

石英矿物资源的分离提纯及材料化应用

# 基于机器视觉的石英流体包裹体自动识别与指数计算

赵毅<sup>1,2,3</sup>, 王守敬<sup>1,2,3</sup>, 郭理想<sup>1,2,3</sup>, 朱黎宽<sup>1,2,3</sup>, 刘磊<sup>1,2,3</sup>

1. 中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所, 河南 郑州 450006;
2. 国家非金属矿资源综合利用工程技术研究中心, 河南 郑州 450006;
3. 自然资源部高纯石英资源开发利用工程技术创新中心, 河南, 郑州 450006

中图分类号: TD973.3; TD91 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2022)05-0028-07  
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2022.05.005

**摘要** 石英中流体包裹体的含量对石英提纯等级及后续石英制品熔炼加工性能有显著影响, 传统人工镜下识别石英包裹体特征并定性评价石英流体包裹体含量的方法在其工作效率和量化精度方面存在缺陷。利用机器视觉技术对包裹体显微照片进行石英颗粒的分割提取, 使用自主研发的石英流体包裹体量化计算软件对石英颗粒内部流体包裹体特征开展灰度量化统计。为了验证所得计算结果的可靠性, 采用美国尤尼明 IOTA-STA 标准砂作为参比样品并建立其样品数据集, 利用随机抽样方法获取了尤尼明标样参考标准值稳定存在的抽样模拟条件及最佳图像采集数量, 建立了针对待测石英样品流体包裹体指数的计算方法, 并以河南东秦岭地区伟晶岩型高纯石英 LD-5 号脉体不同采样位置的石英样品为研究对象开展流体包裹体指数计算, 结果显示该矿脉石英流体包裹体指数均值为 93.09, 整个矿脉的流体包裹体指数接近尤尼明标准砂且波动较小, 为后续进一步优化找矿目标提供了有益的借鉴和指导。

**关键词** 高纯石英; 机器视觉; 流体包裹体; 筛选评价

## 0 引言

高纯石英是由水晶、脉石英、花岗伟晶岩等矿石作为原料经提纯后的一种矿产品。高纯石英是硅产业高端产品的物质基础, 广泛应用于战略性新兴产业<sup>[1]</sup>。高纯石英目前尚无统一的划分标准, 张佩聪等<sup>[2]</sup>将高纯石英定义为石英晶格中铝—硅异价有限杂质同象替代形成的铝晶格占位杂质含量(晶格 Al)  $\leq 30 \mu\text{g/g}$ , 同时其他杂质(Ti、K、Na、Ca、Mg、Fe 等)总和  $\leq 20 \mu\text{g/g}$  的天然矿物, 对应的石英纯度( $\text{SiO}_2$  含量)  $\geq 99.99\%$  (4N)。天然石英中通常都发育有一定量的包裹体, 包裹体中含有微量杂质元素的多少是石英原料能否制备高纯石英砂的关键因素。在熔融石英玻璃过程中, 石英砂原料中气液包裹体所含有的水分子或羟基, 会诱发玻璃熔体中产生气泡、气线等缺陷, 而且部分包裹体中的水会溶解于石英玻璃中形成残余羟基, 导致高纯石英砂制品的理化性质发生变化<sup>[3-4]</sup>。

流体包裹体的种类和丰度取决于结晶环境、结晶后的蚀变和变形。其研究内容主要包括: 包裹体的形状、大小、颜色、数量、产状及分布特征; 相态、成分;

各类包裹体的识别等<sup>[5]</sup>。通常使用偏光显微镜对样品中的流体包裹体进行岩相学特征观察, 常用于流体包裹体镜下研究的样品制片类型有: 包裹体片、砂薄片和油浸片等, 其中油浸片因其不需要特殊制样设备、操作方便快捷特别适用于野外操作和快速鉴定。

张立等人<sup>[6]</sup>利用偏光显微镜对某石英样品开展了流体包裹体含量、大小、几何形貌的统计测定, 同时辅以显微冷热台包裹体测温与激光拉曼光谱等技术手段对包裹体初熔温度、内部物相组成以及盐度值范围进行了测定。蓝廷广等<sup>[7]</sup>利用 LA-ICP-MS(激光剥蚀-电感耦合等离子体质谱仪)原位分析技术对鲁西早白垩世王家庄 Cu-Mo 矿中石英包裹体开展原位元素含量分析研究, 并得出了 Cu、Mo 两种元素分别在气相、固相两种相态包裹体中具有相对优势的迁移趋势。

针对样品制片开展人工分析耗时较长且分析结果在很大程度上取决于专业人员的训练与经验积累。近些年来, 随着信息技术的快速发展, 使用计算机视觉提取光学特性的技术与通过机器学习分类的技术组合已经成功地应用于包括矿物分类在内的许多知识领域。Budenny 等<sup>[8]</sup>使用正交偏光和图像梯度信

收稿日期: 2022-09-12

基金项目: 中国地质调查项目(DD20221698)

通信作者: 赵毅(1982—), 男, 河南新安人, 硕士, 主要研究方向为矿物材料性能及应用, E-mail: zhaoyi3938@sina.com。

息的组合对薄片影像进行了颗粒分割,并使用机器学习技术对砂岩类型进行了分类。Tang 等<sup>[9]</sup>对砂质岩的薄片影像通过组合平面和交叉极化信息进行矿物颗粒分割,同时采用有监督的机器学习方法,对不同矿物颗粒进行自动分类识别。罗群<sup>[10]</sup>利用偏光显微镜加装微型电动载物平台,开展了由计算机驱动电机进行薄片流体包裹体的识别拍摄与影像拼接合成的相关工作。

在高纯石英野外地质找矿过程中地质人员在确定目标脉体及其中石英流体包裹体类型之后,开展不同矿段、层位中石英流体包裹体含量的快速量化分析对优化找矿目标具有较强的指示意义。本文以利用石英单矿物颗粒制备的油浸片为研究对象,采用偏光显微镜拍摄流体包裹体图像,通过图像分割算法对石英颗粒进行计数,并对石英颗粒内部进行逐像素灰度值分析;同时通过建立尤尼明标准砂的包裹体特征图像数据集为参比对象,把待测石英样品的包裹体含量转化为具有参考意义的流体包裹体指数,为高纯石英野外地质找矿及高纯石英原料产品评价提供新的判据支撑。

## 1 材料与方 法

利用石英单矿物或浮选石英精矿颗粒开展流体包裹体特征量化研究可分为 4 个步骤:制片与镜下包裹体观察拍照,针对偏光图像的石英颗粒分割与提取,针对同条件下透光图像流体包裹体量化计算,多组图像的自动化批处理分析与流体包裹体指数的计算。

### 1.1 石英油浸片制备与拍摄

石英油浸片的制备过程:先将待测样品破碎、筛分、人工挑选石英单矿物,单矿物粒度主要分布在 100~300  $\mu\text{m}$  之间;之后取适量石英单矿物均匀置于载玻片上,盖上盖玻片,从盖玻片边缘滴入折光油(折光率值为 1.54),直至折光油完全浸没石英颗粒,在载玻片上标记待测样品编号。

利用偏光显微镜(本次研究使用型号为 ZEISS Axioskop 40)对油浸片进行显微图像拍摄,先调节光源至合适亮度,之后利用设置好的显微镜曝光参数对油浸片进行显微图像拍摄。选定合适的拍摄视域,先在正交偏光下拍摄正交偏光图像,之后再在明场条件下拍摄透光图像,每个视域内拍摄上述两类图像各一张,每件样品拍摄 20~30 组照片。在拍摄显微图像时要注意避开石英颗粒重叠的区域,同时每个视域内要保证包含尽可能多的石英颗粒。在拍摄照片时,需锁定成像诸参数,且保证颗粒内部颜色(含干涉条纹色)与背景颜色最大程度的分离,避免由于干涉色等原因,在机器识别过程中形成石英颗粒内部孔洞。

### 1.2 石英颗粒流体包裹体数字图像处理

将在固定显微镜成像参数条件下拍摄获取的待测石英颗粒正交偏光照片和透光照片作为一组输入数据用于计算流体包裹体指数。图 1 展示了石英颗粒在同一视域下的偏光和透光图像,其中图 1a 反映了石英颗粒在镜下的空间位置信息,图 1b 则记录了石英颗粒内部流体包裹体(由像素点的灰度值表征)分布的平面投影。通过对图像 1a 石英颗粒与背景颜色的分割即可得到石英颗粒所在平面的空间计算域,对图像 1b 带石英颗粒的平面空间域进行逐像素的灰度统计即可得到不同灰度色阶下的像素数量分布直方图,该统计数据为进行流体包裹体指数计算的原始数据。

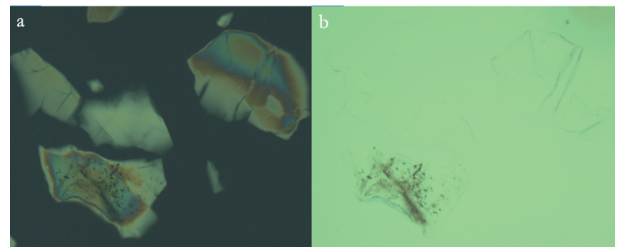


图 1 石英颗粒在同一视域条件下拍摄的偏光图片(a)与透光图片(b)(数字图像由蔡司 Axioskop 40 显微镜 100 $\times$ 下拍摄)

Fig. 1 Polarizing picture (a) and transmittance picture (b) taken by quartz particles in the same field of view(Digital images captured by ZEISS Axioskop 40 microscope at 100 $\times$ )

对偏光图像进行石英颗粒对象的分割提取处理需要首先对偏光图片进行亮度、对比度的参数化调整使得背景颜色与颗粒内部颜色有更大的区分度。再对图像增强过的背景平均颜色进行计算,获得其平均的 R、G、B 三个颜色通道的数值及其波动范围,之后对偏光图像进行三通道滤波保留非背景颜色特征像素并对其进行叠加初步得到石英颗粒数字图像的平面空间。继而通过边缘特征提取获取石英颗粒的边缘及内部纹理特征进行叠加,通过填充算法将内部少量与背景颜色相同的区域进行填补最终得到石英颗粒所占视场内的空间坐标信息。利用偏光图像提取石英颗粒空间分布特征的计算流程见图 2 所示。

### 1.3 流体包裹体的分析与指数计算

对透光图片进行灰度转化、拉伸调整后利用计算得到石英颗粒的平面坐标域,开展计算域内逐像素点的灰度值提取,根据灰度值的高低进行伪色彩映射得到石英颗粒内部可视化程度较好的流体包裹体分布图像的合成影像的过程见图 3 所示。

对不同灰度划分值下像素点数进行统计绘制相应累积概率密度曲线如图 4 所示,曲线的数值积分值

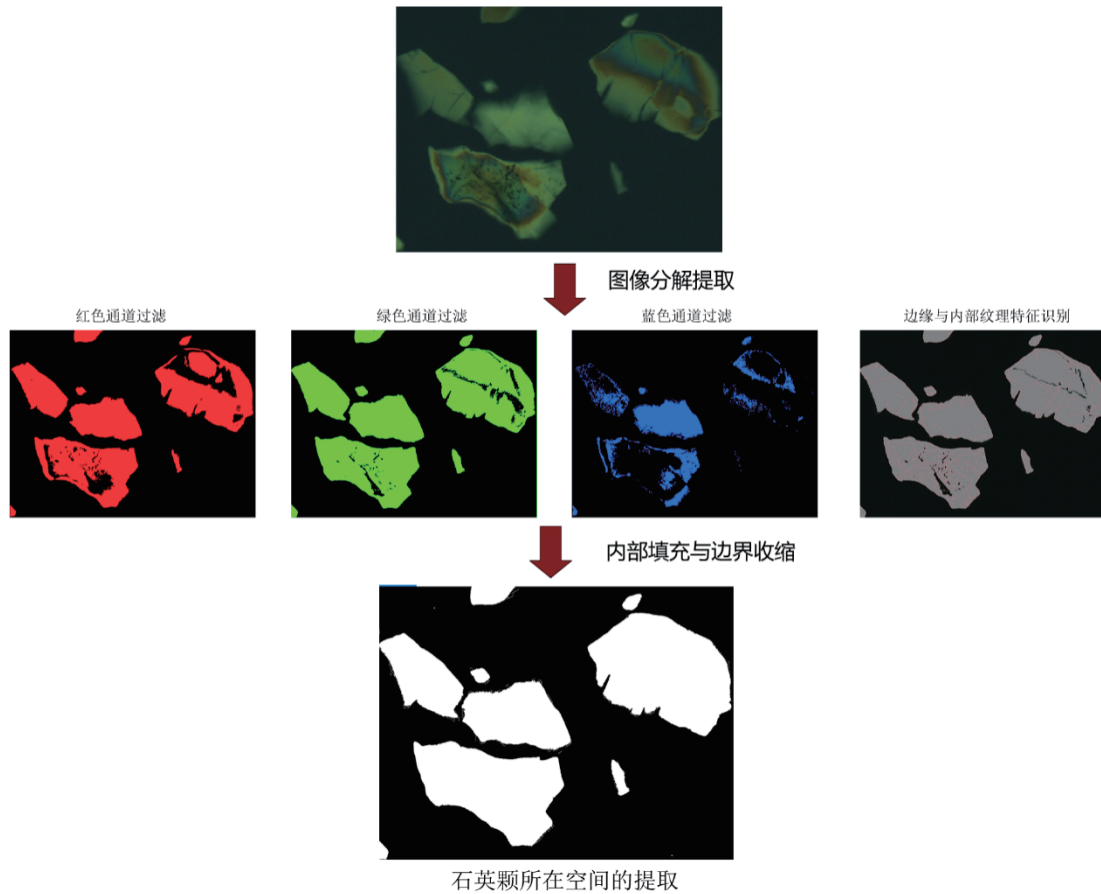


图2 利用增强的偏光图像提取石英颗粒占据的空间信息流程示意图

Fig. 2 Schematic diagram of spatial information extraction process of quartz particle occupation by enhanced polarized light image

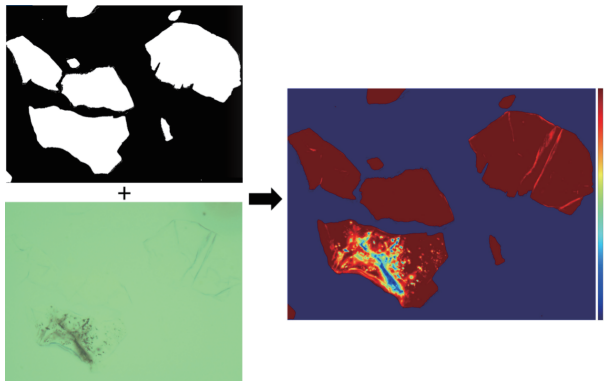


图3 利用提取的石英颗粒空间量化包裹体合成影像示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the synthesized image of the extracted quartz particles' spatial quantization inclusion

即为此幅场景下石英颗粒内部流体包裹体含量多少的一个量化反映。

### 1.4 包裹体识别计算软件

基于上述计算石英颗粒中流体包裹体含量的思路,本次研究开发编写了针对石英流体包裹体镜下观察图像的专用分析计算软件“基于机器视觉的高纯石英流体包裹体自动识别与量化分析系统”<sup>[11-12]</sup>。软

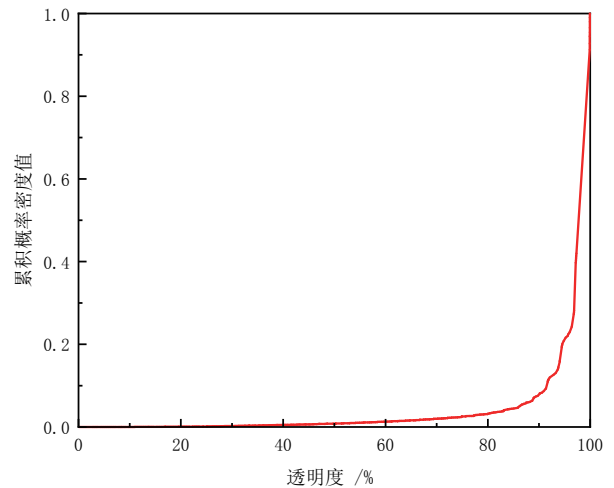


图4 石英包裹体透明度概率累积密度曲线

Fig. 4 Cumulative density curve of quartz inclusions transparency probability

件由文件配置、参数试验、批处理、综合分析、报告生成、软件注册以及帮助7个模块构成(见图5)。该软件以利用石英颗粒油浸片拍摄的偏光、透光图片作为数据输入,通过参数试验模块确定并保存分析过程的各项数值,利用批处理功能、综合分析功能可实现对多组石英包裹体图片的识别分析和汇总计算。

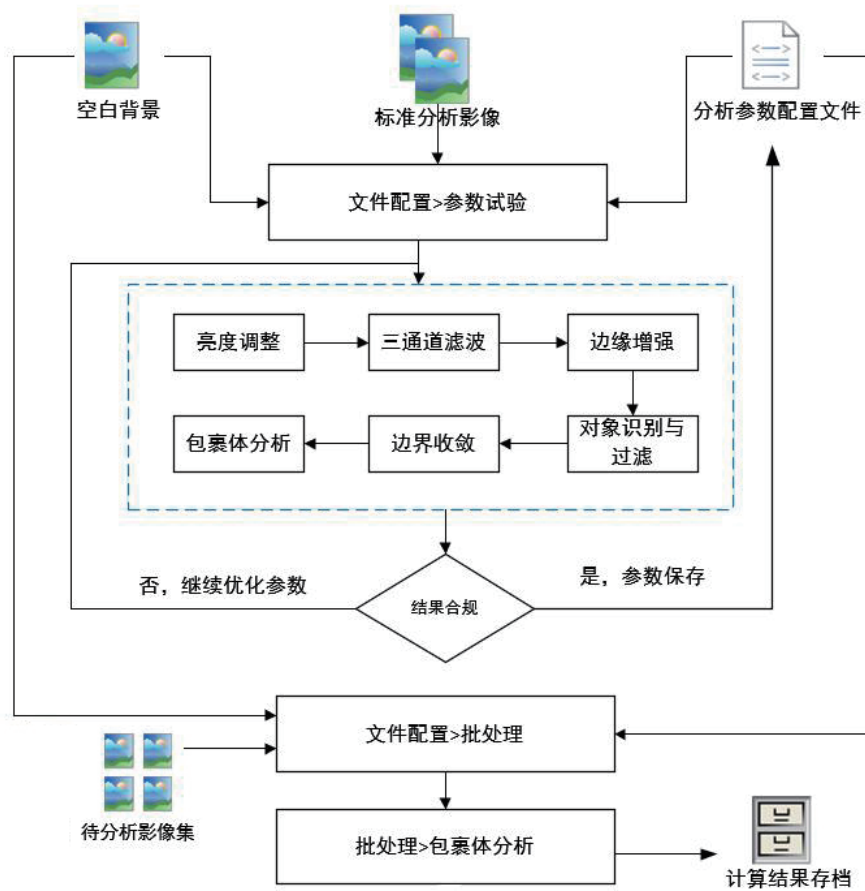


图 5 石英包裹体自动识别与量化分析系统软件架构

Fig. 5 Software architecture diagram of automatic quartz inclusion identification and quantitative analysis system

## 2 结果与讨论

### 2.1 尤尼明标准指数的建立

美国尤尼明公司于 20 世纪 90 年代开始,对北卡罗来纳州 Spruce Pine 地区的花岗伟晶岩开展了卓有成效的开发利用,已开发出 IOTA-STA(标准级)、IOTA-4、IOTA-6、IOTA-8 等高纯石英系列产品,能满足透明石英玻璃等各种高档材料或器件的加工要求,其特点是工业化产量大、制备专业化、自动化程度高、检测水平高、产品质量稳定,几乎垄断了国际市场,并成为国际标准<sup>[13]</sup>。鉴于此,本次研究选取尤尼明 IOTA-STA 标准砂作为参比样品。

#### 2.1.1 尤尼明标样数据集的建立

采用 1.1 节所述制样与拍摄方法分批次拍摄尤尼明标样的流体包裹体镜下照片,采用表 1 的偏光图像计算参数对每幅偏光图像进行石英颗粒的计算识别,并对相应场景下透光图像开展石英颗粒内部区域的像素灰度值的统计计算。每个样品的计算目录内保存了计算处理的中间结果记录(包含各处理步骤的中间图像以及 512 阶灰度水平的像素数统计表),所有计

算后的样品目录构成了尤尼明标准砂的标样数据集。

#### 2.1.2 尤尼明标样灰度积分值的确定

为确定待测样品流体包裹体拍摄样张抽样率与样品流体包裹体灰度值积分值稳定性的关系,利用不同时期拍摄的尤尼明标准样品数据建立了一个样本量为 40 的样本库开展随机抽样计算研究。为确保每次抽样数据的随机性,在不同抽样次数 N 的水平下依次随机抽取样本库中 5%~95% 的样本量进行统计计算,得到不同样本采样率条件下包裹体灰度值积分均值,并绘制在 N 次随机抽样条件下不同样品图像数与其包裹体影像的灰度累积曲线的数值积分平均值关系图(见图 6)。

从图 6 可知,在固定抽样次数 N 的条件下,抽样率越高其积分均值越接近某一固定值。且随着抽样次数 N 的增长,样品照片抽样率与平均灰度积分值的关系曲线趋于稳定收敛。当抽样次数 N>200、样品照片抽样率大于 50% 时,尤尼明标样灰度积分值收敛于 0.041 3,此积分值即为尤尼明标样的参比值。

#### 2.1.3 最佳拍摄数量的确定

待测石英样品在镜下观测拍摄不同视域的包裹



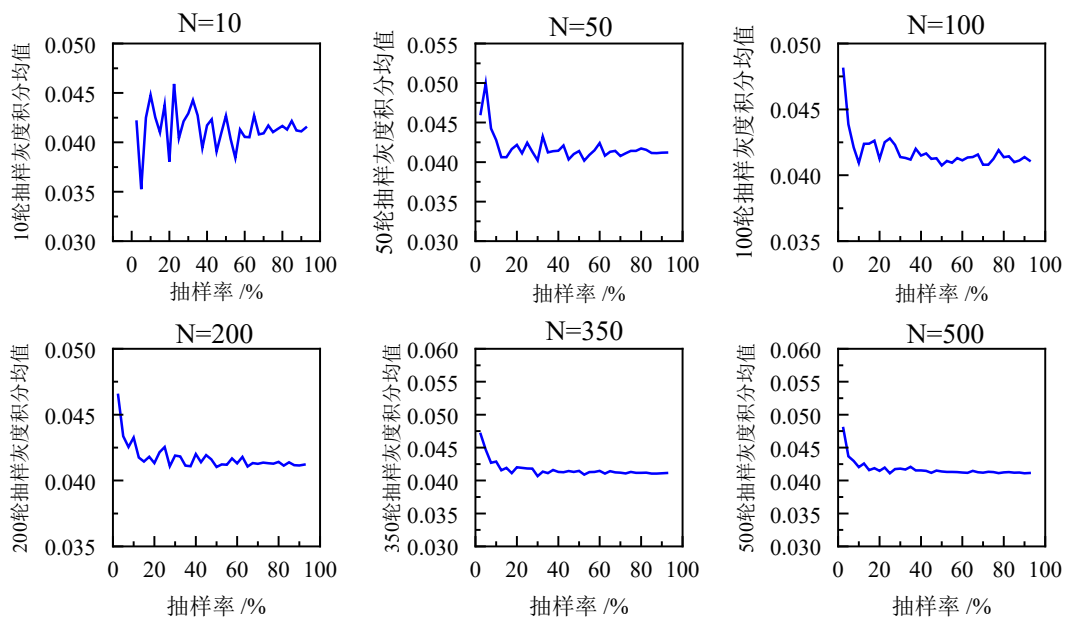


图 6 尤尼明标准砂数据集在不同抽样次数条件下抽样率与灰度积分均值的关系  
 Fig. 6 The relationship between sampling rate and gray integral mean of Eunimin standard sand data set under different sampling times

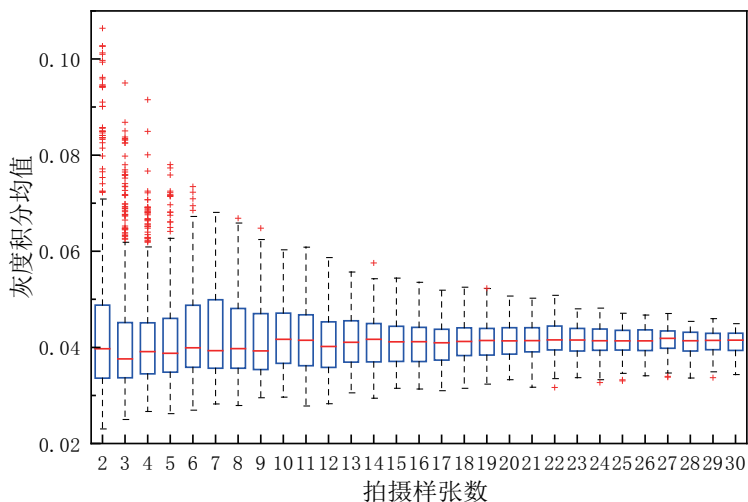


图 7 尤尼明标准砂在不同拍摄样张数下包裹体灰度积分值统计箱形图  
 Fig. 7 Statistical box of gray integral value of inclusion of Unimin standard sand under different number of samples taken

体图像数量与纳入统计的石英颗粒数成正比关系。拍摄数量越多最终得到的流体包裹体灰度积分值越具有统计代表性,但同时拍摄图像耗费的人力和时间也越多。鉴于此,有必要确定对单个石英样品开展流体包裹体指数计算时的最佳拍摄数量。对样本库中的样张开展不同抽样数量的随机模拟,在某一抽样数量条件下开展模拟抽样 300 次,对每次随机抽样计算的包裹体灰度积分值进行汇总统计描述,绘制以不同拍摄样张数为组别的包裹体灰度积分值的箱形图(见图 7)。

从图 7 可知,当每次参与统计计算的样张数小于 15 时,灰度积分均值的中值(红色短横线)与数据范围波动较大,在大于 15 组后中值趋于收敛,当数量超过 23 张以后数据波动范围收窄至 $\pm 0.01$ 。因此,利用此方

法在测量计算石英流体包裹体时单个样品的图像采集数量应不小于 23 组。

### 2.1.4 流体包裹体指数计算方法

基于上述讨论建立流体包裹体指数的计算方法如下:(1)对单个待测石英样品应至少拍摄镜下流体包裹体显微照片 26 组并使用软件对流体包裹体特征像素进行量化统计。(2)再对该样品拍摄的照片的样本空间进行 75% 抽样率下的随机 300 次抽样,所得到包裹体灰度积分均值即为待测样品的流体包裹体数值积分值。

此积分值的边界为 0 或 1,其物理意义表示待测样品石英颗粒内部为全部透明或全部不透明,并进一

步规定石英流体包裹体灰度积分为 1 时对应的包裹体指数为 0, 尤尼明参考标准砂的灰度积分值 0.041 3 对应流体包裹体指数 100。由此可得相应的线性方程即为待测样品的流体包裹体指数计算公式:

$$Y = 104.3(1 - X) \quad (1)$$

式中:  $X$  为待测石英样品的包裹体灰度积分值,  $Y$  为参比尤尼明标准砂的石英颗粒包裹体指数。

### 2.2 在评价伟晶岩型高纯石英样品中的应用

以河南东秦岭地区伟晶岩型高纯石英 LD-5 号脉体为研究对象, 采集矿体不同位置上的石英样品制备油浸片进行显微拍照, 利用本次研究开发的软件对 43 件石英样品进行了包裹体指数计算。样品总体包裹体指数平均值为 93.09, 其中探槽样品中包裹体指数为 93.91~95.35, 平均值为 94.83; 钻孔样品中包裹体指数为 88.51~94.07, 平均值为 90.76(表 1, 图 8)。包裹体指数结果显示: 东秦岭伟晶岩型石英样品总体包裹体指数较高, 且较稳定; 其中探槽样品流体包裹体指数比钻孔样品稳定, 可能是由于钻孔样品数量较少。计算结果反映石英中流体包裹体含量稍高于尤尼明 IOTA-STA 标准砂样品, 东秦岭伟晶岩型石英品

表 1 河南东秦岭地区高纯石英样品包裹体指数测试结果  
Table 1 The inclusion index test results of high purity quartz samples from the East Qinling Mountains of Henan Province

矿样编号	样品位置	样品个数	包裹体指数 (均值)
TC101	1线探槽	8	95.35
TC001	0线探槽	3	93.91
TC201	2线探槽	11	94.73
TC401	4线探槽	12	95.32
ZK0101	1线钻孔	5	89.72
ZK001	0线钻孔	2	88.51
ZK2001	2线钻孔	2	94.07

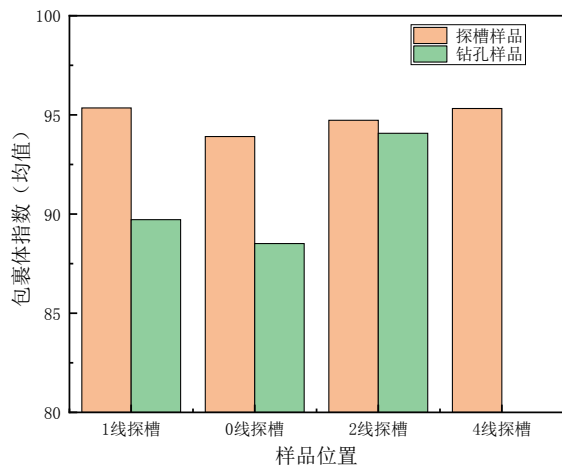


图 8 河南东秦岭地区高纯石英样品包裹体指数测试结果  
Fig. 8 Inclusion index test results of high purity quartz samples from the Eastern Qinling Mountains of Henan Province

质总体较好。包裹体指数计算结果能很好地反映脉体的包裹体含量, 为高纯石英样品的品质判别提供定量化指标。

### 3 结论

本文利用机器视觉原理对石英颗粒进行识别分割提取并对石英颗粒内包裹体特征进行灰度值量化统计, 实现了对评价石英样品中流体包裹体含量开展大样本快速量化的评价方法。

通过建立以尤尼明 IOTA-STA 标准砂为参比的高纯石英流体包裹体影像数据集, 利用随机抽样算法确定了尤尼明标准砂的包裹体灰度积分均值并以此积分值为基准建立了一种计算石英中流体包裹体指数的方法, 可用于定量评价石英中流体包裹体的含量。

最后利用本方法对河南东秦岭地区伟晶岩型高纯石英 LD-5 号脉体野外钻探样品开展了流体包裹体评价, 针对不同矿体位置的对 43 件石英样品开展了流体包裹体指数评价计算, 结果显示该石英脉体流体包裹体指数均值为 93.09, 且不同采样位置的流体包裹体指数波动较小石英品质总体较好。因此, 在高纯石英潜力样品野外快速筛查中具有较大的应用前景。

### 参考文献:

[1] 王自国. 我国高纯石英产业战略布局思考[J]. 中国矿业, 2021, 30(S2): 1-3.  
WANG Z G. Thoughts on the strategic layout of China's high purity quartz industry[J]. China Mining Magazine, 2021, 30(S2): 1-3.

[2] 张佩聪, 刘岫峰, 李峻峰, 等. 高纯石英矿物资源工程研究[J]. 矿物岩石, 2012, 32(2): 38-44.  
ZHANG P C, LIU X F, LI J F, et al. Engineering research on high purity quartz mineral resources[J]. Journal Mineral Petrol, 2012, 32(2): 38-44.

[3] 周永恒, 顾真安. 石英玻璃原料矿的流体包裹体特征[J]. 矿物学报, 2002, 22(2): 143-146.  
ZHOU Y H, GU Z A. Fluid inclusion characteristics of quartz glass ore[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2002, 22(2): 143-146.

[4] 杨晓勇, 孙超, 曹荆亚, 等. 高纯石英的研究进展及发展趋势[J]. 地学前缘, 2022, 29(1): 231-244.  
YANG X Y, SUN C, CAO J Y, et al. High purity quartz: research progress and perspective review[J]. Earth Science Frontiers, 2022, 29(1): 231-244.

[5] 张文淮, 陈紫英. 流体包裹体地质学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993.  
ZHANG W H, CHEN Z Y. Fluid inclusion geology[M]. WuHan: China University of Geosciences Press, 1993.

[6] 张立, 胡修权, 彭兴华, 等. 高纯石英砂原料矿中流体包裹体研究[J]. 矿产综合利用, 2022(3): 188-192.  
ZHANG L, HU X Q, PENG X H, et al. Study on fluid inclusions in high purity quartz sand ore[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2022(3): 188-192.

[7] 蓝廷广, 胡瑞忠, 范宏瑞, 等. 流体包裹体及石英LA-ICP-MS分析方法的建立及其在矿床学中的应用[J]. 岩石学报, 2017, 33(10): 3239-3262.  
LAN T G, HU R Z, FAN H R, et al. In-situ analysis of major and

- tracelements in fluid inclusion and quartz: LA-CP-MS method and applications to ore deposits[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2017, 33 (10): 3239–3262.
- [ 8 ] BUDENNY S, PACHEZHERTSEV A, BUKHAREV A, et al. Image processing and machine learning approaches for petrographic thin section analysis[C]//In SPE Russian Petroleum Technology Conference, 2017.
- [ 9 ] TANG, DAVID G. , KITTY L. MILLIKEN, and KYLE T. Spikes. Machine learning for point counting and segmentation of arenite in thin section[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2020(120): 104518.
- [ 10 ] 罗群. 基于OpenCV的包裹体显微自动分析系统[D]. 成都: 成都理工大学, 2015.  
LUO Q. Automatic inclusion microscopic analysis system based on OpenCV[D], ChengDu: Chengdu University of Technology, 2015.
- [ 11 ] 王守敬, 刘磊, 赵毅, 等. 一种高纯石英中流体包裹体含量的检测方法: CN202110644067.9[P].2021-06-09.
- WANG S J, LIU L, ZHAO Y, et al. The invention relates to a method for detecting fluid inclusion content in high purity quartz: CN202110644067.9[P]. 2021-06-09.
- [ 12 ] 中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所. 基于机器视觉的高纯石英流体包裹体自动识别与量化分析系统: 2021SR0181-682[CP].2020-10-20.  
Zhengzhou Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, Automatic identification and quantitative analysis system of high purity quartz fluid inclusions based on machine vision: 2021SR0181682[CP].2020-10-20.
- [ 13 ] 汪灵, 党陈萍, 李彩侠, 等. 中国高纯石英技术现状与发展前景[J]. *地学前缘*, 2014, 21(5): 267–273.  
WANG L, DANG C P, LI C X, et al. Technology of high-purity quartz in China: Status quo and prospect[J]. *Earth Science Frontiers*, 2014, 21(5): 267–273.

## Index Calculation and Automatic Identification of Quartz Fluid Inclusions Based on Machine Vision

ZHAO Yi<sup>1,2,3</sup>, WANG Shoujing<sup>1,2,3</sup>, GUO LiXiang<sup>1,2,3</sup>, ZHU Likuan<sup>1,2,3</sup>, LIU Lei<sup>1,2,3</sup>

1. Zhengzhou Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Zhengzhou 450006, China;  
2. China National Engineering Research Center for Utilization of Industrial Minerals, Zhengzhou 450006, China;  
3. China Engineering Technology Innovation Center for Development and Utilization of High Purity Quartz, Ministry of Natural Resources, Zhengzhou 450006, China

**Abstract:** The content of fluid inclusions in quartz has a significant effect on the grade of quartz purification and the subsequent melting processing properties of quartz products. However, the traditional method of identifying quartz inclusions and qualitatively evaluating the content of fluid inclusions under artificial microscope has some defects in its efficiency and quantification accuracy. In this paper, the machine vision technology was used to segment and extract quartz particles from the micrographs of inclusions, and the self-developed quantitative calculation software of quartz fluid inclusions was used to carry out grayscale quantitative statistics on the characteristics of fluid inclusions inside quartz particles. In order to verify the reliability of the calculated results, this paper adopted the IOTA-STa standard sand as the reference sample and then established its sample data set. By the random sampling method, the sampling simulation condition for the stable existence of the reference standard value of the standard sample and the optimal number of image acquisition were obtained, and the calculation method for fluid inclusion index of the measured quartz sample was established. In addition, the fluid inclusion indexes of quartz samples from different sampling locations of pegmatite high-purity quartz LD-5 vein in the Eastern Qinling mountains of Henan Province were calculated. The results showed that the mean fluid inclusion index of LD-5 was 93.09, which was close to the Unimin standard sand and fluctuated slightly. Above all, this work provided useful reference and guidance for further optimization of prospecting target.

**Keywords:** high purity quartz; machine vision; index of inclusion; screening and assessment

**引用格式:** 赵毅, 王守敬, 郭理想, 朱黎宽, 刘磊. 基于机器视觉的石英流体包裹体自动识别与指数计算[J]. *矿产保护与利用*, 2022, 42(5): 28–34.

ZHAO Yi, WANG Shoujing, GUO LiXiang, ZHU Likuan, LIU Lei. Index calculation and automatic identification of quartz fluid inclusions based on machine vision[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2022, 42(5): 28–34.