(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 112903070 B
(45)授权公告日 2025.04.08

(21)申请号 202110306285.1
(22)申请日 2021.03.23
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112903070 A
(43)申请公布日 2021.06.04
(73)专利权人 青岛市计量技术研究院
地址 266101 山东省青岛市崂山区科苑纬四路77号
(72)发明人 宋述古 陈全森 张强 崔郦水 李忠 刘伟光
(74)专利代理机构 北京华仁联合知识产权代理有限公司 11588
专利代理师 陈建
(51)Int.Cl.
G01F 25/10(2022.01)
G05D 23/19(2006.01)
(56)对比文件
CN 214309056 U,2021.09.28
审查员 魏琳珊

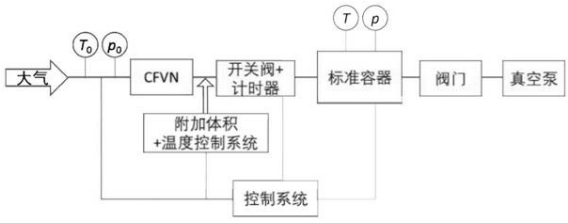
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种pVTt法气体流量标准装置中附加体积处的温度控制系统

(57)摘要

本发明涉及一种适用于pVTt法气体流量标准装置附加体积处的温度控制系统,可实现对通过被测临界流文丘里喷嘴(CFVN)后附加体积处的温度补偿,实现对附加体积处的温度控制,降低pVTt法气体标准装置的热平衡时间,提升pVTt法气体流量标准装置的测量效率。



CN 112903070 B

1.一种pVTt法气体流量标准装置中附加体积处的温度控制系统,其特征在于:

pVTt法气体流量标准装置包括临界流文丘里喷嘴、开关阀,标准容器和控制系统;在所述临界流文丘里喷嘴和开关阀之间具有附加体积;

所述附加体积一端连接所述临界流文丘里喷嘴,所述附加体积的另一端连接所述开关阀;

在所述附加体积处设置有温度控制系统,所述温度控制系统包括:加热部分,所述加热部分一端直接连接喷嘴出口,另一端延伸靠近制冷部分,所述加热部分中加热量的大小由电加热丝的加热功率控制,所述加热丝缠绕在所述附加体积上,所述附加体积为管道;制冷部分一端与加热部分相邻,另一端靠近所述pVTt法气体流量标准装置的标准容器,所述制冷部分制冷量的大小由冷却循环水的流量大小控制;所述制冷部分包括水泵、冷却水箱以及冷却水管,所述冷却水管缠绕在所述附加体积上,通过冷却水管对所述附加体积进行降温;

所述温度控制系统对所述附加体积处的温度进行调控,启动真空泵,对所述标准容器进行抽取真空;标准装置的控制系统实时测量标准容器内的温度、压力,待温度、压力参数平衡后,记录标准容器内的温度、压力,表示为起始温度、压力,即T_i,p_i;将pVTt法气体流量标准装置的标准容器内的压力抽至起始压力低于200 Pa,即p_i<200 Pa;

开启开关阀,同时开始记录进气时间,及喷嘴上游的滞止参数;

启动附加体积处温度控制系统的加热部分,通过下式确定加热量的大小,ΔH

$$\Delta H = k_h \cdot m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

加热量的大小与被测喷嘴的流量大小m,待测系统的气体比热C_p及取决于标准装置几何参数、材料特性影响的传热系数k_h及附加体积处温度与滞止温度间的差异ΔT相关;

当标准容器内的压力达到某一压力值时,通常不超过15kPa,启动制冷部分,关闭加热部分,制冷量的大小,ΔC通过下式估算,

$$\Delta C = k_c \cdot m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

制冷量的大小与被测喷嘴的流量大小m,待测系统的气体比热C_p及取决于标准装置几何参数、材料特性影响的传热系数k_c及附加体积处温度与滞止温度间的差异ΔT相关;采集进气过程中对应待测临界流文丘里喷嘴的滞止温度、滞止压力;

保证临界流,关闭开关阀,记录进气时间,待标准容器内的温度、压力达到稳定后,记录标准容器内的温度、压力。

2.如权利要求1所述的pVTt法气体流量标准装置中附加体积处的温度控制系统,其特征在于:所述开关阀连带计时器,用以pVTt法气体标准装置的测量起始的控制及进气时间的记录。

3.如权利要求1所述的pVTt法气体流量标准装置中附加体积处的温度控制系统,其特征在于:所述标准装置的控制系统对所述临界流文丘里喷嘴的上游滞止温度、滞止压力进行测量,同时记录计时器所记录的进气时间,及标准容器内的起始及最终温度、压力。

4.如权利要求1所述的pVTt法气体流量标准装置中附加体积处的温度控制系统,其特征在于:所述温度控制系统根据待测临界流文丘里喷嘴的流量大小对温度进行调控。

5.一种如权利要求1-4任一项所述的pVTt法气体流量标准装置中附加体积处的温度控

制系统的温度控制方法,包括:

启动真空泵,打开标准容器下游阀门,在所述标准容器内的压力抽至起始压力低于200 Pa,即p_i<200 Pa,保证临界流文丘里喷嘴处于临界流的状态,待标准容器内的温度、压力达到稳定后,记录标准容器内的温度、压力;

基于临界流文丘里喷嘴的喉径、滞止温度、滞止压力确定附加体积处的温度调控;

开启开关阀,触发计时器计时,开始记录进气时间,及喷嘴上游的滞止参数;

启动附加体积处温度控制系统的加热部分,通过下式确定加热量的大小,ΔH

$$\Delta H = k_h \cdot m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

加热量的大小与被测喷嘴的流量大小m,待测系统的气体比热C_p及取决于标准装置几何参数、材料特性影响的传热系数k_h及附加体积处温度与滞止温度间的差异ΔT相关;

当标准容器内的压力达到某一压力值时,不超过15kPa,启动制冷部分,关闭加热部分,制冷量的大小,ΔC通过下式估算,

$$\Delta C = k_c \cdot m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

制冷量的大小与被测喷嘴的流量大小m,待测系统的气体比热C_p及取决于标准装置几何参数、材料特性影响的传热系数k_c及附加体积处温度与滞止温度间的差异ΔT相关;采集进气过程中对应待测临界流文丘里喷嘴的滞止温度、滞止压力;

保证临界流,关闭开关阀,记录进气时间,待标准容器内的温度、压力达到稳定后,记录标准容器内的温度、压力。

一种pVTt法气体流量标准装置中附加体积处的温度控制系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种温度控制系统,特别是涉及一种pVTt法气体流量标准装置中附加体积处的温度控制系统。

背景技术

[0002] 气体流量计量广泛用于能源、环境或医疗等领域的流量监测中,具体而言,在燃气计量,特别是用于对户用燃气表的检测;在环境气体的计量中,用于对废气的监测;在医疗领域的气体计量中,用于对所使用的气体材料进行监测;还可以用于药品、半导体、钢铁、石化等工业制造中的过程控制。因此,气体流量计量的准确对我国经济的发展起到重大作用。

[0003] 临界流文丘里喷嘴(CFVN)的内部几何参数为渐缩渐扩类型的差压式流量计,其最小截面处被称为喉部,其由入口渐缩到喉部,又由喉部渐扩到出口,包括收缩段、喉部和扩散段。CFVN因其结构简单、无可动部件、准确度高、重复性好等特点,被作为传递标准对其它类型的气体流量计进行量值传递。同时,CFVN可直接量值溯源至国家气体流量原级标准装置。因此,音速喷嘴在气体流量量值溯源体系中占据重要位置,是保证气体流量计量准确可靠和量值统一的关键环节。

[0004] pVTt法气体流量装置是常用的气体流量基准装置,是气体流量量值统一的源头。pVTt气体流量装置主要包括CFVN、开关阀(附加计时器)、已知体积的标准容器、阀门、真空泵、压力及温度测量及实现数据采集、存储的控制系统。当使用pVTt法气体流量装置对CFVN进行检测时,由于喷嘴特殊的几何结构,气体从入口流向喉部过程中,喷嘴截面积的减小带来气体流速的急剧增加,压力降低,同时带来温度降低;当气体从喉部流到出口时,截面积的增加,带来压力的恢复,同时带来温度恢复,但该温度并不能完全恢复至入口的滞止温度。此外,当带有一定速度的气体经过附加体积流入标准容器内,气体本身速度的剧烈变化会带来气体温度的升高。

[0005] 因此,气体从滞止状态进入标准容器后,其温度会发生剧烈的变化,造成pVTt法气体流量标准装置的热平衡时间较长,实验效率较低。

发明内容

[0006] 本发明的目的是在附加体积处实施温度控制系统,以降低pVTt法气体流量标准装置热平衡时间,提高pVTt法气体流量标准装置的检测效率。

[0007] 本发明提供一种pVTt法气体流量标准装置中附加体积处的温度控制系统,所述pVTt法气体流量标准装置包括临界流文丘里喷嘴、开关阀,标准容器和控制系统;在所述临界流文丘里喷嘴和开关阀之间具有附加体积;所述附加体积一端连接所述临界流文丘里喷嘴,所述附加体积的另一端连接所述开关阀;在所述附加体积处设置有温度控制系统,所述温度控制系统对所述附加体积处的温度进行调控。

[0008] 其中,所述开关阀连带计时器,用以pVTt法气体标准装置的测量起始的控制及进气时间的记录。

[0009] 其中,所述标准装置的控制系统对所述临界流文丘里喷嘴的上游滞止温度、滞止压力进行测量,同时记录计时器所记录的进气时间,及标准容器内的起始及最终温度、压力。

[0010] 其中,所述温度控制系统根据待测临界流文丘里喷嘴的流量大小对温度进行调控。

[0011] 本发明还提供了一种pVTt法气体流量标准装置中附加体积处的温度控制方法,包括:

[0012] 启动真空泵,打开标准容器下游阀门,在所述标准容器内的压力抽至起始压力低于200Pa,即p_i<200Pa,保证临界流文丘里喷嘴处于临界流的状态,待标准容器内的温度、压力达到稳定后,记录标准容器内的温度、压力;

[0013] 基于临界流文丘里喷嘴的喉径、滞止温度、滞止压力确定附加体积处的温度调控;

[0014] 开启开关阀,触发计时器计时,采集进气过程中对应待测临界流文丘里喷嘴的滞止温度、滞止压力。保证临界流,关闭开关阀,记录进气时间,待标准容器内的温度、压力达到稳定后,记录标准容器内的温度、压力。

[0015] 本发明还提供了一种pVTt法气体流量标准装置的附加体积处温度控制系统,其包括:

[0016] 加热部分,所述加热部分一端直接连接喷嘴出口,另一端延伸连接到制冷部分;其加热量的大小由电加热丝的加热功率控制;

[0017] 制冷部分一端连接加热部分,另一端连接pVTt法气体标准装置的标准容器,其制冷量的大小由冷却循环水的流量大小控制;

[0018] 装置的控制系统对音速喷嘴的滞止参数,进气开关阀门及进气时间,附加体积处的温度控制系统及标准容器内的热力学参数进行控制及记录。

[0019] 本发明还提供一种pVTt法气体流量标准装置附加体积处温度控制方法,其步骤为:

[0020] 启动真空泵,将pVTt法气体流量标准装置的标准容器内的压力抽至200Pa,;

[0021] 控制系统实时测量标准容器内的温度、压力,待温度、压力参数平衡后,记录标准容器内的温度、压力,即为起始温度、压力,即T_i,p_i;

[0022] 打开开关阀,同时开始记录进气时间,及喷嘴上游的滞止参数;

[0023] 启动附加体积处温度控制系统的加热部分,当标准容器内的压力达到某一压力值时,启动制冷部分;

[0024] 基于当标准容器内的压力达到既定值时,关闭开关阀,同时停止记录时间,得到标准装置的进气时间,t;并计算得到进气时间内滞止参数的平均值,得到T_0,p_0;

[0025] 控制系统实时测量标准容器内的温度、压力,待温度、压力参数平衡后,记录标准容器内的温度、压力,即为结束温度、压力,即T_f,p_f;

[0026] 基于待测喷嘴的喉径,得到喷嘴的流出系数,C_d即

[0027] $$C_d=\frac{q_m}{q_{mi}}=\frac{\frac{R_u}{M}V\left(\frac{p_f}{Z_fT_f}-\frac{p_i}{Z_iT_i}\right)\Big/t}{\frac{\pi}{4}d^2C_*p_0\Big/\sqrt{\frac{R_u}{M}T_0}}$$

[0028] 本发明建立了一套适用于pVTt法气体流量标准装置中的附加体积处的温度控制系统,通过该温度控制系统,控制进入标准容器的温度,从而减少进气后标准容器内温度的热平衡时间,有效提高标准装置的检测效率。

附图说明

[0029] 图1为本发明的pVTt法气体流量标准装置系统简图;

[0030] 图2为本发明的pVTt法气体流量标准装置的附加体积处的温度控制系统示意图;

[0031] 图3为本发明的附加体积处的温度控制方法。

具体实施方式

[0032] 下面详细描述本发明的实施方式,所述实施方式的示例在附图中示出,其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施方式是示例性的,仅用于解释本发明,而不能解释为对本发明的限制。

[0033] 本技术领域技术人员可以理解,除非特意声明,这里使用的单数形式“一”、“一个”、“所述”和“该”也可包括复数形式。应该进一步理解的是,本发明的说明书中使用的措辞“包括”是指存在所述特征、整数、步骤、操作、元件和/或组件,但是并不排除存在或添加一个或多个其他特征、整数、步骤、操作、元件、组件和/或它们的组。应该理解,当我们称“连接”或“耦接”时,它可以直接连接或耦接到其他部件,或者也可以存在中间部件。

[0034] 本技术领域技术人员可以理解,除非另外定义,这里使用的所有术语(包括技术术语和科学术语)具有与本发明所属领域中的普通技术人员的一般理解相同的意义。还应该理解的是,诸如通用字典中定义的那些术语应该被理解为具有与现有技术的上下文中的意义一致的意义,并且除非像这里一样定义,不会用理想化或过于正式的含义来解释。

[0035] 为便于对本发明实施例的理解,下面将结合附图以具体实施例为例做进一步的解释说明。

[0036] 图1为本发明的pVTt法气体流量标准装置的结构示意图。如图1所示,pVTt法气体流量标准装置包括临界流文丘里喷嘴(CFVN)和开关阀,所述开关阀连带计时器,用以pVTt法气体标准装置的测量起始的控制及进气时间的记录,在所述临界流文丘里喷嘴(CFVN)和开关阀之间具有附加体积,所述附加体积一端连接所述临界流文丘里喷嘴(CFVN),所述附加体积的另一端连接开关阀;所述临界流文丘里喷嘴(CFVN)的上游为大气,滞止温度为T_0,滞止压力为p_0;下游通过附加体积连接到标准容器,标准容器内的温度为T,压力为p;所述标准容器连接到真空泵,所述标准容器与真空泵之间设置有阀门。

[0037] 考虑到附加体积与标准容器连接在一起,在进气初期,由于附加体积处的压力较低,附加体积处的温度以降低占主导因素;随之进气时间的增加,附加体积处及标准容器内

的压力逐渐增加,附加体积处的温度以增加占主导因素。因此,为降低pVTt法气体流量标准装置的热平衡时间,提高其检测效率,进气过程中,当标准容器内的压力较低时,需开启附加体积处温度控制系统的加热部分;当标准容器内的压力达到某一临界值时,需开启附加体积处温度控制系统的制冷部分。该临界值的确定和音速喷嘴的流量密切相关,且和附加体积处的结构参数密切相关。

[0038] 附加体积处设置有温度控制系统,所述温度控制系统对所述附加体积处的温度进行调控;所述温度控制系统包括加热部分和制冷部分,所述加热部分优选采用加热功率可以调节的电加热丝,所述制冷部分优选采用制冷液体进行循环冷却,进一步优选采用循环水进行冷却;标准装置的控制系统对临界流文丘里喷嘴(CFVN)的上游滞止温度、压力,及标准容器内的温度、压力等参数进行自动测量、记录;被检临界流文丘里喷嘴的喉部直径输入到控制系统,基于标准装置的控制系统的参数,控制系统自动计算换热量的大小,补偿附加体积处的温度变化,有效降低标准容器的热平衡时间。

[0039] 图2为本发明的pVTt法气体流量标准装置的附加体积处温度控制系统的结构示意图。如图2所示,所述温度控制系统包括:加热部分(a),所述加热部分一端直接连接喷嘴出口,另一端延伸靠近制冷部分(b),所述加热部分中加热量的大小由电加热丝的加热功率控制,所述加热丝缠绕在所述附加体积上,所述附加体积优选为管道;制冷部分一端与加热部分相邻,另一端靠近所述pVTt法气体标准装置的标准容器,所述制冷部分制冷量的大小由冷却循环水的流量大小控制;所述制冷部分包括水泵、冷却水箱以及冷却水管,所述冷却水管缠绕在所述附加体积上,通过冷却水管对所述附加体积进行降温。标准装置的控制系统对音速喷嘴的滞止参数,进气开关阀门及进气时间,附加体积处的温度控制系统及标准容器内的热力学参数进行控制及记录。

[0040] 下面对本发明的pVTt法气体流量标准装置的附加体积处的温度控制方法进行介绍,所述控制方法的步骤包括:

[0041] 首先,启动真空泵,对所述标准容器进行抽取真空;

[0042] 标准装置的控制系统实时测量标准容器内的温度、压力,待温度、压力参数平衡后,记录标准容器内的温度、压力,表示为起始温度、压力,即T_i,p_i;优选将pVTt法气体流量标准装置的标准容器内的压力抽至200Pa,即p_i<200Pa;

[0043] 开启开关阀,同时开始记录进气时间,及喷嘴上游的滞止参数;

[0044] 启动附加体积处温度控制系统的加热部分,可通过下式粗略确定加热量的大小,ΔH

[0045] $$\Delta H = k_h \cdot m \cdot C_p \cdot \Delta T \qquad (1)$$

[0046] 加热量的大小与被测喷嘴的流量大小(m),待测系统的气体比热(C_p)及取决于标准装置几何参数、材料特性影响的传热系数(k_h)及附加体积处温度与滞止温度间的差异(ΔT)等相关。

[0047] 当标准容器内的压力达到某一压力值时,通常不超过15kPa,启动制冷部分,关闭加热部分,制冷量的大小,ΔC可通过下式估算,

[0048] $$\Delta C = k_c \cdot m \cdot C_p \cdot \Delta T \qquad (2)$$

[0049] 制冷量的大小与被测喷嘴的流量大小(m),待测系统的气体比热(C_p)及取决于标准装置几何参数、材料特性影响的传热系数(k_c)及附加体积处温度与滞止温度间的差异

(ΔT)等相关。

[0050] 标准容器内加热量、制冷量大小随压力变化如图3所示,当标准容器内压力到达第一预定值时,关闭加热部分,开始制冷部分,所述换热量控制随压力的增大而变化。

[0051] 基于当标准容器内的压力达到既定值时,标准容器内的最终压力进至约50kPa,即p_f<50kPa;关闭开关阀,同时停止记录时间,得到标准装置的进气时间t;并计算得到进气时间内滞止参数的平均值,得到T_0,p_0;

[0052] 标准装置的控制系统实时测量标准容器内的温度、压力,待温度、压力参数平衡后,记录标准容器内的温度、压力,即为结束温度、压力,即T_f,p_f;

[0053] 基于待测喷嘴的喉径,得到喷嘴的流出系数,C_d即

[0054]
$$C_d=\frac{q_m}{q_{mi}}=\frac{\frac{R_u}{M}V\left(\frac{p_f}{Z_fT_f}-\frac{p_i}{Z_iT_i}\right)\Big/t}{\frac{\pi}{4}d^2C_*p_0\Big/\sqrt{\frac{R_u}{M}T_0}} \tag{3}$$

[0055] 其中,q_m为pVTt装置测量得到的通过喷嘴的实际质量流量;q_{mi}为通过喷嘴的理想质量流量;R_u为通用气体常数;M为分子量;C_*为临界流函数;d为喷嘴的喉部直径;V为pVTt法气体流量标准装置的标准容积;p_0为滞止压力;T_0为滞止温度;p_i、p_f为标准容器内气体的起始、结束压力;T_i、T_f为标准容器内气体的起始、结束温度;Z_i、Z_f为标准容器内气体的起始、结束压缩因子。

[0056] 流出系数C_d作为音速喷嘴流出特性的重要参数之一,是关联流过音速喷嘴实际质量流量和理想质量流量的重要参数,也是保证气体流量计量准确可靠和量值统一的关键参数,pVTt法气体流量标准装置是检测音速喷嘴流出系数的主要标准装置,其计算公式如式(3)所示。本发明可通过附加体积处的温度控制系统,实现pVTt法气体流量标准装置热平衡时间的降低,提高检测效率。基于pVTt法气体流量标准装置的测量能力,可以在标准装置的控制系统中预制温度控制系统的初始参数,并通过典型实验,最终确定优化控制参数,从而将pVTt法气体流量标准装置的检测效率由传统的小时量级缩减至10分钟以内这一量值,极大地提升其检测效率。

[0057] 虽然本发明已以较佳实施例披露如上,然而上述实施例并非用以限定本发明。对于任何熟悉本领域的技术人员而言,在不脱离本发明技术方案范围情况下,都可利用上述揭示的技术内容对本发明技术方案作出许多可能的变动和修饰,或修改为等同变化的等效实施例。因此,凡是未脱离本发明技术方案的内容,依据本发明的技术实质对以上实施例所做的任何简单修改、等同变化及修饰,均仍属于本发明技术方案保护的范围内。

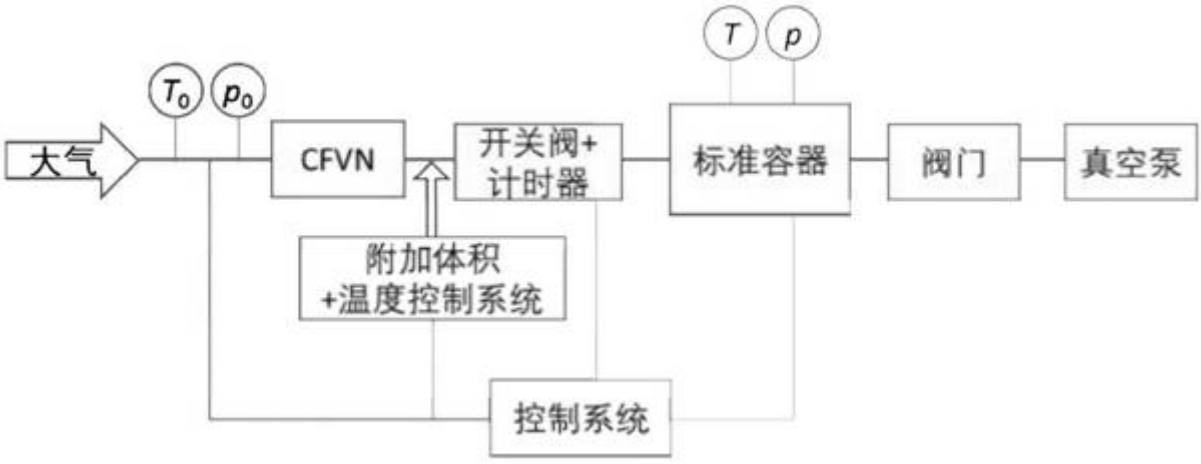
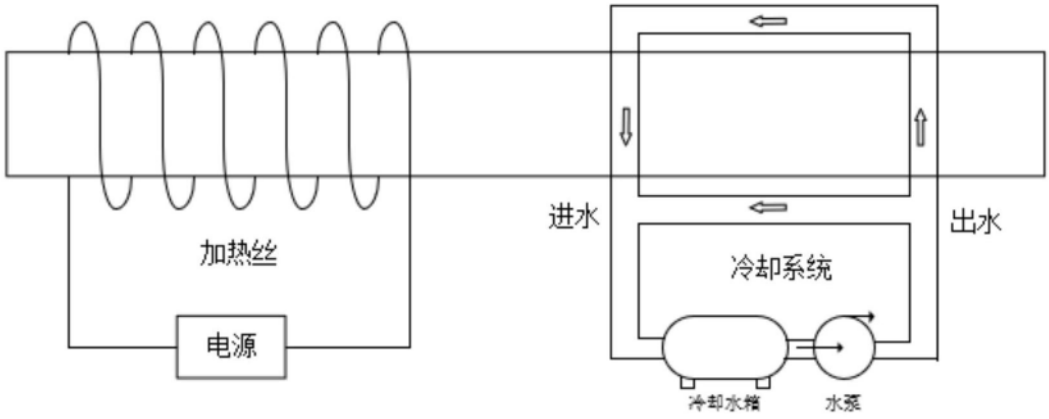


图1



（a）加热部分 （b）制冷部分

图2

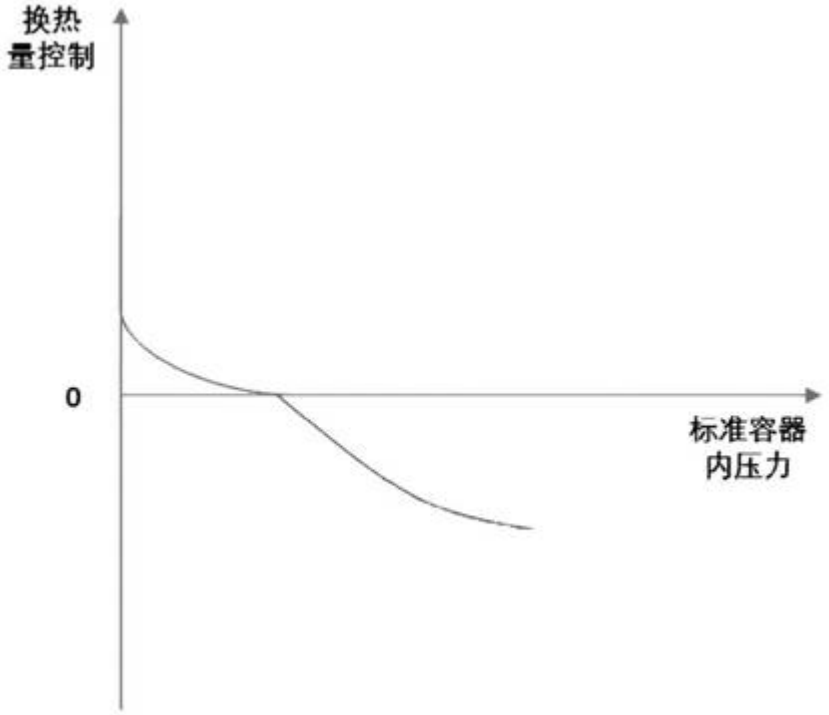


图3