



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109164023 B

(45) 授权公告日 2023. 11. 17

(21) 申请号 201810977576.1

(22) 申请日 2018.08.27

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 109164023 A

(43) 申请公布日 2019.01.08

(73) 专利权人 四川大学  
地址 610065 四川省成都市武侯区一环路  
南一段24号

(72) 发明人 余徽 余思璇 魏文韞

(51) Int. Cl.  
G01N 15/06 (2006.01)

- (56) 对比文件
- WO 03060480 A1, 2003.07.24
  - CN 106872316 A, 2017.06.20
  - CN 203949849 U, 2014.11.19
  - CN 207408276 U, 2018.05.25
  - DE 102004010661 A1, 2005.10.06
  - WO 2016091208 A1, 2016.06.16
  - CN 203616232 U, 2014.05.28
  - DE 3715507 A1, 1988.11.17
  - JP 2003050195 A, 2003.02.21
  - US 2009229250 A1, 2009.09.17
  - US 2014260702 A1, 2014.09.18
  - US 2018149577 A1, 2018.05.31

WO 2009003390 A1, 2009.01.08

CN 101929940 A, 2010.12.29

CN 101199953 A, 2008.06.18

CN 208736776 U, 2019.04.12

CN 104359815 A, 2015.02.18

CN 105651662 A, 2016.06.08

CN 106290078 A, 2017.01.04

CN 106644861 A, 2017.05.10

CN 107036946 A, 2017.08.11

CN 107101917 A, 2017.08.29

李兵,等.高湿气溶胶颗粒浓度在线监测操作条件.《高校化学工程学报》.2016,第30卷(第06期),第1427-1435页.

马英,等.基于前向光散射法的气溶胶浓度测量.《激光与光电子学进展》.2017,第54卷(第09期),第387-392页.

Yu H, et al. Analysis of heat and mass transfer by CFD for performance enhancement in direct contact membrane distillation.《Journal of membrane science》.2012,第405-406卷第38-47页. (续)

审查员 李陈

权利要求书2页 说明书3页 附图1页

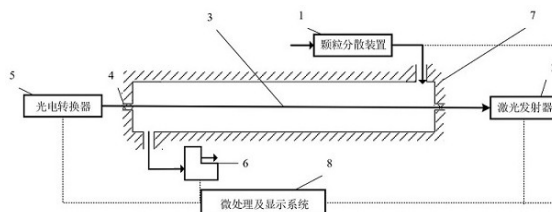
(54) 发明名称

工业尾气颗粒物浓度在线监测装置

(57) 摘要

本发明涉及一种工业尾气颗粒物浓度在线监测装置,包括检测仓组件、静电分散系统、光路系统、光电转换组件、微处理及显示系统。所述检测仓组件包括检测仓主体、保温层、采样进口管道、流出管道、恒流量抽气泵;所述静电分散系统包括涡流发生器和电极;所述保温层覆盖于所述检测仓组件裸露表面;所述光路系统包括半导体激光发生器,其产生的激光经检测仓后被所述光电转换组件接收;所述光电转换组件将检测信号

传输至所述微处理及显示系统;所述微处理及显示系统控制激光发生器的发射功率,恒流量抽气泵的抽吸量及所述静电分散系统的电极电压,实时计算并显示颗粒物浓度。本发明能对工业尾气中悬浮的固态颗粒物的质量浓度进行实时监测。



CN 109164023 B

[接上页]

**(56) 对比文件**

Marcos A, et al. An alternative method of studying the optical properties of highly non-absorbing spherical monodisperse aerosol using a cell transmissometer.《Journal of aerosol science》.2000,第31卷(第10期),第1231-1250

页.

沈正生,等.大气颗粒物在线监管技术体系研究.《计量学报》.2010,第31卷(第5A期),第51-53页.

侯宏录,等.基于激光差分探测技术的悬浮物质量浓度测量方法.《光学仪器》.2015,第37卷(第06期),第484-497页.

1. 一种工业尾气颗粒物浓度在线监测方法,其特征在于:

步骤一:根据光电转换组件显示入射及出射光强信号,由Lambert—Beer定律得出射光强与入射光强的关系为:

$$I = I_0 \text{EXP} \left[ -\frac{1}{4} N_v \pi L d^2 K_{ex}(\lambda, m, d) \right] \quad (1)$$

式(1)中, $K_{ex}$ 为消光系数,表示光被所测颗粒吸收的程度; $L$ 为检测仓主体轴向长度, $m$ ; $N_v$ 表示粉尘颗粒数量浓度, $P \cdot \text{cm}^{-3}$ ; $\lambda$ 为光源波长; $m$ 为介质相对折射率; $d$ 为颗粒粒径, $m$ ;应用于实际测量时,需考虑具有一定粒径分布的多分散体系;对于给定的检测颗粒,相对折射率近似为定值,消光系数仅随粒径变化; $I_0$ 为所述检测仓主体入射光强, $I$ 为出射光强;

$$\ln \left( \frac{I_0}{I} \right) = \frac{\pi}{4} L \sum_{i=1}^n d_i^2 \cdot K_i(d_i) \cdot N_{vi} \quad (2)$$

利用计算机仿真计算消光系数随粒径的变化关系,其拟合关系式为,

$$K_{ex} = -1.408 \times 10^5 d + 2.9082 \quad (3)$$

根据质量浓度同数量浓度的关系,可得,联立上式,可得,

$$M_v = \frac{\pi}{6} \rho_p \sum_{i=1}^n N_{vi} d_i^3 \quad (4)$$

式(4)中, $M_v$ 为质量浓度;

联立上式,可得,

$$\ln \left( \frac{I_0}{I} \right) = -2.11204 \times 10^5 \frac{L}{\rho_p} M_v + 2.2832 L \sum_{i=1}^n d_i^2 N_{vi} \quad (5)$$

步骤二:利用光散射粒径谱仪测定粉尘颗粒Pural NF的粒径分布,得到颗粒数量分率随粒径的变化关系:

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 N_{vi} = N_v \left[ \int_{0.3}^{1.2} (0.1705x^3 - 0.6119x^2 + 0.6212x - 0.1343) x^2 dx + \int_{1.2}^{163} (0.0601x^{-2.071}) x^2 dx \right] \quad (6)$$

其中, $x$ 为利用光散射粒径谱仪测定的粒径;

$$N_v = aM_v + b \quad (7)$$

对于已知粒径分布的粉尘颗粒,总数量浓度与质量浓度成比例变化; $a = 6/\pi\rho P\xi^3$ ,其中 $\xi$ 为整个颗粒体系的虚拟粒径; $b$ 为引入虚拟粒径带来的残差;

联立式(5)、式(6)、式(7),得到光强比值与质量浓度的关系:

$$\ln \left( \frac{I_0}{I} \right) = \left( 1.8574a - \frac{2.11204 \times 10^5}{\rho_p} \right) L M_v + 1.8574 L b \quad (8)$$

由式(8)可知,粉尘颗粒质量浓度同光强比值的对数成线性关系;

步骤三:利用光散射粒径谱仪进行标定,得到不同出射光强下粉尘颗粒的质量浓度,绘制出光强比值的对数同粉尘颗粒质量浓度的拟合曲线;

步骤四:将步骤三所得拟合曲线导入微处理及显示系统,在检测仓主体中通入含尘气体,微处理及显示系统接收入射及出射光强信号,计算入射光强与出射光强比值的对数,最

后通过导入的拟合曲线得到并由微处理及显示系统显示含尘气体粉尘颗粒质量浓度。

## 工业尾气颗粒物浓度在线监测装置

### 技术领域

[0001] 本发明属于工业尾气检测领域,属于颗粒物浓度在线监测技术。该监测装置能对工业尾气中悬浮的固态颗粒物质量浓度进行实时监测。

### 背景技术

[0002] 随着大众对环境空气质量越来越重视,对化工企业等主要颗粒物排放源的关注也越来越多。同时,相关环保标准对工业尾气中颗粒物的排放要求愈发严格,执法部门对超标排放的惩罚也日趋严厉。因此保证工业尾气排放达标意义重大。通过在线监测获得除尘器尾气管道内实时颗粒质量浓度数据,并反馈给尾气处理工段,便于及时调整除尘器操作参数,保证工业尾气排放达标。

[0003] 目前市面上粉尘浓度监测仪价格两极分化严重,价格昂贵者可以满足工业尾气监测需求,而价格便宜者测量浓度范围不足以满足工业需求。考虑到工业尾气成分复杂,通常含有水和硫氧化物、氮氧化物等物质,极易损耗监测设备。因此发展一种能连续工作、精度可靠、价格低廉的工业尾气颗粒物浓度测量装置非常必要。

[0004] GB/T3095-2012规定了包括重量法、微量震荡天平法和 $\beta$ 射线吸收法三种监测环境中颗粒物含量的方法,该类方法不能连续测量,不利于工业尾气实时监测。现有能用于连续监测的技术包括光散射、扫描电迁移率、电子电压脉冲、光透射等方法,但前三种方法装置成本较高,较为依赖进口设备。而光透射技术原理简单,所需设备成本较低,测量结果精度较高,因此可用于发展工业尾气颗粒物浓度在线监测技术。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于发展一种价格低廉、连续稳定、精度可靠的工业尾气颗粒物质量浓度监测装置。该技术解决了工业尾气定量化在线测量的难题,并通过监测数据的实时反馈,及时调整除尘设备操作参数。

[0006] 本发明是通过如下技术方案实现。

[0007] 一种工业尾气颗粒物浓度在线监测装置,所述粉尘浓度在线监测装置包括检测仓组件、静电分散系统、光路系统、光电转换组件、微处理及显示系统;所述检测仓组件包括检测仓主体、保温层、采样进口管道、流出管道、恒流量抽气泵;所述静电分散系统、采样进口管道、检测仓主体、流出管道、恒流量抽气泵依次连接;所述静电分散系统包括主要构件为涡流发生器和电极的颗粒分散装置;所述保温层覆盖于所述检测仓组件裸露表面;所述光电转换组件包括主要构件为光电二极管的光电转换器;所述光路系统包括半导体激光发生器,其半导体激光发生器产生的激光经检测仓后进入光电转换器;所述光电转换组件将检测信号传输至所述微处理及显示系统;所述微处理及显示系统控制激光发生器的发射功率,恒流量抽气泵的抽吸量及颗粒分散装置的电极电压。

[0008] 本发明具有的有益效果。

[0009] (1) 重量法、微量震荡天平法、 $\beta$ 射线吸收法不能对样品进行连续在线监测,不利于

为工业尾气处理装置提供及时反馈以保证排放符合相关标准。本发明所述粉尘在线监测系统通过光电转换器实时监测出射激光光强,计算并反馈颗粒质量浓度数据,便于及时调整尾气处理装置的操作参数,保证排放达标。

[0010] (2) 工业尾气中的颗粒多成分相同但大小不同,具有一定的粒径分布。本发明所述粉尘在线监测系统可根据检测工况实际情况进行标定,准确测量该工况下的多分散系粉尘颗粒质量浓度。

[0011] (3) 高湿的工业尾气易在所述检测仓内团聚黏附,改变粒径分布,降低检测结果的准确度。本发明所述静电分散系统可通过强湍流运动有效分散粉尘聚团,并及时对颗粒荷电稳定颗粒的粒径分布。

[0012] (4) 本发明所述微处理及显示系统能对颗粒分散装置发生的电压、恒流量抽气泵抽吸流量及半导体激光发射器的发射功率进行调节,并显示其工作状态,方便匹配不同工况下的工业尾气。

[0013] (5) 相比现有技术,本发明所述在线监测技术能提供一种价格低廉、稳定可靠、精度较高的工业尾气颗粒物浓度监测解决方案。

## 附图说明

[0014] 图1为本发明实施中在线监测系统的平面结构示意图。

[0015] 图1,1-颗粒分散装置,2-半导体激光发射器,3-检测仓主体,4-光学玻璃,5-光电转换器,6-恒流量抽气泵,7-检测仓保温层,8-微处理及显示系统。

## 具体实施方案

[0016] 为了充分说明本发明的技术内容,下面结合具体实施例对本发明技术方案做进一步的介绍和说明,但要求保护的范围并不局限于所述。

[0017] 实施例

[0018] 本发明提供了一种工业尾气颗粒物浓度在线监测方法,具体如下:

[0019] 步骤一:根据光电转换组件显示入射及出射光强信号,由Lambert—Beer定律得出射光强与入射光强的关系为:

$$[0020] \quad I = I_0 \text{EXP} \left[ -\frac{1}{4} N_v \pi L d^2 K_{ex}(\lambda, m, d) \right] \quad (1)$$

[0021] 式(1)中, $K_{ex}$ 为消光系数,表示光被所测颗粒吸收的程度; $L$ 为检测仓主体轴向长度, $m$ ; $N_v$ 表示粉尘颗粒数量浓度, $P \cdot \text{cm}^{-3}$ ; $\lambda$ 为光源波长; $m$ 为介质相对折射率; $d$ 为颗粒粒径, $m$ ;应用于实际测量时,需考虑具有一定粒径分布的多分散体系;对于给定的检测颗粒,相对折射率近似为定值,消光系数仅随粒径变化; $I_0$ 为所述检测仓主体入射光强, $I$ 为出射光强;

$$[0022] \quad \ln \left( \frac{I_0}{I} \right) = \frac{\pi}{4} L \sum_{i=1}^n d_i^2 \cdot K_i(d_i) \cdot N_{vi} \quad (2)$$

[0023] 利用计算机仿真计算消光系数随粒径的变化关系,其拟合关系式为,

$$[0024] \quad K_{ex} = -1.408 \times 10^5 d + 2.9082 \quad (3)$$

[0025] 根据质量浓度同数量浓度的关系,可得,联立上式,可得,

$$[0026] \quad M_v = \frac{\pi}{6} \rho_p \sum_{i=1}^n N_w d_i^3 \quad (4)$$

[0027] 式(4)中,  $M_v$  为质量浓度;

[0028] 联立上式, 可得,

$$[0029] \quad \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) = -2.11204 \times 10^5 \frac{L}{\rho_p} M_v + 2.2832L \sum_{i=1}^n d_i^2 N_w \quad (5)$$

[0030] 步骤二: 利用光散射粒径谱仪测定粉尘颗粒Pural NF的粒径分布, 得到颗粒数量分率随粒径的变化关系:

$$[0031] \quad \sum_{i=1}^n x_i^2 N_w = N_v \left[ \int_{0.3}^{1.2} (0.1705x^3 - 0.6119x^2 + 0.6212x - 0.1343)x^2 dx + \int_{1.2}^{16.3} (0.0601x^{-2.071})x^2 dx \right] \quad (6)$$

[0032] 其中,  $x$  为利用光散射粒径谱仪测定的粒径;

$$[0033] \quad N_v = aM_v + b \quad (7)$$

[0034] 对于已知粒径分布的粉尘颗粒, 总数量浓度与质量浓度成比例变化;  $a = 6/\pi\rho P\xi^3$ , 其中  $\xi$  为整个颗粒体系的虚拟粒径;  $b$  为引入虚拟粒径带来的残差;

[0035] 联立式(5)、式(6)、式(7), 得到光强比值与质量浓度的关系:

$$[0036] \quad \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) = \left(1.8574a - \frac{2.11204 \times 10^5}{\rho_p}\right) LM_v + 1.8574Lb \quad (8)$$

[0037] 由式(8)可知, 粉尘颗粒质量浓度同光强比值的对数成线性关系;

[0038] 步骤三: 利用光散射粒径谱仪进行标定, 得到不同出射光强下粉尘颗粒的质量浓度, 绘制出光强比值的对数同粉尘颗粒质量浓度的拟合曲线;

[0039] 步骤四: 将步骤三所得拟合曲线导入微处理及显示系统, 在检测仓主体中通入含尘气体, 微处理及显示系统接收入射及出射光强信号, 计算入射光强与出射光强比值的对数, 最后通过导入的拟合曲线得到并由微处理及显示系统显示含尘气体粉尘颗粒质量浓度。

[0040] 本发明所述的一种工业尾气颗粒物浓度在线监测装置, 包括检测仓组件、静电分散系统、光路系统、光电转换组件、微处理及显示系统。采样的含尘气体在所述恒流量抽气泵6的抽吸作用下依次流动经所述颗粒分散装置1、检测仓组件的采样进口管道、所述检测仓主体3、流出管道; 所述半导体激光发射器2发射一束激光, 激光通过所述检测仓主体3, 随后被所述光电转换器5接收。所述微处理及显示系统8采集所述检测仓主体3分别充满空气或含尘气体时的光强信号, 将所述检测仓主体3充满空气时的出射光强近似为入射光强, 并同充满含尘气体时所得出射光强做一比值。最后可根据光强信号的比值实时计算并显示经过所述检测仓主体3的含尘气体粉尘质量浓度。

[0041] 所述检测仓主体3激光进出口两端分别安装所述光学玻璃4以防止含尘气体外溢。所述检测仓保温层7覆盖于所述检测仓主体3裸露外表面, 用于维持检测仓内含尘气体的温度。所述颗粒分散装置1通过涡流发生器形成的强湍流运动分散聚团颗粒, 并及时对颗粒荷电, 维持颗粒粒径分布的稳定性。所述微处理及显示系统8控制所述恒流量抽气泵6、所述颗粒分散装置1、所述半导体激光发射器2, 并接受来自所述光电转换器5的信号。



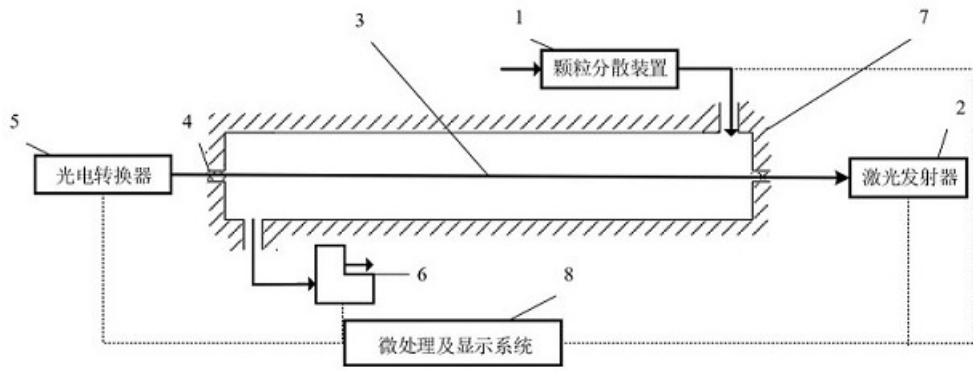


图1