



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111220294 B

(45) 授权公告日 2021.07.16

(21) 申请号 202010070170.2

(22) 申请日 2020.01.21

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 111220294 A

(43) 申请公布日 2020.06.02

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所  
地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

专利权人 中国航空工业集团公司北京长城航空测控技术研究所

(72) 发明人 李飞 林鑫 余西龙 杨秋临  
李欣 黄漫国

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11390

代理人 胡剑辉

(51) Int.Cl.

G01K 11/00 (2006.01)

G01K 15/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 106153573 A, 2016.11.23

CN 106911055 A, 2017.06.30

CN 102183316 A, 2011.09.14

CN 107941751 A, 2018.04.20

JP H11281494 A, 1999.10.15

US 2015377750 A1, 2015.12.31

审查员 张丽萍

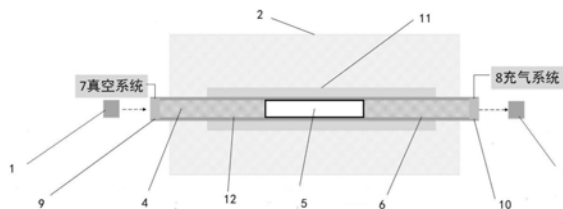
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于三段式管式炉的TDLAS温度标定系统及方法

(57) 摘要

本发明实施例涉及一种基于三段式管式炉的TDLAS温度标定系统及方法包括:TDLAS发射端,三段式管式炉以及TDLAS接收端;所述TDLAS发射端设置于所述三段式管式炉的一侧,用于向所述三段式管式炉内发射激光信号,所述激光信号穿过所述三段式管式炉内部的待测气流区域后由所述三段式管式炉射出,射出后的激光信号被设置于所述三段式管式炉另一侧的TDLAS接收端接收,以获取所述待测气流区域的内的气体温度。由此,可以解决现有方案无法满足更高标定温度、更宽标定波段、更弱吸收谱线的问题,设计了一种稳定、可溯源的基于管式炉的温度标定系统。一方面可以提供沿光程均匀的已知温度气体,另一方面,通过改变充气系统的气瓶和雾化器可以改变标定气体的温度、压力和组分。



1. 一种基于三段式管式炉的TDLAS温度标定装置,其特征在于,包括:TDLAS发射端,三段式管式炉以及TDLAS接收端;

所述TDLAS发射端设置于所述三段式管式炉的一侧,用于向所述三段式管式炉内发射激光信号,所述激光信号穿过所述三段式管式炉内部的待测气流区域后由所述三段式管式炉射出,射出后的激光信号被设置于所述三段式管式炉另一侧的TDLAS接收端接收,以获取所述待测气流区域的内的气体温度;

所述三段式管式炉包括:密封管道,所述密封管道内顺次设有第一导光柱、多孔管以及第二导光柱,所述第一导光柱和所述第二导光柱用于隔离所述三段式管式炉两侧的低温区域,所述多孔管的内部设有所述待测气流区域;

所述三段式管式炉还包括:导热管,所述导热管设置于所述三段式管式炉的内部,所述导热管的内径与所述密封管道的外径贴合,用于传导和均匀化所述密封管道内部的温度分布,以及防止所述密封管道发生变形。

2. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述第一导光柱通过第一密封法兰与真空系统连接,通过所述真空系统将所述三段式管式炉内的气体抽出;

所述第二导光柱通过第二密封法兰与充气系统连接,通过所述充气系统向所述三段式管式炉内充入标定气体。

3. 根据权利要求2所述的装置,其特征在于,所述第一密封法兰与所述第二密封法兰上分别焊接有第一金属管道和第二金属管道,所述第一密封法兰与所述第二密封法兰的材料为低膨胀系数的不锈钢或耐高温合金。

4. 根据权利要求3所述的装置,其特征在于,所述真空系统包括:真空泵、第一阀门和第一电加热带;

所述真空泵通过所述第一金属管道与所述第一密封法兰连接,所述第一阀门设置于所述第一金属管道上,所述第一电加热带设置于所述第一金属管道外侧,用于对所述第一金属管道 加热,使其保持在110℃以上,保证第一金属管道内部的高浓度水蒸气不凝结。

5. 根据权利要求3所述的装置,其特征在于,所述充气系统包括:标气瓶、第二阀门、水箱、高纯氮气瓶、雾化器、第三阀门以及第二电加热带;

所述标气瓶与所述第二金属管道连接,且所述第二阀门设置于所述标气瓶与所述第二金属管道之间的管路上,所述雾化器的一端通过所述第二金属管道与所述第二密封法兰连接,所述第三阀门设置于所述第二金属管道上,所述雾化器的另一端连接有所述水箱与所述高纯氮气瓶,所述第二电加热带设置于所述第二金属管道外侧,用于对所述第二金属管道 加热。

6. 一种基于三段式管式炉的TDLAS温度标定方法,采用权利要求1-5任一所述的一种基于三段式管式炉的温度标定系统,其特征在于,包括:

将三段式管式炉内待测气流区域的温度设为目标温度,以及将第一导光柱与第二导光柱内的温度设为环境温度;

采用真空系统对所述三段式管式炉进行抽气,至所述三段式管式炉内为真空状态;

采用充气系统向所述三段式管式炉内充入标定气体,当所述目标温度与所述环境温度达到平衡后,进行保温;

调整TDLAS发射端和TDLAS接收端的光路,采用TDLAS发射端向所述待测气流区域发射

激光信号,由所述TDLAS接收端接收射出的激光信号;

根据射出的激光信号确定所述待测气流区域的温度;

更新所述目标温度以及环境温度,重复上述步骤,直至获取标定温度区域内多个温度数据。

## 一种基于三段式管式炉的TDLAS温度标定系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明实施例涉及燃烧器和发动机中气体温度的非接触式光谱测试研究技术领域,尤其涉及一种基于三段式管式炉的TDLAS温度标定系统及方法。

### 背景技术

[0002] 吸收光谱技术是光谱学的重要分支,人类开始注意到穿过大气透射到地球上的太阳光光谱的时候,就开始了吸收光谱的研究了。受制于光源器件,直到上世纪六十年代末激光器发明之后,吸收光谱技术才快速发展,伴随着激光器的进步,吸收光谱从铅盐激光器,到八十年代,的可调谐染料激光器,再到九十年代的单模InGaAsP激光器。由于通讯技术的强力推动,在九十年代半导体材料和激光器技术发展迅猛,小体积,室温操作的窄线宽半导体激光器成为主力,发展出了本专利关注技术-可调谐二极管吸收光谱技术(TDLAS),它以窄线宽可调谐二极管激光器为光源,经过高频扫描,调制激光器的输出,扫描吸收的精细谱线,利用光线吸收率或调制信号定出温度。

[0003] 国外在上世纪90年底末,将TDLAS技术广泛应用到航空发动机、等离子诊断、微重力燃烧诊断、燃烧控制、汽车发动机和工业锅炉等方面。国内方面,本世纪初,多家单位开展了基于TDLAS的环境污染检测和气体浓度测量方法研究,2006年起,中科院力学所李飞等人在国内率先将TDLAS技术应用于燃烧测量(李飞,余西龙,陈立红,张新宇。用于超燃冲压发动机燃烧室温度测量的TDLAS系统设计。第七届全国实验流体力学学术会议,北戴河,2007年8月),并且利用TDLAS技术在国际上首次获得超声速燃烧燃烧室内的气流温度和速度,得到燃烧效率这一关键数据。目前国内在TDLAS技术领域的研究较为丰富,应用场合众多。

[0004] 针对航空和航天发动机,TDLAS的关键难点是测温精度的标定,这也是该技术在基础研究方面的关键难点。针对TDLAS的测温标定,国内外做出了较多尝试,例如专利201310048162.8TDLAS温度校准系统,使用恒温槽内的温度来校准TDLAS测温精度,但该标定温度仅在数百K以下;美国斯坦福大学RK.Hanson小组发表了一系列的TDLAS技术和应用文章,他们在TDLAS标定方面,使用高温管式炉和自制的标定腔标定TDLAS测温精度,最高测温约1200K(Liu X,Zhou X,Jeffries J B and Hanson R K.Experimental study of H<sub>2</sub>O spectroscopic parameters in the near-IR(6940-7440cm<sup>-1</sup>) for gas sensing applications at elevated temperature.Journal of Quantitative spectroscopy& Radiative Transfer.2007(103):565-577)。

[0005] 类似结构的国内外还有数家单位使用,例如国内浙江大学王飞团队,美国弗吉尼亚理工大学马林团队等。这一标定设备使用石英材质的腔体,中心温度均匀区域的尺寸较小,小于20cm,两侧使用真空石英管排除周围低温区域的影响。这一装置设计使得具有如下不足:1) 测温上限仅为1200K,属于中低温区,远远不能满足TDLAS对于燃烧和发动机测温的需求(温度一般大于1500K);2) 石英管使得其限制了TDLAS的波段,最大波长仅为2.3um,远远不能满足近年来TDLAS向中红外波段的发展;3) 该标定腔体的管道为单层管道,轴向导热能力一般,不能使得气室内部的气流温度足够均匀,因此气室长度严重受限,一般小于

20cm,不能满足大量弱吸收谱线的标定需求。

## 发明内容

[0006] 为了解决现有技术中无法满足更高标定温度、更宽标定波段、更弱吸收谱线的问题,本发明实施例提供了一种基于三段式管式炉的TDLAS温度标定系统及方法。

[0007] 第一方面,本申请实施例提供了一种基于三段式管式炉的TDLAS温度标定系统,包括:

[0008] 包括:TDLAS发射端,三段式管式炉以及TDLAS接收端;

[0009] 所述TDLAS发射端设置于所述三段式管式炉的一侧,用于向所述三段式管式炉内发射激光信号,所述激光信号穿过所述三段式管式炉内部的待测气流区域后由所述三段式管式炉射出,射出后的激光信号被设置于所述三段式管式炉另一侧的TDLAS接收端接收,以获取所述待测气流区域的内的气体温度。

[0010] 在一个可能的实施方式中,所述三段式管式炉包括:密封管道,所述密封管道内顺次设有第一导光柱、多孔管以及第二导光柱,所述第一导光柱和所述第二导光柱用于隔离所述三段式管式炉两侧的低温区域,所述多孔管的内部设有所述待测气流区域。

[0011] 在一个可能的实施方式中,所述第一导光柱通过第一密封法兰与真空系统连接,通过所述真空系统将所述三段式管式炉内的气体抽出;

[0012] 所述第二导光柱通过第二密封法兰与充气系统连接,通过所述充气系统向所述三段式管式炉内充入标定气体。

[0013] 在一个可能的实施方式中,所述三段式管式炉还包括:导热管,所述导热管设置于所述三段式管式炉的内部,所述导热管的内径与所述密封管道的外径贴合,用于传导和均匀化所述密封管道内部的温度分布,以及防止所述密封管道发生变形。

[0014] 在一个可能的实施方式中,所述第一密封法兰与所述第二密封法兰上分别焊接有第一金属管道和第二金属管道,所述第一密封法兰与所述第二密封法兰的材料为低膨胀系数的不锈钢或耐高温合金。

[0015] 在一个可能的实施方式中,所述真空系统包括:所述第一密封法兰与所述第二密封法兰上分别焊接有用于所述抽气的第一金属管道和标定气体填充的第二金属管道,所述第一密封法兰与所述第二密封法兰的材料为低膨胀系数的不锈钢或耐高温合金。

[0016] 在一个可能的实施方式中,所述真空系统包括:真空泵、第一阀门和第一电加热带;

[0017] 所述真空泵通过所述第一金属管道与所述第一密封法兰连接,所述第一阀门设置于所述第一金属管道上,所述第一电加热带设置于所述第一金属管道外侧,用于对所述第一金属管道加热,使其保持在110℃以上,保证第一金属管内部的高浓度水蒸气不凝结。

[0018] 在一个可能的实施方式中,所述充气系统包括:标气瓶、第二阀门、水箱、高纯氮气瓶、雾化器、第三阀门以及第二电加热带;

[0019] 所述标气瓶与所述第二金属管道连接,且所述第二阀门设置于所述标气瓶与所述第二金属管道之间的管路上,所述雾化器的一端通过所述第二金属管道与所述第二密封法兰连接,所述第三阀门设置于所述第二金属管道上,所述雾化器的另一端连接有所述水箱与所述高纯氮气瓶,所述第二电加热带设置于所述第二金属管道外侧,用于对所述第二金

属管加热。

[0020] 第二方面,本申请实施例提供了一种基于三段式管式炉的TDLAS温度标定方法,采用上述的一种基于三段式管式炉的温度标定系统,包括:

[0021] 将三段式管式炉内待测气流区域的温度设为目标温度,以及将第一导光柱与第二导光柱内的温度设为环境温度;

[0022] 采用真空系统对所述三段式管式炉进行抽气,直至所述三段式管式炉内为真空状态;

[0023] 采用充气系统向所述三段式管式炉内充入标定气体;

[0024] 当所述达到目标温度与所述环境温度达到平衡后,进行保温;

[0025] 调整TDLAS发射端和TDLAS接收端的光路,采用TDLAS发射端向所述待测气流区域发射激光信号,由所述TDLAS接收端接收射出的激光信号;

[0026] 根据射出的激光信号确定所述待测气流区域的温度;

[0027] 更新所述目标温度以及环境温度,重复上述步骤,直至获取标定温度区域内多个温度数据。

[0028] 本发明实施例提供一种基于三段式管式炉的温度标定系统及方法,解决现有方案无法满足更高标定温度、更宽标定波段、更弱吸收谱线的问题,提出一种稳定、可溯源的基于高温管式炉和双层、三段管道的恒温式TDLAS高温标定系统和方法。该装置一方面可以提供沿光程均匀的已知温度高温气体,另一方面通过改变充气系统的气瓶和雾化器可以改变标定气体的温度、压力和组分。

## 附图说明

[0029] 此处的附图被并入说明书中并构成本说明书的一部分,示出了符合本发明的实施例,并与说明书一起用于解释本发明的原理。

[0030] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,对于本领域普通技术人员而言,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0031] 图1为本申请实施例提供了一种基于三段式管式炉的TDLAS温度标定系统的示意图;

[0032] 图2为本申请实施例提供的第一法兰的示意图;

[0033] 图3为本申请实施例提供的真空装置的示意图;

[0034] 图4为本申请实施例提供的充气装置的示意图;

[0035] 图5为本申请实施例提供的标定原始数据的示意图;

[0036] 图6为本申请实施例提供了一种基于三段式管式炉的TDLAS温度标定方法的流程图;

[0037] 图7为标气充入后在三段式管式炉内部的气体温度随时间的变化曲线;

[0038] 图8为本发明实施例中的TDLAS测温结果与三段式管式炉内的温度对比数据。

## 具体实施方式

[0039] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例

中的附图,对本发明实施例中的技术方法进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例只是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动成果前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明的保护范围。

[0040] 需要说明,若本发明实施例中有涉及方向性指示(诸如上、下、左、右、前、后等),则该方向性指示仅用于解释在某一特定姿态下各部件之间的相对位置关系,运动情况等,如果该特定姿态发生改变时,则该方向性指示也相应地随之改变。

[0041] 图1为本申请实施例提供的一种基于三段式管式炉的TDLAS温度标定系统的示意图,如图1所示,本申请实施例提供了一种基于三段式管式炉的TDLAS温度标定系统,包括:TDLAS发射端1,三段式管式炉2以及TDLAS接收端3;

[0042] TDLAS发射端1设置于三段式管式炉2的一侧,用于向三段式管式炉2内发射激光信号,激光信号穿过三段式管式炉内部的待测气流区域后由三段式管式炉2射出,射出后的激光信号被设置于三段式管式炉另一侧的TDLAS接收端3接收,以获取待测气流区域的内的气体温度。

[0043] 本实施例中的三段式管式炉采用高温硅钼棒发热,隔热层为纤维棉毯,其长时间最高使用温度1700℃,炉体有效加热区的长度120cm,炉管长度160cm,内径8cm,功率20kW。

[0044] 如图1所示,本实施例中的三段式管式炉2包括:密封管道12,密封管道12内顺次设有第一导光柱4、多孔管5以及第二导光柱6,第一导光柱4和第二导光柱6用于隔离三段式管式炉两侧的低温区域,多孔管的内部设有待测气流区域。

[0045] 其中,密封管道是耐高特种99刚玉管,具有良好的高温气密性。长时间使用温度上限1750℃,内径3.5cm,壁厚0.5cm,长度160cm。

[0046] 第一导光柱和第二导光柱为单晶蓝宝石材质,是具有极佳刚度和耐高温性能的光学材料,在宽波段(0.2-5μm)的良好透光性,长时间使用的温度上限1800℃,第一导光柱和第二导光柱的直径3cm,长度40cm,两端光学抛光。

[0047] 多孔管5为耐高温厚壁99刚玉管,其长时间使用温度上限1750℃,壁厚0.5cm,长度40cm,管壁周向开具数十个通孔(直径3mm)用于气体扩散。

[0048] 本实施例中的第一导光柱4通过第一密封法兰9与真空系统7连接,通过真空系统7将三段式管式炉2内的气体抽出;第二导光柱6通过第二密封法兰10与充气系统8连接,通过充气系统8向三段式管式炉2内充入标定气体。

[0049] 如图2所示,第一密封法兰9和第二密封法兰10均为低膨胀系数的高温合金钢,为双圆环结构,外径6cm,中心通孔直径2.5cm。第一导光柱4和第二导光柱6分别被固定于第一密封法兰9和第二密封法兰10的本体内部,用高温密封胶密封。第一密封法兰9与第二密封法兰10上分别焊接有第一金属管和第二金属管。

[0050] 如图3所示,真空系统7包括机械式真空泵71、第一阀门72和73电加热带,真空泵71通过第一金属管道70与第一密封法兰9连接,第一阀门72设置于第一金属管道70上,第一电加热带73设置于第一金属管道70外侧。具体的,真空系统7通过第一金属管道70与第一密封法兰9连接,用于对密封管道抽真空,在针对H<sub>2</sub>O的吸收测温实验中,电加热带开启,对管道加热,使其保持在110℃以上,保证内部的高浓度水蒸气不凝结。

[0051] 如图4所示,充气系统8包括标气瓶81,第二阀门82,水箱83,高纯氮气管84,雾化器

85,第三阀门86,第二电加热带87,标气瓶81与第二金属管道连接,且第二阀门82设置于标气瓶81与第二金属管道80之间的管路上,雾化器85的一端通过第二金属管道80与第二密封法兰10连接,第三阀门86设置于第二金属管道80上,雾化器85的另一端连接有水箱83与高纯氮气瓶84。

[0052] 具体的,在以H<sub>2</sub>O为吸收组分的TDLAS标定时,关闭标气瓶81和第二阀门82,开启水箱83,高纯氮气瓶84,雾化器85,第三阀门86第二电加热带87,用高纯氮气雾化水蒸气,通过管道充入第二密封法兰10,第二电加热带对管道加热,使其保持在110℃以上,保证内部的高浓度水蒸气不凝结。当以非H<sub>2</sub>O为吸收组分的TDLAS测温标定时,例如CO,CO<sub>2</sub>和N<sub>2</sub>等气体,关闭第三阀门和第二电加热带,标气瓶81中充填对应标定气体,开启第二阀门82,对密封管道12内充填标定气体。

[0053] 如图1所示,本实施例中的三段式管式炉2还包括:导热管11,导热管11设置于三段式管式炉2的内部,导热管11的内径与密封管道12的外径贴合,用于传导和均匀化密封管道内部的温度分布,以及防止密封管道12发生变形。

[0054] 导热管11为耐高温厚壁99刚玉管,其长时间使用温度上限1750℃,壁厚1.5cm,长度80cm。

[0055] 本实施例中的TDLAS发射1,安置于第一密封法兰9的左侧,其发出的激光信号与第一密封法兰的轴线平行,该激光信号穿过第一密封法兰9,第一导光柱4,多孔管5,第二导光柱6以及第二密封法兰10,最后射出并由TDLAS接收端3收集并转为电信号。另外,TDLAS发射端2、TDLAS接收端3和第一密封法兰9以及第二密封法兰10之间的自由光路由干燥氮气的吹除保护,防止空气中的水蒸气,二氧化碳气体对测量的干扰。该系统获得标定原始数据如图5所示。

[0056] 本实施例选择的三段式管式炉,炉体长时间运行下的最大炉温为1700℃,用于在内部产生高温环境,管式炉的炉管为直通型,内部直径≥8cm;选择耐高温导热管和密封管道,两种管道的长时间温度上限≥1700℃,密封管道具有在高温下封闭气体的密封能力,导热管无密封要求,但壁厚更粗,热沉大,轴向导热能力强。导热管套在密封管道外,两者接触并可热传导。密封管道内部含有三段,左右两侧为导光柱,中间为多孔管,三者被密封管两端的密封法兰挤压,相互顶紧。以此种结构解决了现有方案无法满足更高标定温度、更宽标定波段、更弱吸收谱线的问题。

[0057] 图6为本申请实施例提供的一种基于三段式管式炉的TDLAS温度标定方法的流程图,如图6所示,本申请实施例提供了一种基于三段式管式炉的TDLAS温度标定方法,采用上述的一种基于三段式管式炉的TDLAS温度标定系统,该方法包括:

[0058] 步骤S11,将三段式管式炉内待测气流区域的温度设为目标温度,以及将第一导光柱与第二导光柱内的温度设为环境温度;

[0059] 步骤S12,采用真空系统对三段式管式炉进行抽气,直至三段式管式炉内为真空状态;

[0060] 步骤S13,采用充气系统向三段式管式炉内充入标定气体,当达到目标温度与环境温度达到平衡后,进行保温;

[0061] 步骤S14,调整TDLAS发射端和TDLAS接收端的光路,采用TDLAS发射端向待测气流区域发射激光信号,由TDLAS接收端接收射出的激光信号;



[0062] 步骤S15,根据射出的激光信号确定待测气流区域的温度;

[0063] 步骤S16,更新目标温度以及环境温度,重复上述步骤,直至获取标定温度区域内多个温度数据。

[0064] 本实施例中,以该系统的炉温(目标温度与环境温度达到平衡后的温度)对TDLAS测量得到的温度进行修正和校准,可以给出TDLAS的有效测温精度。这一方法可以实现500K-1900K的温度范围,标定源的温度误差约为 $\pm 0.5\%$ 。

[0065] 在本实施例的加热和保温阶段,多孔管内部的气体温度变化典型曲线如图7所示,待测气流区域的温度在2小时左右达到平衡,温度波动在5k左右。该系统的在中高温段(1000-1900K)的典型温度标定结果如图8所示。

[0066] 以上对发明的具体实施方式进行了详细说明,但是作为范例,本发明并不限制与以上描述的具体实施方式。对于本领域的技术人员而言,任何对该发明进行的同等修改或替代也都在本发明的范畴之中,因此,在不脱离本发明的精神和原则范围下所作的均等变换和修改、改进等,都应涵盖在本发明的范围内。

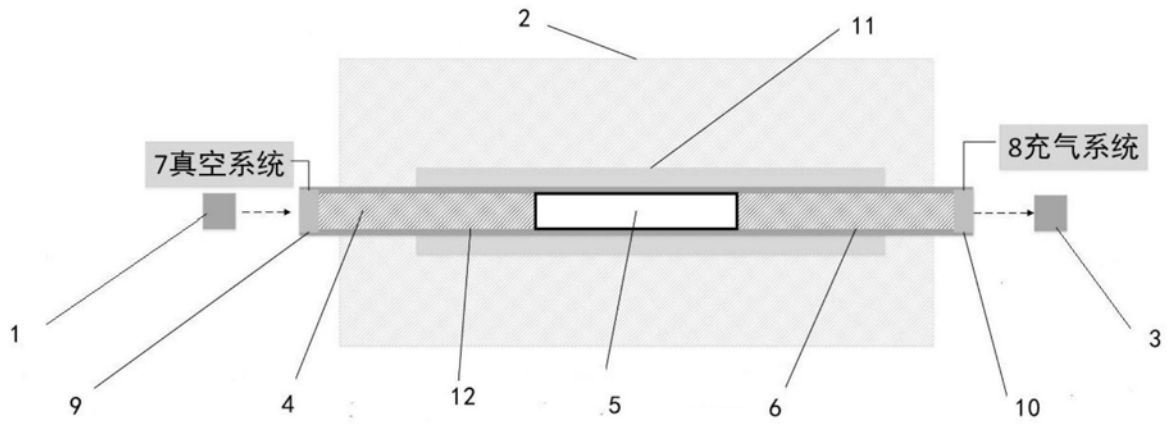


图1

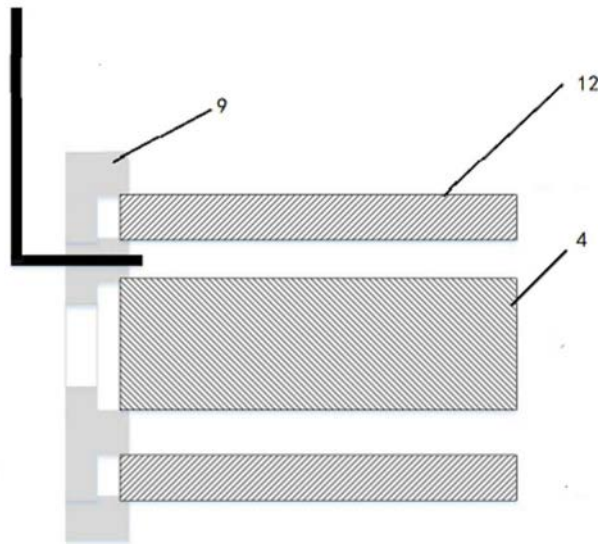


图2

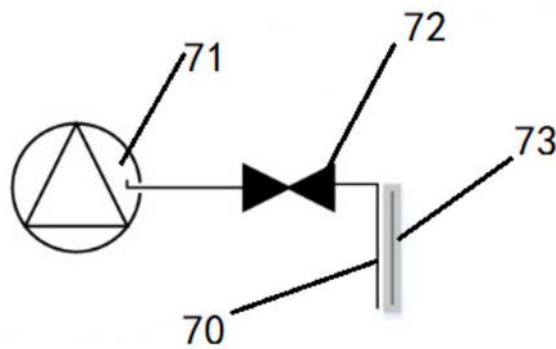


图3

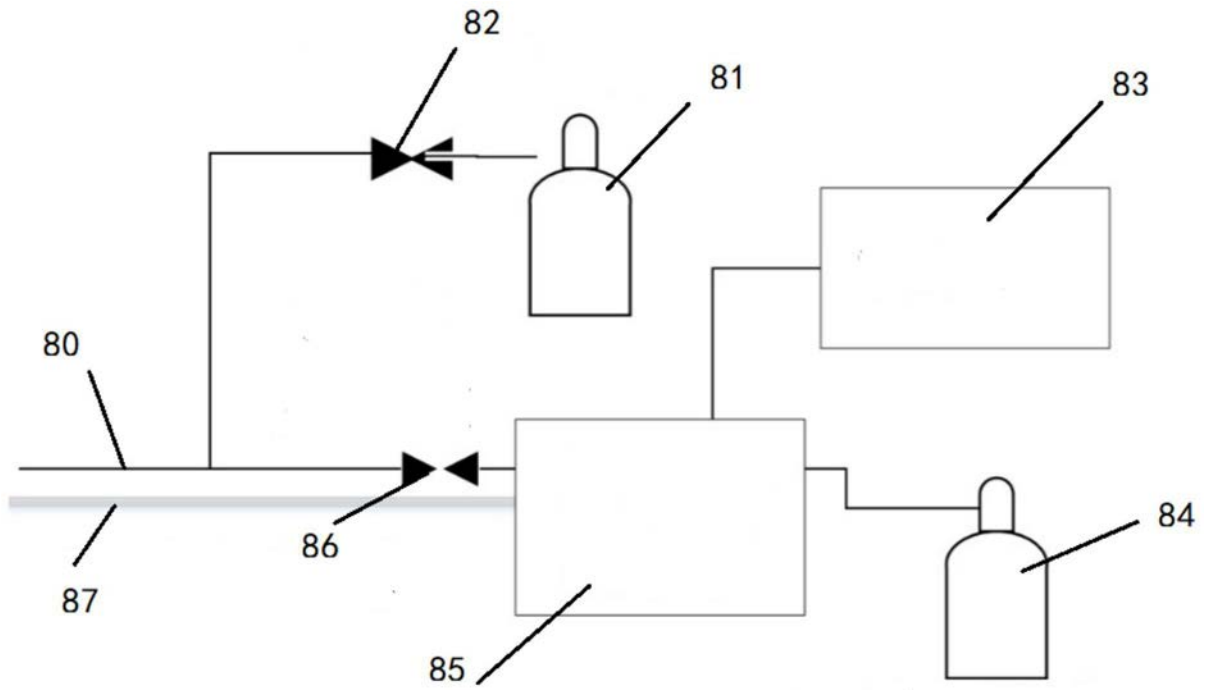


图4

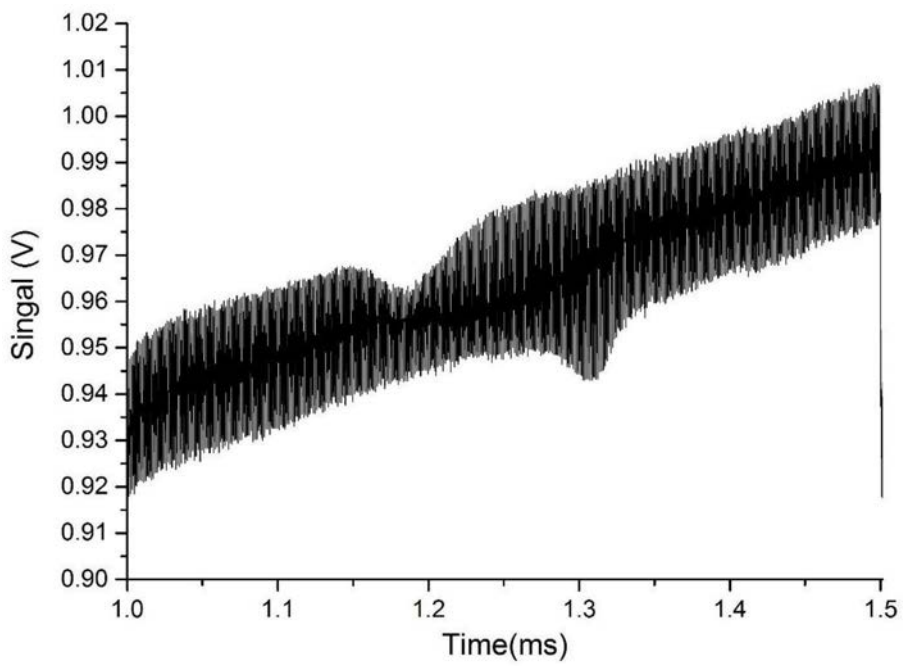


图5

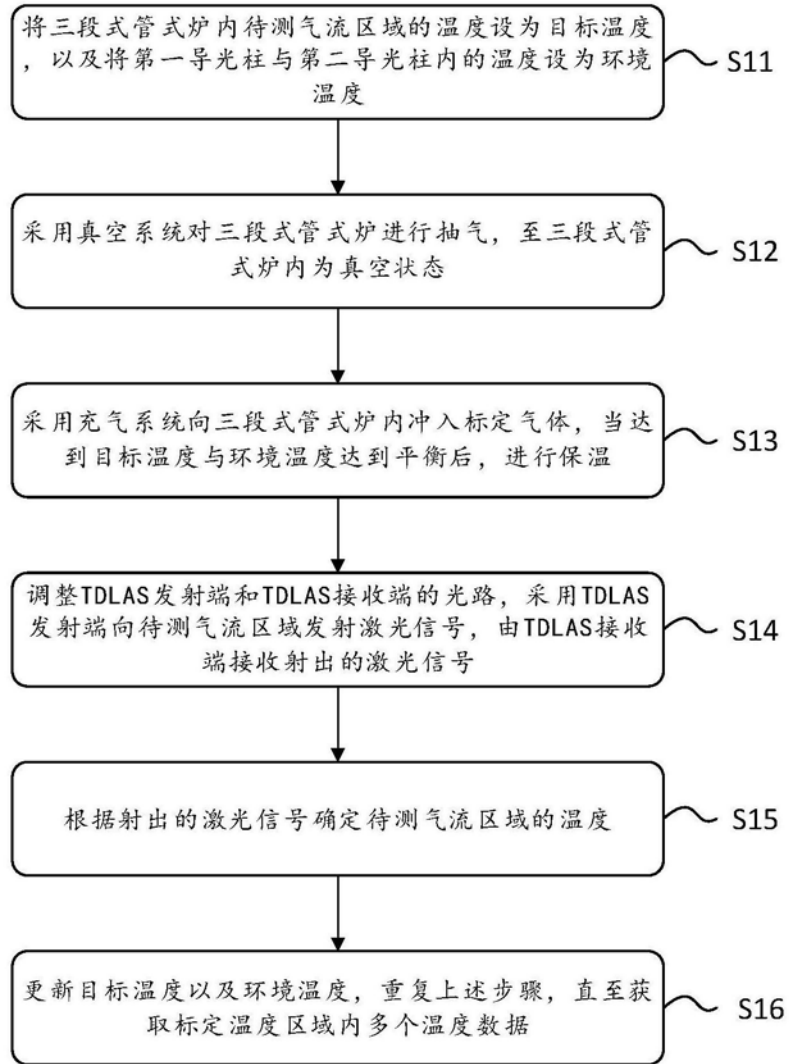


图6

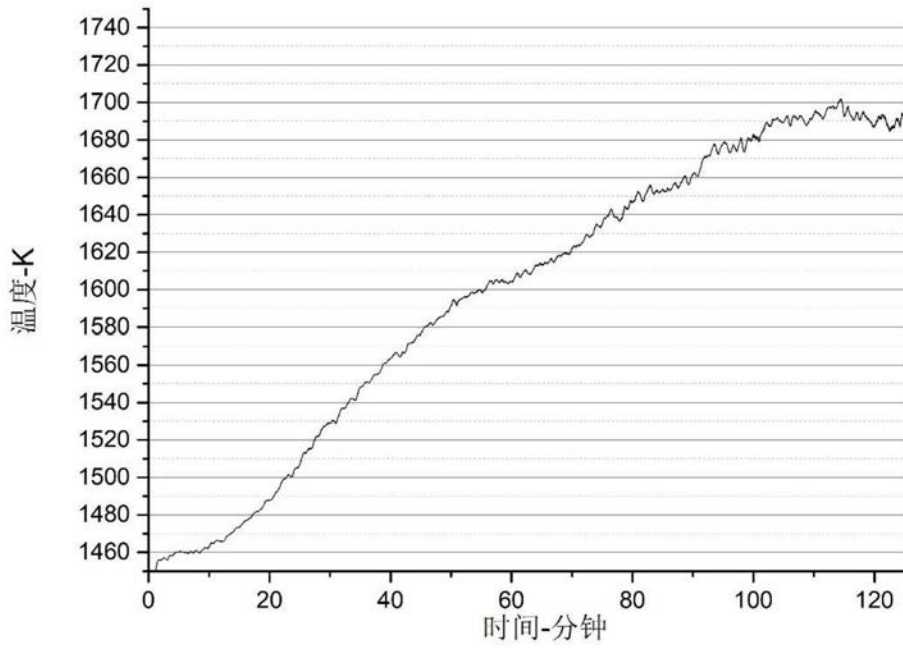


图7

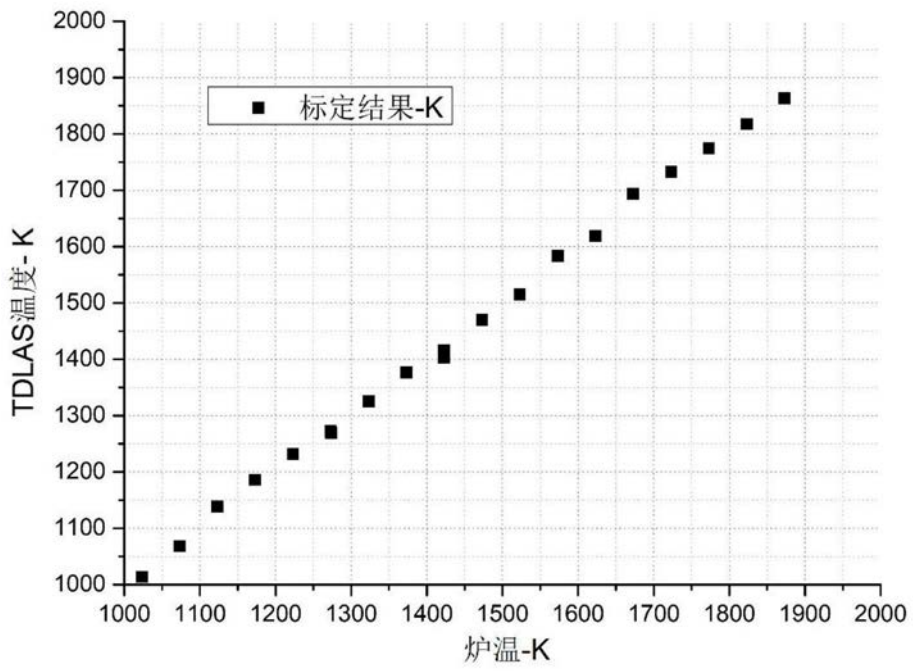


图8