

FastDVC 简明教程^[1]

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。

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

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

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

式中， 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。

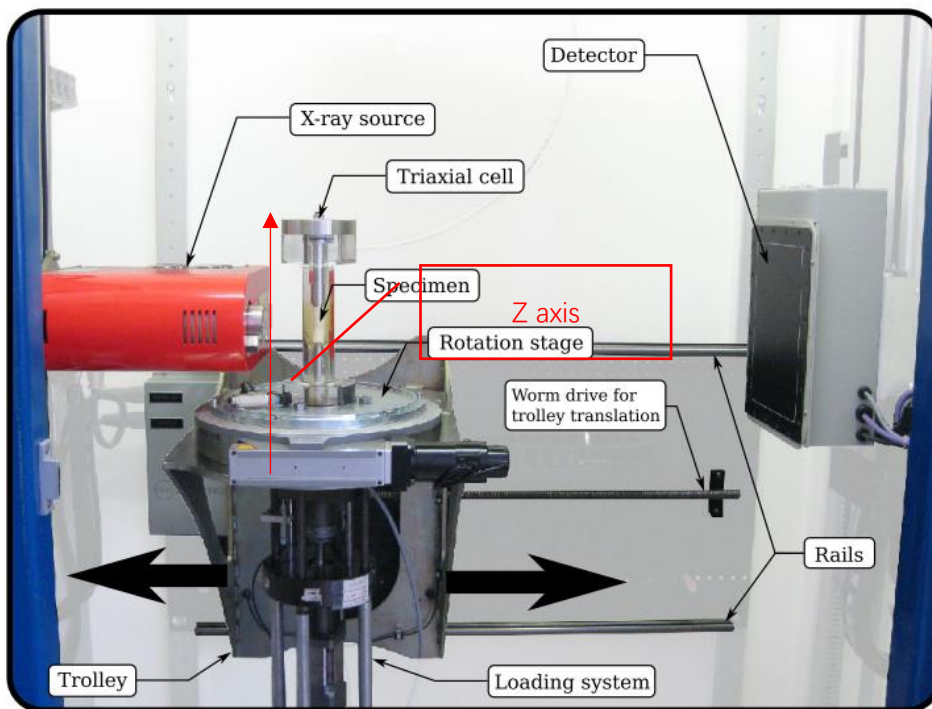


Fig. 3 Labelled photograph of the Laboratoire 3SR X-ray scanner, with background faded out for clarity

二、使用参考步骤

1、输入秘钥打开软件

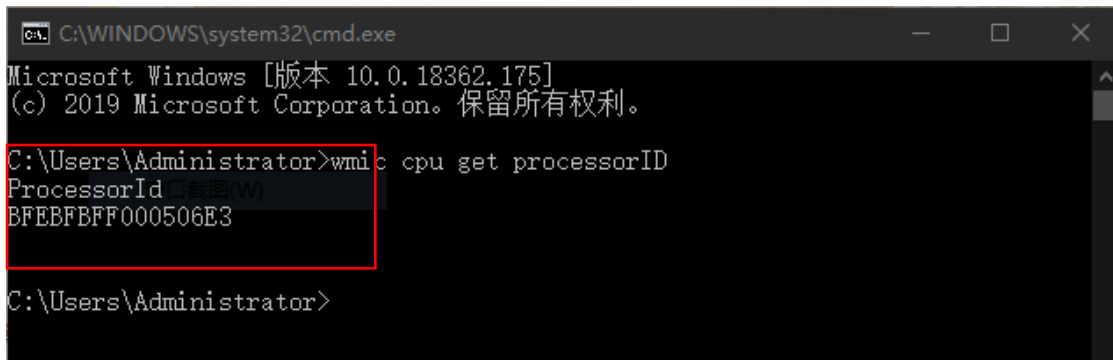
FastDVC 下载链接: <https://pan.baidu.com/s/1inDILx3A1Q5u7stM5j7U6w>

提取码: 66qc

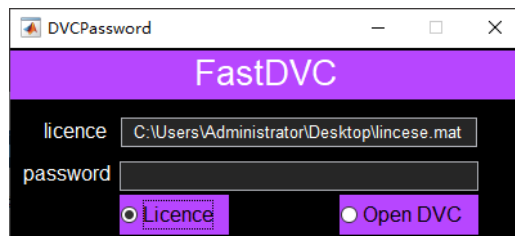
如果没有安装 MATLAB2018b, 则运行软件需要下载安装 MATLAB2019b runtime (免费), 链接:
<https://ww2.mathworks.cn/products/compiler/matlab-runtime.html>

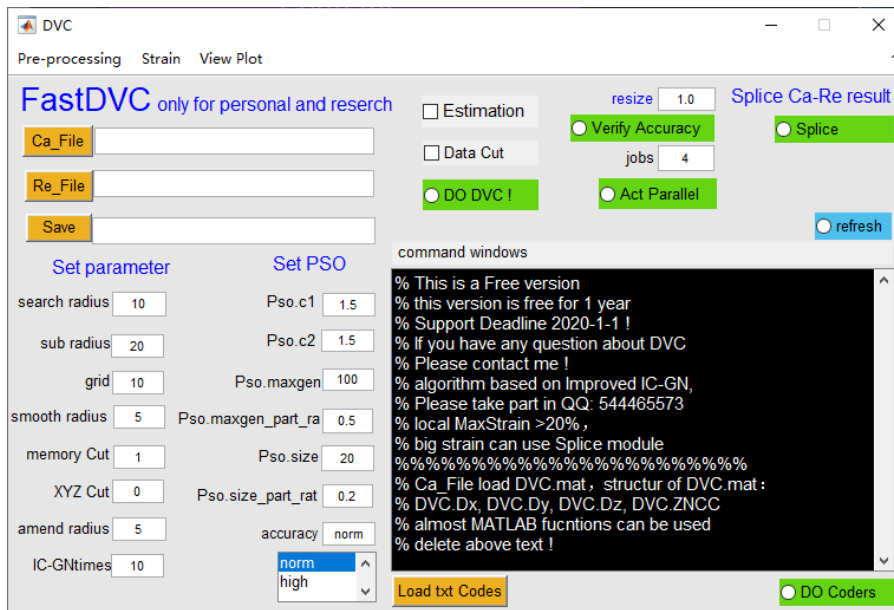
打开软件需要唯一的秘钥, 一台电脑生成一个唯一的秘钥, 需要向开放本人提供安装软件的: 主机名称、CPU 序列号。

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。

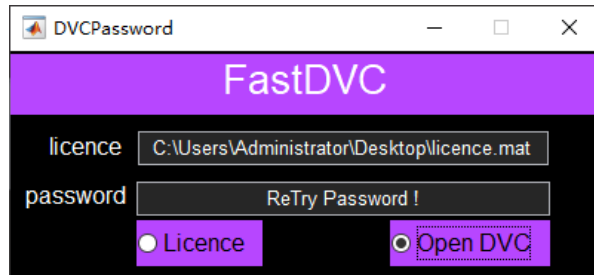


生成唯一秘钥 license, 例如: `1c9c8eeab2eced71a0600acee2b6ab087d29d701d0f804cdb8xxx`, 在软件界面用【Licence】输入 licence 文件路径即可打开。



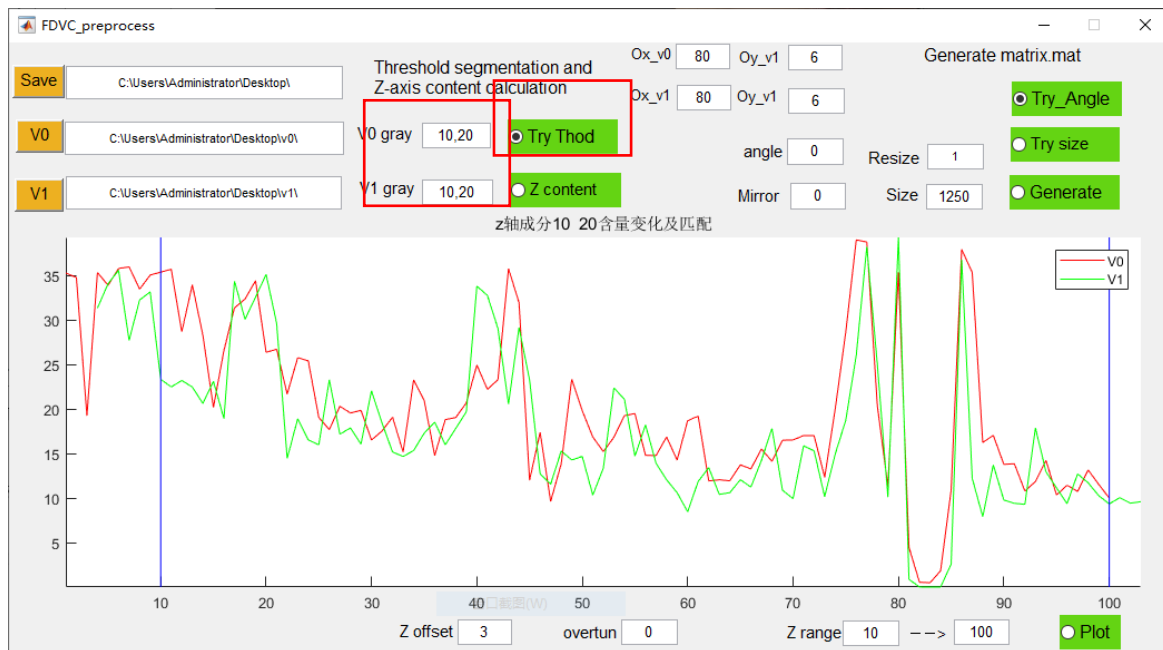


如果密钥错误或支持时间过期，会出现如下结果：



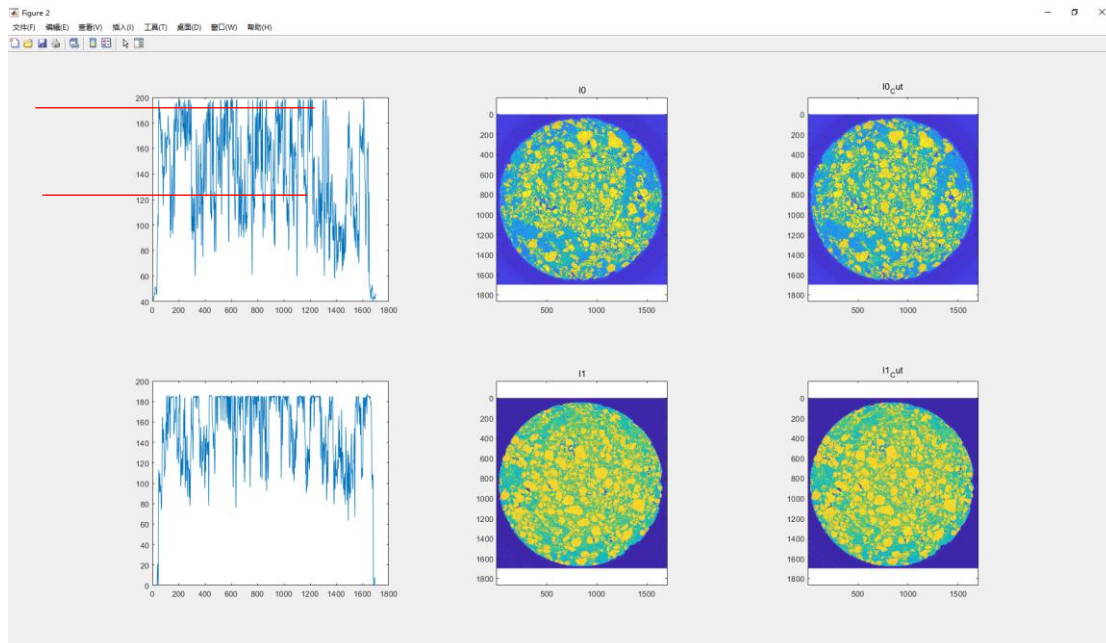
2、DVC 前期处理模块

2.1 分割阈值选取

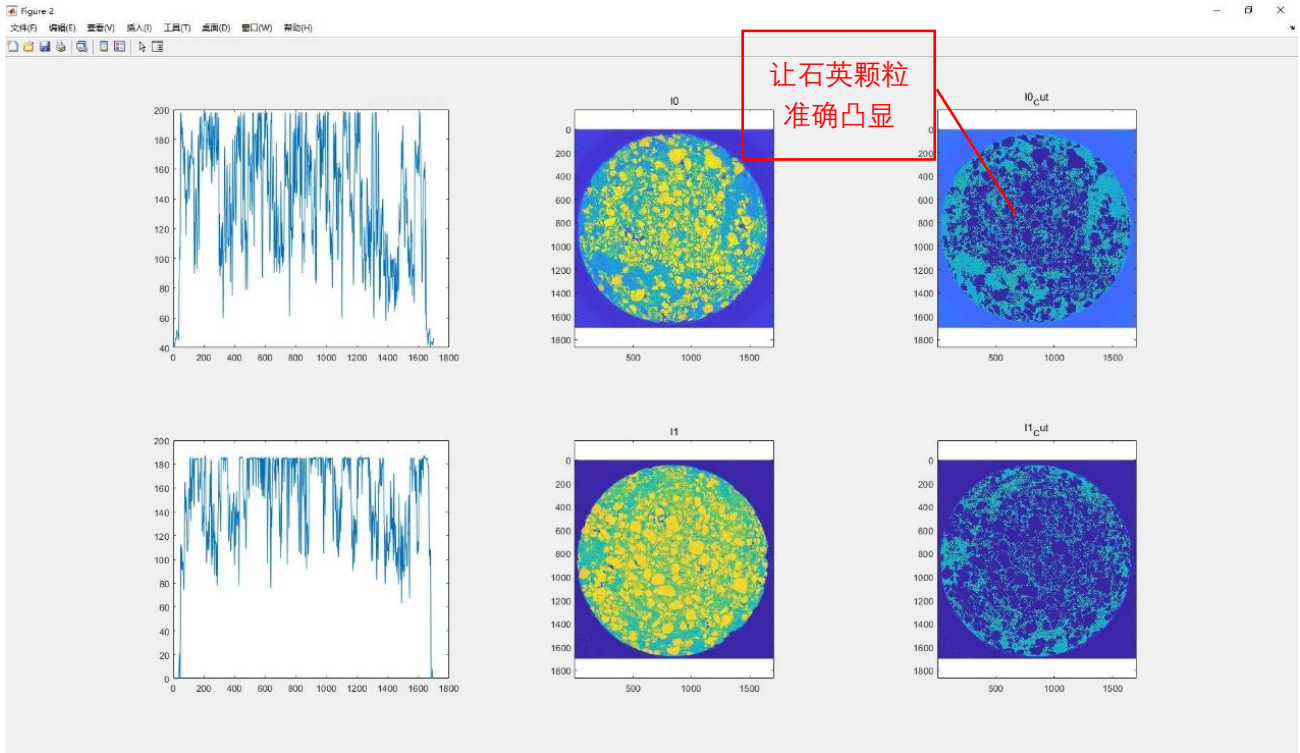


提前选取好保存路径【Save】、参考图像【V0】和当前图像【V1】文件 path（注：当前仅支持 tif 格式，非 RGB3 层数据，最好是 uint8 格式，在大数据时降低内存需求）。阈值的选取是为了调整两个 CT 数据在 Z 上的匹配，减少后期 DVC 计算压力，同时也提高准确度。

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。

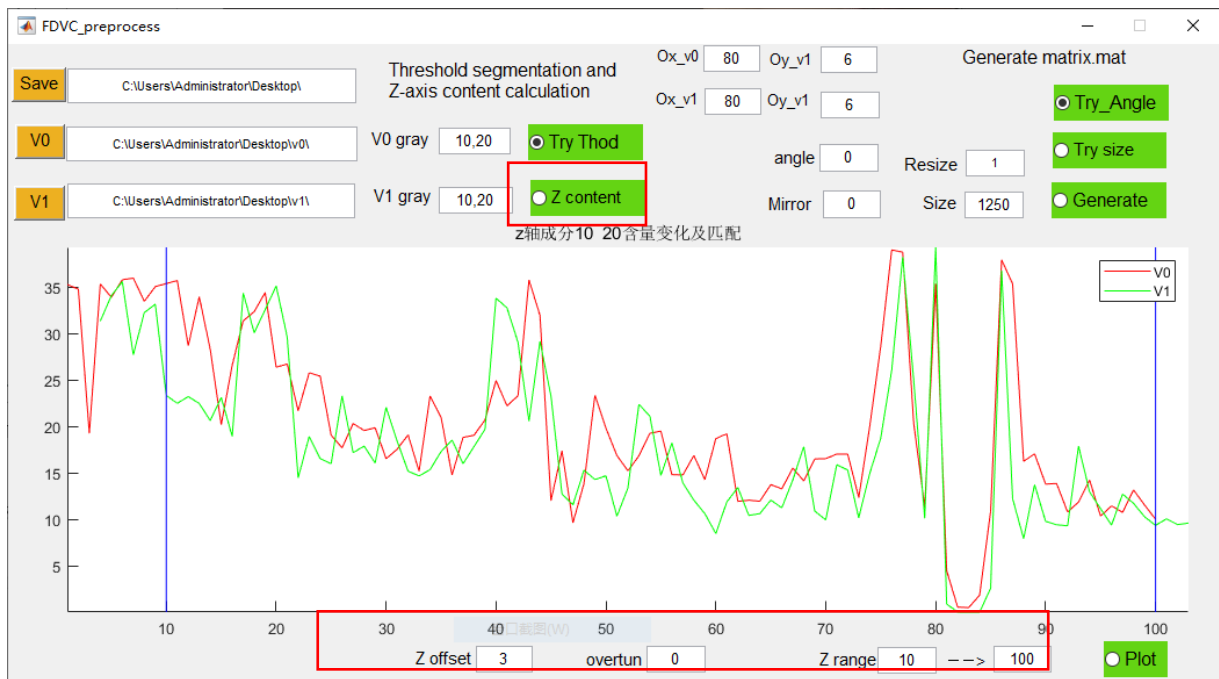


根据上图的剖面图可以确认石英颗粒大概的灰度值范围（不需要非常准确）为“120,200”，得到如下图，依据 2-3，5-6 的对比效果不断调整阈值范围直至合理为止。



2.2 Z 轴含量成分匹配与选取

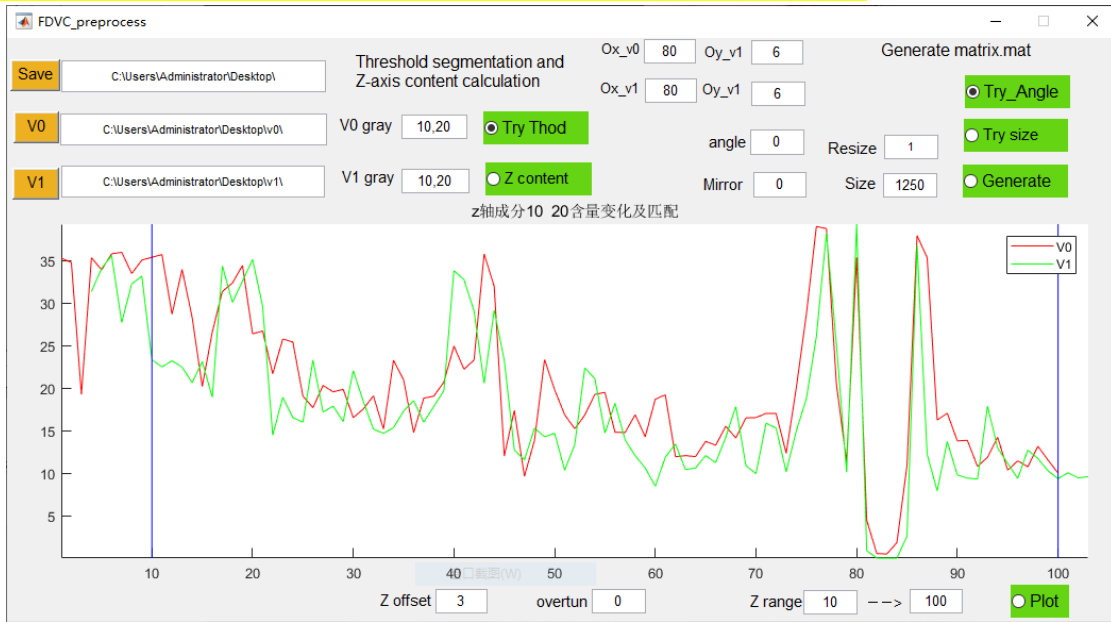
当阈值选取 OK 后，执行 **[Zcontent]** 计算选取阈值的 Z 轴含量分布，会生成 **content.mat** 和 **Z.mat**。并且执行 **[Plot]** 画出 Z 轴分布曲线。如果 CT 扫描过程中试样有颠倒，在 **[overtun]** 中选取“1”（同步实时加载一般不会出现该情况）。



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。

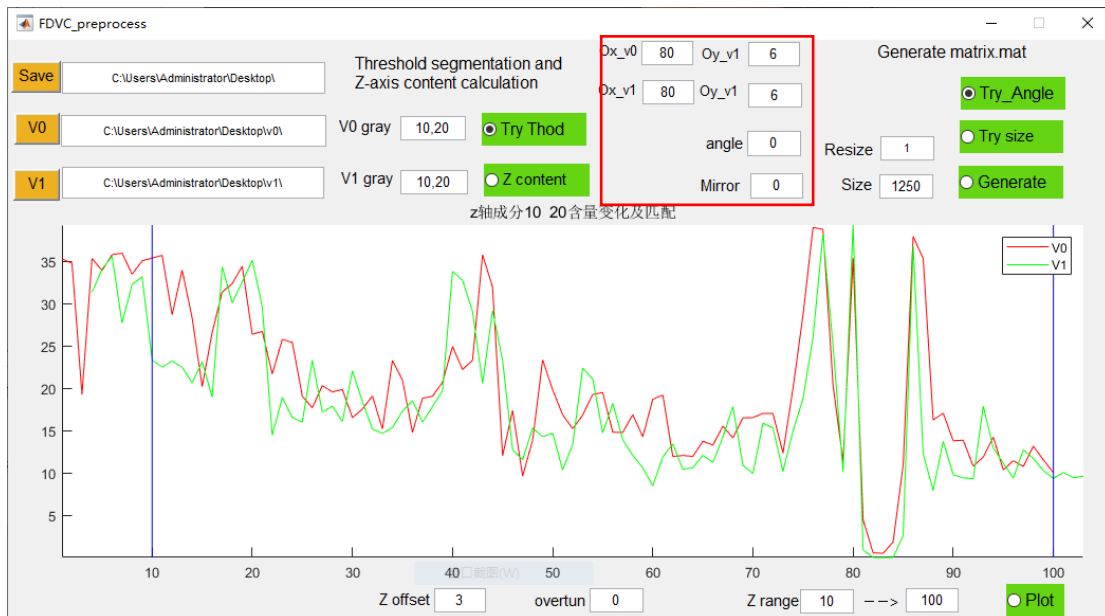


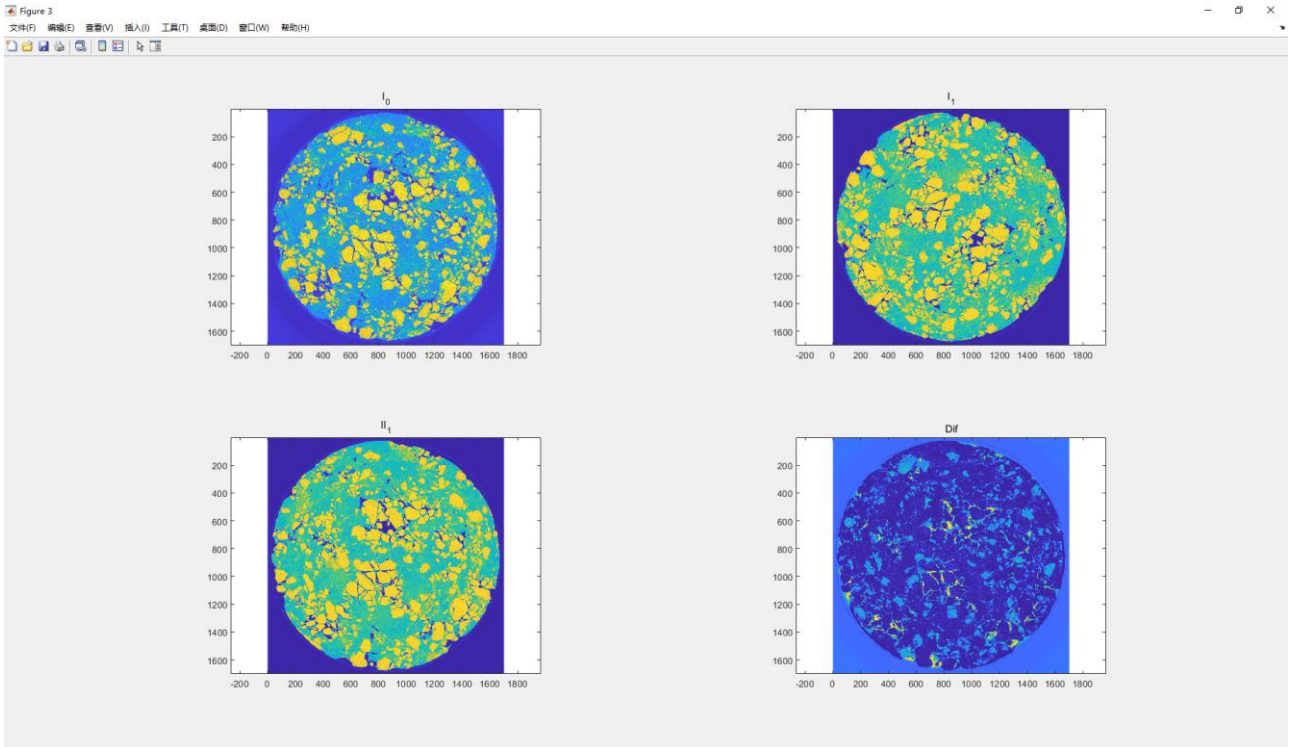
2.3 XY 平面角度匹配

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。



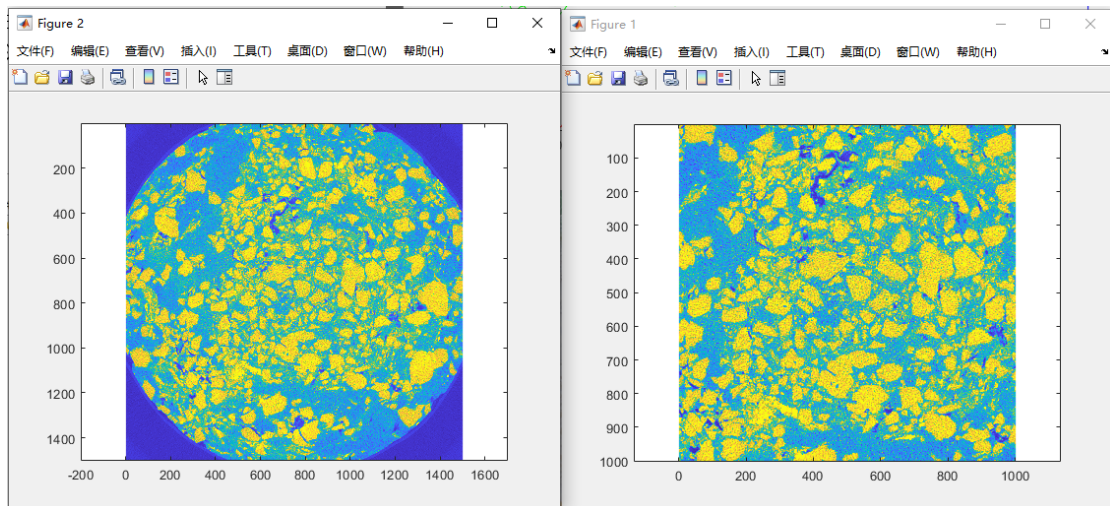


2.4 生成.mat 格式的三维矩阵

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”。

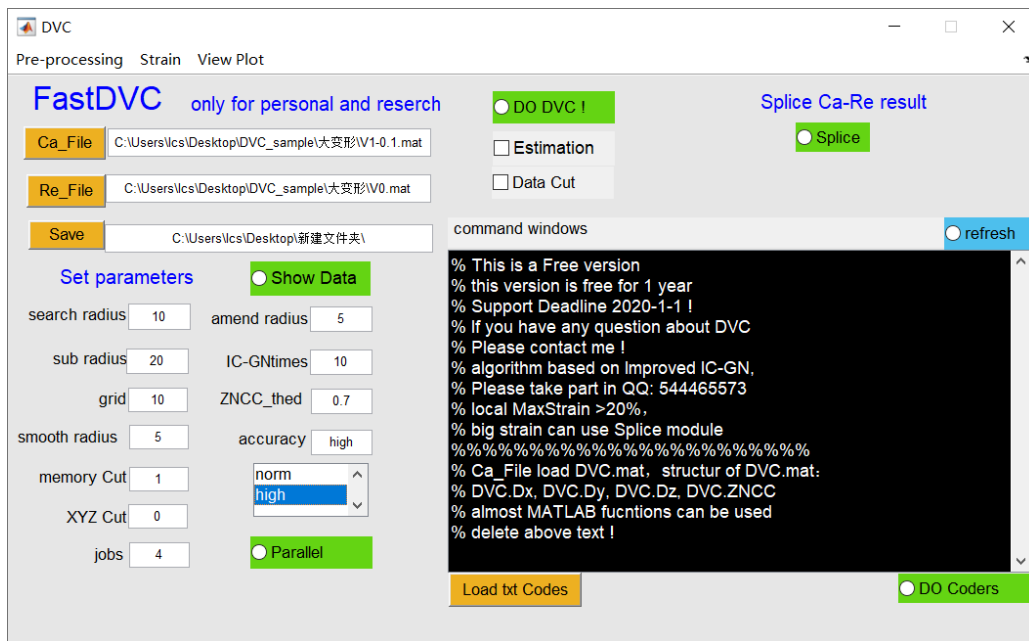


3 DVC 计算

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;
- 7) **amend radius** 此模块没用使用, 无影响;
- 8) **IC-GN time** 设置最大的算法迭代次数, 默认为“10”;
- 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) **accuracy** 当前支持: 正常精度“norm”和高精度“high”;

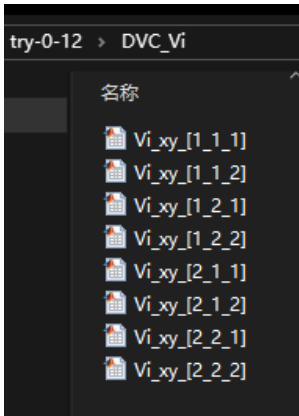


3.2 DVC 执行计算

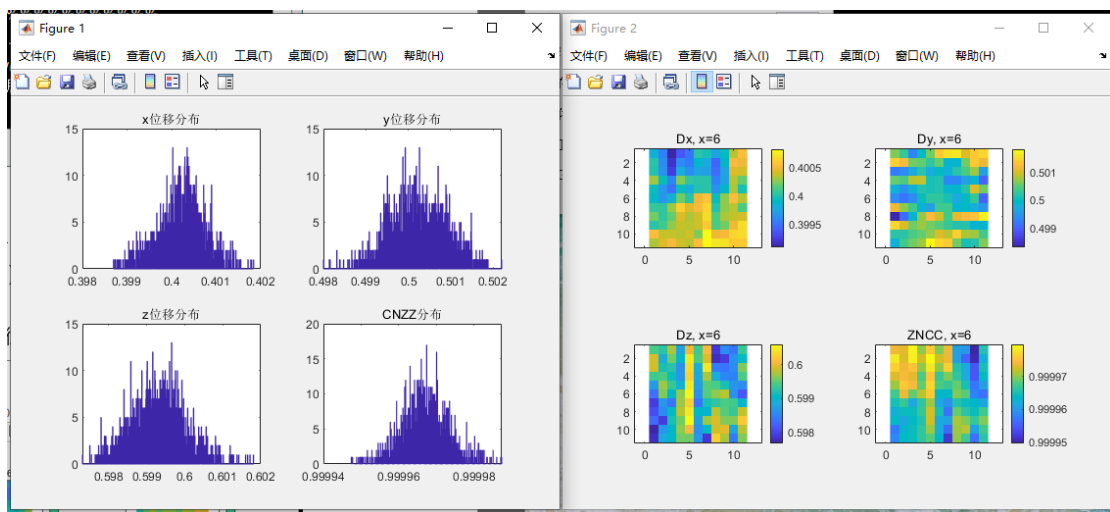
注: 在执行计算的时候, 一定要先选择 **Parallel**, 根据自己 CPU 的核数 **jobs** 选取, 不然会启动过多的核数, 占用不必要的内存 (抱歉: 这个 bug 暂时未解决)。当 **jobs** 数值为“0-1”时关闭并行计算。

- 1) **Data Cut** 当选取了 **XYZ Cut** (数值大于 1, 必须是整数) 选择此模块, 然后 **DO DVC!**, 反之不需要该操作, 注意此模块并不需要启动并计算。

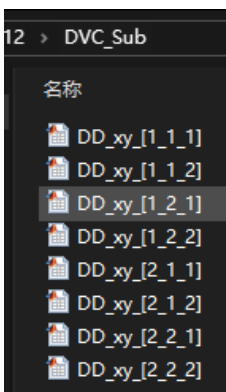
会生成如下数据:



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】** 和 **【Data Cut】** 都必须取消，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：



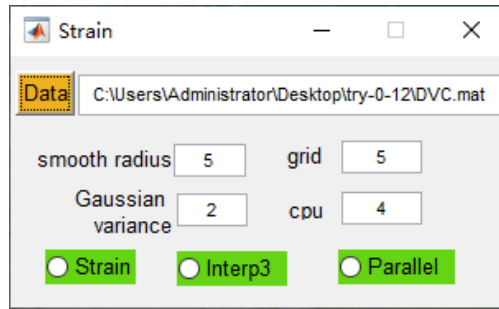
- 4) **【jobs】** 最理想是选择 CPU 的物理核数，而不是线程数。
- 5) **【Splice】** 比较复杂，后续再详细说明。

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^[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:

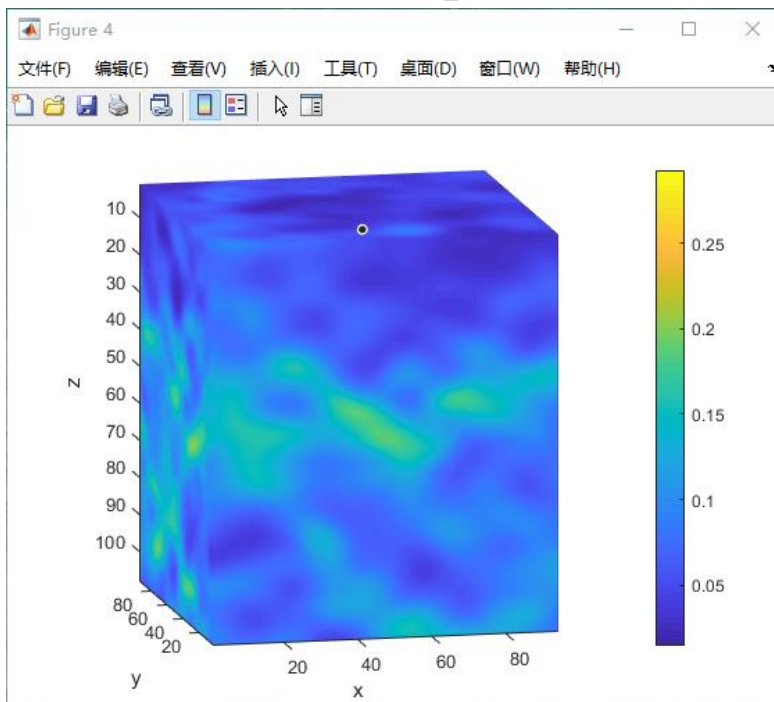
Data	说明
*_*_para	最小二乘法求解拟合参数
DVC_Dx/Dy/Dz	平滑前的 x,y,z 方向位移场
DVC_R_D1/D2/D3	第 1,2,3 主应力
DVC_R_Dts	总位移场 $ts = \sqrt{Dx.^2 + Dy.^2 + Dz.^2}$
DVC_R_Ds	等效应变
DVC_R_Dv	体应变
DVC_R_Dx/Dy/Dz	平滑后的 x,y,z 方向位移场
DVC_R_Dxx/Dyy/Dzz	x,y,z 方向上的应变场
DVC_R_Dxy/Dyz/Dzx	剪应变

- 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。

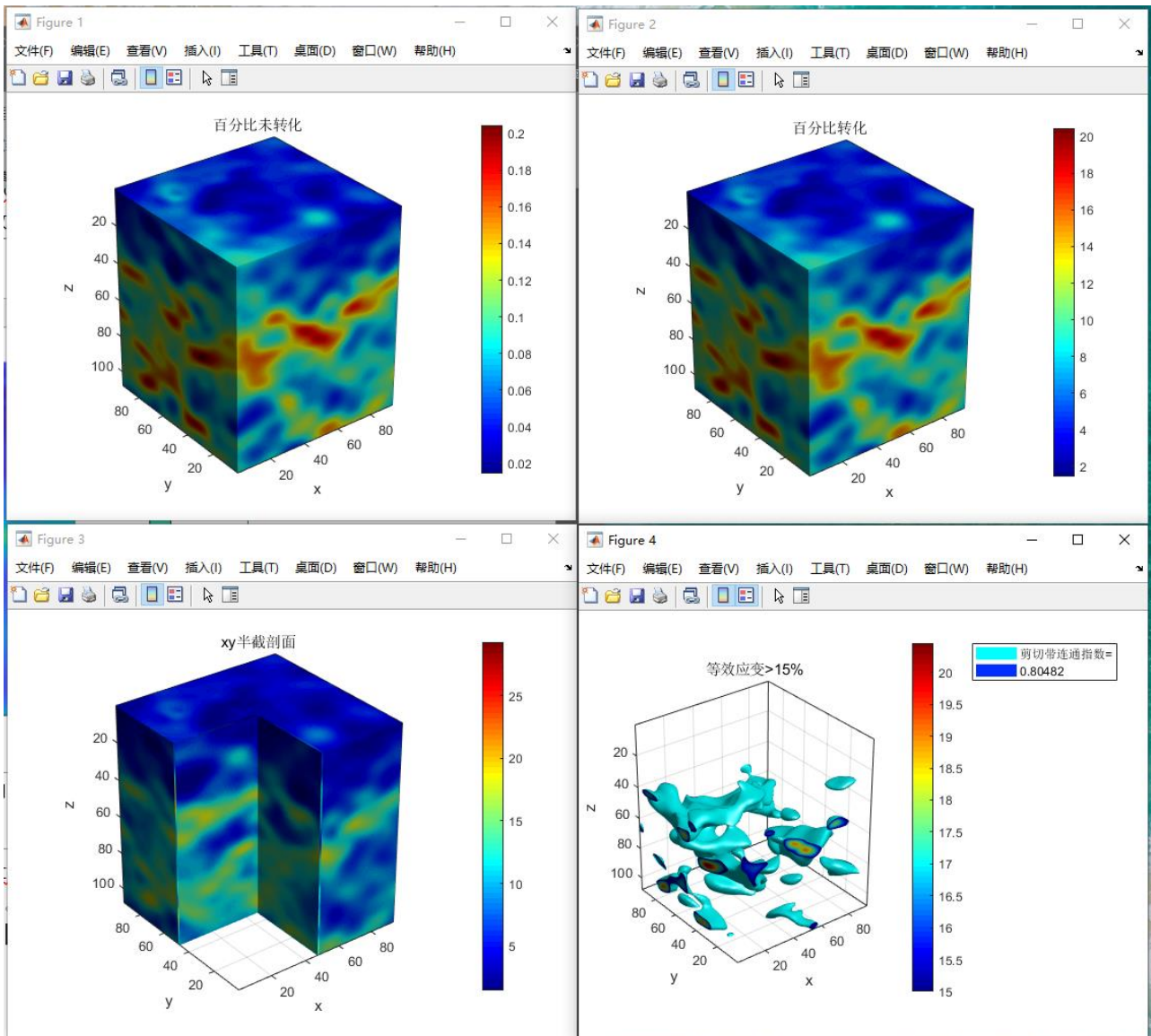


当没有确认的显示数值范围时，【Limit_min】和【Limit_max】选择字符，比如“n”，此时会显示全部注释范围内的结果；当需要选择范围时可以直接选择需要显示的范围。

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。

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, v.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.