

# 基于 MATLAB 的矿相特征迁移规律研究

## 摘要

本文从矿相图像的分析出发，研究图像各特征与球团矿碱度、选取位置的关系，再运用得出的关系，对给定的图像识别出其碱度和部位类别。

在问题一中，通过对团球矿对结构进行分析，本文将整体边缘、颗粒占有率、颗粒密度、分布纹理作为分析特征。首先是描述碱度的特征，这部分特征应该要排除表面不平整度即不同位置对图像的影响。第一个是描述碱度的特征是整体灰度特征，主要体现了不同碱度的图像的灰度分布与灰度趋势两个方面。第二个是对局部灰度特征，考虑到要排除位置差异对图像产生的影响，我们使用蝙蝠算法得出图像中最平整的一小块作为考察对象，分析了局部灰度特征与碱度之间的关系。

第三个是局部密度特征，基于局部灰度特征以及材料学知识，得出局部密度特征与碱度之间的关系。第四个特征便是内部复杂度特征，不同碱度的矿物，其内在的组成成分的量之比一定是有所差异的，组成影响结构，一般而言，品味越高的矿石，其内部的各组成物质分布越是均匀，切片上体现出的纹理特征便越少，我们使用这样的纹理的突变点（角点）个数来衡量表面的复杂度，即部位类别。碱度越高的矿物其内在的角点个数便越少。第五个是阶分比值特征，即各种元素之间的比值关系，由材料学知识可知，矿物的元素组成对矿物碱度的影响巨大。通过对比，我们发现，Mg、Si、Ca、Si、Fe、O 元素之间的比值对碱度有非常大的影响。接下来便是考量图像特征与部位类别关系的特征，由于不同部位对物质内在结构影响非常大，这些变量一定要很好地体现物质的结构特征。第一个这样的特征是边缘特征，我们采用 Canny 算子进行分析，刻画出图像表面的大致纹理特征，发现越是靠近边缘的部位，其边缘图案也就越多越复杂。第二个便是表面聚集特征与部位类别的关系，但是经过研究后发现并无明显关系，遂舍弃。第三个是纹理特征，我们对图像中纹理拆分后进行研究，发现小像素块对角线灰度和与总灰度值的比值与纹理多少有着直接的关联，我们便将这一比值作为纹理的定量特征。越是靠近边缘位置，其受到外界的影响也就越大，由外部作用产生的纹理也就越多，即小像素块中对角线灰度和与总灰度值的比值也就越大。

第二问中，通过查阅材料学知识，我们发现阶分比值特征与碱度的关联最为密切，于是便将其作为表征球团矿碱度的矿相主特征。结合多个元素的阶分比值，我们可以对任意图像的碱度进行识别。

第三问中，我们发现，各元素的分布图像与原始图像的相似度极高，所以我们只需要将原始图像的部位类别进行判别，接下来只需要利用相似性就可以顺利将元素的分布图像的部位类别给判别出来。在对各特征进行比较之后，我们发现小像素块对角线灰度和与总灰度值的比值可以作为表征球团矿的矿相主特征。通过对所给原始图像的特征比值进行排序（占比矩阵遍历算），我们便可以进行部位判别。

第四问中，我们利用第二、三问得到的结论，便可以顺利对附件 5 中给定的 24 张球团矿相对碱度类别和部位类别进行判定。

关键词：矿相识别 阶分比值 对角占比矩阵遍历 滑线回归 MATLAB

目录

1 问题简介 ..... 1

    1.1 问题背景 ..... 1

    1.2 问题重述 ..... 1

2 模型假设 ..... 2

3 符号说明 ..... 2

4 模型求解 ..... 3

    4.1 问题一模型建立与解答 ..... 3

        4.1.1 球团矿结构分析 ..... 3

        4.1.2 图像预处理 ..... 5

        4.1.3 整体灰度特征 ..... 5

        4.1.4 局部灰度特征 ..... 7

        4.1.5 局部密度特征 ..... 9

        4.1.6 边缘特征 ..... 10

        4.1.7 表面复杂度特征 ..... 11

        4.1.8 聚集度特征 ..... 12

        4.1.9 阶分比值特征 ..... 13

    4.2 问题二模型建立与解答 ..... 16

        4.2.1 主特征寻取 ..... 16

        4.2.2 判断模型的建立 ..... 18

    4.3 问题三模型建立与解答 ..... 18

    4.4 问题四模型建立与解答 ..... 20

5 模型的评价与展望 ..... 22

    5.1 模型的优点 ..... 22

    5.2 模型的缺点 ..... 22

    5.3 模型的展望 ..... 23

6 模型的应用 ..... 23

7 引用 ..... 23

8 附录 ..... 24

# 1 问题简介

## 1.1 问题背景

球团矿因为机械强度高、含铁品位高、还原性能好、粒度均匀、微气孔多，所以经常用作高炉炼铁原料。近年来，国内外普遍发现到球团矿在高温状态下冶金性能好坏很大影响着炉料质量，而球团矿冶金性能也受其微观结构影响。由于球团矿冶金性能能够影响它的微观结构，微观结构又能得出冶金性能好坏，而且碱度是冶金性能的一个重要指标，所以研究球团矿不同位置的矿相特征，并且建立矿相特征与碱度之间的关系，对球团矿实际生产有着重要的实际意义。我们知道，球团矿处于不同的碱度状态下，它的微观结构是不同的，而引起视觉上的差异原因就是球团矿中存在着不同元素，例如铝、钙、碳、铁、镁、氧、硅。它们的大小和分布是不同的，可以影响着碱度。

对每一个球团矿样品进行切片磨光，通过 SEM 电镜获取球团矿中心部分、四分之一部分和边缘部分的微观矿相，即获取了三个原始矿相。再对每张矿相进行铝、钙、碳、铁、镁、氧、硅等元素三个部分着色标记，碱度 0.6、0.8、1.0、1.2 等四个样品都进行同样的操作，得到了 4\*24 张图像。

## 1.2 问题重述

在第一问中，需要使用图像处理算法，将附件 1~附件 4 中的球团矿矿相的所有视觉特征提取出来，如不同元素的边缘、面积、密度、聚集区域等等特征。

在第二问中，需要纵向研究同一部位的矿相在不同条件下的变化情况。如研究中心部位的矿相多种元素特征在四种碱度下的变化梯度。然后根据变化情况，提取出能表征球团矿矿相碱度的主特征，并且这个主特征能辨别出球团矿的碱度。

在第三问中，需要横向研究同一碱度的球团矿在不同条件下的变化情况。如研究碱度为 0.6 的矿相在三种部位下各种元素特征的变化梯度。然后根据变化情况，提取出能表征球团矿部位的主特征，而且这个主特征能辨别出球团矿的位置。

在第四问中，被给了存了 24 张来自于同一个球团矿样品的矿相的附件 5。我们要使用问题一至问题三得到的结论来判别这个附件中的 24 张球团矿的碱度类别和部位类别，且碱度类别判断结果是同一个值。

## 2 模型假设

- 1). 色彩是人为标记的特征，只会无意义的增加问题复杂度，故在问题的解决过程中不考虑其影响；
- 2). 球团矿经过时间或者后处理会发生性质的改变，例如被氧化。
- 3). 灰度（亮度）与元素数量呈线性关系，即可以通过灰度来定量的刻画该点的元素聚集个数；
- 4). 不同碱度的球团矿是在相同的加工工艺下生产制成的。

## 3 符号说明

符号	符号含义
$G_s$	灰度值
$n_{gs}$	灰度值对应的个数
$n_e$	加权得到的相当数量
$\rho_e$	对应的相对密度
$r$	矩阵的关联系数
$\frac{A_{gs \geq i}}{B_{gs \geq i}}$	A元素和B元素电镜图像灰度的阶分比值
$c_i$	求得的碱度回归值
$\frac{A}{B}$	A化合物和B化合物的阶分比值
$L_t$	题中四种碱度与求得碱度回归值 $c_i$ 的距离

## 4 模型求解

### 4.1 问题一模型建立与解答

为了对图像的特征进行刻画，需要提取图像的相关特征。图像特征的选择是至关重要的，若能够准确且区分度较高的表征一个图片，则会有效提升后处理的工作效率。本文选择对所获取图像的整体边缘、颗粒占有率、颗粒密度、分布纹理等特征进行分析。考虑到每种金属所呈现的矿相是不同的，故设计以下思路进行检测，如图 1 所示。

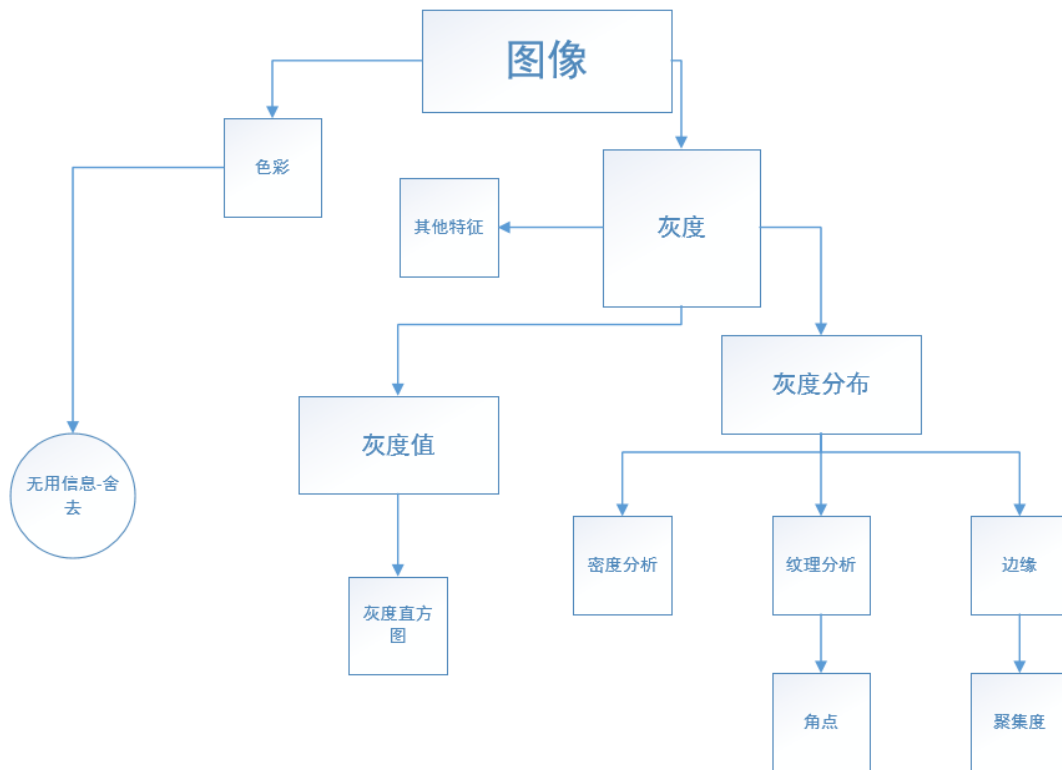


图 1 特征检测基本思路

#### 4.1.1 球团矿结构分析

球团矿是由矿细磨铁精矿粉或其他含铁粉料添加少量添加剂制作而成的，球团矿的制作方法有竖炉焙烧、带式焙烧，从原材料与制作工艺出发，其内部反应不可能充分且均匀，故内部必然存在极小的杂质颗粒，将球团矿纵切，可以得知这些杂质颗粒有规律的镶嵌在球团矿的内部（如图 2 所示）。

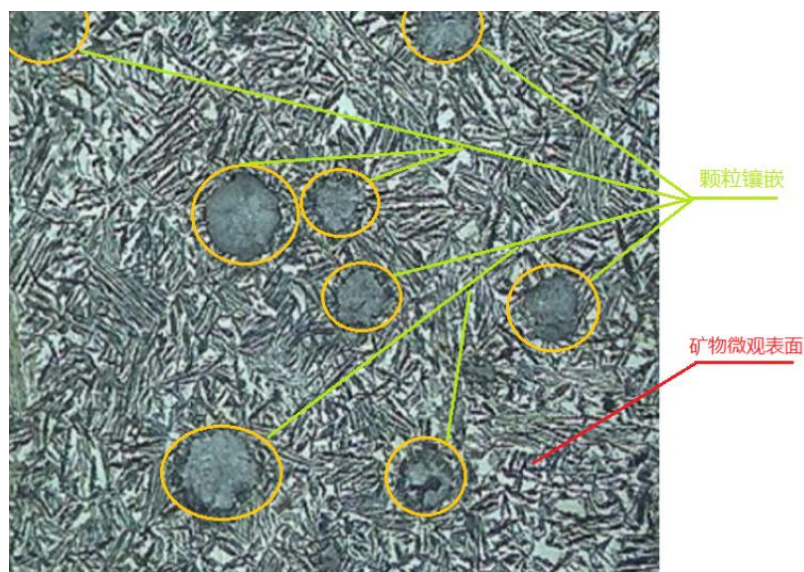


图2 矿相颗粒镶嵌示意图

杂质颗粒主要由原材料（精铁）杂质、含铁稳定剂、反应添加剂组成，与球团矿主体的结构、元素组成都有较大差异。如图3所示，在球团矿表面磨平时，会出现因为杂质被剥离而留下的凹陷。在这些凹陷内部，因为杂质颗粒与球团矿的接触，会出现相互渗透的现象，故凹陷的表面所含元素成分在严格意义上并非均值球团矿的元素成分，仅可以作为球团矿内部的一个特征。故在对元素含量进行分析时，应该对这些区域进行删除处理。

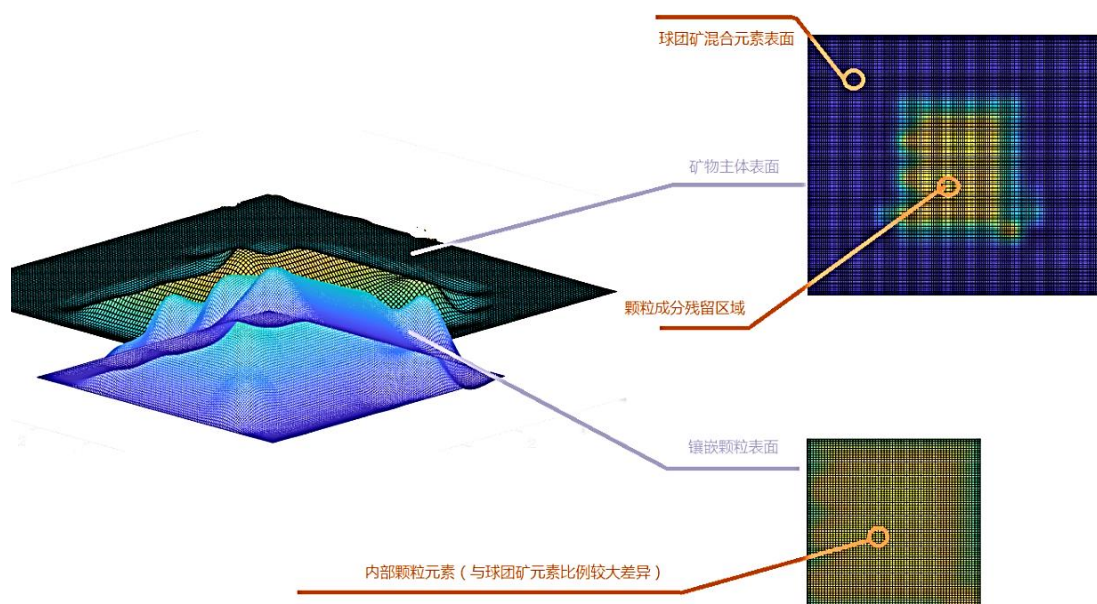


图3 镶嵌颗粒元素残留示意图

同时，注意到球团矿的主要原材料为精铁，故铁元素占据球团矿的绝大部分，与此相反的，杂质中所含有的铁元素密度极小，故可以通过铁元素的密度

来判断某一位置是否为球团矿主体表面。如图 4 所示，SEM 整体扫描图与铁元素扫描图特征具有高度的相似性。

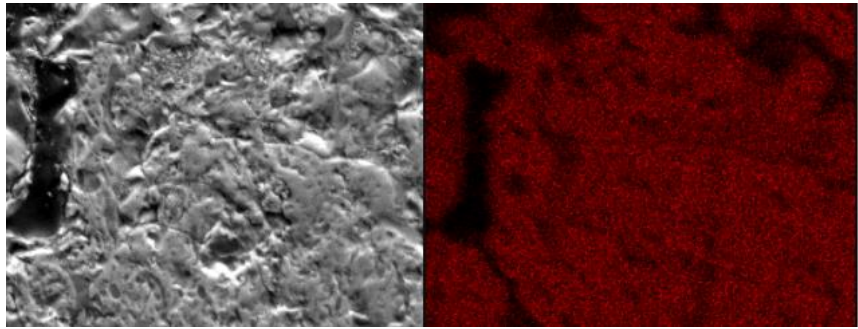


图 4 SEM 整体扫描图与铁元素扫描图对比

4. 1. 2 图像预处理

由于所获取的图片是由 SEM 电镜扫描得到，故色彩是扫描后处理得到的，如果考虑色彩则会人为的加大问题复杂度；与此同时，识别物体最关键的因素是梯度（现在很多的特征提取，例如 SIFT, HOG 等等本质都是梯度的统计信息），梯度意味着边缘，这是最本质的部分，而计算梯度，则需要灰度图像的辅助。故本文首先将图像进行灰度化处理，由于 png 的特殊储存方式，matlab 的直接调用就可将图像灰度化。

4. 1. 3 整体灰度特征

得到了灰度图像，进一步绘制图像的灰度直方图，以 0.6-7 为例，绘制图形如图 5 所示，可以看出，在钙的 SEM 电镜扫描图中，随着灰度的增加，灰度点的个数在大幅度衰减，在灰度值为 8 以内彻底消失。本文将其描述为灰度分布与灰度趋势两个特征。

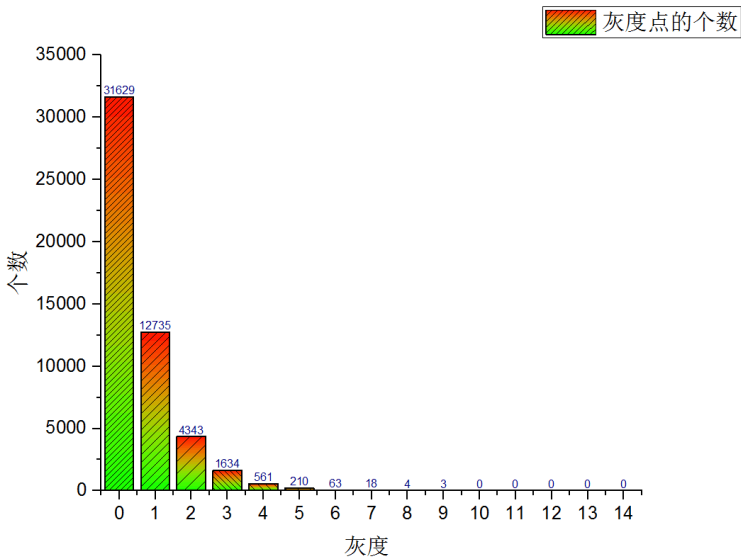


图 5 0.6-7 灰度图



为了进一步验证以上两个特征是否具有较好的区分度，将其分为内部区分度（相同碱度下——同一位置不同金属间、相同金属不同位置）与外部区分度（相同金属相同位置——不同碱度）。绘制出 0.6-7 / 0.6-10 / 0.6-13 / 0.6-16 / 0.6-19 / 0.6-22（1），0.6-7 / 0.6-8 / 0.6-9（2），0.6-7 / 0.8-7 / 1.0-7 / 1.2-7（3）两组图像的对比图，如图 6/7/8 所示。

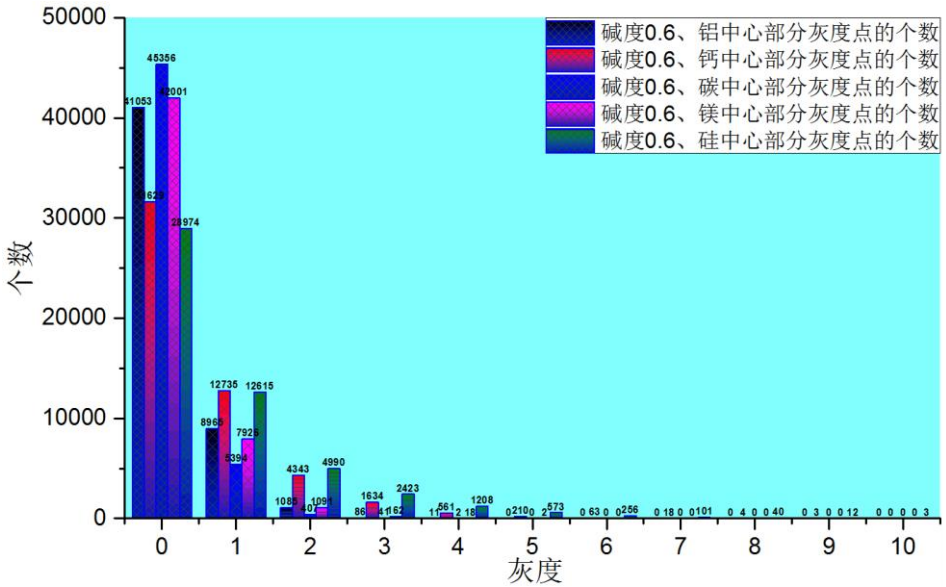


图 6 相同碱度下同位置不同金属间整体灰度变化对比

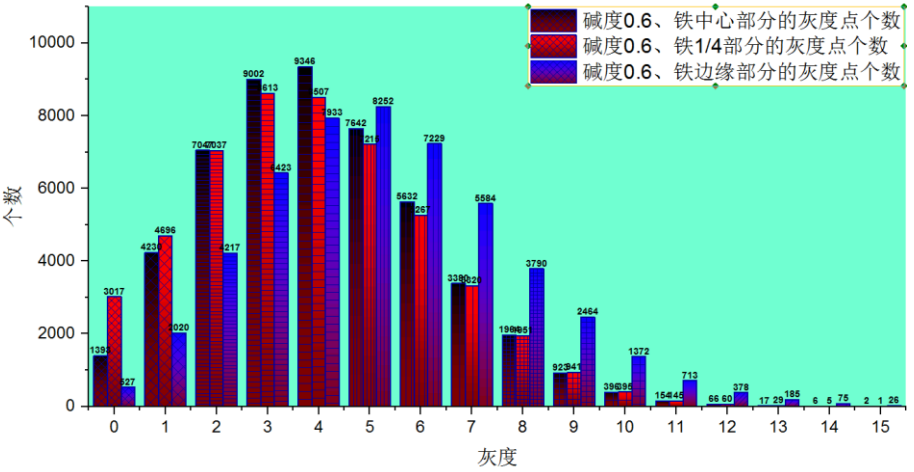


图 7 相同碱度下相同金属不同位置间整体灰度变化对比



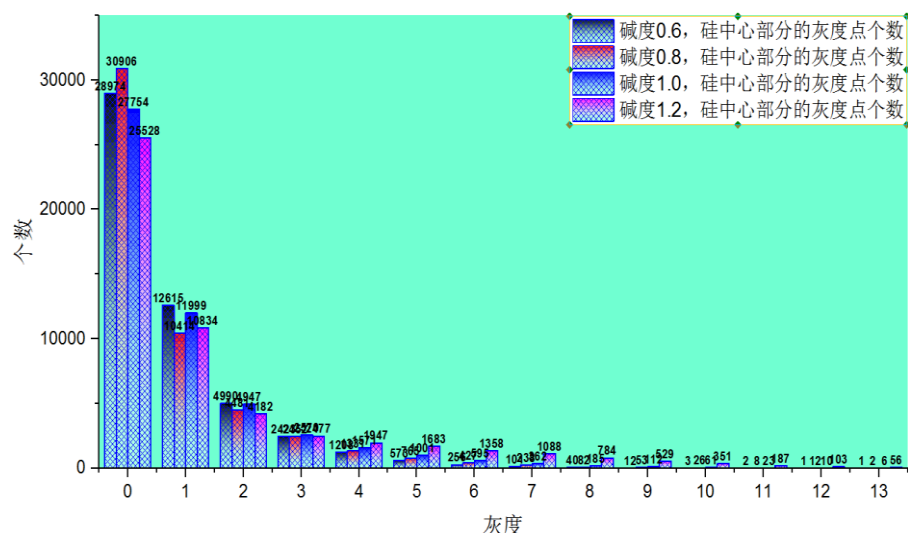


图8 不同碱度同位置同金属间整体灰度变化对比

#### 4.1.4 局部灰度特征

根据 4.1.1 的球团矿结构的分析，找出球团矿近似处于同一平面的局部区域，而不是对包含凹陷的整体进行灰度提取，计算结果会更加贴近于真实。故需要在图像上选取一块  $51 \times 51$  的正方形区域，这一区域内的方差最小。

由于可能的情况数有  $(256 - 51 + 1) \times (200 - 51 + 1)$  种，对于求方差的时间复杂度为  $n^2$ ，则最终的算法复杂度将近为  $\frac{1}{16}n^4$ （将图片近似看作大小为  $n^2$  的正方形），若对图像直接进行遍历，则最终的算法复杂度较高（当  $n \geq 200$  时，算法复杂度已经高达  $10^8$ ）。

故本文采用蝙蝠算法进行探寻。此算法通过模拟蝙蝠种群利用产生的声波改变飞行方向来寻找猎物实现函数的寻优。以每只蝙蝠作为基本单元，且每只蝙蝠都自适应的对函数现有解进行优化。每只蝙蝠可以调整自身发射声波的响度、频率等对空间进行搜索，使整个种群的活动逐步由无序变为有序。引入变速度修正系数，使蝙蝠的前期搜索为后期的搜索提供经验，可以尽可能的避免局部极值，从而最后求出全局最优解。具体步骤如下：

##### Step.1: 初始化相关参数

蝙蝠  $i$  (矩阵的左上角点) 的位置为  $X_x$  ( $1 \leq X_{ix} \leq 206; 1 \leq X_{iy} \leq 150$ , 角点位置使得矩阵不能超出整体灰度矩阵的范围)，飞行速度  $V_i$  ( $0 \leq V_{ix} \leq 20.6; 0 \leq V_{iy} \leq 15$ )，声音响度为  $A_i$ ，频率  $f_i$ ，设有目标函数为  $S$  (搜索矩阵内部的  $51 \times 51$  个值的方差)。

##### Step2: 更改脉神频率产生的解并更变蝙蝠位置与飞行速度

蝙蝠  $i$  在  $i-1$  时的位置和飞行速度分别为  $X_i^{t-1}$  和  $V_i^{t-1}$ ，群体当前最优解的位置为  $X_{Best}^{t-1}$ 。接着继续根据自身发出的声波来搜索猎物，通过反馈的信息来改

变位置 $X_i^t$ 和速度 $V_i^t$ 。其飞行速度的增量公式为：

$$w(t) = w_{min} + (w_{max} - w_{min}) \times e^{-\rho \left(\frac{t}{T_{max}}\right)^2} \quad (1)$$

$$y(i) = y(i)_{min} + (y(i)_{max} - y(i)_{min}) \times \beta \quad (2)$$

$$V_i^t = w(t) \times V_i^{t-1} + A_i \times (X_{Best}^{t-1} - X_i^{t-1})y(i) \quad (3)$$

$w(t)$ 为 $t$ 时刻的变速权重（类似于惯性），作用是使蝙蝠的前期搜索对后期搜索提供参照， $w_{max}$ 为 $w(t)$ 的最大值、 $w_{min}$ 为 $w(t)$ 的最小值； $1 \leq \rho \leq T_{max}$ ，一般取 2； $T_{max}$ 为最大迭代次数； $y(i)$ 为频率满足均匀正态分布的随机数， $\beta$ 是一个随机变量，且 $0 \leq \beta \leq 1$ 。开始运行时，蝙蝠 $i$ 在 $[y(i)_{min}, y(i)_{max}]$ 随机进行频率分配。

$$X_i^t = X_i^{t-1} + V_i^{t-1} \quad (4)$$

Step3: 搜寻局部最优解 $S$ ；

Step4: 通过蝙蝠多次飞行产生多个新解，进行全局搜索，若得到的新解 $S' \geq S$ ，那么接受新解 $S'$ ；

Step5: 排列所有蝙蝠的位置，并找出当前最优值 $S$ 及对应的位置；

Step6: 若当前最优解为 $S''$ ，然后使所有蝙蝠继续向下一时刻继续运动，并返回步骤 2 重新计算；

Step7: 时刻结束，输出全局最优解。

以 0.6-13 为例，通过蝙蝠算法最终解得搜索矩阵的角点坐标为(71,128), 及最终求得的灰度矩阵为A(71:121,128:178), 对比遍历和退火算法，如表 4-1 所示：

表 4-1 不同算法的结果与耗时

	遍历	蝙蝠算法	退火算法
结果	(71,128)	(71,129)	(71,130)
时间	346s	7.2s	19.1s

可以得知，三种算法最终都求得了最优解（由遍历可知），但是蝙蝠算法最终时间复杂度最低，效率最高。

得到了局部较均匀区域，对局部区域灰度同样进行内部区分度与外部区分度分析，如图 9、图 10、图 11 所示。

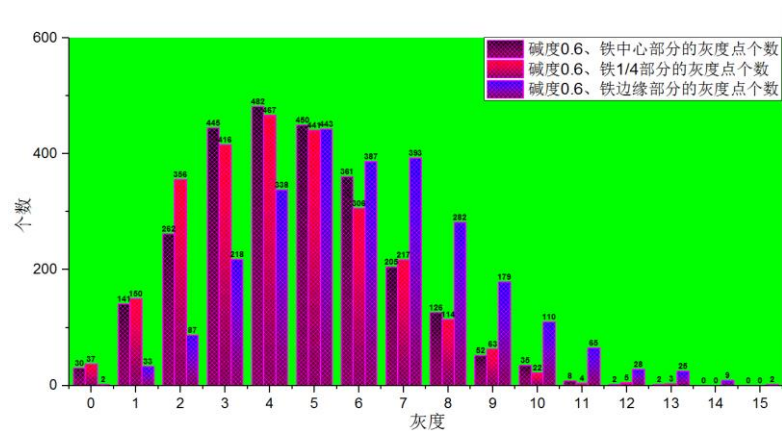


图 9 相同碱度下相同金属不同位置间局部灰度变化对比

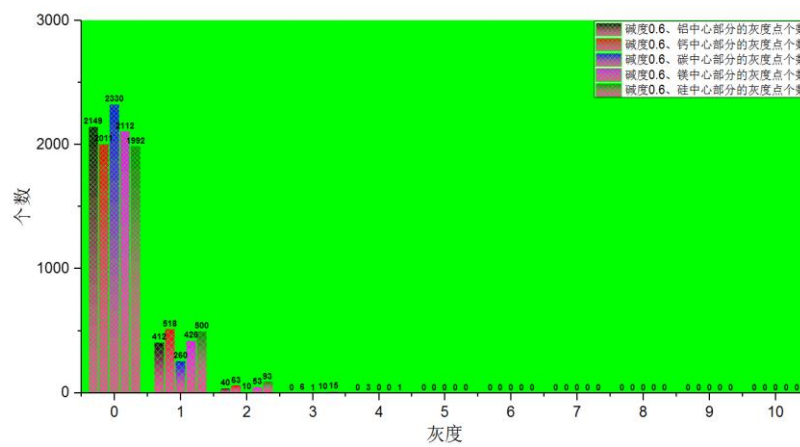


图 10 相同碱度下同位置不同金属间局部灰度变化对比

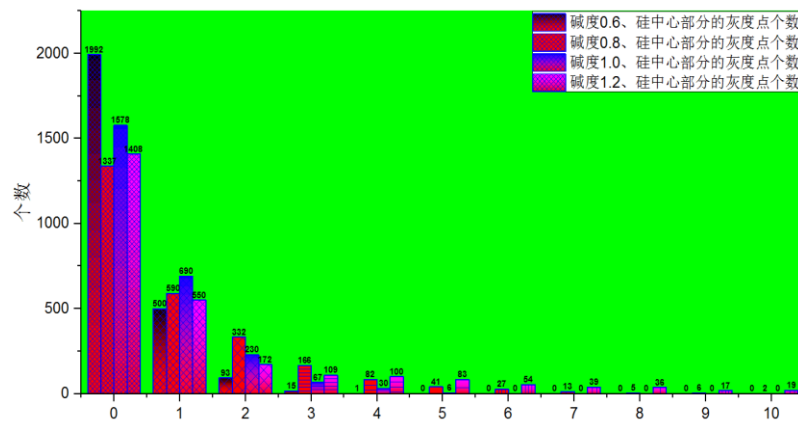


图 11 不同碱度同位置同金属间局部灰度变化对比

#### 4.1.5 局部密度特征

根据 4.1.4 的分析，求得了局部较均匀的区域及其灰度特征，假设灰度与元素数量呈线性关系，及元素的当量（相当数量）可视为：

$$n_e = n_{gs} \times Gs \quad (5)$$

$$\rho_e = \frac{n_e}{2601} \quad (6)$$

以碱度为 0.6 为例，最终结果如表 4-2 所示。

表 4-2 局部密度

0.6	铝	碳	铁	镁	氧
中心部	0.189158	0.108804	4.514802	0.216071	2.06113
1/4 处	0.183775	0.134179	4.37524	0.286044	2.092657
边缘	0.232218	0.234525	6.15148	0.142253	2.582468

#### 4.1.6 边缘特征

以碱度 0.6 中心位置所对应的铁元素的 SEM 图像为例，为了减少细微的表面粗糙度（关注点应集中在图像纹理的整体趋势）所带来的改变，本文首先尝试对原图像进行滤波。现有的滤波方式种类较多，其中包含中值滤波、均值滤波与维纳滤波等。其中中值滤波与维纳滤波为非线性滤波方式，算法时间复杂度高，主要针对噪点；而均值滤波为线型滤波，时间复杂度低，但在某些情况下效果较差。

一方面为了进一步获取图像的相关特征，另一方面评价不同滤波下的滤波效果，对滤波后图像的边缘纹理特征进行分析，本文采用了现在公认效果较好的 Canny 算子进行分析，如图 12 所示。

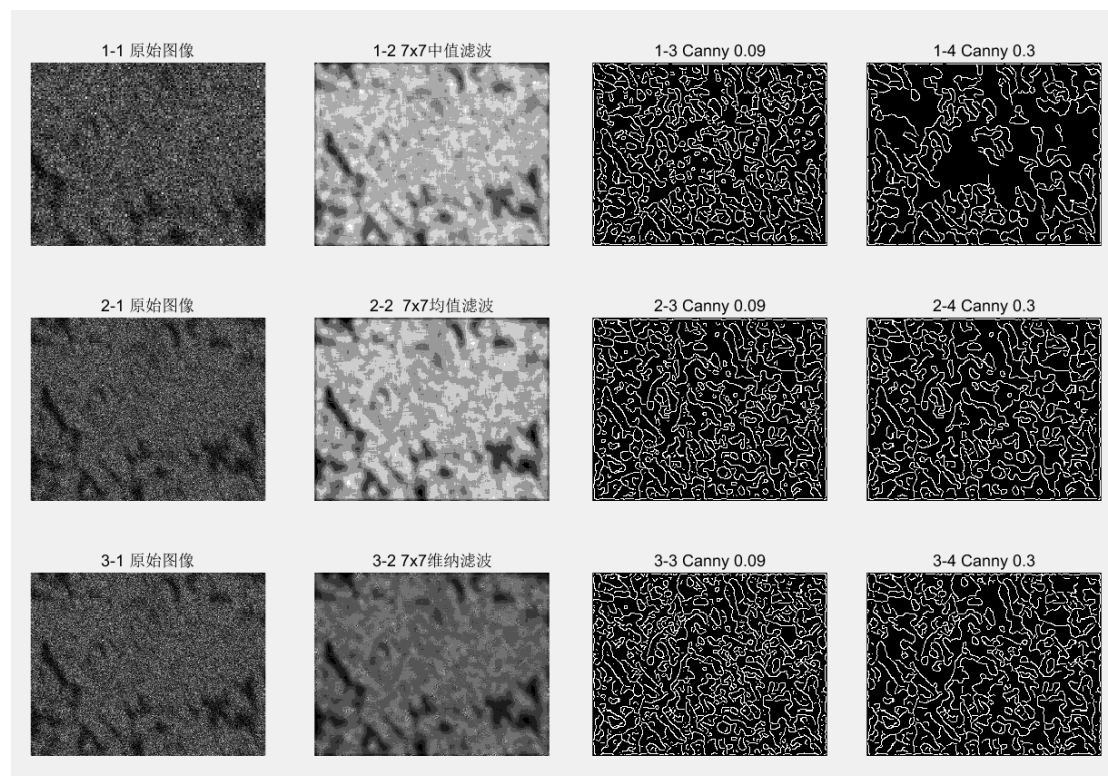


图 12 不同滤波与边缘检测效果图

通过观察 Canny 算子结果可以发现，其中当 Canny 算子的阈值为 0.3 时，中值滤波的图像已经发生的严重的破损，图像的特征被大幅度破坏，故中指滤波不利于后处理的保真。针对 SEM 电镜扫描所得到的高粗糙度图像，均值滤波与维纳滤波滤波的效果都不是很理想，在保留图像的整体边缘纹理特征的同时，但是只能有限的缩减局部小纹理的影响。但是根据直接对原图像直接进行 Canny 算法分析的图像效果，滤波处理又是必不可少的，故最终采用算法复杂度较低的均值滤波。调整 Canny 算子中的阈值，对比阈值为 0.09 与 0.3 的效果，在阈值为 0.3 的图中，相比较于阈值为 0.09 的图，整体特征得到了有效保留，轮廓线虽然发生了破损，但是破碎面较少，细碎的部位得到有效较低。在扫描步幅增大（算法复杂度降低）的同时，问题得到有效的改善，故最终选取 Canny 算子阈值为 0.3 进行后续操作。

#### 4.1.7 表面复杂度特征

表面复杂度也是衡量球团矿品质的一个重要指标。球团矿作为一种各项异性的矿物，在不同的方向上其物质组成呈现出非常大差异。而不同品质的球团矿在物质组成上的差异更是巨大。这种物质组成的差异所带来的结果便是矿物内在结构的差异，在 SEM 电镜扫描图上所表现出来的便是表面结构的差异性，即表面复杂度。

注意到，表面越是粗糙，表面上的分形、纹理的变化也就越多。考虑到矿相表面的图案均是由非光滑的线条组成。分形、纹理的变化越多，线的交点也就越多，故可以便采用角点的个数来表征表面的复杂程度。

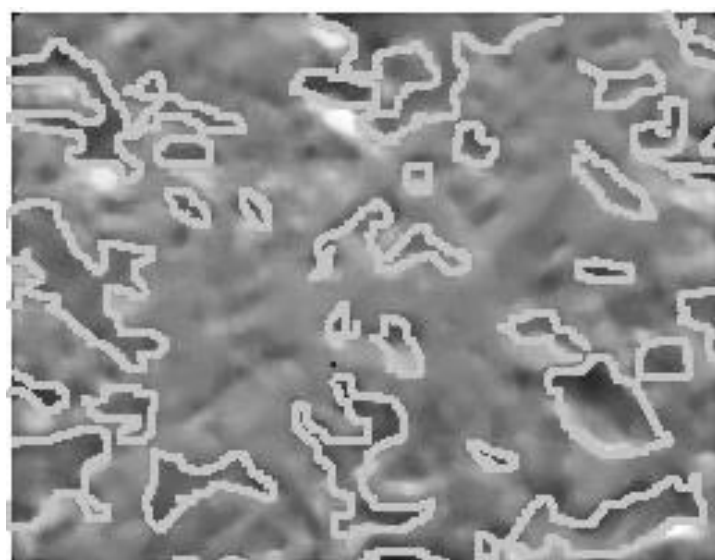


图 13 边缘渗透粗检测

为了使得计算机可以检测出图像中的角点，采用如下方法：在图像上创建一个固定大小的窗口，然后将这一个窗口在图像上在任意方向上进行移动，将滑动前与滑动后窗口内的像素灰度进行比较，若在任意方向上的滑动都会导致窗口中像素灰度较大的变化，那么就认定该窗口所在位置存在角点。  
窗口中像素的灰度变化描述：

$$E(u, v) = \sum w(x, y) [I(x + u)(y + v) - I(x, y)]^2 \quad (7)$$

最终计算机在图像中识别出的角点位置如图 14 所示。

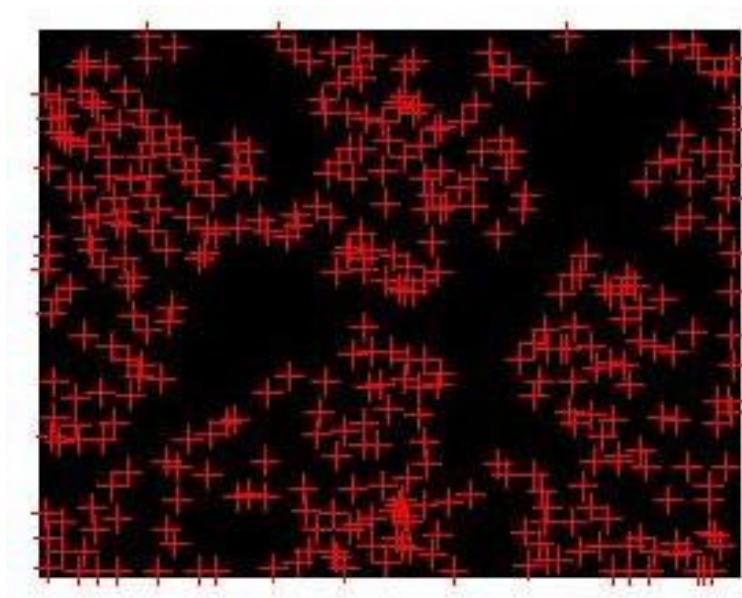


图 14 角点检测

可以得出，计算机识别出的交点与肉眼见到的基本吻合。因此最终确定采用角点数量作为表面复杂度的表征量，结果如表 4-3 所示。

表 4-3 角点检测结果

部位	0.6	0.8	1	1.2
中间部分	477	344	260	234
四分之一处	458	273	168	128

边缘部位由于其与外界接触较多，表面受外界影响较大，角点个数并不能表征物质的内部结构，故边缘部位的表面角点需要舍去。

#### 4.1.8 聚集度特征

不同物质的聚集程度是矿相非常重要的一个特征。结合以上分析，首先考虑将图像进行轮廓提取，然后得出轮廓的面积平均值来表征不同物质的聚集程度。结果如表所示：

表 4-4 所得图片聚合度

图片标号	0.6	0.8	1	1.2
1.PNG	45.68116	45.56667	41.91566	38.57333
2.PNG	42.71223	47.71212	43.54348	35.51111
3.PNG	45.20988	41.26761	41.0137	41.91667
4.PNG	19.5	24.9	26.39535	39.85507

5.PNG	18	26.45946	25.68085	22
6.PNG	18.02041	15.59091	22.23288	22.38636
7.PNG	42.63866	41.52336	52.93103	54.28571
8.PNG	37.26126	32.9021	41.01031	48.97403
9.PNG	44.64394	51.20168	48.63107	40.77419
10.PNG	14.25	59.55294	21.39286	23.05882
11.PNG	23.61538	42.42105	16.74286	34.88889
12.PNG	52.32143	0	36	40.11111
13.PNG	46.64322	33.22383	37.69753	40.00741
14.PNG	43.47826	39.67914	34.42308	37.42361
15.PNG	41.07438	42.74737	37.69951	42.81988
16.PNG	25.63158	12.5	24.69444	40.37143
17.PNG	35.74242	9	23.95652	34.30769
18.PNG	33.8	40.19608	28.33333	28.41667
19.PNG	39.08482	42.13472	47.49515	34.36496
20.PNG	41.96172	51.68831	47.4715	44.97059
21.PNG	55.48193	51.5509	54.94675	51.85405
22.PNG	40.55245	55.38462	42.82895	93
23.PNG	36.44355	30.07432	36.11458	41.25
24.PNG	54.68182	56.69792	35.91124	48.87692

经过比对发现，物质的聚集程度与碱度的相关性非常弱。对原始图片以及各元素的图像进行分析比对，各元素图像的像素点的灰度的差异性很大一部分是由切片表面的不规整所致。所以通过对原始图像的分析以及 SEM 电镜的成像原理的理解，将所得到的各种元素的图像进行重构。重构后的结果显示出若为平整切面，其表面的元素分布也应该是完全均匀的。所以整个表面的聚集程度应该是相同的，所以最终剔除了本特征。

#### 4.1.9 阶分比值特征

考察Ca元素的电镜图像与Si元素的电镜图像，如图 15 所示。原图像的整体特征并不明显，故利用 $5 \times 5$ 阶的均值滤波对原图进行处理操作。可以发现滤波之后的结果通过肉眼观察是高度相似的。



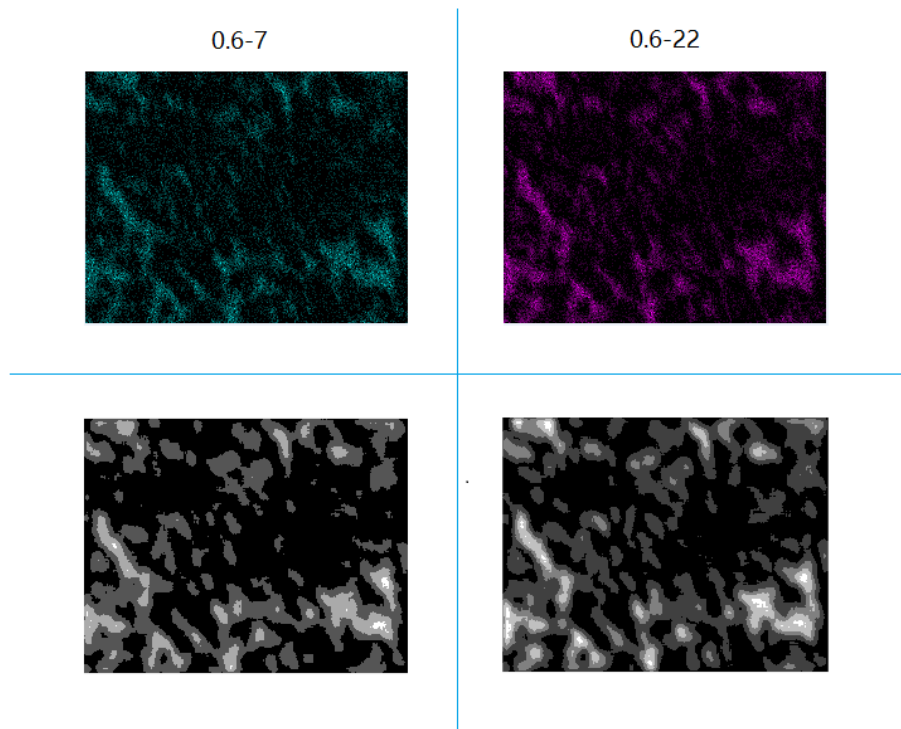


图 15 Ca元素的电镜图像与Si元素的电镜图像对比

但是肉眼观察显然对机器来说是不严谨的，故本文通过比较二者的灰度矩阵关联性来具体说明这一点，公式如下：

$$r(A, B) = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{(\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2)} \sqrt{(\sum_m \sum_n (B_{mn} - \bar{B})^2)}} \quad (8)$$

其中A,B为待处理矩阵， $\bar{A} = \frac{\sum_m \sum_n A_{mn}}{mn}$ ， $\bar{B} = \frac{\sum_m \sum_n B_{mn}}{mn}$ 。

将 0.6-7 图所对应的滤波图像灰度矩阵视为A，0.6-22 图所对应的录播图像灰度灰度矩阵视为B，求得：

$$r = 0.8275$$

可以认定两个灰度矩阵的相关性较高，既整体特征相对近似。

为了避免均值滤波阶数对灰度矩阵相关性的影响，本文分别采用 $3 \times 3$ 阶、 $4 \times 4$ 阶、 $5 \times 5$ 阶、 $6 \times 6$ 阶、 $7 \times 7$ 阶进行对照，最终求得如表 4-5 所示。

表 4-5 滤波阶数分析

均值滤波阶数	r	基于 $5 \times 5$ 阶的波动比
<b><math>3 \times 3</math>阶</b>	0.7464	8.1%
<b><math>4 \times 4</math>阶</b>	0.8024	1.2%
<b><math>5 \times 5</math>阶</b>	0.8121	0%
<b><math>6 \times 6</math>阶</b>	0.8213	1.1%
<b><math>7 \times 7</math>阶</b>	0.8275	1.9%

在确认了相关性之后，合理的选择滤波阶数也是需要关注的问题之一，做出随着阶数（2-10）增长，r 的变化曲线，如图 16 所示。

图像中，从 2 阶到 4 阶小波变化后 r 的值有了相对客观的增长，且近似为线性，这是因为在这一过程中，局部的小差异被逐步弱化，整体相似被逐步凸显，类比于材料力学的研究，本文称之为线性阶段；在 4 阶到 7 的过程中，增长速度逐渐放缓，原因是局部的小差异达到了某种饱和状态，本文称之为屈服阶段；在 7 阶以上，开始呈现出下降趋势，这是由于整体趋势在高阶滤波下也开始发生破坏，本文称之为破坏阶段。综上，为了较好的反应整体特征之间的关联，应选择屈服阶段的阶数，即 4-7 阶，但是不容忽视的是图像本身之间确实是存在差异的，选择 4-5 阶对于进一步的分析更加有利。

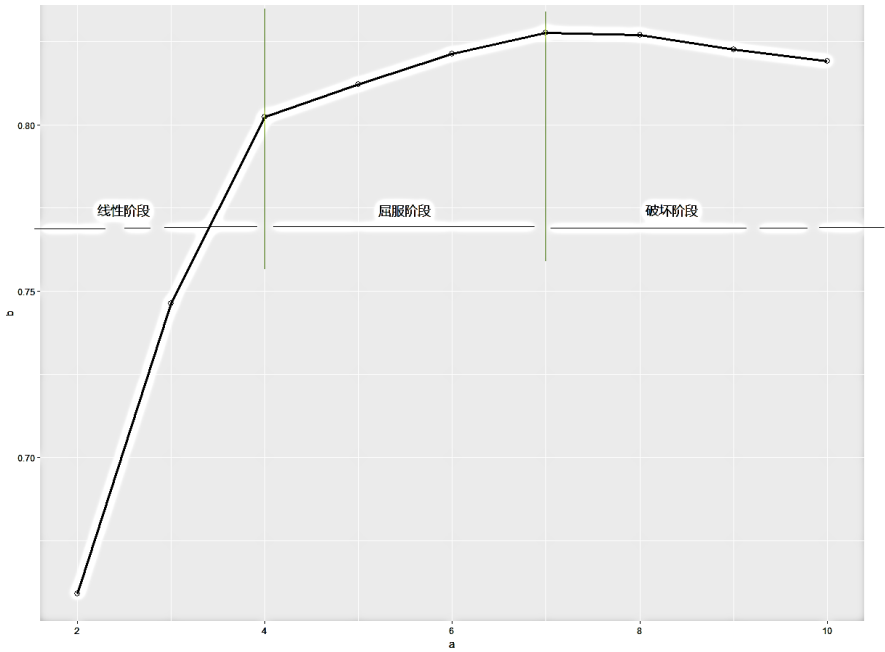


图 16 滤波效果-阶数

故由于形状相近（分布区域面积相似），可以选取Ca元素和Si元素电镜图像灰度的阶分比值作为参考量（通过取比值可以消除区域面积的影响）。以中心部位不同碱度为例，统计出 $\frac{Ca_{gs \geq i}}{Si_{gs \geq i}}$ 的值，如表 4-6 所示。

表 4-6 同一位置 $\frac{Ca_{gs \geq i}}{Si_{gs \geq i}}$ 值

	0.6	0.8	1.0	1.2
$i \geq 1$	0.748438	0.861708	0.955021	1.169693
$i \geq 2$	0.629579	0.784909	0.928631	1.191976
$i \geq 3$	0.494049	0.693902	0.89024	1.207293
$i \geq 4$	0.368738	0.602467	0.853796	1.224914
$i \geq 5$	0.286603	0.506049	0.814734	1.267364

同理，Fe元素和O元素整体轮廓是相近的（相关系数 0.8-0.9，近似程度相

当良好)，以相同碱度不同位置为例，统计出 $\frac{Fe_{gs \geq i}}{O_{gs \geq i}}$ 的值，如表 4-7 所示

4-7 同一碱度下 $\frac{Fe_{gs \geq i}}{O_{gs \geq i}}$ 值

	中心处	1/4 处	边缘处
$i \geq 1$	2.104683	2.058602	2.087633
$i \geq 2$	2.40372	2.344938	2.258273
$i \geq 3$	3.264771	3.096983	2.777115
$i \geq 4$	5.02441	4.65902	3.849894
$i \geq 5$	8.632218	7.648238	5.845311

同样，由于Mg元素和Si元素的相近（相关系数 0.4-0.7，相对近似程度并不良好），以中心部位不同碱度为例，统计出 $\frac{Mg_{gs \geq i}}{Si_{gs \geq i}}$ 的值，如表 4-8 所示。

表 4-8 同一位置 $\frac{Mg_{gs \geq i}}{Si_{gs \geq i}}$ 值

	0.6	0.8	1.0	1.2
$i \geq 1$	0.264755	0.243578	0.247703	0.22543
$i \geq 2$	0.099246	0.058638	0.086731	0.120964
$i \geq 3$	0.032038	0.009049	0.023965	0.059502
$i \geq 4$	0.007839	0.000531	0.00762	0.025999
$i \geq 5$	0.001777	0	0.002447	0.009717

## 4.2 问题二模型建立与解答

### 4.2.1 主特征寻取

对于工业生产的材料，其外部往往会因为加工流程存在不足、储存以及进一步处理而导致性质的改变，故往往选取工业材料中心部分的属性来表征材料的整体属性，由于本文假设不同碱度的球团矿是由相同的加工工艺生产而成的，故直接对不同碱度下的中心处区域图像进行分析。

通过文献可知碱度的定义，如表 4-9 所示。

表 4-9 碱度的三种定义

二元碱度	$\frac{CaO}{SiO_2}$
三元碱度	$\frac{CaO + MgO}{SiO_2}$
四元碱度	$\frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3}$

其中二元碱度和三元碱度都可以在阶分比值特征中得到刻画，考察 $\frac{CaO}{SiO_2}$ 、 $\frac{CaO+MgO}{SiO_2}$ 、 $\frac{MgO}{SiO_2}$ 的阶分比值特征随碱度的变化，如图 17 所示。

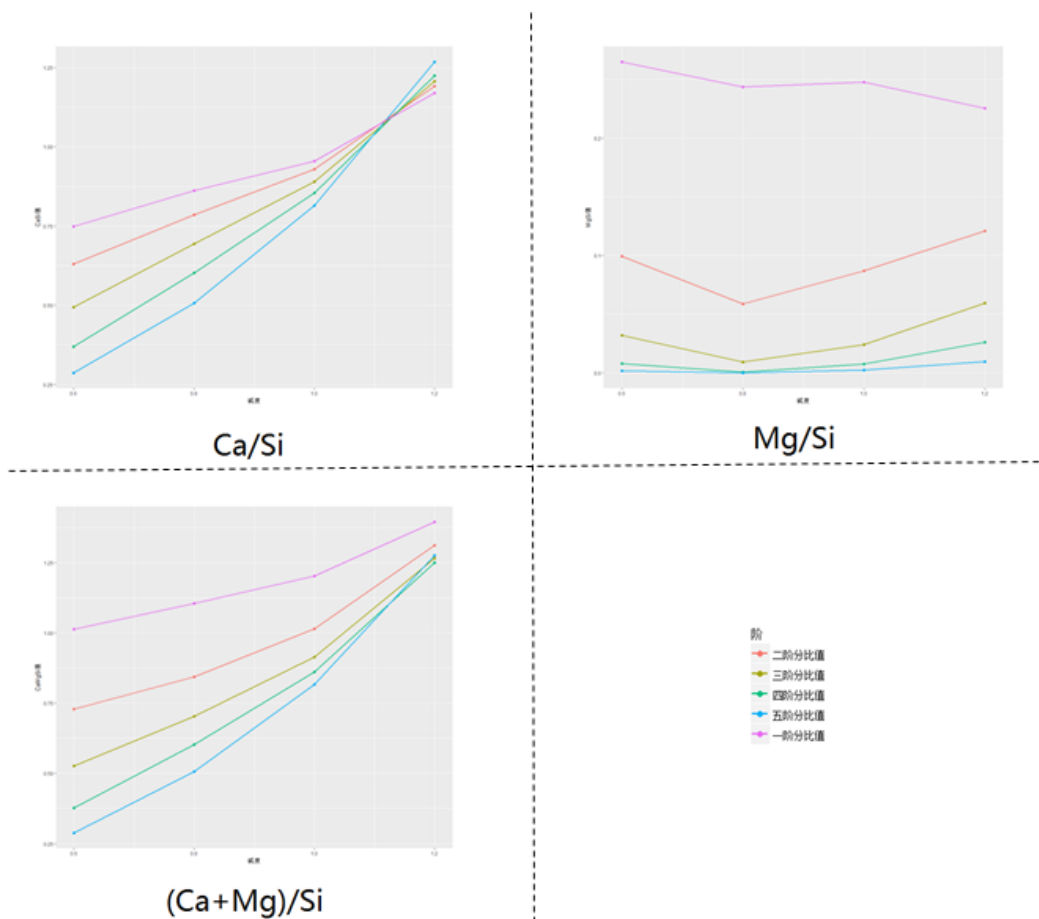


图 17  $\frac{CaO}{SiO_2}$ 、 $\frac{CaO+MgO}{SiO_2}$ 、 $\frac{MgO}{SiO_2}$ 与碱度的关系

可以发现， $\frac{CaO}{SiO_2}$ 、 $\frac{CaO+MgO}{SiO_2}$ 随着碱度的增大都在增大，而 $\frac{MgO}{SiO_2}$ 的变化波动性强，趋势不明显。分析问题一的其他特征，其随着碱度的增高趋势同样不明显，如图 18（1）所示，与碱度的关系不强，故完全可以利用 $\frac{CaO}{SiO_2}$ 来推断碱度。

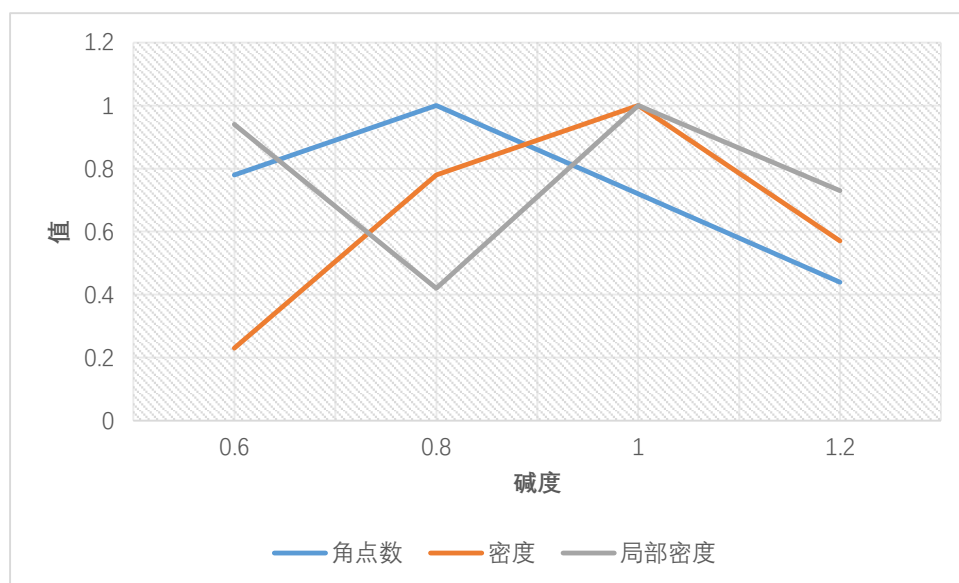


图 18（1）其他特征与碱度的关系

注：为了在同一张图里表示，每一类数据都进行了归一化处理

#### 4.2.2 判断模型的建立

采用多尺度滑线法来对问题进行回归，即将一到五阶相邻两阶分为一组，共五组，每组分别对碱度进行回归，结果如表 4-9 所示。

表 4-9 多尺度滑线回归

	系数 1	系数 2	常数	R <sup>2</sup>	显著性
1-2 阶	-4.476	4.409	1.183	0.996	0.037
2-3 阶	-4.768	4.592	1.342	0.996	0.038
3-4 阶	-2.754	2.984	0.887	0.970	0.100
4-5 阶	1.849	-0.992	0.203	0.984	0.072

给定一组未知碱度中心部位的图像，同样求得五个特征数据 $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$ 、 $b_4$ 、 $b_5$ ，依照将其编为四组 $[b_1, b_2]$ 、 $[b_2, b_3]$ 、 $[b_3, b_4]$ 、 $[b_4, b_5]$ ，分别按照对于的回归方程，得到回归值 $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_3$ 、 $c_4$ 、 $c_5$ ，进一步计算和各种碱度之间的距离，距离公式为：

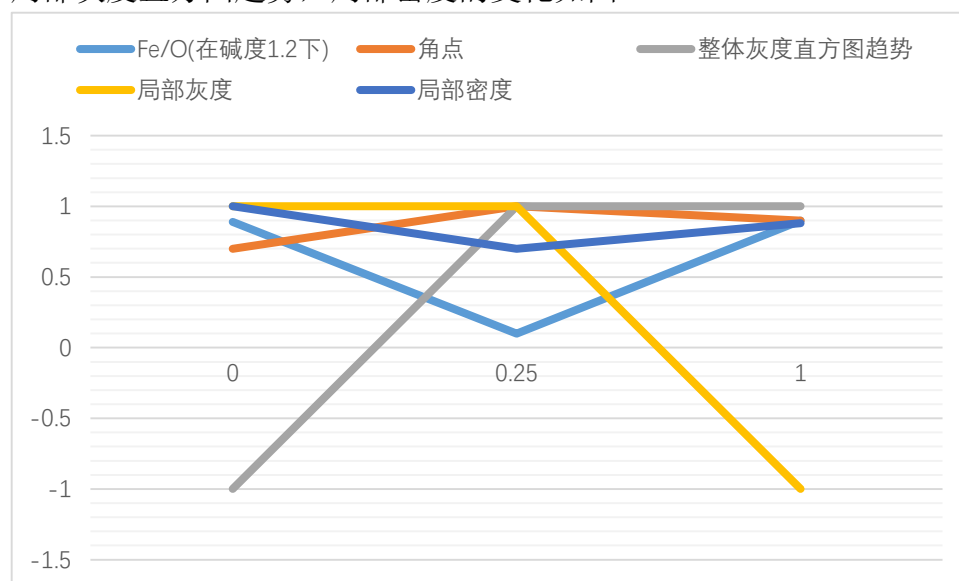
$$L_t = \sum (c_i - t)^2 \quad (9)$$

其中 $t = 0.6$ 、 $0.8$ 、 $1.0$ 、 $1.2$

则 $\min\{L_t\}$ 所对应的 $t$ 就是要求的碱度。

#### 4.3 问题三模型建立与解答

对同一监督下不同位置进行分析，其中 Fe/O、角点、整体灰度直方图趋势、局部灰度直方图趋势，局部密度的变化如图。



18 (2) 其他特征与位置的关系

注：1. 为了将数据趋势在同一图中反映出来，其中数据经过归一化处理

2. 其中对于趋势的描述中，+1 为增趋势，-1 为减趋势

可以得出，这些关系与位置的相关趋势不明显。

通过对各部位的各种图像的观察，可以发现，元素的分布图像与原始图像的相关度非常高。所以只要将原始图像的不同位置区分出来，再利用元素的分布图像与原始图像的相关性，就可以将所有元素的分布图像判别出所在区域。所以下面本文的重点就是判别出原始图像的所在位置。

根据观察，发现越是中心位置，其受外界影响越小，内部的物质分布相对而言越是均匀，换言之，其内部的纹理越是不突出，反观边缘部位，其受外部因素影响（挤压）较大，切片已经呈现出肉眼可识别出的经过挤压而形成的条状纹理。

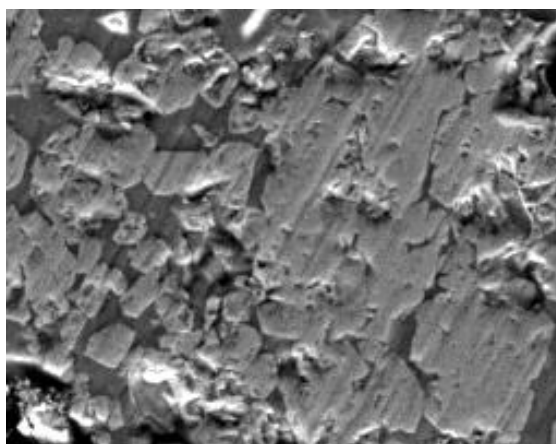


图 19 所给附件内部粗糙度示意

结合其他的特征与位置并不明显关联，可以决定将表征纹理的特征作为判别不同部位的主要特征。

在黑白的矿相原始图像中，物体表面的纹理指的物体表面呈现凹凸不平的沟纹，对应到灰度图上就是复杂线条的多少，即线条的多变性如何，通过本文对小像素块的研究，可以发现，对角元素之和较大的那一个对角的元素之和（下文中以对角元素较大的值来代替）与总元素平均值的比值可以表征小像素块内线条变化趋势。

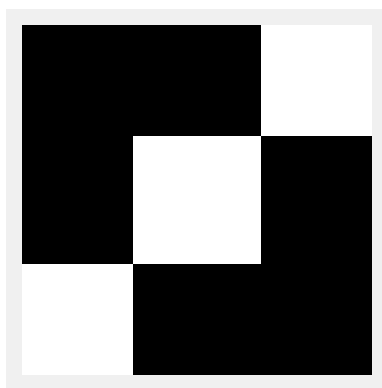
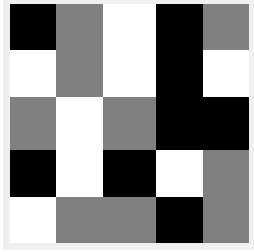


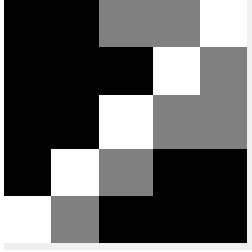
图 20 小像素方块示例

整个图像内小像素块中对角元素较大的值与总元素平均值的比值的总和就可以表征整幅图像的复杂线条的多少，即纹理的复杂程度。

以两个图像块为例，第一个图像块明显存在对角方向上的纹理，而第二幅图就非常杂乱，并无纹理可言。两个求对角元素之和与总元素平均值的比值，结果如下：



第一幅图



第二幅图

	第一幅图	第二幅图
对角元素之和与总元素平均值的比值	2.16	5.2941

显然，对角元素之和较大值与总元素平均值的比值可以非常好的体现出图像块中的纹理特征。

在实际操作中，用 $3 \times 3$ 的小滑块对图像进行遍历，求出图像所有滑块的对角元素之和较大的值与总元素平均值的比值的总和的和作为整幅图像的纹理复杂程度的表征量。

最终得出来的结果如表 4-10 所示。

表 4-10 小滑块遍历结果

	0.6	0.8	1	1.2
中心	6	10	9	12
四分之一处	143	78	74	26
边缘	1020	138	218	556

可以发现，在不同部位的矿相，其对角元素之和较大值与总元素平均值的比值的差异非常大。且满足中心区域 $<1/4$ 区域 $<$ 边缘的大小关系。所以本文将其作为表征团矿部位的矿相主特征。

#### 4.4 问题四模型建立与解答

获取附件五的图像，首先对图像进行观察，可以发现，虽然待辨别的图样与先前已知的图像均为 PNG 格式，但是其大小却是先前已知的图样大小的两倍。再使用 MATLAB 导入，其为彩色三通道图像，考虑到第三问中的规律是对灰度矩阵图像的纹理进行分析的，我们就将待判别图像转化为灰度图像。

进一步想到的是直接使用 MATLAB 自带的 `rgb2gray` 函数，但是其恢复效果并不理想，如图 21 所示。



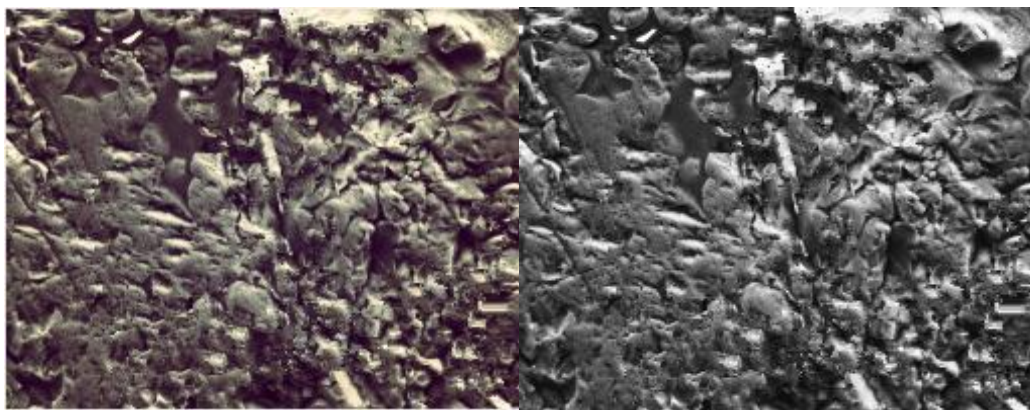


图 21 MATLAB 自带函数灰度化效果

在彩色图像中体现出的纹理与周围环境的对比度在 `rgb2gray` 得到的灰度图像中被大大削弱。在查询了相关资料之后，可以获知 `rgb2gray` 函数的原理为  $I=0.2989R+0.5870G+0.1140B$ ，很显然，这样直接将 RGB 空间直接投影得到灰度图像肯定会造成部分信息的缺失，在本图像中即为纹理与周围环境的对比度大大降低。为了弥补这种损失，我们采用了直方图均衡化，将 `rgb2gray` 函数得到的图像对比度大大增强，效果如图 22 所示。

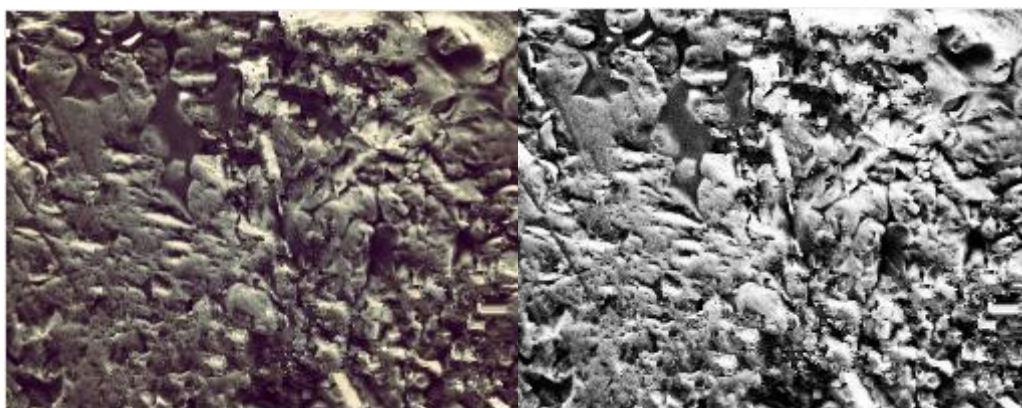


图 22 直方图均衡化效果图

这样所得到的图像虽然整体灰度值较大，但是其纹理对比度与原图相当，这样便于进一步作出准确的判定。首先确定 a, b, c 三个图像所在的位置，计算出 a, b, c 三个图的对角元素之和的较大值与总元素的平均值的比值，如表 4-11 所示。

表 4-11 附件五计算值

	A	B	C
对角元素之和的较大值与总元素的平均值的比值	2313	3443	3270

结合第三问的结论，可以得出结论，b 为边缘区域，a 为中心区域，c 为四分之一区域。同时，可以发现，其值远大于先前给的样本的比值。这是附件所给图

像进行了直方图均衡化所致，但是这并不影响对位置的判断，因为 a, b, c 三个图像都进行了直方图均衡化，而只需要得到他们之间的相对大小关系，故其绝对大小便并不重要。

确定了中心区域之后，对中心区域进行分析处理进一步通过以上回归对碱度进行判断，得到最终的距离 $l$ 如表 4-12 所示。

表 4-12      碱度距离计算

	0.6	0.8	1.0	1.2
$l$	2.42	0.68	0.09	0.76

因为其到碱度 1.0 的距离要远远小于其他三项，故最终确认碱度为 1.0，最终结果如表 4-13 所示。

4-13      最终结果

碱度 1.0			
	中心部位	1/4 部位	边缘部位
原始图像	a	c	b
铝	f	d	e
钙	h	g	i
碳	j	k	l
铁	m	o	n
镁	q	r	p
氧	s	t	u
硅	v	x	w

## 5 模型的评价与展望

### 5.1 模型的优点

在求解碱度的过程中，本文最终所采用的判定算法，是基于二元运算（两者的比）来确定最终的碱度，并且在小样本的情况下，利用滑动回归的方式人为的制造了较多样本，通过增加样本的数量，进一步缩小的模型的误差，原本的趋势特征被极好的运用在了碱度判断之中。

在求解位置的过程中，通过直方图均衡化后，将一些小的次要的纹理特征纹理特征隐含化（并非像滤波将其尽可能的消除），然后用 $3 \times 3$ 的方差矩阵遍历图像的方式来刻画整个图像的粗糙程度，可靠的刻画了图形的特征。

本文最终所采取的整体计算算法，算法复杂度较低，可以较为快速的求解问题，可以很好地兼顾速度和准确性。

### 5.2 模型的缺点

在本题的低样本的情况下，部分理论只能建立于分析与推测，没有足够的实例来支持，这会使使用者对模型的信服程度有所降低。但是假如能提供更多的样本数量，则完全可克服这一缺点

### 5.3 模型的展望

若能获得较多的样本数（每种碱度 10 组以上），对于系数以及阈值的确定，则可以不采用不贴合实际线性回归的方式，对于较少样本可以使用 SVM(支持向量机)算法来训练得出，大样本可以利用神经网络训练得出。这样，可以大大提升模型的说服力。

## 6 模型的应用

现有的球团矿的碱度检测多停留在化学检验层次上，但是由于化学试剂的成本以及反应时间成本等，化学检验虽然是最可靠的方式，但是多带来的成本确实超出预期的。

对于一条生产线上所生产出的球团矿进行质量把控，通过抽取样本，消耗大量的人力物力和时间来进行检查，虽然可靠，但效率上不如通过加大抽取样本的密度，用这种相对简单快速的方式来进行检验。

若某产线上有5%的球团矿是不合格的产品，化学方法所能达到的最大抽检密度为1%，准确率为100%，于此同时，图像检测的准确率为90%，若一个次品被抽到的概率是相同的，则图像检测的抽检密度为 $x = 1\% \times \frac{0.2 \times 90\% + 0.8 \times 10\%}{0.2} = 1.3\%$ ，故只需要增大到1.3%即可，所带来的消耗要小的多（事实上经过充分的训练，图像检测的准确率要远超过90%）

于此同时应该注意到，这种检测方式不仅仅适用于球团矿，根据类似的推理、训练与求解，可以推广到更多的场景中，应用的前景极佳。

## 7 引用

i. [1]Z. X. K. Yeap S. Sim C. P. Tso "Signal-to-noise ratio estimation technique for SEM image using linear regression" , IEEE International Conference on Robotics Automation and Sciences(ICORAS), 2016.

i. [2]K. S. Sim M. E. Kiani M. E. Nia C. P. Tso "Signal-to-noise ratio Estimation on SEM Images using Cubic Spline Interpolation with Savitzky-Golay Smoothing" , Journal of microscopy, vol. 253 no. 1 pp. 1-11 2014.

i. [3] K. S. Sim V. The M. E. Nia "Adaptive Noise Wiener Filter for Scanning Electron Microscope Imaging System" , Scanning, vol. 38 no. 2 pp. 148-163 2016.

i. [4]任爱华, 孙娜. 计算机图像处理技术的应用研究[J]. 中国电子商务,2012

i. [5]杨泽,甘新基,李建永. 机器视觉图像边缘检测技术及其工程应用[J]. 黑龙江科技信息,2017,(8)

i. [6] 秦长泽.球团颗粒粒度检测系统的研究[D].武汉科技大学,2015

i. [7] 佚名. 基于小波变换的球团矿图像边缘检测[J]. 烧结球团,2005

i. [8] 汪灿,刘艳敏,祝艳波. SEM 照片孔隙参数提取技术研究[J]. 安全与环境工程,2011

i. [9] 宁吉,张卫. 基于 Matlab 的微观分形图像处理[J]. 计算机与现代化,2013

i. [10] 连会青,冉伟,夏向学. SEM 图像处理与微观信息提取技术研究[J]. 煤炭技术,2015

## 8 附录

软件：MATLAB R2017a

### 1.滤波及边缘检测代码

```
S=imread('E:\BaiduNetdiskDownload\2018 年 MathorCup 数学建模挑战赛赛题\2018 年
MathorCup 数学建模挑战赛 A 题\2018 年 MathorCup 数学建模挑战赛 A 题附件\附件 1\0.6-
13.png');
subplot(3,4,1),imshow(S,[]);
title('1-1 原始图像');
m1=medfilt2(S,[7,7]);
subplot(3,4,2),imshow(m1,[]);
title('1-2 7x7 中值滤波');
lenna = m1;
lenna_1 = edge(lenna,'canny',0.09);
subplot(3,4,3)
imshow(lenna_1,[]);title('1-3 Canny 0.09')
lenna_2 = edge(lenna,'canny',0.3);
subplot(3,4,4)
imshow(lenna_2,[]);title('1-4 Canny 0.3')
S=imread('E:\BaiduNetdiskDownload\2018 年 MathorCup 数学建模挑战赛赛题\2018 年
MathorCup 数学建模挑战赛 A 题\2018 年 MathorCup 数学建模挑战赛 A 题附件\附件 1\0.6-
7.png');
subplot(2,2,1)
imshow(S,[])
A=fspecial('average',[9,9]);%3x3 均值滤波
m1=imfilter(S,A);
lenna1 = m1;
lenna_1 = edge(lenna1,'canny',0.3);
subplot(2,2,2)
imshow(lenna_1,[]);title('2-4 Canny 0.3')
S=imread('E:\BaiduNetdiskDownload\2018 年 MathorCup 数学建模挑战赛赛题\2018 年
MathorCup 数学建模挑战赛 A 题\2018 年 MathorCup 数学建模挑战赛 A 题附件\附件 1\0.6-
22.png');
subplot(2,2,3)
imshow(S,[])
A=fspecial('average',[9,9]);%3x3 均值滤波
m2=imfilter(S,A);
lenna2 = m2;
lenna_2 = edge(lenna2,'canny',0.3);
subplot(2,2,4)
imshow(lenna_2,[]);title('2-4 Canny 0.3')
S=imread('E:\BaiduNetdiskDownload\2018 年 MathorCup 数学建模挑战赛赛题\2018 年
MathorCup 数学建模挑战赛 A 题\2018 年 MathorCup 数学建模挑战赛 A 题附件\附件 1\0.6-
```

```

13.png');
subplot(3,4,9),imshow(S,[]);
title('3-1 原始图像');
m1=wiener2(S, [7 7]);%3x3 自适应维纳滤波
subplot(3,4,10),imshow(m1,[]);
title('3-2 7x7 维纳滤波');
lenna = m1;
lenna_1 = edge(lenna,'canny',0.09);
subplot(3,4,11)
imshow(lenna_1,[]);title('3-3 Canny 0.09')
lenna_2 = edge(lenna,'canny',0.3);
subplot(3,4,12)
imshow(lenna_2,[]);title('3-4 Canny 0.3')

```

## 2.滤波阶数效果检测代码

```

lenna = imread('E:\BaiduNetdiskDownload\2018 年 MathorCup 数学建模挑战赛赛题\2018
年 MathorCup 数学建模挑战赛 A 题\2018 年 MathorCup 数学建模挑战赛 A 题附件\附件
2\0.8-3.png');
lenna=K2;
subplot(2,2,1)
imshow(lenna,[]);title('原图')
lenna_1 = edge(lenna,'canny',0.09);
subplot(2,2,2)
imshow(lenna_1,[]);title('Canny 0.09')
lenna_2 = edge(lenna,'canny',0.15);
subplot(2,2,3)
imshow(lenna_2,[]);title('Canny 0.15')
lenna_3 = edge(lenna,'canny',0.3);
subplot(2,2,4)
imshow(lenna_3,[]);title('Canny')
J = imread('E:\BaiduNetdiskDownload\2018 年 MathorCup 数学建模挑战赛赛题\2018 年
MathorCup 数学建模挑战赛 A 题\2018 年 MathorCup 数学建模挑战赛 A 题附件\附件 2\0.8-
3.png');
subplot(2,2,1),imshow(J)
title('原图像')
K1=filter2(fspecial('average',3),J)/255;%应用 3*3 邻域窗口法
subplot(2,2,2),imshow(K1)
title('3x3 窗的邻域平均滤波图像')
K2=filter2(fspecial('average',7),J)/255;%应用 7*7 邻域窗口法
subplot(2,2,3),imshow(K2)
title('7x7 窗的邻域平均滤波图像')

```

## 3.灰度直方图绘制

```

f = imread('E:\BaiduNetdiskDownload\2018 年 MathorCup 数学建模挑战赛赛题\2018 年
MathorCup 数学建模挑战赛 A 题\2018 年 MathorCup 数学建模挑战赛 A 题附件\附件
5\m.png');

```

```

h = imhist(f);
h1 = h(1:1:256);
horz = 1:1:256;
bar(horz-1,h1);
axis([0 10 0 40000]);
set(gca,'xtick',0:1:10);
set(gca,'ytick',0:2000:40000);
title('直方图');
xlabel('x 轴');
ylabel('y 轴');
f = imread('E:\BaiduNetdiskDownload\2018 年 MathorCup 数学建模挑战赛赛题\2018 年
MathorCup 数学建模挑战赛 A 题\2018 年 MathorCup 数学建模挑战赛 A 题附件\附件
5\m.png');
h = imhist(f);

```

#### 4.滤波后验证矩阵相关性代码

```

S=imread('E:\BaiduNetdiskDownload\2018 年 MathorCup 数学建模挑战赛赛题\2018 年
MathorCup 数学建模挑战赛 A 题\2018 年 MathorCup 数学建模挑战赛 A 题附件\附件 1\0.6-
7.png');
subplot(321)
imshow(S,[])
title('0.6-7 原图')
A=fspecial('average',[10,10]);%3x3 均值滤波
m1=imfilter(S,A);
subplot(323)
imshow(m1,[])
title('0.6-7 滤波图')
lenna1 = m1;
lenna_1 = edge(lenna1,'canny',0.3);
subplot(325)
imshow(lenna_1,[]);title('2-4 Canny 0.3')
title('0.6-7 边缘检测图')
S=imread('E:\BaiduNetdiskDownload\2018 年 MathorCup 数学建模挑战赛赛题\2018 年
MathorCup 数学建模挑战赛 A 题\2018 年 MathorCup 数学建模挑战赛 A 题附件\附件 1\0.6-
22.png');
subplot(322)
imshow(S,[])
title('0.6-22 原图')
A=fspecial('average',[10,10]);%3x3 均值滤波
m2=imfilter(S,A);
lenna2 = m2;
subplot(324)
imshow(m2,[])
title('0.6-22 滤波图')
lenna_2 = edge(lenna2,'canny',0.3);

```

```

subplot(326)
imshow(lenna_2,[]);title('2-4 Canny 0.3')
title('0.6-7 边缘检测图')
X1 = lenna1;
X1=double(X1);
a=max(X1);
b=max(a);
Y1=X1./b;
Y1=Y1;
X2 = lenna2;
X2=double(X2);
a=max(X2);
b=max(a);
Y2=X2./b;
r1 = corr2(Y1,Y2)

```

### 5.纹理分析

```

T=[];
imgPath = 'C:\Users\dell\Desktop\456\hhh\h5\';
imgDir = dir([imgPath '*.png']);
for i = 1:length(imgDir)
    A= imread([imgPath imgDir(i).name]);
    [m,n]=size(A);
    num1=3;
    num2=3;
    Q=[];
    parfor k=1:m-3
        for kk=1:n-3
            B=A(k:k+num1,kk:kk+num2);
            b=max(B(1)+B(5)+B(9),B(3)+B(5)+B(7));
            if sum(sum(B))==0
                b=0;
            else
                b=9*b/(sum(sum(B)));
            end
            Q=[Q,b];
        end
    end
    Q=double(Q);
    q=sum(sum(Q))
    T=[T,q];
end
T=T';

```

### 6.第三问代码

```

A=[];

```



```

B=[];
C=[];
imgPath = 'C:\Users\dell\Desktop\456\hhh\h1\';
imgDir = dir([imgPath '*.png']);
for i = 1:length(imgDir)
    X= imread([imgPath imgDir(i).name]);
X=medfilt2(X,[7,7]);
imshow(X,[]);
BW1 = edge(X,'canny',0.3);
figure,imshow(BW1);
s=regionprops(BW1,'Area')
result=[s.Area]
c=mean(result);
B=[B,c]
[l,m]=size(s)
A=[A,l];
X=double(BW1);
f=X;
ori_im = double(f) / 255;
fx = [-2 -1 0 1 2];
lx = filter2(fx, ori_im);
% fy = [5 8 5;0 0 0;-5 -8 -5];
fy = [-2; -1; 0; 1; 2];
ly = filter2(fy, ori_im);
lx2 = lx.^ 2;
ly2 = ly.^ 2;
lxy = lx.* ly;
clear lx;
clear ly;
h= fspecial('gaussian', [7 7], 2);
lx2 = filter2(h,lx2);
ly2 = filter2(h,ly2);
lxy = filter2(h,lxy);
height = size(ori_im, 1);
width = size(ori_im, 2);
result = zeros(height, width);
R = zeros(height, width);
Rmax = 0;
k = 0.06;
for i = 1 : height
    for j = 1 : width
        M = [lx2(i, j) lxy(i, j); lxy(i, j) ly2(i, j)];
        R(i,j) = det(M) - k * (trace(M)) ^ 2;
        if R(i,j) > Rmax

```

```

        Rmax = R(i, j);
    end;
end;
end;
T = 0.1 * Rmax;点
cnt = 0;
for i = 2 : height-1
    for j = 2 : width-1
        if (R(i, j) > T && R(i, j) > R(i-1, j-1) && R(i, j) > R(i-1, j) && R(i, j) > R(i-1, j+1) && R(i,
j) > R(i, j-1) && ...
            R(i, j) > R(i, j+1) && R(i, j) > R(i+1, j-1) && R(i, j) > R(i+1, j) && R(i, j) >
R(i+1, j+1))
            result(i, j) = 1;
            cnt = cnt+1;
        end;
    end;
end;
i = 1;
    for j = 1 : height
        for k = 1 : width
            if result(j, k) == 1;
                corners1(i, 1) = j;
                corners1(i, 2) = k;
                i = i + 1;
            end;
        end;
    end;
end;
[posc, posr] = find(result == 1);
[o,p]=size(posc);
figure,imshow(ori_im);
hold on;
plot(posr, posc, 'r+');
C=[C,o];
End

```

## 7.角点

```

X = imread('C:\Users\dell\Desktop\456\hhh\h4\1.2-3.png')
X=medfilt2(X,[7,7]);
imshow(X,[]);
BW1 = edge(X,'canny',0.3);
figure,imshow(BW1);
s=regionprops(BW1,'Area')
result=[s.Area]
c=mean(result);
B=[B,c]

```

```

[l,m]=size(s)
A=[A,l];
X=double(BW1);
f=X;
% fx = [5 0 -5;8 0 -8;5 0 -5];
ori_im = double(f) / 255;
fx = [-2 -1 0 1 2];
lx = filter2(fx, ori_im);
fy = [-2; -1; 0; 1; 2];
ly = filter2(fy, ori_im);
lx2 = lx.^ 2;
ly2 = ly.^ 2;
lxy = lx.* ly;
clear lx;
clear ly;
h= fspecial('gaussian', [7 7], 2);
lx2 = filter2(h,lx2);
ly2 = filter2(h,ly2);
lxy = filter2(h,lxy);
height = size(ori_im, 1);
width = size(ori_im, 2);
result = zeros(height, width);
R = zeros(height, width);
Rmax = 0;
for i = 1 : height
    for j = 1 : width
        M = [lx2(i, j) lxy(i, j); lxy(i, j) ly2(i, j)];
        R(i,j) = det(M) - k * (trace(M)) ^ 2;
        if R(i,j) > Rmax
            Rmax = R(i, j);
        end;
    end;
end;
T = 0.1 * Rmax;
cnt = 0;
for i = 2 : height-1
    for j = 2 : width-1
        if (R(i, j) > T && R(i, j) > R(i-1, j-1) && R(i, j) > R(i-1, j) && R(i, j) > R(i-1, j+1) && R(i, j) > R(i, j-1) && ...
            R(i, j) > R(i, j+1) && R(i, j) > R(i+1, j-1) && R(i, j) > R(i+1, j) && R(i, j) > R(i+1, j+1))
            result(i, j) = 1;
            cnt = cnt+1;
        end;
    end;
end;

```

```

        end;
    end;
    i = 1;
    for j = 1 : height
        for k = 1 : width
            if result(j, k) == 1;
                corners1(i, 1) = j;
                corners1(i, 2) = k;
                i = i + 1;
            end;
        end;
    end;
    [posc, posr] = find(result == 1);
    [o,p]=size(posc);
    figure,imshow(ori_im);
    hold on;
    plot(posr, posc, 'r+');
    C=[C,o];

```