



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102998233 B

(45) 授权公告日 2015.04.22

(21) 申请号 201210479392.5

(22) 申请日 2012.11.22

(73) 专利权人 中国石油大学(北京)

地址 102249 北京市昌平区府学路18号

(72) 发明人 姬忠礼 许乔奇 陈鸿海 熊至宜

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 丁香兰 韩蕾

(51) Int. Cl.

G01N 15/02(2006.01)

G01N 15/06(2006.01)

(56) 对比文件

US 5110747 A, 1992.05.05, 全文.

FR 2513374 A1, 1983.03.25, 全文.

EP 1775572 A2, 2007.04.18, 全文.

CN 101334349 A, 2008.12.31, 全文.

CN 102213651 A, 2011.10.12, 全文.

CN 102230855 A, 2011.11.02, 全文.

许乔奇等. 高压天然气管道内颗粒物在线检测结果校正方法. 《过程工程学报》. 2012, 第12卷(第5期), 870-875.

张星等. 高压天然气管道内粉尘在线检测方法. 《化工学报》. 2010, 第61卷(第9期), 2334-2339.

Zhiyi Xiong et al.. Experimental and numerical simulation investigations on particle sampling for high-pressure natural gas. 《Fuel》. 2008, 第87卷(第13-14期), 3096-3104.

审查员 王艳

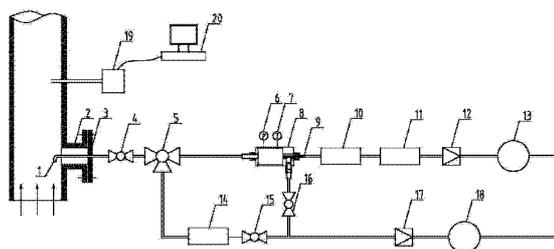
权利要求书2页 说明书9页 附图5页

(54) 发明名称

适用于高压气体管道内颗粒物在线检测的方法

(57) 摘要

本发明提供了一种适用于高压气体管道内颗粒物在线检测的装置及方法,所述装置包括在线检测单元,该在线检测单元包括依次串接的主采样嘴以及流量分配器;主采样嘴的前端伸入需检测的高压气体管道内,末端串接流量分配器气体进口;流量分配器设置有一个腔体,腔体分出主路及旁路两条管路,主路依次串接二次采样嘴、在线颗粒物粒径谱仪以及第一质量流量控制器,旁路串接第二质量流量控制器;主采样嘴从高压气体管道内采样后,所采气样从流量分配器气体进口经扩散进入腔体后,分别经二次采样嘴和旁路出口排出。该装置还可进一步包括离线检测单元、长期在线监测单元。本发明的装置能够实现对于高压气体管道内颗粒物的长期在线检测。



CN 102998233 B

1. 一种对高压气体管道内颗粒物进行在线检测的方法,该方法是利用一种装置对高压气体管道内颗粒物进行在线检测,所述装置包括:

在线检测单元;所述在线检测单元包括通过管路依次串接的主采样嘴以及流量分配器;所述主采样嘴的前端伸入需检测的高压气体管道内,末端串接流量分配器气体进口;所述流量分配器设置有一个腔体,腔体前侧设置一个气体进口,后侧设置两个气体出口而分出主路及旁路两条管路,主路依次串接二次采样嘴、在线颗粒物粒径谱仪以及第一质量流量控制器,旁路串接第二质量流量控制器;

主采样嘴从高压气体管道内采样后,所采气样从流量分配器气体进口经扩散进入腔体后,分别经二次采样嘴和旁路出口排出;

其中,

利用在线检测单元的主采样嘴从高压气体管道内采集气样,所采气样从流量分配器气体进口经扩散进入腔体后,分别进入主路与旁路;

利用颗粒物在线粒径谱仪对主路中二次采样嘴所采气样中颗粒物的浓度和粒径进行测定,并利用第一质量流量控制器对进入颗粒物在线粒径谱仪的气体流量进行计量和控制,利用第二质量流量控制器计量和控制进入旁路的多余气体的流量,以满足在线粒径谱仪自身流量的要求以及在线检测单元等速采样的要求。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述装置中,所述流量分配器的腔体直径大于气体进口与主路出口,所述旁路为从主路上引出的分支管路。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中,所述装置中,气体进口、腔体与主路出口设置在同一中心线上。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中,所述装置中,旁路出口的中心线方向与气体进口中心线方向呈垂直设置。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述装置中,主采样嘴通过机械或液压结构伸缩至气体管道中的待测位置。

6. 根据权利要求5所述的方法,其中,所述装置还包括随主采样嘴深入管道内的以下设备中的一种或多种:

能测量压力和/或温度的传感器,和/或具有测量流速功能的探头。

7. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述装置中,所述二次采样嘴前端伸入流量分配器内部,对进入流量分配器中的气体中的粉尘进行二次采样,其末端与第一气体出口相连。

8. 根据权利要求1所述的方法,其中,

第一质量流量控制器所测气体流量与第二质量流量控制器所测气体流量之和为进入整个在线检测单元的气体流量,根据主采样嘴口径的大小得到进入主采样嘴时气体的流速;当进入主采样嘴处的流速等于管道内流速时,即达到等速采样,能采集到管道中具有代表性的颗粒物。

9. 根据权利要求1或8所述的方法,其中,所述装置还包括长期在线监测单元,该长期在线监测单元包括粉尘浓度传感器和计算机,粉尘浓度传感器用于检测管道内的粉尘情况,将管道内的颗粒物浓度值转成电流信号传输至计算机以实现长期在线监测;所述方法还包括:利用长期在线监测单元计算管道内粉尘浓度C,与在线检测单元的检测结果进行分析比较;其中,

按照以下公式计算管道内粉尘浓度 C：

$$C = \frac{\alpha(\Delta I + \beta\Delta H)}{V^m}$$

式中, C :管道内粉尘浓度；

$\Delta I$  :传感器输出电流变化值；

$\Delta H$  :湿度变化值；

V :管道风速；

$\alpha$ 、 $\beta$ 、 $m$ 为针对具体粉尘的粉尘浓度传感器标定系数；800目滑石粉的标定系数  $\alpha$  为 1000,  $\beta$  为 10.32,  $m$  为 2.18；飞灰的标定系数  $\alpha$  为 400,  $\beta$  为 8.04,  $m$  为 1.88；天然气管道内粉尘的标定系数,  $\alpha$  为 400,  $\beta$  为 6.07,  $m$  为 2.18。

## 适用于高压气体管道内颗粒物在线检测的方法

### 技术领域

[0001] 本发明是关于管道内颗粒物采集分析技术,具体是关于一种适用于高压气体管道内颗粒物在线检测的装置及方法,特别适用于高压天然气管道内颗粒物的在线检测。

### 背景技术

[0002] 管道内颗粒物采集分析技术广泛应用于各气体输送领域,如天然气管道等。由于天然气气源及天然气管道磨损腐蚀等原因,天然气输送过程中会含有黑色的固体杂质等颗粒物。天然气站场采用过滤分离设备来除去天然气中的颗粒物,从而保证后续压缩机、仪表及阀门等重要设备的正常运行。过滤分离设备运行中具有一定的阻力,增加了下游压缩机的能耗,需要根据天然气管道内颗粒物的实际情况选择合适的过滤分离设备和制定合理的运行方案以及天然气站场排污和清关作业安排。因此,对高压天然气管道内颗粒物浓度和粒度分布等状况进行检测是很有意义的。

[0003] 目前针对高压天然气管道内颗粒物的检测主要分为离线检测和在线检测。离线检测是指通过高精度的滤筒或滤膜将气体管道内的粉尘等颗粒物收集,对其称重后计算出管道内的颗粒物浓度,再借助其他粒度分析仪测定出收集的颗粒物粒径。这种离线检测方式可以比较客观的测定出管道内颗粒物特性,但是当浓度较低时操作时间较长,实时性不好。而目前大多数在线检测装置为采用光学原理,只能在常温常压下进行检测,所述检测设备如果用于高压工况的检测则需要将高压气体降温后再通过仪器检测,而压力的降低会使某些气体析出液滴,造成颗粒物团聚,影响测量结果,并且凝结的液滴也会污染光学镜头。目前也有少数仪器也可以直接用于高压工况下在线测量,例如, CN201060152Y 公开了一种高压天然气管道内粉尘在线检测装置,其结构包括:插入管道接管 [5] 的采样嘴 [2] 由压力密封套 [4] 隔开为两单元,分别经球阀 I [7]、球阀 II [8] 连接差压传感器 [11];采样管 [3] 依次接流量调节阀 I [9]、冷凝干燥器 [10] 后与流量传感器 [14] 连接,并在流量传感器 [14] 之前还加有压力传感器 I [12] 和温度传感器 I [13];流量传感器 [14] 后依次串接减压装置 [15]、流量传感器 II [21],并在流量传感器 II [21] 之前还加有压力传感器 II [18]、温度传感器 II [19],减压装置 [15] 经流量调节阀 II [17] 接多余气体排出管 [16];直管 采样管 [20] 从减压装置 [15] 中接出经流量传感器 II [21]、流量调节阀 III [23] 后接颗粒分析仪 [24] 一输入,从减压装置 [15] 另一出口管经流量调节阀 II [17] 接接管 [22] 后接向颗粒分析仪 [24] 另一输入。该装置结构复杂,且从现场使用情况来看,浓度过低或过高时测量仪器测量结果不准确。此外,针对天然气长输管线,颗粒浓度变化大,从几毫克至几百毫克,粒径范围从 0.3 微米至 100 微米,目前的检测技术尚不能达到对高压天然气管道内颗粒物浓度长期在线监测的技术效果,也不能测量管道内液滴的含量。

### 发明内容

[0004] 有鉴于上述现有高压天然气管道内颗粒物检测技术存在的缺点,本案发明人基于从事相关科研及现场经验和专业知识,创造性地提出了一种能够直接在线检测和长期监测

高压气体管道内颗粒物的装置及方法。

[0005] 本发明的一个目的在于提供一种适用于高压气体管道内颗粒物在线检测的装置,该装置维护成本低,可靠性强,可实现高压气体管道内颗粒物特性的测定,进一步且还可实现长期在线监测。

[0006] 本发明的另一目的在于提供利用所述装置对高压天然气管道内颗粒物在线检测的方法,无需将高压气体减压即可在线实现管道内颗粒物特性的测定,进一步还能够实现长期在线监测。

[0007] 为达到上述目的,一方面,本发明提出一种适用于高压气体管道内颗粒物在线检测的装置,该装置包括:

[0008] 在线检测单元;所述在线检测单元包括通过管路依次串接的主采样嘴以及流量分配器;所述主采样嘴的前端伸入需检测的高压气体管道内,末端串接流量分配器气体进口;所述流量分配器设置有一个腔体,腔体前侧设置一个气体进口,后侧设置两个气体出口而分出主路及旁路两条管路,主路依次串接二次采样嘴、在线颗粒物粒径谱仪以及第一质量流量控制器,旁路串接第二质量流量控制器;

[0009] 主采样嘴从高压气体管道内采样后,所采气样从流量分配器气体进口经扩散进入腔体后,分别经二次采样嘴和旁路出口排出。

[0010] 本发明中,所述“前”、“后”或“末”的方向是指按照气体流动的上下游方向而言,即,气流方向是从“前”流向“后”或“末”。

[0011] 本发明的适用于高压气体管道内颗粒物在线检测的装置中,利用所述流量分配器的结构设计,可以让进入其腔体的气流在腔体内部形成湍流,进而使其内的颗粒物混合均匀,来满足二次取样嘴可以采到具有代表性的样品。

[0012] 根据本发明的具体实施方案,本发明的适用于高压气体管道内颗粒物在线检测的装置中,所述流量分配器的腔体直径大于气体进口与主路出口,所述旁路为从主路上引出的分支管路;优选地,气体进口、腔体与主路出口设置在同一中心线上;更优选地,旁路出口的中心线方向与气体进口中心线方向呈垂直设置。

[0013] 本发明中,所述流量分配器的结构尺寸只要能实现让所述流量分配器腔体的气流在腔体内部形成湍流而混合均匀的目的即可。根据本发明的优选方案,所述流量分配器的腔体直径与气体进口直径的比例为 $2 \sim 10:1$ ;腔体长度(沿采样气流方向)与腔体直径的比例为 $0.5 \sim 3:1$ ,可根据气体流速进行适当调整。

[0014] 根据本发明的具体实施方案,本发明的适用于高压气体管道内颗粒物在线检测的装置中,主采样嘴通过机械或液压结构伸缩至气体管道中的待测位置;优选地,所述装置还包括随主采样嘴深入管道内的以下设备中的一种或多种:

[0015] 能测量压力和/或温度的传感器,和/或具有测量流速功能的探头。

[0016] 根据本发明的具体实施方案,本发明的适用于高压气体管道内颗粒物在线检测的装置中,所述二次采样嘴前端伸入流量分配器内部,对进入流量分配器中的气体中的粉尘进行二次采样,其末端与第一气体出口相连。

[0017] 根据本发明的优选具体实施方案,本发明的适用于高压气体管道内颗粒物在线检测的装置中,所述主路的在线颗粒物粒径谱仪与第一质量流量控制器之间还进一步串接设置有第一颗粒物捕集器。这样,在进行在线检测的同时也可对颗粒物进行离线采集检测,可

同在线检测的结果相互验证。

[0018] 根据本发明的具体实施方案,本发明的适用于高压气体管道内颗粒物在线检测的装置还可进一步包括:

[0019] 离线检测单元;该离线检测单元包括第二颗粒物捕集器,该第二颗粒物捕集器一端连接于主采样嘴与流量分配器之间的管路上,另一端连接于旁路出口与第二质量流量控制器之间的管路上。离线检测单元的设置主要是用于将其检测结果同在线检测的结果比较,验证可靠性。

[0020] 根据本发明的具体实施方案,本发明的适用于高压气体管道内颗粒物在线检测的装置还进一步包括:

[0021] 长期在线监测单元;该长期在线监测单元包括粉尘浓度传感器和计算机,粉尘浓度传感器用于检测管道内的粉尘情况,将管道内的颗粒物浓度值转成电流信号传输至计算机以实现长期在线监测。

[0022] 另一方面,本发明还提供了一种对高压气体管道内颗粒物进行在线检测的方法,该方法是利用本发明所述的装置对高压气体管道内颗粒物进行在线检测,其中,

[0023] 利用在线检测单元的主采样嘴从高压气体管道内采集气样,所采气样从流量分配器气体进口经扩散进入腔体后,分别进入主路与旁路;

[0024] 利用颗粒物在线粒径谱仪对主路中二次采样嘴所采气样中颗粒物的浓度和粒径进行测定,并利用第一质量流量控制器对进入颗粒物在线粒径谱仪的气体流量进行计量和控制,利用第二质量流量控制器计量和控制进入旁路的多余气体的流量,以满足在线粒径谱仪自身流量的要求以及在线检测单元等速采样的要求。

[0025] 根据本发明的具体实施方案,本发明的高压气体管道内颗粒物在线检测的方法中,第一质量流量控制器所测气体流量与第二质量流量控制器所测气体流量之和为进入整个在线检测单元的气体流量,根据主采样嘴口径的大小得到进入主采样嘴时气体的流速;当进入主采样嘴处的流速等于管道内流速时,即达到等速采样,能采集到管道中具有代表性的颗粒物。

[0026] 根据本发明的优选具体实施方案,本发明的方法中所述装置还包括所述的长期在线监测单元,该长期在线监测单元包括粉尘浓度传感器和计算机,粉尘浓度传感器用于检测管道内的粉尘情况,将管道内的颗粒物浓度值转成电流信号传输至计算机以实现长期在线监测;所述方法还包括:利用长期在线监测单元计算管道内粉尘浓度 C,与在线检测单元的检测结果进行分析比较;其中,按照以下公式计算管道内粉尘浓度 C:

$$[0027] \quad C = \frac{\alpha(\Delta I + \beta\Delta H)}{V^m}$$

[0028] 式中,C:管道内粉尘浓度;

[0029]  $\Delta I$ :传感器输出电流变化值;

[0030]  $\Delta H$ :湿度变化值;

[0031] V:管道风速;

[0032]  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $m$ 为针对具体粉尘的粉尘浓度传感器标定系数。根据本发明的具体实施方案,所述粉尘浓度传感器为静电式粉尘浓度传感器(简称静电传感器)。具体实施时,可以通过实验研究风速和湿度对静电式粉尘浓度传感器输出信号的影响,进一步确定出针对不

同粉尘的静电式粉尘浓度传感器标定系数。例如,根据本发明的具体实施方案,所确定出的针对不同粉尘的静电式粉尘浓度传感器标定系数为:800目滑石粉的标定系数 $\alpha$ 为1000, $\beta$ 为10.32, $m$ 为2.18;飞灰的标定系数 $\alpha$ 为400, $\beta$ 为8.04, $m$ 为1.88;天然气管道内粉尘的标定系数, $\alpha$ 为400, $\beta$ 为6.07, $m$ 为2.18。

[0033] 根据上述模型公式,通过粉尘浓度传感器输出电流变化、湿度变化和管道实时风速即可确定出管道内粉尘浓度实时显示。

[0034] 本发明上述模型公式的推导和验证如下所述:

[0035] 1、风速对静电传感器输出信号影响

[0036] 在环境温度为15℃,环境湿度为RH40%的实验条件下,以800目滑石粉、飞灰和天然气管道粉尘作为管道输送介质,研究不同管道风速对静电式粉尘浓度传感器输出值的影响。测量结果参见图1A、图1B和图1C。其中,图1A、图1B和图1C分别为针对滑石粉、飞灰和天然气管道粉尘的测量结果。从图中可以看出,风速变化对测量结果影响十分显著,三种不同粉尘介质呈现相同测量规律。

[0037] 2、湿度影响对静电传感器输出电流影响

[0038] 选用800目滑石粉、飞灰、天然气管道粉尘作为测量对象,在环境湿度分别为RH25%、RH44%、RH53%、RH76%的条件下,保持管道内风速为9.5m/s,不同粉尘浓度对应静电传感器输出值结果如下图所示。测量结果参见图2A、图2B和图2C。其中,图2A、图2B和图2C分别为针对滑石粉、飞灰和天然气管道粉尘的测量结果。从图中可以看出,湿度变化对测量结果影响十分显著,三种不同粉尘介质呈现相同测量规律。随着环境湿度的增大,粉尘带电量减少。从RH25%到RH53%,粉尘带电量减少较均匀,然而当湿度超过某一值时,粉尘带电量非常微弱。

[0039] 在相同浓度下,风速同静电粉尘传感器输出电流值的关系,可表示为

[0040]  $\Delta I = K_1 V^m$  (1) 其中, $\Delta I$ 为静电传感器电流净输出(即为输出值 $I$ 与初始值之差), $K_1$ 为系数, $V$ 为管道风速。

[0041] 令

$$[0042] \quad A = \frac{\Delta I}{K_1} = V^m \quad (2)$$

[0043] 则在其他实验条件保持不变的情况下 $\ln A$ 和 $\ln V$ 的比值即为 $m$ 值。

$$[0044] \quad m = \frac{\ln A}{\ln V} \quad (3)$$

[0045] 系数 $K_1$ 的值应根据传感器放大电路、粉尘带电能力等因素的不同确定。在不同风速下,对 $K_1$ 以一定步长进行迭代, $K_1$ 初值设为0.001,步长为0.001, $R$ 为由 $\ln A$ 和 $\ln V$ 的所成直线的线性相关数,当 $R > 0.95$ 时,认为 $m$ 取值即为 $\ln A$ 和 $\ln V$ 的所成直线斜率。

[0046] 由于传感器的电流输出与粉尘浓度成线性关系。

$$[0047] \quad \Delta I = kC \quad (4)$$

[0048]  $k$ 为粉尘浓度和电流输出曲线的斜率, $C$ 为粉尘浓度。将式4带入式2中,引入系数 $\alpha$ ,可得:

$$[0049] \quad \Delta I = \frac{CV^m}{\alpha} \quad (5)$$

[0050] 对于湿度引起的静电传感器电流输出的变化,引入系数  $\beta$  有:

$$[0051] \quad \Delta I_H = \beta \Delta H \quad (7)$$

[0052]  $\Delta I_H$  为由湿度引起的电流输出变化,  $\Delta H$  为湿度变化。

[0053] 综合风速和湿度对静电传感器输出值的影响,粉尘浓度  $C$  可以表示为:

$$[0054] \quad C = \frac{\alpha(\Delta I + \beta\Delta H)}{V^n} \quad (8)$$

[0055] 此外,管道压力和温度对上述经验模型公式结果基本无影响。

[0056] 为了验证本发明的上述经验模型公式的准确性,本发明在环境温度为  $15^{\circ}\text{C}$ ,环境湿度为 RH30%、管道风速为  $6.3\text{m/s}$  的实验条件下,以 800 目滑石粉作为管道输送介质进行了实验。采用经验模型计算出粉尘传感器电流输出值所对应粉尘浓度并同实验结果(在线检测结果)相对比,如图 3 所示。相对误差分析结果参见表 1。从表 1 中可以看出,经验模型计算值与静电法测 800 目滑石粉浓度的实验结果的相对误差小于  $\pm 5\%$ 。

[0057] 表 1 相对误差分析结果

[0058]

电流净输出	粉尘浓度实验值 ( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ )	粉尘浓度计算值 ( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ )	相对偏差
1.49	39	40.62	4.1%
3.5	68	70.98	4.3%
4.17	105.3	101.10	-4.0%
6.1	154	149.02	-3.2%
8.87	193	184.23	-4.5%
10.69	230	222.05	-3.5%
12.65	270	257.5	-4.6%

[0059] 在本发明的一具体实施方案中,本发明的适用于高压气体管道内颗粒物在线检测的装置包括:

[0060] 在线检测单元;该在线检测单元包括通过管路依次串接的主采样嘴、第一阀门、三通球阀以及流量分配器;所述主采样嘴的一端伸入需检测的高压气体管道内,主采样嘴伸入高压气体管道的连接处通过管道接管及法兰密封,主采样嘴另一端经第一阀门、三通球阀串接流量分配器气体进口;所述流量分配器设置有一个腔体,腔体一侧设置一个气体进口,另一侧设置两个气体出口而分出主路及旁路两条管路;主路依次串接二次采样嘴、在线颗粒物粒径谱仪、第一颗粒物捕集器、第一减压阀以及第一质量流量控制器;旁路依次串接第二阀门、第二减压阀以及第二质量流量控制器;主采样嘴从高压气体管道内采样后,所采气样从流量分配器气体进口经扩散进入腔体后,分别经二次采样嘴和旁路出口排出;

[0061] 离线检测单元;该离线检测单元包括通过管路依次串接的第二颗粒物捕集器与第三阀门,第二颗粒物捕集器前端连通所述三通球阀,第三阀门末端的管路接设在第二阀门与第二减压阀之间的管路上;

[0062] 长期在线监测单元;该长期在线监测单元包括串接的粉尘浓度传感器和计算机,

粉尘浓度传感器前端管路伸入需检测的高压气体管道内用于检测管道内的粉尘情况,并将管道内的颗粒物浓度值转成电流信号传输至计算机以实现长期在线监测。

[0063] 在本发明的该具体实施方案中,所述在线检测单元可以定期对气体管道内的颗粒物的浓度和粒径进行精确测定;所述长期在线监测单元可以长期对管道内的颗粒物浓度进行监测。以下以对高压天然气管道内的颗粒物进行检测为例进行具体说明:

[0064] 所述主采样嘴可通过机械或液压结构伸缩至天然气管道中的不同位置,此形式不限,随主采样嘴深入管道的可以有具有测量流速功能的探头,如皮托管等其形式不限,并且也可以伸入测量压力和温度的传感器。含尘天然气通过采样嘴进入采样系统内进行颗粒物检测。检测方式分为两种,即(1)在线检测;(2)离线检测。两种检测方式可以通过三通球阀的切换和第二阀门、第三阀门的开闭组合来实现。离线检测的主要目的是对在线检测结果的相互验证,确保检测的准确性和可靠性,并且离线取样可以收集粉尘,用于进一步的分析,如成分、粒度分布的分析等。

[0065] 当进行在线检测时,三通球阀为直通状态,第三阀门关闭,第二阀门开启。天然气经三通球阀进入流量分配器,一部分气体(此部分气体可根据在线检测仪器的需求来确定具体量。一般在线监测仪器需要在一个稳定流量下测量,因此在此处进行二次取样)通过二次采样嘴进入在线粒径谱仪进行颗粒浓度和粒径的检测,经检测后的天然气中颗粒物经第一颗粒物捕集器来收集,进一步气体进入第一减压阀后通入第一质量流量控制器,来对进入颗粒物在线粒径谱仪的天然气流量进行计量和控制,来满足在线粒径谱仪自身流量的要求(此时流量为恒定)。进入流量分配器中多余气体经第二阀门、第二减压阀进入第二质量流量控制器中,气体的流量通过第二质量流量控制器来计量和控制。通过调整进入流量控制器的气体流量大小来满足整个采样系统等速采样的要求,第一质量流量控制器所测流量与第二质量流量控制器所测流量之和为进入整个采样系统的流量,根据主采样嘴口径的大小可得到进入采样嘴时气体的流速。当进入主采样嘴处的流速等于管道内流速时,即达到等速采样,可以采集到管道中具有代表性的颗粒物。

[0066] 当采样系统切换至离线检测时,三通球阀切换至90度方向,第三阀门开启,第二阀门关闭。天然气经三通球阀进入第二颗粒物捕集器中,颗粒物在此被捕集,进一步天然气经第三阀门、第二减压阀减压后进入第二质量流量控制器,然后排放至安全区域。第二质量流量控制器对采样的流量进行计量和控制,来满足等速采样的要求。

[0067] 所述长期在线监测单元包括粉尘浓度传感器和计算机。粉尘浓度传感器检测管道内的粉尘情况,将管道内的颗粒物浓度值转成电流信号传输至计算机,可实现长期在线监测。

[0068] 此外,利用本发明的装置,在进行在线检测的同时也可对颗粒物进行离线采集检测,可同在线检测的结果相互验证。

[0069] 根据本发明的具体实施方案,所述在线检测单元、离线检测单元中所述阀门形式不限,可为实现所述功能的任意种类。所述在线粒径谱仪为采用光学原理的仪器,例如,可以采用Palas公司WELAS系列光学在线粒径谱仪,利用现有技术中的耐高压气溶胶导管可实现在高压12MPa下测量。

[0070] 根据本发明的具体实施方案,所述第一质量流量控制器、第二质量流量控制器可以是集质量流量测量与流量控制于一体的仪器,也可以是将具有流量控制功能的阀门和流

量测量功能的仪表组合的组合设备。

[0071] 根据本发明的具体实施方案,所述长期在线监测单元的粉尘浓度传感器为现有技术中的静电式粉尘浓度传感器,所述计算机可为任何具有实时显示功能的仪器所替代。

[0072] 综上所述,本发明提供了一种适用于高压气体管道内颗粒物在线检测的装置及方法,装置结构简单,维护成本低,可靠性强,无需将高压气体降压即可在线实现管道内颗粒物特性的测定,进一步还可实现长期在线监测。经实践验证,本发明的技术用于对天然气管输管线内的颗粒物进行检测,适用颗粒浓度变化大,从几毫克至几百毫克,粒径范围从 0.3 微米至 100 微米,均可以精确测量,并且在在线检测的同时进行离线取样,二者结果能够相吻合。在长期在线监测时,当管道浓度低至  $1\text{mg}/\text{m}^3$  以下时仍可以进行测量。

[0073] 与现有技术相比,本发明具有以下特点和优点:1. 无需降压可直接用于高压天然气管道内颗粒物的浓度和粒径进行测定,最高工作压力可达  $12\text{MPa}$ ,可避免高压天然气降压降温导致液滴析出影响颗粒测量;2. 集成在线检测和离线检测于一体,两种检测方式可进行切换;3. 在进行在线检测的同时也可对颗粒物进行离线采集,可同在线检测的结果相互验证;4. 可实现粉尘浓度长期在线监测,维护成本低。

#### 附图说明

[0074] 图 1A、图 1B 和图 1C 为研究不同风速对静电法测粉尘浓度的影响结果。其中,图 1A、图 1B 和图 1C 分别为针对滑石粉、飞灰和天然气管道粉尘的测量结果。

[0075] 图 2A、图 2B 和图 2C 为研究环境湿度对静电传感器输出电流影响。其中,图 2A、图 2B 和图 2C 分别为针对滑石粉、飞灰和天然气管道粉尘的测量结果。

[0076] 图 3 为验证本发明中计算管道内粉尘浓度  $C$  的公式的准确性的实验结果和计算结果的对比如。

[0077] 图 4 为本发明的高压气体管道内颗粒物在线检测装置的结构示意图。其中,1- 主采样嘴;2- 管道连接管;3- 连接法兰;4- 第一阀门;5- 三通球阀;6- 压力变送器;7- 温度变送器;8- 流量分配器;9- 二次采样嘴;10- 在线粒径谱仪;11- 第一颗粒物捕集器;12- 第一减压阀;13- 第一质量流量控制器;14- 第二颗粒物捕集器;15- 第三阀门;16- 第二阀门;17- 第二减压阀;18- 第二质量流量控制器;19- 静电式粉尘浓度传感器;20- 计算机。

[0078] 图 5 为本发明的装置中流量分配器 8 的结构示意图。其中,801- 腔体;802- 气体进口;803- 主路出口;804- 旁路出口。

[0079] 图 6 为本发明一具体实施例中 Coulter 测量结果和在线测量结果对比如。

#### 具体实施方式

[0080] 为了对本发明的技术特征、目的和效果有更加清楚的理解,现对照附图进一步详细说明本发明的测定方法的特点及所具有的技术效果,但本发明并不因此而受到任何限制。

[0081] 实施例 1

[0082] 请参见图 4 所示,本发明的高压天然气管道内颗粒物在线检测装置,该装置包括在线检测单元 I 以及长期在线监测单元 II。其中:

[0083] 在线检测 I 单元主要包括通过管路依次串接的主采样嘴 1、管道接管 2、法兰 3、第

一阀门 4、三通球阀 5 以及流量分配器 8(本实施例中,还设置有压力变送器 6、温度变送器 7 以监测流量分配器 8 内的温度压力),从流量分配器 8 分出两条管路,一条管路依次串接二次采样嘴 9、在线颗粒物粒径谱仪 10(采用 Palas 公司 WELAS 光学在线粒径谱仪,利用现有技术的耐高压气溶胶导管可实现在高压 12MPa 下测量)、第一颗粒物捕集器 11、第一减压阀 12 以及第一质量流量控制器 13,另一条管路依次串接第二阀门 16、第二减压阀 17 以及第二质量流量控制器 18。

[0084] 关于流量分配器 8 的具体结构请参见图 5 所示,其设置有一个腔体 801,腔体前侧设置一个气体进口 802,后侧设置两个气体出口(主路出口 803,旁路出口 804)而分出主路及旁路两条管路;其中,所述流量分配器的腔体 801 直径大于气体进口 802 与主路出口 803,所述旁路为从主路上引出的分支管路;气体进口 802、腔体 801 与主路出口 803 设置在同一中心线上;旁路出口 804 的中心线方向与主路出口 803 中心线方向呈垂直设置。利用该流量分配器 8 的结构设计,可以让进入其腔体的气流在腔体内部形成湍流,进而使其内的颗粒物混合均匀,来满足二次取样嘴可以采到具有代表性的样品。

[0085] 进一步地,该实施例的装置还包括离线检测管路,该离线检测管路包括通过管路依次串接的第二颗粒物捕集器 14 与第三阀门 15,第二颗粒物捕集器 14 另一端连通所述三通球阀 5,第三阀门 15 的另一端接设在第二阀门 16 与第二减压阀 17 之间的管路上。

[0086] 主采样嘴 1 可伸入天然气管道中,用于采集高压天然气中颗粒物样品,采样嘴同管道的连接方式可利用法兰、螺纹等方式,形式不限,图中显示是通过管道接管 2 和法兰 3,使管道内天然气密封,可以通过机械或液压方式将采样嘴伸入与取样管道中的不同位置。所述第一阀门 4 设于所述采样嘴 1 与所述三通球阀 5 之间,用于控制所述主采样嘴 1 的开启或关闭。

[0087] 含尘天然气通过采样嘴 1 进入采样系统内进行颗粒物检测。检测方式分为两种,即(1)在线检测,(2)离线检测。两种检测方式可以通过三通球阀 5 的切换和第三阀门 15、第二阀门 16 的开闭组合来实现。

[0088] 当进行在线检测时,三通球阀 5 为直通状态,关闭第三阀门 15,第二阀门 16 开启。天然气经三通球阀 5 进入流量分配器 8,一部分气体通过二次采样嘴 9 进入在线粒径谱仪 10 进行颗粒浓度和粒径的检测,经检测后的天然气中颗粒物经颗粒物捕集器 11 来收集,进一步气体进入第一减压阀 12 后通入第一质量流量控制器 13,来对进入颗粒物在线粒径谱仪 10 的天然气流量进行计量和控制,来满足在线粒径谱仪自身流量的要求(此时流量为恒定)。进入流量分配器 8 中多余气体经第二阀门 16,第二减压阀 17 进入第二质量流量控制器 18 中,气体的流量通过第二质量流量控制器 18 来计量和控制。通过调整进入流量控制器的的气体流量大小来满足整个采样系统等速采样的要求,第一质量流量控制器 13 所测流量+第二质量流量控制器 18 所测流量为进入整个采样系统的流量,根据主采样嘴 1 口径的大小可得到进入采样嘴时气体的流速。当进入采样嘴处的流速等于管道内流速时,即达到等速采样,可以采集到管道中具有代表性的颗粒物。在线检测时,颗粒物经过线粒径谱仪 10 检测后由第一颗粒物捕集器 11 收集,在线检测的同时也可进行离线取样。

[0089] 当采样系统切换至离线检测时,三通球阀 5 切换至 90 度方向,阀门 15 开启,阀门 16 关闭。天然气经三通球阀 5 进入第二颗粒物捕集器 14 中,颗粒物在此被捕集,进一步天然气经阀门 15、减压阀 17 减压后进入第二质量流量控制器 18,然后排放至安全区域。第二

质量流量控制器 18 对采样的流量进行计量和控制,来满足等速采样的要求。

[0090] 长期在线监测单元 II 包括静电式粉尘浓度传感器 19 和计算机 20。粉尘浓度传感器检测管道内的粉尘情况,将管道内的颗粒物浓度值转成电流信号传输至计算机,根据大量的实验得出了管道内粉尘浓度  $C$ ,同传感器输出电流变化值  $\Delta I$ ,湿度变化值  $\Delta H$  和管道风速  $V$  之间的关系。如下式所示:

$$[0091] \quad C = \frac{\alpha(\Delta I + \beta\Delta H)}{V^m}$$

[0092]  $\alpha, \beta, m$  为系数,可实现粉尘浓度长期在线监测。

[0093] 根据上述关系,通过粉尘传感器输出电流变化,湿度变化和管道实时风速即可确定出管道内粉尘浓度实时显示出来。

[0094] 进一步地,在线检测系统还含有伴热装置,例如采用伴热带等缠绕在管路上,可进一步防止在粉尘进行在线检测时有液滴析出的情况,提高检测精度。

[0095] 利用本实施例的高压在线检测装置,于国内某天然气站场对一台旋风分离器的进口管路内的粉尘含量进行了测定。实验操作压力 5MPa,温度 20°C。实验为在线检测和离线捕集同时进行。为了进一步验证在线结果的可靠性,将在线测量结果和切换至离线检测管路的测量结果(离线检测结果是通过将第二颗粒物捕集器 14 收集到的颗粒进行称重,计算出浓度,并通过 Coulter 粒径分析仪分析得到粒度分布,也可采用其他粒径分析仪,分析仪器原理类型不限)进行了对比。如图 6 所示。图为粒径分布的累积曲线图,两条曲线趋势基本一致。

[0096] 以上所述仅为本发明示意性的具体实施方式,并非用以限定本发明的范围。任何本领域的技术人员,在不脱离本发明的构思和原则的前提下所作出的等同变化与修改,均应属于本发明保护的范围。

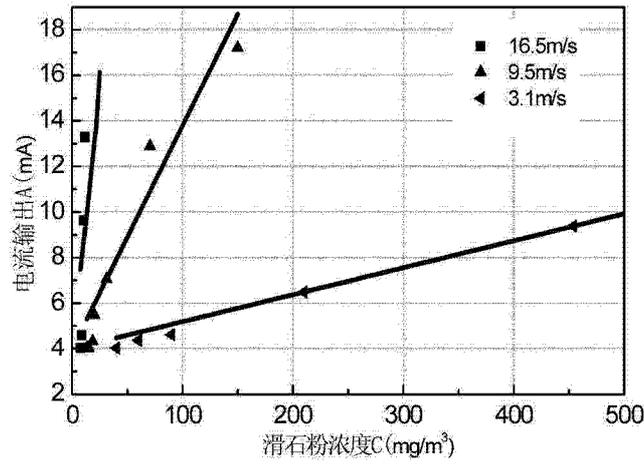


图 1A

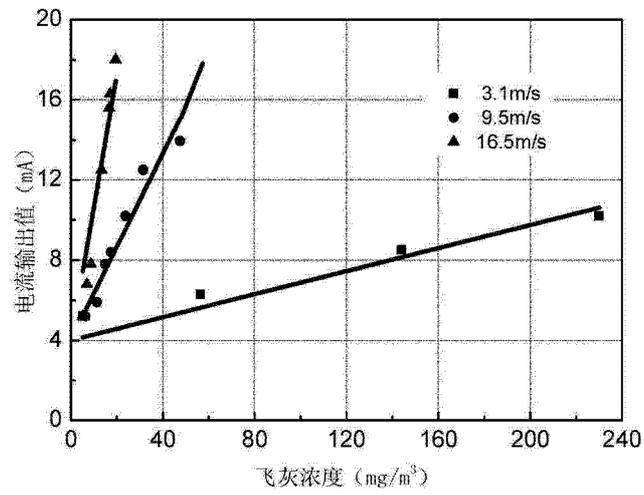


图 1B

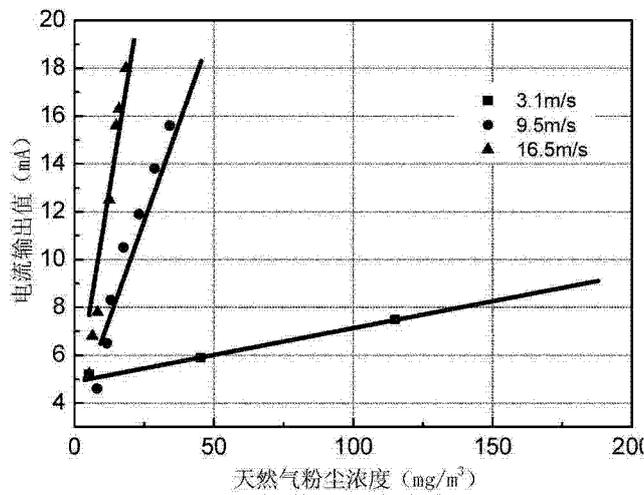


图 1C

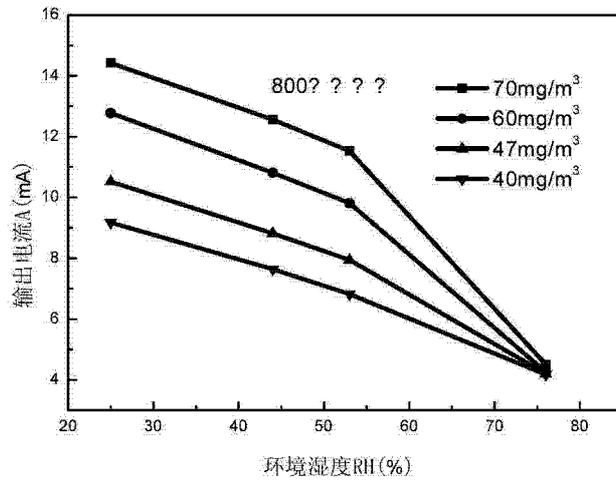


图 2A

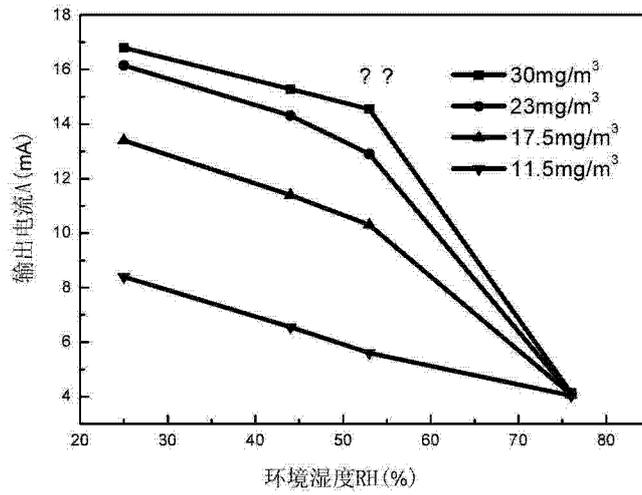


图 2B

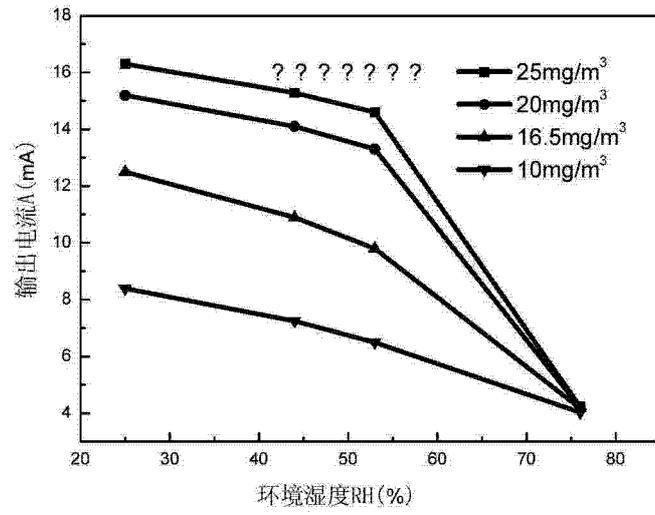


图 2C

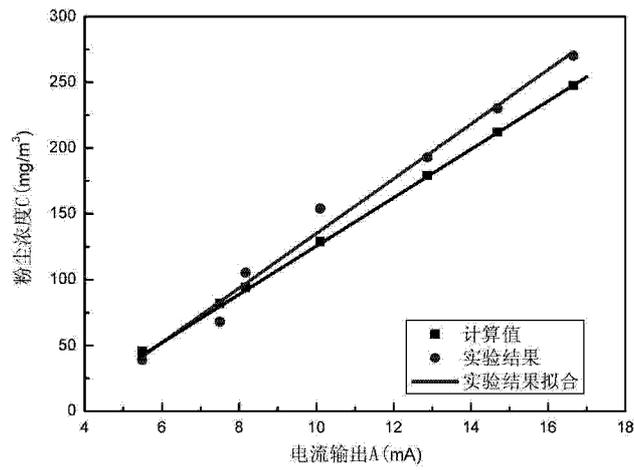


图 3

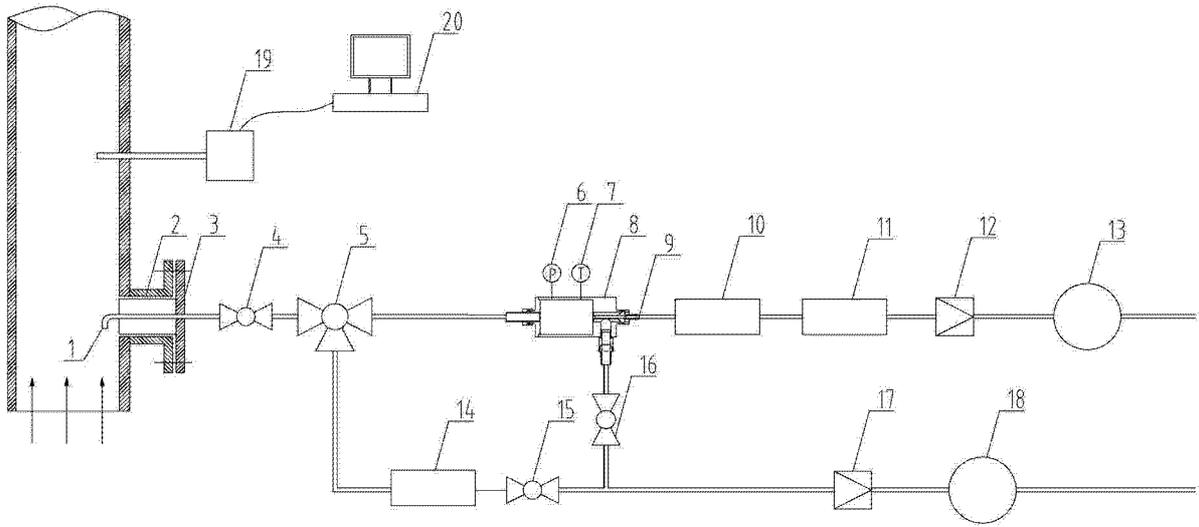


图 4

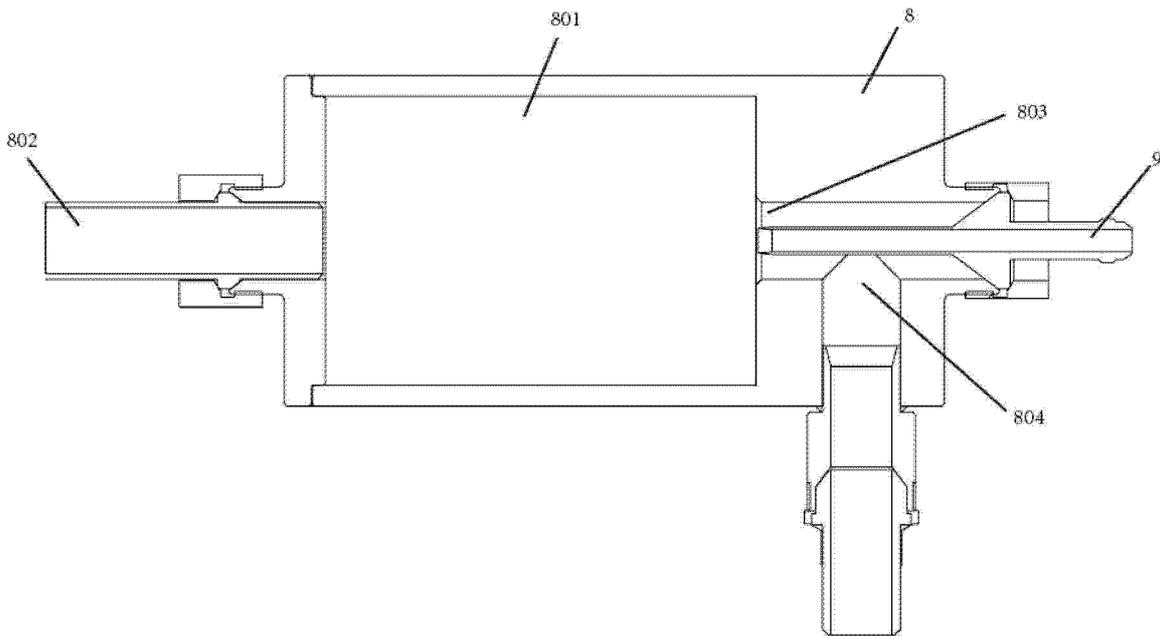


图 5

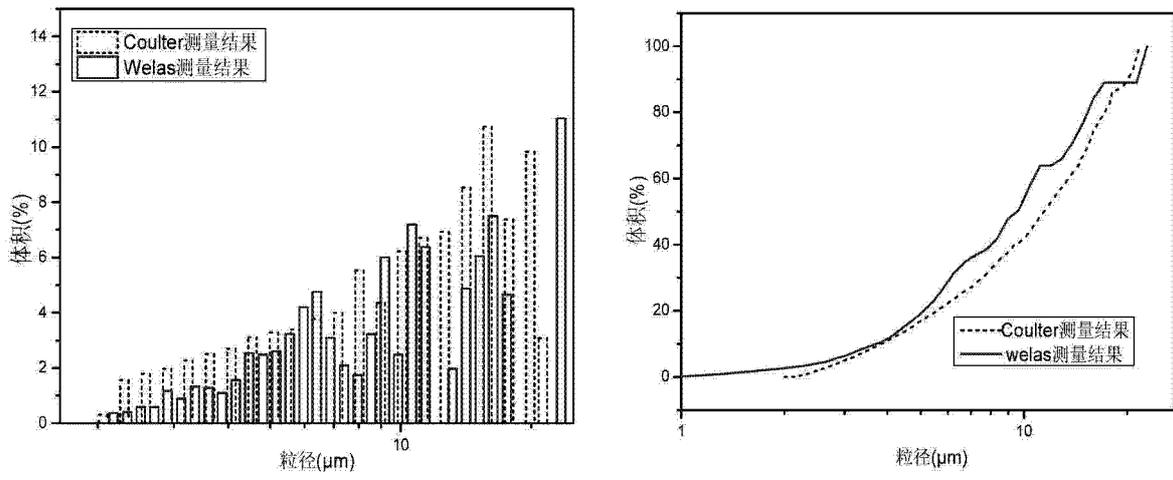


图 6