

单个物体扫描重建实验

1. 实验目的

熟悉并掌握将三维扫描模型导入 RflySim 平台的流程。

2. 实验要求

- 软件要求：Windows 10及以上版本；RflySim工具链^[1]；Unreal Engine 4.27；MeshLab。
- 硬件要求：笔记本/台式电脑 1台；搭载激光雷达的 Phone 或 iPad 1 个^[2]。

3. 实验地址

例程目录：

[\[安装目录\]\RflySimAPIs\3.RflySim3DUE\2.AdvExps\e5_LiDAR-UE\1.3DScannerModel](#)

4. 实验内容或步骤

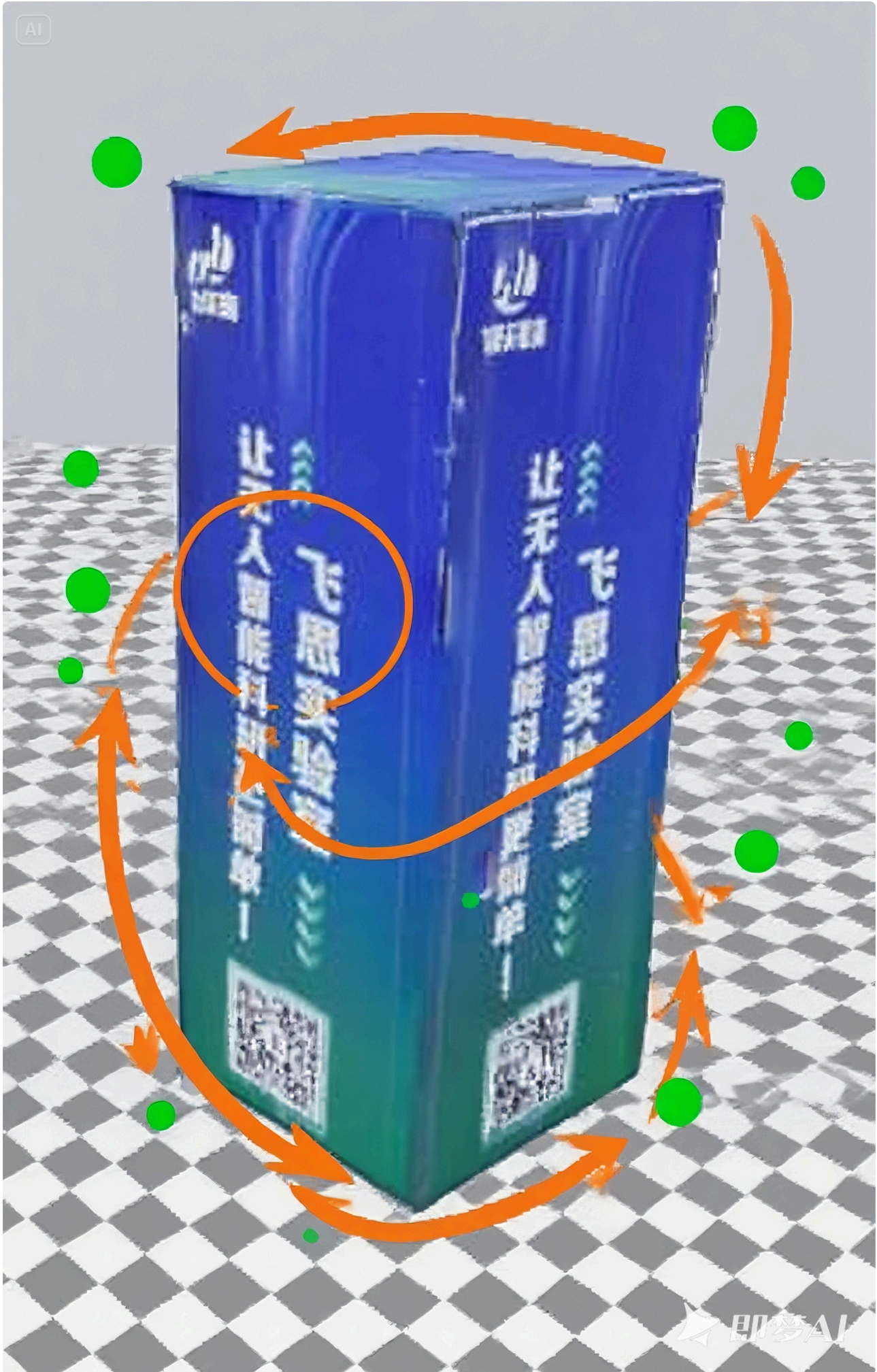
4.1 激光雷达 + RGB 相机 (iPhone) 三维扫描实验

步骤 1 安装三维扫描软件

安装任意三维扫描软件，这里选择 3d scanner，保持默认配置即可。

步骤 2 确定扫描对象并规划路径

确保能围绕物体一周回到起点，扫描路径通畅无障碍。



步骤 3 启动并进行环绕扫描

在 3D Scanner 界面点击录制按钮启动扫描。缓慢环绕物体移动，同时进行上下平扫；避免重复扫描同一区域，并确保镜头始终对着表面具有纹理；当回到起始位置后再次点击录制按钮停止。

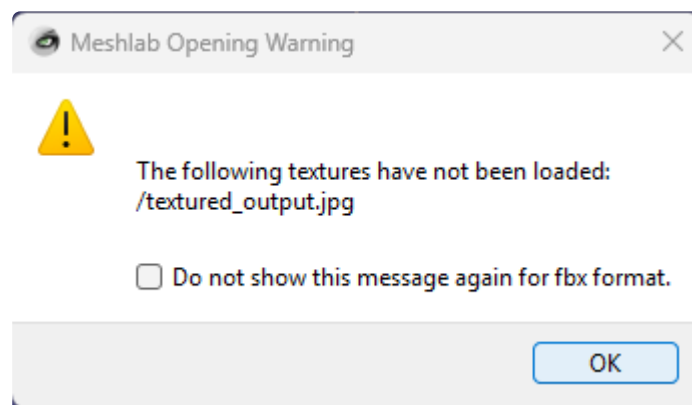
步骤 4 导出模型

确认模型扫描完整后，可以选择导出为各种三维格式(通常使用obj或fbx)，这里以fbx为例

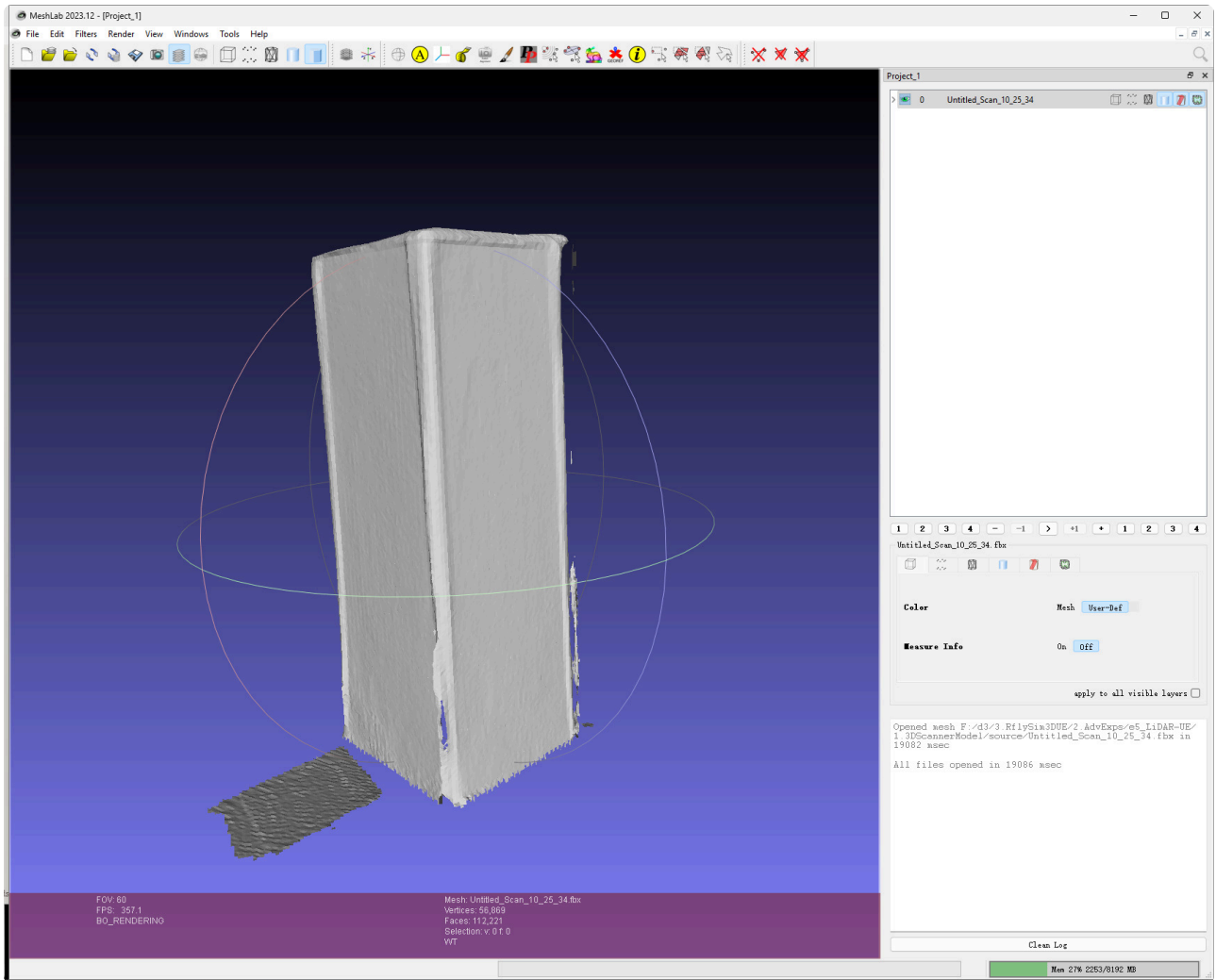
4.2 扫描重建模型导入实验

步骤 1 FBX 导入 MeshLab

导入时可能警告纹理丢失，点击ok继续导入，这不影响后续处理

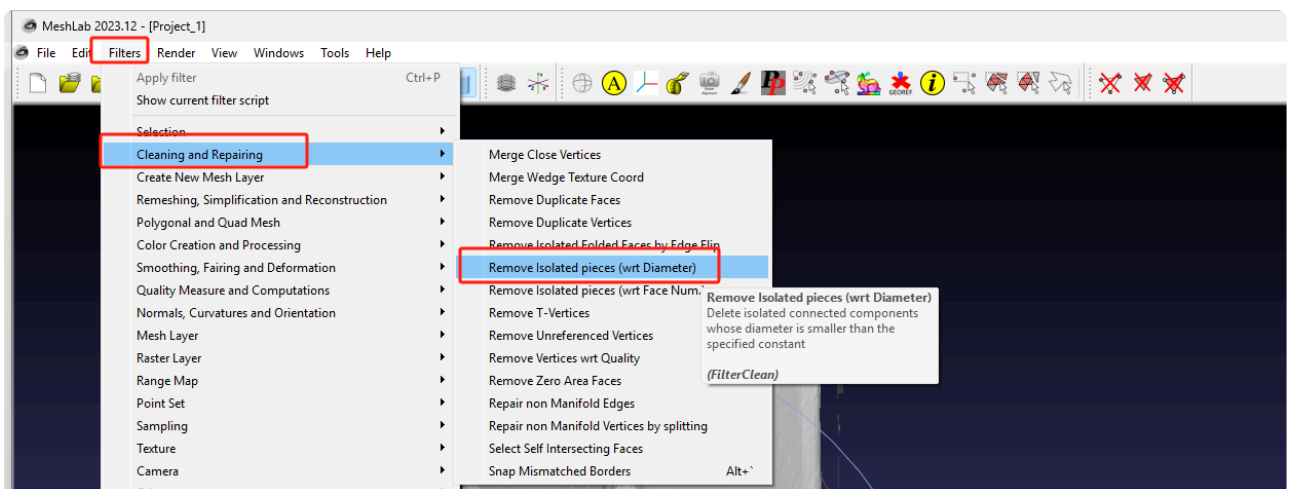


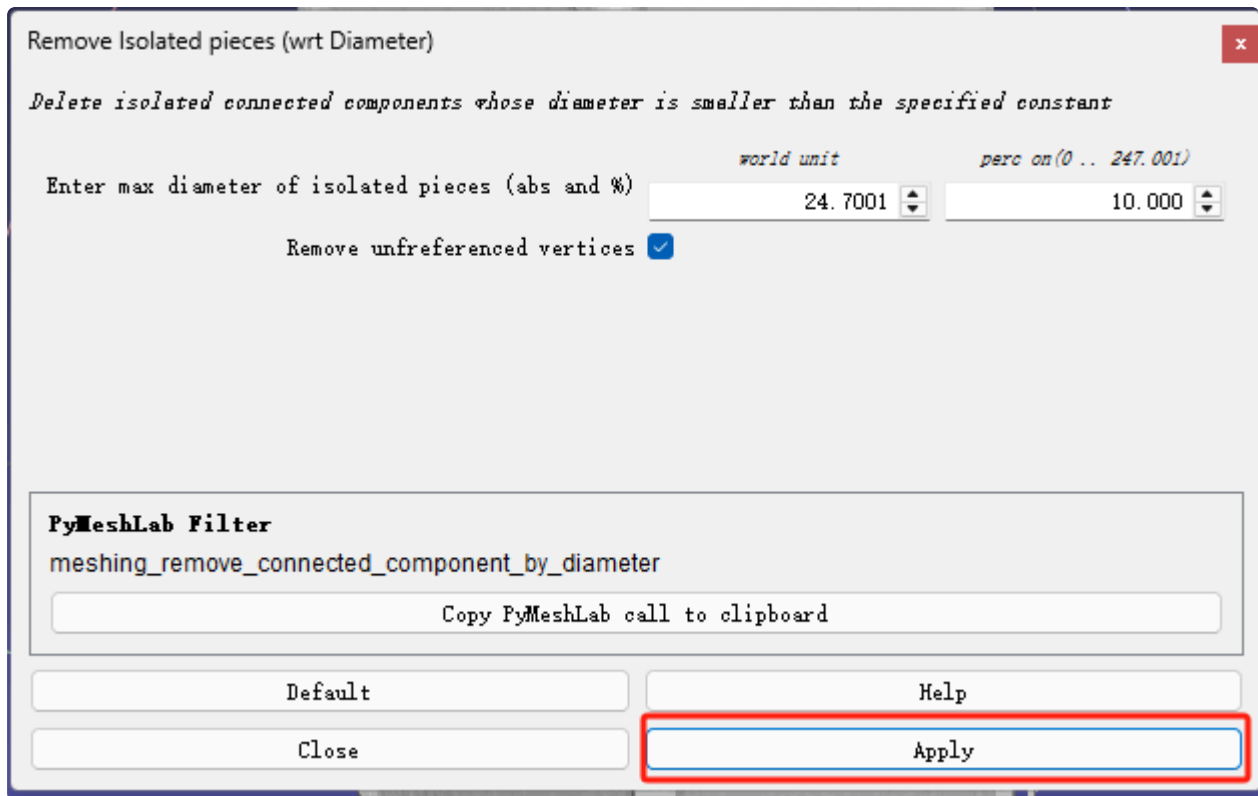
导入后模型如图，可以看到存在破面和细微孔洞



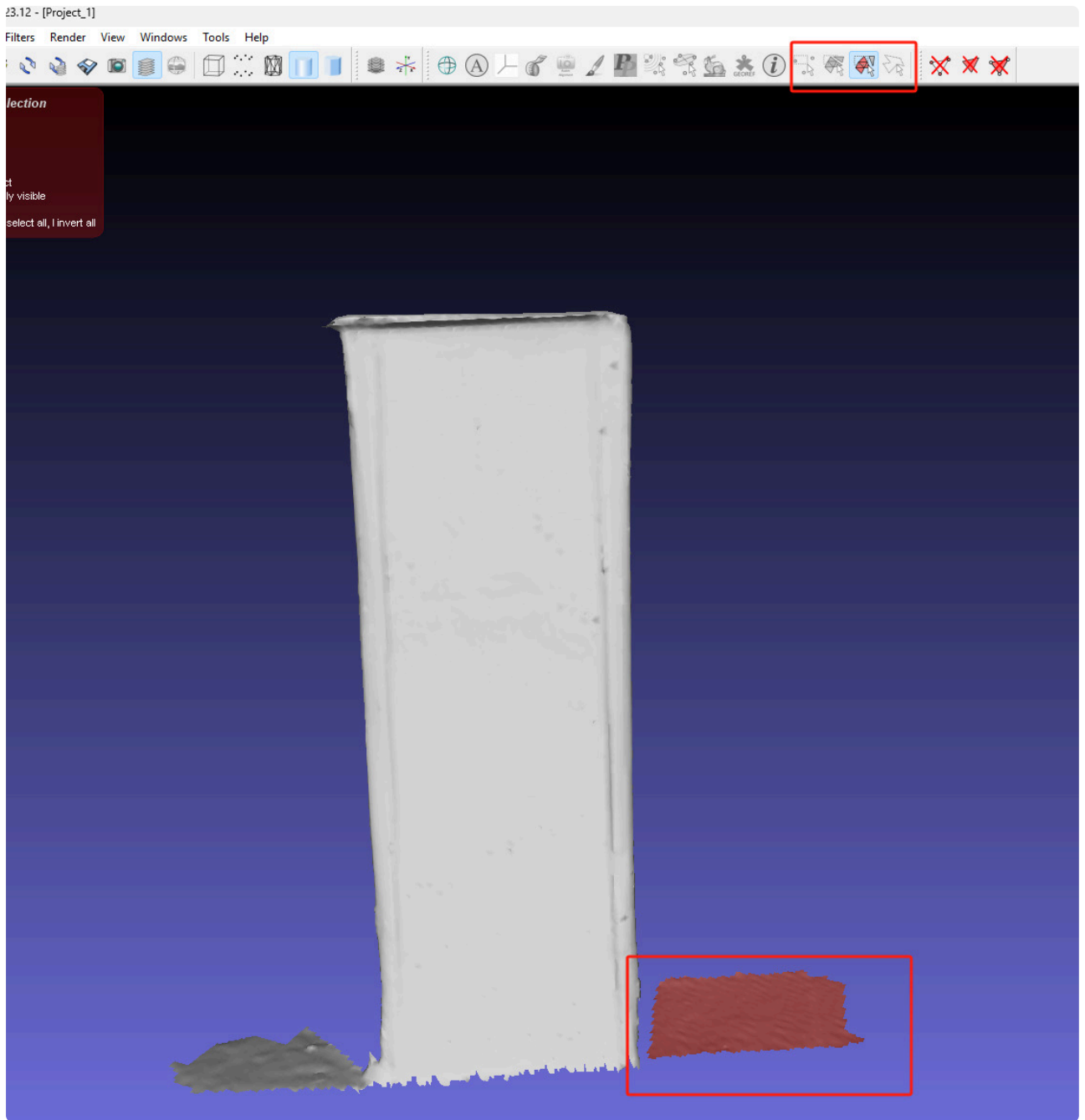
步骤 2 删除孤立面

首先自动删除细小的孤立面，操作如下

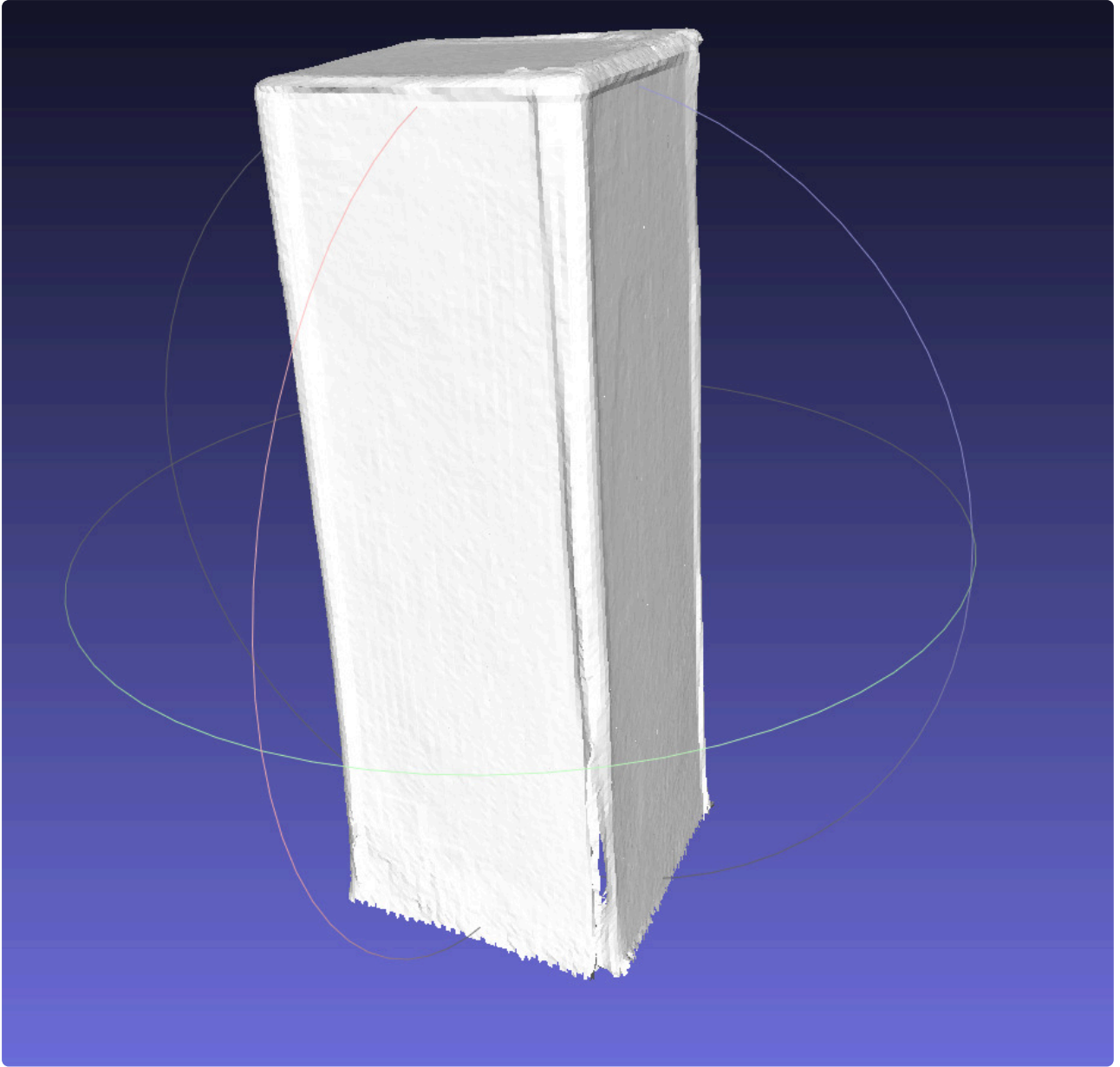




然后手动框选并删除未自动剔除的游离破面

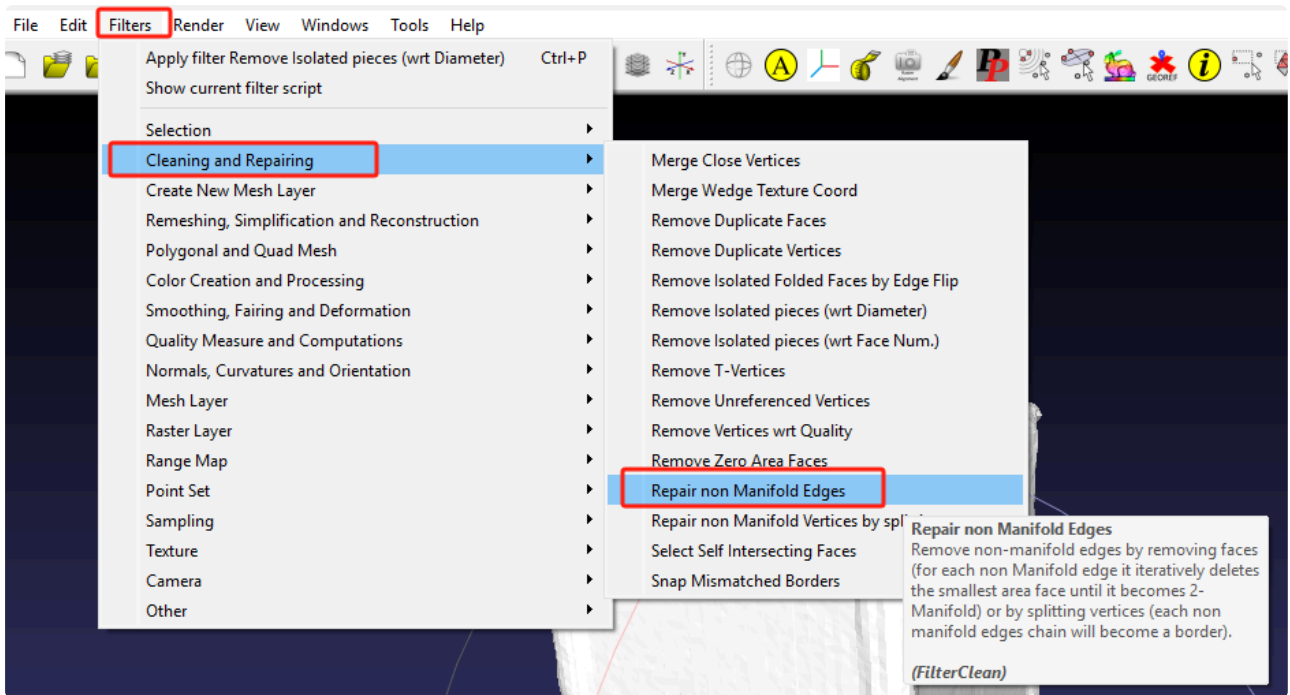


重复上述过程，最终结果如图



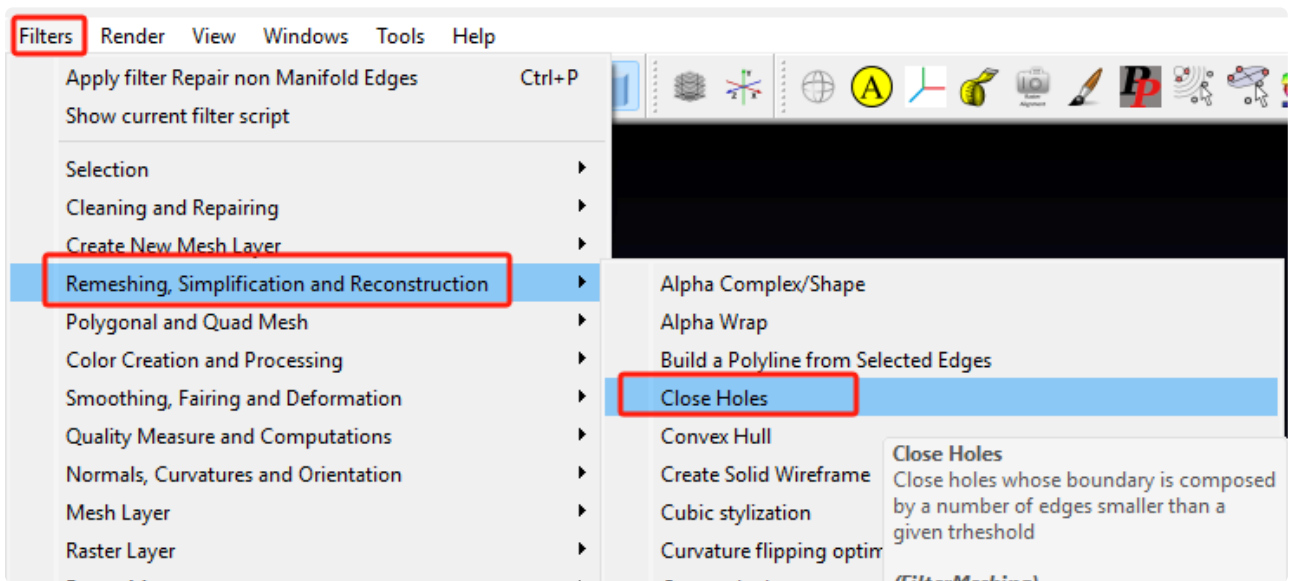
步骤 3 删除非流形边界

在填补孔洞之前还需要删除非流形边界以免计算失败

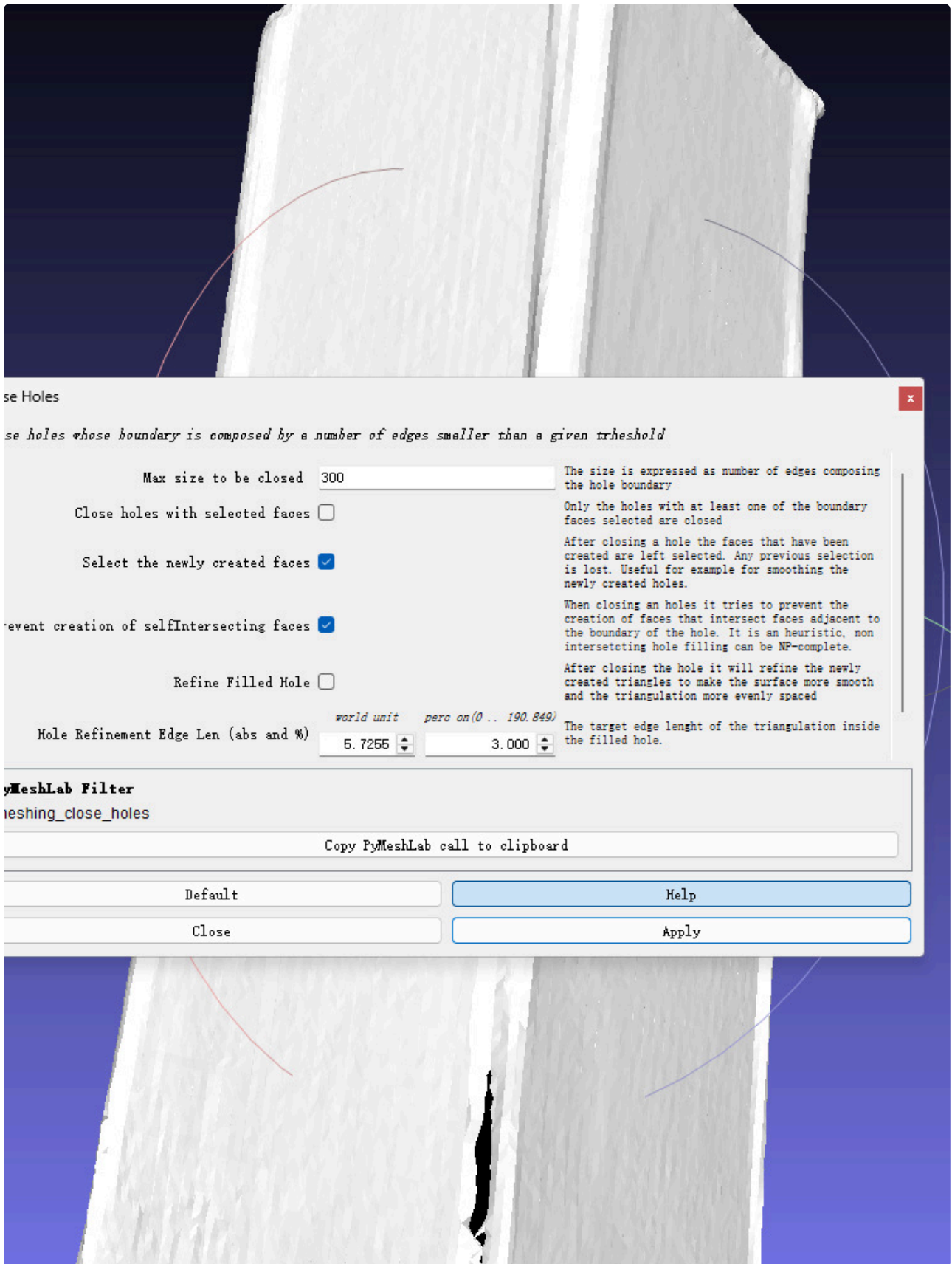


步骤 4 填补孔洞

按如图操作选择填补孔洞

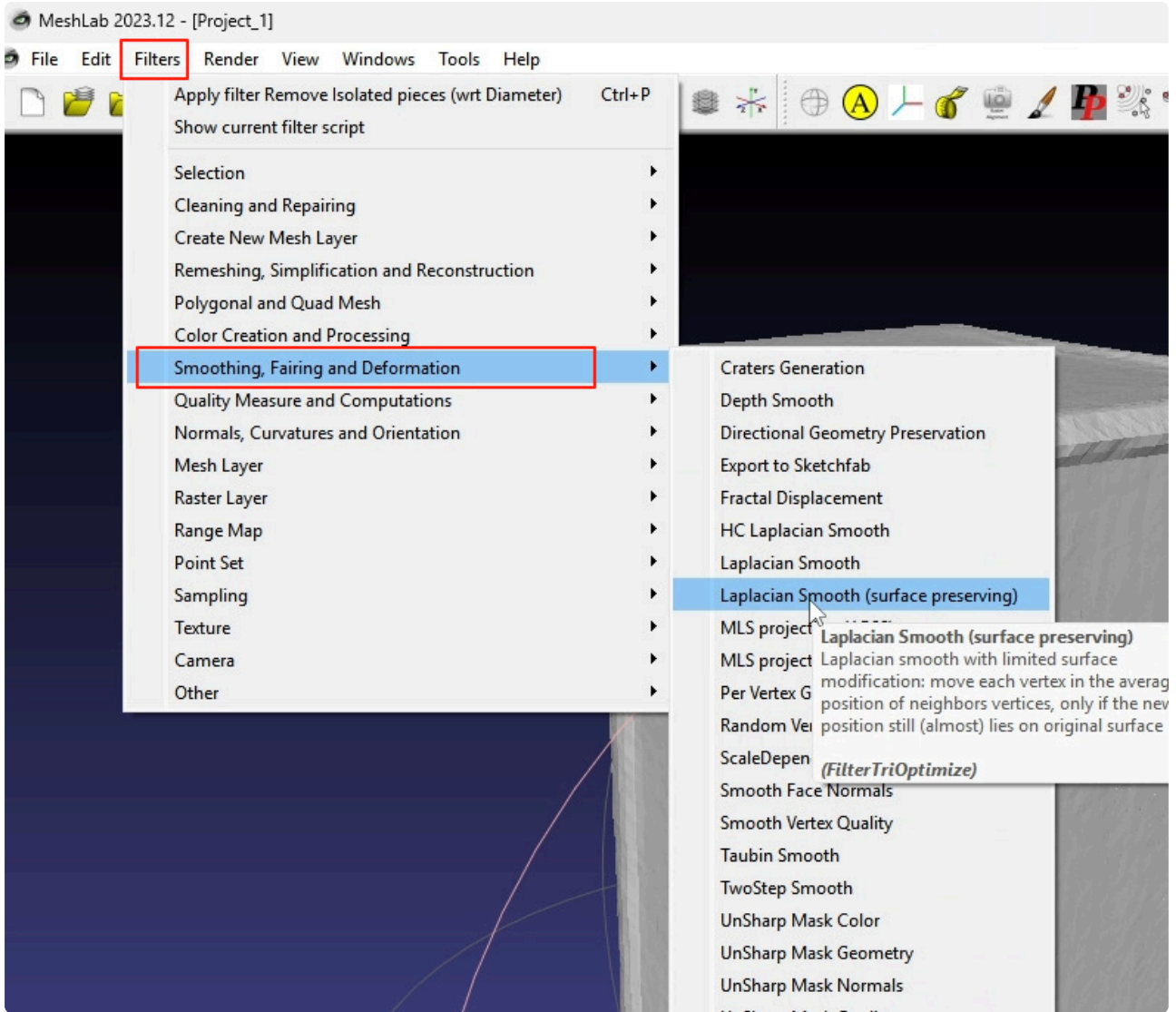


调整最大尺寸使得填补成功



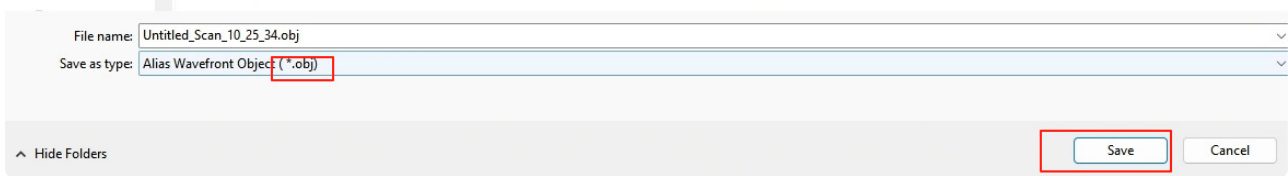
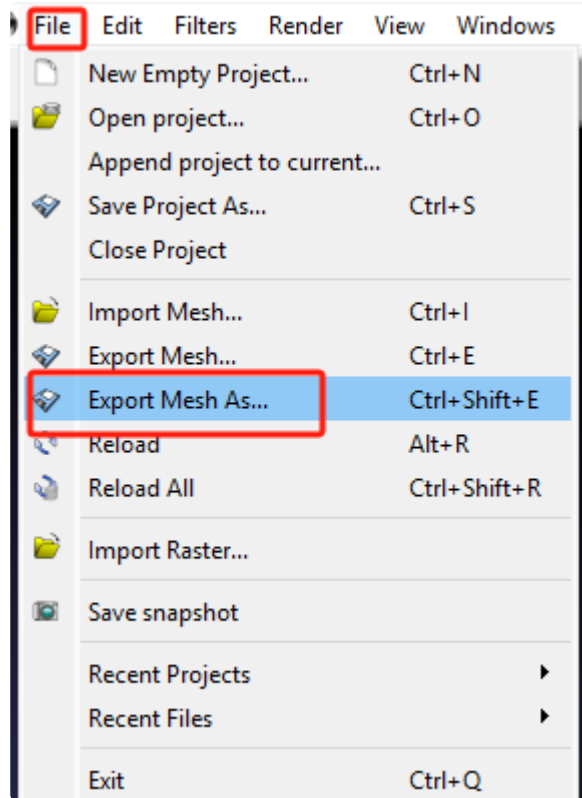
步骤 5 平滑边界（可选）

在下图所示的选项栏中尝试各种平滑方法



步骤 6 MeshLab 导出 OBJ

处理完成的模型最终以obj格式导出

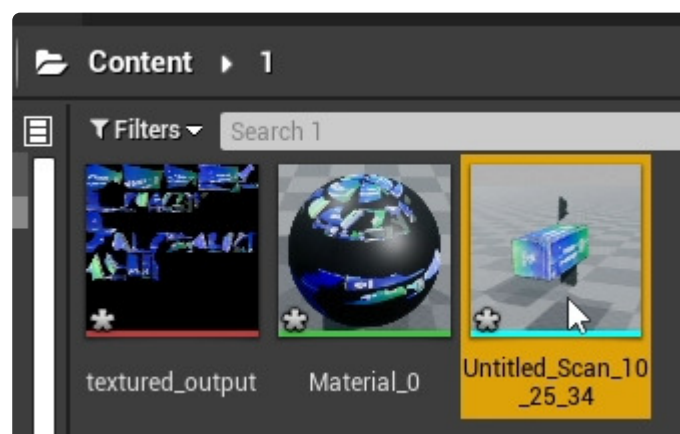


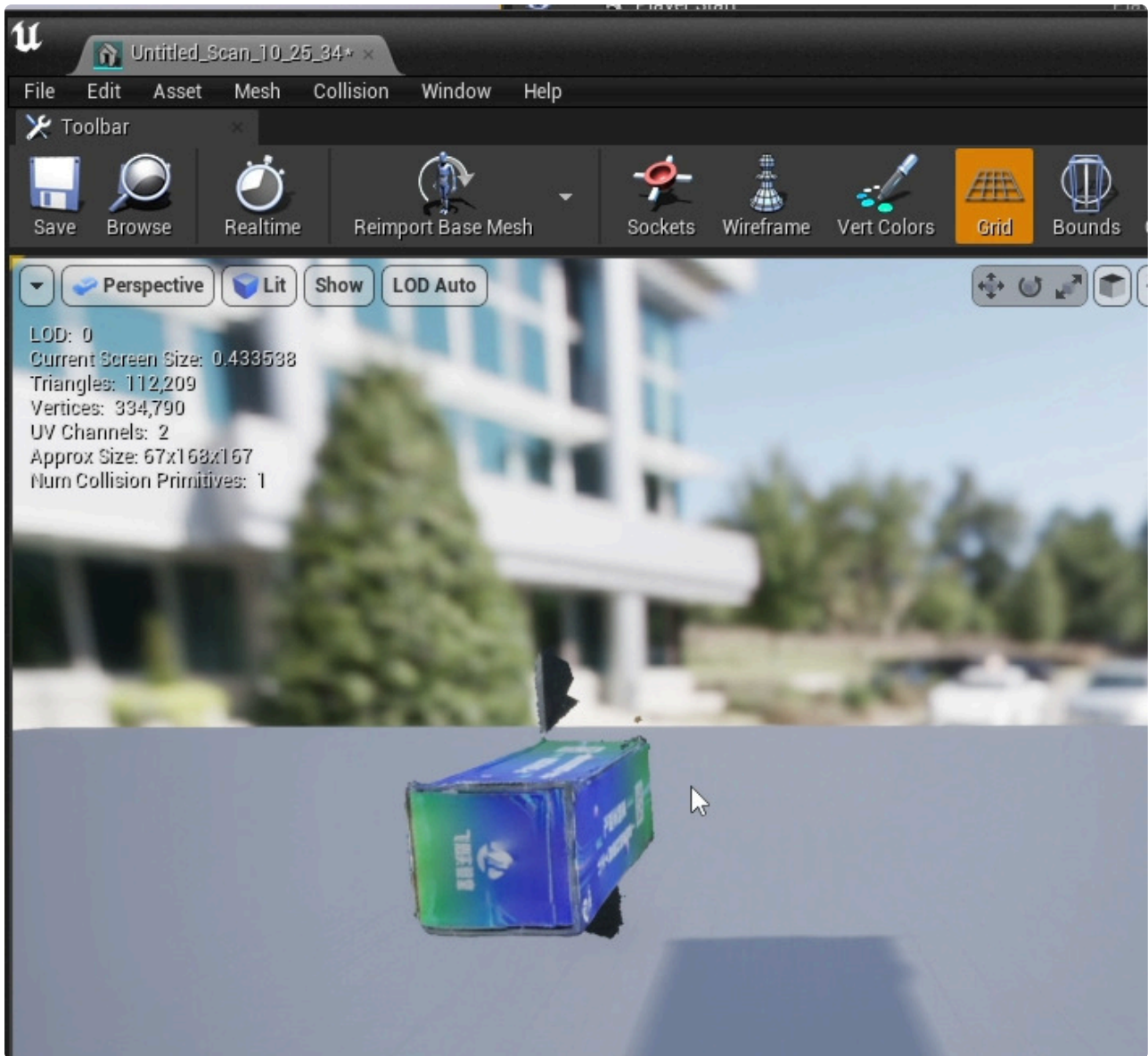
步骤 7 打开 UE 项目

启动 UE4.27 并打开规定配置的一个项目，具体参见UE4默认场景导入实验中的对应步骤：
3.RflySim3DUE\1.BasicExps\e0_StarterContent\1.UE4StarterContent

步骤 8 导入扫描得到的 FBX

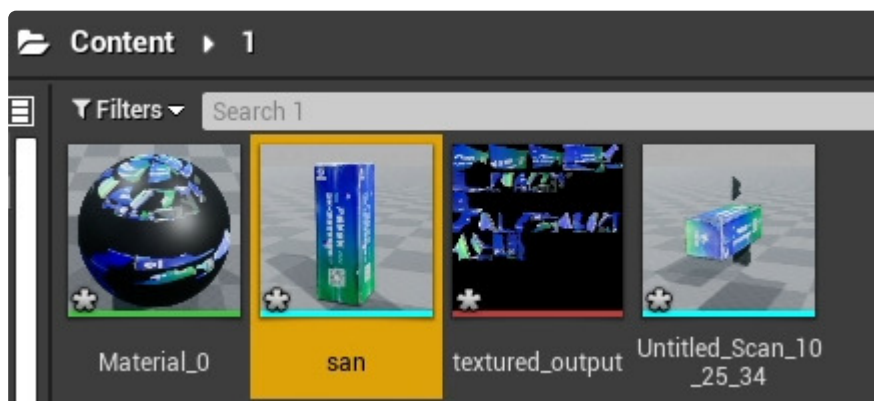
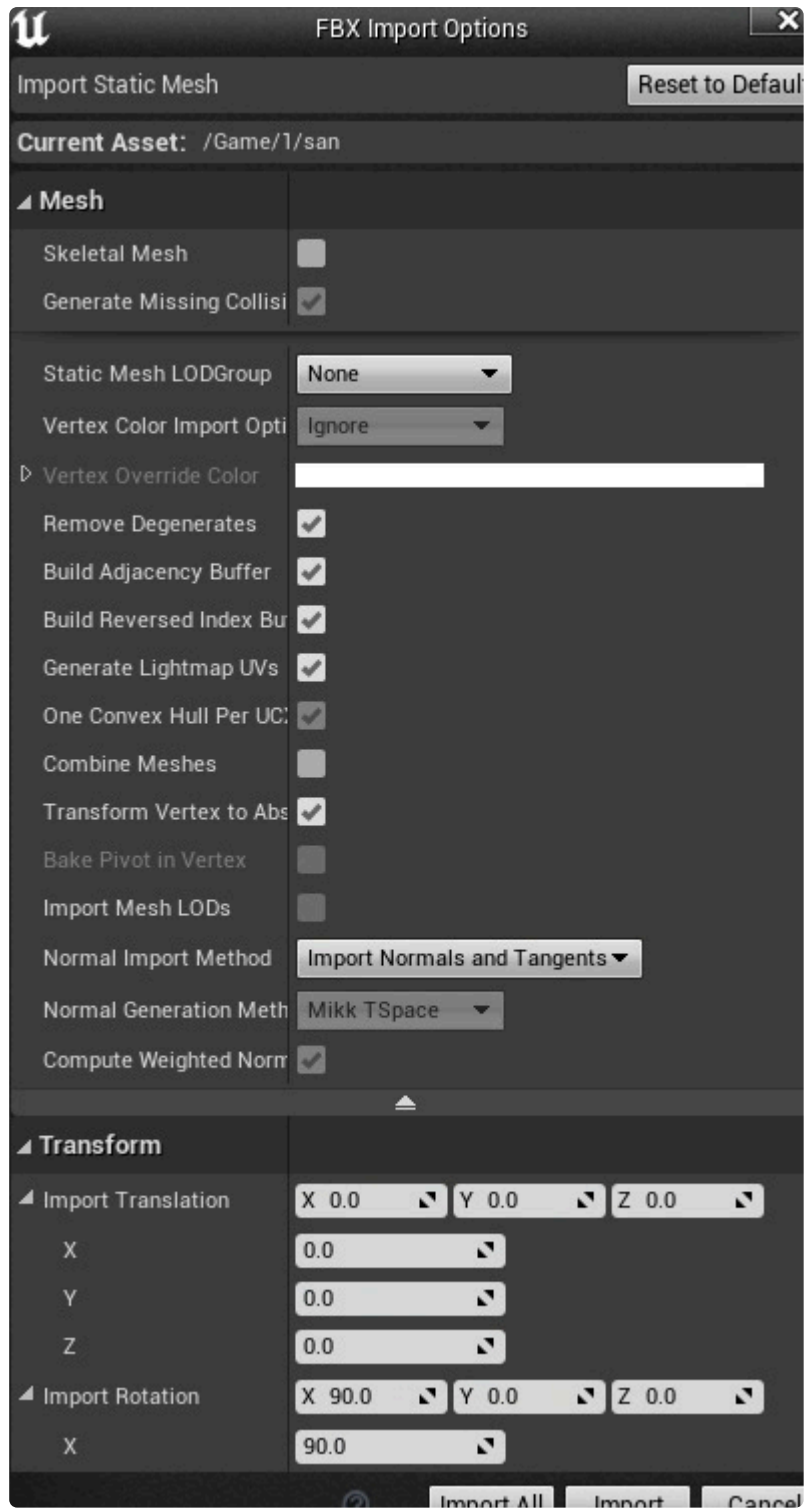
将扫描得到fbx模型以默认选项直接导入UE，这里是为了获取纹理材质





步骤 9 导入修复的 OBJ 替换模型网格体

将修复完成的OBJ模型导入上一步相同的UE目录



步骤 10 烘焙并导入 RflySim3D

在Windows下烘焙内容，编写配套xml后导入RflySim3D，具体参见自定义多旋翼模型加载实验中的对应步骤：3.RflySim3DUE\1.BasicExps\e1_CusLoadDroneyeeX680



5. 关键知识点

关键知识点1：三维扫描与摄影测量的区分

下面以几种典型方法的核心公式来对比三维扫描（主动测距）与摄影测量（被动三角测量）的本质差异：

1. 飞行时间（Time-of-Flight, TOF）激光扫描

直接测量激光脉冲往返时间 Δt ，得到距离 d ：

$$d = \frac{c \Delta t}{2}$$

- c : 光速
- Δt : 发射—接收脉冲的往返时间

2. 相移结构光扫描

投射相移条纹，测得相位差 $\Delta\phi(x,y)$ ，对应深度 $Z(x,y)$ ：

$$Z(x, y) = \frac{P}{2\pi} \Delta\phi(x, y)$$

- P : 条纹的空间周期
- $\Delta\phi$: 相移引起的相位偏移

3. 双目/多目摄影测量（被动三角测量）

利用两台（或多台）相机的基线 B 、焦距 f 及像素视差 d ，计算深度 Z ：

$$Z = \frac{f B}{d}$$

进一步得到像素 (u,v) 对应的三维坐标：

$$X = \frac{(u - c_x) Z}{f}, \quad Y = \frac{(v - c_y) Z}{f}$$

- c_x, c_y : 相机主点坐标
- $d = u_{\text{left}} - u_{\text{right}}$: 左右影像视差

4. 多视几何中的全局最优化（Bundle Adjustment）

在摄影测量中，为提高精度，进一步通过最小化重投影误差联合优化相机参数 P_i 与三维模型点 X_j ：

$$\min_{P_i, X_j} \sum_{i,j} \|x_{ij} - \pi(P_i, X_j)\|^2$$

- x_{ij} : 第 i 台相机中第 j 点的观测像素
- $\pi(\cdot)$: 相机投影函数

关键知识点2：本质区别

- **主动扫描**（TOF/结构光等）：直接测量距传感器的距离，精度受传感器带宽与信噪比影响，结果为稠密点云。
- **摄影测量**：通过至少两幅影像的几何关系间接恢复深度，依赖影像匹配和相机校准，常需多视联合优化来提升精度。

| 关键知识点3：如何修复扫描模型中的破面

在三维扫描过程中，由于扫描不完整或算法限制，模型可能会出现破面或空洞，需要使用专业的三维处理软件（如MeshLab）进行修补。

| 6.参考资料

1. [RflySim官方文档](#)
2. [MeshLab官方网站](#)
3. [Unreal Engine 4.27 文档](#)

| 7.常见问题

| Q1：在MeshLab中导入模型时提示纹理丢失怎么办？

A1：这是正常现象，点击OK继续导入即可。纹理信息通常会随模型一起导出，在最终导入到Unreal Engine时重新设置纹理即可。

| Q2：如何判断扫描的模型质量是否足够好？

A2：好的扫描模型应该具备完整的几何形状，没有明显的破面或孔洞，表面纹理清晰。在MeshLab中可以通过放大检查是否有破损的面片，如果整体形状完整，边缘光滑，则质量较好。

| Q3：在填补孔洞时，最大尺寸应该如何设置？

A3：最大尺寸参数决定了可以填补的孔洞大小。如果孔洞无法填补，可以逐步增大该值；但不要设置过大，否则可能导致模型变形。建议从小到大逐步调整，直到孔洞被完全填补为止。

-
1. <https://rflysim.com/> ↩

2. 推荐配置请见: <https://rflysim.com/> ←