



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110006792 A

(43)申请公布日 2019.07.12

(21)申请号 201910184391.X

(22)申请日 2019.03.12

(71)申请人 中国矿业大学

地址 221116 江苏省徐州市铜山区大学路1号

(72)发明人 秦波涛 侯晋 周群 王飞

李修磊 王卓然 丁仰卫

(74)专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司

32200

代理人 周敏

(51)Int.Cl.

G01N 15/00(2006.01)

G01N 21/84(2006.01)

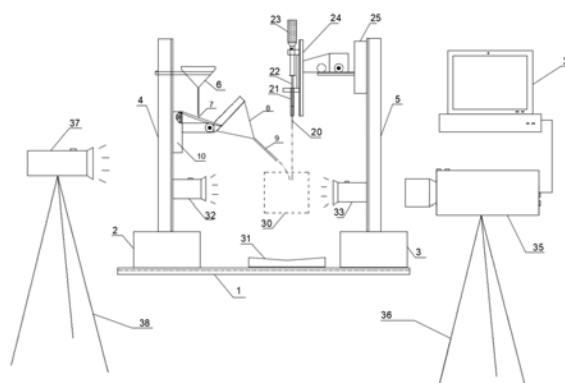
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

## (54)发明名称

一种用于液滴-颗粒碰撞凝并测试的实验系统及方法

## (57)摘要

本发明公开了一种用于液滴-颗粒碰撞凝并测试的实验系统及方法,该系统主要包括颗粒供给装置、液滴产生装置、颗粒回收装置、图像采集及处理系统,颗粒供给装置实现了不同角度及不同速度颗粒的供给,液滴产生装置实现了液滴微量进给与不同高度添加,颗粒回收装置实现了下落的颗粒和液滴回收,图像采集及处理系统实现了颗粒运动轨迹、液滴形变以及颗粒与液滴相遇后的吸附凝并过程的瞬时捕捉及图像分析。本发明操作方便、成本低,能精确控制颗粒和液滴碰撞时各项参数,精准捕捉颗粒-液滴碰撞过程,记录液滴吸附捕捉颗粒时形变铺展过程,适用于如湿式除尘相关的降尘捕捉、火力发电时湿式脱硫的碰撞凝并研究等。



1. 一种用于液滴-颗粒碰撞凝并测试的实验系统,其特征在于,主要包括颗粒供给装置、液滴产生装置、颗粒回收装置、图像采集及处理系统,所述颗粒供给装置和液滴产生装置安装在支架上,所述支架包括底部轨道(1)、底座A(2)、底座B(3)、升降轨道A(4)、升降轨道B(5),所述底座A(2)、底座B(3)分别设于所述底部轨道(1)上并可沿底部轨道(1)左右移动,所述升降轨道A(4)垂直设于底座A(2)上,所述升降轨道B(5)垂直设于底座B(3)上,升降轨道A(4)和升降轨道B(5)相对设置;

所述颗粒供给装置包括进料斗(6)、进料滑道(7)、锥形储料仓(8)、颗粒出口(9)和轨道卡座A(10),所述进料斗(6)固定在升降轨道A(4)上部,进料斗(6)的下方设有导向管(11),所述轨道卡座A(10)设于升降轨道A(4)上并可沿升降轨道A(4)上下移动,所述轨道卡座A(10)的右侧上部设有一段凹槽(12),所述进料滑道(7)设置在进料斗(6)下方,进料滑道(7)的一端底部设有滚轮(13),滚轮(13)的滚轮轴卡在凹槽(12)内,轨道卡座A(10)上设有进料滑道角度调节装置,所述进料滑道角度调节装置包括旋钮A(14)、一个大滑轮(15.1)、两个小滑轮(15.2)和皮带(16),大滑轮(15.1)设在旋钮A(14)的转轴上,两个小滑轮(15.2)分别位于大滑轮(15.1)两侧,且大滑轮(15.1)与两个小滑轮(15.2)通过皮带(16)连接,通过旋转旋钮A(14)使大滑轮(15.1)转动,从而通过皮带(16)的转动,带动大滑轮(15.1)与两个小滑轮(15.2)同步转动,皮带(16)驱动滚轮(13)转动,所述进料滑道(7)通过滚轮(13)与凹槽(12)滑动连接,垂直轨道卡座A(10)设有一支撑板(17),进料滑道(7)的另一端斜靠在支撑板(17)的右上端并伸入所述锥形储料仓(8)内,支撑板(17)右侧设有旋转轴(18),所述锥形储料仓(8)的敞口端通过卡口固定在旋转轴(18)上,旋转轴(18)一端固定连接有一旋钮B(19),所述颗粒出口(9)与锥形出料仓(8)的底部连为一体并相通;

所述液滴产生装置包括针头(20)、针管(21)、针管推进管(22)、旋转推进器(23)、垂直微调轨道(24)、轨道卡座B(25)、水平轨道底座(26)和水平微调装置(27),所述轨道卡座B(25)设于升降轨道B(5)上并可沿升降轨道B(5)上下移动,所述水平轨道底座(26)垂直轨道卡座B(25)设置,所述水平微调装置(27)设于水平轨道底座(26)上并可沿水平轨道底座(26)左右移动,水平微调装置(27)上设有旋钮C(28),水平微调装置(27)的左侧与垂直微调轨道(24)滑动连接,所述旋转推进器(23)、针管推进管(22)、针管(21)、针头(20)从上到下依次连接,旋转推进器(23)和针管推进管(22)分别固定在垂直微调轨道(24)左侧;

所述颗粒回收装置包括颗粒-液滴回收皿(31),所述颗粒-液滴回收皿(31)放置在所述底部轨道(1)上、碰撞区域(30)的正下方;

所述图像采集及处理系统包括照明装置、高速摄像机和计算机,所述照明装置包括主照明灯A(32)、主照明灯B(33),所述主照明灯A(32)设于升降轨道A(4)下部并可沿升降轨道A(4)上下移动,所述主照明灯B(33)设于升降轨道B(5)下部并可沿升降轨道B(5)上下移动,所述高速摄像机(35)设于支架前方,所述计算机(34)和高速摄像机(35)的端口连接。

2. 根据权利要求1所述的一种用于液滴-颗粒碰撞凝并测试的实验系统,其特征在于,所述照明装置还包括辅助照明灯(37),辅助照明灯固定在支撑架(38)上。

3. 根据权利要求1所述的一种用于液滴-颗粒碰撞凝并测试的实验系统,其特征在于,所述高速摄像机(35)通过三角架(36)支撑。

4. 根据权利要求1所述的一种用于液滴-颗粒碰撞凝并测试的实验系统,其特征在于,所述垂直微调轨道(24)的边缘刻有标度尺(29)。

5. 一种基于权利要求1至4任一项所述的实验系统进行液滴-颗粒碰撞凝并测试的方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 将需要实验的颗粒通过小勺倒入进料斗(6),颗粒通过进料斗(6)的导向管(11)进入进料滑道(7),均匀落入锥形储料仓(8),通过颗粒出口(9)落下,通过调节旋钮A(14)改变进料滑道(7)角度,通过调节轨道卡座A(10)的上下位移和旋钮B(19)改变颗粒出口(9)的高度和角度,经过调节颗粒滑落角度,使颗粒进入指定碰撞区域(30),调节好位置和角度后暂停向进料斗(6)倒入颗粒,等锥形储料仓(8)中颗粒全部滑落后进行下一步;

(2) 用针管(20)吸取适量待测液滴溶液,安装好针管(21)、针头(20)和针管推进管(22),通过卡扣(39)固定在垂直微调轨道(24)左侧,通过旋转旋转推进器(23)使针管(21)内液体通过针头(20)形成液滴并滴落,通过调节升降轨道B(5)的水平位移使液滴能滴入指定碰撞区域(30),通过调节轨道卡座B(25)的上下位移改变液滴进入指定碰撞区域(30)的速度;

(3) 向进料斗(6)中倒入颗粒,同时旋转旋转推进器(23),使得颗粒和液滴同时落下,然后通过旋转水平微调旋钮(28),微调针头(20)水平位置,使得落下液滴能够与颗粒在碰撞区域(30)内相遇碰撞,同时开启主照明灯A(32)、主照明灯B(33)并调节到与碰撞区域(30)等高位置,利用高速摄像机(35)拍摄整个相遇碰撞过程,然后通过计算机(34)软件后期处理编辑,采集挑选出碰撞结合过程的图像,形成颗粒-液滴碰撞凝并过程。

## 一种用于液滴-颗粒碰撞凝并测试的实验系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及颗粒流体力学领域,涉及一种实验装置,具体涉及一种用于液滴-颗粒碰撞凝并测试的实验系统及方法。

### 背景技术

[0002] 随着社会经济和工业技术的全面发展,为进一步提高生产效率和质量,对于颗粒和液滴碰撞的研究获得了越来越多的关注,尤其是微观尺寸自由运动状态的颗粒和液滴碰撞吸附结合过程的研究,例如研究喷雾除尘中雾滴与粉尘颗粒的碰撞结合以提高除尘效率。固体颗粒和液滴的研究主要涉及喷雾降尘、湿式浮选煤过程、喷雾干燥等。需要研究固体颗粒和液滴在空间内运动相遇后液滴对颗粒的捕捉过程;研究在不同速度和尺寸下的颗粒与液滴碰撞后运动轨迹的改变;研究液滴与颗粒相撞后形变过程;研究喷雾降尘机理。为了深入研究喷雾降尘凝并机理,需要通过实验观测研究固体颗粒与液滴碰撞结合过程。

[0003] 而现有液滴与颗粒碰撞的实验平台,大多数集中于液滴与平面碰撞,例如发明专利CN104019991A公开了“液滴与固体板斜碰撞试验装置”,虽然能观测到液滴碰撞的形变,但只局限于液滴与固定平板的碰撞。而液滴与颗粒碰撞的实验平台多集中于自由滴落的液滴对固定颗粒的碰撞,而且普遍结构复杂,实现成本较高,研究精确度不高,例如发明专利CN108225987A公开了“解决微米级液滴撞击球形表面冷冻涂覆的系统与方法”虽然可以实现液滴与固体颗粒球体碰撞,但固体颗粒处于被固定状态,无法实现固体颗粒的自由运动。目前鲜有对于在空中自由运动的颗粒和液滴碰撞的实验测试系统。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种用于液滴-颗粒碰撞凝并测试的实验系统,搭建方便、成本低,可用于不同条件下自由运动的颗粒和液滴碰撞的研究。

[0005] 本发明的另一目的是提供基于上述系统进行液滴-颗粒碰撞凝并测试的实验方法,操作简单。

[0006] 为实现上述目的,本发明采用的技术方案如下:一种用于液滴-颗粒碰撞凝并测试的实验系统,主要包括颗粒供给装置、液滴产生装置、颗粒回收装置、图像采集及处理系统,所述颗粒供给装置和液滴产生装置安装在支架上,所述支架包括底部轨道、底座A、底座B、升降轨道A、升降轨道B,所述底座A、底座B分别设于所述底部轨道上并可沿底部轨道左右移动,所述升降轨道A垂直设于底座A上,所述升降轨道B垂直设于底座B上,升降轨道A和升降轨道B相对设置,

[0007] 所述颗粒供给装置包括进料斗、进料滑道、锥形储料仓、颗粒出口和轨道卡座A,所述进料斗固定在升降轨道A上部,进料斗的下方设有导向管,所述轨道卡座A设于升降轨道A上并可沿升降轨道A上下移动,所述轨道卡座A的右侧上部设有一段凹槽,所述进料滑道设置在进料斗下方,进料滑道的一端底部设有滚轮,滚轮的滚轮轴卡在凹槽内,轨道卡座A上设有进料滑道角度调节装置,所述进料滑道角度调节装置包括旋钮A、一个大滑轮、两个小

滑轮和皮带,大滑轮设在旋钮A的转轴上,两个小滑轮分别位于大滑轮两侧,且大滑轮与两个小滑轮通过皮带连接,通过旋转旋钮A使大滑轮转动,从而通过皮带的转动,带动大滑轮与两个小滑轮同步转动,皮带驱动滚轮转动,所述进料滑道通过滚轮与凹槽滑动连接,垂直轨道卡座A设有一支撑板,进料滑道的另一端斜靠在支撑板的右上端并伸入所述锥形储料仓内,支撑板右侧设有旋转轴,所述锥形储料仓的敞口端通过卡口固定在旋转轴上,旋转轴一端固定连接有一旋钮B,所述颗粒出口与锥形出料仓的底部连为一体并相通,

[0008] 所述液滴产生装置包括针头、针管、针管推进管、旋转推进器、垂直微调轨道、轨道卡座B、水平轨道底座和水平微调装置,所述轨道卡座B设于升降轨道B上并可沿升降轨道B上下移动,所述水平轨道底座垂直轨道卡座B设置,所述水平微调装置设于水平轨道底座上并可沿水平轨道底座左右移动,水平微调装置的左侧与垂直微调轨道滑动连接,水平微调装置上设有旋钮C,所述旋转推进器、针管推进管、针管、针头从上到下依次连接,旋转推进器和针管推进管分别固定在垂直微调轨道左侧,所述颗粒回收装置包括颗粒-液滴回收皿,所述颗粒-液滴回收皿放置在所述底部轨道上、碰撞区域的正下方,

[0009] 所述图像采集及处理系统包括照明装置、高速摄像机和计算机,所述照明装置包括主照明灯A、主照明灯B,所述主照明灯A设于升降轨道A下部并可沿升降轨道A上下移动,所述主照明灯B设于升降轨道B下部并可沿升降轨道B上下移动,所述高速摄像机设于支架前方,所述计算机和高速摄像机的端口连接。

[0010] 进一步,所述照明装置还包括辅助照明灯,辅助照明灯固定在支撑架上,用于补光。

[0011] 进一步,所述高速摄像机通过三角架支撑。

[0012] 进一步,所述垂直微调轨道的边缘刻有标度尺。

[0013] 本发明还提供了基于上述系统进行液滴-颗粒碰撞凝并测试的实验方法,包括以下步骤:

[0014] (1) 将需要实验的颗粒倒入进料斗,颗粒通过进料斗的导向管进入进料滑道,均匀落入锥形储料仓,通过颗粒出口落下,通过调节旋钮A改变进料滑道角度,通过调节轨道卡座A的上下位移和旋钮B改变颗粒出口的高度和角度,经过调节颗粒滑落角度,使颗粒进入指定碰撞区域,调节好位置和角度后暂停向进料斗6倒入颗粒,等锥形储料仓中颗粒全部滑落后进行下一步;

[0015] (2) 用针管吸取适量待测液滴溶液,安装好针管、针头和针管推进管,通过卡扣固定在垂直微调轨道左侧,通过旋转旋转推进器使针管内液体通过针头形成液滴并滴落,通过调节升降轨道B的水平位移使液滴能滴入指定碰撞区域,通过调节轨道卡座B的上下位移改变液滴进入指定碰撞区域的速度;

[0016] (3) 向进料斗中倒入颗粒,同时旋转旋转推进器,使得颗粒和液滴同时落下,然后通过旋转水平微调旋钮,微调针头水平位置,使得落下液滴能够与颗粒在碰撞区域内相遇碰撞,同时开启主照明灯A32、主照明灯B33并调节到与碰撞区域等高位置,利用高速摄像机拍摄整个相遇碰撞过程,然后通过计算机软件后期处理编辑,采集挑选出碰撞结合过程的图像,形成颗粒-液滴碰撞凝并过程。

[0017] 与现有技术相比,本发明具有如下有益效果:

[0018] (1) 通过本发明设计的液滴-颗粒碰撞凝并测试的实验方法及系统,可以获得在重

力和空气阻力作用下的颗粒-液滴碰撞行为。

[0019] (2) 本发明的液滴-颗粒碰撞凝并测试的实验方法及系统中颗粒装置可以添加不同材料、不同形状、不同尺寸颗粒,调节颗粒不同速度、不同角度,可以调节颗粒单位时间产生数量,

[0020] (3) 本发明的液滴-颗粒碰撞凝并测试的实验方法及系统中液滴产生装置可以添加不同溶剂和溶质、不同配比的溶液,可以产生不同尺寸,单位时间不同数量的液滴,可以产生进入碰撞区域不同速度,不同位置的液滴。

[0021] (4) 本发明中实验系统采用的图像采集及处理系统,可以得到颗粒和液滴的动态过程,得到颗粒和液滴的运动轨迹,可以完整捕捉到颗粒-液滴碰撞结合过程,并通过软件后处理得到颗粒-液滴碰撞速度、碰撞后轨迹改变、液滴形变过程等相关结果,为碰撞凝并机理研究提供充分有效的数据支撑。

## 附图说明

[0022] 图1为本发明用于液滴-颗粒碰撞凝并测试的实验系统示意图;

[0023] 图2为颗粒进料装置示意图;

[0024] 图3为进料滑道俯视图;

[0025] 图4为液滴发生装置示意图;

[0026] 图5为颗粒-液滴碰撞凝并过程拍摄照片;

[0027] 图中,1-底部轨道、2-底座A、3-底座B、4-升降轨道A、5-升降轨道B、6-进料斗、7-进料滑道、8-锥形储料仓、9-颗粒出口、10-轨道卡座A、11-导向管、12-凹槽、13-滚轮、14-旋钮A、15.1-大滑轮、15.2-小滑轮、16-皮带、17-支撑板、18-旋转轴、19-旋钮B、20-针头、21-针管、22-针管推进管、23-旋转推进器、24-垂直微调轨道、25-轨道卡座B、26-水平轨道底座、27-水平微调装置、28-旋钮C、29-标度尺、30-碰撞区域、31-颗粒-液滴回收皿、32-主照明灯A、33-主照明灯B、34-计算机、35-高速摄像机、36-三脚架、37-辅助照明灯、38-支撑架、39-卡扣。

## 具体实施方式

[0028] 下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步详细叙述。为方便说明,以图1中的左侧为左,图1中的右侧为右,作为左右方向判断的基准。

[0029] 如图1所示,本发明的一种用于液滴-颗粒碰撞凝并测试的实验系统,主要包括颗粒供给装置、液滴产生装置、颗粒回收装置、图像采集及处理系统,所述颗粒供给装置和液滴产生装置安装在支架上,所述支架包括底部轨道1、底座A2、底座B3、升降轨道A4、升降轨道B5,所述底座A2、底座B3分别设于所述底部轨道1上并可沿底部轨道1左右移动,所述升降轨道A4垂直设于底座A2上,所述升降轨道B5垂直设于底座B3上,升降轨道A4和升降轨道B5相对设置。

[0030] 如图1、图2、图3所示,所述颗粒供给装置包括进料斗6、进料滑道7、锥形储料仓8、颗粒出口9和轨道卡座A10,所述进料斗6固定在升降轨道A4上部,进料斗6的下方设有导向管11,所述轨道卡座A10设于升降轨道A4上并可沿升降轨道A4上下移动,所述轨道卡座A10的右侧上部设有一段凹槽12,所述进料滑道7设置在进料斗6下方,进料滑道7的一端底部设

有滚轮13,滚轮13的滚轮轴卡在凹槽12内,轨道卡座A10上设有进料滑道角度调节装置,所述进料滑道角度调节装置包括旋钮A14、一个大滑轮15.1、两个小滑轮15.2和皮带16,大滑轮15.1设在旋钮A14的转轴上,两个小滑轮15.2分别位于大滑轮15.1两侧,且大滑轮15.1与两个小滑轮15.2通过皮带16连接,通过旋转旋钮A14使大滑轮15.1转动,从而通过皮带16的转动,带动大滑轮15.1与两个小滑轮15.2同步转动,皮带16驱动滚轮13转动,所述进料滑道6通过滚轮13与凹槽12滑动连接,垂直轨道卡座A10设有一支撑板17,进料滑道7的另一端斜靠在支撑板17的右上端并伸入所述锥形储料仓8内,支撑板17右侧设有旋转轴18,所述锥形储料仓8的敞口端通过卡口固定在旋转轴18上,旋转轴18一端固定连接有一旋钮B19,所述颗粒出口9与锥形出料仓8的底部连为一体并相通。将需要实验的颗粒通过小勺倒入进料斗6,颗粒直径在0.5~5mm范围之内,颗粒通过进料斗6的导向管11进入进料滑道7,均匀落入锥形储料仓8,通过颗粒出口9落下,将颗粒送入指定碰撞区域30。通过改变不同的进料斗6的漏斗嘴大小改变单位时间内进入进料滑道7的颗粒数量,通过调节旋钮A16改变进料滑道7的角度,进而改变单位时间内进入碰撞区域30的颗粒数量。通过调节旋钮B19可以改变颗粒出口9的高度和角度,进而改变颗粒的出发位置、到达碰撞区域30时的速度大小和方向。

[0031] 如图1、图4所示,所述液滴产生装置包括针头20、针管21、针管推进管22、旋转推进器23、垂直微调轨道24、轨道卡座B25、水平轨道底座26和水平微调装置27,所述轨道卡座B25设于升降轨道B5上并可沿升降轨道B5上下移动,所述水平轨道底座26垂直轨道卡座B25设置,所述水平微调装置27设于水平轨道底座26上并可沿水平轨道底座26左右移动,水平微调装置27上设有旋钮C28,水平微调装置27的左侧与垂直微调轨道24滑动连接,所述旋转推进器23、针管推进管22、针管21、针头20从上到下依次连接,旋转推进器23和针管推进管22分别通过卡扣39固定在垂直微调轨道24左侧,垂直微调轨道24的边缘刻有标度尺29。将待测液体吸进针管21,安装好针管21、针头20和针管推进管22。通过调节升降轨道B5的水平位移和轨道卡座B25的上下位移,将针头20调节至合适的高度,通过旋转旋转推进器23使针管21内液体通过针头20形成液滴并滴落。通过更换针头20可以产生不同尺寸的液滴,液滴直径在0.5~3mm范围之内;通过调节针管21高度可以改变进入碰撞区域30的液滴的速度;通过改变针管推进器23的速度可以改变进入碰撞区域30的液滴数量;通过调节旋钮C28可以实现针管21水平方向的微调。

[0032] 如图1所示,所述颗粒回收装置包括颗粒-液滴回收皿31,所述颗粒-液滴回收皿31放置在所述底部轨道1上、碰撞区域30的正下方,用于回收下落的颗粒和液滴。

[0033] 所述图像采集及处理系统包括照明装置、高速摄像机和计算机,所述照明装置包括主照明灯A32、主照明灯B33,所述主照明灯A32设于升降轨道A4下部并可沿升降轨道A4上下移动,所述主照明灯B33设于升降轨道B5下部并可沿升降轨道B5上下移动,通过调节主照明灯A32和主照明灯B33的高度以及照明灯的灯头角度来调整光源;所述照明装置还包括辅助照明灯37,辅助照明灯37固定在支撑架38上,用于补光。所述高速摄像机35设于支架前方,所述计算机34和高速摄像机35的端口连接,其中高速摄像机35用专用三脚架36进行支撑,用于图像采集,计算机34用于控制高速摄像机35和实验数据后处理。通过计算机34上特定软件对高速摄像机35拍照频率、拍照次数、拍照开始和结束时间进行设置,从而拍摄得到所需图片。

[0034] 具体的操作过程如下:

[0035] (1) 将需要实验的颗粒通过小勺倒入进料斗6,颗粒通过进料斗6的导向管11进入进料滑道7,均匀落入锥形储料仓8,通过颗粒出口9落下,通过调节旋钮A16改变进料滑道7角度,通过调节轨道卡座A10的上下位移和旋钮B19改变颗粒出口9的高度和角度,经过调节颗粒滑落角度,使颗粒进入指定碰撞区域30,调节好位置和角度后暂停向进料斗6倒入颗粒,等锥形储料仓8中颗粒全部滑落后进行下一步;

[0036] (2) 用针管20吸取适量待测液滴溶液,安装好针管21、针头20和针管推进管22,通过卡扣39固定在垂直微调轨道24左侧,通过旋转旋转推进器23使针管21内液体通过针头20形成液滴并滴落,通过调节升降轨道B5的水平位移使液滴能滴入指定碰撞区域30,通过调节轨道卡座B25的上下位移改变液滴进入指定碰撞区域30的速度;

[0037] (3) 向进料斗6中倒入颗粒,同时旋转旋转推进器23,使得颗粒和液滴同时落下,然后通过旋转水平微调旋钮28,微调针头20水平位置,使得落下液滴能够与颗粒在碰撞区域30内相遇碰撞,同时开启主照明灯A32、主照明灯B33并调节到与碰撞区域30等高位置,利用高速摄像机35拍摄整个相遇碰撞过程,然后通过计算机34软件后期处理编辑,采集挑选出碰撞结合过程的图像(如图5所示),形成颗粒-液滴碰撞凝并过程。

[0038] 对于进入碰撞区域30的颗粒和液滴速度,在正对高速摄像机35镜头方向,在碰撞区域30放置垂直刻度尺,通过高速摄像机2~5帧照片上的颗粒或者液滴所在位置刻度相减,得到路程L,然后通过高速摄像机操作程序得到每帧图片之间时间间隔t,假设计算n帧照片之间的刻度。那么颗粒或者液滴的速度v可以计算为: $v=L/(n \cdot t)$ 。



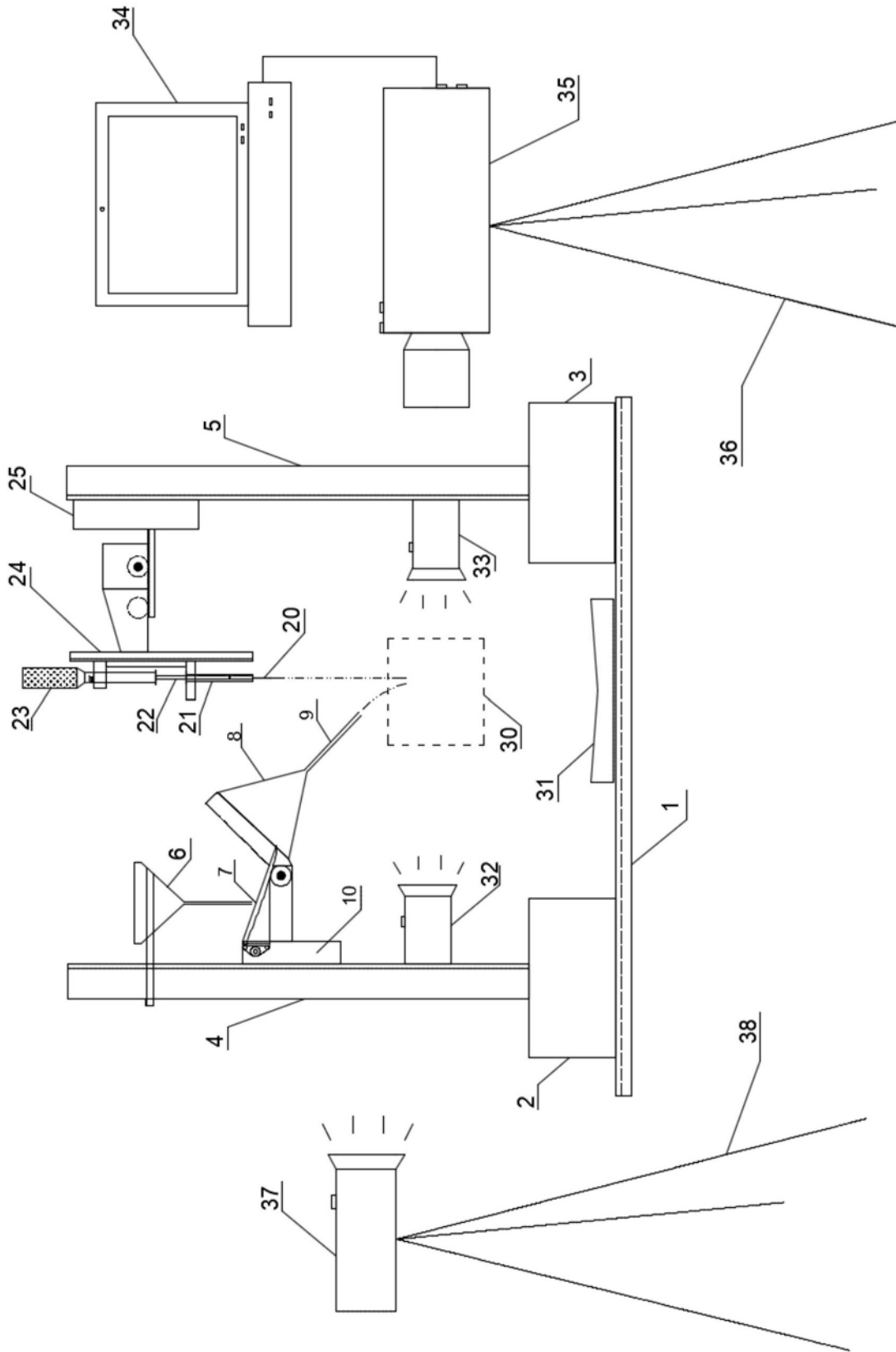


图1

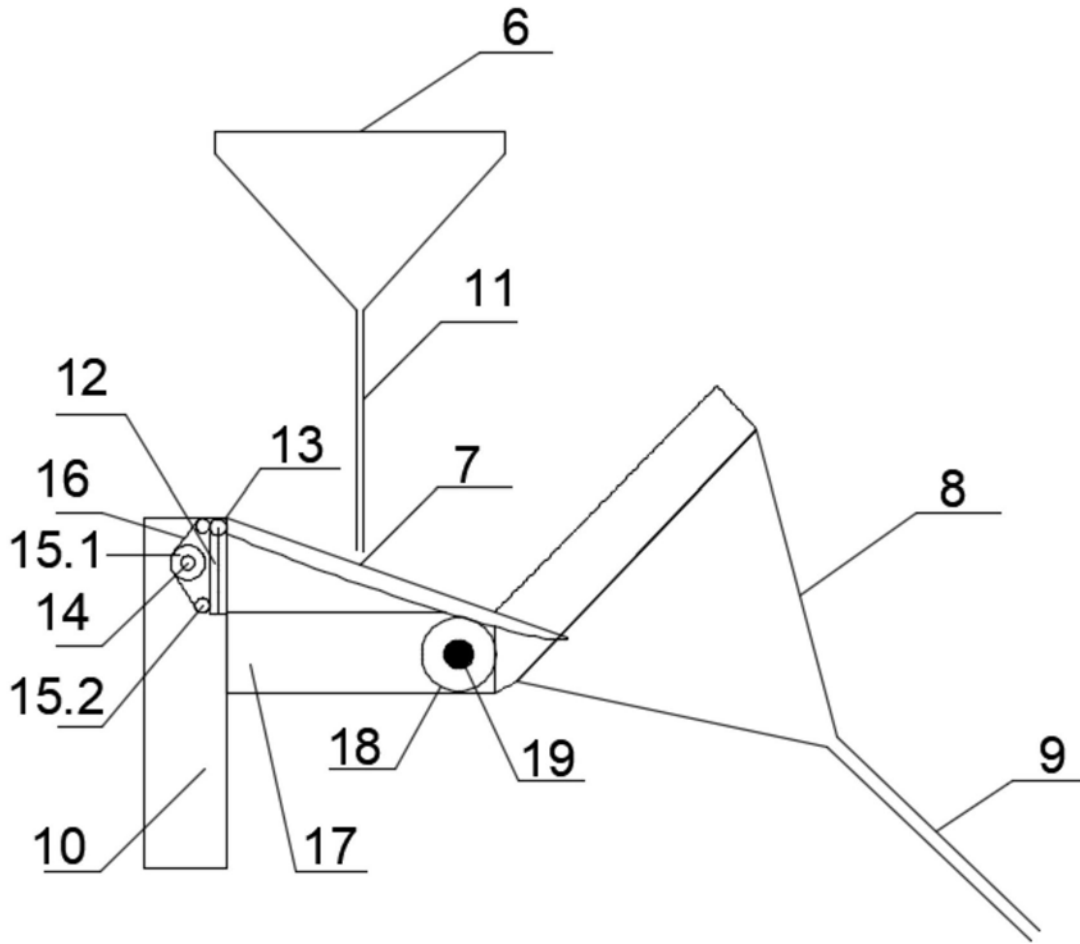


图2

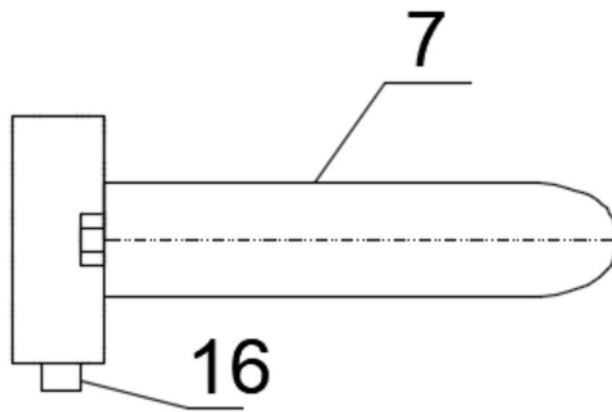


图3

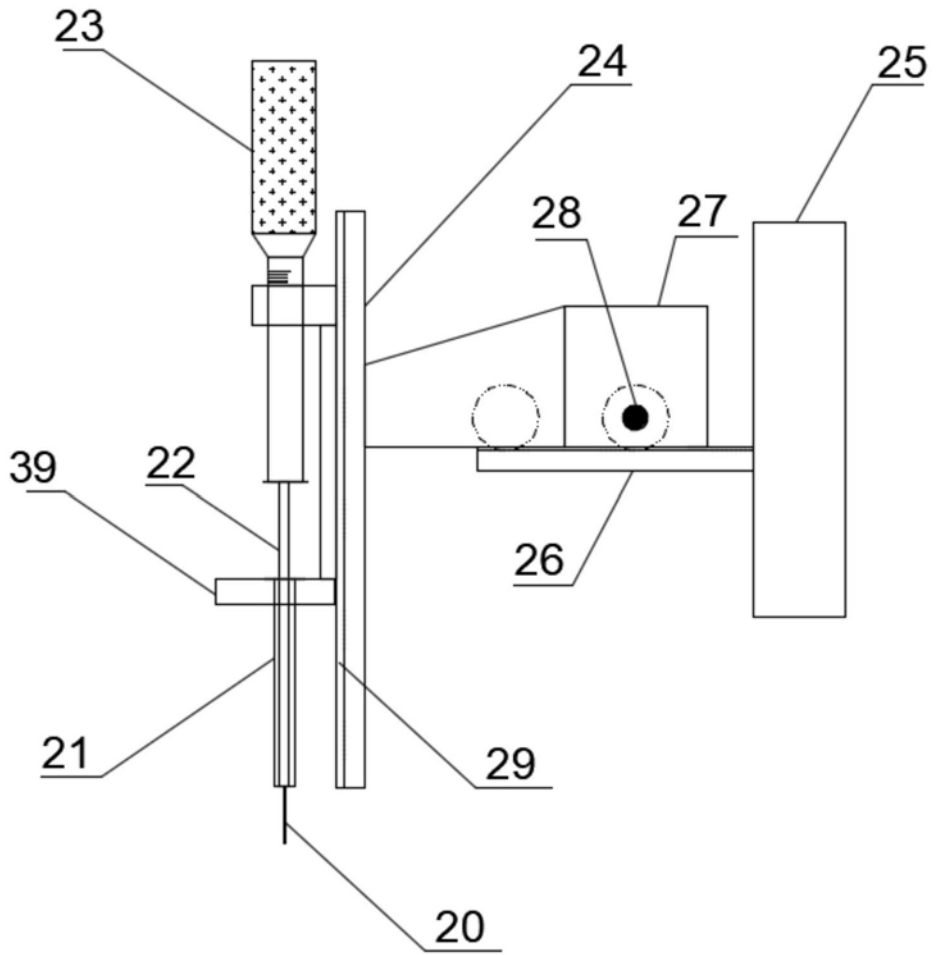


图4

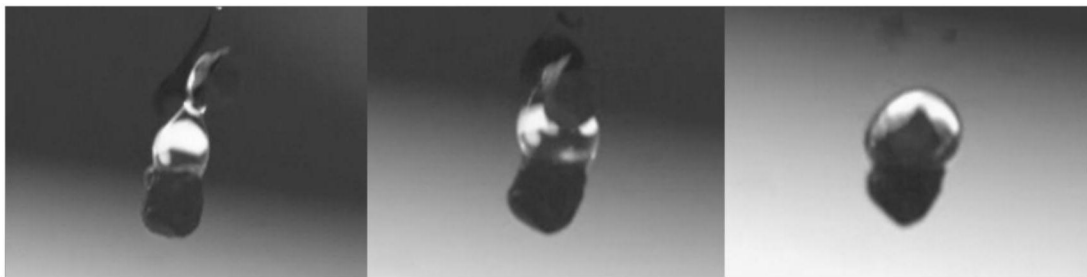


图5