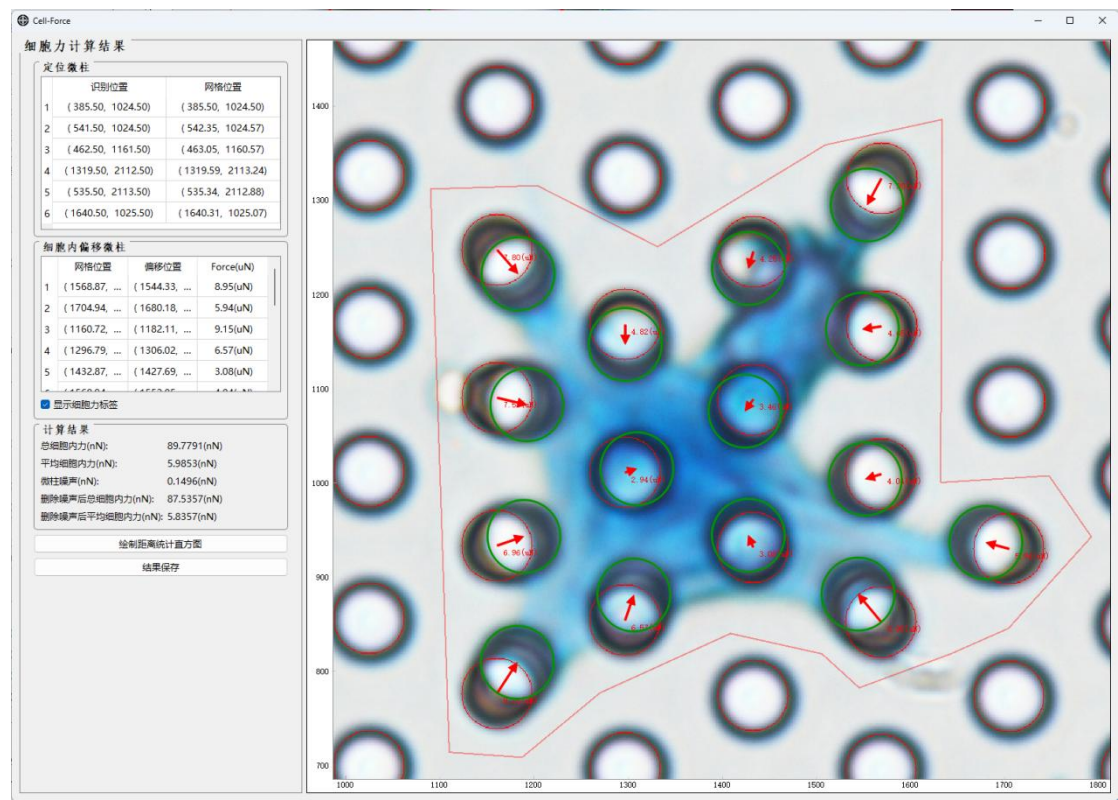




TFM-Analysis 软件使用说明文档



文档作者：陈炫

所属单位：杭州表面力科技有限公司

所属部门：研发部

编写时间：2026.7.31

软件版本：1.1.5

软件更新明细

软件版本：1.1.1

更新时间：2025.9.22

更新内容：

- 1、在“微柱识别与匹配”栏目中增加了“显示原图”功能，可以将微柱阵列的显示进行屏蔽。

软件版本：1.1.2

更新时间：2026.1.13

更新内容：

- 1、新增软件内部管理部分。

软件版本：1.1.3

更新时间：2026.2.4

更新内容：

- 1、新增单通道灰度图处理。
- 2、修复 16 位图像处理 bug。

软件版本：1.1.4

更新时间：2026.5.21

更新内容：

- 1、处理程序日志异常占用错误。
- 2、修复“显示原图”功能在打开新图像时异常开启问题。

软件版本：1.1.5

更新时间：2026.6.30

更新内容：

- 1、服务器迁移，新服务器迁移至阿里云。

目录

第一章 软件解压与启动	1
第二章 TFM 数据分析	3
2.1 TFM-Analysis 分析软件主界面	3
2.2 TFM 图片分析过程说明	3
2.2.1 图片打开及预处理	4
2.2.2 TFM 分析参数设置	5
2.2.3 细胞选择	8
2.2.4 微柱识别与微柱阵列匹配	10
2.2.5 细胞内偏移微柱处理	16
2.2.6 细胞内力计算及结果说明	18
2.2.7 显示原图功能	20
第三章 软件错误提示说明	21
第四章 示例图片测试结果	22
4.1 软件分析过程截图及相关过程	22

第一章 软件解压与启动

TFM-Analysis 是款用于 TFM 微柱分析的软件，在 v1.1.0 版本中，用户拿到的是一个免安装版本的压缩包，无需安装，直接进行解压即可。

注意：软件路径中不可以包含中文字符，否则会报错！

程序正常启动后，会弹出 TFM 用户登录界面（如下图 1.1），用户在左侧输入用户名和密码登录即可。



图 1.1 TFM 分析软件登录界面

用户登录后，左侧会显示当前用户的许可证到期时间以及其他相关信息（如图 1.2）。首次登录后，用户可在左侧界面进行密码的修改，也可进行手机号的绑定。绑定手机号后，用户可以直接使用手机号作为的当前账号的用户名进行登录。

注意：手机号在绑定之后即不可进行修改，请慎重绑定手机号！如真的需要进行手机号修改，请联系管理员或公司销售。



The image shows a user login interface for TFM Analysis Software. At the top, there is a logo for '表面力科技 SurForce Tech' and the title 'TFM分析软件用户登录'. Below the title, there are input fields for a username (containing 'bm1kj') and a password (represented by dots). A '记住我' (Remember Me) checkbox is checked, and a '登录' (Login) button is present. Below the login section, the software version 'v1.1.0' is displayed. A button labeled '进入TFM分析界面' (Enter TFM Analysis Interface) is located below the version. Underneath, the '用户信息' (User Information) section shows '许可证到期时间: Permanent' (License Expiry Time: Permanent), '绑定手机号:' (Bound Mobile Number:), and '用户权限: 普通用户' (User Permissions: Ordinary User). The '密码修改' (Password Modification) section includes input fields for '原密码' (Original Password), '新密码' (New Password), and '新密码确认' (New Password Confirmation), followed by a '确认修改密码' (Confirm Modify Password) button. The '新手机号' (New Mobile Number) section has an input field and a '确认修改手机号' (Confirm Modify Mobile Number) button.

图 1.2 用户登录后软件界面示意图

登录后，用户点击“进入 TFM 分析界面”按钮即可打开 TFM 分析主界面。

第二章 TFM 数据分析

2.1 TFM-Analysis 分析软件主界面

用户登录后点击界面左侧的“进入 TFM 分析界面”按钮（如图 2.1），即可打开 TFM 分析主界面。



图 2.1 “进入 TFM 分析界面”按钮

TFM 主界面布局为左右布局，左边为操作台，右边为图片显示区域（如下图 2.2）。

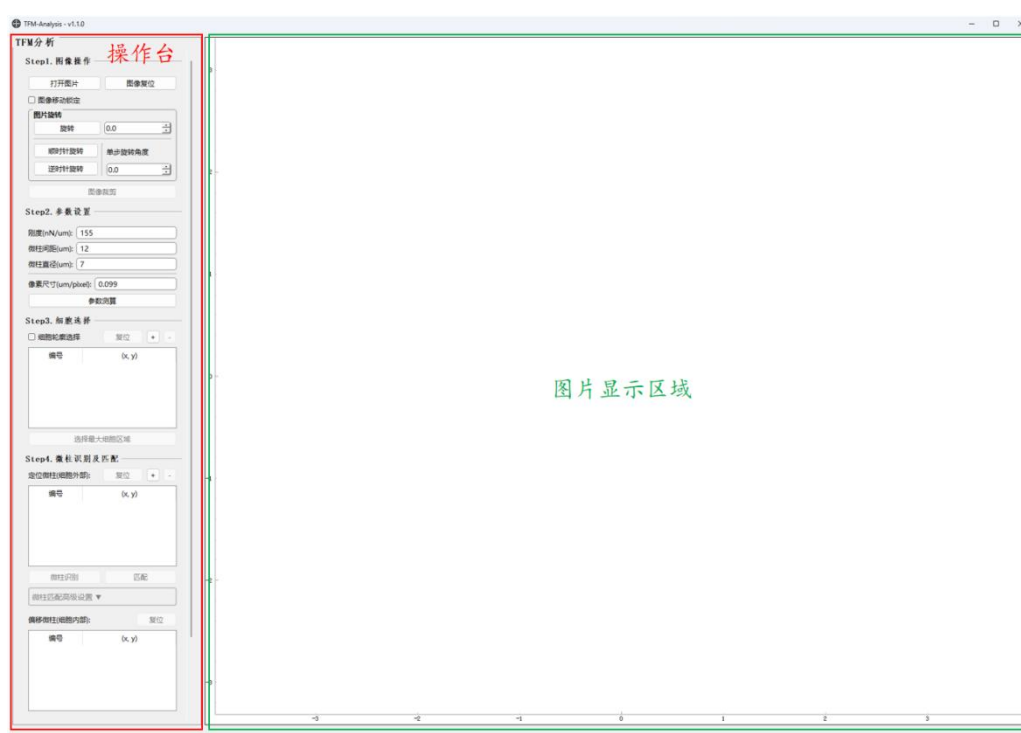


图 2.2 TFM 分析主界面示意图

2.2 TFM 图片分析过程说明

TFM 图片分析分为五个步骤：

- 1、Step1：打开图片及图片预处理（旋转、裁剪等）。
- 2、Step2：分析参数设置。
- 3、Step3：细胞选择。
- 4、Step4：微柱识别及匹配。
- 5、Step5：细胞内力计算。

接下来本文将针对上述步骤进行逐步说明。

2.2.1 图片打开及预处理

2.2.1.1 图像打开

在主界面操作台的第一栏中的第一个步骤：“Step1.图像操作”中，有打开图像的按钮。点击后选择需要打开的图片，即可在软件中打开对应图片，主界面右侧“图片显示区域”会显示当前图片。打开图像后界面如图 2.3 所示：

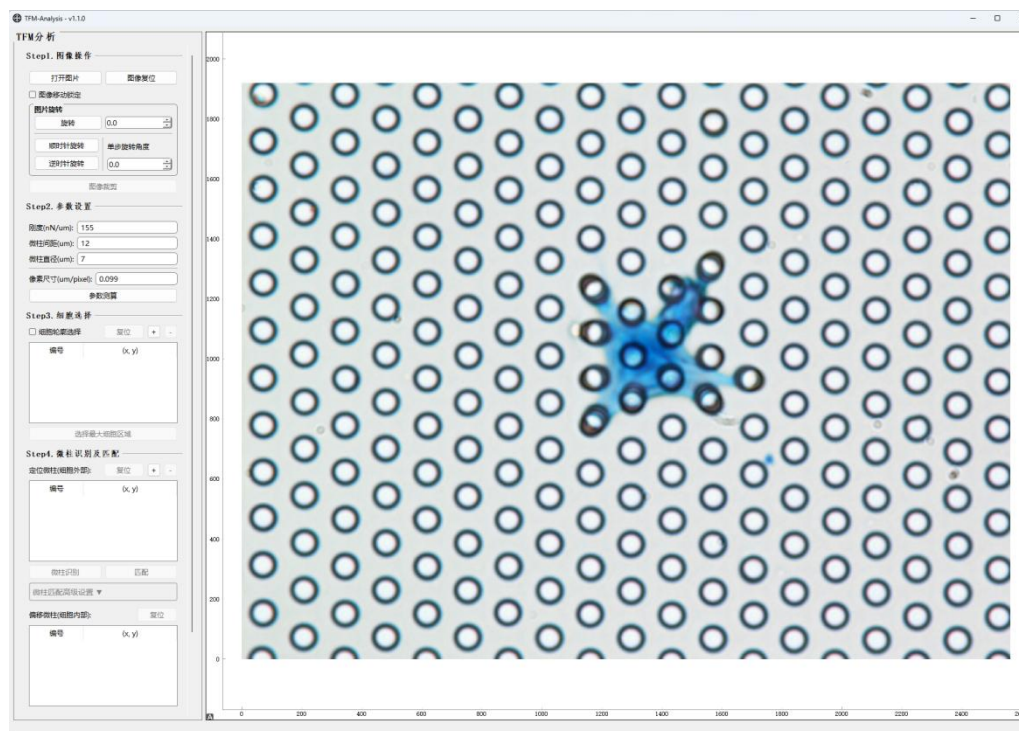


图 2.3 图片打开后主界面示意图

用户可以在打开的图片中进行以下操作：

- 1、图像移动：鼠标左键拖动图片。
- 2、图像缩放：鼠标滚轮进行图像缩放。
- 3、图像复原：鼠标右键调出菜单，点击“View All”即可进行图像复原。

在“打开图片”按钮的右侧有“图像复位”按钮，点击后可以使得图像一键恢复原图。

2.2.2.2 图像预处理

用户可以在软件中对图像进行旋转预处理操作。旋转操作台如下图 2.4 所示：



图 2.4 图片旋转操作台示意图

图片旋转操作分为：旋转和单步旋转。图片旋转是指将图片旋转至指定角度，单步旋转是指在当前的旋转角度上逐次增加图片的旋转角度（默认图片打开时旋转角度为 0）。

用户在输入框中填入需要旋转的角度（0-360°），再点击旋转按钮即可。

图像裁剪功能在当前 v1.1.0 当中暂时无法使用，因此当前版本“图像裁剪”按钮被禁用，后续版本会进行更新。

2.2.2 TFM 分析参数设置

TFM 图像分析需要以下四个参数：

- 1、刚度(nN/um)：指的是微柱刚度。
- 2、微柱间距(um)：微柱之间的实际间距。
- 3、微柱直径(um)：微柱的实际直径。
- 4、像素尺寸(um/pixel)：每微米对应的像素距离，该参数需要进行计算。

微柱的刚度、间距、直径为 TFM 拨片的物理参数，该参数厂家会直接给出。由于微柱分析是使用图片进行分析，因此需要知道实际距离对应的像素尺寸，也就是上文中第四个参数“像素尺寸”，该参数需要进行测算才能得知。因此下文将针对“像素尺寸”参数的计算进行说明。

2.2.2.1 “像素尺寸”参数计算

在参数设置栏目下有一个“参数测算”按钮，点击后会打开参数测算界面，如下图所示：

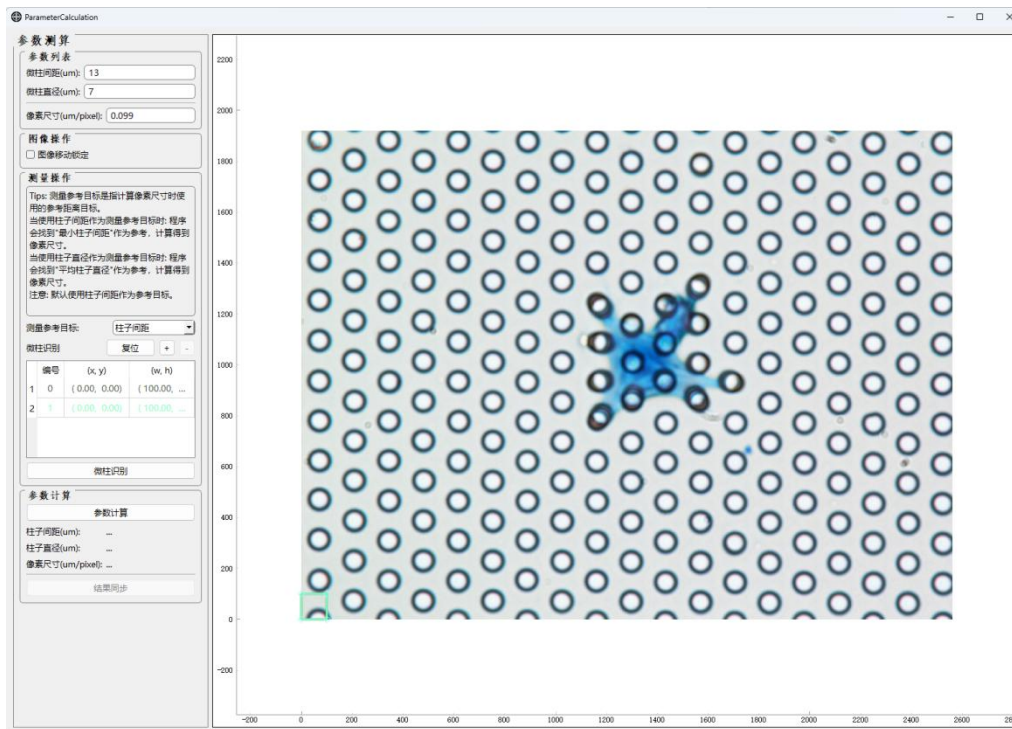


图 2.5 参数测算界面

界面左侧第一栏为参数列表，包含参数：微柱间距、微柱直径以及像素尺寸；第二栏位图像操作，用户可以通过点击勾选框锁定图像移动功能；第三栏为测量操作；第四栏为参数计算。

软件识别时，用户需将左下角的微柱识别候选框拖拽至未倾倒的微柱上，并调整候选框尺寸，框选整个微柱。框选后结果如下图 2.6 所示：

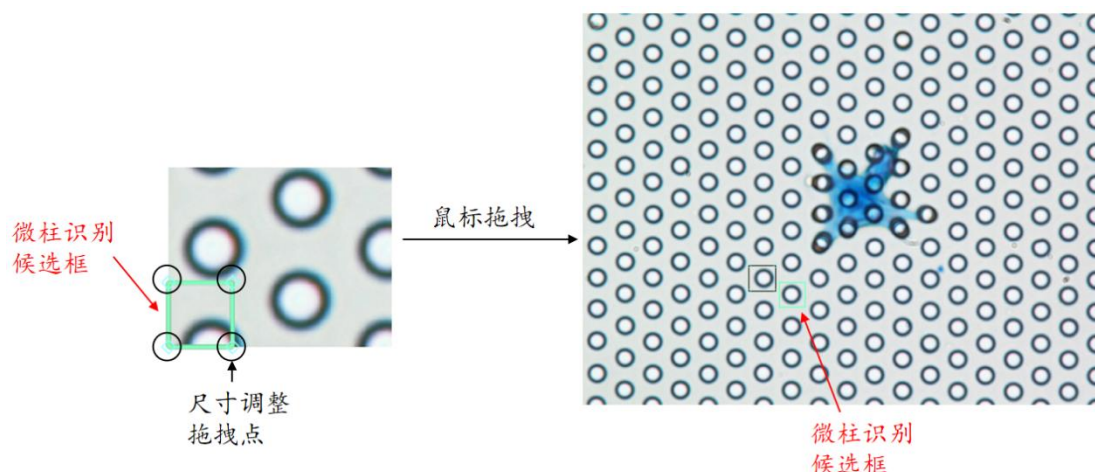


图 2.6 微柱识别候选框调整示意图

界面默认使用两个候选框，如需添（或减少）加可点击软件左侧的添加（或减少）按钮进行位置候选框的添加（或减少）。按钮示意图如下图 2.7 所示。参数测算至少需要两个候选框，因此当候选框数量为 2 时，候选框减少按钮将被禁用。

注意：一个候选框只能框选一个微柱，且尽量选择相邻的微柱进行框选，至少需要存在一对柱子框选的是相邻微柱。



图 2.7 候选框复位、添加以及减少按钮示意图

完成候选框选择后，点击“微柱识别”按钮，识别到的微柱将使用红色圆圈进行标注，标注结果如下图 2.8 所示。如果当前图片未识别到微柱，则会在界面中央弹出提示框，提示：未识别到微柱。此时用户需要调整候选框位置或调整候选框大小，重新进行微柱识别。同样的，识别到的微柱数量至少需要为 2，否则将无法进行参数计算。

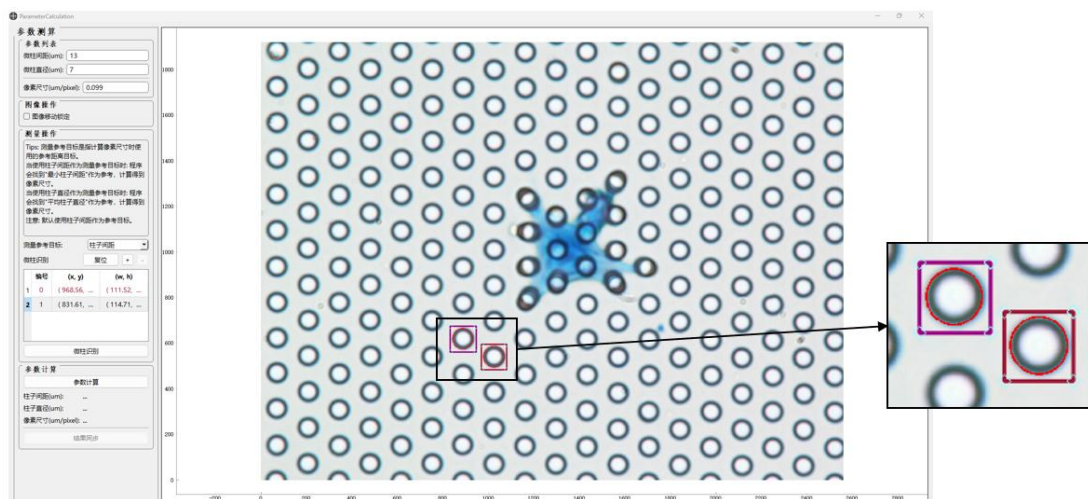


图 2.8 微柱识别标注结果示意图

微柱识别完成后，点击左侧参数计算按钮，即可得到计算的参数结果，计算完成后点击“结果同步”按钮（或直接关闭界面），计算的结果将自动同步至主界面当中。计算结果示意图如下图 2.9 所示：



图 2.9 计算结果示意图

2.2.2.2 测量参考目标选择说明

测量参考目标中有两个备选项：微柱间距和微柱直径。默认使用的是“微柱间距”作为测量参考目标，通常情况下建议使用“微柱间距”作为测量参考目标，否则计算结果会出现一定程度的偏差。



图 2.10 测量参考目标下拉框选项示意图

两种参考目标详细的计算逻辑区别如下：

微柱间距：使用“微柱间距”参数作为实际距离参考，并计算图中所有微柱中最短的微柱间像素距离，两者相除即为像素尺寸。

微柱直径：使用“微柱直径”参数作为实际距离参考，并计算图中所有微柱的平均像素直径，两者相除即为像素尺寸。

通常情况下，显微镜成像结果会显得微柱的边界较粗，识别到的微柱直径会略大于实际直径，因此通常情况下使用“微柱直径”作为参考会导致分析结果出现偏差。为了使得分析结果更为精确，建议使用“微柱间距”作为测量参考目标。

2.2.3 细胞选择

第三步需要对图中的细胞进行选择。勾选左侧“细胞轮廓选择”勾选框（如图 2.11），软件会进入细胞选择模式，随后使用鼠标左键点击图片便可放置细胞边界点（如图 2.12），建议用户统一按照逆时针方向或者顺时针方向依次点击细胞外侧进行细胞边界的选择，不要在选择过程中切换逆时针或顺时针方向。

注意：细胞选择模式下，会自动锁定图像移动，因为鼠标选择与拖动功能会产生冲突。因此如果需要进行图像移动，建议先解除细胞选择模式。



图 2.11 “细胞轮廓选择”勾选框示意图

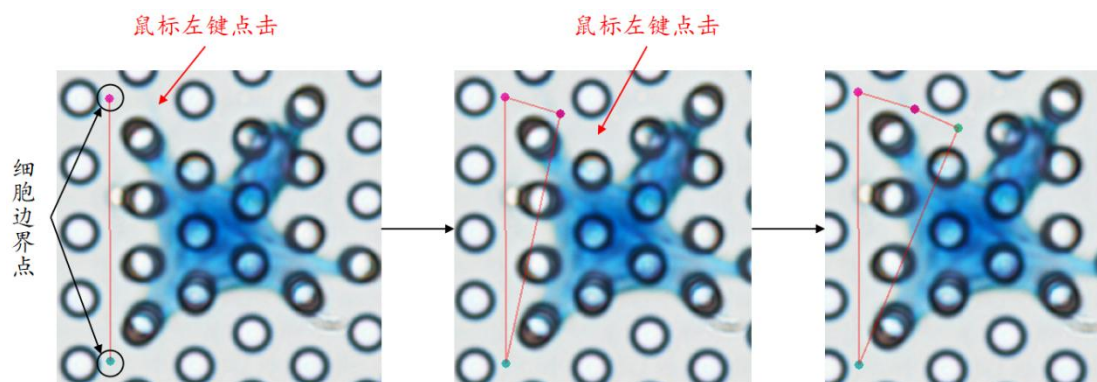


图 2.12 鼠标框选过程示意图

完成细胞选择后界面如图 2.13 所示：

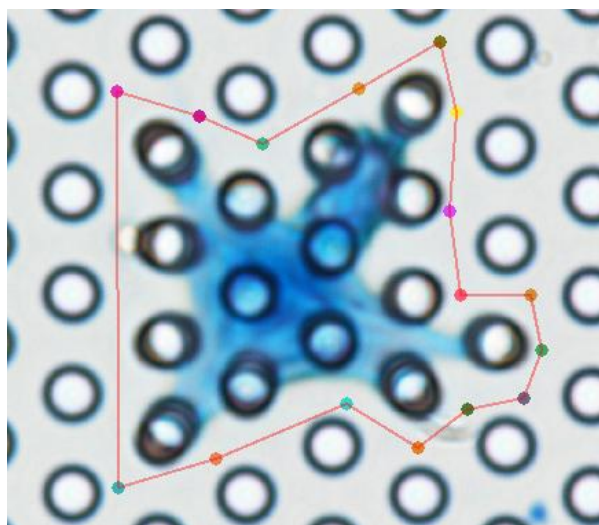


图 2.13 完成细胞选择后显示示意图

2.2.3.1 细胞边界点的复位、添加与删除

在左侧操作台中会显示当前细胞边界点的所有信息，该信息与界面中已经放置的细胞边界点可以进行交互，即点击界面中的细胞边界点，左侧信息栏会自动选中当前点击的细胞边界点信息（如图 2.14）。

信息栏顶部有一排操作按钮：点击“复位”按钮即可一键清空所有细胞边界点，“+”按钮为添加按钮，“-”按钮为删除按钮。

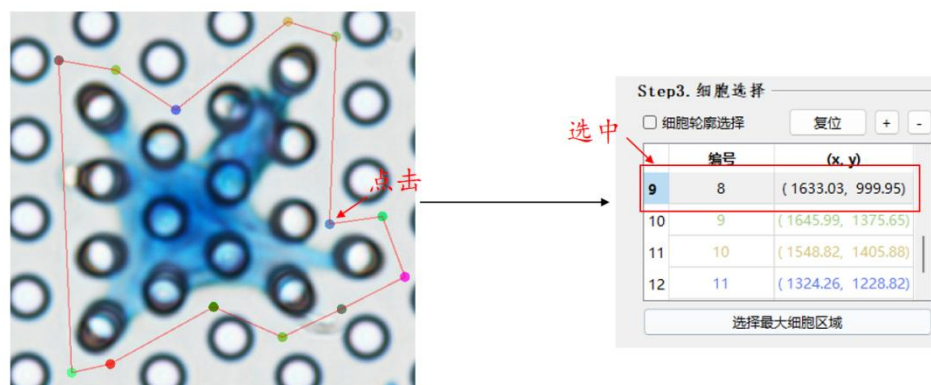


图 2.14 细胞边界点信息显示界面示意图

① 细胞边界点的添加

点击“+”按钮进行细胞边界点的添加时，会默认在当前选中的边界点与下一个边界点之间添加一个细胞边界点，用户可以对添加的点进行拖动，添加过程如下图 2.15 所示：

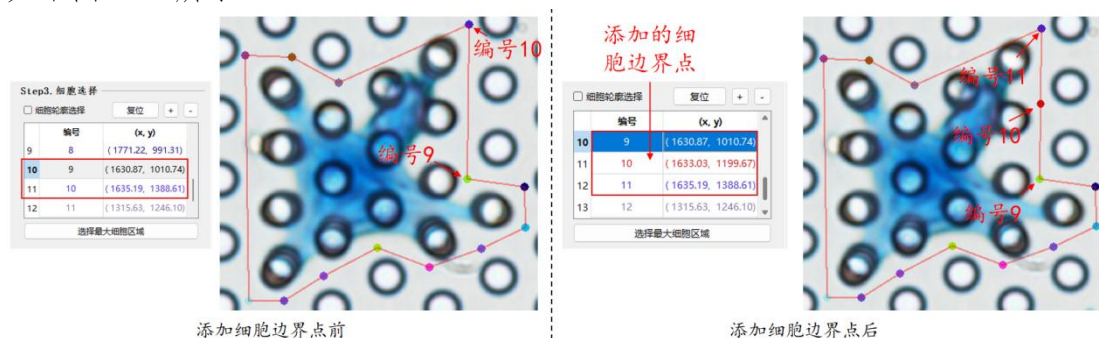


图 2.15 细胞边界点添加前后对比示意图

添加细胞边界点时需要注意几个特殊情况：

- 1、如果当前没有细胞边界点，那添加的细胞边界点位置默认为(0, 0)，位于图片的左下角。
- 2、如果当前细胞边界点只有一个，那添加的细胞边界点会与第一个边界点重合。
- 3、如果选中多行，则会在默认选中的最后一行后面进行添加。

② 细胞边界点的删除

点击“-”按钮可以进行细胞边界点的删除，注意删除时需要对删除的细胞边界点进行选中，如果没有选中则无法进行删除；如果选中多行，则默认删除选中

第一行的细胞边界点。

2.2.4 微柱识别与微柱阵列匹配

微柱识别和微柱阵列匹配是软件的核心功能，可以将识别到的微柱自动匹配并生成图中的微柱阵列，阵列形状可以是任意有规律的排列，包括但不限于六边形、正方形。微柱阵列匹配的核心原理是利用识别到的微柱计算微柱阵列的基向量，再通过其他定位微柱进行阵列的旋转角度调整，匹配原理如下图 2.16 所示：

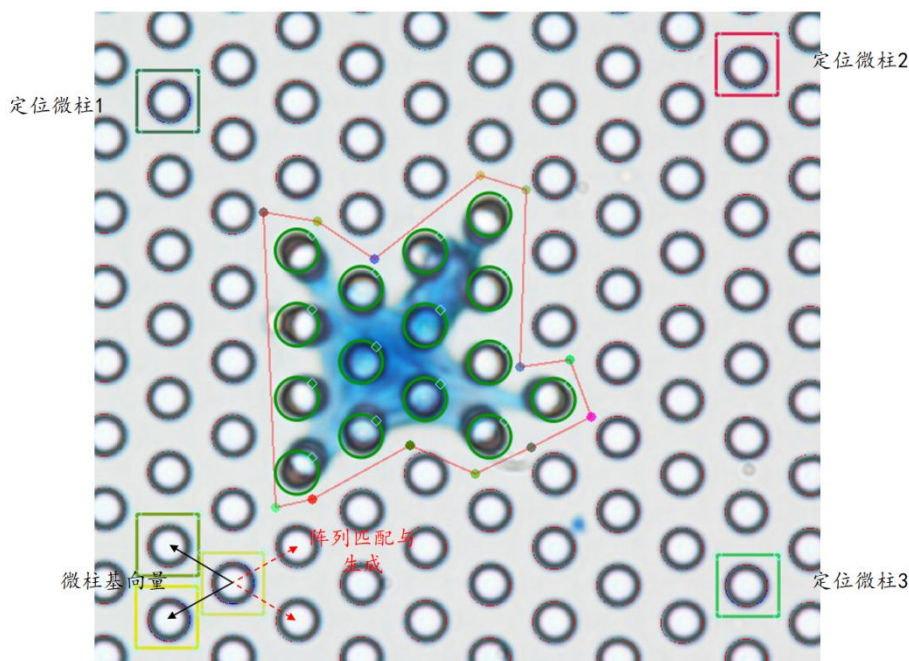


图 2.16 微柱识别与匹配原理示意图

上图中，左下角的三个定位微柱会用于计算微柱基向量，并进行阵列的匹配与生成；外围的定位微柱 1、定位微柱 2 以及定位微柱 3 会用于进行微柱阵列的调整。

2.2.4.1 微柱识别

点击左侧“微柱识别与匹配”栏目中的“+”按钮，即可向图片中添加微柱识别候选框，候选框默认位置为(0, 0)，在图片的左下角，操作流程如下图 2.17 所示：

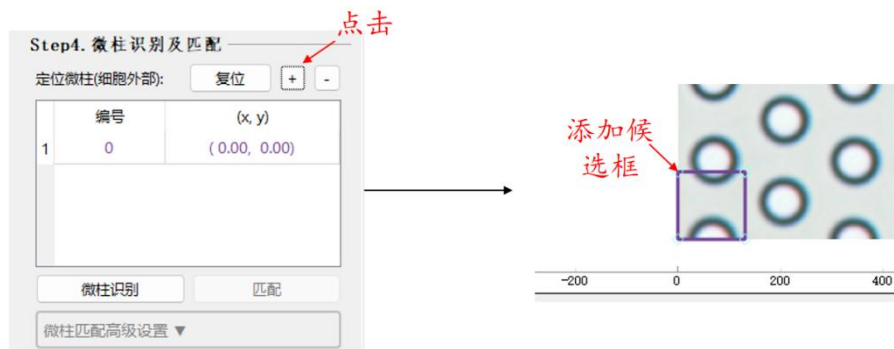


图 2.17 添加候选框操作示意图

将候选框拖动至需要识别的微柱上，并点击左侧的“微柱识别”按钮，如果识别到微柱，则会在识别到的微柱上显示一个蓝色的圈，如下图 2.18 所示：

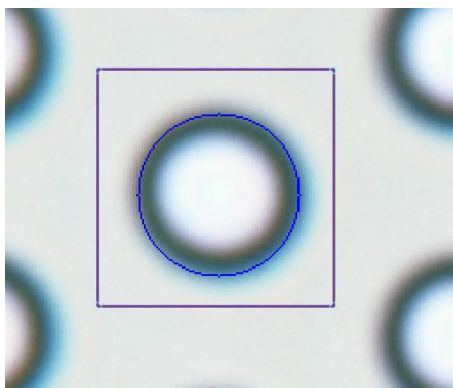


图 2.18 微柱识别结果示意图

该功能可让用户测试当前微柱是否能够识别。

2.2.4.2 微柱直径调整

如上节中图 2.18 识别结果显示，微柱的识别结果会略大于实际的微柱，此时需要返回 Step2 中进行微柱直径的数值调整，再重新进行微柱识别，使得图片中绘制的微柱识别蓝圈刚好与图片中的微柱相重合。正确结果如下图 2.19 所示：

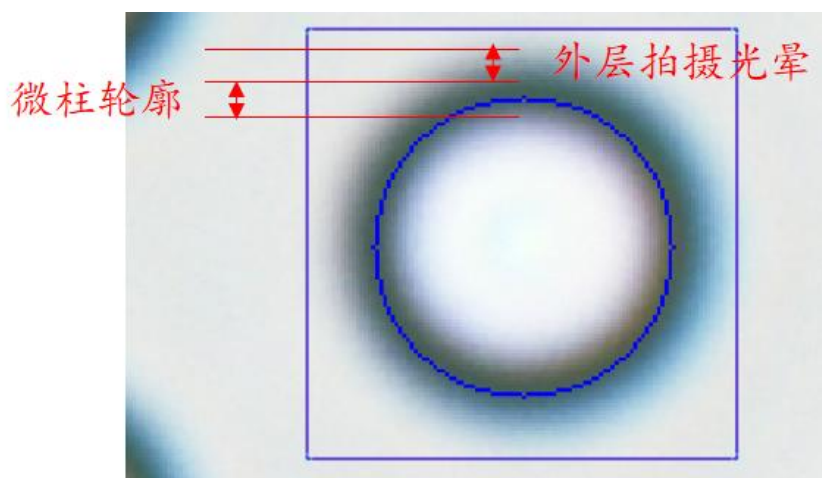


图 2.19 正确微柱识别结果示意图

如上图所示，拍摄图片中，在微柱的最外圈会显示出一层光晕，然后才是微柱的轮廓，用户需要调整微柱直径数值，将识别蓝圈匹配在微柱轮廓的中心位置即可。

2.2.4.3 微柱阵列匹配

下一步用户需要匹配生成对应的微柱阵列，阵列使用红色进行表示。微柱阵列匹配需要用户放置若干个定位微柱，微柱数量必须大于等于 3。为了方便进行微柱作用说明，本文将定位微柱分为两部分：最小基向量定位微柱和阵列修正定位微柱（如图 2.20）。

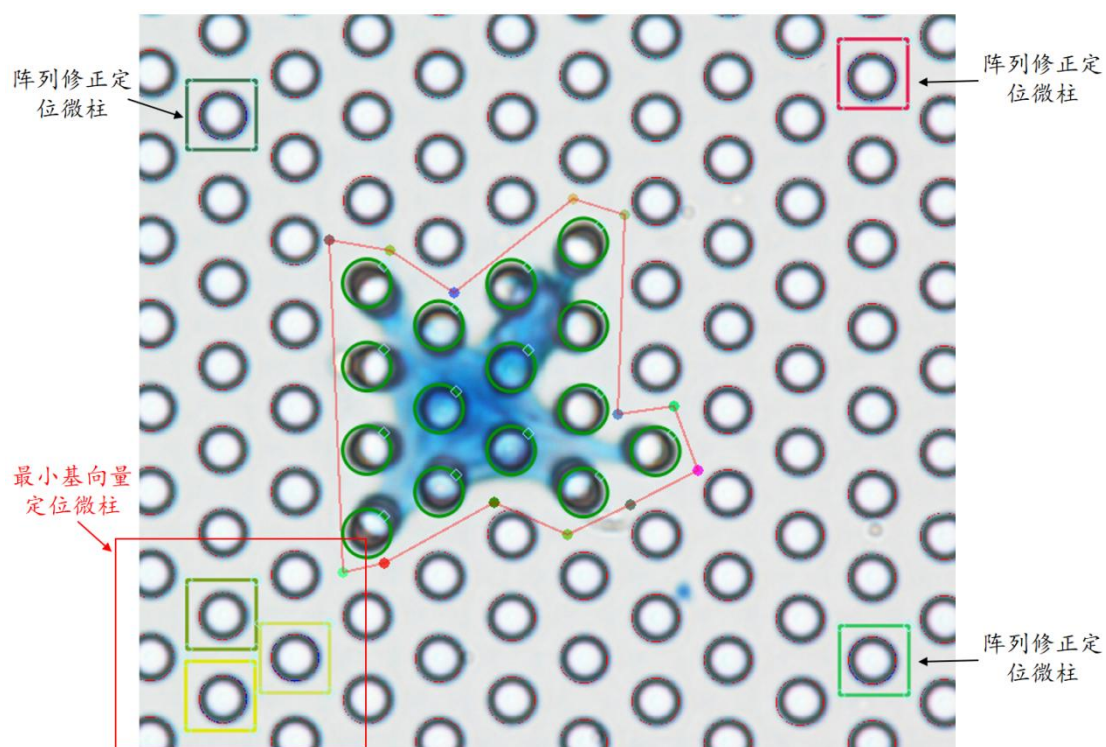


图 2.20 微柱类型示意图

①最小基向量定位微柱

软件是通过计算微柱阵列最小基向量来进行整体微柱阵列匹配的，计算阵列的最小基向量至少需要三个微柱（三个点）。因此用户需要先放置三个候选框找出三个相邻的微柱进行最小基向量的确定，且放置的三个微柱不能成一条直线。正确放置候选框示意图如下图 2.21(a)所示，错误放置如下图 2.21(b)、2.21(c)所示。错误放置示例中软件无法正确计算微柱阵列的基向量，因此排列的微柱阵列会出现问题，请用户按照正确方式方式微柱候选框。

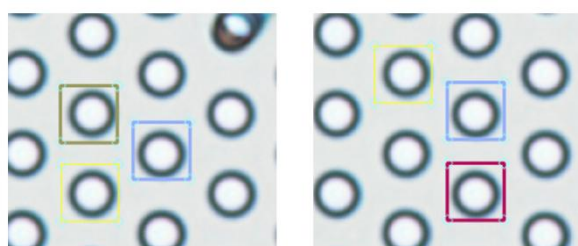


图 2.21(a) 正确放置微柱候选框示意图

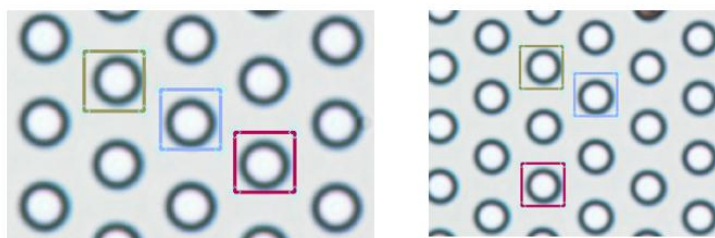


图 2.21(b) 错误放置微柱候选框示意图

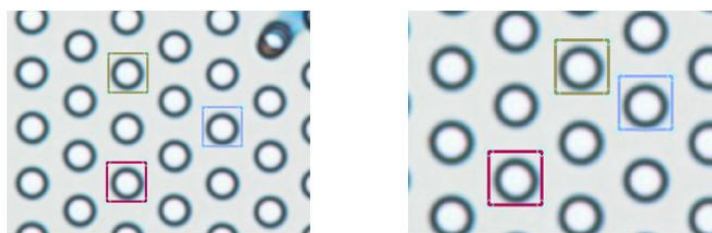


图 2.21(c) 错误放置微柱候选框示意图

完成候选框放置后，点击匹配即可进行微柱阵列的匹配，匹配的微柱阵列将使用红色进行标注，匹配结果示例如图 2.22 所示：

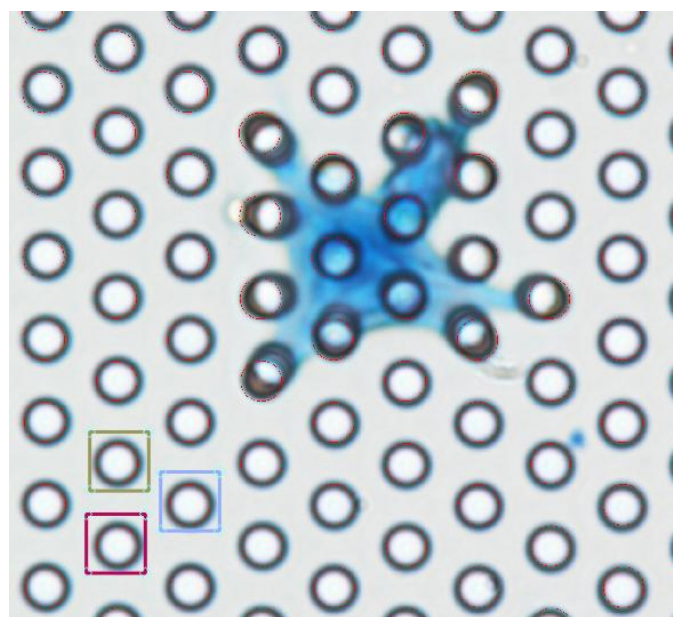


图 2.22 阵列匹配成功后结果示例显示

②阵列修正定位微柱

修正定位微柱是用于对远端的微柱阵列匹配结果进行修正。如下图 2.23 所示，对于远离最小基向量定位微柱的部分，匹配得到的微柱阵列与实际微柱会产生偏差，这时候就需要对该部分进行修正。用户可以在远端放置修正定位微柱候选框（如图 2.24 所示），软件会通过旋转或拉伸最小基向量，匹配得到一个更适合的微柱阵列，从而修正微柱阵列匹配结果。

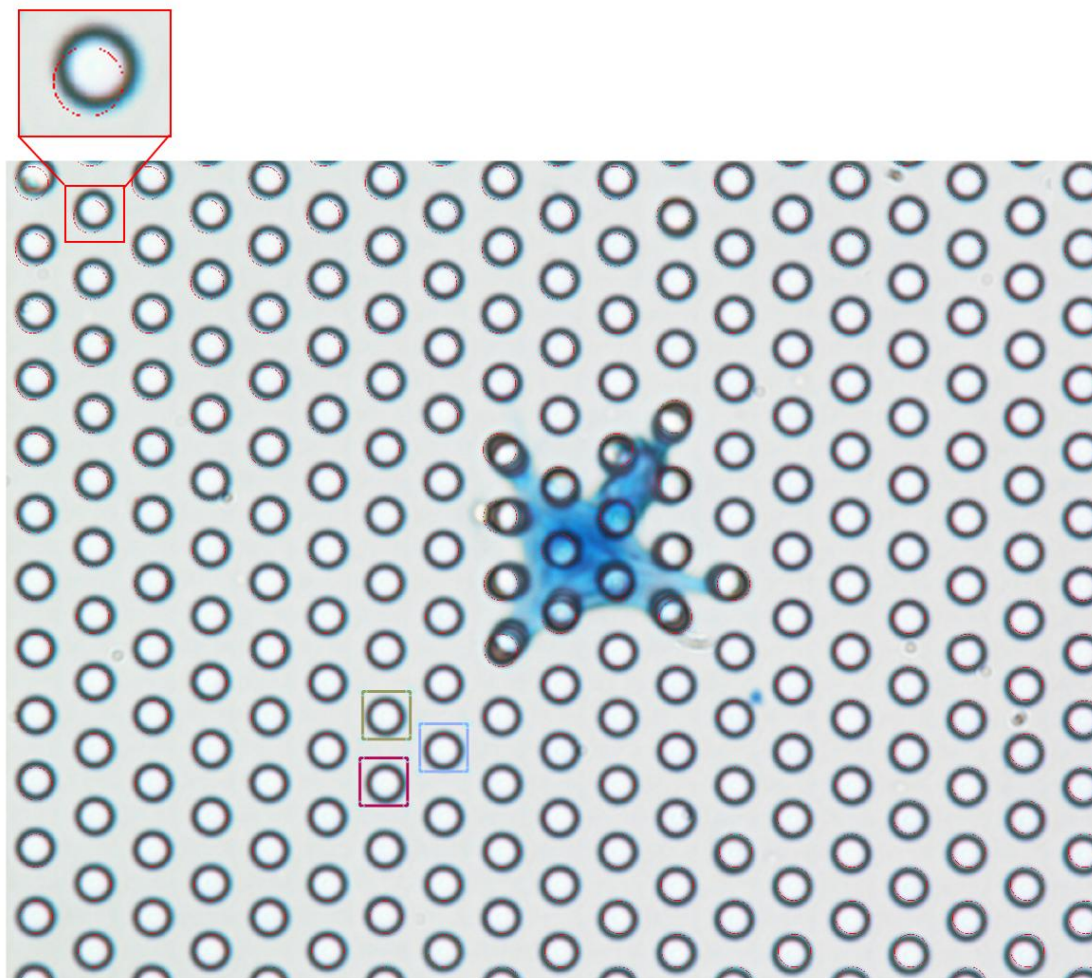


图 2.23 远端微柱阵列偏差示意图

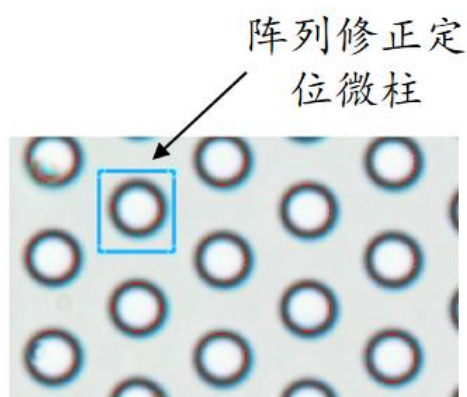


图 2.24 放置阵列修正定位微柱后匹配结果示意图

2.2.4.4 推荐定位微柱摆放示例

通常情况下，建议用户采用 3+3+n 模式摆放定位微柱，即 3 个最小基向量定位微柱和 3 个阵列修正定位微柱，以及 n 个其他定位微柱。最小基向量定位微柱用于确定微柱阵列的最小基向量；3 个阵列修正定位微柱用于修正细胞区域微柱匹配情况，3 个阵列修正定位微柱与最小基向量定位微柱正好形成一个矩形可以

将细胞框在矩形区域内； n 个其他定位微柱会用于计算环境噪声使用（这个在下文计算细胞内力时会讲到）。摆放示例如下图 2.25 所示，摆放示例如下图 2.26 所示：



图 2.25 推荐定位微柱摆放示例示意图

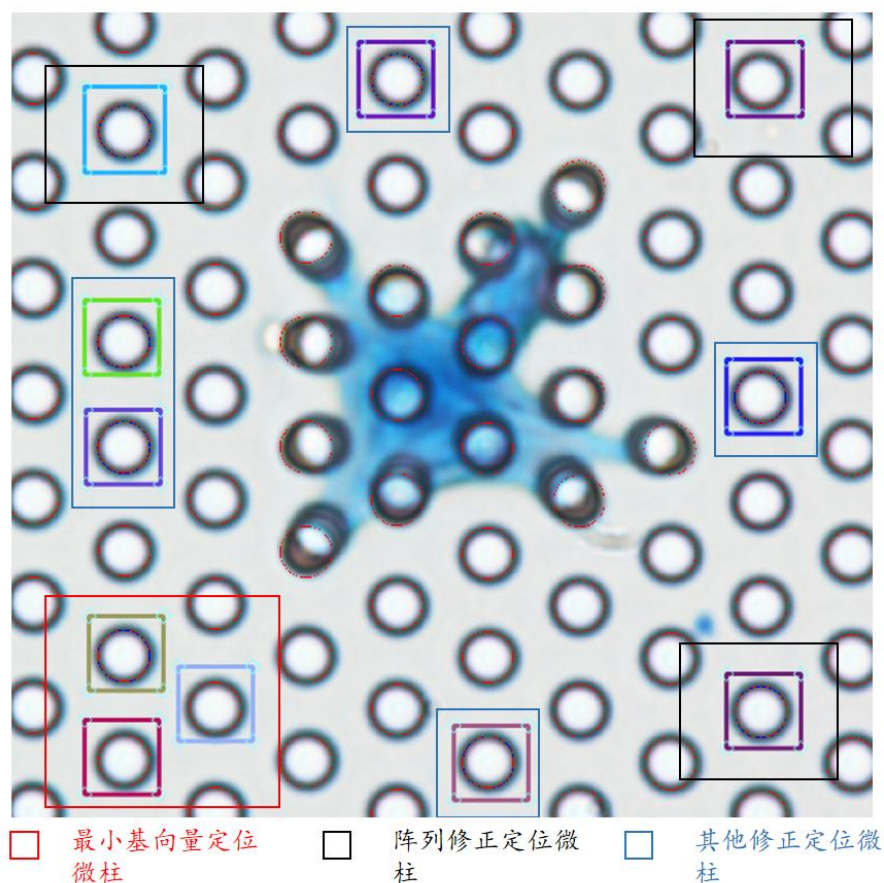


图 2.26 推荐定位微柱摆放实例

2.2.4.5 微柱匹配高级设置说明

在微柱匹配及识别一栏中有一个“微柱匹配高级设置”栏目，当前版本下仅有一个设置：最大填充微柱数量。该参数用于设置微柱阵列的最大填充数量，即微柱阵列最大尺寸。通常情况下该参数无需调整，参数数值不同对于匹配结果影

响的示意图如下图 2.27 所示：

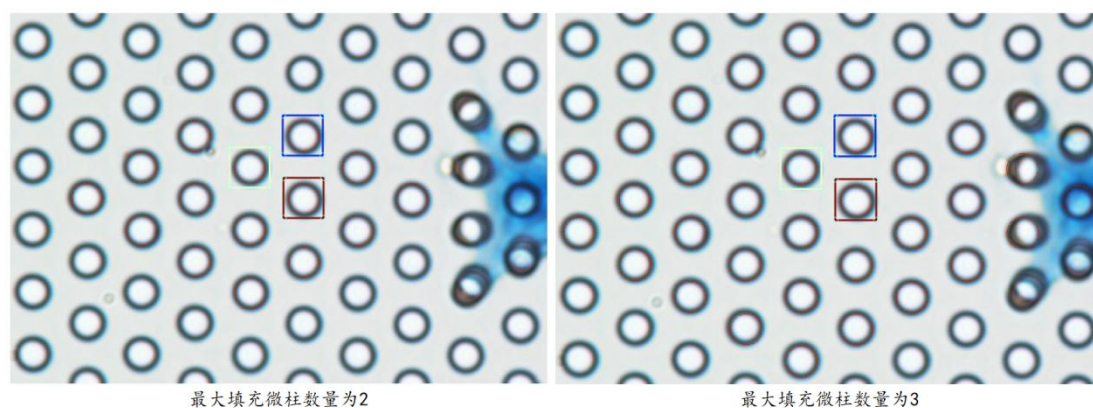


图 2.27 最大填充微柱数量不同时匹配结果示意图

2.2.5 细胞内偏移微柱处理

按照前文步骤，到此已经可以完成图片中微柱阵列的匹配。如果此时用户框出了细胞区域，则会在细胞区域内自动生成偏移微柱，偏移微柱使用绿色圆圈进行表示，如下图 2.28 所示：

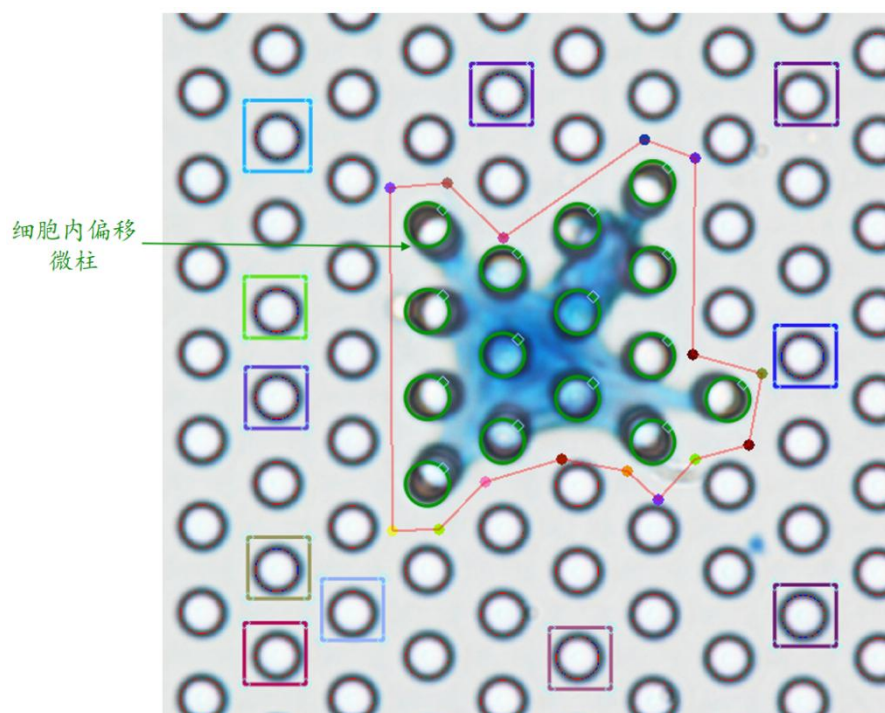


图 2.28 偏移微柱示意图

软件计算细胞内力的方法就是通过计算细胞内偏移微柱的偏移距离，从而得到每个微柱的受力情况，进而统计得到细胞内力情况。因此，用户仅需拖动偏移微柱至当前微柱位置即可进行细胞内力计算。

上图中所有识别出来的绿色偏移微柱都可以进行拖动，红色为匹配得到的微柱阵列，即微柱在产生偏移前所应该在的微柱；绿色为偏移微柱，用户可以将其

拖动至偏移后的位置，拖动后界面会显示出代表微柱偏移方向的箭头。拖动前后示意图如图 2.29 所示：

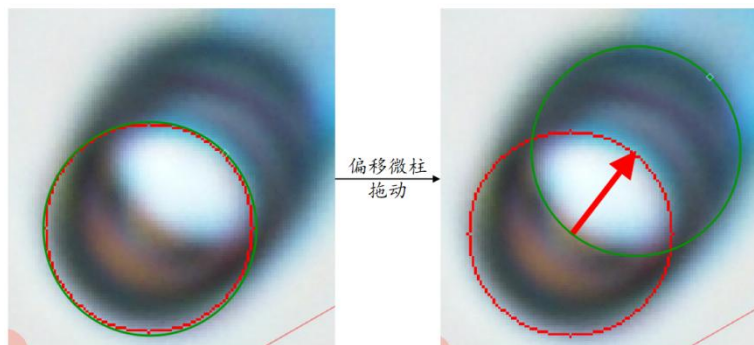


图 2.29 偏移微柱拖动前后示意图

需要注意的是，拖动后位置需要包裹住整个细胞微柱的边沿，并且同样需要忽略拍摄时产生的光晕，拖动位置示意图如下图 2.30 所示：

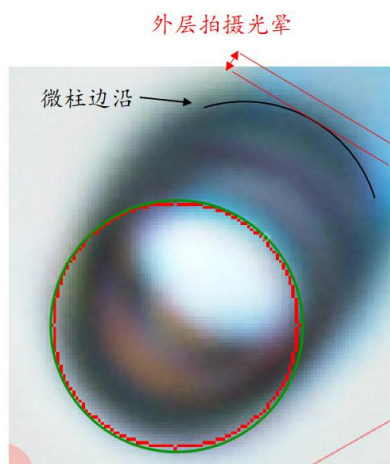


图 2.30 拖动位置示意图

按照上图中的标准，将所有偏移微柱拖动至偏移位置即可，结果如下图 2.31：

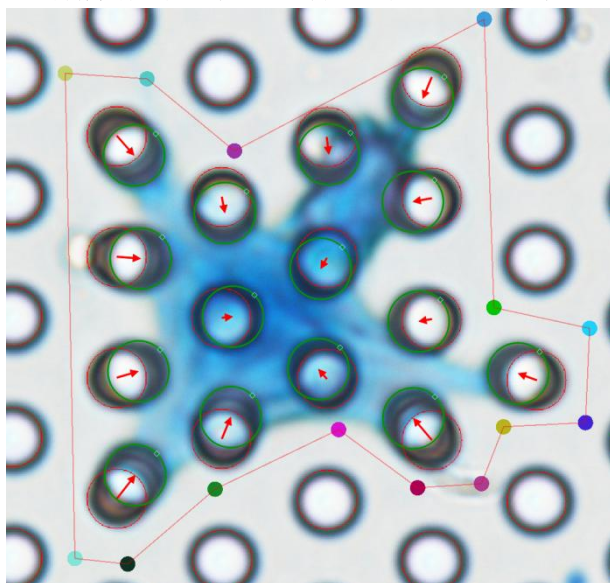


图 2.31 偏移微柱拖动完成后结果示意图

2.2.6 细胞内力计算及结果说明

根据前文内容，完成偏移微柱位置调整后，点击“Step5. 细胞内力计算”栏目中的“计算细胞内力”按钮，便可以一键统计所有微柱的受力情况，并显示总细胞内力和平均细胞内力（如图 2.32），并弹出细胞力计算结果详情界面（如图 2.33）以及微柱偏移情况统计图（如图 2.34）。



图 2.32 总细胞内力和平均细胞内力计算结果

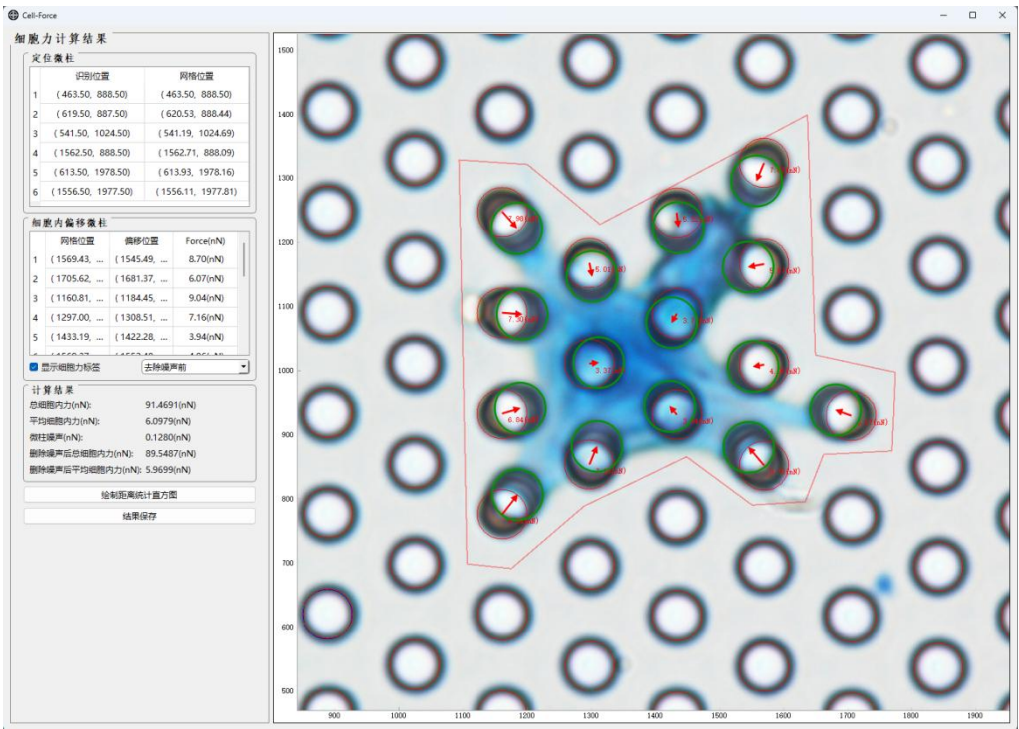


图 2.33 细胞力计算结果详情界面

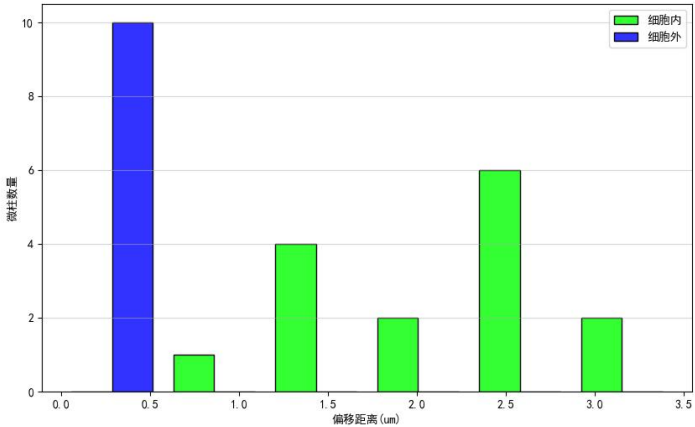


图 2.34 微柱偏移统计结果

细胞力计算结果详情界面中会显示每个微柱的网格位置、偏移位置、受到的力的大小，并且会在图片上每个微柱旁边标注好受力大小（微柱受力情况标签可以随意拖动）。用户点击“结果保存”按钮即可将所有信息进行保存。保存结果中包含细胞分析结果图片、微柱统计结果图片以及一个数据详情 Excel 表格，保存文件列表如下图 2.35 所示：

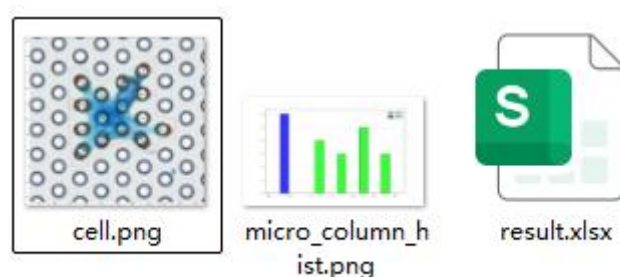


图 2.35 保存结果文件示例

2.2.6.1 数据详情 Excel 表格说明

结果表格中有三个子表格：**result**、**detail** 以及 **config**。

result 表格包含总的计算结果，包括总细胞力、平均细胞力、环境噪声等信息。

detail 表格包含计算过程中的所有详细信息，包括定位微柱位置、细胞内微柱原位置以及偏移位置、细胞内微柱偏移距离以及微柱受力等信息。需要注意的是，位置信息中如果没有标注单位，则说明为图中的像素信息。

config 为图片分析的配置信息，包括刚度、柱子间距、柱子直径以及像素尺寸。

2.2.6.2 环境噪声计算说明

前文提到微柱计算结果中包含有环境噪声参数，环境噪声是通过用户框选出的所有微柱与匹配结果得到的微柱阵列之间的差计算得到的。用户使用微柱匹配后会得到红蓝两个圈，如下图 2.36 所示：

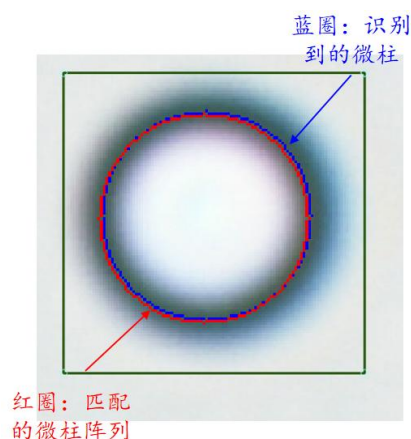


图 2.36 微柱匹配结果示意图

蓝圈为识别到的微柱，红圈为匹配得到的微柱阵列。红蓝两个圈之间的距离差即为环境噪声。总的环境噪声就是所有识别到的微柱计算得到的环境噪声的平均值。

引起环境噪声的原因有很多，有图像拍摄原因、光线原因、微柱原本就有偏移以及图像畸变等等原因，软件计算细胞力的时候默会给出两个结果：总细胞力以及去除环境噪声后的细胞力。当微柱的偏移小于环境噪声时，可以认为该微柱不受力，即微柱受到的力为 0。

2.2.7 显示原图功能

该功能更新于软件版本 v1.1.1

在“微柱识别与匹配”栏目中有一个勾选框“显示原图”（如下图 2.37），勾选后可以将匹配得到的微柱阵列（红圈）进行屏蔽（或显示），效果如下图 2.38 所示。



图 2.37 显示原图勾选框

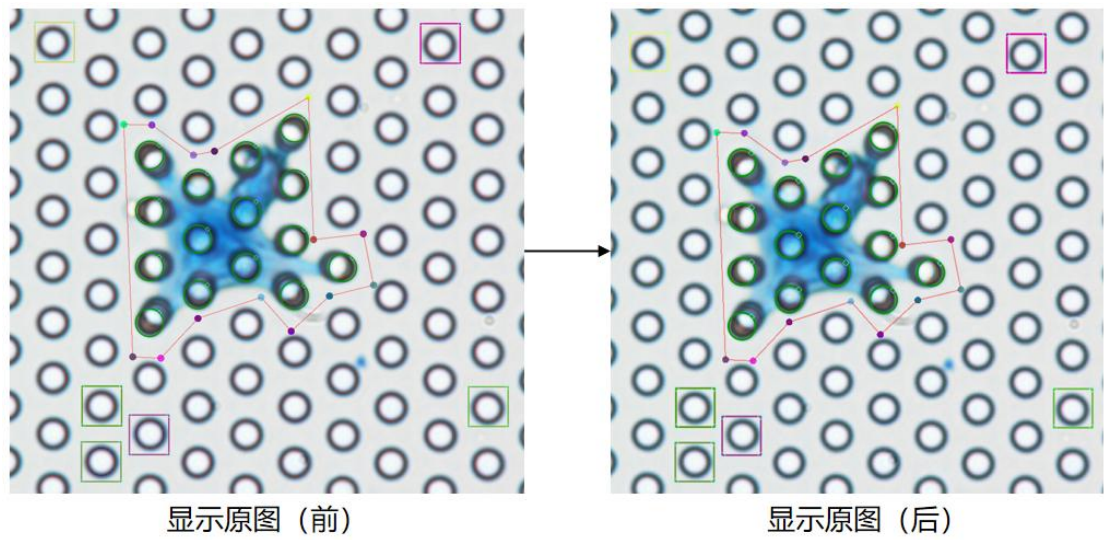


图 2.38 显示原图前后对比图片

需要注意的是，“显示原图”后的图像会被带入到计算细胞内力的结果显示当中，即进行“计算细胞内力”后显示的结果图片与主分析界面图片会保持一致。

第三章 软件错误提示说明

软件在运行过程中会出现一些错误信息提示，本章会对错误信息进行说明。

错误信息：“当前没有图片，请打开图片。”

按照提示进行操作，软件需要打开图片。

错误信息：“图像打开失败。 请检查图像格式。”

不常见错误，请联系本公司进行错误排查。

错误信息：“请先关闭软件的其他模式。”

用于打开了多种模式。常见于细胞轮廓选择打开后添加定位微柱，此时会报错。请用户关闭细胞轮廓选择后再进行定位微柱的添加。

错误信息：“微柱匹配失败，识别到的微柱数量较少(微柱数量需要大于等于 3)。”

微柱匹配模式中所需的识别到的微柱数量需要大于等于 3，详情可见 2.2.4 节当中对于微柱阵列匹配的相关内容。

第四章 示例图片测试结果

示例图片选用根目录下 example 文件夹中的“example2.jpg”文件，用户可以使用该图片进行软件测试，图片如下图 4.1 所示：

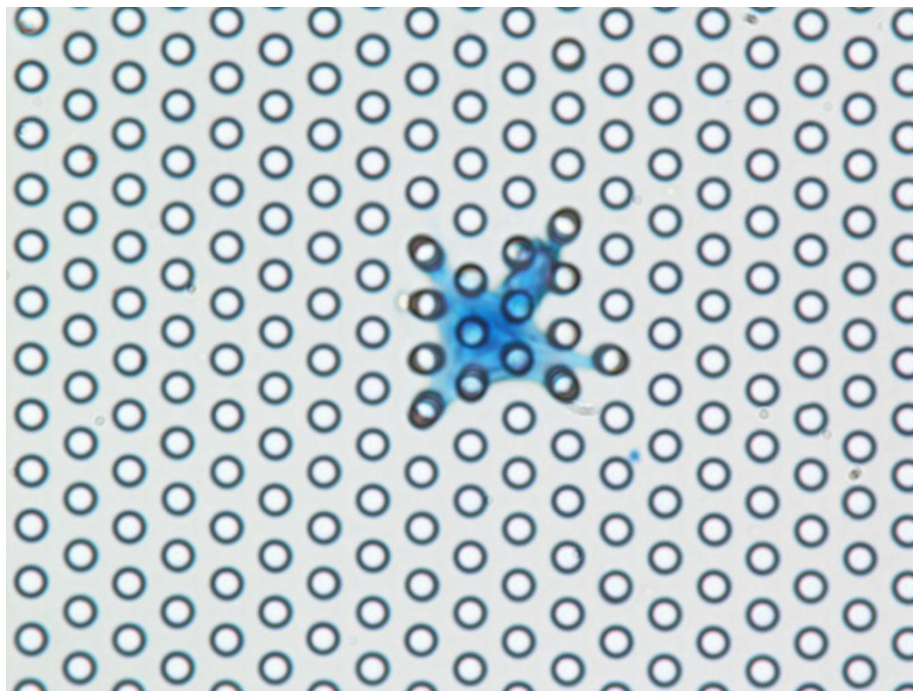


图 4.1 示例图片

图片微柱参数如下：

- 1、刚度：2.87(nN/um)
- 2、微柱间距：13(um)
- 3、微柱直径：6.4(um)
- 4、像素尺寸：0.082-0.084(um/pixel)，该参数根据测算使用的微柱的不同会产生微小差距。

4.1 软件分析过程截图及相关过程

参数测算结果如下（如下图 4.2）：

- 1、微柱间距：13(um)
- 2、柱子直径：7.72(um)，测算结果会大于实际直径，因此需要根据实际图片进行调整，调整方法请参照第二章教程，调整后应为 6.4-6.5(um)。
- 3、像素尺寸：0.08311(um/pixel)，这个是测算的主要参数。

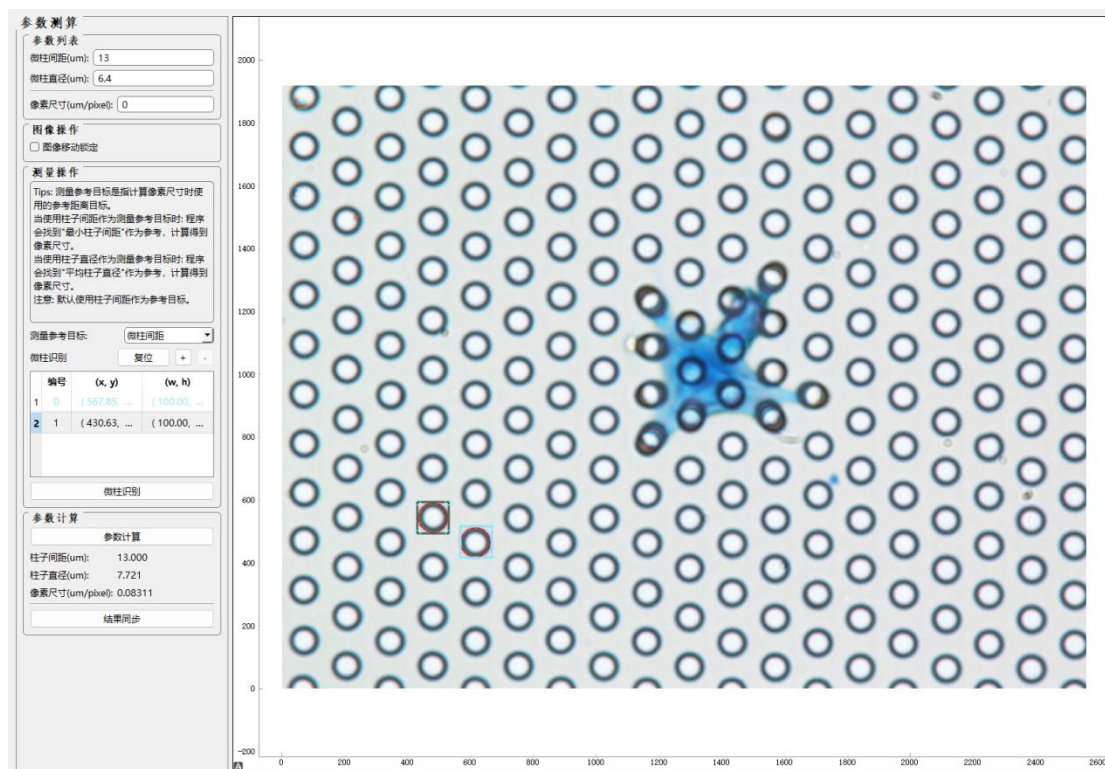


图 4.2 参数测算结果截图

示例图片分析结果总细胞力应该在 90(nN)上下，分析界面截图如下图 4.2 所示：

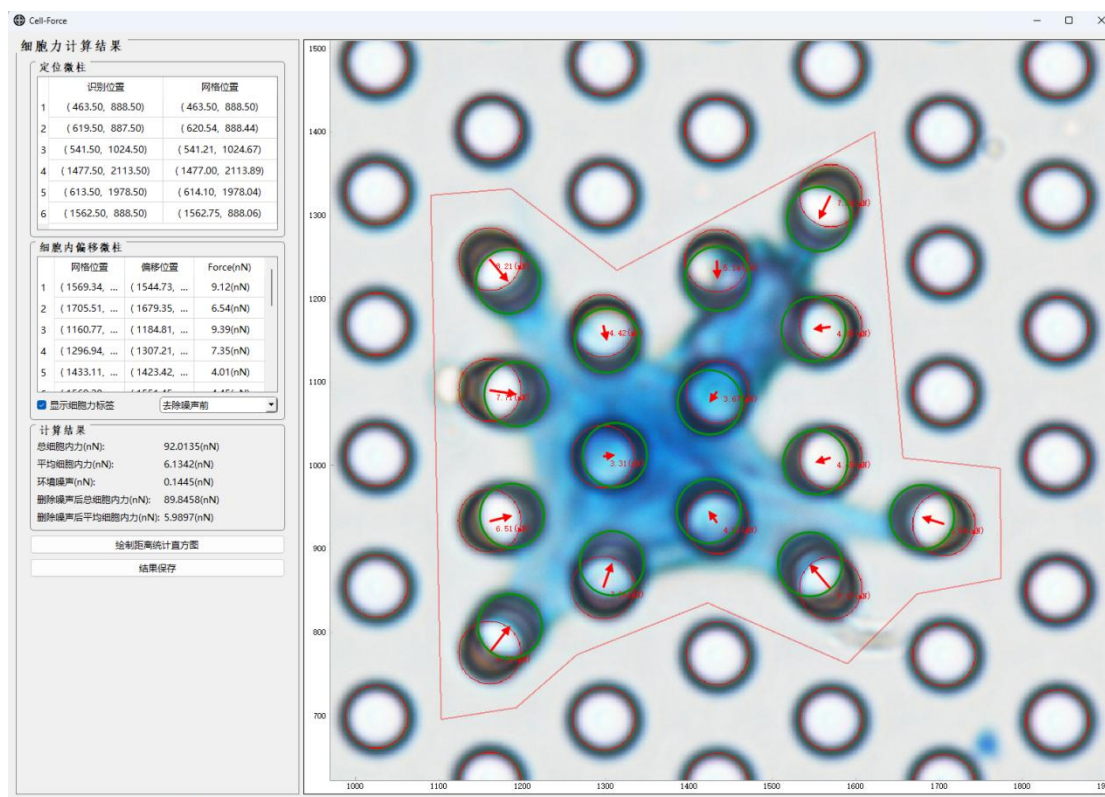


图 4.3 示例图片分析结果截图

保存后细胞受力图如下图 4.4 所示，微柱偏移分布图如下图 4.5 所示：

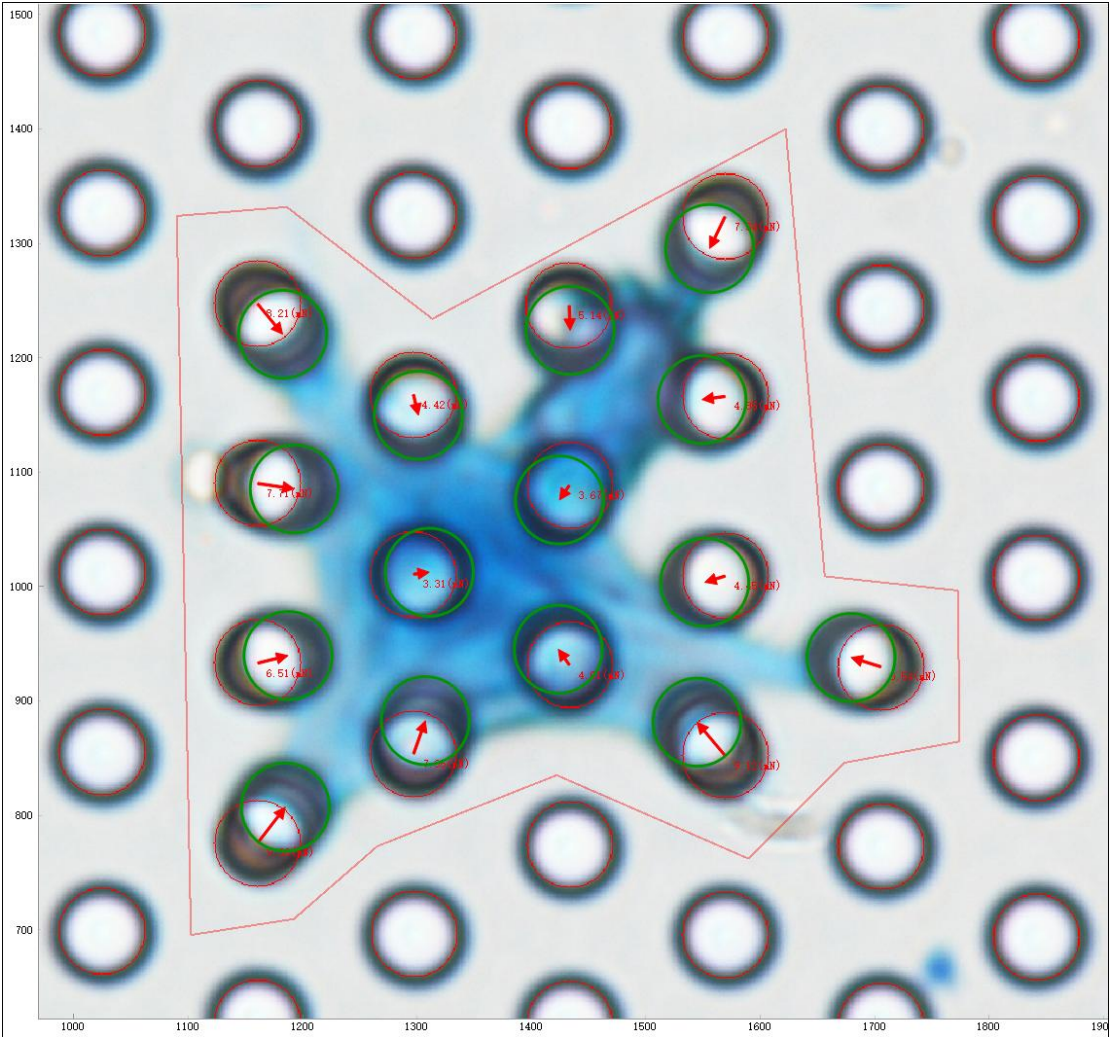


图 4.4 细胞受力示意图

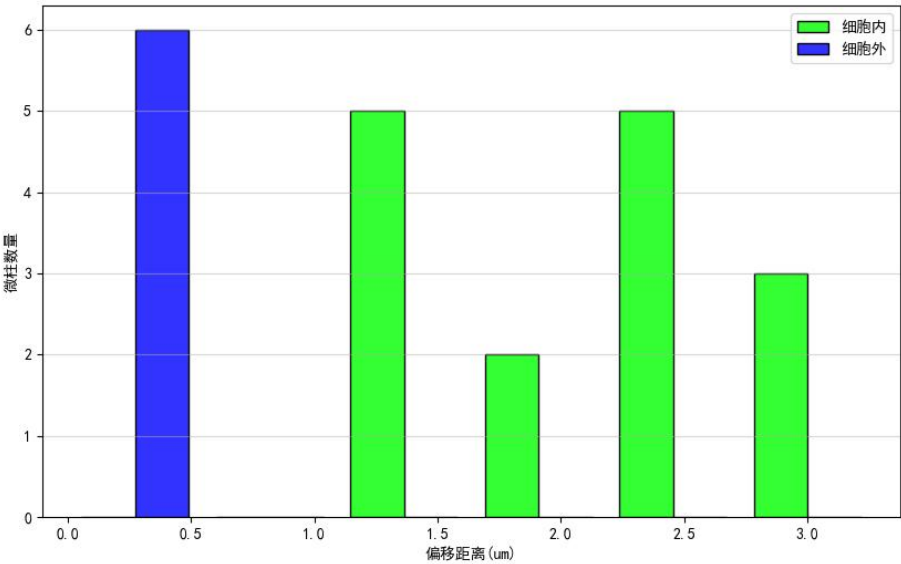


图 4.5 微柱偏移分布图