会议内容	人数	拟聘专家数	标准 (元/ 人/天)	天数/ 次数	费用	承办单位
							(万元)	
1	2021	课题启动会	40	7	450	1	1.80	华北电力大学
2	2021	2021 年 6 月课题督导会	40	7	450	1	1.80	华北电力大学
3	2021	2021 年 7 月课题督导会	40	7	450	1	1.80	华北电力大学
4	2021	2021 年 8 月课题督导会	40	7	450	1	1.80	华北电力大学
5	2021	2021 年 9 月课题督导会	40	7	450	1	1.80	华北电力大学
6	2021	#4 站科研成果工程应用验收会	40	7	450	1	1.80	华北电力大学
7	2021	2021 年年度课题评审会	40	7	450	1	1.80	华北电力大学
8	2022	2022 年 3 月课题督导会	40	7	450	1	1.80	华北电力大学
9	2022	2022 年 9 月课题督导会	40	7	450	1	1.80	华北电力大学
10	2022	#1~#3 站科研成果工程应用验收会	40	7	450	1	1.80	华北电力大学
11	2022	2022 年年度课题评审会	40	7	450	1	1.80	华北电力大学
12	2023	课题验收评审会	40	7	450	1	1.80	华北电力大学

13	2021	风光储场站运行模式及控制策略技术研讨会	20	5	450	1	0.90	华北电力大学
14	2021	风光储场站实时控制技术研讨会	20	5	450	1	0.90	华北电力大学
15	2021	风光储场站同步测量与保护技术研讨会	20	5	450	1	0.90	华北电力大学
累计							24.30	—

(6-3) 国际合作与交流费：14.40 万元

项目组成员参加国外及港澳台国际交流，用于跟踪国际同步测量与保护技术，并交流推广本子课题技术方法。具体的，拟赴美国参加国际输配电设备和技术展览会（IEEE PES T&D），与相关专家讨论制定风电场同步测量技术相关标准，赴美国参加国际电力与能源年会（IEEE PES General Meeting），向国际顶尖专家推广本课题同步测量与保护相关技术，提高国际影响力，这对课题的先进性、高质量完成具有重要作用。根据华北电力大学《各国家和地区住宿费、伙食费、公杂费开支标准表》和《因公临时出国住宿费标准调整表》，美国住宿标准为 200 美元/人.天，伙食费标准为 55 美元/人.天，公杂费标准为 45 美元/人.天，共计 300 美元/人.天，约 0.2 万元/人.天，往返机票平均 2.00 万元/人。共计 14.40 万元，具体如下表：

序号	时间	出国事由	地点	人员(人)	时间(天)	注册费(万元)	计算依据	费用(万元)
1	2022.04	国际输配电设备和技术展览会（IEEE PES T&D）	美国新奥尔良	2	6	0.30	（0.2 万元/人.天*6 天+2 万元/人+0.30 万元）*2 人=7.00 万元	7.00
2	2022.07	国际电力与能源年会（IEEE PES General Meeting）	美国丹佛	2	7	0.30	（0.2 万元/人.天*7 天+2 万元/人+0.30 万元）*2 人=7.40 万元	7.40
合计								14.40

(7) 人工费：360.00 万元

本课题人工费预算为 360.00 万元，均为专项经费。本课题参加正式职工 14 人（教授 9 人，副教授 4 人，讲师 1 人），按照教授工资 2.00 万元/月，副教授工资 1.60 万元/月，讲师工资 1.20 万元/月，总工期 2 年。

具体人员预算列表如下：

序号	姓名	工作单位	技术职称	工作分工	投入课题总 月数	支付标准 (万元/月)	工资 (万元)
1	毕天姝	华北电力大学	副校长/教授	项目负责人	12	2	24
2	王增平	华北电力大学	副校长/教授	项目技术指导	12	2	24
3	刘灏	华北电力大学	副教授	课题负责人	18	1.6	28.8
4	刘念	华北电力大学	教授	测量与保护技术指导	14	2	28
5	贾科	华北电力大学	教授	风光储场站保护新原理工作指导	14	2	28
6	郑涛	华北电力大学	教授	风光储场站保护新原理工作指导	14	2	28
7	薛安成	华北电力大学	教授	风光储场站保护新原理工作指导	14	2	28
8	牛玉广	华北电力大学	教授	风光储系统优化控制策略研发	14	2	28
9	林忠伟	华北电力大学	教授	风光储系统优化控制策略研发	14	2	28
10	韩晓娟	华北电力大学	教授	风光储系统优化控制策略研发	12	2	24
11	肖仕武	华北电力大学	副教授	风光储场站测量技术工作指导	18	1.6	28.8
12	吕游	华北电力大学	副教授	风光储系统建模工作指导	12	1.6	19.2

13	刘其辉	华北电力大学	副教授	风光储场站测量技术工作指导	18	1.6	28.8
14	洪烽	华北电力大学	讲师	风光储系统建模工作指导	12	1.2	14.4
合计							360

（8）劳务费：211.30 万元

本课题劳务费预算为 211.30 万元，均为专项经费。本课题参加研究生 37 人，其中博士研究生 10 名、硕士研究生 27 名。按照博士研究生 5000 元/月，硕士研究生 3000 元/月，总工期 2 年，各类研究生 2 年累计投入时长分别为：博士研究生 158 人月，硕士研究生 441 人月。

预算费用：

博士研究生：158 人月 \times 0.5 万元/人月=79.00 万元；

硕士研究生：441 人月 \times 0.3 万元/人月=132.30 万元。

（9）专家咨询费 19.80 万元

本课题专家咨询费预算为 19.80 万元，均为专项经费。测算方法与依据：

专家咨询费严格执行财政部印发《中央财政科研项目专家咨询费管理办法》（财科教[2017]128 号）的标准：会议形式和现场访谈/勘察——高级专业技术职称人员的专家咨询费标准为 2000 元 / 人天（税后）；院士、全国知名专家，可按照高级专业技术职称人员的专家咨询费标准上浮 50% 执行。

本课题执行期间，拟组织的会议包括课题启动会，课题督导会、技术专题会、科研成果工程应用验收会、课题年度评审会、课题验收评审会等，考虑到课题执行的整体流程和成果要求，会议的设置原则是：（1）课题启动会 1 次；（2）在 2021 年 10 月份 4# 站示范工程技术成果落地之前，每个月 1 次课题督导会，2022 年 3 月和 9 月各 1 次课题督导会；（4）技术专题会按课题任务设置，每个任务安排 1 次技术专题会；（5）结合 4# 和 1-3# 站并网运行两个时间节点，安排 2 次科研成果工程应用验收会；（6）2021、2022 年底组织 2 次课题年度评审会；（7）2023 年组织 1 次课题验收评审会。

按照平均 2000 元/人天（税前）进行预算，共计 19.80 万元，具体如下表：

序号	时间	会议内容	人数	标准 (元/人/天)	天数	费用	列支单位
						(万元)	
1	2021	课题启动会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
2	2021	2021 年 6 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
3	2021	2021 年 7 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
4	2021	2021 年 8 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
5	2021	2021 年 9 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
6	2021	#4 站科研成果工程应用验收会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
7	2021	2021 年年度课题评审会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
8	2022	2022 年 3 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
9	2022	2022 年 9 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
10	2022	#1~#3 站科研成果工程应用验收会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
11	2022	2022 年年度课题评审会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
12	2023	课题验收评审会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
13	2021	风光储场站运行模式及控制策略技术研讨会	5	2000	1	1	华北电力大学
14	2021	风光储场站实时控制技术研讨会	5	2000	1	1	华北电力大学
15	2021	风光储场站同步测量与保护技术研讨会	5	2000	1	1	华北电力大学
累计						19.80	—

(10) 其他费用：无

(二) 间接费用

(2-1) 管理费：按照直接经费的 10%收取，总计 1669.593579 万元 \times 0.1=166.959358 万元；

(2-2)税金：按照直接经费加管理费的 3%收取，总计(1669.593579 万元+166.959358 万元) \times 0.03=55.096588 万元。

课题二：电网友好的风光储场站群智能优化调控技术研究

序号	科目名称	金额（万元）	测算依据
1	（一）直接费用	660.600000	
2	1. 设备费	4.000000	
3	（1）购置设备费	0	
4	（2）试制设备费	0	
5	（3）设备改造费	0	
6	（4）设备租赁费	4.000000	租赁大型超算服务器
7	2. 材料费	0	
8	3. 测试化验加工费	180.000000	功能测试与算法封装加工
9	4. 燃料动力费	0	
10	5. 出版/文献/信息传播/知识产权事务费	9.000000	课题研究过程中需要支付的出版费、零星资料费、文献检索费、专利申请及其他知识产权事务等费用
11	6. 会议/差旅/国际合作交流费	136.000000	用于项目调研、召开课题研讨会议产生的会议、差旅费
12	7. 人工费	176.000000	课题研究过程中支付给课题组固定成员的劳务性费用
13	8. 劳务费	132.000000	课题研究过程中支付给研究生和临时聘用人员的劳务性费用
14	9. 专家咨询费	23.600000	召开课题研讨会议，用于给参会专家发放专家咨询费
15	（二）间接费用	87.859800	
16	1. 管理费	66.060000	按照直接经费的10%计算
17	2. 税金	21.799800	按照管理费+直接经费的3%计算
18	（三）总经费	748.459800	

经费说明及计费标准和依据：

（一）直接费用

（1）设备费：4.00 万元

（1-1）购置设备费：无

（1-2）试制设备费：无

（1-3）设备改造费：无

（1-4）设备租赁费：4.00 万元

租赁大型超算服务器，用于风光储场站群智能优化调控模型的训练，按 0.1 元/核时计，约需要 400000 核时，共计 $0.1 \times 400000 = 4.00$ 万元。

（2）材料费：无

（3）测试化验加工费：180.00 万元

本课题测试化验费用预算为 140.00 万元，其中，40.00 万元用于进行风光储场站群协同优化控制软件模块的功能测试，40.00 万元用于进行市场模式下风光储场站群优化调控软件模块的功能测试，40.00 万元用于进行风光储场站群惯量与一次调频能力评估与优化软件模块的功能测试，30.00 万元用于风光储场站群半实物闭环仿真测试环境加工，30.00 万元用于相关算法 dll 链接库加工，均为专项经费。

风光储场站群协同优化控制软件模块的功能测试内容主要包括对所提风光储集群模型、多场群协同优化调控模型、系统控制策略快速求解算法进行测试以及对所提风光储联合电站多场群协同优化控制策略的有效性进行验证，预计进行 5 次功能测试。按照第三方检测公司协议价，每次测试费用 8.00 万元，共计 $8.00 \text{ 万元} \times 5 \text{ 次} = 40.00 \text{ 万元}$ 。

市场模式下风光储场站群优化调控软件模块的功能测试内容主要包括能量、调频、调峰等不同市场模式下的风光储场站群的运行机制与调控效果测试，预计进行 5 次功能测试，每次测试费用 8.00 万元，共计 $8.00 \text{ 万元} \times 5 \text{ 次} = 40.00 \text{ 万元}$ 。

风光储场站群惯量与一次调频能力评估与优化软件模块包括风光储联合电站惯量在线评估模块、风光储联合电站一次调频在线评估模块、风光储联合电站惯量优化控制模块、风光储联合电站一次调频优化控制模块，共 4 个。按照第三方测试公司协议价，按照单个软件模块测试费用 8.00 万元，所有模块联调测试费用 8 万元，总计 $8.00 \text{ 万/个} \times 4 \text{ 个} + 8.00 \text{ 万} = 40.00 \text{ 万元}$ 。

仿真环境加工测试：风光储场站群半实物闭环测试仿真平台加工与测试费用，预计 30.00 万元。

算法加工：上述 3 个软件模块相关算法 dll 链接库封装加工费用，预计共 30.00 万元。

（4）燃料动力费：无

（5）出版/文献/信息传播/知识产权事务费：9.00 万元

本课题出版/文献/信息传播/知识产权事务费预算为 9.00 万元，均为专项经费。根据课题任务需要，出版预算为 2.00 万元，阶段成果报告复印打印费（含彩色插页）预算为 0.80 万元，知识产权费预算为 5.85 万元，专业资料购买费预算为 0.35 万元，具体如下：

（5-1）出版费用：本课题计划发表论文 2 篇，考虑部分国外期刊需交纳版面费和部分文章彩图印刷，SCI/EI 论文费用以平均 1.00 万元/篇计算，总共 2.00 万元。

（5-2）阶段成果报告复印打印费（含彩色插页）：主要用于课题研究周期内相关成果报告、参考资料、图集彩印和试验区的彩图等打印、复印，按照成果咨询会议及中期和验收后成果提交，总计 4 次报告打印，每次报告打印 10 本，每本 200 元，即 4 次×10 本×200 元=0.80 万元。

（5-3）知识产权费用：课题拟申请专利 7 项、软件著作权 1 项，按专利申请费用 0.80 万元/项，软件著作权申请费用 0.25 万元/项，共计 7 项×0.80 万元+1 项×0.25 万元=5.85 万元。

（5-4）专业数据资料购买费：搜集、购买整理风光储场站群的相关数据，按 0.15 万元估计；购买风光储场站群运行调控、优化算法、机器学习等相关书籍 10 本，每本按 200 元计算，共计 10 本×200 元=0.20 万元。

（6）差旅/会议/国际合作与交流费：136.00 万元

本课题差旅/会议/国际合作与交流费预算为 136.00 万元，均为专项经费。

（6-1）差旅费：100.00 万元

交通费根据《财政部关于印发<中央和国家机关差旅费管理办法>的通知》（财行〔2013〕531 号），教授、研究员等高级职称人员以及其他人员标准：市内交通费 80 元/天。住宿费按照《关于调整中央和国家机关差旅住宿费标准等有关问题的通知》（财行〔2015〕497 号）最新要求执行。项目计划参加现场调研、调试，共 200 人次，具体预算如下：

预算费用：

现场调研、调试：200 人次×[(住宿费 420 元/人天+交通费 80 元/人天)×6 天+来回机票/高铁 2000 元/人]=100.00 万元。

(6-2) 会议费：36.00 万元

本课题召开的会议均为四类会议，其会议费标准按照“财政部关于印发《中央和国家机关会议费管理办法》的通知（财行[2013]28号）”和“《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）”的要求制定，会期不超过2天，参会人员不超过50人，会议在四星级以下（含四星）定点饭店或单位内部会议室召开，会议费仅用于开支会议住宿费、伙食费等，综合定额标准为450元/人天。

本课题执行期间，拟组织的会议包括课题启动会，课题督导会、技术专题会、科研成果工程应用验收会、课题年度评审会、课题验收评审会等，考虑到课题执行的整体流程和成果要求，会议的设置原则是：1）课题启动会1次；2）在2021年10月份4#站示范工程技术成果落地之前，每个月1次课题督导会，2022年每3个月1次课题督导会，2023年半年1次课题督导会；3）技术专题会按课题任务设置，每个任务安排1次技术专题会；4）结合4#和1-3#站并网运行两个时间节点，安排2次科研成果工程应用验收会；5）2021、2022年底组织2次课题年度评审会；6）2023年组织1次课题验收评审会。

具体明细如下表：

序号	时间	会议内容	人数	拟聘专家数	标准 (元/人/天)	天数/ 次数	费用	承办单位
							(万元)	
1	2021	课题启动会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
2	2021	2021年6月课题督导会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
3	2021	2021年7月课题督导会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
4	2021	2021年8月课题督导会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
5	2021	2021年9月课题督导会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
6	2021	#4站科研成果工程应用验收会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
7	2021	2021年年度课题评审会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
8	2022	2022年3月课题督导会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
9	2022	2022年6月课题督导会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
10	2022	2022年9月课题督	50	7	450	1	2.25	华北电力大学

		导会						
11	2022	#1~#3 站科研成果工程应用验收会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
12	2022	2022 年年度课题评审会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
13	2023	2023 年 6 月课题督导会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
14	2023	课题验收评审会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
15	2021	风光储场站群协同优化控制策略技术研讨会	25	5	450	1	1.125	华北电力大学
16	2021	风光储场站群惯量与一次调频能力评估与优化技术研讨会	25	5	450	1	1.125	华北电力大学
17	2021	市场模式下风光储场站群优化调控方法技术研讨会	25	5	450	1	1.125	华北电力大学
18	2021	风光储场站群智能调控软件实验室原型系统开发技术研讨会	25	5	450	1	1.125	华北电力大学
累计							36	—

(6-3) 国际合作与交流费：无

(7) 人工费：176.00 万元

本课题人工费预算为 176.00 万元，均为专项经费。本课题参加正式职工 7 人（教授 2 人，副教授 3 人，讲师 1 人，博士后 1 人），按照教授工资 2.00 万元/月，副教授工资 1.60 万元/月，讲师工资 1.20 万元/月，博士后工资 1.00 万元/月，总工期 2 年，各类研究人员 2 年累计投入时长分别为：教授 15 个月，副教授 15 个月，讲师 20 个月，博士后 20 个月。

预算费用：

教授：2 人×15 月×2.00 万元/人月=60.00 万元；

副教授：3 人×15 月×1.60 万元/人月=72.00 万元；

讲师：1 人×20 月×1.20 万元/人月=24.00 万元；

博士后：1 人×20 月×1.00 万元/人月=20.00 万元。

具体人员列表如下：

序号	姓名	工作单位	技术职称	工作分工	投入课题 总月数	支付标准 (万元/月)	工资 (万元)
1	刘念	华北电力大学	副院长/教授	课题负责人	15	2	30
2	贾科	华北电力大学	教授	场群一次调频 算法设计	15	2	30
3	王程	华北电力大学	副教授	场群惯量评估 算法设计	15	1.6	24
4	胥国毅	华北电力大学	副教授	场群一次调频 能力评估	15	1.6	24
5	胡俊杰	华北电力大学	副教授	市场模式下的 场站群优化调 控方法理论指 导	15	1.6	24
6	延肖何	华北电力大学	讲师	市场模式下的 场站群优化调 控方法理论指 导	20	1.2	24
7	史佳琪	华北电力大学	博士后	场站群协同优 化控制建模	20	1	20
合计							176

(8) 劳务费: 132.00 万元

本课题劳务费预算为 132.00 万元, 均为专项经费。本课题参加研究生 18 人, 其中博士研究生 6 名、硕士研究生 12 名。按照博士研究生 5000 元/月, 硕士研究生 3000 元/月, 总工期 20 个月。

预算费用:

博士研究生: $6 \text{ 人} \times 20 \text{ 月} \times 0.5 \text{ 万元/人月} = 60.00 \text{ 万元};$

硕士研究生: $12 \text{ 人} \times 20 \text{ 月} \times 0.3 \text{ 万元/人月} = 72.00 \text{ 万元}。$

(9) 专家咨询费: 23.6 万元

本课题专家咨询费预算为 23.6 万元, 均为专项经费。测算方法与依据:

专家咨询费严格执行财政部印发《中央财政科研项目专家咨询费管理办法》(财科教[2017]128 号) 的标准: 会议形式和现场访谈/勘察——高级专业技术职称人员的专家咨询费标准为 2000 元 / 人天 (税后); 院士、全国知名专家, 可按照高级专业技术职称人员的专家咨询费标准上浮 50% 执行。

具体明细如下表:

序号	时间	会议内容	人数	标准 (元/人/天)	天数	费用	列支单位
						(万元)	
1	2021	课题启动会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
2	2021	2021 年 6 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
3	2021	2021 年 7 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
4	2021	2021 年 8 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
5	2021	2021 年 9 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
6	2021	#4 站科研成果工程应用验收会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
7	2021	2021 年年度课题评审会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
8	2022	2022 年 3 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
9	2022	2022 年 6 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
10	2022	2022 年 9 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
11	2022	#1~#3 站科研成果工程应用验收会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
12	2022	2022 年年度课题评审会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
13	2023	2023 年 6 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
14	2023	课题验收评审会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
15	2021	风光储场站群协同优化控制策略技术研讨会	5	2000	1	1	华北电力大学
16	2021	风光储场站群惯量与一次调频能力评估与优化技术研讨会	5	2000	1	1	华北电力大学
17	2021	市场模式下风光储场站群优化调控方法技术研讨会	5	2000	1	1	华北电力大学
18	2021	风光储场站群智能调控软件实验室原型系统开发技术研讨会	5	2000	1	1	华北电力大学
累计						23.6	—

(10) 其他费用：无

(二) 间接费用

(2-1) 管理费：按照直接经费的 10%收取，总计 660.600000 万元 \times 0.1=66.060000 万元。

(2-2) 税金：按照直接经费加管理费的 3%收取，总计 (660.600000 万元+66.060000 万元) \times 0.03=21.799800 万元。

课题三：区域风电场群功率智能进化多尺度集中式预测模型与机组诊断预警技术研究

序号	科目名称	金额（万元）	测算依据
1	（一）直接费用	1056.000000	
2	1. 设备费	0	
3	（1）购置设备费	0	
4	（2）试制设备费	0	
5	（3）设备改造费	0	
6	（4）设备租赁费	0	
7	2. 材料费	194.800000	<p>1) 拟购企业级硬盘阵列 28TB2 盘位 5 个，用于大规模数据备份，单价约 1.5 万元/个，小计 7.5 万元</p> <p>2) 拟购英伟达深度学习 GPU 计算显卡 5 个，用于 5 个深度学习软件模块的计算，单价约 1.6 万元/个，小计 8 万元</p> <p>3) 拟购 4TB 移动硬盘 20 个，用于现场数据拷贝和超算计算结果存储，单价 0.1 万元，小计 2 万元</p> <p>4) 多源数值天气预报数据购买，包括多个高度层的风速和风向要素，单点 8 万元，约需 22 个点位，小计 176 万元</p> <p>5) 项目研究过程中硒鼓、会议办公用品等耗材，约需 1.3 万元</p>
8	3. 测试化验加工费	440.000000	<p>1) 软件模块和数据库的设计、开发、封装、调用、效率优化等费用，共 7 个子软件模块、2 个数据库，小计 190 万元</p> <p>2) 预测系统测试费（包括 7 个子模块、2 个数据库、完整系统），单价 5 万元/个，小计 50 万元</p> <p>3) 计算机时费，用于研究所需的大规模计算，约需使用 1000 万核时，单价 0.1 元/核时，共计 0.1 元/核时×900 万核时=90 万</p> <p>4) 用于机组诊断预警模型的封装、测试、</p>

			数据库的自动录入调用等，按每个模型5.5万算，20个，约110万
9	4. 燃料动力费	0	
10	5. 出版/文献/信息传播/知识产权事务费	18.850000	1) 申请发明专利 8 项、软件著作权 1 项，0.8 万元/项×8 项+0.25 万元/项=6.65 万元 2) 论文发表的审稿费、版面费以及会议论文的会议注册费等 1 万元/篇×2 篇=2 万元 3) 资料打印、资料购买等费用10.2万元
11	6. 会议/差旅/国际交流费用	90.150000	现场调研和现场系统安装与调试等所发生的差旅费60万元；会议费23.625万元
12	7. 人工费	141.600000	教授64万；副教授51.2万；讲师26.4万
13	8. 劳务费	148.000000	博士研究生6名，硕士研究生14名。其中，博士生64万元；硕士生84万元
14	9. 专家咨询费	22.600000	1) 课题层面督导会、评审会等共 9 次，每次平均请 7 名高级专业技术职称专家，共计 7 人/次×1 天×0.2 万元/人天×14 次=12.60 万元 2) 针对任务 3.1 和任务 3.2 的技术研讨会和企业标准审查会等共 3 次，每次平均请 5 名高级专业技术职称专家，共计 5 人/次×1 天×0.2 万元/人天×3 次=3.00 万元 共计12.60+3.00=15.60万元
15	(二) 间接费用	140.448000	
16	1. 管理费	105.600000	按照直接经费的10%计算
17	2. 税金	34.848000	按照管理费+直接经费的3%计算
18	(三) 总经费	1196.448000	

经费说明及计费标准和依据：

(一) 直接费用

(1) 设备费：0.00 万元

(2) 材料费：194.80 万元

本课题材料费预算为 194.80 万元，为项目研究过程中所需的多源数值天气预报的数据购买（包括多高度层的风速和风向要素）、硬盘等费用，详细如下：

项目	规格	单价/元	用量	总价/万元
企业级硬盘阵列	28TB2 盘位	15000	5	7.50
英伟达深度学习 GPU 计算显卡	2080Ti 11G	16000	5	8.00
移动硬盘	4T	1000	20	2.00
多源数值天气预报数据 (每个点包括多高度层的风速和风向要素)	点位	80000	22 点位	176.00
打印纸	包	30	100	0.3
硒鼓	个	500	20	1
合计				194.80

(3) 测试化验加工费：440.00 万元

本课题用于预测软件模块和数据库的测试开发，诊断预警模型的封装调用与测试及租用超算资源的测试化验费用预算为 440.00 万元，具体如下：

序号	测试加工项目	测试加工内容	单价	数量	金额(万元)
1	《区域风电场群集中式功率预测系统》开发及优化（软件模块架构设计、程序封装、多模块调用、系统效率优化、数据库开发等）	软件模块 1：数值天气预报修正	24	1	24.00
		软件模块 2：短期风电场群集中式功率预测	28	1	28.00
		软件模块 3：超短期风电场群集中式功率预测	28	1	28.00
		软件模块 4：误差分析	20	1	20.00
		软件模块 5：模型智能进化	24	1	24.00
		软件模块 6：实时数据清洗	24	1	24.00
		软件模块 7：数据流传输调用模块	12	1	12.00
		天气预报数据库模块(用于部署在三区的服务器)	15	1	15.00
		生产数据库模块(用于不可接触外网的服务器)	15	1	15.00
2	《区域风电场群集中式功率预测系统》的软件模块测试	各软件模块的功能性、性能、安全性调试测试	5	10	50.00
4	计算机时费	数值天气预报降尺度计算	0.1 元/核时	300 万核时	30.00

		多源数值天气预报融合计算		100 万核时	10.00
		多种深度学习算法优化及预测误差分析		200 万核时	20.00
		不同技术路线对比计算		100 万核时	10.00
		模型智能进化研究		200 万核时	20.00
5	模型封装调用与测试	用于机组诊断预警模型的封装、测试、数据库的自动录入调用等	5.5	20	110.00
合计					440.00

（5）出版/文献/信息传播/知识产权事务费：18.85 万元

本课题出版/文献/信息传播/知识产权事务费预算为 18.85 万元。根据课题任务需要，出版预算为 2.00 万元，阶段成果报告复印打印费（含彩色插页）预算为 10.2 万元，知识产权费预算为 6.65 万元。具体如下：

（5-1）出版费用：本课题计划发表论文 2 篇，论文发表的审稿费、版面费以及会议论文的会议注册费等以 1.00 万元/篇计算，共 2.00 万元。

（5-2）阶段成果报告复印打印费（含彩色插页）：主要用于课题研究周期内相关成果报告、参考资料、图集彩印等的打印、复印，按照成果咨询会议及中期和验收后成果提交，其中，任务 1 总计报告打印 20 次，每次报告打印 25 本，每本 200 元，即 20 次×25 本×200 元=10 万元。任务 2 约计 0.2 万元。两个任务总计 10.2 万元。

（5-3）知识产权费用：课题拟申请专利 8 项，软件著作权 1 项，按专利申请费用 0.80 万元/项，软件著作权申请费用 0.25 万元/项，共计 8 项×0.80 万元/项+1 项×0.25 万元/项=6.65 万元。

（6）差旅/会议/国际合作与交流费：90.15 万元

本课题差旅/会议/国际合作与交流费预算为 90.15 万元。

（6-1）差旅费：60.00 万元

根据《关于调整中央和国家机关差旅住宿费标准等有关问题的通知》（财行[2015]497 号）要求，具体预算如下：

课题共涉及 5 个核心研究内容（包括风电场群特性分析、数值天气预报修正、超短

期预测、短期预测、预测模型智能进化），每年每个研究内容预计开展由于现场调研和现场系统安装调试等发生的差旅工作共 12 人次。具体预算为：12 人次/年/内容×〔（住宿费 420 元/人天+交通费补助 80 元/人天）×6 天+来回机票/高铁 2000 元/人次〕×5 个研究内容×2 年=60.00 万元。

（6-2）会议费：30.15 万元

本课题召开的会议均为四类会议，其会议费标准按照“财政部关于印发《中央和国家机关会议费管理办法》的通知（财行[2013]286 号）”，会期不超过 2 天，参会人员不超过 50 人，会议在四星级以下（含四星）定点饭店或单位内部会议室召开，会议费仅用于开支会议住宿费、伙食费等，综合定额标准为 450 元/人天。

本课题执行期间，拟组织的会议包括课题层面的启动会、督导会、评审会和验收会；任务层面的核心技术和企业标准研讨会等共计 17 次会议，具体明细如下表：

序号	时间	会议内容	人数	拟聘专家数	标准(元/人/天)	天数/次数	费用	承办单位
							(万元)	
1	2021	课题启动会	45	7	450	1	2.025	华北电力大学
2	2021	2021 年 6 月课题督导会	40	7	450	1	1.8	华北电力大学
3	2021	2021 年 7 月课题督导会	40	7	450	1	1.8	华北电力大学
4	2021	2021 年 8 月课题督导会	40	7	450	1	1.8	华北电力大学
5	2021	2021 年 9 月课题督导会	40	7	450	1	1.8	华北电力大学
6	2021	#4 站科研成果工程应用验收会	45	7	450	1	2.025	华北电力大学
7	2021	2021 年年度课题评审会	45	7	450	1	2.025	华北电力大学
8	2022	2022 年 3 月课题督导会	40	7	450	1	1.8	华北电力大学
9	2022	2022 年 6 月课题督导会	40	7	450	1	1.8	华北电力大学
10	2022	2022 年 9 月课题督导会	40	7	450	1	1.8	华北电力大学
11	2022	#1~#3 站科研成果工程应用验收会	45	7	450	1	2.025	华北电力大学
12	2022	2022 年年度课题评审会	45	7	450	1	2.025	华北电力大学
13	2023	2023 年 6 月课题督导会	45	7	450	1	2.025	华北电力大学
14	2023	课题验收评审会	45	7	450	1	2.025	华北电力大学

15	2022	风电功率预测技术研讨会	25	5	450	1	1.125	华北电力大学
16	2022	风电机组智能诊断与定量化维护技术研讨会	25	5	450	1	1.125	华北电力大学
17	2023	风电功率预测企业标准研讨会	25	5	450	1	1.125	华北电力大学
累计							30.15	—

(7) 人工费：141.60 万元

本课题人工费为研究人员工资，本研究项目参与人员包括：教授 2 名，副教授 3 名，讲师 1 名。

序号	姓名	工作单位	技术职称	工作分工	投入课题总月数	支付标准(万元/月)	工资(万元)
1	阎洁	华北电力大学	副教授	风电集中式功率预测总体规划	22	1.6	35.2
2	孟航	华北电力大学	讲师	多源数值天气预报融合	22	1.2	26.4
3	滕伟	华北电力大学	教授	机组诊断预警总体规划	16	2	32
4	柳亦兵	华北电力大学	教授	RCM 建模与分析	16	2	32
5	马志勇	华北电力大学	副教授	故障数据库构建	5	1.6	8
6	武鑫	华北电力大学	副教授	故障预警算法开发	5	1.6	8
合计							141.6

(8) 劳务费：148.00 万元

本课题劳务费预算为 148.00 万元，本课题参加博士研究生 6 名，硕士研究生 14 名。按博士研究生 5000/月，硕士研究生 3000/月，总工期 2 年，预算费用为：

任务 1：

博士研究生：4 人×0.5 万元/人月×11 月×2 年=44.00 万元；

硕士研究生：8 人×0.3 万元/人月×10 月×2 年=48.00 万元。

任务 2：

博士研究生：2人×0.5万元/人月×10月×2年=20.00万元；

硕士研究生：6人×0.3万元/人月×10月×2年=36.00万元。

（9）专家咨询费 22.60 万元

本课题专家咨询费预算为 22.60 万元。测算方法与依据：

专家咨询费严格执行财政部印发《中央财政科研项目专家咨询费管理办法》（财科教[2017]128号）的标准：会议形式和现场访谈/勘察——高级专业技术职称人员的专家咨询费标准为 2000 元 / 人天。

序号	时间	会议内容	人数	标准 (元/人/天)	天数	费用 (万元)	列支单位
1	2021	课题启动会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
2	2021	2021 年 6 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
3	2021	2021 年 7 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
4	2021	2021 年 8 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
5	2021	2021 年 9 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
6	2021	#4 站科研成果工程应用验收会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
7	2021	2021 年年度课题评审会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
8	2022	2022 年 3 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
9	2022	2022 年 6 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
10	2022	2022 年 9 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
11	2022	#1~#3 站科研成果工程应用验收会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
12	2022	2022 年年度课题评审会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
13	2023	2023 年 6 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
14	2023	课题验收评审会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
15	2022	风电功率预测技术研讨会	5	2000	1	1	华北电力大学
16	2022	风电机组智能诊断与定量化维护技术研讨会	5	2000	1	1	华北电力大学
17	2023	风电功率预测企业标准研讨会	5	2000	1	1	华北电力大学
累计						22.6	—

（二）间接费用

（2-1）管理费：按照直接经费 10%收取，总计 1056.000000 万元×0.10= 105.600000 万元。

(2-2)税金:按照直接经费加管理费的3%收取,总计(1056.000000 万元+ 105.600000 万元) $\times 0.03 = 34.848000$ 万元。

课题四：基于深度学习的风电场效能评价与大型风电基地流场精细化模拟技术研究

序号	科目名称	金额（万元）	测算依据
1	（一）直接费用	587.400000	
2	1. 设备费	72.000000	
3	（1）购置设备费	0	
4	（2）试制设备费	0	
5	（3）设备改造费	0	
6	（4）设备租赁费	72.000000	效能评价部分（风电场每台风电机组至少1年的SCADA数据，海量数据和深度学习算法都必须有超算的支持）：数据清洗200万核时，大数据驱动的风电机组运行状态及性能识别方法200万核时；流场计算部分（风电场区域计算风向16个，风速涵盖3m/s-25m/s，数值计算过程中需要反复测试验证，算例超过200个）：风电区域流场大规模并行计算320万核时。一共200+200+320=720万核时，按0.1元/核时计，共计72万元
7	2. 材料费	51.700000	项目研究过程中海量数据存储和深度学习算法所需的硬盘、内存以及打印纸、硒鼓等耗材，约需 11.70 万元；风电机组和风电场模型制作，用于风洞实验,约需 40 万元；共计 51.70 万元
8	3. 测试化验加工费	125.000000	用于效能评价系统的开发和调试等费用：50 万元；大型风电基地精细化模拟软件开发费：45万；风洞试验费用：30万；共计125 万元
9	4. 燃料动力费	0	
10	5. 出版/文献/信息传播/知识产权事务费	11.700000	申请发明专利0.8万元/项×4项=3.2万元，软件著作权0.25万元/项×2篇=0.5万元，共3.7 万元；发表论文版面费和审稿费1万元/篇×2篇=2万元；科技查新、资料图书等费用6 万元，共计11.7万元
11	6. 会议/差旅/国际合作交流费	63.400000	差旅费45万元，会议费14.40万元，国际合作与交流费4万元；共计63.40万元
12	7. 人工费	149.600000	教授1名，人工费44万元，副教授3名，人工费105.6万元，共计149.6万元
13	8. 劳务费	106.000000	博士研究生2名，劳务费22万元，硕士研究生14名，劳务费84万元，共计106万元
14	9. 专家咨询费	8.000000	安排专家咨询会8次，每次请5人，按2000元/（人天）的标准，共计2000元/（人天）×5人×1天/次×8次=8.00万元

15	(二) 间接费用	78.124200	
16	1. 管理费	58.740000	按照直接经费的10%计算
17	2. 税金	19.384200	按照管理费+直接经费的3%计算
18	(三) 总经费	665.524200	

经费说明及计费标准和依据：

(一) 直接费用

(1) 设备费：无

(1-1) 购置设备费：无

(1-2) 试制设备费：无

(1-3) 设备改造费：无

(1-4) 设备租赁费：72 万元

效能评价部分（风电场每台风电机组至少 1 年的 SCADA 数据，海量数据和深度学习算法都必须有超算的支持）：数据清洗 200 万核时，大数据驱动的风电机组运行状态及性能识别方法 200 万核时；流场计算部分（风电场区域计算风向 16 个，风速涵盖 3m/s-25m/s，数值计算过程中需要反复测试验证，算例超过 200 个）：风电区域流场大规模并行计算 320 万核时。一共 200+200+320=720 万核时，按 0.1 元/核时计，共计 72 万元。

(2) 材料费：51.70 万元

本项目材料费预算为 51.70 万元，主要用于研究过程中深度学习算法计算和大数据处理，以及海量、多维风电场生产运行管理数据的储存，以及制作风洞实验模型、风洞测量和验证所发展的高精度数值模拟方法。

详细如下：

项目	规格	单价/元	用量	总价/万元
企业级硬盘阵列	28TB2 盘位	15000	2	3.00
内存	品牌：金士顿 Kingston 型号：HX436C17FB3K2/32 或 HX436C18FB4K2/32 类型：288-Pin DDR4 UDIMM	1200	10	1.20
英伟达深度学习 GPU 计算显卡	2080Ti 11G	16000	3	4.80

移动硬盘	4T	1000	14	1.40
打印纸	包	30	100	0.3
硒鼓	个	500	20	1
风电机组（含叶片、轮毂、塔架、传动系统）	风轮直径 0.5 米，塔架高度 0.5m，轮毂尺寸小于 0.1m	40000	8	32.00
风洞实验用材料（转速表、测压管线、电缆、屏蔽数据线、开关、应变片等）	批	20000	4	8.00
合计				51.70

（3）测试化验加工费：125.00 万元

本课题用于效能评价系统的开发和调试、大规模并行计算、大型风洞实验和软件开发等测试化验加工费预算为 125.00 万元万元，具体如下：

序号	测试加工项目	测试加工内容	单价（万元）	数量	金额(万元)	测试加工单位
1	《风电场运维效能评价系统》设计、开发与优化	三个软件模块（数据处理、风电机组运行状态划分、风电场运维效能评价）的架构设计、程序编制、封装移植、效率优化、数据库开发等	15.00	3 个	45.00	
2	《风电场运维效能评价系统》的软件模块测试	三个软件模块的功能性、性能、安全性测试	—	—	5.00	
3	大型风电基地精细化模拟软件开发	完成核心代码开发后，需要整个系统对进行架构设计、代码开发和封装设计	45.00	1	45.00	

4	风洞试验	研究需要借助大型风洞实验或现场测量数据进行方法验证	1.50	20	30.00	
合计					125.00	

(4) 燃料动力费：无

(5) 出版/文献/信息传播/知识产权事务费：11.70 万元

本课题出版/文献/信息传播/知识产权事务费预算为 11.70 万元。根据课题任务需要，出版预算为 2.00 万元，文献费用预算为 6.00 万，知识产权费预算为 3.70 万元。具体如下：

(5-1) 出版费用：本课题计划发表论文 2 篇，版面费和审稿费以平均 1.00 万元/篇计算，总共 2.00 万元。

(5-2) 文献费用：主要用于项目立项科技查新，课题研究周期内相关成果报告、参考资料、图集彩印和试验区的彩图等打印、复印，按照成果咨询会议及中期和验收后成果提交，总计 10 次报告打印，每次报告打印 30 本，每本 200 元，即 $10 \text{ 次} \times 30 \text{ 本} \times 200 \text{ 元} = 6.00 \text{ 万元}$ 。

(5-3) 知识产权费用：课题拟申请专利 4 项，软件著作权 2 项，按专利申请费用 0.80 万元/项，软件著作权申请费用 0.40 万元/项，共计 $4 \text{ 项} \times 0.8 \text{ 万元/项} + 2 \text{ 项} \times 0.25 \text{ 万元/项} = 3.70 \text{ 万元}$ 。

(6) 差旅/会议/国际合作与交流费：63.40 万元

(6-1) 差旅费：45.00 万元

根据《关于调整中央和国家机关差旅住宿费标准等有关问题的通知》最新要求，课题每个研究内容每年预计开展现场调研、实验和参加高水平学术会议 9 人次，包括往返路费、住宿费、差旅补助等，具体预算如下：

预算费用： $9 \text{ 人次/年/内容} \times [(\text{住宿费 } 420 \text{ 元/人天} + \text{交通费补助 } 80 \text{ 元/人天}) \times 6 \text{ 天} + \text{来回机票/高铁 } 2000 \text{ 元/人次}] \times 2 \text{ 年} \times 5 \text{ 个内容} = 45.00 \text{ 万元}$ 。

(6-2) 会议费：14.40 万元

本课题召开的会议均为四类会议，其会议费标准按照“财政部关于印发《中央和国家机关会议费管理办法》的通知（财行[2013]286 号）”的要求制定，会期不超过 2 天，参会人员不超过 50 人，会议在四星级以下（含四星）定点饭店或单位内部会议室召开，会议费仅用于开支会议住宿费、伙食费等，综合定额标准为 450 元/人天。

本课题执行期间，拟组织的会议包括课题启动会、课题督导会、技术专题会、课题年度评审会、课题验收评审会等 8 次会议，具体明细如下表：

序号	时间	会议内容	人数	拟聘专家数	标准 (元/ 人/天)	天数/ 次数	费用 (万元)	承办单位
1	2021	课题启动会	40	5	450	1	1.8	华北电力大学
2	2021	2021 年年度课题评审会	40	5	450	1	1.8	华北电力大学
3	2022	2022 年 3 月课题督导会	40	5	450	1	1.8	华北电力大学
4	2022	2022 年 6 月课题督导会	40	5	450	1	1.8	华北电力大学
5	2022	2022 年 9 月课题督导会	40	5	450	1	1.8	华北电力大学
6	2022	2022 年年度课题评审会	40	5	450	1	1.8	华北电力大学
7	2023	2023 年 6 月课题督导会	40	5	450	1	1.8	华北电力大学
8	2023	课题验收评审会	40	5	450	1	1.8	华北电力大学
累计							14.40	—

(6-3) 国际合作与交流费：4.00 万元

项目组成员参加国外及港澳台国际交流，用于跟踪国际同步测量与保护技术，并交流推广本子课题技术方法，这对课题的先进性、高质量完成具有重要作用。其中，食宿及公杂费用 0.2 万元/人.天，往返机票平均 2.00 万元/人。共计 4 万元，具体如下表：

序号	时间	出国事由	地点	人员 (人)	时间 (天)	注册费 (万元)	计算依据	费用 (万元)
1	2021.06	尾流会议 2021 年会 (Wake Conference 2021)	线上会议	3	3	0.30	0.3 万元/人 *3 人=0.9 万元	0.90
2	2021.09	北美风能协会风电技术 2021 年会 (NAWEA/WindTech 2021 Conference)	美国特拉华州	1	4	0.30	(0.2 万元/人.天*4 天 +2 万元/人 +0.30 万元/人)*1 人 =3.10 万元	3.10
合计								4.00

1) 尾流会议 2021 年会 (Wake Conference 2021)

2) 北美风能协会风电技术 2021 年会 (NAWEA/WindTech 2021 Conference)

注册费：425 美元=2732.4525 元，按 0.3 万元/人次记。会期：4 天。

机票：无直飞航班，可先去纽约转机，往返机票可按 2 万元/人次计算。

(7) 人工费：149.6 万元

本项目人工费为研究人员工资，本研究项目参与人员包括：教授 1 名，副教授 3 名。

序号	姓名	工作单位	技术职称	工作分工	投入课题 总月数	支付标准 (万元/月)	工资 (万元)
1	刘永前	华北电力 大学	教授	课题 3 负责人	22	2.00	44.00
2	韩爽	华北电力 大学	副教授	效能评价指标 体系建立	22	1.60	35.20
3	葛铭纬	华北电力 大学	副教授/副 院长	课题 4 负责人	22	1.60	35.20
4	李莉	华北电力 大学	副教授	致动力建模	22	1.60	35.20
合计							149.60

(8) 劳务费：106.00 万元

本课题参加博士研究生 2 名、硕士研究生 14 名。按照博士研究生 5000 元/月，硕士研究生 3000 元/月，总工期 2 年。预算费用：

博士研究生： 2 人×0.50 万元/人月×11 月×2 年=22.00 万元；

硕士研究生： 14 人×0.30 万元/人月×10 月×2 年=84.00 万元。

(9) 专家咨询费：8.00 万元

本课题专家咨询费预算为 8.00 万元。测算方法与依据：

专家咨询费严格执行财政部印发《中央财政科研项目专家咨询费管理办法》（(财科教[2017]128 号)）的标准：会议形式和现场访谈/勘察——高级专业技术职称人员的专家咨询费标准为 2000 元 / 人天（税后）执行。据此，课题按照平均 2000 元/人天（税前）进行预算，专家咨询费明细如下表：

序号	时间	会议内容	人数	标准 (元/人/天)	天 数	费用	列支单位
						(万元)	
1	2021	课题启动会	5	2000	1	1.0	华北电力大学
2	2021	2021 年年度课题评审会	5	2000	1	1.0	华北电力大学
3	2022	2022 年 3 月课题督导会	5	2000	1	1.0	华北电力大学
4	2022	2022 年 6 月课题督导会	5	2000	1	1.0	华北电力大学
5	2022	2022 年 9 月课题督导会	5	2000	1	1.0	华北电力大学
6	2022	2022 年年度课题评审会	5	2000	1	1.0	华北电力大学

7	2023	2023 年 6 月课题督导会	5	2000	1	1.0	华北电力大学
8	2023	课题验收评审会	5	2000	1	1.0	华北电力大学
累计						8.0	—

（二）间接费用：

（2-1）管理费：按照直接经费的 10%计算，总计 $587.400000 \text{ 万元} \times 0.10 = 58.740000$ 万元。

（2-2）税金：按照管理费+直接经费的 3%计算，总计 $(587.400000 \text{ 万元} + 58.740000 \text{ 万元}) \times 0.03 = 19.384200$ 万元。

课题五：基于数字孪生建模技术的光伏场站效能评价体系研究及智能运维系统开发

序号	科目名称	金额（万元）	测算依据
1	（一）直接费用	1402.110000	
2	1. 设备费	0	
3	（1）购置设备费	0	
4	（2）试制设备费	0	
5	（3）设备改造费	0	
6	（4）设备租赁费	0	
7	2. 材料费	155.990000	系统测试及开发过程中涉及到的传感器等；算法实施、模型建模过程中需要的易损坏的组件、传感器等；太阳亮度测量用各类光学镜片、滤光片、观测系统现场施工用五金、耗材、光伏组件测试耗材。风云卫星接收站与地基全天空观测仪部署所需相关配套材料费用数据存储与高速通讯模块部署材料费用
8	3. 测试化验加工费	455.000000	软硬件平台测试费用；算法和模型精度测试；相关算法dll链接库的加工；双轴太阳跟踪系统设计与加工费、光电材料送检。数据采集测试分析与计算服务
9	4. 燃料动力费	0	
10	5. 出版/文献/信息传播/知识产权事务费	61.850000	论文版面费、专利申请费、查新费、软件著作权
11	6. 会议/差旅/国际合作交流费	135.000000	需在光伏场站多人多次多天施工、测试，往返交通费、租车费、住宿费。举办项目交流会，前往项目示范地点、其他科技公司、高校交流及出国交流访问费用
12	7. 人工费	292.270000	研究人员工资，IT工程师代码开发、界面开发和调试费。专职研究人员人工费，代码开发、软件开发和调试人员用工费用，设备运输、部署与其他临时人员用工费用

13	8. 劳务费	274.000000	博士生及研究生劳务费
14	9. 专家咨询费	28.000000	方案论证、中期检查和最终验收的专家咨询费
15	(二) 间接费用	186.480630	
16	1. 管理费	140.211000	按照直接经费的10%计算
17	2. 税金	46.269630	按照管理费+直接经费的3%计算
18	(三) 总经费	1588.590630	

经费说明及计费标准和依据:

(一) 直接费用

(1) 设备费: 0 万元

(2) 材料费: 155.99 万元

本课题材料费预算为 155.99 万元, 为项目实施过程中组件级监测中涉及到的电流、电压、温度等低值传感器, 算法实施、建模过程中需要的易损坏的组件和传感器费用, 项目室外太阳亮度测量过程及光伏组件测量过程中消耗的各种原材料、辅助材料、低值易耗品等的采购及运输、装卸、整理。包括部署安装风云卫星接收站、地基全天空观测仪、高精度光伏功率预测系统平台以及远程数据传输与高速通讯模块所需相关配套材料, 以及日常科研工作中发生的相关资料打印、数据存储等材料费用及其邮寄费用具体的材料清单如下。

项目	规格	单价/元	用量	总价/万元
电流传感器	组件电流采集及传输	200	900	18.00
电压传感器	组件电流采集及传输	200	287	5.74
温度传感器	组件温度采集及传输	200	1000	20.00
光伏组件	300W	500	500	25.00
信号传输模块	4G 传输模块	500	100	5.00
电压传感器	0-100V	200	1000	20.00
中性滤光片	定制	1000	30	3.00
红外滤光片	定制	1000	30	3.00
石英光纤	定制	15000	10	15.00
塑料光纤	定制	5000	10	5.00
型材	Kg	30	900	2.7

角件	套	105	100	1.05
加工刀具	套	5000	10	5.00
观测目镜	个	3000	5	1.5
防护目镜	个	400	25	1.00
3D 打印耗材	卷	500	20	1.00
光伏与环境数据监测模块	套	35000	4	14.00
高速数据通讯专用模块	套	6000	12	7.20
施工材料附件与线缆	套	20000	1	2.00
专用材料运输费用	套	8000	1	0.8
合计				155.99

(3) 测试化验加工费：455 万元

本专题测试化验费用预算为 455 万元，包括组件测试、电站能效测试、算法和模型精度测试、双轴太阳跟踪系统的 3D 设计、加工调试等费用、相关算法 dll 链接库的加工费用及相关模块开发费用。

(3-1) 测试合计 65 万元：

计划 280 次测试：1) 组件的 IV 测试和电站能效测试、算法和模型精度测试 180 次测试：按照第三方检测公司协议价，按单价 2500 元/项.样计，共计 180 次×0.25 万元=45.00 万元。2) 对光电材料进行专业检测，包括材料强度、电阻率、热导率等检测。按单价 2000 元/次.样计，共计 100 次 × 0.2 万元 = 20.00 万元。

(3-2) 算法加工：相关算法 dll 链接库加工费用约 14.00 万元。

(3-3) 跟踪系统加工 40 万：设计加工一台能够全气候、全时段精确跟踪太阳的双轴跟踪系统，包括底座、方位角驱动、高度角驱动、太阳定位传感器、PLC 以及远程控制模块，。驱动部分采用高精度蜗轮蜗杆减速器、行星减速器和步进电机构成，可以确保太阳跟踪运动对微进给量的要求。太阳定位传感器采用高精度四象限光敏传感器感应太阳光线方位，精度可达 0.01 度，反应时间小于 100 毫秒，视野为±15 度，为系统提供准确的太阳光线方向信息。系统采用可编程逻辑器件（PLC）进行运动控制，可以在全气候下长期可靠工作。系统另外配置 4G 通讯模块以及云端服务器，可以在手机终端进行远程监控、操控。

(3-4) 卫星、气象、功率数据采集测试分析费及算法模块开发 170.00 万元，

系统架构设计、模块封装与调用、软件效率优化、数据库开发等，包括：卫星、气象、功率数据采集与测试分析 20.00 万元；基于本地数据与快速循环同化技术的数值模

式 20.00 万元；区域光伏电站集群集中式功率预测与性能评价软件算法模块开发费 130 万元，共计：20.00 万元+20.00 万元+130.00 万元=170.00 万元。

（3-5）模型计算测试与数据分析费 91 万元

人工智能模型参数优化、多元数据融合分析等所需计算测试分析费，预估 31 万元。

光伏电站性能计算模型性能测试费用 30 万元。

光伏发电功率预测模型参数优化、运行场景匹配、云空图像数据规范化校正等所需计算测试分析费 30 万元。

（3-6）软件功能测试费 75 万元：

多场景算法与分类模型对比、数值气象模式滚动计算、预测性能评估与误差分析等，以及算法模块与软件系统等功能、性能、兼容性、可靠性、安全性测试，预估 75 万元。

（4）燃料动力费：无。

（5）出版/文献/信息传播/知识产权事务费：61.85 万元

本课题出版/文献/信息传播/知识产权事务费预算为 61.85 万元。根据课题任务需要，出版预算为 10 万元，阶段成果报告复印打印费（含彩色插页）预算为 9.8 万元，知识产权费预算为 13.05 万元，专业资料购买费预算为 5.00 万元，专业软件使用费 24.00 万元。具体如下：

（5-1）出版费用：本课题计划发表论文 10 篇，考虑部分国外期刊需交纳版面费和会议注册费，论文发表与会议注册费用以平均 1 万元/篇计算，共 10 万元。

（5-2）阶段成果报告复印打印费（含彩色插页）：主要用于课题研究周期内相关成果报告、参考资料、图集彩印和试验区的彩图等打印、复印，按照成果咨询会议及中期和验收后成果提交，其中 8 次报告打印，每次报告打印 50 本，每本 200 元，即 8 次×50 本×200 元=8.00 万元；文献检索及资料复印费 1.80 万元。共计 9.8 万元。

（5-3）知识产权费用：课题拟申请专利 16 项，申请费用 0.8 万元/项；软件著作权 1 项，申请费用 0.25 万元/项。共计 13.05 万元。

（5-4）专业数据资料购买费：研究需拟建站地区高精度气象资料数据，按 5.0 万元估算。

（5-5）卫星数据与高级数值气象模型专业软件数据计算服务费 12 万元/年，两年预估 24 万元。

（6）差旅/会议/国际合作与交流费：135.00 万元

本课题差旅/会议/国际合作与交流费预算为 135.00 万元。

（6-1）差旅费：90 万元

根据《财政部关于印发<中央和国家机关差旅费管理办法>的通知》（财行〔2013〕531 号），教授、研究员等高级职称人员以及其他人员标准：市内交通费 80.00 元/天。住宿费按照《关于调整中央和国家机关差旅住宿费标准等有关问题的通知》（财行〔2015〕497 号）最新要求执行。课题参加人员高级职称 6 人，其他人员 6 人，开展野外考察预计 20 次以上（每次分别按 6 人考虑），具体预算如下：

预算费用：

$6 \text{ 人} \times 25 \text{ 次} \times [(\text{住宿费 } 420 \text{ 元/人天} + \text{交通费补助 } 80 \text{ 元/人天}) \times 5 \text{ 天} + \text{来回机票/高铁 } 2000 \text{ 元/人}] = 67.50 \text{ 万元}$ 。

现场调研、测试调试与技术交流过程中发生的租车费用预估 22.50 万元。

（6-2）会议费 45 万元

本课题召开的会议均为四类会议，其会议费标准按照“财政部关于印发《中央和国家机关会议费管理办法》的通知（财行〔2013〕28 号）”和“《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）”的要求制定，会期不超过 2 天，参会人员不超过 50 人，会议在四星级以下（含四星）定点饭店或单位内部会议室召开，会议费仅用于开支会议住宿费、伙食费等，综合定额标准为 450 元/人天。

本课题执行期间，拟组织的会议包括项目启动会、项目验收会、课题启动会，课题督导会、技术专题会、科研成果工程应用验收会、课题年度评审会、课题验收评审会等，考虑到课题执行的整体流程和成果要求，会议的设置原则是：1）项目启动会 1 次；2）项目验收会 1 次；3）课题启动会 1 次；4）在 2021 年 10 月份 4#站示范工程技术成果落地之前，每个月 1 次课题督导会，2022 年每 3 个月 1 次课题督导会，2023 年半年 1 次课题督导会；5）技术专题会按课题任务设置，每个任务安排 1 次技术专题会；6）结合 4#和 1-3#站并网运行两个时间节点，安排 2 次科研成果工程应用验收会；7）2021、2022 年底组织 2 次课题年度评审会；8）2023 年组织 1 次课题验收评审会。

具体明细如下表：

序号	时间	会议内容	人数	拟聘专家数	标准 (元/人/天)	天数/ 次数	费用	承办单位
							(万元)	
1	2021	项目启动会	100	11	450	1	4.5	华北电力大学
2	2023	项目验收会	100	11	450	1	4.5	华北电力大学
3	2021	课题启动会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
4	2021	2021 年 6 月课题督导会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
5	2021	2021 年 7 月课题督导会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
6	2021	2021 年 8 月课题督导会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
7	2021	2021 年 9 月课题督导会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
8	2021	#4 站科研成果工程应用验收会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
9	2021	2021 年年度课题评审会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
10	2022	2022 年 3 月课题督导会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
11	2022	2022 年 6 月课题督导会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
12	2022	2022 年 9 月课题督导会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
13	2022	#1~#3 站科研成果工程应用验收会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
14	2022	2022 年年度课题评审会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
15	2023	2023 年 6 月课题督导会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
16	2023	课题验收评审会	50	7	450	1	2.25	华北电力大学
17	2021	光伏场站设备数字孪生建模技术研讨会	25	5	450	1	1.125	华北电力大学
18	2021	光伏电站智能运行效能评价方法研究与系统开发技术研讨会	25	5	450	1	1.125	华北电力大学
19	2021	光伏场站智能诊断与维护研究与 技术研讨会	25	5	450	1	1.125	华北电力大学
20	2021	高精度光伏发电功率预测方法技术研讨会	25	5	450	1	1.125	华北电力大学
累计							45	—

(7) 人工费：292.27 万元

本课题人工费预算为 292.27 万万元，主要分别用于支付专职研究人员人工费 226 万元和相关外聘人员的薪资 66.27 万元，进行软件开发人员及测试平台安装等。

专职研究人员人工费预算为 226 万元，预算明细如下：

序号	姓名	工作单位	技术职称	工作分工	投入课题 总月数	支付标准 (万元/月)	工资 (万元)
1	李美成	华北电力 大学	院长/教授	课题负责人	10	2	20
2	朱红路	华北电力 大学	讲师	诊断和评价算法 设计	20	1.2	24
3	宋记锋	华北电力 大学	教授	数字孪生开发	20	2	40
4	王飞	华北电力 大学	教授	光伏功率预测与 性能评价系统开 发	20	2	40
5	任惠	华北电力 大学	教授	光伏功率预测与 性能评价系统开 发	9	2	18
6	米增强	华北电力 大学	教授	光伏功率预测与 性能评价系统开 发	9	2	18
7	甄钊	华北电力 大学	讲师	光伏功率预测与 性能评价系统开 发	10	1.2	12
8	李刚	华北电力 大学	讲师	光伏功率预测与 性能评价系统开 发	5	1.2	6
9	卢锦玲	华北电力 大学	副教授	光伏功率预测与 性能评价系统开 发	5	1.6	8
10	梅华威	华北电力 大学	副教授	光伏功率预测与 性能评价系统开 发	5	1.6	8

11	许佳	华北电力大学	副教授	光伏系统建模	20	1.6	32
合计							226

外聘人员费用预算为 66.27 万元，预算明细如下：

聘请 IT 工程师开发相关代码，预计 4 人次×1 万元/人月×6 月 =24 万元；

其中测试平台安装及调试 4 人，人工费 1 万元/月，总工期 4 个月。预算费用 4 人×1.0 万元/月×4 个月=16.00 万元；

聘请专业公司进行 UI 界面的设计和美化，预计花费 1 万元；

测试平台安装及调试 2 人，人工费 1 万元/月，总工期 4 个月。预算费用 2 人×1.00 万元/月×4 个月=8.00 万元；

数值天气预报与本地数据同化服务技术人员，预计花费 6.00 万元/年，6.00 万元/年×2 年=12.00 万元；

用于支付设备运输、部署与其他临时人员用工费用 5.27 万元。

总计 24 万元+16 万元+1 万元+8 万元+12 万元+5.27 万元=66.27 万元。

（8）劳务费：274 万元

参加博士生 1 人、硕士研究生 44 人。按照博士研究生 0.5 万元/月，硕士研究生 0.3 万元每月，总工期 2 年。

预算费用为：

（博士生 1 人×0.5 万元/月+硕士研究生 44 人×0.3 万元/月）×20 月=13.7 万元/月×20 月=274 万元。

（9）专家咨询费 28 万元

专家咨询费严格执行财政部印发《中央财政科研项目专家咨询费管理办法》（财科教[2017]128 号）的标准：按照平均 2000 元/人天（税前）进行预算，课题级别会议邀请专家 7 人，研究内容讨论会最多 5 人，专家人数需为单数，会议与前面会议费中列支的会议相匹配。明细如下：

序号	时间	会议内容	拟聘专家人数	标准（元/人/天）	天数	费用	列支单位
						（万元）	
1	2021	项目启动会	11	2000	1	2.2	华北电力大学
2	2023	项目验收会	11	2000	1	2.2	华北电力大学
3	2021	课题启动会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
4	2021	2021 年 6 月课题督	7	2000	1	1.4	华北电力大学

		导会					
5	2021	2021 年 7 月课题督 导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
6	2021	2021 年 8 月课题督 导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
7	2021	2021 年 9 月课题督 导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
8	2021	#4 站科研成果工程 应用验收会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
9	2021	2021 年年度课题评 审会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
10	2022	2022 年 3 月课题督 导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
11	2022	2022 年 6 月课题督 导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
12	2022	2022 年 9 月课题督 导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
13	2022	#1~#3 站科研成果 工程应用验收会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
14	2022	2022 年年度课题评 审会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
15	2023	2023 年 6 月课题督 导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
16	2023	课题验收评审会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
17	2021	光伏场站设备数字 孪生建模技术研讨 会	5	2000	1	1	华北电力大学
18	2021	光伏电站智能运行 效能评价方法研究 与系统开发技术研 讨会	5	2000	1	1	华北电力大学
19	2021	光伏场站智能诊断 与维护研究与 技 术研讨会	5	2000	1	1	华北电力大学
20	2021	高精度光伏发电功 率预测方法技术研 讨会	5	2000	1	1	华北电力大学
累计						28	—

(二) 间接费用

(2-1) 管理费: 按照直接经费的 10% 计算, 总计 $1402.110000 \text{ 万元} \times 0.10 = 140.211000$ 万元。

(2-2) 税金: 按照管理费+直接经费的 3% 计算, 总计 $(1402.110000 \text{ 万元} + 140.211000 \text{ 万元}) \times 0.03 = 46.269630$ 万元。

课题六：基于全物理过程建模的数值模拟和光伏组件增效技术研究

序号	科目名称	金额（元）	测算依据
1	（一）直接费用	1011.902000	
2	1. 设备费	0	
3	（1）购置设备费	0	
4	（2）试制设备费	0	
5	（3）设备改造费	0	
6	（4）设备租赁费	0	
7	2. 材料费	174.930000	电池器件研发所需材料：二甲基亚砷；DMF溶剂；MABr；FAI；TiCl ₄ ；ITO；高纯氩气；镀膜材料；辐射膜；涂料；电池材料；芯片；有机溶剂；电池芯片研发所需材料；导热油；贵金属前驱体盐类；保护剂；还原剂油胺酸；金纳米颗粒；透镜；涂料；热沉；银纳米颗粒；石墨烯；比色皿；烧瓶；滴管；实验室劳保用品
8	3. 测试化验加工费	160.400000	电池材料和器件表征：X射线衍射(XRD)；红外吸收光谱；场发射扫描电子显微镜（SEM）；透射电子显微镜(TEM)；X射线光电子能谱(XPS)；紫外光电子能谱(UPS)；稳态荧光光谱（PL） 瞬态荧光光谱（TRPL）；激光纳米粒度电位仪；电感耦合等离子体光谱仪(ICP-AES)；分频光伏光热器件加工费用；专用电池芯片加工；增效软件模块开发费用；其他加工费用
9	4. 燃料动力费	0	
10	5. 出版/文献/信息传播/知识产权事务费	29.572000	版面费，专利申请费等
11	6. 会议/差旅/国际合作交流费	43.000000	会议费，差旅费用
12	7. 人工费	339.200000	课题研究过程中支付给课题组固定成员的

			劳务性费用
13	8. 劳务费	250.800000	课题研究过程中支付给研究生和临时聘用人员的劳务性费用
14	9. 专家咨询费	14.000000	专家咨询；学术会议研讨；项目评审
15	(二) 间接费用	134.582966	
16	1. 管理费	101.190200	按照直接经费的10%计算
17	2. 税金	33.392766	按照管理费+直接经费的3%计算
18	(三) 总经费	1146.484966	

经费说明及计费标准和依据：

(一) 直接费用

(1) 设备费：0.0 万元

(2) 材料费：174.93 万元

本课题材料费预算为 174.93 万元，为项目实施过程中，研发所需材料费用。包括新型低本高效太阳能电池器件研发所需要的各种前驱体材料、光吸收材料合成所需有机溶剂和高纯度氩气，以及比色皿、烧瓶、滴管等低值易耗品；包括存量组件增效研究中涉及到的聚光透镜、玻璃，各种高发射率涂料、涂料膜、辐射膜和相关的镀膜材料，热沉、热管等散热原件，高效电池片和半导体芯片，以及电池组装所需烙铁、导线等辅助材料；包括光伏-光热一体化研究所需要的导热油、贵金属前驱体盐类、保护剂、还原剂油胺酸、金纳米颗粒、银纳米颗粒和石墨烯；包括日常科研工作中发生的数据存储、资料打印等材料费用以及手套、口罩、防毒面具、镊子等辅助材料和劳保用品费用。具体的材料清单如下。

项目	规格	单价/元	用量	总价/万元
二甲基亚砷	1L	5000	20	10.00
DMF 溶剂	1L	1500	100	15.00
MABr	10g	1000	100	10.00
FAI	10g	2500	40	10.00
TiCl ₄	1kg	1200	50	6.00
ITO	1 片	2	10000	2.00
高纯氩气	1 瓶	200	350	7.00
聚光透镜	菲涅尔透镜	0.1	10	1.00
透光玻璃	选择性透光玻璃	3	4	12.00

涂料膜	辐射制冷膜	0.8	10	8.00
热沉	铝制散热片	0.1	10	1.00
热管	翅片热管	0.1	10	1.00
镀膜材料	1kg	5000	10	5.00
辐射膜	1m2	2000	50	10.00
涂料	100g	1000	70	7.00
电池材料	1000 片	7000	10	7.00
芯片	1 个	5000	10	5.00
有机溶剂	500ml	2000	5	1.00
电烙铁、导线等费用	批-	6500	2	1.3
镊子	把	200	20	0.4
硒鼓	个	500	20	1.0
手套	盒	100	20	0.2
口罩	盒	100	20	0.2
胶带	卷	20	50	0.10
标签纸	袋	10	60	0.06
记号笔	盒	20	20	0.04
U 盘	个	200	50	1.00
防毒面具	个	500	10	0.5
打印纸	包	30	100	0.3
导热油	10L/桶	6000	30	18.00
贵金属前驱体盐类	100g	1250	10	1.25
保护剂	25kg	10000	2	2.00
还原剂油胺	5L	10000	2	2.00
酸	1g	1000	100	10.00
金纳米颗粒	100g	80000	1	8.00
银纳米颗粒	5g	400	25	1.00
石墨烯	1g	2000	20	4.00
比色皿	1 个	3000	8	2.40
烧瓶	1 个	100	50	0.50
滴管	5000 个/箱	2000	1	0.20
实验室劳保用品	—	—	—	2.48

合计	174.93
----	--------

(3) 测试化验加工费：160.40 万元

本专题测试化验费用预算为 160.40 万元，包括新型太阳电池研发中涉及的材料和器件测试费用，存量组件增效研究中涉及的聚光太阳电池片和电池芯片加工费用，光伏-光热一体化研究中涉及的纳米颗粒结构测试、分频光伏光热器件加工费用和器件支架比色皿、加热片等的加工费用，以及太阳电池增效数值模拟平台构建中各模块开发费用。

(3-1) 测试费用合计 80 万元，包括：①电池器件的专业检测，包括光吸收材料的 XRD 结构测试、光吸收材料的红外光谱成分测试、电池材料和器件的 SEM 表面形貌测试、电池材料的 TEM 原子结构测试、电池材料的 XPS 组分分布测试、电池材料中电子结构的 UPS 测试、载流子寿命的 PL 谱和 TRPL 测试；②导热纳米材料的专业检测，包括纳米粒度分布的激光纳米粒度电位仪测试，光谱分频特性的 ICP-AES 测试。按照公开测试单价进行计算，具体如下：

序号	事项	单价	数量	总价(万元)	备注
1	X 射线衍射(XRD)	0.01	800	8.00	中科院理化所
2	红外吸收光谱	0.02	200	4.00	中科院理化所
3	场发射扫描电子显微镜 (SEM)	0.03	400	12.00	中国石油大学
4	透射电子显微镜(TEM)	0.04	300	12.00	中国石油大学
5	X 射线光电子能谱(XPS)	0.05	240	12.00	中科院化学所
6	紫外光电子能谱(UPS)	0.08	150	12.00	中科院化学所
7	稳态荧光光谱(PL)	0.02	300	6.00	中科院理化所
8	瞬态荧光光谱(TRPL)	0.02	300	6.00	中科院理化所
9	激光纳米粒度电位仪	0.01	400	4.00	中科院理化所
10	电感耦合等离子体光谱仪 (ICP-AES)	0.02	200	4.00	中国石油大学
合计				80.00	—

(3-2) 器件加工费用约 38.4 万元，包括①设计能够实现太阳光谱分频应用的光伏-光热器件，包括底座、聚光系统、电池片和集热模块，能够进行光谱分频、光伏器件测试和集热效率测量。预计 9 万元。②加工 10 件太阳电池芯片，其中电池片结构具有高纯度和高均匀性，包括特殊设计的电极结构设计和封装设计；芯片设计能够实现电池电路保护；预计 $1.9 \times 10 = 19$ 万元。③加工 7 片聚光型太阳能电池器件，电池片结构包括

特殊设计的 pn 结类型、电池厚度和封装材料选择，能够实现高效散热；预计 $1.2 \times 7 = 8.4$ 万。④光伏-光热一体化应用中，加工光伏器件支架和比色皿加热片等辅助构件，预计 2.0 万。共计：9.0+19.0+8.4+2.0=38.4 万元。

（3-3）太阳能电池增效数值模拟平台模块开发费用 42.0 万元，包括：①光学模块系统架构设计、算法选择、输入输出格式化、效率优化和封装等，能够为电学模块提供输入，预计 9 万元；②电学模块的系统架构、程序开发、光-电-热衔接、输出格式化、调用和封装等，预计 11 万元；③热学模块的系统架构、光学模块调用和电学模块调用、输入输出规划等，预计 10 万元；④光-电-热模块的整体设计、参数结构、开放模块设置、调用设置、效率优化和功能、可靠性测试等，预计 12 万元。共计：9+11+10+12=42.0 万元。

（4）燃料动力费：0 万元

（5）出版/文献/信息传播/知识产权事务费：29.572 万元

本课题出版/文献/信息传播/知识产权事务费预算为 29.572 万元，均为专项经费。根据课题任务需要，版面费预算为 4.00 万元；资料印刷费预算为 15.972 万元；知识产权事务费用预算为 9.60 万元。具体如下：

（5-1）版面费用：本课题计划发表论文 4 篇，考虑部分国外期刊需交纳版面费和部分文章彩图印刷，SCI/EI 论文费用以平均 1.00 万元/篇计算，总共 4.00 万元。

（5-2）资料印刷费：是指专业性资料的购置、项目相关资料的印刷与出版、文献检索费等费用主要用于课题研究周期内相关成果报告、参考资料、图集彩印和试验区的彩图等的打印、复印，按照成果咨询会议及中期和验收后成果提交，总计 8 次报告打印，每次报告打印 50 本，每本 200 元，即 $8 \text{ 次} \times 50 \text{ 本} \times 200 \text{ 元} = 8.00 \text{ 万元}$ ；可行性研报告等专业性资料购置 5.60 万元；文献检索及资料复印费 2.372 万元。

（5-3）知识产权费用：是指依托本项目申请的专利或软件著作权等的申请费、代理费、维护费（项目执行期内），课题拟申请专利 12 项，申请费用 0.80 万元/项。即 9.60 万元。

序号	名称	费用(万元)	备注
1	版面费	4.00	发表学术论文
2	资料印刷费	15.972	打印技术报告、购买专业资料等
3	知识产权事务费	9.60	专利申请
合计		29.572	—

(6) 差旅/会议/国际合作与交流费：43.00 万元

本课题差旅/会议/国际合作与交流费预算为 43.00 万元，均为专项经费，其中包括差旅费 34.00 万元，会议费 9.00 万元，具体如下：

(6-1) 差旅费：34.00 万元

课题参加人员出差预计 17 次（每次分别按 5 人考虑），具体预算如下：

$5 \text{ 人} \times 17 \text{ 次} \times [(\text{住宿费 } 420 \text{ 元/人天} + \text{交通费 } 80 \text{ 元/人天}) \times 4 \text{ 天} + \text{来回机票/高铁 } 2000 \text{ 元/人}] = 34.00 \text{ 万元}$ 。

(6-2) 会议费：9.00 万元

本课题召开的会议均为四类会议，其会议费标准按照“财政部关于印发《中央和国家机关会议费管理办法》的通知（财行[2013]28 号）”和“《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）”的要求制定，会期不超过 2 天，参会人员不超过 50 人，会议在四星级以下（含四星）定点饭店或单位内部会议室召开，会议费仅用于开支会议住宿费、伙食费等，综合定额标准为 450 元/人天。

本课题执行期间，拟组织的会议包括课题启动会、课题督导会、课题年度评审会、课题验收评审会等，考虑到课题执行的整体流程和成果要求，会议的设置原则是：（1）课题启动会 1 次；（2）2021 年-2023 年，每 3 个月 1 次课题督导会；（3）2021、2022 年底组织 2 次课题年度评审会；（4）2023 年组织 1 次课题验收评审会。

序号	时间	会议内容	人数	拟聘专家数	标准 (元/ 人/天)	天数/ 次数	费用	承办单位
							(万元)	
1	2021	课题启动会	24	7	450	1	1.08	华北电力大学
2	2021	2021 年 7 月课题督导会	18	7	450	1	0.81	华北电力大学
3	2021	2021 年 10 月课题督导会	18	7	450	1	0.81	华北电力大学
4	2021	2021 年年度课题评审会	22	7	450	1	0.99	华北电力大学
5	2022	2022 年 3 月课题督导会	18	7	450	1	0.81	华北电力大学
6	2022	2022 年 6 月课题督导会	18	7	450	1	0.81	华北电力大学
7	2022	2022 年 9 月课题督导会	18	7	450	1	0.81	华北电力大学
8	2022	2022 年年度课题评审会	22	7	450	1	0.99	华北电力大学
9	2023	2023 年 3 月课题督导会	18	7	450	1	0.81	华北电力大学

10	2023	课题验收评审会	24	7	450	1	1.08	华北电力大学
累计							9.0	—

(7) 人工费：339.2 万元

本项目人工费为研究人员工资，本研究项目参与人员包括：教授 3 名，副教授 4 名，讲师 5 名，博士后 1 名。

序号	姓名	工作单位	技术职称	工作分工	投入课题 总月数	支付标准 (万元/月)	工资 (万元)
1	李美成	华北电力大学	院长/教授	负责光伏器件建模中的光、电和热学模块	10	2	20
2	李英峰	华北电力大学	副教授	课题负责人；负责光伏器件建模中的理论推导	18	1.6	28.8
3	吕小军	华北电力大学	教授	负责光伏器件数值模拟平台开发	16	2	32
4	巨星	华北电力大学	副教授	负责光伏-光热一体化器件设计	18	1.6	28.8
5	徐超	华北电力大学	教授	负责光伏-光热一体化器件开发	16	2	32
6	褚立华	华北电力大学	副教授	负责存量组件增效光学方案	18	1.6	28.8
7	姜冰	华北电力大学	副教授	负责存量组件增效热学方案	18	1.6	28.8
8	李海方	华北电力大学	讲师	负责存量组件增效装备开发	20	1.2	24
9	崔鹏	华北电力大学	讲师	负责新型高效光伏电池开发	20	1.2	24
10	廖志荣	华北电力大学	讲师	负责光伏-光	20	1.2	24

				热一体化器件 全物理场耦合 分析			
11	柳华蔚	华北电力大学	讲师	负责光伏-光 热一体化器件 非稳态仿真	20	1.2	24
12	林建清	华北电力大学	讲师	负责光伏-光 热一体化器件 运行模式与调 控策略	20	1.2	24
13	张德隆	华北电力大学	博士后	负责光伏器件 能损追踪	20	1.0	20
合计							339.2

(8) 劳务费：250.8 万元

本课题劳务费预算为 250.8 万元，均为专项经费。主要为博士研究生和硕士研究生的劳务费用，具体如下：

序号	姓名	工作单位	技术职称	工作分工	投入课题 总月数	支付标准 (万元/月)	工资 (万元)
1	王龙泽	华北电力大学	博士生	负责载流子输运本 质模型探索	22	0.5	11
2	高中亮	华北电力大学	博士生	负责线性光学模块 开发和格式输出	22	0.5	11
3	纪军	华北电力大学	博士生	负责光伏器件温度 调控	22	0.5	11
4	郭秉霖	华北电力大学	博士生	负责热管理模块开 发和格式输出	22	0.5	11
5	王欣欣	华北电力大学	博士生	负责电学模块开发 和格式输出	22	0.5	11
6	陈杰威	华北电力大学	博士生	负责光伏发电影响 因素分析	22	0.5	11
7	黄浩	华北电力大学	博士生	负责载流子产生复 合量子过程探索	22	0.5	11
8	潘信宇	华北电力大学	博士生	负责分段式 PVT	22	0.5	11

				系统建立			
9	闫路遥	华北电力大学	博士生	负责光-电-热模块 协同迭代	22	0.5	11
10	蒋皓然	华北电力大学	硕士生	负责离散偶极近似 模块	22	0.3	6.6
11	刘新	华北电力大学	硕士生	负责太阳能电池生热 机制	22	0.3	6.6
12	段明君	华北电力大学	硕士生	负责太阳能电池散热 设计	22	0.3	6.6
13	刘本玉	华北电力大学	硕士生	负责固定热通量太 阳电池温度分布预 测	22	0.3	6.6
14	瞿树杰	华北电力大学	硕士生	负责环境因素对温 度分布影响研究	22	0.3	6.6
15	林归陆	华北电力大学	硕士生	负责环境因素定性 分级	22	0.3	6.6
16	高婷	华北电力大学	硕士生	负责光伏组件运行 数据收集	22	0.3	6.6
17	李响	华北电力大学	硕士生	负责光伏健康状态 评价体系	22	0.3	6.6
18	李旭晨	华北电力大学	硕士生	负责能损追踪和内 在关联分析	22	0.3	6.6
19	牛凯	华北电力大学	硕士生	负责能损和实况因 素关联	22	0.3	6.6
20	马晶	华北电力大学	硕士生	负责能损优化器件 方案设计	22	0.3	6.6
21	李静如	华北电力大学	硕士生	负责能损优化运维 方案设计	22	0.3	6.6
22	刘燊	华北电力大学	硕士生	负责最佳工作点能	22	0.3	6.6

				损模拟			
23	孙梦婷	华北电力大学	硕士生	负责存量组件增效 评估方法	22	0.3	6.6
24	张冬梅	华北电力大学	硕士生	负责增效新机制研 究	22	0.3	6.6
25	李泽	华北电力大学	硕士生	负责光吸收材料改 性研究	22	0.3	6.6
26	高屹豪	华北电力大学	硕士生	负责钙钛矿电池稳 定性研究	22	0.3	6.6
27	季维宏	华北电力大学	硕士生	负责钙钛矿电池封 装研究	22	0.3	6.6
28	赵爽	华北电力大学	硕士生	负责太阳能利用设 计指导框架	22	0.3	6.6
29	李文志	华北电力大学	硕士生	负责可切换式聚光 分频器件设计	22	0.3	6.6
30	李映	华北电力大学	硕士生	负责光伏-光热两 阶段仿真模型	22	0.3	6.6
31	高文祥	华北电力大学	硕士生	负责分频纳米流体 及多层介质膜表征	22	0.3	6.6
32	严皓	华北电力大学	硕士生	负责光伏-光热一 体化样机研制	22	0.3	6.6
合计							250.8

(9) 专家咨询费 14 万元

本课题专家咨询费预算为 14 万元，均为专项经费。测算方法与依据：

专家咨询费严格执行财政部印发《中央财政科研项目专家咨询费管理办法》（财科教[2017]128 号）的标准：会议形式和现场访谈/勘察——高级专业技术职称人员的专家咨询费标准为 2000 元 / 人天（税后）；院士、全国知名专家，可按照高级专业技术职称人员的专家咨询费标准上浮 50% 执行。据此，课题按照平均 2000 元/人天（税前）进行预算，按照 10 次会议计算。具体如下：

序号	时间	会议内容	人数	标准(元/人/天)	天数/次数	费用	承办单位
						(万元)	
1	2021	课题启动会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
2	2021	2021 年 7 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
3	2021	2021 年 10 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
4	2021	2021 年年度课题评审会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
5	2022	2022 年 3 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
6	2022	2022 年 6 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
7	2022	2022 年 9 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
8	2022	2022 年年度课题评审会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
9	2023	2023 年 3 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
10	2023	课题验收评审会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
累计						14	—

(10) 其他费用：无。

(二) 间接费用

(2-1) 管理费：按照直接经费的 10% 计算，总计 1011.902000 万元 \times 0.10=101.190200 万元。

(2-2) 税金：按照管理费+直接经费的 3% 计算，总计 (1011.902000 万元+101.190200 万元) \times 0.03=33.392766 万元。

课题七：高温差恶劣环境新能源场站输变电设备绝缘状态高可靠感知与故障诊断预测关键技术研究

序号	科目名称	金额（元）	测算依据
1	（一）直接费用	2011.330000	
2	1. 设备费	987.930000	
3	（1）购置设备费	0	
4	（2）试制设备费	987.930000	主要包含：35kV集电电缆状态感知终端与诊断预测高级应用模块，568万元；35kV开关柜状态感知终端与诊断预测高级应用模块，308.93万元；220kV气体绝缘开关设备故障诊断预测高级应用模块，47万元；220kV电力变压器状态感知终端与诊断预测高级应用模块，64万元
5	（3）设备改造费	0	
6	（4）设备租赁费	0	
7	2. 材料费	216.000000	35kV 集电电缆缺陷模拟用电缆；35kV 开关柜缺陷模拟电极材料；220kV 气体绝缘开关设备缺陷模拟电极材料与消耗性材料费；220kV 电力变压器缺陷模拟试样与消耗性材料费；电缆等通用测试耗材。合计 216 万元
8	3. 测试化验加工费	287.400000	35kV集电电缆测试的试样加工费；开关柜测试的试样加工费及感知终端测试费；220kV 气体绝缘开关设备测试的试样加工费及感知终端测试费；220kV电力变压器测试的试样加工费及感知终端测试费；局部放电与接地故障监测系统性能指标测试费；高级应用模块软件测试费，合计288万元
9	4. 燃料动力费	0	
10	5. 出版/文献/信息传播/知识产权事务费	14.000000	文章版面费：1万元/篇×4篇=4万元 发明专利申请费用：0.8万元/件×12件=9.6万元。专业数据资料购买费：200元/本×20本

			=0.4万元
11	6. 会议/差旅/国际交流合作费	124.000000	状态感知与采集新技术调研：5000元/人次×2人/组次×3次×2组=6.00万元 设备厂家测绘、安装、测试：5000元/人次×4人/组次×2次×2组=8.00万元 新能源场站安装调试：5000元/人次×6人/组次×5次×4组=60.00万元 新能源场站开展干扰测试、数据搜集：5000元/人次×5人/组次×5次×4组=50.00万元
12	7. 人工费	200.000000	教授1人，副教授、高级工程师3人，讲师1人，博士后2人
13	8. 劳务费	170.000000	博士生5人，硕士研究生20人
14	9. 专家咨询费	12.000000	在学校召开课题督导、评审会与研究内容讨论会，专家费共计12.0万元
15	（二）间接费用	267.506890	
16	1. 管理费	201.133000	按照直接经费的10%计算
17	2. 税金	66.373890	按照管理费+直接经费的3%计算
18	（三）总经费	2278.836890	（一）+（二）

经费说明及计费标准和依据：

（一）直接费用

（1）设备费：987.93 万元

本课题设备费为试制设备费，试制设备费预算为 987.93 万元，均为专项经费。根据课题任务，课题组将开发 35kV 集电电缆、35kV 开关柜、220kV 气体绝缘开关设备、220kV 电力变压器等四类主设备的状态感知终端，开发状态诊断与预警高级应用模块。其中感知终端用于开展恶劣气候条件下的高可靠传感技术研究、并用于缺陷状态信息时空分布规律与缺陷发展演变规律的实验室研究。详细的感知终端、高级应用模块与其试制费用报价如下所示。

（1-1）设备租赁费：无

（1-2）试制设备费：987.93 万元，其中 305 万元用于主设备状态感知终端的试制、状态诊断与预警高级应用模块的试开发；682.93 万元拟外委于北京华电智成电气设备有限公司，进行四类主设备状态感知终端的批量制作、状态诊断与预警高级应用

模块的开发。

35kV 集电电缆绝缘状态感知终端与状态诊断与预警高级应用模块的试制费					
序号	设备名称	单价 (万元)	数量	总费用 (万元)	主要用途
1	集电电缆局部放电传感器	1.00	50	50.00	感知电缆局放信号
2	集电电缆接地电流传感器	1.00	50	50.00	感知电缆接地故障信号
3	场端集电电缆状态信号同步采集器	10.00	25	250.00	采集电缆场端的局放信号
4	站端集电电缆状态信号同步采集器	17.00	7	119.00	采集电缆站端的状态信号
5	集电电缆状态数据汇聚节点	3.00	4	12.00	汇聚、存储、处理、并上传电缆绝缘状态数据
6	集电电缆局放监测与定位高级应用模块	30.00	1	30.00	分析局放信号，给出信号特征与发生部位
7	集电电缆接地故障监测与定位高级应用模块	22.00	1	22.00	分析接地故障信号，给出信号特征与发生部位
8	集电电缆状态诊断与预警高级应用模块	35.00	1	35.00	分析状态数据，输出电缆绝缘状态
合计				568.00	—
35kV 开关柜绝缘状态感知终端与状态诊断高级应用模块的试制费					
序号	设备名称	单价 (万元)	数量	总费用 (万元)	主要用途
1	开关柜绝缘状态传感器	3.00	25	75.00	感知开关柜绝缘状态信号
2	开关柜状态信号采集器	15.00	13	195.00	采集开关柜的状态信号
3	开关柜状态信号汇聚节点	3.00	2	6.00	汇聚、存储、处理、并上传开关柜状态数据
4	开关柜绝缘状态监测高级应用模块	10.00	1	10.00	分析局放信号，给出信号特征
5	开关柜状态诊断高级应用模块	22.93	1	22.93	分析状态数据，输出开关柜绝缘状态
合计				308.93	—
220kV 气体绝缘开关设备绝缘状态诊断与预测高级应用模块的试制费					
序号	设备名称	单价	数量	总费用	主要用途

		(万元)		(万元)	
1	220kV 气体绝缘开关设备绝缘状态诊断与预测高级应用模块	47.00	1	47.00	分析状态数据、以及历史数据，输出设备状态，故障情况下给出其发展趋势
合计				47.00	—
220kV 电力变压器绝缘状态诊断与预测高级应用模块的试制费					
序号	设备名称	单价 (万元)	数量	总费用 (万元)	主要用途
1	220kV 电力变压器状态诊断与预测高级应用模块	64.00	1	64.00	分析状态数据、以及历史数据，输出设备状态，故障情况下给出其发展趋势
合计				64.00	—
总计				987.93	—

(1-3) 设备购置与改造费：无

(1-4) 设备租赁费：无

(2) 材料费：216.00 万元

本课题材料费预算为 216.00 万元，为项目在实验室开展输变电设备绝缘状态模拟与测试过程中消耗的各种试样、辅助材料、低值易耗品等的采购及运输、装卸、整理等费用，详细如下。

项目	规格	单价/万元	用量	总价/万元
集电电缆局部放电试品及缺陷模型	35kV 三相	1.00	10	10.00
集电电缆局部放电定位用长距离试品	35kV 三相	9.00	2	18.00
集电电缆接地故障模拟试品	35kV 三相	1.00	5	5.00
集电电缆接地故障定位用长距离试品	35kV 三相	9.00	2	18.00
开关柜绝缘状态模拟试样	—	0.50	10	5.00
GIS 盆式绝缘子试样	220kV	1.00	10	10.00
GIS 绝缘缺陷模拟电极试样	—	1.00	10	10.00
SF6 气体	99.99%	0.60	20	12.00
变压器绝缘缺陷模拟试样	—	1.00	10	10.00
局部放电试验用绝缘纸板	—	0.50	10	5.00

变压器油	—	0.50	20	10.00
ARM 芯片	—	2.00	10	20.00
FPGA 芯片	—	2.00	10	20.00
A/D 芯片	100MS/s	2.00	10	20.00
新能源场站电磁干扰源模拟试样	—	1.00	5	5.00
传感器封装材料	—	1.00	5	5.00
高电压绝缘试验用消耗性材料	—	0.50	20	10.00
高低温测试用消耗性材料	—	0.50	20	10.00
射频电缆与接头	—	0.01	500	5.00
光缆与接头	—	0.01	300	3.00
传感器及采集器研制用芯片电路板	—	0.2	100	2.00
电磁屏蔽材料	—	0.03	100	3.00
合计				216.00

(3) 测试化验加工费：287.40 万元

本课题测试化验费用预算为 287.40 万元，在 35kV 集电电缆、35kV 开关柜、220kV 气体绝缘开关设备、220kV 电力变压器四类输变电主设备缺陷模拟与测试过程中用于加工制作试样与缺陷模型，均为专项经费；

集电电缆绝缘缺陷试样加工费：1.50 万元/段×12 段=18 万元；终端接头加工费：0.50 万元/个×30 个=15.00 万元。共计 33.00 万元；

开关柜局部放电试样加工费：1.00 万元/件×10 件=10.00 万元；开关柜状态感知终端冷热环境试验费：5.00 万元/次×2 次=10.00 万元。共计 20.00 万元；

GIS 腔体改装加工费：4.00 万元/件×3 件=12 万元；局部放电试样加工费：1.00 万元/件×10 件=10.00 万元；GIS 状态感知终端冷热环境试验费：5.00 万元/次×2 次=10 万元。共计 32.00 万元；

变压器试验腔体改装加工费：7.80 万元/件×3 件=23.40 万元；局部放电模型加工费：1.50 万元/件×20 件=30.00 万元；变压器状态感知终端冷热环境试验费：7.00 万元/次×3 次=21.00 万元；其它零件加工费：4.00 万元。共计 78.40 万元；

现场测试用等效脉冲源加工费：5.50 万元/套×4 套=22.00 万元；

局部放电检测系统性能指标测试费：10.00 万元/套×4 套=40.00 万元；

接地故障检测系统性能指标测试费：20.00 万元/套×1 套=20.00 万元；

高级应用模块软件测试费：6.00 万元/套×7 套=42.00 万元；

以上测试加工费合计：287.40 万元。

(4) 燃料动力费：无

(5) 出版/文献/信息传播/知识产权事务费：14.00 万元

本课题出版/文献/信息传播/知识产权事务费预算为 14.00 万元，均为专项经费。根据课题任务需要，发表 4 篇论文，申请发明专利 12 项。经费预算具体如下：

(5-1) 出版费用：本课题计划发表论文 4 篇，版面费预估 4 万元。

(5-2) 知识产权费用：课题拟申请专利 12 项，申请费用 9.6 万元。

(5-3) 专业数据资料购买费：课题拟购买文献数据参考资料预计 20 本，每本 200 元，共计 0.40 万元。

(6) 差旅/会议/国际合作与交流费：124.00 万元

本课题差旅/会议/国际合作与交流费预算为 124.00 万元，均为专项经费。

(6-1) 差旅费：124.00 万元

根据《财政部关于印发<中央和国家机关差旅费管理办法>的通知》(财行〔2013〕531 号)，教授、研究员等高级职称人员以及其他人员标准：市内交通费 80 元/天。住宿费按照《关于调整中央和国家机关差旅住宿费标准等有关问题的通知》(财行[2015]497 号)最新要求执行，420 元/人天。课题参加人员共 33 人。具体预算如下：

预算费用：

平均每人每次费用计算方法如下：(住宿费 420 元/人天+市内交通费 80 元/人天)×6 天+来回机票/高铁 2000 元/人=5000 元；

状态感知与采集新技术调研：5000 元/人次×2 人/组次×3 次×2 组=6.00 万元；

设备厂家测绘、安装、测试：5000 元/人次×4 人/组次×2 次×2 组=8.00 万元；

新能源场站安装调试：5000 元/人次×6 人/组次×5 次×4 组=60.00 万元；

新能源场站开展干扰测试、数据搜集：5000 元/人次×5 人/组次×5 次×4 组=50.00 万元；

合计 124.00 万元。

(6-2) 会议费：无

(6-3) 国际合作与交流费：无

(7) 人工费：200.0 万元

本项目人工费预算为 200.00 万元，均为专项经费；

为研究人员工资，本研究项目参与人员包括：教授 1 名，副教授或高级工程师 3 名，

讲师 1 名，博士后 2 名。

序号	姓名	工作单位	技术职称	工作分工	投入课题 总月数	支付标准（万 元/月）	工资 (万元)
1	齐波	华北电力 大学	所长/教授	课题负责人	20	2	40
2	郑书生	华北电力 大学	高级工程师	集电电缆状态 感知技术研究	20	1.6	32
3	唐志国	华北电力 大学	副教授	状态感知终端 开发与测试	20	1.6	32
4	黄猛	华北电力 大学	副教授	GIS 状态感知 感知技术研究	20	1.6	32
5	杨霄	华北电力 大学	讲师	开关柜状态感 知技术研究	20	1.2	24
6	张连根	华北电力 大学	博士后	故障诊断技术 与模块开发	20	1	20
7	高春嘉	华北电力 大学	博士后	变压器状态感 知技术研究	20	1	20
合计							200

(8) 劳务费：170.00 万元

本课题劳务费预算为 170.00 万元，均为专项经费。主要为博士研究生和硕士研究生的劳务费用，具体如下：

序号	姓名	工作单位	技术职称	工作分工	投入课题 总月数	支付标准 (万元/月)	工资 (万元)
1	张鹏	华北电力大学	博士生	严重程度评估技 术与模块开发	20	0.5	10
2	苑清	华北电力大学	博士生	差异化评估技术 与模块开发	20	0.5	10
3	张一	华北电力大学	博士生	集电电缆状态感 知技术研究	20	0.5	10
4	杨卓栋	华北电力大学	博士生	GIS 状态感知感 知技术研究	20	0.5	10
5	冀茂	华北电力大学	博士生	开关柜状态感知	20	0.5	10

				技术研究			
6	姬彤	华北电力大学	硕士生	集电电缆局放感知技术研究	20	0.3	6
7	任晨华	华北电力大学	硕士生	集电电缆接地故障感知技术研究	20	0.3	6
8	陈聪聪	华北电力大学	硕士生	集电电缆局放定位技术研究	20	0.3	6
9	陈镔浩	华北电力大学	硕士生	集电电缆接地故障定位技术研究	20	0.3	6
10	苏妍箫	华北电力大学	硕士生	开关柜局部放电脉冲传感技术研究	20	0.3	6
11	马天行	华北电力大学	硕士生	开关柜局部放电光信号传感技术研究	20	0.3	6
12	闫婷	华北电力大学	硕士生	开关柜局部放电信号传播规律研究	20	0.3	6
13	朱柯翰	华北电力大学	硕士生	开关柜局部放电发展过程研究	20	0.3	6
14	周鸿健	华北电力大学	硕士生	GIS 光信号传感技术研究	20	0.3	6
15	李立	华北电力大学	硕士生	GIS 局部放电信号传播过程研究	20	0.3	6
16	邵梦雨	华北电力大学	硕士生	GIS 局部放电发展过程研究	20	0.3	6
17	滕皓楠	华北电力大学	硕士生	GIS 局部放电检测抗干扰技术研究	20	0.3	6
18	刘京喜	华北电力大学	硕士生	GIS 局部放电诊断技术研究	20	0.3	6

19	董浩	华北电力大学	硕士生	GIS 绝缘状态差异化评估技术研究	20	0.3	6
20	马宇坤	华北电力大学	硕士生	变压器局放光传感技术研究	20	0.3	6
21	吴诗优	华北电力大学	硕士生	变压器局放压力传感技术研究	20	0.3	6
22	钟爱旭	华北电力大学	硕士生	变压器局放电信号检测抗干扰技术研究	20	0.3	6
23	刘冬晨	华北电力大学	硕士生	变压器绝缘状态诊断技术研究	20	0.3	6
24	张宗衡	华北电力大学	硕士生	变压器绝缘状态差异化评估技术研究	20	0.3	6
25	关安旭	华北电力大学	硕士生	变压器绝缘状态预测技术研究	20	0.3	6
合计							170

(9) 专家咨询费: 12.00 万元

本课题专家咨询费预算为 12.00 万元, 均为专项经费。

测算方法与依据:

专家咨询费严格执行财政部印发《中央财政科研项目专家咨询费管理办法》(财科教[2017]128 号) 的标准: 会议形式和现场访谈/勘察—高级专业技术职称人员的专家咨询费标准为 2000 元 / 人天。按照技术咨询会和技术联络会共 12 次会议, 会议专家咨询费为 12.00 万元。

具体的研究内容讨论会议和专家咨询费如下表所示:

序号	时间	会议内容	人数	标准 (元/人/天)	天数	费用	列支单位
						(万元)	
1	2021	2021 年 5 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
2	2021	2021 年 7 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
3	2021	2021 年 9 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学

5	2022	2022 年 7 月课题督导会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
6	2022	课题科研成果应用评审会	5	2000	1	1	华北电力大学
7	2023	课题验收评审会	7	2000	1	1.4	华北电力大学
9	2021	电缆绝缘状态感知诊断与预测技术研讨会	5	2000	1	1	华北电力大学
10	2021	开关柜绝缘状态感知诊断与预测技术研讨会	5	2000	1	1	华北电力大学
11	2022	变压器绝缘状态感知诊断与预测技术研讨会	5	2000	1	1	华北电力大学
12	2022	GIS 绝缘状态感知诊断与预测技术研讨会	5	2000	1	1	华北电力大学
累计						12	—

(二) 间接费用

(2-1)管理费: 按照直接经费的 10%计算, 总计 2011.330000 万元 \times 0.10=201.133000 万元。

(2-2)税金: 按照管理费+直接经费的 3%计算, 总计 (2011.330000 万元+201.133000 万元) \times 0.03=66.373890 万元。

外委单位信息总表

序号	外委单位名称	委托内容	金额（万元）	经费明细	所属课题
1	南京荣泰电气自动化有限公司	进行小型化同步测量装置原材料采购,用于小型化同步测量装置的研制	293	每台装置原材料为 0.7325 万元,共研制 400 台装置,共花费 $400 \times 0.7325 = 293$ 万元	课题 1
2	北京双晖网络科技有限公司	区域风电场群集中式功率预测系统开发及优化	190	软件模块架构设计、多模块调用、系统效率优化、数据库开发等各软件模块的功能性、性能、安全性调试测试	课题 3.1
3	积成电子股份有限公司	区域风电场群集中式功率预测软件模块封装和测试	50	数值天气预报修正、短期预测、超短期预测和误差分析的程序封装和软件调用测试	课题 3.1
4	北京智宇创亿科技有限公司	诊断预警模型的封装调用与测试	110	用于机组诊断预警模型的封装、测试、数据库的自动录入调用等	课题 3.2
5	待定	《风电场运维效能评价系统》设计、开发与优化	45.00	三个软件模块(数据处理、风电机组运行状态划分、风电场运维效能评价)的架构设计、程序编制、封装移植、效率优化、数据库开发等	课题 4.1
6	待定	《风电场运维效能评价系统》的软件模块测试	5.00	三个软件模块的功能性、性能、安全性测试	课题 4.1
7	北京中科软件有限公司	大型风电基地精细化模拟软件开发	45.00	完成核心代码开发后,整个系统进行架构设计、代码开发和封装设计	课题 4.2
8	北京华电智成电气设备有限公司	输变电主设备状态感知终端的批量制作、开关柜状态诊断高级应用模块的开发	682.93	集电电缆局部放电传感器, 1 万元/件 $\times 48$ 件=48 万元; 集电电缆接地电流传感器, 1 万元/件 $\times 48$ 件=48 万元; 场端集电电缆状态信号同步采集器, 10 万元/件 $\times 23$ 件=230 万元; 站端集电电缆状态信号同步采集器, 17 万元/件 $\times 5$ 件=85 万元; 集电电缆状态数据汇聚节点, 3 万元/件 $\times 3$ 件=9 万元;	课题 7

				开关柜绝缘状态传感器, 3 万元/件×24 件=72 万元; 开关柜状态信号采集器, 15 万元/件×11 件=165 万元; 开关柜状态信号汇聚节点, 3 万元/件×1 件=3 万元; 开关柜状态诊断高级应用模块, 22.93 万元/件×1 件=22.93 万元	
合计			1420.93	—	—

附件 2

保密协议

甲方：中国长江三峡集团有限公司

乙方： 华北电力大学

因乙方为甲方提供服务，已经（或将要）知悉甲方的商业秘密。为了明确乙方的保密义务，有效保护甲方的商业秘密，防止该商业秘密被公开披露或以任何形式泄露，根据《中华人民共和国民法典》、《中华人民共和国反不正当竞争法》等法律法规，双方本着平等、自愿、公平和诚实信用的原则签订本保密协议，构成主合同的组成部分。

第一条 商业秘密

1. 本协议所称商业秘密包括但不限于技术信息、专有技术、经营信息和其他被甲方列为商业秘密的信息。乙方应对甲方的商业秘密承担保密义务。本协议之签订可认为甲方已对公司的商业秘密采取了合理的保密措施。

2. 技术信息指甲方拥有或获得的有关生产和产品销售的技术方案、制造方法、工艺流程、计算机软件、数据库、实验结果、技术数据、图纸、样品、样机、模型、模具、说明书、操作手册、技术文档和涉及商业秘密的业务函电等一切有关的信息。

3. 专有技术指甲方拥有的有关生产和产品销售的技术知识、信息、技术资料、制作工艺、制作方法、经验、方法或其组合以及未在任何地方公开过其完整形式的、未作为工业产权来保护的其他技术。

4. 经营信息指有关生产经营管理的战略规划、经营方针、投资意向、商业计划、投融资数据、市场分析、与工程有关的防洪、反恐、水情预报、水文等信息、电量电价、不公开的财务资料和数据、合同、交易相对人资料、客户资料等信息。

5. 甲方依照法律规定（如在缔约过程中知悉其他相对人的商业秘密）和在有关协议的约定（如技术合同）中对外承担保密义务的事项，也属本保密协议所称商业秘密的范畴。

第二条 保密义务人

保密义务人是指为甲方提供相关服务，或因身份、职务、职业或专业技术关系而知悉甲方商业秘密的乙方机构或人员。

第三条 保密义务人的保密义务

1. 保密义务人应采取完善措施对甲方商业秘密加以保护，并严格保守，保证不被披露或使用，包括意外或过失，即使这些信息可能是全部由保密义务人本人因工作而构思或取得的。乙方应确保知悉甲方商业秘密的乙方有关人员（包括该人员在退出项目或离职之后）遵守本协议约定的保密义务。

2. 在服务关系存续期间，保密义务人未经授权，不得擅自披露、使用商业秘密、制造再现商业秘密的器材、取走与商业秘密有关的物件；不得刺探与合同约定的乙方工作无关的商业秘密；不得直接或间接地向乙方内部、外部的无关人员泄露；不得向不承担保密义务的任何第三人披露甲方的商业秘密；不得允许（出借、赠与、出租、转让等处分甲方商业秘密的行为皆属于“允许”）或协助不承担保密义务的任何第三人使用甲方的商业秘密；不得复制或公开包含乙方商业秘密的文件或文件副本；对因工作所保管、接触的有关甲方商业秘密的文件应妥善对待，未经许可不得超出工作范围使用。

3. 如果发现甲方商业秘密被泄露或者自己过失泄露商业秘密，应当采取有效措施防止泄密进一步扩大，并及时向甲方报告。

4. 服务关系结束后，保密义务人应将与工作有关的技术资料、试验设备、试验材料、客户名单等以及所有乙方保留或控制的该文件及资料的复印件、摘要交还公司；同时，乙方应销毁与已交回保密信息有关的任何文件和资料，不得保留复印件或以任何方式留存信息。

5. 乙方如违反本条规定的，应承担本协议第五条规定的违约责任。

第四条 保密义务的终止

保密义务人应承担保密义务直至该商业秘密已通过合法途径进入公共领域，成为公开信息；乙方是否完成合同义务、双方签订的合同是否履行完毕，均不影响其保密义务的承担。

第五条 违约责任

1. 乙方违反本协议约定的保密义务的，应向甲方支付主合同总价 10%违约金，并赔偿甲方损失。甲方损失包括实际损失，以及为处理该事件所支出的费用（包括但不限于律师费、公证费、取证费及甲方因索赔产生的一切费用）。

2. 主合同期内，若乙方违反本协议，甲方有权单方解除与乙方签署的主合同。

3. 因乙方恶意泄露商业秘密给公司造成严重后果的，公司将通过法律手段追究其

侵权责任，直至追究其刑事责任。

4. 乙方对乙方任何工作人员、代理人 and 雇员违反本协议的作为或不作为负责。上述人员违反本协议约定，甲方有权直接要求乙方承担违约责任。

第六条 争议解决方法

因执行本协议而发生纠纷的，按主合同约定的争议解决方法执行。

第七条 双方确认

1. 在签署本协议前，双方已经详细审阅了协议的内容，并完全了解协议各条款的法律含义。

2. 保密义务人只能为实现主合同目的使用甲方商业秘密，不作任何他用。

3. 主合同价款已包含保密义务人的保密费，此处不再重复支付。

第八条 协议的效力和变更

1. 本协议自双方签名盖章后生效，除非甲方书面通知乙方解除保密义务，乙方的保密义务永久持续有效，不因主合同效力终止而终止；此前签署的其他有关保密协议不因本协议生效而发生任何效力变化。

2. 本协议的任何修改必须经过双方的书面同意，并签署相关补充协议，与本协议具有同等法律效力。

甲方：(盖章)

法定代表人(或授权代表)：

孙长

乙方：(盖章)

法定代表人(或授权代表)：

北电力大
合同专用章
(技术)

王双

附件 3

廉洁协议

甲方： 中国长江三峡集团有限公司

乙方： 华北电力大学

为了防范和控制 并网友好型风光储场站群智慧联合调控运维关键技术研究 合同商订及履行过程中的廉洁风险，维护正常的市场秩序和双方的合法权益，根据反腐倡廉相关规定，经双方商议，特签订本协议。

一、甲乙双方责任

1. 严格遵守国家的法律法规和廉洁从业有关规定。
2. 坚持公开、公正、诚信、透明的原则（国家秘密、商业秘密和合同文件另有规定的除外），不得损害国家、集体和双方的正当利益。
3. 定期开展党风廉政宣传教育活动，提高从业人员的廉洁意识。
4. 规范招标及采购管理，加强廉洁风险防范。
5. 开展多种形式的监督检查。
6. 发生涉及本项目的不廉洁问题，及时按规定向双方纪检监察部门或司法机关举报或通报，并积极配合查处。

二、甲方人员义务

1. 不得索取或接受乙方提供的利益和方便。
 - （1）不得索取或接受乙方的礼品、礼金、有价证券、支付凭证和商业预付卡等（以下简称礼品礼金）；
 - （2）不得参加乙方安排的宴请和娱乐活动；不得接受乙方提供的通讯工具、交通工具及其他服务；
 - （3）不得在个人住房装修、婚丧嫁娶、配偶、子女和其他亲属就业、旅游等事宜中索取或接受乙方提供的利益和便利；不得在乙方报销任何应由甲方负担或支付的费用；
2. 不得利用职权从事各种有偿中介活动，不得营私舞弊。
3. 甲方人员的配偶、子女、近亲属不得从事与甲方项目有关的物资供应、工程分包、劳务等经济活动。

4. 不得违反规定向乙方推荐分包商或供应商。

5. 不得有其他不廉洁行为。

三、乙方人员义务

1. 不得以任何形式向甲方及相关人员输送利益和方便。

（1）不得向甲方及相关人员行贿或馈赠礼品礼金；

（2）不得向甲方及相关人员提供宴请和娱乐活动；不得为其购置或提供通讯工具、交通工具及其他服务；

（3）不得为甲方及相关人员在住房装修、婚丧嫁娶、配偶、子女和其他亲属就业、旅游等事宜中提供利益和便利；不得以任何名义报销应由甲方及相关人员负担或支付的费用。

2. 不得有其他不廉洁行为。

3. 积极支持配合甲方调查问题，不得隐瞒、袒护甲方及相关人员的不廉洁问题。

四、责任追究

1. 按照国家、上级机关和甲乙双方的有关制度和规定，以甲方为主、乙方配合，追究涉及本项目的不廉洁问题。

2. 建立廉洁违约金制度。廉洁违约金的额度为合同总额的 1%（不超过 50 万元）。如违反本协议，根据情节、损失和后果按以下规定在合同支付款中进行扣减。

（1）造成直接损失或不良后果，情节较轻的，扣除 10%-40%廉洁违约金；

（2）情节较重的，扣除 50%廉洁违约金；

（3）情节严重的，扣除 100%廉洁违约金。

3. 廉洁违约金的扣减：由合同管理单位根据纪检监察部门的处罚意见，与合同进度款的结算同步进行。

4. 对积极配合甲方调查，并确有立功表现或从轻、减轻违纪违规情节的，可根据相关规定履行审批手续后酌情减免处罚。

5. 上述处罚的同时，甲方可按照三峡集团公司有关规定另行给予乙方暂停合同履行、降低信用评级、禁止参加甲方其他项目等处理。

6. 甲方违反本协议，影响乙方履行合同并造成损失的，甲方应承担赔偿责

任。

五、监督执行

1. 本协议作为项目合同的附件，由甲乙双方纪检监察部门联合监督执行。

2. 甲方举报电话：010-57082783；乙方举报电话：010-61772561。

六、其他

1. 因执行本协议所发生的有关争议，适用主合同争议解决条款。

2. 双方法定代表人或其委托代理人在此签名并盖章，签名并盖章之日起本协议生效。

甲方：(盖章)

法定代表人(或授权代表)：



乙方：(盖章)

法定代表人(或授权代表)：



附件 4

安全生产合同

为在并网友好型风光储场站群智慧联合调控运维关键技术研究科研合同的实施过程中创造安全、高效的工作环境，切实搞好本项目的安全工作，中国长江三峡集团有限公司（以下简称甲方）与 华北电力大学（以下简称乙方），特此签订安全生产合同：

一、甲方职责

1. 严格遵守国家有关安全生产的法律法规，认真执行合同中的有关安全要求。
2. 按照“安全第一、预防为主”和坚持“管生产必须管安全”的原则进行安全生产管理，做到生产与安全工作同时计划、布置、检查、总结和评比。
3. 重要的安全设施必须坚持与主体工程“三同时”的原则，即：同时设计、审批，同时施工，同时验收、投入使用。
4. 定期召开安全生产调度会，及时传达中央及地方有关安全生产的精神。
5. 组织对乙方施工现场安全生产检查，监督乙方及时处理发现的各种安全隐患。

二、乙方职责

1. 严格遵守国家有关安全生产的法律法规有关规定，认真执行工程承包合同中的有关安全要求。严格执行甲方安全生产许可证制度及安全生产“双十”规定。
2. 坚持“安全第一、预防为主”和“管生产必须管安全”的原则，加强安全生产宣传教育，增强全员安全生产意识，建立健全各项安全生产的管理机构和安全生产管理制度，配备专职及兼职安全检查人员，有组织有领导地开展安全生产活动。各级领导、工程技术人员、生产管理人员和具体操作人员，必须熟悉和遵守本条款的各项规定，做到生产与安全工作同时计划、布置、检查、总结和评比。
3. 建立健全安全生产责任制。从派往项目实施现场的项目经理到生产工人（包括临时雇请的民工）的安全生产管理系统必须做到纵向到底，一环不漏；各职能部门、人员的安全生产责任制做到横向到边，人人有责。项目经理是安全生

产的第一责任人。现场设置的安全机构，专职安全管理人员数量不低于施工总人数 2%，专职负责所有员工的安全和治安保卫工作及预防事故的发生；同时，兼职安全管理人员数量不低于施工总人数 3%。安全机构人员有权按有关规定发布指令，并采取保护性措施防止事故发生。

4. 乙方在任何时候都应采取各种合理的预防措施，防止其员工发生任何违法、违禁、暴力或妨碍治安的行为。

5. 乙方必须具有劳动安全管理部门颁发的安全生产证书，参加施工的人员，必须接受安全技术教育，熟知和遵守本工种的各项安全技术操作规程，定期进行安全技术考核，合格者方准上岗操作。对于从事电气、起重、建筑登高架设作业、锅炉、压力容器、焊接、机动车船艇驾驶、爆破、潜水、瓦斯检验等特殊工种人员，经过专业培训，获得《安全操作合格证》后，方准持证上岗。施工现场如出现特种作业无证操作现象时，项目经理必须承担管理责任。

6. 对于易燃易爆的材料除应专门妥善保管之外，还应配备有足够的消防设施，所有施工人员都应熟悉消防设备的性能和使用方法。乙方不得将任何种类的爆炸物给予、易货或以其他方式转让给任何其他人，或允许、容忍上述同样行为。

7. 操作人员上岗，必须按规定穿戴防护用品。施工负责人和安全检查员应检查劳动防护用品的穿戴情况，不按规定穿戴防护用品的人员不得上岗。

8. 所有施工机具设备和高空作业的设备均应定期检查，并有安全员的签名记录，保证其经常处于完好状态，不合格的机具、设备和劳动保护用品严禁使用。

9. 施工中采用新技术、新工艺、新设备、新材料时，必须制定相应的安全技术措施，施工现场必须具有相关的安全标志牌。

10. 乙方必须按照本工程项目特点，组织制定本工程实施中的生产安全事故应急救援预案。若发生安全事故，应按照《国务院关于特大安全事故行政责任追究的规定》以及其他有关规定，及时上报有关部门，并坚持“四不放过”的原则，严肃处理相关责任人。

三、违约责任

如因甲方或乙方违约造成安全事故，将依法追究责任。

本合同由双方法定代表人或其委托代理人签署与加盖单位章后生效，全部工程竣工验收后失效。



甲方：(盖章)

法定代表人(或授权代表)：



乙方：(盖章)

法定代表人(或授权代表)：

[Handwritten signature]

附件 5

技术标准和要求

课题一 风光储场站的实时协调控制与保护技术研究

一、研究内容

1. 风光储场站运行模式及控制策略

调研同地区典型并网风电场与光伏场站的历史运行数据，基于数理统计方法量化各时段出力概率分布；结合规划装机容量及分布，分析场站内风电和光伏的多时间尺度出力特性和空间互补特性，考虑空气密度、湍流度、环境温度和光照强度等关键影响因素，初步明确各典型日内风光的时间-功率稳态输出曲线，降低风电和光伏出力不确定性。研究储能设备的充/放电性能及损耗特性，采用功率-效率曲线方式量化动态充放电特性，以细化储能设备功率约束及容量约束。基于风光储联合运行的基本原理，结合各发电单元的机理模型，建立风光储稳态出力模型与动态调节响应模型，同步搭建仿真对象和控制模型，分析风光储互补的基本模式和相关目标。

考虑电网常规运行、用电高峰、电网故障、黑启动等不同的运行工况，设计可灵活组态的风光储场站联合运行模式，包括常规的风光储、风储、光储、风光、风单独、光单独、储单独模式，量化各运行模式下的基本最小出力、最大出力、下爬坡速率、上爬坡速率及单位维护成本等运行参数，确定各运行模式下控制目标的函数关系，包括功率平滑、有功计划跟踪、上级 AGC 指令跟踪、上级 AVC 指令跟踪、手动给定指令跟踪、频率调节、电压调节等功能，经优化计算决策各模式下的风/光/储底层运行模式组合。此外，结合超短期功率预测和各发电单元实时运行状态，建立场景驱动的运行模式自适应切换机制，并设计各模式的动态切换过渡策略，实现风、光、储独立控制和互补控制的无扰切换，降低动态运行模式的功率突变影响。

针对场站多种运行模式下的功率平滑、功率跟踪等单目标提出控制策略，并建立关键参数优化架构，以及满足复杂工况下的风光储多目标协同优化策略。充分利用储能设备的动态充/放电特性，对风光储联合电站并网点处的总有功功率进行平滑调节，平抑风电/光伏输出功率的波动，提升场站输出功率稳定性。通

过协调储能设备出力，对风光发电出力与发电计划之间的偏差进行实时补偿，使外送电力按计划功率稳定输出，提升功率跟踪精度和速度。此外，面向更复杂的场景需求制定多目标灵活协同控制策略，如保证储能设备使用寿命最长、风光储功率波动最小化、风电机组有功调节机械载荷最小化、调峰能力最大化等，研究多目标协同的风光储联合发电优化控制策略。

2. 风光储场站实时控制技术

针对风光储场站有功分配问题，以同区域同类型风电机组/光伏单元的运行数据为基础，经时域/频域辨识方法构建有功调节响应模型，同时考虑各机组的实时运行状态，综合考虑调节容量、响应速度、功率稳定性等调节性能指标和约束，建立面向功率追踪优化的机组动态调节优化问题，经离线计算更新各发电单元的有功分配系数，制定风光储场站内部机组的有功闭环调控策略，并探索结合超短期功率预测的性能提升空间；针对无功分配问题，通过并网点电压实时监测值计算并网点无功目标要求，并确定各发电单元与无功补偿装置参与无功电压控制的响应特性，优化计算风电机组、光伏逆变器和无功补偿装置（SVC/SVG）的分配系数，进行无功功率分配并执行调控命令，实现整个场站电压闭环控制调节。此外，设计逻辑应综合利用风电机组和光伏逆变器的无功调节容量和无功补偿装置调节的快速性，协同降低无功补偿装置运行损耗和提升电压调节品质。

针对风光储场站并网点频率波动，研究自动频率控制技术，提升频率实时控制品质。根据并网点频率实时偏差反馈计算场站有功调节增量设定值，基于各发电单元实时运行状态确定有功分配系数，快速调节场站内各发电单元有功出力，建立频率自动控制回路。结合风光储场站有功调节模型，利用时域/频域整定方法，综合考虑频率响应速度和调节精度，分析多工况下风光储频率控制回路的比例和积分环节参数调节规律，并探索各环节滤波器和死区阈值的优化空间，实现比例-积分参数和有功分配系数的自适应更新机制。结合现场调控权限，进一步探究发电设备层和风光储场站层的垂直分层控制方案，以发电设备层快速响应追求频率稳定为内回路、场站层精准跟踪频率偏差为外回路的自动闭环控制方案，以及综合各单元约束信息的预测控制方案的落地可行性。

针对风光储场站并网点电压波动，研究自动电压控制技术，提升电压实时控制品质。分析各发电单元和无功补偿装置的无功调节量与并网点电压的无功灵敏度，结合各发电单元和无功补偿装置的实时运行信息量化主变无功可控裕度，确

定风电机组、光伏逆变器、储能变流器和无功补偿装置间的无功分配系数，根据并网点电压目标值和并网点母线电压实测值的偏差，滚动优化系统目标无功出力需求的实时设定值，对场站内各无功调节节点下发无功分配指令，实现场站级的自动电压控制调节。充分利用风光储场站内全部无功源的无功调节能力，实现风电机组、光伏逆变器、储能变流器和无功补偿装置的无功协调快速控制，满足风光储场站侧无功电压要求。

3. 风光储场站同步测量与保护方法

针对风光储场站电气量因频带宽、动态过程快、干扰大等因素而难以准确测量的问题，分析风光储场站电气量在静动态条件下的频域分布特征，提出基于多频率分量叠加的新型动态相量模型，拓宽并明确相量测量的频域范围；通过将复杂的相量计算抽象为简单的频带提取过程，建立不同应用场景下相量测量的带宽、精度要求与复带通滤波器的通、阻带增益之间的数学模型，将对相量算法的要求转化为对复带通滤波器滤波特性的要求，提出基于复带通滤波器相量算法的设计方法；研究适用于不同应用场景的复带通滤波器类型及设计准则；提出可在宽频域内满足不同应用需求的复带通滤波器最优设计方法，使宽频域相量算法可根据应用需求进行定制化设计；研究短时窗高精度的谐波、间谐波测量方法，快速、准确地反映宽频信号的动态变化过程。

根据新能源电源低电压穿越要求，结合风电机组低电压穿越实测数据、现场故障录波数据，研究风光储场站电源故障后端口电压与电流映射关系，提出不依赖控制参数的短路电流计算方法；针对风光储大规模接入电网时传统继电保护不完全配合和存在拒动可能性的问题，研究适用于风光储场站的站域保护方案，充分利用场站内多条进线和出线的电流信息量，构建风光储场站汇集系统站域保护方案；针对传统差动保护动作性能下降的问题，基于风光储场站送出线路区内、外故障时线路两侧短路电流波形特征的差异，以及风光储场站电源与同步发电机之间短路电流波形存在的差异，提出基于电流波形相似度的线路纵联保护新原理，为短路的准确识别与快速切除提供基础。

4. 风光储场站控制、测量、保护样机研发

分析采样模块和对时模块精度对相量测量的影响，并进行硬件选型，研究晶振偏移与抖动对同步采样精度的影响，提出基于数字锁相环技术的高精度同步采样时钟生成方法，优化算法与软件开发，研制小型化同步测量装置，并进行测试，

验证装置的有效性与可靠性。

在保护控制装置软硬件平台基础上，按照风光储场站汇集系统站域保护装置与风光储场站送出线快速保护装置的需求进行整体设计，完成装置开发，将上述课题研究成果转化为实际产品，按照标准生产流程进行样机研发，符合要求后在现场部署并完成现场调试工作。

二、进度安排

1. 合同生效后 5 个月内：完成风光储场站运行模式及控制策略、宽频同步测量方法等研究；完成风光储场站实时控制技术、站域与送出保护新原理等研究；完成风光储场站控制装置、风光储场站小型化同步测量装置、风光储场站送出线快速保护装置以及风光储场站汇集系统站域保护装置样机试制及厂内测试；完成 #4 站风光储场站控制装置、风光储场站小型化同步测量装置、风光储场站送出线快速保护装置以及风光储场站汇集系统站域保护装置的现场调试、功能验收及并网投运，具备专家验收条件。

2. 合同生效后 17 个月内：完成#1~#3 站风光储场站控制装置、风光储场站小型化同步测量装置、风光储场站送出线快速保护装置以及风光储场站汇集系统站域保护装置的现场调试、并网投运，并通过专家组验收；受理风光储场站控制相关发明专利 4 项；受理同步测量与保护相关发明专利 4 项。

3. 合同生效后 29 个月内完成运行数据分析、算法完善和消缺；累计受理风光储场站控制相关发明专利 5 项；累计受理同步测量与保护相关发明专利 7 项；发表核心期刊论文 2 篇；完成并提交《风光储场站的实时协调控制与保护技术研究》技术报告 1 篇。完成相关研究目标，整理研究成果，进行结题准备。结题验收，完成项目要求的所有考核指标。（合同完成后，乙方需确保发明专利授权不少于 12 项，其中三峡集团内部人员作为第一发明人的篇数不少于 10 篇，核心期刊中三峡集团内部人员为第一作者的篇数不少于 1 篇）。

三、考核指标

课题一：风光储场站的实时协调控制与保护技术研究		
成果类型	成果物	考核指标
发明专利	发明专利：12 项	受理：12 项
学术论文	一般核心期刊(C 类)：2 篇	发表：2 篇
技术报告	1 份	发布：1 份

硬件装备	风光储场站控制装置实验室样机 1 台	满足并网标准，并且达到如下技术指标： 1) 风光出力波动【较常规方案】降低 10%-20% 2) 弃风弃光率【较常规方案】降低 10% 3) 电压控制偏差小于 0.13% 4) 有功调节偏差小于 $\pm 2\% \times$ 场站额定容量
	风光储场站小型化同步测量装置 样机 400 台	同步测量带宽【较常规 PMU】提升 6 倍
	风光储场站送出线快速保护装置 实验室样机 1 台	送出线路保护出口时间【较常规保护】降低 5~10ms
	风光储场站汇集系统站域保护装置 实验室样机 1 台	保护出口时间小于 40ms

注：风光储场站控制相关发明专利 5 项；同步测量与保护相关发明专利 7 项，一般核心期刊论文 2 篇，技术报告 1 份。

课题二 电网友好的风光储场站群智能优化调控技术研究

一、研究内容

1. 风光储场站群协同优化控制策略研究

研究风光储场站群的集群特性与灵活性调控模型。分析风电集群输出功率的汇聚效应、光伏集群输出功率的平滑效应以及储能集群输出功率的灵活调节特性，分别建立计及集群特性的风电集群、光伏集群、储能集群的功率输出模型；研究规模化风电集群、光伏集群、储能集群输出功率的时空相关性与多尺度特性，提出风光储场站集群互补特性的分析、建模与评价方法；分析风光储场站集群的外特性及有功/无功功率调节潜力，建立风光储场站集群参与系统优化控制的灵活性模型。

研究风光储场站群的协同优化调控方法。分析风光储场站群之间以及风光储场站群与上级电网之间的互动交互特性，研究面向风光储场站群协同运行的有功/无功优化调控机理；研究面向有功/无功多元调控需求的风光储场站群多时间尺度协同优化调控方法，以系统运行成本最小为目标，综合考虑电压、功率、容量等多种运行约束，建立风光储场站群日前-实时两阶段确定性协同优化模型；分析风、光等可再生能源出力以及上级电网需求的不确定性，提出计及多重不确定性的风光储场站群有功/无功最优协调控制方法。

研究风光储场站群协同优化控制策略的快速求解算法。研究风光储场站群运行数据的分析与处理方法，基于数据清洗与特征工程，构建用于风光储场站群协同优化调控的训练样本数据库；研究风光储场站群运行工况与控制策略之间的映射关系，提出机器学习驱动的风光储场站群协同控制策略的训练决策流程与算法框架；研究数据模型混合驱动的风光储场站群控制策略的离线学习方法，提出数据-模型级联融合的训练样本增值策略以及数据-模型并联融合的损失函数构造方法；研究风光储场站群协同优化控制的在线决策方法，实现风光储场站群协同优化控制策略的实时快速求解。

2. 风光储场站群惯量与一次调频能力评估与优化

建立包含桨距角控制、转速控制、锁相环等与有功功率控制环节相关的风电机组模型以及光伏、储能及其并网逆变器模型，建立无功补偿装置模型，通过仿真分析不同类型风电机组、光伏发电单元、储能在常规运行模式下系统发生功率

扰动后的惯量及频率响应特性，建立风光储场站群的系统频率响应模型，研究风光储场站群频率响应特性对电网频率响应指标的影响，以风光储场站群并网逆变器等设备涉网频率扰动耐受能力为约束，分析风光储场站群设备安全并网运行对于电网惯量、一次调频能力的需求及能耐受的系统最大功率扰动。

分析风电机组、光伏单元及储能单元参与惯量、一次调频控制机理，研究风电、光伏及储能惯量、一次调频控制策略及实现方法，研究风力发电、光伏和储能不同运行方式对惯量、一次调频能力的影响，分析风电机组虚拟惯量控制、下垂控制、桨距角控制、转速控制等不同频率控制策略的特点，对比分析风光储场站群惯量、一次调频响应特性与传统同步发电机电源惯量、一次调频响应差异，分析对比风力发电、光伏及储能惯量、一次调频控制特点，研究风光储场站群协调惯量、一次调频控制策略，根据现场控制权限，设计风光储场站群惯量、一次调频控制实施方案。

研究基于小型化同步测量装置量测数据的风光储场站群惯量水平与一次调频能力在线评估计算方法，研究小型化同步测量装置测点、测量精度、测量噪声、坏数据及采样时长对评估结果的影响；研究风光储场站群惯量、一次调频能力在线评估与优化控制的数据来源与传输方案，研究系统与小型化同步测量装置、风光出力预测系统、风光储电站有功控制系统等的的数据输入集成方案；研究系统在线评估与优化控制应用模块的功能需求，明确性能要求及输入数据、输出信息的规范性要求。

3. 市场模式下风光储场站群优化调控方法

研究能量、调频、调峰等电力市场价格信号的时序波动性，评估风光储联合电站参与不同服务的响应速度、调节功率大小和调节偏差特性；研究风光储联合电站参与不同电力市场服务的价值识别方法，评估其可以获得的直接效益和间接效益；研究不同电力市场服务信号的交互同步性，确定不同服务之间耦合强度并建立耦合性模型；研究各市场服务的收益随风险变化的特性，量化评估各市场风险的关键指标，建立风险-收益模型与动态性能评估体系。

研究不同服务收益、新能源和负荷等不确定性的分布特性，构建系统随机潮流模型、基于条件风险价值原理建立多元市场环境下的风险定量模型；研究风光储联合电站中变流器及所配储能的响应时间、充放电速率、寿命等物理特性及运行成本，建立风光储联合电站参与多元服务的精细化单位成本计算模型和有功、

无功的交互匹配模型。

研究风光储联合电站分别参加不同时刻不同服务中的能量、功率需求特性，提出预期收益最大的优化调控模型及算法；研究同时参与多元耦合性市场服务时风光储联合电站功率能量特性对其收益的影响，基于投资组合原理提出风光储联合电站追求高收益低风险的多场群分配方法以及鲁棒运行方法；研究不同求解算法以及松弛约束的方法在不确定性条件下的保守度和精确度，降低模型中整数变量增加带来的求解难度、加快求解速度，实现储能多场景复用和价值叠加的高效动态调控。

4. 风光储场站群智能调控软件实验室原型系统研发

基于任务 1、任务 2 和任务 3 的研究成果，研发风光储场站群智能优化调控软件实验室原型系统，实现风光储场站群的协同优化控制，实现风光储场站群惯量、一次调频性能的评估与优化，实现市场模式下风光储场站群参与能量、调频、调峰、多元服务市场的优化调控，并设计实验室原型系统与实时仿真系统的接口，构建半实物闭环测试实验环境仿真平台，进行闭环功能测试，验证实验室原型系统的有效性与可靠性，满足课题研究成果的应用转化。

二、进度安排

1. 合同生效后 5 个月内：完成风光储场站群集群特性、灵活性调控模型、频率响应模型以及参与多元电力市场交易的动态风险收益特性评估等研究；完成风光储场站群协同优化调控模型与快速求解算法、惯量与一次调频能力评估与优化以及参与多元电力市场交易的多场群协调控制技术研究；完成风光储场站群智能化协同调控软件系统的开发；完成场群协同优化控制模块的算法、场群惯量与一次调频能力评估模块的算法、市场模式下的场群优化调控模块的算法集成及厂内测试；完成风光储场站群智能优化调控软件实验室原型系统并进行半实物仿真验证；完成#4 站风光储场站群智能优化调控装置的现场调试、功能验收及并网投运，具备专家验收条件。

2. 合同生效后 17 个月内完成#1~#3 站风光储场站群智能优化调控装置的现场调试及并网投运，并通过专家组验收；受理风光储场站群智能优化调控相关发明专利 5 项；发表核心期刊论文 1 篇。

3. 合同生效后 29 个月内完成运行数据分析、算法完善和消缺；累计受理风光储场站群智能优化调控相关发明专利 7 项；累计发表核心期刊论文 2 篇；获软

件著作权 1 项；完成并提交企业标准送审稿《并网友好风光储场站群调控技术规范》1 项；完成并提交《并网友好的风光储场站群智能优化调控技术研究》技术报告 1 份。完成相关研究目标，整理研究成果，进行结题准备。结题验收，完成项目要求的所有考核指标。（合同完成后，乙方需确保发明专利授权不少于 7 项，其中三峡集团内部人员作为第一发明人的篇数不少于 5 篇，软件著作权中三峡集团作为第一著作权人的项数不少于 1 项，核心期刊中三峡集团内部人员为第一作者的篇数不少于 1 篇）。

三、考核指标

课题二：电网友好的风光储场站群智能优化调控技术研究		
成果类型	成果物	考核指标
标准规范	1 项	电网友好风光储场站群调控技术规范 1 项
发明专利	发明专利：7 项	受理：7 项
学术论文	一般核心期刊(C 类)：2 篇	发表：2 篇
软件著作权	1 项	获取：1 项
技术报告	1 份	发布：1 份
软件系统	风光储场站群智能优化调控软件 实验室原型系统 1 套	满足并网标准，并且达到如下技术指标： (1) 日前优化调控求解时间小于 5min，实时优化调控求解时间小于 5s，风光储场站群协同优化调控求解精度小于 1% (2) 响应滞后时间小于 3s，响应出力与调度控制指令之间稳态偏差小于 $\pm 1\% \times$ 储能额定容量 (3) 风光储场站群惯量、一次调频在线评估误差不超过 10%；风光储场站群惯量支撑、一次调频优化控制提出的惯量、一次调频在线评估方法的误差不超过 10%，优化后一次调频调差系数不超过 6%，惯性时间常数不低于 10 秒

注：风光储场站群智能优化调控相关发明专利 7 项，核心期刊论文 2 篇，软件著作权 1 项，标准 1 项，技术报告 1 份。

课题三 区域风电场群功率智能进化多尺度集中式预测模型与机组诊断预警技术研究

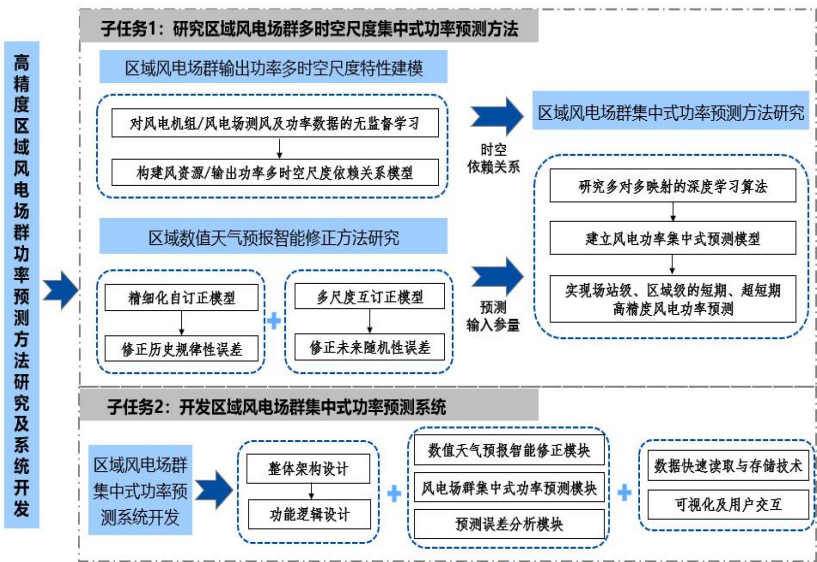
一、研究内容

风电场智慧运维技术主要从区域风电场群智能进化集中式功率预测技术和风电机组支撑与传动部件智能诊断及以可靠性为中心的维护技术两个方面开展研究。

1. 区域风电场群智能进化集中式功率预测技术

场群集中功率预测技术首先探索区域集群的风资源特性和输出功率特性，并在此基础上深入挖掘数据关系，建立多时空尺度下风资源/出力映射模型，据此获得场站-集群-区域等多尺度下风资源/出力间的耦合和聚合规律。数值天气预报是功率预测模型的重要输入数据，本项目研究数值天气预报的智能修正技术，建立区域数值天气预报修正方法，提高预报结果的精度。本项目研究大规模风电集群之间的时空依赖关系，利用多对多映射的深度学习算法，开发区域风电场群智能进化集中式功率预测系统，实现场站级和区域级的短期、超短期高精度风电功率预测，为电网调度提供准确的功率预测数据，提升场站经济效益。

该任务计划按如下技术路线及任务开展技术研究：



(1) 研究区域风电场群功率多时空尺度集中式预测方法

1) 区域风电场群输出功率多时空尺度特性建模，通过对风电机组/风电场测风数据及功率数据的无监督学习，构建区域风电场站内及场站间的风资源/输出功率的多时空尺度依赖关系模型。

2) 区域数值天气预报智能修正方法研究, 建立数值天气预报的精细化自订正模型, 减小预报结果的历史规律性误差; 建立数值天气预报的多尺度互订正模型, 减小预报结果的未来随机性误差, 增强数值天气预报的整体适应性。

3) 区域风电场群功率集中预测方法研究, 基于大规模风电集群之间的时空依赖关系, 研究多对多映射的深度学习算法; 建立风电功率智能进化集中式预测模型, 实现场站级、区域级的短期、超短期高精度风电功率预测。

(2) 开发区域风电场群功率智能进化集中预测算法及系统模块

1) 设计系统整体架构、功能模块以及各模块间的逻辑关系; 设计系统底层数据结构以及上层软件页面, 研究算法模块的集成与调用方案;

2) 研发数值天气预报智能修正、风电场群多尺度集中式功率预测与预测误差分析等功能模块, 实现多模块的无缝融合;

3) 研究多类型/多层级数据的快速读取与存储技术; 系统首页及各功能模块的页面设计, 完成多类型/多层级数据的可视化及用户交互等。

(3) 基于统一平台开发区域风电场群集中式功率预测应用模块

基于统一平台的应用开发架构和方法, 实现多维、多源生产运行数据快速读取、存储、传送和大规模计算; 实现智能算法在系统上的开发、封装、部署和调用; 实现包含图像、图表等可视化界面的开发, 转化课题研究成果应用。

2. 风电机组智能诊断与量化维护技术研究及系统开发

针对风电机组故障风险, 本项目重点研究变工况条件下主轴承、齿轮等部件的故障机理与传递路径, 研究反映健康状态的指标特征提取方法, 研究数据与模型驱动的剩余寿命预测技术, 开发风电机组关键传动部件故障诊断与寿命预测软件; 结合风电机组运行与控制机理, 研究基于监控数据的风电机组部件智能故障预警算法, 开发风电机组智能故障预警软件。研究基于运维数据的风电机组部件典型故障模式, 给出运行维护和检修的基本策略, 形成风电机组运行维护及故障处理相关技术规范, 开发以可靠性为中心的运行维护决策方法及管理模式并进行推广, 为风电机组智能运维提供技术和功能支撑。

该任务计划按如下技术路线及任务开展技术研究:



(1) 研究风电机组支撑与传动部件故障机理、诊断与寿命预测算法，开发诊断系统功能

研究风电机组主轴承、齿轮箱、发电机的传感器优化布局技术，为现场机组的传感器选型与安装布置提供指导；研究传动链中变工况下主轴承、齿轮等的故障机理与传递路径，设计背景去噪技术与微弱故障特征提取方法，开发时频分析方法实现多失效模式的故障诊断；研究关键部件的健康指标构建方法，消除变工况信息对故障的耦合影响，构建数据与模型驱动的剩余寿命预测技术，统计确定部件失效阈值，进行剩余使用寿命的准确评估，指导备品备件管理。基于上述核心技术，开发风电机组关键部件故障诊断功能软件。

(2) 研究基于监控数据的风电机组部件智能故障预警算法，开发故障预警功能

结合风电机组运行与控制机理，研究海量监控数据的清洗方法，依据风电机组不同阶段的能量捕捉与控制规律，划分功率与风速分布区间，确定不同变量的清洗阈值，排除影响识别结果的随机性因素；研究基于深度神经网络的故障识别模型与方法，分析模型中故障关联的监控参数的重要度，构建深度神经网络模型与超参数寻优框架，设计反映故障规律的健康指标并确定报警阈值，研究重构单参数的变化规律定位故障类别，给出预警信息；研究基于深度生成对抗网络的无监督故障识别技术，开发针对工业数据缺失、样本不完备的数据增扩技术，通过对抗训练学习多源监控数据的本质特征，建立异常实测数据特征与健康生成数据特征的距离测度，提高风电机组部件异常状态的识别率。基于上述核心技术，开

发风电机组智能故障预警功能软件。

（3）研究以可靠性为中心的风电机组定量化检修维护策略

研究基于操作票数据的风电机组故障模式统计分析方法，分析典型故障类型、故障发生机理和发展模式，确定风电场故障平均间隔时间，研究各部件的故障类型、故障次数、故障模式和各零部件故障严重度的相关性；研究风电机组典型故障模式、影响、危害度分析及处理技术，确定设备类型、运行时间和维护情况与故障形式及其产生影响的关联性，研究风电机组部件不同故障严重程度的量化分析方法，形成全面的风电机组 FMECA 分析表；利用机组设计资料、运行数据、维护维修记录等信息，结合设备状态监测和故障诊断的信息，研究针对机组各零部件特点的运行维护和检修的基本策略，根据不同部件的退化特点，设计小样本下可靠度计算方法，确定部件的维护类型与维护间隔。形成面向风电场的“风电机组运行维护及故障处理技术规范”，开发以可靠性为中心的运行维护决策方法及管理模式并进行推广。

（4）基于统一平台开发风电机组智能诊断与定量维护应用模块

基于统一平台的应用开发架构和方法，实现风电机组多源运行数据快速读取、存储、传送和大规模计算；实现智能算法在系统上的开发、封装、部署和调用；实现包含图像、图表等可视化界面的开发，满足课题研究成果的应用转化。

二、进度安排

1. 合同生效后 5 个月内，1) 完成数值天气预报双层修正模型的算法编写工作；完成短期功率预测所需的时空预测模型算法编写工作；完成超短期功率预测所需的时空滚动的功率预测模型算法编写工作；完成各部分算法集成工作，确定系统架构，研发区域风电场群集中式功率预测系统；在现场完成系统部署及场内测试、调试工作；2) 完成故障诊断项目研究方案的规划部署，开发完成算法数量的 90%，并进行算法的封装。

2. 合同生效后 11 个月内，1) 保证区域风电场群集中式功率预测系统试运行期间安全可靠运行，符合验收条件；受理风功率预测相关的发明专利 2 项；2) 完成所有故障诊断项目算法的现场部署，包括基于 SCADA 数据的 AE 预警模型；发电机定子绕组温度异常预警模型；基于 CMS 的齿轮箱行星级故障特征提取及故障诊断模型；基于 CMS 的齿轮箱中高速级故障特征提取及故障诊断模型；基于 SCADA 数据的风机变桨系统状态监测模型等 20 个模型+1 个数据库，在现场

进行调试，并反馈修正。完成受理故障诊断项目 1 项发明专利申请。

3. 合同生效后 29 个月内，完成本课题要求的所有考核指标，提供源程序及代码，整理研究成果，进行结题验收。（合同完成后，乙方需确保发明专利授权不少于 8 项，其中三峡集团内部人员作为第一发明人的数量不少于 6 项；软件著作权中三峡集团内部人员作为第一发明人的数量不少于 1 项）。

三、考核指标

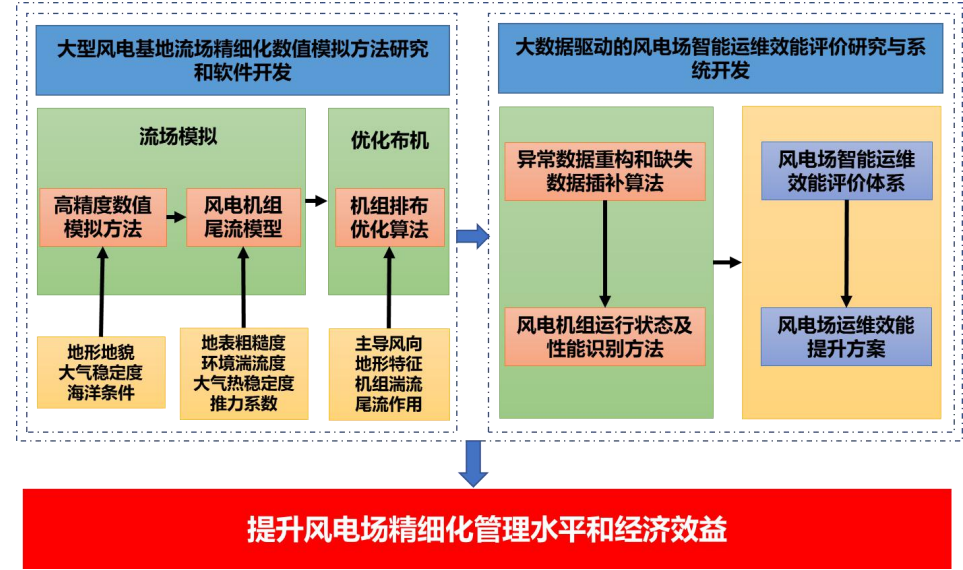
课题三：区域风电场群功率智能进化多尺度集中式预测模型与机组诊断预警技术研究		
成果类型	成果物	考核指标
标准规范	送审稿 1 篇	提交有关区域风电集中式功率预测的企业标准送审稿 1 篇
发明专利	发明专利：8 项	受理：8 项
学术论文	一般核心期刊(C 类)：1 篇	发表：1 篇
	一般刊物(D/E 类)及会议论文：1 篇	发表：1 篇
软件著作权	1 项	获取：1 项
技术报告	4 篇	发布：4 篇
软件系统	区域风电场群智能进化集中式功率预测软件模块	资源端预测准确率【较同地区平均精度水平】提升 1%-3%
	风电机组智能诊断与定量化维护应用模块	1) 平均非计划停运小时数相比三峡早期投运风电场降低 5% 2) 故障自发现率【所有故障中自动发现的比例】提升 8% 3) 预防性维修占比【预防性维护与消缺性维护的比值】提升 5% 4) 故障后平均修复时间降低百分比相比三峡早期投运风电场降低 5% 5) 人员代替率【现场人员减少的程度】降低 10% 6) 故障诊断准确率达到 90% 7) 故障预警准确率达到 85%

注：风电场功率预测相关发明专利 6 项，一般刊物论文 1 篇，软件著作权 1 项，企业标准送审稿 1 篇，技术报告 2 篇。风电故障诊断相关发明专利 2 项，核心刊物论文 1 篇，技术报告 2 篇。

课题四 基于深度学习的风电场效能评价与大型风电基地流场精细化模拟技术研究

一、研究内容

本项目对风电场多维数据进行综合分析，研究科学有效的风电场运维效能评估方法，从而定量评价在役风电场运维效能水平，实现与前期设计的闭环管理，并为后续新建风电场的前期设计提供参考，同时支撑风电场运维，提高风电场精细化管理水平和经济效益。



1. 大数据驱动的风电场智能运维效能评价方法与系统开发

(1) 研究大数据驱动的风电机组运行状态及性能识别方法

开展不同型号风电机组 SCADA 数据完整性和合理性检验工作，研究基于深度学习的风电机组异常运行数据动态辨识方法，构建风电机组异常数据重构和缺失数据插补算法模型；基于风电机组 SCADA 数据，采用统计分析和特征提取相结合的方法，深度挖掘影响风电机组运行状态的关键参数，研究基于影响方式的关键影响参数定性分级方法，揭示不同级别关键影响参数对风电机组运行状态的影响机理及其耦合关系；基于所提取的关键影响参数，构建基于深度学习的风电机组运行状态识别模型，研究风电机组发电性能动态劣化评估方法；基于不同风况条件、不同型号风电机组 SCADA 数据，研究基于迁移学习的风电机组运行数据分布同化方法，构建基于深度学习的多风电机组运行状态及性能识别模型。

(2) 建立基于时间维度、空间维度和指标维度的风电场智能运维效能评价指标体系

系统调研和总结国内外关于风电场智能运维效能评价指标体系的研究成果及相关标准，深入分析和探究现有评价指标体系存在的问题和不足；在传统指标体系建立方法的基础上，以完备性、独立性、先进性、权威性为遵循原则，根据不同评价层面和评估阶段的实际需求，构建基于时间维度、空间维度和指标维度的风电场智能运维效能评价指标体系；依据所提风电场智能运维效能评价指标体系，基于风电场实际运行数据，定量评估风电机组/风电场/风电区域设计、理论和实际运维效能水平，确定造成运维效能损失的具体原因，并针对性地提出面向效能指标优化的风电场运维效能提升方案。

（3）开发风电场运维效能评价算法

研发风电机组异常运行数据动态辨识、重构及缺失数据插补、风电机组运行状态及性能识别，风电机组/风电场/风电区域智能运维效能评价等功能算法，提出不同功能模块的集成方案；解决不同功能模块计算结果的可视化、一体化展示方案中涉及的关键问题，完善需求分析及功能设计。

（4）基于统一平台开发风电场智能运维效能评价应用模块

基于统一平台的应用开发架构和方法，实现海量、多维、多源生产运行数据快速读取、存储、传送和大规模计算；实现统计分析、机器学习、硬件智能算法等各类智能算法在系统上的开发、封装、部署和调用；实现包含图像、图表等可视化界面的开发，满足课题研究成果的应用转化。

2. 大型风电基地流场精细化模拟方法研究和软件开发

本项目将提出风电场工程模型，构建大型风电基地尾流精细化数值模拟方法。深入认识风基地的尾流效应，结合风电机组特性参数，快速获得风电场内速度和湍流度分布情况，为风电机组效能评价和风电场运维提供重要支撑。

（1）研究风电场等效模型

考虑风电场和大气边界层的交互作用，揭示风电场对大气边界层的影响，通过高精度大涡模拟，研究不同排列方式、轮毂高度、风轮直径下风电场等效模型，提出风电场参数化建模方法。

（2）研究大型风电基地流场精细化模拟方法

数值模拟方法是获取风电基地流场分布的重要手段。项目将通过风电场模型嵌套，建立大型风电基地的精细化模拟方法，实现大型风电基地的高精度数值模拟，揭示风电场群间的尾流影响。基于风电基地和大气边界层的交互作用，从水

平方向和垂直方向两个层面定量获得周边风电场对目标风电场的影响。

(3) 开发大型风电基地流场精细化数值模拟软件

基于任务 1 所建立的高精度数值方法提出多场景下风电基地流场的高精度数值方法，并开发相关软件。重点开发：风电基地参数化输入方法和空间离散网格模块；风电基地流场求解和存储模块；风电基地流场后处理和显示化模块。

二、进度安排

1. 合同生效后 11 个月内，组织专家评审，完成风电机组异常运行数据动态辨识及重构、缺失数据插补算法；完成基于物理机理和统计特征的风电机组运行状态及性能识别算法；完成基于数据分布同化的多风电机组运行状态辨识及性能识别算法；申请运维效能评估相关发明专利 1 项；发表运维效能评估相关一般刊物及会议论文 1 篇。完成不同布机方式风电场的高精度数值模拟，揭示风电场和大气边界层的交互作用，完成风电场的等效模型，在典型排布方式下模型精度较 Frandsen 模型、Lattau 模型、Calaf 模型提高精度 10%，风电场等效模型相关发明专利受理不少于 1 项。

2. 合同生效后 17 个月内，组织专家评审，项目初验。构建基于时间维度、空间维度和指标维度的风电场智能运维效能评价指标体系；完成各部分核心算法编写及集成工作，研发一套风电场智能运维效能评价软件模块并完成在线投运；受理运维效能评估相关发明专利 1 项。完成等效模型嵌套，开发风电基地高精度数值模拟方法，风电基地模拟精度高于现有尾流叠加模型 5%，关于风电场尾流或风电机组精细化计算的发明专利受理总数不少于 1 项，关于风电基地数值模拟技术报告不少于 1 篇。

3. 合同生效后 29 个月内，完成本课题要求的所有考核指标，提供源程序及代码，整理研究成果，进行结题验收。（合同完成后，乙方需确保发明专利授权不少于 4 项，其中三峡集团内部人员作为第一发明人的数量不少于 4 项；软件著作权中三峡集团内部人员作为第一发明人的数量不少于 2 项）。

三、考核指标

课题四：基于深度学习的风电场效能评价与大型风电基地流场精细化模拟技术研究		
成果类型	成果物	考核指标
发明专利	发明专利：4 项	受理：4 项
学术论文	一般核心期刊(C 类)：1 篇	发表：1 篇
	一般刊物(D/E 类)及会议论文：1 篇	发表：1 篇
软件著作权	2 项	获取：2 项
技术报告	5 篇	发布：5 篇
软件系统	风电场智能运维效能评价软件模块	开发一套，风电机组运行状态 辨识准确率不小于 90%
	风电基地流场精细化数值模拟软件	开发一套，风电场等效模型精 度在典型布机方案下较 Frandsen 模型、Lattau 模型、 Calaf 模型精度提高 10%；风 电基地模拟精度高于现有尾 流叠加模型提高 5%

注：风电场效能评价相关发明专利 2 项，一般刊物论文 1 篇，软件著作权 1 项，技术报告 3 篇。风电流体场相关发明专利 2 项，核心刊物论文 1 篇，软件著作权 1 项，技术报告 2 篇。

课题五 基于数字孪生建模技术的光伏场站效能评价体系研究及智能运维系统开发

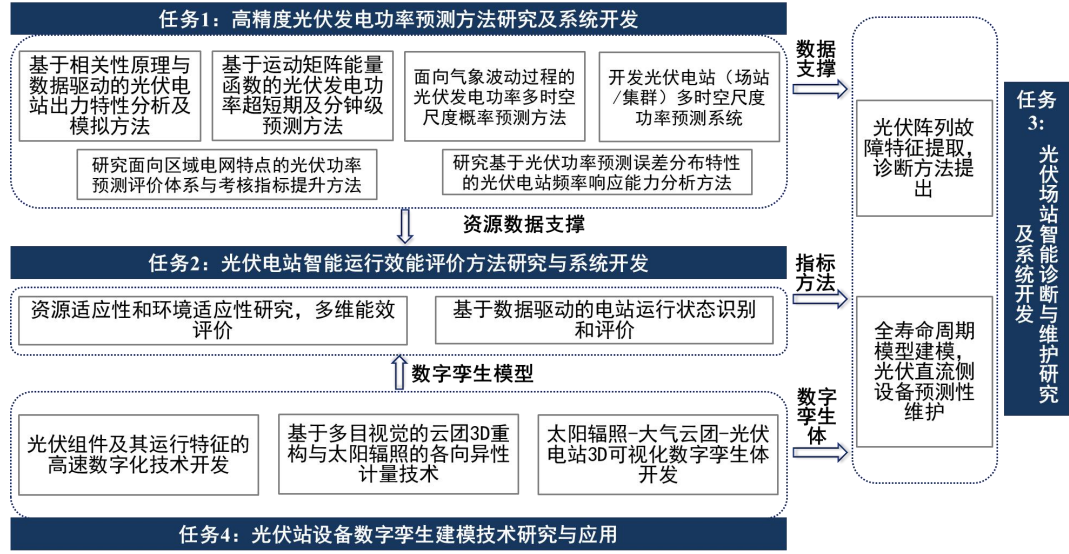
一、研究内容

本课题以提高光伏场站智能化运维水平为目标,围绕光伏发电功率预测方法及系统开发、光伏场站智能运行效能评价方法与系统开发、光伏发电数字孪生建模与应用、光伏场站智能诊断和维护四个方面进行研究。基于相关性原理与数据驱动技术研究光伏发电出力特性,构建出光伏发电功率超短期和分钟级预测模型,构建光伏发电功率多时空尺度概率预测模型,基于上述研究内容开发光伏场站多时空尺度功率预测系统;在光伏场站智能运行效能评价方面,考虑光伏场站核心关键设备及系统的资源适应性和环境适应性,系统提出基于数据驱动的光伏核心关键设备和系统运行状态识别方法,实现光伏场站核心关键设备和系统的横纵向对标,进而评价区域范围内光伏场站智能化运行水平;根据区域电网特点,系统提出光伏功率预测评价体系,考虑光伏功率预测误差分布,研究光伏场站频率响应特性;在光伏场站设备数字孪生研究方面,提出光伏组件-电站不同层级 3D 可视化建模方法,分别建立光伏组件-云团和辐照的 3D 数字模型,实现基于数字孪生技术的光伏场站运行状态监测;在光伏场站故障诊断与维护方面,研究直流侧故障条件下光伏场站的出力特征,构建光伏场站核心关键设备故障模型,提出光伏场站智能故障诊断方法,建立光伏阵列全寿命周期模型,构建光伏阵列预测性维护知识库,实现光伏场站预测性维护。

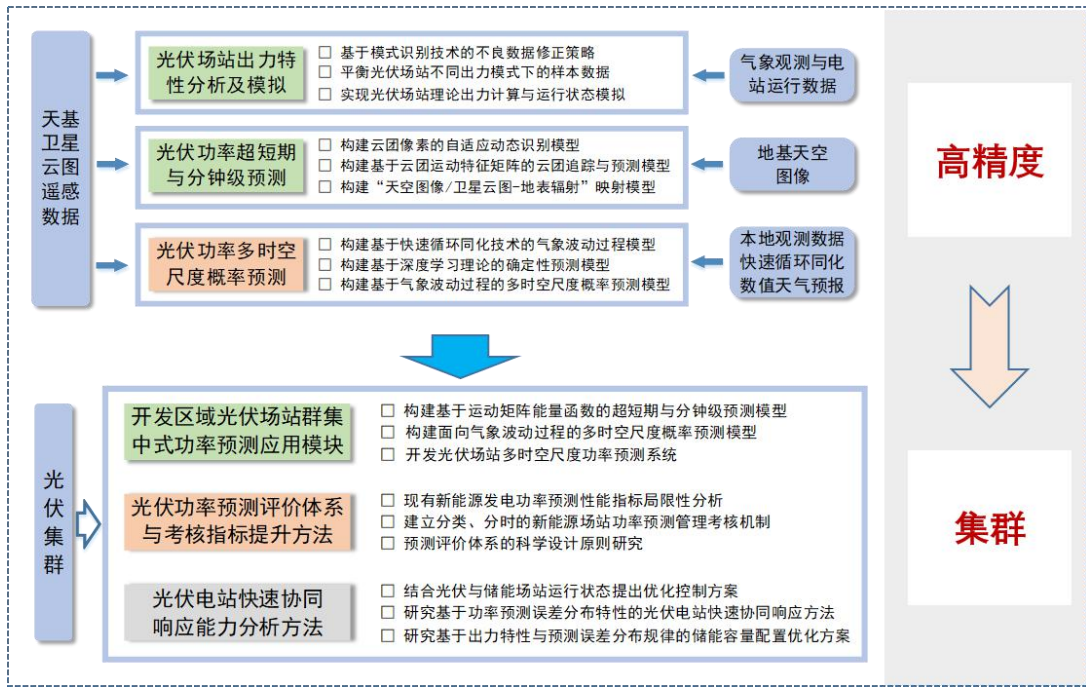
基于上述研究,分别开发光伏场站高精度功率预测系统,开发区域光伏场站运行能效评价和多维对标评价系统,形成光伏场站智能化故障诊断和预测性维护关键算法并部署应用,进一步拓展数字孪生技术在光伏场站智能化运行方面的应用领域。

本项目以光伏场站的效能评价和智慧运维为研究目标。首先进行光伏场站出力特性分析及模拟,在此基础上进行光伏发电功率分钟级、超短期与短期功率预测,研究光伏功率预测评价体系改进与光伏电站快速协同响应能力分析。对光伏场站进行资源适应性、环境适应性进行评价,实现光伏场站智能运行效能评价;对光伏场站运行状态识别,实现光伏场站核心关键设备的故障诊断研究,提出光伏场站核心关键设备全寿命周期内预测性维护方法。利用多目视觉实现地基

云团的 3D 重构，结合大气辐照模型和多辐照数据，实现高精度太阳辐照计算和光伏组件有效辐照分钟级预测，基于此构建光伏场站数字孪生模型。



1. 光伏发电功率预测、性能评价及软件和系统开发研究



(1) 基于相关性原理与数据驱动的光伏场站出力特性分析及模拟方法

研究基于人工智能技术的光伏场站不良数据形态及特征提取方法，针对空数据点、零数据点、连续恒定值、阶跃值等不良数据模式形成判定依据及辨识方法，进而提出基于模式识别技术的不良数据修正策略；基于修复后光伏场站功率数据，分析不同天气状态下的光伏场站出力特性，针对特定小样本天气状态下的光伏场站运行数据，利用生成对抗网络模型进行样本空间扩充，从而平衡光伏场站不同出力模式下的样本数据；研究指定天气条件下各气象影响因子数据（包括地基气

象观测与天基卫星遥感等数据)与光伏功率间的关联模式,通过相关性计算、频谱特性分析、灵敏度分析等方法确定光伏发电功率的核心影响因子,进而通过关联矩阵与光电转换过程物理建模实现光伏场站理论出力计算与运行状态模拟。

(2) 基于运动矩阵能量函数的光伏发电功率超短期与分钟级预测方法

基于地基全天空图像与天基卫星遥感云图,首先研究不同云况下天空与云团的光学表现特性,建立天空图像/卫星云图中云团像素的自适应动态识别模型,分析云团位移在天空图像/卫星云图频谱变化中的表现形式,提出具有高鲁棒性的云团位移快速精确计算方法;然后研究天空图像/卫星云图中云团非线性复杂运动过程的数学描述与量化表征方法,建立基于云团运动特征矩阵最优连续映射的云团追踪与预测模型,研究不同云团运动模式下的预测模型优化方案,在超短期与分钟级时间尺度下实现对天空图像/卫星云图中未来云团分布情况的像素级预测;最后研究从云团分布到地表云影地图的空间映射关系,建立“天空图像/卫星云图-地表辐射”映射模型,结合云团分布预测结果与光电转换模型建立光伏发电功率超短期与分钟级预测模型。

(3) 面向气象波动过程的光伏发电功率多时空尺度概率预测方法

研究光伏功率主要气象影响因子在不同时空尺度下的波动模式,基于数值天气预报、微气象站、卫星云图等数据获取辐照度、温度等功率气象影响因子的时空分布信息,采用本地观测数据快速循环同化技术构建不同光伏出力模式下的气象波动过程模型;针对不同气象波动过程,基于深度学习理论构建以历史功率序列、数值天气预报、地基气象观测以及卫星遥感等多元数据为输入的光伏发电功率多时空尺度确定性预测模型;研究光伏发电功率多时空尺度预测结果误差在不同气象波动过程下的概率分布和时空分布规律,建立基于光伏场站运行数据的气象波动过程识别模型,从而在预测模型输出确定性预测结果的同时获得误差分布的先验知识,实现光伏发电功率多时空尺度概率预测。

(4) 基于统一平台开发区域光伏场站群集中式功率预测应用模块

研究构建基于运动矩阵能量函数的光伏发电功率超短期与分钟级预测模型以及面向气象波动过程的光伏发电功率多时空尺度概率预测模型,部署光伏场站局地气象信息监测与采集系统,实现区域光伏集群运行数据的多时空尺度观测,从而开发光伏场站多时空尺度功率预测系统,实现对单一光伏场站与光伏集群的短期、超短期以及分钟级功率预测。基于统一平台的应用开发架构和方法,实现

多维、多源生产运行数据快速读取、存储、传送和大规模计算；实现智能算法在系统上的开发、封装、部署和调用；实现包含图像、图表等可视化界面的开发，满足课题成果的应用转化。

（5）面向区域电网特点的光伏功率预测评价体系与考核指标提升方法

首先基于新能源场站实际运行状态和功率预测结果数据，对现有新能源发电功率预测性能指标局限性进行分析；然后研究考虑电网调度实际需求的新能源场站分类与功率预测分时考核机制，以支撑实际调度运行为导向，从资源分布特性、安装容量规模、电网拓扑结构等不同维度出发，研究面向电网调度实际需求的新能源场站分类方法以及时段划分方法，建立分类、分时的新能源场站功率预测管理考核机制；最后针对现有指标体系存在的不足，根据区域电网新能源调度的不同运行场景，考虑运行时段、地理区域、电网拓扑、安稳约束、场站特性、负荷特点、调节能力等因素，给出场站端与调度端新能源发电功率预测评价体系的科学设计原则，研究能支撑当前计划运行与未来电力市场条件下不同时间尺度调度运行需求的功率预测综合评价方法。

（6）基于功率预测误差分布特性的光伏电站快速协同响应能力分析

研究基于光伏功率预测误差分布特性的光-储快速协调响应方法，通过建立的光伏发电功率超短期与分钟级预测模型获取光伏场站未来 4 小时内的高精度功率预测数据，结合光伏与储能场站当前运行状态提出优化控制方案；研究基于光伏功率预测误差分布特性的光-风快速协同响应方法，基于光伏与风电功率预测结果研究风、光功率间的互补匹配模式；最后面向光-储联合系统，研究基于光伏场站出力特性与预测误差分布规律的储能容量配置优化方案，实现储能配置成本与功率预测误差风险的最小化。

2. 光伏场站智能运维效能评价与系统开发

该任务计划按如下任务开展技术研究：

（1）光伏场站资源适应性及环境适应性研究

基于不同光谱、时间尺度上实测气象数据的太阳能资源数据表征太阳能光伏发电系统内在机理及其出力特性，揭示太阳能光伏发电系统光-功转换规律。研究实际环境条件下不同类型光伏组件的适应性能并建立评价指标。综合模拟仿真分析方法和典型工况情况下电气特性实验测试手段，掌握光伏组件-阵列不同层级数学模型在典型物理场(太阳辐照强度、环境温度等)下结构和参数的非线性转

移规律；以多个实证平台实际测试数据和运行数据为基础，校正光伏阵列工程适用模型，定量描述多物理场对光伏阵列电气参数的影响，最终掌握典型气象条件下光伏阵列电气参数非线性转移规律。通过光伏场站核心关键设备实证测试平台，研究复杂气候、气象条件下光伏场站核心关键设备性能模拟方法，并进行测试分析。

（2）光伏场站运行状态识别及多维能效评价

模拟不同物理场激励下电站的运行情况，研究环境因素对电站性能的影响；规划现场测试的条件安排，将模拟结果与测试结果进行对比，研究实际运行过程中性能效率测试的准确性；采用定量与定性相结合的方法，对太阳能资源评价、光伏生产力、设备运行情况以及管理运行方式等方面进行研究以确立各个方面的细节指标。研究不同气象条件下不同指标的变化以筛选进入对标体系的指标；以电站运行数据和资源数据信息积累为基础，研究层次分析法以及模糊处理法等不同运行状态分析方法对于光伏场站领域的适用性，研究以数据分析算法为核心的多种数据挖掘方法的原理，最终实现光伏场站运行状态精确识别和多维能效评价。

（3）基于统一平台开发光伏场站智能运维效能评价应用模块

基于统一平台的应用开发架构和方法，实现多维、多源生产运行数据快速读取、存储、传送和大规模计算；实现智能算法在系统上的开发、封装、部署和调用；实现包含图像、图表等可视化界面的开发，满足课题研究成果的应用转化。

3. 光伏场站智能诊断与维护技术研究及系统开发

该任务计划按如下任务开展技术研究：

（1）基于智能方法的光伏场站直流侧设备故障诊断研究

研究光伏阵列在外部激励条件（太阳辐照强度、环境温度等气象因素）下的出力行为特性及阵列电气参数对出力行为特性的作用规律；根据光伏组件工程数学仿真模型分析不同组件串、并联连接条件下的失配损失，研究利用光伏阵列外部行为特性表征失配损失的方法，最终实现计及失配损失的光伏阵列通用数学模型的设计；利用非线性最小二乘算法对组件-阵列数学模型参数进行在线辨识，根据辨识结果对已有模型进行校正；将电站运行数据以及组件数学模型的仿真数据对正常以及各种故障数据通过模糊分类算法进行分类，再利用概率神经网络对故障进行诊断，确立各类故障与其数据特征的映射关系，提出基于光伏阵列故障参考模型和阈值判断的故障诊断方法。

（2）光伏场站核心关键设备全寿命周期预测性维护研究

为了确保光伏场站中的组件能发挥最大性能，同时减少停机时间，光伏场站的预测性维护必不可少，预测性维护主要依靠电站的性能评估和运行状态评估的结果对组件或者电站的其他设备进行维护。建立组件性能衰退，灰尘遮挡，以及组件失配这三类诱因而导致的光伏发电系统非线性性能退化模型，估计其参数的先验分布，引入最优预测维护策略构建光伏场站预测性维护知识库，进而为实现光伏场站核心关键设备全寿命周期内的预测性维护提供理论支撑。

（3）基于统一平台开发光伏场站设备智能诊断维护应用模块

基于统一平台的应用开发架构和方法，实现多维、多源生产运行数据快速读取、存储、传送和大规模计算；实现智能算法在系统上的开发、封装、部署和调用；实现光伏发电智能分析评价功能模块算法应用，实现智能故障预警、定位；实现包含图像、图表等可视化界面的开发，满足课题研究成果的应用转化；基于光伏场站核心关键设备和系统诊断结果，实现光伏系统智能化监盘。

4. 光伏场站设备数字孪生建模技术研究与应用

（1）光伏组件及其运行特征的高速数字化技术开发

基于线性光学和近似解析公式，考虑光吸收、电分离、电输运、生热和散热过程，建立光伏组件端的物理模型；结合太阳辐照分布信息和环境信息，建立光伏组件电流电压特性、温度分布与辐照度和环境变量之间的函数关系；建立光伏组件 3D 数字孪生体，以数字化和动画形式显示；将部分光伏组件的电气输出特性、温度分布等运行特征实时高速映射到 3D 光伏场站，实现光伏组件实时运行状态的高速预测结果。

（2）基于多目视觉的云团 3D 重构与太阳辐照各向异性计量技术

建立大气-辐照物理模型，实现大气气溶胶对太阳辐照的衰减、散射效应精确数学表达。建立雾霾天气下的太阳直接辐射、散射辐射的天空各向异性测量系统和数据处理程序。利用多辐照传感器数据反演出大气-辐照光学模型，建立天空辐照的精细分布。再根据太阳方位与光伏组件倾角的几何位置关系，将太阳直接辐射、散射辐射以矢量形式投射到光伏组件，进行精细积分计算，获得光伏组件上真实的高精度有效辐照量，与发电量进行对标，从而建立光伏场站的高精度光电效率关系，为超短期、分钟级的光伏组件有效辐照量预报奠定基础。

利用多目视觉技术，对天空云团进行成像，通过图像识别和 3D 空间计算，

识别出云团的形状、尺寸、高度、运动方向和运动速度信息，实现云团的 3D 可视化。结合太阳轨迹预报和光伏场站 3D 结构，实现云团阴影对光伏场站遮挡的动态显示与预报，为光伏场站功率预报、故障诊断提供基础、可靠信息。

（3）太阳辐照-大气云团-光伏场站 3D 可视化数字孪生体开发

进行光伏场站的 3D 可视化开发，包括光伏场站设备 3D 和云团 3D 动画，并实现与太阳辐照光束方位的 3D 互动。将太阳辐照以天空亮度分布形式带入光伏阵列，考虑天空各向异性和余弦效应。以云团路径和太阳轨迹结算光伏场站阴影遮挡的位置、面积和变化趋势。将电气量以数字化、动画形式显示到光伏场站中，实现太阳辐照-大气云团-光伏场站的数字孪生体。

二、进度安排

1. 合同生效后 10 个月内，子任务 1：完成基于相关性原理与数据驱动的光伏场站出力特性分析及模拟方法，完成光伏发电功率短期、超短期与分钟级预测方法关键技术攻关及相关内容，提出基于运动矩阵能量函数的光伏发电功率超短期与分钟级预测方法，提出面向气象波动过程的光伏发电功率多时空尺度概率预测方法。关于光伏发电功率预测技术发明专利受理不少于 3 项，关于光伏发电功率超短期与分钟级预测论文不少于 1 篇、软件著作权不少于 1 项。工程节点：完成区域光功率预测模块设计方案，算法集成，现场部署，现场全部功能运行测试。子任务 2 和 3：系统提出光伏电站核心关键设备-系统多层级多维度综合性能评价方法；掌握故障条件下光伏电站核心关键设备输出数据特性并实现特征提取，实现典型故障条件下光伏阵列输出数据的不确定性表达，系统提出光伏阵列故障诊断及预测性维护方法；完成光伏场站智能运行效能评价关键技术攻关及相关研究内容；完成光伏场站智能故障诊断关键技术攻关，关于光伏场站智能运行效能评价和故障诊断发明专利受理不少于 3 项，关于光伏场站智能运行效能评价和故障诊断论文不少于 2 篇，关于光伏场站智能运行效能评价和故障诊断技术报告不少于 2 篇。工程节点：完成光伏场站效能评价和故障诊断模块设计方案，完成功能模块初步封装和现场测试，完成#4 厂区功能算法初步验收。子任务 4：开发云团的多摄像头信息融合算法，实现云团的 3D 识别与重构，能够实现云团位置、方向的预报，实验室可展示的硬性成果，完成首套多目视觉云团识别的程序代码，开发出首套雾霾天气下的太阳散射辐照精细观测方法以及硬件系统（首台套）。建立太阳直接辐照、散射辐照的空间强度模型，实现雾霾天气下的太阳直接辐照、

散射天空分布精细测算。太阳跟踪、辐照观测相关发明专利受理不少于 1 项，关于太阳辐照精细测量论文不少于 1 篇。

2. 合同生效后 17 个月内，子任务 1：完成光伏功率预测评价体系与考核指标提升方法研究，完成光伏电站快速协同响应能力分析研究方法研究，完成验收专家组初验，完成初验结论整改工作，完成科技项目全部科研成果转化和示范应用并验收。关于光伏发电功率预测技术发明专利受理不少于 2 项，关于光伏发电功率预测性能评价与响应能力研究相关发明专利受理 2 项，关于光伏发电功率预测与性能评价论文不少于 2 篇。工程节点：完成#1-3 厂区部署测试，完成#1-3 厂区部署调试。子任务 2 和 3：光伏场站智能运行效能评价和故障诊断算法部署，完成现场光伏场站智能运行效能评价软件模块和光伏场站设备智能诊断维护软件模块系统调试工作（两个首台套），完成验收专家组初验，完成初验结论整改工作，完成科技项目全部科研成果转化和示范应用和验收，完成专家组终验。工程节点：完成#1-3 厂区部署调试和验收。子任务 4：完成云团 3D 重构、太阳辐照、光伏场站的 3D 可视化互动；完成光伏组件数字化开发，发表论文 1 篇，专利受理 1 项；可现场展示的硬性成果：完成云团 3D 重构的软硬件系统，并与太阳辐照精细测量系统联立工作。完成验收专家组初验，完成初验结论整改工作，完成科技项目全部科研成果转化和示范应用并验收，完成专家组终验。

3. 合同生效后 29 个月内，子任务 1：完成相关研究目标，整理研究成果，进行结题准备，关于光伏发电功率预测、性能评价及软件和系统开发研究技术报告不少于 1 篇。完成结题验收，完成项目要求的所有考核指标。子任务 2 和 3：完成相关研究目标，整理研究成果，进行结题准备。结题验收，完成项目要求的所有考核指标。工程节点：#1-4 模块完善。子任务 4：完成相关研究目标，整理研究成果，受理发明专利 1 项，发表论文 1 篇，进行结题准备。结题验收，完成项目要求的所有考核指标。技术报告 1 份。（发明专利中三峡集团内部人员作为第一发明人的篇数不少于 16 篇，软件著作权中三峡集团内部人员作为第一发明人的篇数不少于 1 个，核心期刊中三峡集团内部人员作为第一作者的篇数不少于 4 个）。

三、考核指标

课题五：基于数字孪生建模技术的光伏场站效能评价体系研究及智能运维系统开发		
成果类型	成果物	考核指标
发明专利	发明专利：16 项	受理：16 项
学术论文	权威或重要核心期刊（T/A/B 类）：5 篇	发表：5 篇
	一般核心期刊(C 类)：2 篇	发表：2 篇
	一般刊物(D/E 类)及会议论文：3 篇	发表：3 篇
软件著作权	1 项	获取：1 项
技术报告	4 篇	发布：4 篇
硬件装备	光伏场站数字孪生系统（辐照测量系统、多目视觉系统）	一套
软件系统	区域光伏场站群集中式功率预测软件模块	资源端预测准确率【较同地区平均精度水平】提升 1%~3%
	光伏场站智能运行效能评价软件模块	一套
	光伏场站设备智能诊断维护软件模块	1) 故障自发现率【所有故障中自动发现的比例】提升 5% 2) 预防性维修占比【预防性维护与缺失性维护的比值】提升 30% 3) 故障后平均修复时间降低百分比【平均修复时间降低】降低 10% 4) 人员代替率【现场人员减少的程度】降低 30% 5) 故障诊断准确率达到 70% 6) 故障预警准确率达到 60%
	光伏场站图像识别处理及 3D 可视化模块	一套
	多目视觉云团识别系统	一套

注：子任务 1：光伏发电功率预测理论与方法相关发明专利 5 篇，权威或重要核心期刊论文 1 篇，一般刊物及会议论文 1 篇，软件著作权 1 项；光伏发电功率预测性能评价与响应能力研究相关发明专利 2 篇，一般核心期刊论文 1 篇；光伏发电功率预测、性能评价及软件和系统开发研究技术报告 1 份。子任务 2 和 3：光伏电站运行效能评价相关发明专利 2 篇，权威或重要核心期刊论文 1 篇；一般刊物论文 1 篇，技术报告 1 份。光伏发电故障诊断相关发明专利 4 篇，权威或重要核心期刊论文 1 篇；核心刊物论文 1 篇，技术报告 1 份；拟根据集团对光伏电站管理和场站运维需求提出光伏场站性能分析和智能化运行方面企业标准一项。子任务 4：关于太阳跟踪、辐照观测相关发明专利受理总数不少于 1 项，关于太阳辐照精细测量论文不少于 1 篇；发明专利 3 项，论文 3 篇，技术报告 1 份。

课题六 基于全物理过程建模的数值模拟和光伏组件增效技术研究

一、研究内容

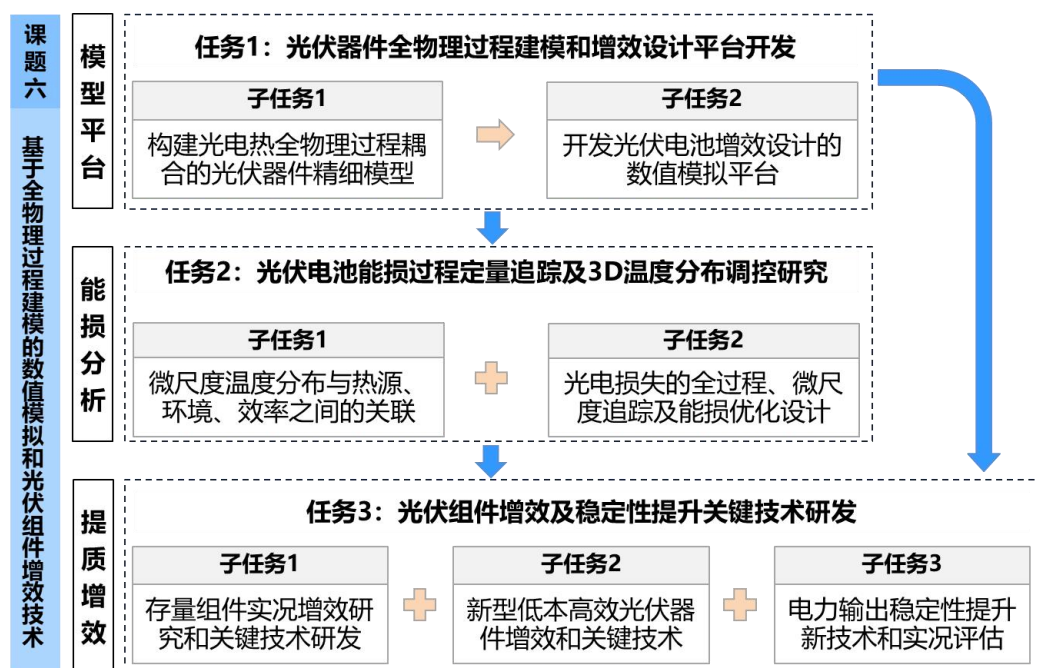
本项目考虑光电、光热、电热和帕帖尔效应等全物理过程对光伏电池进行建模，并在此基础上开展能损过程追踪和光伏组件增效技术研究。

本项目首先引入新物理机制，重新推导光伏电池的工作原理，建立光-电-热全物理场耦合的光伏器件模型；然后开发独立光学、电学和热学数值模拟模块，并规范 3 个模块之间的 IO 接口，建立考虑光-电-热全物理过程的数值模拟平台，预测电池内部的精细光场、电流和热源分布。再然后，基于数值模拟，开展光伏器件能损过程的高精度定量追踪及 3D 微尺度温度分布调控研究：研究环境因素影响光伏电池内部热源分布、温度分布及效率的机制和规律，确定关键影响因素并对其进行定性分级；研究光伏电池光电损失的全过程、微尺度追踪技术，研究环境因素影响能损的机制和规律，确定导致光伏电池运行能损的关键因素，针对能损进行优化设计。最后，基于全物理场耦合数值模拟，结合新材料和新技术，开展光伏组件运行增效技术的研发；针对电热输出稳定性提升，研发基于太阳光谱分频应用的光伏-光热系统。

本项目构建考虑光-电-热全物理过程的光伏器件模型，及对应的数值模拟平台；在此基础上，结合光功率预测，研究光伏电池能损过程和能损优化方案；开发光伏组件运行增效技术，提升光伏组件出力特性和发电品质。有助于提高光伏场站精细化运维管理水平和经济效益，并且可以为光伏场站设计、组件选择和组件出力特性优化提供支撑。

研究方法与技术路线

本项目拟分为三个部分开展研究：光伏器件全物理过程建模和增效设计平台开发；光伏电池能损过程高精度定量追踪及 3D 微尺度温度分布调控研究；光伏组件增效及器件稳定性提升关键技术研发。该课题研发技术路线如下图所示。



1. 光伏器件全物理过程建模和增效设计平台开发

该任务计划按如下子任务开展技术研究：

（1）构建光电热全物理过程耦合的光伏器件精细模型

构建考虑光-电-热全物理过程的光伏器件模型，是研究光伏组件运行状态的理论基础。首先协同考虑光电、光热和电热三个基本物理过程，重新推导光伏器件的工作原理。然后，考虑光谱特征、材料特性和光伏器件结构设计进行光学建模；并开发精细光管理技术，研究光管理设计与光伏电池内部光场分布之间的关联。第三步，对光伏器件进行光电协同建模，考虑光吸收、电分离和电复合，研究光吸收与电传导过程的匹配。最后，进行光-电-热协同建模，详细分析光伏电池内部的光学生热和电学生热过程，并引入帕帖尔效应等新的生热机制，确定电池内部热源的精细分布；基于电池内部热源分布，确定电池内部的热传导机制和电池散热机制，建立光-电-热全物理场耦合的光伏器件精细模型。

（2）开发光伏电池状态预测和增效设计的数值模拟平台

基于所建立的光-电-热全物理场耦合的光伏器件模型，开发对应的数值模拟软件，包括三个模块：1）光管理模块，可以实现器件级别的线性光学、微纳米级别的波动光学研究，进行光管理设计和优化；2）电学模块，可以实现光伏器件设计，以及对应的电输运过程优化和电损失分析；3）生热和热传导模块，可以实现光伏器件内部精细位置的生热和温度预测，以及热传导分析；规范3个模块之间输入输出之间的对接，建立考虑光电热全物理过程的光伏器件数值模拟平

台，为后续光伏电池能损状态预测、优化和光伏组件增效方案的设计奠定基础。

2. 光伏电池能损过程高精度定量追踪及 3D 微尺度温度分布调控研究

该任务计划按如下子任务开展技术研究：

（1）光伏电池三维微尺度温度分布与热源分布、效率之间的关联研究

基于数值模拟探究光功率、遮挡、组件污染、环境和调度管理等因素影响光伏电池内部微尺度的三维热源分布和温度分布的内在机制和规律；分析温度分布影响光伏组件电力输出特性的微观机制和规律；以此为基础，分析影响光伏电池温度分布、热斑和转换效率的环境因素并研究其定性分级方法；确定关键因素，并建立综合考虑光伏电池运行温度分布和效率的健康状态评价方法。系统收集光功率、气候条件、电站布置、光伏组件电气特性、落尘、温度等数据；基于光伏场站的实际运行数据，完善光伏组件运行健康状态的评价方法。

（2）光伏电池光电损失的全过程、微尺度追踪及能损优化设计研究

基于光伏场站实况运行数据，开展光伏电池运行过程数值模拟研究；对光电损失的光学和电学过程进行高精度定量追踪，深入分析和探究光伏电池能损与实况因素、调度之间的关联规律；考虑辐照功率、运维调度、储能和组件寿命等关键因素，评估光伏组件实况运行中能量损耗的关键因素，提出面向光伏组件能损优化的器件设计和运维方案。探究光伏组件的能损与其健康状态之间的关联。

3. 光伏组件增效及稳定性提升关键技术研发

基于数值模拟和光伏能损过程分析，结合新材料、新机制开发光伏组件增效的新技术，包括针对存量光伏组件的增效技术、新型低本高效光伏电池研发以及旨在提高电力输出稳定性的光伏-光热一体化系统研发。

（1）存量组件实况增效研究和关键技术研发

基于对光伏组件实况运行的数值模拟，探明光伏场站中存量组件的实际发电效率受辐照功率、气候、时段、温度、湿度和落尘等外界因素影响的规律；确定主要影响因素，并从光管理和热管理两个方面提出新型光伏组件增效技术方案；设计光伏组件增效新技术（包括降损、降温等技术）并进行建模和数值模拟，探究其增效机制、关键参数和增效规律；针对不同实用条件对增效方案进行优化，给出低本可行的增效技术方案；开发光伏组件增效产品或装置，测试其对存量光伏组件增效的实际效果并进行成本核算；建立针对存量光伏组件增效技术的评估方法。

(2) 新型低本高效光伏电池增效和关键技术研发

引入新材料开展新型低本高效的光伏器件设计和模拟优化,厘清其光电转换效率受材料性能和器件结构影响的机制和规律;开展新型光伏材料的研发和光伏器件的制备,基于新材料、新机理和工艺优化,提高光伏电池的发电效率;从材料改性、新机理和封装 3 个方面开展新型太阳电池的稳定性研究,开发新型低本高效高稳定的太阳电池器件;开展太阳电池低成本制备技术和设计研究,有效提升光伏发电性能并利用新技术降低光伏发电成本。

(3) 电力输出稳定性提升新技术研发和实况评估

基于光伏并网对输出电力曲线的需求,开展光伏-光热一体化系统设计,并建立光伏-光热一体化系统的物理模型;对一体化系统中的光伏和光热器件分别进行数值模拟,对光伏-光热一体化系统的整体电力输出功率和稳定性进行优化。研发光伏-光热一体化装置,可以实现对太阳光谱能流的分频利用;研发适用于光伏-光热一体化系统的光伏组件,以充分利用高频太阳光谱;研发光热材料和热力利用方式,以高效利用低频太阳光谱;表征光伏-光热一体化系统的电热输出功率和稳定性并进行实况评估,为降低光伏发电电网接入成本提供技术选择。

二、进度安排

1. 合同生效后 10 个月内,子任务 1: 合同生效 6 个月内完成光伏器件的工作原理推导,完成光伏器件的光电协同建模合同生效 10 个月内完成光伏器件全物理过程建模。子任务 2: 合同生效 6 个月内完成光伏电池能量损失过程理论分析;合同生效 10 个月内完成固定热源输入光伏电池温度分布数值模拟,受理专利不少于 1 件;子任务 3: 合同生效 6 个月内完成存量光伏组件增效数值模拟设计;合同生效 10 个月内完成新型光伏电池增效基础研究工作,电池效率超过 21.5%;进行透明电极制备工艺优化,发表论文不少于 1 篇;完成电力输出光伏-光热一体化系统设计和部分数值模拟工作,系统的设计热电综合效率超过 50%,受理专利不少于 1 件。项目进度完成情况达到附件 5 中的技术标准和要求,按规定进行付款。

2. 合同生效后 17 个月内,子任务 1: 合同生效 12 个月内完成光伏电池增效设计数值模拟软件算法设计;合同生效 17 个月内完成光伏电池增效设计数值模拟软件模块平台搭建,光吸收和电池效率预测结果与现有软件预测结果误差小于

10%；实现国内首套太阳能电池光电热协同模拟的软件模块；实现能损和温度分布微尺度定量预测；发表论文不少于 1 篇，专利受理不少于 1 件。子任务 2：合同生效 12 个月内完成光伏电池微尺度分布与热源分布、效率之间的关联研究；合同生效 17 个月内建立光伏组件健康状态评价方法；发表论文不少于 1 篇；子任务 3：合同生效 12 个月内完成存量光伏组件增效装置开发，专利受理不少于 2 件；合同生效 17 个月内完成新型光伏电池器件开发测试，钙钛矿太阳能电池实验室转换效率高于 22%；完成一种半透明器件开发，专利受理不少于 1 篇；完成光伏-光热系统原理研究和设计、光伏光热一体化器件首台套样机试制，发表论文不少于 1 篇，专利受理不少于 2 件。

3. 合同生效后 29 个月内，子任务 1：合同生效 20 个月内完成光伏电池增效设计数值模拟软件模块的运行测试；合同生效 29 个月内后完成光伏电池增效设计数值模拟软件模块首台套认证，完成技术报告 1 份。子任务 2：合同生效 20 个月内完成光伏电池能损过程分析，确定关键影响因素；合同生效 29 个月内完成光伏电池能损优化设计，与光伏组件实测数据的拟合曲线比较，误差小于 10%，专利受理不少于 1 件；完成技术报告 1 份。子任务 3：合同生效 20 个月内完成新型光伏电池器件稳定性研究，完成新型低成本、高效率、高稳定太阳能电池器件首台套认证，钙钛矿电池效率高于 22%，稳定性测试可实现 2000 小时老化后效率衰减小于 20%；合同生效 29 个月内完成光伏-光热系统电热输出稳定性的评估，完成光伏-光热一体化器件样机首台套认证，测试光伏-光热一体化器件样机的热电综合转换效率大于 50%，专利受理不少于 2 件；完成存量光伏组件增效装置测试和首台套认证，可使商业化光伏组件在 40 度以上环境温度下的发电量提升 1%，专利受理不少于 1 件；完成 1~2 种红外透过率大于 70%的新型高效太阳能电池材料器件开发。完成技术报告 1 份。完成相关研究目标，整理研究成果，完成项目要求的所有考核指标，进行结题验收。（发明专利中三峡集团内部人员作为第一发明人的篇数不少于 12 篇，权威或重要核心期刊中三峡集团内部人员作为第一作者的篇数不少于 2 篇）。

三、考核指标

课题六：基于全物理过程建模的数值模拟和光伏组件增效技术研究		
成果类型	成果物	考核指标
发明专利	发明专利：12 项	受理：12 项
学术论文	权威或重要核心期刊（T/A/B 类）： 4 篇	发表：4 篇
技术报告	3 篇	发布：3 篇
硬件装备	新型低本高效高稳定的太阳电池器件 1-2 种	新型低本高效高稳定的太阳电池器件，电池效率突破 22%，2000h 老化后效率衰减小于 20%；完成红外透过率大于 70%的新型高效太阳电池材料器件开发
	光伏组件增效产品 1-3 种	光伏组件增效新方案使商业化光伏组件在 40° 以上环境温度下的发电量提升大于 1%
	光伏-光热一体化器件样机 1 台	光伏-光热一体化器件样机 1 台，综合热电能量转换效率不小于 50%
软件系统	光伏电池增效设计数值模拟软件模块	国内首套太阳电池光电热协同模拟的软件模块，光吸收和电池效率预测结果与现有软件预测结果误差小于 10%

注：关于全物理过程建模和增效设计平台开发的权威或重要期刊论文不少于 1 篇，专利不少于 1 件，首台套成果 1 项，技术报告 1 份；关于能损追踪分析和温度分布的权威或重要期刊论文不少于 1 篇，专利不少于 2 件，技术报告 1 份；关于太阳电池增效和电热输出稳定性提升技术权威或重要期刊论文不少于 2 篇，专利不少于 9 件，首台套成果不少于 3 项，技术报告 1 份。

课题七：高温差恶劣环境新能源场站输变电设备绝缘状态高可靠感知与故障诊断预测关键技术研究

一、研究内容

围绕新能源场站 35kV 集电电缆、35kV 开关柜、220kV 气体绝缘开关设备、220kV 电力变压器等设备绝缘状态高可靠感知技术、健康状态全过程演化过程和状态信息时空分布规律、绝缘状态诊断预测技术开展研究，研发新能源场站输变电设备绝缘状态高可靠感知、状态差异化评价、故障诊断、健康状态态势预测高级应用软件模块，并在乌兰察布大规模风光储联合电站现场进行试点应用，完善相应的硬件装置及软件模块。

该课题的整体技术路线如图所示。



1. 新能源场站 35kV 集电电缆绝缘状态高可靠感知与诊断技术研究

(1) 35kV 集电电缆局部放电高可靠感知与定位技术研究

1) 局部放电高可靠传感技术研究：完善 35kV 集电电缆局部放电试验研究平台，通过开展 35kV 集电电缆局部放电试验，研究典型性局部放电缺陷的宽带脉冲电流信号的时频特征、时序分布规律。给出宽带电流传感器的工作频带、灵敏度等设计参数。通过仿真与试验测量，研究局部放电宽带脉冲电流信号在 35kV 集电电缆三相与接地线中耦合与传播过程，揭示局部放电信号的时空分布特征。

给出局部放电传感器的布置位置、安装数量等设计方案与参数。通过试验研究低温、温度变化条件下的宽带脉冲电流传感器的响应特性，提出 35kV 集电电缆局部放电高可靠感知技术。

2) 35kV 集电电缆局部放电演变与信号传播衰减规律分析：通过试验测量，研究在三相 35kV 集电电缆中局部放电宽带脉冲电流信号的传播衰减过程，给出局部放电信号在电缆中的时、频域衰减规律。通过现场实测与实验室模拟构建 35kV 集电电缆干扰信号数据库，揭示干扰信号的时频特征、相位特征分布规律、以及传播衰减规律，开发面向 35kV 集电电缆的抗干扰算法。开展 35kV 集电电缆绝缘缺陷从放电起始到最终失效的全劣化过程试验研究，获得局部放电发展演化的物理过程、以及伴随产生的局部放电信号，统计分析局部放电信号幅值、重复率、PRPD 谱图特征的演变过程。

3) 35kV 集电电缆局部放电定位技术研究：通过试验测量，研究基于宽带脉冲电流信号传播过程中时空分布特性与时频特征的局部放电定位技术，开发相应的 35kV 集电电缆局部放电高可靠监测装置。

(2) 35kV 集电电缆接地故障高可靠感知与定位技术研究

1) 高可靠接地故障传感技术研究：完善 35kV 集电电缆接地故障试验研究平台，通过开展 35kV 集电电缆接地故障模拟与测试，研究典型接地故障信号的时频特征规律。给出接地故障传感器的工作频带、灵敏度等设计参数。通过仿真与试验测量，研究接地故障信号在 35kV 集电电缆三相与接地线中耦合与传播过程，揭示接地故障信号的时空分布特征。给出接地故障传感器的布置位置、安装数量等设计方案与参数。通过试验研究低温、温度急剧变化条件下的接地故障传感器的响应特性，提出 35kV 集电电缆接地故障高可靠感知技术。

2) 35kV 集电电缆接地故障演变与信号传播衰减规律分析：通过试验测量，研究在三相 35kV 集电电缆中接地故障的相间、相对地耦合现象，揭示故障信号的时空分布规律。为接地故障定位提供理论依据。开展 35kV 集电电缆接地故障从高阻到最终击穿的全劣化过程试验研究，获得接地故障发展演化的物理过程、以及伴随产生的故障信号，统计分析接地故障信号幅值、频谱的演变过程。

3) 35kV 集电电缆接地故障定位技术研究：通过试验测量，研究基于故障信号时空分布特征的 35kV 集电电缆接地故障定位方法，开发相应的 35kV 集电电缆接地故障高可靠监测装置。

（3）35kV 集电电缆绝缘状态诊断与预警技术研究

开展 35kV 集电电缆绝缘缺陷从放电起始到最终失效的全劣化过程试验研究，获得 35kV 集电电缆绝缘故障发展过程中的局部放电及接地电流信号的演化规律与特征判据，提出 35kV 集电电缆绝缘状态诊断方法与预警方法，并开发 35kV 集电电缆绝缘状态诊断、预警高级应用模块。

（4）35kV 集电电缆绝缘状态监测诊断高级应用模块部署与应用

在综合监控中心一体化监控平台上实现新能源场站 35kV 集电电缆局部放电和接地故障定位、绝缘状态诊断、绝缘状态预警高级应用软件模块的部署和调试，并根据现场应用情况进行效果检验和迭代完善。

2. 新能源场站 35kV 开关柜绝缘状态高可靠感知与诊断技术研究

（1）35kV 开关柜绝缘状态高可靠宽带脉冲电流感知技术研究

1) 35kV 开关柜局部放电传感技术研究：完善 35kV 开关柜绝缘状态试验研究平台，开展 35kV 开关柜不同绝缘缺陷模式下放电试验研究，获得 35kV 开关柜绝缘缺陷的高频电脉冲信号的时频分布特征，为 35kV 开关柜绝缘状态感知传感器的检测频带、灵敏度、安装位置的确定提供依据。

2) 基于 35kV 开关柜带电显示装置的宽带脉冲电流检测技术研究：仿真和实测相结合，获得 35kV 开关柜内部绝缘故障高频电脉冲信号的传播路径及衰减特性，结合两相差分和三相叠加法，研究基于 35kV 开关柜带电显示的宽带脉冲电流检测的有效性和抗干扰性能，提出 35kV 开关柜流一次二次融合的宽带脉冲电流检测技术。

3) 宽带脉冲电流传感器可靠性研究：试验研究低温、温度急剧变化条件下的开关柜宽带脉冲电流传感器的响应特性，研制基于开关柜本体带电显示装置的 35kV 开关柜宽带脉冲电流高可靠监测装置。

（2）35kV 开关柜绝缘缺陷诊断及严重程度评估技术研究

1) 局部放电信号指纹与诊断技术研究：基于 35kV 开关柜实验平台开展局部放电试验与测量，积累宽带脉冲电流信号特征谱图，开发深度学习算法，提取局部放电信号与谱图的特征指纹，开发 35kV 开关柜绝缘缺陷模式诊断高级应用模块。

2) 局部放电劣化规律与严重程度评估技术研究：开展 35kV 开关柜不同绝缘缺陷下从放电起始到最终失效的全劣化过程试验研究，获得 35kV 开关柜绝缘

发展过程故障的宽带脉冲电流的演化规律与特征判据，提出 35kV 开关柜绝缘缺陷类型诊断及严重程度评估方法，并开发 35kV 开关柜绝缘缺陷模式诊断、严重程度评估高级应用模块。

（3）35kV 开关柜绝缘状态预警技术研究

开展 35kV 开关柜绝缘缺陷长期试验研究，深度挖掘 35kV 开关柜绝缘缺陷劣化过程与放电信号之间的映射关系，研究 35kV 开关柜绝缘状态态势特征量的遴选与提取方法以及高维关联态势特征空间的构建方法，提出 35kV 开关柜绝缘状态预警方法与预警判据，开发 35kV 开关柜绝缘状态预警高级应用软件模块。

（4）35kV 开关柜绝缘状态监测与诊断高级应用模块部署与应用

在综合监控中心一体化监控平台上实现新能源场站 35kV 开关柜绝缘缺陷诊断、严重程度评估、状态预警高级应用软件模块的部署和调试，并根据现场应用情况进行效果检验和迭代完善。

3. 新能源场站 220kV 气体绝缘开关设备绝缘状态高可靠感知与诊断技术研究

（1）220kV 气体绝缘开关设备绝缘状态多维度感知与高可靠超宽带射频检测技术研究

1) 220kV 气体绝缘开关设备绝缘状态超宽带射频感知技术研究：完善 220kV 气体绝缘开关设备绝缘状态试验研究平台，开展 220kV 气体绝缘开关设备不同绝缘缺陷模式下放电试验研究，获得绝缘缺陷的电磁波、脉冲电流、光信号的时频特征，为传感器的检测频带、灵敏度、安装位置的确定提供依据。

2) 220kV 气体绝缘开关设备绝缘状态感知抗干扰技术研究：通过现场实测与实验室模拟构建 220kV 气体绝缘开关设备干扰信号数据库，揭示干扰信号的时频特征及相位特征分布规律，提出面向 220kV 气体绝缘开关设备抗干扰技术，形成面向 220kV 气体绝缘开关设备的干扰辨识及抑制算法。

3) 高可靠超宽带射频传感技术研究：通过试验研究低温、温度急剧变化条件下的 220kV 气体绝缘开关设备局部放电超宽带射频传感器的响应特性，研制相应的 220kV 气体绝缘开关设备超宽带射频高可靠监测装置。

（2）220kV 气体绝缘开关设备绝缘缺陷诊断及严重程度评估技术研究

1) 局部放电信号指纹提取与诊断方法研究：基于 220kV GIS 绝缘缺陷实体模拟装置开展局部放电试验与测量，积累信号谱图，开发深度学习算法，提取

局部放电信号与谱图的特征指纹，开发 220kV GIS 绝缘缺陷模式诊断高级应用模块。

2) 局部放电劣化规律与严重程度评估技术研究：开展 220kV GIS 绝缘缺陷长期试验研究，深度挖掘缺陷劣化过程与放电信号之间的映射关系，获得 220kV 气体绝缘开关设备绝缘故障发展过程的电磁波、脉冲电流、光信号的演化规律与特征判据，提出 220kV 气体绝缘开关设备绝缘缺陷类型诊断及严重程度评估方法，开发 220kV GIS 绝缘缺陷严重程度评估高级应用模块。

(3) 220kV 气体绝缘开关设备差异化评价及健康状态态势预测方法研究

研究基于数据驱动的 220kV 气体绝缘开关设备异常状态快速自适应辨识技术和绝缘状态差异化在线实时评价方法；研究 220kV 气体绝缘开关设备绝缘状态态势特征量的遴选与提取方法以及高维关联态势特征空间的构建方法；研究基于深度学习和生成学习的 220kV 气体绝缘开关设备绝缘状态态势辨识方法；研究基于深度学习、强化学习、对抗学习的 220kV 气体绝缘开关设备绝缘状态态势短期、中期与长期预测技术，并开发 220kV 气体绝缘开关设备绝缘状态差异化评价及绝缘状态预测高级应用模块。

(4) 220kV 气体绝缘开关绝缘状态监测与诊断高级应用模块部署与应用

在综合监控中心一体化监控平台上实现新能源场站 220kV 气体绝缘开关设备绝缘缺陷诊断、严重程度评估、差异化评价和状态预测高级应用软件模块的部署和调试，并根据现场应用情况进行效果检验和迭代完善。

4. 新能源场站 220kV 电力变压器绝缘状态高可靠感知与诊断技术研究

(1) 220kV 电力变压器绝缘状态多维度感知与高可靠超宽带射频检测技术研究

1) 220kV 电力变压器绝缘状态传感技术研究：完善 220kV 电力变压器绝缘状态试验研究平台，开展 220kV 电力变压器不同绝缘缺陷模式下放电试验研究，获得变压器绝缘缺陷的电磁波、脉冲电流、油色谱等信号特征，为传感器的检测频带、灵敏度、安装位置的确定提供依据。

2) 220kV 电力变压器绝缘状态感知抗干扰技术研究：通过现场实测与实验室模拟构建 220kV 电力变压器干扰信号数据库，揭示干扰信号的时频特征及相位特征分布规律，提出面向 220kV 电力变压器抗干扰技术，形成面向 220kV 电力变压器放电监测的干扰辨识和抑制算法。

3) 高可靠超宽带射频传感技术研究: 通过试验研究低温、温度急剧变化条件下的变压器局部放电超宽带射频传感器的响应特性, 研制相应的 220kV 电力变压器超宽带射频高可靠监测装置。

(2) 220kV 电力变压器绝缘缺陷诊断及严重程度评估技术研究

1) 局部放电信号指纹提取与诊断方法研究: 基于 220kV 电力变压器绝缘缺陷实体模拟装置开展局部放电试验与测量, 积累信号与谱图, 开发深度学习算法, 提取局部放电信号与谱图的特征指纹, 开发 220kV 电力变压器绝缘缺陷模式诊断高级应用模块。

2) 局部放电劣化规律与严重程度评估技术: 开展 220kV 电力变压器绝缘缺陷长期试验研究, 深度挖掘缺陷劣化过程与放电信号之间的映射关系, 获得 220kV 电力变压器绝缘故障发展过程的电磁波、脉冲电流、油色谱特性的演化规律与特征判据, 提出 220kV 电力变压器绝缘缺陷类型诊断及严重程度评估方法; 开发 220kV 电力变压器绝缘状态诊断高级应用模块。

(3) 220kV 电力变压器差异化评价及健康状态态势预测方法研究

研究基于数据驱动的 220kV 电力变压器异常状态快速自适应辨识技术和绝缘状态差异化在线实时评价方法; 研究 220kV 电力变压器绝缘状态态势特征量的遴选与提取方法以及高维关联态势特征空间的构建方法; 研究基于深度学习和生成学习的 220kV 电力变压器绝缘状态态势辨识方法; 研究基于深度学习、强化学习、对抗学习的 220kV 电力变压器绝缘状态态势短期、中期与长期预测技术, 并开发 220kV 电力变压器绝缘状态差异化评价及绝缘状态预测高级应用模块。

(4) 220kV 电力变压器绝缘状态监测诊断高级应用模块部署与应用

在综合监控中心一体化监控平台上实现新能源场站 220kV 气体绝缘开关设备绝缘缺陷诊断、严重程度评估、差异化评价和状态预测高级应用软件模块的部署和调试, 并根据现场应用情况进行效果检验和迭代完善。

二、进度安排

1. 合同生效后根据工程进度, 完成电缆、开关柜、GIS、变压器四类设备绝缘缺陷信号的时空分布特征、频谱特征攻关, 给出传感器优化设计、安装布局依据, 研制完成电缆、开关柜、GIS、变压器四类设备绝缘状态高可靠感知装置, 并完成现场安装调试。

2. 根据工程进度，完成四类设备绝缘状态诊断高级应用模块设计方案，完成四类设备绝缘故障发展过程中的信号演化规律试验，完成四类设备绝缘故障发展过程中的信号特征提取，开发四类设备绝缘状态诊断高级应用模块，在乌兰察布智慧联合集控中心一体化平台安装应用绝缘状态诊断高级应用模块并完成现场调试。受理发明专利申请 4 项。

3. 根据工程进度，完成四类设备绝缘状态感知装置与诊断模块的数据分析，完成抗干扰、诊断技术优化研究，优化升级抗干扰、诊断模块，完成安装绝缘状态诊断高级应用模块的升级版本，完成数据分析开展四类设备绝缘状态感知装置与诊断模块的数据分析并现场测试，撰写完成验收报告 1 份。提交发明专利申请 8 项，发表或录用核心期刊或三大检索）论文 4 篇，完成四类设备《高温差恶劣环境新能源场站输变电设备绝缘状态高可靠感知与故障诊断预测关键技术研究》技术报告 1 套，提交《新能源场站 35kV 开关柜内置式高频局放检测导则》企业标准送审稿 1 篇，完成样本数据库 4 个，完成专家组验收。（合同完成后，乙方需确保发明专利授权不少于 12 项，其中三峡集团内部人员作为第一发明人的数量不少于 10 项）。

三、考核指标

课题七：高温差恶劣环境新能源场站输变电设备绝缘状态高可靠感知与故障诊断预测关键技术研究		
成果类型	成果物	考核指标
标准规范	送审稿 1 篇	提交《新能源场站 35kV 开关柜内置式高频局放检测导则》企业标准送审稿 1 篇
发明专利	申请发明专利：12 项	受理：12 项
学术论文	发表（或录用）核心期刊或三大检索论文：4 篇	发表（或录用）核心期刊或三大检索论文：4 篇
技术报告	1 套	《高温差恶劣环境新能源场站输变电设备绝缘状态高可靠感知与故障诊断预测关键技术研究》技术报告 1 套
硬件设备	35kV 集电电缆局部放电感知传感器与采集器	1) 传感器：50 只，检测频带 100kHz-100MHz，传输阻抗不小于 15mV/mA，最小可测灵敏度：小于 10pC； 2) 采集器：32 件，全实时采集和信号处理，具有任意偶发信号不丢失捕获能力，满足长间歇放电的检测和准确识别要求；具有差分噪声抑制、同步脉冲幅比聚类多源分离功能；满足复杂干扰环境下的

		<p>检测能力。信号采样率不小于 100MS/s，脉冲分辨率：2us，采样精度 12bit；</p> <p>3) 信号处理方式：高性能双处理器协同，全实时采集和脉冲处理；</p> <p>4) 同步方式：广域 GPS；</p> <p>5) 通信方式：光纤；</p> <p>6) 汇集节点与统一平台的数据交互：监测终端供货商提供数据上传功能，并完成数据传输调试；</p> <p>7) 正常工作环境温度范围：不小于-25~55℃</p>
	35kV 集电电缆接地故障感知传感器与采集器	<p>1) 传感器：50 只，检测频带 40Hz-1kHz，传输阻抗 0.1V/A，测量范围 0-10A，最小可测灵敏度 10mA；</p> <p>2) 采集器：32 件（与局放采集器集成），全实时采集和信号处理，具有任意偶发信号不丢失捕获能力；信号采样率不小于 10kS/s，采样精度 12bit；</p> <p>3) 信号处理方式：高性能双处理器协同，全实时采集和数据处理；</p> <p>4) 同步方式：广域 GPS；</p> <p>5) 通信方式：光纤；</p> <p>6) 汇集节点与统一平台的数据交互：监测终端供货商提供数据上传功能，并完成数据传输调试；</p> <p>7) 正常工作环境温度范围：不小于-25~55℃</p>
	35kV 开关柜绝缘状态感知传感器与采集器	<p>1) 传感器：25 只，检测频带 1MHz-30MHz；最小可测灵敏度小于 10pC；</p> <p>2) 采集器：13 件，全实时采集和信号处理，具有任意偶发信号不丢失捕获能力，满足长间歇放电的检测和准确识别要求；具有差分噪声抑制、同步脉冲幅比聚类多源分离功能；满足复杂干扰环境下的检测能力。信号采样率不小于 100MS/s，脉冲分辨率：2us，采样精度 12bit；</p> <p>3) 信号处理方式：高性能双处理器协同，全实时采集和脉冲处理；</p> <p>4) 同步方式：广域 GPS；</p> <p>5) 通信方式：光纤；</p> <p>6) 汇集节点与统一平台的数据交互：监测终端供货商提供数据上传功能，并完成数据传输调试；</p> <p>7) 正常工作环境温度范围：不小于-25~55℃</p>
高级应用软件模块	35kV 集电电缆局部放电监测与定位高级应用模块	<p>1) 35kV 集电电缆局部放电信号甄别正确率高于 85%；</p> <p>2) 35kV 集电电缆局部放电信号定位精度小于 20 米</p>
	35kV 集电电缆接地故障监测与定位高级应用模块	35kV 集电电缆接地故障定位精度小于 20 米
	35kV 开关柜绝缘状态监测高级应用模块	35kV 开关柜局部放电信号甄别正确率高于 85%
	35kV 集电电缆绝缘状态诊断预测高级	1) 35kV 集电电缆绝缘缺陷模式诊断正确率不小于 90%；

	应用模块	2) 35kV 集电电缆绝缘缺陷严重程度正确率不小于 85%
	35kV 开关柜绝缘状态诊断预测高级应用模块	1) 35kV 开关柜绝缘缺陷模式诊断正确率不小于 90%; 2) 35kV 开关柜绝缘缺陷严重程度正确率不小于 85%
	220kV 气体绝缘开关绝缘状态诊断预测高级应用模块	1) 220kV 气体绝缘开关设备绝缘状态差异化评价正确率不小于 90%; 2) 220kV 气体绝缘开关设备绝缘状态预测正确率不小于 85%
	220kV 电力变压器绝缘状态诊断预测高级应用模块	1) 220kV 电力变压器绝缘状态差异化评价正确率不小于 85%; 2) 220kV 电力变压器绝缘状态预测正确率不小于 85%
样本数据库	样本数据库 4 个	形成 35kV 集电电缆、35kV 开关柜、220kV 气体绝缘开关设备、220kV 电力变压器四类输变电设备局部放电信号样本数据库各 1 个