

南京大学

颗粒（孔隙）与裂隙图像识别与分析系统 V2.3 使用说明书

(简称 PCAS)

联系人：刘春 博士

E-mail: chunliu@nju.edu.cn

目录

1. 系统功能与环境	2
1.1 PCAS 系统功能介绍.....	2
1.2 硬件环境.....	3
1.3 软件环境.....	3
1.4 软件更新和联系方式.....	3
1.5 PCAS 应用示例.....	4
2. 颗粒和孔隙识别操作说明	6
2.1 孔隙系统的自动分析.....	6
2.2 PCAS 的基本原理和参考资料.....	8
2.3 设定参数说明.....	9
2.4 矿物颗粒的识别和分析.....	10
3. 裂隙识别操作说明	11
3.1 裂隙网络自动分析.....	11
3.2 裂隙网络分步处理.....	11
3.3 图像识别基本原理和注意事项.....	13
3.4 参考资料.....	13

1. 系统功能与环境

1.1 PCAS 系统功能介绍

颗粒（孔隙）与裂隙图像识别与分析系统（PCAS）主要功能是进行颗粒、孔隙和裂隙图像的自动识别、几何定量和统计分析。软件适用于分析各类设备获得的颗粒、孔隙和裂隙网络图像，包括普通相机拍摄的照片，光学显微照片，电子显微镜照片和CT图像等。与传统的人工测量方法比，使用PCAS系统具有自动化和可重复等优点。

在颗粒和孔隙识别上，能够导入各种颗粒和孔隙图像，通过二值化，自动去除杂点，自动分割并识别颗粒和孔隙，输出其几何参数和统计参数，显示结果矢量图像及玫瑰图等。将所有颗粒和孔隙的各种几何参数显示于数据表，包括颗粒和孔隙个数、面积、长度、宽度、定向性、形状系数等，并统计得到颗粒和孔隙含量（孔隙率），分形维数，面积概率分布指数等统计参数，实现矿物颗粒、岩土体孔隙系统等的定量分析。

在裂隙网络识别上，能够导入各种裂隙图像，自动对图像进行二值化，自动识别裂隙网络中的区块，并修复裂隙段，去除杂点，识别裂隙网络，输出裂隙几何参数和统计参数，显示结果矢量图像及玫瑰图等。将裂隙网络的各种几何参数显示于数据表，包括裂隙的节点数，裂隙数，裂隙长度、宽度、面积、方向等，并自动统计得到裂隙率，裂隙分形维数，概率熵，平均长度、宽度、面积等统计参数，实现岩土体、各类材料中裂隙网络的定量分析。

PCAS系统具有很高自动化程度。在具体操作上，得到二值图像后，点击自动分析区块和自动分析裂隙即可得到结果。系统同时提供了简易的图像编辑器，可对二值图像进行局部修正。分析得到的数据可复制到外部软件，并可导出分析结果图像，等。



1.2 硬件环境

CPU: Pentium(R) 4 3.00GHz 及以上; 内存: 2GB 及以上; 硬盘: 80G 及以上。推荐使用主流计算机及 4G 以上内存。

1.3 软件环境

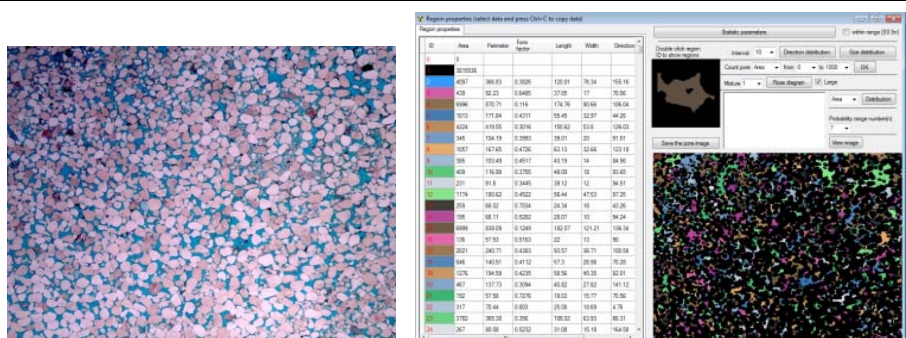

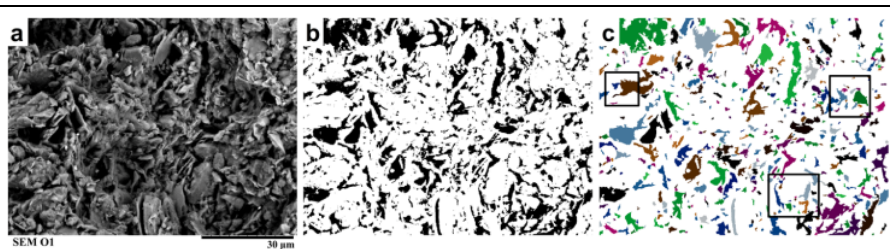
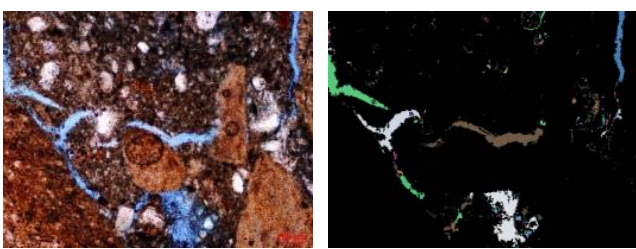
Windows XP（需安装 .net Framework 2.0），Windows Vista，Windows 7 及以上操作系统。推荐使用 Windows 7 系统。

1.4 软件更新和联系方式

此软件为南京大学地球科学与工程学院刘春博士及其团队联合研发，并已登记软件著作权。关于此软件的最新版本和说明请访问：<http://acei.cn/program/pcas>

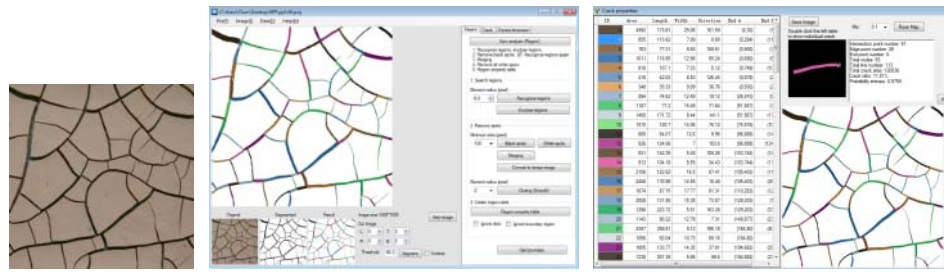
问题与合作请联系：chunliu@nju.edu.cn（刘春博士）

1.5 PCAS 应用示例

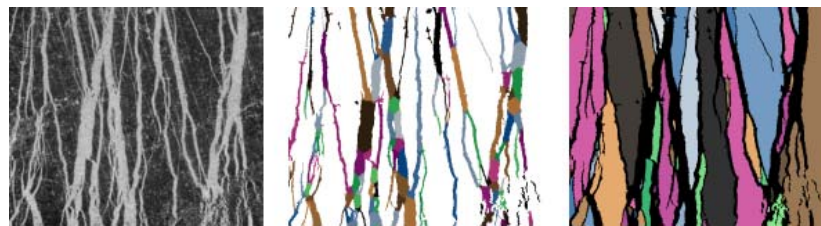
PCAS 孔隙和颗粒识别应用示例																																																							
高孔隙度砂岩 孔隙系统定量 分析																																																							
页岩气纳米级 孔隙定量分析	 <table><thead><tr><th>孔隙编号</th><th>面积μm^2</th><th>周长μm</th><th>形状因子</th><th>长度μm</th><th>宽度μm</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>909.70</td><td>137.91</td><td>0.60</td><td>58.04</td><td>25.78</td></tr><tr><td>2</td><td>394.72</td><td>83.08</td><td>0.72</td><td>31.42</td><td>17.01</td></tr><tr><td>3</td><td>212.29</td><td>62.78</td><td>0.68</td><td>25.00</td><td>12.56</td></tr><tr><td>4</td><td>1285.85</td><td>143.55</td><td>0.78</td><td>51.79</td><td>33.93</td></tr><tr><td>5</td><td>2550.72</td><td>258.96</td><td>0.48</td><td>86.56</td><td>56.70</td></tr><tr><td>6</td><td>626.38</td><td>96.96</td><td>0.84</td><td>37.55</td><td>21.86</td></tr><tr><td>7</td><td>1554.65</td><td>143.24</td><td>0.95</td><td>47.28</td><td>42.98</td></tr><tr><td>平均值</td><td>1600.84</td><td>153.26</td><td>0.74</td><td>55.98</td><td>32.65</td></tr></tbody></table>	孔隙编号	面积 μm^2	周长 μm	形状因子	长度 μm	宽度 μm	1	909.70	137.91	0.60	58.04	25.78	2	394.72	83.08	0.72	31.42	17.01	3	212.29	62.78	0.68	25.00	12.56	4	1285.85	143.55	0.78	51.79	33.93	5	2550.72	258.96	0.48	86.56	56.70	6	626.38	96.96	0.84	37.55	21.86	7	1554.65	143.24	0.95	47.28	42.98	平均值	1600.84	153.26	0.74	55.98	32.65
孔隙编号	面积 μm^2	周长 μm	形状因子	长度 μm	宽度 μm																																																		
1	909.70	137.91	0.60	58.04	25.78																																																		
2	394.72	83.08	0.72	31.42	17.01																																																		
3	212.29	62.78	0.68	25.00	12.56																																																		
4	1285.85	143.55	0.78	51.79	33.93																																																		
5	2550.72	258.96	0.48	86.56	56.70																																																		
6	626.38	96.96	0.84	37.55	21.86																																																		
7	1554.65	143.24	0.95	47.28	42.98																																																		
平均值	1600.84	153.26	0.74	55.98	32.65																																																		
土体微观孔隙 系统定量分析 和分布研究																																																							
矿物识别和定 量分析																																																							

PCAS 裂隙识别应用示例

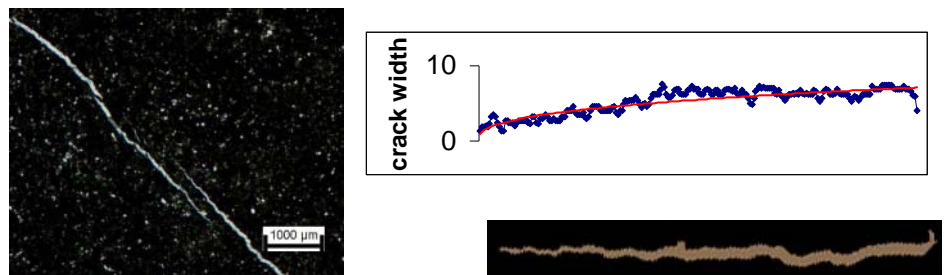
土体裂隙网络
定量分析



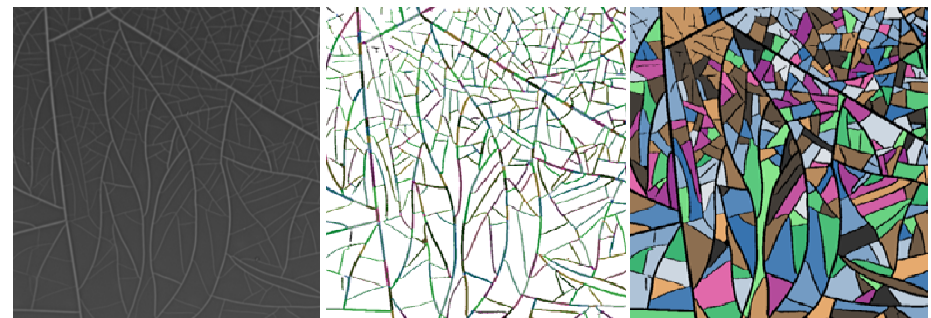
岩脉结构分析
和几何定量分析



微观裂隙定量
分析



化学聚合物网
络分析



2. 颗粒和孔隙识别操作说明

2.1 孔隙系统的自动分析

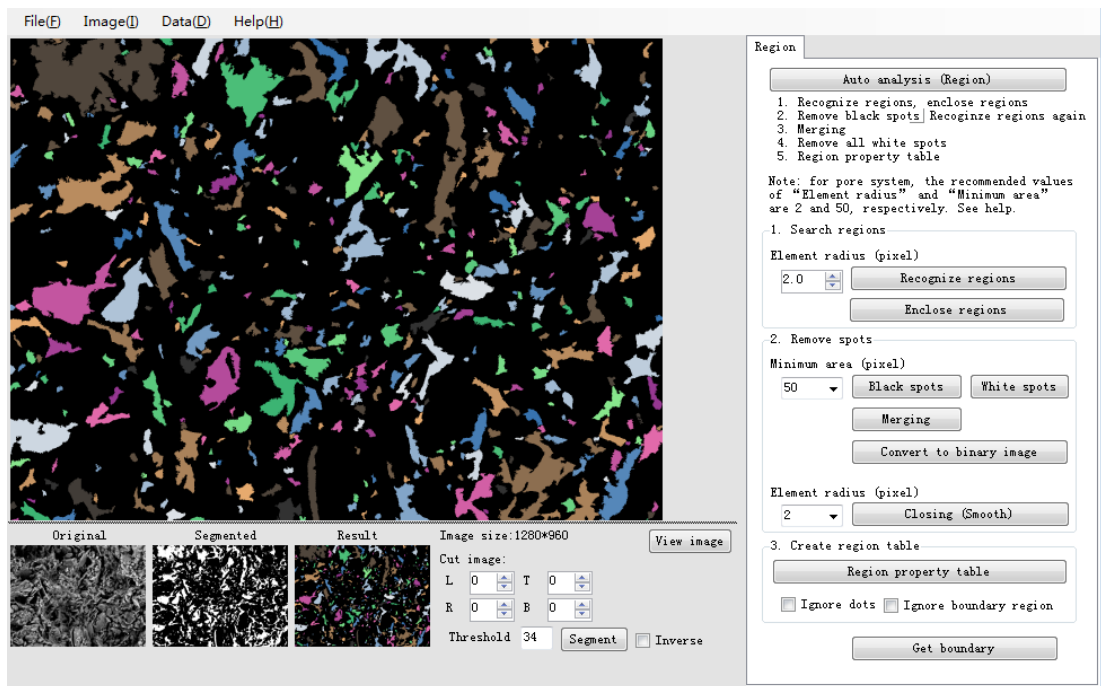


图 2-1 PCAS 的主操作窗口

以粘土 SEM 孔隙定量识别，操作如下：

1. 点击文件>打开，打开一个粘土的 SEM 图像；
2. 程序弹出"Segmentation"对话框，调整左侧滑条位置以设定“Threshold”。最后，选择“Reverse”，点击“OK”。注意，在软件中，白色区域代表孔隙，而黑色区域代表土体
3. 回到主程序，设置“Element radius”为 2.1，“Minimum area”为 50，点击“Auto analysis”。根据图像大小，通常几秒钟内弹出“Region properties”表格，给出图像中各孔隙区域的几何形态数据；

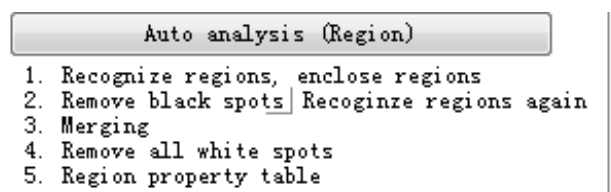


图 2-2 PCAS 的自动分析按钮及其所包含的操作

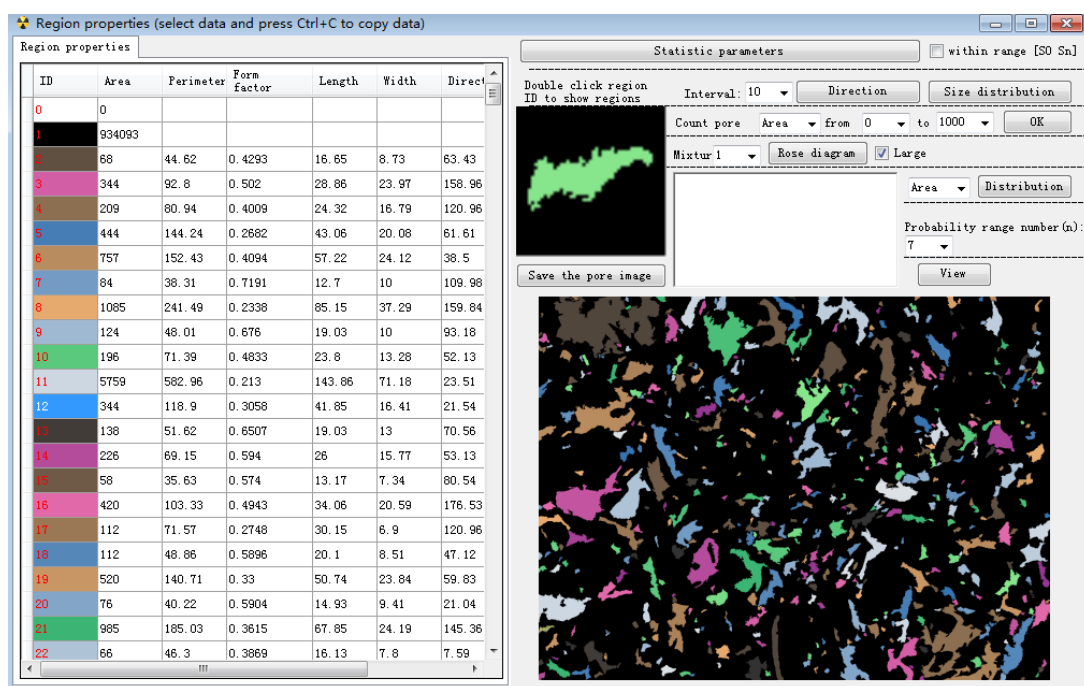


图 2-3 孔隙系统几何参数

4. 点击“统计”，得到孔隙系统的统计参数。所分析图像的二值图像以及识别结果图像均会自动保存于原图像所在文件夹。

Parameter	Value	Probability Entropy	Column4	Column5
Image area/pixel	1228800			
Total region area	294707			
Region number	510			
Region percentage (Porosity)	23.98%			
Maximum region area	23804			
Average region area	577.86			
Average perimeter	116.04			
Average form factor	0.4611			
Maximum length	292.48			
Average length	34.84			
Maximum width	154			
Average width	18.8			
Probability Entropy	0.9878			
Fractal dimension	1.2342	0.9807		
Area probability distribution index	1.6171	0.9992		
Form Factor FDI	0.2496	0.9783		
Pore porosity distribution fractal dimension	1.434	0.9981		

图 2-4 孔隙系统统计参数

实例:

(1) 下载图像 SEM O1: <http://acei.cn/program/pcas/claySEM/O1.bmp>

(2) 在 PCAS 中打开 SEM O1, 在“Segmentation”对话框中设置“threshold”为 34, 选取“Reverse”并点击“segment”和“OK”, 重复以上(3)和(4)。

更多实例请访问: <http://acei.cn/program/pcas>

2.2 PCAS 的基本原理和参考资料

图像中的封闭区域（孔隙）可以通过种子算法得到，但是如下图所示，在孔隙系统中，两个孔隙可能通过细小的连接，而被错误地识别为一个孔隙。因此，需要通过图 2-5 的分割方法将这些孔隙分割开来，正确地区分识别出孔隙。PCAS 区分孔隙的基本原理是：对图像做腐蚀运算，以清除孔隙间的细小连接，然后识别出各种种子孔隙，再将剩余像素归并到种子孔隙上，得到真实孔隙。

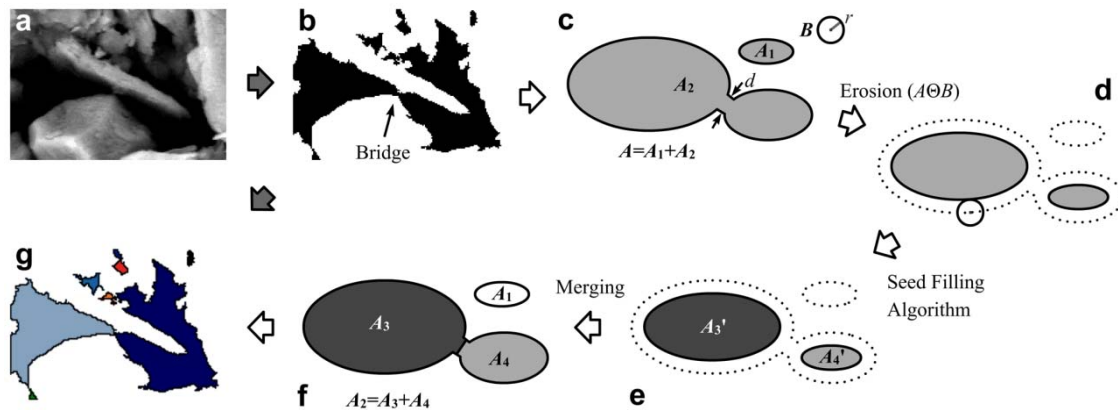


图 2-5 孔隙系统识别过程 (a) SEM 图像中包含两个主要的孔隙和若干小孔隙; (b) 二值图像 (c) 图 b 示意图, 包含两个相互连接大孔隙和一个孤立的小孔隙; (d) 采用腐蚀操作来消除孔隙间的连接; (e) 采用种子算法得到两个种子区域; (f) 将剩余像素归并到种子区域中, 区分出两孔隙; (g) 采用种子算法识别出剩下的小孔隙。

在识别孔隙的基础上, PCAS 通过几何测量和计算得到一系列的孔隙几何参数和统计参数, 具体可参见以下英文论文:

- Liu C., Shi B., Zhou J., Tang C., 2011 . Quantification and characterization of microporosity by image processing, geometric measurement and statistical methods: application on SEM images of clay materials. Applied Clay Science, 54(1), 97-106
<http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2011.07.022>

2.3 设定参数说明

PCAS 在微观孔隙的定量分析上已经实现高度的智能化和自动化，只需设定三个参数：灰度阈值（Threshold），最小孔隙面积（Minimum area）和封闭半径（Element radius）。

- (1) 灰度阈值设定。灰度阈值需要通过人工判断来确定，首先设定一个较大的阈值，并分割图像。此时，较多的土颗粒被转化为黑色并被认为是孔隙。然后，逐渐减小阈值直到较暗区域的颗粒被转化为白色。最后，在这一值附近调整阈值，并将孔隙区分出来。为减小误差，可多次取值并取均值为最后阈值。关于阈值影响，误差分析和解决方案请参见论文：

<http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2011.07.022>

- (2) 最小孔隙面积设定。图像本身是由一系列的像素点组成，这些像素点可以看成是一系列的正方形，如图 2-6a。图像中的孔隙即由这些像素点组成。当像素较少时，像素无法真实地表示孔隙的真实形状，因此在程序中需要设定所分析的最小孔隙。这一值通常取 50，可以在 30-100 之间调整。

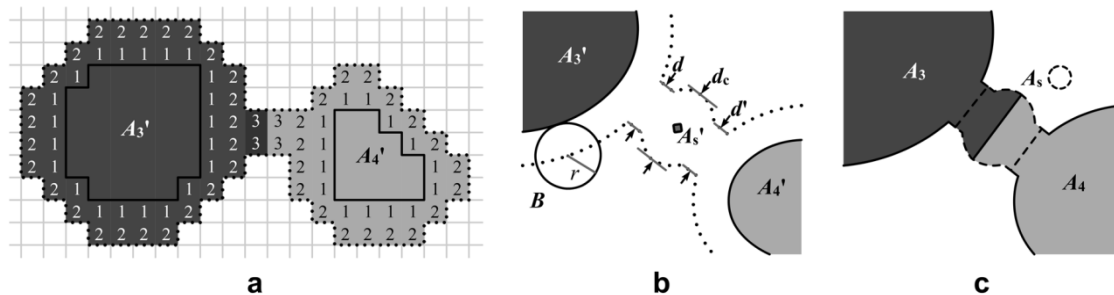


图 2-6 归并算法 (a) 被腐蚀的像素逐步归并到最近的相联通的种子区域中 (b) 如果结构元素 B 的直径大于 d 和 d' 而小于 d_c 的话，连接中会留下一个小的种子区域 (c) 种子区域所确定的小孔隙需归并到最近的孔隙上，

- (3) 封闭半径设定。如图 2-6a，封闭半径定义为腐蚀结构元素的半径 r ，孔隙之间连接的直径小于 $2r$ 时，则会被切分成两个独立区域，即被识别为两个孔隙。

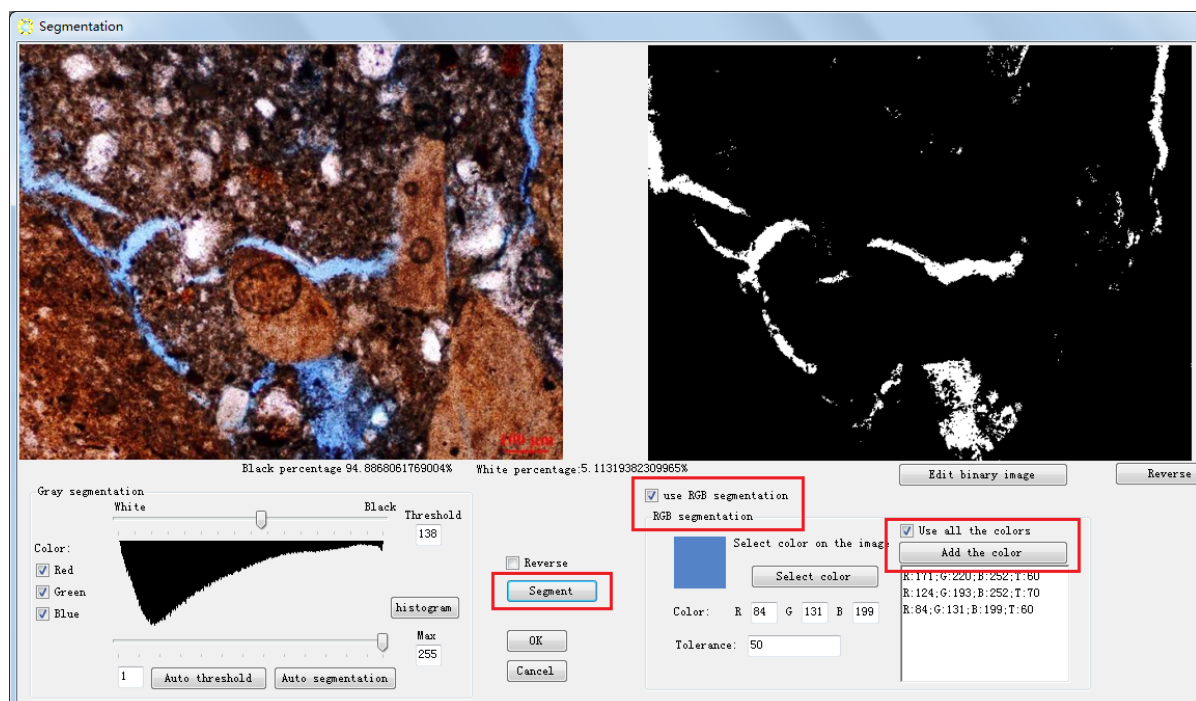
2.4 矿物颗粒的识别和分析

矿物和孔隙都是区域，操作方法类似。但是，孔隙是纯黑的区域，而颜色矿物是彩色的，因此在二值化时，应采用不同的方法。如下：

关于颜色矿物的二值化选取（见下页图）：

1. 点菜单 Image->segment original image，弹出 segmentation 窗口（二值化）。在窗口中选“use RGB segmentation”。
2. 用鼠标在左边图上点你要选的颗粒，“RGB segmentation”下面的框中就会显示你点的颜色。同时会显示这个颜色的 R,G,B 值。颜色是由红、绿、蓝三种色光合成的，每一种颜色都能用 RGB（red green blue）的组合来表示，他们的值都在 0-255 之间。
3. 下面的 Tolerance 是容差，点击 segment 时，就会将与所定颜色（RGB 值）容差在 Tolerance 值之内的像素全部选中。显然 Tolerance 越大，选的越多。点 segment 看是否选到合适的区域，调整 Tolerance 使更多的颗粒区域选中，一般可取 50 以上。
4. 由于矿物颗粒颜色变化，可能需要多次选择，然后取并集。点 Add the color 后，会把你当前选的颜色和范围记在下面的列表框中，然后重复 2-3 步骤选新的 RGB 和 T 值，再点 Add the color。待选中 3-5 个点特征点后，选中“use all the colors”，这样程序会根据整个列表里所有的 RGB 和 T 值选出你要的颗粒区域。最后点 OK 返回。

注意：在列表中所选的 RGB 值最好要有一定的差异（即具有代表性的特征点），RGB 值比较近的可以整行删去。也可以增大 T 值来调整所选的区域。也可以使用其它软件，如 Photoshop 标出所要选的颗粒，如将颗粒全部涂抹成红色，然后在 PCAS 选出红色再进行识别。



3. 裂隙识别操作说明

3.1 裂隙网络自动分析

通过以下步骤实现裂隙网络图像的识别和定量分析：

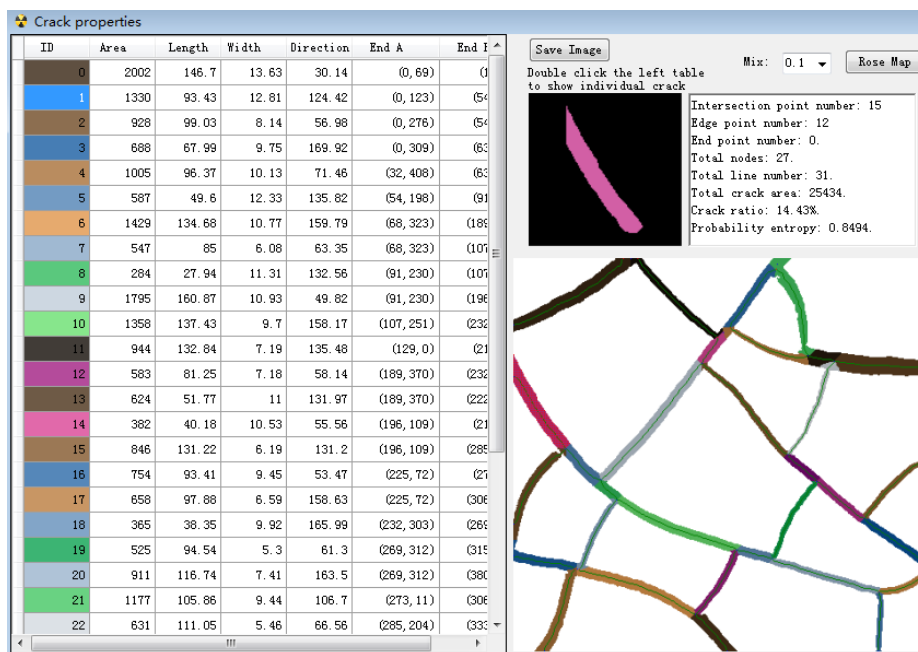
(1) 打开裂隙图像，弹出“Segmentation”对话框，程序会自动分割图像，得到二值裂隙图像，然后点“OK”返回。

(2) 如果裂隙边缘较粗糙，可点击“Closing(Smooth)”，平滑裂隙边缘。平滑元素半径取 2 像素（根据图像大小，一般可取 2-5）。

(3) 点击“Auto analysis”，自动清除杂点，修复裂隙，弹出裂隙网络区块信息表。

(4) 点击“Crack”标签，再点击“Auto analysis (Crack)”，等待 10-30 秒，得到裂隙网络的中轴，然后点击“Crack property table”，弹出裂隙几何信息表。

注意：在程序中点击“View image”，可放大查看图像和保存图像。在信息表里，可以点击表格中元素，查看单个裂隙的具体信息（如下图）。



3.2 裂隙网络分步处理

(1) 打开裂隙图像，弹出“Segmentation”窗口，程序自动设定灰度阈值，并将图像转化为二值图像，点击“OK”，返回二值图像。

(2) 点击“Closing(Smooth)”，“Element radius”取 2。

(3) 点击“Recognize regions”，程序自动识别裂隙网络所包围的区块。

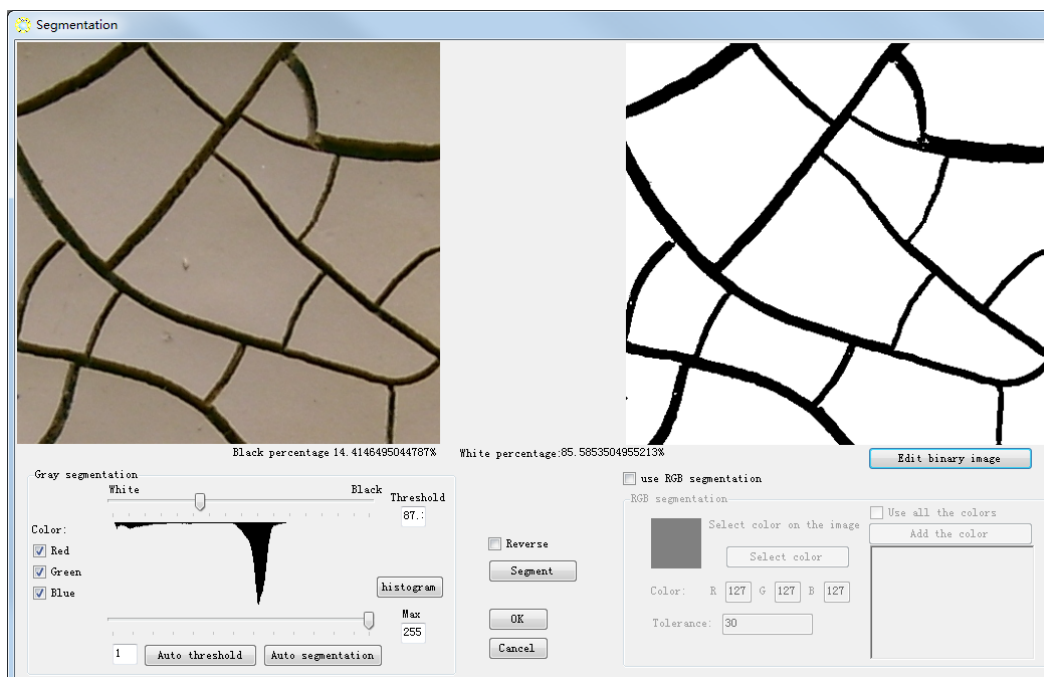
(4) 点击“Enclose regions”（修复裂隙），切断区块间的细小连接。

(5) 点击“Black spots”，去除所有黑色杂点。

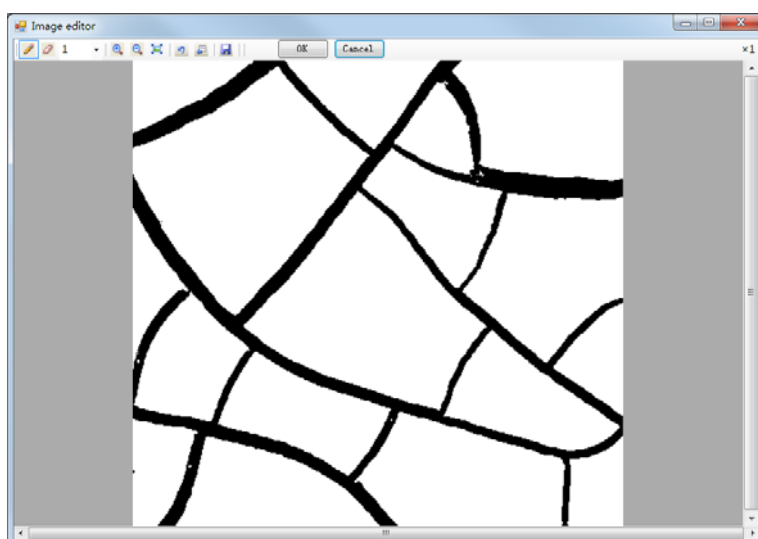
(6) 点击“Convert to binary image”，将图像再转化为二值图。

(7) 点击“Recognize regions”，得到新的区块。

- (8) 点击“White spots”，清除白色杂点。
- (9) 点击“Region property table”，弹出窗口并显示区块的几何参数。
- (10) 回到主窗口，点击“Convert to binary image”，得到理想的二值图像。
- (11) 点击“裂隙”标签。
- (12) 设置“Protect width”（通常取裂隙的宽度），并点击“Skeletons”，得到裂隙骨架。
- (13) 点击“Pruning”，清除裂隙上的小突起，得到裂隙网络的中轴。
- (14) 点击“Crack property table”，弹出窗口显示裂隙的各种几何属性。



注：在上图“Segmentation”窗口中，可点“Edit binary image”弹出“Image editor”窗口，对二值图像进行手动修正（下图），如清除较大的斑点。



3.3 图像识别基本原理和注意事项

裂隙网络的图像处理和识别操作主要包括如下三个步骤：

（1）图像分割（Segmentation 窗口）。PCAS 使用聚类分析来确定二值分割阈值，这种方法对有明显灰度差异的图像有效。但是当裂隙和土块的灰度相近时，灰度阈值需在聚类分析所给值附近做适当调整。理想的二值图为无杂点和裂隙间隔的二值图像，其代表了真实的裂隙网络形态。因此，需要通过图像处理技术来去除这些杂点并修复裂隙。从野外得到的实际裂隙图像往往包含大量杂点，有些情况下，需要使用 PCAS 的 Image editor 人工手动去除这些不需要的杂点。同时，也可以在第三方软件（如 PhotoShop）中做好二值图像，再导入到 PCAS 中。

（2）裂隙识别（Auto analysis (Crack)）。裂隙识别基于土块的识别。PCAS 使用土块区域切分方法区分不同土块（具体见说明第 3 部分），并在不同区域的分界面上修复裂隙。但是，这种方法无法连接孤立的裂隙，如岩石中单条张开裂隙。可使用 Image editor 来手动连接。

（3）几何参数测量。由于 PCAS 的几何测量是基于对裂隙图像中的各物体识别。裂隙和裂隙网络的各种几何参数均可以得到准确测量，并不仅限于目前所给出的参数。

3.4 参考资料

关于本软件的原理和应用，可参见以下英文论文及论文的参考文献：

- Liu C., Tang C., Shi B., Suo W., 2013. Automatic quantification of crack patterns by image processing. Computers and Geosciences, 57, 77-80.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2013.04.008>
- Liu C., Shi B., Zhou J., Tang C., 2011 . Quantification and characterization of microporosity by image processing, geometric measurement and statistical methods: application on SEM images of clay materials. Applied Clay Science, 54(1), 97-106
<http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2011.07.022>