



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104748793 B

(45)授权公告日 2017.03.08

(21)申请号 201510122976.0

(22)申请日 2015.03.19

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 104748793 A

(43)申请公布日 2015.07.01

(73)专利权人 中南大学  
地址 410083 湖南省长沙市岳麓区麓山南路932号

(72)发明人 张红亮 李劫 梁金鼎 杨帅  
宗传鑫 孙珂娜 吕晓军 邹忠

(74)专利代理机构 长沙市融智专利事务所  
43114

代理人 邓建辉

(51)Int.Cl.

G01D 21/02(2006.01)

(56)对比文件

- CN 2688727 Y, 2005.03.30,
- CN 203908594 U, 2014.10.29,
- CN 2745958 Y, 2005.12.14,
- CN 201770790 U, 2011.03.23,
- CN 102424985 A, 2012.04.25,
- CN 103954320 A, 2014.07.30,
- CN 102798294 A, 2012.11.28,
- US 2011308319 A1, 2011.12.22,
- US 5394749 A, 1995.03.07,
- DE 102012013416 A1, 2014.01.02,

审查员 李亚萍

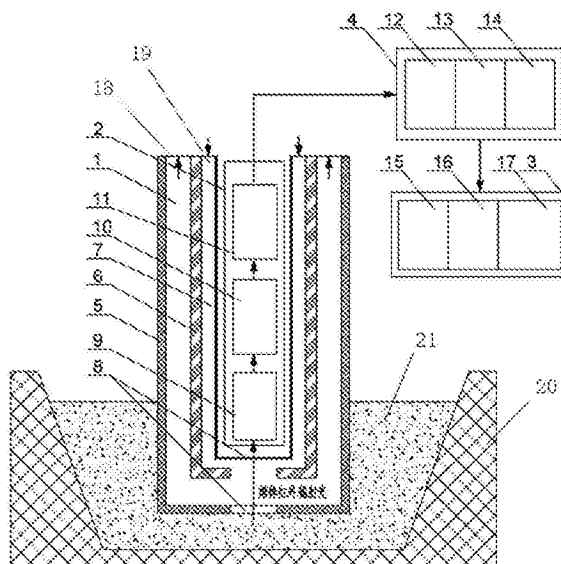
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

铝电解槽熔体温度与流速实时组合测量装置及其测量方法

(57)摘要

本发明公开了一种铝电解槽熔体温度与流速实时组合测量装置及其测量方法,包括分布式测量探头透明保护装置、红外检测传感器、用户接口模块和温度与速度测量模块,通过放置于透明保护装置内的红外检测传感器获取铝电解槽各个区域的内部熔体红外图像,经过图像预处理、分割、比色测温与流速场测温,得到铝电解槽内各区域熔体的温度场与流速场分布,并通过显示器实时显示与保存。本发明能对特大型电解槽各区域的温度与速度场进行同步测量,且测量点可以按需布置,因此能够为掌握特大型电解槽内热场与流场的信息提供支撑,对电解槽的稳定、节能生产具有重要意义。



1. 一种铝电解槽熔体温度与流速实时组合测量装置,包括分布式测量探头透明保护装置(1)、红外检测传感器(2)、用户接口模块(3)和温度与速度测量模块(4),其特征在于:所述的红外检测传感器(2)的结构是:不锈钢外壳(5)内设有不锈钢内壳(6)且在所述的不锈钢外壳(5)与所述的不锈钢内壳(6)之间形成有第一冷却风道(18),所述的不锈钢内壳(6)内设有不锈钢内套筒(7)且在所述的不锈钢内壳(6)与所述的不锈钢内套筒(7)之间形成有第二冷却风道(19),所述的不锈钢外壳(5)和所述的不锈钢内套筒(7)面对待测的电解质的前端均设有透明石英片(8);所述的红外检测传感器(2)包括有红外光学成像系统(9)、比色调制(10)和CCD成像系统(11),所述的红外检测传感器(2)置于所述的不锈钢内套筒(7)内;所述的温度与速度测量模块(4)包括图像信号预处理模块(12)、比色测温模块(13)和流速测量模块(14),所述的用户接口模块(3)包括有结果显示模块(15)、结果存储模块(16)和与控制系统的连接接口(17),所述的红外检测传感器(2)与所述的温度与速度测量模块(4)通信连接,所述的温度与速度测量模块(4)与所述的用户接口模块(3)通信连接。

2. 根据权利要求1所述的铝电解槽熔体温度与流速实时组合测量装置,其特征在于:所述的不锈钢外壳(5)和所述的不锈钢内壳(6)的厚度为2mm~4mm,其材质为耐高温不锈钢。

3. 根据权利要求1或2所述的铝电解槽熔体温度与流速实时组合测量装置,其特征在于:所述的分布式测量探头透明保护装置(1)和所述的红外检测传感器(2)的数量为6个~10个。

4. 使用权利要求1所述的铝电解槽熔体温度与流速实时组合测量装置的测量方法,在电解槽各个感兴趣区域放置红外检测传感器(2)及分布式测量探头透明保护装置(1),通过温度与速度测量模块(4)实现电解槽的分布式快速测温与测速,其特征在于:包括以下几步:

a) 通过放置在各个分布式测量探头透明保护装置(1)中的红外检测传感器(2)获得铝电解槽内部熔体铝液或电解质的红外图像信号,并经过A/D转换成为高清红外数字图像;

b) 将上述红外数字图像传输至温度与速度测量模块(4)中,进行图像的预处理,主要包括图像的降噪与平滑,进而应用对图像进行分割,得到不同时刻熔体流动的边缘;

c) 将预处理后的图像应用比色测温的原理,进行温度标定,完成所检测区域的熔体测温结果,再根据不同时刻图像处理的结果,得到熔体的流速大小与方向,从而完成温度与速度的测量,具体速度计算步骤为:

步骤1: 将图像中心区域设定为特征区域,取一个9像素×9像素的正方形区域;

步骤2: 取 $t_1$ 时刻该特征区域中心点 $M(x_1, y_1)$ ,同时将该特征区域所有像素组成 $9 \times 9$ 的像素矩阵 $F_{t1}$ ;

步骤3: 漫游 $t_2$ 时刻的图像,找到同样大小区域且像素矩阵与 $F_{t1}$ 相同的区域,并找到该区域的中心点 $N(x_2, y_2)$ ;

步骤4: 在 $t_1-t_2$ 时间内,该区域熔体的平均流速大小的绝对值可用下列式3计算:

$$|V| = \frac{\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}}{t_2-t_1} \quad (\text{式 3})$$

式中:  $|V|$  表示: 测量的速度绝对值;

$x_1$  表示:  $t_1$  时刻, 测量区域中心点横坐标;

$x_2$ 表示： $t_2$ 时刻，测量区域中心点横坐标；

$y_1$ 表示： $t_1$ 时刻，测量区域中心点纵坐标；

$y_2$ 表示： $t_2$ 时刻，测量区域中心点纵坐标；

$t_1$ 表示：测量所取的 $t_1$ 时刻；

$t_2$ 表示：测量所取的 $t_2$ 时刻，取 $t_1$ 之后1-3秒；

d)将测量的结果通过用户接口模块(3)显示在显示器中，并将测试结果保存。

## 铝电解槽熔体温度与流速实时组合测量装置及其测量方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于铝电解槽领域,特别涉及一种铝电解槽熔体温度与流速分布式实时组合测量装置。

### 背景技术

[0002] 传统霍尔-埃鲁特法(Hall-Héroult)铝电解工艺一直是工业炼铝的唯一方法,尽管如此,其高能耗一直是Hall-Héroult工艺存在的主要缺点之一。而导致能耗高的主要原因之一便是现行电解体系需维持950℃左右的高温,电解槽一半的能量浪费在对外的热量散发损失中。铝电解槽内熔体(电解质和铝液)温度现已成为反映电解槽的运行状态和影响电解槽的技术经济指标(尤其是电流效率)的重要参数之一,而且,当前电解槽的发展趋势为容量的不断扩大(目前400kA及以上的槽型占全部44%以上),而受制于阳极的尺寸,槽容量的增大会导致槽的长度大幅增大,而宽度增幅有限,造成了超大容量铝电解槽槽膛的尺寸变得十分狭长,也导致了槽内的不均匀性显著增大,即同一台电解槽不同区域的温度、流速与氧化铝浓度的不均匀性凸显,使得槽内局部不稳定性加剧,这已经成为现代超大容量铝电解槽急需攻克的难题之一。

[0003] 由于铝电解槽内熔体为950℃左右的冰晶石熔体,具有极强的腐蚀性,导致现阶段各种形状的热电偶在直接测温时寿命往往较为短暂,无法进行长时间连续的温度测量,因而当前铝电解控制系统对槽热平衡的判别都是基于各种参数的软测量计算模型。为了解决这个问题,可以将热电偶用套管保护起来进行测温,尽管这样可以延长热电偶的寿命,但一方面保护套管的本身的寿命也受限,另外一方面,由于熔体温度先传递到保护套管上,保护套管再传导到热电偶上,容易出现测温滞后的现象,且对于温度的变化无法直接反馈。因此,铝电解槽内温度的实时连续测量仍然为业界一个难题。

[0004] 此外,对于铝电解槽内熔体的流速的测量一直为铝电解工业难以无法解决的难题,其原因主要是因为铝电解槽内熔体温度高、腐蚀性强,目前常规的流体速度测量装置无法适应如此恶劣的环境。当前常用的方法成为铁棒溶蚀法,即通过在熔体中插入若干铁棒,根据铁棒腐蚀的程度与方位,计算熔体的流速,但显然这一方法是比较粗糙的。

[0005] 由此可见,对于铝电解槽内熔体的关键的温度与流速,目前是缺乏较为精确、经济且有效的手段的。

### 发明内容

[0006] 本发明所要解决的第一个技术问题是提供一种能够快速、准确且经济地测量铝电解槽各区域温度与流速的铝电解槽熔体温度与流速实时组合测量装置。

[0007] 本发明所要解决的第二个技术问题是提供一种能够快速、准确且经济地测量铝电解槽各区域温度与流速的铝电解槽熔体温度与流速实时组合测量装置的测量方法。

[0008] 为了解决第一个技术问题,本发明提供的铝电解槽熔体温度与流速实时组合测量装置,包括分布式测量探头透明保护装置、红外检测传感器、用户接口模块和温度与速度测

量模块,所述的红外检测传感器的结构是:不锈钢外壳内设有不锈钢内壳且在所述的不锈钢外壳与所述的不锈钢内壳之间形成有第一冷却风道,所述的不锈钢内壳内设有不锈钢内套筒且在所述的不锈钢内壳与所述的不锈钢内套筒之间形成有第二冷却风道,所述的不锈钢外壳和所述的不锈钢内套筒面对待测的电解质的前端均设有透明石英片;所述的红外检测传感器包括有红外光学成像系统、比色调制和CCD成像系统,所述的红外检测传感器置于所述的不锈钢内套筒内;所述的温度与速度测量模块包括图像信号预处理模块、比色测温模块和流速测量模块,所述的用户接口模块包括有结果显示模块、结果存储模块和与控制系统的连接接口,所述的红外检测传感器与所述的温度与速度测量模块通信连接,所述的温度与速度测量模块与所述的用户接口模块通信连接。

[0009] 所述的不锈钢外壳和所述的不锈钢内壳的厚度为2mm~4mm,其材质为耐高温不锈钢。

[0010] 所述的分布式测量探头透明保护装置和所述的红外检测传感器的数量为6个~10个。

[0011] 为了解决第二个技术问题,本发明提供的使用铝电解槽熔体温度与流速实时组合测量装置的测量方法,在电解槽各个感兴趣区域放置红外检测传感器及分布式测量探头透明保护装置,通过温度与速度测量模块(4)实现电解槽的分布式快速测温与测速,包括以下几步:

[0012] a)通过放在各个分布式测量探头透明保护装置中的红外检测传感器获得铝电解槽内部熔体铝液或电解质的红外图像信号,并经过A/D转换成为高清红外数字图像;

[0013] b)将上述红外数字图像传输至温度与速度测量模块中,进行图像的预处理,主要包括图像的降噪与平滑,进而应用对图像进行分割,得到不同时刻熔体流动的边缘;

[0014] c)将预处理后的图像应用比色测温的原理,进行温度标定,完成所检测区域的熔体测温结果,再根据不同时刻图像处理的结果,得到熔体的流速大小与方向,从而完成温度与速度的测量,具体速度计算步骤为:

[0015] 步骤1:将图像中心区域设定为特征区域,取一个9像素×9像素的正方形区域;

[0016] 步骤2:取 $t_1$ 时刻该区域中心点 $M(x_1, y_1)$ ,同时将该区域所有像素组成 $9 \times 9$ 的像素矩阵 $F_{t_1}$ ;

[0017] 步骤3:漫游 $t_2$ 时刻的图像,找到同样大小区域且像素矩阵与 $F_{t_1}$ 相同的区域,并找到该区域的中心点 $N(x_2, y_2)$ ;

[0018] 步骤4:在 $t_1-t_2$ 时间内,该区域熔体的平均流速大小的绝对值可用下列式3计算:

$$[0019] \quad |V| = \frac{\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}}{t_2-t_1} \quad (\text{式3})$$

[0020] 式中: $|V|$ 表示:测量的速度绝对值;

[0021]  $x_1$ 表示: $t_1$ 时刻,测量区域中心点横坐标;

[0022]  $x_2$ 表示: $t_2$ 时刻,测量区域中心点横坐标;

[0023]  $y_1$ 表示: $t_1$ 时刻,测量区域中心点纵坐标;

[0024]  $y_2$ 表示: $t_2$ 时刻,测量区域中心点纵坐标;

[0025]  $t_1$ 表示:测量所取的 $t_1$ 时刻;

[0026]  $t_2$ 表示:测量所取的 $t_2$ 时刻,取 $t_1$ 之后1-3秒;

[0027] d)将测量的结果通过用户接口模块显示在显示器中,并将测试结果保存。

[0028] 采用上述技术方案的铝电解槽熔体温度与流速实时组合测量装置及其测量方法,在电解槽各个感兴趣区域放置红外检测传感器及分布式测量探头透明保护装置,通过温度与速度测量模块实现电解槽的分布式快速测温与测速。

[0029] 本发明的有益效果在于:

[0030] 1.测量的参数多且重要,本发明能同时分布式测量电解槽内多点的温度与速度场,而且测量的点可根据传感器插入的深度而改变。

[0031] 2.测量准确且快速,本发明的传感器采集图像与图像处理技术均集中在图像处理模块中进行,速度快,且所开发的基于图像的测速算法精度高,故可为工艺管理人员提供了电解槽的诊断提供全面的信息。

[0032] 3.成本较低,本发明提供的测温与测速系统采用较为成熟的红外传感器,护套选用耐高温的炭素材料,整个系统的材料均易于获取,成本较低。

[0033] 综上所述,本发明是一种能够快速、准确且经济的铝电解槽熔体温度与流速实时组合测量装置及其测量方法,包括若干个传感器,每个传感头可分布于铝电解的各个关键区域,通过对传感器采集的红外图像进行预处理、比色测温计算、速度计算等操作,实现铝电解槽各区域温度与流速的快速精确测量,该测温系统反馈迅速、寿命长,有效解决了现代超大型铝电解槽测温与测速的难题。

## 附图说明

[0034] 图1为本发明的系统结构框图。

[0035] 图2为本发明针对一个24组阳极电解槽的测量布置图。

[0036] 图3为邻域平均法滤波器原理图。

[0037] 图4为图像测量熔体速度原理示意图。

[0038] 图中:1-分布式测量探头透明保护装置,2-红外检测传感器,3-用户接口模块,4-温度与速度测量模块,5-不锈钢外壳,6-不锈钢内壳,7-不锈钢内套筒,8-透明石英片,9-红外光学成像系统,10-比色调制,11-CCD成像系统,12-图像信号预处理模块,13-测温模块,14-测速模块,15-结果显示模块,16-结果存储模块,17-与控制系统的连接接口,18-第一冷却风道,19-第二冷却风道,20-电解槽,21-电解质。

## 具体实施方式

[0039] 以下结合实施例和附图对本发明作进一步说明。

[0040] 实施例1:

[0041] 如图1所示,铝电解槽熔体温度与流速分布式组合测量装置,主要包括分布式测量探头透明保护装置1、红外检测传感器2、用户接口模块3和温度与速度测量模块4四大部分,红外检测传感器2与温度与速度测量模块4通信连接,温度与速度测量模块4与用户接口模块3通信连接。

[0042] 分布式测量探头透明保护装置1由不锈钢外壳5、不锈钢内壳6、不锈钢内套筒7和透明石英片8组成,不锈钢外壳5内设有不锈钢内壳6且在不锈钢外壳5与不锈钢内壳6之间

形成有第一冷却风道18,不锈钢内壳6内设有不锈钢内套筒7且在不锈钢内壳6与不锈钢内套筒7之间形成有第二冷却风道19,不锈钢外壳5和不锈钢内套筒7面对待测的电解质21的前端均设有透明石英片8。分布式测量探头透明保护装置1的主要作用为保护红外检测传感器2的正常工作,因此采用三层护罩保护装置,而为了实现光纤的传输,在其端部配有透明石英片8,红外检测传感器2置于最内层的不锈钢内套筒7内,能够保证其处于室温工作状态。

[0043] 红外检测传感器2包括有红外光学成像系统9、比色调制10和CCD成像系统11;该部分的主要工作为获取红外数字图像。

[0044] 温度与速度测量模块4包括有图像信号预处理模块12、测温模块13和测速模块14。该部分为本装置的核心部分,通过比色测温与图像动态处理的原理,实现温度和速度的测量。但在测量前,需要对数字图像信号进行处理,消除采样过程中的各类噪声,即需要图像信号预处理模块12。

[0045] 最后为用户接口模块3,包括有结果显示模块15和结果存储模块16。结果显示模块15主要用来现实测量的温度和速度结果,可以为固定的台式,也可以为手持的无显示,结果存储模块16用来将结果存储至机身附带存储器中,此外用户接口模块3还配有与控制系统的连接接口17。

[0046] 如图2所示,将本发明装置的分布式测量探头透明保护装置1及红外检测传感器2组合成一组,置于电解槽20内(该电解槽20拥有24组阳极),本实施例中配置了15组,分别布置于电解槽20内,从而实现电解槽20的分布式温度和速度测量。

[0047] 由于图像采集过程中不可避免的会有各类型噪声的干扰,因此在图像信号预处理模块12中,采用邻域平均法消除噪声,具体步骤为:

[0048] (1)在数字图像中漫游,找到对每一个点读取其对应的像素值 $f(i, j)$ ;

[0049] (2)选择点 $(i, j)$ 周围的八个点作为邻域,如图3所示;

[0050] (3)用该邻域的平均值 $f'(i, j)$ 代替 $f(i, j)$ 的灰度值,其计算公式如下式1所示:

$$[0051] \quad f'(i, j) = \frac{1}{9} \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 f(i+m, j+n) \quad (\text{式1})$$

[0052]  $i, j$ 分别表示:所选取的像素点的横坐标和纵坐标;

[0053]  $f(i, j)$ 表示:所选取点的像素值;

[0054]  $m, n$ 表示:为计算中间变量;

[0055] 对于测温模块13采用的是比色测温法,又称为双波段测温法或双色温度法,是根据热辐射物体在两个波长下的光谱辐射亮度之比与温度之间的函数关系来测量温度的方法,采用双色信号对比的办法可较好地消除环境及发射率的影响,有效地提高了测温精度,合理的选择两个工作波段可以大大减小因被测物体比辐射率变化而引起的测量误差。由于比色温度要比亮度温度和辐射温度更接近于这类物体的真实温度,因此比色测温法应用较为广泛。

[0056] 在波长 $\lambda_1$ 和 $\lambda_2$ 下采集到的图像 $N_1$ 和 $N_2$ ,其实际测温公式2为:

$$[0057] \quad T = \frac{C_2(\lambda_2^{-1} - \lambda_1^{-1})}{\ln R(T, \lambda_1, \lambda_2) - 5 \ln \lambda_2 / \lambda_1 - \ln K} \quad (\text{式2})$$

[0058] T表示:测量的温度;

[0059]  $C_2$ 表示:计算常数;

[0060]  $\lambda_1, \lambda_2$ 表示:测温中选择的熔体入射波长;

[0061] K表示:设备常数;

[0062]  $R(T, \lambda_1, \lambda_2)$ 表示:图像灰度的比值,可通过与热电偶进行校准。

[0063] 对于熔体速度的测量,由红外探头对某个小的固定区域以固定时间间隔拍摄连续图片,当熔体运动时候,提取熔体的运动特征,通过特征点的位移量变化计算移动物体的速度,具体步骤如下:

[0064] (1)将图像中心区域设定为特征区域,本实施例中取一个9像素×9像素的正方形区域;

[0065] (2)取 $t_1$ 时刻该区域中心点 $M(x_1, y_1)$ ,同时将该区域所有像素组成9×9的像素矩阵 $F_{t_1}$ ;

[0066] (3)漫游 $t_2$ 时刻的图像,找到同样大小区域且像素矩阵与 $F_{t_1}$ 相同的区域,并找到该区域的中心点 $N(x_2, y_2)$ ;

[0067] (4)在 $t_1-t_2$ 时间内,该区域熔体的平均流速大小的绝对值可用下列式3计算:

$$[0068] \quad |V| = \frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{t_2 - t_1} \quad (\text{式3})$$

[0069] 式中:|V|表示:测量的速度绝对值;

[0070]  $x_1$ 表示: $t_1$ 时刻,测量区域中心点横坐标;

[0071]  $x_2$ 表示: $t_2$ 时刻,测量区域中心点横坐标;

[0072]  $y_1$ 表示: $t_1$ 时刻,测量区域中心点纵坐标;

[0073]  $y_2$ 表示: $t_2$ 时刻,测量区域中心点纵坐标;

[0074]  $t_1$ 表示:测量所取的 $t_1$ 时刻;

[0075]  $t_2$ 表示:测量所取的 $t_2$ 时刻,取 $t_1$ 之后1-3秒。

[0076] 速度的方向可根据M和N点的位置进行计算,如图4所示。



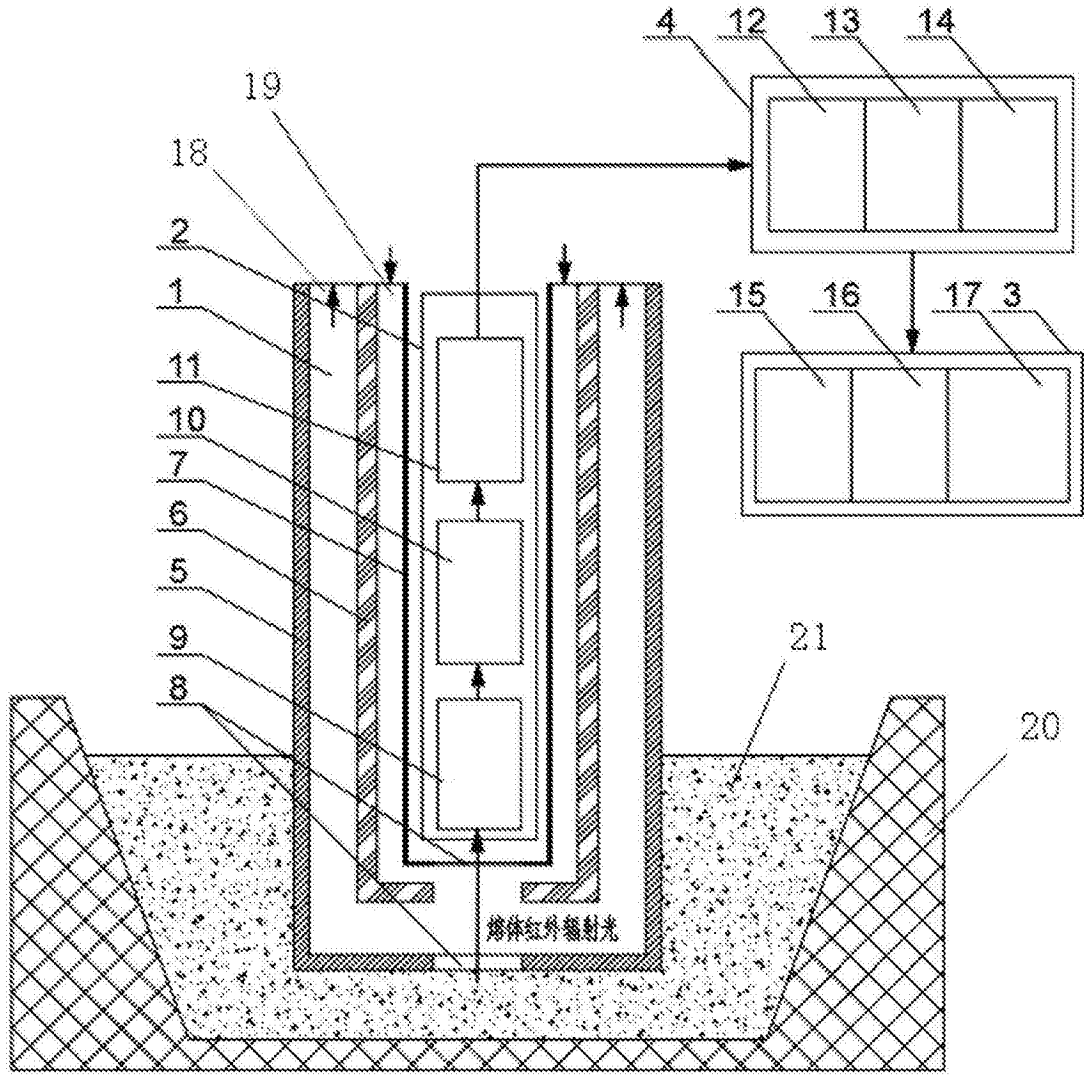


图1

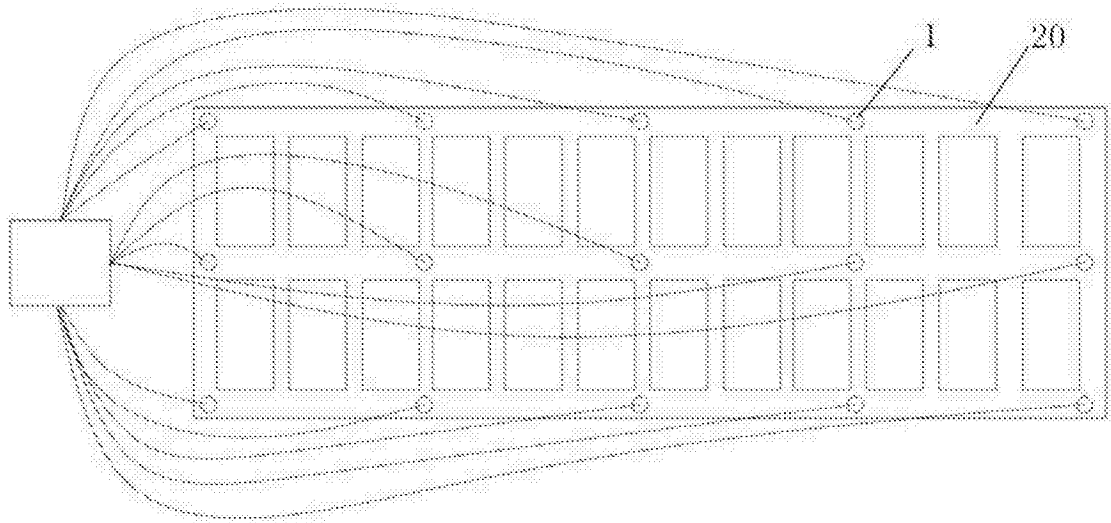


图2

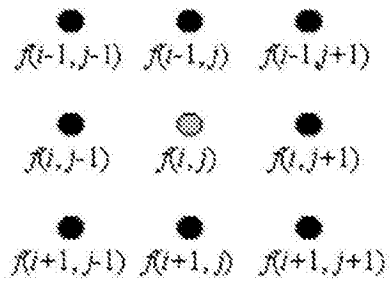


图3

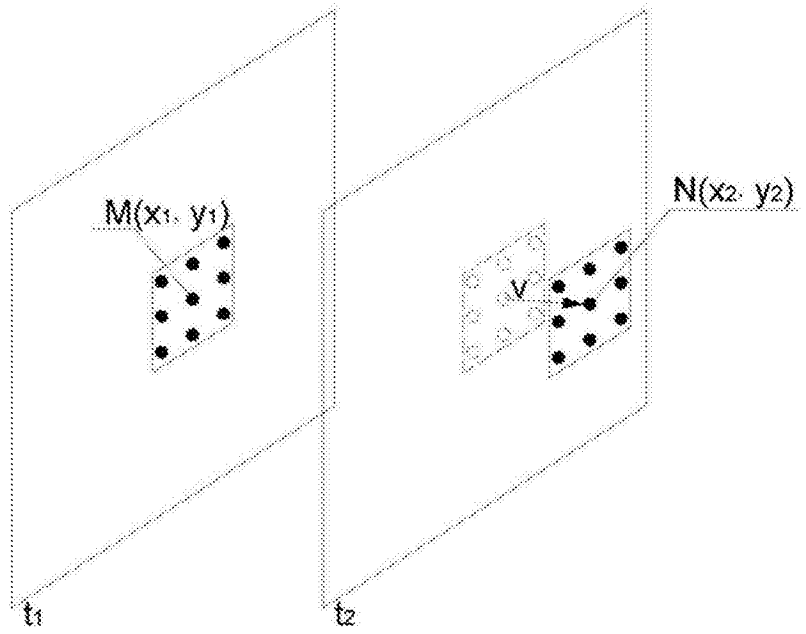


图4