

# 高能同步辐射光源 CT 重建单机版软件 用户使用手册

(版本: V1.0)

2023.04

## 目录

1 软件简介.....	4
1.1 软件特点.....	4
1.2 系统需求.....	4
1.3 下载及安装.....	5
1.4 软件更新日志.....	5
2 支持数据类型及相关信息说明.....	5
2.1 支持数据类型说明.....	5
2.2 相关定义说明.....	6
3 MOCUPY 界面及操作.....	6
3.1 数据格式转换和预览.....	8
3.1.1 数据格式转换.....	8
3.1.2 图像预览.....	9
3.2 微米 CT 数据重建流程.....	10
3.2.1 图像导入.....	10
3.2.2 背景扣除（预处理）.....	11
3.2.3 重建.....	12
3.3 纳米 CT 数据重建流程.....	15
3.3.1 图像导入.....	15
3.3.2 背景扣除（预处理）.....	16

---

3.3.3 图像抖动校正.....	17
3.3.4 重建.....	25
3.4 相位恢复操作流程.....	27
3.4.1 图像导入.....	28
3.4.2 相位恢复.....	29
3.4.3 图像重建及实例.....	33
4 计算机性能推荐及常见问题.....	33
4.1 计算机配置及重建时间.....	33
4.2 常见问题.....	34
5 开发团队及联系方式.....	34
5.1 软件开发团队.....	34
5.2 联系方式.....	34

# 1 软件简介

MOCUPY 是基于 CUDA 以及 Python 编写的 GPU 加速 CT 重建软件, 是 HEPSCCT (Web) 的单机版本, 主要包含图像导入 (Image Load)、预处理 (Preprocessing)、抖动校正 (Image Jitter Align)、相位恢复 (Phase Retrieval, 待集成) 以及图像重建 (Reconstruction) 等模块。MOCUPY 能够实现快速重建, 从而满足同步辐射用户对于“海量” X 射线 CT 数据处理的需求。

## 1.1 软件特点

- 重建核心算法 100% 实现 GPU 加速, 利用多线程实现数据的快速读取及 IO、CPU、GPU 数据处理同步进行;
- 实现多尺度 CT 重建转轴位置的自动校正, 基于小波变换进行环形伪影的去除;
- 提供手动和自动方式对图像进行抖动矫正;
- 提供 FBP、Grid、EM、SIRT 以及 CGLS 等多种重建算法, 利用 Grid 网格算法能够在数秒内完成对图像尺寸为 2k\*2k 的投影数据集的三维重建计算。

## 1.2 系统需求

本软件算法使用 CUDA 软件库进行编写, 其运行需要 Turing、Ampere 架构核心或更新的 NVIDIA 显卡 / 计算卡 (显卡的核心架构可通过: <https://www.techpowerup.com/gpu-specs/?mfgr=NVIDIA&sort=name> 查询)。此外, 为了满足本软件较高的重建速度, 请尽量使用 NVMe 接口固态硬盘 SSD (如: WD:SN770/SN570、KBG40ZNS 等) 进行数据的读写。

## 1.3 下载及安装

1) 软件压缩包可在以下链接下载：

<http://www.ihep.cas.cn/dkxzz/HEPS/download/software/>

2) 解压文件不需要安装直接使用；

3) 打开软件的方式：在解压文件夹中，找到 startCTRecon.bat 文件，双击即可。

## 1.4 软件更新日志

### ➤ V1.0 —— 2023.04.28（第一次版本升级）

【新功能】增加纳米 CT 转台抖动校正功能（自动、手动模式）

【新功能】增加同轴相位成像的相位恢复模块

【新功能】添加数据格式转换（支持 txrm 等转换为 tiff）

【页面优化】重建计算时，电脑内存不够时提示弹窗信息

【功能优化】图像预览可固定放大的区域

### ➤ V0 —— 2022.09.21（最初版本）

【系统搭建】模块功能测试并整合，实现 CT 重建功能

# 2 支持数据类型及相关信息说明

## 2.1 支持数据类型说明

MOCUPY 可以接受 TIFF（未压缩的 Tiff, 8bit uint, 16bit uint 和 32bit float）格式的图像。输出是 32bit float 型 TIFF 图像的数据集。此外，MOCUPY

提供了将 12bit uint 类型的 TIFF（压缩或未压缩）转换为 16bit uint 类型的 TIFF 的解决方案（操作见 3.1）。

为了保证数据的读取顺序，因此，所有图像的索引号的数据位数应该相同，可以通过在小的索引号前加 0 实现。例如：tomo\_0001, tomo\_0002……tomo\_0180; flat\_0001, dark\_0001 等

## 2.2 相关定义说明

### ● 软件功能

- 1) 图像预览及格式转换;
- 2) 吸收衬度微米 CT 重建;
- 3) 吸收衬度纳米 CT 重建，其中包含图像抖动校正;
- 4) 同轴相衬成像的相位恢复。

### ① 相关定义

- 1) Projections: CT 数据采集过程中，在有光的模式下，有样品时的投影图像;
- 2) Background: CT 数据采集过程中，在有光的模式下，没有样品时的背景（平场）图像;
- 3) Dark: CT 数据采集过程中在没有光的情况下采集的图像;

## 3 MOCUPY 界面及操作

MOCUPY 软件的主界面如图 1 所示，其中包含 3 个下拉菜单和 5 个选项卡页。每个按键的具体功能如下：

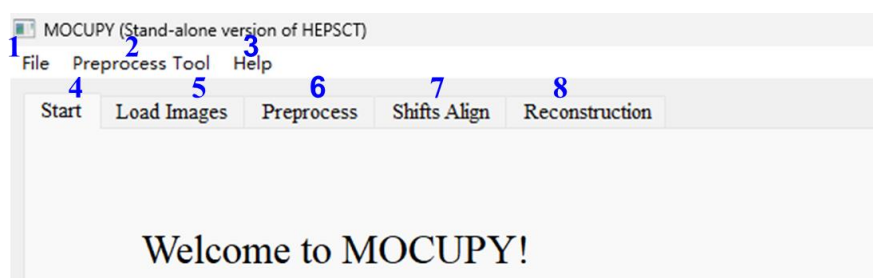


图 1 MOCUPY 软件的主界面

## ① 下拉菜单 (3 个)

- 1) File: 文件打开预览及转换;
- 2) Preprocess Tool: 主要包括同轴相衬成像相位恢复功能 (待集成)。
- 3) Help: 帮助文件

## ① 选项卡 (5 个)

- 4) Start: 主要包含文件打开预览, 文件格式转换和保存;
- 5) Load Images: 图像的导入, 包含投影、背景以及暗场图像的导入和预览;
- 6) Preprocess: 重建预处理, 包含降噪、扣除背景、去除负值、选区、背景归一化以及投影图 Line Profile 预览等功能;
- 7) Shifts Align: 图像的抖动校正, 提供手动和自动两种校正模式;
- 8) Reconstruction: 包含重建算法选择、环形伪影去除、参数设置、转轴矫正以及切片预览等功能;

MOCUPY 数据处理模式及流程如图 1 所示。数据处理过程主要包括图像转换, 微米 CT 数据重建以及纳米 CT 数据重建三部分具体操作详见 3.1~3.3。

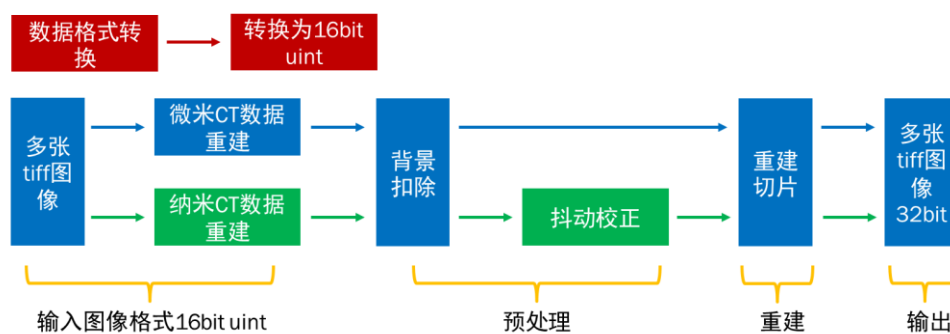


图 2 数据处理流程示意图

## 3.1 数据格式转换和预览

### 3.1.1 数据格式转换

由于 MOCUPY 目前仅支持输入多张、未压缩的 16bit/32bit 的 Tiff 图像进行读取和计算。因此，对于 12bit 的 Tiff、txrm 以及 xrm 的图像类型，需要先进行图像格式的转换，将其转换为 16bit 的多张 Tiff 图像进行输出保存，才能进行后续读取和重建。（注：若数据格式满足 2.1 的数据格式，可直接跳过这一步。）

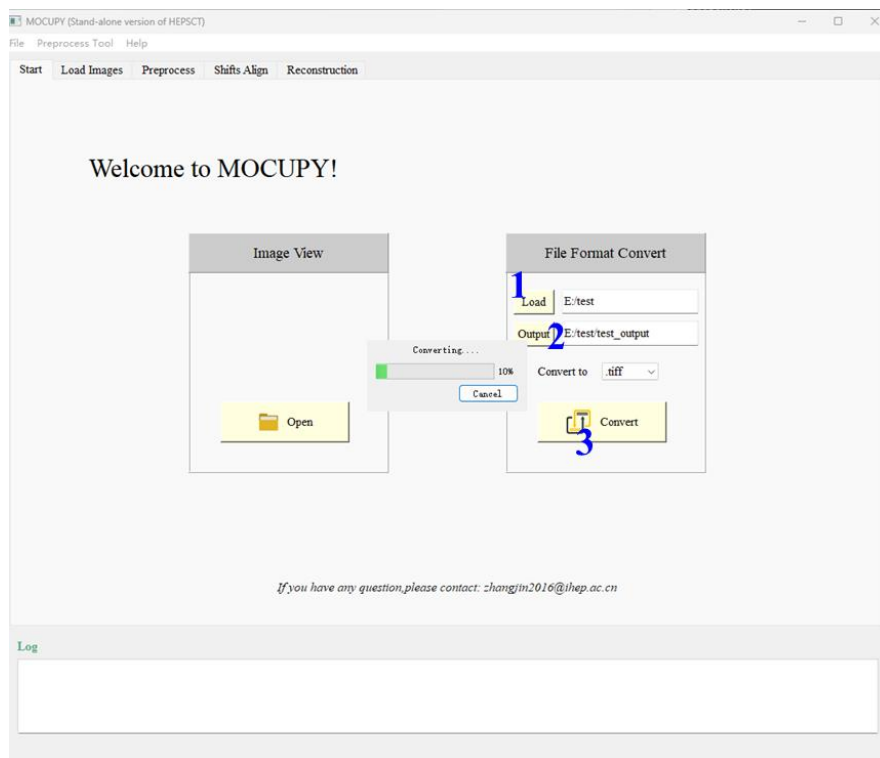


图 3 Start 页面格式转换



文件转换的具体操作如下：

- 1) 点击 **Load** 按钮，选择需要转换格式的 Tiff 或 txrm 或 xrm 文件；
- 2) 点击 **Output** 按钮，选择文件格式转换后的文件保存路径；
- 3) 点击 **Convert** 按钮，待 Converting 窗口消失即转换结束。

### 3.1.2 图像预览

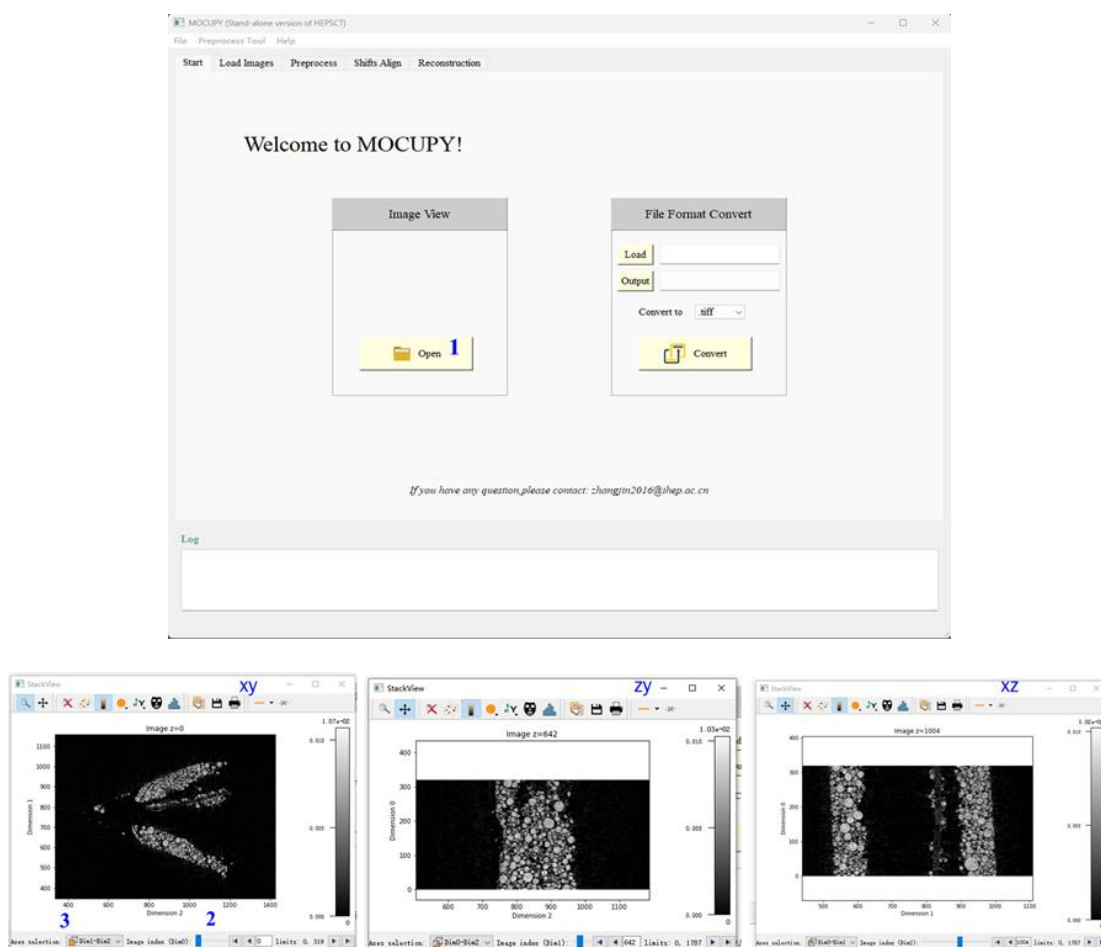


图 4 Start 页面图像预览及图像预览示例

图像预览主要包括投影图和重建切片(多方向)的预览，具体界面操作如下：

- 1) 点击 open 选择需要打开的文件（文件格式需满足 2.1 的要求）；
- 2) 通过拖动滑动条调节不同层的 slice；

3) 通过下拉菜单，选择不同方向的切片显示。

## 3.2 微米 CT 数据重建流程

由图 2 可知，微米 CT 数据重建流程，主要包括图像导入、背景扣除（预处理）以及重建共三部分。具体重建流程和界面操作如下：

### 3.2.1 图像导入

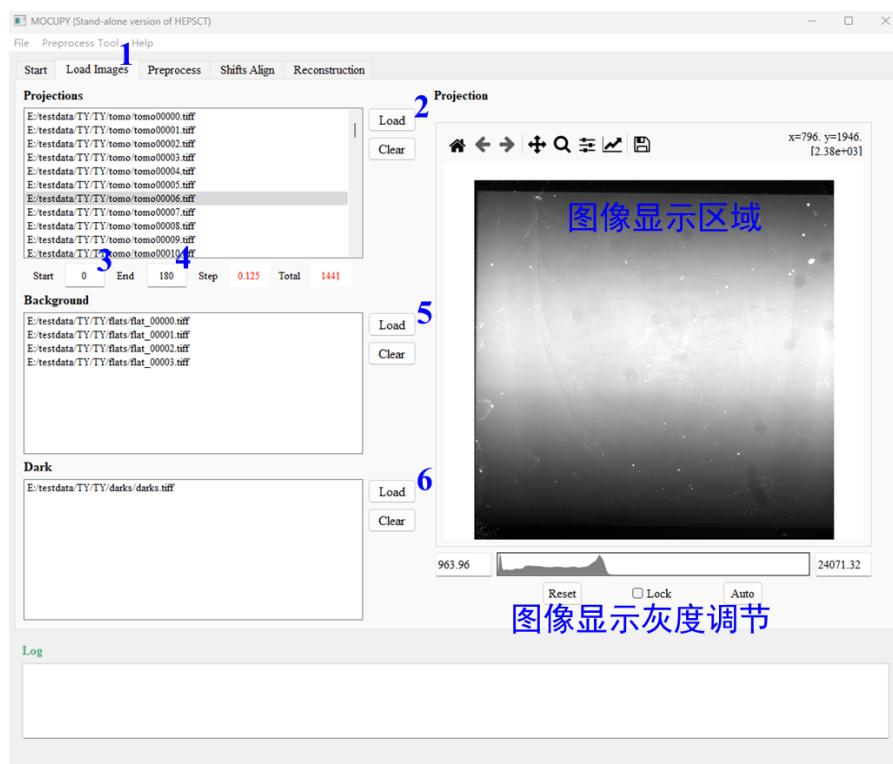


图 5 图像导入页面及操作

1) 点击 Load Image 切换至图像导入页面；

- 2) 点击 2 Load 按钮导入投影数据；
- 3) 检查起始角度（默认  $0^\circ$ ，编号 3）和终止角度（默认  $180^\circ$ ，编号 4）的数值是否与实验采集实际情况一致；若不一致，在 3、4 方框内中输入正确数值；
- 4) 点击 5 Load 按钮，导入背景数据；
- 5) 点击 6 Load 按钮，导入暗场数据；

注：若实验过程中未采集背景或暗场数据，可不导入，直接跳过。

### 3.2.2 背景扣除（预处理）

点击 Preprocess Tab 进入预处理页面（如图 6 所示）。

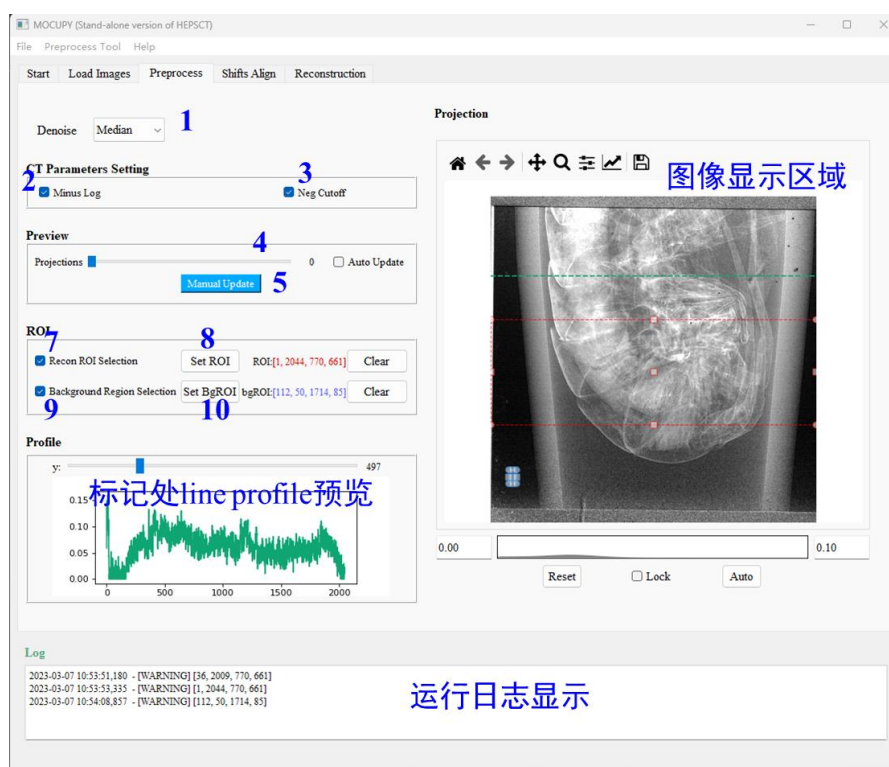


图 6 预处理页面及操作

- 1) 图像降噪算法选择（注：可根据实际情况选择算法，默认是 None）；
- 2) 背景扣除，具体计算公式如下：

$$I_{out} = -\log \frac{I_{prj} - I_{dark}}{I_{bg} - I_{dark}}$$

（注：默认勾选，若没有背景数据导入，需要取消勾选）

- 3) 去除图像中出现的负值，可选择是否勾选；
- 4) 拖动 Projection 的滑动条改变预览的投影图，通过点击 Manual Preview (编号 5) 按钮，可以手动更新预览图像；或者勾选 Auto Update (编号 6) 选项，自动更新预览图像；
- 5) 若需要对投影图像进行选区重建，勾选 ROI 选项 (编号 7)，在图像显示区域点击鼠标左键并拖动进行图像选区，确定区域后，点击 Set ROI 按钮 (编号 8) 即可完成选区 (如图中红色虚线部分所示)；如需取消已选区操作，可点击 Clear 按钮 (编号 11)；
- 6) 若需要对投影图像进行背景归一化，勾选 Background ROI 选项 (编号 9)，在图像显示区域，没有样品的区域，点击鼠标左键并拖动进行图像选区，确定区域后，点击 Set BgROI 按钮 (编号 10) 即可完成选区 (如图中蓝色虚线部分所示)；（注：该区域选择不能超过 300\*300，若样品占满整个区域，这步可跳过）

### 3.2.3 重建

点击 Reconstruction Tab 进入重建页面 (如图 7 所示)。

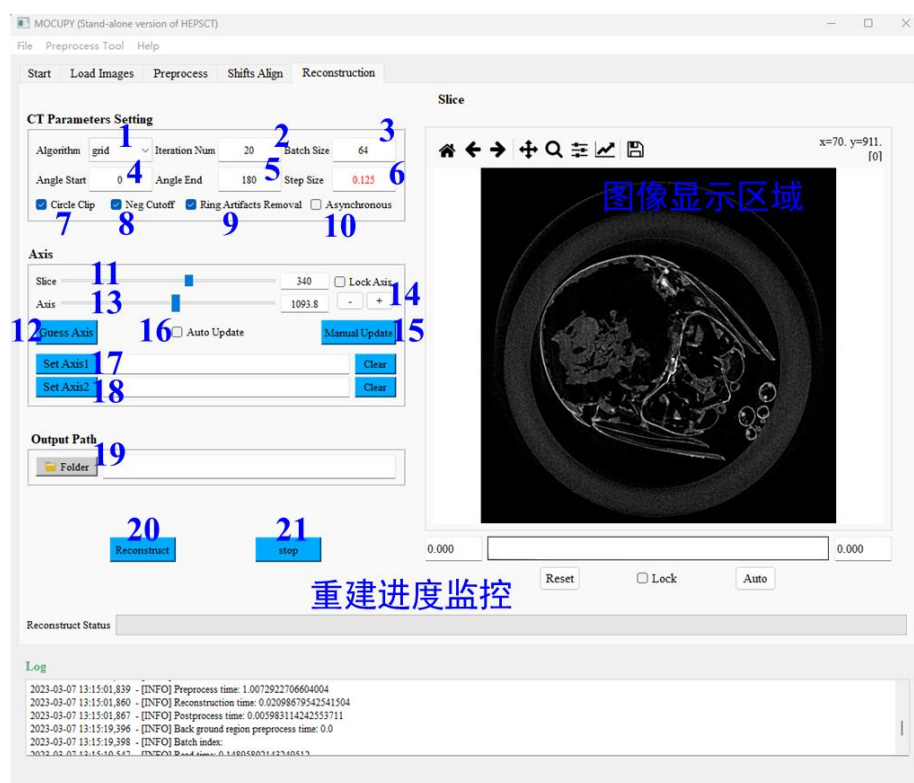


图 7 重建页面及操作

- 1) 重建算法选择：FBP、grid（速度快）、EM 等多种算法（默认 grid）；
- 2) 迭代次数，默认 20；
- 3) 每次重建的切片张数，与计算机性能（内存）相关，默认 64（可根据计算机的性能适当减小或增大）；
- 4) 起始角度：根据实际数据采集输入，默认 0；
- 5) 终止角度：根据实际数据采集输入，默认 180；
- 6) 根据导入的投影图数量和 4、5 的输入计算得到的值。在重建之前需要检查 step size 是否正确；
- 7) 对重建区域进行 mask，在 mask 圆外的值都为 0，可按照实际情况选择是否勾选；
- 8) 对重建后的图像中的负值进行去除，可按照实际情况选择是否勾选；

- 9) 对重建后的切片进行环形伪影去除，建议勾选；
- 10) 最终重建时是否异步，默认不勾选，可根据电脑配置选择是否勾选。
- 11) 拖动 Slice 滑动条可以改变当前重建切片的层数；
- 12) 点击 Guess Axis 按钮（编号 12）可以通过算法计算转轴的值；
- 13) 若 12) 中计算的转轴值不准确，可拖动 Axis 滑动条改变重建的转轴，寻找精确的重建转轴的值；
- 14) “+/-”按钮（编号 14）是 13) 中滑动条的精细调节，每点一次转轴数值变化 0.5；
- 15) 手动预览重建切片结果，每次改变参数后，预览均需点击 Manual Update 按钮（编号 15）；
- 16) 若打勾，自动预览重建切片结果，则每次参数改变均自动重建并显示结果；
- 17) 若样品较大，上层和下层转轴数值差异较大，分别确定上层和下层的转轴值，然后中间通过算法插值，得到转轴值。具体操作见（17.18）
- 18) 可向左拖动 Slice 滑动条（编号 11），选择上层的 Slice，重复 12) 至 14) 步骤，找到最合适的转轴，点击 set Axis1；（经过此步骤可确定上层的转轴）
- 19) 与 17) 操作类似，向右拖动 Slice 滑动条（编号 11），选择下层的 Slice，重复 12) 至 14) 步骤，找到最合适的转轴，点击 set Axis2；（经过此步骤可确定下层的转轴）
- 20) 点击 Folder 按钮，选择重建结果保存路径；
- 21) 点击 Reconstruction 按钮（编号 20）开始扫描；
- 22) 若需要中途停止采集点击 Stop 按钮（编号 21）。

## 3.3 纳米 CT 数据重建流程

由图 2 可知，纳米 CT 数据重建流程，主要包括图像导入、背景扣除（预处理）、图像抖动校正以及重建共四部分。具体重建流程和界面操作如下：

### 3.3.1 图像导入

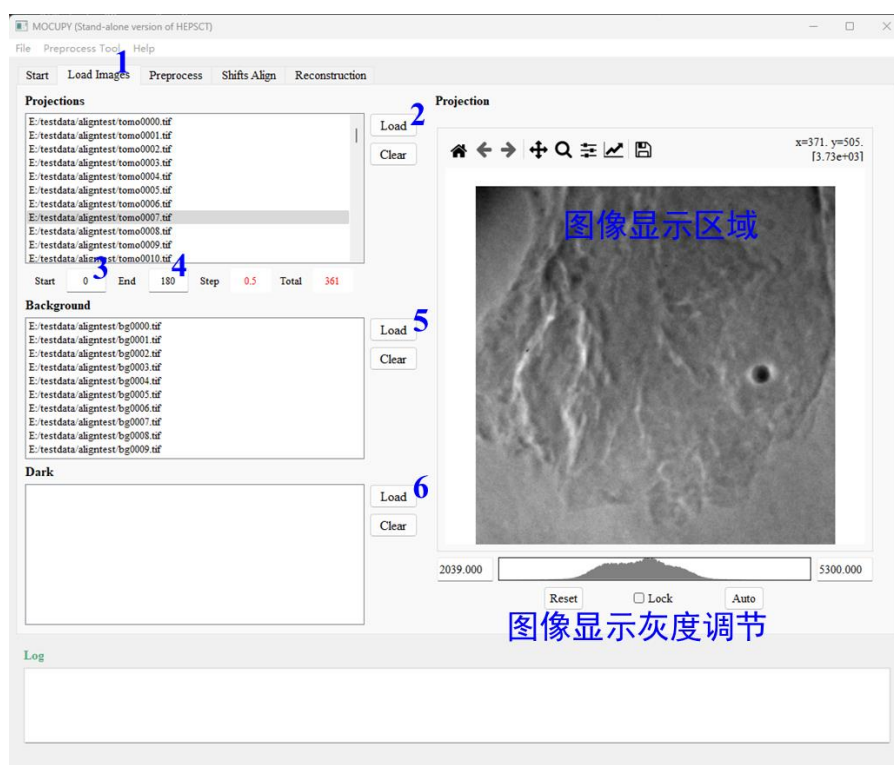


图 7 图像导入页面及操作

- 1) 点击 Load Image 切换至图像导入页面；
- 2) 点击 2 Load 按钮导入投影数据；
- 3) 检查起始角度（默认  $0^\circ$ ，编号 3）和终止角度（默认  $180^\circ$ ，编号 4）的数值是否与实验采集实际情况一致；若不一致，在 3、4 方框内中输入正确数值；
- 4) 点击 5 Load 按钮，导入背景数据；

5) 点击 6 Load 按钮，导入暗场数据；

注：若实验过程中未采集背景或暗场数据，可不导入，直接跳过。

### 3.3.2 背景扣除（预处理）

点击 Preprocess Tab 进入预处理页面（如图 8 所示）。

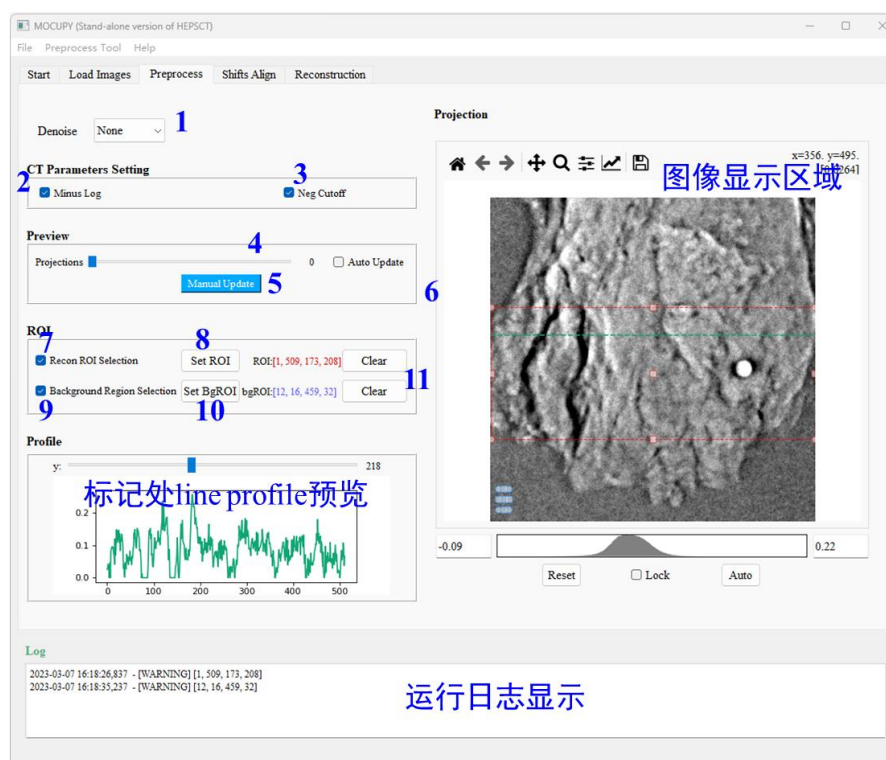


图 8 预处理页面及操作

- 1) 图像降噪算法选择（注：可根据实际情况选择算法，默认是 None）；
- 2) 背景扣除, 具体计算公式如下：

$$1. I_{out} = -\log \frac{I_{prj} - I_{dark}}{I_{bg} - I_{dark}}$$

（注：默认勾选，若没有背景数据导入，需要取消勾选）

- 3) 去除图像中出现的负值，可选择是否勾选；



- 4) 拖动 Projection 的滑动条改变预览的投影图, 通过点击 Manual Preview(编号 5) 按钮, 可以手动更新预览图像; 或者勾选 Auto Update (编号 6) 选项, 自动更新预览图像;
- 5) 若需要对投影图像进行选区重建, 勾选 ROI 选项 (编号 7), 在图像显示区域点击鼠标左键并拖动进行图像选区, 确定区域后, 点击 Set ROI 按钮 (编号 8) 即可完成选区 (如图中红色虚线部分所示); 如需取消已选区操作, 可点击 Clear 按钮 (编号 11);
- 6) 若需要对投影图像进行背景归一化, 勾选 Background ROI 选项 (编号 9), 在图像显示区域, 没有样品的区域, 点击鼠标左键并拖动进行图像选区, 确定区域后, 点击 Set BgROI 按钮 (编号 10) 即可完成选区 (如图中蓝色虚线部分所示); (注: 该区域选择不能超过 300\*300, 若样品占满整个区域, 这步可跳过)

### 3.3.3 图像抖动校正

由于样品转台机械稳定性的限制, 消除样品转动过程中, 在纳米成像实验数据采集过程中, 样品台会产生随机抖动, 从而影响直接重建结果。因此需要对图像进行抖动校正。MOCUPY 提供两种抖动校正模式: 手动校正和自动校正。

手动校正需要对每张投影图上的标记物进行位置标记, 该方法适用性强, 但工作量大。自动校正通过算法实现标记物识别并计算偏移量, 对于衬度好的图像, 即使没有标记物也可直接用自动校正算法进行计算。该方法省时, 工作量小。可通过实验数据的实际情况选择其中一种方法进行图像抖动校正即可。以下介绍具体界面及操作。

#### ◆ 手动校正

点击 Shift Align Tab 进入图像抖动页面 (如图 9 所示)。



6) 若已有 shift 的参数文件，可以直接点击 Load shift 按钮（编号 6），直接导入 shift，点击 Apply Shift（编号 2）即可完成 Align。

## ◆ 自动校正

自动校正主要包含两种校正模式，标记物识别（有金颗粒标记的情况）和 Marker-Free 模式（图像样品衬度高的情况）。

### ➤ 标记物识别

标记物识别的自动校正流程：选区、参数设定以及校正。具体操作如下：

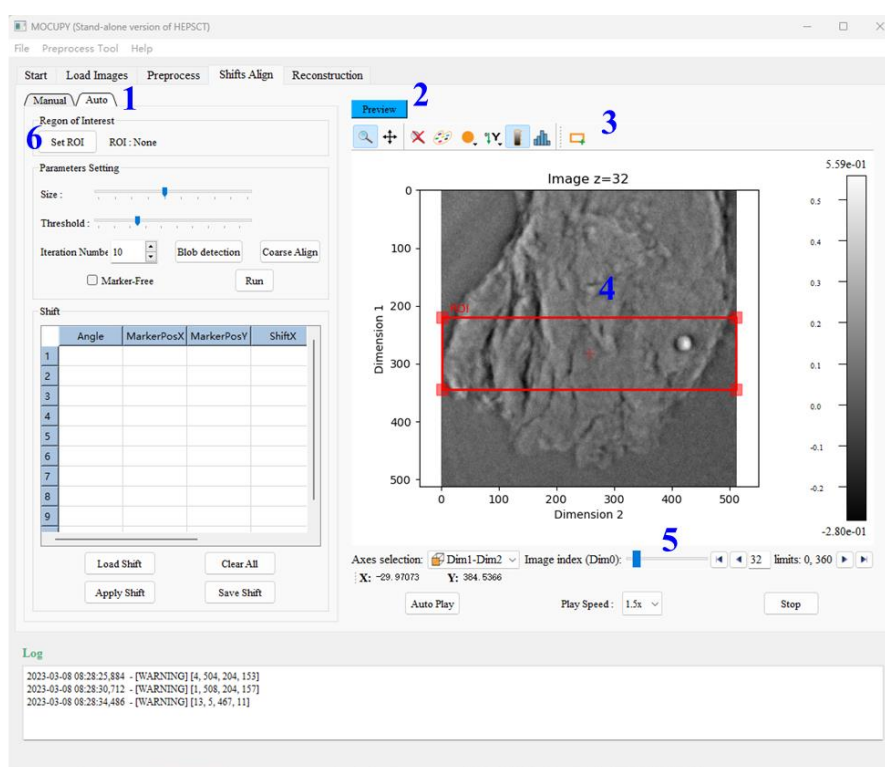


图 10 图像抖动自动校正界面及操作（选区）

#### ① 选区

- 1) 点击 Auto Tab（编号 1）切换至自动校正页面，如图所示。
- 2) 点击 Preview 按钮（编号 2）导入图像；

- 3) 点击选区图标；
- 4) 摁住鼠标左键并拖动，画出一个红框；
- 5) 拖动滑动条，观察金颗粒是否始终在红框内，若金颗粒超出红框范围，则调整红框大小使得所有投影中的金颗粒都在红色方框内；
- 6) 点击 Set ROI 按钮（编号 6）选区完成。

注：由于选区的大小决定了后续计算的占用内存，因此需要选区还需考虑计算机本身性能。若超过内存，则后续无法计算。

## ② 参数设定

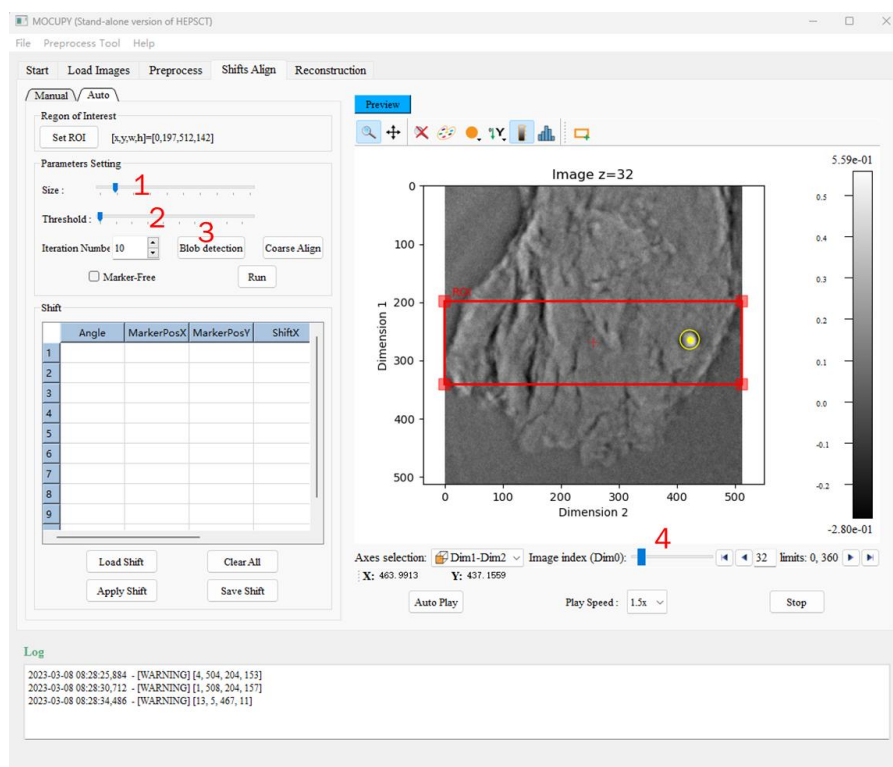


图 11 图像抖动自动校正界面及操作（参数设定）

- 1) 拖动 Size 右边的滑动条，使右边图片中心黄色圈的大小与红框内的金颗粒大小接近；
- 2) 将 Threshold 对应的滑动条拖到最左边（此时检测能力最强）；

- 3) 点击 Blob detection 按钮,此时金颗粒应被黄圈圈出;若没有则调整一下 Size 对应的滑动条,每次调整完 Size 和 Threshold 都点击一下 Blob detection 按钮观察检测结果。若除了金颗粒,其他噪点或杂质也被检测出来,则把 Threshold 对应的滑动条适当往右调。
- 4) 任意拖动 Image index 的滑动条,每个位置都点击 Blob detection 按钮,确保金颗粒在大多数位置都能被检测到。

### ③ 校正

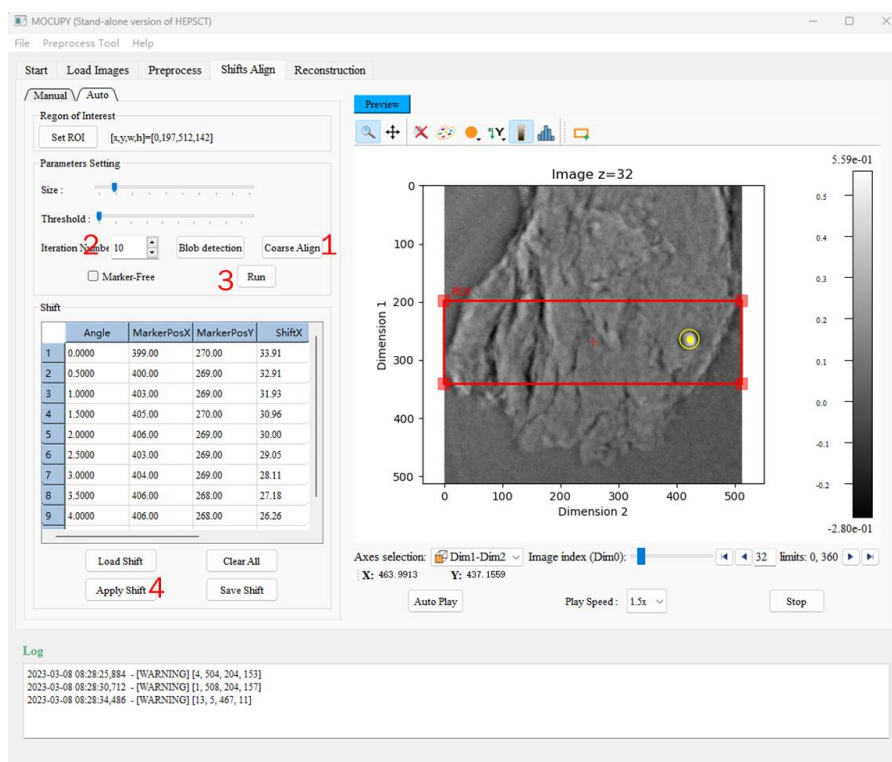


图 12 图像抖动自动校正界面及操作（校正）

- 1) 点击 Coarse align 按钮;
- 2) 调整 Iterations Num (0-100), 推荐值 10;
- 3) 点击 Run, 程序自动计算偏移量。

- 4) 校正完成后, shift 值会在界面表格更新, 点击 Apply Shift 后则可进行重建;

### ➤ Marker-Free 模式

衬度高的实验数据, 选区完成后 (详细操作见①选区), 直接进行以下操作:

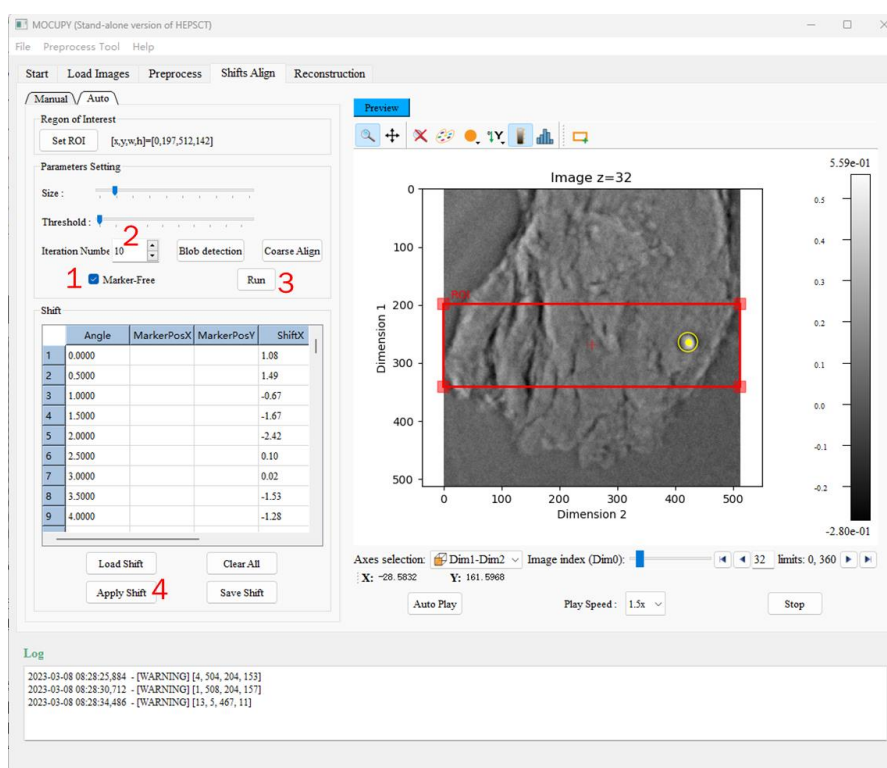


图 13 图像抖动自动校正界面及操作 (Marker-Free)

- 1) 勾选 Marker-Free;
- 2) 调整 Iterations Num (0-100), 推荐值 10;
- 3) 点击 Run, 程序自动计算偏移量。
- 4) 校正完成后, shift 值会在界面表格更新, 点击 Apply Shift 后则可进行重建;

### ➤ 图像抖动校正的判断标准及配准实例

在点击 Run 之后，程序自动配准，界面会弹出子窗口，可根据显示的图片进行校正结果评估。标记物边界闭合，形状清晰且周围放射状伪影少（如图 14 所示），随着迭代进行样品周围的放射性伪影减少，边界闭合。

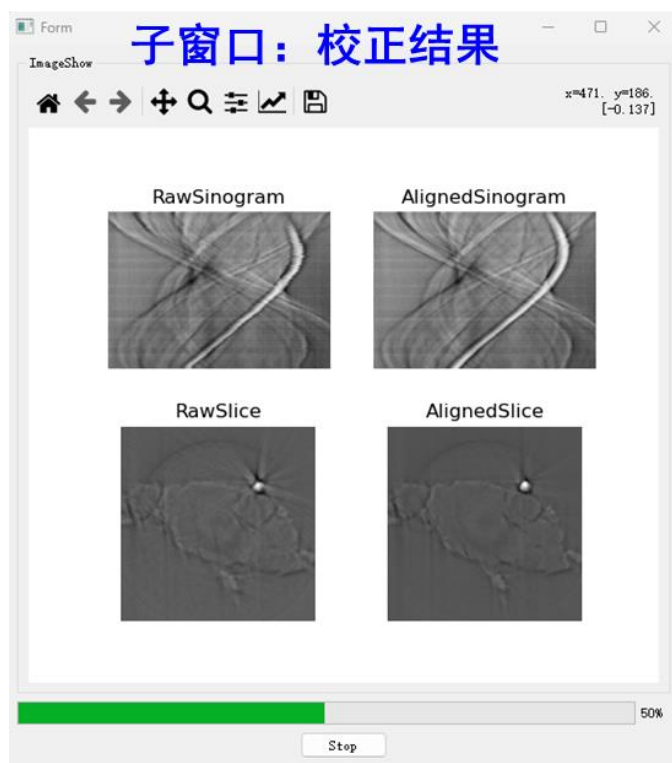


图 14 抖动校正中的中间结果示例

有标记物和无标记物的图像的抖动校正及重建结果如图 15-16 所示：

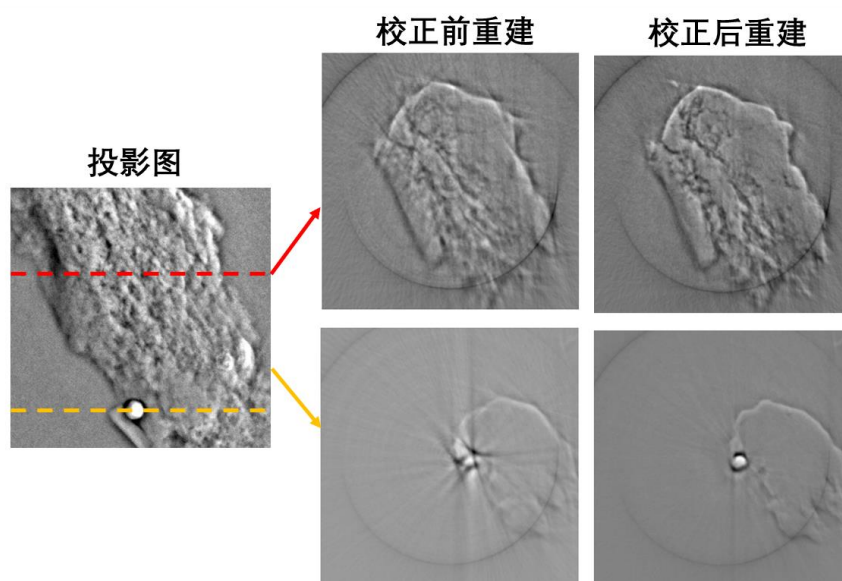


图 15 有标记物的图像自动抖动校正前后重建切片对比图

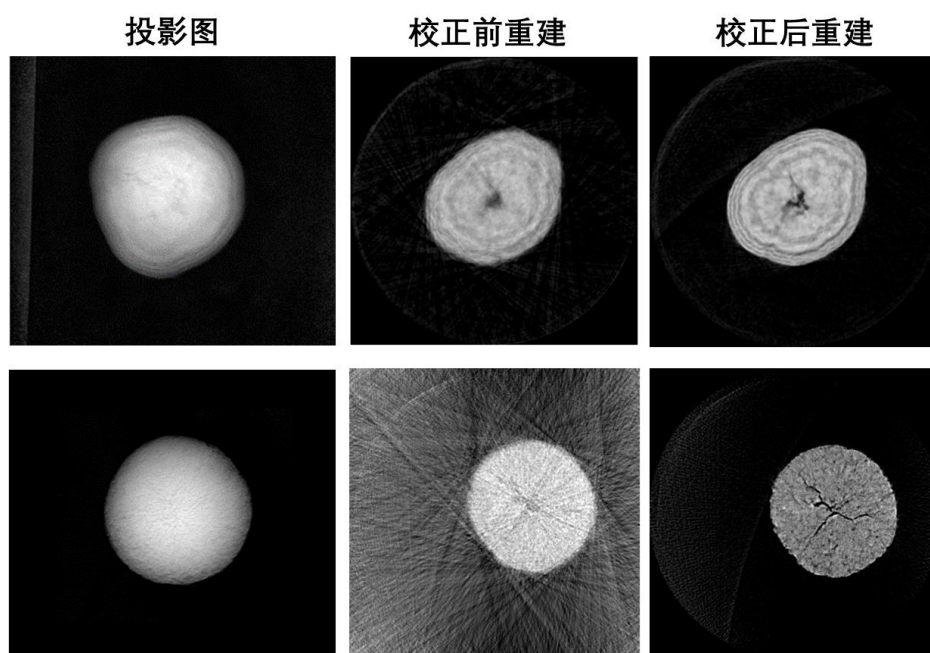


图 16 无标记物的图像自动抖动校正前后重建切片对比图



### 3.3.4 重建

完成 Shift 计算之后，点击 Reconstruction Tab 进入重建页面（如图 17 所示）。

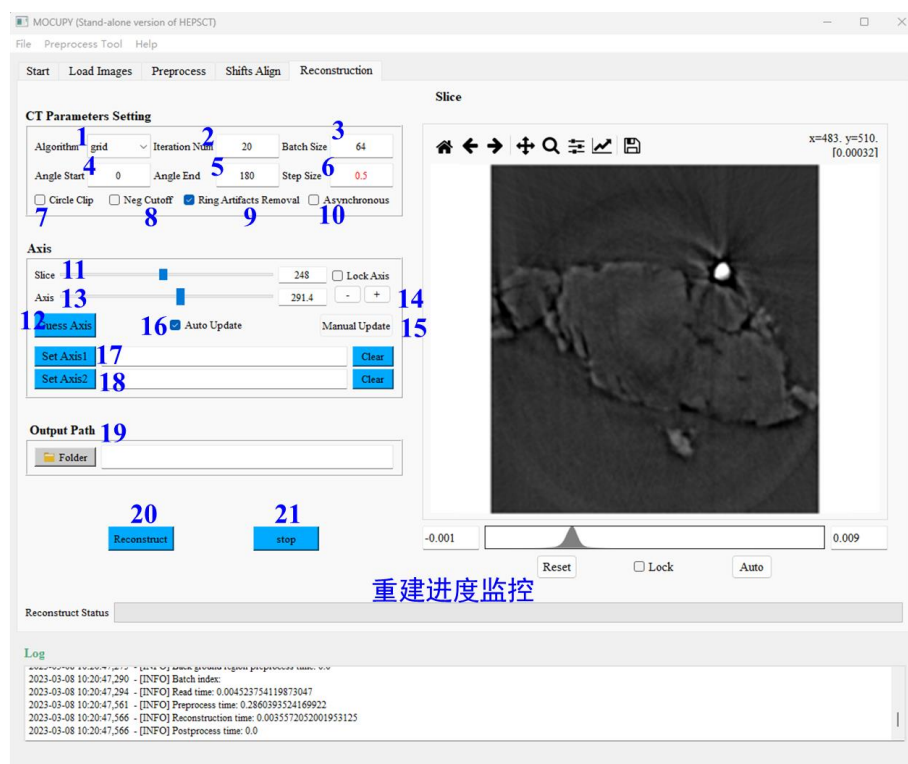


图 17 重建界面及操作

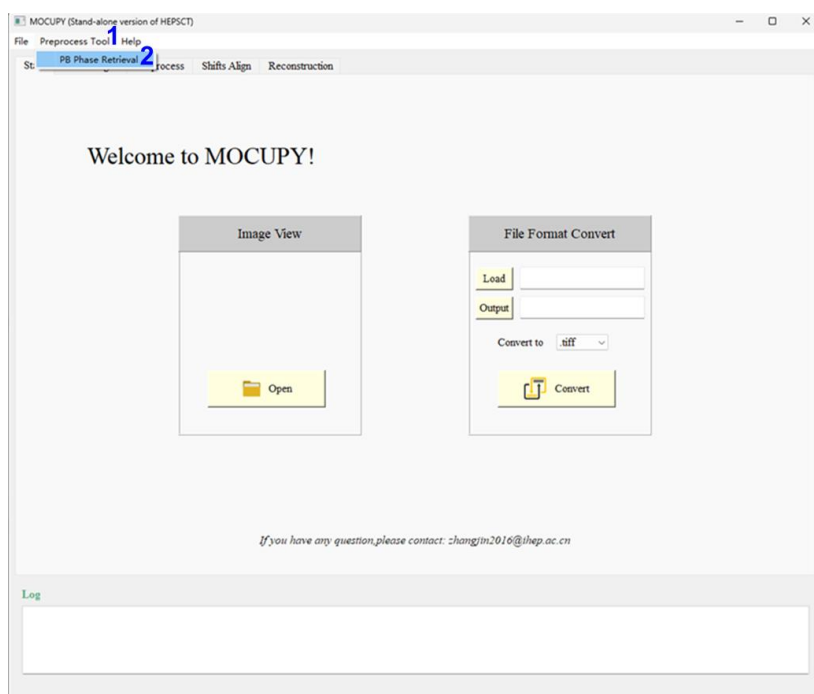
- 1) 重建算法选择：FBP、grid（速度快）、EM 等多种算法（默认 grid）；
- 2) 迭代次数，默认 20；
- 3) 每次重建的切片张数，与计算机性能（内存）相关，默认 64（可根据计算机的性能适当减小或增大）；
- 4) 起始角度：根据实际数据采集输入，默认 0；
- 5) 终止角度：根据实际数据采集输入，默认 180；
- 6) 根据导入的投影图数量和 4、5 的输入计算得到的值。在重建之前需要检查 step size 是否正确；

- 7) 对重建区域进行 mask, 在 mask 圆外的值都为 0, 可按照实际情况选择是否勾选;
- 8) 对重建后的图像中的负值进行去除, 可按照实际情况选择是否勾选;
- 9) 对重建后的切片进行环形伪影去除, 建议勾选;
- 10) 最终重建时是否异步, 默认不勾选, 可根据电脑配置选择是否勾选。
- 11) 拖动 Slice 滑动条可以改变当前重建切片的层数;
- 12) 点击 Guess Axis 按钮 (编号 12) 可以通过算法计算转轴的值;
- 13) 若 12) 中计算的转轴值不准确, 可拖动 Axis 滑动条改变重建的转轴, 寻找精确的重建转轴的值;
- 14) “+/-”按钮 (编号 14) 是 13) 中滑动条的精细调节, 每点一次转轴数值变化 0.5;
- 15) 手动预览重建切片结果, 每次改变参数后, 预览均需点击 Manual Update 按钮 (编号 15);
- 16) 若打勾, 自动预览重建切片结果, 则每次参数改变均自动重建并显示结果;  
若样品较大, 上层和下层转轴数值差异较大, 分别确定上层和下层的转轴值, 然后中间通过算法插值, 得到转轴值。具体操作见 (17.18)
- 17) 可向左拖动 Slice 滑动条 (编号 11), 选择上层的 Slice, 重复 12) 至 14) 步骤, 找到最合适的转轴, 点击 set Axis1; (经过此步骤可确定上层的转轴)
- 18) 与 17) 操作类似, 向右拖动 Slice 滑动条 (编号 11), 选择下层的 Slice, 重复 12) 至 14) 步骤, 找到最合适的转轴, 点击 set Axis2; (经过此步骤可确定下层的转轴)

- 19) 点击 Folder 按钮，选择重建结果保存路径；
- 20) 点击 Reconstruction 按钮(编号 20)开始扫描；
- 21) 若需要中途停止采集点击 Stop 按钮(编号 21)。

### 3.4 相位恢复操作流程

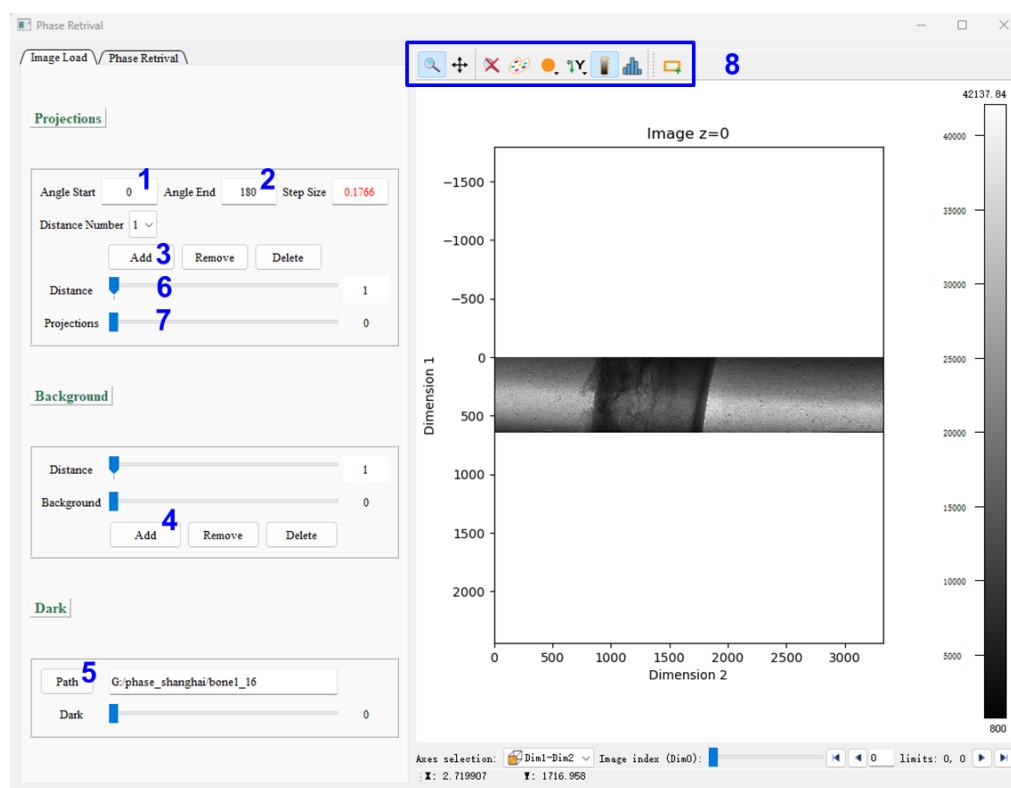
相位恢复模块是一个单独的预处理模块，目前仅支持同轴相位成像实验采集到的数据，包含单距离的相位恢复和多距离相位恢复。打开方式如下：



- 1) 点击菜单栏 Preprocess Tool；
- 2) 点击 PB Phase Retrieval 即可打开相位恢复窗口。

相位恢复具体操作如下：

### 3.4.1 图像导入



- 1) 投影数据采集开始的角度；若仅为单角度，可忽略；
- 2) 投影数据采集结束的角度；若仅为单角度，可忽略；
- 3) 点击 Add，选择投影数据进行导入；若为多距离采集的实验数据，则重复此步骤，几个距离采集的数据，就导入几次；此时 Distance Number 也会增加；
- 4) 为背景数据的导入；若为多距离采集的实验数据，则重复此步骤；若为多距离采集的实验数据，则重复此步骤，几个距离采集的数据，就导入几次；
- 5) 点击并选择暗场数据；
- 6) 拖动滑动条，可查看不同距离采集的图像；若为单距离数据，则滑动条无法拖动；
- 7) 拖动滑动条，可查看该距离下，不同角度下投影图像；若为单角度，则滑动条无法拖动；

- 8) 图像显示的工具栏，从左到右分别是：放大/缩小、拖动、colormap、沿 y 轴翻转、灰度直方图以及选区；

### 3.4.2 相位恢复

本软件包含多种相位恢复算法，主要可以分为以下两大类：

- 1) Edge Enhancement (Fresnel Number $\sim$ 1):

"tie":弱吸收

"tiehom\_Paganin", "tiehom\_Born", "tiehom\_Rytov":匀质假设，需提供样品折射和吸收系数之；

- 2) Hologram (Fresnel Number $\ll$ 1)

"ctf":弱相移，弱吸收；

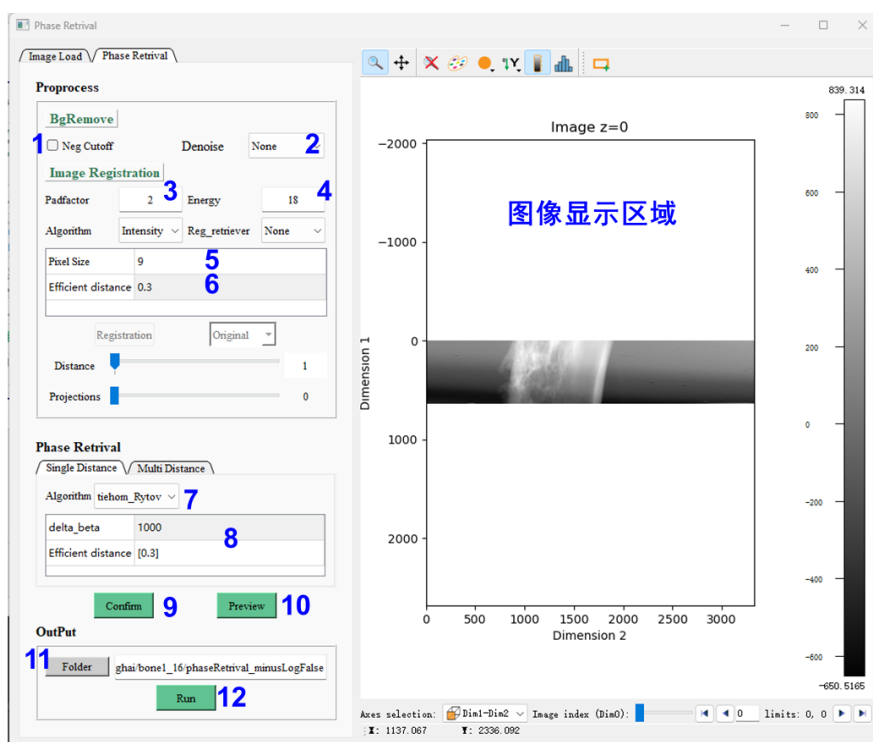
"ctfpurephase":弱相移，无吸收

"ctfhom":匀质假设，需提供样品折射和吸收系数

"ctfhalf", "quasiparticle", "quasiparticlehalf", "prjctf:改进的 ctf 算法适用于相移较大的样品

"hioer", "gd":迭代法求解

## ◆ 单距离模式相位恢复



- 1) 去除图像中出现的负值，可选择是否勾选；
- 2) 图像降噪算法选择（注：可根据实际情况选择算法，默认是 None）；
- 3) padfactor 设置，默认值为 2；
- 4) Energy：实验时的能量参数，单位为 keV；
- 5) 图像的有效像素尺寸，单位为 um；
- 6) 样品到探测器的有效距离，单位为 m
- 7) 在 Single Distance 的 Tab 页，选择合适的相位恢复算法；
- 8) 设置相位恢复的参数；
- 9) 确认 8) 中设置参数是否准确，无误后点击 confirm 按键；
- 10) 预览当前投影图的相位恢复计算结果；

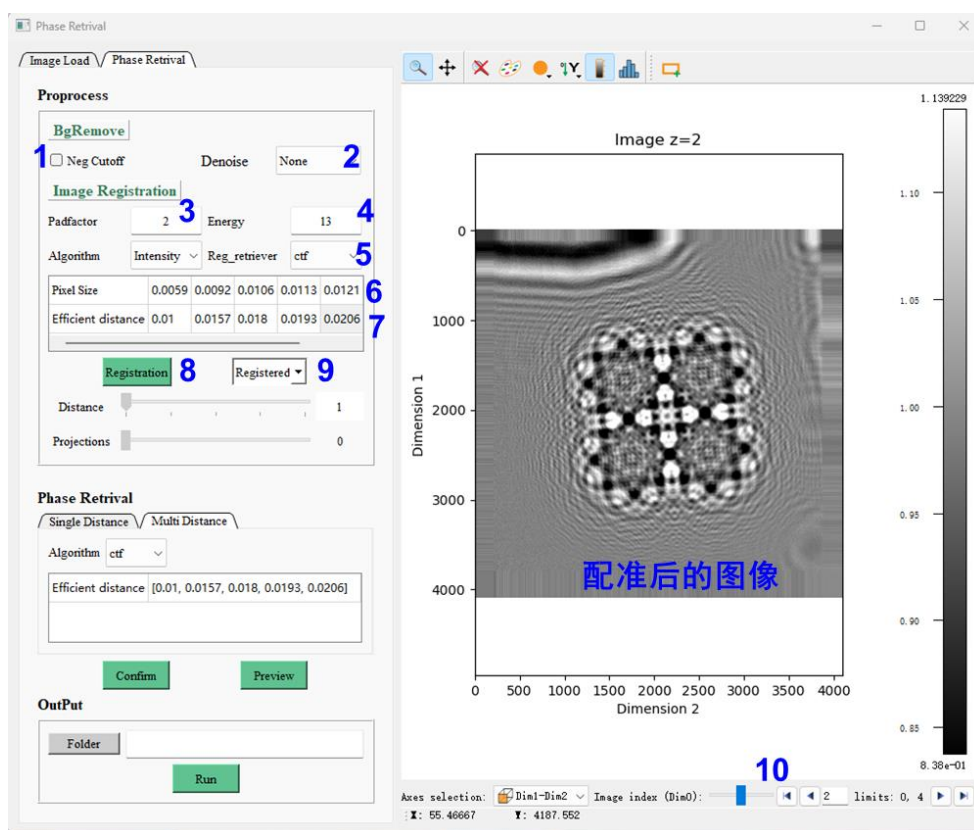
11) 点击 Folder 按钮，选择相位恢复结果保存路径；

12) 点击 Run 按钮，开始相位恢复计算。

### ◆ 多距离模式相位恢复

多距离模式的数据采集，不同距离的投影图需要先进行配准，才能进一步进行相位恢复。

#### ① 配准



1) 去除图像中出现的负值，可选择是否勾选；

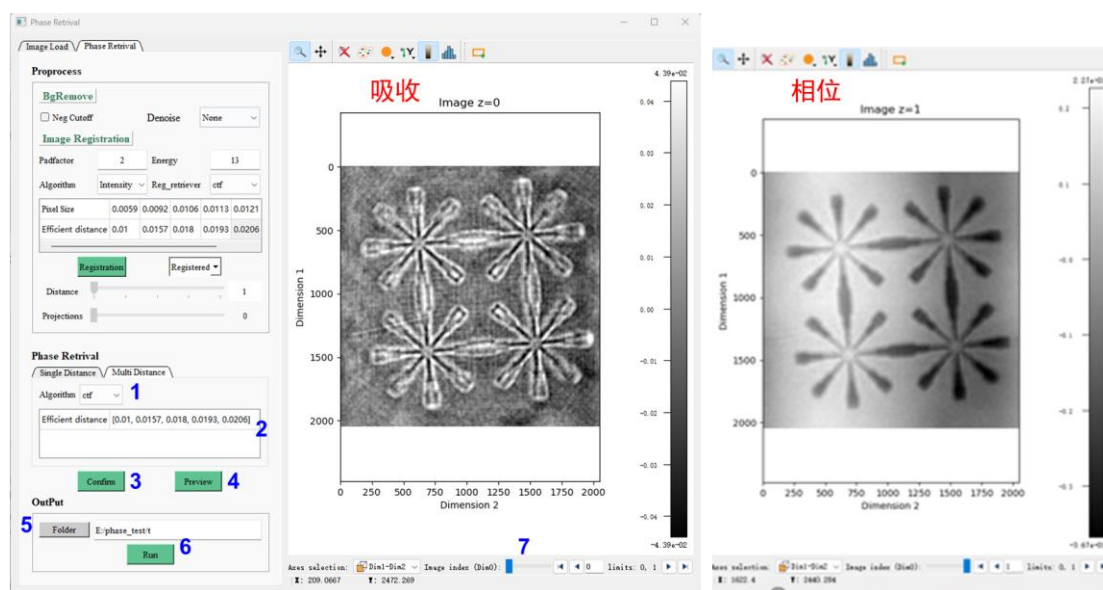
2) 图像降噪算法选择（注：可根据实际情况选择算法，默认是 None）；

3) padfactor 设置，默认值为 2；

4) Energy: 实验时的能量参数，单位为 keV；

- 5) 多距离配准时，预处理的参数，需要根据实验数据的具体情况选择 ctf 或者 tie;
- 6) 分别设置多距离中，每个距离采集到的图像的有效像素尺寸，单位：um;
- 7) 分别设置多距离中，样品距离探测器的有效距离，单位：m;
- 8) 点击 Registration 按钮，进行多距离图像的配准;
- 9) 切换查看配准前/后的图像;
- 10) 通过拖动滑动条查看配准后，不同距离的图像;

### ① 相位恢复



- 1) 在 Multi Distance 的 Tab 页，选择适当的相位恢复算法;
- 2) 设置相位恢复的参数;
- 3) 确认 2) 中设置参数是否准确，无误后点击 confirm 按钮;
- 4) 预览当前投影图的相位恢复计算结果;
- 5) 点击 Folder 按钮，选择相位恢复结果保存路径;

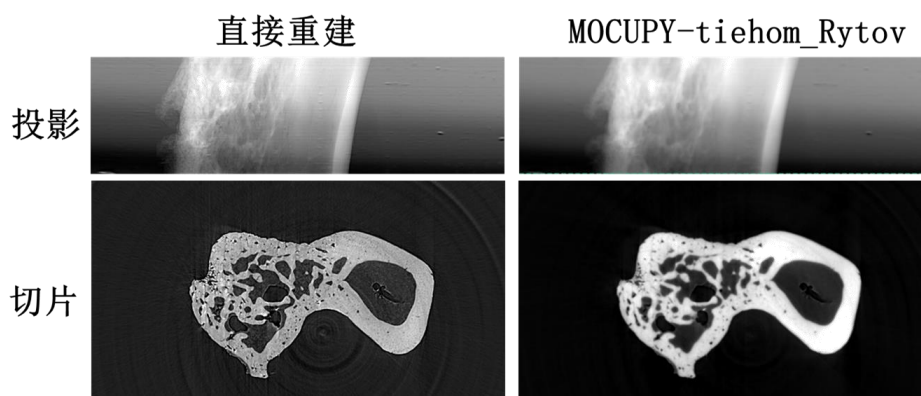


- 6) 点击 Run 按钮，开始相位恢复计算。
- 7) 拖动滑动条，可以查看相位恢复算法计算得到的吸收和相位信息图像；（ $z=0$  为吸收信息图像； $z=1$  为相位信息图像）

### 3.4.3 图像重建及实例

若为三维相位 CT 实验，在经过 3.4.2 计算之后得到相位信息的投影图，即可关闭相位恢复窗口，并按照 3.2 节流程进行三维重建（忽略背景和暗场导入）。

单距离相位 CT 成像直接重建和相位恢复后的结果对比如下图（感谢上海光源成像站提供的测试数据），投影图像共 1022 张，用 MOCUPY 进行相位恢复共耗时 3 分钟左右。



## 4 计算机性能推荐及常见问题

### 4.1 计算机配置及重建时间

测试编号	计算机性能			数据大小	总耗时
	显卡	硬盘	内存		
1	NVIDIA GeForce RTX 3060 laptop (6GB)	WD_SN570	16 GB	2k*2k*1441p	49s
2	NVIDIA GeForce RTX 3090 (24GB)	Samsung 980 Pro	200 GB	2k*2k*1441p	35s
3	NVIDIA GeForce RTX 3090 (24GB)	Samsung 980 Pro	200 GB	5k*4k*1441p	6mins 54s
4	NVIDIA GeForce RTX 3090 (24GB)	Samsung 980 Pro	200 GB	5k*4k*5120p	11mins 34s

图 18 计算机配置及重建时间

## 4.2 常见问题

- 1) MOCUPY 是基于 CUDA 进行 GPU 加速的快速 CT 重建软件，因此需要显卡支持 CUDA，当出现显卡不支持 CUDA 加速时，容易出现软件无法运行。
- 2) 若 CT 数据采集角度缺失过多或样品超出投影视野时，Guess Axis 可能出现计算不准确的情况，可通过手动调节转轴进行转轴校准。

# 5 开发团队及联系方式

## 5.1 软件开发团队

MOCUPY 由 HEPS X 射线显微成像线站团队开发

## 5.2 联系方式

张锦，[zhangjin2016@ihep.ac.cn](mailto:zhangjin2016@ihep.ac.cn)

由于目前软件还在持续功能更新中，因此，可能存在一些问题，如在使用过程中遇到问题可通过以上方式联系，欢迎使用下载。