



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114324552 B

(45) 授权公告日 2024.03.29

(21) 申请号 202111453168.4

(22) 申请日 2021.11.30

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 114324552 A

(43) 申请公布日 2022.04.12

(73) 专利权人 中国地质调查局西安地质调查中心(西北地质科技创新中心)

地址 710054 陕西省西安市碑林区友谊东路166号

(72) 发明人 李艳广 汪双双 靳梦琪 程秀花 李忠煜 赵江华

(74) 专利代理机构 西安长和专利代理有限公司 61227

专利代理师 黄伟洪

(51) Int. Cl.

G01N 27/626 (2021.01)

(56) 对比文件

CN 104237968 A, 2014.12.24

CN 108399149 A, 2018.08.14

CN 112986372 A, 2021.06.18

CN 1175688 A, 1998.03.11

US 2013115650 A1, 2013.05.09

US 2021341497 A1, 2021.11.04

CN 102141539 A, 2011.08.03

Jon Woodhead 等. In situ Sr-isotope analysis of carbonates by LA-MC-ICP-MS: interference corrections, high spatial resolution and an example from otolith studies. J. Anal. At. Spectrom. 2004, 第20卷第22页右栏第1段-第24页右栏第2段.

杨岳衡 等. 地质样品Sr 同位素激光原位等离子体质谱(LA-MC-ICP-MS) 测定. 岩石学报. 2009, 第25卷(第12期), 3431-3441.

李子夏; 贺茂勇; 逯海; 金章东; 彭彬. 热电离质谱法测定龋齿牙釉质^{(87)Sr}/^{(86)Sr}同位素比值. 地球学报. 2012, (第06期), 893-898.

审查员 周冉冉

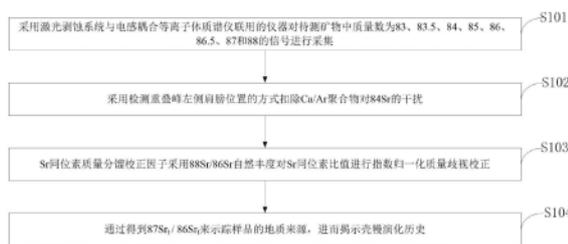
权利要求书2页 说明书10页 附图2页

(54) 发明名称

一种富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法及系统

(57) 摘要

本发明属于同位素分析技术领域,公开了一种富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法及系统,对待测矿物中质量数为83、83.5、84、85、86、86.5、87和88的信号进行采集;采用检测重叠峰左侧肩膀位置的方式扣除Ca/Ar聚合物对⁸⁴Sr的干扰;然后进行同质异位素干扰和双电荷干扰校正,Sr同位素质量分馏校正因子采用⁸⁸Sr/⁸⁶Sr自然丰度对Sr同位素比值进行指数归一化质量歧视校正,得到⁸⁷Sr_t/⁸⁶Sr_t来示踪样品的地质来源,揭示壳幔演化历史。本发明优化了干扰扣除方法,简化了测试流程,标准样品测试结果与推荐值在误差范围内一致。



1. 一种富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法,其特征在于,所述富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法包括:采用检测重叠峰左侧肩膀位置的方式扣除Ca/Ar聚合物对 ^{84}Sr 的干扰;基于扣除干扰后的 ^{84}Sr 样品信号,再进行同质异位素干扰和双电荷干扰扣除,并得到 $^{87}\text{Sr}_t/^{86}\text{Sr}_t$ 用于示踪样品的地质来源及可视化壳幔演化历史;

所述采用检测重叠峰左侧肩膀位置的方式扣除Ca/Ar聚合物对 ^{84}Sr 的干扰包括:

Ca/Ar聚合物的干扰包括 $^{44}\text{Ca}^{40}\text{Ar}$ 和 $^{44}\text{Ca}^{40}\text{Ca}$ 对 ^{84}Sr 的干扰; ^{84}Sr 的质量数为83.913428,而 $^{44}\text{Ca}^{40}\text{Ar}$ 和 $^{44}\text{Ca}^{40}\text{Ca}$ 的精确质量数分别为83.917868和83.918076,采用低分辨模式进行分析,扣除Ca/Ar聚合物对 ^{84}Sr 的干扰峰;

所述进行同质异位素干扰和双电荷干扰扣除包括:载气背景中 ^{83}Kr 、 ^{84}Kr 和 ^{86}Kr 对 ^{84}Sr 样品信号的干扰采用扣气体空白的方式消除,样品中稀土元素 ^{166}Er 、 ^{168}Er 和 ^{170}Er 的双电荷信号对 ^{83}Sr 、 ^{84}Sr 和 ^{85}Sr 的干扰采用 ^{167}Er 的双电荷信号以及Er元素各同位素的自然丰度来扣除,样品中稀土元素 ^{168}Yb 、 ^{170}Yb 、 ^{172}Yb 、 ^{174}Yb 和 ^{176}Yb 的双电荷信号对 ^{83}Sr 、 ^{84}Sr 和 ^{85}Sr 的干扰采用 ^{173}Yb 的双电荷信号以及Yb元素各同位素的自然丰度来扣除,样品中Rb元素的 ^{87}Rb 同位素对 ^{87}Sr 的干扰采用 ^{85}Rb 的信号以及元素Rb的同位素自然丰度进行扣除;

同质异位素干扰扣除计算公式如下:

$$^{86}\text{Sr}_t = ^{86}\text{Sr}_m - [\text{气体空白值} (^{86}\text{Kr}) + ^{173}\text{Yb}_m^{2+} \times (^{172}\text{Yb}_M / ^{173}\text{Yb}_M)]$$

$$^{88}\text{Sr}_t = ^{88}\text{Sr}_m - ^{173}\text{Yb}_m^{2+} \times (^{176}\text{Yb}_M / ^{173}\text{Yb}_M)$$

$$^{84}\text{Sr}_t = ^{84}\text{Sr}_m - [\text{气体空白值} (^{84}\text{Kr}) + ^{167}\text{Er}_m^{2+} \times (^{168}\text{Er}_M - ^{167}\text{Er}_M) + ^{173}\text{Yb}_m^{2+} \times (^{168}\text{Yb}_M / ^{173}\text{Yb}_M)]$$

$$^{87}\text{Sr}_t = ^{87}\text{Sr}_m - [^{85}\text{Rb}_t \times (^{87}\text{Rb}_M / ^{85}\text{Rb}_M) + ^{173}\text{Yb}_m^{2+} \times (^{174}\text{Yb}_M / ^{173}\text{Yb}_M)]$$

$^{85}\text{Rb}_t = ^{85}\text{Rb}_m - [^{167}\text{Er}_m^{2+} \times (^{170}\text{Er}_M - ^{167}\text{Er}_M) + ^{173}\text{Yb}_m^{2+} \times (^{170}\text{Yb}_M / ^{173}\text{Yb}_M)]$ 其中,t代表真值,m代表测量值,M代表同位素自然丰度。

2. 如权利要求1所述富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法,其特征在于,采用检测重叠峰左侧肩膀位置的方式扣除Ca/Ar聚合物对 ^{84}Sr 的干扰前还需进行:采用激光剥蚀系统与电感耦合等离子体质谱仪联用的仪器对待测矿物中质量数为83、83.5、84、85、86、86.5、87和88的信号进行采集。

3. 如权利要求1所述富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法,其特征在于,所述富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法进一步包括:

步骤一,进行同位素元素分馏和干扰校正计算,筛选提示异常数据;

步骤二,自动化处理异常数据,将每个激光剥蚀点异常信号的异常数据滤除,滤除原则为将与信号均值之差大于2.5倍标准误差的数据删除;删除量大于等于三分之一时将提示用户手动查看数据,并分析异常的原因;

步骤三,计算 $\beta^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、 $^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值,并将结果格式化,进而示踪样品的地质来源。

4. 如权利要求3所述富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法,其特征在于,测试过程中同位素元素分馏的校正计算遵从指数分馏法则,公式如下:

$$\beta = \ln(R_m/R_t) / \ln(M_A/M_B);$$

其中, β 为质量歧视校正系数, R_m 为实际测量比值, R_t 为真实比值, M_A 为同位素A的精确

质量数,MB为同位素B的精确质量数。

5.一种实施权利要求1~4任意一项所述富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法的富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的系统,其特征在于,所述富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的系统包括:

Sr模块,用于元素分馏和干扰校正计算,具有筛选提示异常数据的功能;

DataFilter模块,用于自动化处理异常数据,将每个激光剥蚀点异常信号的异常数据滤除,滤除原则为将与信号均值之差大于2.5倍标准误差的数据删除,每个激光剥蚀点将采集200个信号数据,删除量大于等于三分之一时将提示用户手动查看数据,并分析异常的具体原因;

Srresulttable模块,用于计算 $\beta^{88}\text{Sr}/86\text{Sr}$ 、 $84\text{Sr}/86\text{Sr}$ 、 $87\text{Rb}/86\text{Sr}$ 和 $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ 值,并将结果格式化。

6.一种计算机设备,其特征在于,所述计算机设备包括存储器和处理器,所述存储器存储有计算机程序,所述计算机程序被所述处理器执行时,使得所述处理器执行所述权利要求1~4任意一项所述富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法,步骤如下:

步骤一,进行元素分馏和干扰校正计算,筛选提示异常数据;

步骤二,自动化处理异常数据,将每个激光剥蚀点异常信号的异常数据滤除,滤除原则为将与信号均值之差大于2.5倍标准误差的数据删除;删除量大于等于三分之一时将提示用户手动查看数据,并分析异常的原因;

步骤三,计算 $\beta^{88}\text{Sr}/86\text{Sr}$ 、 $84\text{Sr}/86\text{Sr}$ 、 $87\text{Rb}/86\text{Sr}$ 和 $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ 值,并将结果格式化,进而示踪样品的地质来源。

7.一种计算机可读存储介质,存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时,使得所述处理器执行所述权利要求1~4任意一项所述富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法,步骤如下:

步骤一,进行元素分馏和干扰校正计算,筛选提示异常数据;

步骤二,自动化处理异常数据,将每个激光剥蚀点异常信号的异常数据滤除,滤除原则为将与信号均值之差大于2.5倍标准误差的数据删除;删除量大于等于三分之一时将提示用户手动查看数据,并分析异常的原因;

步骤三,计算 $\beta^{88}\text{Sr}/86\text{Sr}$ 、 $84\text{Sr}/86\text{Sr}$ 、 $87\text{Rb}/86\text{Sr}$ 和 $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ 值,并将结果格式化,进而示踪样品的地质来源。

8.一种信息数据处理终端,其特征在于,所述信息数据处理终端用于实现权利要求1~4任意一项所述富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法。

一种富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法及系统

技术领域

[0001] 本发明属于同位素分析技术领域,尤其涉及一种富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法及系统。

背景技术

[0002] 锶(Sr)是一种碱土金属元素,在地壳中的丰度为 $3.7 \times 10^{-2}\%$,广泛存在于自然界各类岩石和矿物中。锶有四个同位素:84Sr,86Sr,87Sr和88Sr,它们的相对丰度分别为:0.56%,9.86%,7.02%和82.56%,其中87Sr由87Rb衰变产生。地球系统内存在多个锶同位素储库,经过漫长的地质历史,长时间的地质演化使得不同端元之间的锶同位素组成特征存在差异,通过测试样品中的锶同位素组成,即可示踪样品的地质来源,进而揭示壳幔演化历史。

[0003] 采用热电离质谱或多接收等离子体质谱仪可以对岩石进行锶同位素分析,然而,应用于变质岩和矿石样品时往往呈现多解性,并且全岩同位素结果对于细致刻画岩浆演化和成矿过程更是无能为力,从而近些年越来越多的研究者开始采用激光剥蚀系统与多接收等离子体质谱仪联用的仪器探索矿物原位微区锶同位素分析技术。锶同位素分析无可避免地要面对元素分馏效应和同质异位素的影响,需要切实有效的测试方法来对其校正,现有方法没有对Ca/Ar聚合物的干扰进行监测、校正和扣除,然而由于Ca与Sr同属第二主族,化学性质相似,从而富Sr矿物中Ca含量都很高,因此在质谱仪检测过程中Ca/Ar聚合物的干扰不容忽视。而且目前并没有切实有效的自动化计算程序,手动计算一个数据大约耗时10分钟,而一个样品动辄几十个Sr同位素测试数据,大样品量的计算工作是一个非常费时、费力的过程。

[0004] 综上所述,现有技术在对富锶矿物进行锶同位素分析的过程中不扣除Ca/Ar聚合物的干扰,这将大大降低锶同位素测试结果的精准度。锶同位素研究涉及的计算工作都是通过手动计算来完成,计算工作繁重,缺少一套成熟的、高度自动化的富锶矿物锶同位素分析数据处理程序。因此,亟需一种新的富锶矿物进行锶同位素分析的方法及系统。

[0005] 通过上述分析,现有技术存在的问题及缺陷为:

[0006] (1) 现有技术在对富锶矿物进行锶同位素分析的过程中不扣除Ca/Ar聚合物的干扰,这将大大降低锶同位素测试结果的精准度。

[0007] (2) 锶同位素研究涉及的计算工作都是通过手动计算来完成,计算工作繁重,缺少一套成熟的、高度自动化的富锶矿物锶同位素分析数据处理程序。

[0008] 解决以上问题及缺陷的难度为:

[0009] (1) 想要扣除Ca/Ar聚合物的干扰对Sr同位素的干扰,发明人分析可采用两种方式,第一种方式是采用仪器高分辨模式将矿物中Ca/Ar聚合物与Sr同位素分离,但是高分辨模式会大大降低仪器灵敏度,而Sr在大多数矿物中属于微量元素,低灵敏度将很难测准;第二种方式是采用仪器低分辨模式对重叠峰进行准确检测,要求清楚理解众多Ca/Ar聚合物对Sr同位素的干扰方式,以准确判断测试位置,难度同样很大。

[0010] (2) 编制一套成熟的、高度自动化的富锶矿物锶同位素分析数据处理程序的难点在于要同时精通计算机语言和同位素计算理论。

发明内容

[0011] 针对现有技术存在的问题,本发明提供了一种富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法及系统。

[0012] 本发明是这样实现的,一种富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法,主要技术贡献是提出了Ca/Ar聚合物对 ^{84}Sr 的干扰扣除方法,使整个方法更加完善,结果更加精准,且发明了一套处理软件用于自动化计算。

[0013] 具体包括:采用激光剥蚀系统与电感耦合等离子体质谱仪联用的仪器对待测矿物中质量数为83、83.5、84、85、86、86.5、87和88的信号进行采集;

[0014] 采用检测重叠峰左侧肩膀位置的方式扣除Ca/Ar聚合物对 ^{84}Sr 的干扰;基于扣除干扰后的 ^{84}Sr 样品信号,再进行同质异位素干扰和双电荷干扰扣除,并得到 $^{87}\text{Sr}_t/^{86}\text{Sr}_t$ 用于示踪样品的地质来源及可视化壳幔演化历史。

[0015] 所述采用检测重叠峰左侧肩膀位置的方式扣除Ca/Ar聚合物对 ^{84}Sr 的干扰包括:

[0016] Ca/Ar聚合物的干扰包括 $^{44}\text{Ca}^{40}\text{Ar}$ 和 $^{44}\text{Ca}^{40}\text{Ca}$ 对 ^{84}Sr 的干扰; ^{84}Sr 的质量数为83.913428,而 $^{44}\text{Ca}^{40}\text{Ar}$ 和 $^{44}\text{Ca}^{40}\text{Ca}$ 的精确质量数分别为83.917868和83.918076,采用低分辨模式进行分析,扣除Ca/Ar聚合物对 ^{84}Sr 的干扰峰。

[0017] 进一步,所述进行同质异位素干扰和双电荷干扰扣除包括:载气背景中 ^{83}Kr 、 ^{84}Kr 和 ^{86}Kr 对 ^{84}Sr 样品信号的干扰采用扣气体空白的方式消除,样品中稀土元素 ^{166}Er 、 ^{168}Er 和 ^{170}Er 的双电荷信号对 ^{83}Sr 、 ^{84}Sr 和 ^{85}Sr 的干扰采用 ^{167}Er 的双电荷信号以及Er元素各同位素的自然丰度来扣除,样品中稀土元素 ^{168}Yb 、 ^{170}Yb 、 ^{172}Yb 、 ^{174}Yb 和 ^{176}Yb 的双电荷信号对 ^{83}Sr 、 ^{84}Sr 和 ^{85}Sr 的干扰采用 ^{173}Yb 的双电荷信号以及Yb元素各同位素的自然丰度来扣除,样品中Rb元素的 ^{87}Rb 同位素对 ^{87}Sr 的干扰采用 ^{85}Rb 的信号以及元素Rb的同位素自然丰度进行扣除。

[0018] 进一步,同质异位素干扰扣除计算公式如下:

$$[0019] \quad ^{86}\text{Sr}_t = ^{86}\text{Sr}_m - [\text{气体空白值} (^{86}\text{Kr}) + ^{173}\text{Yb}_m^{2+} \times (^{172}\text{Yb}_M / ^{173}\text{Yb}_M)]$$

$$[0020] \quad ^{88}\text{Sr}_t = ^{88}\text{Sr}_m - ^{173}\text{Yb}_m^{2+} \times (^{176}\text{Yb}_M / ^{173}\text{Yb}_M)$$

$$[0021] \quad ^{84}\text{Sr}_t = ^{84}\text{Sr}_m - [\text{气体空白值} (^{84}\text{Kr}) + ^{167}\text{Er}_m^{2+} \times (^{168}\text{Er}_M - ^{167}\text{Er}_M) + ^{173}\text{Yb}_m^{2+} \times (^{168}\text{Yb}_M / ^{173}\text{Yb}_M)]$$

$$[0022] \quad ^{87}\text{Sr}_t = ^{87}\text{Sr}_m - [^{85}\text{Rb}_t \times (^{87}\text{Rb}_M / ^{85}\text{Rb}_M) + ^{173}\text{Yb}_m^{2+} \times (^{174}\text{Yb}_M / ^{173}\text{Yb}_M)]$$

$$[0023] \quad ^{85}\text{Rb}_t = ^{85}\text{Rb}_m - [^{167}\text{Er}_m^{2+} \times (^{170}\text{Er}_M - ^{167}\text{Er}_M) + ^{173}\text{Yb}_m^{2+} \times (^{170}\text{Yb}_M / ^{173}\text{Yb}_M)]$$

[0024] 其中,t代表真值,m代表测量值,M代表同位素自然丰度。

[0025] 进一步,所述富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法进一步包括:

[0026] 步骤一,进行元素分馏和干扰校正计算,筛选提示异常数据;

[0027] 步骤二,自动化处理异常数据,将每个激光剥蚀点异常信号的异常数据滤除,滤除原则为将与信号均值之差大于2.5倍标准误差的数据删除;删除量大于等于三分之一时将提示用户手动查看数据,并分析异常的原因;

[0028] 步骤三,计算 $\beta^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、 $^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值,并将结果格式

化,进而示踪样品的地质来源。

[0029] 进一步,测试过程中同位素分馏的校正计算遵从指数分馏法则,公式如下:

[0030] $\beta = \ln(R_m/R_t) / \ln(MA/MB)$;

[0031] 其中, β 为质量歧视校正系数, R_m 为实际测量比值, R_t 为真实比值, MA 为同位素A的精确质量数, MB 为同位素B的精确质量数。

[0032] 本发明的另一目的在于提供一种应用所述富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法的富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的系统,所述富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的系统包括:

[0033] Sr模块,用于元素分馏和干扰校正计算,具有筛选提示异常数据的功能;

[0034] DataFilter模块,用于自动化处理异常数据,将每个激光剥蚀点异常信号的异常数据滤除,滤除原则为将与信号均值之差大于2.5倍标准误差的数据删除,每个激光剥蚀点将采集200个信号数据,删除量大于等于三分之一时将提示用户手动查看数据,并分析异常的具体原因;

[0035] Srresult table模块,用于计算 $\beta_{88Sr/86Sr}$ 、 $\beta_{84Sr/86Sr}$ 、 $\beta_{87Rb/86Sr}$ 和 $\beta_{87Sr/86Sr}$ 值,并将结果格式化。

[0036] 本发明的另一目的在于提供一种计算机设备,所述计算机设备包括存储器和处理器,所述存储器存储有计算机程序,所述计算机程序被所述处理器执行时,使得所述处理器执行如下步骤:

[0037] 步骤一,进行元素分馏和干扰校正计算,筛选提示异常数据;

[0038] 步骤二,自动化处理异常数据,将每个激光剥蚀点异常信号的异常数据滤除,滤除原则为将与信号均值之差大于2.5倍标准误差的数据删除;删除量大于等于三分之一时将提示用户手动查看数据,并分析异常的原因;

[0039] 步骤三,计算 $\beta_{88Sr/86Sr}$ 、 $\beta_{84Sr/86Sr}$ 、 $\beta_{87Rb/86Sr}$ 和 $\beta_{87Sr/86Sr}$ 值,并将结果格式化,进而示踪样品的地质来源。

[0040] 本发明的另一目的在于提供一种计算机可读存储介质,存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时,使得所述处理器执行如下步骤:

[0041] 步骤一,进行元素分馏和干扰校正计算,筛选提示异常数据;

[0042] 步骤二,自动化处理异常数据,将每个激光剥蚀点异常信号的异常数据滤除,滤除原则为将与信号均值之差大于2.5倍标准误差的数据删除;删除量大于等于三分之一时将提示用户手动查看数据,并分析异常的原因;

[0043] 步骤三,计算 $\beta_{88Sr/86Sr}$ 、 $\beta_{84Sr/86Sr}$ 、 $\beta_{87Rb/86Sr}$ 和 $\beta_{87Sr/86Sr}$ 值,并将结果格式化,进而示踪样品的地质来源。

[0044] 本发明的另一目的在于提供一种所述富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的系统在地质同位素分析中的应用。

[0045] 结合上述的所有技术方案,本发明所具备的优点及积极效果为:

[0046] (1) 以往矿物Sr同位素测试方法要么忽略了Ca/Ar聚合物对Sr同位素的干扰,要么采用降低等离子体射频功率的方式降低Ca/Ar聚合物的产率,而这种方法又会产生新的问题。本发明所述技术方法克服了上述技术偏见;

[0047] (2) 本发明将大大提高矿物(尤其是富Ca矿物,如磷灰石、方解石、萤石等)Sr同位

素精准度;发明人采用Visual Basic语言编写成了高度智能自动化的计算程序“Sara”,省却了地质工作中手动计算的繁重工作,工作效率可提高一百倍以上,可为地质学和地质同位素工作提供更好的服务。

附图说明

[0048] 为了更清楚地说明本发明实施例的技术方案,下面将对本发明实施例中所需要使用的附图做简单的介绍,显而易见地,下面所描述的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0049] 图1是本发明实施例提供的富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法流程图。

[0050] 图2是本发明实施例提供的富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的系统结构框图;

[0051] 图中:1、Sr模块;2、Data Filter模块;3、Srresult table模块。

[0052] 图3(a)~图3(d)是本发明实施例提供的磷灰石、单斜辉石和斜长石标准物质Rb-Sr同位素结果示意图。

具体实施方式

[0053] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0054] 针对现有技术存在的问题,本发明提供了一种富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法及系统,下面结合附图对本发明作详细的描述。

[0055] 本发明提供一种富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法,主要技术贡献是提出了Ca/Ar聚合物对 ^{84}Sr 的干扰扣除方法,使整个方法更加完善,结果更加精准,且发明了一套处理软件用于自动化计算。

[0056] 在本发明一优选实施例中,采用激光剥蚀系统与电感耦合等离子体质谱仪联用的仪器对待测矿物中质量数为83、83.5、84、85、86、86.5、87和88的信号进行采集;

[0057] 采用检测重叠峰左侧肩膀位置的方式扣除Ca/Ar聚合物对 ^{84}Sr 的干扰;基于扣除干扰后的 ^{84}Sr 样品信号,再进行同质异位素干扰和双电荷干扰扣除,并得到 $^{87}\text{Sr}_t/^{86}\text{Sr}_t$ 用于示踪样品的地质来源及可视化壳幔演化历史。

[0058] 所述采用检测重叠峰左侧肩膀位置的方式扣除Ca/Ar聚合物对 ^{84}Sr 的干扰包括:

[0059] Ca/Ar聚合物的干扰包括 $^{44}\text{Ca}^{40}\text{Ar}$ 和 $^{44}\text{Ca}^{40}\text{Ca}$ 对 ^{84}Sr 的干扰; ^{84}Sr 的质量数为83.913428,而 $^{44}\text{Ca}^{40}\text{Ar}$ 和 $^{44}\text{Ca}^{40}\text{Ca}$ 的精确质量数分别为83.917868和83.918076,采用低分辨模式进行分析,扣除Ca/Ar聚合物对 ^{84}Sr 的干扰峰。

[0060] 在本发明一优选实施例中,所述进行同质异位素干扰和双电荷干扰扣除包括:载气背景中 ^{83}Kr 、 ^{84}Kr 和 ^{86}Kr 对 ^{84}Sr 样品信号的干扰采用扣气体空白的方式消除,样品中稀土元素 ^{166}Er 、 ^{168}Er 和 ^{170}Er 的双电荷信号对 ^{83}Sr 、 ^{84}Sr 和 ^{85}Sr 的干扰采用 ^{167}Er 的双电荷信号以及Er元素各同位素的自然丰度来扣除,样品中稀土元素 ^{168}Yb 、 ^{170}Yb 、 ^{172}Yb 、 ^{174}Yb 和 ^{176}Yb 的双电荷信号对 ^{83}Sr 、 ^{84}Sr 和 ^{85}Sr 的干扰采用 ^{173}Yb 的双电荷信号以及Yb元素各同位素的自然丰度来扣除,样品中Rb元素的 ^{87}Rb 同位素对 ^{87}Sr 的干扰采用 ^{85}Rb 的信号以及元

素Rb的同位素自然丰度进行扣除。

[0061] 在本发明一优选实施例中,所述富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法进一步包括:

[0062] 步骤一,进行元素分馏和干扰校正计算,筛选提示异常数据;

[0063] 步骤二,自动化处理异常数据,将每个激光剥蚀点异常信号的异常数据滤除,滤除原则为将与信号均值之差大于2.5倍标准误差的数据删除;删除量大于等于三分之一时将提示用户手动查看数据,并分析异常的原因;

[0064] 步骤三,计算 $\beta^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、 $^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值,并将结果格式化,进而示踪样品的地质来源。

[0065] 如图1所示,本发明实施例提供的富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的方法包括以下步骤:

[0066] S101,采用激光剥蚀系统与电感耦合等离子体质谱仪联用的仪器对待测矿物中质量数为83、83.5、84、85、86、86.5、87和88的信号进行采集;

[0067] S102,采用检测重叠峰左侧肩膀位置的方式扣除Ca/Ar聚合物对 ^{84}Sr 的干扰;

[0068] S103, Sr同位素质量分馏校正因子采用 $^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 自然丰度对Sr同位素比值进行指数归一化质量歧视校正;

[0069] S104,通过得到 $^{87}\text{Sr}_t/^{86}\text{Sr}_t$ 来示踪样品的地质来源,进而揭示壳幔演化历史。

[0070] 如图2所示,本发明实施例提供的富Sr矿物或岩石进行Sr同位素分析的系统包括:

[0071] Sr模块1,用于元素分馏和干扰校正计算,具有筛选提示异常数据的功能;

[0072] DataFilter模块2,用于自动化处理异常数据,将每个激光剥蚀点异常信号的异常数据滤除,滤除原则为将与信号均值之差大于2.5倍标准误差的数据删除,每个激光剥蚀点将采集200个信号数据,删除量大于等于三分之一时将提示用户手动查看数据,并分析异常的具体原因;

[0073] Srresult table模块3,用于计算 $\beta^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、 $^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值,并将结果格式化。

[0074] 下面结合具体实施例对本发明的技术方案作进一步描述。

[0075] 全岩锶同位素测试是一项经典的同位素分析技术,但应用于变质岩和矿石样品时往往呈现多解性,并且全岩同位素结果对于细致刻画岩浆演化和成矿过程更是无能为力,从而近些年越来越多的研究者开始采用激光剥蚀系统与多接收等离子体质谱仪联用的仪器探索矿物原位微区锶同位素分析技术,本发明在前人研究的基础上,优化了同质异位素、稀土元素双电荷和Ca/Ar聚合物等干扰扣除方法,简化了测试流程,并在此基础上编制了用于批量计算、异常筛查、滤峰和数据结果格式化的数据处理软件“Sara”。采用本发明的新方法,先后对磷灰石标准物质Durango和Mud Tank、单斜辉石标准物质YY1201和斜长石YG0440进行了锶同位素测试,结果与推荐值在误差范围内一致。

[0076] 针对现有技术存在的问题,本发明提供了一种富锶矿物进行锶同位素分析的新方法及系统。

[0077] 本发明是这样实现的,采用激光剥蚀系统与电感耦合等离子体质谱仪联用的仪器对待测矿物中质量数为83、83.5、84、85、86、86.5、87和88的信号进行采集,Ca/Ar聚合物对 ^{84}Sr 的干扰较为复杂,由于 ^{38}Ar 、 ^{42}Ca 、 ^{43}Ca 、 ^{46}Ca 和 ^{48}Ca 的天然丰度很低,因此 $^{42}\text{Ca}/^{42}\text{Ca}$ 对

84Sr的干扰,46Ca40Ar、48Ca38Ar、46Ca40Ca、44Ca42Ca和43Ca43Ca对86Sr的干扰,44Ca43Ca对87Sr的干扰,以及48Ca40Ar、48Ca40Ca、46Ca42Ca和44Ca44Ca对88Sr的干扰均可忽略不计。Ca/Ar聚合物的干扰则主要表现为44Ca40Ar和44Ca40Ca对84Sr的干扰。84Sr的精确质量数为83.913428,而44Ca40Ar和44Ca40Ca的精确质量数分别为83.917868和83.918076,质量峰非常接近,多接收等离子体质谱仪低分辨模式无法分辨开,而中、高分辨模式又会大大降低测试信号进而降低精度,所以只能采用低分辨模式分析。由于44Ca40Ar和44Ca40Ca的精确质量数接近且均大于84Sr的精确质量数,因此即便在低分辨模式下也不会完全重叠。

[0078] 本发明提出采用检测重叠峰左侧肩膀位置的方式来扣除Ca/Ar聚合物对84Sr的干扰。载气背景中83Kr、84Kr和86Kr对样品信号的干扰采用扣气体空白的方式消除,样品中稀土元素166Er、168Er和170Er的双电荷信号对83Sr、84Sr和85Sr的干扰采用167Er的双电荷(即83.5)信号以及Er元素各同位素的自然丰度来扣除,样品中稀土元素168Yb、170Yb、172Yb、174Yb和176Yb的双电荷信号对83Sr、84Sr和85Sr的干扰采用173Yb的双电荷(即86.5)信号以及Yb元素各同位素的自然丰度来扣除,样品中Rb元素的87Rb同位素对87Sr的干扰采用85Rb的信号以及元素Rb的同位素自然丰度进行扣除。

[0079] 同质异位素干扰扣除计算公式如下:

$$[0080] \quad 86Sr_t = 86Sr_m - [气体空白值(86Kr) + 173Yb_m^{2+} \times (172Yb_M/173Yb_M)]$$

$$[0081] \quad 88Sr_t = 88Sr_m - 173Yb_m^{2+} \times (176Yb_M/173Yb_M)$$

$$[0082] \quad 84Sr_t = 84Sr_m - [气体空白值(84Kr) + 167Er_m^{2+} \times (168Er_M - 167Er_M) + 173Yb_m^{2+} \times (168Yb_M/173Yb_M)]$$

$$[0083] \quad 87Sr_t = 87Sr_m - [85Rb_t \times (87Rb_M/85Rb_M) + 173Yb_m^{2+} \times (174Yb_M/173Yb_M)]$$

$$[0084] \quad 85Rb_t = 85Rb_m - [167Er_m^{2+} \times (170Er_M - 167Er_M) + 173Yb_m^{2+} \times (170Yb_M/173Yb_M)]$$

[0085] 其中,t代表真值,m代表测量值,M代表同位素自然丰度。

[0086] 测试过程中的同位素分馏的校正计算遵从指数分馏法则,公式如下:

$$[0087] \quad \beta = \ln(R_m/R_t) / \ln(M_A/M_B);$$

[0088] 其中, β 为质量歧视校正系数, R_m 为实际测量比值, R_t 为真实比值, M_A 为同位素A的精确质量数, M_B 为同位素B的精确质量数。Sr同位素质量分馏校正因子采用88Sr/86Sr自然丰度对Sr同位素比值进行指数归一化质量歧视校正。

[0089] 最终得到87Sr_t/86Sr_t来示踪样品的地质来源,进而揭示壳幔演化历史。

[0090] 本发明还提供了一种富铯矿物进行铯同位素分析数据处理系统,该系统包括三个模块,分别为:

[0091] Sr模块,用于元素分馏和干扰校正计算,具有筛选提示异常数据的功能;

[0092] DataFilter模块,用于自动化处理异常数据,将每个激光剥蚀点异常信号的异常数据滤除,滤除原则为将与信号均值之差大于2.5倍标准误差的数据删除,每个激光剥蚀点将采集200个信号数据,删除量大于等于三分之一时将提示用户手动查看数据,并分析异常的具体原因;

[0093] Srresult table模块,用于计算 $\beta_{88Sr/86Sr}$ 、84Sr/86Sr、87Rb/86Sr和87Sr/86Sr值,并将结果格式化。

[0094] 本发明人采用Visual Basic语言编写成了高度智能自动化的计算程序“Sara”,省却了地质工作中手动计算的繁重工作,工作效率可提高一百倍以上,可为地质学工作提供

更好的服务。

[0095] 采用本发明的新方法,先后对磷灰石标准物质Durango和Mud Tank、单斜辉石标准物质YY1201、斜长石YG0440和榍石标准物质T3和T4进行了Rb-Sr、Sm-Nd同位素测试,结果与推荐值在误差范围内一致,详见图3。

[0096] 计算机程序“Sara”代码选录如下:

```
Cells(Rows.Count, 1).End(3).Select
    n = Active Cell. Row
    For x = 1 To 10
[0097]         For y = 1 To i
                Cells(Active Cell. Row + y, Active Cell. Column + x).Value = data(y,
x)
                Next
            Next
            For p = 0 To i
                Cells(p + Active Cell. Row + 1, 1) = nm(p)
            Next

            Cells. Select
            With Selection. Font
                .Name = "Times New Roman"
[0098]            End With

            If i = 0 Then
                Msg Box "No data file with the extension of " & ".xls" & ". -- CGS
XA"
            Else
                Msg Box "Done! " & i & " data files were found. -- CGS XA"
            End If
```

[0099] 下面结合具体实验数据对本发明的积极效果作进一步描述。

[0100] 试验数据采用本发明编制的“Sara”程序计算校正,如下:

[0101]

编号点 Site number	Beta 88Sr/86Sr	2SE	84Sr/86Sr	2SE	84Sr/88Sr	2SE	87Rb/86Sr	2SE	87Sr/86Sr	2SE
Durango-01	-1.665533561	0.0057067	0.0568499	0.0001170	0.0067878	0.000014	-0.000283	0.000044	0.706076	0.000153
Durango-02	-1.716314508	0.00572117	0.0566934	0.00010822	0.0067692	1.2922E-05	-0.000292	3.914E-05	0.7061194	0.0001212
Mud tank-01	-1.665586081	0.00186858	0.0565048	1.9071E-05	0.0067466	2.277E-06	-3.41E-06	4.6087E-06	0.7029881	3.024E-05
Mud tank-02	-1.669313057	0.00179951	0.0564683	2.0796E-05	0.0067423	2.483E-06	-5.66E-06	5.3564E-06	0.7030277	2.874E-05
laser-KM2-1-01	-1.608804989	0.00469917	0.0566105	8.7031E-05	0.0067593	1.0391E-05	-5.35E-05	2.4468E-05	0.7097019	0.0001049
laser-KM2-1-02	-1.629169781	0.00407866	0.056548	6.9265E-05	0.0067518	8.2702E-06	-4.18E-05	2.0464E-05	0.7095529	8.423E-05
laser-KM2-1-03	-1.62269565	0.00349799	0.0565653	5.8459E-05	0.0067539	6.9799E-06	-7.01E-05	1.873E-05	0.7097209	8.017E-05
laser-KM2-1-04	-1.635909896	0.00376893	0.0564941	6.4527E-05	0.0067454	7.7045E-06	-8.18E-05	1.876E-05	0.709247	8.65E-05
laser-KM2-1-05	-1.638399306	0.00380631	0.0565473	6.4902E-05	0.0067517	7.7493E-06	-6.72E-05	1.9233E-05	0.7095075	8.297E-05
laser-KM2-1-06	-1.628419074	0.00416217	0.0564905	7.0941E-05	0.0067449	8.4703E-06	-5.28E-05	2.0651E-05	0.7094105	9.425E-05
laser-KM2-1-07	-1.66926292	0.00363211	0.0564867	7.2634E-05	0.0067445	8.6724E-06	-5.68E-05	2.0524E-05	0.7090794	0.0001015
laser-KM2-1-08	-1.646434592	0.00376394	0.056454	6.7904E-05	0.0067406	8.1077E-06	-6.64E-05	1.8087E-05	0.7094569	7.475E-05
laser-KM2-1-09	-1.639394779	0.00390462	0.0567003	7.1274E-05	0.00677	8.5101E-06	-0.000104	1.9928E-05	0.7099983	9.872E-05
laser-KM2-1-10	-1.66579959	0.00362031	0.0565616	6.3072E-05	0.0067534	7.5308E-06	-5.42E-05	1.6714E-05	0.7092784	8.073E-05
laser-KM2-1-11	-1.636952362	0.00361923	0.0564916	6.9342E-05	0.0067451	8.2795E-06	-8.54E-05	1.8536E-05	0.7095791	8.234E-05
laser-KM2-1-12	-1.633075454	0.00369637	0.0565595	6.1597E-05	0.0067532	7.3547E-06	-6.06E-05	1.838E-05	0.709342	8.199E-05
laser-KM2-1-13	-1.633036715	0.00391646	0.0565274	6.5895E-05	0.0067493	7.8678E-06	-8.24E-05	1.6076E-05	0.709662	8.656E-05
laser-KM2-1-14	-1.640666555	0.00364411	0.0565344	6.1592E-05	0.0067502	7.354E-06	-7.38E-05	1.7791E-05	0.7095794	7.666E-05
laser-KM2-1-15	-1.611024777	0.00376657	0.0564782	6.7263E-05	0.0067435	8.0312E-06	-5.38E-05	1.8432E-05	0.7094971	8.591E-05
laser-KM2-1-16	-1.615333222	0.00378889	0.0564951	6.4444E-05	0.0067455	7.6946E-06	-7.6E-05	1.786E-05	0.709458	8.527E-05

laser-KM2-1-17	-1.603330246	0.00352204	0.0566053	7.1152E-05	0.0067586	8.4955E-06	-3.02E-05	1.8368E-05	0.7095744	8.309E-05
laser-KM2-1-18	-1.608539497	0.00355411	0.0564733	6.4576E-05	0.0067429	7.7103E-06	-6.81E-05	1.9659E-05	0.7094207	8.566E-05
laser-KM2-1-19	-1.606811997	0.00383886	0.0564207	6.4237E-05	0.0067366	7.6698E-06	-7.56E-05	1.8659E-05	0.7094707	8.439E-05
laser-KM2-1-20	-1.618504563	0.00384986	0.0565084	7.0277E-05	0.0067471	8.391E-06	-6.02E-05	1.9961E-05	0.7094307	7.933E-05
laser-KM2-2-01	-1.609249592	0.00379141	0.0565364	6.9355E-05	0.0067504	8.281E-06	-4.63E-05	1.7934E-05	0.7093093	8.165E-05
laser-KM2-2-02	-1.618826537	0.00367688	0.0564648	6.433E-05	0.0067419	7.681E-06	-9.93E-05	1.9072E-05	0.7093239	8.201E-05
laser-KM2-2-03	-1.640209899	0.00366993	0.0564604	6.7726E-05	0.0067413	8.0864E-06	-0.000106	1.9634E-05	0.7094164	8.409E-05
laser-KM2-2-04	-1.618397431	0.0039576	0.0565951	7.1577E-05	0.0067574	8.5463E-06	-4.33E-05	2.3716E-05	0.7095286	9.747E-05
laser-KM2-2-05	-1.601131949	0.0039987	0.0565153	7.1275E-05	0.0067479	8.5102E-06	-2.55E-05	1.9521E-05	0.7092751	8.465E-05
laser-KM2-2-06	-1.602230627	0.00404194	0.0563663	6.6612E-05	0.0067301	7.9534E-06	-6.08E-05	1.6683E-05	0.7094139	7.606E-05
laser-KM2-2-07	-1.602732116	0.00533497	0.0565254	0.00010088	0.0067491	1.2045E-05	-8.08E-05	2.7497E-05	0.7095452	0.0001114
laser-KM2-2-08	-1.584382163	0.0065258	0.0564969	0.00013107	0.0067457	1.5649E-05	-1.72E-05	3.8905E-05	0.7093192	0.0001603
laser-KM2-2-09	-1.605569837	0.00429378	0.0566241	6.5989E-05	0.0067609	7.879E-06	-7.93E-05	2.0923E-05	0.7095921	8.553E-05
laser-KM2-2-10	-1.604729895	0.00365928	0.0564653	6.9301E-05	0.0067419	8.2745E-06	-6.99E-05	2.0184E-05	0.7094492	9.164E-05
laser-KM2-2-11	-1.609559298	0.00410816	0.0566813	8.1736E-05	0.0067677	9.7593E-06	-2.14E-05	2.1483E-05	0.7093928	9.243E-05
laser-KM2-2-12	-1.60658948	0.00374811	0.0565906	7.732E-05	0.0067569	9.232E-06	-6.37E-05	1.9679E-05	0.7095466	9.429E-05
laser-KM2-2-13	-1.607320471	0.00382091	0.0564237	7.5862E-05	0.0067369	9.0579E-06	-7.92E-05	2.0281E-05	0.7092931	9.247E-05
laser-KM2-2-14	-1.612070253	0.00392317	0.0564698	6.7439E-05	0.0067425	8.0521E-06	-8.12E-05	1.9341E-05	0.7094655	9.063E-05
laser-KM2-2-15	-1.621715307	0.00420589	0.0566109	7.1604E-05	0.0067593	8.5495E-06	-6.28E-05	1.8416E-05	0.709448	9.099E-05
laser-KM2-2-16	-1.606938012	0.00371035	0.0565271	6.9396E-05	0.0067493	8.2858E-06	-8.64E-05	1.9417E-05	0.7094072	7.863E-05
laser-KM2-2-17	-1.610153144	0.00406786	0.0564985	6.5166E-05	0.0067459	7.7807E-06	-6.56E-05	1.9088E-05	0.7094394	8.953E-05
laser-KM2-2-18	-1.607359998	0.00362501	0.0564716	7.2489E-05	0.0067427	8.6551E-06	-0.000104	1.9338E-05	0.7093968	9.045E-05
laser-KM2-2-19	-1.600405451	0.00452457	0.0563667	7.1586E-05	0.0067301	8.5473E-06	-6.45E-05	1.823E-05	0.7095553	9.054E-05
laser-KM2-2-20	-1.586993932	0.00537284	0.0564592	8.5579E-05	0.0067412	1.0218E-05	6.199E-05	2.7852E-05	0.7095809	9.617E-05
laser-KM3-1-01	-1.694325113	0.00425859	0.0565482	8.5574E-05	0.0067518	1.0217E-05	-2.99E-05	2.2225E-05	0.7094001	9.83E-05
laser-KM3-1-02	-1.675366271	0.0032512	0.0565079	6.3725E-05	0.006747	7.6087E-06	-1.44E-05	1.8254E-05	0.7097788	8.22E-05
laser-KM3-1-03	-1.67540909	0.00372795	0.056681	7.1454E-05	0.0067677	8.5315E-06	-7.26E-05	1.7707E-05	0.7097138	8.407E-05
laser-KM3-1-04	-1.668630799	0.00340794	0.0564827	6.6764E-05	0.006744	7.9716E-06	-7.27E-05	1.6907E-05	0.7096769	8.161E-05
laser-KM3-1-05	-1.685348212	0.00342227	0.0565567	6.7557E-05	0.0067528	8.0663E-06	-6.48E-05	1.8008E-05	0.7096479	7.473E-05
laser-KM3-1-06	-1.693204078	0.00389204	0.0565599	6.8464E-05	0.0067532	8.1745E-06	-5.8E-05	1.754E-05	0.7094894	8.699E-05
laser-KM3-1-07	-1.711959282	0.00317295	0.0563876	6.4918E-05	0.0067326	7.7512E-06	-0.000141	1.863E-05	0.7095515	8.767E-05
laser-KM3-1-08	-1.700367366	0.004618	0.0565431	9.9932E-05	0.0067512	1.1932E-05	-0.000102	2.6283E-05	0.7096862	0.0001012
laser-KM3-1-09	-1.659407236	0.00353157	0.0565398	6.6572E-05	0.0067508	7.9487E-06	-3.24E-05	1.8505E-05	0.7096174	8.91E-05
laser-KM3-1-10	-1.681812377	0.00340272	0.0565477	5.9493E-05	0.0067518	7.1034E-06	-4.65E-05	1.6756E-05	0.709607	7.532E-05
laser-KM3-1-11	-1.681704798	0.00410819	0.0566323	8.1075E-05	0.0067619	9.6803E-06	-9.73E-05	2.2376E-05	0.7098795	9.729E-05
laser-KM3-1-12	-1.671674444	0.00373468	0.0565643	7.1829E-05	0.0067537	8.5763E-06	-8.87E-05	1.8957E-05	0.7097253	8.52E-05
laser-KM3-1-13	-1.660254574	0.00386603	0.0565906	6.9979E-05	0.0067569	8.3554E-06	-7.08E-05	1.7876E-05	0.709609	8.464E-05
laser-KM3-1-14	-1.644335621	0.00402359	0.056579	6.2966E-05	0.0067555	7.5182E-06	-1.24E-05	1.7449E-05	0.7095184	8.265E-05
laser-KM3-1-15	-1.658040644	0.00410567	0.0564482	6.2469E-05	0.0067399	7.4588E-06	-7.43E-05	1.8956E-05	0.7096363	7.663E-05
laser-KM3-1-16	-1.681773996	0.00335868	0.0564831	6.9084E-05	0.0067441	8.2486E-06	-7.25E-05	1.613E-05	0.7096505	8.19E-05
laser-KM3-1-17	-1.668736255	0.00370984	0.0566069	6.4424E-05	0.0067588	7.6922E-06	-8.07E-05	1.8127E-05	0.7095345	6.843E-05
laser-KM3-1-18	-1.681761076	0.00392281	0.0564766	6.2098E-05	0.0067433	7.4144E-06	-8.48E-05	1.7302E-05	0.7095397	8.155E-05
laser-KM3-1-19	-1.690415857	0.0037238	0.0565161	6.4282E-05	0.006748	7.6753E-06	-7.02E-05	1.7819E-05	0.7095594	7.987E-05
laser-KM3-1-20	-1.662402339	0.00384953	0.0564964	5.9756E-05	0.0067456	7.1348E-06	-6.15E-05	1.7287E-05	0.7094914	7.989E-05

[0102]

[0103] 本发明实施例提供的技术已经在某单位和高校开始示范应用,效果显著,得到一致好评,同时已经带来可观的测试收入(证明材料见图3所示),产生了商业价值,具有良好前景。

[0104] 在上述实施例中,可以全部或部分地通过软件、硬件、固件或者其任意组合来实现。当使用全部或部分地以计算机程序产品的形式实现,所述计算机程序产品包括一个或多个计算机指令。在计算机上加载或执行所述计算机程序指令时,全部或部分地产生按照本发明实施例所述的流程或功能。所述计算机可以是通用计算机、专用计算机、计算机网络、或者其他可编程装置。所述计算机指令可以存储在计算机可读存储介质中,或者从一个计算机可读存储介质向另一个计算机可读存储介质传输,例如,所述计算机指令可以从一个网站站点、计算机、服务器或数据中心通过有线(例如同轴电缆、光纤、数字用户线(DSL)或无线(例如红外、无线、微波等)方式向另一个网站站点、计算机、服务器或数据中心进行传输)。所述计算机可读存储介质可以是计算机能够存取的任何可用介质或者是包含一个或多个可用介质集成的服务器、数据中心等数据存储设备。所述可用介质可以是磁性介

质(例如软盘、硬盘、磁带)、光介质(例如DVD)、或者半导体介质(例如固态硬盘Solid State Disk(SSD))等。

[0105] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

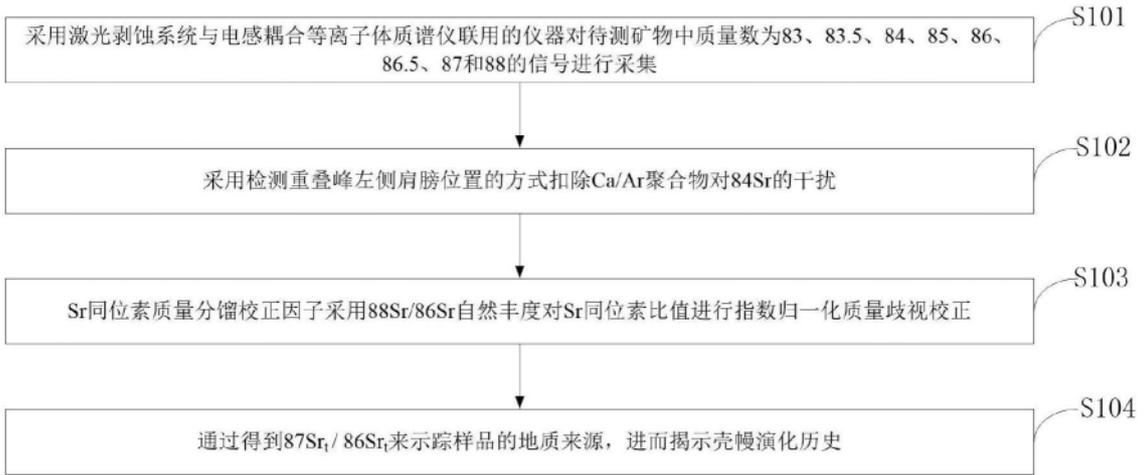


图1

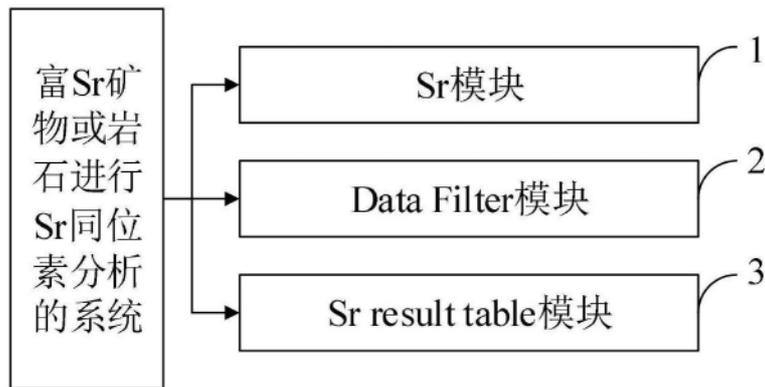


图2

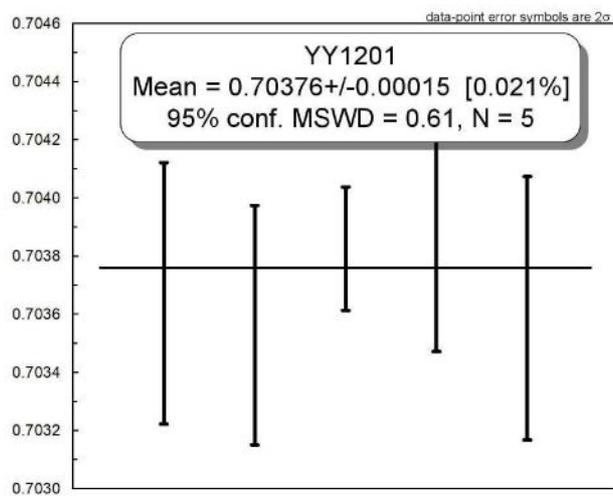


图3(a)

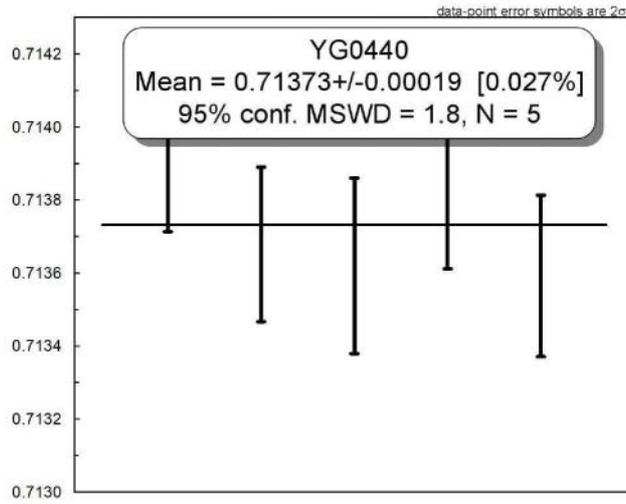


图3(b)

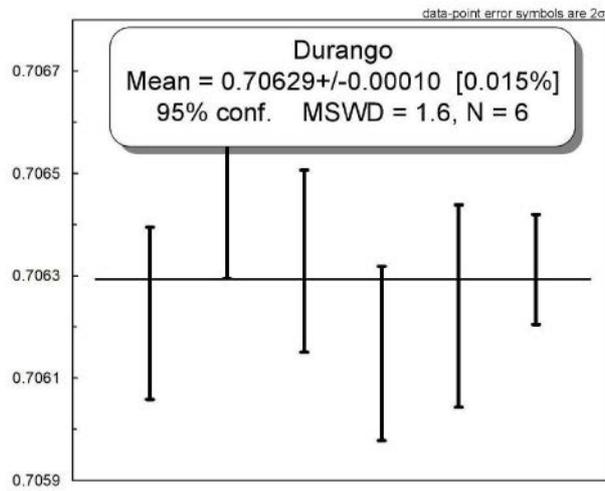


图3(c)

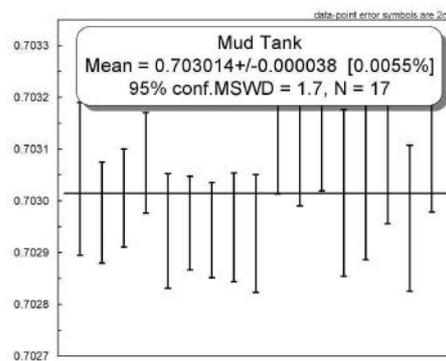


图3(d)