

采购需求

一、采购标的

1. 需求一览表

包号	标的名称	数量
1	复杂物理装备数字孪生实验装置	2 套

2. 项目背景/项目概述（如有）

该装置运用系统集成方法，选择具有应用典型性和技术先进性的自动化技术，优化组合而成一种基于数字孪生技术的创新创业教育实践系统。在教学端把传统“演示+验证”升级为“项目式学习+AI 大模型”沉浸式场景：学生通过学习物理实体、虚拟实体、MBD 模型构建、故障模拟与虚实同步、数据可视化分析等，辅助以具有独立知识库的数字孪生 AI 垂类大模型，使学生经历“认知—建模—编程—调试—优化—部署”数字孪生六阶闭环，课程挑战度、高阶性与创新性同步提升。

二、技术要求

1. 采购标的需实现的功能或者目标

复杂装备数字孪生是智能制造的体现，平台建设需要包含空间模型构建、行为模型构建、数字样机、连接与集成、数据分析、人工智能、AI 大模型等多个模块。涉及到 MBD 模型设计和装配、虚拟调试、机器视觉、运动控制、传感与检测、机电一体化设计、OPC、UNITY 3D、机器学习、数据采集、分析及可视化、大模型人机交互等多种技术。装置体现以 MBSE 为指导思想，模型、数据为基础和核心的数字化要素，通过多学科交叉融合，实现工业场景中的数字化技术在高校工程教育中的知识迁移。以项目情境（包含物理实体、数字孪生体、通讯与连接、孪生数据、洞见与行动等）为依托构建“技术图谱”，使学生了解和掌握装备制造业数字孪生实施的总体架构，能够知晓各种技术之间的衔接关系，并可以使用相应的软件工具进行模型构建，虚实交互，通过实际动手操作来学习虚拟实、虚映实、虚控实等相关技术。

2. 本平台硬件可以基于机器人视觉控制智能分拣系统实现对工作区域内不同颜色及不同形状的工件进行分拣、抓取、堆垛至指定的区域，同时，数字孪生体同时也可以完成上述动作，实现系统的虚实同步运行。平台可以实时采集大量的数据，当工件位置发生偏离时，数字孪生体依据实时数据与模型类比诊断，并对物理实体做出相应决策行动。

工作条件

- (1) 工作温度和湿度：正常实验室温度及湿度，无特殊要求；
- (2) 电力条件：电压：220 V，频率：50 HZ；

(3) 场地条件：占地不大于 20 平米，层高不低于 2.8 米

3. 货物技术要求/服务内容及要求

序号	配置和技术规格要求
1	复杂物理装备数字孪生实验装置
1.1	每三套单元级数字孪生系统构建一套复杂装备数字孪生实验实训平台。单元级数字孪生系统机器人本体参数如下：
● 1.1.1	整体尺寸：长 650-750 mm 宽 450-600 mm 高 600-800mm；
● 1.1.2	最大负载：2.5kg；(Z 轴负载≤2.5kg, R 轴负载≤50g)
● 1.1.3	额定速度：≥100mm/s；
● 1.1.4	重复定位精度：±0.02mm；
● 1.1.5	X 轴：采用步进马达加滚珠丝杆的传动方式；
● 1.1.6	采用直流步进电机带刹车，步距角≥1.8 度，电流 3-5A；X 轴向最大行程≥300mm；最大移动速度：≥100mm/s；
● 1.1.7	Y 轴：采用步进马达加滚珠丝杆的传动方式；
● 1.1.8	采用直流闭环步进电机，步距角≥1.8 度，电流 3-4.5A；Y 轴向最大行程≥200mm；最大移动速度：≥100mm/s；
● 1.1.9	Z 轴：采用步进马达加减速器带动齿轮齿条的传动方式；采用直流步进电机，步距角≥1.8 度，电机长≥40mm；步进电机带刹车；减速器速比≥5；
● 1.1.10	Z 向最大行程≥100mm
● 1.1.11	R 轴：采用步进马达带动气动吸盘的传动方式；
● 1.1.12	用步进电机，步距角≥1.8 度，扭矩≥0.4Nm；
● 1.1.13	轴最大转角：无限制。
1.2	机器人控制单元
● 1.2.1	可编程控制器 工作存储器≥100 KB
● 1.2.2	装载存储器≥4 MB
● 1.2.3	保持性存储器≥10 KB
● 1.2.4	本体集成 I/O 数字量:14 点输入/10 点输出
● 1.2.5	模拟量:2 路输入/2 路输出
● 1.2.6	高速计数器:6 路

● 1.2.7	单相: 3 个, 100 kHz; 3 个, 30 kHz
● 1.2.8	正交相位: 3 个, 80 kHz; 3 个, 20 kHz
● 1.2.9	脉冲输出: 4 路, 100 kHz
● 1.2.10	信号板: 数字量:4 点输入
● 1.2.11	扩展 I/O: 数字量:8 点输入/8 点输出
1.3	图形化机器设计系统
● 1.3.1	主板 支持 12 代 CPU。
● 1.3.2	CPU i7 12 代以上
● 1.3.3	显示器 24 寸
● 1.3.4	内存 16G
● 1.3.5	固态硬盘 500G
● 1.3.6	机械硬盘 2T
● 1.3.7	独立显卡: 显存容量: 2GB; 显存带宽: 80GB/S; 显存位宽: 128bit; 显卡接口: mini DP*4
1.4	复杂装备故障智能模拟器
● 1.4.1	扰动频率: 4~10Hz; 干扰幅度: 10~50%
● 1.4.2	具备机械式干扰功能
● 1.4.3	工业级触控屏≥10 英寸, 亮度≥300 流明
★ 1.4.4	不损害设备前提下随机制造控制误差, 具有数据分析功能, 可及时捕获即将发生的故障, 可视化人机交互信息并停机;
● 1.4.5	支持电气控制故障(脉冲扰动模拟)与机械故障(刹车控制模拟)两大类故障
● 1.4.6	核心控制程序基于微控制器内部的高级定时器, 通过 PWM 模块生成高精度的正弦波脉冲宽度调制信号。
● 1.4.7	通过控制 SPWM(正弦脉宽调制法)波形占空比、频率变化, 模拟不同幅度和形态的脉冲扰动波形
▲ 1.4.8	支持实时根据用户设置动态调整故障扰动幅度、持续时间、扰动频率等关键参数(投标时提供软件功能截图且截图可证明满足前述功能)
● 1.4.9	软件具备故障模拟启动与锁停智能控制机制, 能够在异常检测时自动关断故障输出, 保护测试设备安全
● 1.4.10	软件界面支持故障扰动参数与实时曲线双显示, 便于观察和记录
● 1.4.11	支持通过串口屏进行本地触控操作, 所有设置支持菜单式交互界面, 易用性高
1.5	视觉综合系统
● 1.5.1	工业相机: 像素: ≥500 万;

● 1.5.2	分辨率: $\geq 2592 \times 1944$;
● 1.5.3	最大帧率: 24fps@ 2592×1944 ;
● 1.5.4	快门模式: 支持自动曝光、手动曝光、一键曝光模式;
● 1.5.5	数据接口: 千兆以太网 (1000Mbit/s), 兼容快速以太网 (100Mbit/s);
● 1.5.6	信噪比: ≥ 37 dB;
● 1.5.7	曝光时间: $\geq 21 \mu\text{s} \sim 1\text{sec}$;
● 1.5.8	像素格式: Mono 8/10/12; Bayer GB 8/10/10p/12/12p; YUV422Packed, YUV422_YUYV_Packed; RGB 8,BGR 8。
● 1.5.9	缓存容量: $\geq 128\text{MB}$;
● 1.5.10	焦距: $\geq 4\text{mm}$;
● 1.5.11	光圈数: $\geq 2\text{~C}$;
● 1.5.12	相面尺寸: $\geq 9\text{mm}$ (1/1.8");
● 1.5.13	法兰距: $\geq 17.526\text{mm}$;
● 1.5.14	畸变(TV): <0.5%;
● 1.5.15	镜头接口: C-Mount。
▲ 1.5.16	机器视觉配套两套视觉控制软件: 其中一套为完全开源, 包括但不限于图像滤波、形态学操作、图像分割、检测与定位、相机标定等功能, 内置集成开发功能可用于视觉系统的二次开发及研究使用; 另一套视觉软件采用完全图形化的软件交互界面, 功能模块直观易懂, 拖拽式操作, 可快速搭建视觉方案。 (投标时提供软件功能截图且截图可证明满足前述功能)
1.6	振动传感器
● 1.6.1	振动测量方向: X 轴, Z 轴
● 1.6.2	输出数据 时间, 振动 (速度, 幅度, 位移, 频率)
● 1.6.3	测量范围: 0mm/s \leq 振动速度 $\leq 50\text{mm/s}$, 0 \leq 振动幅度 ≤ 180 ;
● 1.6.4	振动位移: 0-30000 μm , 振动频率: 1-100HZ
● 1.6.5	精度: <F.S $\pm 5\%$
● 1.6.6	波特率: 4800bps-230400bps 可调
● 1.6.7	通讯方式: RS485
1.7	声音传感性能指标:
● 1.7.1	供电电源: 12V-24V DC;

● 1.7.2	通信接口: RS485;
● 1.7.3	通信协议: modbus rtu 协议
● 1.7.4	响应时间: $\leq 5S$;
● 1.7.5	测量范围: 30dB-120dB;
● 1.7.6	分辨率: $\geq 0.1dB$;
● 1.7.7	测量精度: $\pm 0.5dB$
1.8	磁栅尺
● 1.8.1	长度: $\geq 400mm$; 分辨率: 0.005mm;
● 1.8.2	工作电压: 5-30VDC; 输出信号: A/B/Z;
● 1.8.3	精度指标: $\pm 0.03mm/m$; 移动速度: Max25m/s
1.9	数字孪生平台-数据分析软件
▲ 1.9.1	具备工业数据分析及可视化功能, 投标时提供产品软件著作权登记证书。
● 1.9.2	关系型数据库查询删改, 存储数据功能。
● 1.9.3	基于机器学习算法训练构建数据模型。数据模型的部署与运维功能。
● 1.9.4	良率模型: 输入 ≥ 40 维数据(含工艺参数、设备状态等), 输出良率预测值(0~100%), $MAE \leq 1.5\%$, 支持 SHAP 值特征重要性分析;
● 1.9.5	故障模型: 支持 10 类以上故障分类(如电机过载、传感器漂移), $F1-score \geq 0.92$, 误报率 ≤ 3 次/周
▲ 1.9.6	预警模型: 提前 30 分钟预测设备异常(如温度超限), $ROC-AUC \geq 0.95$, 支持动态调整预警灵敏度(投标时提供软件功能截图且截图可证明满足前述功能)
▲ 1.9.7	数据预处理: 需提供数据清洗管道(缺失值填充、异常值剔除), 支持实时数据流处理(延迟 $\leq 500ms$)。
★ 1.9.8	可借助本平台可以实时收集工业设备数据并进行处理和分析, 例如将数据进行可视化并借助各类数据模型对数据进行实时分析, 对设备状态进行评估, 通过与数据模型的类比, 从而进行相应的洞见或决策。

●1.9.9	<p>软件主要性能参数如下：</p> <p>平均响应时间≤25ms；</p> <p>最长响应时间≤260ms；</p> <p>软件支持上千任务级的数据并发处理；</p> <p>软件能够实时处理 8000tokens 的数据，并且支持处理结构化数据，半结构化数据与非结构化数据；</p> <p>满负荷每小时处理请求数目大于 3000000 条；</p> <p>控制器断线重连功能，能够实现设备断线自动恢复；</p> <p>数据通信变量数无限制；</p> <p>软件内置多类基于机器学习的数据分析模型，模型预测延时≤30ms</p>
1.10	数据交互和分析平台软件
▲1.10.1	机器人本体及电气控制部分的全套三维模型（包含空间模型和行为模型） （投标时提供软件功能截图且截图可证明满足前述功能）
▲1.10.2	提供完整装配体（含机械臂、末端执行器、底座等），格式需包含 STEP 214、IGES 及原生 CAD 格式 （投标时提供电脑格式截图）
●1.10.3	关键部件（如关节减速器、伺服电机）需分解至零件级
●1.10.4	包含 PLC 控制柜、伺服驱动器、传感器（编码器/力觉）等三维布局模型
●1.10.5	孪生体与物理实体交互平均响应延迟<10ms；
●1.10.6	孪生体与物理实体交互最长响应时间≤150ms；
●1.10.7	控制器断线重连功能，能够实现设备断线自动恢复；
●1.10.8	支持多系统，多平台运行。
●1.10.9	支持定制化开发
1.11	数据分析可视化及技术引擎单元
▲1.11.1	依据模型、控制系统及外围智能传感器运行时产生的数据采用配套的机器学习算法进行数据分析及可视化显示，实现对物理实体的预测性维护及故障诊断等功能、此软件完全开放源代码。 （投标时提供软件功能截图且截图可证明满足前述功能）
▲1.11.2	用于数字孪生创新创业实践教学的专用模块化软件，软件体系架构基于智能制造数字孪生标准构建， 投标时提供产品软件著作权登记证书，原件备查，软件中分模块完成各阶段的自主学习，结合问题式、项目式及大模型引导，形成多维度学习体验。
▲1.11.3	内置≥30 小时装备制造业数字孪生全套课程视频及相应的课程文档、实训项目，与课程视频一对应。 （投标时提供相应课程文档格式截图）
●1.11.4	平均响应时间≤200ms；
●1.11.5	满负荷每小时处理请求数目≥30000 条；

●1.11.6	大模型接口支持.
1.12	AI 大模型辅助学习单元
★1.12.1	定制化大模型, 支持复杂装备数字孪生平台、自动化、机械工程领域专业问答, 覆盖术语库 ≥ 50 万条, 响应时间 ≤ 1 秒, 准确率 $\geq 97\%$;
●1.12.2	实时识别复杂装备数字孪生平台教学视频中的机械结构(如齿轮传动系)、控制电路图等, 标注类型 ≥ 20 类, mAP ≥ 0.85 ;
▲1.12.3	支持图纸(DWG/STEP 格式)、论文(PDF)、视频帧、音频的多模态联合检索; (投标时提供大模型截图)
●1.12.4	可模拟工程问题, 分步骤引导解决方案, 步骤完整率 $\geq 90\%$
●1.12.5	根据学生交互数据(错误知识点、提问频次)动态推荐学习内容;
●1.12.6	基于 ≥ 100 亿参数的大模型, 训练数据集 ≥ 50 万条专业语料;
●1.12.7	部署单元需支持 FP16 精度推理, 单请求显存占用 $\leq 8\text{GB}$, 并发数 ≥ 100

4. 需执行的国家相关标准、行业标准、地方标准或者其他标准、规范

投标人提供的产品和附件应符合标准的最新版本, 未予规定部分需符合国家有关标准、规定, 有矛盾时, 按照较高标准执行。

三、商务要求

1. 项目实施

1.1 交付的时间和地点

国内合同: 详见第七章《拟签订的合同文本》国内合同范本 6.4。

★1.2 付款条件(进度和方式)

国内合同: 详见第七章《拟签订的合同文本》国内合同范本第四条。

1.3 履约

1.3.1 履约保证金

国内合同: 详见第七章《拟签订的合同文本》国内合同范本第十条。

1.3.2 履约验收方案

(1) 验收时间: 设备安装、稳定运行 2 个月后

(2) 验收方式: 组织专家参与验收

(3) 验收程序: 按照采购人验收相关规定进行

验收内容及验 收标准	序号	验收内容	验收标准
	1	开箱验收	配置全新且完整
	2	产品运行验收	满足技术参数指标要求

2. 采购标的需满足的服务标准、期限、效率等要求

2.1 售后服务

国内合同：详见第七章《拟签订的合同文本》国内合同范本第八条、第九条。

2.2 培训

国内合同：详见第七章《拟签订的合同文本》国内合同范本 7.3。

3. 采购标的的其他技术、服务等要求

3.1 兼容性与后续成本

投标人承诺对产品提供终身售后服务，且在承诺质保期外维修提供优异、优惠服务。投标人提供设备保修清单和延保价格，条目包括但不限于项目编码、名称、型号、单项报价（为日后的延长保修提供参考依据，不计入投标总价）。

投标人承诺保证设备报废前所有易损易耗件、备附件和配套工具等零部件的供应和保障。投标人提供设备耗材清单和耗材可选供应商，条目包括但不限于物料编码、名称、型号、单项报价（为日后的耗材采购提供参考依据，不计入投标总价）。

3.2 项目团队

供应商应当为本项目提供相应的项目团队。

4. 针对本项目的服务方案、组织方案或承诺

1) 项目实施方案

供应商应根据本项目关于项目实施的要求，针对本项目实际情况结合过往经验分析并指出项目实施过程中关于进度控制，交货、付款、安装、调试、履约验收方案等内容，存在潜在的困难点、风险点，并能够给出妥善的实施方案。

2) 售后服务方案

供应商应根据本项目关于售后服务的要求，制定合理完善的售后服务解决方案，按照国家有关要求及本项目实际情况，最大限度的保证本项目所购设备质保

期内外均可以连续、稳定运行，针对本项目提供关于质保服务内容及承诺、故障投标时间等内容的售后服务方案。

3) 培训方案

供应商应根据本项目关于培训方案的要求，制定科学、合理的培训组织方案，对采购人及相关下属单位系统使用人员进行及时有效的培训，确保其能正确使用相关系统及功能，应针对本项目提供关于培训内容、时间计划安排等的培训方案。

4) 兼容性与后续成本

供应商应根据本项目关于项目兼容性与后续成本的要求，提供本项目涉及的全生命周期成本报价方案，如必要耗材或配件费用、兼容性成本、使用期间能源费、废弃处置费等。

4) 项目团队方案

供应商应提供本项目涉及的项目团队成员配置清单，团队成员配置应满足项目团队要求。