

西安理工大学重大设备更新项目 设备采购合同

合同名称：水力风力发电场站及系统电磁暂态实时仿真器
与光伏电站及接入系统电磁暂态实时仿真器

合同编号：陕融招字-2026-0402号 (2026/03/09/HW0381)

西安理工大学项目采购合同

根据《中华人民共和国民法典》、《中华人民共和国政府采购法》等相关法规，**西安理工大学**（甲方）许昌华邦电气有限公司（乙方）就甲方购置 水力风力发电场站及系统电磁暂态实时仿真器与光伏电站及接入系统电磁暂态实时仿真器/水力风力发电场站及系统电磁暂态实时仿真器 的采购项目，经双方协商达成如下合同条款：

一、标的物及技术要求

1. 设备购置清单（投标文件分项报价表）：

序号	设备名称	品牌/规格/型号	生产厂家	数量 (台、套)	单价 (元)	小计 (元)
1	光伏电站及接入系统电磁暂态实时仿真器	UREP-300C	许昌华邦电气有限公司	1	928,000	928000
合计总价（人民币大写）： 玖拾贰万捌仟元整 （小写）： 928,000元						
注：以上价款均包含货物费(含备品备件费)、包装费、运杂费(含搬运、装卸、保险费等)、工程费、材料费、全部税费、安装调试费等相关费用。						

2. 其他内容：

3. 技术要求、商务要求：详见附件。

二、交付与运输

1. 交付时间：乙方应于 2026 年 05 月 30 日前将本合同项下全部设备交付给甲方。允许的合理宽限期为 3 日，超过此期限仍未交付的，构成延迟交货违约。

2. 交付地点：西安理工大学指定位置

3. 运输与保险责任：乙方通过 公路运输 方式交付设备，并负责本合同项下设备的全程运输、装卸及保险事宜，并承担相应费用。定制产品设备毁损、灭失的风险，自设备在交付地点完成安装调试并经甲方最终验收合格后转移至甲方；非定制产品设备毁损、灭失的风险，自设备在交付地点经甲方授权代表签收后转移至甲方。

4. 乙方交付设备时需同时移交技术文件及商业单证，包括但不限于保险单、装箱单、产品合格证、质量保证书、使用说明书、保修卡、原产地证明书（进口设备）、报关单（进口设备）、电路图、维护手册、安装图纸等，否则甲方有权拒收且不视为乙方完成交付。

三、支付方式：按以下第 1 种方式进行支付。

(1) 乙方按照合同规定期限内供货、调试完成，经甲方最终验收合格并签署《验

收合格报告》后7个工作日内，向乙方支付全部合同款项。乙方应在甲方付款前，向甲方开具全额合法有效的增值税专用发票。（适用于供货期30天内的采购合同）

(2) 合同签订后5个工作日内，甲方向乙方预付合同总价的40%；设备运抵甲方指定地点并经甲方初步查验无误后7个工作日内，甲方向乙方支付合同总价的30%；设备安装调试完成，经甲方验收合格并签署《验收合格报告》后，乙方开具全额合法有效的增值税专用发票，甲方7个工作日内向乙方支付合同总价的30%。（适用于供货期30天-90天的采购合同）

(3) 合同签订后5个工作日内，甲方向乙方支付合同总价的40%；设备运抵甲方指定地点并经甲方初步查验无误后，乙方按照剩余合同额向甲方开具不可撤销、见索即付的银行保函，甲方收到银行保函正本后5个工作日内向乙方支付等额款项；设备安装调试完成，经甲方验收合格并签署《验收合格报告》后，乙方开具增值税专用发票，甲方5个工作日内向乙方退还不可撤销、见索即付的银行保函正本。（适用于90天以上的采购合同）

(4) 其他付款方式：_____。

四、履约保证金：合同签订后5个工作日内，乙方向甲方支付46400元（大写：肆万陆仟肆佰元整）作为履约保证金（不超过合同金额10%）。合同标的物经甲方验收合格后5个工作日内，甲方将上述保证金无息全额退还乙方。若乙方存在违约、给甲方造成损失或应承担违约金/赔偿金，甲方有权直接从履约保证金中抵扣对应金额，且乙方应在甲方通知后1个工作日内补足履约保证金；履约保证金不足以覆盖的部分，乙方仍应在甲方通知后1个工作日内补足差额。

五、安装与调试

1. 安装调试服务：如设备需要安装调试，乙方应在设备交付至甲方指定地点后5日内，派遣合格技术人员免费完成安装、调试及基础校准工作，确保设备达到合同约定的技术状态。若设备无需安装调试，乙方应在本合同签订后3日内向甲方出具书面说明。

2. 安装环境配合：甲方负责提供设备安装所需的电力、场地等基础条件。乙方应提前7日书面告知甲方具体的安装环境要求（如承重、温湿度、洁净度、电源规格等），因乙方未及时、准确告知而导致安装延误或产生额外费用、给甲方造成损失的，由乙方承担责任。

六、验收标准

1. 乙方按合同约定完成全部设备交付、安装调试并自检合格后，应向甲方提交书面验收申请及完整验收资料。甲方收到合格验收资料后，组织验收，验收质量按招标文件的采购参数内容、本合同及附件约定的采购参数、技术要求验收。

2. 若设备验收不合格，乙方应在收到甲方书面通知后 5 日内免费进行整改，并申请甲方复验。若乙方未在规定期限内完成整改或拒绝整改，视为乙方根本违约，甲方有权直接解除合同、要求退货并追究乙方违约责任；若复验仍不合格，甲方有权选择单方解除合同、要求退货，并要求乙方赔偿因此给甲方造成的全部损失。甲方也有权选择要求乙方更换合格设备，由此产生的所有费用由乙方承担，且更换后的设备质保期自新设备验收合格之日起重新计算。

七、质量及质保期

1. 合同标的物必须为全新未使用过的、来源合法，符合国家或有关行业质量标准，且完全符合本合同及附件约定的技术参数、规格型号要求。

2. 合同标的物自验收合格之日起质保期 7 年。在质保期内出现的质量问题，乙方负责免费维修、维护或更换，确保设备恢复正常运行；若乙方未按时响应或维修后仍无法正常使用，甲方有权委托第三方维修，产生的费用从履约保证金或相关应付款项中抵扣，不足部分由乙方承担。在本合同约定的设备使用年限或双方另行商定的期限内，乙方应持续提供软件升级、技术咨询等支持服务。

八、产权与保密

1. 设备知识产权声明：乙方保证，设备（包括硬件及随附软件）所含的全部知识产权归乙方或其合法许可方所有，所供设备为其合法所有或有权处分，不存在任何权利瑕疵。甲方在设备交付并经甲方验收合格后，取得该硬件设备的完整所有权；甲方在支付全部合同价款后，获得该设备及所附软件的非独占、可在甲方及其内部关联主体间转让或共享的使用权。

2. 保密义务：双方应对因履行本合同而知知的对方的技术资料、技术参数、采购价格、商业计划、内部流程等未公开信息承担保密义务。

九、争议解决：合同履行过程中出现争议时，由双方友好协商解决。协商不成，向甲方所在地有管辖权的人民法院提起诉讼。

十、违约责任:

1. 合同违约情况按《中华人民共和国民法典》中的相关条款执行;
2. 甲乙双方必须遵守本合同并执行合同中的各项规定, 保证本合同的正常履行;
3. 乙方应对其工作人员人身安全负责, 如因乙方工作人员在履行职务过程中的疏忽、失职、过错等故意或者过失原因给甲方造成损失或侵害, 包括但不限于甲方本身的财产损失(直接损失、间接损失、甲方为避免损失扩大或维权而支出的律师费、诉讼费、保全费、鉴定费、差旅费等所有合理费用等)、由此而导致的甲方对任何第三方的法律责任等, 乙方对此均应承担全部的赔偿责任;
4. 未按合同要求提供设备或提供的设备质量或规格不能满足技术要求, 甲方有权终止合同并对乙方违约行为进行追究, 同时按政府采购法的有关规定进行相应的处罚;
5. 若乙方发生延迟交货, 每延迟 1 日, 应向甲方支付合同总金额 1% 的违约金; 延迟超过 15 日的, 甲方有权单方解除合同, 并要求乙方支付合同总金额 20% 的违约金, 如该违约金不足以弥补甲方损失的, 乙方还应予以赔偿。
6. 招标文件、投标文件规定的其他违约情形;
7. 其他: _____

十一、违约解除合同: 出现下列情形之一的, 视为乙方违约。甲方可向乙方发出书面通知, 部分或全部终止合同, 同时保留向乙方索赔的权利。

1. 乙方根本违约, 包括但不限于无法交付设备、设备存在严重质量问题无法修复(具体指经甲方书面通知后, 乙方在合同约定的期限内或甲方另行给予的合理期限内进行两次整改或更换后, 设备仍无法通过甲方验收的)、提供的资质文件造假等;
2. 乙方未能履行合同规定的其它主要义务, 经甲方书面催告后在合理期限内仍未履行, 或该等违约行为导致甲方合同目的无法实现的;
3. 乙方在本合同履行过程中有欺诈行为的;
4. 其他: _____

本合同项下约定的所有甲方应付款项, 若因乙方违约(包括但不限于质量、交付、安装调试等问题)导致甲方付款条件未成就或付款时间延后的, 不视为甲方违约, 乙方仍应承担相应的违约责任。

十二、其他约定事项:

1. 合同经双方签字盖章后生效。合同一式四份, 甲方执三份, 乙方执一份;

2. 招标文件为本合同的附件，与本合同具有同等法律效力（本条款适用于招投标项目）。

甲方（盖章）：西安理工大学	乙方（盖章）：许昌华邦电气有限公司
信用代码：1261000043523042XN	信用代码：91411000668896847X
地址：西安市金花南路5号	地址：许昌市七一路1058号新华书店三楼
开户银行：中国银行西安金花南路支行 银行账号：102891574567	开户银行：中国建设银行许昌七一路支行 银行账号：41001551812050209385
法人/委托代理人签字：[Handwritten Signature]	法人/委托代理人签字：[Handwritten Signature]
电话：13572889153	电话：13273868776
签订日期：2026年5月14日	签订日期：2026年5月14日

合同模板附件：

技术要求

供货产品技术参数

序号	品目	投标规格	备注
1	光伏电站及接入系统电磁暂态实时仿真器	<p>光伏电站及接入系统电磁暂态实时仿真器 1套</p> <p>1、仿真能力</p> <p>▲ (1) 仿真平台CPU基于裸核机制，具有超高定时精度，CPU内核定时分辨率≤ 1纳秒；单核实时仿真性能参数如下：</p> <p>①多分支配电网测试模型：在$50\mu s$仿真步长下，单核实时仿真规模≥ 234个电气节点；</p> <p>②每个CPU内核的仿真能力以并网同步发电机测试模型：在$50\mu s$仿真步长下，每个内核实时仿真规模不小于18台；</p> <p>③每个CPU内核的仿真能力以双馈/直驱风机详细电磁暂态模型测算规模，在$50\mu s$仿真步长下，每个内核实时仿真规模不小于8台；</p> <p>④双端直流输电测试模型：在$50\mu s$仿真步长下，单核具备双端单极系统（不含控制保护模型）的实时仿真运行能力。</p> <p>▲ (2) CPU实时最小仿真步长$\leq 5\mu s$；</p> <p>(3) 上位机配套仿真管理软件与系统监控软件，仿真管理软件可直接编写、编译、调试用户自定义程序C代码，可设置Labview软件的协同运行，不同速率任务独立配置仿真步长、数据采样率与输出频率。</p> <p>▲ (4) 仿真精度：仿真计算相对误差$\leq 10^{-5}$（十万分之一）。</p> <p>▲ (5) 风机模型仿真能力：基于双馈风机与直驱风机电磁暂态模型，$50\mu s$仿真步长下，单个CPU内核实时运行≥ 18台风机模型。</p> <p>(6) 平台架构：CPU实时仿真主机+FPGA扩展机箱硬件架构，FPGA与CPU内核协同运行并行计算。</p> <p>(7) 仿真平台支持以下通信协议：IEC-61850、IEC-60870-101、IEC-60870-102、IEC-60870-103、</p>	

	<p>IEC-60870-104、ABDF1 串口协议、ABETHERNET/IP CIP 协议(SLC500 系列)、德国倍福(动态库)、GE-ETHERNET(GE 以太网)、MYSQL 客户端、ORACLE 客户端、南瑞网络103、南自网络103、磐能网络103、DNP3.0 协议、MODBUS ASCII、MODBUS RTU、MODBUS TCP;</p> <p>(8) 跨平台支撑能力: 支持多工具模型融合, 可将电磁暂态、控制算法、保护策略等不同工具模型封装为 ZIP 格式标准封装包, 在实时平台中统一调度, 支撑柔性直流、电力电子装置、继电保护、新能源发电等复杂系统的联合跨平台仿真。</p> <p>2. 授权核心数: 平台授权可用并行计算 CPU 核心数≥ 24 核;</p> <p>▲3. 编译时间:</p> <p>(1) 普通台式机编译硬件环境下, 234 节点的多分支配电网模型编译时间 $< 50s$;</p> <p>(2) 多支路并网 13 台同步发电机测试模型的编译时间 $< 80s$;</p> <p>(3) 多支路并网 6 台 DFIG 风机模型的编译时间 $< 150s$;</p> <p>(4) 双端直流输电测试模型的编译时间 $< 75s$;</p> <p>(5) 对 5000 节点级大规模仿真对象快速编译, 任何仿真规模及 12 核全部启用建模条件下, 一次模型修改后重新编译时间 $< 180s$。</p> <p>▲4. 数值稳定性: 输入输出交互的持续时间 $> 7 \times 24$ 小时。</p> <p>5. 模拟量输入: 模拟量输入通道 ≥ 18 路, 含扩展接口, 支持扩展至 36 路, 分辨率 ≥ 16 位, 输入电压变化范围 $\pm 10V$;</p> <p>6. 模拟量输出: 模拟量输出通道 ≥ 18 路, 含扩展接口, 支持扩展至 90 路, 分辨率 ≥ 16 位, 输出电压变化范围 $\pm 10V$;</p> <p>7. 数字量输入: 数字量输入通道 ≥ 64 路, 含扩展接口, 支持扩展至 128 路, 电平标准兼容 TTL 逻辑电平 (高电平 $\geq 2.4V$, 低电平 $\leq 0.4V$);</p> <p>8. 数字量输出: 数字量输出通道 ≥ 64 路, 留扩展接口, 可扩展至 320 路, 电平标准兼容 TTL 逻辑电平 (高电平 $\geq 2.4V$, 低电平 $\leq 0.4V$);</p> <p>9. 以太网口 ≥ 4 个; CPU ≥ 24 核;</p>	
--	---	--

		<p>10.AI 融合：支持AI工具代码载入仿真器；支持光伏发电场站人机界面为图形化多页面格式，可实现“四遥”和录波。（含光伏发电场站建模参考模型软件库）</p> <p>11.PWM 输出通道数：PWM 输出≥88路，载波频率≥16kHz，支持多相异步调制；</p> <p>12.PWM 采集输入通道数：PWM 输入≥88路，载波频率≥16kHz。</p> <p>▲13. 模型案例：提供典型光伏电站仿真模型案例（开源），包含光伏电站仿真模型案例：</p> <p>(1)PWM 变流器硬件在环试验案例：涵盖风机变流器、光伏变器、储能变流器，接口板卡可接受PWM脉冲，仿真机模型库支持 PWM 脉冲与变流器主电路的对接。</p> <p>(2)通信硬件在环仿真案例：仿真机支持含通信硬件的环仿真试验，具有 1000 遥测点、250 控点、250 信点、250 遥调点的通信网关和监控后台。</p> <p>（有模型案例以.slx 格式模型导出的截图为佐证）</p> <p>▲14. 教学案例：具备丰富的光伏发电、电力电子领域的教学案例。</p> <p>（有教学案例以教材封面、目录等内容截图为佐证）</p>	
2	柜体	<p>柜体1套（含安装附件）：</p> <p>1.柜体尺寸： 800mm*800mm*2200mm（长*宽*高）；</p> <p>2.标准屏柜：采用九折型材整体框架结构； 板材材质：SPCC 冷轧钢板（框架板材厚度约 1.5mm /门板板材厚度约2.0mm），安装板厚度约2.5mm； 表面喷塑：颜色电脑灰； 柜体整体防护等级≥IP54。</p>	
3	电力系统通用控制装置	<p>电力系统通用控制装置1套</p> <p>通用控制与保护装置的硬件及平台配置如下：</p> <p>1. 处理器频率≥2.0GHz，支持图形化控制与保护逻辑建模，支持精简型 Linux 操作系统；</p> <p>2.C 代码无缝嵌入；</p> <p>3. 多线程管理与应用，与新型电力系统电磁暂态实时仿真器数据交互。</p>	

4	后台监控操作系统	配套后台监控操作系统 1 套 1.主机硬件配置： 处理器：配置Intel Core i7 处理器； 内存：容量：32GB； 存储：固态硬盘，容量：1T； 2.无线显示终端：1 套，尺寸：100 英寸，分辨率 $\geq 3840 \times 2160$ ，响应延迟 $\leq 50\text{ms}$ ，抗电磁干扰； 3.配套水力、风力发电场站系统操作演示软件，现场可演示。 4. 提供含模型应用案例及教学案例的
---	----------	---

商务要求

供货设备方案说明书

目 录

前言

一、产品技术参数响应与设备选型说明

第一章 项目实施方案

一、项目总体实施思路

二、风电场仿真实施方案

三、水力发电仿真实施方案

四、实验效果展示实施方案

五、实施进度计划

六、质量保证与服务承诺

第二章 质量保证方案

一、质量保证总体承诺

二、质量保证体系与管理措施

三、质量保证具体措施

四、项目人员配备方案

五、质量追溯与责任承诺

六、质保期与长效服务承诺

第三章 技术培训方案

一、培训总体目标

二、培训对象

三、培训内容

四、培训方式

五、培训计划与安排

六、培训效果保证措施

第四章 售后服务方案

一、售后服务总体承诺

二、售后服务内容

三、响应时间与服务方式

四、定期维护服务

六、服务质量保障

第五章 质保期承诺书

第六章 系统演示说明

一、演示内容

二、操作路径

前 言

一、产品技术参数响应与设备选型说明

我方针对本项目水力风力发电场站及系统电磁暂态实时仿真器所有技术参数均完全响应、全部满足招标文件要求，无偏离。本次投标产品为UREP300C 型电磁暂态实时仿真器，并可提供UREP300C 升级款设备供采购人选择。

UREP300C 为 UREP300A 的全新升级型号，在核心性能指标上全面优于 UREP300A，主要提升如下：

- ◆ 仿真内核采用裸核机制，定时精度更高，CPU 内核定时分辨率 ≤ 1 纳秒；
 - ◆ 同步发电机仿真能力更强，单核可支持 ≥ 18 台，优于招标文件要求的 13 台；
- ◆ 双馈 / 直驱风机仿真能力提升，单核可支持 ≥ 8 台，优于招标文件要求的 6 台；
- ◆ 系统稳定性、编译效率、模型运行速度进一步优化，整体性能更适合大规模教学与科研使用。

我方承诺：无论采用 UREP300A 或升级款 UREP300C，全部▲参数、性能指标、接口功能、模型案例、教学案例均 100% 满足并优于招标文件要求，并提供权威检测报告佐证。

关键技术参数响应摘要：

▲单核实时仿真性能：满足 234 节点、13 台同步机、6 台风机、双端直流仿真要求。

▲最小仿真步长： $\leq 5\mu\text{s}$ ，满足高精度实时仿真。

▲仿真精度：相对误差 $\leq 10^{-5}$ ，满足高标准科研需求。

▲风机仿真能力：单核 ≥ 13 台风机模型，升级款可达 ≥ 18 台。

▲编译时间：全部满足 $< 50\text{s} / < 80\text{s} / < 150\text{s} / < 75\text{s} / < 180\text{s}$ 要求。

▲数值稳定性：连续稳定运行 $> 7 \times 24$ 小时。

▲模型案例：提供 6 类标准 .slx 模型，满足教学与科研。

▲教学案例：提供风电场、发电厂建模完整教学案例。

所有指标均依据《新型电力系统电磁暂态实时仿真器 UREP300A 检测报告》第 15 页、第 16 页、第 17 页对应条款验证通过。

第一章 项目实施方案

一、项目总体实施思路

本项目围绕水力风力发电场站及系统电磁暂态实时仿真器的建设目标，严格遵循招标文件技术要求与西安理工大学教学、科研、试验需求，构建一套集高精度建模、实时仿真计算、硬件在环测试、人机交互监控、试验结果分析于一体的完整实施体系。项目实施以科学性、安全性、稳定性、实用性为核心原则，严格按照仿真系统建设规范执行，确保仿真精度、运行效率、功能覆盖、扩展能力全面满足要求，最终实现水、风新能源场站并网分析、控制策略验证、保护逻辑测试、教学实验演示、科研课题研究等全场景应用。实施全过程遵循标准化流程管理，从前期准备、模型搭建、系统集成、调试优化、测试验证到验收交付，每一步均设置质量控制点，确保项目高质量、高效率、零风险落地。

二、风电场仿真实施方案

（一）仿真目标与适用场景

本方案针对大型风电场并网电磁暂态特性开展全要素实时仿真，覆盖双馈异步风力发电机、直驱永磁风力发电机、箱式变压器、集电线路、升压变电站、并网点、电网等值系统完整对象。主要适用于：风电场并网稳定性分析、低 / 高电压穿越能力验证、变流器控制策略调试、继电保护动作特性测试、AGC/AVC 调节响应试验、教学实训与科研案例复现等场景，全面支撑学校教学与科研工作开展。

（二）仿真模型构建方案

1. 风机主体模型

采用详细电磁暂态模型，完整搭建双馈风机与直驱风机本体模型、机侧变流器模型、网侧变流器模型、直流母线电容模型、锁相环模型、阻尼控制模型，真实复现风机在稳态、暂态、故障状态下的电磁与机电暂态特性。

2. 控制策略模型

内置最大功率点跟踪（MPPT）控制、无功 / 电压闭环控制、有功功率调节、故障穿越控制、阻尼抑制控制等工程化策略，与实际风电场控制逻辑保持一致。

3. 场网耦合模型

按照实际工程拓扑搭建 35kV 集电系统、110kV/220kV 升压站、主变压器、线路、开关、刀闸、接地装置等一次设备模型，实现“源-网-荷-储”协同仿真。

4. 仿真参数配置

严格按照设备铭牌参数、工程设计参数、实测运行数据进行配置，确保仿真模型与物理系统高度等效，仿真计算相对误差 $\leq 10\%$ 。

(三) 典型仿真工况设计

1. 稳态运行工况：不同风速下风机出力、电压 / 电流 / 功率稳态输出特性；
2. 调压调节工况：AVC 无功调节、并网点电压控制、功率因数调节；
3. 故障暂态工况：三相短路、两相短路、单相接地、断线故障、电压骤升 / 骤降；
4. 穿越能力工况：低电压穿越 (LVRT)、高电压穿越 (HVRT) 动态响应；
5. 振荡抑制工况：次同步振荡、高频振荡、功率振荡抑制效果验证；
6. 保护动作工况：线路保护、变流器保护、变压器保护、母线保护动作逻辑测试。

(四) 实施流程与步骤

1. 前期准备：收集工程参数、确定仿真拓扑、明确仿真目标；
2. 模型搭建：在仿真平台中完成一次 / 二次设备建模与参数录入；
3. 策略导入：加载风机控制、并网控制、保护控制策略；
4. 开环调试：核对模型参数、校验信号流向、验证模型有效性；
5. 闭环仿真：开展各类工况仿真，实时采集数据、观察动态响应；
6. 结果分析：对波形、数据、动作时序进行对比分析；
7. 优化完善：针对偏差进行参数修正与策略优化；
8. 归档固化：形成标准案例库、实验指导书、仿真报告。

(五) 质量与精度保障

1. 仿真步长最小支持 $5\mu\text{s}$ ，满足高精度电磁暂态仿真需求；
2. 单核可实时仿真 ≥ 13 台风机模型，满足大规模风场仿真；
3. 支持连续 7×24 小时稳定运行，无中断、无漂移、无异常；
4. 仿真结果可导出波形、数据、报表，支持对比分析与论文研究。

三、水力发电仿真实施方案

(一) 仿真目标与适用场景

本方案面向水力发电场站机-电-水-控一体化实时仿真，覆盖水轮发电机组、引水系统、调速系统、励磁系统、升压系统、并网系统全对象。主要适用于：水电机组并网特性试

验、调速器静 / 动态特性测试、励磁系统阶跃响应、甩负荷仿真、PSS 参数整定、继电保护测试、本科 / 研究生教学实验、科研项目仿真验证等。

(二) 仿真模型构建方案

1. 水力系统模型

搭建水轮机、引水管道、压力钢管、尾水系统、调速器伺服系统模型，真实反映水锤效应、流量调节、转速调节等水力动态特性。

2. 发电机与电气模型

采用高精度同步发电机电磁暂态模型，包含定子、转子、阻尼绕组、主电抗、漏抗等完整参数；配置主变、厂用变、断路器、隔离开关、电压 / 电流互感器模型。

3. 控制系统模型

包含水轮机调速系统模型、励磁调节系统模型、自动发电控制（AGC）模型、自动电压控制（AVC）模型，支持与实物控制器进行硬件在环闭环试验。

4. 保护系统模型

内置发电机差动保护、复压过流保护、失磁保护、失步保护、过励磁保护、转子接地保护、变压器保护、线路保护等完整策略。

(三) 典型仿真工况设计

1. 空载启动与并网工况：零起升压、同期并网、空载稳定运行；
2. 带负荷调节工况：有功 / 无功调节、频率 / 电压响应；
3. 大扰动工况：机组甩负荷、三相短路故障、系统失步再同步；
4. 控制试验工况：励磁电压阶跃、电流阶跃、PSS 投退试验；
5. 故障保护工况：发电机内部故障、外部短路、保护动作与复归；
6. 教学演示工况：典型参数调节、波形观察、原理验证。

(四) 实施流程与步骤

1. 模型导入与参数配置：按照水电厂实际参数完成模型建立；
2. 控制系统对接：完成调速器、励磁器与仿真机闭环联调；
3. 稳态校验：核对空载、负载特性，确保与理论一致；
4. 动态测试：开展阶跃响应、故障扰动、甩负荷试验；
5. 硬件在环验证：接入实物控制器，完成闭环测试；
6. 数据录波与分析：保存关键电气量与机械量波形；

7. 案例固化：形成标准化水电仿真案例库与教学实验包。

(五) 实施保障措施

1. 支持实时仿真与硬件在环（HIL）双重模式；
2. 仿真精度高、响应速度快、长期运行稳定；
3. 界面友好，便于教学操作、实验演示与科研分析；
4. 提供完整模型说明、实验步骤、使用手册。

四、实验效果展示实施方案

(一) 展示总体目标

通过系统化、可视化、交互式方式，全面展示仿真系统功能、性能、精度与实用性，满足教学演示、实验教学、科研展示、项目验收、对外交流多重需求，实现“看得懂、能操作、可复现、效果直观”。

(二) 展示内容设计

1. 系统整体功能展示

展示仿真平台架构、CPU+FPGA 协同计算、实时仿真监控、后台操作系统、四遥功能（遥测、遥信、遥控、遥调）。

2. 稳态运行效果展示

展示水 / 风电场正常并网运行时，电压、电流、频率、有功、无功等电气量平稳输出，界面清晰、数据准确、状态稳定。

3. 暂态故障过程展示

手动注入故障，直观展示短路、断线、电压跌落等暂态过程，波形突变清晰、保护动作准确、故障录波完整。

4. 硬件在环效果展示

展示实物控制器与仿真机闭环运行，实现信号交互、指令下发、状态反馈、动态调节全过程。

5. 教学实验效果展示

演示标准实验流程，学生可操作、可观测、可记录、可分析，满足课程实验、课程设计、毕业设计需求。

6. 科研扩展能力展示

展示自定义模型编程、C 代码嵌入、LabVIEW 协同仿真、AI 算法接入、跨平台联合仿真能力。

(三) 展示形式与设备支撑

1. 采用 100 英寸 4K 无线显示终端，实现多画面分屏显示；
2. 同步展示：仿真主界面、实时波形、监控后台、录波分析窗口；
3. 支持波形缩放、数据导出、报表生成；
4. 操作流程简洁易懂，适合课堂教学、公开课、专家评审展示。

(四) 展示流程安排

1. 开机初始化：系统上电、自检、通信校验、模型加载；
2. 稳态演示：风电场/水电厂并网运行状态展示；
3. 调节演示：AVC/AGC 远程控制、功率/电压调节效果；
4. 故障演示：注入故障→观察暂态→保护动作→故障清除→恢复运行；
5. 硬件在环演示：实物控制器闭环联动效果；
6. 实验回放：录波回放、数据对比、结论总结；
7. 互动操作：支持现场人员简单操作与功能体验。

(五) 展示效果保障

1. 系统运行稳定，无卡顿、无死机、无数据异常；
2. 画面清晰、延迟 $\leq 50\text{ms}$ ，抗电磁干扰能力强；
3. 演示脚本标准化，流程顺畅、重点突出、说服力强；
4. 配备专业技术人员现场讲解与操作。

五、实施进度计划

1. 合同签订与设备备货：5 个工作日；
2. 设备出厂检验与运输：3 个工作日；
3. 现场安装、接线、组网：3 个工作日；
4. 系统调试、模型加载、功能验证：5 个工作日；
5. 典型案例固化、教学实验包制作：4 个工作日；
6. 联合测试、用户培训、验收准备：3 个工作日；
7. 最终验收、资料移交、正式交付：2 个工作日。

六、质量保证与服务承诺

1. 严格按照招标文件与国家标准实施，确保全部指标满足要求；
2. 提供 7 年免费质保，7×24 小时技术响应；
3. 提供完整培训、操作手册、模型案例、教学资料；
4. 提供终身技术支持与软件版本升级服务。

第二章 质量保证方案

一、质量保证总体承诺

我方郑重承诺：本项目所提供的水力风力发电场站及系统电磁暂态实时仿真器全套设备（含仿真主机、FPGA 扩展机箱、柜体、通用控制装置、后台监控操作系统、软件模型库、显示终端等）均为全新原装正品、来源合法、技术成熟、性能可靠，完全满足招标文件中所有技术指标、功能性能、接口协议、安全规范及教学科研使用要求。我方将建立覆盖设计选型、生产制造、出厂检测、运输交付、安装调试、验收交付、质保服务、终身维护全流程质量管控体系，严格执行国家、行业及企业标准，确保系统高精度、高稳定、高安全、高可用，一次性通过最终验收，并为采购人提供长期、稳定、高效的质量保障与技术支持。

二、质量保证体系与管理措施

（一）组织保障

成立专项项目组，实行项目经理负责制，配备专职质量负责人、技术工程师、调试工程师、售后工程师，所有人员均具备电力系统仿真领域 5 年以上从业经验，持证上岗，责任到人、全程可追溯。

（二）标准依据

严格遵循以下标准开展质量管控：

GB/T 40601-2021 《电力系统实时数字仿真技术要求》

GB/T25000.51-2016 《系统与软件工程系统与软件质量要求和评价(SQuaRE)

第 51 部分:就绪可用软件产品(RUSP)的质量要求和测试细则》招标文件全部技术、商务、验收要求

（三）全流程质量控制

1. 出厂前质量检验

对仿真主机、CPU 核心数、FPGA 并行计算、最小仿真步长、仿真精度、接口

通道、通信协议、编译时间、连续运行稳定性等关键指标进行 100% 全项检测，出具详细出厂检验报告，不合格产品严禁出厂。

2. 运输质量保障

采用防震、防潮、防锈、防摔专业包装，购买全程运输保险，全程温湿度监控，确保设备完好无损交付。

3. 现场安装调试质量管控

严格按照规范施工，接线规范、标识清晰、接地可靠、电磁兼容达标；完成 72 小时连续无故障运行考核，所有指标实测值不低于招标文件要求。

4. 验收质量把关

依据招标文件、投标文件、合同及国家规范逐项验收，模型案例、教学案例、实时仿真、硬件在环、四遥功能、录波功能全部实测通过，形成完整验收资料。

三、质量保证具体措施

(一) 设备硬件质量保证

1. 所有硬件设备均选用国际 / 国内一线品牌，提供原厂质保、合格证、出厂检测报告、原材料来源证明。

2. 柜体采用九折型材、SPCC 冷轧钢板，防护等级 \geq IP54，坚固耐用、抗干扰能力强。

3. 仿真主机 CPU \geq 24 核、FPGA 协同并行计算，硬件配置不低于投标文件承诺，无降级、无减配。

4. 模拟量、数字量、PWM、以太网接口全部实测合格，通道数量、分辨率、电压范围、载波频率满足指标。

5. 无线显示终端 100 英寸 4K，延迟 \leq 50ms，抗电磁干扰，满足教学演示与科研展示要求。

(二) 软件系统质量保证

1. 仿真软件可正常开展仿真建模、程序编写与调试工作，支持 C 代码自定义编程、LabVIEW 协同运行、多速率任务独立配置，满足项目使用需求。

2. 模型库齐全，包含风电、水电、电网、保护、控制等完整模型，精度 $\leq 10^{-5}$ ，长期运行无漂移、无报错。

3. 支持 IEC-61850、MODBUS、103/104 等全部通信协议，互联互通稳定可靠。

4. 支持 AI 工具代码载入、四遥功能、故障录波、数据导出、报表生成，界面友好、运行流畅。

5. 提供.slx 模型案例、教学案例库、操作手册、维护手册、培训教材，资料完整规范。

(三) 性能指标质量保证

1. 实时最小仿真步长 $\leq 5\mu\text{s}$ ，满足高精度电磁暂态仿真。

2. 单核仿真规模满足：234 节点、13 台同步机、6 台 DFIG 风机、双端直流系统能力。

3. 编译时间满足招标文件要求，大规模模型重编译 $< 180\text{s}$ 。

4. 数值稳定性：连续稳定运行 $> 7 \times 24$ 小时，无中断、无报错、无数据异常。

5. 风机模型单内核 ≥ 13 台，仿真能力、跨平台支撑能力完全响应招标要求。

(四) 模型与案例质量保证

1. 提供万节点级电网、馈线自动化、微机保护硬件在环、励磁调节硬件在环、2000MW 风电场、源网荷储共 6 类.slx 模型案例，可直接运行、可演示、可教学。

2. 提供风电场建模、发电厂建模专业教学案例，配套教材目录、课件、实验指导书。

3. 所有模型可编辑、可修改、可扩展，支持二次开发与科研创新。

四、项目人员配备方案

为保障本项目高质量实施，我方配备专业、稳定、经验丰富的专项团队：

项目经理：1 名，10 年以上电力仿真项目管理经验，负责整体统筹与质量管控。

技术负责人：1 名，电力电子 / 电力系统专业教授，负责技术方案、模型开发、参数整定、调试优化。

调试工程师：2 名，教授，负责现场安装、系统联调、功能验证、实操培训。售后工程师：1 名，教授，负责质保期维修、巡检、升级、应急响应。

模型工程师：1 名，负责案例制作、教学课件、模型维护与功能扩展。

我方承诺：项目实施及质保期内不随意更换人员，确保服务连续性与技术一致性。

五、质量追溯与责任承诺

1. 建立完整质量档案，包括设备型号、出厂报告、检测报告、验收记录、服务日志。

2. 若出现质量缺陷、参数不满足、性能不达标、软件故障等问题，我方无条件免

费更换、维修、重做，并承担全部费用及损失。

3. 质保期内非人为损坏全部包修、包换、包退，更换部件为原厂全新件，质保期重新计算。

4. 严格遵守合同约定，不延迟交付、不降低配置、不以次充好、不提供盗版软件。

六、质保期与长效服务承诺

1. 提供7 年免费原厂质保（高于招标文件要求），并承诺质保期满后提供终身成本价服务。

2. 每季度免费上门预防性维护，全面巡检、清洁、校准、系统升级、模型更新。

3. 故障响应：2 小时内响应，48 小时内到场解决，重大故障提供备用方案。

4. 免费提供软件版本升级、模型库更新、技术咨询、方案指导。

第三章 技术培训方案

一. 培训总体目标

为确保西安理工大学相关教师、实验人员、研究生能够独立、熟练、规范操作水力风力发电场站及系统电磁暂态实时仿真器，我方提供全面、系统、专业的技术培训。培训覆盖原理认知、操作使用、建模调试、实验开展、维护保养、故障处理全流程，确保使用人员达到“会用、会调、会教、会研” 的目标，满足日常教学、实验开设、科研项目开展需求。

二. 培训对象

- 任课教师
- 实验室管理人员
- 实验技术人员
- 相关专业研究生
- 其他相关使用人员

三. 培训内容

(1) 理论培训

- 电磁暂态实时仿真原理
- 水力、风力发电系统建模基础
- 仿真平台架构与硬件组成

- 通信协议、接口定义、数据交互机制
- 实验安全规范与操作注意事项

(2) 实操培训

- 仿真系统开机、关机、自检流程
- 模型加载、参数配置、工况编辑方法
- 稳态仿真、故障仿真、硬件在环实验操作
- 示波器、录波、数据导出、报表生成使用
- 四遥功能（遥测、遥信、遥控、遥调）操作
- 常见故障判断、报警处理、系统恢复方法

(3) 教学实验培训

- 标准教学实验流程讲解
- 实验指导书使用与教学组织
- 典型实验案例复现与演示
- 学生实验常见问题处理

(4) 维护保养培训

- 日常巡检、清洁、散热检查
- 软件备份、模型备份、系统还原
- 硬件保养、接口检查、接地检查
- 定期维护项目与周期

四. 培训方式

- 现场集中培训：理论 + 实操同步进行
- 一对一指导：针对关键人员强化教学
- 操作演练：人人动手、逐项考核
- 视频 + 手册 + 课件：多形式辅助学习
- 长期线上指导：培训后持续支持

五. 培训计划与安排

- 培训时长：不少于 1 天集中培训 + 1 天上机实操
- 培训地点：西安理工大学项目现场

- 培训资料：全套 PPT 课件、操作手册、实验指导书、维护手册
- 考核方式：操作考核 + 问答考核，合格颁发培训结业确认单

六. 培训效果保证措施

- 保证所有参训人员能独立完成全部功能操作
- 保证能独立开设教学实验、开展科研仿真
- 保证能处理常见故障、进行日常维护
- 培训后 3 个月内免费线上答疑
- 终身提供技术咨询与升级指导

第四章 售后服务方案

一. 售后服务总体承诺

我方为本项目提供全周期、高质量、高效率售后服务，建立快速响应机制，确保系统长期稳定运行，最大限度保障学校教学、科研工作不间断开展。所有服务均遵循及时、专业、可靠、免费原则，严格履行招标文件与合同约定。

二. 售后服务内容

(1) 质保期内服务

- 整机 7 年免费质保
- 非人为损坏免费维修、免费更换、免费升级
- 软件终身免费版本更新
- 模型库免费扩展与升级
- 每季度预防性上门维护
- 7×24 小时技术支持

(2) 质保期满后服务

- 终身成本价维修、配件供应
- 终身免费技术咨询
- 终身免费软件升级
- 维修只收材料费，不收人工费

(3) 技术支持服务

- 系统故障排查与修复
- 模型调试、参数优化、实验指导
- 教学案例更新、科研方案支持
- 新功能、新协议、新接口扩展支持

三. 响应时间与服务方式

- 电话 / 微信响应：≤ 2 小时
- 远程协助：≤ 4 小时
- 现场服务：≤ 48 小时到场
- 重大故障提供备用方案或临时替代措施
- 节假日、教学关键节点优先保障

四. 定期维护服务

每季度上门一次，进行：

- 系统全面体检
- 硬件清洁、散热检查、线路紧固
- 软件校准、模型检查、数据备份
- 安全检查、接地检查、电磁兼容检查
- 问题处理、状态评估、维护报告

五. 备件保障

- 关键备件常备库存
- 更换部件均为原厂全新件
- 更换后重新校准、测试、验收
- 更换部件重新计算质保期

六. 服务质量保障

- 专人负责、全程记录、可追溯
- 每次服务提供《服务报告单》
- 服务满意度回访
- 投诉渠道畅通，快速处理

第五章 质保期承诺书

质保期承诺书

致：西安理工大学

我方郑重承诺：针对本次提供的水力风力发电场站及系统电磁暂态实时仿真器项目，严格履行质量与服务责任，作出如下承诺：

本项目所有设备质保期为 7 年，自最终验收合格之日起计算。

质保期内，凡属于产品质量、设计、工艺、材料、软件等非人为故意损坏引发的故障，我方均提供免费维修、免费更换、免费调试，产生一切费用由我方承担。

质保期内，维修更换的零部件均为原厂全新正品，更换后质保期重新计算。我方提供 2 小时快速响应、48 小时上门解决服务，确保教学科研不中断。我方承诺提供终身技术支持、终身软件升级、终身免费咨询服务。

若我方未履行上述承诺，愿承担相应违约责任及全部损失。

第六章 供货系统现场演示演示

一、演示内容

- 水力风力发电场站仿真系统启动
- 仿真工程打开、模型加载与参数配置
- 实时仿真运行状态、稳态波形监控展示
- 电磁暂态故障注入与暂态过程演示
- 后台监控系统“四遥”（遥测、遥信、遥控、遥调）功能展示
- 录波、数据采集、波形回放功能演示
- 硬件在环仿真逻辑展示（如适用）
- 典型教学 / 科研模型案例一键加载演示

二、操作路径

- 开机并启动仿真平台软件 → 打开 Matlab/simulink 建模环境
- 文件选择 → 打开“水力风力发电场站典型仿真工程模型”
- 模型检查 → 查看拓扑、风机 / 水电模型、电网模型、控制参数
- 仿真配置 → 通过上位机软件配置实时化环境，建立仿真机与上位机数据通信交互。

- 开始仿真 → 启动实时运行
- 监控查看 → 打开数据监控界面，查看电压、电流、功率、频率等关键数

据的实时曲线或有效值。

- 故障注入 → 在指定位置设置短路 / 电压跌落扰动等故障现象
- 暂态观察 → 查看故障期间波形变化与保护动作
- 录波操作 → 启动录波 → 停止录波 → 查看波形
- 四遥功能 → 执行遥控分合闸、遥调电压 / 无功、遥测数据刷新、遥信状

态展示。

- 案例切换 → 加载风电场 / 水电站典型教学案例并运行
- 结束演示 → 停止仿真 → 关闭工程 → 退出系统

三、预期结果

- 系统启动正常，界面加载迅速，无报错、无卡顿
- 模型完整加载，拓扑清晰、参数正确、通信状态正常
- 实时仿真运行稳定，波形平滑、数据准确、响应及时
- 故障注入后暂态过程明显，波形突变清晰，符合电力系统理论特性
- 四遥功能响应迅速，遥控、遥调、遥测、遥信全部正常
- 录波功能完整，波形可保存、可回放、可缩放、可导出
- 教学 / 科研案例可一键运行，效果直观，满足教学演示与科研验证需求
- 全过程运行稳定，无中断、无异常、无死机，演示效果完整流畅