



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115575566 B

(45) 授权公告日 2023. 10. 27

(21) 申请号 202210934649.5

(22) 申请日 2022.08.04

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 115575566 A

(43) 申请公布日 2023.01.06

(73) 专利权人 华北电力大学
地址 102206 北京市昌平区回龙观北农路2号

专利权人 中国科学院力学研究所
清华大学

(72) 发明人 杜艳君 张猛 彭志敏

(74) 专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事务所(普通合伙) 11201
专利代理师 蒋松

(51) Int. Cl.

G01N 33/00 (2006.01)

G01F 1/76 (2006.01)

(56) 对比文件

US 6269692 B1, 2001.08.07

US 2011061841 A1, 2011.03.17

CN 103292847 A, 2013.09.11

CN 111562228 A, 2020.08.21

CN 113376158 A, 2021.09.10

张猛等. 基于化学发光法的高纯气体中ppb量级NO_x浓度测量. 《物理学报》. 2022, 第71卷(第13期), 137802-1-9.

审查员 黄斌

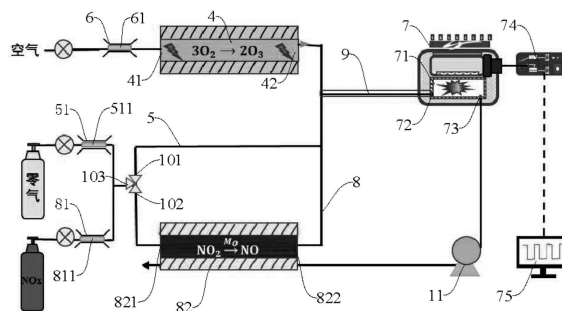
权利要求书2页 说明书10页 附图4页

(54) 发明名称

氮氧化物的测量系统

(57) 摘要

本发明实施例涉及一种氮氧化物的测量系统及质量流量控制器。其中所述质量流量控制器,包括毛细管,所述毛细管具有用于流体通过的流体通道,所述流体通道的横截面轮廓为圆形,所述流体通道的直径小于等于400 μm,可选地,所述流体通道为圆柱状,所述流体通道的直径大于等于160 μm且小于等于300 μm。本发明实施例的质量流量控制器在毛细管的克努森系数小于0.1、压比高于2.5时具有稳定的流量,且不随下游压力波动而改变,能够实现稳流和限流的目的。此外,本发明实施例的质量流量控制器不需要电路控制模块实现稳流和限流的目的,所以本发明实施例的质量流量控制器不存在电路受电磁干扰的问题。



1. 一种氮氧化物的测量系统,其特征在于,包括:

反应器(7),所述反应器(7)包括反应腔室(71)、臭氧进口、第一含氮气体入口、第二含氮气体入口和气体出口(73),所述臭氧进口、所述第一含氮气体入口、第二含氮气体入口和所述气体出口(73)均与所述反应腔室(71)连通;

第一质量流量控制器(6),所述第一质量流量控制器(6)具有第一流体通道(61);

臭氧发生器(4),所述臭氧发生器(4)具有空气进口(41)和臭氧出口(42),所述第一流体通道(61)与所述空气进口(41)连通,所述臭氧出口(42)与所述反应器(7)的臭氧进口连通;

一氧化氮流路(5),所述一氧化氮流路(5)包括第二质量流量控制器(51),所述第二质量流量控制器(51)具有第二流体通道(511),所述第二流体通道(511)的出口与所述第一含氮气体入口连通;

二氧化氮流路(8),所述二氧化氮流路(8)包括第三质量流量控制器(81)和催化还原装置(82),所述第三质量流量控制器(81)具有第三流体通道(811),其中所述第一流体通道(61)、所述第二流体通道(511)和所述第三流体通道(811)中的每一者的横截面轮廓为圆形,所述第一流体通道(61)、所述第二流体通道(511)和所述第三流体通道(811)中的每一者的直径大于等于 $160\mu\text{m}$ 且小于等于 $300\mu\text{m}$,所述催化还原装置(82)具有第三含氮气体入口(821)和第一含氮气体出口(822),所述第三流体通道(811)的出口与所述第三含氮气体入口(821)连通,所述第一含氮气体出口(822)与所述第一含氮气体入口连通;

所述测量系统进一步包括臭氧分解装置,所述臭氧分解装置具有尾气进口(831)和尾气出口(832),所述尾气进口(831)与所述气体出口(73)连通;

所述催化还原装置(82)包括:

壳体(820),所述壳体(820)具有容纳腔,

催化还原管道(823),所述催化还原管道(823)位于所述容纳腔内,所述催化还原管道(823)的一端构成所述第三含氮气体入口(821),所述催化还原管道(823)的另一端构成所述第一含氮气体出口(822);

热解管道(824),所述热解管道(824)位于所述容纳腔内,所述热解管道(824)的一端构成所述尾气进口(831),所述热解管道(824)的另一端构成所述尾气出口(832);和

加热件(825),所述加热件(825)设在所述容纳腔内以便加热所述催化还原管道(823)和所述热解管道(824)。

2. 根据权利要求1所述的氮氧化物的测量系统,其特征在于,所述臭氧进口、所述第一含氮气体入口和第二含氮气体入口为同一个开口;所述测量系统还包括套筒组件(9),所述套筒组件(9)包括外管和内管,所述内管套设于所述外管内,所述内管的外周面与所述外管的内周面间隔开,所述内管与所述臭氧出口(42)连通,所述外管与所述第二流体通道(511)和第一含氮气体出口(822)连通。

3. 根据权利要求1所述的氮氧化物的测量系统,其特征在于,进一步包括切换装置(10),所述切换装置(10)包括进口(103)、第一出口(101)和第二出口(102),所述进口(103)可切换地与所述第一出口(101)和所述第二出口(102)中的一者连通,所述第二流体通道(511)和所述第三流体通道(811)中的每一者与所述进口(103)连通,所述第一出口(101)与所述第一含氮气体入口连通,所述第二出口(102)与所述第三含氮气体入口(821)连通。

4. 根据权利要求1所述的氮氧化物的测量系统,其特征在于,所述加热件(825)的至少一部分位于所述催化还原管道(823)和所述热解管道(824)之间。

5. 根据权利要求4所述的氮氧化物的测量系统,其特征在于,所述热解管道(824)呈U型且包括:

第一直段(8241)和第二直段(8242),所述第一直段(8241)和所述第二直段(8242)沿预设方向间隔设置,所述催化还原管道(823)和所述加热件(824)在所述预设方向上位于所述第一直段(8241)和所述第二直段(8242)之间,所述加热件(825)绕设在所述催化还原管道(823)上;以及

弧形段(8243),所述弧形段(8243)的一端与所述第一直段(8241)相连,所述弧形段(8243)的另一端与所述第二直段(8242)相连。

氮氧化物的测量系统

技术领域

[0001] 本发明涉及气体流量检测技术领域,尤其是涉及一种氮氧化物的测量系统及质量流量控制器。

背景技术

[0002] 质量流量控制器对于气体或者液体的质量流量进行精密测量和控制。现有技术中常采用的质量流量控制器存在寿命低、不耐高温问题,其内部橡胶垫片容易被腐蚀性气体腐蚀,进而严重影响控制精度,此外质量流量控制器一般工作温度小于50℃,在极端高温环境中难以应用。并且,现有技术中采用的质量流量控制器抗干扰性差,其控制电路容易受到电磁干扰而影响测量的精度,其下游压力的波动也会对测量的精度造成干扰和影响。

发明内容

[0003] 本发明旨在至少在一定程度上解决相关技术中的技术问题之一。为此,本发明的实施例提出一种具有高测量精度的氮氧化物的测量系统。

[0004] 本发明的实施例还提出一种质量流量控制器。

[0005] 根据本发明实施例的氮氧化物的测量系统,包括:

[0006] 反应器,所述反应器包括反应腔室、臭氧进口、第一含氮气体入口、第二含氮气体入口和气体出口,所述臭氧进口、所述第一含氮气体入口、第二含氮气体入口和所述气体出口均与所述反应腔室连通;

[0007] 第一质量流量控制器,所述第一质量流量控制器具有第一流体通道,所述第一流体通道的出口与所述臭氧进口连通;

[0008] 一氧化氮流路,所述一氧化氮流路包括第二质量流量控制器,所述第二质量流量控制器具有第二流体通道,所述第二流体通道的出口与所述第一含氮气体入口连通;

[0009] 二氧化氮流路,所述二氧化氮流路包括第三质量流量控制器和催化还原装置,所述第三质量流量控制器具有第三流体通道,其中所述第一流体通道、所述第二流体通道和所述第三流体通道中的每一者的横截面轮廓为圆形,所述第一流体通道、所述第二流体通道和所述第三流体通道中的每一者的直径小于等于400 μm ,所述催化还原装置具有第三含氮气体入口和第一含氮气体出口,所述第三流体通道的出口与所述第三含氮气体入口连通,所述第一含氮气体出口与所述第一含氮气体入口连通。

[0010] 本发明实施例的氮氧化物的测量系统采用第一质量流量控制器对输入测量系统的空气进行流量控制、采用第二质量流量控制器和第三流量控制器对输入测量系统的含氮氧化物气体进行流量控制,能够为反应器提供稳定质量的气体,也可有效消除因质量流量控制器受干扰而产生的误差信号,具有高测量精度。

[0011] 在一些实施例中,所述氮氧化物的测量系统还包括臭氧发生器,所述臭氧发生器具有空气进口和臭氧出口,所述第一流体通道与所述空气进口连通,所述臭氧出口与所述臭氧进口连通。

[0012] 在一些实施例中,所述臭氧进口、所述第一含氮气体入口和第二含氮气体入口为同一个开口;所述测量系统还包括套筒组件,所述套筒组件包括外管和内管,所述内管套设于所述外管内,所述内管的外周面与所述外管的内周面之间间隔开,所述内管与所述臭氧出口连通,或者所述内管与所述第二流体通道和第一含氮气体出口连通,所述外管与所述第二流体通道和第一含氮气体出口连通,或者所述外管与所述臭氧出口连通,所述内管与所述外管中的每一者与所述臭氧进口连通。

[0013] 在一些实施例中,进一步包括切换装置,所述切换装置包括进口、第一出口和第二出口,所述进口可切换地与所述第一出口和所述第二出口中的一者连通,所述第二流体通道和所述第三流体通道中的每一者与所述进口连通,所述第一出口与所述第一含氮气体入口连通,所述第二出口与所述第三含氮气体入口连通。

[0014] 在一些实施例中,所述测量系统进一步包括臭氧分解装置,所述臭氧分解装置具有尾气进口和尾气出口,所述尾气进口与所述气体出口连通;

[0015] 或者,所述催化还原装置包括:

[0016] 壳体,所述壳体具有容纳腔,

[0017] 催化还原管道,所述催化还原管道位于所述容纳腔内,所述催化还原管道的一端构成所述第三含氮气体入口,所述催化还原管道的另一端构成所述第一含氮气体出口;

[0018] 热解管道,所述热解管道位于所述容纳腔内,所述热解管道的一端构成所述尾气进口,所述热解管道的另一端构成所述尾气出口;和

[0019] 加热件,所述加热件设在所述容纳腔内以便加热所述催化还原管道和所述热解管道。

[0020] 在一些实施例中,所述加热件的至少一部分位于所述催化还原管道和所述热解管道之间。

[0021] 在一些实施例中,所述热解管道呈U型且包括:

[0022] 第一直段和第二直段,所述第一直段和所述第二直段沿预设方向间隔设置,所述催化还原管道和所述加热件在所述预设方向上位于所述第一直段和所述第二直段之间,所述加热件绕设在所述催化还原管道上;以及

[0023] 弧形段,所述弧形段的一端与所述第一直段相连,所述弧形段的另一端与所述第二直段相连。

[0024] 在一些实施例中,所述第一流体通道、所述第二流体通道和所述第三流体通道中的每一者为圆柱状,所述第一流体通道、所述第二流体通道和所述第三流体通道中的每一者的直径大于等于 $160\mu\text{m}$ 且小于等于 $300\mu\text{m}$ 。

[0025] 本发明实施例的质量流量控制器,包括毛细管,所述毛细管具有用于流体通过的流体通道,所述流体通道的横截面轮廓为圆形,所述流体通道的直径小于等于 $400\mu\text{m}$,可选地,所述流体通道为圆柱状,所述流体通道的直径大于等于 $160\mu\text{m}$ 且小于等于 $300\mu\text{m}$ 。

[0026] 本发明实施例的质量流量控制器在毛细管的克努森系数小于0.1、压比高于2.5时具有稳定的流量,且不随下游压力波动而改变,能够实现稳流和限流的目的。此外,本发明实施例的质量流量控制器不需要电路控制模块实现稳流和限流的目的,所以本发明实施例的质量流量控制器不存在电路受电磁干扰的问题。

[0027] 在一些实施例中,所述毛细管为多个,所述质量流量控制器还包括真空接头,多个

所述毛细管串联,相邻两个所述毛细管通过所述真空接头相连;

[0028] 或者,所述毛细管为多个,所述质量流量控制器还包括干路和真空接头,多个所述毛细管并联,多个所述毛细管一一对应地与多个所述真空接头相连,每个所述真空接头与所述干路相连。

[0029] 在一些实施例中,串联的多个所述毛细管的所述流体通道的直径彼此相等;并联的多个所述毛细管中的至少一者的所述流体通道的直径不等于多个所述毛细管中的另一者。

附图说明

[0030] 图1是本发明实施例的质量流量控制器的轴向剖面结构示意图;

[0031] 图2是本发明实施例的质量流量控制器的径向剖面结构示意图;

[0032] 图3是本发明实施例的质量流量控制器的多个毛细管串联结构示意图;

[0033] 图4是本发明实施例的质量流量控制器的多个毛细管并联结构示意图;

[0034] 图5是本发明实施例的具有包括单个毛细管的质量流量控制器的压比与流量曲线图;

[0035] 图6是本发明实施例的具有包括单个毛细管的质量流量控制器的内径与流量曲线图;

[0036] 图7是本发明实施例的氮氧化物的测量系统的示意图;

[0037] 图8是本发明实施例的催化还原装置的剖面结构示意图;

[0038] 图9是本发明另外的实施例的氮氧化物的测量系统的剖面结构示意图;

[0039] 附图标记:

[0040] 质量流量控制器100,毛细管1,流体通道11,真空接头2;

[0041] 臭氧发生器4,空气进口41,臭氧出口42;

[0042] 一氧化氮流路5,第二质量流量控制器51,第二流体通道511;

[0043] 第一质量流量控制器6,第一流体通道61;

[0044] 反应器7,反应腔室71,进气口72,气体出口73,放大电路74,数据采集处理系统75;

[0045] 二氧化氮流路8,第三质量流量控制器81,第三流体通道811,催化还原装置82,壳体820,第三含氮气体入口821,第一含氮气体出口822,催化还原管道823,热解管道824,第一直段8241,第二直段8242,弧形段8243,加热件825,尾气进口831,尾气出口832,

[0046] 套筒组件9;

[0047] 切换装置10,第一出口101,第二出口102,进口103;

[0048] 泵11;

[0049] 测量系统200。

具体实施方式

[0050] 下面详细描述本发明的实施例,所述实施例的示例在附图中示出。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的,旨在用于解释本发明,而不能理解为对本发明的限制。

[0051] 如附图1至图6所示,根据本发明实施例的质量流量控制器100包括毛细管1,毛细管1具有用于流体通过的流体通道11,流体通道11的横截面轮廓为圆形,流体通道11的直径

小于等于400 μm 。

[0052] 本发明实施例的质量流量控制器100的毛细管1的流体通道11的直径小于等于400 μm ,对于该直径尺寸的流体通道11,在其内部运动的气体的薄面碰撞效应增加,在克努森系数(克努森数表示气体分子的平均自由程 λ 与流场中物体的特征长度 L 的比值)小于0.1时,通过流体通道11的气体流量值对其两端的压比敏感性降低,当毛细管1的进气压力(上游压力)与出气压力(下游压力)的比值(即压比)高于2.5时,由于壁面的切向动量影响导致气体的流量在压比增加时仍保持稳定。

[0053] 也即是,本发明实施例的质量流量控制器100在毛细管1的克努森系数小于0.1、压比高于2.5时,流经毛细管1的气体的流量处于稳定状态,不随压比的改变而改变,达到毛细管1对气体流量的稳流和限流的作用,从而实现发明实施例的质量流量控制器100的稳流和限流的作用。此外,本发明实施例的质量流量控制器100不需要电路控制模块实现稳流和限流的目的,所以本发明实施例的质量流量控制器100不存在电路受电磁干扰的问题。

[0054] 本发明实施例的质量流量控制器100在毛细管1的克努森系数小于0.1、压比高于2.5时具有稳定的流量,且不随下游压力波动而改变,能够实现稳流和限流的目的。

[0055] 可选地,流体通道11为圆柱状,毛细管1为直管,具有结构简单、体积小、便于制造及成本低的优势。

[0056] 毛细管1可采用二氧化硅材质制造,二氧化硅具有耐高温、耐腐蚀特性,可避免高温热解及酸性腐蚀等问题。

[0057] 本发明实施例的质量流量控制器100的毛细管1的流体通道11的直径小于等于400 μm 属于亚毫米范围,对于亚毫米范围的毛细管的流量计算公式参见式(1)

$$F = \pi \times D^4 \times (P_{\text{上游}} - P_{\text{下游}}) \times P_{\text{平均}} / (128 \times \mu \times R \times T \times L) \times (1 + A_1 \times K_n + A_2 \times K_n^2 + \dots + A_n \times K_n^n) \quad (1)$$

[0059] 式(1)

[0060] 式中: F 为质量流量,mL/min;

[0061] D 为毛细管1的内径(即流体通道11的直径),m;

[0062] $P_{\text{上游}}$ 为毛细管1的进气压力,Pa;

[0063] $P_{\text{下游}}$ 为毛细管1的出气压力,Pa;

[0064] $P_{\text{平均}}$ 为毛细管1内等效压力,一般取值为 $(P_{\text{上游}} + P_{\text{下游}}) / 2$,Pa;

[0065] μ 为气体的动力粘性系数,Pa*s;

[0066] R 为气体常数;

[0067] T 为温度,K;

[0068] L 为毛细管1的长度,m;

[0069] A_n 为毛细管1的流体通道11的直径为 D 、长度为 L 时的第 n 阶流量修正系数,与气体碰撞模型、上下游压比有关,具体值通过实验测得,一般保留前三项(即 A_1 、 A_2 和 A_3)即可满足精度需求;

[0070] K_n 为克努森系数。

[0071] 为进一步说明本发明实施例的质量流量控制器100,参阅图1和图2所示,对于长度为50 mm、流通通道11的直径分别为180 μm 、210 μm 、250 μm 、300 μm 、341 μm 、380 μm 、400 μm

m、420 μm的毛细管1,控制各毛细管1的上游进气端的压力 $P_{上游}$ 为101 kPa,通过真空泵抽吸各毛细管1下游出气端以改变其压比值。通过真空泵调节压比范围为1-27,其各毛细管1的流量结果如图5所示。从图5中显示结果对比可知,对于流体通道11直径小于等于400 μm的毛细管1,其压比高于2.5时,毛细管1的流量值趋于稳定,毛细管1的流量值不随压比的改变而增加和减少,毛细管1具有良好的稳流限流功能,即,在压比高于2.5时,本发明实施例的质量流量控制器100的流量值不随下游端的压力值波动而改变。

[0072] 通过实验测量可知,对于流通通道11直径不同的毛细管的稳定流量值不同,相应稳定流量值与其流通通道11直径呈现指数分布规律,如图6所示,说明本发明实施例的质量流量控制器100可以通过改变流体通道11的直径方式来实现不同流量值的调节。

[0073] 可选地,流体通道11的直径大于等于160 μm且小于等于300 μm。

[0074] 对于具有单个毛细管1的质量流量控制器100,毛细管1的流体通道1的直径即为该质量流量控制器100的内径,毛细管1的流体通道1的长度即为该质量流量控制器100的长度。

[0075] 在一些实施例中,参阅图3所示,毛细管1为多个,本发明实施例的质量流量控制器100还包括真空接头2,多个毛细管1串联,相邻两个毛细管1通过真空接头2相连。多个毛细管1的串联改变了本发明实施例的质量流量控制器100的长度,间接改变了质量流量控制器100的等效内径,使本发明实施例的质量流量控制器100具有更好的适应性和更广泛的适用范围。

[0076] 为了便于毛细管1与真空接头2的装配,毛细管1的外径选为6 mm,可方便利用真空接头2进行密封。

[0077] 在一些实施例中,串联的多个毛细管1的流体通道11的直径彼此相等。对于此类串联,在单个毛细管1的压比值不变时,本发明实施例的质量流量控制器100的等效内径(此时的等效内径为:在多个等径毛细管1串联形成的质量流量控制器100与单个毛细管1形成的质量流量控制器100的流量相同时将串联总长度等价为标准长度 L 时对应的内径值)的计算公式见式(2)

$$D_{等效}=D$$

$$[0078] \quad \times \frac{4}{\pi} \frac{F(\sum L_i)}{\pi \times (P_{上游} - P_{下游}) \times P_{平均} / (128 \times \mu \times R \times T \times L) \times (1 + A_1 \times K_n + A_2 \times K_n^2 + \dots + A_n \times K_n^n)}$$

[0079] (2)

[0080] 当 $L_i=L_j (i \neq j)$ 时, $D_{等效}=\sqrt[4]{n} \times D$, $i=1, 2, 3, \dots$;

[0081] 式中, D 为毛细管1的流体通道11的直径,m;

[0082] L_i 为第 i 个毛细管1的长度,m;

[0083] A_n 为毛细管1的流体通道11的直径为 D 、长度为 L 时的第 n 阶流量修正系数。

[0084] 在另外的实施例中,参阅图4所示,毛细管1为多个,质量流量控制器100还包括干路和真空接头2,多个毛细管1并联,多个毛细管1一一对应地与多个真空接头2相连,每个真空接头2与干路相连。多个毛细管1的并联改变了本发明实施例的质量流量控制器100的等效内径以使本发明实施例的质量流量控制器100具有更广泛的流量范围,从而提高了本发明实施例的质量流量控制器100对流量测量和控制的范围,可实现变流量调节的目的。

[0085] 可选地,并联的多个毛细管1的流体通道11的直径彼此相等。

[0086] 可选地,并联的多个所述毛细管1中的至少一者的所述流体通道11的直径不等于多个所述毛细管1中的另一者。

[0087] 对于流体通道11直径不同的毛细管1的并联,在单个毛细管1的压比值不变时,本发明实施例的质量流量控制器100的等效内径的计算公式见式(3)

$$D_{\text{等效}} = D \times \sqrt[4]{\frac{\sum F(D_i)}{\pi \times (P_{\text{上游}} - P_{\text{下游}}) \times P_{\text{平均}} / (128 \times \mu \times R \times T \times L) \times (1 + A_1 \times K_n + A_2 \times K_n^2 + \dots + A_n \times K_n^n)}}}$$

[0088]

(3)

[0089] 式中, D_i 为长度为 L 的毛细管1的流体通道11的直径,当 $D_i = D_j$ ($i \neq j$) 时, $D_{\text{等效}} = \sqrt[4]{n} \times D$, $i=1,2,3,\dots$;

[0090] A_n 为毛细管1的流体通道11的直径为 $D_{\text{平均}}$ 、长度为 L 时的第 n 阶流量修正系数。

[0091] 下面描述本发明实施例的氮氧化物的测量系统。

[0092] 如图8-图9所示,根据本发明实施例的氮氧化物的测量系统200包括反应器7、第一质量流量控制器6、一氧化氮流路5和二氧化氮流路8。反应器7包括反应腔室71、臭氧进口、第一含氮气体入口、第二含氮气体入口和气体出口73,臭氧进口、第一含氮气体入口、第二含氮气体入口和气体出口73均与反应腔室71连通。第一质量流量控制器6具有第一流体通道61,第一流体通道61的出口与臭氧进口连通。

[0093] 一氧化氮流路5包括第二质量流量控制器51,第二质量流量控制器51具有第二流体通道511,第二流体通道511的出口与第一含氮气体入口连通。二氧化氮流路8包括第三质量流量控制器81和催化还原装置82,第三质量流量控制器81具有第三流体通道811。其中,第一流体通道61、第二流体通道511和第三流体通道811中的每一者的横截面轮廓为圆形,第一流体通道61、第二流体通道511和第三流体通道811中的每一者的直径小于等于 $400\mu\text{m}$ 。催化还原装置82具有第三含氮气体入口821和第一含氮气体出口822,第三流体通道811的出口与第三含氮气体入口821连通,第一含氮气体出口822与第一含氮气体入口连通。

[0094] 本发明实施例的氮氧化物的测量系统200采用第一质量流量控制器6对输入测量系统200的空气进行流量控制、采用第二质量流量控制器51和第三流量控制器81对输入测量系统200的含氮氧化物的气体进行流量控制,能够为反应器7提供稳定质量的气体,也可有效消除因质量流量控制器受干扰而产生的误差信号,具有高测量精度。

[0095] 为了使本发明实施例的氮氧化物的测量系统200更加容易理解,以图9为例进行说明。氮氧化物的测量系统200包括反应器7、第一质量流量控制器6、臭氧发生器4、一氧化氮流路5、二氧化氮流路8、切换装置10和泵11。

[0096] 反应器7包括反应腔室71、臭氧进口、第一含氮气体入口、第二含氮气体入口和气体出口73,臭氧进口、第一含氮气体入口、第二含氮气体入口和气体出口73均与反应腔室71连通。

[0097] 臭氧进口、第一含氮气体入口和第二含氮气体入口可以是三个独立的口;也可以是:臭氧进口为一个独立的口,第一含氮气体入口和第二含氮气体入口为同一个口;也可以是:臭氧进口、第一含氮气体入口和第二含氮气体入口为同一个口。

[0098] 反应腔室71内一氧化氮气体和臭氧发生化学发光反应产生光强,反应器7将该光强计算换算为参与反应的一氧化氮的质量,通过该质量与输入一氧化氮流路5或二氧化氮流路8的含氮气体的质量进行计算得出一氧化氮的浓度或二氧化氮的浓度,关于浓度的计算过程将在下文详述。

[0099] 第一质量流量控制器6具有第一流体通道61,臭氧发生器4具有空气进口41和臭氧出口42,第一流体通道61的出口与空气进口41连通,臭氧出口42与臭氧进口连通。第一质量流量控制器6控制输入至臭氧发生器4的空气流量,臭氧发生器4将输入的氧气转化为臭氧,而后臭氧输送至反应腔室71内。臭氧发生器4将空气中的氧气转化为臭氧以为化学发光反应提供充足的臭氧,以提高反应效率。

[0100] 一氧化氮流路5包括第二质量流量控制器51,第二质量流量控制器51具有第二流体通道511,第二流体通道511的出口与第一含氮气体入口连通。第二质量流量控制器51控制输送至反应腔室71的含一氧化氮的气体的流量。

[0101] 二氧化氮流路8包括第三质量流量控制器81和催化还原装置82,第三质量流量控制器81具有第三流体通道811,催化还原装置82具有第三含氮气体入口821和第一含氮气体出口822,第三流体通道811的出口与第三含氮气体入口821连通,第一含氮气体出口822与第一含氮气体入口连通。第三质量流量控制器81控制含二氧化氮的气体的流量或同时具有一氧化氮和二氧化氮的气体的流量,催化还原装置82将二氧化氮转化为一氧化氮,而后一氧化氮输送至反应腔室71内。

[0102] 切换装置10包括进口103、第一出口101和第二出口102,进口103可切换地与第一出口101和第二出口102中的一者连通,第二流体通道511的出口和第三流体通道811的出口中的每一者与进口103连通,第一出口101与第一含氮气体入口连通,第二出口102与第三含氮气体入口821连通。如图9所示,当切换装置10的进口103与第一出口101连通时,一氧化氮流路5处于连通状态、二氧化氮流路8处于关闭状态;当切换装置10的进口103与第二出口102连通时,二氧化氮流路8处于连通状态、一氧化氮流路5处于关闭状态。本发明实施例的氮氧化物测量系统200通过设置切换装置10简化了管路的设置,且通过切换装置10即可切换一氧化氮流路5和二氧化氮流路8。

[0103] 在一些实施例中,如图9所示,臭氧进口、第一含氮气体入口和第二含氮气体入口为同一个开口以便形成进气口72。测量系统还包括套筒组件9,套筒组件9包括外管和内管,外管套设于内管外,内管的外周面与外管的内周面间隔开,内管与臭氧出口42连通,外管与第二流体通道511和第一含氮气体出口822连通,内管与外管中的每一者与进气口72连通。外管将含氮气体输送至反应腔室71内,内管将臭氧输送至反应腔室71内。进气口72和套筒组件9的设置使得臭氧和含氮气体在进入反应腔室71时的初始位置较近,利于输送至反应腔室71内的气体的混合以使反应气体能够充分参与反应。

[0104] 在其他实施例中,内管与第二流体通道511和第一含氮气体出口822连通,外管与臭氧出口42连通,内管与外管中的每一者与臭氧进口连通。泵11与反应器7的气体出口73连通,泵11作为动力部分为氮氧化物的测量系统的气体的流动提供动力。此外,还可以通过调节泵11的功率可以改变第一质量流量控制器6、第二质量流量控制器51和第三质量流量控制器81的出气压力,继而调节第一质量流量控制器6、第二质量流量控制器51和第三质量流量控制器81的压比值。在保证第一质量流量控制器6、第二质量流量控制器51和第三质量流

量控制器81的压比值均高于2.5时,第一质量流量控制器6、第二质量流量控制器51和第三质量流量控制器81对气体的流量的控制精度则不受泵11的功率的波动的影响。

[0105] 在一些实施例中,本发明实施例的氮氧化物的测量系统200进一步包括臭氧分解装置,臭氧分解装置具有尾气进口831和尾气出口832,尾气进口831与气体出口73连通。本发明实施例的氮氧化物的测量系统200通过设置臭氧分解装置对反应腔室72排出的未参与反应的臭氧进行分解,降低臭氧对环境产生的不良影响。

[0106] 在其他一些实施例中,催化还原装置82包括壳体820、催化还原管道823、热解管道824和加热件825。壳体820具有容纳腔。催化还原管道823位于容纳腔内,催化还原管道823的一端构成第三含氮气体入口821,催化还原管道823的另一端构成第一含氮气体出口822。热解管道824位于容纳腔内,热解管道824的一端构成尾气进口831,热解管道824的另一端构成尾气出口832。加热件825设在容纳腔内以便加热催化还原管道823和热解管道824。在加热件825形成的高温环境下,二氧化氮在催化还原管道823内转化为一氧化氮,催化还原管道823内设有钼网作为二氧化氮的反应催化剂,钼网可采用大比表面积、高孔隙率的钼网以提高二氧化氮的还原效率。同时,加热件825形成的高温也利于热解管道824内臭氧的热解。本测量系统将催化还原管道823和热解管道824集成在壳体820内,提升了本测量系统的集成度,降低了本测量系统的设备布局的复杂程度。

[0107] 在一些实施例中,加热件825的至少一部分位于催化还原管道823和热解管道824之间,以提升加热件825对催化还原管道823和热解管道824的加热的均匀程度,保证催化还原管道823和热解管道824的所需温度。

[0108] 在一些实施例中,参阅图8所示,热解管道824呈U型且包括第一直段8241、第二直段8242和弧形段8243。第一直段8241和第二直段8242沿预设方向间隔设置,催化还原管道823和加热件824在预设方向上位于第一直段8241和第二直段8242之间,加热件825绕设在催化还原管道823上。也就是说,加热件825在该预设方向上也位于第一直段8241和第二直段8242之间。弧形段8243的一端与第一直段8241相连,弧形段8243的另一端与第二直段8242相连。热解管道824呈U型使得催化还原管道823和加热件824的布局更简单合理,同时保证对催化还原管道823和加热件824的加热效果。

[0109] 优选地,反应腔室71镀有高反射的金膜,以反射化学发光反应产生的光强,避免反应腔室71的壁面对光线的消减而影响光强。反应器7在反应腔室71外设置有控温系统,以对反应腔室71内的空间进行升温和控温。反应器7还具有光电探测器、放大电路74和数据采集处理系统75,光电探测器连接放大电路74,放大电路74连接数据采集处理系统75,光电探测器探测反应腔室71内的反应产生的光强信号且转化为电流信号,由放大电路74对电流信号进行放大,数据采集处理系统75记录、计算数据以得到参与化学发光反应的一氧化氮量。此外,在使用本测量系统200进行实验测量前,还可以将第二质量流量控制器51和第三质量流量控制器81的质量流量信息输入至数据采集处理系统75中,由数据采集处理系统75计算以直接得到一氧化氮浓度和/或二氧化氮浓度的数据。

[0110] 参阅图9所示,本发明实施例的氮氧化物的测量系统的使用过程及氮氧化物浓度的计算过程如下:

[0111] NO测量模式:首先,将切换装置10的进口103与第一出口101连通以关闭二氧化氮流路8,将第一质量流量控制器6的入口端连接干燥空气,一氧化氮流路5的第二质量流量控

制器51的入口端输入待测气体。然后,启动泵11和反应器7,干燥空气经第一质量流量控制器6进入臭氧发生器4内,第一质量流量控制器6对空气的进气量进行控制和稳流,空气中的氧气在臭氧发生器4内转化为臭氧,臭氧进入反应器7内;待测气体经第二质量流量控制器51进入反应器7内,第二质量流量控制器51对待测气体的进气量进行控制和稳流。臭氧和待测气体中的一氧化氮在反应器7的反应腔室71内发生化学发光反应,反应器7探测光强并将光强信号进行转化计算得到参与反应的一氧化氮量,继而可以得到待测气体中一氧化氮的浓度。

[0112] NO_2 测量模式:首先,将切换装置10的进口103与第二出口102连通以关闭一氧化氮流路5,将第一质量流量控制器6的入口端连接干燥空气,将二氧化氮流路8的第三质量流量控制器81的入口端输入待测气体。然后,启动泵11和反应器7,干燥空气经第一质量流量控制器6进入臭氧发生器4内,第一质量流量控制器6对空气的进气量进行控制和稳流,空气中的氧气在臭氧发生器4内转化为臭氧,臭氧进入反应器7内;待测气体经第三质量流量控制器81进入催化还原装置82中,待测气体中的二氧化氮在催化还原装置82中转化为一氧化氮,一氧化氮进入反应器7内,第三质量流量控制器81对待测气体的进气量进行控制和稳流。待测气体中的一氧化氮和臭氧在反应器7的反应腔室71内发生化学发光反应,反应器7探测光强并将光强信号进行转化计算得到参与反应的一氧化氮量,继而可以得到待测气体中二氧化氮的浓度。

[0113] 若待测气体中即含有一氧化氮又含有二氧化氮,则将该待测气体先进行NO测量模式得到一氧化氮的浓度,记为C1。再进行 NO_2 测量模式得到一氧化氮和二氧化氮的总和的浓度,记为C2,C2-C1即为二氧化氮的含量。

[0114] 根据测量目的不同,第二质量流量控制器51不仅可以作为一氧化氮流路5的一部分连接含一氧化氮的待测气体,还可以连接零气气源,第三质量流量控制器81不仅可以作为二氧化氮流路8的一部分连接含氧化氮物的待测气体,还可以连接标气气源(如,含已知一氧化氮浓度的气体,含已知二氧化氮浓度的气体)。

[0115] 在本测量系统200连接零气气源和标气气源的测量过程中,零气气源对标气气源进行稀释,通过本测量系统测得标气气源的一氧化氮的浓度,对已知浓度和测量浓度进行对比从而对本测量系统进行标定,进一步降低本测量系统在测量时产生的误差。

[0116] 优选地,第二质量流量控制器51和第三质量流量控制器81为同一质量流量控制器,如图7所示。当待测气体中即含有一氧化氮又含有二氧化氮时,或者待测气体中的一氧化氮和二氧化氮的成分未知时,该待测气体连接至第二质量流量控制器51或第三质量流量控制器81中。当切换装置10的进口103与第一出口101连通时,待测气体直接输送至反应腔室71内,待测气体中的一氧化氮参与反应,得到的是待测气体中一氧化氮的浓度C1。当切换装置10的进口103与第二出口102连通时,待测气体进入催化还原装置82,在催化还原装置82内二氧化氮转化为一氧化氮,而后在反应腔室71内,待测气体中原有的一氧化氮和转化的一氧化氮同时参与化学发光反应,得到参与反应的一氧化氮浓度C2,即可通过C2-C1得到待测气体中二氧化氮的浓度。

[0117] 在一些实施例中,第一流体通道61、第二流体通道511和第三流体通道811中的每一者为圆柱状,第一流体通道61、第二流体通道511和第三流体通道811中的每一者的直径大于等于 $160\mu\text{m}$ 且小于等于 $300\mu\text{m}$ 。

[0118] 在本发明的描述中,需要理解的是,术语“中心”、“纵向”、“横向”、“长度”、“宽度”、“厚度”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”、“顺时针”、“逆时针”、“轴向”、“径向”、“周向”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。

[0119] 此外,术语“第一”、“第二”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此,限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。在本发明的描述中,“多个”的含义是至少两个,例如两个,三个等,除非另有明确具体的限定。

[0120] 在本发明中,除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“连接”、“固定”等术语应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或成一体;可以是机械连接,也可以是电连接或彼此可通讯;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通或两个元件的相互作用关系,除非另有明确的限定。对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0121] 在本发明中,除非另有明确的规定和限定,第一特征在第二特征“上”或“下”可以是第一和第二特征直接接触,或第一和第二特征通过中间媒介间接接触。而且,第一特征在第二特征“之上”、“上方”和“上面”可是第一特征在第二特征正上方或斜上方,或仅仅表示第一特征水平高度高于第二特征。第一特征在第二特征“之下”、“下方”和“下面”可以是第一特征在第二特征正下方或斜下方,或仅仅表示第一特征水平高度小于第二特征。

[0122] 在本发明中,术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中,对上述术语的示意性表述不必须针对的是相同的实施例或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外,在不相互矛盾的情况下,本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

[0123] 尽管上面已经示出和描述了本发明的实施例,可以理解的是,上述实施例是示例性的,不能理解为对本发明的限制,本领域的普通技术人员在本发明的范围内可以对上述实施例进行变化、修改、替换和变型。

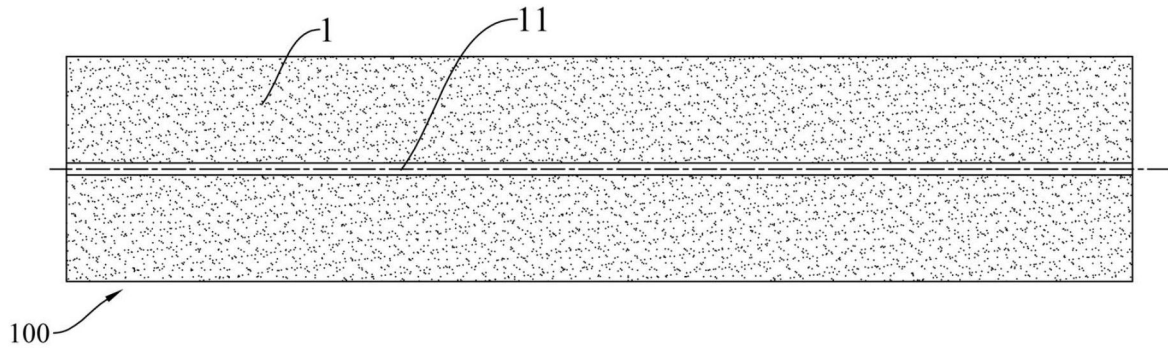


图1

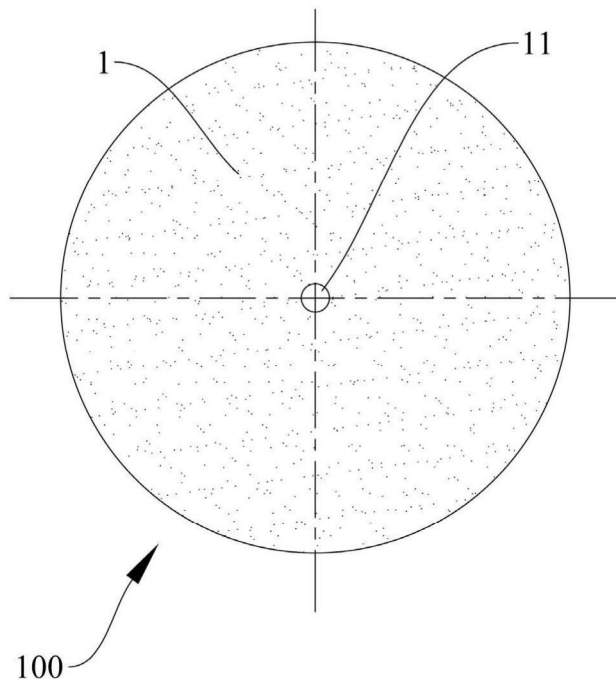


图2

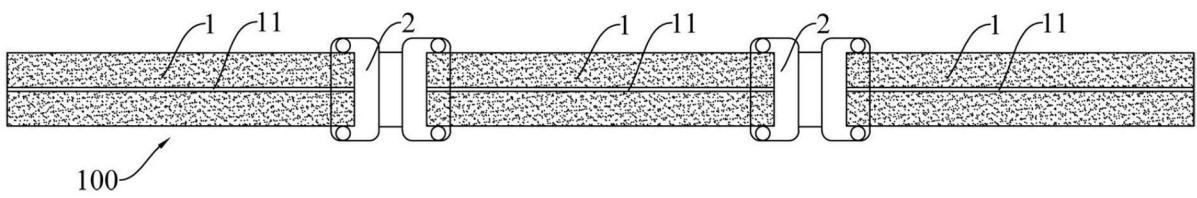


图3

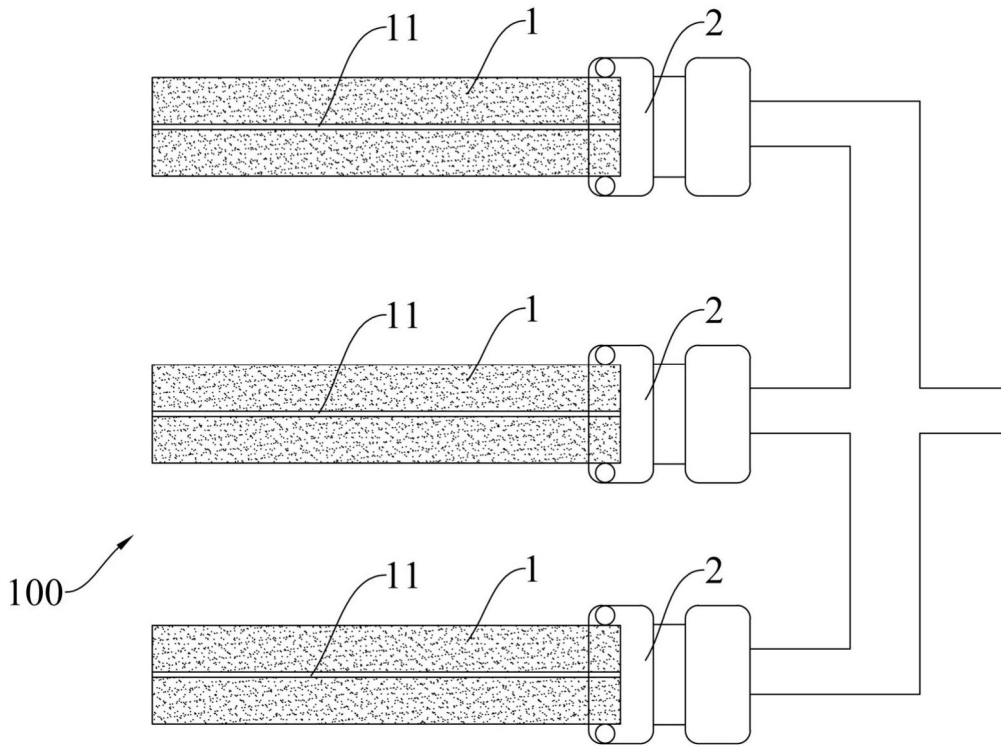


图4

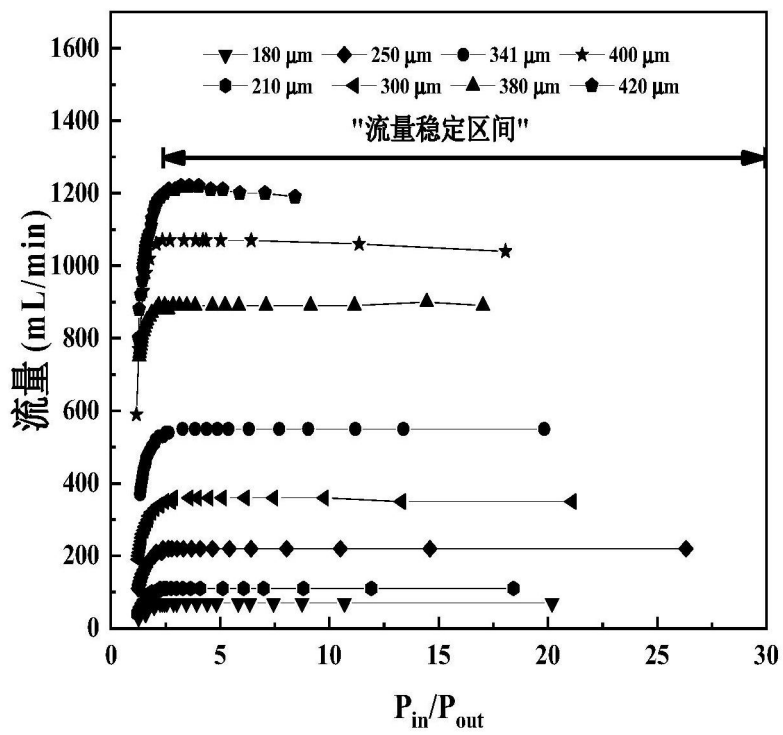


图5

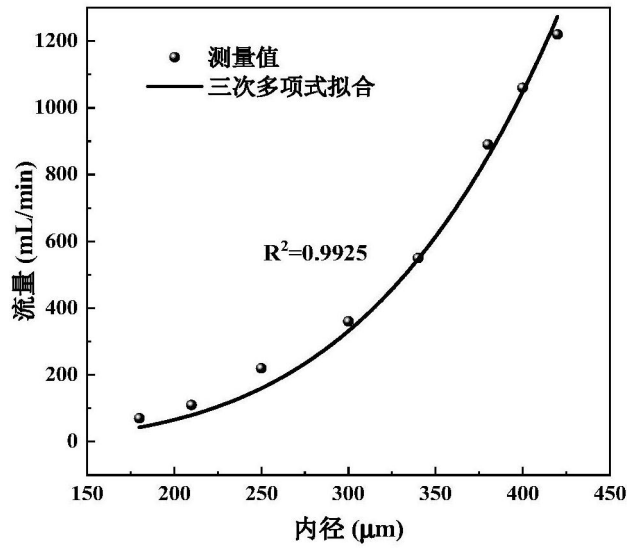


图6

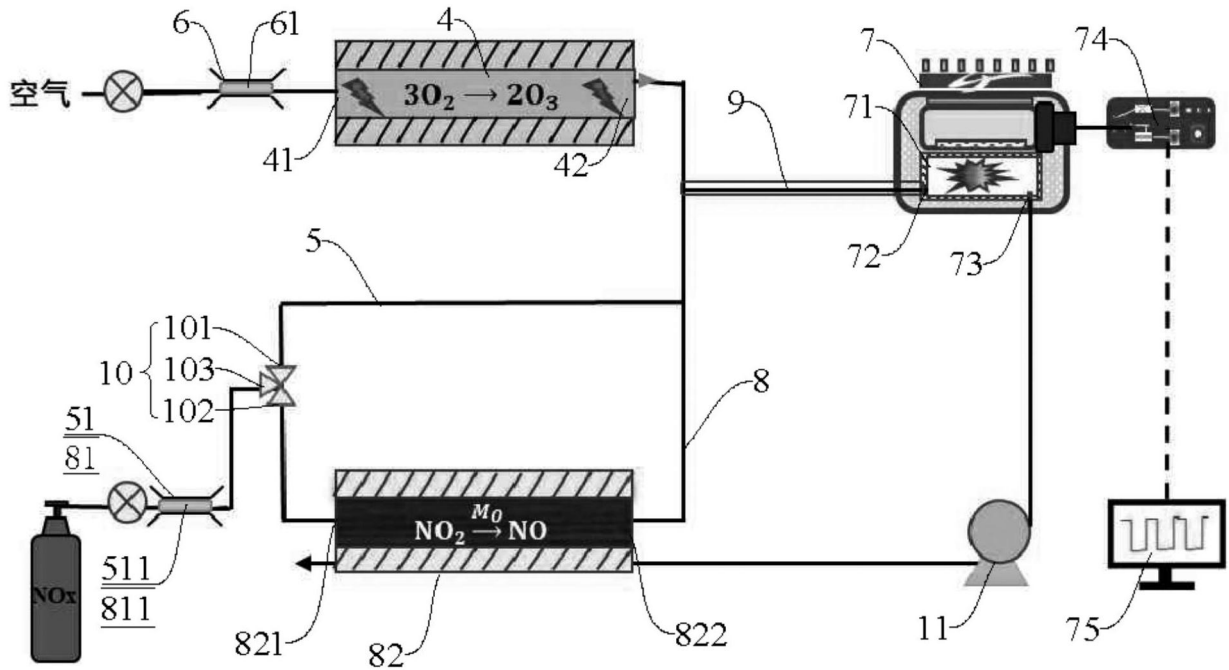


图7

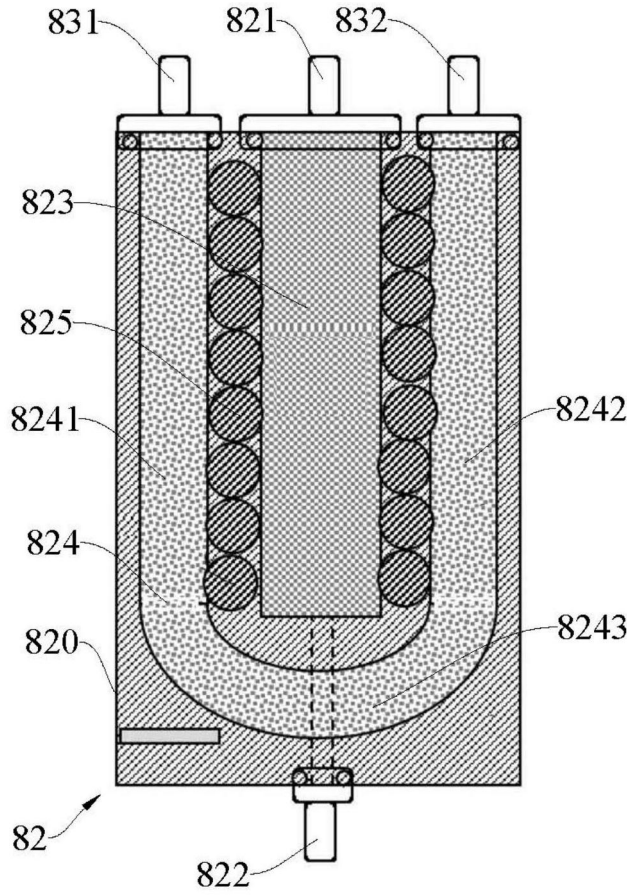


图8

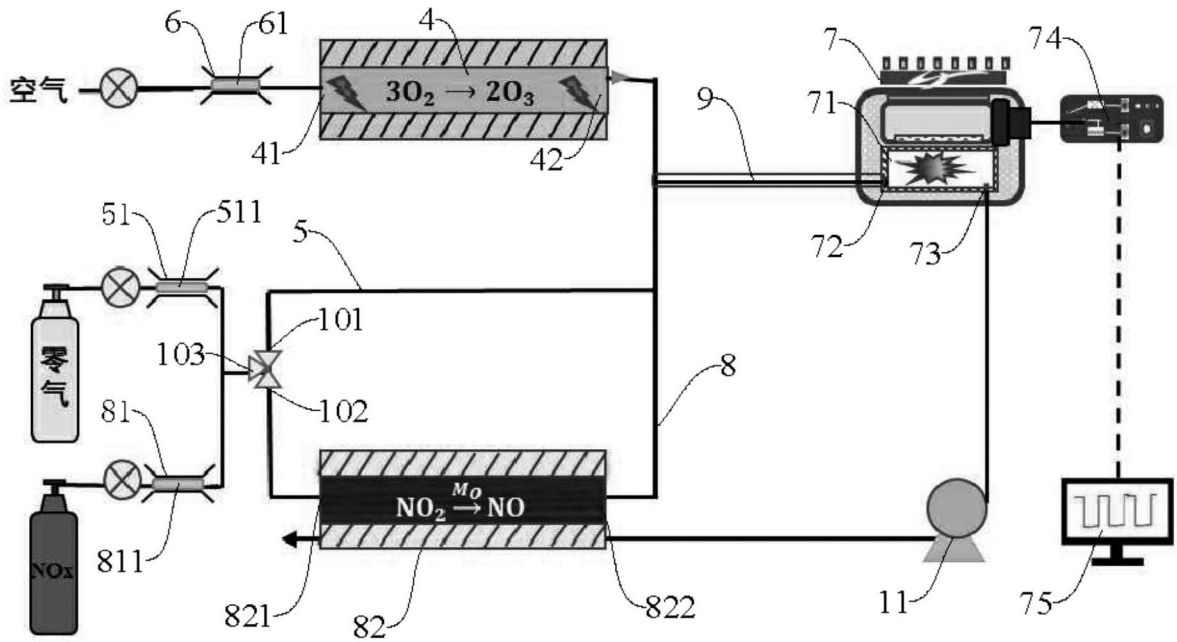


图9