

# FastDVC 简明教程<sup>[1]</sup>

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。

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

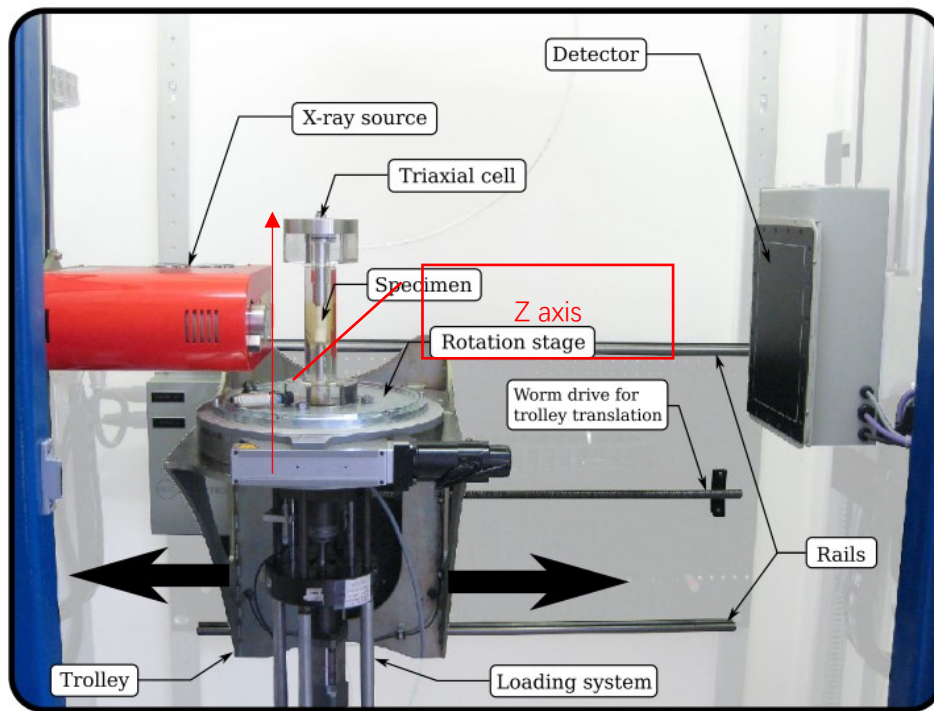
基于数字图像相关原理实现，具体可参考论文<sup>[2,3]</sup>及里面涉及到的相关论文。

等效应变计算公式

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

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

式中， $\varepsilon_x$ 、 $\varepsilon_y$ 、 $\varepsilon_z$ 、 $\varepsilon_{xy}$ 、 $\varepsilon_{yz}$ 、 $\varepsilon_{zx}$ 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

FastDVC 下载链接: <https://pan.baidu.com/s/1inDILx3A1Q5u7stM5j7U6w>

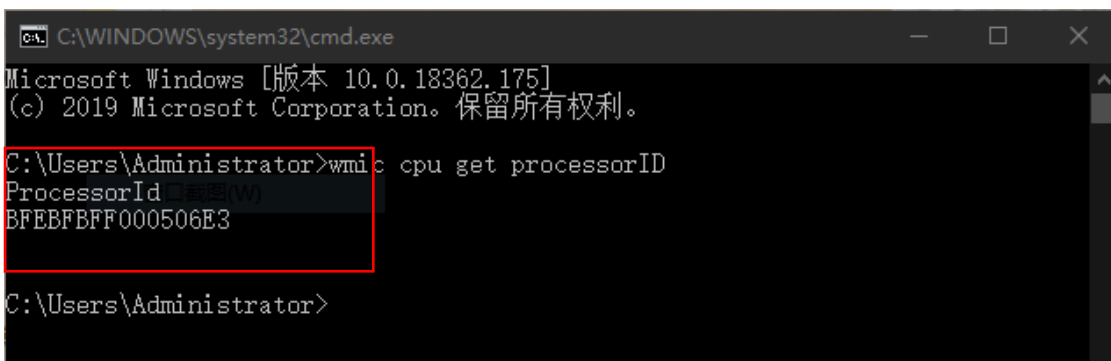
提取码: 66qc

如果没有安装 MATLAB2018b, 则运行软件需要下载安装 MATLAB2019b runtime (免费), 链接:

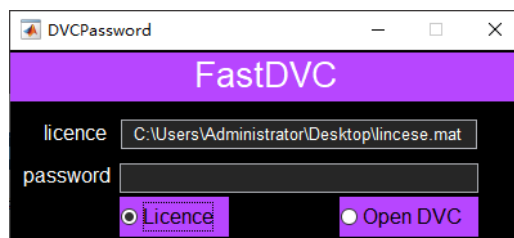
<https://ww2.mathworks.cn/products/compiler/matlab-runtime.html>

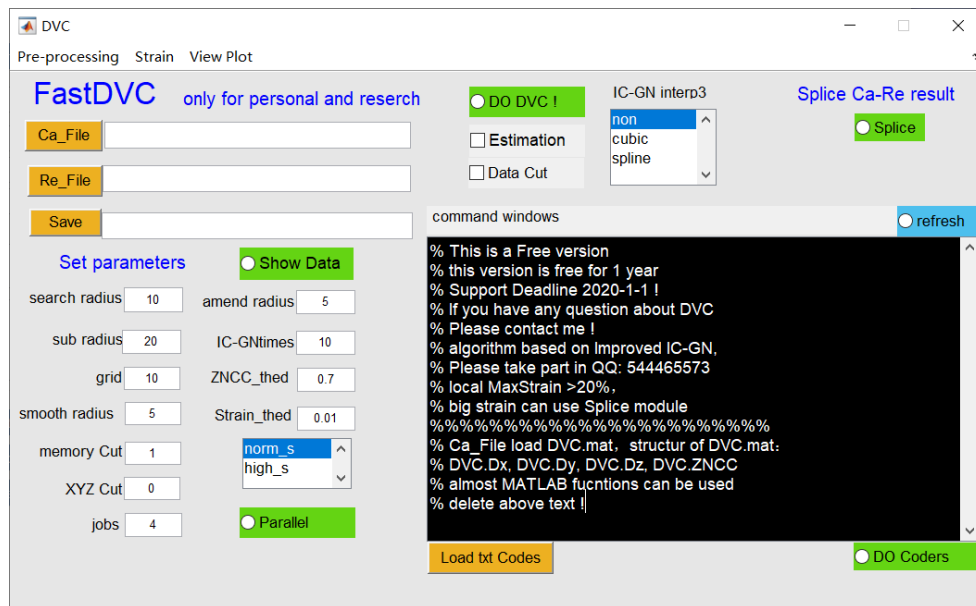
打开软件需要唯一的秘钥, 一台电脑生成一个唯一的秘钥, 需要向开放本人提供安装软件的: 主机名称、CPU 序列号。

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。

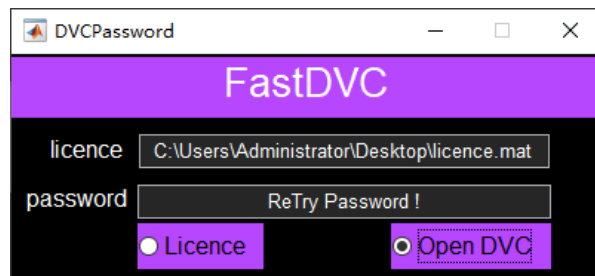


生成唯一秘钥 license, 例如: **1c9c8eeab2eced71a0600acee2b6ab087d29d701d0f804cdb8xxx**, 在软件界面用【Licence】输入 licence 文件路径即可打开。



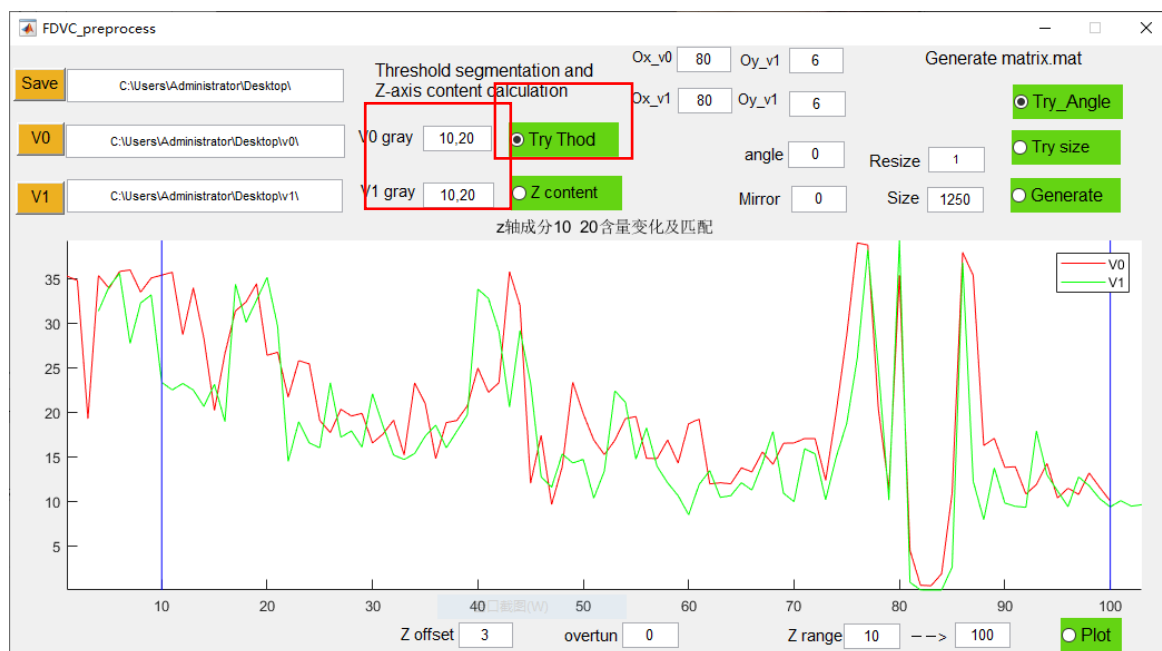


如果密钥错误或支持时间过期，会出现如下结果：



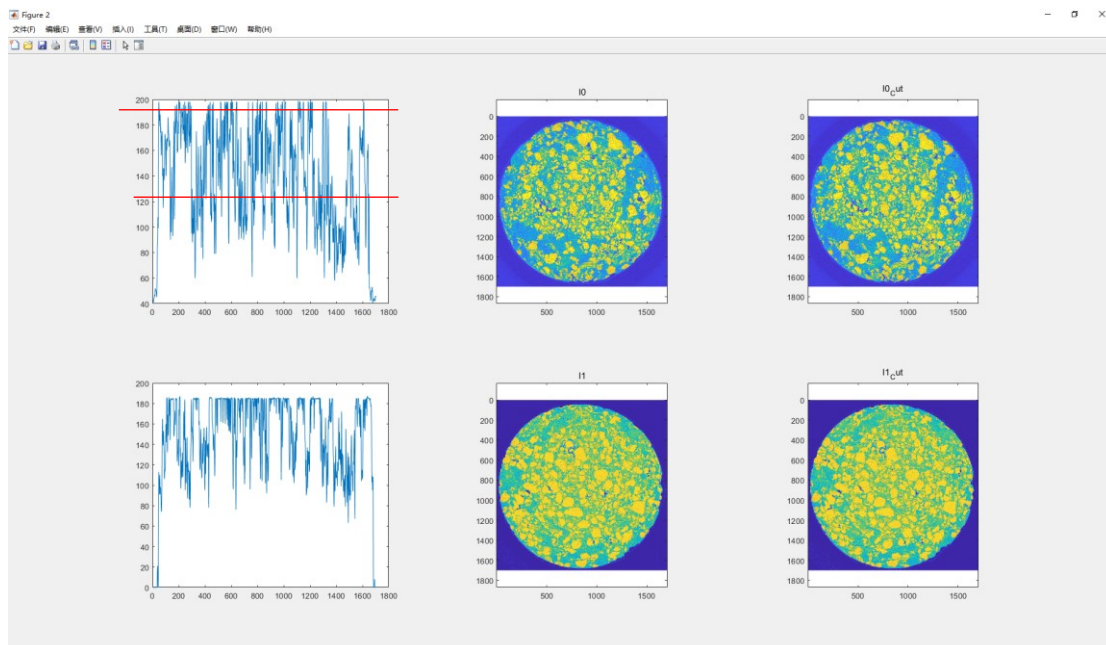
## 2、DVC 前期处理模块

### 2.1 分割阈值选取

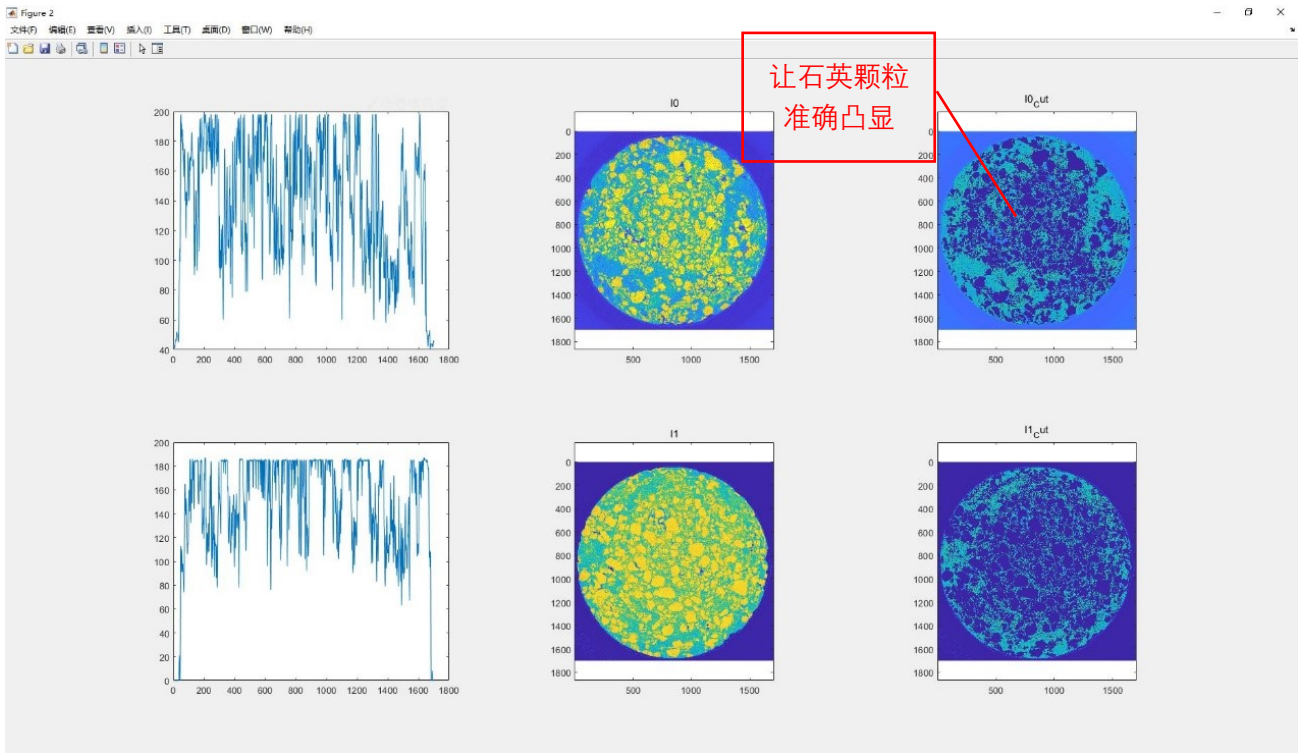


提前选取好保存路径【Save】、参考图像【V0】和当前图像【V1】文件 path（注：当前仅支持 tif 格式，非 RGB3 层数据，最好是 uint8 格式，在大数据时降低内存需求）。阈值的选取是为了调整两个 CT 数据在 Z 上的匹配，减少后期 DVC 计算压力，同时也提高准确度。

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。

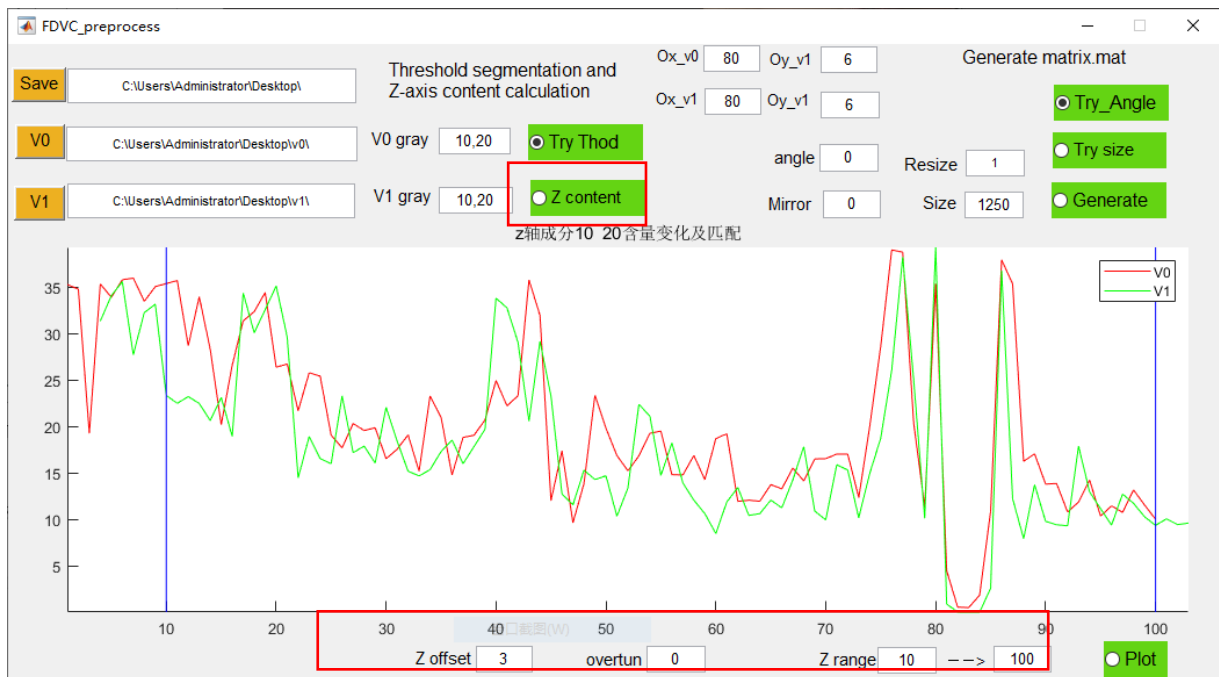


根据上图的剖面图可以确认石英颗粒大概的灰度值范围（不需要非常准确）为“120,200”，得到如下图，依据 2-3，5-6 的对比效果不断调整阈值范围直至合理为止。



## 2.2 Z 轴含量成分匹配与选取

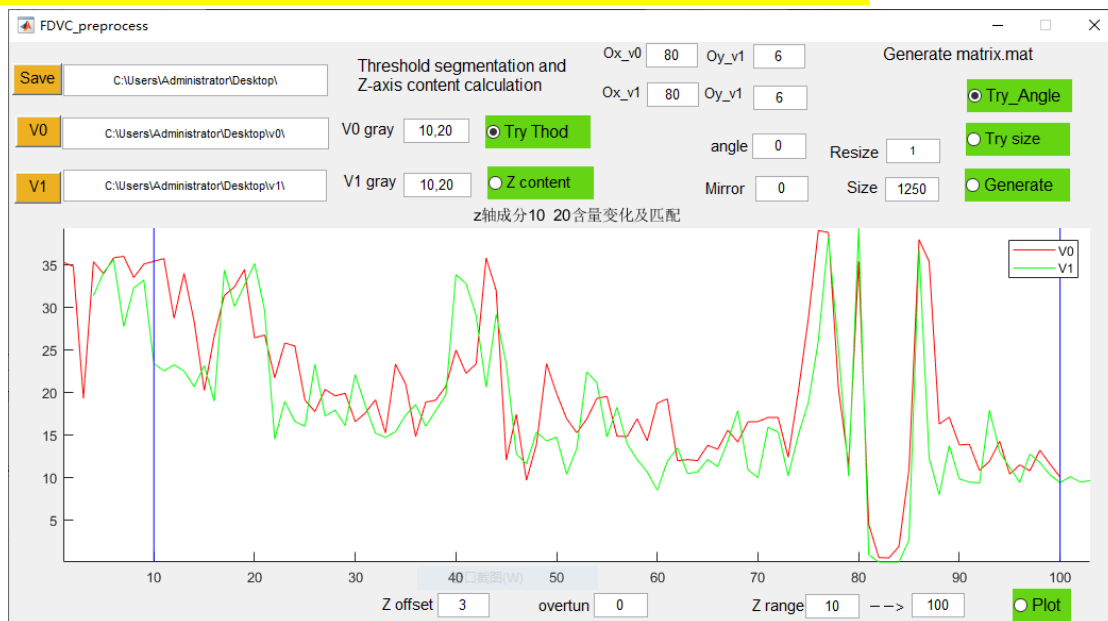
当阈值选取 OK 后，执行 **[Zcontent]** 计算选取阈值的 Z 轴含量分布，会生成 **content.mat** 和 **Z.mat**。并且执行 **[Plot]** 画出 Z 轴分布曲线。如果 CT 扫描过程中试样有颠倒，在 **[overtun]** 中选取“1”（同步实时加载一般不会出现该情况）。



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。



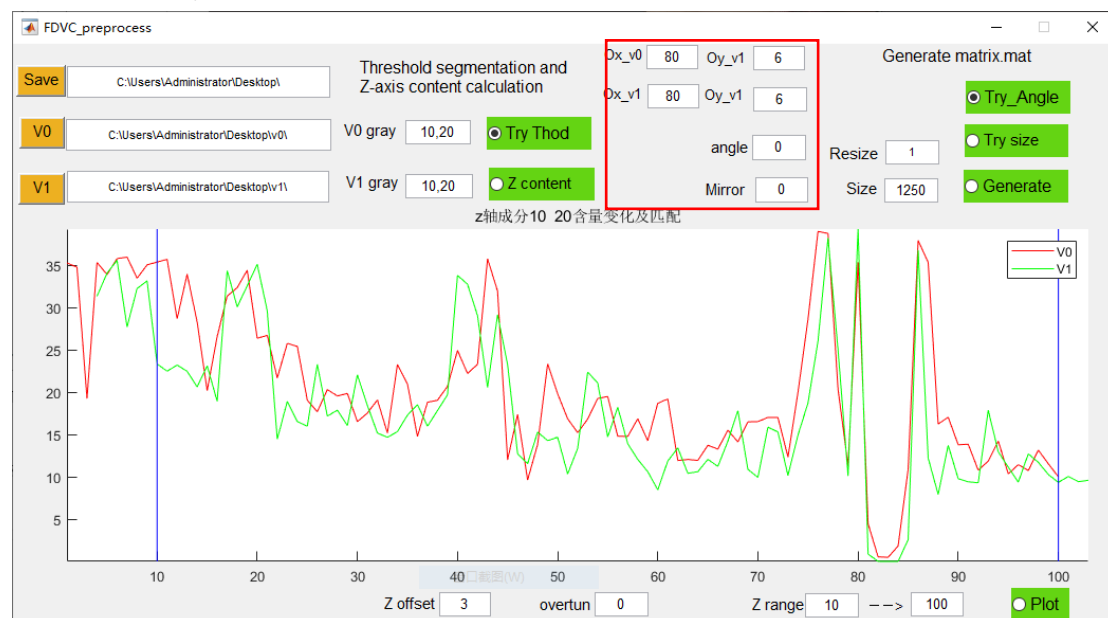
### 2.3 XY 平面角度匹配

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：

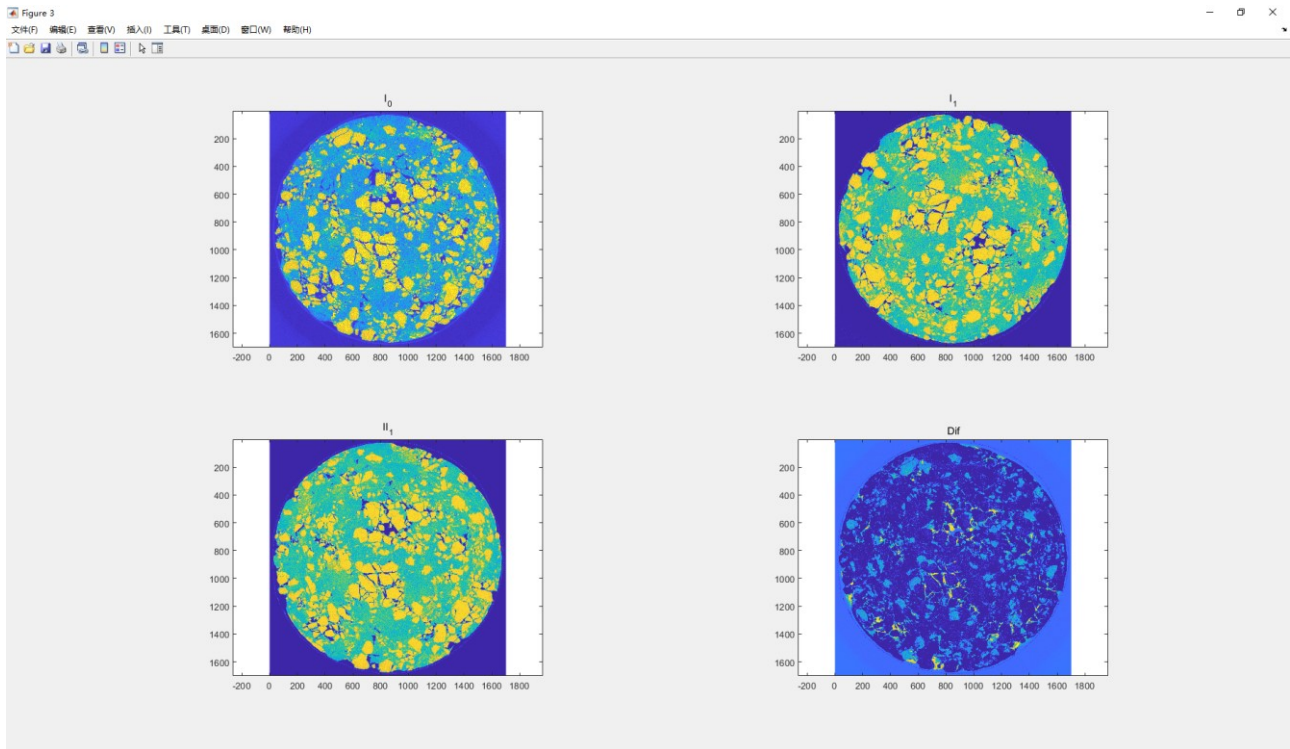
注意：

- 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。





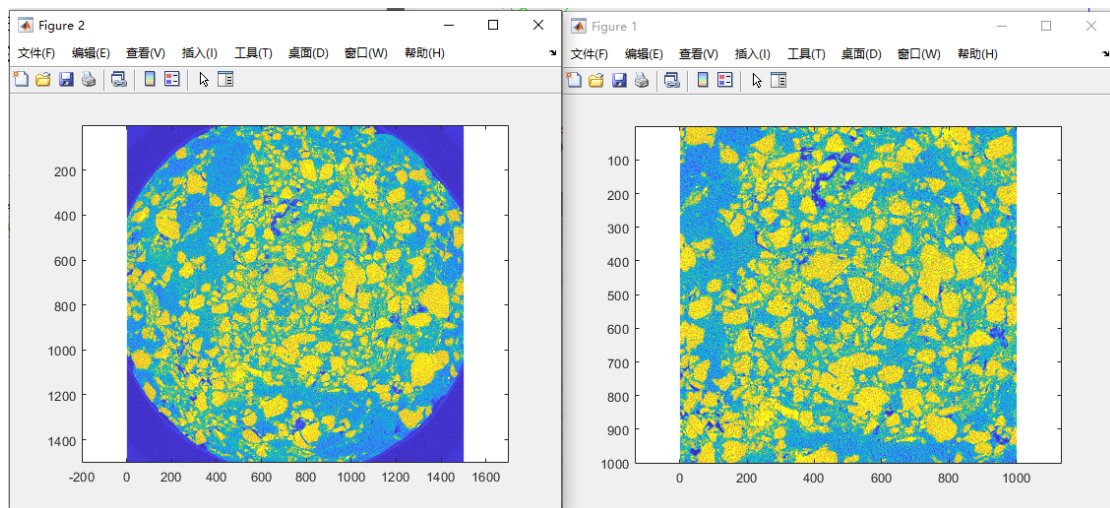


## 2.4 生成.mat 格式的三维矩阵

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。

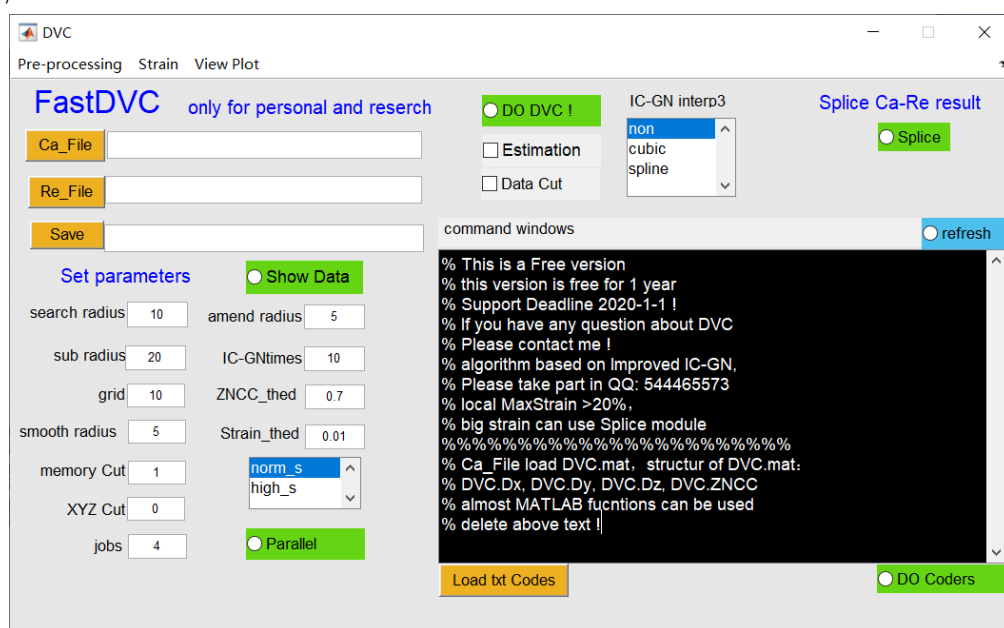
其实批量修改文件名非常简单，打开需要批量修改名称及排序的文件，ctrl+a 全选，右键选择重命名给第一个文件命名，修改结束后回车，文件名称已修改，并且出现序号排序自动排序。如果在操作中出现失误，可以按Ctrl+Z进行撤销，重新修改即可！

## 3 DVC 计算

### 3.1 计算参数设置

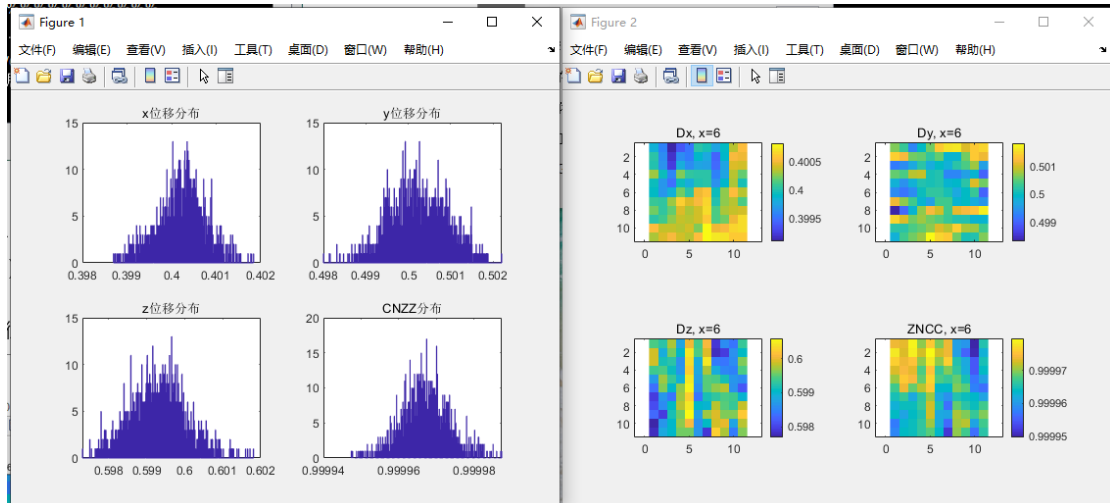
设置好 **Ca File** 和 **Re File** (打开参考 V0.mat 和当前 V1.mat 文件) 和 **Save** 路径。

- 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;

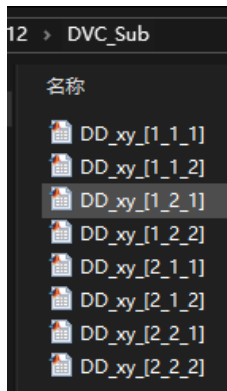


### 3.2 DVC 执行计算

- 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 **DVC\_key.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。

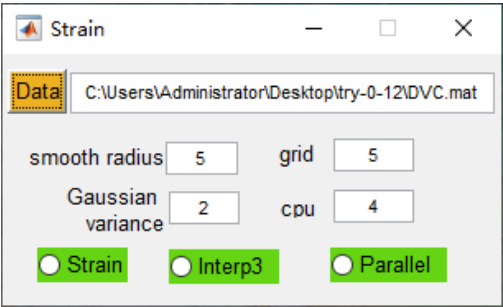
### 3.3 二次编辑

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。

## 4. 应变计算



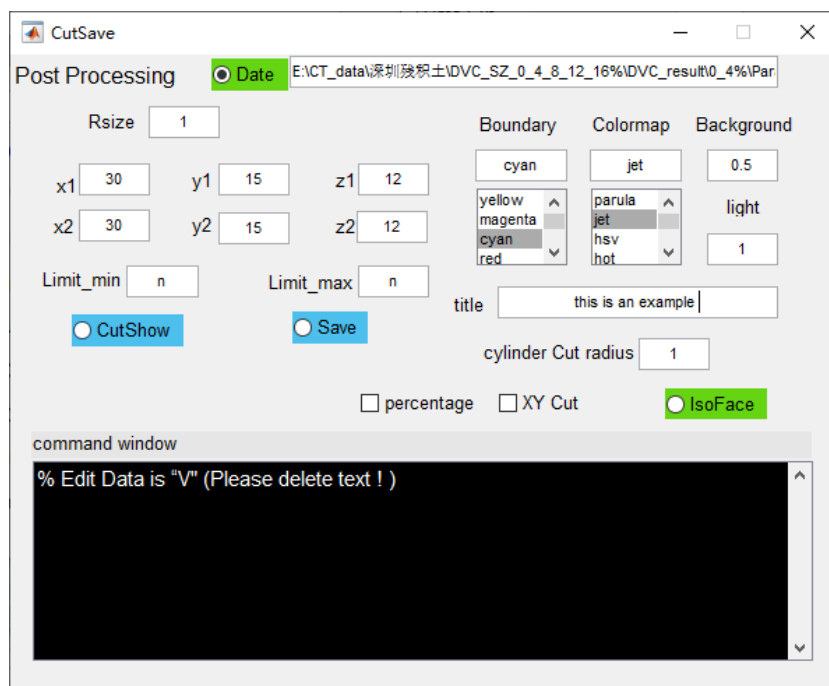
应变计算基于最小二乘法<sup>[5]</sup>。

- 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:

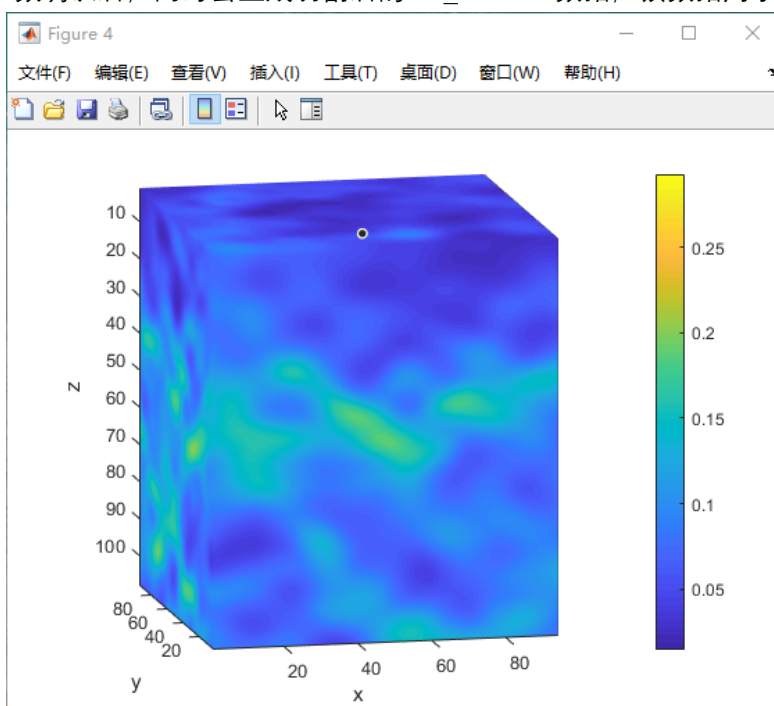
Data	说明
*_*_para	最小二乘法求解拟合参数
DVC_Dx/Dy/Dz	平滑前的 x,y,z 方向位移场
DVC_R_D1/D2/D3	第 1,2,3 主应变
DVC_R_Dts	总位移场 $ts = \sqrt{Dx.^2 + Dy.^2 + Dz.^2}$
DVC_R_Ds	等效应变
DVC_R_Dv	体应变
DVC_R_Dx/Dy/Dz	平滑后的 x,y,z 方向位移场
DVC_R_Dxx/Dyy/Dzz	x,y,z 方向上的应变场
DVC_R_Dxy/Dyz/Dzx	剪应变

- 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。

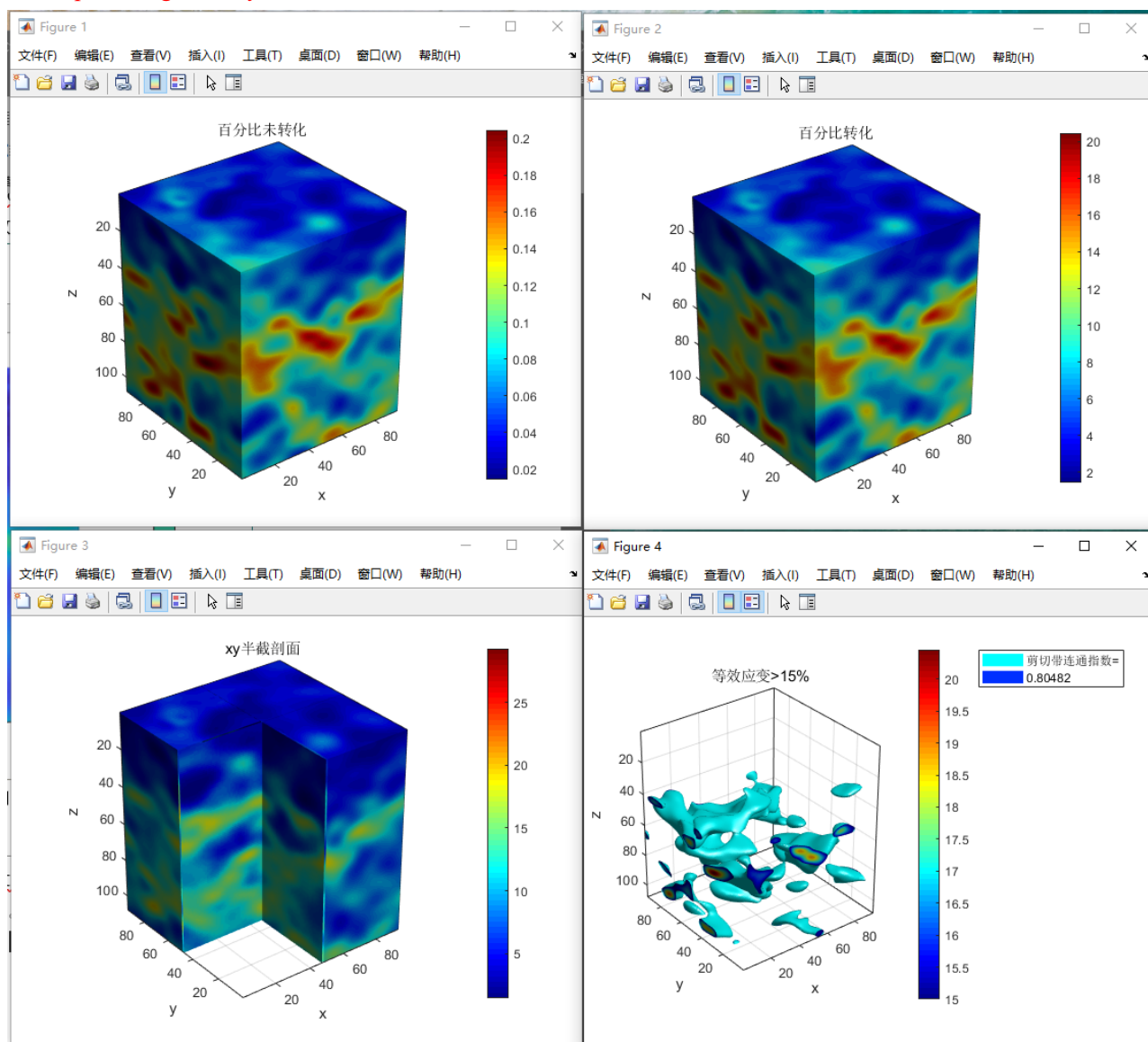


当没有确认的显示数值范围时，【Limit\_min】和【Limit\_max】选择字符，比如“n”，此时会显示全部注释范围内的结果；当需要选择范围时可以直接选择需要显示的范围。

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。