



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106989846 B

(45)授权公告日 2019.05.17

(21)申请号 201710362836.X

(22)申请日 2017.05.22

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106989846 A

(43)申请公布日 2017.07.28

(73)专利权人 北京航空航天大学

地址 100191 北京市海淀区学院路37号

(72)发明人 马宏伟 杜伟 张振扬

(51)Int.Cl.

G01K 13/02(2006.01)

审查员 高玉江

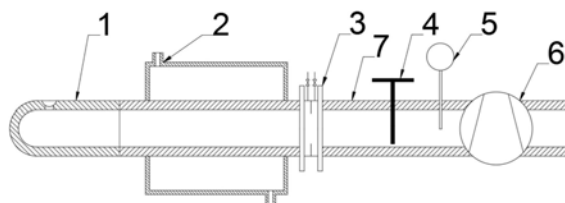
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

一种测量高温气流总温的装置

(57)摘要

本发明涉及一种对高温气流总温进行测量的装置。其特征为,包括头部1、冷却系统2、孔板流量计3、转换阀门4、气体分析仪5、真空泵6和主体7。其中,头部1安装在主体7上,穿过冷却系统2,与孔板流量计3相连,其后在主体7后半段上依次安装有转换阀门4、气体分析仪5和真空泵6。工作时,装置通过测量气体总压、气体成分、孔板流量计3前静压、静温以及孔板前后的静压差等流量参数,利用质量守恒和气体动力学原理,可反算出被测气流的总温。该装置具有可达测温上限高和测温精度高的特点。在测量气流总温的同时,能对被测气流的总压和气流成分进行测量。



1. 一种测量高温气流总温的装置,其特征在于:装置包括头部(1)、冷却系统(2)、孔板流量计(3)、转换阀门(4)、气体分析仪(5)、真空泵(6)和主体(7);头部(1)安装在主体(7)上,穿过冷却系统(2),与孔板流量计(3)相连,其后在主体(7)后半段上依次安装有转换阀门(4)、气体分析仪(5)和真空泵(6);测量时,进气嘴正对来流,当转换阀门(4)关闭时,真空泵(6)不工作,整个装置可作为一支总压探针,测量被测气流总压 $P^*$ ;当转换阀门(4)打开时,真空泵(6)抽气,调节装置背压,被测气流进入装置,使头部(1)进气嘴喉道处的气流流速达到音速时,测量孔板流量计(3)前静压 $P_1$ 、静温 $T_1$ ,孔板前后静压差 $\Delta P$ ;在气流进入真空泵(6)之前,气体分析仪(5)对被测气流成分进行分析,得到气流的绝热指数 $k$ ,进而利用以下公式计算可以得到被测气流的总温 $T^*$ ;

$$T^* = F_{cal} F_k \frac{P^{*2} T_1}{\varepsilon^2 P_1 \Delta P}$$

其中 $F_{cal}$ 是一个和装置几何结构有关的函数,通过标定得到; $F_k$ 是一个以气体绝热指数 $k$ 为自变量的函数; $\varepsilon$ 是孔板的可膨胀系数,代表气流通过孔板的可压缩性。

2. 按照权利要求1所述的一种测量高温气流总温的装置,其特征在于:头部(1)与主体(7)均为圆柱管路,外直径为6毫米至10毫米,头部(1)轴线与主体(7)轴线重合。

3. 按照权利要求1所述的一种测量高温气流总温的装置,其特征在于:装置头部(1)设置有进气喉道,采用球窝进气面,球窝直径为1至3毫米。

4. 按照权利要求1所述的一种测量高温气流总温的装置,其特征在于:所述冷却系统(2)采用水冷或气冷的冷却形式,来降低被测气流温度。

5. 按照权利要求1所述的一种测量高温气流总温的装置,其特征在于:所述头部(1)采用陶瓷耐高温材料制作。

6. 按照权利要求1所述的一种测量高温气流总温的装置,其特征在于:所述主体(7)采用不锈钢材料制作。

## 一种测量高温气流总温的装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及高温流场测试技术领域,特别是涉及一种对高温气流总温进行测量的装置,能防止装置在高温流场的测试中被高温来流损坏。

### 背景技术

[0002] 目前,在高温气流温度测量领域,发展最为成熟、使用最多的测温手段是热电偶测温技术。由于受到偶丝熔点的限制,标准热电偶的测温上限在1800℃以下,非标准热电偶一般在2400℃以下。由于浸入气流中的热电偶会和周围环境之间进行辐射换热,以及和支座之间进行热传导,所以被测气流温度越高,引入的误差就越大;在被测气流速度较高时,还会引入较大的速度误差;另外,由于热电偶材质的劣化、以及在测量高温燃气时热电偶的催化效应等也会引起误差。所有的这些误差将会使热电偶所测温度值偏离真实温度值,严重时,这种偏离可高达200-300℃。通过在热电偶外面加装滞止罩或屏蔽罩、合理的热电偶探针设计、一定的数据补偿方式等手段,可以有效的减小各种误差的影响,但是无法根除,而且会增加热电偶结构上的复杂程度。

[0003] 多年来,人们在提高热电偶的测温上限和测温精度方面进行了深入细致的研究,比如公开号为CN1076781A的发明专利中提出了一种补偿式高温气流温度测量方法,在普通热电偶测杆端部装有两个定性尺寸不同的热电偶探头,在两探头内分别装设有各自的电加热炉芯,在两探头外表面分别配置有各自的热电偶节点,通过保证两节点处的比加热功率相同,温度相等,就可以测量出高温气流的温度,这种方法可以有效的提高热电偶的测温精度。公开号为CN85203670U的实用新型专利中提出了一种双用高温气流温度计,通过抽风机抽气,可增大通过热电偶的对流换热,减小辐射误差,同时可完成对被测气流的取样,但是这两种方法依然受到热电偶测温上限的限制。公开号为CN102141447A的发明专利中,对温度的测量上限受到钢质探针本身特性的限制;并且虽然同是对总温、总压进行了测量,但对不同参数测量时,在空间上的取样点位置并不重合,所测参数并非严格意义上同一点的取样结果。

[0004] 除了热电偶以外,燃气分析测温技术、CARS测温技术、光纤测温技术、声学测温技术等测温手段近年来也得到了迅速的发展,但这些方法都具有测温成本高、测温过程繁复等问题,距离大规模应用还有很大差距。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是:针对高温气流,提供一种测温上限高、测温精度高的温度测量手段,并能够同时对被测气流的总压和气流成分进行测量。

[0006] 本发明的技术解决方案:

[0007] 一种测量高温气流总温的装置包括头部1、冷却系统2、孔板流量计3、转换阀门4、气体分析仪5、真空泵6和主体7;头部1安装在主体7上,穿过冷却系统2,与孔板流量计3相连,其后在主体7后半段上依次安装有转换阀门4、气体分析仪5和真空泵6。

[0008] 进一步,头部1与主体7均为圆柱管路,外直径为6毫米至10毫米,头部1轴线与主体7轴线重合。

[0009] 进一步,装置头部1设置有进气喉道,采用球窝进气面,球窝直径为1至3毫米。

[0010] 进一步,头部1可采用陶瓷等耐高温材料制作。

[0011] 进一步,主体7可以采用不锈钢等材料制作。

[0012] 进一步,测量时,进气嘴正对来流,当转换阀门4关闭时,真空泵6不工作,整个装置可作为一支总压探针,测量被测气流总压 $P^*$ ;当转换阀门4打开时,真空泵6抽气,调节装置背压,被测气流进入装置,使头部1进气嘴喉道处的气流流速达到音速时,测量孔板流量计3前静压 $P_1$ 、静温 $T_1$ ,孔板前后静压差 $\Delta P$ 。在气流进入真空泵6之前,气体分析仪5对被测气流成分进行分析,得到气流的绝热指数 $k$ ,进而利用公式计算可以得到被测气流的总温 $T^*$ 。整个过程中,在测量气流总温的同时,还得到了气流的总压和气流成分。

[0013] 进一步,所述冷却系统2可以采用水冷、气冷等多种冷却形式,来降低被测气流温度。

[0014] 一种测量高温气流总温的装置,其基本测量原理如下:

[0015] 当气流以音速通过进气嘴喉道时,根据气体动力学原理,通过喉道的气体质量流量为:

$$[0016] \quad \dot{m}_t = \sqrt{\frac{k}{R} \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}} \frac{P^*}{\sqrt{T^*}}} A_t$$

[0017] 其中 $k$ 为根据气体分析仪分析结果得到的气流绝热指数; $R$ 为气体常数; $P^*$ 、 $T^*$ 分别为被测气流的总压和总温; $A_t$ 为装置头部1喉道的流通面积。

[0018] 而当通过管路喉道的气流流过孔板流量计时,根据孔板流量计的测量公式,通过孔板流量计气流的质量流量为:

$$[0019] \quad \dot{m}_0 = \frac{C_0}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon A_0 \sqrt{\frac{2\Delta P P_1}{R T_1}}$$

[0020] 其中, $C_0$ 为孔板流量计的流出系数; $\beta$ 为孔板流量计的开孔直径比; $\varepsilon$ 是孔板的可膨胀系数,代表气流通过孔板的可压缩性,一般通过经验公式计算得到; $A_0$ 为孔板小孔的流通面积; $\Delta P$ 为孔板前后的静压差; $P_1$ 和 $T_1$ 分别为孔板前的静压和静温。

[0021] 根据质量守恒定律,喉道处的质量流量和孔板流量计所测质量流量相等,联立上述两个公式可得被测气流总温 $T^*$ 的计算公式为:

$$[0022] \quad T^* = \frac{1-\beta^4}{2C_0^2} \frac{A_t^2}{A_0^2} k \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}} \frac{P^{*2} T_1}{\varepsilon^2 P_1 \Delta P}$$

$$[0023] \quad \text{令 } \frac{1-\beta^4}{2C_0^2} \frac{A_t^2}{A_0^2} = F_{cal}, \quad k \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}} = F_k \text{ 则有:}$$

$$[0024] \quad T^* = F_{cal} F_k \frac{P^{*2} T_1}{\varepsilon^2 P_1 \Delta P}$$

[0025] 其中 $F_{cal}$ 是一个和装置几何结构有关的函数,可以通过标定得到,标定方法为让总

温已知的气流通过管路喉道和孔板流量计,测量得到各参数后反算出 $F_{cal}$ 值。 $F_k$ 是一个以气体绝热指数 $k$ 为自变量的函数,通过由气体分析仪分析得到气流的成分,即可得到 $k$ 值,从而计算得到 $F_k$ 。

[0026] 由此可知,只要根据:

[0027] (1) 测得被测气流的总压 $P^*$ ;

[0028] (2) 测得气流成分,得出气体绝热指数 $k$ ;

[0029] (3) 孔板流量计前的静压 $P_1$ 、静温 $T_1$ ;孔板前后的静压差  $\Delta P$ ;

[0030] 将各测量参数带入上述计算公式,即可计算得到被测气流的总温 $T^*$ 。

[0031] 本发明的有益效果是:

[0032] 1. 上述装置头部1需要浸入被测气流中,而由于所有的参数都是在管路喉道之后测量的,只需要考虑管路头部的耐温上限,所以头部1材料的耐温上限决定了装置的测温上限,选用耐温高的材料加工装置头部,可使装置测温上限提高。

[0033] 2. 在选用合适开孔直径比的孔板流量计3后,可使孔板前气流流速降到很低,气流的总温和静温差值很小,又由于气流流进管路喉道后即被冷却,孔板前气流温度很低,所以可以很精确的测量得到孔板前静温。就目前测量技术而言,压力测量的可达精度很高,即被测气流总压、孔板前静压、孔板前后静压差都可以很精确的测量得到。由于该方法不是直接测量气流温度,而是通过流量参数的测量来反算气流的总温,所以不会受到速度误差的影响,受热传导、热辐射的影响很小;而且不会存在热电偶测温中,由于偶丝材料劣化而引入的测量误差,所以该方法测量高温的可达精度很高。

[0034] 3. 该方法测温方式简单,气流总压、孔板前静压、孔板前后静压差的测量可以使用普通的压力传感器,孔板前气流温度很低,孔板前静温的测量可以使用价格便宜精度高的铂电阻温度传感器或低温热电偶等传感器,所以该方法的测温成本也很低。

## 附图说明

[0035] 附图为本发明装置的原理示意图。

[0036] 其中:1-头部,2-冷却系统,3-孔板流量计,4-转换阀门,5-气体分析仪,6-真空泵,7-主体。

## 具体实施方式

[0037] 附图所示为本发明装置的原理示意图,包括头部1、冷却系统2、孔板流量计3、转换阀门4、气体分析仪5、真空泵6和主体7。使用时,被测气流由头部1的进气嘴进入主体7,经冷却系统2冷却后,依次流过孔板流量计3和转换阀门4,在气体分析仪5处进行取样分析,最后流经真空泵6排出装置。

[0038] 工作时,进气嘴正对来流,关闭转换阀门4,此时测量被测气流的总压;打开转换阀门4,真空泵6抽气,气体分析仪5取样气流进行分析,得出气流成分,继续抽气使进气嘴的喉道部位达到音速,测量孔板流量计3前静压、静温,孔板前后静压差,带入计算公式可得出被测气流总温。

[0039] 本发明通过对探针头部合理选材,可以达到更高的测温上限;通过测量流量参数反算气流总温,避免了速度误差的影响,大大降低了热传导误差、热辐射误差的影响,可以

达到更高的精度。

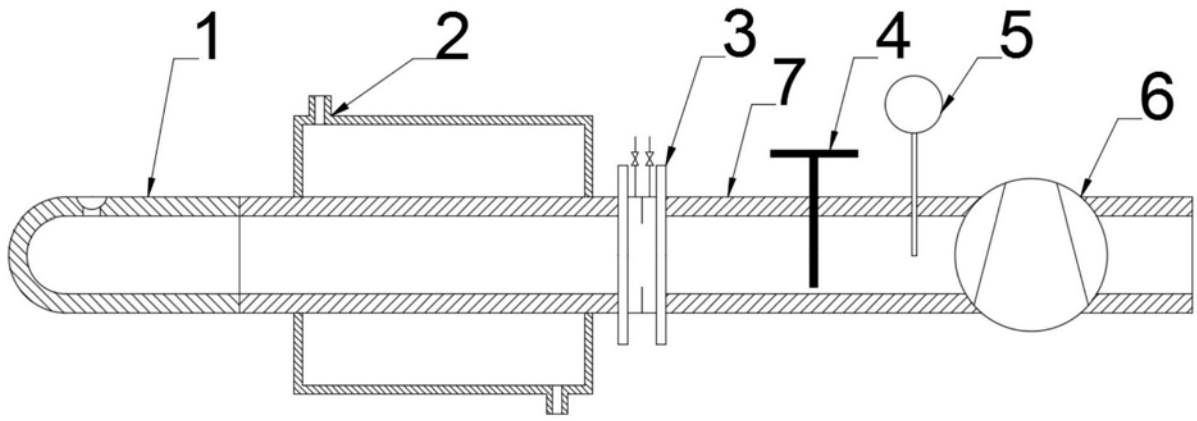


图1