地震模拟振动台试验系统采购主要技术参数

**★（一）建设内容及基本要求**

本项目供货范围包括4m×4m三向六自由度地震模拟振动台试验系统1套。具体内容包括整套系统设计、制造、安装、调试及使用培训。

具体基本要求如下：

（1）本项目所采购的货物为4m×4m三向六自由度地震模拟振动台试验系统，主要包括：振动台台面、电液伺服作动器、液压油源和管路系统、控制系统以及其他配套设施等。该系统将和现有多通道电液伺服加载系统构成大型抗震研究试验平台，为设备、结构、建筑的疲劳、振动和抗震试验研究提供技术支持。

（2）中标人应根据采购人现有的场地条件进行设计、加工、制造招标文件中所要求的所有设备，并将整套设备运输、卸货并安装于采购人指定地点。

（3）采购人将为中标人提供工程建设必须的资料。

（4）投标人应提供所采购整套设备的具体技术实施方案、设计与施工文件、采购货物清单等项目建设全过程资料。

（5）中标人应按照招标文件要求负责从项目设计、设备运输、设备安装到设备终验收的所有建设任务，并以“交钥匙”方式交付整套可正常运转的全新设备。

（6）系统整体技术水平应先进、可靠、稳定；投标货物制造标准、安装标准、技术规范等相关标准应齐全且完整。

（7）设备应有较高的知名度，在全球范围内具有良好的用户口碑。

（8）控制系统应采用先进、实用的控制方式，投标人应针对所投系统运用情况提供演示光盘，展示系统的功能性、先进性以及实用性。

（9）投标人针对本项目的系统设计方案合理，系统完整，系统先进。

（10）对投标设备制造商的要求

1）投标设备制造商在中国必须有独立办事机构和为该系统设立专门售后维修服务人员。

2）投标设备制造商完应具有从事所做技术工作的资质（如设计、制造、安装等）。所有设计、制造及安装工作应按本合同规定的技术要求及相关的国际和中国的技术规范要求进行。设备安装应按中国机电设备安装相关规范进行。

（11）本项目的质量保证期至少1年。

**★（二）技术规格与要求：4m×4m三向六自由度地震模拟振动台试验系统主要技术参数**

（1）台面尺寸：4m×4m

（2）控制自由度：3向6自由度

（3）最大模型质量：≥20ton（所有工作频段范围内）

（4）台面自重：约14ton

（5）最大倾覆力矩：≥600kN·m

（6）工作频段：0.1～50Hz

（7）台面满载最大加速度：X/Y：1.5g；Z：1.3g

（8）台面正弦波振动最大速度：X/Y：1.5m/s；Z：1m/s

（9）台面最大位移：X/Y：±0.3m；Z：±0.25m

（10）允许不小于20%过载能力

（11）台面空载最大加速度：X/Y：≥3g；Z：≥2.5g

**（三）主要配置及要求**

**设备清单**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 名称 | 主要规格 | 数量 |
| 1 | 台面 | 台面上表面应预留螺栓孔，间距（≤500mm）。台面平整度优于±0.5mm/m；台面孔位、孔径误差不超过0.2mm；台面外形尺寸误差不超过2mm。台面分别配有至少11个加速度传感器，且满足系统监测要求。 | 1部 |
| 2 | 水平液压作动器 | 动态行程≥± 300mm。配置高频响三级伺服阀。位移传感器。紧密耦合蓄能器。 | 4部 |
| 3 | 垂向液压作动器 | 动态行程≥± 250mm。配置高频响三级伺服阀。位移传感器。紧密耦合蓄能器。 | 4部 |
| 4 | 液压源及硬管路 | 工作压力：21MPa。总流量≥1200LPM。液压管路布局根据实验室设计，满足不低于1800LPM流量需求。 | 1套 |
| 5 | 全数字控制系统 | 全数字控制器必须采用MVME总线技术振动台控制系统闭环控制速率≥6kHz。实时控制闭环迭代速率：≥1kHz。数据采集频率：≥100KHZ。具备位移、速度和加速度等三参量控制方式。具备自动调谐功能。具有非迭代的基于非线性和实时变化的试样动态实时补偿模块。 | 1套 |
| 6 | 蓄能器及支撑 | 蓄能器组，规格≥2300L。提供台面支撑系统，与台面规格匹配。 | 1套 |
| 7 | 强度测试装置 | 主机额定承载力10000kN，允许过载量5%。试验机精度等级1级，测量范围1%～100%。丝杠间净距离：1100mm×900mm。 | 1套 |
| 8 | 反力支座及预埋件 | （1）提供振动台使用的全套反力支座并安装，及1套不高于3米侧向力加载反力架；（2）提供振动台所需要的预埋件制作并安装安装，预埋件支持未来可拆卸反力架的安装，可结合振动台完成振动台子结构混合仿真试验；（3）反力支座性能要求：满足≥50HZ试验频率，以及最大1.5g加速度（满载时）的使用要求。 | 1套 |
| 9 | 冷却系统 | 提供系统配套的冷却系统，保证系统工作时液压油在40-45摄氏度的最佳工作温度。 | 1套 |
| 10 | 配套高分辨率电荷放大器 | 电荷采集仪可同时采集8个通道的电荷信号。电荷采集量程：±1000pC至±10000000pC(量程可在区间内任意可调)。电荷测量线性度误差：±0.05%FSO。 | 1套 |
| 11 | 配套数据采集系统 | 数据采集系统通道数：≥128通道。数据采集频率：≥6KHZ。具备24位A/D转换。 | 1套 |
| 12 | 备品备件及工具 | 作动器密封元件 4套保险丝 1套液压系统滤芯 2套加速度计 1套系统安装调试及检修工具 1套。 | 1项 |

**1、4m×4m三向六自由度地震模拟振动台试验系统台面**

（1）中标人需要提供台面设计图及设计计算书、焊接制作技术方案、运输技术方案和安装调试方案等供最终用户组织技术评审。台面上表面应具有硬度高、耐磨、耐腐蚀等特点，投标时应提供具体的设计说明。台面应分别配有至少11个加速度传感器，且满足系统监测要求。

（2）台面上表面应预留螺栓孔，其孔径（≥M27×3.5mm）和间距（≤500mm）由中标人设计并核实确认。台面平整度优于±0.5mm/m；台面孔位、孔径误差不超过0.2mm；台面外形尺寸误差不超过2mm。台面应采用≤65 厘米方形单元格的蜂窝式钢结构设计，且应保证为台面具有质轻，高刚度，高固有频率特点。整个外表面用护板覆盖以提供高抗弯曲和扭转刚性。台面与基础之间应设置防护装置，以防重物掉落并提供人行通道。

**2、4m×4m三向六自由度地震模拟振动台试验系统水平电液伺服作动器总成 4套**

（1）4m×4m三向六自由度地震模拟振动台试验系统全配备疲劳级动态作动器，每套作动器总成应包括三级伺服阀、传感器、球铰、液压缓冲垫等基本附件。作动器的工作行程、静态和动态能力、伺服阀、传感器、连接、支承等应能够完全满足多功能地震模拟振动台试验系统各项性能指标要求。动态行程≥±300mm。

（2）所有作动器各部件的设计应按疲劳强度无限寿命设计，所有轴承材料应在整个使用期内免维护。作动器应有足够强的抵抗侧向力的能力（横向自振频率要尽可能高），作动器内部摩擦力应接近于零。作动器缸筒内应设有防撞击的合适长度的缓冲垫，以防在失控状态下损坏作动器。外观简洁、精致、不应出现明显的瑕疵。

◆（3）作动器作为振动台系统中重要的组成部分，应采用集成的成熟配套产品（作动缸、伺服阀、球铰等均应为同一制造商制作）。投标文件中需注明作动缸、伺服阀和球铰的具体型号、规格及制造商全称，并提供公开发布的产品资料并加盖投标人公章。

（4）作动器配置的伺服阀流量≥600LPM，固有频率≥80HZ，使用温度范围优于：-50摄氏度-120摄氏度，导孔级过滤3 微米，并提供公开发布的产品资料并加盖投标人公章。

◆（5）为满足实验室现有空间，作动器需采用V型布局方式。投标时需提供方案说明并加盖投标人公章。

**3、4m×4m三向六自由度地震模拟振动台试验系统垂向电液伺服作动器总成 4套**

（1）4m×4m三向六自由度地震模拟振动台试验系统全配备疲劳级动态作动器，每套作动器总成应包括三级伺服阀、传感器、球铰、液压缓冲垫等基本附件。作动器的工作行程、静态和动态能力、伺服阀、传感器、连接、支承等应能够完全满足多功能地震模拟振动台试验系统各项性能指标要求。动态行程≥±250mm。

（2）所有作动器各部件的设计应按疲劳强度无限寿命设计，所有轴承材料应在整个使用期内免维护。作动器应有足够强的抵抗侧向力的能力（横向自振频率要尽可能高），作动器内部摩擦力应接近于零。作动器缸筒内应设有防撞击的合适长度的缓冲垫，以防在失控状态下损坏作动器。外观简洁、精致、不应出现明显的瑕疵。

◆（3）作动器作为振动台系统中重要的组成部分，应采用集成的成熟配套产品（作动缸、伺服阀、球铰等均应为同一制造商制作）。投标文件中需注明作动缸、伺服阀和球铰的具体型号、规格及制造商全称，并提供公开发布的产品资料并加盖投标人公章。

（4）作动器配置的伺服阀流量≥600LPM，固有频率≥80HZ，使用温度范围优于：-50摄氏度-120摄氏度，导孔级过滤3 微米，并提供公开发布的产品资料并加盖投标人公章。

**4、4m×4m三向六自由度地震模拟振动台试验系统液压油源和管路系统**

◆（1）当液压油源工作压力为21MPa时，液压油源总流量≥1200LPM。投标人应明确所提供油源的工作压力。本次采购的液压油源具有与用户现有的多通道电液伺服加载系统的600 LPM静音型液压油源共用的能力，满足大型抗震研究试验平台建设需要。液压系统不得有渗漏油现象。

（2）为减少室内噪音，提供良好的试验环境，本次采购货物中的液压动力源为静音油源，并提供噪音控制方面所采取的先进技术措施及相应证明材料。投标人应提供油源在不同油泵单元满负荷工作状态下油源周围1米处的噪音声级资料，单台油源满负荷工作时距离油源1米四周噪音不超过72分贝。提供油源工作时噪音水平不超过72分贝的相关证明材料。

（3）液压油源应采用恒压输出油泵，并可根据试验实际需要的流量，智能的自动调节各个泵组的开与关。液压油源应符合国家相关标准（安全及环保标准）.液压系统生产应符合规范，必须达到ISO4406 16/13/10污染度标准。保证清洁度以及长久使用稳定性。油源连续正常工作时间≥1000小时。

◆（4）振动台系统液压油源将与多通道电液伺服加载系统共用，应具有切换阀和相应的部件。液压油源系统应具有抑制液压脉动功能。液压油源应具有油源温度、压力、液位、滤油器故障等指示和声光报警应急处理功能。液压油源具有应急停按钮，在紧急时刻可以停止所有油泵的工作。液压油源系统具有自动监控油温、油压等功能；液压油源系统应具备电流尖峰消除技术。投标时需提供公开发布的共用方案说明并加盖投标人公章。

（5）本次采购的液压油源应提供满足系统正常使用的足量液压油。考虑到油源共用，为保证提供的≥4000L液压油与试验室现有油源（美孚DTE 25-抗磨液压油）以及硬管路中的液压油油质相同，投标时至少应明确所提供的液压油的品牌。

（6）有关液压分配系统管道的长度、泵房位置以及管沟大小等，投标人应根据采购人提供的振动台平面布置图提供所需的硬管总成，硬管应满足振动台系统额定工作状态下对油压、油量等要求。投标人应根据液压泵源位置和用户使用便利，对硬管走向、接出方式提出方案和要求，并与用户进行技术协调。中标人全权负责硬管系统的安装和调试。投标人应提供详细的油源尺寸布局图，确保与试验室提供的油源间匹配。

**5、4m×4m三向六自由度地震模拟振动台试验系统控制系统**

（1）控制系统对振动台进行控制时，应实现加速度模式和位移模式，以及多自由度控制，且都应包括正弦等周期波、地震原波或压缩波、人工合成波的控制。控制系统要求具有离线迭代（Off-line）和在线（On-line）补偿两种控制功能。控制系统应具有非常方便的控制操作界面，并且可以方便地开窗显示各类数据参数（方便地对振动台的主振加速度和位移、横向加速度或位移进行分别或同时显示）。系统应具有完善的保护功能，控制系统应能方便地设置各类安全保护参数，并能及时显示各类危险警示。应配备合适容量的UPS不间断电源，保证停电后控制器及计算机续电能力≥1小时。控制系统应具有与其他数据处理软件进行联系的外接接口。控制系统能够在每次试验步骤开始瞬间，通过输出口输出多个同步信号给另外一台数据采集系统（试件信号采集）作为同步信号，至少提供4个同步信号触发和采样通道。控制系统应可接受外部控制信号。出现意外时控制系统应能及时警示，并跳出合理操作提示，使振动台系统自动平稳停止。振动台控制系统应预留相应的至少2个备用控制通道。在进行随机波试验时，应具有改善系统和试验件响应的功能。

◆（2）全数字控制器必须采用MVME总线技术，且为控制系统具有优越的抗冲击、噪声低、带宽高等特点。投标时需提供公开发布的产品资料并加盖投标人公章。

◆（3）具备位移、速度和加速度等三参量控制：在整个工作频率范围内，对所有自由度，应能同时进行 D、V 和A 的闭环控制. 以上需提供相应测试软件截图并加盖投标人 公章。

◆（4）控制系统允许非迭代的基于非线性和实时变化的试样动态实时补偿。具备自动调谐功能：能够实时实现高精度控制以及闭环回路控制。以上需提供相应证明案例以及截图，并加盖投标人公章。

（5）地震数字式控制系统应提供高级图形用户接口或 GUI（图形用户界面）。实时控制系统至少应满足如下要求：

（a）自由度控制；

（b）倾覆力矩及偏心力矩的自动补偿；

（c）压差稳定控制；

（d）力平衡控制；

（e）几何交叉耦合补偿；

（f）自适应控制补偿；

（g）幅值相位控制、自适应去谐波控制；

（5）提供控制分析系统，且至少满足如下功能要求：

（a）地震和其它振动试验的系统设置功能；

（b）进行地震模拟和其它振动试验的能力；

（c）数据采集功能，通道数不少于16通道，可以采集应变，位移，速度，加速度等信息；

（d）频谱分析、时域分析、概率分析、模态分析等功能；

（e）加速度信号转换成位移信号的批处理功能；

（f）多自由度控制功能；

（g）迭代功能；

（h）从台面试验试件上拾取加速度信号并参与反馈控制功能；

（i）人工造波功能（时域和频域）；

（j）具有地震工程界公认的著名地震波数据库，并有今后扩充数据库的功能；

（k）文件管理功能（存储、编辑、打印、多种文件格式转换等功能）；

（l）采集数据图形生成、存储、打印等功能；

（m）提供编程环境，具有系统实时编程能力。

★（6）本次采购的振动台控制器应能够和实验室现有的多通道电液伺服加载系统的控制器进行实时数据交互，保持时钟同步；或增加相应的设备实现子结构地震混合仿真试验及边界约束条件。

◆（7）为了保证高闭环控制速率和地震模拟试验高频响特性，控制系统数据采集频率≥120kHz。振动台控制系统闭环控制速率≥6kHz。

（8）反馈信号采样分辨率：≥18 位。信号输出分辨率：≥16位。反馈信号采样率：≥100KHz，存储频率：≥200Hz。实时控制闭环迭代速率：不低于1kHz。信号输出频率范围：0.01Hz~100Hz。伺服控制方式：全数字闭环控制。控制器系统静态误差：≤0.5%FS。系统安全极限检查周期：≤1ms。加载波形：正弦、斜波、方波、自定义波形等。闭环控制反馈数据采集通道：每通道系统数字调理回路不得低于3路; 每个控制通道的力和位移反馈输入接口插座和伺服阀输出接口插座应集成在同一块硬件电路卡和接口面板上。每路闭环控制通道应具有至少2路载荷反馈和1路位移反馈通道，反馈通道不与其它通道复用。数字调理器信号类型：对直流型和交流型信号进行调节,可以定义为半桥型、全桥型载荷传感器、LVDT或直流型位移传感器、应变、温度以及输出为高低电平的其他类型传感器信号。

（9）数字调理器功能：能够为每路接入传感器提供激励电源，并能够自动补偿控制传感器上的激励电压，具有激励失效检测功能，当出现激励失效时显示提示信息，同时能够及时输出控制信号，切断液压子站，停止试验。直流激励（桥压）：10V平稳的恒压电源；每个通道配置独立的激励源，具有长导线修正补偿。交流激励：峰值10V的稳定电源，每个通道配置独立的交流激励电源。导线连接：提供激励电压长导线自动补偿功能，用于精准控制传感器上的激励电压。控制器校准：支持多种校准方法（双向分流校准、灵敏度校准、电压校准等）。伺服阀驱动器通道：8通道，支持±100mA以内电流信号和±10V以内电压信号，无极可调。控制模式：每个控制通道能够根据试验需要定义为载荷、位移、压力、角度、扭矩等不同控制模式，并且控制模式能够任意切换，无系统冲击。一项试验中有多个加载点时，实现多通道协调加载。系统供电要求：AC220V；50Hz自适应；具有短路、漏电及过载保护装置。

（10）混合仿真试验系统：本系统采用计算机模型以数字方式模拟结构周围结构的物理影响。通过实时混合模拟技术综合了虚拟测试和物理测试的优点，通过高级算法将物理测试数据和虚拟模型数据融合到统一的模拟过程中，系统支持OpenSee及OpenFresco控制处理的软件。

◆（11）提供正反演算模型（含全套电液伺服系统、台面以及理想刚度试验件），在离线状态下，针对系统响该模型应可进行仿真和计算。需提供演算模型截图，并加盖投标人公章。

**6、蓄能器组**

（1）提供系统所需要的蓄能器组，规格≥2300L。

（2）提供台面支撑系统，与台面规格匹配。

**7、配套强度测试装置**

 （1）主机额定承载力10000kN，有效行程300mm。允许过载量5%。系统精度等级1级，测量范围1%～100%。上下压盘间距离≥6000mm，压缩夹具压盘尺寸：≥1000mm×1000mm。油源采用压力随动技术，风冷却循环。主缸空载速度≤50mm/min。系统可以脱机使用，即在控制系统失效时也可进行加载试验。

**8、配套反力支座及预埋件**

（1）提供振动台使用的全套反力支座并安装，及1套不高于3米侧向力加载反力架；提供振动台所需要的预埋件制作并安装，预埋件支持未来可拆卸反力架的安装，可结合振动台完成振动台子结构混合仿真试验；反力支座性能要求：满足≥50HZ试验频率，以及最大1.5g加速度（满载时）的使用要求；

（2）提供振动台配套使用不小于3米侧向力加载反力架，可结合振动台完成振动台子结构混合仿真试验；配套反力支座需要满足4m×4m三向六自由度地震模拟振动台试验系统性能需求，保证振动台在最大功率运行时不对周围建筑及办公室等产生影响，满足国家相关隔振规范。

**9、冷却系统**

（1）提供系统配套的冷却系统，保证系统工作时液压油在40-45摄氏度的最佳工作温度。

**10、配套高分辨率电荷放大器**

（1）电荷采集仪可同时采集8个通道的电荷信号；电荷测量线性度误差：±0.05%FSO

；电荷采集量程：±1000pC至±1000 0000pC(量程可在区间内任意可调)；电荷衰减器：电荷衰减比例1000:1，衰减器精度优于±1%，绝缘阻抗优于10^13欧姆；电荷采集分辨率：24位ADC；最高采样频率：100ksps（可调）；电荷放电时间常数：长时间常数最高100000s，短时间常数1.3s；电荷准静态测量能力：＜0.0000016Hz；电荷漂移（准静态时）：≤±0.1pC/s；通道间串扰：＜0.5pC；输入接口：BNC母头；具备数字滤波功能。电荷采集/处理系统包含实时电荷数字/曲线显示、可对数据进行数学运算、微积分、频谱、数字滤波等，可对曲线进行分割、处理并且导出ascll/excel等格式数据。

**11、配套数据采集系统**

（1）数据采集系统通道数：≥128通道；连接接口：RJ-45；独立站台数：≥4；数据采集频率：≥6KHZ；具备24位A/D转换；激励：0.5V, 1V, 2V, 5V, 7.5V, 10V；数据采集系统与振动台控制系统可实现实时数据通讯。

**12、备品备件及工具**

在投标文件中列出备品备件清单，供货时提供一套备品备件，规格数量不少于以下：

作动器密封元件 4套

保险丝 1套

液压系统滤芯 2套

加速度计 1套

系统安装调试及检修工具 1套。

**★（四）系统检验性能指标**

（1）加速度噪声电平RMS值≤0.01g。

（2）在20%和80%额定动载和惯性负载作用下，不采用迭代时，台面各向的加速度波形失真（在工作频率范围内）均小于10%。

（3）正弦振动（20%和80%额定动载，惯性负载），不采用迭代时，台面各向的位移波形失真度≤5%。

（4）在振动台面上主振方向加速度不均匀度，任意三点相互差值≤10%（空台）。

（5）在正弦扫描下，没有迭代补偿的振幅数据和给定值误差≤10%，迭代补偿后的误差小于5%（惯性负载）。

（6）反应谱包络误差：在采购人和中标人认可的弹性负载作用下，振动台台面输出的试验加速度反应谱曲线（TRS）与要求（振动台输入）反应谱曲线（RRS）包络误差：在不迭代时，≤10%；迭代后（在一般情况下迭代次数≤3次）不允许下包，且二者面积比≤110%。

（7）功率谱再现精度（PSD）：在双方认可的弹性负载条件下：不迭代时，要求（振动台输入）功率谱（RPSD）与振动台台面输出的试验功率谱（TPSD）的面积比≥80%，迭代（在一般情况下迭代次数≤3次）后，≥95%。

（8）地震波再现精度：在惯性负载和双方认可的弹性负载作用下，在迭代前最大的幅值误差小于15%，相关系数大于85%；2次迭代后幅值误差小于5%，相关系数大于95%。

（9）频率控制精度：在0.1～50Hz范围内以80%的额定加速度振动，各种波形的频率控制误差≤0.5%（惯性负载）。

（10）连续运行性能：在正弦振动时，在30分钟内加速度幅值偏移误差<2%（惯性负载）.

（11）系统响应曲线：在使用频率范围内，系统加速度频率响应曲线不均匀度≤±1.5db（惯性负载）（经AIC—Adaptive inverse control、OLI—On line iteration）。不经AIC、OLI控制在≤±3.0db（惯性负载）。

（12） 冲击加速度：系统必须具备软启动功能，启动时各向冲击加速度峰值≤0.05g（空台，惯性负载）。

（13）激励波强度：系统传递函数确定时的工作荷载下激励波（白噪声）幅值强度<0.1g；设备试验（非结构试验）构件的模态确定时，采用的激励波（白噪声）强度<0.15g。

（14）系统各向最大功能曲线检验（30%惯性负载和最大惯性负载），应满足要求。

（15）振动台系统连续工作时间≥8小时。

（16）系统单向最大功能曲线检验（惯性负载下）应满足最大位移、最大速度和最大加速度性能指标。

（17）运动重复性检验：以迭代后满足精度要求的驱动信号在24小时后再次驱动振动台系统，响应信号仍然需要满足精度要求。

（18）控制系统应能够为外部数据采集系统提供一路同步信号（即兼容外部数采并同时触发采样）。

（19）液压系统与试验室现有液压动力源兼容性验收。

（20）液压硬管路系统与试验室现有液压硬管路兼容性验收。

（21）与试验室现有拟动力试验系统控制系统兼容性验收。

（22）最大模型质量验证：≥20ton（所有工作频段范围内）

（23）工作频段验证：0.1～50Hz

（24）满载最大加速度验证：X/Y：1.5g；Z：1.3g

（25）正弦波振动最大速度验证：X/Y：1.5m/s；Z：1m/s

（26）允许不小于20%的过载能力

（27）最大位移验证：X/Y：±0.3m；Z：±0.25m

（28）台面空载最大加速度验证：X/Y：≥3g；Z：≥2.5g