



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101040184 B

(45) 授权公告日 2014. 04. 02

(21) 申请号 200580030024. 0

代理人 梁晓广 陆锦华

(22) 申请日 2005. 09. 07

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

G01N 33/24 (2006. 01)

7440 2004. 09. 07 IS

G01B 11/30 (2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

(56) 对比文件

2007. 03. 07

US 5184733 A, 1993. 02. 09, 全文.

(86) PCT国际申请的申请数据

US 6590669 B1, 2003. 07. 08, 全文.

PCT/IS2005/000020 2005. 09. 07

US 20030035061 A1, 2003. 02. 20, 全文.

(87) PCT国际申请的公布数据

US 5309215 A, 1994. 05. 03, 全文.

W02006/027802 EN 2006. 03. 16

CN 1480721 A, 2004. 03. 10, 说明书第 3 页第 2 段.

(73) 专利权人 彼得罗模型公司

CN 1074754 A, 1993. 07. 28, 说明书第 5 页最后一段—第 6 页第 2 段, 图 1, 2.

地址 冰岛雷克雅末

GB 2052736 A, 1981. 01. 28, 说明书第三栏

(72) 发明人 托尔吉尔·黑尔加松 贾森·李

10 — 33 行, 第 4 栏倒数第三行—第 5 栏第二行.

梅尔文·L·史密斯

审查员 叶晓燕

昂纳尔·托马斯·莫勒

特里格维·托尔吉尔松

维拉·赫费尔 于尔根·皮尔茨

约恩·阿特勒·贝内迪克松

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限

责任公司 11219

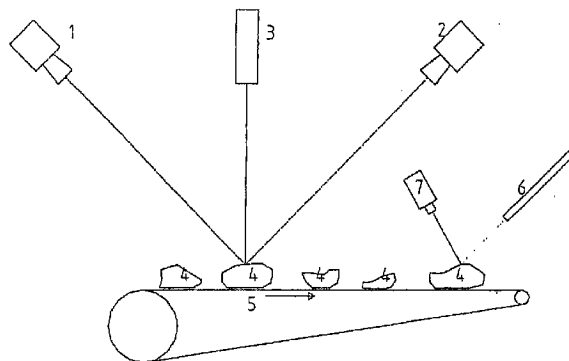
权利要求书2页 说明书14页 附图10页

(54) 发明名称

用于尺寸、外形和棱角性分析以及用于矿石和岩石颗粒的成分分析的设备和方法

(57) 摘要

用于矿石和岩石颗粒等物体的尺寸和形状的三维测量以及成分分析的装备和方法。将矿石或岩石等的相同或不同尺寸的颗粒或物体的混合物单独地并且自动地馈送到传送带上, 以使用激光和两台照相机进行三维机器视觉测量, 并接着使用可见和红外光进行光谱测量, 并且随后在传送带的末端进行收集。计算机软件根据内嵌的测量过程或用户规定的方法, 自动执行测量, 计算每个单个物体的尺寸、外形、圆度和优选的是岩相成分和其它特征或属性、以及相关属性的统计分布。



1. 一种用于自动分析从矿石、岩石、砾石、天然、人造或回收的骨料中选择的多个样品物体的尺寸和形状的设备,该设备包括:

a) 送料器单元,用于将间隔开的物体的流馈送到传送带上,

b) 照明源,其将平面准直光束投射到所述传送带之上,

c) 图像捕获装置,包括至少一个图像检测器,用于捕获对所述物体照明的所述平面准直光束的反射的图像,

控制系统,该控制系统设置有其中存储有计算机程序的处理装置和存储器,用于控制装备的机械和硬件部分和用于存储捕获的图像,该控制系统被适配用于处理所述物体的一系列图像,并且自动地确定所述物体的尺寸和形状,以及返回表示该物体的尺寸和形状的参数,所述形状参数包括指示外形和棱角性的参数,

其中所述控制系统被适配用于处理图像序列,实施形态学算法,以计算角体积值,反映颗粒表面的深度图像和形态学开口之间的差,所述角体积值与圆度或棱角性参数相关。

2. 如权利要求1的设备,其中所述图像捕获装置包括至少两个图像检测器,它们被设置成从与平面准直光束的不同角度捕获朝向物体的平面准直光束的所述反射的图像。

3. 如权利要求1的设备,其中所述送料器是从振动螺旋升运器或定量送料器中选择的。

4. 如权利要求1的设备,被设置成每小时自动分析最大直径小于100nm的至少100个所述样品物体。

5. 如权利要求4的设备,被设置成每小时自动检测最大直径小于100nm的至少400个所述样品物体。

6. 如权利要求1的设备,其中控制系统被适配用于基于计算机程序处理所述物体的图像序列和得到的三维表面图像,并计算以下参数中的一个或多个:物体的尺寸、长轴、中间轴和短轴的长度,伸长率和扁平率,外形分类,等效形状指数,等效扁平指数,球形度,圆度或棱角性值,和对于多个被分析颗粒的一个或多个所述参数的统计分布。

7. 如权利要求6的设备,该控制系统被适配用于确定所述物体的尺寸参数和尺寸分布、外形分类和外形分类分布以及棱角性分类和棱角性分类分布。

8. 如权利要求1~7中的任一项的设备,其中所述形状参数还包括表示平滑度/粗糙度的表面纹理参数。

9. 如权利要求1的设备,其中所述形态学算法基于结构椭球元素的使用,该元素是为每个要分析的颗粒定义的,具有与所述颗粒基本相同的纵横比。

10. 如权利要求9的设备,其中比例常数在1:3到1:10的范围内,所述比例常数被定义为所述颗粒与所述结构椭球元素的尺寸比率。

11. 如权利要求1的设备,还包括光源、分光光度检测器和控制系统,该光源提供可见光和/或红外光光束,该分光光度检测器用于检测来自所述物体的照明光点的所述光束的反射,并且测量可见和/或红外吸收或反射光谱,该控制系统被适配用于处理所述光谱,并将其与基于基准材料的基准光谱和/或谱值进行比较,从而根据矿石和岩石颗粒等物体的类型和/或变体的预定分类系统,对所述物体进行分类。

12. 如权利要求11的设备,其中可见和红外光源提供包括从340到1200nm的波长范围的可见和红外光,所述范围由检测器检测。

13. 如权利要求 1 ~ 7 中的任一一项的设备,进一步包括加权装置,用于加权每个物体。

14. 一种方法,用于确定从矿石、岩石、砾石、天然、人造或回收的骨料中选择的样品中的多个物体的尺寸和形状,其中形状确定至少包括表示颗粒是长形的或扁平的外形参数或分类的确定、以及棱角性确定,该方法包括:

- 将所述物体馈送到移动的传送带上,

- 用平面准直光束横跨传送器的方向照射连续的物体流,

- 使用至少一个图像检测器捕获照射所述物体的所述平面准直光束的扩散反射的图像,并且在存储器中存储所述图像,使得基于传送器的预定速度,为每一物体获取一系列图像,并且使用常规的最小频率对其进行存储,

- 为每个在平面准直光束下通过的物体处理所述物体的图像序列,从而获得表示所述物体的三维表面数据或等高线图以及地形数据,

- 基于所述得到的数据,为所述物体确定尺寸参数和形状参数,其中所述形状参数包括表示颗粒是长形的或扁平的外形参数和 / 或分类、以及棱角性参数和 / 或分类,其中具有与所述物体的轴成比例的轴的椭球结构元素被用于数学形态学算法中,以确定所述物体的棱角性。

15. 如权利要求 14 的方法,包括使用至少两个图像检测器捕获图像,在所述平面准直光束的每侧上有一个图像检测器。

16. 如权利要求 14 的方法,包括编译尺寸和形状数据,包括表示在所述多个物体中的用于每个物体的延长性和扁平度的外形数据以及棱角性 / 粗糙度数据,以及计算表示所述样品中的所分析物体的尺寸和形状平均值和改变值的参数。

17. 如权利要求 16 的方法,其中通过根据所述物体的短轴和中间轴计算的椭圆表示物体尺寸。

18. 如权利要求 16 的方法,其中通过基于测量尺寸和预定形状而计算的体积,来表示物体尺寸。

19. 如权利要求 18 的方法,其中椭球是根据表示物体的外部尺寸的三条轴计算的,其中所述椭球提供了物体体积的近似值,以产生关于多个所分析物体的尺寸分布。

20. 如权利要求 19 的方法,其中所述外形参数和 / 或分类包括分成至少四个分类的外形分类,所述四个分类表示物体是基本球面的、基本扁平的、基本长形的还是基本扁长的。

21. 如权利要求 14 的方法,其中比例常数在 1:3 到 1:10 的范围内,其中所述比例常数被定为所述颗粒与所述椭球结构元素的尺寸比率。

22. 如权利要求 14 的方法,其中所述比例常数在 1:4 到 1:8 的范围内。

23. 如权利要求 14 的方法,其中所述棱角性被分类为多个分类。

24. 如权利要求 14 的方法,还包括使用可见光和 / 或红外光照射光束对送入到传送器的每个物体进行照射,检测来自所述物体的照明光点的所述光束的反射,并且测量可见和 / 或红外吸收或反射光谱,将所述光谱与基准光谱进行比较,从而确定所述物体的岩石学信息或其它成分信息。

25. 如权利要求 24 的方法,其中所述岩石学信息包括根据岩石学岩石分类和 / 或变体的预定分类系统的所述物体的分类。

用于尺寸、外形和棱角性分析以及用于矿石和岩石颗粒的成分分析的设备和方法

技术领域

[0001] 本发明一般涉及用于分析矿石和岩石颗粒的装备和方法,并且特别是涉及基于光学和分光光度法自动分析此类颗粒的新设备和方法,以确定矿石和岩石颗粒的尺寸和形状(包括外形和棱角性)以及矿石和岩石颗粒的成分,并且根据尺寸、形状和岩相类型对颗粒进行分类。

背景技术

[0002] 岩石和矿石颗粒的尺寸分析、岩石学描述和其它分析的传统人工和机械方法是非常完善的,并且建筑骨料行业常规地将其用于质量控制、以及用于对例如道路骨料和混凝土骨料进行评测。然而,传统的方法通常需要受过高度培训的技术人员,而且还难以获得复验性的结果,并且传统的方法是繁重的、费时的和昂贵的。

[0003] 在用于矿石和岩石颗粒的光学分析的现有技术中,例如在 W002/090942-A1、DE29800809-U1、DE20117494-U1、DE20219141-U1、US6061130 和 US5309215 中,已经描述了一些方法和装置。然而,上述文献中披露的方法或装备都没有提出用于矿石和岩石颗粒的自动尺寸和形状确定的三维分析(例如,根据外形和棱角性的分类),而且它们也没有提出岩相成分的分析。

[0004] 需要一些方法和装备,它们能够提供对于矿石和岩石颗粒的可靠的和有复验性的高通量的测量,以确定这些颗粒的尺寸、外形,并且最好还确定其成分。

发明内容

[0005] 本发明的一个目的是提供一种设备和方法,用于对在从矿石、岩石、砾石、天然、人造或回收的骨料等中选择的样品中的物体/颗粒进行高通量分析,以便自动确定在包括多种物体/颗粒的样品中的每种物体/颗粒的尺寸和形状,其中形状确定包括定义外形和棱角性的参数。

[0006] 本发明的设备将适当的送料系统与光学图像检测系统和控制系统相结合,所述送料系统用于将所述物体送入到具有某预定最大宽度的单层流中,使得物体是被间隔开(即没有重叠或直接接触),光学图像检测系统被配置成为每个物体获取三维表面数据,控制系统设置有处理装置和专用软件,用于处理所述物体的图像,并且自动确定所述物体的尺寸和形状、并返回表示物体的尺寸和形状的参数。优选的,该设备还额外地包括光谱检测系统,用于获取样品的光谱,控制系统处理所述光谱以获得表示样品物体的成分和/和岩石学类型的数据。本发明的设备和方法能够自动且迅速地分析岩石样品,例如用于评测建筑物、混凝土、公路建筑以及相关应用的质量和适用性。迄今为止,这种分析是基于冗长的半机械方法(筛选和研磨)和人工视觉检查。

[0007] 本发明的另一个方面是提供一种方法,用于确定从矿石、岩石、砾石、天然、人造或回收的骨料等中选择的样品中的多个物体的物体尺寸和形状,其中形状确定至少包括表示

颗粒是长形的和 / 或扁平的外形参数或分类的确定、以及棱角性确定。

[0008] 又一个方面提供了计算机程序产品,用于在这里所说明的方法中执行数据分析和确定,以及控制数据获取。

附图说明

[0009] 图 1 示意性地示出了用于光学检测和表面分析的激光照相机三角测量系统的一般设置。示出了两个照相机 1 和 2 以及将激光束引导朝向物体 4 的激光器 3。箭头 5 示出了传送器 11 的运动方向。6 示出了可选择包括的 IR/VIS 光源,以及 7 是可选的分光光度计,用于测量样品物体 4 的 IR/VIS 吸收率。

[0010] 图 2 示出了本发明的优选设备的总体图。

[0011] 图 3 是用于光学检测表面分析的控制系统和程序中的一部分的程序结构的示意图,如在例 1 中更加详细说明的。

[0012] 图 4 示出了没有阻挡和透视效果的深度亮度图像,表示了将通过这里所述的数学形态学算法进行分析的颗粒。

[0013] 图 5 描述了通过一种“滚动球”数学形态学方法确定棱角表面的体积损失(“体积丢失”或“角体积”)为多少;图 5a 中示出了原始表面,随后应用了变形(图 5b),并且去除了无法由椭圆结构元件访问的所有点(图 5c)。

[0014] 图 6 示出了从捕获深度图像(range image)中得出的三个颗粒的横截面。外侧线表示出原始边界,而内侧线表示了形态学开运算(morphological opening)之后的边界。图 6a 表示出一个完全滚圆的颗粒,图 6b 表示出一个不太滚圆的颗粒,图 6c 表示出一个棱角状的颗粒。

[0015] 图 7a 示出了根据本发明(参见例 2)所确定的体积损失相对于根据 Powers 标度分类的每一颗粒的视觉评测的棱角性的散点图,说明了在较高棱角性类型中体积损失的变化。图 7b 是在每一类下的百分比体积损失相对于人工评测的 Powers 数量的标准偏差曲线。

[0016] 图 8 示出了在通过本发明的方法自动确定的平均百分比体积损失与每个分类的 Powers 数量之间的关系。

[0017] 图 9 示出了由执行本发明的计算机软件产生的屏幕视图;9a 的视图示出了一个单独物体的测量数据,包括轴长度、棱角性分类、外形分类的形式、角体积等;9b 基于样品体积(左)和样品物体数量(右)示出了一个样品的累积的颗粒尺寸分布;9c 基于体积(左)和数量(右)示出了样品物体在棱角性和外形分类上的分布。

具体实施方式

[0018] 能够为特定的样品类型来配置本发明的设备,但是本发明的设备普遍适用于包括多种物体/颗粒的批量样品的自动分析,所述多种物体/颗粒例如是矿石、岩石、砾石、天然、人造或回收的骨料等。

[0019] 这里所使用的术语“形状”是指宏观外形和物体棱角性,优选的是还涉及表面纹理。正如这里所使用的,参数“外形”用于根据物体的主轴(长轴、中间轴和短轴)的比率对所分析的物体进行分类。据此,物体可以如图 9c 中所示分为四类,长形、扁长形、扁平形、

立方体形。如果所有轴在长度上基本相似,那么该物体分类为立方体形;如果中间轴和短轴相似,而长轴相当长,那么该物体分类为长形;如果长轴和中间轴相似,并且远远长于短轴,那么该物体分类为扁平形;并且如果所有的轴是不同的,即长轴远远长于中间轴,中间轴远远长于短轴,那么该物体分类为扁长形。可以选择不同的截止值来定义外形分类之间的界限。在一种分类方案中,如果两个轴的比小于 0.67(较短的轴:较长的轴),那么认为它们是相似的,但是这个值也可以设置为例如 0.5 或 0.75。

[0020] 这些不同的外形也可以按照扁平率或伸长率来表示。通常在本领域中,依据所使用的标准,如果颗粒的厚度小于其宽度的 0.5 或 0.67,那么就认为它是扁平状的,而如果其宽度小于其长度的 0.5 或 0.67,那么就认为它是“长形的”。通过根据所测量的主轴比率对测量物体进行归组,并根据使用传统测径法进行的比较测量,选择适当的区间段来定义与分类匹配的组,能够使用本发明的方法来容易地完成这样的分类。

[0021] 该设备包括送料器,其用于将样品物体馈送到传送带上,使得这些物体在单层流中保持间隔,而不相互重叠或直接接触。在某些实施例中,物体基本上排列在一条单线上,使得一次有一个样品物体进入设备的检测区域,然而,也可以同时检测两个或多个物体,只要检测手段和分析软件能够在物体间进行区分。根据本发明,可以使用本领域技术人员所知晓的多种送料方案,比如对于该装置的主传送带,可以使用以一个角度(例如直角)设置的一个或多个传送带。当前的优选实施例包括如图 2 中所示的振动螺旋升运器 8,其尺寸取决于所要分析的颗粒样品。丹麦的 ScanVibro 提供了适合的螺旋升运器。也可以使用其它的构造,例如由 Vibratechniques 有限公司(UK)提供的振动定量送料器。

[0022] 本领域技术人员能够容易地选择在该设备中使用的主传送器 11,并且优选的是,该主传送器 11 应当由适当的高精度电机来驱动,以便在该设备的工作期间确保固定速度。在一个实施例中,使用了一种电机,其速度直接取决于输入 AC 频率,该频率由可调频率控制器精确地控制。在图 2 所示的构造中,送料传送器 12 将物体从送料器 8 传送到主传送器 11,该送料传送器被设置为较低的速度,并且帮助进行物体的离散分布。由滚轮 10 驱动主传送器 11,滚轮 10 轴向连接到被固定到盖子 13 的远侧面板 14 的电机。盖子 13 的敞开侧也可以由可安装的前侧面板(未示出)封闭。

[0023] 光学检测和表面分析

[0024] 该设备包括一个照射源,该照射源在整个主传送带上投射平面光束(即准直的、并且优选是相干的光),该光束典型的是与运动方向正交,并且优选的是还与传送带平面正交。在一个实施例中,相干二极管激光与适当的透镜一起使用,用于产生准直的平面相干光束。光束在整个传送带之上的宽度决定了将要分析的物体的最大宽度,通常对于常规的岩石骨料样品,大约 40~160mm 的光束宽度是合适的,比如在大约 40~100mm 的范围内,例如在大约 40~80mm 的范围内,例如大约 50mm 或大约 60mm,或较宽的例如大约 100mm、120mm、140mm 或 160mm。假如较长物体的长轴沿着传送带放置,使得跨越传送带的物体宽度不大于光束宽度,那么能够分析较长的物体。跨越光束平面的光束宽度本身影响表面分析的分辨率,优选的是在所要分析的物体的最大表面高度处的宽度小于 0.1mm,例如 0.05mm 或更小。然而难以定义光束的该宽度;所观测的宽度将取决于环境光水平、光投射于其上的表面纹理等,并且特别取决于透镜结构,该透镜结构被适当地配置,以使得光束聚焦在与传送带相距所估计的颗粒高度处,例如 30~40mm,或对于较小的颗粒样品则更低。

[0025] 本发明对于砾石尺寸骨料（从大约 2 ~ 4mm 到大约 40 ~ 60mm）的分析、以及对于石块（stone）尺寸骨料（从 20 ~ 40 到大约 160mm）的分析是特别有益的；并且本发明也可以用于砂子尺寸颗粒（大约 0.5 ~ 2mm），虽然可能需要不同的送料器结构，但是此类适当的解决方案对本领域技术人员来说是已知的。

[0026] 图像捕获设备包括至少一个图像检测器，典型的是具有透镜和 CCD 或 CMOS 检测器的机器视觉照相机，选择具有适当焦距的透镜。检测器被设置，使得它们能够捕获下述平面光束的漫反射图像，所述平面光束照射经由光束路径传送的物体。图像检测器被控制用于以短的定时间隔捕获图像，比如大约每秒 10 张图像或更高，比如大约每秒至少 20 张图像，包括每秒至少 24 或至少 26 张图像。使用更快的处理器，能够获得更高的速率，从而能够获得在每秒大约 25 ~ 120 张图像范围内的速率，比如大约每秒 40 或 48 张图像、或达到每秒 75 或 100 张图像。图像捕获频率决定了所允许的传送器速度，并且从而决定了测量的通量。对于高通量分析，理想的是高的图像捕获频率，比如至少每秒 50 张图像或至少每秒 100 或 120 张图像。本发明的软件和控制系统的可供高通量分析使用，并且使用当前系统结构能够将其配置成每小时分析至少大约 100 个小于 100mm 最宽直径（长轴）的物体，优选的每小时分析至少大约 200 个小于 100mm 最宽直径（长轴）的岩石。然而，假如更长的长形物体是与传送带平行地放置的，并且该物体跨越传送带的宽度小于光束宽度，那么能够分析该长形物体。因此，优选的是将该设备的送料器设计为使得将物体以最长轴沿着传送带的方向设置在传送器上。

[0027] 在一个优选实施例中，使用了两个图像检测器，优选的是对它们进行放置，以便捕获平面光束的所述反射的图像，两个检测器以与平面光束的不同角度朝向物体，优选的是在平面光束的每侧上有一个检测器，并且对准该检测器，使得每个图像平面都具有垂直于传送带方向的水平轴，与平面光束平行。换句话说，检测器优选的与传送带方向对准，一个在光束的前面，另一个在光束的对面，如图 1 和图 2 所示。

[0028] 该设备进一步包括控制系统，该控制系统设置有其中存储有计算机程序的处理装置、以及存储器，用于控制该装备的机械和硬件部分和用于存储捕获图像，该控制系统适于处理所述物体的一系列图像，从而自动确定所述物体的尺寸和形状，并返回表示该物体的尺寸和形状、并且优选的是还表示样品物体的岩石成分的参数，所述形状包括外形和棱角性。

[0029] 在该设备的一个实施例中，控制系统被适配用于基于计算机程序处理所述物体的图像序列和所得到的三维表面图像，并且计算一个或多个下列参数：物体尺寸、长轴、中间轴和短轴的长度、伸长率和扁平率、外形分类、等效形状指数、等效扁平指数、球形度、圆度或棱角性值和 / 或分类、以及多个所分析颗粒的一个或多个所述参数的统计分布。

[0030] 在一个优选实施例中，控制系统被适配用于处理图像序列，实施数学形态学算法，以计算伪体积损失值，该值与圆度或棱角性参数和 / 或分类相关。

[0031] 通常，岩石颗粒的棱角性是使用 Powers 标度上的六种类别之一来描述的，如由 Powers 最初建议的，其中 1 是“极其棱角的”，2 是“棱角的”，3 是“亚棱角的”，4 是“亚滚圆的”，5 是“滚圆的”，6 是“完全滚圆的”。（Powers, M. C. “A new roundness scale for sedimentary particles (一种用于沉积颗粒的新圆度标度)” Journal of Sedimentary Petrology (1953) 第 23 卷, 第 177 ~ 119 页)。

[0032] 如这里详细描述,基于根据本发明的棱角性测量,能够构建棱角性标度。该标度可以基于“角度的%体积”判定的,其中可以选择适当的截止值以建立多个区间,这些区间基本是像根据 Powers 标度通过人工检查进行分类一样,对物体进行分类。发明人发现,可以利用本发明的设备和方法,根据 Powers 棱角性定义,自动地将颗粒分类,该 Powers 棱角性定义具有与通过人工检查的独立分类之间的良好统计相关性。

[0033] 形态学分析

[0034] 本发明的优选实施例的双照相机激光三角测量系统允许充分的表面覆盖,有效的提供了颗粒的上半球的完整模式。因此,每个颗粒能够被表示为没有阻挡和透视效果的深度图像,如图 3 所示。

[0035] 在深度成像和灰度形态学之间存在固有的密切关系。使用激光三角测量收集的、和在深度图像中表示的点云数据实际是在 R^3 空间内的自由平面。为了表征该颗粒的形态,我们需要假定物体是在可视表面以下的阻挡区域内的固体。在 R^3 空间内由函数 $f(x, y)$ 表示的灰度级图像,在灰度形态学内被认为是在 R^3 空间内的点集 $[x, y, f(x, y)]$ 。阴影区 $U[f]$ 能够被定义为:

$$[0036] \quad U[f] = \{p(x, y, z) : z \leq f(x, y)\} \quad (\text{式 1})$$

[0037] 因此,在 R^3 空间内的集合 X 的阴影区是在 X 的阴影内包括的点的体积,其中发光体是在正 z 方向上无限远处的点光源 (Stanley R. Sternberg, 灰度形态学 CVGIP 35(1986), 第 333 ~ 355 页)。这相当于在激光三角测量系统内的照明方向,并且因而,该阴影区类似于由激光投射的阴影。

[0038] 随后如下定义灰度侵蚀和扩张。具有结构元素 g 的图像 f 的侵蚀包括将结构元素转换到图像上的每个点,并且取一个“差的最小值”,从而:

$$[0039] \quad (f \ominus g)(i, j) = \min \{f(i-x, j-y) - g(x, y) : (i-x, j-y), (x, y) \in Z^2\} \quad (\text{式 2})$$

[0040] 类似的,对于灰度扩张,我们将结构元素转换到图像上的每个点,并且取一个“差的最大值”,从而:

$$[0041] \quad (f \oplus g)(i, j) = \max \{f(i-x, j-y) + g(x, y) : (i-x, j-y), (x, y) \in Z^2\} \quad (\text{式 3})$$

[0042] 在它们的标准形式中,这些运算对于噪声和局部亮度变化是高度敏感的。当处理深度成像时,这一点受到特别关注,因为由激光斑纹导致的任何脉冲噪声和点阻挡都可能对处理结果造成重大影响。在软形态学中,在侵蚀和扩张中使用的最大和最小运算符被更一般的权重级数统计量替换。结构元素由“硬”中心和“软”边界组成,其中对中心加权,以便对运算产生比对边界多的影响。因而,我们定义了一个包括三个参数的结构系统 $[B, A, k]$,有限集合 A 和 $B, A \subset B$,以及满足 $1 \leq k \leq |B|$ 的自然数 k 。 B 是结构集, A 是硬中心, k 是级数指数或重复参数。我们分别用 $\min^{(k)}$ 和 $\max^{(k)}$ 表示一个集合的第 k 个最小和第 k 个最大元素,并且与 Koskinen 等人使用的约定保持一致 (Koskinen 等, Soft Morphological Filters Proceedings of SPIE (SPIE 软形态学滤波论文集) (1991) 第 1568 卷,第 262 ~ 270 页),我们使用 $\diamond$ 代表重复运算。

[0043] 那么具有结构系统 $[B, A, k]$ 的图像 f 的软侵蚀最好被定义为:

$$[0044] \quad f \ominus [B, A, k](x) = \min^k \{[k \triangleright f(a) : a \in A_x]\} \cup \{f(b) : b \in (B-A)_x\} \quad (\text{式 4})$$

[0045] 类似的,通过 $[B, A, K]$ 进行的 f 的软扩张被定义为:

$$[0046] \quad f \oplus [B, A, k](x) = \max^k \{ [k \langle \rangle f(a) : a \in A_x] \cup \{f(b) : b \in (B-A)_x\} \} \quad (\text{式 } 5)$$

[0047] 适当的结构元素的仔细选择对于任一形态学运算指令的效能都是关键的。在根据本发明的物体分析中,对于在任一点上的颗粒方位和颗粒表面的倾斜度,结构元素都需要是恒定的。形态学开还应当导致在具有完全滚圆表面的颗粒中体积的最小损失。在这些约束下,适当尺寸的球体是理想的选择。这再次表示为深度图像。当使用这种方法时,实际使用对半球的离散逼近,而不是真实的连续球体。一般已知的是,使用具有表示半球表面的灰度值的结构元素来对灰度图像应用形态学开或闭,是滚动球变换,其最初由 Sternberg(同上)描述为在标准亮度图像中平滑不连续性和去除噪声的手段。

[0048] 可以如下说明这种方法。在形态学闭的情况下,假想在通过图像中表示的灰度级所描述的三维表面上滚动球。如果表面是光滑的,并具有相对低的曲率,那么该球将在每个点处与表面接触。然而,该球将不会接触到在狭窄的坑或凹陷内包括的表面点,即凹度的曲率超过了球的曲率处的地方。结果得到的函数是球可以跟随的每个路径的集合,或者更具体的是球形结构元素到表面上每个点的转换的集合。因而,表面上的任何狭窄的坑或凹陷都是“闭合的”。同样,形态学开可以被设想为在该三维表面的外侧上滚动球。在这种情况下,对于处理过程来说,丢失的是高曲率的凸起,比如尖锐的边沿和拐角。这在图 5 中示出。能够在图 5a 中看到以横截面表示的原始表面。随后应用该变换(图 5b)。球体不能访问的表面上所有点都被删除(图 5c)。

[0049] 以此为基础,我们主张使用适当尺寸的球形结构元素,简单地通过分析由处理过程导致的体积损失的比例,颗粒的深度图像的开就能够提供在不同类型的棱角性之间进行区分的手段。通过将每个颗粒降低为“完全滚圆”的状态,这有效地模拟了使诸如砂子和砾石之类的岩石颗粒变为滚圆的自然磨损过程。我们建议在这种情况下,结构元素的边界应当产生与中心相等的影响,所以相对于等式(4)和(5), $A = B$ 。随后根据深度图像中的期望噪声水平,能够选择等级参数 k 。

[0050] 显然,这种方法的区分能力在很大程度上取决于所使用的球形结构元素的直径的仔细选择。实际上,为人工岩石分类提议的原始方法定义了相对于颗粒尺寸的棱角性。由 Wadell(Wadell, H. Volume, shape and roundness of quartz particles(石英颗粒的形状和圆度), Journal of Geology(1935) 第 43 卷,第 250 ~ 280 页)使用的方法通常认为是权威的,并且由其导出了广泛使用的 Powers 标度(Powers, 同上),其包括将二维颗粒外形(grain)图像的棱角的平均半径除以最大内切圆的半径。假定一种典型的骨料样品可以包括大量不同尺寸的颗粒,则看来很直观的是:应当根据要分析的颗粒尺寸,动态地选择结构元素的尺寸。然而,进一步的考虑致使我们对球形结构元素的使用产生疑问。首先,颗粒高度被认为是与图像平面正交维度的尺寸,其将不影响绝对体积损失。具有按比例更大高度的颗粒一定成比例损失更少体积。除此之外,通常还相对于在给定投影中的最大内切圆,测量拐角的棱角性(Wadell, 同上)。然而,具有相对于一个投影的适当比例的球可能不适合其它的。从而,为了消除与颗粒的伸长率和扁平度比相关的偏差,我们使用与进行分析的颗粒具有相同纵横比的椭球,来替换球形结构元素。在该过程中,结构元素的轴始终保持与颗粒的轴对准,确保从任意二维投影都维持比例均衡。

[0051] 由于将骨料颗粒的尺寸看作是基本属性,并且将其确定为必然结果,所以显然,其适于产生相似比例的结构元素。根据经验,发明人发现,半轴长度等于那些颗粒的半轴长度

的 1/6 的结构元素给出了最佳结果。也被期望的是,也可以使用具有与要分析的颗粒相同的纵横比、但具有另一比例常数的结构元素,例如具有在大约 1/3 到 1/10 的范围内的值的半轴,比如颗粒的轴的 1/4 到 1/10 的范围,比如大约 1/4、大约 1/5、大约 1/7 或大约 1/8。图 6 示出了从捕获的深度图像中得出的三个颗粒的横截面。外侧线表示了原始边界,而内侧线表示了形态学开之后的边界。图 6a 表示了一个良好滚圆的颗粒。可以看出,该边界实际上保持不变,体积损失可以忽略。

[0052] 应当注意,当在如图 6 所示查看横截面时,体积损失不一定与可见轮廓相对应。例如,在图 6c 中,该轮廓的左手侧下方的体积损失与在这个投影中不可见的一个拐角相对应。

[0053] 纹理分析

[0054] 如上文所述那样获取的图像还能够用于确定颗粒的较精细纹理(粗糙度),并且优选的是还确定中间纹理(孔隙度)。这一点可以通过分析图像中的颗粒的至少一部分外围,或通过分析在该颗粒的上半球上的轮廓,来容易地实现,其中外围的粗糙度(起伏)将给出该表面的精细纹理的表示(光滑/粗糙)。

[0055] 吸收率/反射率测量和分类

[0056] 该设备的一个有益的实施例包括光源、分光光度检测器和控制系统,光源提供可见光和/或红外光的光束,分光光度检测器用于检测来自于所述物体的照明光点的所述光束的反射,并且测量可见和/或红外吸收或反射光谱,控制系统被适配用于处理所述光谱,并基于基准材料将其与基准光谱和/或谱值进行比较,从而根据矿石和岩石等物体颗粒的类型和/或变体(variant)的预定分类系统,对所述物体进行分类。因此,本发明的设备和方法能够根据预定的分类系统,自动地对岩石样品、骨料等进行分类。

[0057] 优选的是,该设备被配置成根据在欧洲标准 EN 932-3 中设定的分类系统对样品进行分类,使得表示更加普通的分类中的至少 10 种、优选的是表示所述分类中的至少 15~20 种的样品物体能够被自动地确定。

[0058] 该分类系统将岩石类型如下归组:

[0059] 深成火成岩:花岗岩、正长岩、花岗闪长岩、闪长岩、辉长岩;浅成火成岩:粗玄岩、辉绿岩;喷出火成岩(火山岩):流纹岩、粗面岩、安山岩、英安岩、玄武岩;沉积岩(基于它们的成因分为两组):碎屑岩:砂岩、砾岩、角砾岩、长石砂岩、杂砂岩、石英岩、页岩(粉砂岩);非碎屑、化学和生物岩:石灰岩、白垩、白云石、燧石;变质岩:闪岩、片麻岩、麻粒岩、角闪岩、石灰质/白云石大理石、石英岩、蛇纹岩、片岩、板岩、糜棱岩。

[0060] 虽然非常优选的是,根据本发明的设备和方法能够将给定的样品物体分类为上述类别中的任一种,但是在一些实际应用中,非常有用的是容易地确定多个主类别,每个主类别可以包括上述类别中的一个或多个,其样品具有相似的骨料特性,并且因此不需要为了工业/建筑使用对其进行区分。

[0061] 对于光谱分析和与基准光谱和/值的比较来说,有两种主要途径是优选的,所述途径或者使用了利用统计分类器的统计方法,或者使用了神经网络。

[0062] 神经网络由它们的基本单元(所谓的神经元)的互连网络构成。神经元接收包括 R 个不同值的信息向量,并且将每个值 p_i 与离散权重 w_i 相乘。这些乘积的总和,即 p 和 w 向量的标量积,可能加上偏差 b ,是送往神经元的转换函数 f 的输入,所述函数 f 返回输出

值 a 。在能够进行实际样品分析之前，“训练”该网络，这种训练的产物是调整后的权重的集合，当为未知样品给出输入值时，可以期望该集合返回一个正确的值，即分类编号。

[0063] 发明人已经发现在本发明的方法中应用使用小波方法的统计方法是有益的。小波具有足够的局部性质并且已经证明适于高维度数据的统计模拟。在一个实施例中，使用具有两个消隐时刻的 Daubechies 小波。通过使用来自每个基准样品物体的不同位置的多个测量，能够提高分类精度。对于这种平均测量，通过使用小波能够容易地得出分类隶属关系的可靠预测。

[0064] 可见和红外光源优选的提供如下可见和红外光，所述可见和红外光包括从大约 340 到大约 4000nm 的波长范围，例如优选的从大约 340 到大约 1200nm，其中选择适合的检测器来检测所述范围。

[0065] 技术人员能够容易地选择合适的分光光度检测器，例如来自 Avantse(eerbeek, 荷兰) 的 Avaspec 分光计，其还提供了适合的光源，该光源能够被选择用于提供在适当波长范围内的光。

[0066] 应当注意，本发明关于光谱分析的新的方面能够以单独的实施例来实现，即一种包括必要的上述特征的设备，用于如这里所述的对于物体的光谱分析和岩相分析。这种设备将通常包括适当的送料器和传送器，优选的是如上述实施例所述的；提供可见光和 / 或红外光光束的光源；以及分光光度检测器，用于顺序地检测来自所述物体的照明光点的所述光束的反射，并且测量可见和 / 或红外吸收或反射光谱，如上所述。该设备具有控制系统，用于光谱分析以及与基准光谱 / 值进行比较，如在这里进一步详细说明了。

[0067] 在如上所述的另一方面中，本发明提供了计算机程序产品，用于执行数据分析，优选的是还用于控制在这里所描述的方法中的数据采集，为如上定义的样品物体的自动分析进行如这里所述的图像数据分析。该计算机程序产品包括指令装置，用于在其被载入并在计算机上运行时指示计算机：

[0068] - 从至少两个图像检测器中接收数据，所述图像检测器被配置成以最小的预定频率捕获平面相干光反射的连续图像，所述平面相干光是横跨以预定速率移动的所述物体流的方向照射的，

[0069] - 存储所述图像，并为每个物体处理这些图像，以获取表示所述物体尺寸的数据和三维表面数据，或者表示所述物体的等值线图 and 地形数据，

[0070] - 基于所获得的数据，为所述物体确定一个或多个尺寸参数和形状参数，其中所述形状参数包括指示颗粒是长形的还是扁平的外形参数和 / 或分类，和棱角性 / 圆度参数和 / 或分类。

[0071] 该计算机程序产品优选的使用上述描述的任一或所有的分析方法和形态学算法。

[0072] 在某些实施例中，计算机程序产品能够被分成多个基本独立的单元，一个单元用于数据采集和测量设备的控制（校准传送器速度、检测器等），而另一个单元可以在一个单独的计算机上运行，用于数据分析和数据表示。

[0073] 在一个有益的实施例中，计算机程序产品被进一步适配用于输入如上所述为每个物体获取的可见和 / 或 IR 光谱数据，并且根据这里所描述的方法进行分析，以确定如上所述关于物体的岩石学的或其它成分信息。所述信息优选的包括所述物体的分类，该分类根据如上进一步详细描述岩石学岩石类型和 / 或变体的预定分类系统。

[0074] 本发明决不仅限于说明书和附图的具体说明,而且还包含在所附权利要求的范围内的任何修改。例如,人们能够使用或具有不同于这里所说明的用于光谱测量的光波长、以及不同的透镜和反射探测器;使用或具有另外的照相机,以获取关于表面纹理属性和颜色的附加信息;使用或具有用于在测量之后根据测量结果分类物体的系统;使用或具有不同类型的送料器、以及用于控制颗粒或物体输入到传送器或从传送器输出的系统;使用或具有多于一行的被排成直线用于测量的物体。此外,所发明的装备能够用于其它材料的尺寸、形状或成分的测量,例如矿石、中心钻孔样品或压坏、捕鱼中的耳石、回收的建材、工业矿物、饰面石、碎石、金属矿物和合金。

[0075] 例子

[0076] 例 1:用于部分的尺寸、外形、和棱角性分析的程序说明

[0077] 在图 2 中图解示出了该程序结构。下面的部分简单描述了软件实施例的初始版本的各段的作用和功能。

[0078] 照相机 1 的校准。捕获单个帧。对于图像中的每列,定位最亮的像素(理论上相当于该激光线的中央)。当像素亮度超过“最小亮度”(用于在可归因于激光线的像素与对应于背光级别的像素之间进行区分)时,调用“三角测量算法 subVI”计算在那点上的高度。从而为该帧生成高度值的一维阵列。这在所有随后的三角测量计算中作为基准值来使用。

[0079] 因为该激光线应当覆盖在该图像帧中的多数列,所以选取了中值。因而,选择中值意味着我们不挑选对应于阻挡线的高度值。此外,我们还将由灰尘等导致的非正常值排除在外。

[0080] 照相机 2 的校准,如上述对于照相机 1 的同样过程。

[0081] “状态机”

[0082] 状态 0:响应于“停止”命令。关闭图像、清空存储器等。

[0083] 状态 1(初始状态):连续地从照相机 1(平行于运动方向)获取帧。调用“基于阻挡的颗粒检测器 subVI”来计算在每帧中的阻挡线的数量。如果阻挡线的数量超过“阻挡触发水平”,表明一个即将到来的颗粒正在阻挡来自照相机的激光线,系统移入到状态 2。如果在任何时刻按下停止,那么系统移入到状态 0。

[0084] 状态 2(获取数据):连续地从两个照相机都获取帧。调用“校准的三角测量 subVI”产生高度数据的阵列。调用“合并线 subVI”合并从每个照相机产生的高度数据。

[0085] 该例程使用布尔锁存器来表示系统何时已经开始从岩石表面获取数据(即,由“校准的三角测量 subVI”返回的高度值何时超过最小高度阈值)。其初始被设定为假,一旦返回正的高度值就锁存为真。

[0086] 停止标准 1:如果锁存器为超过预定数量的线都保持了假(“最大非活动线”控制),那么在该激光下显然没有颗粒,并且该触发一定是错误的。在这种情况下,程序将停止获取数据并返回到状态 1。

[0087] 停止标准 2:如果已经触发了锁存器(即设定为真),并且两个照相机都没有在获取任何正的高度数据,那么这应当表明颗粒的结束。然而,由于这可能是由阻挡中间颗粒所导致的,所以需要允许某一容限。因而,每当捕获到一对帧并且满足这些条件时,计数器就自增。如果任一照相机顺序地获取正的高度数据,那么计数器复位为 0。如果计数器超过一个预定值(“宽限数”),那么系统停止获取并进入到状态 3。

[0088] 停止标准 3:如果在任何时刻按下停止,那么系统直接切换到状态 0。

[0089] 停止标准 4:如果在任何时候发生获取错误,那么系统停止获取并提示用户。

[0090] 如果在这个状态中获得的比“最少获取线”(用户控制)少,那么系统将向回切换到状态 1,而不是状态 3。这表明颗粒太小,不能处理。

[0091] 状态 3(处理深度图像):这个状态采用以阵列格式合并的深度图像来作为输入,并且调用量化颗粒特性所必需的所有 subVI(被称为子“虚拟仪器”(cf. Labview software environment from National Instruments)的子例程)。用户还可以选择一个选项并查看在该颗粒之上的任一个任意高度轮廓,这在设置该设备和运行诊断时可能是有益的。

[0092] SubIV 说明

[0093] 基于阻挡的颗粒检测器 subVI:这个 VI 用于检测岩石接近激光线的出现。这通过监视由面对运动方向的照相机看到的激光线的图像(以阵列格式)来进行。对于图像中的每列,最亮的像素被定位。如果在特定列中的最亮像素的亮度小于“最小亮度”(用户确定的阈值),那么那列被认为是阻挡的。对于由照相机捕获的每帧,这个 VI 因而返回被阻挡的列的数量。

[0094] 三角测量算法 subVI:这个软件部分实现计算单独图像点的空间坐标的算法。输入是 f (照相机透镜的焦距,以 mm 为单位)、 d (沿着照相机的轴测量的在透镜中心与传送带之间的距离,以 mm 为单位)、 θ (三角测量的角度,以度为单位)、 j (在垂直方向上的像素坐标,默认是从图像的左上角开始测量)、 i (在水平方向上的像素坐标,默认是从图像的左上角开始测量)和照相机传感器参数(以 mm 和像素为单位的物理尺寸)。该 VI 返回该点的 y 和 z 坐标, x 坐标由传送带的位置来确定。

[0095] 校准的三角测量 subVI:其采用一个单独的图像帧(以阵列格式),并且使用“重力中心”技术定位在每列中的激光线中心。该 VI 随后为每一定位的峰值调用“三角测量算法 subVI”,并且返回一条高度数据线。

[0096] 合并线 subVI:其获取两条由“校准的三角测量 subVI”为两个照相机中的每个照相机生成的高度数据线,并且合并它们以产生单条高度数据线。在执行该 VI 之前,这些线中的一条必须被反向(两个照相机指向相反的方向),并且这些线必须被对准,使得每个线性阵列中的特定元素对应于相同的空间位置。随后根据如下标准,逐点合并这两条线:

[0097] 由每个照相机返回的高度值相差大于“最大差值”?

[0098] 如果“否”:平均计算两个值。

[0099] 如果“是”:这些值的任一值 = 0?

[0100] 如果“是”:该点与一个照相机发生阻挡。取两个值中的最大值作为该点的高度。

[0101] 如果“否”:该差值可能是由于镜面的高亮或相互反射引起的,其通常导致不真实的高虚假值。取这两个值中的最小值作为该点的高度。

[0102] 随后,对应于该带的基准高度水平,将具有小于或等于 10 的高度值的所有像素都设定为 0。

[0103] 宽度检查 subVI:其用于帮助两个照相机的对准和校准。输入是由“校准的三角测量 subVI”产生的高度数据线。该 VI 返回以像素为单位的颗粒宽度和颗粒的最左侧位置的指数。这个 VI 能够被用于由两个照相机都返回的线上,以消除差异。

[0104] MM 阻挡去除闭合 subVI:这个 VI 使用灰度级形态学闭,以消除在颗粒的边界内的

任何非连续（洞），所述非连续是由与两个照相机都发生阻挡的点引起的。结构元素被设计成对原始表面特征产生最小影响。

[0105] MM 峰值 (spike) 去除子 VI :这个 VI 使用灰度级形态学开，以消除在恢复的表面的任何峰值（脉冲噪声），所述峰值是由来自凹状的相互反射引起的。结构元素被设计成对原始表面特征产生最小影响。

[0106] 最小边界框 (MinBoundingBox) 自动子 VI :这个 VI 确定颗粒的长度和宽度。所获得的深度图像被阈值化（降低到二值表示，其中一个值表示颗粒，另一个值表示背景）。基于各时刻的分析，使用标准 IMAQ vision 功能来确定颗粒的方位。随后，颗粒的图像被旋转，以将其主轴与图像的坐标系对准。将最小的封闭矩形与该图像相配。将该矩形的较长的边作为颗粒的长度，而将其较短的边作为颗粒的宽度。

[0107] 计算筛选尺寸子 VI :这个 VI 使用微积分方法，根据其计算的宽度和高度来计算最小的可通过的筛选尺寸。也可以计算作为等效椭圆体的颗粒的体积。

[0108] 整理外形结果子 VI :这个 VI 取得长度、宽度和高度的数字值，并且将它们转换为适于显示的格式。

[0109] 图像再采样子 VI :在确定颗粒棱角性之前，这个 VI 通过一个规定的降低因数降低图像阵列的分辨率。

[0110] 滚动球控制器子 VI :这个 VI 提供一个框架 (framework)，在该框架中能够承担计算棱角性所必需的运算。这个 VI 调用“自适应椭圆体计算器子 VI”，以根据进行分析的颗粒尺寸产生椭圆体结构元素。随后调用“滚动球算法子 VI”以执行形态学开。随后，由颗粒导致的体积损失被转换为 Powers 标度值。

[0111] 自适应椭圆体计算器子 VI :产生主轴长度是那些颗粒的主轴长度的 1/6 的半椭圆体结构元素（在再样品后）。

[0112] 滚动球算法子 VI :使用给定的结构元素，对给定的图像阵列执行形态学开。

[0113] 筛选尺寸分布子 VI :每处理一个颗粒，就更新累计的颗粒尺寸分布（由以 0.5mm 递增的离散阵列来表示）。

[0114] 例 2 :岩石颗粒的棱角性分析

[0115] 使用激光三角测量系统扫描在 8 ~ 32mm 尺寸范围内的总共 200 个岩石颗粒，并通过椭圆体形态学算法对其进行分析。在该分析之前，由在两个独立机构中的地质人员根据 Powers 标度视觉评测这些颗粒，并且对其进行人工评级。

[0116] 图 6 示出了伪体积损失的散点图，该伪体积损失是由每个颗粒的相对于视觉（人工）评测的棱角性的形态学开而引起的，其根据 Powers 标度被表示为在 1（极其棱角）和 6（完全滚圆）之间的数值。

[0117] 第一个观察结果是：该结果中的偏差非常大，并且看起来随棱角性而增加。这能够通过相对于 powers 标度、对在每一分类下的百分比体积损失的偏差进行绘图来证实，如图 7b 所示。能够看出，随着棱角性增加一个 also，则标准偏差以相当一致的速率增加，如在表示每个分类内的测量体积损失的分布图 7a 中所示出的。这暗示，该偏差是由于在人工和客观地对棱角性分类的困难性引起的——完全滚圆的颗粒是容易如此识别的，而与更加棱角的颗粒相区分则是非常难的。为了检查本发明的算法的有效性，为每一分类确定了在平均百分比体积损失和 Powers 标度之间的关系。这在图 8 示出了。该相互关系是清楚的，在

平均百分比体积损失和人工评测的 Powers 标度之间的关系几乎是线性关系。该结果给出了 0.987 的相关度值。

[0118] 例 3:岩相分析

[0119] 已经研究出一种方法,获取关于所分析岩石样品的纹理的信息。该纹理主要受单个晶体的尺寸的影响,并且因此提供了可能对分类很重要的信息,因为岩石的晶体尺寸可以随着它们的类型而发生变化。

[0120] 简而言之,该方法如下工作:它开始于在由位于物体上方(例如在激光和用于棱角性评测的照相机组件之后)的数字照相机(例如 CCD 或 CMOS 型工业照相机)拍摄的二维图像中定位样品,并从它的中间选择一个部分以避免背景和阴影。该图片随后被转换为灰度图像,并且灰度色调的数量被减少到 2 到 25 之间。使用不同的颜色数量进行实验,并且该区间 2-25 看起来提供了良好结果,并且看上去最好的结果是在 4~8 的区间内。

[0121] 在减少颜色之后,对每个像素进行评估,并且创建所谓的共同发生矩阵,所述矩阵包括与两个相邻像素具有相同颜色的可能性相关的信息。可以直观地看出,如果岩石具有大的晶体,那么相邻像素更加可能具有相同颜色,反之亦然。

[0122] 在共同发生矩阵 P 中,每个元素 P_{ij} 表示如下情形的数量,在所述情形中,具有灰度值 i 的像素在与具有值 j 的像素的预定距离 d 内, d 通常是向右指向下一个像素的向量,或者可能是向量集以使得可以估算所有周围像素。P 的对角线元素,即所有 $i = j$ 的元素 P_{ij} , 表示所比较的像素具有相同颜色的情形的数量。因此,在具有大晶体的样品中, P 中最大的值位于对角线上或接近对角线,而对于具有小品体的样品,这些值在矩阵周围更加均匀地分布。

[0123] 在已经构造共同发生矩阵 P 之后,或多或少通过估算 P 中的值的分布,使用下面的等式导出关于纹理的信息:

$$[0124] \quad \text{能量} = \sum_i \sum_j P^2(i, j) \quad (\text{式 5})$$

$$[0125] \quad \text{熵} = - \sum_i \sum_j P(i, j) \log P(i, j) \quad (\text{式 6})$$

$$[0126] \quad \text{对比度} = \sum_i \sum_j (i - j)^2 P(i, j) \quad (\text{式 7})$$

$$[0127] \quad \text{同质性} = \sum_i \sum_j \frac{P(i, j)}{1 + |i - j|} \quad (\text{式 8})$$

[0128] 在本例子中分析的样品除了如上所述地被拍照之外,还进行光谱测量。该样品是四种不同的岩石类型,其中两种被划分为两种变体。这四种岩石类型是玄武岩、辉长岩、流纹岩和花岗岩。玄武岩和花岗岩样品被进一步分为两类或两种变体。因此,这些样品代表六种不同的岩石样品,并且每种包括 10 个子样品,见表 1。在两个不同的光谱区域内测量这些样品:在 400~1100nm 的区域或范围内,这里称为可见光(VIS),和在 1000~3000nm 的区域或范围内,这里称为近红外范围(NIR),以及最终是在 3000~30000nm 的中红外范围(MIR)内。在 VIS 中的一个点上和在 MIR 及 NIR 中的三个点上测量每种子样品。在 VIS 中一共获得 60 个测量结果,而在 MIR 及 NIR 中分别获得 180 个测量结果。

[0129] 表 1. 样品

[0130]

样品 编号或分 类	岩石类 型	变体						位置名称	子样 品编 号	在每个子样品中测量的 点的编号		
		改变级别			孔隙度级别					VIS	NIR	MIR
		FA(未变 或轻 微 a.)	MA(中等 a.)	HA(非常 的 a.)	DP(密 实的或 轻微的 p.)	MP(中等 mp.)	HP(非常 的 yp.)					
PM-001	玄武岩	×			×			Seljadalur	10	1	3	3
PM-002	玄武岩			×	×			Glerā	10	1	3	3
PM-003	流纹岩				×			Glerā	10	1	3	3
PM-004	花岗岩	I: 混合花岗岩(片麻岩)						Hiskula	10	1	3	3
PM-005	花岗岩	II						Hiskula	10	1	3	3
PM-006	辉长岩							Rappukallio	10	1	3	3

[0131] 结果

[0132] 可视区域 (VIS)

[0133] 虽然样品的光谱在可视区域内 (这里是 40 ~ 1100nm) 是非常同质的, 具有非常恒定的斜率、几乎没有“凹部”和“凸部”, 但是其分类是相当精确的。如果记住测量的限制数量、即 60, 则接近 80% 的精确度可能已超过人们所期望的。同样, 通过做更多的测量, 改善分类应该是很容易的。在所有光谱 (即 VIS、NIR 和 MIR) 中的分类中的一个常见因素是在对分类或编号为 4 和 5 的样品进行分类时最频繁发生的错误。在那些情况中, 分类为 4 的样品几乎毫无例外地被分类为归属于分类 5, 反之亦然。考虑这一点、以及分类 4 和 5 在多数情况下往往被认为是相似类型的骨料 (具有相同的岩石类型) 这一事实, 作出分类, 其中将这两种分类作为一类。这显著的提高了分类的精确性, 达到几乎 98%, 不过更现实的精确度往往在 90 ~ 95% 之间。

[0134] 近红外区域 (NIR)

[0135] 在近红外区域内的光谱是非常同质的, 但是具有更加明显的特点, 即人们可以通过提供观看它们的光谱, 用于在各分类之间进行区分。简而言之, 能够非常容易地获得高达 95 ~ 98% 的分类精确性, 仅仅在分类 4 和 5 中发生错误。在将它们减少为一个分类之后, 精确性毫无例外地成为 100%。

[0136] 例 4

[0137] 自动分析和数据表示

[0138] 已经开发了用户友好的程序和计算机界面, 用于表示通过如图 2 所示的装置从岩石颗粒的高通量分析中收集的数据。图 9 中示出了屏幕视图, 显示来自于计算机程序的输

出的例子。

[0139] (i) 尺寸确定

[0140] 程序从所获取的图像中确定每个物体的主轴,其中长轴(L)是物体上两点之间的最长距离,中间轴(I)是与主轴正交的最长轴,而短轴(S)与其它两个轴正交。

[0141] 每个颗粒的尺寸是使用体积参数表示的,即所计算的具有与主轴对应的外部尺寸的椭球体的体积。从而,这种确定顺序地对应于在欧洲标准 No. EN 933-1 中定义的尺寸测量。

[0142] (ii) 外形分类

[0143] 基于在轴之间的比率,每个物体被分类到长形的、扁长的、扁平的以及立方体形四组中的一组中。

[0144] 如果比率 S/I (“扁平率”) 和 I/L (伸长率) 都大于 0.67,那么物体是立方的;如果 $I/L \geq 0.67$ 而 $S/I < 0.67$,那么物体是扁平的;如果 $I/L < 0.67$ 而 $S/I \geq 0.67$,那么物体是长形的;并且如果 $S/I < 0.67$ 以及 $I/L < 0.67$,那么物体是扁长的。

[0145] 注意,也可以使用其它的截止值,例如 0.5。

[0146] 每个物体被分类到适当的分类中,并且基于颗粒的数量和颗粒的总累计体积,计算在不同分类中的颗粒的累计分布。

[0147] 所得到的确定结果可以直接分别与在欧洲标准 No. EN 933:4 和 No. EN 933:3 中定义的外形指数和扁平指数相关联,即,所得到的数据提供了与由这些标准说明的孔径(calliper)和栅条(bar)筛选测量等效的信息。

[0148] (iii) 棱角性分类

[0149] 基于如上所述的对所获取的 3D 图像的形态学分析,为每个颗粒计算棱角性(“角的%体积”)。将每个颗粒分到一组六个分类中的一个适当的组中,所述六个分类是(1)完全滚圆的、(2)滚圆的、(3)亚滚圆的、(4)亚棱角的、(5)棱角的、(6)极其棱角的。

[0150] 该分类与所计算的“角的%体积”线性相关。基于颗粒的数量和颗粒的总累计体积两者,计算在不同分类中的颗粒的累计分布。

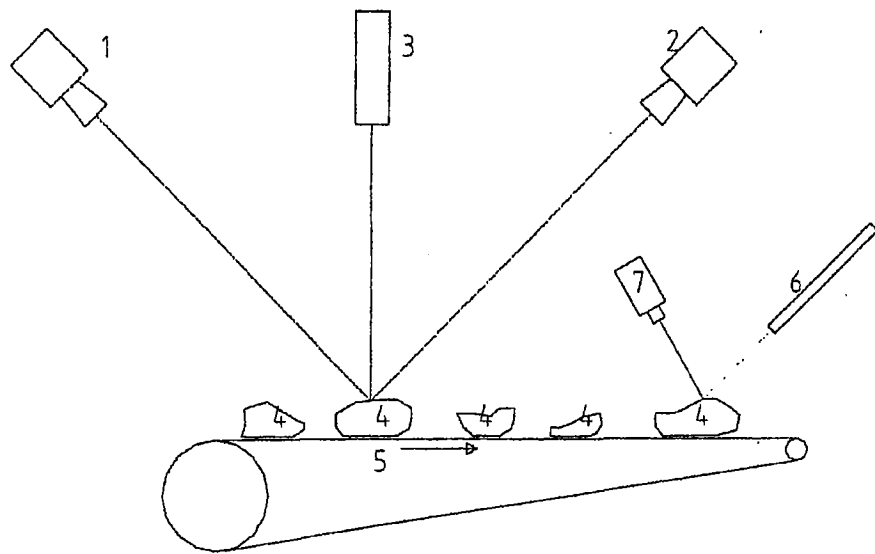


图1

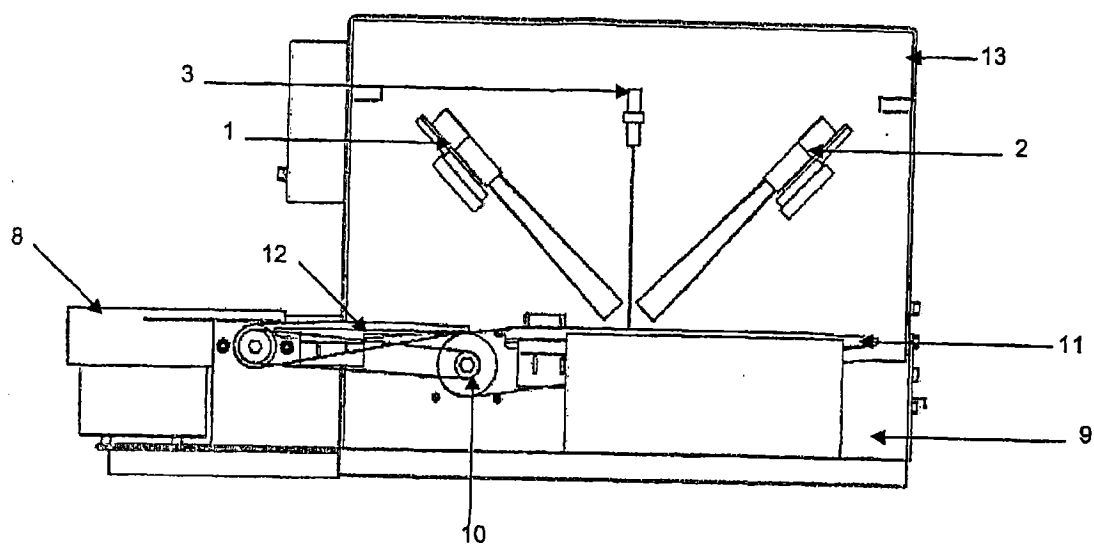


图2a

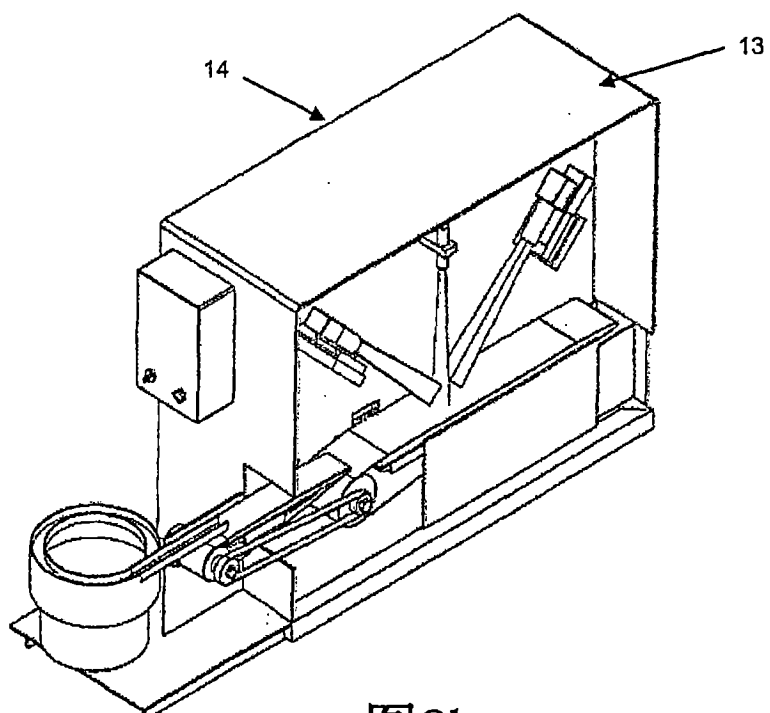


图2b

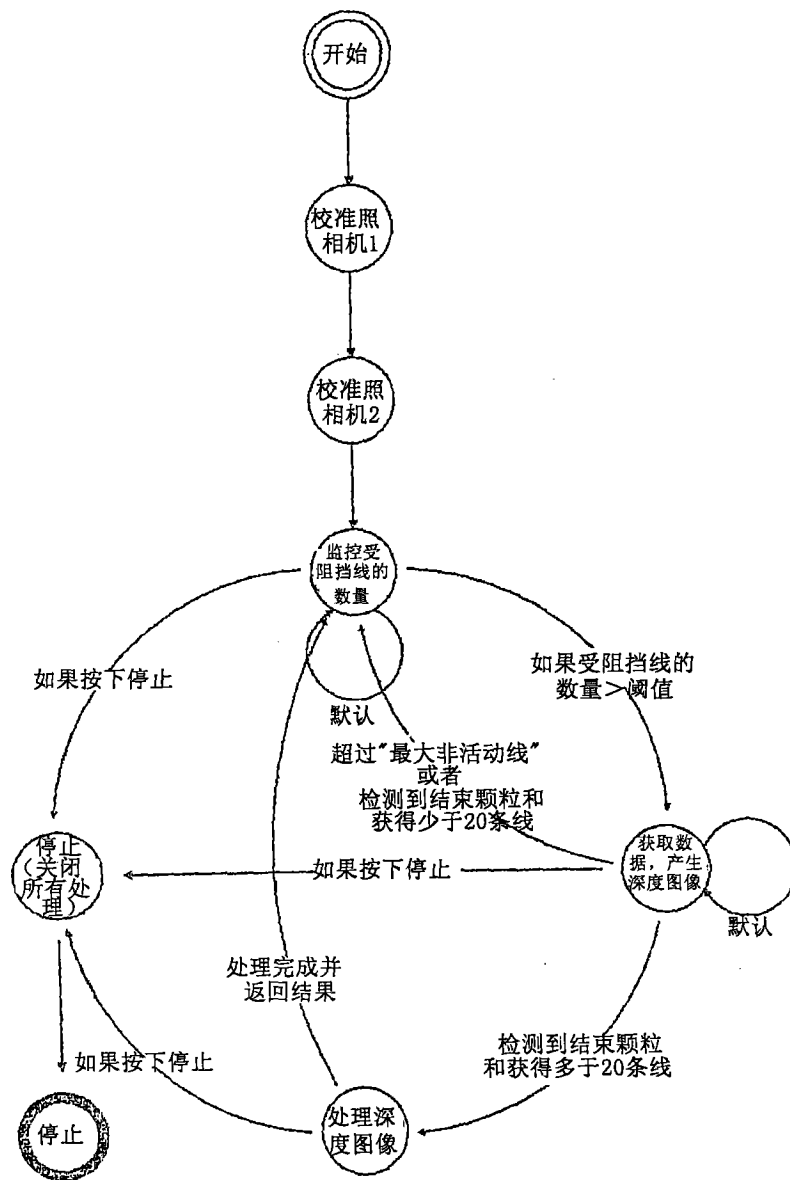


图3

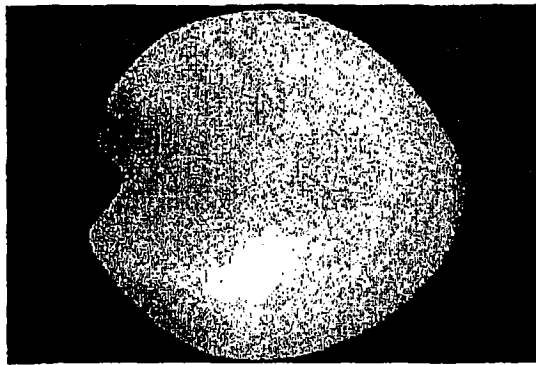


图4



图5a

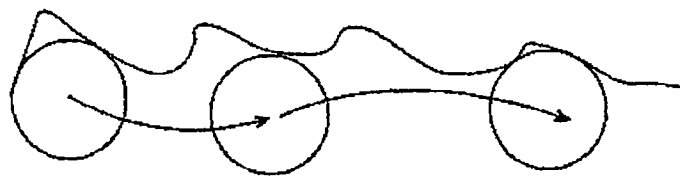


图5b



图5c

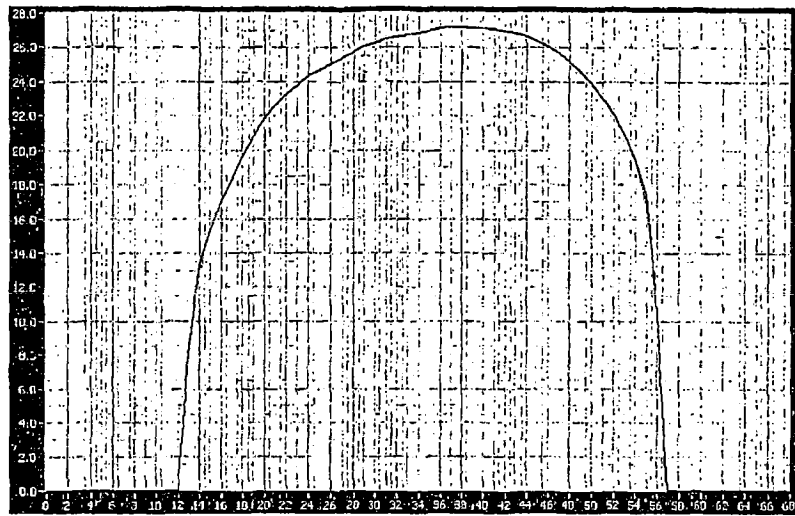


图6a

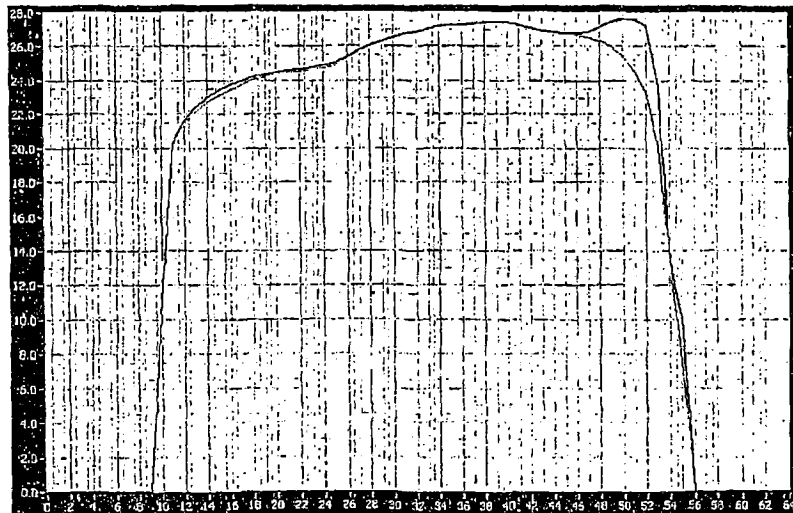


图6b

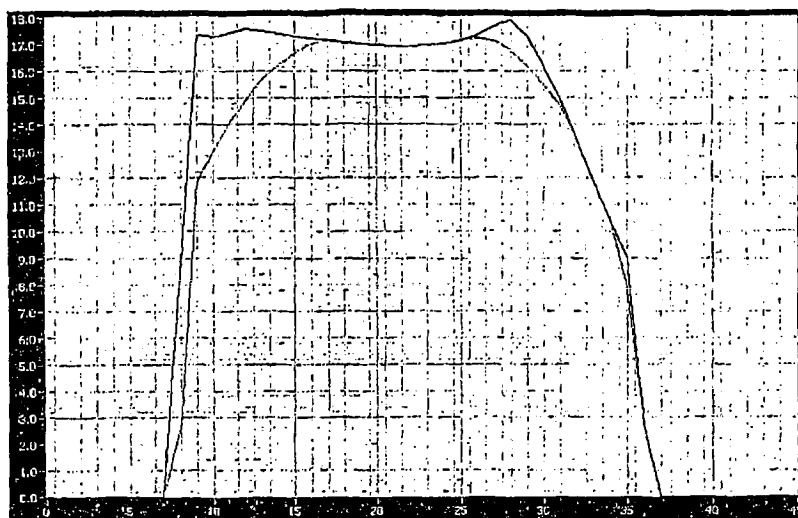


图6c

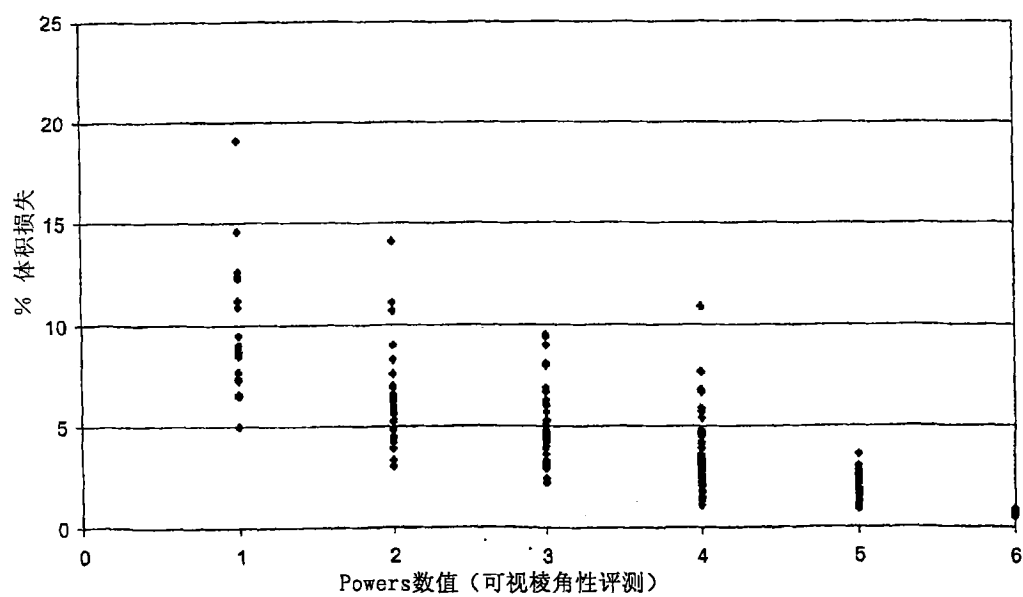


图7

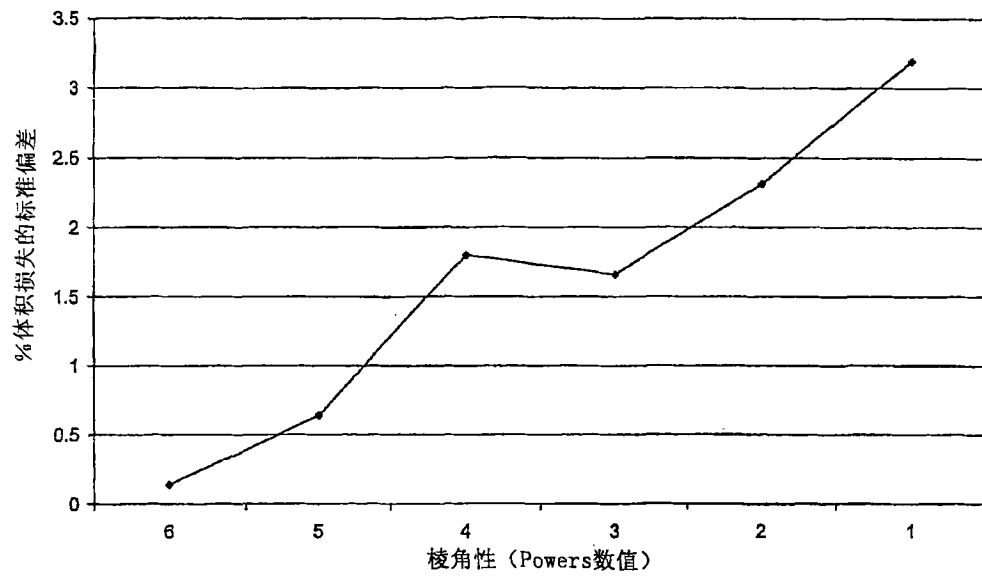


图7

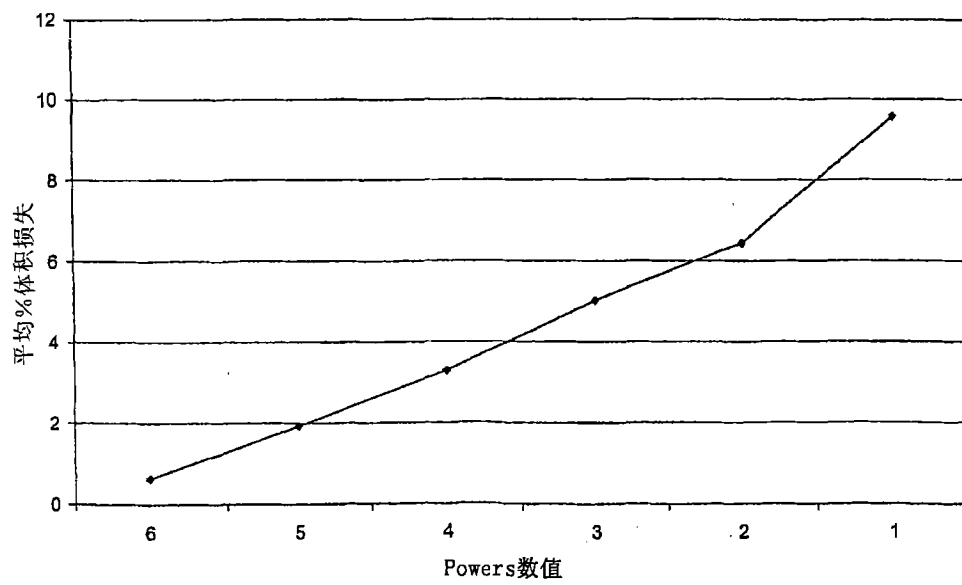


图8

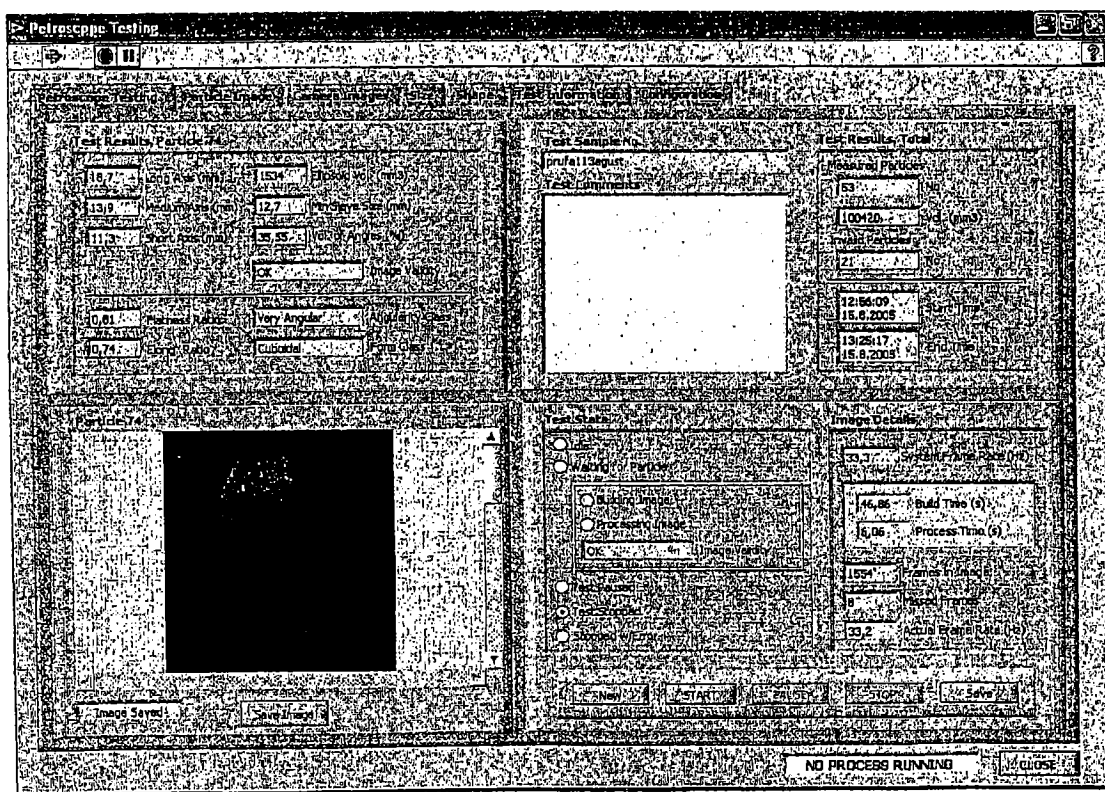


图9a

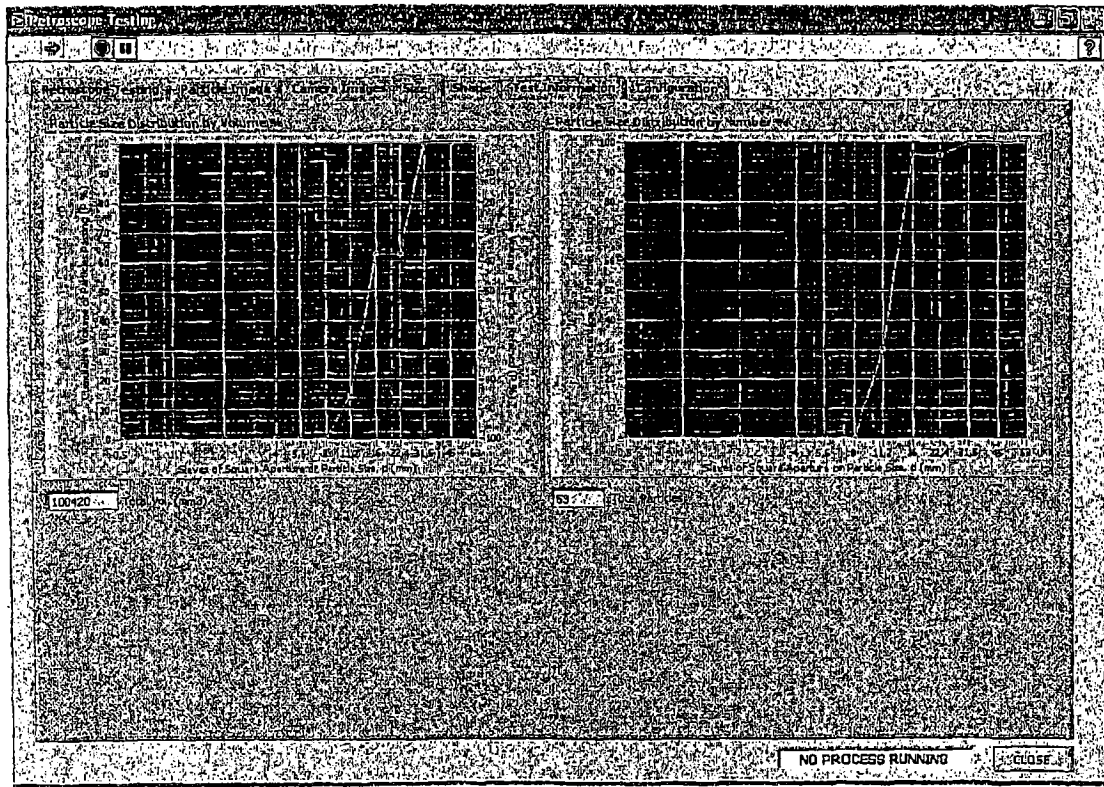


图9b

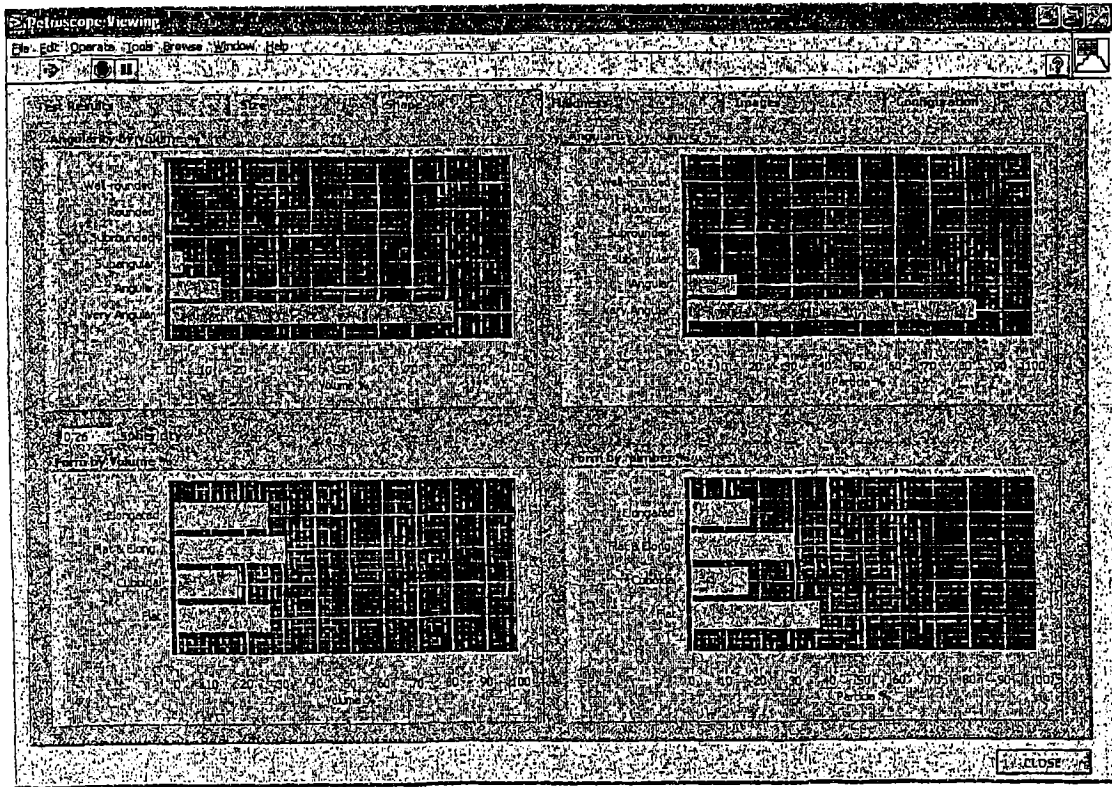


图9c