

简 明 教 程

黎澄生

1964977182@qq.com

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

汕头大学/中国科学院武汉岩土力学研究所

目录

基于 iDVC 的相关成果	1
iDVC 使用流程图	2
一 软件运行.....	3
1.1、软件运行环境	3
1.2 密钥申请	3
1.3 运行软件	4
二 DVC 预处理模块	5
2.1 加载数据	5
2.2 参数设置	5
三 DVC 计算	1
3.1 计算参数设置	1
3.2 DVC 执行计算.....	3
3.3 二次编辑	5
3.4 不规则形状材料的 DVC 计算.....	6
四 应变计算.....	7
4.1 位移场修正与平滑	7
4.2 应变场计算	8
4.3 位移场坐标系投射	9
五 后处理显示.....	10
5.1 三维剖面显示	10
5.2 三维曲面显示	13
六 常见问题.....	14
附录 1-交互执行代码	15
F1-1 不规则形状计算区域标记.....	15
F1-2 采用云点显示不规则云场.....	15
F1-3 采用散点显示不规则云场.....	15
附录 2 基于 iDVC 的分析实例	17
F2-1 应变场-剪切带分析	17
F2-2 复杂次生裂隙分析.....	20

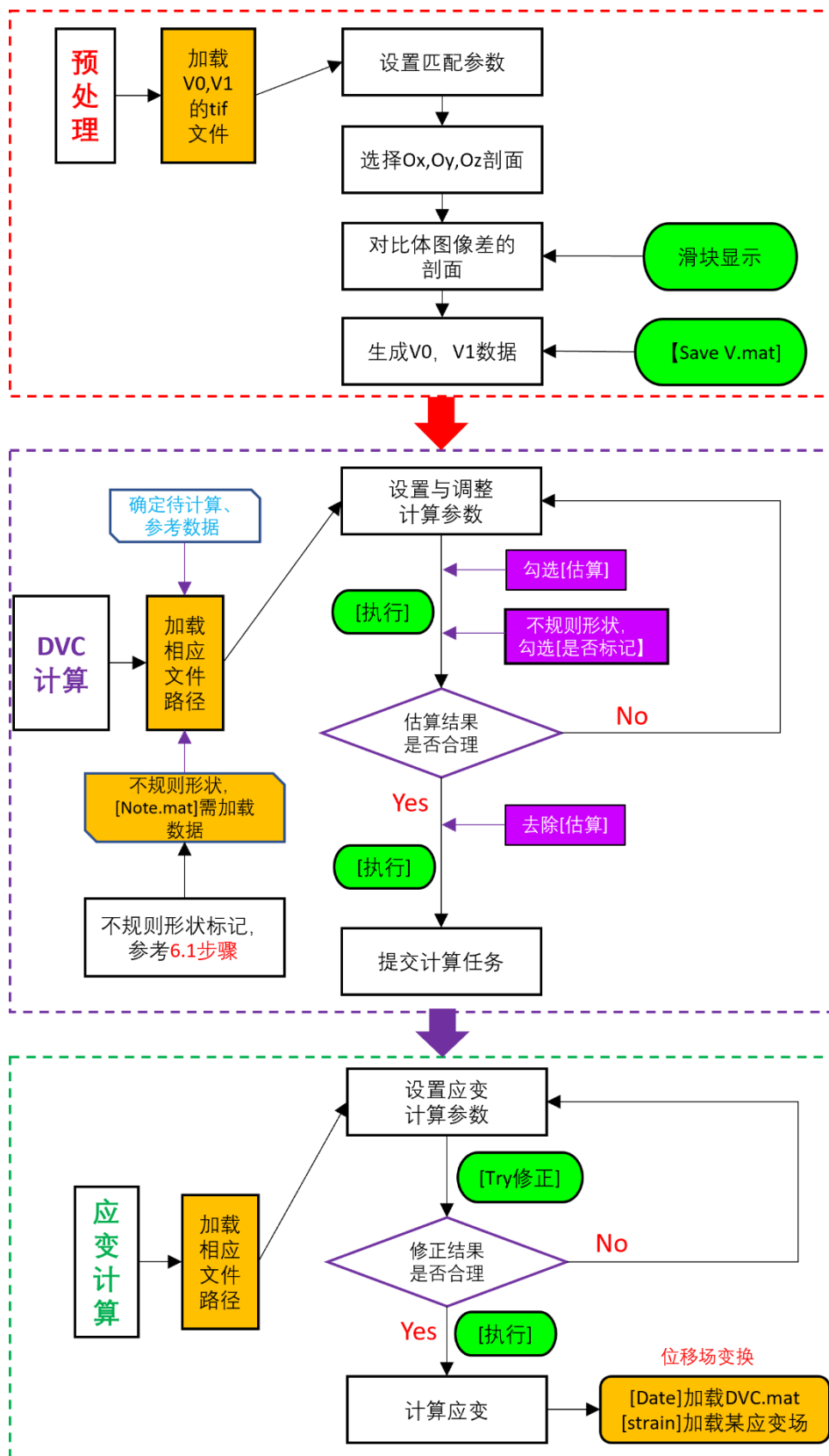
基于 iDVC 的相关成果

3D SIFT 算法	Chengsheng Li, Weipeng Li, Zhenjie Huang, Jianghon Qin. Determine the local orientation by matrix singular value decomposition for the 3D SIFT algorithm, <i>Measurement Science and Technology</i> , 2025, 36: 115201. https://doi.org/10.1088/1361-6501/ae18f0
DVC 算法	Chengsheng Li , Rongjun Shu. Accurate and simple digital volume correlation using pre-interpolation, <i>Measurement Science and Technology</i> , 2020, 151:103646. https://doi.org/10.1088/1361-6501/ab85b0 .
	Chengsheng Li, Zhijun Liu. A Self-correcting Strategy for the Digital Volume Correlation Displacement Field Based on Image Matching: Application to Poor Speckle Quality and Complex Large Deformation. <i>Measurement Science and Technology</i> , 2025 36(3): 036011. https://doi.org/10.1088/1361-6501/adb770 .
裂 隙 分 类 分 析 方 法	Chengsheng Li , Lingwei Kong, et al. Evolution of cracks in the shear bands of granite residual soil, <i>Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering</i> , 2022, 14(6): 1956-1966. https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2021.12.028
	黎澄生, 张炳鑫, 刘智军. 花岗岩残积土复杂次生裂隙的分类与损伤特征, <i>岩土力学</i> , 2023, 44(10):2879-2888. https://doi.org/10.16285/j.rsm.2023.0713
	黎澄生, 孔令伟, 等. 花岗岩残积土剪切带上的细观结构损伤规律, <i>岩土力学</i> , 2023, 44(11):3203-3212, 3181. https://doi.org/10.16285/j.rsm.2022.1732
相 关 应 用	Chengsheng Li , Lingwei Kong, et al. Determination of damage evolution characteristics in granite residual soil shear bands by micro-CT-based advanced digital volume correlation, <i>Engineering Geology</i> , 2024, 333: 107505. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2024.107505
	Chengsheng Li, Lingwei Kong, et al. Dynamic three-dimensional imaging and digital volume correlation analysis to quantify shear bands in grus, <i>Mechanics of Materials</i> , 2020, 151:103646. https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2020.103646 .
	Chengsheng Li , Lingwei Kong, et al. Dynamic three-dimensional imaging and digital volume correlation analysis to quantify shear bands in grus, <i>Mechanics of Materials</i> , 2020, 151:103646. https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2020.103646 .
	Kai Wu, Qingshan Meng, Chi Wang, Qinglong Qin, Chengsheng Li . Experimental investigation of damage evolution characteristics of coral reef limestone based on acoustic emission and digital volume correlation techniques, <i>Rock Mechanics and Rock Engineering</i> , 2022, 56: 2357-2374. https://doi.org/10.1007/s00603-022-03186-y
	Li Chengsheng , Zhang Bingxin, et al. Mesoscopic measurement of damage and shear bands of granite residual soil using Micro-CT and digital volume correlation, <i>Journal of Mountain Science</i> , 2023, 20(11): 3423-3436. https://doi.org/10.1007/s11629-023-8159-6
	Qinglong Qin, Kai Wu, Qingshan Meng, et al. Investigation of mechanical characterization and damage evolution of coral reef sand concrete using in-situ CT and digital volume correlation techniques, <i>Journal of Building Engineering</i> , 2024, 20: 110480. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110480

QQ 讨论群: 544465573 (FreeDIC/iDVC 测量分析)

视频教程 (b 站): “数字图像测量”

iDVC 使用流程图



一 软件运行

1.1、软件运行环境

如果没有安装完整版 **MATLAB2019b**，则必须要下载安装 **MATLAB 2019b runtime**（官网免费），链接：

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

1.2 密钥申请

正确运行软件需要密钥，请在 **GitHub** 下载申请表格，填写相关内容，发送至开发者 QQ 邮箱 1964977182@qq.com，免费返回 **iDVC-key.mat** 密钥文件。

其中，主机名称、CPU 序列号的获取，可参考图 1.1。



图 1.1 获取计算机主机名

CPU ID 可参考图 1.2 方法获取，在 **cmd** 或者 **shell** 里面输入：“**wmic cpu get processorID**”可获得相关硬件信息。

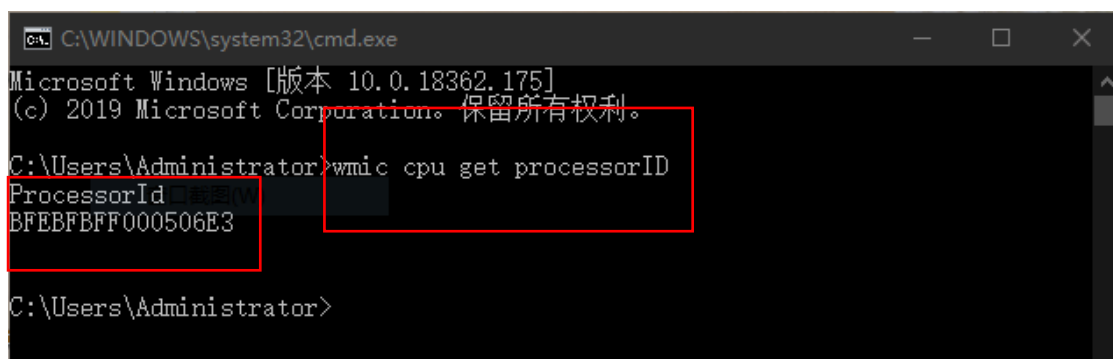


图 1.2 获取计算的 CPU ID

1.3 运行软件

启动 iDVC 软件出现如图 1.3，点击【License 验证】，出现图 1.4，在点击【Licence】加载 iDVC-key.mat 文件路径，点击【CHECK】，生成 License.mat 文件（用于 iDVC 执行检验）。

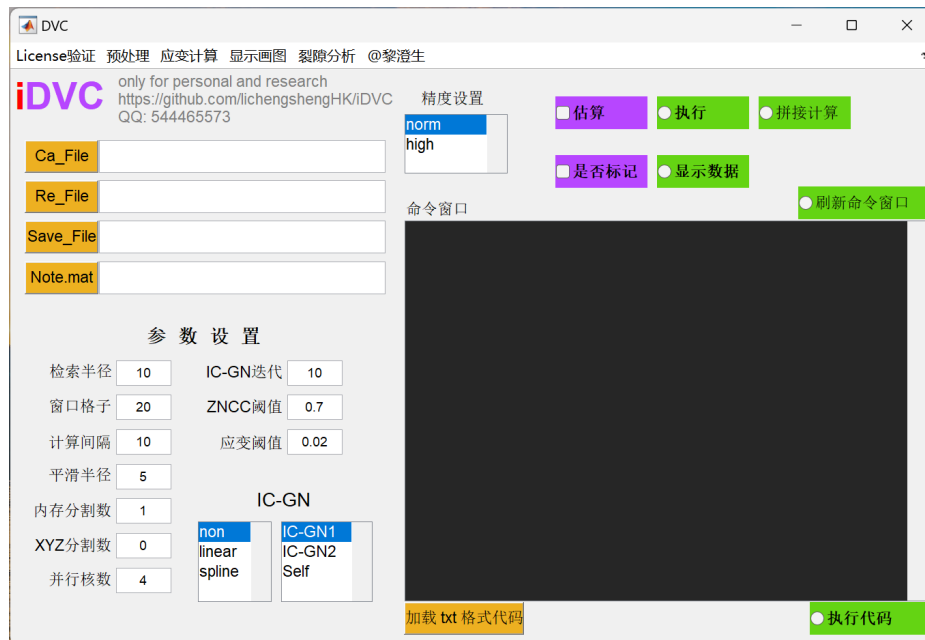


图 1.3 软件主界面

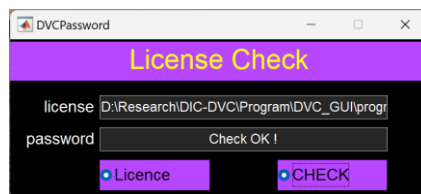


图 1.4 加载并验证 License

如果 License 错误或支持时间过期，会出现如下结果：

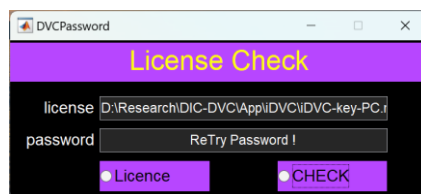


图 1.5 License 出现错误显示

注：软件的放置文件路径不能有中文！！

二 DVC 预处理模块

2.1 加载数据

点击 iDVC 主界面中的【预处理】，出现图 2.1 界面。

如图 2.1，点击【Load V0】加载代表 V0 的 tif 格式图片文件夹路径，点击【Load V1】加载代表 V1 的 tif 格式图片文件夹路径，完成加载数据。

注意：V0,V1 的 tif 图片的分辨率（size）必须一样

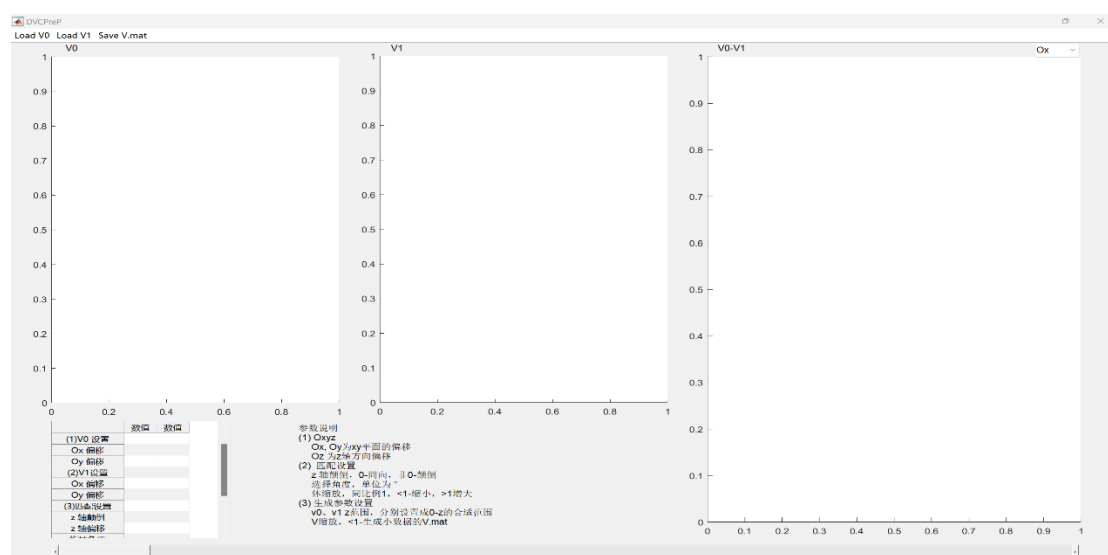


图 2.1 iDVC 的预处理界面

2.2 参数设置

根据软件界面的参数说明，在左下方的参数表格中设置好参数。

选择右上角的“Ox,Oy,Oz”轴显示，滑动底部的滑块，显示不同剖面的 V0, V1, 和 V0-V1 的差结果图，如下图所示。

根据滑块的动态显示结果，调整参数达到最优后，以及各自选择 V0 和 V1 的生成矩阵的区间范围。点击【Save V.mat】选择保存文件夹路径，最终生成 V0.mat, V1.mat 和对应的 image 图片。

注：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：

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！

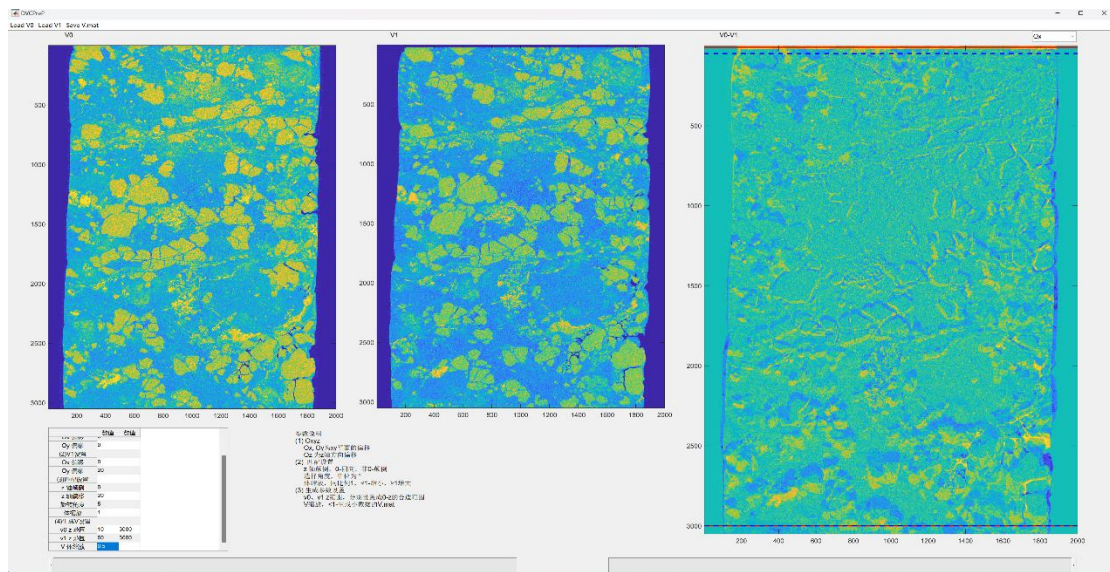


图 2.2 预处理界面的 O 剖面

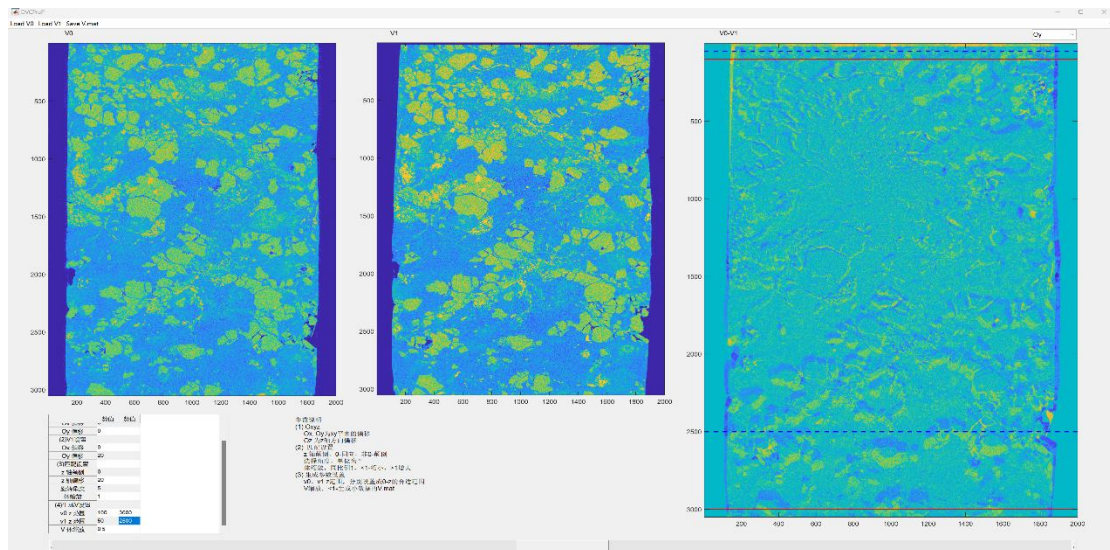


图 2.3 预处理界面的 Oy 剖面

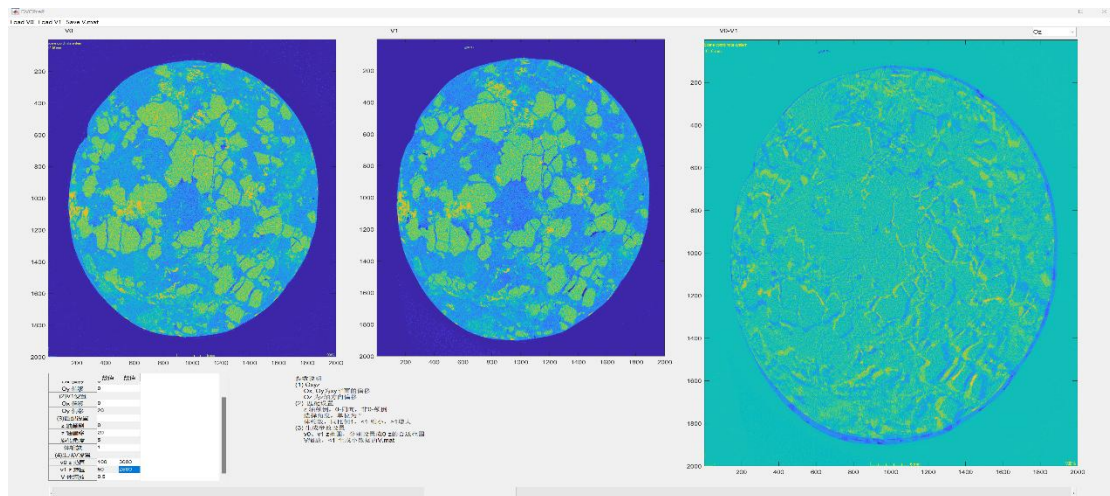


图 2.4 预处理界面的 Oz 剖面

三 DVC 计算

3.1 计算参数设置

iDVC 主界面如图 3.1 所示。

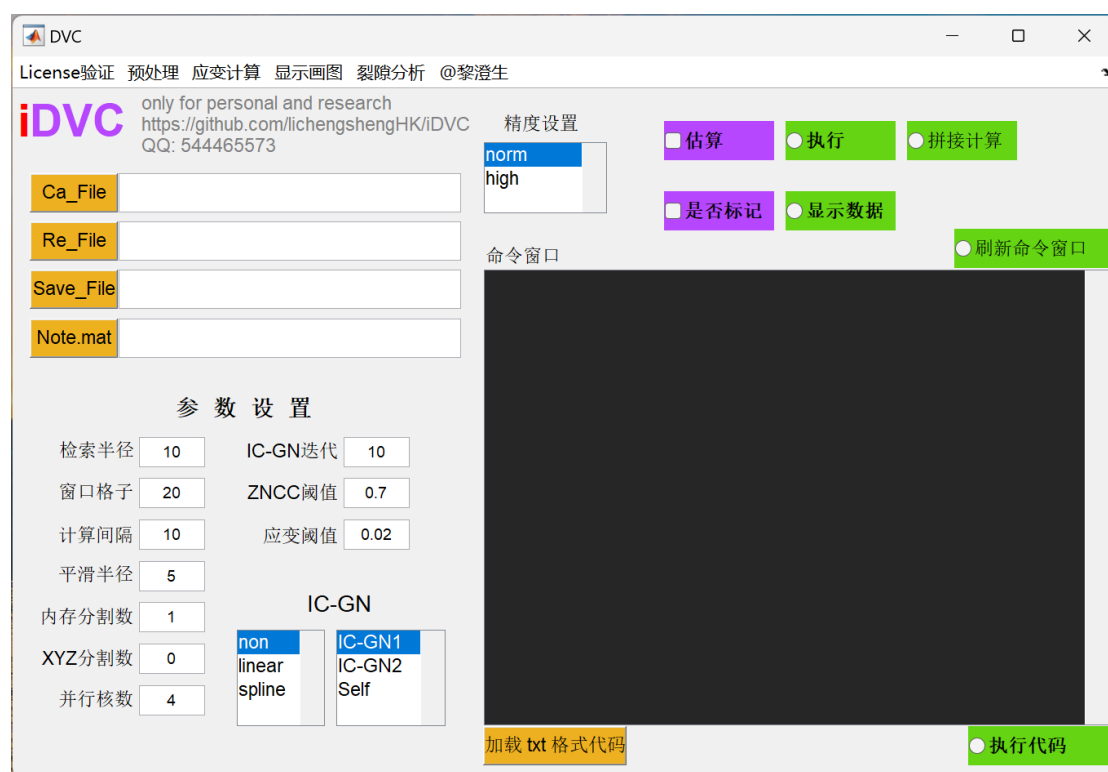


图 3.1 iDVC 主界面

设置好【Ca_file】和【Re_file】（分别加载参考 V0.mat 和当前 V1.mat 文件，Ca_File 为需要计算的数字体图像，Re_File 是用于参考的数字体图像）

【Save_File】结果文件保存路径。

【Note.mat】选取标记好计算区域的数据，通常为 V0_note.mat。

DVC 计算所需的参数详细设置：

- (1) 【检索半径】单位是体素，最大的可能位移；配合后面的【估算】模块进行调节合适数值，一般要稍微大一些。
- (2) 【窗口格子】单位体素，计算格子半径，选取“20”则计算窗口为“41”（ $2 \times n + 1$ ），小应变用大窗口，大应变用较大的窗口。（至少能够反映图片中纹理特征所对应的窗口格子）
- (3) 【计算间隔】网格状计算间隔；数值越小，计算数据密度越大。
- (4) 【平滑半径】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) **【内存分割数】**用于减小内存需求操作，当数据很大时（比如矩阵大于 500^3 ）可选择“3”，数据较小时可选择“1”，一般大可选择“2”。
- (6) **【XYZ 分割数】**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。
- (7) **【并行核数】**设置并行计算核数，最大为“8”； 最理想是选择 CPU 的物理核数，而不是线程数。
- (8) **【IC-GN 迭代】**IC-GN 迭代计算最大次数。
- (9) **【ZNCC 阈值】**当计算的 ZNCC 小于该阈值则需要重新修正。
(注：[当自身数据散斑或纹理特征很差时，这个阈值要调小](#))
- (10) **【应变阈值】**定义大变形的阈值。
- (11) IC-GN 插值方法 **【non, linear, spline】**对应不同精度需求。
- (12) IC-GN 插值方法 **【IC-GN1, IC-GN2, Self】**对应不同精度需求；推荐使用 IC-GN1。
- (13) 计算速度选择 **【norm, high】**选择正常速度“norm_s”、高速度“high_s”；建议使用‘norm’，否则对内存的需要急剧增大；

3.2 DVC 执行计算

3.2.1 估算

已删除原估算模块。由 3D SIFT 模块代替。

第一步：

(1) 在 SVDD3SIFT 软件主界面，【V1】、【V2】分别选择对应的 V0.mat 和参考图像 V1.mat。

(2) 分别点击【Gen1】、【Gen2】生成 SIFT 描述符

(3) 点击【Match】完成特征点匹配。

可根据匹配的效果，调整表格内的参数。其中“Rmax”越接近 0（一般不低于 0.1），特征点数量越多；“distRatio”越接近 1（一般不超过 0.85），特征点数量越多。

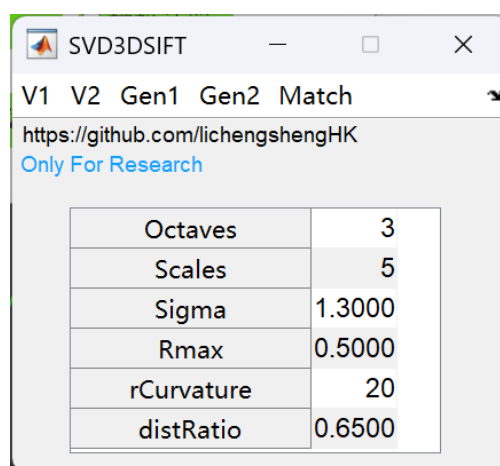


图 3.1 3D SIFT 程序主界面

第二步：

在主界面选择【估算】，再点击【执行】，后选择匹配结果“Match12.mat”，生成 Dx_3DSIFT.mat、Dy_3DSIFT.mat 和 Dz_3DSIFT.mat 结果，以及如下图的位移场剖面图。该结果的 size 与最终 DVC 计算结果的 size 一致。

根据下图的位移场结果，调整图 3.1 的计算参数。同时，用于调整主界面的参数设定，特别是【检索半径】。

注：

- (1) 主界面的参数设置调整不再对 Try 结果产生作用。
- (2) 对于 Dx_3DSIFT.mat 结果，也可以采用【显示画图】模块显示，更全面的评估估算结果是否合理。

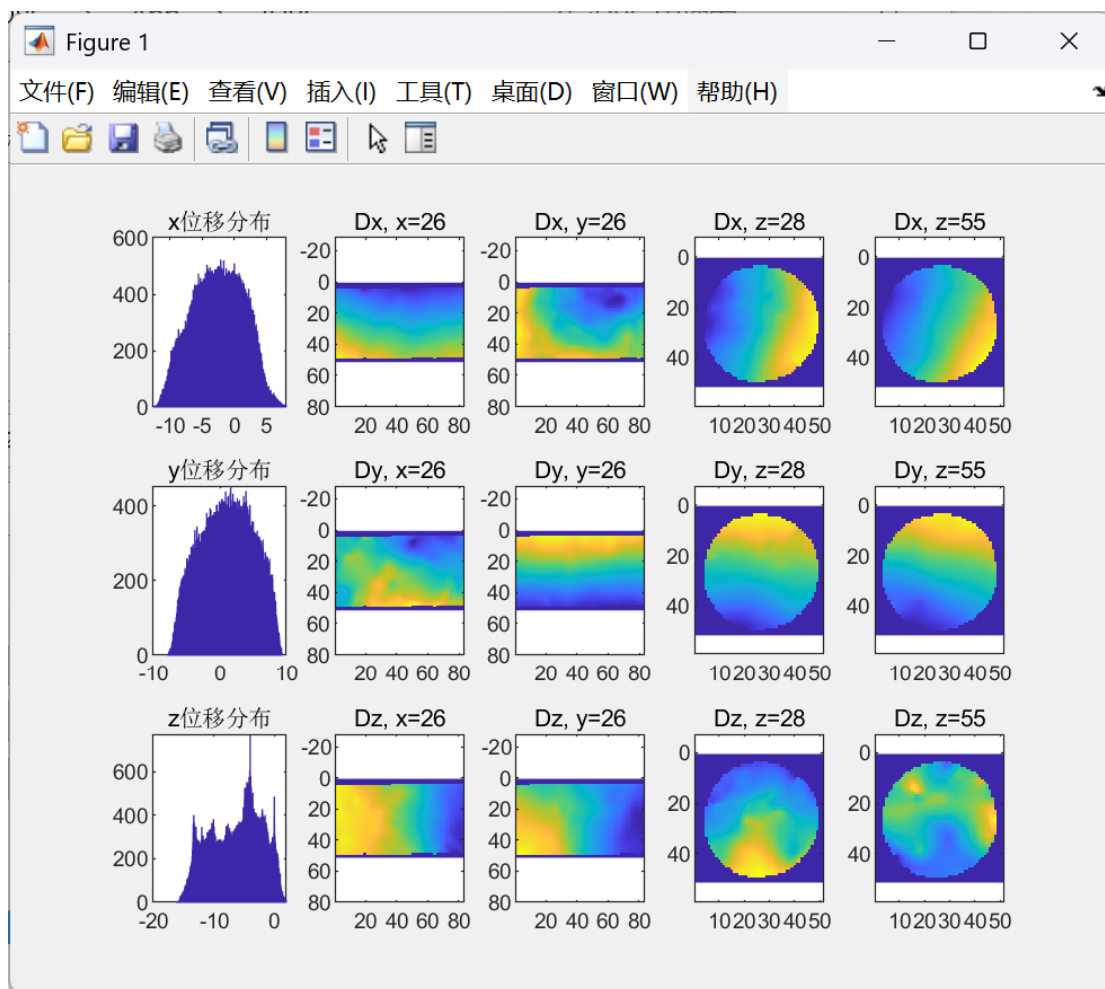


图 3.2 经 ZNCC 阈值修正后的位移场分布

3.2.2 计算项目提交

当前通过【估算】调整确定计算参数后，【估算】必须要取消。

然后点击【执行】进行 DVC 主体计算，计算过程会在【命令窗口】动态显示计算过程信息，最后生成 `DVC.mat`。

注：【拼接计算】用于前后变形过大的情况。一般采用计算相邻变形较小的数据，然后整体拼接生成完成的一系列应变场。但该功能比较复杂，暂时未完成模块开发。有需要的学者可联系 QQ 邮箱。

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。

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【加载 txt 格式代码】即可加入并在【命令窗口】，同时也可在【命令窗口】直接进行修改；

2) 在执行【执行】之前，必须要选取【Ca_File】数据。

注：更加建议的是，自己把数据导入 matlab 或第三方软件，再进行编辑。

3.4 不规则形状材料的 DVC 计算

3.4.1 不规则形状的区别

iDVC 软件中所使用的规整数据为：“方块形”；其余像：圆柱形、椭圆形、环形等均属于不规则形状，其中岩土试验常用的圆柱样属于不规则形状。

3.4.2 不规则形状数据的预处理

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。

【Ca_File】 选择 **V0.mat** 文件；

然后执行 **6.1** 代码，生成 **V0_note.mat** 标记矩阵数据。

3.4.3 不规则形状数据的计算

完成 **【预处理】** 处理后；

其余全部按照正常步骤，其中 **【Note.mat】** 选择 **V0_note.mat** 文件，然后必须勾选 **【是否标记】**，最后点击 **【执行】** 提交完整计算。

四 应变计算

点击 iDVC 主界面中的【应变计算】，出现图 4.1 界面。

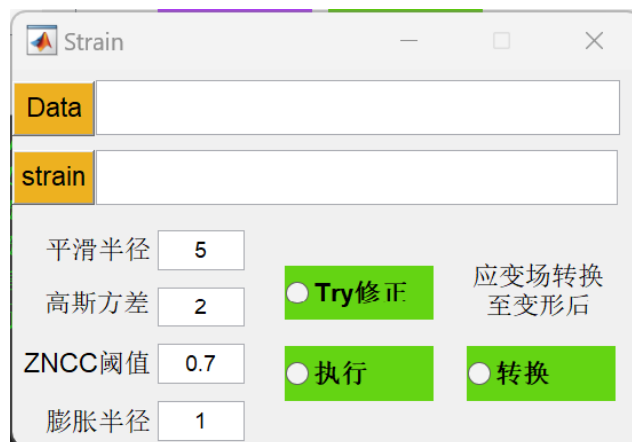


图 4.1 iDVC 应变计算模块界面

4.1 位移场修正与平滑

应变计算基于最小二乘法。

- (1) **【Data】** 选取 DVC 计算结果文件 **DVC.mat**;
- (2) **【平滑半径】** 高斯平滑半径，一般选取“5-10”
- (3) **【高斯方差】** 一般选取“1-3”用于平滑数据；
- (4) **【ZNCC 阈值】** 小于该阈值需要进行平滑修正；
- (5) 参数选择 OK 后，可执行 **【Try 修正】**，修正、平滑三维位移场；当前后的‘ZNCC 阈值’相同时，不会执行 Try 修正计算（如有其它参数改动，可以对 ZNCC 阈值进行小数值改动）；

4.2 应变场计算

【执行】完成整体的应变场计算，将生成如下数据：

Data	说明
XX_XX_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：体素
DVC_R_D1/D2/D3	已删除该功能
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

4.3 位移场坐标系投射

当前的位移场和应变场的数据均是在当前计算当前坐标系,有些事时候需要把应变场转换至变形后的坐标系。

具体操作:

【Data】选择 DVC.mat,

【strain】选择需要转换的应变场结果.mat,

【膨胀半径】选择小正整数,用于腐蚀表层边界误差;

最后点击【转换】,可生成‘xxx-Con.mat’形式结果。

五 后处理显示

点击 iDVC 主界面中的【显示画图】，出现图 5.1 界面。



图 5.1 iDVC 画图显示模块界面

5.1 三维剖面显示

5.1.1 方块形数据显示

【Date】加载应变计算结果，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，x1,x2,y1,y2,z1,z2 可输入大于 0 的整数（或者在命令窗口界面输入，V=V(30:end-30,15:end-15,122:end-12)），根据结果**【切割显示】**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。

三维云图显示的参数调整：

形态学修正：腐蚀-开运算半径，修正不规则几何形状，剔除表层的部分异常数值。

数值范围：当没有确认的显示数值范围时，**【最小值】**和**【最大值】**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。

色条范围：c1-c2，选择已知的色条数值范围，突出所需要的范围值。

云图透明度：三维云图的透明度设置。（0 对应完全透明）

背景、灯光、标题、边界颜色、曲面颜色：可以根据需要设置

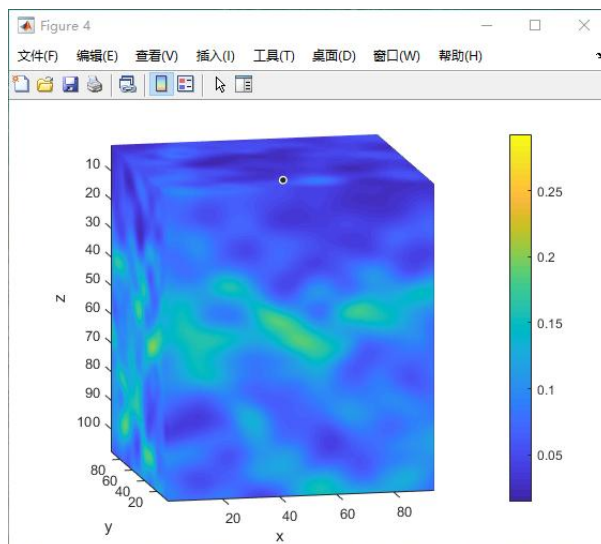


图 5.2 等效应变场的规则形状显示

5.1.2 不规则形状显示

当在进行了不规则数据的 DVC 计算时，对于未计算的区域会标记成 **nan**；无需对 XYZ 切割数据进行调整，形态学修正、数值范围等还需要按需调整。点击【切割显示】可得到不规则形状的三维云图，如图 5.3。

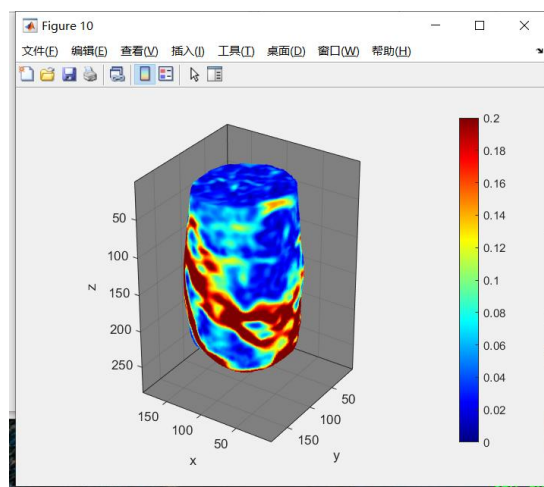


图 5.3 不规则形状的三维显示

如果需要对体数据进行二次编辑，可以在【命令窗口】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。

例如，如图 5.4，要进行 1/4 块体切割显示，在【命令窗口】输入如下代码：

```
Vn = zeros(size(V), 'int8');
n = round(size(V,1)/2);
m = round(size(V,2)/2);
```

```
Vn(1:n, 1:m, :) = 1;
```

```
V(Vn == 1) = nan;
```

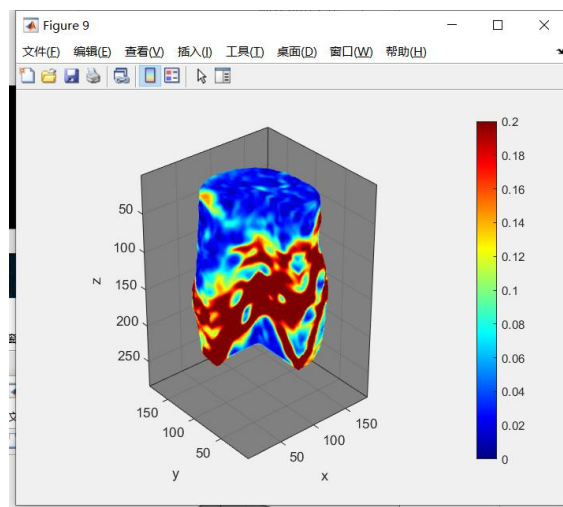


图 5.4 不规则形状的 1/4 切割显示

注：6.2 和 6.3 的云点显示功能不推荐使用；建议使用本节的三角面片云图显示。

5.2 三维曲面显示

该模块主要用于三维剪切带的显示。

【IsoFace】模块，【边界颜色】、【曲面颜色】、【背景】(0-1) 和【灯光】(0-1)、【转百分】等根据自己需要调节，【标题】可以给图片添加标题。

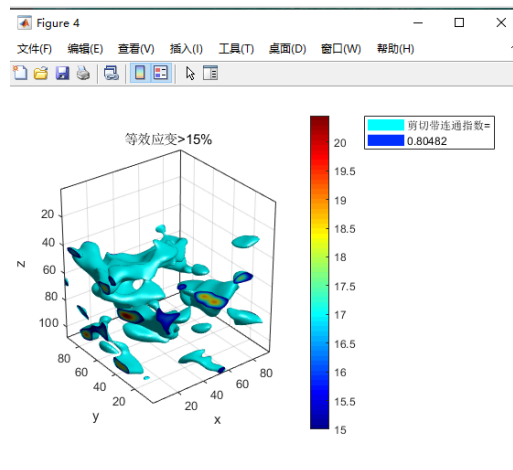


图 5.5 三维剪切带画图

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。[但计算公式适用性有限，不推荐使用](#))；。

六 常见问题

- 1、未正确安装 matlab 2019b runtime
- 2、软件放置路径可能存在中文路径
- 3、CT 数据预处理不够
- 4、参数设置没有根据“估算”结果进行调整
- 5、IC-GN 计算方法选择

.....

附录 1-交互执行代码

不能执行带有循环、判断等结构语句！
全部必须是英文字符串，符合 **matlab** 语法。

F1-1 不规则形状计算区域标记

标记原理：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。

点击【Ca_File】加载变形后的V.mat数据

```
V0 = evalin('base', 'V0');
Thred = [ 40, 256 ]; % 主体的阈值范围，根据CT图片的灰度值选取合适范围
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
Pz = [0, 0]; % V' = V*(1-Pz(1)*abs(z-zo)^Pz(2)); z轴矫正
SigNan( Parameter, Thred, Stre_open, Stre_close, Try, V0, Pz );
```

F1-2 采用云点显示不规则云场

（不推荐使用）

```
V = evalin('base', '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
```

F1-3 采用散点显示不规则云场

（不推荐使用）

```
V = evalin('base', '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');
```

附录 2 基于 iDVC 的分析实例

F2-1 应变场-剪切带分析

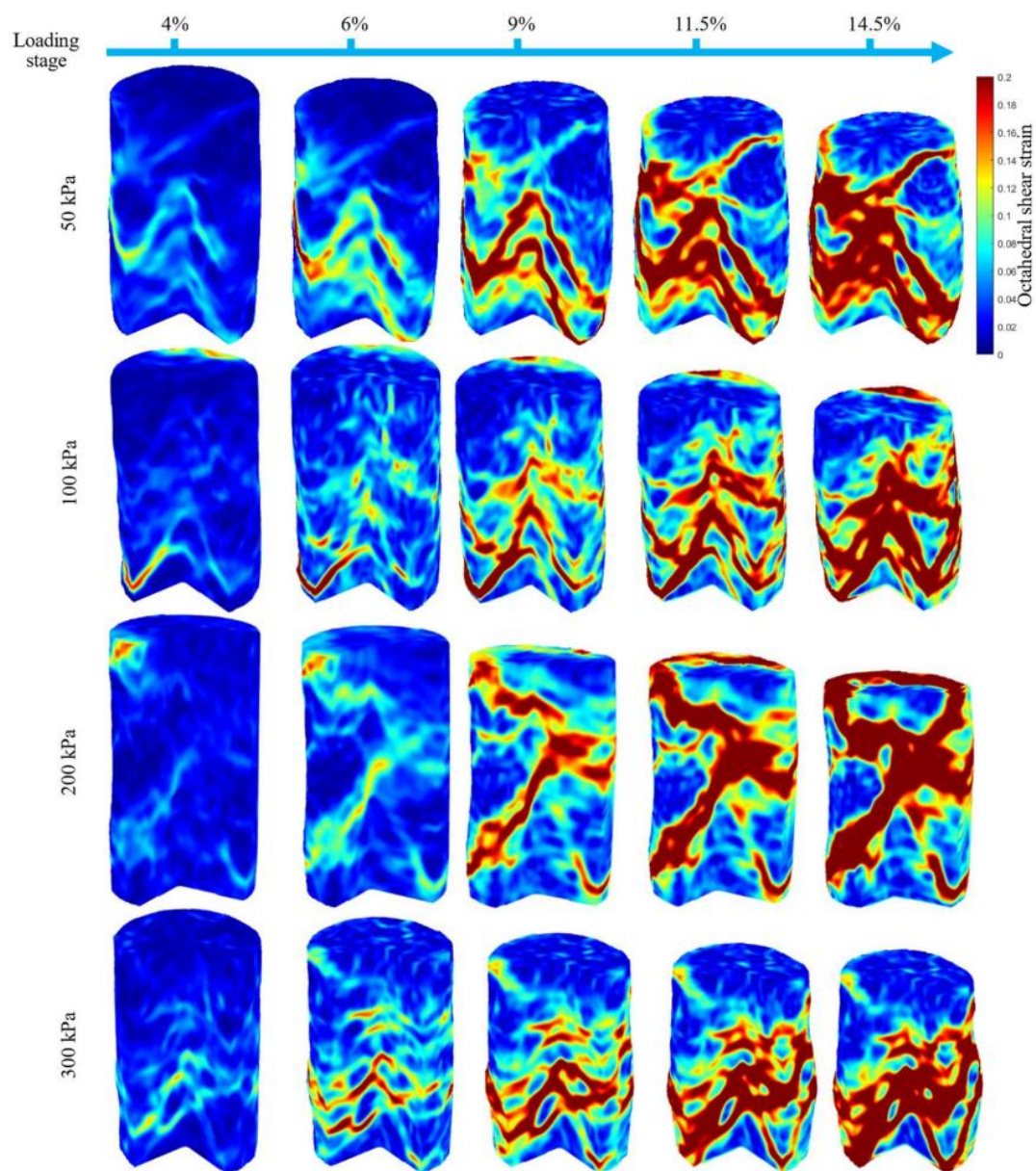


图 f1-1 三维应变场

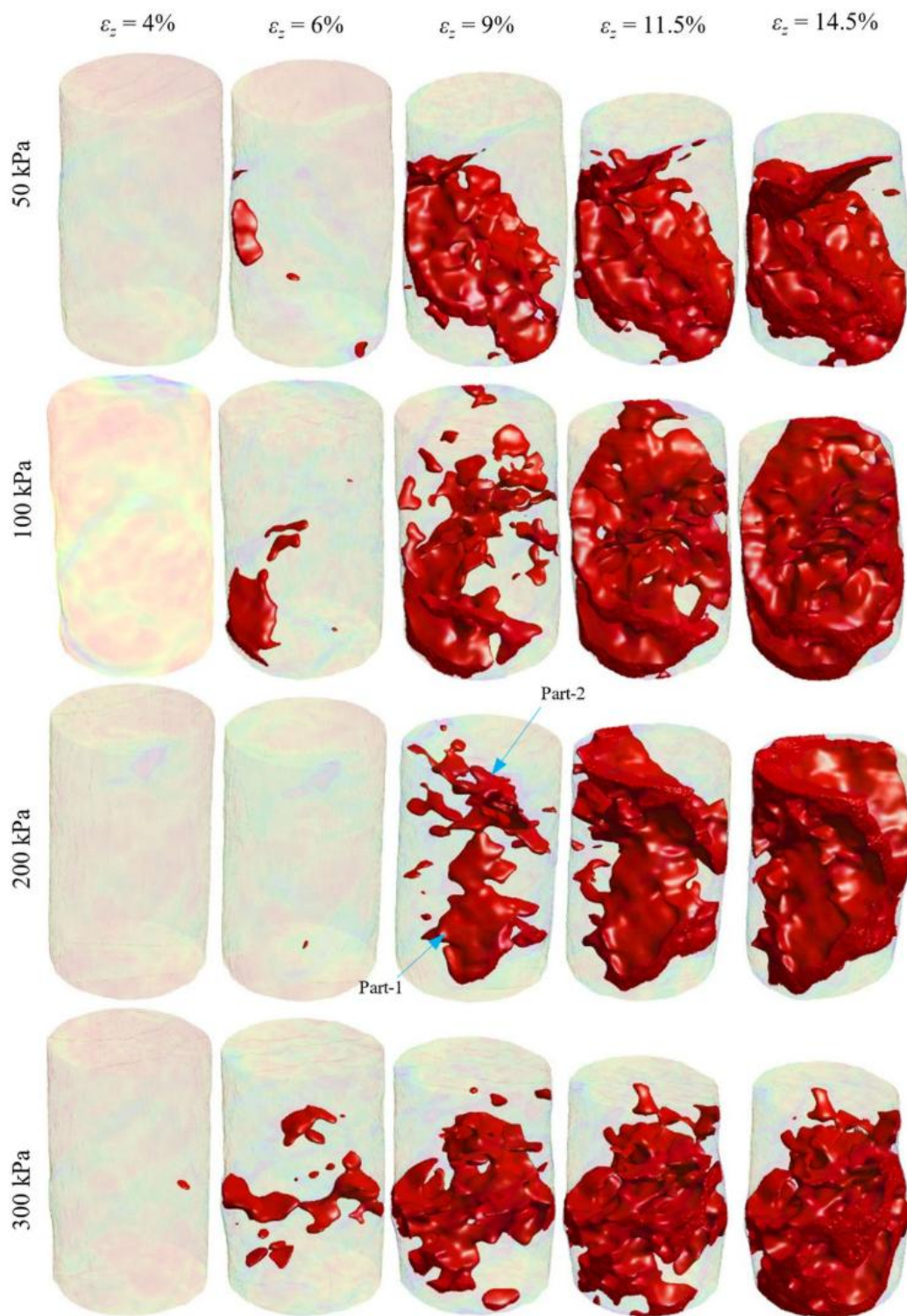


图 f1-2 三维剪切带

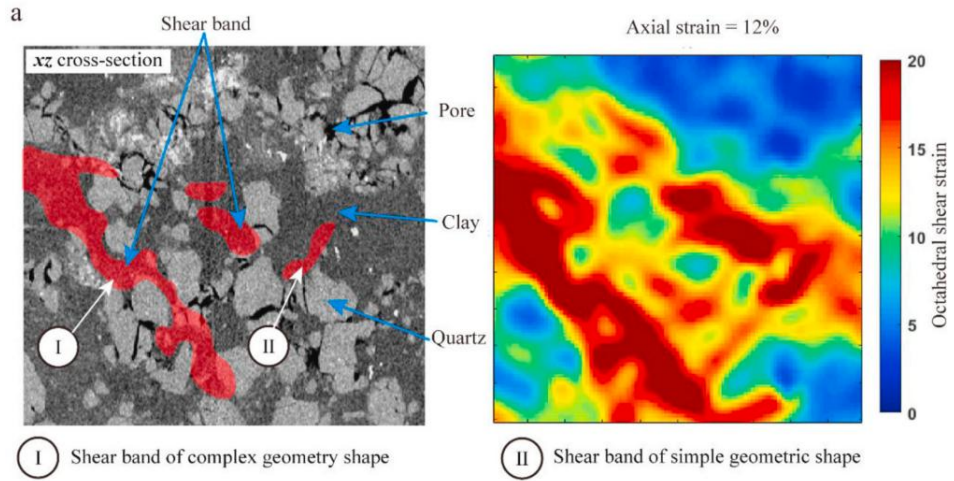


图 f1-3 剪切带分布与石英颗粒的关系

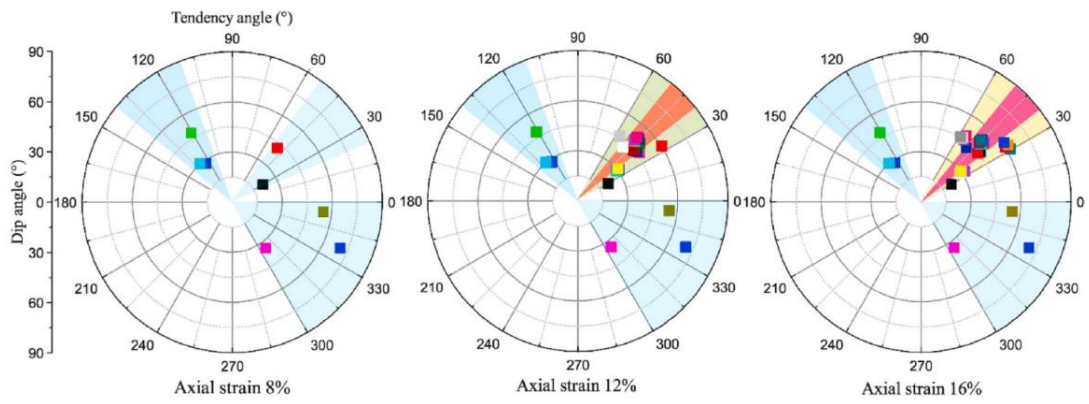


图 f1-4 三维剪切带的倾向-倾角统计分布

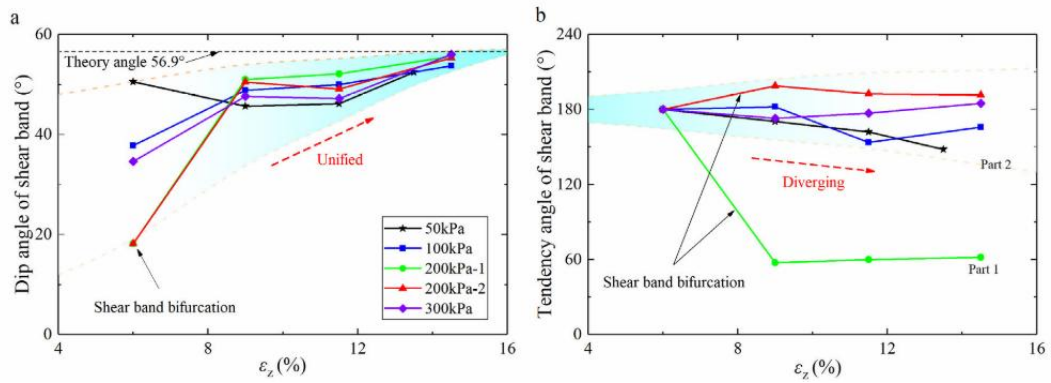


图 f1-5 剪切带的倾向-倾角整体变化

F2-2 复杂次生裂隙分析

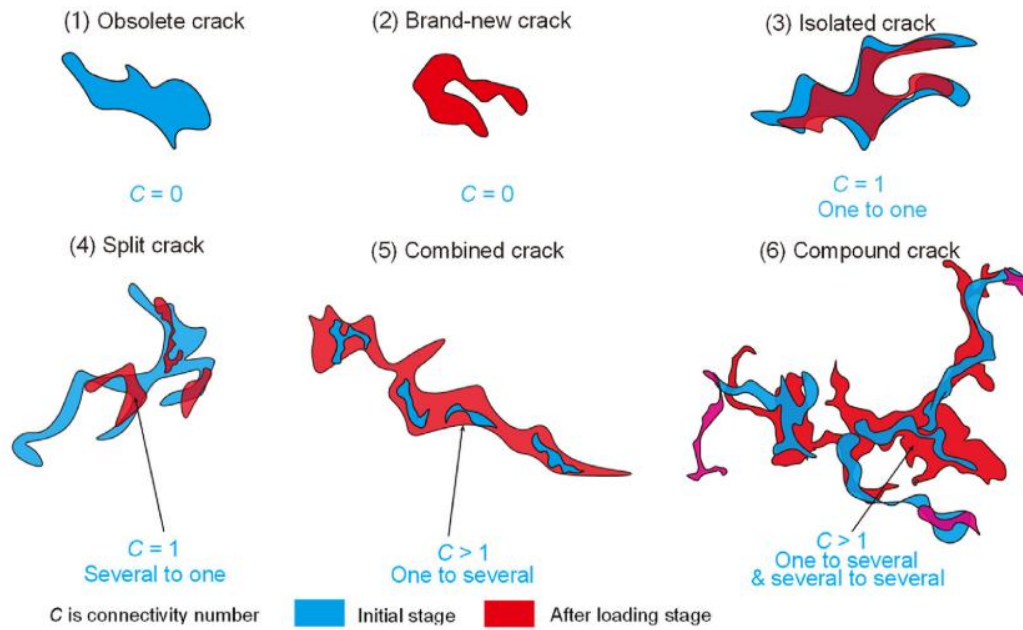


图 f2-1 复杂裂隙的分类分析方法示意图

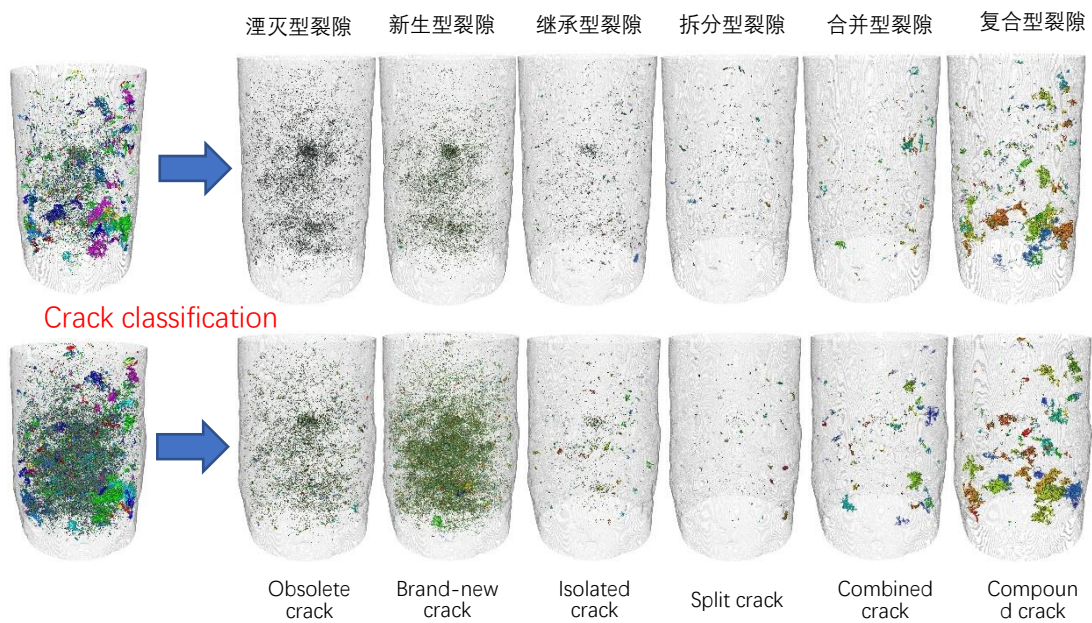


图 f2-2 基于 iDVC 的裂隙分类分析效果图 1



图 f2-3 基于 iDVC 的裂隙分类分析效果图 2