



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108680764 B

(45)授权公告日 2020.04.24

(21)申请号 201810348329.5

(22)申请日 2018.04.18

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108680764 A

(43)申请公布日 2018.10.19

(73)专利权人 东南大学

地址 211189 江苏省南京市江宁区东南大学  
学路2号

(72)发明人 周宾 刘鹏飞 贺文凯 陶依贝

(74)专利代理机构 南京苏高专利商标事务所  
(普通合伙) 32204

代理人 王安琪

(51)Int.Cl.

G01P 5/22(2006.01)

(56)对比文件

US 2827786 A,1958.03.25,全文.

CN 105652033 A,2016.06.08,全文.

SU 885896 A1,1981.11.30,全文.

SU 909642 A2,1982.03.01,全文.

CN 103471808 A,2013.12.25,全文.

CN 107219376 A,2017.09.29,全文.

CN 106771344 A,2017.05.31,全文.

CN 101154476 A,2008.04.02,全文.

DE 20116283 U1,2002.01.17,全文.

CN 102707087 A,2012.10.03,全文.

Yong Yan 等.“Mass flow measurement of  
bulk solids in pneumatic pipelines”.

《Measurement Science and Technology》  
.1996,(第7期),1687-1706页.

张朴 等.“静电感应式粉粒体质量流量测量  
方法”.《仪表技术与传感器》.2008,(第9期),93-  
95页.

李健.“气固两相流动参数静电与电容融合  
测量方法研究”.《中国优秀博士学位论文全文数  
据库》.2017,A004-6,第1章、第4章.

审查员 付友昱

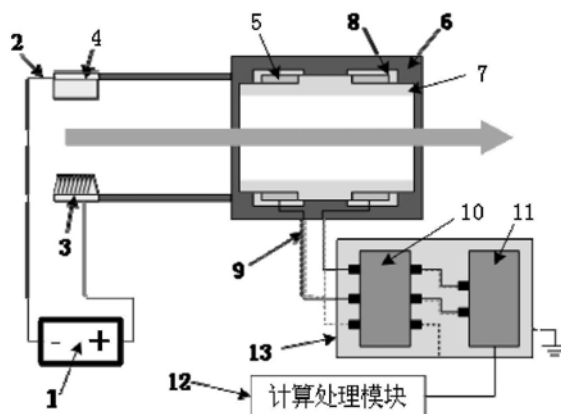
权利要求书2页 说明书7页 附图5页

(54)发明名称

基于离子示踪的气流速度测量方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于离子示踪的气流速度  
测量方法,采用高压电离空气的方法产生示踪  
离子,提高了了感应信号的信噪比,因此本发明  
不受颗粒物浓度下限的限制,甚至不需要荷电颗  
粒物,避免了对待测对象状态的严格要求,测量  
范围更广,可用于复杂的多相流速度测量和颗粒  
物浓度较低的气流速度测量。



1. 基于离子示踪的气流速度测量方法,其特征在于,包括如下步骤:

(1) 高压离子发生源的电晕电极接通直流高压电源正极,接地电极与负极相接,电晕电极附近的强电场使中性气体分子中的电子获得足够的能量,克服原子核和分子对它的作用力而成为自由电子,同时中性的原子或分子由于失去电子而变成带正电荷的正离子,附着在气流粒子上,或随着气流一起流动形成带电流体;

(2) 2个相同规格的感应电极按一定间距沿着气流方向布置,带电流体随着待测气流向下游流动依次经过上下游感应电极,在2个感应电极上产生有相位差的电荷感应信号;

(3) 采用电荷检测放大电路对步骤2产生的2路电荷感应信号进行检测并放大、滤波处理后得到2路电压信号,2路电压信号依次记为 $e_1(\tau)$ 和 $e_2(\tau)$ ;通过数据传输模块将信号传输至计算处理模块;

(4) 利用计算处理模块将得到的2路电压信号进行预处理和互相关计算,并根据感应电极之间的间距计算气流的速度;预处理和互相关计算的具体包括如下步骤:

(41) 将采集到的2路电压信号 $e_1(\tau)$ 、 $e_2(\tau)$ 中的50Hz工频干扰和2KHz以上的高频噪声进行滤除,分别得到 $e_{f1}(\tau)$ 和 $e_{f2}(\tau)$ ;

(42) 计算两路信号的峰值分别记为: $max1$ 和 $max2$ ,计算两路信号的谷值分别记为: $min1$ 和 $min2$ ,计算两路信号的峰峰值分别表示为: $max1-min1$ 和 $max2-min2$ ;若其中一路的峰峰值小于某一阈值,则感应电极环内气流流动的速度 $v$ 为0,反之,若两路的峰峰值都大于某一阈值,进行下一步计算;

(43) 对 $e_{f1}(\tau)$ 和 $e_{f2}(\tau)$ 进行幅值修正,对其中峰峰值较小的一路信号做幅值修正,幅值修正后的两路信号分别记为 $f_1(\tau)$ 和 $f_2(\tau)$ ;若 $e_{f2}(\tau)$ 峰峰值小于 $e_{f1}(\tau)$ 峰峰值,即 $(max1-min1) > (max2-min2)$ ,做以下修正:

$$f_1(\tau) = e_{f1}(\tau) - min1$$

$$f_2(\tau) = \frac{max1 - min1}{max2 - min2} \times (e_{f2}(\tau) - min2)$$

反之,若 $e_{f1}(\tau)$ 峰峰值小于或等于 $e_{f2}(\tau)$ 峰峰值,即 $(max1-min1) \leq (max2-min2)$ ,做以下修正:

$$f_1(\tau) = \frac{max2 - min2}{max1 - min1} \times (e_{f1}(\tau) - min1)$$

$$f_2(\tau) = e_{f2}(\tau) - min2$$

得到 $f_1(\tau)$ 和 $f_2(\tau)$ ;

(44) 对经过滤波处理和幅值修正的信号 $f_1(\tau)$ 和 $f_2(\tau)$ 做互相关运算,其中互相关函数 $R_{f_1 f_2}(\tau)$ 可由下式求得:

$$R_{f_1 f_2}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T f_1(t) f_2(t + \tau) dt$$

其中 $R_{f_1 f_2}(\tau)$ 取得最大值处所对应的 $\tau$ 值就是流体经过上下游感应电极的渡越时间,用 $\tau_0$ 表示;

(45) 若 $\tau_0$ 为0,则感应电极环内气流流动的相关速度 $v$ 为0,反之,若 $\tau_0$ 不为0,进行下一步计算;

(46) 上下游电荷感应传感器之间的间距为L,根据渡越时间 $\tau_0$ ,计算得到感应电极环内气流流动的速度v,计算公式如下: $v = k_0 \cdot \frac{L}{\tau_0}$

式中, $k_0$ 为速度无量纲校正系数,由实验标定确定。

2.如权利要求1所述的基于离子示踪的气流速度测量方法,其特征在于,步骤(46)中,速度无量纲校正系数标定方法如下:在实际气流流动条件下,利用激光多普勒测速仪对本方法的速度测量值进行对比标定;激光多普勒测速仪与本测量装置同步测量,测量装置记录测量数据并保存,取与激光多普勒测速仪同时间、同区间的速度测量值与激光多普勒测速仪的速度测量值组成一个数据对,每次标定至少要获得6对数据;以本测量装置测量的气流速度为 $X_i$ ,激光多普勒测速仪测得的气流速度为 $Y_i$ ,将相关系数大于0.92的数据对定义为有效数据点 $x_i$ 和 $y_i$ ,有效测点的数量m应在6个以上;再运用一元线性回归,给出标定曲线,进而获得标定系数 $k_0$ :

$$k_0 = \frac{m \sum_{j=1}^m x_j y_j - \sum_{j=1}^m x_j \sum_{j=1}^m y_j}{m \sum_{j=1}^m x_j^2 - (\sum_{j=1}^m x_j)^2}。$$

## 基于离子示踪的气流速度测量方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及气流速度检测领域,尤其是一种基于离子示踪的气流速度测量方法。

### 背景技术

[0002] 目前,多相流系统广泛存在于能源、化工、电力及冶金等工业领域,尤其是热力厂和发电厂等场合中烟气的流动。通过对多相流关键参数的在线测量可以实现工业生产过程的优化控制,火电燃煤锅炉中燃烧过程的状态和效率受到其中各种多相流系统的影响,比如锅炉一次风管中煤粉的浓度、速度及质量流量直接影响锅炉的燃烧状况,烟道出口的烟气速度、成分和流量间接反映锅炉的燃烧效率。因此,实现流速的在线测量对提高工业生产效率,降低能源消耗具有十分积极的意义,可以带来巨大的经济效益和社会效益。

[0003] 近年来,在各种测量技术的不断发展中,基于不同的测量原理,国内外学者已经开发了多种多相流的速度测量方法,如皮托管测量法、激光多普勒测量法、光学测量法、静电测速法、直接观察法等。皮托管气体流量计通过测量压力来测量流速,操作时将测速管放置在测点处,使管口与烟气流速方向垂直,测得该位置上的动压与静压之差,从而根据伯努利原理计算出该点的流速。由于皮托管的测量结果受气体的密度和安装角度等的影响,在烟气密度随时间变化的场合中应用时需要定期校验;而且在小流速(小于10m/s)测量时,由于皮托管产生的压力很小,对压差计的精度有较高的要求;此外,在含尘浓度较高的烟气中容易发生堵塞现象。激光多普勒速度测量的基本原理是利用流体的位移导致透射光产生频移来测量流速,具有原理简单、测量可靠等特点,在实验室研究中取得了重要进展,并得到了广泛的应用。但是激光多普勒速度测量系统设备昂贵,且仅适用于稀相悬浮流动条件,对于电厂等环境恶劣的场合适用性较差。直接观察法主要包括高速摄像、PIV技术、荧光粒子示踪等方法,可获得完整的烟气流动速度分布,但结果分析耗时,仅适用于实验室研究,不适合工业现场应用。光闪烁法是利用光通过烟气后光强起伏变化的相关性来获取气流的速度,在测量过程中光学窗口容易被粉尘污染,且对待测流体的颗粒粒径和含量有一定要求。对于静电相关测速法和空间滤波法,要求被测流体都含有带电颗粒,对于稀相无带电颗粒的气流,这两种方法都无法实现。另外,限制皮托管测量法和直接观察法应用的一个至关重要的因素这些方法属于延迟测量方法,无法实现烟气速度的瞬时测量,因此对于烟气流量实时监控和运行调控十分不利。

[0004] 对于含有固体颗粒的流体,流动过程中颗粒与颗粒、颗粒与气体及颗粒与管壁的相互碰撞、摩擦及分离,会导致颗粒产生荷电现象。传统的静电测速法基于流动颗粒的静电特性来实现气体流速检测,测量系统具有结构简单、硬件成本低、适合于恶劣的工业现场环境等特点。对于颗粒较少或者无颗粒的气流,流动过程缺少带电粒子,也不易产生荷电现象,因此无法通过静电感应的方法获取此类气流的速度信息。因此,亟待解决上述问题。

### 发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题在于,提供一种基于离子示踪的气流速度测量方法,

能够满足多种气流通过的需求,结构简单,测量误差小,测量范围广。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明提供一种基于离子示踪的气流速度测量装置,包括:沿气流方向布置的用于产生示踪离子的高压离子发生源、用于检测反映气流流动信息的电荷感应信号的电荷感应传感器和将采集的电荷信号计算得出气流速度的信号处理装置;高压离子发生源、电荷感应传感器和信号处理装置依次相连。

[0007] 优选的,高压离子发生源包括直流高压电源1、高压电缆2、电晕电极3和接地电极4;电晕电极3通过高压线缆2与直流高压电源1的正极相连,接地电极4通过高压线缆2与直流高压电源1的负极相连。

[0008] 优选的,电晕电极3为锯齿状电极,接地电极4为平板状电极或锯齿状电极。

[0009] 优选的,电荷感应传感器包括多个感应电极5、外屏蔽筒6、绝缘隔离管7和绝缘套管8;多个感应电极5均设置在外屏蔽筒6内,通过绝缘套管8与外屏蔽筒6绝缘,感应电极5沿气流方向间隔套设在绝缘隔离管7上。

[0010] 优选的,信号处理装置包括屏蔽线缆9、电荷检测放大电路10、数据传输模块11、计算处理模块12和外屏蔽罩13;电荷检测放大电路10分别通过屏蔽线缆9与每一感应电极5相连接,并将感应电极5产生的微弱感应信号通过电荷检测放大电路10放大到足够的幅值,数据传输模块11将放大的信号传输给计算处理模块12,该计算处理模块进行计算得到气流的速度信息;电荷检测放大电路10和数据传输模块11外包围有外屏蔽罩13,外屏蔽罩13接地良好。

[0011] 相应的,基于离子示踪的气流速度测量方法,包括如下步骤:

[0012] (1) 高压离子发生源的电晕电极接通直流高压电源正极,接地电极与负极相接,电晕电极附近的强电场使中性气体分子中的电子获得足够的能量,克服原子核和分子对它的作用力而成为自由电子,同时中性的原子或分子由于失去电子而变成带正电荷的正离子,附着在气流粒子上,或随着气流一起流动形成带电流体;

[0013] (2) 2个相同规格的感应电极按一定间距沿着气流方向布置,带电流体随着待测气流向下游流动依次经过上下游感应电极,在2个感应电极上产生有相位差的电荷感应信号;

[0014] (3) 采用电荷检测放大电路对步骤2产生的2路电荷感应信号进行检测并放大、滤波处理后得到2路电压信号,2路电压信号依次记为 $e_1(\tau)$ 和 $e_2(\tau)$ ;通过数据传输模块将信号传输至计算处理模块;

[0015] (4) 利用计算处理模块将得到的2路电压信号进行预处理和互相关计算,并根据感应电极之间的间距计算气流的速度。

[0016] 优选的,步骤(4)中预处理和互相关计算的具体包括如下步骤:

[0017] (41) 将采集到的2路电压信号 $e_1(\tau)$ 、 $e_2(\tau)$ 中的50Hz工频干扰和2KHz以上的高频噪声进行滤除,分别得到 $e_{f1}(\tau)$ 和 $e_{f2}(\tau)$ ;

[0018] (42) 计算两路信号的峰值分别记为: $\max_1$ 和 $\max_2$ ,计算两路信号的谷值分别记为: $\min_1$ 和 $\min_2$ ,计算两路信号的峰峰值分别表示为: $\max_1-\min_1$ 和 $\max_2-\min_2$ ;若其中一路的峰峰值小于某一阈值,则感应电极环内气流流动的速度 $v$ 为0,反之,若两路的峰峰值都大于某一阈值,进行下一步计算;

[0019] (43) 对 $e_{f1}(\tau)$ 和 $e_{f2}(\tau)$ 进行幅值修正,对其中峰峰值较小的一路信号做幅值修正,幅值修正后的两路信号分别记为 $f_1(\tau)$ 和 $f_2(\tau)$ ;若 $e_{f2}(\tau)$ 峰峰值小于 $e_{f1}(\tau)$ 峰峰值,即

$(\max 1 - \min 1) > (\max 2 - \min 2)$ , 做以下修正:

$$[0020] \quad f_1(\tau) = e_{f1}(\tau) - \min 1$$

$$[0021] \quad f_2(\tau) = \frac{\max 1 - \min 1}{\max 2 - \min 2} \times (e_{f2}(\tau) - \min 2)$$

[0022] 反之, 若  $e_{f1}(\tau)$  峰峰值小于或等于  $e_{f2}(\tau)$  峰峰值, 即  $(\max 1 - \min 1) \leq (\max 2 - \min 2)$ , 做以下修正:

$$[0023] \quad f_1(\tau) = \frac{\max 2 - \min 2}{\max 1 - \min 1} \times (e_{f1}(\tau) - \min 1)$$

$$[0024] \quad f_2(\tau) = e_{f2}(\tau) - \min 2$$

[0025] 得到  $f_1(\tau)$  和  $f_2(\tau)$ ;

[0026] (44) 对经过滤波处理和幅值修正的信号  $f_1(\tau)$  和  $f_2(\tau)$  做互相关运算, 其中互相关函数  $R_{f_1 f_2}(\tau)$  可由下式求得:

$$[0027] \quad R_{f_1 f_2}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T f_1(t) f_2(t + \tau) dt$$

[0028] 其中  $R_{f_1 f_2}(\tau)$  取得最大值处所对应的  $\tau$  值就是流体经过上下游感应电极的渡越时间, 用  $\tau_0$  表示;

[0029] (45) 若  $\tau_0$  为 0, 则感应电极环内气流流动的相关速度  $v$  为 0, 反之, 若  $\tau_0$  不为 0, 进行下一步计算;

[0030] (46) 上下游电荷感应传感器之间的间距为  $L$ , 根据渡越时间  $\tau_0$ , 计算得到感应电极环内气流流动的速度  $v$ , 计算公式如下:

$$[0031] \quad v = k_0 \cdot \frac{L}{\tau_0}$$

[0032] 式中,  $k_0$  为速度无量纲校正系数, 由实验标定确定。

[0033] 优选的, 步骤 (46) 中, 速度无量纲校正系数标定方法如下: 在实际气流流动条件下, 利用激光多普勒测速仪对本方法的速度测量值进行对比标定; 激光多普勒测速仪与本测量装置同步测量, 测量装置记录测量数据并保存, 取与激光多普勒测速仪同时间、同区间的速度测量值与激光多普勒测速仪的速度测量值组成一个数据对, 每次标定至少要获得 6 对数据; 以本测量装置测量的气流速度为  $X_i$ , 激光多普勒测速仪测得的气流速度为  $Y_i$ , 将相关系数大于 0.92 的数据对定义为有效数据点  $x_i$  和  $y_i$ , 有效测点的数量  $m$  应在 6 个以上; 再运用一元线性回归, 给出标定曲线, 进而获得标定系数  $k_0$ :

$$[0034] \quad k_0 = \frac{m \sum_{j=1}^m x_i y_i - \sum_{j=1}^m x_i \sum_{j=1}^m y_i}{m \sum_{j=1}^m x_i^2 - (\sum_{j=1}^m x_i)^2}。$$

[0035] 本发明的有益效果为: (1) 相比于传统的皮托管速度测量仪器, 本发明采用直径为 10mm 以上的环状感应电极或弧形感应电极, 可以满足多种气流通过的需求, 可以实现颗粒物浓度较大的复杂气流的速度测量, 避免了浓相测量中皮托管堵塞的问题; 同时, 皮托管测量受压差器精度的限制, 对于低速测量有很大的误差, 本发明测量两路信号的相位差, 速度越低, 相位差越大, 测量误差小, 弥补了低速下测量误差较大的缺陷; (2) 与激光多普勒测速

法相比,本发明采用主动电离空气产生示踪离子的方法对气流速度进行测量,测量装置结构更为简单,设备成本低,且测量范围不局限于稀相气流流动;(3)本发明与PIV技术相比,可以实现气流速度的实时测量,且信号处理方便快捷,测量不受被测气流状态限制;(4)传统的静电测速法是基于气流中流动颗粒的静电特性来实现气体流速检测的,对于颗粒较少或者无颗粒的气体,感应电极上产生的感应信号非常微弱,信噪比较低;本发明采用高压电离空气的方法产生示踪离子,提高了了感应信号的信噪比;因此本测量方法不受颗粒物浓度下限的限制,甚至不需要荷电颗粒物,避免了对待测对象状态的严格要求,测量范围更广,可用于复杂的多相流速度测量和颗粒物浓度较低的气流速度测量。

## 附图说明

[0036] 图1为本发明的装置结构示意图。

[0037] 图2为本发明的电荷检测放大电路电路结构示意图。

[0038] 图3为本发明的计算处理模块中信号处理流程示意图。

[0039] 图4为本发明的装置另一具体实施例的结构示意图。

[0040] 图5为利用本发明实施例1在风洞中测量温度为20℃、相对湿度为60%空气流速的电荷感应信号示意图。

[0041] 图6为利用本发明实施例1在风洞中测量温度为20℃、相对湿度为60%空气流速的互相关函数波形图。

[0042] 图7为利用本发明实施例1在风洞中测量温度为20℃、相对湿度为60%干空气的流速与设定速度对比结果示意图。

[0043] 图8为利用本发明实施例1测量温度为30℃、相对湿度为99%湿空气的流速结果示意图。

[0044] 图9为利用本发明实施例1测量电厂烟道中温度为45.76℃、湿度为13.65%烟气的流速结果示意图。

## 具体实施方式

[0045] 基于离子示踪的气流速度测量装置,包括:沿气流方向布置的用于产生示踪离子的高压离子发生源、用于检测反映气流流动信息的电荷感应信号的电荷感应传感器和将采集的电荷信号计算得出气流速度的信号处理装置;高压离子发生源、电荷感应传感器和信号处理装置依次相连。

[0046] 实施例1:

[0047] 如图1所示,本发明提供了一种基于离子示踪的气流速度测量装置的具体实施例,该实施例中,所述测量装置包括高压离子发生源、感应电极和信号处理装置。

[0048] 本发明的高压离子发生源包括直流高压电源1、高压电缆2、电晕电极3和接地电极4,该直流高压电源1用于产生稳定的直流高压供给电晕电极3,可以有效避免交流电源对感应电极的信号产生干扰。高压电缆2用于远距离的高电压传输,电晕电极3通过高压电缆2与直流高压电源1的正极相连,接地电极4通过高压电缆2与直流高压电源的负极相连,接通直流高压电源1后在两电极之间形成不均匀电场,电晕电极3附近的强电场使中性气体分子中的电子获得足够的能量,克服原子核和分子对它的作用力而成为自由电子,同时中性的原

子或分子由于失去电子而变成带正电荷的正离子,附着在气流粒子上,或随着气流一起流动形成带电流体。高压离子发生源的电晕电极3和接地电极4位于电荷感应环的上游,其产生的带电流体随着待测气流向下游流动依次经过下游感应电极5。待测气体的气流方向如图1中箭头指示方向所示。电晕电极3和接地电极4均采用导电性能良好的材料,具体的,电晕电极3使用导电材料为低逸出功和抗氧化性强的铜、不锈钢、钨等材料制作,在有特殊使用要求时,可以在金属机体上生长或涂覆纳米碳纤维材料;接地电极4使用的导电材料可为抗氧化性强的金属材质,或者采用塑料基体表层电镀。具体的,高压离子发生源的电晕电极3和接地电极4之间的间距与高压电源的电压有关,两者相互配合设计。本发明中高压离子发生源的电晕电极3和接地电极4与第一个感应电极5相隔一定的距离,与直流高压电源的电压相关,可以避免对电荷感应信号产生干扰,同时保证电荷感应信号的信噪比。

[0049] 本发明的电荷感应传感器包括2个沿气流方向间隔套设在绝缘隔离管7上的同规格感应电极5,每一感应电极5分别通过屏蔽电缆9与信号处理装置相连接,2个感应电极具有相同的结构和尺寸。待测气流经过高压离子发生源的电晕电极3形成带电气流,依次经过上下游感应电极5,产生2组反映电荷感应环内气流流动信息的电荷感应信号。屏蔽电缆9用于将感应电极产生的电荷感应信号传输到信号处理装置,避免周围环境中的电磁干扰。

[0050] 本发明的感应电极5均设置在外屏蔽筒6内,通过绝缘套管8与外屏蔽筒6绝缘。外屏蔽筒的长度需大于2个感应电极5的总宽度,保证外屏蔽筒将每一感应电极完全包围在内,屏蔽外部环境中带电粒子对感应电极产生的感应信号。同时每一感应电极5之间亦采用绝缘介质相隔绝缘。

[0051] 本发明的信号处理装置包括电荷检测放大电路10、数据传输模块11和计算处理模块12。电荷检测放大电路10分别通过屏蔽电缆9与每一感应电极5相连接,并将感应电极5产生的微弱感应信号通过放大电路将信号放大到足够的幅值,数据传输模块11将放大的信号传输到计算处理模块12,该计算处理模块12进行计算得到气流的速度信息。电荷检测放大电路10和数据传输模块11通过屏蔽电缆9相连接。其中,电荷检测放大电路10和数据传输模块11外包围有外屏蔽罩13,该外屏蔽罩13与大地相连接,避免环境中的电磁干扰。如图2所示,电荷检测放大电路10中1001为信号输入端口,1002为信号输出端口。

[0052] 本发明的测量原理:高压离子发生源的直流高压电源1产生高压,作用于电晕电极3和接地电极4,在两电极之间形成不均匀电场,电离中性分子产生带电离子,产生带电气流;经过离子发生源荷电的带电气流随着待测对象向下游流动经过第一、第二感应电极,带电气流会在2个感应电极5上产生存在相位差的电荷感应信号;采用电荷检测放大电路10对感应电荷进行检测并放大,得到足够幅值的信号,通过数据传输模块11将信号传输至到计算处理模块12;利用计算处理模块12对得到的2组信号进行预处理和互相关计算,并根据上下游感应电极之间的间距计算气流的速度。

[0053] 本发明提出的基于离子示踪的气流速度测量装置的测量方法,包括如下步骤:

[0054] 步骤(1),高压离子发生源的电晕电极接通直流高压电源正极,接地电极与负极相接,电晕电极附近的强电场使中性气体分子中的电子获得足够的能量,克服原子核和分子对它的作用力而成为自由电子,同时中性的原子或分子由于失去电子而变成带正电荷的正离子,附着在气流粒子上,或随着气流一起流动形成带电流体;

[0055] 步骤(2),2个相同规格的感应电极按一定间距沿着气流方向布置,带电流体随着



待测气流向下游流动依次经过上下游感应电极,在2个感应电极上产生有相位差的电荷感应信号;

[0056] 步骤(3),采用电荷检测放大电路对步骤2产生的2路电荷感应信号进行检测并放大、滤波处理后得到2路电压信号,2路电压信号依次记为 $e_1(\tau)$ 和 $e_2(\tau)$ ;通过数据传输模块将信号传输至计算处理模块;

[0057] 步骤(4),利用计算处理模块将得到的2路电压信号进行预处理和互相关计算,并根据感应电极之间的间距计算气流的速度。

[0058] 其中,所述步骤4中信号处理和互相关计算的具体步骤如下:

[0059] (41)将采集到的2路电压信号 $e_1(\tau)$ 、 $e_2(\tau)$ 中的50Hz工频干扰和2Khz以上的高频噪声进行滤除,分别得到 $e_{f1}(\tau)$ 和 $e_{f2}(\tau)$ ;

[0060] (42)计算两路信号的峰值分别记为: $max1$ 和 $max2$ ,计算两路信号的谷值分别记为: $min1$ 和 $min2$ ,计算两路信号的峰峰值分别表示为: $max1-min1$ 和 $max2-min2$ ;若其中一路的峰峰值小于某一阈值,则感应电极环内气流流动的速度 $v$ 为0,反之,若两路的峰峰值都大于某一阈值,进行下一步计算;

[0061] (43)对 $e_{f1}(\tau)$ 和 $e_{f2}(\tau)$ 进行幅值修正,对其中峰峰值较小的一路信号做幅值修正,幅值修正后的两路信号分别记为 $f_1(\tau)$ 和 $f_2(\tau)$ ;若 $e_{f2}(\tau)$ 峰峰值小于 $e_{f1}(\tau)$ 峰峰值,即 $(max1-min1) > (max2-min2)$ ,做以下修正:

$$[0062] \quad f_1(\tau) = e_{f1}(\tau) - min1$$

$$[0063] \quad f_2(\tau) = \frac{max1 - min1}{max2 - min2} \times (e_{f2}(\tau) - min2)$$

[0064] 反之,若 $e_{f1}(\tau)$ 峰峰值小于或等于 $e_{f2}(\tau)$ 峰峰值,即 $(max1-min1) \leq (max2-min2)$ ,做以下修正:

$$[0065] \quad f_1(\tau) = \frac{max2 - min2}{max1 - min1} \times (e_{f1}(\tau) - min1)$$

$$[0066] \quad f_2(\tau) = e_{f2}(\tau) - min2$$

[0067] 得到 $f_1(\tau)$ 和 $f_2(\tau)$ ;

[0068] (44)对经过滤波处理和幅值修正的信号 $f_1(\tau)$ 和 $f_2(\tau)$ 做互相关运算,其中互相关函数 $R_{f_1f_2}(\tau)$ 可由下式求得:

$$[0069] \quad R_{f_1f_2}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T f_1(t) f_2(t + \tau) dt$$

[0070] 其中 $R_{f_1f_2}(\tau)$ 取得最大值处所对应的 $\tau$ 值就是流体经过上下游感应电极的渡越时间,用 $\tau_0$ 表示;

[0071] (45)若 $\tau_0$ 为0,则感应电极环内气流流动的相关速度 $v$ 为0,反之,若 $\tau_0$ 不为0,进行下一步计算;

[0072] (46)上下游电荷感应传感器之间的间距为 $L$ ,根据渡越时间 $\tau_0$ ,计算得到感应电极环内气流流动的速度 $v$ ,计算公式如下:

$$[0073] \quad v = k_0 \cdot \frac{L}{\tau_0}$$

[0074] 式中,  $k_0$  为速度无量纲校正系数, 由实验标定确定。标定方法如下: 在实际气流流动条件下, 利用激光多普勒测速仪对本方法的速度测量值进行对比标定; 激光多普勒测速仪与本测量装置同步测量, 测量装置记录测量数据并保存, 取与激光多普勒测速仪同时间、同区间的速度测量值与激光多普勒测速仪的速度测量值组成一个数据对, 每次标定至少要获得6对数据; 以本测量装置测量的气流速度为  $X_i$ , 激光多普勒测速仪测得的气流速度为  $Y_i$ , 将相关系数大于0.92的数据对定义为有效数据点  $x_i$  和  $y_i$ , 有效测点的数量  $m$  应在6个以上; 再运用一元线性回归, 给出标定曲线, 进而获得标定系数  $k_0$ :

$$[0075] \quad k_0 = \frac{m \sum_{j=1}^m x_j y_j - \sum_{j=1}^m x_j \sum_{j=1}^m y_j}{m \sum_{j=1}^m x_j^2 - \left( \sum_{j=1}^m x_j \right)^2}。$$

[0076] 如图5所示, 本发明实施例1在风洞中测量温度为20℃、相对湿度为60%空气流速的电荷感应信号, 图6为本发明实施例1图5中两路信号的互相关函数波形图, 图7为本发明实施例1在风洞中测量得到温度为20℃、相对湿度为60%干空气的流速与设定速度对比结果。

[0077] 在该实施例中, 基于离子示踪的气流速度测量装置及其测量方法可用于测量稀相气流的速度变化。图8为本发明实施例1测量得到的温度为30℃、相对湿度为99%湿空气三个不同速度设定下的速度变化趋势图。图9为本发明实施例1测量电厂静电除尘器出口至烟囱入口水平烟道中温度为45.76℃、湿度为13.65%烟气的流速结果。因此, 本发明提供的基于离子示踪的气流速度测量装置及其测量方法可用于干燥空气、湿空气等颗粒物浓度较低的气流速度测量中。

[0078] 实施例2:

[0079] 如图4所示, 本发明提供了基于离子示踪的气流速度测量装置的另一具体实施例, 该实施例中, 所述测量装置包括高压离子发生源、感应电极和信号处理装置。

[0080] 区别在于: 该实施例中高压离子发生源的电晕电极3和接地电极4均为锯齿状电极; 在实施例1中电晕电极3为锯齿状电极, 接地电极4为平板状电极。

[0081] 该实施例可用于复杂的多相流速度测量和颗粒物浓度较低的气流速度测量。

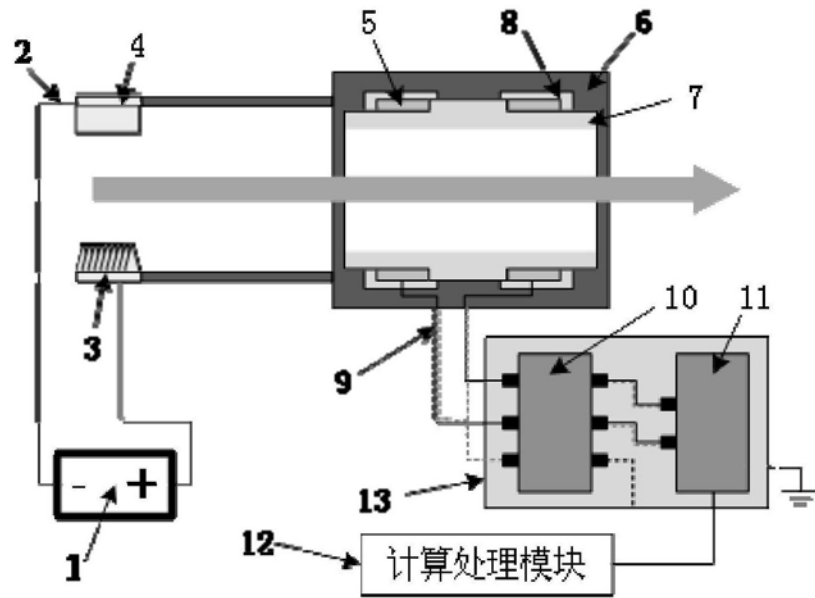


图1

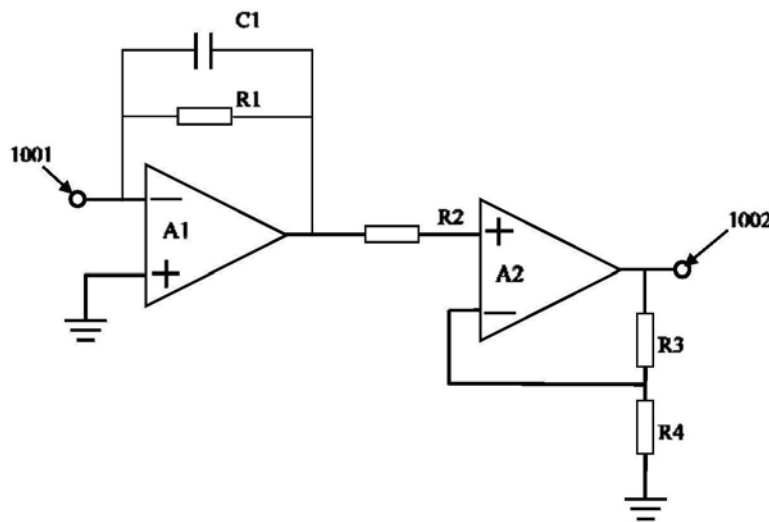


图2

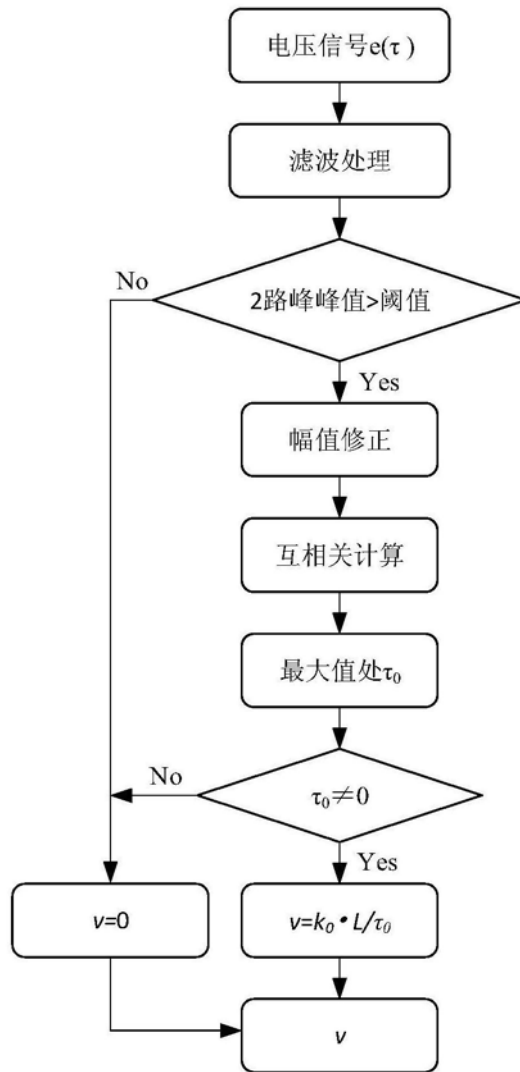


图3

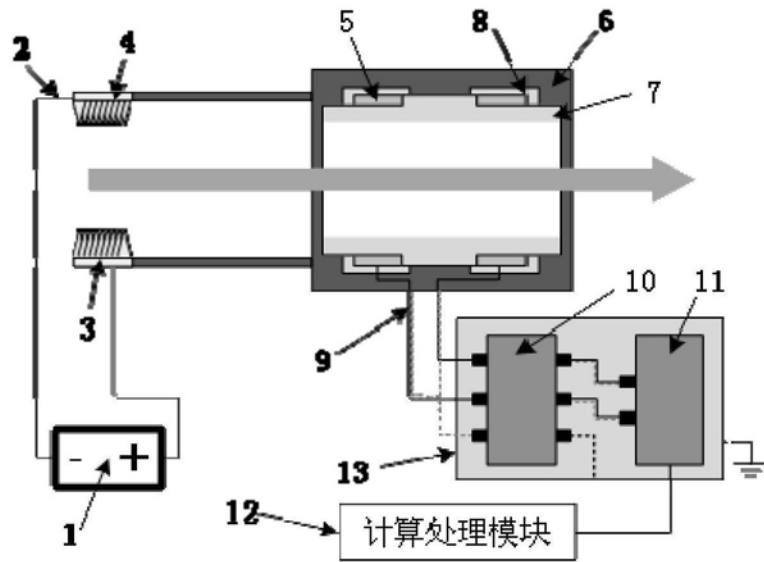


图4

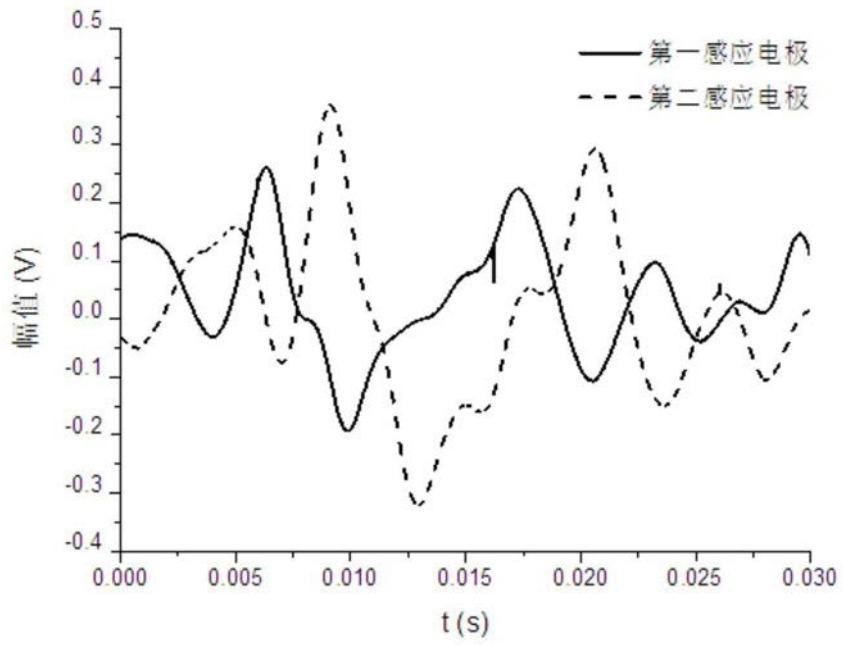


图5

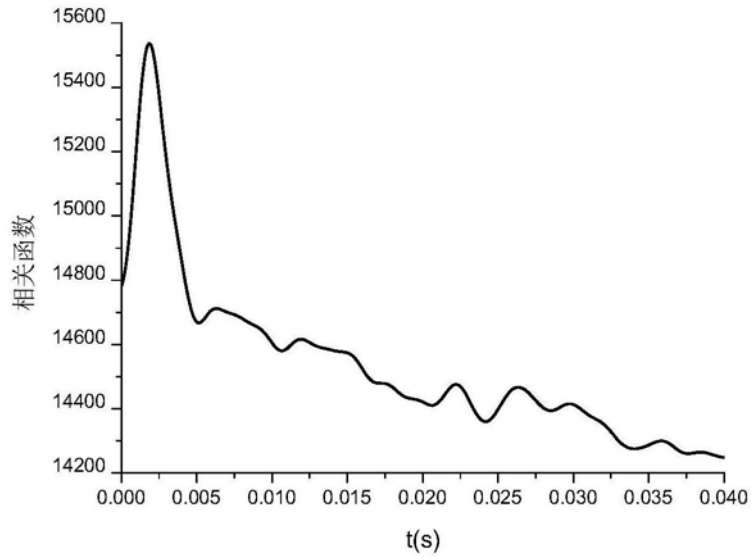


图6

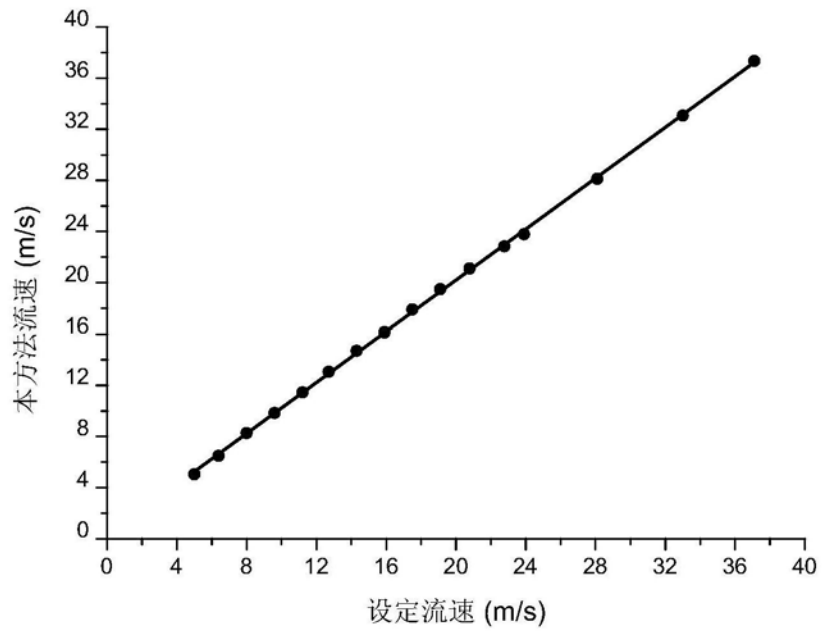


图7

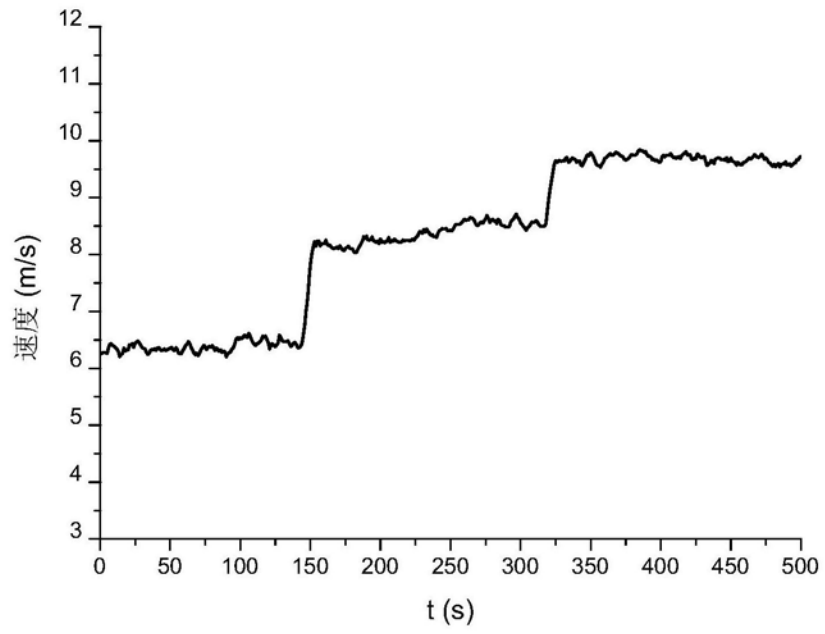


图8

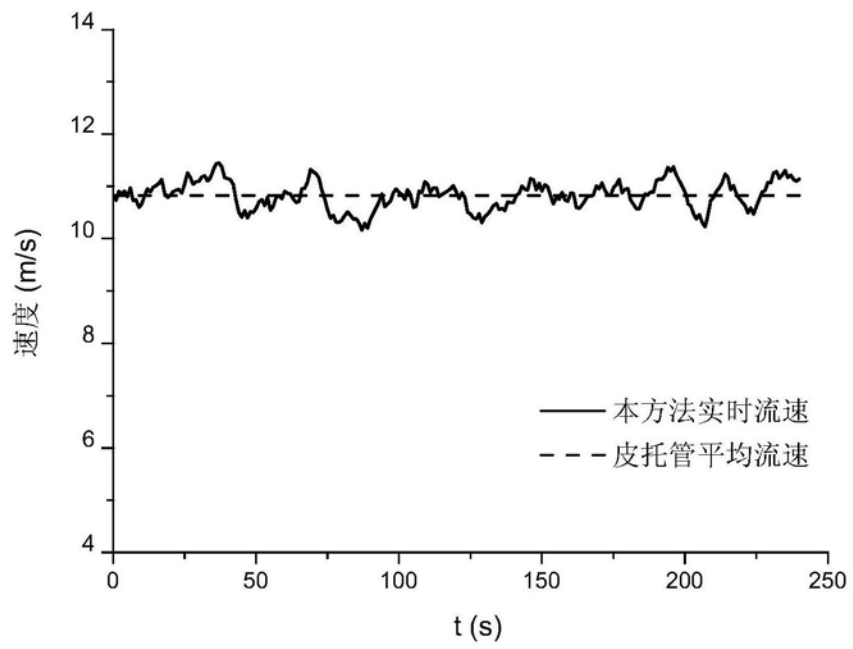


图9