**附件：多功能水池实验室设备主要技术参数**

实验水池可用于风-浪-流等环境模拟，具备水面造波、双向造流、造风、消波等功能。水池配备自动化测量平台具备拖曳及仪器搭载等功能，具体参数如下：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **设备名称** | **数量** | **技术参数** |
| 1 | 造波系统及推板式造波机 | 1套 | **1、造波系统概况**  **★**1）造波形式：推板式，造波宽度≥4m，数量：1套(不少于5台)，造波机必须采用同步带驱动方式。  2）造波能力：可以模拟正弦波和椭圆余弦波等规则波，国内外常用的频谱（包括J谱、P-M谱、B-M谱、、港口水文规范谱）以及自定义频谱所描述的不规则波。满足各种试验使用要求。  **★2、波浪技术指标**  1）规则波技术指标  ①波高变化范围：0.05～0.4m（水深为1.4～2.2m）；波周期变化范围：0.5～3.0s；波高误差：≤5%；  ②周期误差：≤5%；  ③波高稳定性和重复性误差：≤6%；  ④周期的稳定性和重复性：≤6%。  2）不规则波技术指标  ①最大有效波高：≤0.3m（水深为2.2m时）；  ②波高有效值误差：≤5%；  ③谱峰周期误差：≤5%；  ④总能量误差：≤8%；  ⑤波高有效值重复性误差：≤6%；  ⑥谱峰周期重复性误差：≤6%。  **3、造波系统组成及要求**  1）造波系统组成  造波系统组成：机械系统（含推板、机架、驱动系统（含伺服电机、直线导轨副、同步带及带轮等））、控制系统（伺服控制柜、控制软件、操作台、线缆等）、主动吸收装置、造波软件、波浪采集仪、被动消波装置等组成。  2）机械系统要求  ① 驱动方式：伺服电机驱动，采用数字式低惯量交流伺服电机直接驱动低噪音同步带运动。伺服电机的额定功率不低于3.5kW，伺服电机的额定转速不低于3000转/分，伺服电机采用多圈绝对值编码器，伺服电机防水等级IP65以上。  ② 造波机推波板采用304不锈钢制作，造波板平面度±1mm。  ③ 造波机机架需进行防腐处理。  ④ 驱动系统外置防尘保护罩。  ⑤ 所有机械系统不得对水体产生污染。  ⑥ 每组造波机具备互换性。  3）控制系统  ①网络控制平台  a)每根轴的同步误差小于5毫秒；  b)在1毫秒内完成对5个伺服轴的控制，包括控制命令的发送和电机状态的读取。  ② 伺服驱动器  伺服驱动器要与伺服电机匹配。  ③ 配备自动寻零、行程保护、故障检测及显示、紧急停车等各项安全措施。  ④完善的接地措施及抗干扰措施，不能影响其它设备和测试仪器正常工作。  ⑤操作台：可远程控制主控柜启动停止，设有紧急停机功能。  ⑥电控系统满足试验室使用环境。  ⑦控制软件采用Windows10及以上平台编程。  ⑧控制系统设计具有如下安全保护功能：急停功能、工作状态指示功能、伺服故障报警功能、行程限位功能、输入控制参数错误报警保护功能等。  主动吸收装置：  主动吸收率：≥50%。  5）造波软件  ① 造波软件包括：波浪计算软件、波浪生成软件。软件系统不得与操作计算机及控制计算机本身的硬件绑定。  ② 波浪计算软件用于计算并生成目标波浪所对应的每块造波板的运动时历数据文件，具备功能如下：  a使用者能够指定生成文件的文件名和存储路径；  b使用者能够方便的输入各种参与计算的参数；  c能根据电控系统对电机转速、角加速度及最大转角的限制对生成的造波板的运动时历进行限制，并在计算结束后给出限制部分在整个时历中所占的百分比；  d同一波谱单次连续造波时间15min以上，且波浪时历不重复。  ③ 波浪生成软件用于造波系统的操作控制，具备功能如下：  a对单块造波板进行频响特性测试；  b调整造波板的直线度；  c监视每块造波板及驱动电机的工作状态；  d选择用于波浪生成的造波板运动时历数据文件；  e设置造波缓启缓停时间；设置造波开始时刻在运动时历中的位置；设置单次造波时间长度；控制造波的启动/停止；造波装置的启动/停止采用淡入/淡出方式；显示足够的电控系统工作信息，便于监视。  ④ 系统发生故障时，能及时显示详细的故障信息。  ⑤可根据规则波及不规则波技术参数，绘制不规则波波谱能量曲线。  6）消波装置  消波装置包括端消波器和背消波器；其中端消波器采用斜坡式，长度≥4m，反射率低于15%（常用波长），采用304不锈钢及原生塑料制作；背消波器采用多层压板形式，不锈钢304制作。 |
| 2 | 双向贯流泵系统 | 1套 | 1、造流系统  ▲造流系统要求配有2套双向造流泵、2套变频器、2套电磁流量计、2套管道及整流消能装置等。水池可实现双向造流。提供设计图纸等佐证材料。  技术指标如下：  1）实现自动双向造流；  2）双向流最大流量：不小于4.0m3/s；  ▲3）最大流速：不小于0.8m/s（试验水深：≥1.2m)；具有全闭环正反向造流功能；提供计算书及设备选型等佐证材料。  4）流场非均匀度＜10%（0.2m/s~0.6m/s）。  5）目标流量调节时间：系统刚启动时，3分钟内达到目标流量，系统运行过程中，10～30s内完成流量调整；  6）自动模式下，流量误差在10%以内；  7）造流装置连续工作时间不低于8小时。  2、控制系统及软件：  1）可根据录入参数实时自动调节水池流量，并且具有闭环调节功能。  2）可实时监测流速流量等参数变化并具有存储功能。  3）可通过编辑造流文件实现流速曲线自动变化。设备可以根据录入参数实时自动调节水池流量，并且具有闭环调节功能。  3、系统布置  因实验室空间有限，系统布置安装在实验室地面以下，留有工作面，便于人员出入及操作。 |
| 3 | 多功能水池造风系统 | 1套 | 1、造风系统功能（造风系统由风阵车、风阵、导风罩、风阵框架等组成。）  1.1技术指标如下：  1）开环变频控制，确保风速的稳定可靠；  2）最大风速Vmax≥10m/s（3m外测风速值）；  3）风阵有效出风截面≥2m×2m；  4）风向实现上下30o,左右30o调节；提供设计图纸等佐证材料。  5）风阵整体具有0～0.8m电动升/降调节功能（满足不同水深）；6）造风车与行走测量台车共轨，共滑线，行走速度0.2m/s。  1.2控制系统及软件  1）性能范围内用户可以自定义输入造风参数，可通过文件编辑输入自定义造风控制文件。  2）控制系统设计具有如下安全保护功能：急停功能、工作状态指示功能、控制系统故障报警功能、输入控制参数错误报警保护功能等。 |
| 4 | 多功能水池供回水系统 | 1套 | 供回水系统包括水池双造流管道沟、水泵、蝶阀、管道、法兰、三通、弯头及接头联接等，多功能水池四周地面上预设多个地漏排水；应能满足自动引入自来水、将水池内水体排放至下水道等功能需求。 |
| 5 | 多功能水池天车起重系统 | 1套 | 1、天车起重系统包括单臂天车、天车轨道、滑触线供电导轨、横向滑车和起重机。单臂天车跨度不小于9.0m，天车轨道安装高度不小于6.0m，起重机起重能力不大于2.8吨，移动速度≥35m/min。升降吊挂具备高低速操控能力。  高精度监测系统采用高精度的传感器和算法，能够实时监测天车的运行状态和周围环境，提供准确的碰撞风险评估。智能化预警系统：能够基于历史数据和实时数据对潜在的碰撞风险进行预测和预警，提高预警的准确性和及时性。 |
| 6 | 行走测量台车及自动化量测系统 | 1套 | 1、自动化测量平台  1.1由轨道系统、行走测量台车等组成。测量平台可实现在水池轨道上的三维自动行走，同时可搭载多路测量设备，且该测量平台支持断面、单点等多种扫描方式，为高精密测量设备提供稳定可靠的测量环境，系统同时支持对搭载测量设备的无线数据传输及测控。测量平台提供简易搭载支架及垂向支架。  1.2轨道系统  1）水池两侧上边梁安装直线导轨，长53m。采用调整垫对直线导轨进行调整，调整垫采用钢板，进行精细加工，确保直线导轨安装在同一个平面上。两侧轨头、尾安装缓冲器，防止台车滑轨。  2）技术指标：  钢轨指标：轨道加工后的上表面粗糙度：3.2-6.3；单轨直线度：≤1mm（全长），≤0.5mm/m；双轨平面度：≤1mm（全长），≤0.5mm/m；两轨平行度：≤1.5mm（全长）；踏面宽度误差：±1mm；导轨安装平稳、牢固、安全可靠。  1.3行走测量台车  1）实现台车纵向、横向、竖向的行走、移动和升降三维运动，以配合水位仪、流速仪等设备进行多方位测量。测量台车实现自动控制，以达到试验效果。  2）技术指标：  ①台车在水池上能够实现纵向、横向、竖向三维运动，且运动轻便稳定；台车纵向行走速度无级变速，无线控制；台车沿水池纵向行走，安装安全可靠。  ②定位精度：  横向定位精度：＜1mm；  纵向定位精度：＜2mm；  垂向定位精度：＜1mm。  ③最大载荷：500kg；  ④平台提供220V，＞1kW供电接口；  ⑤通讯方式：以太网接口，提供无线通讯方式；  ⑥台车技术指标：  横向最大移动速度：0.1m/s；  纵向最大移动速度：0.1m/s-2.0m /s；  纵向最大移动加速度： 0.04g；  纵向速度精度： 0.5%（0.5m/s-2.0m/s）；2.5mm/s（0.1m/s-0.5m/s）  垂向最大移动速度：50mm/s；  车轮系统采用无轮缘结构加导向轮；  测速反馈采用电机轴加装编码器实现；  安全系统至少包括电机反接制动、刹车盘制动、缓冲器制动；  可搭载设备：流速仪、水位仪等测量设备（需要根据搭载的设备定制相应的夹具）；  系统采用滑触线供电；  可实现搭载系统采集数据的无线传输。  2、系统软件：  1）能按用户的配置，实现系统硬件的自动定位、采集，并可进行数据的自动上传、分析、绘图、导出等数据管理功能。  2）包括底层驱动程序、通讯协议等。 |
| 7 | 多功能水池智慧网络模块 | 1套 | 1、功能要求  通过多功能水池信息化建设，借助现代信息技术优势，通过三维水动力、水质二次开发和系统集成仿真系统，建立模型辅助分析和智慧展示平台，使多功能水池、测量设备、试验数据分析等通过网络、多媒体、模拟仿真等技术来实现。  2、详细技术参数要求  多功能水池、测量设备、试验数据分析等通过网络、多媒体、模拟仿真等技术来实现；模型辅助分析和智慧展示平台功能如下：  1）试验辅助管理  开发建立实验仪器设备数据库，实现对仪器设备日常查询管理。  支持主要实验数据实时图表显示,针对实测的波高、流速、水位、自由度、压力、地形等实验数据进行筛选，对比现有实验规范标准或历史数据，进行防错提示及预警。  2）试验环境实时监控  试验环境实时监控在实验室实现对多功能水池试验环境的监控，实时观测、录制实验过程，并对异常情况及试验人员危险动作进行预警提示，以便及时采取响应措施；监测各控制设备运行状态，辅助实验人员进行设备运行管控，减少巡检工作量，确保现场试验设备的正常运行，提高实验效率和准确率。  3）三维水动力、水质二次开发和系统集成仿真系统  ①整个系统采用“即插即用”功能模式设计，可实现完全开放,能满足用户二次开发和系统集成的需求。  ②水动力模块  ▲水动力模块用于模拟一系列不同的水流条件，可用来解决各种长度尺度完全不同的应用。如：实验水池中的紊流、温排水中的密度流、河口及海洋地区的潮汐流、湖泊和海洋动力学中的风生流、河流的溃坝水流和山洪等急流的模拟。  ③波浪模块  波浪计算模块可用于模拟河口海岸，包括潮汐汊道，河口，近岸感潮浅滩等地带的随机波、短波、风生波传播和变形。模块可计算在给定的风场、流场、水位场条件下任意水深处波浪的演变过程。  ④水质模块  水质模块是一个通用的水质模拟，可以描述各种水体水质变化过程。该模型采用各种显式和隐式数值积分法来求解方程。用户可以定义各种点源、面源污染扩散过程。结合水动力学数据库耦合、污染物扩散以及选定的物质和水质过程。  ⑤颗粒跟踪模块  利用水流模块提供的水力学数据，通过跟踪颗粒的方法，颗粒跟踪模块可以用来模拟输移过程以及简单的化学反应。在三维空间进行跟踪，记录颗粒随时间发生的变化。  ⑥泥沙运移模块  可用于模拟粘性和非粘性沉积物的输送过程，例如在侵蚀和沉积研究的情况下。可以建立沉积物迁移模型。它根据水动力模型提供的3D流场模拟3D悬浮泥沙浓度场。水位和水底之间的沉积物交换考虑了沉积和侵蚀。  ⑦生态模块  生态模块模拟有关藻类生长及营养动力学的一系列生化、生物过程，模块能够模拟这些复杂的生化、生物过程，以便水质管理人员在各种有利于改善水质的备选管理方案里做出选择。 |
| 8 | 多功能水池量测系统 | 1套 | 1、配置量测设备包括：无线旋桨流速仪1套、波高测量系统1套、超声水位仪1套、六自由度运动测量仪1套、压力采集仪1套、多参数采集仪1套、超高分仿真计算系统1套。具体如下  1.1旋桨流速仪  技术指标如下：  1）起动流速≤2cm/s；  2）量程 1～200 cm/s；  3）测量误差≤1.5%；  4）数据采集：不小于8个流速测点同步测量（可单路测量，也可自选）；  5）数量：每套配旋浆流速仪10根；  6）通讯距离：不小于50m；  7）输出数据文件格式支持TXT文本文件格式和EXCEL（2003以上版本）格式文件；  8）配套客户端和数据采集软件。  1.2波高测量系统  技术指标如下：  1）测量范围：1～600mm；最大采样频率：1KHz；多档可调；  2）数据收集32通道（32传感器探头），可同步测量，同步时间误差＜lms；  3）数据传输：无线；无线通讯距离：＞100m；  4）精度：常温下＜0.3%FS；分辨率：优于0.1mm；  5）温度漂移：＜0.05%・FS/°C；  6）常年稳定性：≤0.5%・FS/年；  7）系统软件：采集数据显示：表格、曲线显示；数据分析：支持波形分析；数据输出：支持txt、csv多种格式。  1.3超声水位仪  可同步测量多点水位，配套数据釆集系统和LCD显示。技术指标如下：  1）量程：0～1.0m；8路波高同歩测量（8传感器探头），同步时间误差＜lms；采样率：50Hz；  2）测值精度：＜0.1% （根据实际量程）；分辨率：≤0.1mm。  1.4六自由度无接触运动测量系统  1）六自由度无接触运动测量系统由多个运动捕捉镜头和采集分析软件等组成，运动捕捉镜头通过对被测物体上上特定标志点的监视和跟踪来完成运动捕捉的任务。可计算出模型在空间范围内的位置、运动轨迹、速度、角度、加速度、角度加速度等所有运动学指标，应用该系统测试并获取实验物体在三维空间中的六自由度数据。  2）最大分辨率：不小于410万像素（2048×2048）；最大分辨率下的最大采集频率：不小于180Hz；采集频率可调节；视场角：不小于52°×52°；  3）可在软件中直接控制镜头的连接和断开，并可对动作捕捉镜头的帧率、曝光、阈值、亮度参数进行调节；操作软件需支持信创系统，可在国产系统软件下进行可视化操作，且通过国产信创软件认证。  4）在标定结束后，软件自动给出标定结果的评估意见，该评估意见应直观、定性，如“差、正常、好、非常好”等评级式意见。  5）可一键连续自动遮蔽场地内所有干扰噪点（即具备连续自动噪点遮蔽功能），同时也支持手动遮蔽操作。  6）可以语音控制软件采集数据等；如“连接镜头”、“断开镜头”等；同时，操作软件后可以听到电脑对应发出指定词，如开始播放等。  7）支持安卓终端系统的手机安装控制APP，无需经过PC、可直接与动作捕捉镜头通讯，支持通过APP对动作捕捉镜头进行参数调节（亮度、阈值、帧率等），支持灰度图的采集和显示；  8）支持通过软件直接连接视频摄像机及工业相机，实时显示当前场地中的场景，支持直接通过USB接口连接视频摄像机。  ▲9）软件支持一键创建三种海伦海耶斯模型，并且每种海伦海耶斯模型能够一次创建出动态和静态两种子模型。同时支持对录制的海伦海耶斯模型数据导出每段对应的质量数据文件**。**  ▲10）对于数据采集时因不可避免的环境遮挡而丢失的标志点（Marker）数据，可在软件后处理模式中一键修补完整，且该修补功能应提供两种修补模式。  11）对于数据采集时因环境等因素造成标志点（Marker）数据存在抖动的，当使用者有对数据平滑处理之需要时，可在软件后处理模式中一键平滑处理，且该平滑处理功能应提供两种平滑模式。  1.5压力采集仪  技术指标如下：  1）测量范围：0-20kPa；过载能力：1.2倍满量程压力；  2）工作温度：-40℃～+85℃； 精度：≤0.5%；最大压力测量通道数：16通道；  3）可实现数据同步集及分析；  4）采集频率不低于500Hz；传输方式：TCP/IP和 UDP，主板自带网口等通讯；与计算机连接后，利用对应数据处理软件，可进行数据传输、下载、计算、数据计算绘图等。  1.6多参数采集仪  1）开放式的模块化平台架构，提供各种自控单元(如PID、状态观察、模糊规则、特征参数模型、反馈线性化以及基本数学运算)，用户可通过图形化编辑构建被控对象的专属控制系统；  2）机箱材质采用高强度铝合金，阳极处理防腐蚀，IP65防护等级；内置32GB抗震固态硬盘(SSD)；  3）可在强振、高低温、高湿、电磁环境复杂等极限环境下工作，满足无人监守并能长时间不间断记录数据等苛刻要求，具备100g/(4±1)ms、-20℃～+60℃工作温度、50Hz工频磁场干扰下正常工作能力；  4）支持在线和离线两种工作模式无缝切换；通过线控装置或者面板按键即可完成开始与停止数据记录；支持语音同步记录和回放功能；  5）支持GPS/北斗功能，多台仪器之间同步采样，实现行驶速度测量、时间校准、经纬度定位等功能；  6）支持EID和TEDS智能识别功能；  7）桥路自检功能，能够准确判断桥路的短路、开路等故障。  8）通讯方式：千兆以太网和无线Wi-Fi通讯；  9）系统不低于8路应变信号和模拟量信号输入（无外挂适调实现）；双量程/通道：电压量程：±20mV～±10V，8档位分档设置，示值误差：≤0.3％；应变量程：±100000με；输入方式：GND、SIN\_DC、DIF\_DC、AC、IEPE；  10）四线制供桥，具备桥压自动校准功能；供桥电压：2V、5V、10V、24V分档切换；  11）每通道采用独立的24位A/D和DSP；频响范围：DC~100kHz，连续采样速率：256KHz，分档切换；  12）冷却方式：无风扇传导制冷；  13）锂电池供电，可边充电边工作；满电可连续工作4小时；  14）转速/计数器采集卡：不低于2通道：测量范围：30RPM～300000RPM，测量精度：小于0.05%±1转；支持正/反转，速度定时时间：1ms至60000ms内任意设定；  15）信号源卡：不低于2通道，输出电压:±10Vp，频率范围：0.1Hz～20kHz，DAC分辨率：24bit，频率分辨率：0.01Hz，信号类型：正弦定频、正弦扫频、方波、随机、猝发随机等；  16）CAN模块:不低于2通道，波特率：8000bps～1Mbps可选，数据源连续发送数据时，数据间隔不得低于100ms，通讯方式：单向CAN总线，可实现接收；  17）软件不设加密狗，可以部署在任意电脑或者终端使用；  18）数据超限报警，可自定义声音和颜色报警，可自定义数据上下限。  19）支持多种格式的数据输出，至少包含Excel、Matlab、Txt、UFF、bmp等格式输出，并具有重采样、截取、删除、合并功能。  20）基础采集分析模块  实时/事后采集分析参数设置、功能控制、数据浏览、光标读数、曲线缩放、数据管理及简单处理、报告输出等，支持长数据连续记录。  21）频谱分析模块  实时/事后频谱分析：支持实时谱、平均谱计算，线性平均、峰值保持、指数平均多种平均方式，幅值谱、有效值谱、功率谱、功率谱密度等多种幅值类型，具有 ZoomFFT 分析功能。  1.7超高分仿真计算系统  1）功能要求：  ①可搭载运行本次采购的多功能风浪流功能模块仿真计算软件及对应算例并行计算仿真，如：有限元分析软件模块，数值模拟软件等波浪、水文、水质、岸线演化模型的流体、结构、多物理场仿真；  ②支持风、浪、流模拟测控系统的Navier-Stokes方程求解器的GPU加速；  ③支持多程序同步运行、支持多用户共享使用。  ④支持3D复杂网格的高速生成计算；  ⑤支持视频(高清/4K/8K)和照片（超高分辨率文件格式的媒体播放器：MPEG-x，H26x，JPEG，GIF；  ⑥支持基于超高分大屏下的浏览器（Chrome、IE、Firefox等）打开网页；  支持科学计算可视化软件运行；  ⑦支持开机即用；  稳定性要求：系统运行无死机、蓝屏、重启现象。噪音控制：全核运算状态下，机器噪音控制在45分贝以内；达到办公环境静音要求。  ⑧支持硬件虚拟化功能，开启后针对硬件识别码的软件可实现软件统一注册，大幅度降低激活软件带来的工作量；  ⑨提供系统操作日志功能，可独立查看管理日志和用户日志（包括操作内容，操作者，操作时间，登录主机IP，操作对象等），便于管理员精确定位操作记录，可设置日志的保留时间，如一个月，一年，永久等，支持对日志文件的备份，包括立即备份和自动备份，可设置自动备份周期、备份时间、备份文件保留数量。  2）流体、结构、多物理场仿真系统要求：  ①几何操作：支持二维草图绘制、三维实体创建及编辑；支持模型修复功能；支持导入dxf（二维、三维）文件；支持导出Parasolid(\*.x\_t)、 STL格式的几何文件；几何建模工具（曲线、曲面、实体、布尔运算、扩展、旋转、扫描、放样、镜像、脱壳、倒角）。  ②材料本构：各向同性材料：支持线弹性、弹塑性(屈服准则：Von Mises以及形状记忆合金)、超弹性(如橡胶)、蠕变、温度依存等材料定义；超弹性材料模型支持：Mooney-Rivlin、Neo-Hookean、多项式、Ogden、Blatz-Ko等；2D、3D正交异性材料：支持线弹性、温度依存等材料定义；3D各向异性材料：支持线弹性、温度依存等材料定义；支持中国及其他国家和地区规范的材料数据；材料数据库可自定义新增。  ▲③具备设计变更自动更新功能，当CAD模型修改后，能根据几何颜色等属性信息自动继承并复用所有已定义的载荷、边界条件与接触设置，实现多方案快速迭代。支持多核并行处理生成网格，支持自动生成四面体或混合网格。具备2D网格重划分功能。针对大型装配体，能自动搜索并定义部件间的接触关系。  ▲④分析功能：基本功能包括线性静力分析；模态分析；线性屈曲分析；二维和三维复合材料分析；高级结构功能包括：非线性静力；疲劳分析：优化分析：热传递/热应力分析；线性动力；多体动力学；非线性动力；复模态分析。高级流场功能包括：一般流体流动；流固耦合（FSI）；多相流（包括离散相（DPM）模型）；传热（流体、共轭）；动网格；组分传输等。  ⑤具备流体动力学（CFD）分析能力，支持湍流、多相流、动网格等。热分析支持传导、对流、辐射及共轭传热（CHT），可与结构进行热力耦合。 |