



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108428911 A

(43)申请公布日 2018.08.21

(21)申请号 201810123440.4

(22)申请日 2018.02.07

(71)申请人 中国矿业大学

地址 221116 江苏省徐州市铜山区大学路1号

(72)发明人 郑克晴 林雪妹

(74)专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司 32200

代理人 楼高潮

(51)Int.Cl.

H01M 8/04007(2016.01)

H01M 8/04014(2016.01)

H01M 8/04225(2016.01)

H01M 8/04302(2016.01)

权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

一种高温固体燃料电池堆的热管理系统及方法

(57)摘要

本发明公开了一种高温固体燃料电池堆的热管理系统及方法,该系统包括绝热腔、电加热器Ⅱ、电加热器Ⅲ、气体分离器和氨气供气装置,电池堆置于绝热腔中,电池堆外表面喷涂有催化剂涂层,氧化气体进口分出一路与氧化气体出口、氨气供气装置通过管路汇集后与绝热腔的进气口相连,电加热器Ⅲ与绝热腔进气口之间连接有管路,气体分离器内设有透氢膜,气体分离器的进气口与绝热腔的出气口连接。电池堆热启动时,气流从电池堆内部和外部同时进行加热,运行时,向绝热腔中通入氨气和氧化气体的混合气,发生裂解反应吸收电堆的热量,冷却电池堆。本发明缩短了电池堆热启动时间,提高了电池堆的热管理能力和电堆温度分布的均匀性。

1. 一种高温固体燃料电池堆的热管理系统,包括燃料电池堆(6)、燃料气体进口、燃料气体出口、氧化气体进口和氧化气体出口,

该系统还包括绝热腔(5)、电加热器Ⅱ(8)、电加热器Ⅲ(9)、气体分离器(10)和氨气供气装置(13),所述绝热腔(5)内部中空,所述燃料电池堆(6)置于绝热腔(5)中,所述燃料电池堆(6)的外表面喷涂有催化剂涂层,燃料气体进口和燃料气体出口分别与燃料电池堆(6)的阳极气体通道连通,电加热器Ⅱ(8)设置在燃料气体进口和燃料电池堆(6)之间的管路上,氧化气体进口分为两路,一路经电加热器Ⅲ(9)与燃料电池堆(6)的阴极气体通道连通,另一路与氧化气体出口、氨气供气装置(13)通过管路汇集后与绝热腔(5)的进气口相连,氧化气体进口与绝热腔(5)进气口之间的管路上设有阀门Ⅳ(12),氧化气体出口与绝热腔(5)进气口之间的管路上设有阀门Ⅲ(11),氨气供气装置(13)与绝热腔(5)进气口之间的管路上设有阀门Ⅰ(1),汇集后的管路上还依次设有电加热器Ⅰ(2)、流量计(3)和温度计(4),所述电加热器Ⅲ(9)与所述绝热腔(5)进气口之间连接有管路,并在该管路上设有阀门Ⅱ(7),

所述气体分离器(10)内设有透氢膜,气体分离器(10)的进气口与绝热腔(5)的出气口连接,气体分离器(10)的出气口分为两路,一路经透氢膜后与燃料气体进口相连,另一路直接与氧化气体出口相连。

2. 根据权利要求1所述的一种高温固体燃料电池堆的热管理系统,其特征在于,所述催化剂为镍基催化剂。

3. 一种利用权利要求1所述的热管理系统进行高温固体燃料电池堆热管理的方法,其特征在于,包括以下步骤:

燃料电池堆热启动时,打开阀门Ⅱ(7),关闭阀门Ⅰ(1)、阀门Ⅲ(11)和阀门Ⅳ(12),燃料气体经电加热器Ⅱ(8)加热后,进入燃料电池堆的阳极气体通道,加热燃料电池堆后流出,氧化气体经电加热器Ⅲ(9)加热后,一部分直接进入燃料电池堆(6)的阴极气体通道,加热燃料电池堆(6)后流出,一部分通过阀门Ⅱ(7)进入绝热腔(5),从燃料电池堆(6)外部进行加热,最后经气体分离器(10)与来自燃料电池堆(6)阴极气体通道的氧化气体混合后,流出系统;

燃料电池堆运行时,关闭阀门Ⅱ(7),打开阀门Ⅰ(1)、阀门Ⅲ(11)和阀门Ⅳ(12),来自阀门Ⅰ(1)的氨气,来自燃料电池堆(6)阴极气体通道的一部分热的氧化气体与来自阀门Ⅳ(12)的冷的氧化气体组成混合气,依次经电加热器Ⅰ(2)、流量计(3)、温度计(4)后,进入绝热腔(5),通过调整阀门Ⅰ(1)、阀门Ⅲ(11)与阀门Ⅳ(12)的开度控制混合气的比例,通过调整电加热器Ⅰ(2)的加热量控制混合气进入绝热腔(5)的气体温度,氨气在燃料电池堆(6)外表面催化剂的催化作用下,发生裂解反应,氨气裂解后产生氢气和氮气混合气,剩余的氧化气体、氢气和氮气混合气一起进入气体分离器(10),分离后氢气与燃料气体混合,作为燃料进入燃料电池堆(6)进行反应,剩余的氧化气体和氮气与来自燃料电池堆(6)阴极气体通道的氧化气体混合后,流出系统。

## 一种高温固体燃料电池堆的热管理系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及燃料电池技术领域,具体涉及固体燃料电池,特别涉及一种高温固体燃料电池堆的热管理系统及方法。

### 背景技术

[0002] 燃料电池是一种能够将燃料中的化学能直接转化为电能的电化学发电装置。根据所用的电解质类型,燃料电池主要可分为以下几种:碱性燃料电池(AFC)、质子交换膜燃料电池(PEMFC)、磷酸燃料电池(PAFC)、熔融碳酸盐燃料电池(MCFC)和固体氧化物燃料电池(SOFC)。其中,MCFC和SOFC属于高温固体燃料电池,工作温度较高(MCFC大约为650℃,SOFC大约为800℃),具有更高的实际输出效率。

[0003] 燃料电池单电池的输出电压约为1V,为了使得燃料电池具有实际应用可能,需要将若干个单电池以各种方式(串联、并联、混联)组装成电池堆。燃料电池堆的热管理技术是实现燃料电池商业化的关键技术和难点之一。对燃料电池堆进行热管理是指通过一定的措施,将燃料电池堆的温度和温度场控制在合理的范围内,避免电池堆内的温度梯度过高,以维持电池堆良好的工作性能和热-机械稳定性。

[0004] 燃料电池单电池的基本结构包括:多孔阳极层,多孔阴极层,致密的电解质层以及气体通道。将热(冷)气流引入气体通道以加热(冷却)电池是目前最常见的针对高温固体燃料电池堆的热管理法,又可分为单通道(仅在阴极气体通道通入空气)和双通道(同时在阳极气体通道通入燃料气和在阴极气体通道通入空气)两种形式。这种使用气流的热管理方法优势在于简单易行,然而由于传热热阻的存在以及热量传递的滞后性,采用这种方法会在电池堆的气流入口与出口形成温度梯度。而过高的温度梯度会导致过大的热应力产生和电池的结构破坏。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种高温固体燃料电池堆的热管理系统,该系统能缩短电池堆热启动时间,降低电池堆内的温度梯度,提高电池堆温度分布的均匀性。

[0006] 本发明的另一目的是提供一种高温固体燃料电池堆的热管理方法。

[0007] 为解决上述目的,本发明采用如下技术方案:一种高温固体燃料电池堆的热管理系统,包括燃料电池堆、燃料气体进口、燃料气体出口、氧化气体进口和氧化气体出口,

[0008] 该系统还包括绝热腔、电加热器Ⅱ、电加热器Ⅲ、气体分离器和氨气供气装置,所述绝热腔内部中空,所述燃料电池堆置于绝热腔中,所述燃料电池堆的外表面喷涂有催化剂涂层,燃料气体进口和燃料气体出口分别与燃料电池堆的阳极气体通道连通,电加热器Ⅱ设置在燃料气体进口和燃料电池堆之间的管路上,氧化气体进口分为两路,一路经电加热器Ⅲ与燃料电池堆的阴极气体通道连通,另一路与氧化气体出口、氨气供气装置通过管路汇集后与绝热腔的进气口相连,氧化气体进口与绝热腔进气口之间的管路上设有阀门Ⅳ,氧化气体出口与绝热腔进气口之间的管路上设有阀门Ⅲ,氨气供气装置与绝热腔进气

口之间的管路上设有阀门I,汇集后的管路上还依次设有电加热器I、流量计和温度计,所述电加热器III与所述绝热腔进气口之间连接有管路,并在该管路上设有阀门II,

[0009] 所述气体分离器内设有透氢膜,气体分离器的进气口与绝热腔的出气口连接,气体分离器的出气口分为两路,一路经透氢膜后与燃料气体进口相连,另一路直接与氧化气体出口相连。

[0010] 优选的,所述催化剂为镍基催化剂,该催化剂可使氨气在高于600℃时发生裂解。

[0011] 本发明还提供一种高温固体燃料电池堆的热管理方法,具体是:

[0012] 燃料电池堆热启动时,打开阀门II,关闭阀门I、阀门III和阀门IV,燃料气体经电加热器II加热后,进入燃料电池堆的阳极气体通道,加热燃料电池堆后流出,氧化气体经电加热器III加热后,一部分直接进入燃料电池堆的阴极气体通道,加热燃料电池堆后流出,一部分通过阀门II进入绝热腔,从燃料电池堆外部进行加热,最后经气体分离器与来自燃料电池堆阴极气体通道的氧化气体混合后,流出系统;

[0013] 燃料电池堆运行时,关闭阀门II,打开阀门I,阀门III和阀门IV,来自阀门I的氨气,来自燃料电池堆阴极气体通道的一部分热的氧化气体与来自阀门IV的冷的氧化气体组成混合气,依次经电加热器I、流量计、温度计后,进入绝热腔,通过调整阀门I、阀门III与阀门IV的开度控制混合气的比例,通过调整电加热器I的加热量控制混合气进入绝热腔的气体温度,氨气在燃料电池堆外表面催化剂的催化作用下,发生裂解反应吸收电堆的热量,氨气裂解后产生氢气和氮气混合气,剩余的氧化气体、氢气和氮气混合气一起进入气体分离器,分离后氢气与燃料气体混合,作为燃料进入燃料电池堆进行反应,剩余的氧化气体和氮气与来自燃料电池堆阴极气体通道的氧化气体混合后,流出系统。

[0014] 本发明的有益效果是:

[0015] (1) 通过将燃料电池堆置于绝热腔中,电池堆热启动时,气流从电池堆内部和外部同时进行加热,缩短了电池堆热启动时间;

[0016] (2) 在燃料电池堆外表面上增加催化剂涂层,工作状态下,向绝热腔中通入氨气和氧化气体的混合气,利用氨气裂解过程的吸热效应,冷却电池堆,提高电池堆的热管理能力和电堆温度分布的均匀性。

## 附图说明

[0017] 图1为本发明高温固体燃料电池堆的热管理系统的示意图;

[0018] 图2为本发明高温固体燃料电池堆热启动时系统状态图;

[0019] 图3为本发明高温固体燃料电池堆运行时系统状态图;

[0020] 图4为电堆热启动时传统双通道加热后的电堆温度分布;

[0021] 图5为电堆热启动时本发明绝热腔气流加热后的电堆温度分布;

[0022] 图6为电堆运行时传统气流冷却时的电堆温度分布;

[0023] 图7为电堆运行时本发明增加绝热腔混合气冷却时的电堆温度分布;

[0024] 图中,1、阀门I,2、电加热器I,3、流量计,4、温度计,5、绝热腔,6、燃料电池堆,7、阀门II,8、电加热器II,9、电加热器III,10、气体分离器,11、阀门III,12、阀门IV,13、氨气供气装置。

## 具体实施方式

[0025] 下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步详细描述。

[0026] 如图1、图2、图3所示,本发明的一种高温固体燃料电池堆的热管理系统,包括燃料电池堆6、燃料气体进口、燃料气体出口、氧化气体进口和氧化气体出口,

[0027] 该系统还包括绝热腔5、电加热器Ⅱ8、电加热器Ⅲ9、气体分离器10和氨气供气装置13,所述绝热腔5内部中空,所述燃料电池堆6置于绝热腔5中,所述燃料电池堆6的外表面喷涂有催化剂涂层,该催化剂可使氨气在高于600℃时发生裂解,催化剂包括但不限于镍基催化剂,所述燃料气体进口和燃料气体出口分别与燃料电池堆6的阳极气体通道连通,所述电加热器Ⅱ8设置在燃料气体进口和燃料电池堆6之间的管路上,氧化气体进口分为两路,一路经电加热器Ⅲ9与燃料电池堆6的阴极气体通道连通,另一路与氧化气体出口、氨气供气装置13通过管路汇集后与绝热腔5的进气口相连,氧化气体进口与绝热腔5进气口之间的管路上设有阀门Ⅳ12,氧化气体出口与绝热腔5进气口之间的管路上设有阀门Ⅲ11,氨气供气装置13与绝热腔5进气口之间的管路上设有阀门Ⅰ1,汇集后的管路上还依次设有电加热器Ⅰ2、流量计3和温度计4,所述电加热器Ⅲ9与所述绝热腔5进气口之间连接有管路,并在该管路上设有阀门Ⅱ7,

[0028] 所述气体分离器10内设有透氢膜,气体分离器10的进气口与所述绝热腔5的出气口连接,气体分离器10的出气口分为两路,一路经透氢膜后与燃料气体进口相连,另一路直接与氧化气体出口相连。

[0029] 本发明的高温固体燃料电池堆的热管理系统可通过燃料气体进口、燃料气体出口、氧化气体进口和氧化气体出口与现有的包含高温固体燃料电池堆的发电系统、冷\热\电三联产系统等直接耦合使用。

[0030] 利用上述系统进行高温固体燃料电池堆热管理的方法是:

[0031] 如图2所示,燃料电池堆热启动时,打开阀门Ⅱ7,关闭阀门Ⅰ1、阀门Ⅲ11和阀门Ⅳ12,燃料气体经电加热器Ⅱ8加热后,进入燃料电池堆6的阳极气体通道,加热燃料电池堆后流出,氧化气体经电加热器Ⅲ9加热后,一部分直接进入燃料电池堆6的阴极气体通道,加热燃料电池堆6后流出,一部分通过阀门Ⅱ7进入绝热腔5,从燃料电池堆6外部进行加热,最后经气体分离器10与来自燃料电池堆6阴极气体通道的氧化气体混合后,流出系统。相比传统的仅采用气流从电堆内部进行加热的方法,这种内、外同时加热的方法既可以缩短电池所需的热启动时间,也可以降低电池堆外表面与内部的温度差,提高电池堆温度分布的均匀性和热-机械稳定性。

[0032] 如图3所示,燃料电池堆运行时,关闭阀门Ⅱ7,打开阀门Ⅰ1、阀门Ⅲ11和阀门Ⅳ12,来自阀门Ⅰ1的氨气,来自燃料电池堆6阴极气体通道的一部分热的氧化气体与来自阀门Ⅳ12的冷的氧化气体组成混合气,依次经电加热器Ⅰ2、流量计3、温度计4后,进入绝热腔5,通过调整阀门Ⅰ1、阀门Ⅲ11与阀门Ⅳ12的开度控制混合气的比例,通过调整电加热器Ⅰ2的加热量控制混合气进入绝热腔5的气体温度,氨气在燃料电池堆6外表面催化剂的催化作用下,发生裂解反应,吸收燃料电池堆6的热量。氨气裂解后产生氮气和氢气混合气,剩余的氧化气体、氮氢混合气一起进入气体分离器10,分离后氢气与燃料气体混合,作为燃料进入燃料电池堆6进行反应,剩余的氧化气体和氮气与来自燃料电池堆6阴极气体通道的氧化气体

混合后,流出系统。

[0033] 由于裂解反应的速度与混合气中氨气的分压以及温度成正比,因此,可以通过调整阀门I1、阀门III11与阀门IV12的开度控制混合气的比例,通过调整电加热器I2的加热量控制混合气进入绝热腔5的气体温度。电池堆运行时,在燃料电池堆6表面温度较高处,裂解反应强烈,吸收更多的热量;在燃料电池堆6表面温度较低处,裂解反应较弱,吸收较少的热量。这种利用氨气高温裂解吸热的热管理方法,既可以增强电池堆的散热能力,又可以提高电池堆温度分布的均匀性。

[0034] 为了进一步说明本系统的有益效果,采用COMSOL软件模拟了电池堆的温度变化,并与传统的双通道热管理方法进行比较。设定电池堆尺寸为 $0.1\text{m}\times 0.1\text{m}\times 0.1\text{m}$ ,绝热腔尺寸为 $0.13\text{m}\times 0.13\text{m}\times 0.13\text{m}$ 。

[0035] 电堆热启动时,设定环境温度为 $25^{\circ}\text{C}$ ,将电池堆从环境温度升高至 $700^{\circ}\text{C}$ 。预热过程中,燃料气体、氧化气体入口气流速度均为 $1\text{m/s}$ ,温度从 $25^{\circ}\text{C}$ 开始,以 $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温。经675分钟后,传统的仅从电堆内部进行加热的方式下,电堆的平均温度为 $689^{\circ}\text{C}$ ,电堆内最大温度梯度为 $1185^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ,如图4所示;本发明内、外同时加热的方式下(绝热腔入口进气速度为 $5\text{m/s}$ ,气流温度同样从 $25^{\circ}\text{C}$ 开始,以 $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温),电堆的平均温度为 $694^{\circ}\text{C}$ ,电堆内最大温度梯度为 $620^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ,如图5所示。电堆内的最大温度梯度得到大幅下降,电堆的平均温度升高。将气流入口温度以 $1.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温,电堆达到设定工作温度( $700^{\circ}\text{C}$ )仅需450分钟,此时,电堆内的最大温度梯度为 $929^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ,依然小于传统内部气流加热时的 $1185^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。因此,本发明提出的内、外双通道加热的方法,可减少电堆热启动所需的时间,提高电堆预热过程中的热-机械稳定性。

[0036] 电堆正常工作时,由于内部存在电化学反应,电堆内部不断产生热量导致电堆温度升高。传统方法中,电堆产生的热量通过引入过量的空气带走。当电堆入口的气流温度为 $700^{\circ}\text{C}$ 时,电堆的平均温度为 $755^{\circ}\text{C}$ ,最大温度梯度为 $3145^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ,如图6所示。当在绝热腔中以 $5\text{m/s}$ 通入 $700^{\circ}\text{C}$ 的混合气(氨气分压为 $0.1\text{bar}$ )时,电堆的平均温度下降为 $723^{\circ}\text{C}$ ,最大温度梯度为 $1934^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ,如图7所示,同时降低了电堆内的平均温度和最大温度梯度,提高了电堆的热管理能力和热-机械稳定性。

[0037] 本发明的热管理系统及方法不仅限于高温固体燃料电池堆,也同样适用于其它运行温度高于 $600^{\circ}\text{C}$ 的电子设备,电化学反应器等高温装置的热管理。



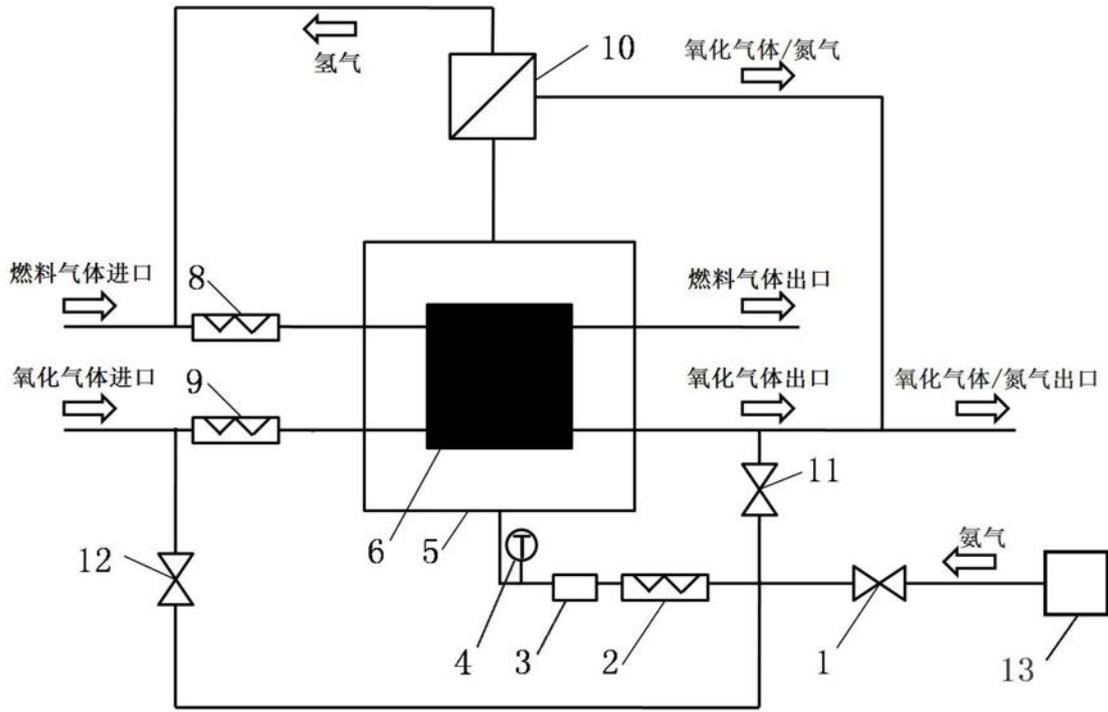


图3

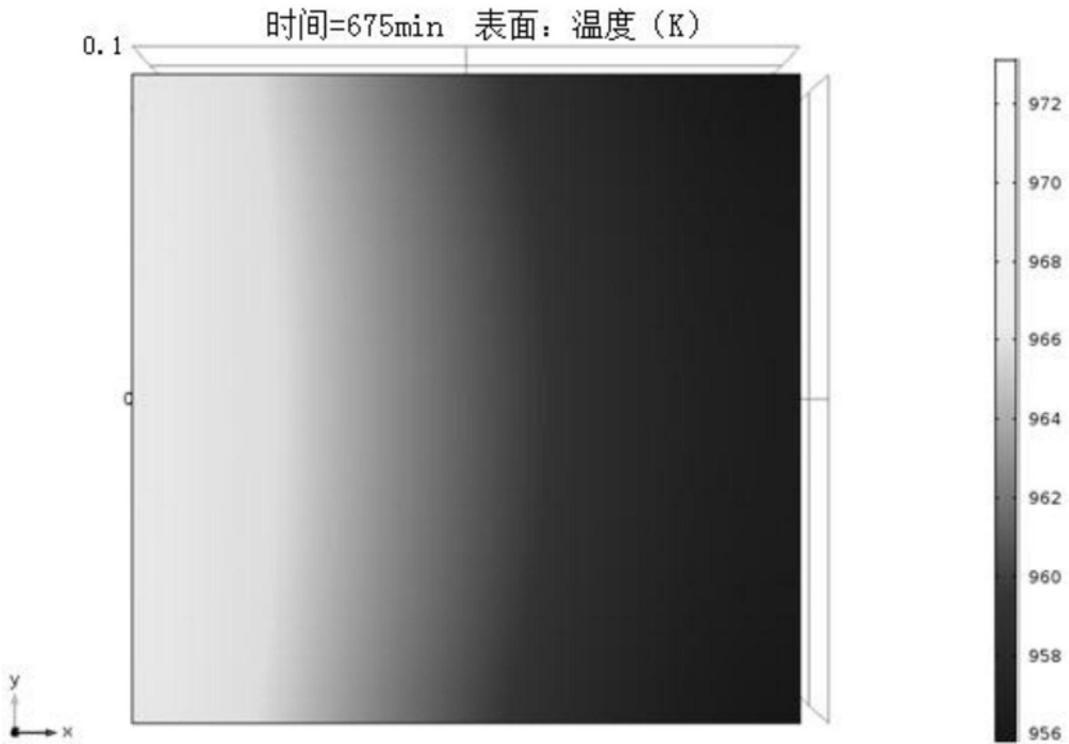


图4

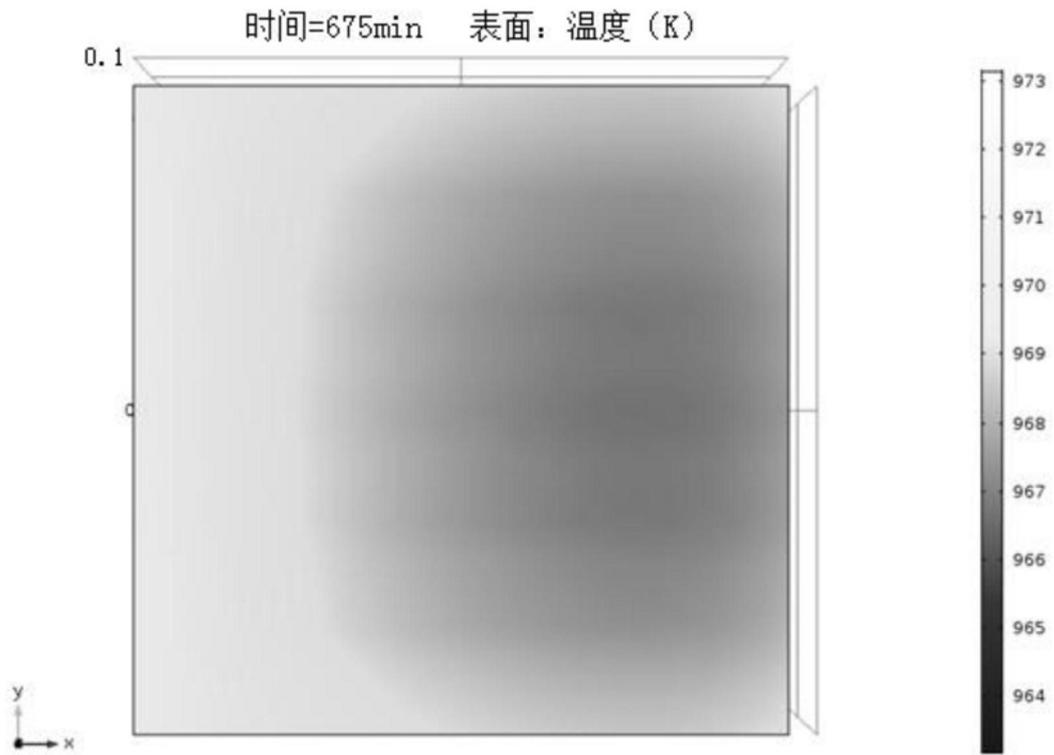


图5

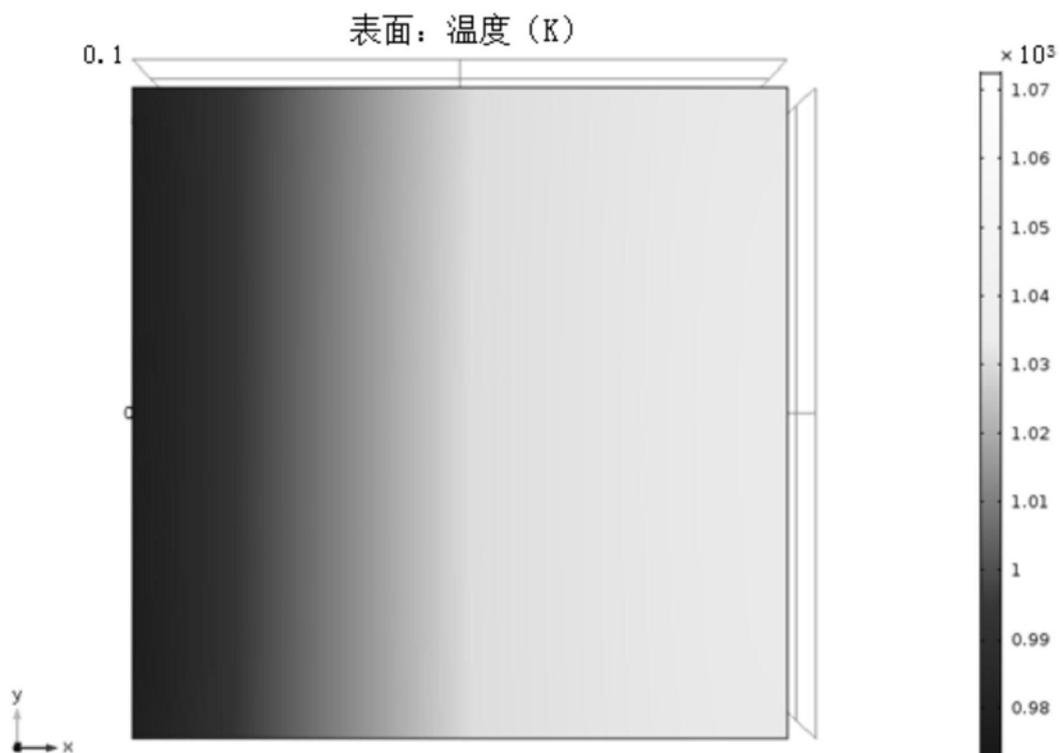


图6

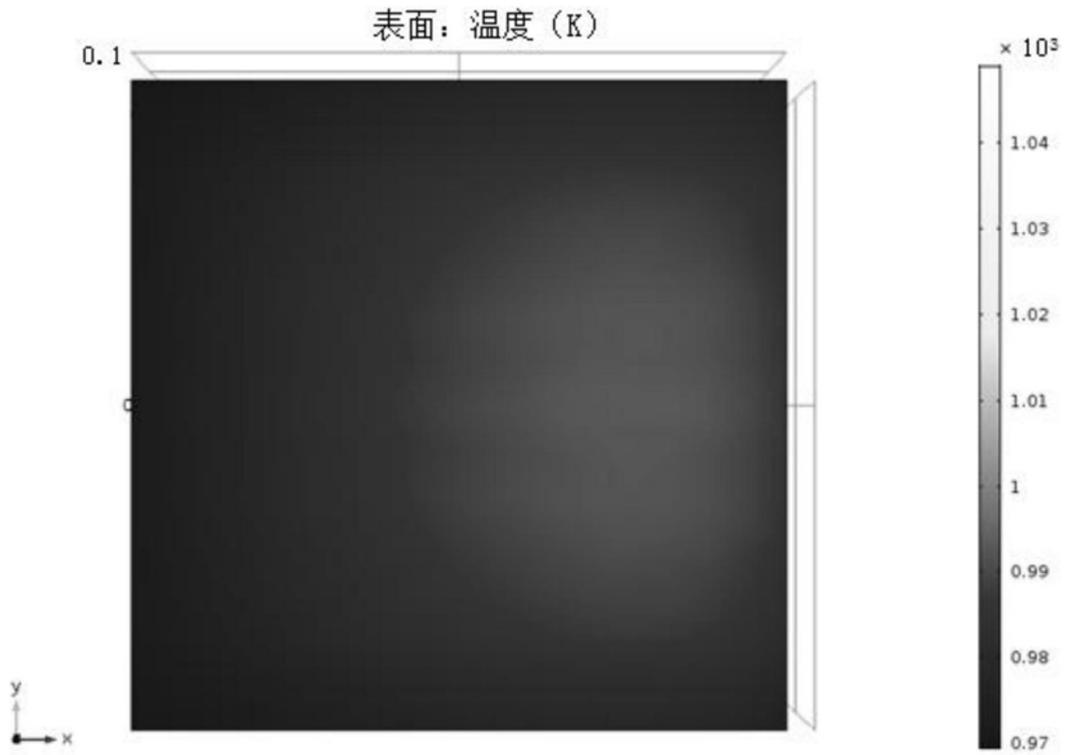


图7