



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109655342 A

(43)申请公布日 2019.04.19

(21)申请号 201910084026.1

(22)申请日 2019.01.29

(71)申请人 西南交通大学

地址 611756 四川省成都市高新区西部园区西南交通大学科学技术发展研究院

(72)发明人 王文健 师陆冰 丁昊昊 刘启跃
温泽峰 郭俊 周仲荣

(74)专利代理机构 成都盈信专利代理事务所
(普通合伙) 51245

代理人 张澎 崔建中

(51)Int.Cl.

G01N 3/08(2006.01)

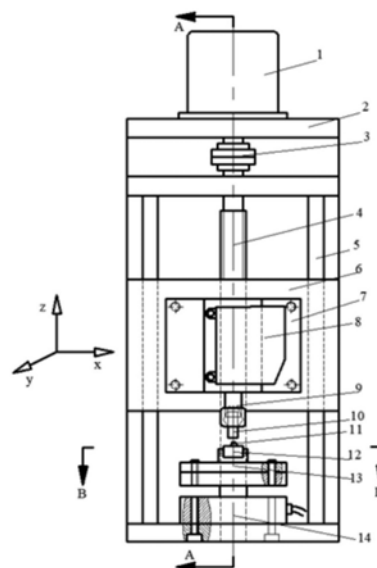
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54)发明名称

一种微小颗粒试样破碎过程研究实验装置及其实验方法

(57)摘要

本发明公开了一种微小颗粒试样破碎过程研究实验装置及其实验方法,加载装置选用直线滑台结构作为加载部件,装配在直线滑台转动丝杆底部的编码器在加载过程中产生连续脉冲信号,触发激光位移传感器和压力传感器实时、同步记录试样受压破碎过程中的位移和实验力,装置配套有高速显微摄像机,记录试样从受压到破碎的实时过程。装置可用于进行非金属、形状不规则的各类微小颗粒试样(0.1-2mm)的单轴压缩破碎实验,测试试样的破碎强度、破碎功等力学参数以及研究试样破碎过程。此外,利用该实验装置还可进行试样破碎过程中砧板、压头材料的损伤行为等研究。



1. 一种微小颗粒试样破碎过程研究实验装置, 用作非金属微小颗粒试样的单轴压缩破碎实验, 以测定其破碎强度和过程, 其特征在于, 由设置在机架(2)上的驱动电机(1)通过联轴器(3)与转动丝杠(4)联动以驱动滑台(6)沿导柱(5)上下移动构成直线施压机构; 压头(10)通过设置在驱动滑台(6)上的夹头(9)固定, 与砧板(12)配合构成对待测试样(11)的法向加载; 砧板下设置有压力传感器(13); 置于转动丝杠(4)底端设置有编码器(15), 驱动滑台(6)上设置有监测驱动滑台与导柱竖向位移的激光位移传感器(8); 编码器(15)、激光位移传感器(8)和压力传感器(14)的监测信号构成了实验装置的信号采集系统汇入PLC数据采集模块; 由置于砧板附近的便携式显微镜(16)和高速显微摄像机(17)构成了实验中试样破碎过程的监测记录系统。

2. 根据权利要求1所述的实验装置, 其特征在于: 监测记录系统在砧板(12)所在平面上X、Y方向各布置有显微镜(16), 用来在实验前拍摄试样图像并测量不规则试样在X、Y、Z三个维度的粒径, 在待测试样(11)所在平面上X方向另一侧布置有高速显微摄像机(17), 用来记录整个试样从受压到破碎过程中的实时显微图像。

3. 根据权利要求1或2所述的实验装置的实验方法, 其特征在于, 压头(10)和砧板(12)的材料根据实验目的选用, 常规测试中使用高硬度的合金钢; 实验步骤如下:

(1) 准备待测试样并根据实验目的对试样进行分组, 每组准备试样数量50-200颗;

(2) 每组实验开始前使用显微镜拍摄测试样在X、Y方向的显微图像, 并分别测量试样在X、Y、Z三个维度的实际尺寸;

(3) 启动驱动电机(1)以设定的加载速度对待测试样进行压缩直至试样破碎, 压力传感器和激光位移传感器在外部触发模式下自动采集实验过程中的压力、位移信号, 高速显微摄像机记录试样从受压到破碎的整个过程;

(4) 停止实验后, 收集压头和砧板上的试样破碎碎屑, 使用采集的压力、位移信号绘制试样破碎过程中的力-位移曲线, 根据力-位移曲线上的临界突变点确定试样的临界破碎力及临界破碎形变, 对试样破碎过程中的力-位移曲线进行数值积分计算试样的破碎功, 根据高速显微摄像机(17)的摄像分析试样破碎过程中的形态演变;

(5) 重复实验, 直到完成待测试样的全部样本实验, 拟合计算待测试样的破碎强度、破碎功, 另外还可对试样的破碎类型、试样破碎过程中造成的砧板/压头材料表面损伤、破碎试样的粒径分布等进行研究。

一种微小颗粒试样破碎过程研究实验装置及其实验方法

技术领域

[0001] 本发明涉及材料的力学测试技术,具体涉及一种可进行微小颗粒试样破碎强度测试和破碎过程研究的实验装置及其实验方法。

背景技术

[0002] 颗粒破碎通常是指非金属试样在承受载荷作用下产生结构性破坏或解理,分裂成多个更小的试样的过程。颗粒破碎问题广泛存在于各类工程应用中,如矿石粉碎、轮轨界面使用撒砂增黏、工程建设中作为地基材料或填料的石英砂在大荷重条件下的试样破碎等。

[0003] 颗粒破碎强度是评价不同试样可承受法向载荷的能力,与颗粒的粒径直接相关,且受颗粒的材料、矿物学特性、形状、孔隙率和内部缺陷等因素的影响。由于以上各类不确定因素的影响,颗粒的破碎强度在测试中并不是一个恒定量,而是表现为强离散性,需要通过大量的实验进行统计研究。基于此,需要开发设计一种操作简单、方便的单轴压缩型测试装置以便于开展大量的重复实验。

[0004] 目前岩土力学实验研究中常用的液压式单轴压缩实验装置多是针对宏观、大尺度的岩体试样进行破碎力学测试的装置,其加载速度对于微小颗粒试样(<2mm)过快,会导致试样破碎过程太短,测得的力-位移曲线数据点过少难以判断试样破碎临界点,且其测试中往往忽略试样受压过程中在砧板/压头伤的嵌入行为(该行为对大尺寸实验可忽略不计,但对微小颗粒试样的影响较为显著)导致所测得的结果不准。此外,由于所测试样尺寸较小,在受压时,通常压头与砧板之间的空隙不足1mm,传统观测手段难以监测,因此试样从受压到破碎过程中的实时监测一直是研究中的难点。

发明内容

[0005] 本发明第一目的是提供一种测试微小颗粒试样破碎强度的实验装置,该装置专门针对微小颗粒试样(粒径小于2mm)的破碎行为进行测试,使用高精度驱动电机和激光位移传感器进行实验过程中的加载和测量,提高测量精度和响应速度;装置配套有实时显观测系统,可记录试样从受压到破碎过程中的形态变化、裂纹的萌生与扩展、破碎瞬间的弹射行为及弹射速度、破碎后微粒的粒径分布等能为研究试样的破碎力学参数、破碎行为及各类影响因素研究提供多样的数据支撑,此外,利用该实验装置还可以进行试样破碎过程中砧板、压头材料的损伤行为研究、颗粒试样嵌入行为的研究等。

[0006] 为实现第一发明目的,所采用的技术方案是:

[0007] 一种微小颗粒试样破碎过程研究实验装置,用作非金属微小颗粒试样的单轴压缩破碎实验,以测定其破碎强度和过程,其特征在于,由设置在机架2上的驱动电机1通过联轴器3与转动丝杠4联动以驱动滑台6沿导柱5上下移动构成直线施压机构;压头10通过设置在驱动滑台6上的夹头9固定,与砧板12配合构成对待测试样的法向加载;砧板下设置有压力传感器13;置于转动丝杠4底端设置有编码器15,驱动滑台6上设置有监测驱动滑台与导柱竖向位移的激光位移传感器8;编码器15、激光位移传感器8和压力传感器14的监测信号构

成了实验装置的信号采集系统汇入PLC数据采集模块;由置于砧板附近的便携式显微镜16和高速显微摄像机17构成了实验中颗粒试样破碎过程的监测记录系统。

[0008] 这样,以直线滑台式结构作为加载装置,带动压头对放置在砧板上的待测试样进行单轴压缩;试样受压过程中的实验力由安装在砧板下方的压力传感器测得,实验中的法向位移由与压头平行安装于滑台上的激光位移传感器测得,安装于滚动丝杠底部的贯通式编码器在直线滑台工作中连续产生脉冲信号,该信号作为压力传感器和激光位移传感器的外部触发信号保证实验过程中压力和位移的实时、同步采集;在待测试样所在平面上X、Y方向各布置一个便携式显微镜,用来在实验前拍摄试样图像并测量不规则试样在X、Y、Z三个维度的粒径,在待测试样所在平面上X方向另一侧布置有高速显微摄像机,用来记录整个试样从受压到破碎过程中的实时显微图像。

[0009] 本发明第二目的是提供一种使用上述实验装置进行微小颗粒试样破碎强度和压头/砧板材料损伤行为研究的实验方法,该方法能够综合考虑试样破碎的众多影响因素,简单、快速地完成一系列的试样破碎行为实验。

[0010] 本发明为实现第二发明目的,所采用的技术方案是:加工压头10和砧板12的材料根据实验目的选用,常规测试中使用高硬度的合金钢;实验步骤如下:

[0011] (1) 准备待测试样并根据实验目的对试样进行分组,每组准备试样数量50-200颗;

[0012] (2) 每组实验开始前使用显微镜拍摄测试样在X、Y方向的显微图像,并分别测量试样在X、Y、Z三个维度的实际尺寸;

[0013] (3) 启动驱动电机1以设定的加载速度对待测试样进行压缩直至试样破碎,压力传感器和激光位移传感器在外部触发模式下自动采集实验过程中的压力、位移信号,高速显微摄像机记录试样从受压到破碎的整个过程;

[0014] (4) 停止实验后,收集压头和砧板上的试样破碎碎屑,使用采集的压力、位移信号绘制试样破碎过程中的力-位移曲线,根据力-位移曲线上的临界突变点确定试样的临界破碎力及临界破碎形变,对试样破碎过程中的力-位移曲线进行数值积分计算试样的破碎功,根据高速显微摄像机(17)的摄像分析试样破碎过程中的形态演变;

[0015] (5) 重复实验,直到完成待测试样的全部样本实验,拟合计算待测试样的破碎强度、破碎功,另外还可对试样的破碎类型、试样破碎过程中造成的砧板/压头材料表面损伤、破碎试样的粒径分布等进行研究。

[0016] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步的详细说明。

附图说明

[0017] 图1是本发明实施例的装置结构示意图。

[0018] 图2是图1的A-A剖视图。

[0019] 图3是图1移去直线施压机构后的B-B俯视图。

[0020] 图4为本发明实施例的各部件间的工作流程及控制逻辑。

[0021] 图5是本发明实施例实验前测试试样的三维形貌照片。图(a)为X方向;图(b)为Y方向。

[0022] 图6是本发明实施例实验加载过程中待测试样破碎过程中的力-位移曲线和试样显微图像变化图。

[0023] 图7是本发明实施例实验后获得的二氧化硅试样破碎强度随粒径变化结果统计图。

[0024] 图8是本发明实施例实验后获得的不同粒径下二氧化硅试样破碎功统计图。

[0025] 图9是本发明实施例实验后砧板表面损伤形貌图。

[0026] 图中各部件为:1驱动电机,2机架,3联轴器,4转动丝杠,5导柱,6滑台,7夹具,8激光位移传感器,9夹头,10压头,11待测试样,12砧板,13砧板夹具,14压力传感器,15编码器,16便携式显微镜,17高速显微摄像机。

具体实施方式

[0027] 图1、图2和图3共同示出本发明装置的具体结构,由设置在机架2上的驱动电机1通过联轴器3与转动丝杠4联动以驱动滑台6沿导柱5上下移动构成直线施压机构;压头10通过设置在驱动滑台6上的夹头9固定,与砧板12配合构成对微小颗粒试样11的法向加载;砧板下设置有压力传感器13;置于转动丝杠4底端设置有编码器15,驱动滑台6上设置有监测驱动滑台与导柱竖向位移的激光位移传感器8;编码器15、激光位移传感器8和压力传感器14的监测信号构成了实验装置的信号采集系统;由置于砧板附近的便携式显微镜16和高速显微摄像机17构成了实验中试样破碎过程的监测记录系统。

[0028] 所述压力传感器安装于砧板夹具下端测量试样受压过程中的实验力,量程为500N,精度为0.01N;所述激光位移传感器与压头共同安装于滑台上,其测量方向平行于滑台运动方向,采用非接触式测量方式测量试样受压过程中的法向位移,量程为5mm,精度0.1 μ m;所述编码器为轴承式结构,转子安装于转动丝杆4底部轴端,在电机轴和丝杆转动中连续产生脉冲信号作为压力传感器和激光位移传感器的外部触发信号,保持力与应变信号的实时同步采集,其精度为600脉冲/转;所述便携式显微镜分别安装于待测试样所在Z轴平面的X、Y方向,倍率为 $\times 50$;所述高速显微摄像机安装于待测试样所在Z轴平面的-X方向,倍率 $\times 200$,拍摄帧率为2000FPS。

[0029] 图4示出本发明装置各部件的集成及控制逻辑,实验开始后首先利用便携式显微镜在拍摄试样图像并测量不规则试样在X、Y、Z三个维度的粒径;PLC 动作模块控制电机驱动器驱动电机工作,带动滑台及安装在滑台上的压头和激光位移传感器在垂直方向运动,对待测试样进行压缩;编码器15在电机动作过程中连续产生脉冲信号,该信号将作为压力传感器和激光位移传感器的外部触发信号实时、同步将实验过程中力和位移传输给PLC数据采集模块;PLC数据采集模块对数据进行处理后实时显示实验过程种的压力-位移曲线,并根据实时数据判定试样是否发生破碎,当检测到压力值出现瞬间下降时判定试样发生破碎,PLC动作模块将控制电机停止动作;实验过程中高速显微摄像机记录试样从受压到破碎整个过程中的实时显微图像。

[0030] 一种使用本实验装置进行试样破碎行为实验研究的方法,其步骤是:

[0031] 本实施例中压头和试块材料分别选用CL60车轮材料和U71Mn钢轨材料,压头加工为直径5mm的销式结构,砧板加工为10mm $\times$ 5mm $\times$ 5mm块状结构,压头轴端面和试块表面进行抛光处理,粗糙度小于1 μ m。

[0032] 所选待测试样为二氧化硅试样,试样粒径范围为0.1-1.2mm,样本数量为200 颗。实验目的为测试铁路撒砂增黏所用二氧化硅试样的破碎强度、破碎功以及破碎过程中对车

轮/钢轨表面造成的损伤。

[0033] 实验时,由便携式显微镜拍摄待测试样在X、Y方向的形貌,然后启动驱动电机进行实验加载,直至试样破碎,数据采集系统实时记录采集实验过程中的力、位移信号,清除压头、砧板表面的试样碎屑,重复实验至所有试样被压碎。

[0034] 图5为实验前用便携式显微镜拍摄的待测试样在X、Y方向的显微照片,每个试样的实际三维尺寸可在图像上直接测得。

[0035] 图6为实验过程中记录的试样破碎过程中的力-位移曲线及高速摄像机记录的试样在各阶段的试样形态变化。由图3可以看出,试样发生破碎时,力-位移曲线出现明显的异常降低,该点被记录为该试样的临界破碎点,所对应的实验力和位移分别被记录为试样的临界破碎力和应变。

[0036] 根据测得的临界破碎力计算该试样的破碎强度:

$$[0037] \quad \sigma = (4F_c) / (\pi d^2) \quad (1)$$

[0038] 其中 F_c 为图3中测得的临界破碎力, d 为试样的等效粒径,由图5中测得的试样的在X、Y两个投影面上的等效长宽高的调和平均值(代表与该试样外接长方体表面积相同的等效球体半径)计算得到:

$$[0039] \quad d = 3 / (1/l_x + 1/l_y + 2/(h_x + h_y)) \quad (2)$$

[0040] l_x 、 h_x 、 l_y 、 h_y 分别为X、Y方向测得的试样宽和高度值。按照该方法,计算所有测试试样的破碎强度。

[0041] 图7给出了测试后试样的破碎强度随试样粒径变化的对数坐标散点图和拟合曲线,拟合结果为:

$$[0042] \quad \log \sigma = -0.745 \cdot \log d + 1.39, \quad (3)$$

[0043] 可得到二氧化硅试样的破碎强度近似为:

$$[0044] \quad \sigma = 24.5 / d^{0.745}. \quad (4)$$

[0045] 通过对试样破碎过程中测定的力-位移曲线(如图6所示)进行数值积分,可得到试样破碎过程中的破碎功为:

[0046]

$$W = \int_0^{F_c} F(u) du = 0.5 * \sum_{i=0}^{n-1} (F_{i+1} + F_i) * (u_{i+1} - u_i) \quad (5)$$

[0047] 式中 W 为试样的破碎功, $F(u)$ 为试样破碎过程中的力-位移曲线,由于实验测得的力-位移曲线难以确定准确的 $F(u)$ 表达式,因此通过对实验测得的离散点直接进行数值计算的方式,其中 n 为从加载开始到试样破碎(F_c)中的数据总数, F_i 、 u_i 分别为第 i 个数据点的力和位移值。

[0048] 图8给出了测试后试样的破碎功随试样粒径变化的对数坐标散点图和拟合曲线,拟合结果为:

$$[0049] \quad \log W = 1.73 \cdot \log d + 0.658 \quad (6)$$

[0050] 可得到二氧化硅试样的破碎功近似为

$$[0051] \quad W = 4.55 * d^{1.73} \quad (7)$$

[0052] 图9为实验后砧板试样表面损伤形貌图,从图中可以看出,由于二氧化硅试样硬度远超砧板材料硬度,因此在试样破碎过程中会在砧板材料表面留下严重的凹坑和破碎试样

嵌入式损伤,该损伤特性与轮轨界面撒砂增黏后试样表面损伤特性一致,表明试样破碎过程中形成的材料损伤是导致撒砂增黏过程中轮轨材料损伤的重要来源。

[0053] 以上所述仅为本发明的一项优选实施例,并不用于限制本发明。在实际应用中,针对检测试样和测试目的的不同,本发明中的实验装置可做适当修改,实验方法可以且应该有相应的调整 and 变化。凡在本发明方法的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

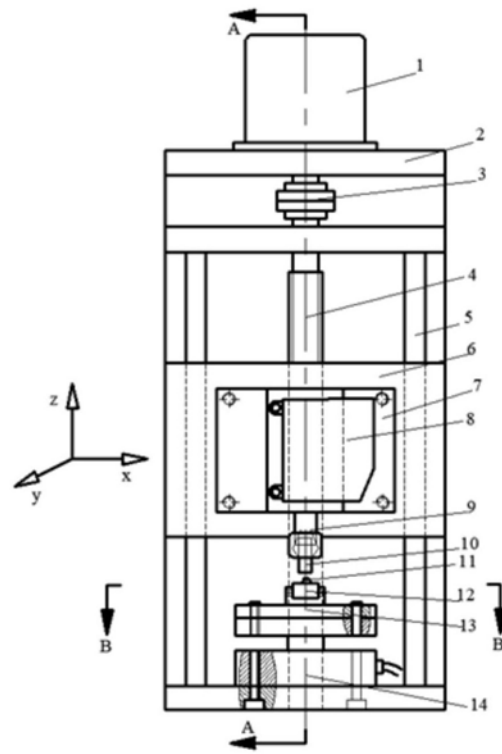


图1

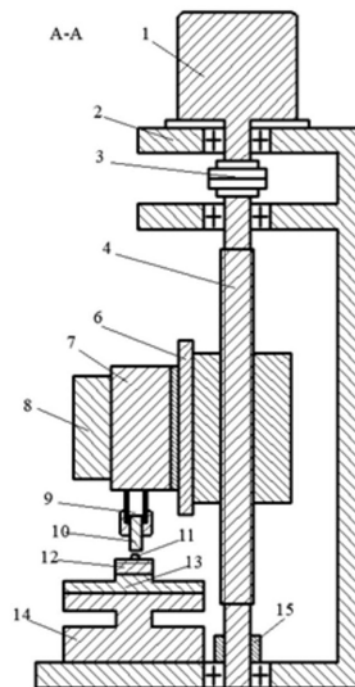


图2

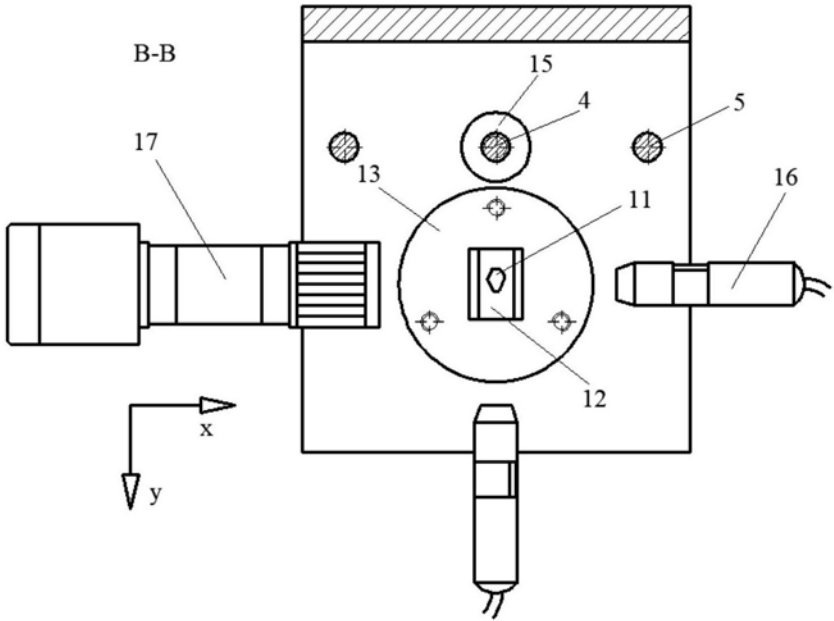


图3

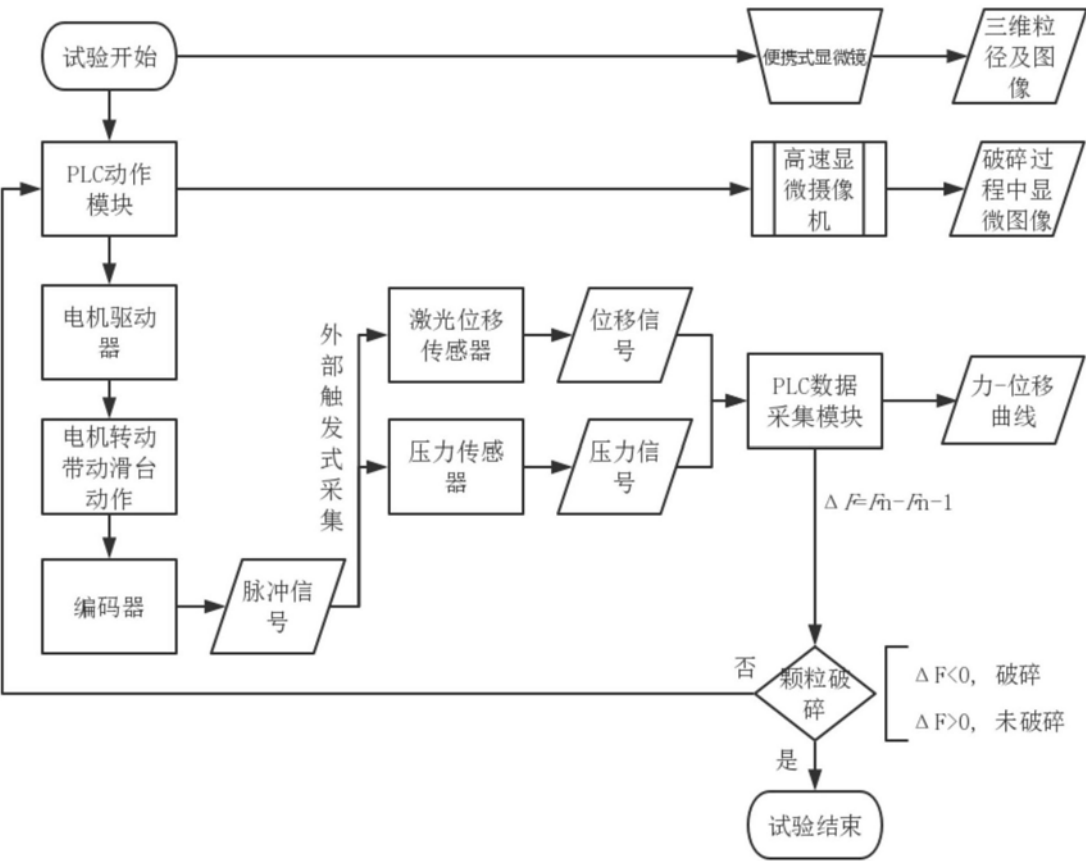


图4

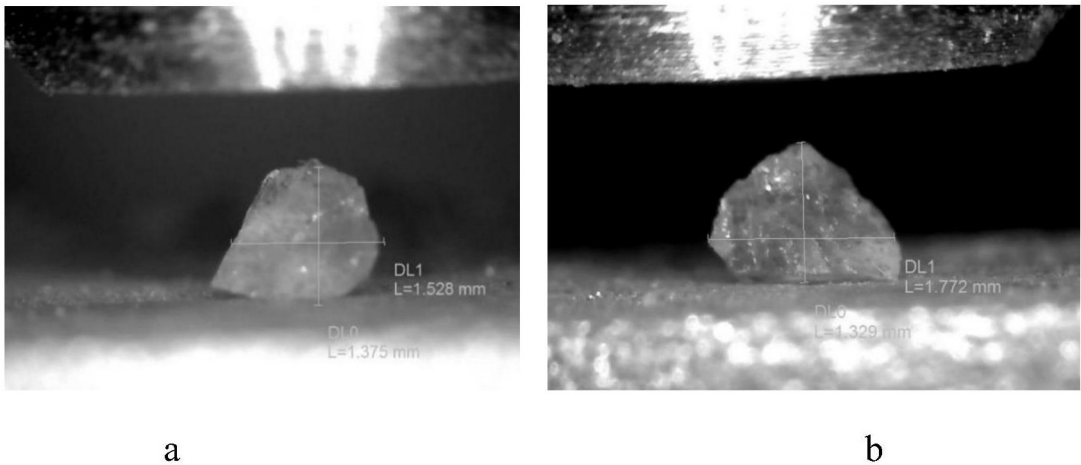


图5

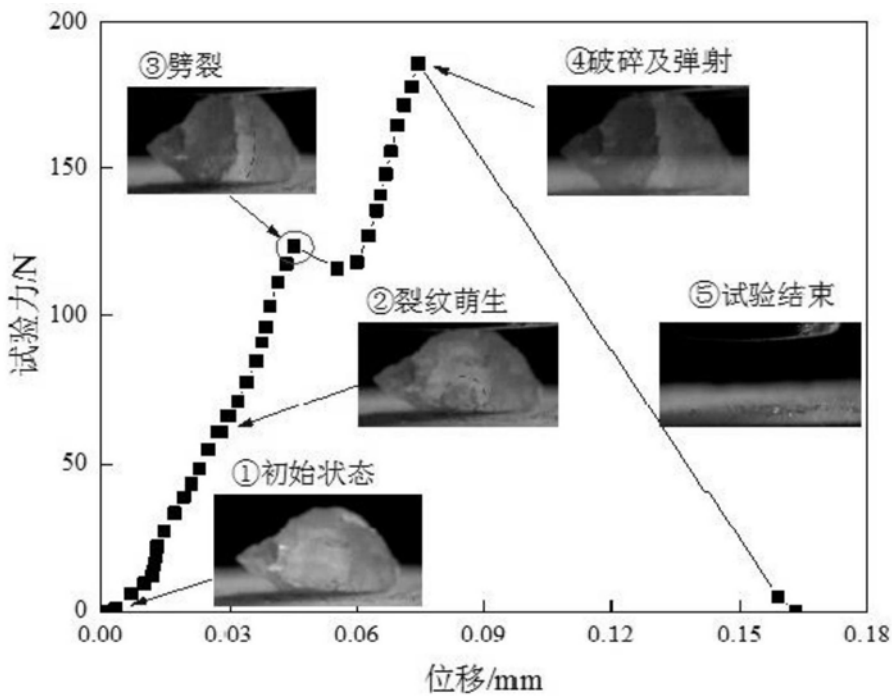


图6

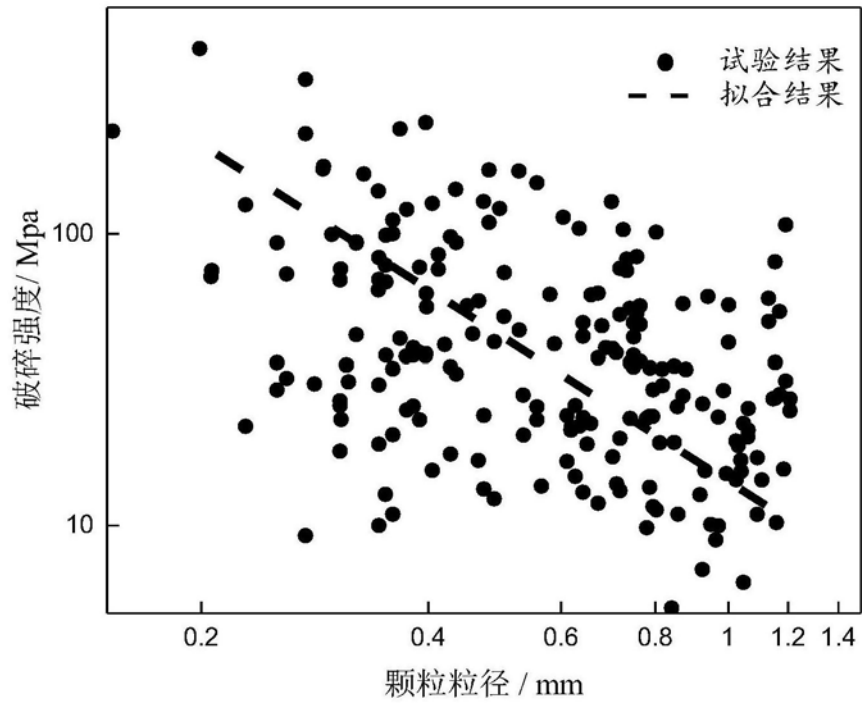


图7

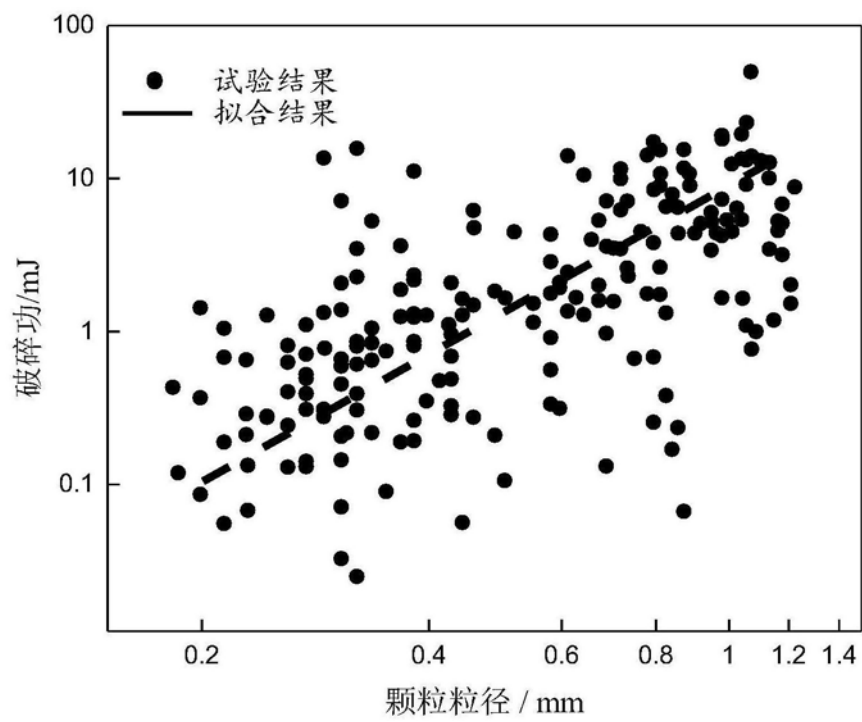


图8

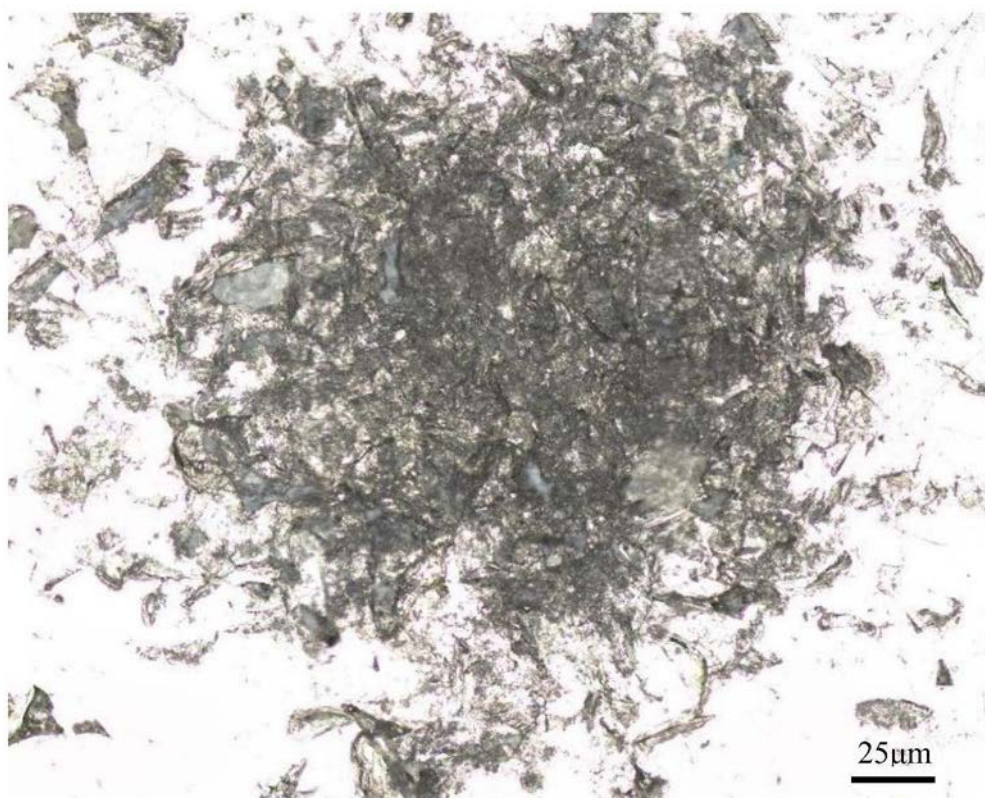


图9