水下三维激光扫描仪深海成像及控制舱加工详细技术指标

一、总体技术要求

1. **功能定位**：作为水下三维激光扫描仪的核心耐压承载与集成舱体，为内部激光发射单元、成像采集单元、控制电路、供电模块等精密器件提供全密闭防水、耐高压、抗腐蚀的工作环境，同时实现成像同步控制、数据采集存储与对外传输功能。
2. **耐压等级**：额定工作水压 20MPa，对应最大工作水深 2000m。
3. **执行标准**：设计、加工、检验遵循 GB/T 13006-2013《潜水器和水下装置耐压结构制造技术条件》、GB/T 37358-2019《水下机器人通用技术要求》、海洋仪器环境试验规范及相关船级社水下设备通用要求。
4. **整体参数**：采用双圆筒型结构，长度≤320mm，高度≤170mm，空气中整机重量≤30kg（含内部全部模块）。

二、耐压壳体机械加工指标

1. **壳体材料**：主体采用 TC4 钛合金，具备优异的海水耐腐蚀性与结构强度；紧固件采用 316L 不锈钢或 TC4 钛合金，避免电偶腐蚀。
2. **结构设计**：双圆筒型结构，每舱分别两端法兰式端盖结构，前端集成光学窗口组（发射窗口 + 接收窗口），后端集成水密接插件；设计安全系数≥1.25，即极限破坏水压≥25MPa。
3. **核心尺寸**：内部筒体内径 ϕ130mm，有效内腔长度≥210mm，壳体壁厚 10mm；端盖厚度 25mm，密封槽采用双道径向密封槽设计。
4. **加工精度**：
    - 筒体内壁圆柱度≤0.05mm，两端法兰端面平面度≤0.03mm；
    - 密封槽槽深公差 0, +0.025mm，槽壁粗糙度 Ra≤0.8μm，无划痕、磕碰缺陷。
5. **表面防腐处理**：外表面可按需加装锌合金牺牲阳极，强化深海长期防腐能力。
6. **密封结构**：采用双道氟橡胶（FKM）O 型圈密封，耐海水、耐高低温、耐老化，20MPa 水压下零泄漏；密封槽预留冗余设计，适配密封件压缩量要求。

三、光学窗口技术指标

1. **窗口材料**：采用 蓝宝石玻璃，具备高透光率、高抗压强度与低热膨胀系数。
2. **窗口配置**：共 2 个光学窗口，分别对应激光发射光路与相机接收光路：
    - 窗口：通光孔径 ϕ64.6mm，窗口厚度≥13mm；
3. **光学性能**：
    - 透光波段覆盖 350~1100nm，532nm 蓝绿光波段双面增透后透光率≥80%；
    - 窗口面型精度 λ/10@633nm，光楔平行差≤5″；
    - 表面光洁度符合 GJB 2485-95 Ⅲ 级标准，无气泡、结石、划痕缺陷；

4. **机械与密封性能**：窗口额定耐压 20MPa，安全系数≥2；采用压圈 + 端面 O 型圈密封结构，避免应力集中导致玻璃碎裂。

四、内部核心功能模块指标

4.1 工业成像单元

- **工业相机**：全局快门 CMOS 相机，有效像素≥150 万（1440×1080），像元尺寸 3.45μm；全分辨率下采集帧率≥200fps，支持外触发同步输入，动态范围≥70.8dB，配备 USB 3.0 接口。
- **成像镜头**：定焦工业镜头，焦距 8mm，最大光圈 F2.4；光学畸变≤-0.67%，适配 0.5~2m 工作物距；C 型接口，带锁紧定位结构，抗振动下光轴无偏移。

4.2 同步控制与数据处理模块

- 采用 jetson 为主控核心，实现投影发射与相机曝光采集的精确时序同步，保障三角法测距精度。
- 支持外触发工作模式。
- 集成数据高速采集功能：可完成图像外触发高速采集，采集帧率＞200hz。
- 内置 4T 高速 M.2 固态硬盘，支持 BMP 格式图像与点云数据本地存储，具备掉电数据保护、循环覆盖存储功能。

4.3 供电转换模块

- 输入电压范围 18~36VDC（标称 24VDC），适配水下通用供电体系。
- 输出多路隔离直流电源：12V/16.6A、5V/2A，满足相机、控制板、投影单元、232 通讯单元的不同供电需求。
- 电源总转换效率≥88%，具备过压、过流、短路、过温四重保护；输入输出电气隔离，隔离电压 2250DVC，避免共模干扰。

4.4 内部机械固定架

- 采用 6061 铝合金模块化分体支架，便于各器件安装、调试与维护。
- 模块安装位加装硅橡胶减震垫，衰减水下振动与冲击；支架与壳体内壁配合公差≤0.1mm，无松动、窜动现象。

五、水密接插件指标

1. **接口规格**：配置 1 套 13 芯深水水密连接器（插头 + 插座配套），卡口锁紧式结构，壳体材质 316L 不锈钢。
2. **芯数分配**：4 芯大电流电源芯 +8 芯信千兆以太网差分信号通道。
3. **电气性能**：额定电压 24DC；电源芯额定电流 5A / 芯；接触电阻≤5mΩ，绝缘电阻≥1000MΩ。
4. **环境性能**：额定耐压 20MPa，适配 2000m 水深；插拔寿命≥500 次；线缆出线端采用硫化密封，零渗水。

六、系统功能与性能指标

1. **同步控制**：投影发射与相机采集时序同步触发，支持单次触发与多次触发，可灵活调整触发频率与曝光参数。
2. **数据采集**：支持连续采集、单次触发采集两种工作模式，可通过上位机设置采集参数与工作模式。
3. **数据传输**：通过水密连接器实现千兆以太网数据传输，水下有效传输速率≥100Mbps，支持实时回传图像、点云数据与设备状态信息。
4. **三维成像核心参数**：
    - 有效测距范围：0.5m ~ 2m；
    - 测距精度：±1mm（1m 工作距离处）；
    - 点云输出速率：≥30 万点 / 秒；
    - 水平视场角≥25°，垂直视场角≥20°。

七、环境适应性指标

1. **耐压性能**：25MPa 静水压力下连续保压 2 小时，舱体无渗漏、无永久塑性变形，内部电气功能运行正常。
2. **温度适应性**：海水环境工作温度 -2℃~20℃，存储运输温度 -20℃~60℃；温度交变下内部无凝露、功能无异常。
3. **耐腐蚀性能**：中性盐雾试验 48h，壳体、紧固件、接插件外表面无明显腐蚀痕迹，密封性能与电气性能不受影响。
4. **抗振抗冲击**：
    - 振动：5~200Hz 扫频振动，加速度 1g，XYZ 三向各 30min，结构无松动、功能无异常；
    - 冲击：10g 半正弦波冲击，脉冲宽度 11ms，XYZ 三向各 3 次，结构完好、器件无移位损坏。
5. **防水等级**：整体 IP68，支持 2000m 水深长期连续浸没工作。

八、可靠性与验收要求

1. **可靠性指标**：水下连续工作平均无故障时间（MTBF）≥1000h；耐压壳体设计使用寿命≥10 年；密封件正常使用更换周期≥1 年；**出厂验收项目**：
    - 外观与尺寸精度检验：对照加工图纸全尺寸检测形位公差、表面处理质量；
    - 静水压力试验：25MPa 保压 2 小时，完成渗漏检测与变形量测量；
    - 光学性能测试：窗口透光率、面型精度检测，相机分辨率、帧率标定；
    - 电气功能测试：电源转换效率、数据传输速率、存储功能验证；
    - 系统联调测试：激光发射与相机采集联调，测距精度、点云质量标定验证。
2. **交付资料**：提供加工图纸、材质报告、水压试验报告、光学检测报告、电气测试报告、使用维护说明书。