

iDVC 简明教程^[1]

目录

iDVC 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 iDVC 使用者提出修改意见，修改意见可以直接通过邮箱发给我。

软件不能放置有中文路径下!!

请引用：

- A. Accurate and simple digital volume correlation using pre-interpolation, *Measurement Science and Technology*.
- B. Dynamic three-dimensional imaging and digital volume correlation analysis to quantify shear bands in grus, *Mechanics of Materials*.
- C. Evolution of cracks in the shear bands of granite residual soil, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*.

欢迎加入 QQ 讨论群：544465573 (FreeDIC/DVC 测量分析)

视频教程：<https://b23.tv/JiHSnqi>

<https://github.com/lichengshengHK/iDVC>

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。

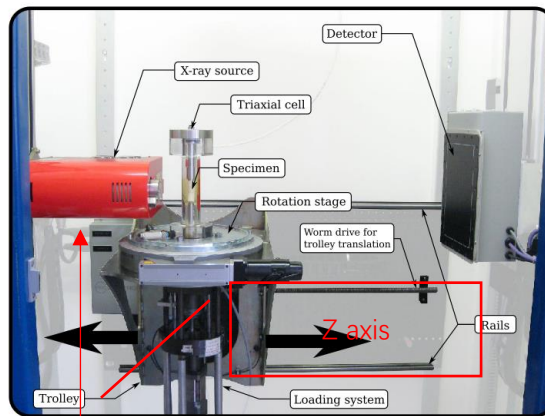


Fig. 3 Labelled photograph of the Laboratoire 3SR X-ray scanner, with background faded out for clarity

[4]

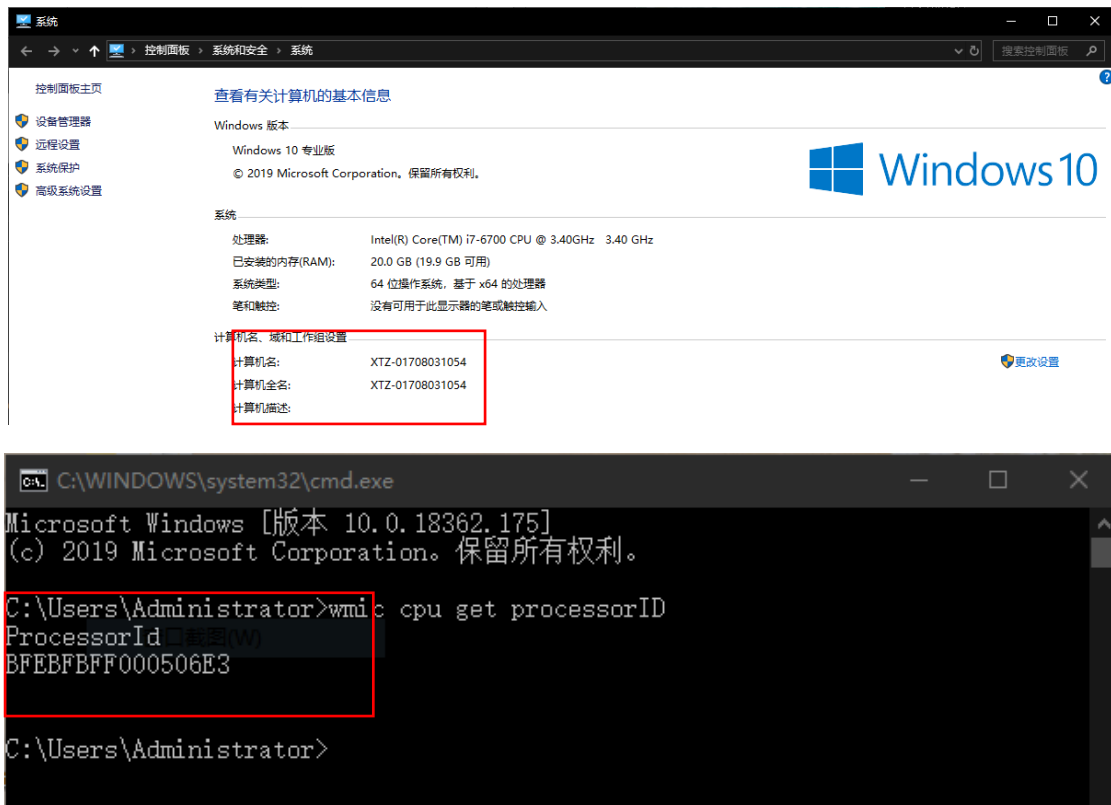
二、使用参考步骤

1、输入秘钥打开软件

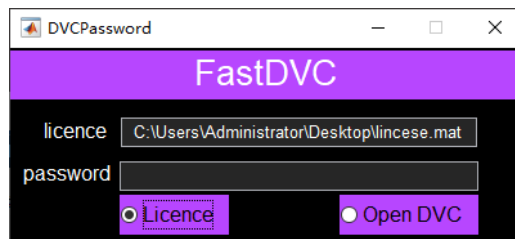
如果没有安装 **MATLAB2019b**，则运行软件需要下载安装 **MATLAB2019b** runtime（官网免费），链接：<https://ww2.mathworks.cn/products/compiler/matlab-runtime.html>

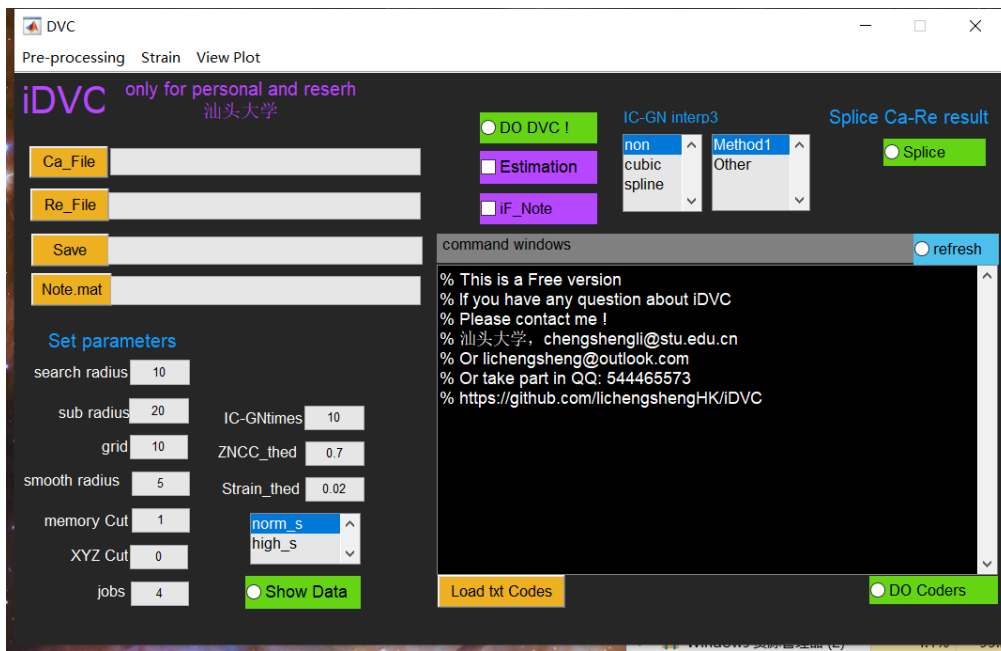
打开软件需要唯一的秘钥，一台电脑生成一个唯一的秘钥，需要向开放本人提供安装软件的：主机名称、CPU 序列号。

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。

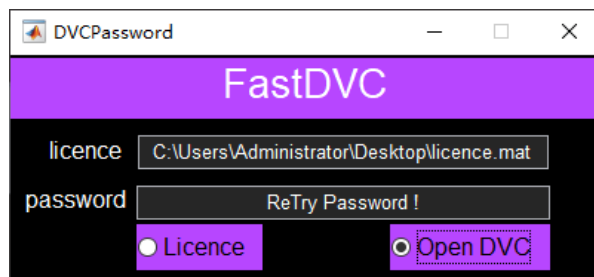


生成唯一秘钥 **license**，例如：**1c9c8eeab2eced71a0600acee2b6ab087d29d701d0f804cdb8xxx**，在软件界面用【**Licence**】输入 **licence** 文件路径即可打开。



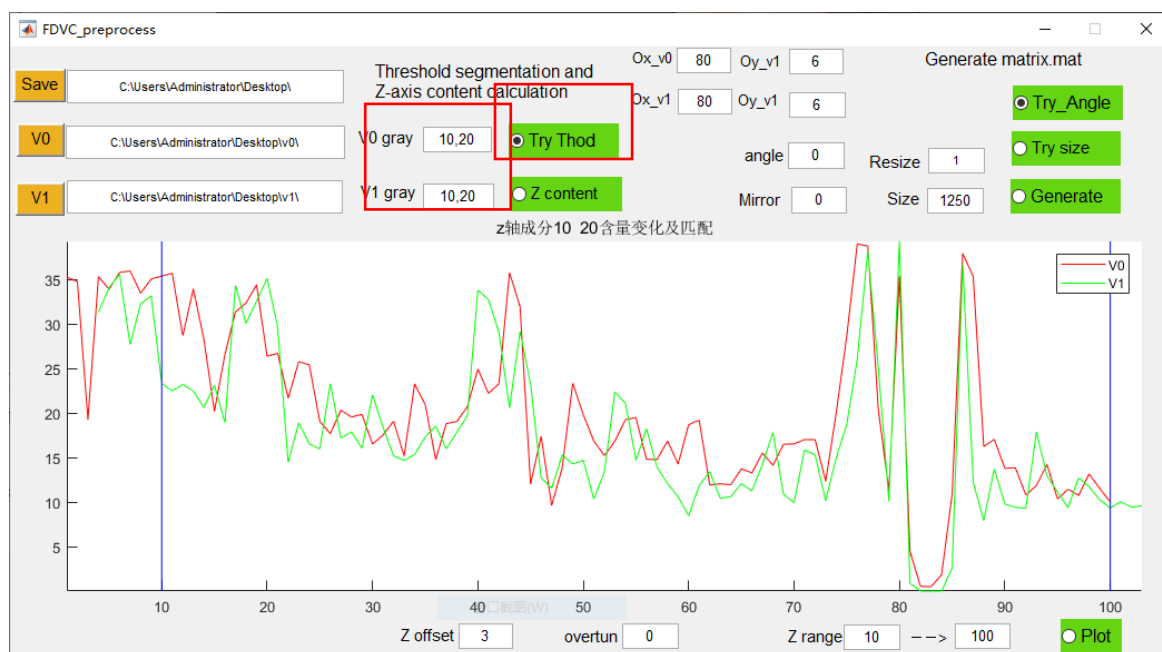


如果密钥错误或支持时间过期，会出现如下结果：



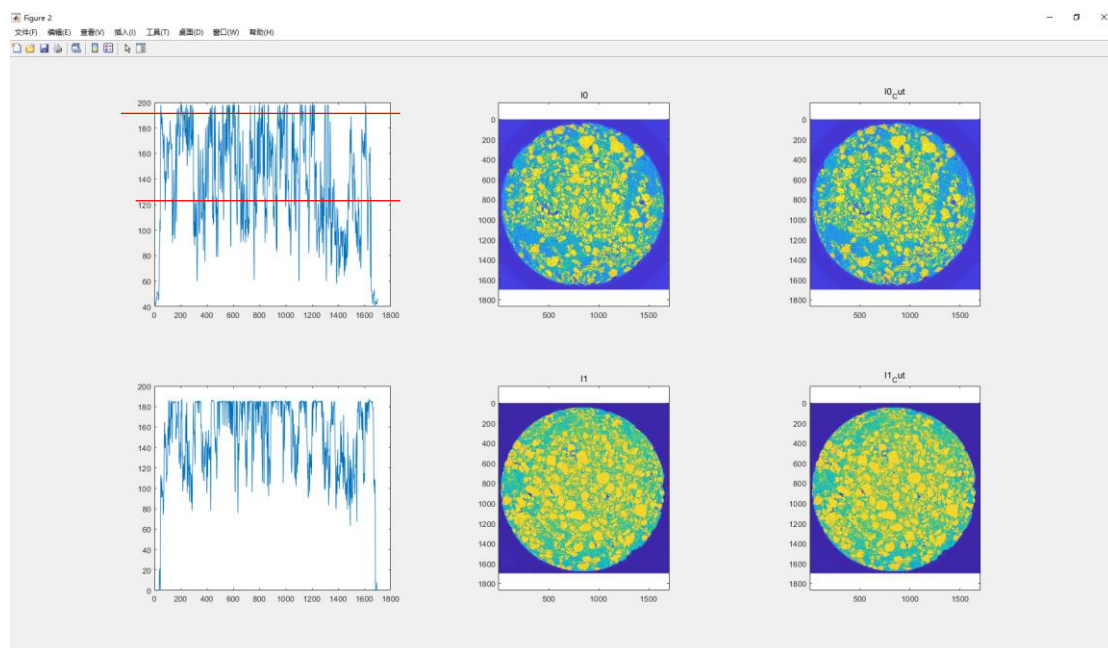
2、DVC 前期处理模块

2.1 分割阈值选取

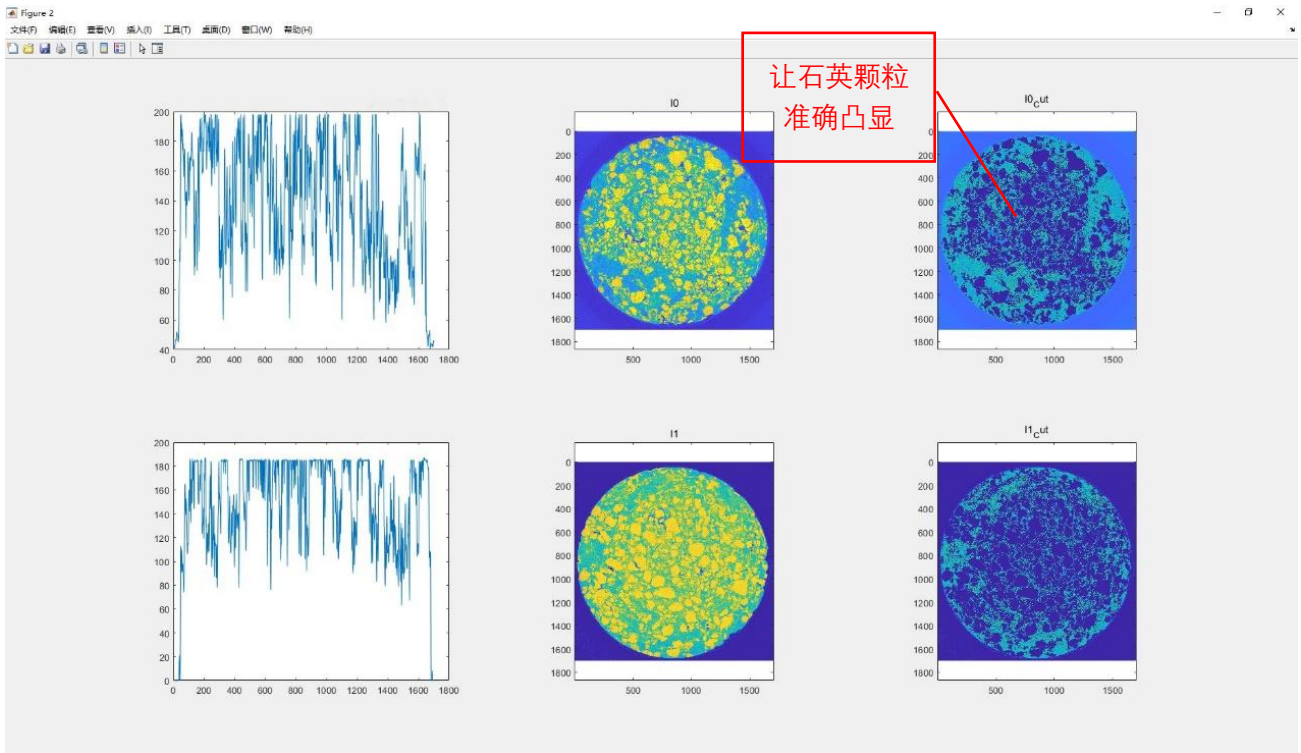


提前选取好保存路径【Save】、参考图像【V0】和当前图像【V1】文件 path（注：当前仅支持 tif 格式，非 RGB3 层数据，最好是 uint8 格式，在大数据时降低内存需求）。阈值的选取是为了调整两个 CT 数据在 Z 上的匹配，减少后期 DVC 计算压力，同时也提高准确度。

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。

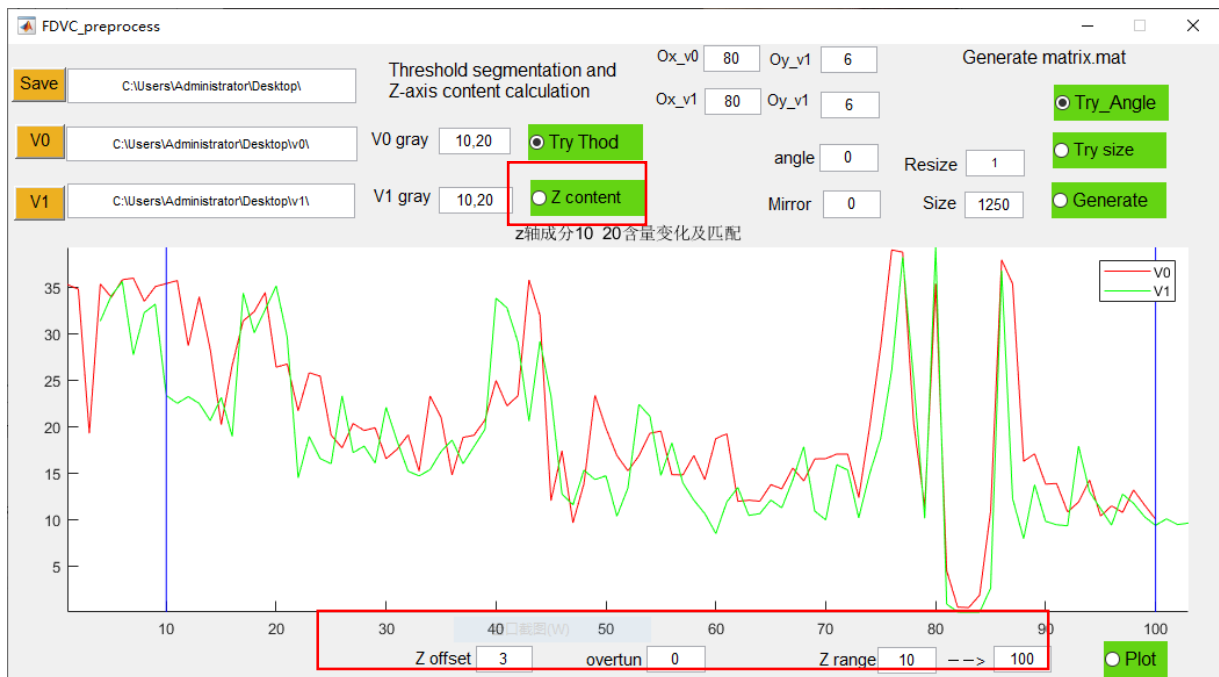


根据上图的剖面图可以确认石英颗粒大概的灰度值范围（不需要非常准确）为“120,200”，得到如下图，依据 2-3、5-6 的对比效果不断调整阈值范围直至合理为止。



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）。

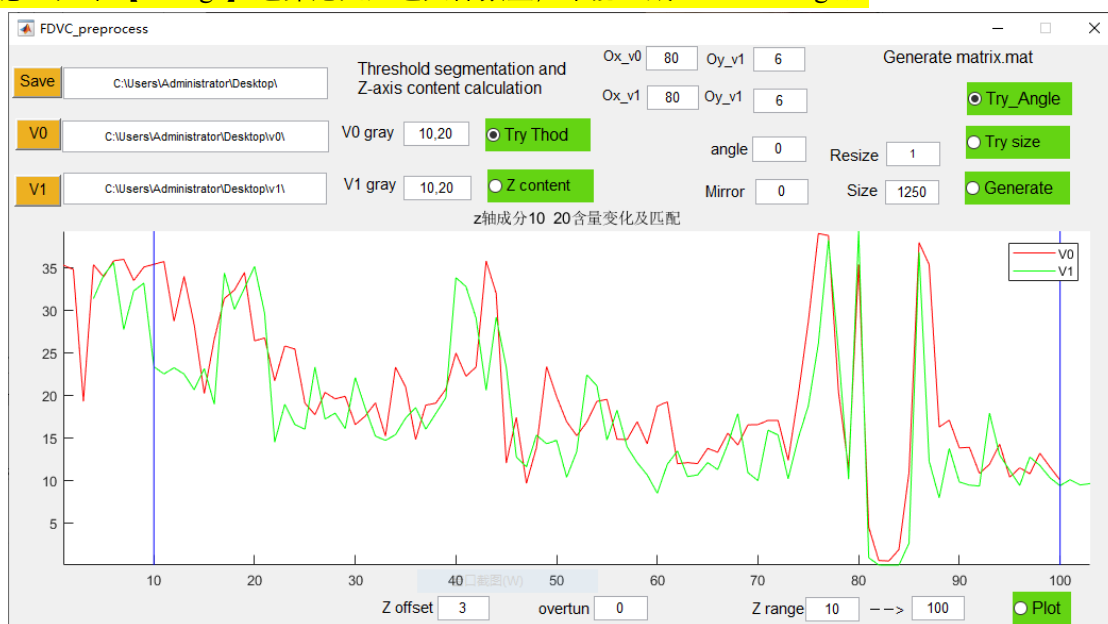


选择相应的 **[Z offset]** 来使两条曲线变化趋势尽量匹配。

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。



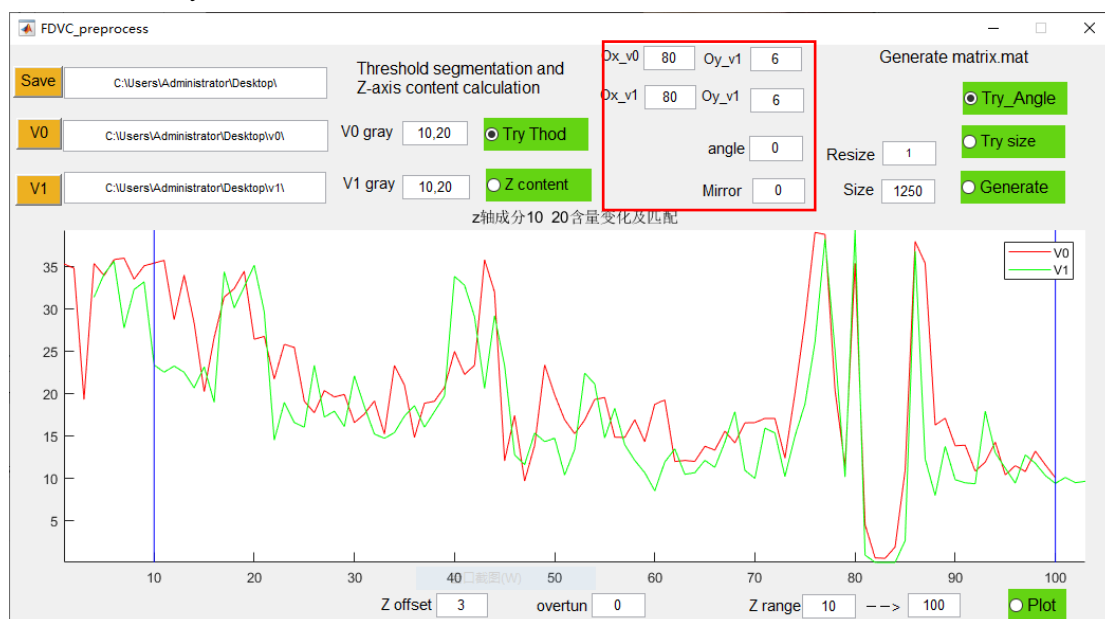
2.3 XY 平面角度匹配

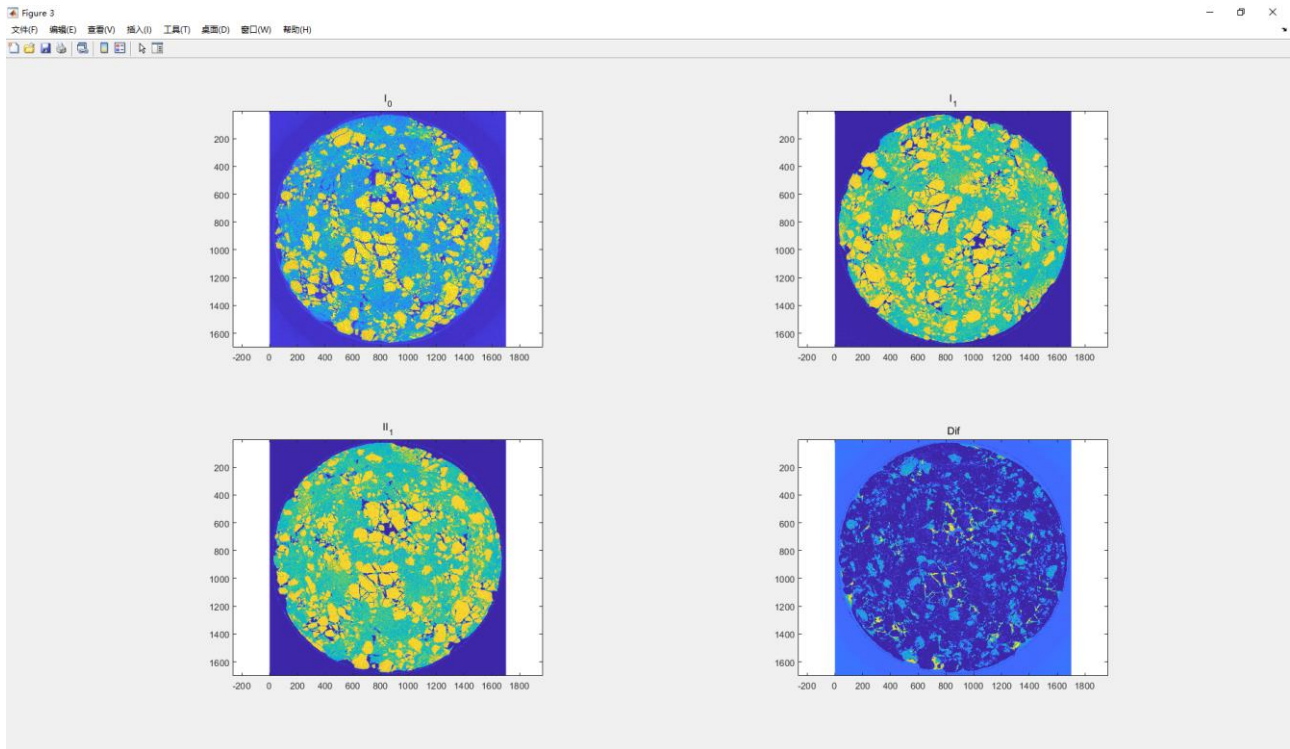
同样也是为了减少计算误差，进行角度匹配（注：如果是实时同步加载，设置为 0 就行，但必须要点击【Try_Angle】(0-360°) 生成相应的设置参数)。如果 CT 扫描过程中试样有颠倒，【Mirror】选择“1” (0 代表不颠倒，1 代表需要颠倒)，通过不断对比结果调试获取合理的角度匹配。如下图所示：

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。





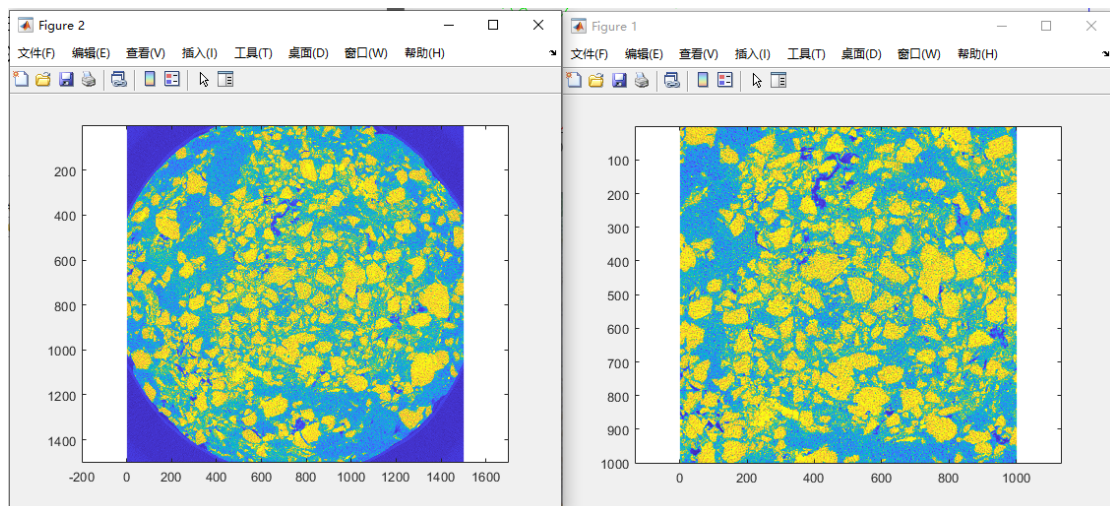
2.4 生成.mat 格式的三维矩阵

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:

1、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！

2、遇到无法生成 V0.mat 数据时，检查是否每个功能按钮都进行了？因为数据生成依赖部分文件结果。

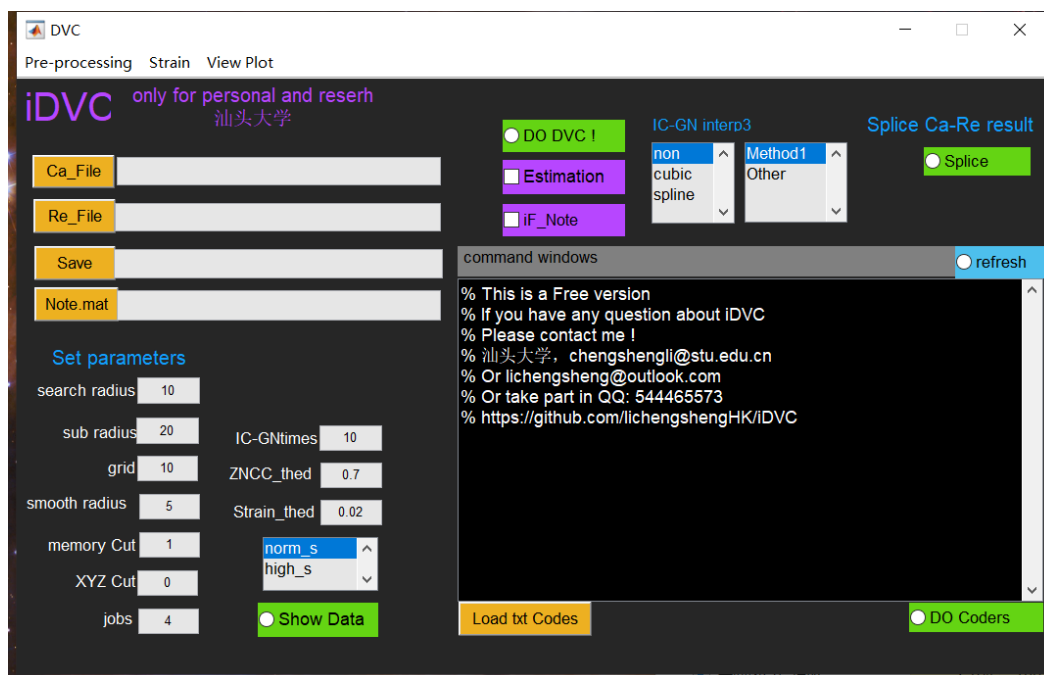
3 DVC 计算

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！

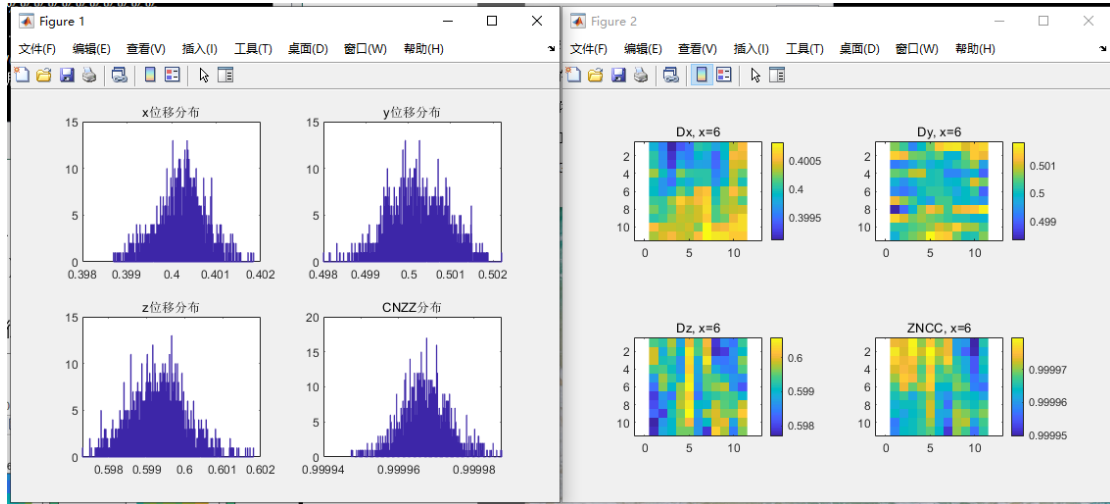
设置好 **Ca File** 和 **Re File**（打开参考 V0.mat 和当前 V1.mat 文件）和 **Save** 路径。

- 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；

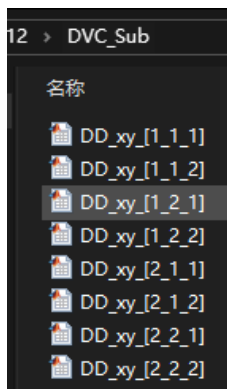


3.2 DVC 执行计算

- 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。

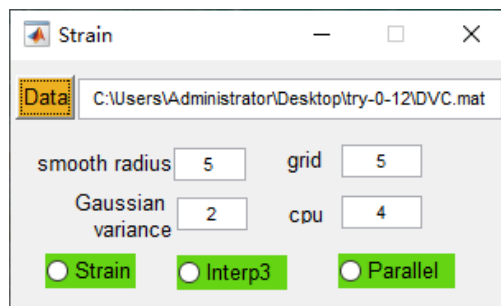
完成标记后，执行非规则区域计算：

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



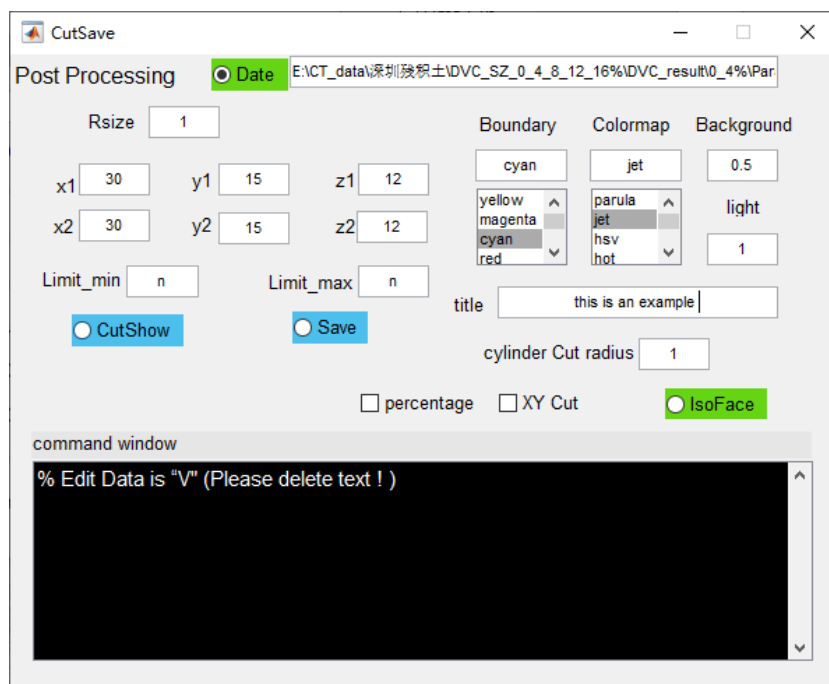
应变计算基于最小二乘法^[5]。

- 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:

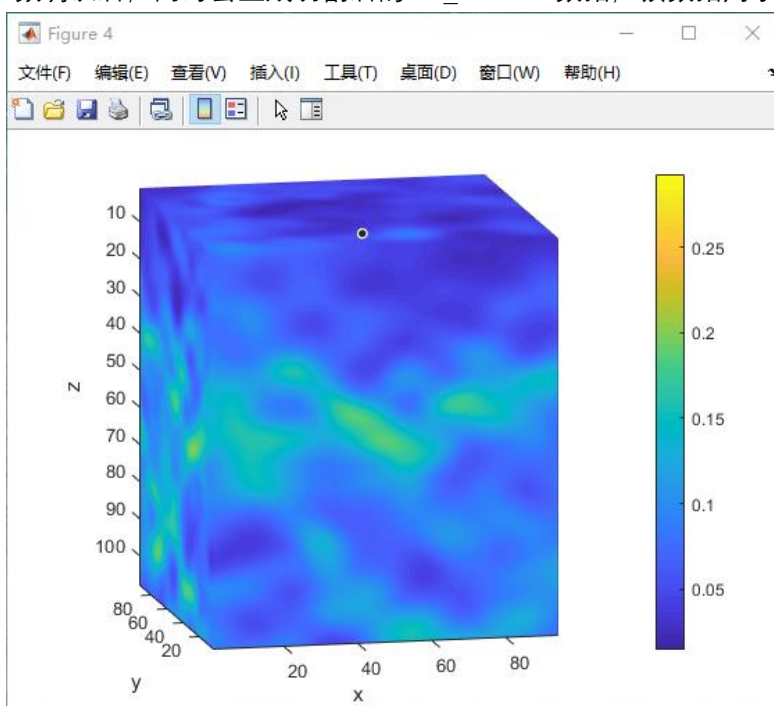
Data	说明
*_*_para	最小二乘法求解拟合参数
DVC_Dx/Dy/Dz	平滑前的 x,y,z 方向位移场，单位：像素
DVC_R_D1/D2/D3	第 1,2,3 主应变
DVC_R_Dts	总位移场 $ts = \sqrt{Dx.^2 + Dy.^2 + Dz.^2}$
DVC_R_Ds	等效应变
DVC_R_Dv	体应变
DVC_R_Dx/Dy/Dz	平滑后的 x,y,z 方向位移场
DVC_R_Dxx/Dyy/Dzz	x,y,z 方向上的应变场
DVC_R_Dxy/Dyz/Dzx	剪应变

- 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。

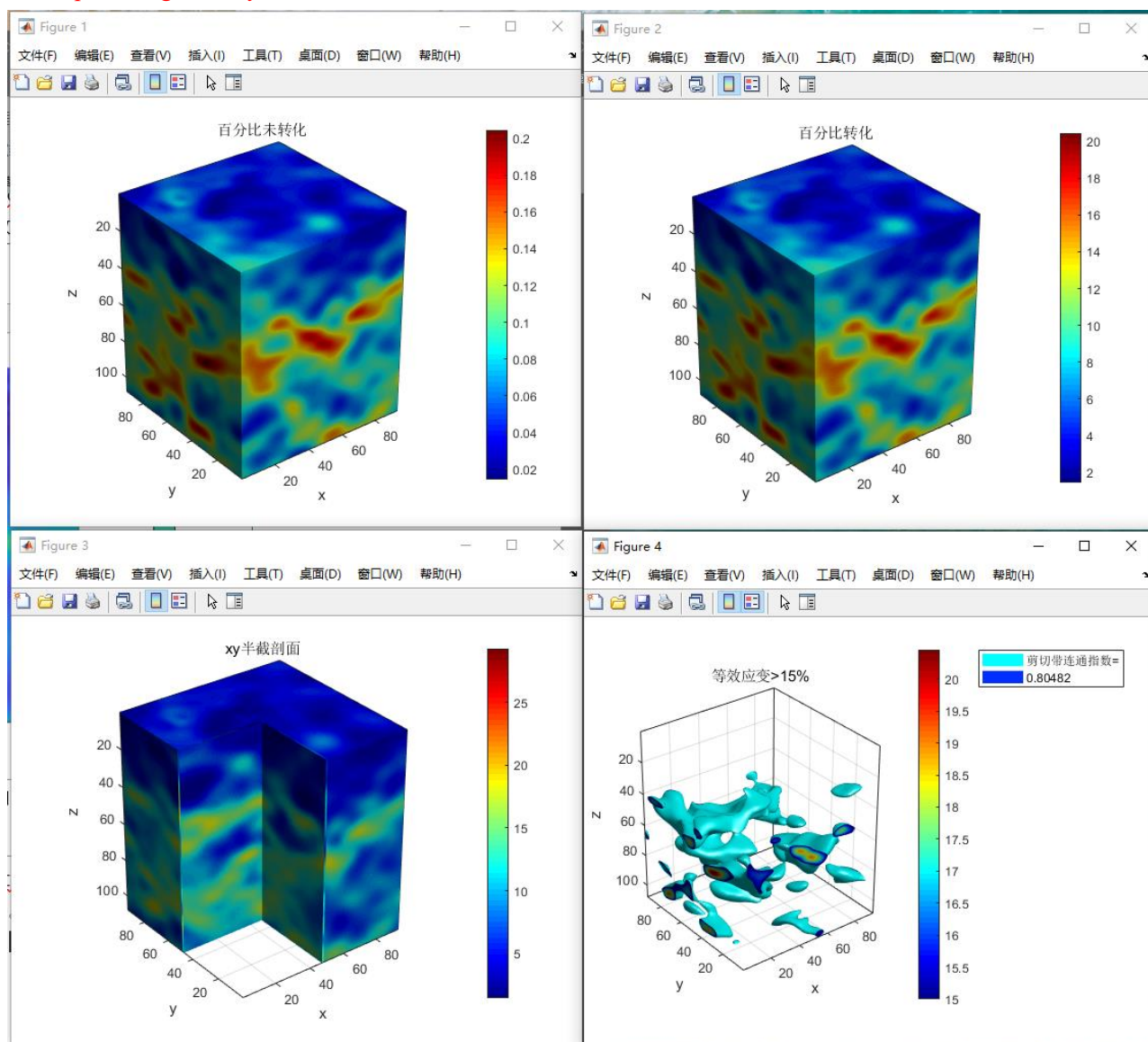


当没有确认的显示数值范围时，【Limit_min】和【Limit_max】选择字符，比如“n”，此时会显示全部注释范围内的结果；当需要选择范围时可以直接选择需要显示的范围。

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.