



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112272749 B

(45) 授权公告日 2022.06.24

(21) 申请号 201980038634.7
 (22) 申请日 2019.03.22
 (65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 112272749 A
 (43) 申请公布日 2021.01.26
 (30) 优先权数据
 15/952,832 2018.04.13 US
 (85) PCT国际申请进入国家阶段日
 2020.12.10
 (86) PCT国际申请的申请数据
 PCT/US2019/023611 2019.03.22
 (87) PCT国际申请的公布数据
 WO2019/199427 EN 2019.10.17
 (73) 专利权人 希特沃克斯技术有限公司
 地址 美国南卡罗来纳州沙利文岛

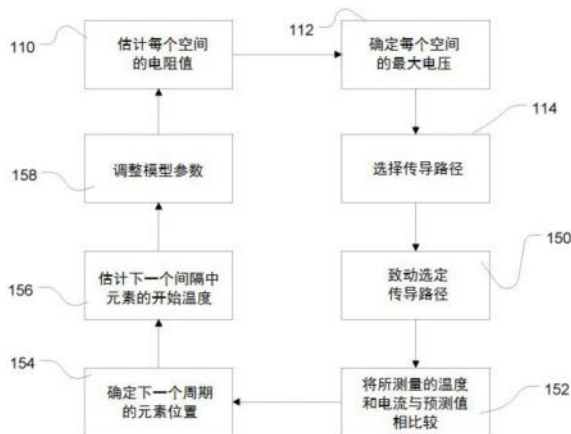
(72) 发明人 迈克尔·J·维科夫斯基
 韦斯顿·斯科特·卡特伦
 耶利米·M·卡拉汉
 (74) 专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569
 专利代理师 王爱涛
 (51) Int.Cl.
 F24H 1/10 (2022.01)
 F24H 9/1818 (2022.01)
 (56) 对比文件
 US 2006291527 A1, 2006.12.28
 DE 2426196 A1, 1975.12.11
 US 2015362210 A1, 2015.12.17
 CN 106766112 A, 2017.05.31
 CN 103477158 A, 2013.12.25
 审查员 刘庆赞
 权利要求书4页 说明书11页 附图5页

(54) 发明名称

带有限元控制的流体加热器

(57) 摘要

一种用于加热导电流体的欧姆加热器,包括电极(14)和电极之间的空间(20)。控制器(52)在一系列的致动间隔期间选择性地将电极连接到电源(36),以形成传导路径,每个传导路径包括连接到不同电位的两个带电电极以及在一个或更多个空间中的流体。控制器将流过空间的流体建模为一系列在空间中移动的有限元(100)。在每个致动间隔之前,控制器估计致动各种可能的传导路径的预期结果,预期结果包括传导路径中流体的估计温度和流过带电电极的估计电流。控制器选择其估计结果满足一组约束条件的一组传导路径,并在致动间隔期间仅致动选定的传导路径。



1. 一种用于加热导电流体的加热器,包括:

(a) 结构;

(b) 多个电极,所述多个电极安装在所述结构上,并且在相邻的所述电极之间具有空间,所述结构适于沿延伸经过所述空间的预定流动路径引导流体流过下游方向的加热器,从而使所述空间内的流体接触所述电极并将相邻电极彼此电连接;

(c) 电源,所述电源具有至少两个极,所述电源可操作以向所述极中的不同的极提供不同的电位;

(d) 电源开关,所述电源开关电连接在至少一些电极与所述极之间,所述电源开关可操作以选择性地将所述电极连接到所述极并且选择性地将所述电极与所述极断开以形成传导路径,每个所述传导路径包括连接到所述电源的不同极的两个带电电极和至少一个所述空间中的流体;

(e) 控制器,所述控制器被配置为通过周期性地操作模型来控制所述电源开关的操作,在所述模型中,所述流体被建模为一系列的流体元素,所述流体元素以基于经过所述加热器的所述流体的流速的速度流过所述空间,每个周期包括以下步骤:

(i) 对针对具有开始和结束的致动间隔的不同传导路径的操作进行建模,进行所述建模步骤,以便选择在所述致动间隔期间用于致动的传导路径,使得选定传导路径的致动不会违反一组约束条件,所述一组约束条件包括在所述致动间隔结束时每个流体元素的最高温度和经过每个带电电极的最大电流,在所述致动间隔开始时使用各个所述流体元素的估计开始温度和电导率进行建模;然后

(ii) 在所述致动间隔开始时致动所述电源开关,以仅将选定传导路径的所述带电电极连接到所述电源;以及

(iii) 使用有限元模型预测在所述致动间隔结束时所述各个流体元素的结束温度;

其中,至少部分地基于先前周期中预测的相同流体元素的所述结束温度来确定每个周期中使用的所述流体元素的所述估计开始温度。

2. 根据权利要求1所述的加热器,其中,所述传导路径中的至少一个包括与所述极断开了的一个或更多个隔离电极以及至少两个空间中的流体,使得这种传导路径的带电电极通过所述空间和所述一个或更多个隔离电极彼此电连接。

3. 根据权利要求2所述的加热器,其中,针对每个传导路径的建模包括:通过考虑设置在一对电极之间的所述空间中的每个流体元素并且确定可以被施加到这种流体元素上而不使所述流体元素的温度升高到所述最高温度以上的最大电压,来为所述传导路径中包括的每对互相相邻的电极设置最大电压;以及基于针对设置在所述电极对之间的所述空间中的任何一个流体元素所确定的最低最大电压来为所述电极对设置所述最大电压。

4. 根据权利要求3所述的加热器,其中,确定每个传导路径是否可以在致动间隔中被致动包括:如果所述传导路径的致动将导致在被包括在所述传导路径中的任何一对互相相邻的电极上施加电压高于该电极对的最大电压,则确定不能致动该传导路径。

5. 根据权利要求4所述的加热器,其中,针对每个传导路径的建模包括:基于并联设置在所考虑的空间中的所述流体元素的电阻,来计算所述传导路径中包括的每对互相相邻的电极之间的空间上的电阻。

6. 根据权利要求5所述的加热器,其中,对于包括一个或更多个隔离电极的每个传导路

径,所述建模包括:确定在所述传导路径中包括的每个所述隔离电极处的电压。

7. 根据权利要求2所述的加热器,其中,所述电极被布置在堆叠中,所述堆叠在第一堆叠方向和第二堆叠方向上延伸,其中,在每个周期中,对不同的传导路径的操作进行建模的步骤包括:指定所述电极中的一个作为第一启动电极,执行对传导路径进行重复建模操作的搜索例程,所述搜索例程包括:将所述启动电极作为一个带电电极,将在选定的一个堆叠方向中从所述启动电极偏移的电极中的另一个电极作为假定带电电极,在每次重复中,使用远离堆叠电极的不同的假定电极,直到:(1)达到成功的结果,在所述成功的结果中,选定所述启动电极和所述假定电极之间的所述传导路径为满足所述约束条件,或者(2)达到不成功的结果,在所述不成功的结果中,包括所述启动电极和在选定的堆叠方向上作为假定电极的距离所述启动电极最远的所述电极的传导路径的建模表明这种传导路径不满足所述约束条件。

8. 根据权利要求7所述的加热器,其中,在每个周期中,对不同的传导路径的操作进行建模的步骤包括:指定假定电极作为新的启动电极,并使用所述相同的堆叠方向重复所述搜索例程,其中所述假定电极在所述搜索例程中产生正向的结果。

9. 根据权利要求7所述的加热器,其中,在每个周期中,对不同的传导路径的操作进行建模的步骤包括:使用所述第一启动电极和与先前选定堆叠方向相反的选定堆叠方向,来重复所述搜索例程。

10. 根据权利要求7所述的加热器,其中,所述控制器被配置为在不同的周期中将不同的电极指定为所述第一启动电极。

11. 根据权利要求1所述的加热器,其中,所述控制器被配置为在每个周期中选择所述传导路径,以使得在所述致动间隔期间在所述电源的所述两极之间流动的预测总电流不超过最大总电流。

12. 根据权利要求1所述的加热器,其中,所述控制器包括用于接收设定点温度的输入,所述控制器被配置为将所述设定点温度用作每个周期中使用的所述最高温度。

13. 根据权利要求1所述的加热器,还包括连接到所述控制器的流量计,所述控制器被配置为响应于由所述流量计提供的数据来设置所述流体的所述流速。

14. 根据权利要求1所述的加热器,还包括入口温度计,所述入口温度计可操作以测量进入所述流动路径的流体的入口温度,所述控制器被配置为部分地基于所述入口温度来估计所述流体元素的开始温度。

15. 根据权利要求14所述的加热器,还包括附加温度计,所述附加温度计可操作以测量在至少一个所述空间的下游沿所述流动路径的位置处的流体的温度,所述控制器可操作以响应于由所述附加温度计测量的所述流体的所述温度,来调整在所述流体元素的建模中使用的至少一个参数。

16. 根据权利要求1所述的加热器,还包括电导率测量仪器,所述电导率测量仪器可操作以测量沿所述流动路径流动的流体的电导率,所述控制器被配置为至少部分地基于所测量的电导率来估计所述流体的电导率。

17. 根据权利要求16所述的加热器,其中,在每个周期中,所述控制器被配置为部分地基于所述流体元素的估计开始温度来估计每个流体元素中的所述流体的所述电导率。

18. 根据权利要求1所述的加热器,其中,所述控制器被配置为部分地基于所述先前周

期的所述流体元素的预测结束温度,并且部分地基于具有不同温度的相邻流体元素之间的热扩散的估计,来估计每个周期的所述流体元素的估计开始温度。

19. 一种在加热器中加热导电流体的方法,所述方法包括:

(a) 使所述流体沿预定流动路径流过,所述预定流动路径延伸经过相邻电极之间的空间,使得所述空间中的流体接触所述电极并且将相邻电极彼此电连接;

(b) 周期性地操作模型,在所述模型中,所述流体被建模为一系列的流体元素,所述流体元素以基于经过所述加热器的所述流体的流速的速度流过所述空间,每个周期包括以下步骤:

(i) 对不同的传导路径的操作进行建模,每个这种传导路径包括两个电极,所述两个电极作为带电电极连接到至少一个空间中的不同电位和流体,针对具有开始和结束的致动间隔选择在所述致动间隔中用于致动的传导路径,使得选定传导路径的致动不会违反一组约束条件,所述一组约束条件包括每个流体元素的最高温度和经过每个带电电极的最大电流,使用所述各个流体元素的估计开始温度和电导率进行建模;然后

(ii) 在所述致动间隔开始时,仅将所述选定传导路径的所述带电电极连接到电源;以及

(iii) 使用有限元模型预测在所述致动间隔结束时各个流体元素的结束温度;

其中,至少部分地基于先前周期中预测的相同流体元素的结束温度来确定每个周期中使用的所述流体元素的所述估计开始温度。

20. 根据权利要求19所述的方法,其中,所述传导路径中的至少一个包括与所述极断开的一个或更多个隔离电极以及至少两个所述空间中的流体,使得所述传导路径的所述带电电极通过所述空间和所述一个或更多个隔离电极彼此电连接。

21. 根据权利要求20所述的方法,其中步骤(b) (i) 包括:通过考虑设置在每对电极之间的所述空间中的各个流体元素并且确定可以被施加到每个这种流体元素上而不使所述流体元素的温度升高到所述最高温度以上的最大电压,来为所述传导路径中包括的每对互相相邻的电极设置最大电压;以及基于针对设置在所述电极对之间的空间中的任何一个流体元素所确定的最低最大电压来为所述电极对设置所述最大电压。

22. 根据权利要求21所述的方法,步骤(b) (i) 包括:如果所述传导路径的致动将导致在被包括在传导路径中的任何一对互相相邻的电极上施加电压高于该电极对的最大电压,则确定不能选择该传导路径。

23. 根据权利要求22所述的方法,其中,步骤(b) (i) 包括:基于并联设置在所考虑的空间中的所述流体元素的电阻,来计算每对互相相邻的电极之间的空间上的电阻。

24. 根据权利要求19所述的方法,其中步骤(b) (i) 包括:对于包括一个或更多个隔离电极的每个传导路径,确定在所述传导路径中包括的每个所述隔离电极处的电压。

25. 根据权利要求19所述的方法,其中,在每个周期中使用的所述最高温度对应于设定点温度,所述设定点温度代表从所述加热器流出的流体的期望温度。

26. 根据权利要求19所述的方法,还包括:在至少一个所述空间的下游沿所述流动路径的位置处测量流体的温度,并响应于所测量的温度来调整所述有限元模型的至少一个参数。

27. 根据权利要求19所述的方法,还包括:测量沿所述流动路径流动的流体的电导率并

估计所述流体的电导率,并且在每个周期中,部分地基于所测得的电导率以及部分地基于所述流体元素中的每个单独流体元素的估计开始温度,来估计所述流体元素中的每个单独流体元素中的所述流体的所述电导率。

28. 根据权利要求19所述的方法,每个周期的所述流体元素的所述估计开始温度部分地基于所述先前周期的所述流体元素的预测结束温度,并且部分地基于具有不同温度的相邻流体元素之间的热扩散的估计。

带有限元控制的流体加热器

[0001] 交叉引用

[0002] 本申请是于2018年4月13日提交的美国申请No. 15/952,832的延续申请,其公开内容通过引用合并于此。

技术领域

背景技术

[0003] 本公开涉及欧姆流体加热装置以及加热流体的方法。可以使用欧姆流体加热器来加热导电流体(例如饮用水)。这种加热器通常包括彼此间隔开的多个电极。电极与待加热的流体接触,使得流体填充相邻电极之间的空间。两个或更多个电极连接到电源,以便将不同的电位施加到不同的电极上。例如,在使用普通交流市电(例如可从家用电源插头获得的普通交流市电)操作欧姆加热器的情况下,至少一个电极连接到载有交流电势的一个极,而至少另一个电极连接到极性相反的极。电流通过电极之间的至少一个空间处的流体在电极间流过,并且电能通过流体的电阻转换为热量。

[0004] 期望控制这种加热器中电能被转换成热量的速率(“加热速率”),以达到被加热流体的期望温度。已经提出了通过机械地使电极彼此相对靠近从而改变电极之间的电阻来改变加热速率。然而,这种布置需要复杂的机械元件,该机械元件包括暴露于流体的运动部件。而且,很难使这种机制快速响应以应对迅速变化的条件。例如,如果在“瞬时加热”布置中使用欧姆加热器来加热提供给诸如淋浴喷头之类的卫生器具的水,则在使用该器具时,水会连续不断地流过加热器直达该器具。如果用户(例如通过打开器具上的阀)突然增加水的流速,则加热器应迅速做出反应以增加加热速率,从而将供应至器具的水保持在基本恒定的温度下。

[0005] 还提出了提供一种欧姆加热器,该欧姆加热器具有大量电极并且具有功率开关以选择性地不同的电极连接到电源的两极。例如,电极的阵列可以以电极之间具有间隔的线性布置设置。该阵列包括位于阵列末端的两个电极以及位于两个末端电极之间的许多中间电极。为了提供最小的加热速率,将末端电极连接到电源的极性相反的极,并将中间电极与该两极隔离。电流从一个末端电极流过第一空间中的流体,到达中间电极中最近的一个,然后经过下一空间中的流体,到达下一个隔离电极,依此类推,直到到达最后一个中间电极为止,电流从最后一个中间电极流到另一个末端电极。因此,所有空间内的流体在两个末端电极之间串联地电连接。这种连接方案提供了低加热速率和电源的两极之间的高电阻。

[0006] 为了获得最大的加热速率,所有电极都连接到该两极,使得每个电极都连接到与其次相邻的极性相反的极。在这种情况下,每个空间中的流体与每个其他空间中的流体并联地直接连接在电源的两极之间。该连接方案在两极之间提供了最小的电阻。通过将电极的各种组合连接到电源的两极,可以达到中等的加热速率。例如,在一种这样的连接方案中,两个中间电极连接到电源的极性相反的极,并且其余电极与电源的两极电隔离。所连接的中间电极通过其他几个中间电极和几个空间彼此隔开,使得仅在几个空间中的流体在两

极之间串联连接。该连接方案提供了两极之间的电阻,该电阻高于最大加热速率方案中的电阻,但是低于最小加热速率方案中的电阻。对于具有给定电导率的流体,不同的连接方案将在两极之间提供不同的电阻,从而产生不同的加热速率。

[0007] 典型地,开关是电可控的诸如半导体开关元件(例如晶闸管)的开关,。这种类型的欧姆加热器可以在连接方案之间快速切换,从而在加热速率之间快速切换。这样的加热器不需要与流体接触的任何运动部件来控制加热速率。这种类型的欧姆加热器只能从由电极的物理构造确定的一组特定电阻以及梯级式的加热速率中选择。如美国专利7,817,906和8,861,943(其公开内容通过引用合并于此)中所公开的,这种加热器的电极可以以不均匀的距离彼此间隔开,以用给定电导率的流体提供宽范围的电阻,并提供多个梯级之间的加热速率的比率基本均匀的大量梯级。如在国际申请PCT/US2017/060192中所公开的(其公开内容通过引用合并于此),通过提供可以选择性地将某些电极彼此连接的分流开关,用给定数量的电极可以提供甚至更多的加热速率梯级。在这种类型的加热器中,可用的开关组合和相关联的加热速率可被存储在查找表中。这种类型的加热器通常由反馈控制系统控制,该反馈控制系统通过选择较高或较低的加热速率来对运行条件作出反应。例如,这种加热器可以包括出口温度传感器。如果从加热器排出的流体处于低于所期望温度(也称为“设定点”温度)的温度,则控制系统将选择加热速率较高的电极组合。这种类型的加热器可以提供有效的加热,并且可以补偿运行条件的差异,例如流速、电导率、入口温度的差异。

[0008] 然而,仍然期望进一步的改进。

发明内容

[0009] 本发明的一个方面提供了一种用于加热导电流体的加热器。理想地,根据本发明的该方面的加热器包括结构和多个电极,该多个电极安装在该结构上,并且在相邻的电极之间具有空间。理想地,该结构适于沿延伸经过所述空间的预定流动路径引导流体流过下游方向的加热器,使得空间中的流体接触电极并将相邻的电极彼此电连接。

[0010] 加热器理想地包括具有至少两个极的电源,该电源可操作以向两极中的不同的极提供不同的电位。加热器优选地包括电连接在电极和两极之间的电源开关,该电源开关可操作以选择性地将电极连接到两极并选择性地将电极与两极断开以形成传导路径,每个传导路径包括连接到电源的不同极的两个带电电极和至少一个空间中的流体。

[0011] 理想地,根据本发明的该方面的加热器包括控制器,该控制器被配置为通过周期性地操作模型来控制电源开关的操作,在该模型中,流体被建模为一系列流体元素,这些流体元素以基于经过加热器的流体的流速的速度流过空间。最理想地,模型的每个周期包括以下步骤:

[0012] (i) 在致动间隔期间对不同的传导路径的操作进行建模,以预测(1)每个流体元素在致动间隔结束时的结束温度,以及(2)流过每个带电电极的电流,根据在致动间隔开始时每个此类流体元素的估计开始温度和电导率进行预测,进行建模步骤,以选择在致动间隔期间可以致动而又不会违反一组约束条件的那些传导路径,一组约束条件包括最大结束温度和经过每个带电电极的最大电流;以及

[0013] (ii) 在致动间隔开始时致动电源开关,以仅将选定传导路径的带电电极连接到电源;

[0014] 其中,至少部分地基于先前周期中预测的相同流体元素的结束温度来确定每个周期中使用的流体元素的估计开始温度。

[0015] 本发明的另一方面提供了加热导电流体的方法。根据以下阐述的详细描述,本发明的其他方面和特征将变得显而易见。

附图说明

[0016] 图1是描绘根据本发明的一个实施例的加热器的示意性截面图,为清楚起见省略了一些元件。

[0017] 图2是在图1的加热器中使用的电极的示意性透视图。

[0018] 图3是图1和图2中所示的加热器的局部框图的电气原理图,为清楚起见省略了一些元件。

[0019] 图4是描绘在图1-3的加热器的操作中执行的控制过程的流程图。

[0020] 图5是描绘构成图4所示过程的一个步骤的例程的流程图。

[0021] 图6是描绘构成图5所示例程的一个步骤的例程的另一流程图。

具体实施方式

[0022] 根据本发明的一个实施例的加热器(图1)包括包括中空壳体13的结构12。电极14安装到壳体上。如图2所示,每个电极通常是矩形平板,该矩形平板具有面对相反方向的主表面16和18以及这些主表面之间延伸的边缘表面。电极14安装在壳体13中,使得在相邻的电极之间限定空间20。如在本公开中参考电极所使用的,表述“相邻”是指在两个相邻电极之间延伸的未被任何其他电极打断的连续空间。电极14的主表面彼此面对,使得电极被堆叠设置,其中一个电极的主表面18面向相邻电极的相对的主表面16。在这种布置中,电极的主表面彼此平行,使得界定每个空间的电极表面之间的距离在整个空间范围内是均匀的。然而,在这种布置中,电极彼此不均匀地间隔开。因此,至少一些成对的相邻电极之间的距离D不同于其他成对的相邻电极之间的距离。

[0023] 在图1中,每个电极14具有在附图标记14旁边用括号括起来的序号。该序号表示堆叠中的电极的位置。因此,电极14(1)在堆叠的一端;接下来是电极14(2),依此类推,最后一个电极14(29)设置在堆叠的相对端。堆叠在电极14(16)处折叠。每个空间20具有序号,该序号对应于界定该特定空间的两个电极的序号。例如,空间20(1-2)由电极14(1)和14(2)界定;而空间20(2-3)由电极14(1)和电极14(2)界定,依此类推。电极14(16)具有一个主表面的两个部分。一部分面对电极14(15),以界定空间20(15-16)。电极14(16)的另一部分面对电极14(17),以界定空间20(16-17)。

[0024] 电极可以由与要加热的流体相容的任何导电材料形成。例如,在流体是水的情况下,电极可以由诸如不锈钢、镀铂钛或石墨的材料形成。形成壳体13的结构还可以包括与流体相容的任何材料,但是应当包括一种或更多种介电材料,该一种或更多种介电材料被布置为使得壳体在任何电极之间不形成传导路径。

[0025] 壳体13限定了连接到这些空间的入口22和出口24。电极14布置在壳体13内,使得电极14与该结构协作在入口22和出口24之间形成连续的流动路径。电极和结构被布置成使得从入口流到出口的流体将按照空间的序号依次顺序地流过所有的空间20。例如,该结构

可以包括在图1中被部分描绘出的挡板21,挡板21限定了将空间20彼此连接的通道23。这些通道被布置成使得流体将以如空间20(21-22)和20(22-23)所示的蛇形方式流过空间20。为了清楚起见,在图1中省略了与一些其他空间相关联的挡板和通道。挡板理想地由介电材料制成,并且不使电极彼此电连接。接地电极30可选地设置在入口和出口内。理想地,这些接地电极远离电极14。

[0026] 如上文关于图1至图2所讨论的加热器还包括电路(图3)。该电路包括具有以导体38和40形式的两个两极的电源36。这些导体连接到插头42,该插头42适于连接到诸如市电插座的电源。替代地或附加地,导体可以布置成永久地连接到承载市电的电路。导体被布置成使得在操作中,不同的电位施加到极38和40。例如,导体40可以是中性导体,该中性导体接收通常接近地电压的中性电压,而导体38可以是“热”的导体,该“热”的导体将接收由交流电源提供的交流电压。

[0027] 电源开关48连接在电极14和电源36之间。电源开关48被布置成使得每个电极可以连接到极38和40之一,或者可以与该两极隔离。在图3中仅描绘出了一些电极和电源开关,为清楚起见,省略了其余的电极和电源开关。如本公开中所使用的,术语“开关”包括可以由诸如继电器等的装置致动的机械开关,并且还包含可以被致动以在具有非常高的阻抗的导电状态与具有非常低的阻抗的“接通”状态之间切换的固态装置。固态开关的示例包括双向可控硅,MOSFET,晶闸管和IGBT。优选固态开关,因为它们可以快速致动。在所描绘的特定布置中,两个单独的单刀单掷开关与每个电极相关联,每个开关可操作以将相关联的电极与不同的一个极连接。当两个开关都断开时,每个电极都与两极隔离。然而,该布置可以由任何其他电气等效的开关布置代替。

[0028] 如下面进一步讨论的,通过操作开关48与电源36隔离的电极14可以通过空间20中的流体电连接到一个或多个其他电极,并且其他电极可以连接到两极。在确定电极是否连接到两极时忽略了这种间接连接。换句话说,如本公开中所使用的,将电极连接到电源的极的陈述应理解为意味着电极通过电源开关和相关联的电导体直接连接到电源。

[0029] 加热器还包括位于入口22(图1)中的入口温度传感器61,位于出口24中的出口温度传感器63,以及设置在远离入口和出口的流动路径中(例如在空间20(15-16)和20(16-17)之间的、大约沿流动路径的中途的)的一个或多个中间温度传感器65。温度传感器可以是常规元件,例如具有随温度改变的电阻的热电偶、热敏电阻或电阻器。例如在入口22处的流量计67被设置成与经过加热器的流动路径成串行流动关系。该流量计也可以是常规元件,该常规元件为例如涡轮传感器、超声流量计或适于测量沿流动路径的两个点之间的压力差(例如入口22和出口24之间的压力差)的仪表。还设置了电导率测量仪器,用于测量流经加热器的流体的电导率。在所描绘的实施例中,电导率测量仪器包括加热器的前两个电极14(1)和14(2),以及与电源的一个极38串联连接的电流传感器80。如下所述,控制电路被布置为将电极14(1)和14(2)瞬时连接到电源的极性相反的极,同时使所有其他电极与电源隔离。在这种条件下流过电源的电流与空间20(1-2)中的流体的电导率以及电源所施加的电压成比例。该电压可以被假定为具有指定值,或者可以由连接在极38和40之间的电压表78来测量。在其他实施例中,电导率测量仪器可以包括分离的电极,该电极可以由分离的电源供电。

[0030] 加热器还包括控制器58(图3)。该控制器包括逻辑单元72和存储器70。逻辑单元可

以包括可编程微处理器、硬线逻辑电路、可编程门阵列或能够执行本文所讨论的操作的任何其他逻辑元件。尽管在本文中使用了术语“单元”，但这并不要求构成该单元的元件设置在单个位置。例如，逻辑单元的一部分可以设置在物理上分开的位置，并且可以通过任何适当的通信介质彼此可操作地连接。存储器理想地包括非易失性存储器70（例如，只读存储器（“ROM”）、可编程只读存储器或盘存储器），其存储被配置为致动微处理器以执行以下讨论的操作的指令。存储器70理想地还存储表示加热器的构造的数据（例如，表示各种电极的尺寸的数据；电源开关等的最大额定电流）。理想地，存储器70还包括易失性存储器（例如用于存储诸如在以下讨论的操作中的中间结果之类的数据的随机存取存储器）。存储器70还可以包括通过通信信道互连的多个物理上分离的元件。

[0031] 逻辑单元72具有例如通过常规驱动器电路（未示出）连接到电源开关48的一个或更多个输出（未示出），该常规驱动器电路被布置成将逻辑单元提供的信号转换成适当的电压或电流以致动开关。逻辑单元还具有连接到上述温度传感器、电流传感器和流量传感器的输入。设定点输入元件71连接到控制器，用于提供期望的设定点温度的值，即，从加热器流出的流体的期望的温度。设定点输入元件可以是诸如旋钮或键盘之类的可手动操作的装置，或者是能够通过诸如因特网之类的通信介质接收期望的设定点的通信装置。在另一种变型中，固定的设定点可以例如作为存储在存储器72中的指令的一部分存储在存储器中，或者可以内置在控制器中。

[0032] 控制器52操作加热器的数学模型。在此模型中，流经加热器的流体被建模为一系列单独的流体元素，每个流体元素具有预定的体积。例如，在用于家庭用水加热的加热器中，每个流体元素可具有1立方厘米的体积。该模型将流体表示为一系列这些元素。在图1中以虚线描绘出了一些流体元素100。每个流体元素100被建模为在第一空间20（1-2）的入口处开始存在并且被建模为以与经过加热器的液体的流速成比例的速度沿流体路径运动经过空间20和通道23。如下面进一步解释的，控制器将在紧接彼此之后的固定持续时间的一系列短暂致动间隔期间致动电极。空间20和通道23的体积是固定的并且是已知的，使得沿流体路径的每个位置对应于从入口到第一空间的已知数量的流体元素。该模型在每个致动间隔的开始时跟踪流体元素的位置。例如，如果模型表示在第一致动间隔即将开始之前创建的特定流体元素100a，并且流速使得在每个致动间隔期间创建了10个流体元素，则元素100a将在下一个驱动间隔开始时位于元素100b的位置。在较高的流速下，相同的流体元素将位于图1中100c所示的位置。

[0033] 该模型维护每个流体元素的温度数据。当被创建时，每个流体元素具有在创建元素时由入口温度计61测量的温度。如下面进一步讨论的，每个流体元素的温度数据被更新以代表在连续的致动间隔期间施加的功率的影响。在启动时，模型假设所有空间20都填充有一组流体元素，并且所有流体元素都处于所测得的入口温度。在启动时以及此后定期地，控制器测量进入的流体的电导率，并在电导率测量期间测量进入的流体的温度，以提供基准电导率数据。该数据与流体的电导率随温度的已知变化一起用于更新各种流体元素的温度，以估计每个元素中流体的电导率。

[0034] 控制器如图1所描绘的那样周期性地操作模型。在步骤110中，控制器在下一致动间隔的开始时估计界定每个空间20的电极之间的总电阻或电导（电阻的倒数）。该估计基于在下一个致动间隔将开始的时候将被设置在空间内的流体元素的各个电阻。每个流体元素

的电阻将取决于所估计的流体元素的电导率,以及界定空间的电极之间的距离。根据基准电导率数据和在致动间隔开始时每个流体元素的估计温度来计算每个流体元素的估计电导率。电极之间的距离确定电极之间的电流路径的长度以及在与电流路径垂直的平面中流体元素的横截面积。例如,设置在被较宽地间隔开的电极之间的空间20(2-3)中的流体元素100b(图1)具有相对较长的路径长度和相对较小的横截面面积。相反,设置在空间20(5-6)中的流体元素100c具有较短的路径长度和较大的横截面积。如果两个流体元素具有相同的电导率,则元素100c将具有低得多的电阻。因为电极之间的空间是固定的并且是已知的,所以每个空间都有一个电阻参数,以便可以通过将参数除以该流体元素的估计电导率来计算每个流体元素的电阻。该电阻参数理想地存储在存储器中。每个流体元素的估计电阻的计算可以作为每个流体元素的估计电导的计算来执行,其中电导是电阻的倒数。换句话说,应当理解,电导的计算隐式地计算电阻,反之亦然。

[0035] 界定每个空间20的电极之间的总电阻或电导是根据空间中彼此平行的各个流体元素的电阻或电导来计算的。总电导只是设置在空间内的流体元素的电导之和。

[0036] 在下一步骤112(图6)中,控制器确定可在下一个致动间隔期间在界定每个空间的电极之间施加的最大电压,该最大电压不会将该空间内的任何流体元素加热到高于最高温度的温度。在该实施例中,最高温度等于设定点温度,即,从加热器流出的流体的期望温度。对于每个流体元素,在不将该元件加热到最高温度以上的情况下可以施加的最大电压为:

$$[0037] \quad E_{max} = \sqrt{Relement K1 (T_{max} - T_{element})} \quad (\text{公式 1})$$

[0038] 其中:

[0039] E_{max} 是可以施加的最大电压;

[0040] $Relement$ 是在致动间隔开始时流体元素的估计电阻;

[0041] T_{max} 是最高温度;

[0042] $T_{element}$ 是在驱动间隔开始时流体元素的估计温度;以及

[0043] $K1$ 是一个常数,该常数等于流体的比热乘以流体元素的质量再除以致动间隔的持续时间。该常数对于每个流体元素都是相同的。

[0044] 对于包括生活用水和大多数或所有离子溶液的大多数流体,电导率随温度而增加。对于此类流体, $Relement$ 和 $(T_{max}-T_{element})$ 两者都会随着 $T_{element}$ 的增大而减小。因此,对于这种流体,特定空间中任何流体元素的 E_{max} 的最小值始终是在致动间隔开始时具有最高估计温度的元素的 E_{max} 值。因此,在步骤112中,控制器简单地在每个空间中选择具有最高估计温度的元素,并通过求解针对该元素的公式1来确定最大电压。可以通过显式计算或通过使用针对 $Relement$ 和 $(T_{max}-T_{element})$ 的各种组合的具有存储的 E_{max} 值的查找表来完成此确定。

[0045] 在接下来的步骤114中,控制器选择用于下一个致动周期中的致动的一组传导路径。此步骤的目标是选择一组传导路径,以使所有传导路径均满足以下约束条件。首先,传导路径的致动将不会使任何流体元素被加热到上述最高温度 T_{max} 以上。第二,传导路径的致动将不会导致超过将带电电极连接到电源的一个极的开关的电流容量的电流经过任何带电电极。第三,该组中所有传导路径的致动将不会导致电源的两极之间的电流超过预定的最大总电流,该预定的最大总电流通常设置为电源的额定容量或略低于电源的额定容

量。

[0046] 步骤114中使用的例程在图5中示出。在该例程的步骤116,控制器选择将在搜索中使用的初始电极。在该实施例中,通过基本随机选择来选择初始电极。例如,控制器可以运行用于在等于电极序号范围的范围内生成随机数或伪随机数的常规例程,并且选择具有最接近该随机数的序号的电极作为初始电极。因此,对于图1所描绘的具有29个电极的加热器,随机数将在1到29之间。例如,如果随机数是6.2,则例程选择电极14(6)作为初始电极。

[0047] 在步骤117中,例程选择搜索方向,即从初始电极朝向电极14(1)处的堆叠的第一端的第一堆叠方向,或者从初始电极朝向电极14(29)处的堆叠的第二端的第二堆叠方向。该选择是任意的,并且还可以基于随机数或伪随机数。

[0048] 然后,例程将初始电极设置为用于假定的传导路径的启动电极,即,设置为要连接到电源的热极的路径的一个带电电极(步骤118)。在步骤120中,例程假定与启动电极相邻但是在搜索方向上偏离启动电极的电极作为传导路径的另一个带电电极,以连接到电源的中性极。例如,如果电极14(6)是启动电极并且搜索方向是第一方向,则电极14(5)将是假定的电极。

[0049] 在步骤122中,例程然后使用图6中所示的例程来测试假定的传导路径。在该例程的步骤124中,控制器估计将在传导路径内的每个空间上施加的电压。在上面讨论的示例中,在传导路径仅包括两个带电电极和一个空间的情况下,该空间上的估计电压只是施加在电源的两极之间的全部电压。但是,如果假定的传导路径包括如下所述的一个或多个隔离电极和两个或多个空间,则控制器会将传导路径建模为串联电路。在该建模步骤中,每个空间的电阻是在上面所讨论的步骤110中估计的该空间的电阻。传导路径中空间的电阻被建模为通过一个或多个隔离电极串联连接。每个隔离电极上的电压将具有电源的热电压和中性电压之间的值,并且每个空间上出现的电压将低于电源的全电压。在串联模型中,每个空间上的估计电压将是电源施加的全电压与空间上的电阻的乘积除以假定传导路径中所有空间上的电阻之和。

[0050] 在步骤126中,如步骤112(图4)所确定的,控制器将假定传导路径中每个空间的估计电压与该空间的最大电压进行比较。如果这样的比较表明,对于路径中的任何空间,估计的电压超过了该空间的最大电压,则例程拒绝该路径(步骤128)。

[0051] 如果否,则例程进入步骤130,并估计经过每个带电电极(即,经过启动电极和假定电极)的电流,从而估计经过电源开关的电流,该电源开关将那个电极与电源连接。例程首先计算将流过假定的传导路径的这些电极之间的电流的估计值。通过将电源的全电压除以传导路径中包括的所有空间上所有电阻之和,可以找到该估计电流。如果包含启动电极和假定电极的假定传导路径是包含这些电极的唯一传导路径,则经过每个带电电极的估计电流等于经过假定传导路径的电流。如下所述,某些带电电极将被包括在两个不同的传导路径中。如果假定电极或启动电极已作为带电电极被包括在已被接受的另一条传导路径中并被包括在要致动的一组传导路径中,则例程会将假定的传导路径的估计电流添加到另一条传导路径的估计电流,以达到该电极的总电流。如果总电流高于电极的最大电流,即高于与电极相关联的电源开关的额定电流(步骤132),则例程进入步骤128并拒绝该假定的传导路径。

[0052] 如果否,则该例程通过将经过假定的传导路径的估计电流与经过包括在要致动的

该组传导路径中的任何先前接受的传导路径的估计电流相加来估计在致动间隔期间将从电源汲取的总电流(步骤134)。将估计的总电流与电源的最大电流进行比较(步骤136)。如果估计的总电流超过电源的最大电流,则该例程拒绝该假定的传导路径(步骤128)。如果否,则测试例程接受该假定的传导路径满足所有约束条件,并且在致动间隔内将该传导路径添加到该组传导路径中(步骤138)。在步骤128或步骤138之后,测试例程122完成,并且系统进入路径选择例程的步骤140(图5)。

[0053] 如果步骤122添加假定的传导路径失败,则选择例程确定假定电极是否设置在从启动电极开始沿搜索方向设置的堆叠的一端(步骤142),即,电极14(1)是否为假定电极,假设第一方向是搜索方向。如果否,则系统选择在搜索方向上距启动电极较远的下一个电极作为假定电极,以与启动电极形成传导路径(步骤144),以假定新的传导路径,并重复测试步骤122。在上面讨论的示例中,选择电极14(6)作为启动电极,并假定相邻电极14(5)为传导路径的另一个带电电极,并在步骤122中进行了测试,测试例程122失败将导致步骤144假定新的传导路径,该新的传导路径包括将同一启动电极14(6)作为一个带电电极,将电极14(4)作为另一带电电极并且将电极14(5)作为隔离电极。如果该路径在步骤122中也失败,则选择例程将假定另一条传导路径,即带电电极14(6)和14(3)以及隔离电极14(5)和14(4)。这一例程直到测试成功或在步骤122中堆叠一端的启动电极14(6)和假定电极14(1)的测试失败。换句话说,选择例程通过搜索较长的传导路径来响应假定传导路径的失败,较长的传导路径将具有较低的电流并在每个空间中具有较低的施加电压。

[0054] 如果假定的传导路径通过了步骤122并被添加到要致动的电极的组中,则选择例程进入步骤145,并再次检查该传导路径中的假定电极是否在堆叠的一端,即,如果搜索方向为第一方向,则检查假定电极是否为电极14(1)。若否,则表明在最后接受的传导路径与堆叠的一端之间还有电极和空隙。该选择例程进入步骤146,并将在最后接受的传导路径中使用的假定电极设置为新的启动电极。例如,如果具有连接到热极的启动电极14(6)和连接到中性极的假定电极14(3)的传导路径已成功通过步骤122中的测试例程,则选择例程将设置电极14(3)为连接到中性极的启动电极。该选择例程使用上面讨论的步骤来尝试寻找另一条传导路径。在同一示例中,例程将首先假定设置在从启动电极14(3)开始的第一方向上的相邻电极14(2)为带电电极,以连接到电源的热极。如果该假定路径在步骤122中失败,则例程将假定包含电极14(1)的新的传导路径。

[0055] 以这种方式,选择例程搜索在从步骤116中选择的初始电极开始的搜索方向上设置的传导路径。当例程在步骤142或步骤144中到达搜索方向上的堆叠一端时,在此方向上的搜索已完成。然后,例程检查是否已经使用了两个搜索方向(步骤148)。如果否,则选择例程返回步骤117,并选择相反的搜索方向,并搜索在从初始电极开始的新的搜索方向设置的可接受的传导路径。该搜索以与上述完全相同的方式进行。当已经使用了两个搜索方向时,这组传导路径完成,选择例程114(图4和5)结束。在该过程的此阶段,控制器已存储将要在即将到来的致动间隔中使用的所有传导路径的集合,该集合包括要连接到电源的热极和中性极的电极的标识。

[0056] 在下一个致动间隔开始时,控制器操作电源开关48(图3),以将电极14与电源36的极38和40之间的连接从上一步的致动间隔中使用的连接更改为仅形成在步骤114中选择的一组传导路径所需的连接方式。在电源36提供交流电压的情况下,每个致动间隔的开

始和结束都理想地在交流电压的零交叉点处或附近发生。因此，每个致动间隔理想地具有等于电源电压的半周期的整数倍的持续时间。例如，每个致动间隔可以是1/60秒，对应于电源电压的一个完整周期。控制器可以包括用于计时致动间隔的内部时钟（未示出），该时钟与电源电压同步。例如，控制器可以使用锁相环或其他常规元件来将内部时钟的时序与电源电压进行比较并相应地调整内部时钟。

[0057] 在致动间隔期间，控制器从温度传感器61、63和65（图1）以及与电源相关联的电流传感器80接收测量数据，并将该数据与预期值进行比较（步骤152）。例如，可以将传感器80测量的流过电源的总电流与总电流的期望值（即所使用的传导路径的估计电流之和）进行比较。可以将中间温度传感器63和出口传感器65处的流体温度与在致动间隔期间位于这些传感器处的流体元素的估计温度进行比较。

[0058] 在步骤154中，控制器基于流量计67测得的流速，确定下一个致动间隔开始时流体元素所处的位置。

[0059] 在步骤156中，控制器估计在开始于步骤150的致动间隔结束时每个流体元素将具有的温度。对于设置在该间隔期间被致动的传导路径中包括的空间内的每个流体元素，该结束温度的第一估计值 T_{end1} 由下式给出：

$$[0060] \quad T_{end1} = T_{begin} + K_2 (E_{est})^2 / R_{est}$$

[0061] 其中：

[0062] T_{begin} 是在致动间隔开始时流体元素的估计温度；

[0063] E_{est} 是在步骤124（图6）中确定的界定空间的电极之间的估计电压；

[0064] R_{est} 是在致动间隔开始时设置在空间中的流体元素的估计电阻；以及

[0065] K_2 是一个常数，该常数等于驱动间隔的持续时间除以流体元素的比热与质量的乘积。

[0066] 因此， T_{end1} 表示每个流体元素内的电功率耗散的影响。因此，对于那些设置在致动的传导路径之外的流体元素， T_{end1} 等于 T_{begin} 。理想地进一步调整第一估计值 T_{end1} 以考虑相邻流体元素之间的例如通过传导和混合的热传递。对于任何流体元素100n（图1），热量按顺序传递到紧邻的元素100(n-1)和100(n+1)或从紧邻的元素100(n-1)和100(n+1)传递。因此，元素100n的调整后的估计值 $T_{end2}(n)$ 由下式给出：

$$[0067] \quad T_{end2}(n) = T_{end1}(n) + K_3 (T_{end1}(n-1) - T_{end1}(n)) + K_3 (T_{end1}(n+1) - T_{end1}(n))$$

[0068] 其中：

[0069] K_3 是一个常数，该常数通常称为“扩散常数”；以及

[0070] $T_{end1}(n-1)$ 和 $T_{end1}(n+1)$ 是相邻流体元素的第一估计温度。

[0071] 一旦已经为所有流体元素确定了调整后的估计温度 T_{end2} ，则控制器进入步骤158，在该步骤158中可以如下所述进一步调整控制器所使用的参数。此步骤不必在每个周期中都发生。在步骤158之后，如果使用的话，则控制器返回到步骤110。应当理解，参考图4所讨论的操作可以被不断重复执行。因此，在步骤150中启动一个致动间隔之后，控制器在该致动间隔结束之前执行步骤152-158和110-114。在该操作周期中，用于设置给定致动间隔的传导路径的流体元素的估计开始温度基于下一个先前致动间隔的估计结束温度。

[0072] 应当注意，如上所述操作的控制系統没有明确地试图找到整个加热器的整体加热速率，该整体加热速率会将进入的流体带到期望的设定温度。相反，控制系统试图在每个周

期中找到电极的组合,这些电极将为流体提供热量,而不会将流体的任何部分加热到设定点温度以上。有限元控制系统将(作为每个流体要素的估计温度的反映的)每个流体要素的历史记录用作控制方案的一部分。然而本发明不受任何操作理论的限制,据信这有助于控制系统对操作条件的变化(例如流速或电导率的变化,或设定点温度的变化)迅速作出反应的能力。

[0073] 在步骤158中,控制器检查所测量的温度和所测量的电流与在步骤152中获得的相应估计值的比较结果,并基于这些结果调整模型中使用的一个或更多个参数。该检查可以包括在多个周期中获得的比较结果。例如,可以平均几个周期的比较结果。在一个简单的示例中,如果电源处的测量电流始终低于估计值,则控制器可以降低模型中使用的基准电导率。在另一个示例中,如果温度的测量值表明从入口传感器61到出口传感器65的流体中的温度升高始终低于期望值,并且当前数据表明模型中使用的基准电导率是准确的,这表明流过加热器的流量大于流量计指示的流量。为了对此进行补偿,控制器可以在将来的周期中对流速施加校正因子或偏移量。或者,控制器可以减小模型中使用的电导率值。这将导致模型选择在空间上施加更高电压的传导路径,从而增加加热效果。控制器可以基于所测量的从入口传感器61到中间传感器63的温度上升与相同流体路径的预测温度上升之间的比较,来进行类似的调整。入口传感器和中间传感器之间的相对较短的流体路径长度为调整提供了更快的响应时间。基于比较,可以使用从中间传感器63到出口传感器65的流体路径进行类似调整。

[0074] 上面讨论的实施例可以以许多方式变化。例如,可以使用更多的电极或更少的电极。同样,设置测量仪器来测量流速、流体温度和电流也不是必须的。例如,如果通过容积泵或在恒定扬程下将流体供应到加热器,则流速是已知的。同样,在流体的电导率受到良好控制和已知的情况下,无需对其进行测量。

[0075] 以上参考图5和图6所讨论的传导路径选择例程使用初始电极的随机选择和经过堆叠的双向搜索以寻找可接受的传导路径。初始电极的随机选择通常会导致选择例程在不同的驱动间隔期间选择不同的传导路径,即使加热器在恒定条件下运行也是如此。这是理想的,因为它通过不同的电源开关发送电流。这有助于避免单个电源开关的过热,这对于半导体电源开关而言尤其理想。在其他实施例中,可以将路径选择例程设置为总是从堆叠的一端的初始电极开始并且仅在一个方向上搜索可接受的传导路径。实际上,以任何特定顺序搜索可接受的传导路径并不是必不可少的;该系统可以简单地假定随机的传导路径。

[0076] 在上面讨论的传导路径选择例程中,在测试每个假定的传导路径的步骤期间施加从电源汲取的总功率的约束条件,而与传导路径在加热器内的位置无关。在一个变型中,选择例程可以选择传导路径的初始集合而不考虑该约束条件,然后通过基于路径的位置根据优先级删除传导路径来应用该约束条件,直到满足总电流约束条件为止。例如,删除方案可以被偏置以便保留最接近加热器的出口的那些传导路径,同时删除远离出口的传导路径。在另一变型中,可以完全省略该约束条件。例如,电源的容量可以大于传导路径的任何组合可以汲取的最大总电流。

[0077] 在以上讨论的实施例中,通过为每个空间设置最大电压,在选择传导路径时施加最大流体温度作为约束条件。在一个变型中,在估计传导路径中的空间上施加的电压之后,可以显式计算每个假定的传导路径中每个空间的最高估计流体元素温度,并且如果该最高

估计流体元素温度超过最高温度,则可以拒绝该传导路径。在另一种变型中,在用于设置每个空间的最高电压或用于确定最高估计的流体元素温度的计算中,可以考虑相邻元素之间的热传递效应。

[0078] 在上述实施例中,在选择传导路径中使用的最大流体元素温度是设定点温度,并且在整个加热器中是均匀的。在其他实施例中,最大流体元素温度在加热器的不同部分中可以不同,例如,在加热器的远离出口的部分中稍高。

[0079] 在以上讨论的实施例中,电极被布置在堆叠中,并且流体的流动使流体沿与经过该堆叠的一个方向相对应的方向移动。但是,电极不必布置在堆叠中,并且加热器的挡板和内部通道可以被布置成以任何顺序引导流体经过空间,只要在模型中考虑了该顺序即可。

[0080] 尽管本文已经参考特定实施例描述了本发明,但是应该理解,这些实施例仅是本发明的原理和应用的说明。因此,应当理解,在不脱离由所附权利要求限定的本发明的精神和范围的情况下,可以对示例性实施例进行多种修改,并且可以想到其他布置。

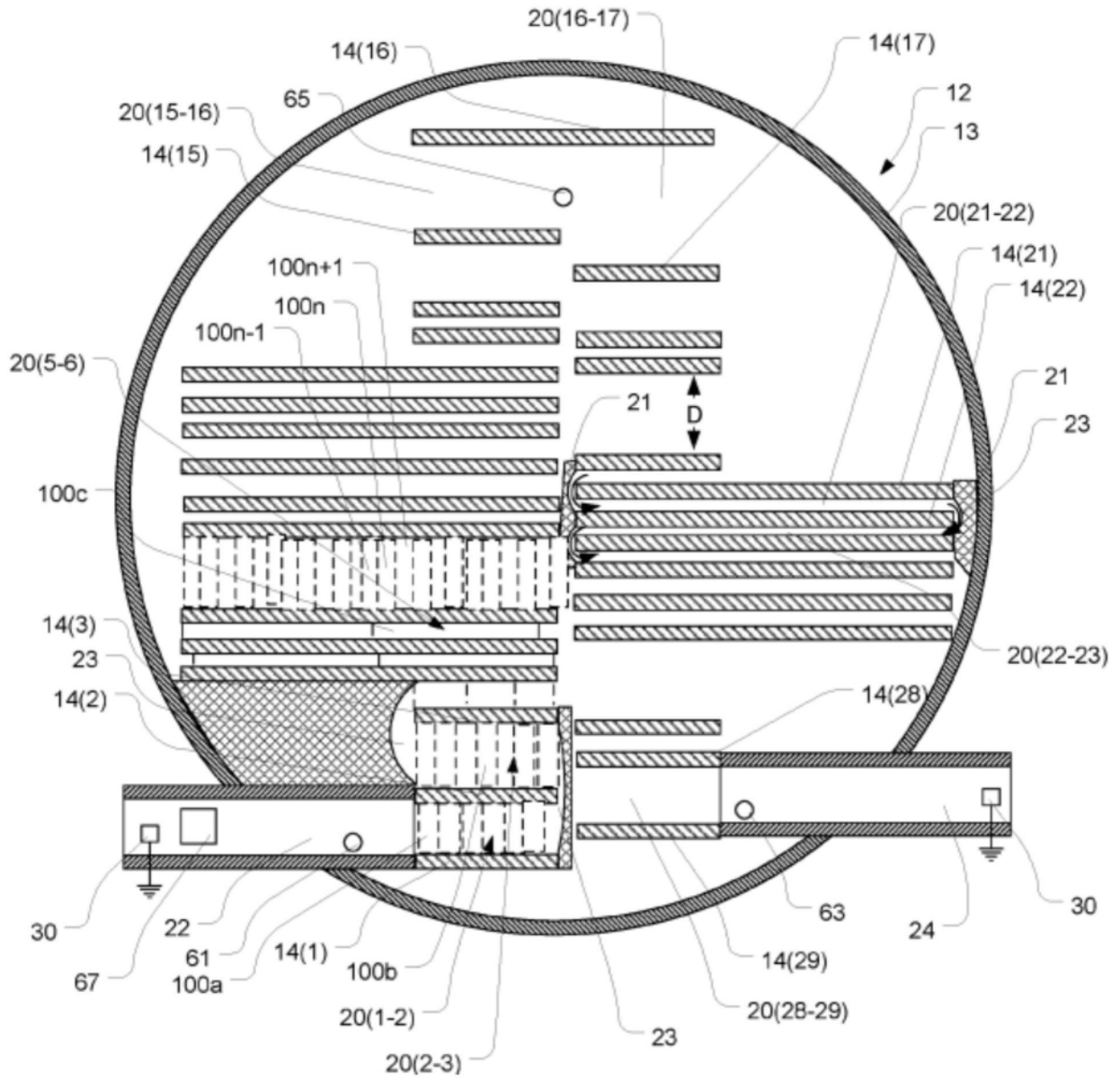


图1

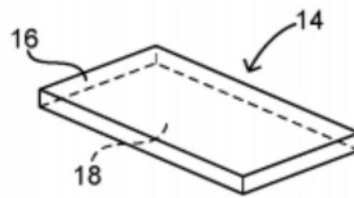


图2

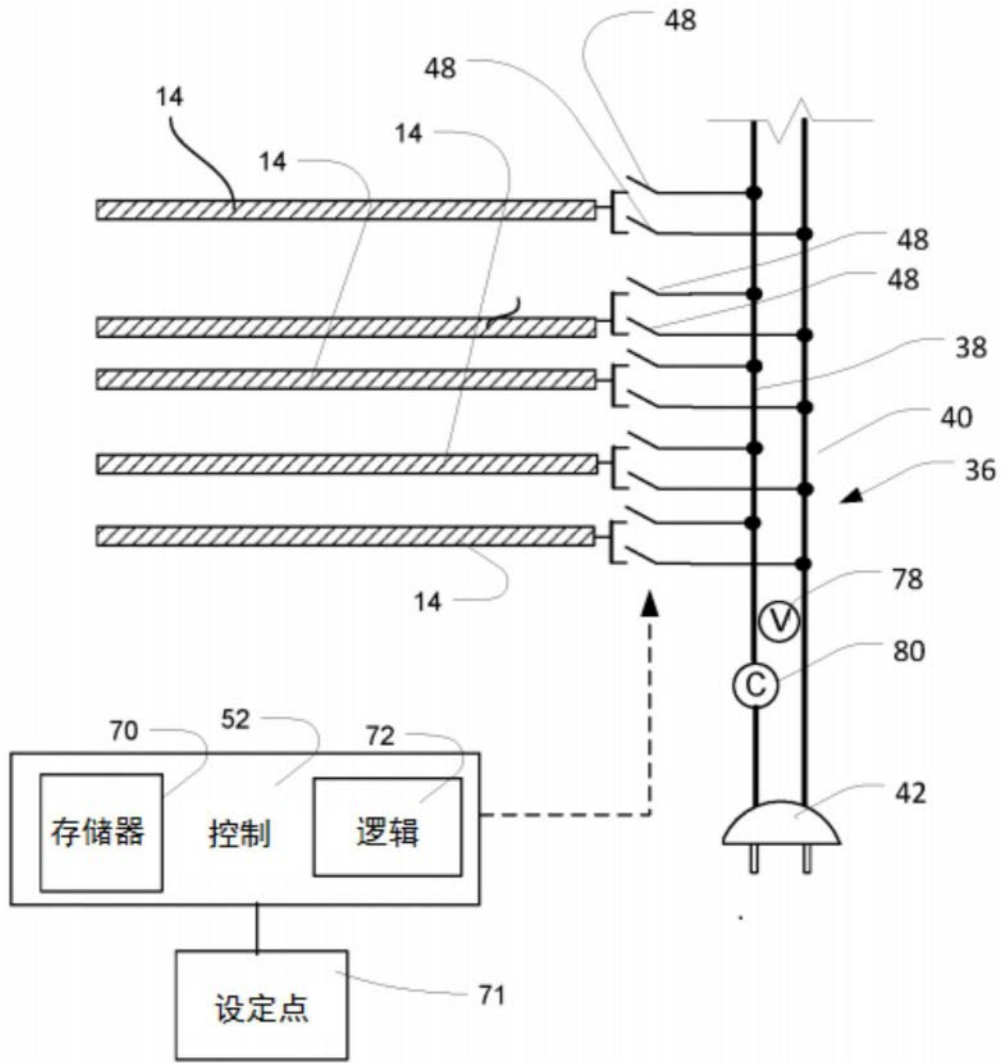


图3

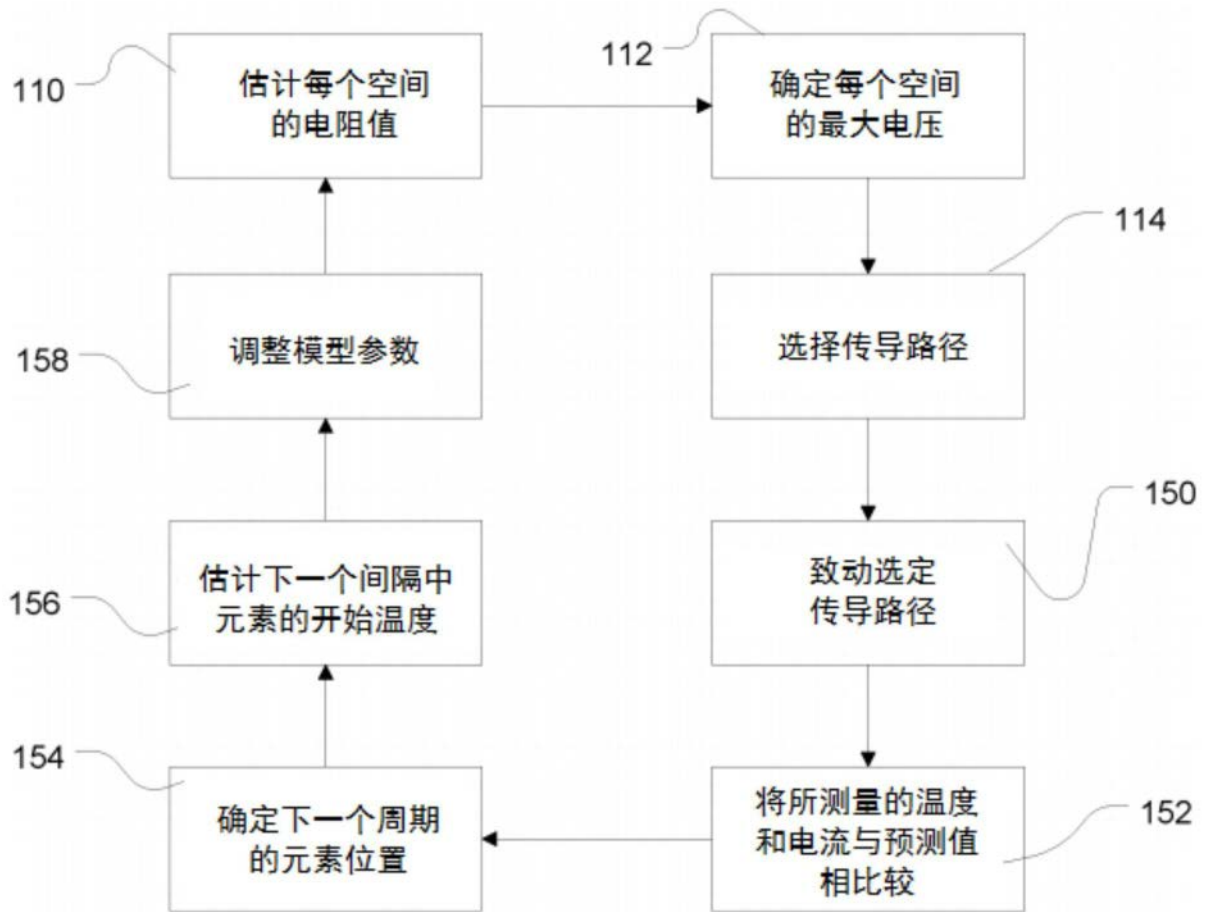


图4

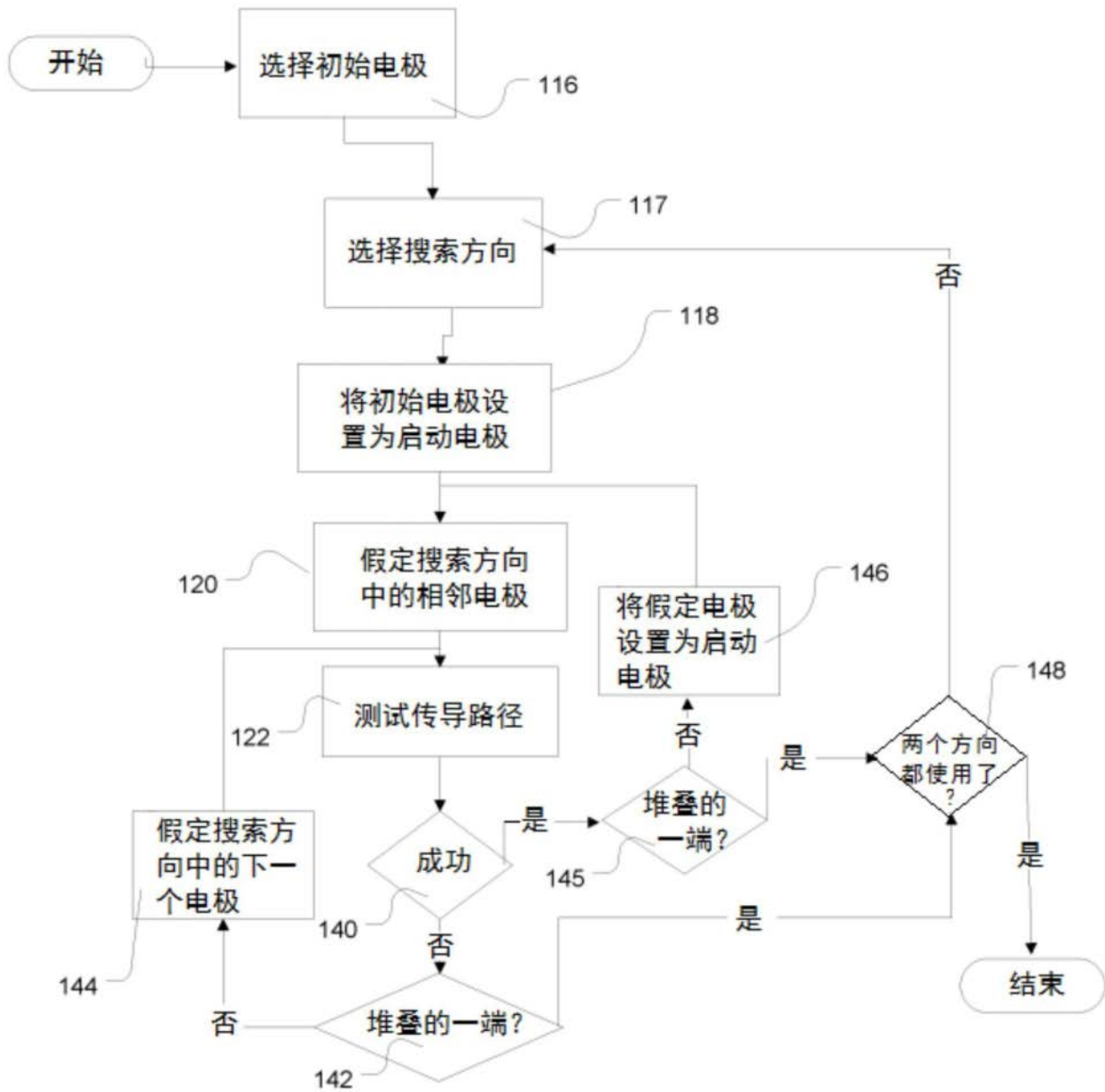


图5

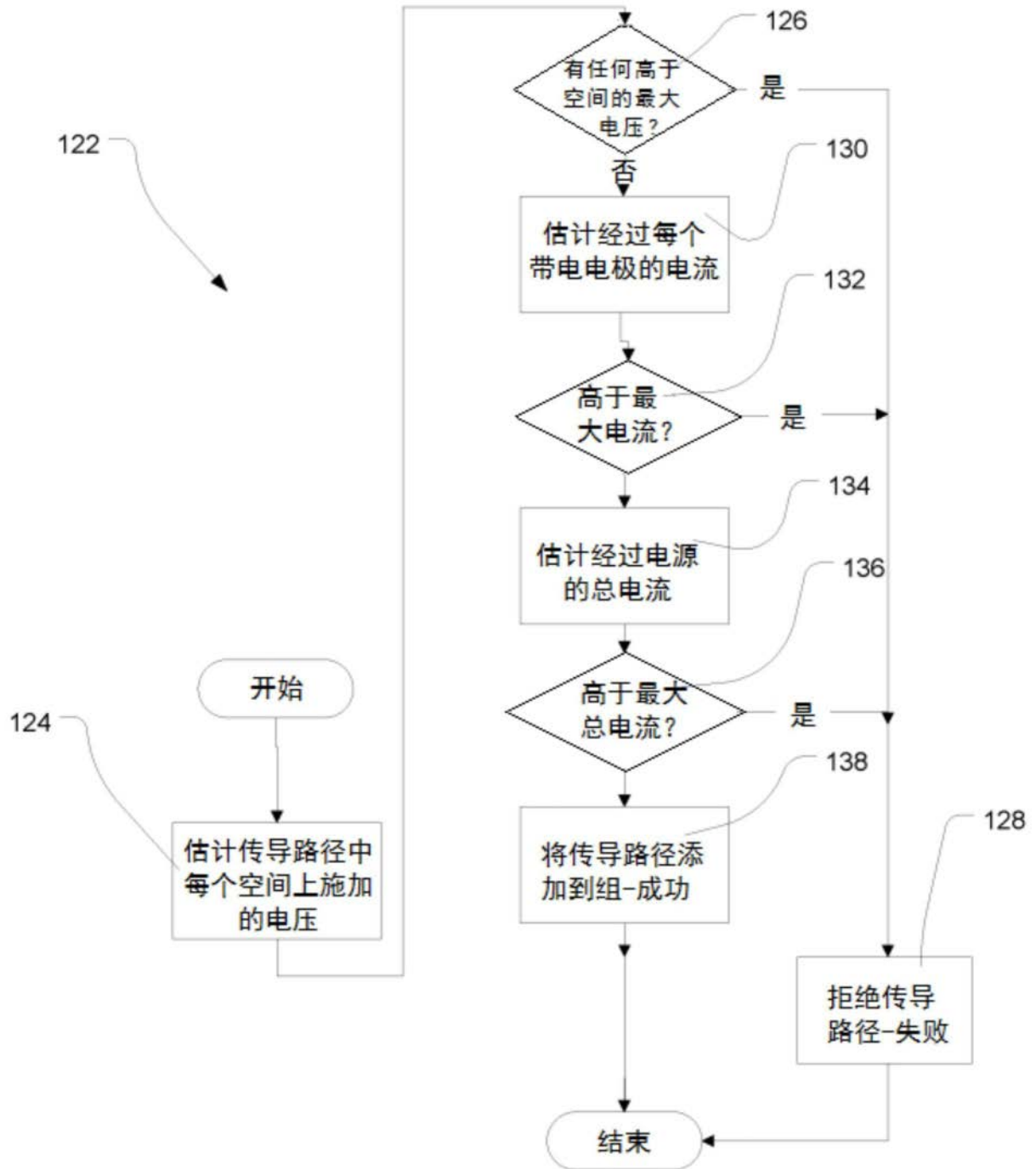


图6