

FastDVC 简明教程^[1]

目录

FastDVC 简明教程 ^[1]	1
一、基本原理.....	2
二、使用参考步骤	3
1、输入密钥打开软件.....	3
2、DVC 前期处理模块.....	5
2.1 分割阈值选取	5
2.2 Z 轴含量成分匹配与选取	6
2.3 XY 平面角度匹配.....	7
2.4 生成.mat 格式的三维矩阵.....	8
3 DVC 计算.....	10
3.1 计算参数设置	10
3.2 DVC 执行计算.....	11
3.3 二次编辑	11
4. 应变计算	13
5. 后处理显示.....	14
6、附件-交互执行代码	16
6.1 不规则形状计算区域标记	16
6.2 采用云点显示不规则云场	16
6.3 采用散点显示不规则云场	16
参考文献	17

编者注：非常欢迎 FastDVC 使用者提出修改意见，修改意见可以直接通过邮箱发给我，针对优质的意见可以直接抵换软件使用期限。

软件不能放置有中文路径下!!

请引用：

1, Li, C, Shu, R. Accurate and simple digital volume correlation using pre-interpolation, Measurement Science and Technology. <https://doi.org/10.1088/1361-6501/ab85b0>

2, Li Chengsheng, et al. Dynamic three-dimensional imaging and digital volume correlation analysis to quantify shear bands in grus, Mechanics of Materials. <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2020.103646>.

一、基本原理

基于数字图像相关原理实现，具体可参考论文^[2,3]及里面涉及到的相关论文。
等效应变计算公式

$$\varepsilon_z = \frac{\sqrt{2}}{3} \times \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + (\varepsilon_y - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_x)^2 + \frac{3}{2}(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2)} \quad (6.1)$$

$$\varepsilon_v = \varepsilon_1 + \varepsilon_1 + \varepsilon_1 = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z \cdots \cdots (6.2)$$

式中， ε_x 、 ε_y 、 ε_z 、 ε_{xy} 、 ε_{yz} 、 ε_{zx} 分别为 x、y、z 方向的应变和剪应变。

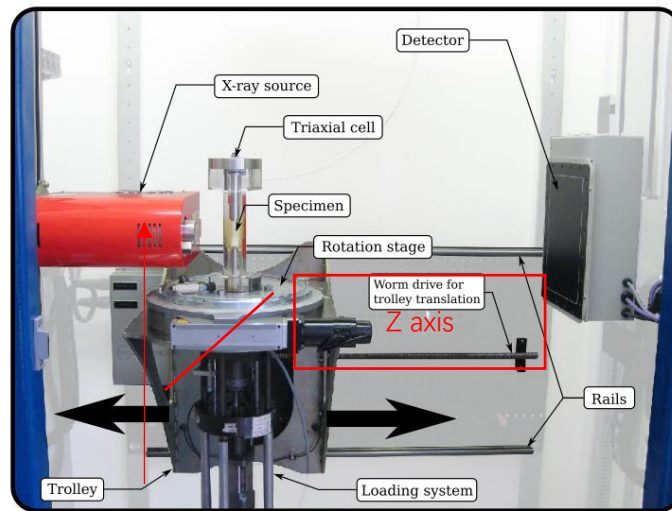


Fig. 3 Labelled photograph of the Laboratoire 3SR X-ray scanner, with background faded out for clarity

[4]

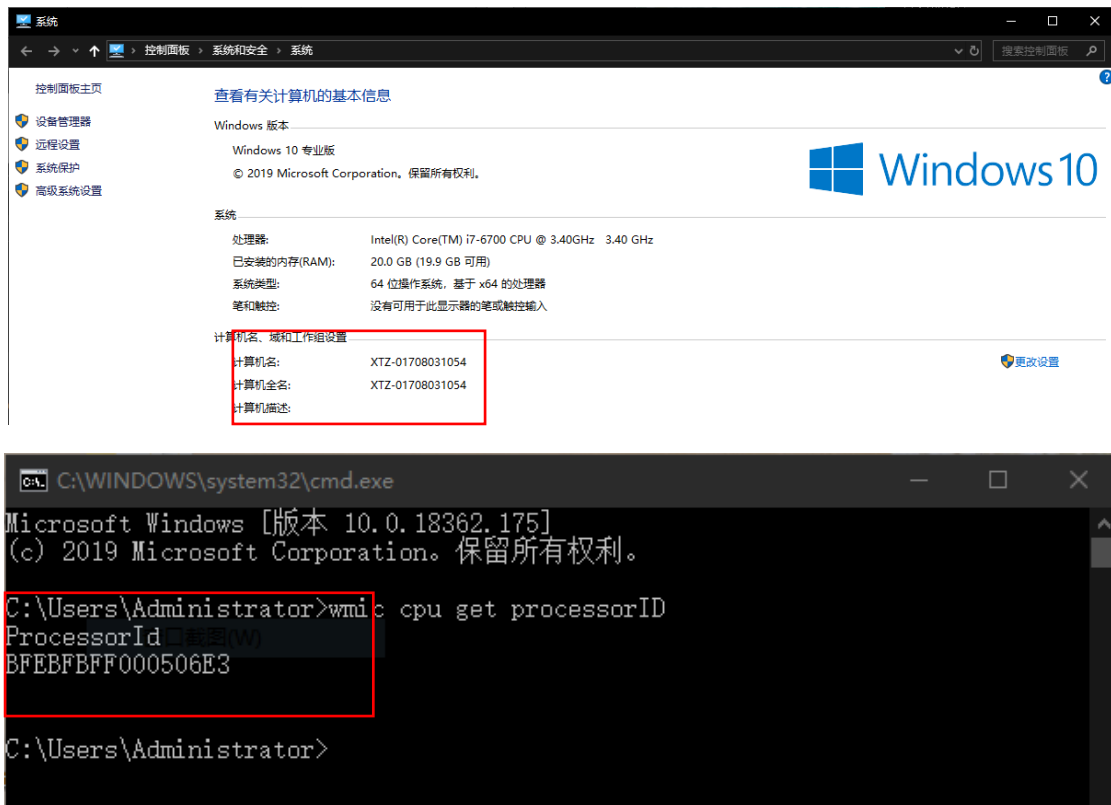
二、使用参考步骤

1、输入秘钥打开软件

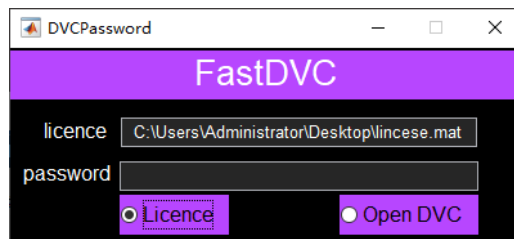
如果没有安装 **MATLAB2019b**，则运行软件需要下载安装 MATLAB2019b runtime（官网免费），链接：<https://ww2.mathworks.cn/products/compiler/matlab-runtime.html>

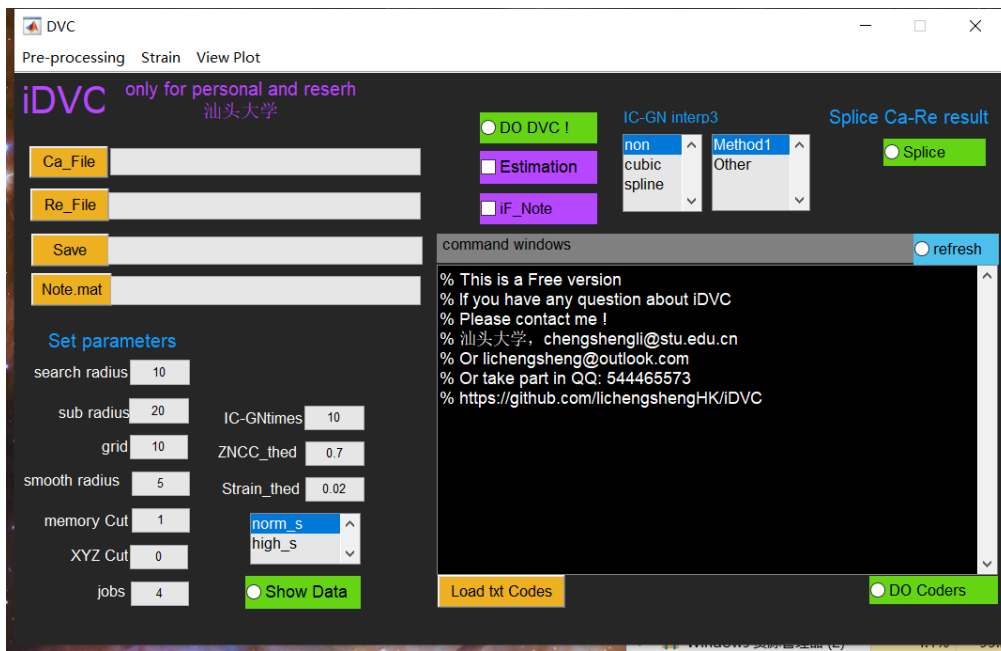
打开软件需要唯一的秘钥，一台电脑生成一个唯一的秘钥，需要向开放本人提供安装软件的：主机名称、CPU 序列号。

如下图所示：在 **cmd** 或者 **shell** 里面输入：“**wmic cpu get processorID**”可获得相关硬件信息。

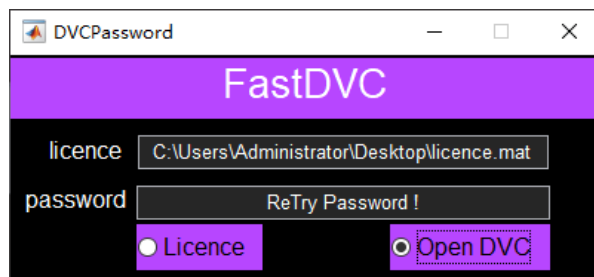


生成唯一秘钥 license，例如：**1c9c8eeab2eced71a0600acee2b6ab087d29d701d0f804cdb8xxx**，在软件界面用【Licence】输入 licence 文件路径即可打开。



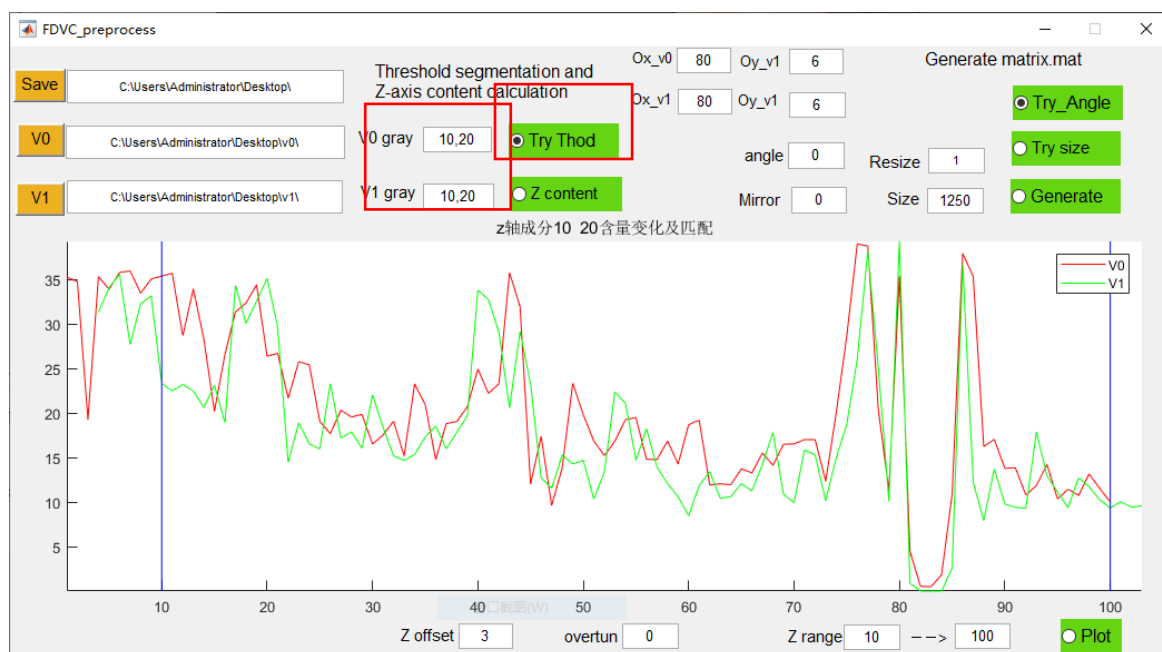


如果密钥错误或支持时间过期，会出现如下结果：



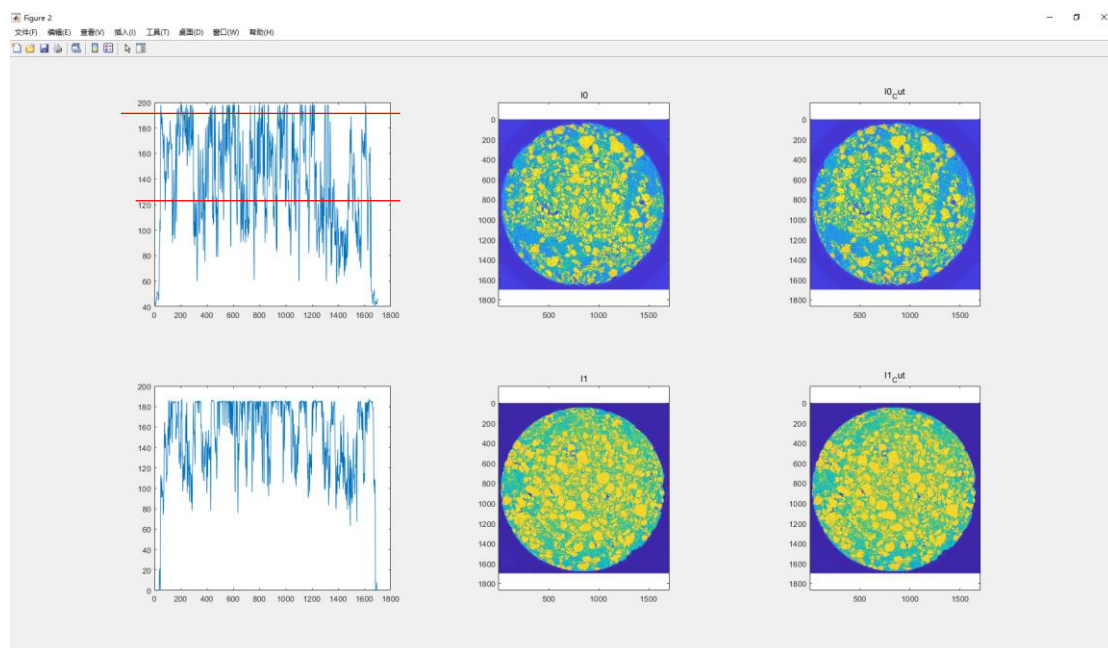
2、DVC 前期处理模块

2.1 分割阈值选取

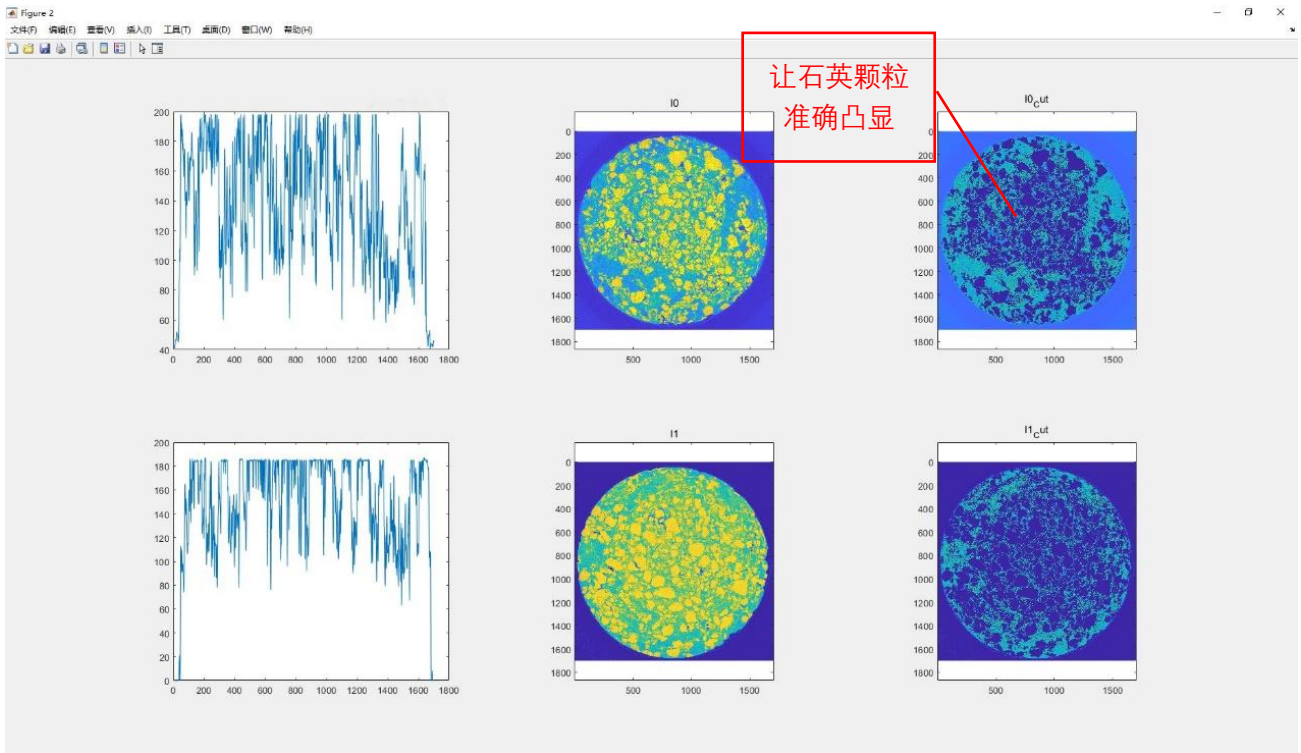


提前选取好保存路径【Save】、参考图像【V0】和当前图像【V1】文件 path（注：当前仅支持 tif 格式，非 RGB3 层数据，最好是 uint8 格式，在大数据时降低内存需求）。阈值的选取是为了调整两个 CT 数据在 Z 上的匹配，减少后期 DVC 计算压力，同时也提高准确度。

一开始可以随意选取分割阈值，比如“0,1”（只能是这种形式，两个数值+中间一个英文逗号，且必须是英文），单后点击【Try Thod】，根据结果中最突出稳定的材料来选取合适阈值。如下图所示，此材料是混凝土，含有黏土和石英颗粒，而石英颗粒是比较稳定的。

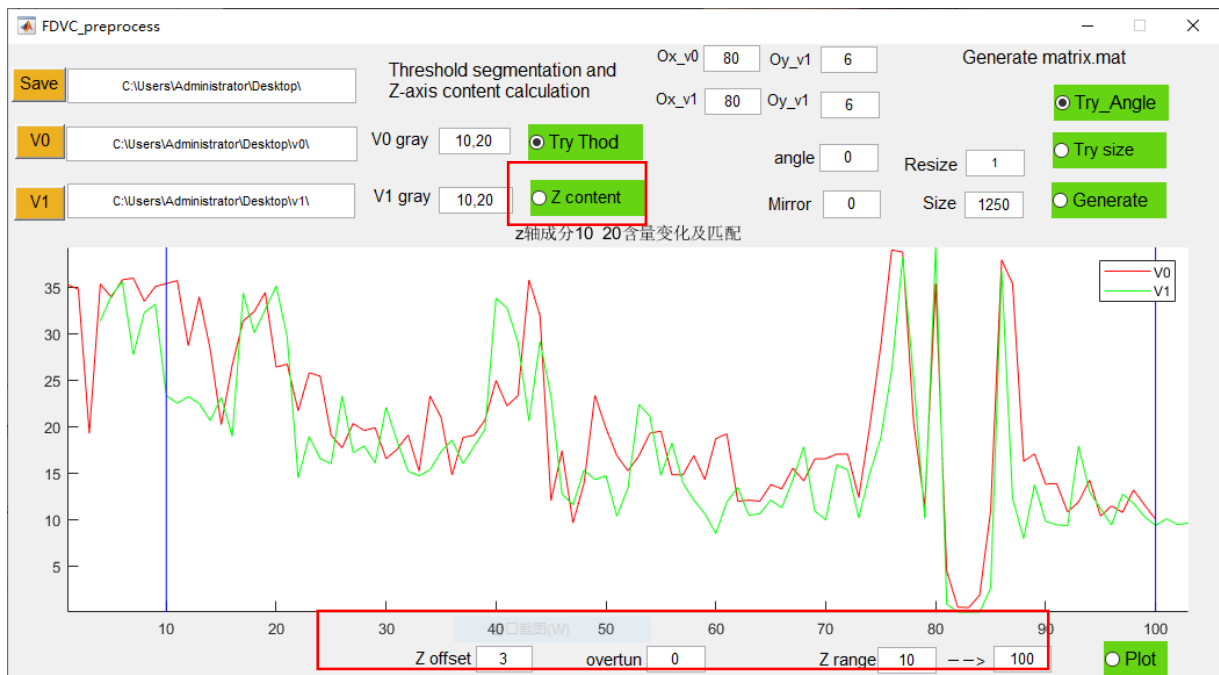


根据上图的剖面图可以确认石英颗粒大概的灰度值范围（不需要非常准确）为“120,200”，得到如下图，依据 2-3，5-6 的对比效果不断调整阈值范围直至合理为止。



2.2 Z 轴含量成分匹配与选取

当阈值选取 OK 后，执行 **[Zcontent]** 计算选取阈值的 Z 轴含量分布，会生成 **content.mat** 和 **Z.mat**。并且执行 **[Plot]** 画出 Z 轴分布曲线。如果 CT 扫描过程中试样有颠倒，在 **[overtun]** 中选取“1”（同步实时加载一般不会出现该情况）。

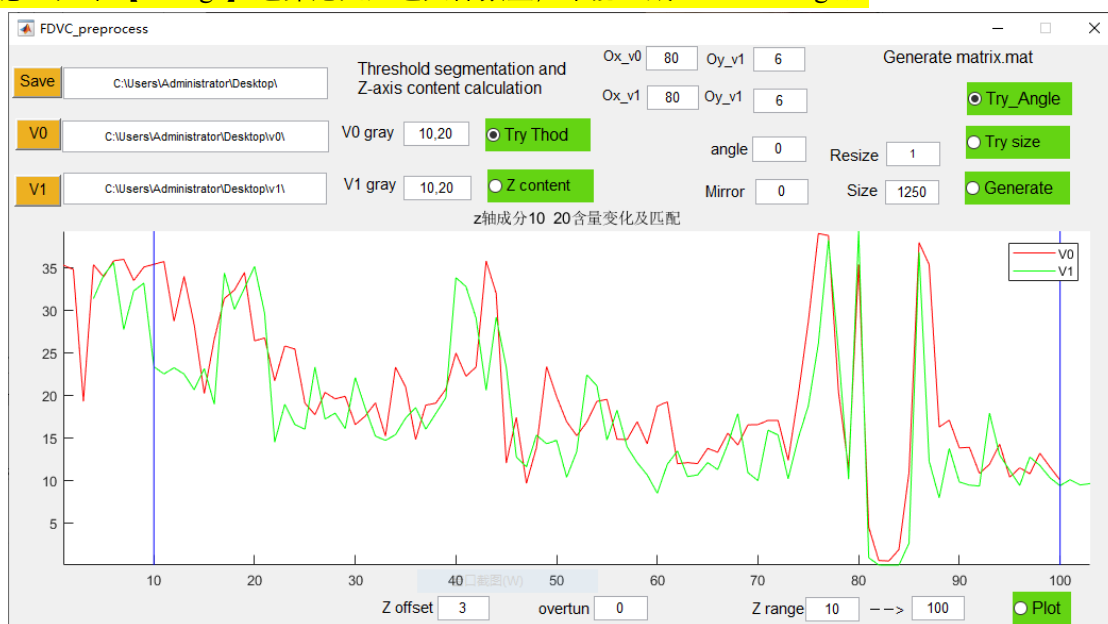


选择相应的 **[Z offset]** 来使两条曲线变化趋势尽量匹配。

选取适当的 **[Z range]**，来选取需要计算的层范围，只要曲线吻合好，可尽量取大一些，最终结果如下

图所示：

注意：如果【Z range】选择范围超过文件数量，不能生成 volume image。



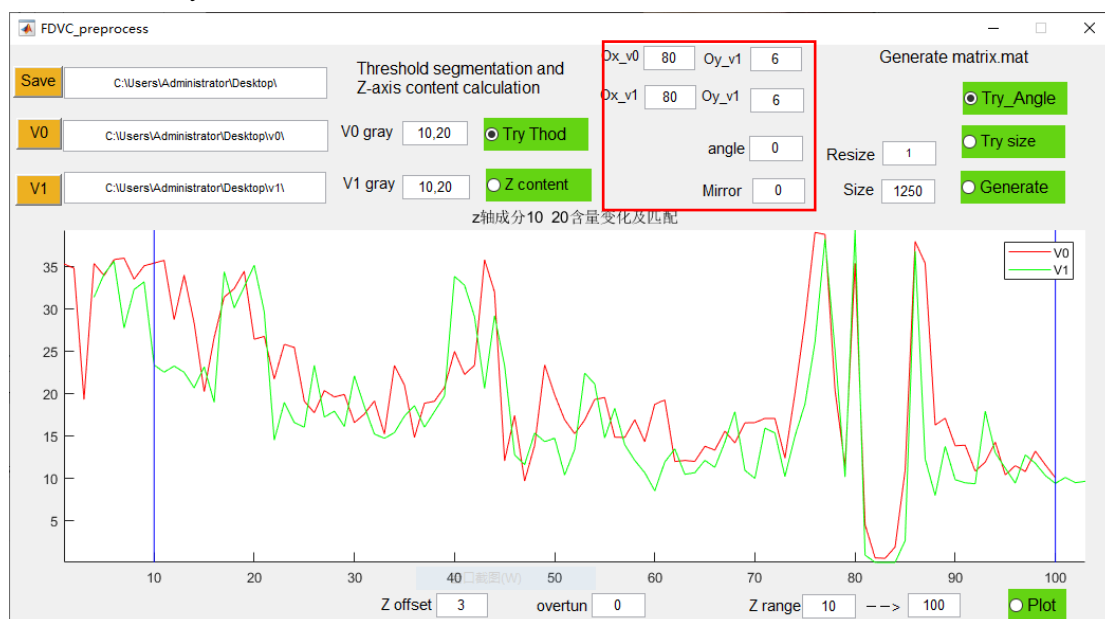
2.3 XY 平面角度匹配

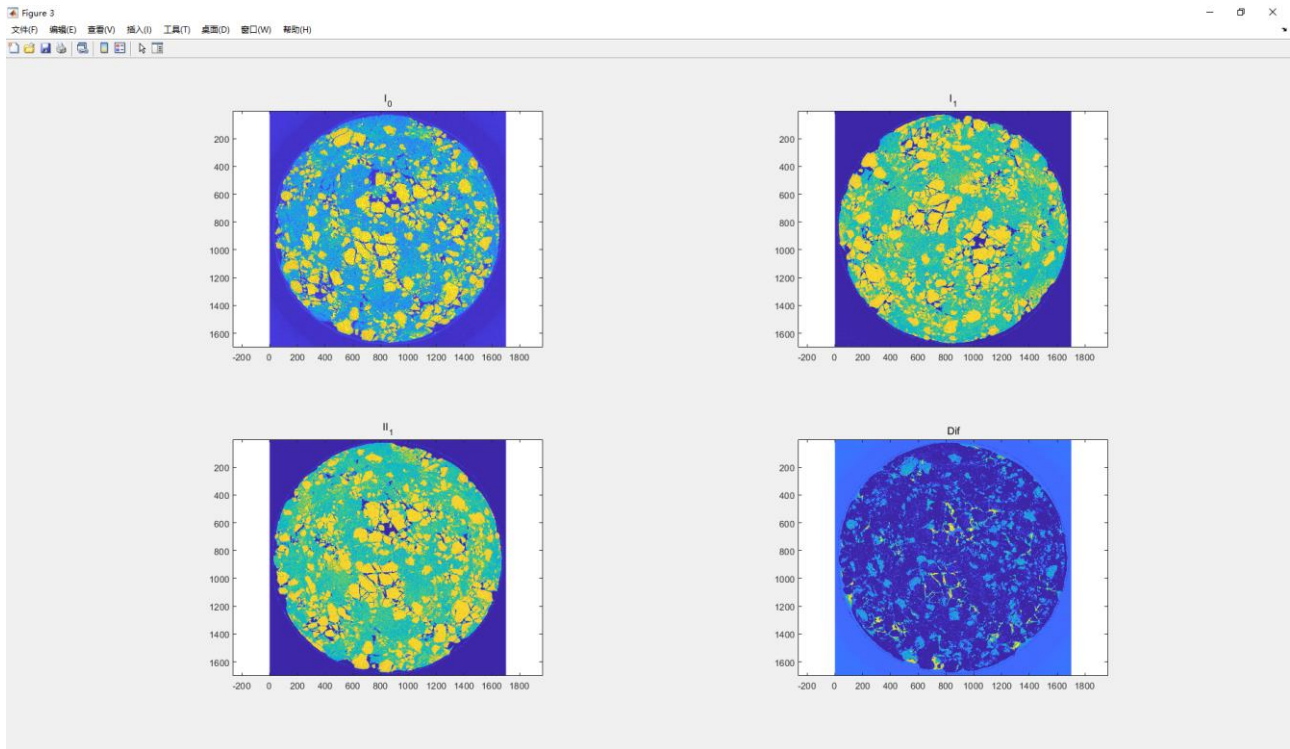
同样也是为了减少计算误差，进行角度匹配（注：如果是实时同步加载，设置为 0 就行，但必须要点击【Try_Angle】(0-360°) 生成相应的设置参数)。如果 CT 扫描过程中试样有颠倒，【Mirror】选择“1” (0 代表不颠倒，1 代表需要颠倒)，通过不断对比结果调试获取合理的角度匹配。如下图所示：

注意：

- 1) 如果原始 CT 图片不是居中的需要采用【Ox,Oy】进行调整
- 2) 如果前后 tif 图片尺寸不同，需要调整【Size】

可以直接点击【Try size】来调节中心偏移参数和 Size 参数。



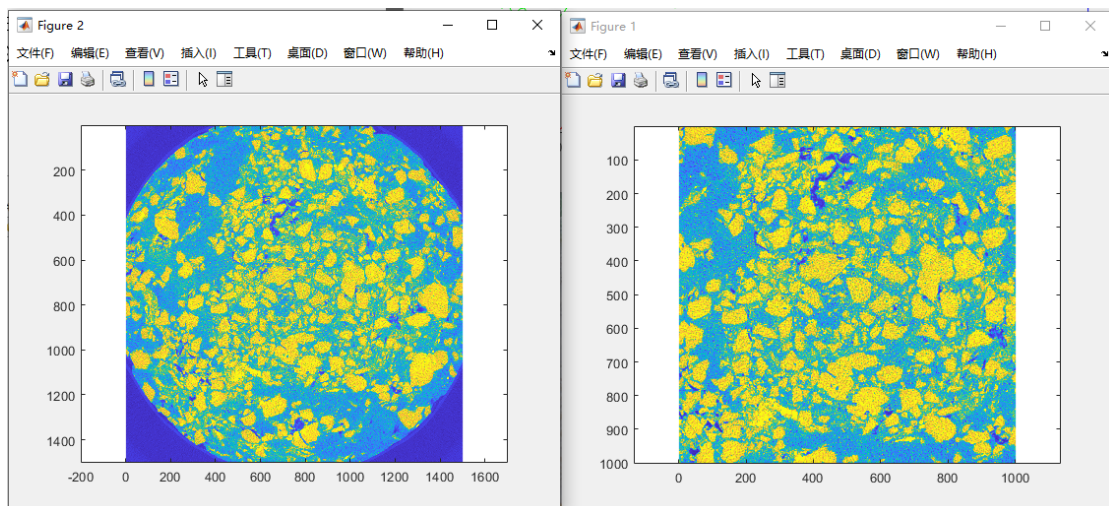


2.4 生成.mat 格式的三维矩阵

当前面参数全部合理后即可生成矩阵。但需要注意的是：

- 1) 如果 CT 矩阵很大（相比计算机的内存），可以选择合适的 **resize**，比如选取“0.5”，原来 1000^3 的矩阵转化成 500^3 的矩阵；
- 2) 如果感兴趣的区域比较小，可以选择 **Size** 来进行正方形切割，具体可以 **Try size** 的效果来确定。如果图形有中心偏移，根据前一节的参数进行调节。

当全部参数确认无误后，可以执行 **Generate**，最终生成‘V0.mat’和‘V1.mat’。



NOTE：如果文件名太长，特别是数值太长，有可能无法处理，这时需要重新命名简单的文件名，具体操作如下：

其中重命名的文件名投为字符！

批量修改文件名：首先打开需要批量修改文件名的文件，然后在键盘上按ctrl+a全选，然后右击重新命名，修改文件名，最后敲击回车就完成了对文件名进行批量修改了。

其实批量修改文件名非常简单，打开需要批量修改名称及排序的文件，ctrl+a 全选，右键选择重命名给第一个文件命名，修改结束后回车，文件名称已修改，并且出现序号排序自动排序。如果在操作中出现失误，可以按Ctrl+Z进行撤销，重新修改即可！

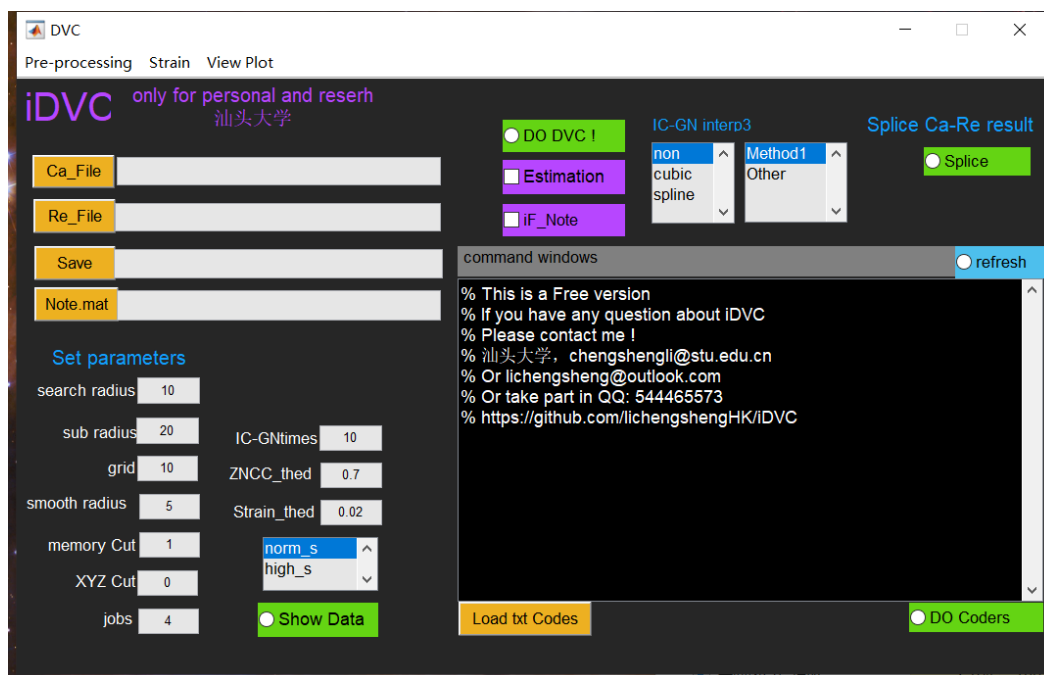
3 DVC 计算

3.1 计算参数设置

NOTE: 每次计算，只要参数改变，必须要删除已有的 **DD_first.mat** 结果！不然容易出现由于参数不同导致计算终止！

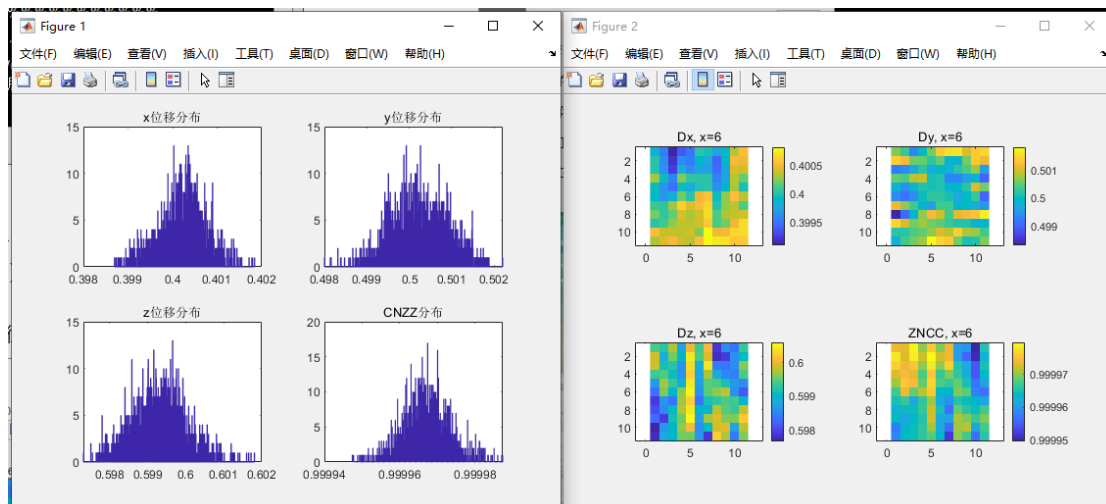
设置好 **Ca File** 和 **Re File**（打开参考 V0.mat 和当前 V1.mat 文件）和 **Save** 路径。

- 1) **search radius** 单位是体素，配合后面的 **Estimation** 模块进行调节合适数值，一般要稍微大一些；
- 2) **sub radius** 单位体素，计算格子半径，选取“20”则计算窗口为“41” ($2*n+1$)，小应变用大窗口，大应变用较大的窗口；
- 3) **grid** 用于直接选取计算点，是计算间隔；
- 4) **smooth radius** 是高斯滤波半径，在 CT 扫描中一般会出现一些噪声，进行预处理掉，如果已经处理过了，可以选取较小的值；
- 5) **memory Cut** 用于减小内存需求操作，当数据很大时（比如大于 500^3 ）可选择“3”，数据较小时可选择“1”，一般大可选择“2”；
- 6) **XYZ Cut** 当计算内存小但计算数据很大时可选用，比如选取“2”进行 $2^3=8$ 分割；理想下每核对应 2G 内存。
- 7) **Re_n** 预处理后的修正次数，一般为 30-50；
- 8) **jobs** 设置并行计算核数，最大为“13”；
- 9) 如果对 PSO 算法特别熟悉，可以对此模块参数调整，不然选择默认值；
- 10) **ZNCC_thed** 当计算的 ZNCC 小于该阈值则需要重新修正
- 11) **Strain_thed** 定义大变形阈值
- 12) **norm_s, high_s** 选择正常速度“norm_s”、高速度“high_s”；
- 13) **IC-GN interp3** 当选择正常速度“norm_s”时，指定 IC-GN 计算中插值方法选取，其中“non”不进行 IC-GN 计算；

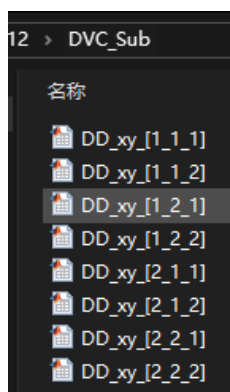


3.2 DVC 执行计算

- 1) 当 **【jobs】** 数值为“0-1”时关闭并行计算。
- 2) **【Estimation】** 在计算初期，需要动态调整 **【search radius】**，根据当前的结果进行调整，会生成 **DD_first.mat**，如果有 Data Cut，会生成 DVC_key 子数据。



- 3) 当前参数设置 OK 后，**【Estimation】** 必须要取消，然后点击 **【DO DVC!】** 进行 DVC 主体计算，计算过程会在 **【命令窗口】** 动态显示一些过程信息。会生成 DVC.mat，如果有 Data Cut 则还会生成：



- 4) **【jobs】** 最理想是选择 CPU 的物理核数，而不是线程数。
- 5) **【Splice】** 比较复杂，后续再详细说明。

3.3 二次编辑

如果对计算结果需要修正或其余操作，可选用二次编辑功能，该功能可执行大部分 MATLAB 自带函数和自己编写的代码，但需要注意的是：在代码中不能出现“%”符号（抱歉还未解决）。

- 1) 如果有编写好的模块代码可以保存成 TXT 文档（仅支持 TXT），选择 **【load txt code】** 即可加入并在 **【command window】**，同时也可在 **【command window】** 直接进行修改；
- 2) 在执行 **【Do codes】** 之前，必须要选取 **【Ca_File】** 数据，因为默认是对计算结果 DVC.mat 数据进行编辑，DVC.mat 可操作的结构结果有：DVC.Dx, DVC.Dy, DVC.Dz, DVC.ZNCC。

3.4 标记不规则形状与计算

如果需要计算的几何外形不规则，需要根据灰度特征值进行标记计算区域。

操作细则参考 6.1。

完成【Pre-processing】处理后；

【Ca_File】选择 V0.mat 文件；

然后执行 6.1 代码，生成 V0_note.mat 标记矩阵文件。

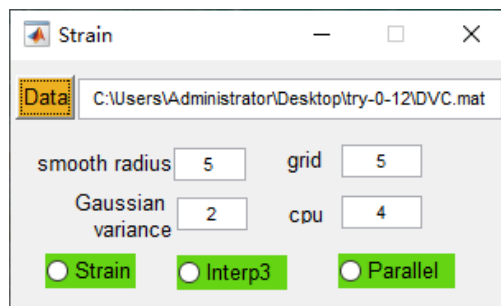
完成标记后，执行非规则区域计算：

其余全部按照正常步骤，其中【Note.mat】选择 V0_note.mat 文件，然后必须要勾选【iF_Note】进行计算。

由于是 matlab 的三维显示功能不够，只能参考 6.2-3 进行云点结果显示。

原理是：根据计算预定计算区域的灰度特征范围进行形态学标记，尽量把代表空气的部分（非孔裂隙）标记成非计算区域。

4. 应变计算



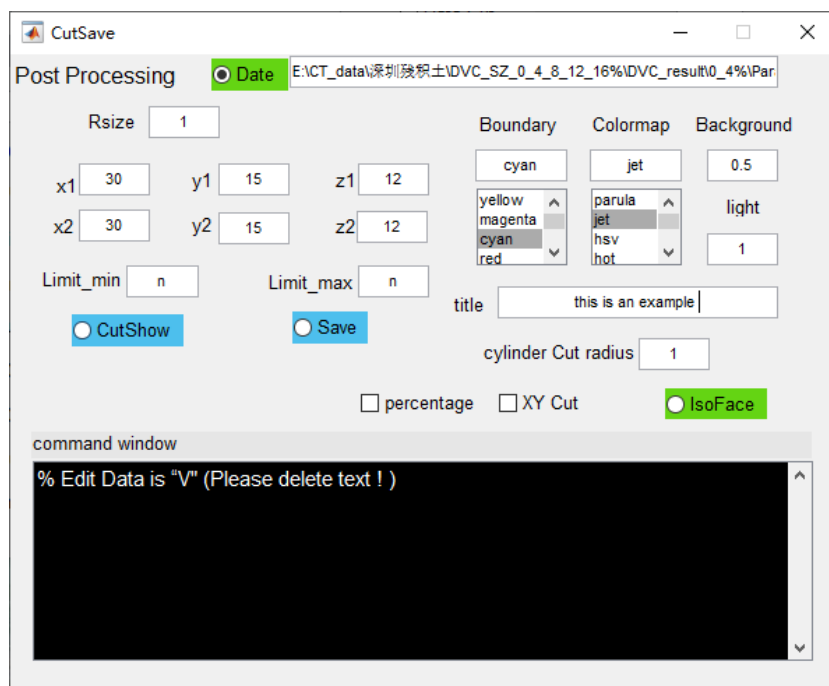
应变计算基于最小二乘法^[5]。

- 1) **【Data】** 选取 DVC 计算结果文件 DVC.mat;
- 2) **【grid】** 注意一定要和 DVC 计算的 grid 一致，不然计算结果为错误的!
- 3) **【smooth radius】** 一般选取“5-10”
- 3) **【Gaussian variance】** 一般选取“1-3”用于平滑数据;
- 4) 参数选择 OK 后可执行 **【Strain】**，会生成如下数据:

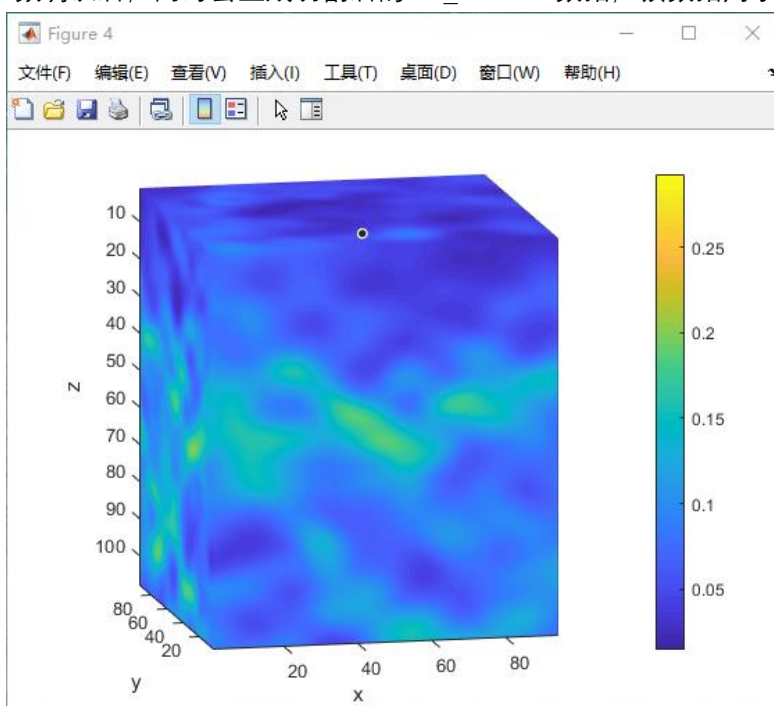
Data	说明
*_*_para	最小二乘法求解拟合参数
DVC_Dx/Dy/Dz	平滑前的 x,y,z 方向位移场，单位：像素
DVC_R_D1/D2/D3	第 1,2,3 主应变
DVC_R_Dts	总位移场 $ts = \sqrt{Dx.^2 + Dy.^2 + Dz.^2}$
DVC_R_Ds	等效应变
DVC_R_Dv	体应变
DVC_R_Dx/Dy/Dz	平滑后的 x,y,z 方向位移场
DVC_R_Dxx/Dyy/Dzz	x,y,z 方向上的应变场
DVC_R_Dxy/Dyz/Dzx	剪应变

- 6) 如果需要插值到原始矩阵大小的应变结果可以选择 **【Interp3】** 功能，但此时 **【Data】** 必须是选取当前 **【Strain】** 的某个结果。如果数据很大，内存比较吃紧。

5. 后处理显示



1) 选择【Strain】计算结果，比如等效应变 Ds.mat，由于边界很容易出现计算错误，因此可以在 xyz 进行首尾端截取（比如上述界面，选取 V(30:end-30, 15:end-15, 122:end-12)），根据结果【CutShow】进行调整（如下图所示）。当参数确认后，同时会生成切割后的 Ds_Cut.mat 数据，该数据用于后面曲面显示。

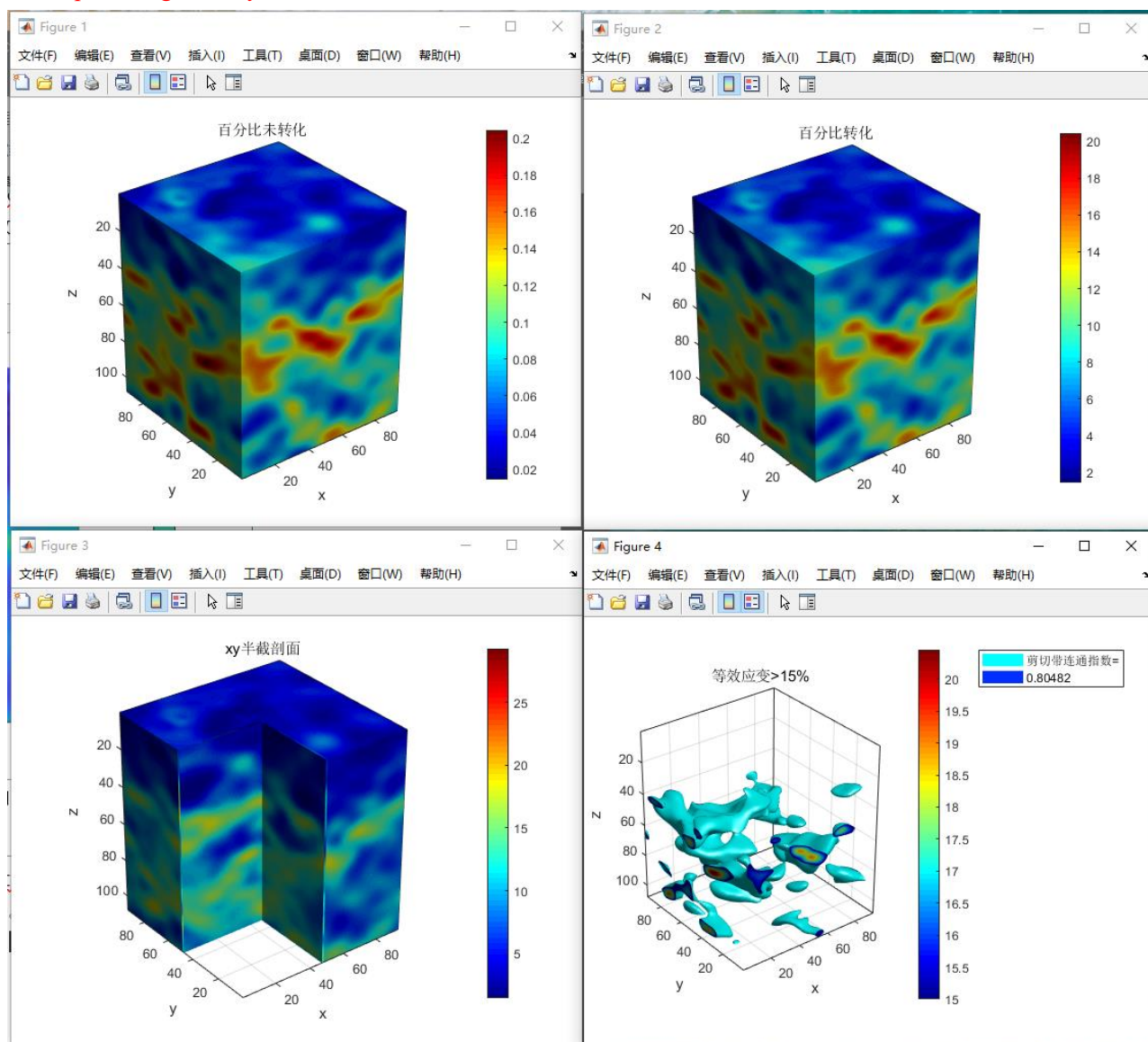


当没有确认的显示数值范围时，【Limit_min】和【Limit_max】选择字符，比如“n”，此时会显示全部注释范围内的结果；当需要选择范围时可以直接选择需要显示的范围。

2) 【Save】当执行完【CutShow】后想保存成 tif 图片可执行【Save】，用于第三方软件进行显示或编辑，弥补 MATLAB 在三维显示的不足（比如 Avizo 等）。

3) 【IsoFace】模块，【Boundary】、【colormap】、【Background】(0-1) 和【light】(0-1) 等根据自己需要

调节, **【title】** 可以给图片添加标题;
【percentage】、**【xy Cut】** 选取;



其中在计算剪切带过程中, 可以同时计算剪切带的**连通性指数**。(连通性指数在[0,1]范围内, 当剪切带完全连同时, 连通性指数为 1, 当理想完全离散孤立时, 接近 0)。

如果需要对体数据进行二次编辑, 可以在 **【Command Window】** 直接进行数据操作, 可操作的数据变量为“V”, 格式和 **【DVC】** 模块一样。

6、附件-交互执行代码

不能执行带有循环、判断等结构语句！全部是英文字符串

6.1 不规则形状计算区域标记

```
Thred = [ 40, 1e3 ]; % 主体的阈值范围，一般会把大的调大值
Stre_open = 1; % 开运算结构半径
Stre_close = 30; % 闭运算接结构半径
Try = 1; % 1—尝试， 0—执行整体计算
SigNan( Parameter, Thred, Stre_open, Stre_close, Try );
```

6.2 采用云点显示不规则云场

```
V = importdata( Parameter.File_V0 );
[x, y, z] = ind2sub( size(V), find( ~isnan(V) ) );
s = single( V( sub2ind( size(V), x, y, z ) ) );
T = int16( [x, y, z] );
figure, pcshow([x(:),y(:),z(:)], s);
colormap('jet'); % 设置色条
```

6.3 采用散点显示不规则云场

```
V = importdata( Parameter.File_V0 );
[x, y, z] = ind2sub( size(V), find( ~isnan(V) ) );
s = single( V( sub2ind( size(V), x, y, z ) ) );
T = int16( [x, y, z] );
figure, scatter3( x(:),y(:),z(:), 5, s, 'filled' );
axis equal;
colormap('jet'); % 设置色条
colorbar;
xlabel( 'x');
ylabel( 'y');
zlabel( 'z');
grid on;
set(gca,'color','none');
title('总位移');
```

参考文献

- [1] Li C, Shu R. Accurate and simple digital volume correlation using pre-interpolation. <http://doi.org/10.5281/zenodo.3600641>; Zenodo, 2020.
- [2] 潘兵, 王博. 数字体图像相关方法研究进展[J]. 科学通报, 2017, (16):1671-1681.
- [3] 苏勇, 张青川, 伍小平. 数字图像相关技术的一些进展[J]. 中国科学:物理学 力学 天文学, 2018, 48(09):29-53.
- [4] Alikarami R, Andò E, Gkiousas-Kapnisis M, et al. Strain localisation and grain breakage in sand under shearing at high mean stress: insights from in situ X-ray tomography[J]. Acta Geotechnica, 2014, 10(1):15-30.
- [5] 潘兵, 谢惠民. 数字图像相关中基于位移场局部最小二乘拟合的全场应变测量[J]. 光学学报, 2007, 27(11):1980-1986.