第五章　招标项目服务、商务及其他要求

1. 项目标的

本项目的标的为研制一套超快激光微细加工技术平台。要求乙方在甲方设计方案的基础上，根据甲方技术条件，开展超快激光微细加工技术平台的方案优化、详细工程设计与研制，并组织完成项目验收，验收合格后提供甲方。

2. 研制内容

本项目乙方承担内容主要包括：

（1）工程设计：乙方根据甲方的设计要求，开展超快激光微细加工技术平台的工程设计，工程设计方案必须经甲方签字确认。

（2）加工制造：乙方根据经甲方确认后的工程设计方案，进行超快激光微细加工技术平台的制造、装配及调试。

（3）工业设计：乙方负责对机床整体开展工业设计，工业设计需按照甲方配色要求和标识要求开展，经甲方确认后方可实施

（4）预验收：乙方负责组织（甲方参加）开展预验收工作，预验收内容包含终验收全部内容。

（5）终验收和交付：按合同规定时间节点，完成超快激光微细加工技术平台的交付和文档材料交付（包含但不限于方案、数模、说明书、维修手册等必要的技术资料）。

乙方交付甲方的具体清单如表 1 所示，并要保证其技术指标能达到表 2 要求。

表 1 交付产品清单

	产品	数量	备注
★	超快激光微细加工技术平台	1 套	成套交付
★	软件	1 套	安装盘
★	三维数模（外观展示级）	1 套	电子版
★	合格证、说明书、维修手册及其它必要技术资料	1 套	纸质版和电子版同时提供

表 2 超快激光微细加工技术平台要求

	项目	技术要求	产品交付验收方法
★	加工能力	具有数字振镜扫描功能与三轴联动轨迹插补扫描，可实现金属的微细结构特征减材成形	功能验证
★	特征样件加工	加工孔最小直径≤10μm；加工缝最小宽度≤10μm	加工样件实测
★		小孔深径比≥5:1@φ300μm	加工样件实测
★		最小刻蚀深度≤0.5μm	加工样件实测
★		加工速度：≤60s@φ0.01mm & h=0.01mm，316L	加工样件实测
★		样件特征点（圆心、方块中心、两边线角点等）加工定位精度≤±10μm（或≤20μm）	加工样件实测
★		具备零件位置检测功能，可自动测量零件必要特征尺寸，自动实现零件特征加工	功能验证，与样件特征点加工同步验收
★	紫外光	紫外光激光器输出最大平均功率≥10W	实测或第三方测试

	激光器		报告
★		功率稳定性<1.5%rms，5 次连续工作 10 小时	实测或第三方测试报告
★		输出脉冲宽度稳定性：<1.5% rms，5 次连续工作 10 小时	实测或第三方测试报告
★		脉宽<300FS	实测或第三方测试报告
▲		最大脉冲能量≥100uJ	实测或第三方测试报告
★		可控制单脉冲输出，最大重复频率≥200KHz	实测或第三方测试报告
▲		光束质量 M^2 ≤1.4	实测或第三方测试报告
▲		配备水冷机，指标与激光器使用要求相匹配	功能测试
★	光路系统	光路系统满足全部功能要求	功能测试
▲		采用介质膜反射镜	产品说明
▲		远心场镜透光率≥96%	产品说明或实测
★	旋切光学扫描头	旋切光学扫描头满足相关技术要求	产品说明或实测
▲		旋切光学扫描头满足附加功能	功能测试
★	X/Y/Z 轴加工范围	300mm（X）×200mm（Y）×200mm（Z）	实测

★	X/Y/Z 轴运动精度	定位精度≤±1μm（或≤2μm），重复定位精度≤±0.5μm（或≤1μm），最大速度≥50mm/s	实测，集成后按照单轴验收精度（依据国标）
▲	XY 轴垂直度	≤5”	实测
★	工作台	工作台净负载≥15kg	实测
★		工作台面均布螺孔阵列：M6×10，间距 40mm×40mm	实测
▲		配备负压吸附工装，工装平面度≤3μm，机床自带负压发生器	功能验证+实测
★	图像识别测量	测量精度≤±0.5μm（或≤1μm）	实测
▲		图像识别视场范围≥φ5mm	实测
★	自动寻焦功能	通过 Z 轴自动调整实现自动寻找产品加工表面与激光焦点的位置，并可对找正后的数据进行自动存储	功能验证
★		重复对焦精度≤±0.5μm（或≤1μm）	实测
★	防尘功能	激光静态光路防尘	功能验证
★		激光动态光路防尘	功能验证，Z 轴运动段
★	除尘功能	平台加工状态环境封闭，可抽气除尘，过滤精度 0.3μm-1μm，过滤率效率 99%	除尘设备能力证明
★		除尘设备噪音低于 77dB	实测
★	辅助参	系统相关的气、液压力与环境温湿度自	功能验证

	数监控	动监测与报警	
★	吹气功能	可实现程控吹气，并可检测气压，当气压偏离设定值时产生报警	功能验证
★	实时显示	加工区域可显微成像实时显示；激光参量、数控系统参数、故障诊断信息等实时显示功能	功能验证
★	隔振要求	采用气浮隔振等隔振设计，能有效隔振减振	功能验证
★	机床噪声	机床工作状态噪声≤70dB	实测
★	电源接口	220VAC/10A 或 380VAC/50A	功能验证
★	气源接口	0-0.8MPa 压缩空气接口	功能验证
★	切换功能	振镜与旋切光路之间能够自动切换（或者手动一键切换）	功能验证
★	软件	能够执行数控系统的标准 G 代码	功能验证
★		加工过程相关的主要工艺参数（如激光器脉冲参数、振镜扫描速度等）可在程序中设定	功能验证
★		可直接导入 CAD 制作的 DXF 图形进行加工	功能验证
★		产品交付 1 年内提供两次免费软件升级服务（按照甲方要求改进软件）	软件升级
▲	使用寿	使用寿命≥10 年	易损件除外

	命		
▲	维修性	平均修复时间≤10 日；平均预防性维修时间≤2 日；最大修复时间≤30 日；检测周期 2 年	维修手册
★	可靠性与安全性	具有监测功能，故障报警功能，电流或电压过载保护及自动停机功能，镜头防撞功能、安全防护、紧急状态处理、报警等功能等	功能验证
★	运输要求	系统主体部分可整体包装、运输	功能验证
★	工业设计	按照甲方配色要求和标识要求开展	方案经甲方确认
★	三维数模	三维数模电子版（通用格式或 UG 格式）	能够实现平台系统外观层面的全方位展示
★	质保服务	整机质保一年	含激光器、光路元件等
▲	知识产权	许可甲方后续在非民用商业领域长期免费使用该装备知识产权	项目合同中承诺

注：标★项目必须达到，标▲项目是重要考核项，需尽量满足。

2. 技术要求与指标

3.1 功能要求

（1） ★主要功能：具有数字振镜扫描与3轴联动轨迹插补扫描功能，可实现金属的微细结构特征减材成形；

（2） ★激光器稳定性：激光器输出平均功率、脉宽、重复频率稳定；

（3） ★设计图导入加工功能：可直接导入CAD制作的DXF图形进行加工实验；

（4） ★能够执行数控系统的标准G代码；加工过程相关的主要工艺参数（如激光器脉冲参数、振镜扫描速度）可在程序中设定。

（5） ★自动定位功能： 具备零件位置检测功能；

（6） ★自动寻焦功能：可以实现激光焦点的自动找正，并可对找正后的数据进行自动存储；

（7） ★重要防护：光路有效封装防尘，加工区域产生的微细粉尘抽气过滤除尘，减少人员伤害和环境污染；

（8） ★辅助参数监控：系统相关的气、液压力与环境温湿度自动监测与报警；

（9） ★吹气功能：可实现程控吹气，并可检测气压，当气压偏离设定值时产生报警；

（10） ★实时显示功能：加工区域可显微成像实时显示；激光参量、数控系统参数、故障诊断信息等实时显示功能；

（11） ★隔振要求：设备应具较好的隔振或减振措施；

（12） ★运输要求：平台主体部分可整体包装、运输。

3.2 主要技术指标

3.2.1 激光器

a) ★输出最大平均功率≥10W，功率稳定性<1.5% rms，5次连续工作10小时；

b) ★输出脉冲宽度稳定性：<1.5% rms，5次连续工作10小时；

c) ★可控制单脉冲输出，最大重复频率≥200KHz。

3.2.2 运动系统

a) ★X/Y/Z轴加工范围：300mm×200mm×200mm，最大运动速度≥50mm/s；

b) ★X/Y/Z轴运动精度：定位精度≤±1μm（或≤2μm），重复定位精度≤±0.5μm（或≤1μm）；

c) ★工作台净负载≥15kg；

d) ★工作台面均布螺孔阵列：M6×10，间距40mm×40mm。

3.2.3 电源与气源

a) ★电源接口：220VAC/10A或380VAC/50A电源接口；

b) ★气源接口：0-0.8MPa压缩空气接口。

3.2.4 工艺能力

a) ★加工孔最小直径≤10μm；加工缝最小宽度≤10μm；

b) ★深径比≥5:1@孔径300μm；

c) ★最小刻蚀深度≤0.5μm；

d) ★样件特征点(圆心、方块中心、两边线角点等特征)加工定位精度 ±10μm；

e) ★加工速度：≤60s@φ0.01mm & h=0.01mm；

工艺能力以加工样件方式验证。

3.2.5 寿命要求

▲使用寿命≥10年。

3.2.6 维修性

a) ▲平均修复时间≤10日；

b) ▲平均预防性维修时间≤2日；

c) ▲最大修复时间≤30日；

d) ▲检测周期2年。

3.3 参考技术方案

（允许在此方案基础上优化）

超快激光微细加工技术平台主要包括底座、光路系统、运动系统、控制系统和除尘系统等。由于控制系统和除尘系统产生的振动可能影响平台加工精度，所以其与机床主体分开放置。

超快激光微细加工技术平台采用铸铁(或钢结构)与大理石结合的底座结构，其上安装光路系统，产生并传输超快激光聚焦于一个微点用于产品的加工。运动系统由X、Y、Z三轴组成，其中XY轴运动模组为“十字”布局，为产品加工工位；Z轴单独立放，用于光路系统的初始对焦。控制系统主要完成各项人机交互和运动控制功能，除尘系统主要用于加工区域的环境除尘。

★机床工作状态噪声≤70dB（除尘设备暂停工作时测量）。

3.3.1 底座结构

★超快激光微细加工技术平台底座为铸铁(或钢结构)和大理石的混合结构。铸铁结构（或钢结构）位于机床下部，制造后作充分的去应力处理。铸铁（或钢结构）下部安装减振垫铁，铸铁（或钢结构）与大理石结构之间安装空气弹簧。

大理石各部件结构之间采用螺栓进行连接固定。光路系统及运动系统均安装于大理石结构之上。

▲底座结构之上不安装除必要的运动机构之外的可能产生振动的结构与零部件。

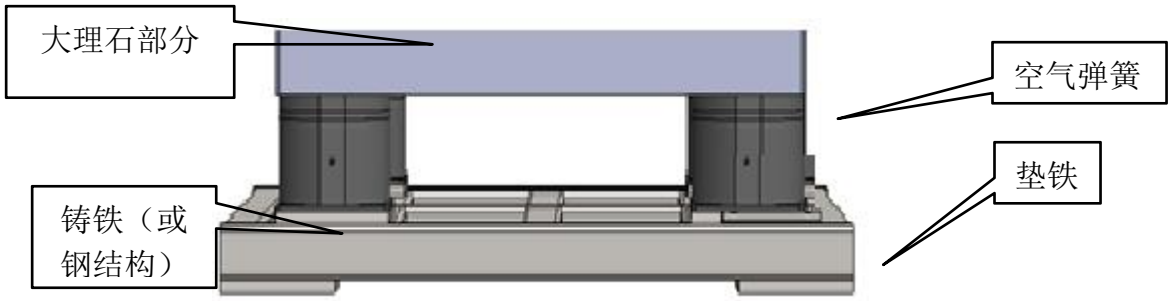

图 1　　底座结构示意图

超快激光微细加工技术平台的减振主要依靠减振垫铁和空气弹簧等。

★超快激光微细加工技术平台拟采用一体式搬运模式，一体搬运不包含由于振动原因在工作状态不宜与平台集成的设备（例如除尘设备、控制柜等），这些设备要求与机床主体能够通过管道、线缆快捷拆装，并保证整个系统工作正常。

3.3.2 光路系统设计

超快激光微细加工技术平台的光路系统主要包含激光器、光路传输模块、振镜模块及旋切光学扫描模块等。激光器基础光一般为红外光，通过倍频技术变换输出紫外光。光路采用模块化设计，通过模块的自密封和模块间的连接密封实现光路的整体密封，可有效减少空气灰尘对激光光路的影响。

3.3.2.1 激光器

超快激光微细加工技术平台采用紫外飞秒激光器作为加工能源。拟选择紫外光激光器的主要参数如下表所示：

表 1　　紫外光激光器主要参数

	名称	参数
★	最大平均功率	≥10W
★	脉宽	＜300fs

★	可控单脉冲输出，最大重复频率	≥200KHz
▲	最大脉冲能量	≥100uJ
▲	光束质量	M^2≤1.4
★	输出功率稳定性	＜1.5%rms@5 次连续工作 10h
★	输出脉冲稳定性	＜1.5%rms@5 次连续工作 10h

▲激光器由于其转化效率较低原因，发热比较严重。对于功率较大的激光器，一般需要水冷。建议采用PID智能温控的水冷机，控温精度与激光器使用要求相匹配。同时，水冷机需采用封闭式水箱，最好自带离子过滤及颗粒物过滤器，有效防止水质污染；具备出水压力可调，压缩机过热保护、过流保护，整机漏电保护等功能。

3.3.2.2 光路传输模块

激光器产生激光后，需通过传输模块将激光引导至加工位置聚焦，才能实现产品加工。本方案采用双光路传输结构，激光器输出的激光通过合适的分路传输路径，分别导入振镜模块和旋切模块。当选择振镜加工或旋切模块加工时，光路之间需在自动切换。

光路传输模块主要包括扩束镜、偏振转换装置、反射镜、平移调节机构、光路防护结构、扫描振镜、旋切光学扫描头等。

a) 扩束镜

★在激光被聚焦前一般需要采用扩束镜进行扩束，其作用之一为减小远场发散角，提高光束质量，使加工的结构锥度小，粗糙度低；作用之二光束直径被扩大后可以减小聚焦后的光斑直径，提高加工精度。

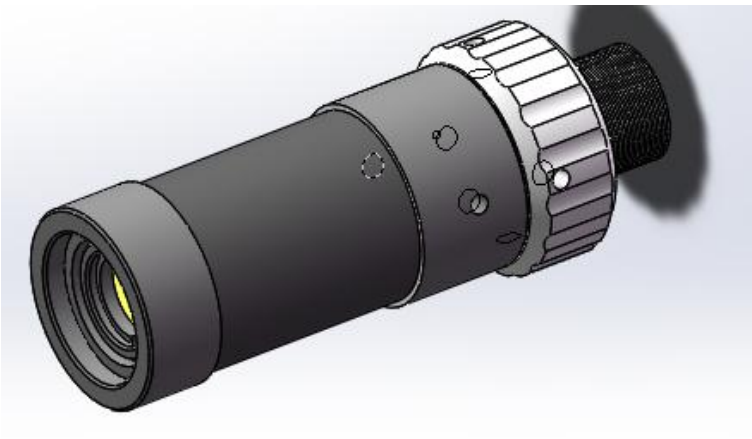

图 2　扩束镜示意图

括束镜应与激光严格同轴，故应设计调整结构实现相应的调节功能。

b) 偏振转换装置

★激光器输出的激光一般为线偏振光，当进行深孔加工时，由于偏振态的单向分布，孔的底端将呈椭圆或直线分布。通过偏振转换装置，将线偏振光转为圆偏振光，可提高深孔背面圆度。

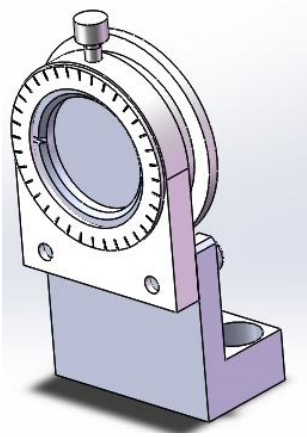

图 3　偏振转换装置示意图

c) 反射镜

★反射镜用于改变激光传输的方向，常用激光用反射镜有金属膜反射镜和介质膜反射镜。其中金属膜反射镜的反射率不受波长及入射角变化的限制，但反射率较低，通常在80%左右。而且膜表面抗磨损力低，需要定期更换。介质膜反射镜对特定波长激光的反射率达到99%以上，并具有很高抗磨损能力，但对入射角精度要求较高。本项目需要采用和激光波长相同的介质膜反射镜。

d) 平移调节机构

★激光在传输光路中需要平移调节，以保证光路严格同轴。调节机构设计需能够满足光路系统的调节需求。

e) 光路防护结构

★光路传输局部建议采用模块化设计，各模块具备独立的防尘功能。模块与模块之间的连接部分也需开展防护设计，确保传输光路整体封闭。

★Z轴部分光路与主光路因为有相对运动，建议考虑动防护。因为采用防尘布风琴罩进行防护时，防尘布自身在激光散射光的作用下会产生杂质污染镜片，不建议采用该种防护方式。

f) 扫描振镜

★激光加工设备一般通过配备扫描振镜实现精密刻蚀、切割及孔特征加工，主要参数如下表所示：

表 2　　扫描振镜主参数

	名称	参数
★	扫描速度	≥2m/s
★	定位速度	≥10m/s
★	重复精度	≤2μrad

g) 远心场镜

★远心场镜主要作用为纠正传统镜头的视差，它可以在一定的物距范围内，使得到的图像放大倍率不会随物距的变化而变化。

▲远心场镜在实际选择时与振镜或其它功能单元相匹配。为减少光路损耗，要求其对工作激光的透过率≥96%。

h) 旋切光学扫描头

★旋切光学扫描头主要用于深孔及高精密孔的加工，主要参数如下表所示：

表 3　　旋切光学扫描头主要参数

	名称	**参数**

★	可加工孔径范围	φ0.2mm∽φ1.2 mm
★	孔壁粗糙度	≤Ra0.8μm
★	最大深径比	≥10:1
★	扫描精度	≤±2μm（或≤4μm）

▲该旋切激光扫描头还应具备以下功能：

（1）圆面扫描功能、扇面扫描功能、孔型可控功能（直孔、锥孔）等；

（2）可以实现对激光功率的控制。

3.3.3 视觉系统

视觉系统分为测量视觉模块和监视视觉模块。本方案采用测量视觉模块和监视视觉模块分离的设计思路，**但如果在能够保证视觉测量精度的前提下，将两者集成统一也可**。

3.3.3.1 测量视觉模块

★测量视觉模块主要用于加工过程中的工件定位，采用旁轴测量方式。旁轴测量是指相机成像系统光轴与激光刻蚀系统光轴非同轴放置。

其系统组成及检测原理如下图所示：

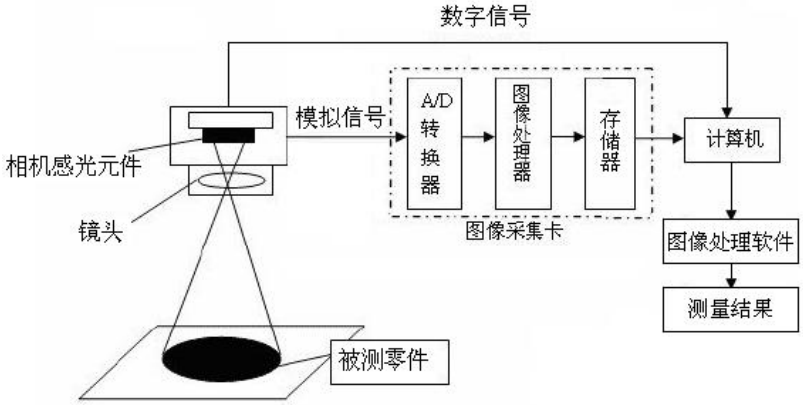

图 4　测量视觉模块原理示意图

旁轴测量的成像系统光路与激光光路相互独立，其相对位置固定且互不影响，测量精度高，可保证大工作距离远心成像，缺点在于不能对当前加工区域实时测量。

测量视觉模块的主要参数如下：

表 4　　测量视觉模块主要参数

	名称	技术参数
▲	视野范围	≥φ5mm
★	精度	≤±0.5μm（或≤1μm）

3.3.3.2 监视视觉模块

★监视视觉模块主要用于对加工区域的实时监测，采用同轴测量方式。监视视觉模块要能够看清整个加工过程。

同轴测量的基本原理如下图所示：

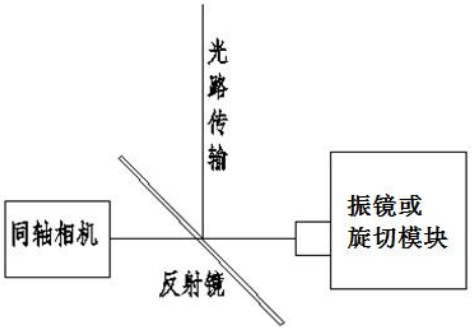

图 5　监视视觉模块原理示意图

★由于振镜光路和旋切模块光路分为两路，监视视觉模块需保证振镜光路加工和旋切光路加工时均能实现实时监测。

3.3.4 运动系统

★本项目装备的运动系统主要包含X/Y/Z三轴，该三轴运动系统采用大理石底座和高精密直线电机线性模组，其系统布局如下图所示：

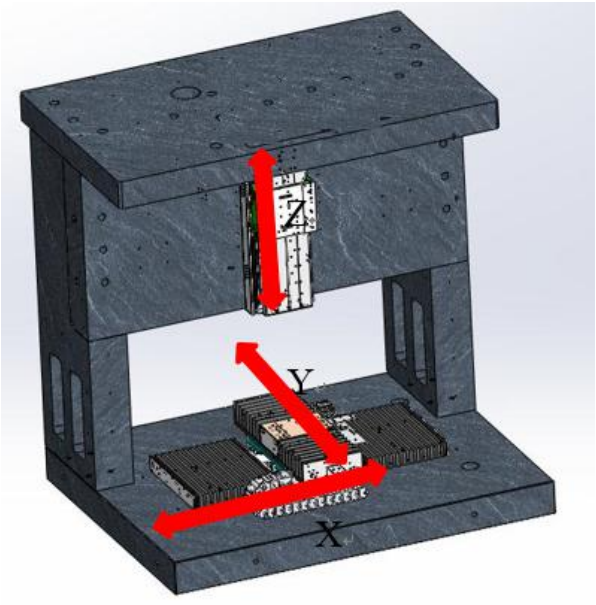

图 6　XYZ 三轴结构布局示意图（大理石部分可忽略）

3.3.4.1 XY 轴

★XY轴采用十字布局方式，如下图所示：

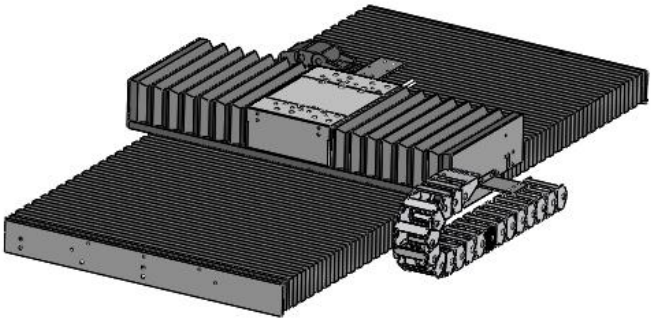

图 7　XY 轴十字式布局

▲XY轴均采用基于高精度光栅反馈和高精度控制系统组成闭环控制方式。XY轴的驱动采用无铁芯直线电机，可以减少运动过程中齿槽力对运动精度的影响。

XY轴主要技术参数如下表所示：

表 5　　XY 轴主要技术参数

	名称	参数
★	X 轴加工范围	≥300 mm
★	Y 轴加工范围	≥200 mm
★	X 轴定位精度	≤±1μm（或≤2μm）
★	Y 轴定位精度	≤±1μm（或≤2μm）
★	X 轴重复定位精度	≤±0.5μm（或≤1μm）
★	X 轴重复定位精度	≤±0.5μm（或≤1μm）
★	Y 轴工作台负载	≥15 kg
★	Y 轴工作台台面孔位	M6×10，间距 40mm×40mm

Y轴工作台上的台面孔位布局示意如下图所示：

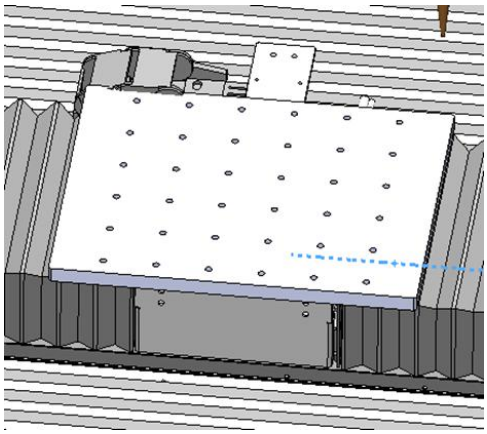

图 8　Y 轴工作台台面孔位布局示意图

3.3.4.2　Z 轴

▲Z轴同XY轴一样，采用基于高精度光栅反馈和高精度控制系统组成闭环控制方式，采用无铁芯直线电机驱动。由于Z轴竖直放置，需进行负载配重以平衡Z轴工作台重量。

Z轴主要技术参数如下表所示：

表 6　　Z 轴主要技术参数

	名称	参数
★	Z 轴加工范围	≥200 mm
★	Z 轴定位精度	≤±1μm（或≤2μm）
★	Z 轴重复定位精度	≤±0.5μm（或≤1μm）

3.3.4.3　自动对焦

★超快激光微细加工技术平台需要具备自动对焦功能，即通过Z轴自动调整实现自动寻找产品加工表面与激光焦点的位置，并可对找正后的焦点数据进行自动储存。自动对焦功能的主要技术参数如下表所示：

表 7　　自动对焦主要技术参数

	项目	参数范围
★	重复对焦精度	≤±0.5μm（或≤1μm）

3.3.4.4　吸附工装

▲吸附工装为Y轴工作台工装附件，主要用于加工过程中小型较薄平面材料的固定。吸附工装的的基本原理为真空吸附，由机床自带负压发生器产生负压。吸附工装应具备较高的平面度精度（平面度2μm-3μm），材料最好选用陶瓷材料。

3.3.5　其它功能

3.3.5.1 除尘装置

★本项目装备因环保及光学系统需要，需进行除尘处理。除尘装置对 0.3μm 以上的粉尘过滤效率应达 99%以上。主要技术参数如下：

表 8　　除尘装置主要技术参数

	名称	参数
★	过滤精度（μm）	0.3
★	过滤效率	99%
★	噪音等级（dB）	≤77

3.3.5.2 吹气装置

★吹气装置主要用于加工区域的吹气，用以排除加工区域粉尘。控制系统内配置电磁阀进行吹气控制，可在标准气压至0.6MPa范围内设定并检测气压，当气压偏离设定值时产生报警。

3.3.5.3 电气安全性

★电气柜中安装有漏电开关及浪涌保护器，防止发生漏电事故的发生及因浪涌造成的设备损坏。

▲在设计中严格进行强弱电分离，包括电气柜内、机床线槽内、拖链内均进行强弱电分开走线。

3.3.5.4 激光安全性

★（1）对光路进行全封闭设计，避免因激光辐射对人眼造成的伤害；

★（2）增加安全门开关，当安全门打开时自动关闭激光器快门，停止激光器出光；

★（3）避免因人眼直视加工区域造成伤害，同时防护玻璃采用防辐射玻璃。

3.3.5.5 机械安全性

▲（1）在直线电机运动设计光电传感器为一级限位，油压缓冲器二级限位，再加硬限位为三级限位方式，保证设备运行安全；

★（2）设计各个碰撞部位采用软材料进行限位；

★（3）暴露在外部的部件均进行圆角处理，防止碰触时造成人员伤害；

★（4）设置有安全门，并加装互锁开关，防止误闯入对人造成伤害；

★（5）通过溢流阀方式气路压力超过安全气压；

★（6）各个轴采用风琴罩或其它方式方式进行密封，导轨及运动部件不能外露；

★（7）增加安全标识。

3.3.5.6 维护维修性

维护性设计是指产品设计时，从维修的观点出发，保证当产品出现故障，能容易的发现故障、易拆、易检修、易安装。既可维修度高。

★（1）光路部分可方便调节维护；

▲（2）所有线缆沿拖链布置，且拖链为内侧可打开式；

▲（3）直线电机导轨润滑易操作，光栅尺读数头易更换；

★（4）预留工控机，激光器控制箱等的接头的操作位置；

▲（5）旋切扫描头、振镜易拆装更换；

★（6）对电缆进行号码标记，易于检查维修。

3.3.6 控制系统

★超快激光微细加工技术平台的控制系统硬件应采用优质的电气元件和控制器件，系统组成和功能能够满足装备各项控制功能要求。控制系统硬件中如果采用普通微型计算机，需要执行强制采购节能产品政策。

★超快激光微细加工技术平台的控制系统软件建议采用ACS、西门子等成熟软件系统，针对本项目某些特定要求作少量的二次开发工作。

▲控制面板建议采用分区设计，将参数设置画面和监控画面分离，一个用于调试参数及导入要加工的图形，另一个显示器用于监控加工过程实时成像。

▲竞标技术文件需提供较为详细的控制系统软硬件设计方案。

3. 交付及验收

4.1 交付内容

乙方按照表 1 中的相关内容整体交付。

★硬件：乙方交付超快激光微细加工技术平台 1 套，应符合表 2 中的指标及功能要求，同时通过甲方的终验收。

★技术资料：乙方交付超快激光微细加工技术平台研制过程中的相关技术

文件，包括但不限于设计文件、三维模型、软件安装文件、使用说明书（含外购件使用说明书）、维修保养手册与合格证等，同时通过甲方终验收。

★**质保服务：**产品整机质保一年。

▲**知识产权：**许可甲方后续在非民用商业领域长期免费使用该装备知识产权。

4.2 验收方法

4.2.1 设备验收

★甲方按照表 2 中的指标及功能要求逐项开展验收工作。

4.2.2 文件验收

★乙方应在甲方终验收前移交全部文件材料（含三维数模），甲方逐项核对验收。

5 保密

乙方应对甲方提供的任何技术资料、技术图纸以及其它技术文件进行保密，未经甲方允许，不得向第三方透露。若由于乙方泄密产生的后果自行负责。

6 项目期限

★（1）合同签订 2 个月内完成详细方案设计；

★（2）合同签订 7 个月内完成装配集成；

★（3）合同签订 8 个月内完成预验收（在乙方场地）；

★（3）合同签订 9 个月内完成终验收（在甲方场地）。

7 甲方项目负责人员

▲甲方指派项目负责人员全程跟踪项目方案和实施工作及其进展；在项目进展过程中，甲方可以对乙方的研制进展进行监督检查和技术文档的审核确认。

8 乙方单位要求

乙方最好具备以下能力和资质条件：

（1）▲能力条件：有飞秒激光设备开发经验；

（2）▲质量体系：有较完备的质量管理体系。

9 其他

（1）甲方将对研究工作进展情况等进行跟踪、检查。

（2）甲方对设备的技术要求以本协议为准，若确实需要变更，则甲方必须及时与乙方进行沟通、协商，并签订补充协议。