(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 104912634 A
(43)申请公布日 2015.09.16

(21)申请号 201510227875.X

(22)申请日 2015.05.06

(71)申请人 东南大学
地址 210096 江苏省南京市四牌楼2号

(72)发明人 陈永平 高崴 于程 张程宾

(74)专利代理机构 江苏永衡昭辉律师事务所 32250
代理人 王斌

(51)Int.Cl.
F01N 5/02(2006.01)
F01N 3/01(2006.01)
H02N 11/00(2006.01)

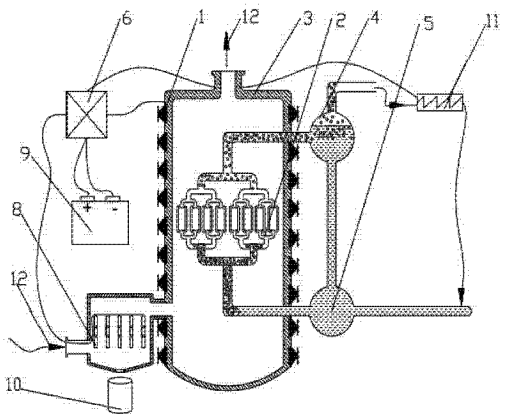
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

南极发电舱烟气除尘及余热利用系统

(57)摘要

本发明公开了一种南极发电舱烟气除尘及余热利用系统，包括一具有烟气进口和烟气出口的热交换舱体，在烟气进口连接有一除尘器，在热交换舱体的外壁设置有温差发电器，在热交换舱体内贴近舱体内壁设置有自循环换热管网，该自循环换热管网包括一进液主管、一出气主管以及层级分叉结构管网，在出气主管的外端连接一上联箱，在进液主管的外端连接一下集箱，上联箱位于所述下集箱上端且与下集箱相连，在下集箱内灌注有在下集箱、自循环换热管网以及上联箱内循环的流体工质，温差发电器通过一控制器与一蓄电池连接，该蓄电池与电除尘装置连接。本发明将烟气余热利用，维持设备舱工作环境或者为生活舱提供热量，实现了能量的高效利用。



CN 104912634 A

1. 一种南极发电舱烟气除尘及余热利用系统，其特征在于：包括一具有烟气进口和烟气出口的热交换舱体，在所述烟气进口连接有一除尘器，在所述热交换舱体的外壁设置有温差发电器，在所述热交换舱体内贴近舱体内壁设置有自循环换热管网，该自循环换热管网包括一进液主管、一出气主管以及连接在所述进液主管与出气主管之间的层级分叉结构管网，该层级分叉结构管网包括分配管、汇合管以及连接在分配管和汇合管之间的支管，所述分配管和汇合管为至少两级且分级数相同的层级分叉结构，在所述出气主管的外端连接一上联箱，在进液主管的外端连接一下集箱，所述上联箱位于所述下集箱上端且与所述下集箱相连，在下集箱内灌注有在所述下集箱、自循环换热管网以及上联箱内循环的流体工质，所述除尘器包括电除尘装置、连接有弹簧装置的自开闭灰斗以及颗粒收集箱，所述颗粒收集箱位于所述自开闭灰斗的出料口，所述温差发电器通过一控制器与一蓄电池连接，该蓄电池与所述电除尘装置连接。

2. 根据权利要求 1 所述的南极发电舱烟气除尘及余热利用系统，其特征在于：所述层级分叉结构管网具有上下两个对称的分叉结构分别作为分配管和汇合管；分叉结构的第 n 级管与第 0 级管直径的关系为 $D_n/D_0 = N^{-n/\Delta}$，其中，$\Delta = 7/3 \sim 3$；第 n 级管与第 0 级管长度的关系为 $L_n/L_0 = N^{-n/d}$，其中 $d = 1 \sim 2$。

3. 根据权利要求 1 所述的南极发电舱烟气除尘及余热利用系统，其特征在于：所述温差发电器按照肋片、温差发电片、垫片的顺序进行装配，所述肋片在与所述温差发电片接触面的垂直方向有至少四层按照层级面积递减模式构建的对称分布波纹状条形凹凸结构。

4. 根据权利要求 1 所述的南极发电舱烟气除尘及余热利用系统，其特征在于：所述除尘器内部布置有至少 5 对对应排列的电除尘装置。

南极发电舱烟气除尘及余热利用系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种烟气除尘及余热利用一体化集成系统，具体涉及的是一种为解决南极极端气候条件下发电舱烟气除尘问题及余热利用问题而设计的一体化集成系统。

背景技术

[0002] 南极具有得天独厚的天文观测条件，欧美国家都在南极建立了天文科考站。南极天文科考站一般含有发电舱和设备舱，天文科考的仪器设备一般放在设备舱内，仪器设备的电源一般是由发电舱内柴油发电机组提供。发电机组发电时会产生温度高温烟气。如果将烟气直接排入大气，会影响南极环境质量，降低天文观测视宁度。因此，柴油发电机组产生的烟气需要经过除尘后才能进行排放。另外，排放的颗粒物积累到一定程度时，还需要对颗粒物进行自动转移输运处理，防止颗粒物堆积而影响系统运行。

[0003] 温差发电器是一种通过热电材料利用温差直接将热能转化为电能的装置，具有寿命长、无干扰的特性。在南极地区，年平均气温维持在-25℃以下，部分地区年平均气温甚至达到-50℃以下。这样，以柴油发电机组产生的烟气作为温差发电器的高温端，以南极地区的低温环境作为温差发电器的低温端，如此高的温差条件有利于提高温差发电器的发电效率。这样，我们就可以利用温差发电器将高温烟气余热转换为电能，并加以储存及利用，能为天文观测站提供较为稳定的辅助电源保障。

[0004] 另外，在南极地区，外界条件恶劣，天文科考站能源供应紧缺。若对高温烟气余热加以充分合理利用，对于保障天文科考站安全可靠运行具有重要意义。烟气的排出温度很高，通过与换热设备热交换可以用来维持设备舱工作温度。如果采用传统的换热设备，会消耗较大的泵功。并且，天文观测站长年处于无人值守的状态。为此，迫切需要开展具备自循环换热设备设计，使其在不需要电力供应的情况下就能实现高温烟气的余热利用。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是针对南极特殊气候条件下，而提供了一种通过对柴油发电机组烟气进行充分利用从而解决极端条件下天文观测站电力和热能供应不足的南极发电舱烟气除尘及余热利用系统。

[0006] 为解决上述技术问题，本发明采用的技术方案是：

[0007] 一种南极发电舱烟气除尘及余热利用系统，其特征在于：包括一具有烟气进口和烟气出口的热交换舱体，在所述烟气进口连接有一除尘器，在所述热交换舱体的外壁设置有温差发电器，在所述热交换舱体内贴近舱体内壁设置有自循环换热管网，该自循环换热管网包括一进液主管、一出气主管以及连接在所述进液主管与出气主管之间的层级分叉结构管网，该层级分叉结构管网包括分配管、汇合管以及连接在分配管和汇合管之间的支管，所述分配管和汇合管为至少两级且分级数相同的层级分叉结构，在所述出气主管的外端连接一上联箱，在进液主管的外端连接一下集箱，所述上联箱位于所述下集箱上端且与所述下集箱相连，在下集箱内灌注有在所述下集箱、自循环换热管网以及上联箱内循环的流体

工质，所述除尘器包括电除尘装置、连接有弹簧装置的自开闭灰斗以及颗粒收集箱，所述颗粒收集箱位于所述自开闭灰斗的出料口，所述温差发电器通过一控制器与一蓄电池连接，该蓄电池与所述电除尘装置连接。

[0008] 除尘器电力由温差发电器电力供应并且底部设置有弹簧自开闭灰斗，实现了自发电除尘以及颗粒的自动清灰转移输运。

[0009] 除尘器内部布置有至少 5 对对应排列的电除尘装置。内部流场处于电极与烟气接触的最优状态，实现流场优化，能够充分吸附烟气中颗粒。

[0010] 所述温差发电器包括垫片、温差发电片以及肋片，按照所述温差发电器按照肋片、温差发电片、垫片的顺序进行装配，所述肋片在与所述温差发电片接触面的垂直方向有至少四层按照层级面积递减模式构建的对称分布波纹状条形凹凸结构。垫片用于强化温差发电片与所述热交换舱体的壁面的导热，凹凸结构在有效降低南极冰雪天气影响的同时加大与换热面积，强化了所述温差发电片与南极环境的对流换热。

[0011] 所述层级分叉结构管网具有上下两个对称的分叉结构分别作为分配管和汇合管，分叉结构的第 n 级管与第 0 级管直径的关系为 $D_n/D_0 = N^{-n/\Delta}$，其中，$\Delta = 7/3 \sim 3$；第 n 级管与第 0 级管长度的关系为 $L_n/L_0 = N^{-n/d}$，其中 $d = 1 \sim 2$。分配管分散流体流量，对流动优化分散，提高换热效率，汇合管汇集分散工质，起到流量收集作用。层级分叉结构利用两相流体之间蒸发冷凝产生的压力不平衡，实现了自循环流动，在不消耗南极外部能源的情况下，将烟气余热利用。

[0012] 本发明南极发电舱烟气除尘及余热利用系统为一体化集成系统，包括温差发电器、除尘器、自循环换热管网、热交换舱体。其中，温差发电器包括热端、冷端以及由温差发电材料制成的温差发电片。除尘器由电除尘装置、自开闭灰斗、颗粒收集箱组成。自循环换热管网由自循环管网、上联箱、下集箱、供热管道组成。热交换舱体呈瓶胆形，上下配置有烟气进口、烟气出口。通过温差发电器利用烟气与南极环境温度温差进行温差发电，产生的一部分电能用于满足除尘器工作时的电力需求，另外一部分电能则储存起来供给设备舱使用；通过自循环换热管网利用烟气余热，维持设备舱工作温度。自循环换热管网采用层级分叉结构，冷凝段布置在热交换舱体外部，蒸发段布置在热交换舱体内壁面并紧贴壁面，以实现高效换热。除尘器能够在南极无人值守情况下实现自动清灰并对灰斗中积灰自动转移输运至颗粒收集箱。

[0013] 温差发电器的热端直接嵌贴于热交换舱体的金属壁中，与金属壁接触良好。高温烟气余热通过热传导传递到温差发电器的热端，从而保证温差发电器的热端具有较高的温度。冷端为多层肋片，肋片与南极大气环境间发生对流换热，从而保证温差发电片的冷端面温度足够低。多个温差发电器串联在一起，通过控制器与蓄电池相连。温差发电器产生的电能通过控制器控制，将一部分电力输出以满足除尘器工作时的电力需求，另外一部分电能则作为辅助能源储存起来，供给设备舱使用。温差发电器冷热端充分利用南极的低温环境和烟气的高温温度，保证温差发电片冷热端面温差大，从而提高发电器的发电效率。

[0014] 除尘器布置在烟气进口，通过控制器与蓄电池相连，控制器为输出控制电路，实现调整温差发电模块输出的电流电压、控制除尘器自动清灰。自开闭灰斗布置在除尘器下部，颗粒收集箱安置在自开闭灰斗下端。通过控制器控制蓄电池电力输出，使电除尘装置的电极荷电，烟气流过电除尘装置时，颗粒被吸附于电极，控制器断开电力输出，实现自动清灰，

使颗粒汇集于自开闭灰斗。自开闭灰斗具有弹簧装置，当颗粒重量超过自开闭灰斗所能承受的重量极限时，自开闭灰斗打开将颗粒输运至颗粒收集箱，当颗粒释放之后，自开闭灰斗自动关闭，实现了颗粒的转移输运。除尘器内部沿烟气流动方向将多对电除尘装置对应排列，充分减少烟气流动中产生的涡，除尘器内部流场处于电极与烟气接触的最优状态，能够充分吸附烟气中颗粒。除尘器利用所述的温差发电器在南极低温环境与高温烟气的大温差下产生的电能进行电除尘并自动清灰，解决了南极极端气候条件下能源供应不足及烟气排放导致南极污染的问题，并且在颗粒转移输运阶段完全依靠机械结构，减少了额外的能量消耗，节约了能源。

[0015] 自循环换热管网的冷凝段布置于热交换舱体外部，包括上联箱、下集箱以及供热管道，供热管道从上联箱上部引出至设备舱及生活舱的热交换器，将烟气余热充分利用，维持设备舱工作温度和满足生活舱热量需求。自循环换热管网的蒸发段布置在热交换舱体内壁面并紧贴壁面，与高温烟气通过强迫对流进行换热。为实现高效换热，采用层级分叉结构设计自循环换热管网，自循环换热管网具有上下两个对称分叉结构。层级分叉结构管网具有上下两个对称的分叉结构分别作为分配管、汇合管，分配管分散流体流量，对流动优化分散，提高换热效率，汇合管汇集分散工质，起到流量收集作用。在单个层级分叉结构中，分支结构中第 n 级管径与第 n-1 级管径之间的关系为 $D_n/D_{n-1}=N^{-1/\Delta}$ (N = 2)，式中 D 为水力直径。这样，第 n 级换热管与第 0 级换热管直径（即最初级的换热管）的关系为 $D_n/D_0=N^{-n/\Delta}$。大量实验证明，当 Δ = 3 时，流体在层级分叉结构中的层流流动阻力可以取到最小值；当 Δ = 7/3 时，层级分叉结构中的湍流流动阻力最小。另外，不同循环层次的换热管束长度关系满足 $L_n/L_{n-1}=N^{-1/d}$ (N 为每级的分叉管道数目，长度维数 d 取大于 1 且小于等于 2 的实数)，递推得 $L_n/L_0=N^{-n/d}$ (L_0为初级换热管长)，为了保证流道长度足够，在分叉结构最末级通常采用比较长的连接段。下部分叉结构的第 0 级作为所述的自循环管网的进口，连接从下集箱引出的管道；下部分叉结构的第 n 级连接上部分叉结构的第 n 级，上部分叉结构的第 0 级作为自循环换热管网的出口，连接从上联箱引出的管道。蒸发段层级分叉管网结构是一种流动的优化分散器，起到分散流体流量的作用，该结构可使各单元流体分散流动，使得管网中流体与烟气的热交换面积大大增加，提高了换热效率。在自循环换热管网的蒸发段，高温烟气流经时发生强迫对流换热，蒸发段管网中液态工质吸热相变变成饱和态气体与饱和态液体的两相流，在蒸发管段中迅速膨胀、升压，从而在自循环换热管网内部产生足够大的压差，推动两相流体进入上联箱，在上联箱中，两相流发生分离，饱和气体进入供热管道，饱和液体留在上联箱下部，通过冷凝段管道进入下集箱。自循环管网利用两相流蒸发段、冷凝段之间的压力不平衡，推动流体工质在蒸发段和冷凝段之间振荡流动，实现了自循环以及热量的传递。上联箱是工质加热、蒸发、过热三过程的连接枢纽，在上联箱中分离出的热气体通过供热管道引出至设备舱换热器进行热交换，热量用于维持工作舱工作温度，冷凝后的液体流向下集箱。下集箱是热循环开始的起点，来源于上集箱的液体工质以及从设备舱回收的液体工质从下集箱开始热循环。自循环换热管网利用流动优化分散结构将流体流动优化，提高了换热效率，同时利用蒸发冷凝两相流之间存在的压力差实现了自循环流动，在减少循环流动消耗的能量的同时利用了烟气余热，提高了能量的利用效率。

[0016] 热交换舱体可以选用碳素钢、低合金钢、不锈钢材料，舱体外部布置保温材料。温差发电材料可以选用用铋、碲、硒、铜等材料。自循环换热管网蒸发段、冷凝段管束和供暖管

道可以选用碳素钢、低合金钢、不锈钢、铜（合金）、铝（合金）、镍（合金）等材料，其换热管束及供热管道内流体可为水、氨、乙醇、丙醇、丙酮、有机物、制冷剂等任意流体工质。

[0017] 有益效果：

[0018] 本发明一种南极发电舱烟气除尘及余热利用系统，在南极极端气候条件下，为了保障能源供应，在天文观测站都会采用柴油发电机组供电。本发明通过温差发电器，充分利用柴油发电机组产生的高温烟气和南极大陆 -50℃的天然环境分别作为温差发电器的热端和冷端，由于温差大，所以将烟气的热量高效的转换成电能储存在蓄电池中，高效的实现了热能——电能的转换，同时利用控制器供给除尘器用于除去烟气中颗粒物并自动清灰转移输运，实现了在无人值守的情况下的自发电除尘，保护了南极环境的同时提高了能量利用率。本发明利用自循环换热管网，将采用层级分叉结构设计的蒸发段管网布置在热交换舱体内壁，通过蒸发冷凝之间的压力不平衡，实现了自循环流动，在不消耗南极外部能源的情况下，将烟气余热利用，维持设备舱工作环境或者为生活舱提供热量，实现了能量的高效利用，最大程度的减少了额外能源供应，保护了环境并提高了能量利用率。

附图说明

[0019] 图 1 南极发电舱烟气除尘及余热利用一体化集成系统图。

[0020] 图 2 除尘器结构图。

[0021] 图 3 温差发电器结构图。

[0022] 图 4 自循环管网示意图。

[0023] 图中 1. 温差发电器；2. 自循环管网；3. 换热舱体；4. 上联箱；5. 下集箱；6. 控制器；7. 自开闭灰斗；8. 电除尘装置；9. 蓄电池；10. 颗粒收集箱；11. 生活舱及设备舱热交换器；12. 烟气；13. 肋片；14. 温差发电片；15. 垫片；16. 弹簧装置；17. 分配管；18. 汇合管；19. 支管。

具体实施方式

[0024] 下面结合附图进行更进一步的详细说明：

[0025] 图 1 给出了本发明的系统图，一种南极发电舱烟气除尘及余热利用一体化集成系统，包括温差发电器、除尘器、自循环换热管网、热交换舱体。具体结构包括：温差发电器 1；自循环管网 2；换热舱体 3；上联箱 4；下集箱 5；控制器 6；自开闭灰斗 7；电除尘装置 8；蓄电池 9；颗粒收集箱 10 等主要组成部分。温差发电器 1 嵌贴于热交换舱体 3 的金属壁中，与金属壁接触良好。多个温差发电器 1 串联在一起，通过控制器 6 与蓄电池 9 相连，冷端为多层肋片 13，肋片 13 通过强迫对流的方式与南极环境换热，从而保证温差发电片 14 的冷端面温度足够低，热端为垫片 15，垫片 15 与热交换舱体 3 的金属壁接触，通过热传导将烟气热量传递到温差发电片 14，从而保证温差发电片 14 的热端面温度足够高。温差发电器 1 的冷、热端充分利用南极的低温环境和烟气的高温温度，保证两端发电温差较大，从而使得发电效率增加。温差发电器 1 利用烟气与南极环境温度温差进行温差发电，部分电力用于供给设备舱，部分电力用于供给电除尘装置 8，实现了在无人值守的情况下的自发电除尘，自开闭灰斗 7 具有弹簧装置 16，当颗粒重量超过自开闭灰斗 7 所能承受的重量极限时，自开闭灰斗 7 打开，并将颗粒输运至颗粒收集箱 10，当颗粒释放之后，自开闭灰斗 7 自动关

闭，实现了颗粒的转移输运，这样就利用温差发电除尘并实现自动清灰及颗粒转移输运，保护了南极环境的同时提高了能量利用率。同时通过自循环换热管网，包括自循环管网 2、上联箱 4、下集箱 5，利用烟气余热使流体工质沸腾，两相流体自循环流动，减少了能量消耗，上联箱 4 中分离出高温气体用于维持设备舱工作温度以及为工作人员提供热水，实现了烟气余热的高效利用。

[0026] 图 2 给出了除尘器结构图。柴油机产生烟气通过通道进入，电除尘装置 8 电力由控制器 6 控制蓄电池 9 供给；颗粒经过电除尘装置 8 吸附，并通过控制器 6 控制实现自动清灰至自开闭灰斗 7；自开闭灰斗 7 具有弹簧装置 16，当颗粒重量超过自开闭灰斗 7 所能承受的重量极限时，自开闭灰斗 7 打开，并将颗粒输运至颗粒收集箱 10，当颗粒释放之后，自开闭灰斗 7 自动关闭，实现了颗粒的转移输运；最后将颗粒转移至颗粒收集箱 10。

[0027] 图 3 给出了温差发电器结构图。温差发电器下部是垫片 15，中间是温差发电片 14，上部是肋片 13。安装时，温差发电器被安装在换热舱体 3 外壁面上的凹槽中，并涂上导热膏，温差发电器的肋片 13 接触冷端，温差发电器的热端垫片 14 接触壁面，从而实现了大温差。多个温差发电器 1 串联在一起，通过控制器 6 与蓄电池 9 相连。

[0028] 图 4 给出了自循环管网示意图。自循环管网的蒸发段布置紧贴在所述的热交换舱体内壁面，并且采用层级分叉结构设计了蒸发段管网结构，第 n 级换热管与第 0 级换热管直径（即最初级的换热管）的关系为 $D_n/D_0 = N^{-n/\Delta}$。当 $\Delta = 3$ 时，流体在层级分叉结构中的层流流动阻力可以取到最小值；当 $\Delta = 7/3$ 时，层级分叉结构中的湍流流动阻力最小。第 n 级换热管与第 0 级换热管长度（即最初级的换热管）的关系为 $L_n/L_0 = N^{-n/d}$，长度维数 d 取大于 1 且小于等于 2 的实数，为保证流道长度足够，在管束最末级通常采用比较长的连接段。

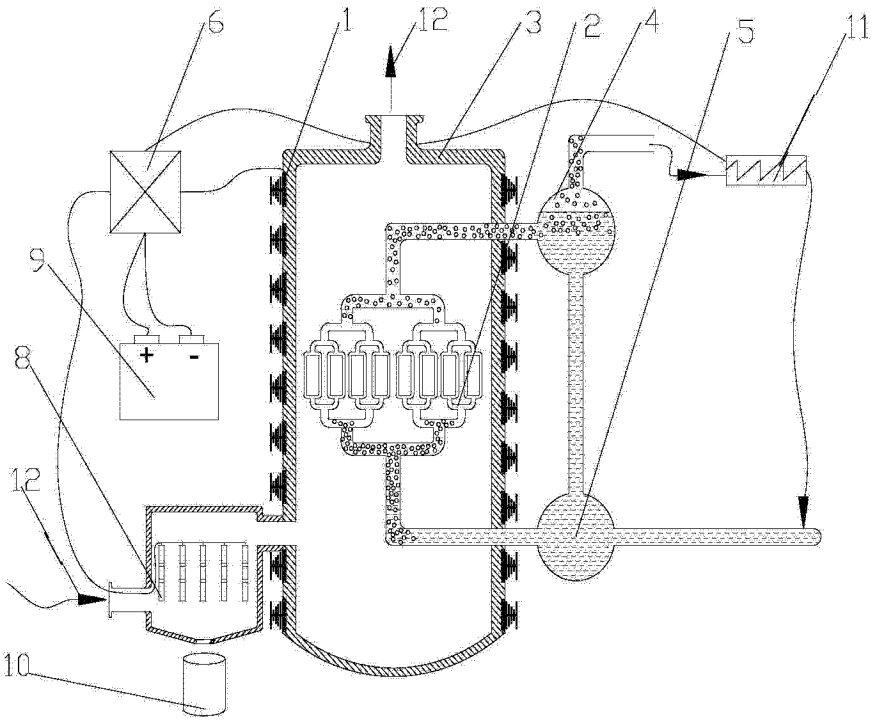


图 1

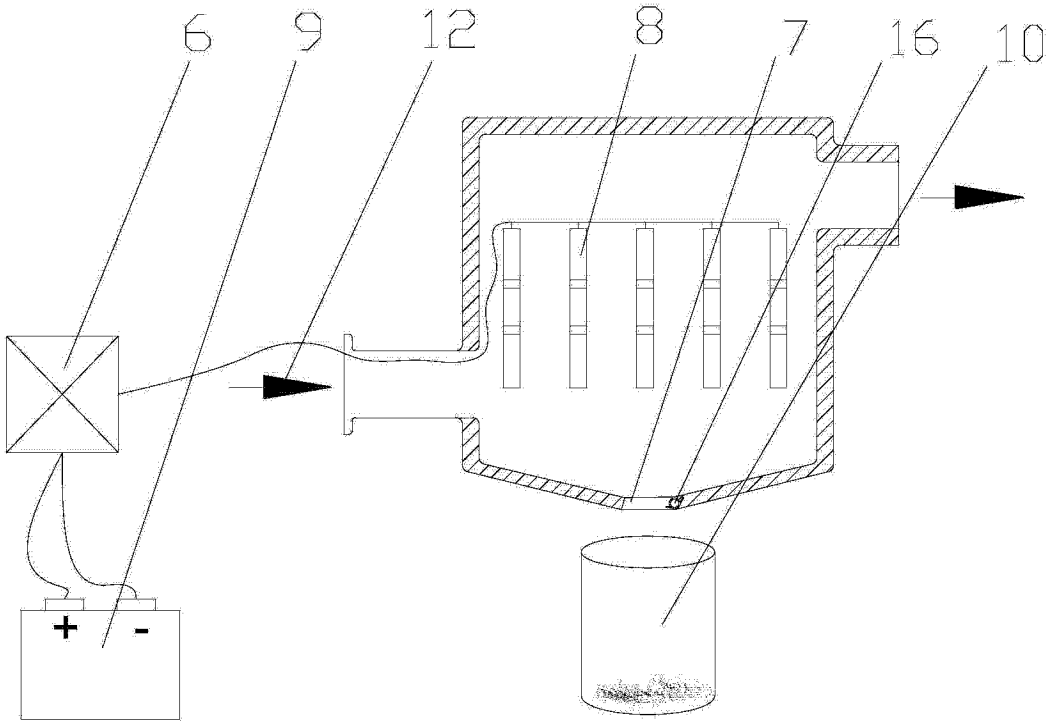


图 2

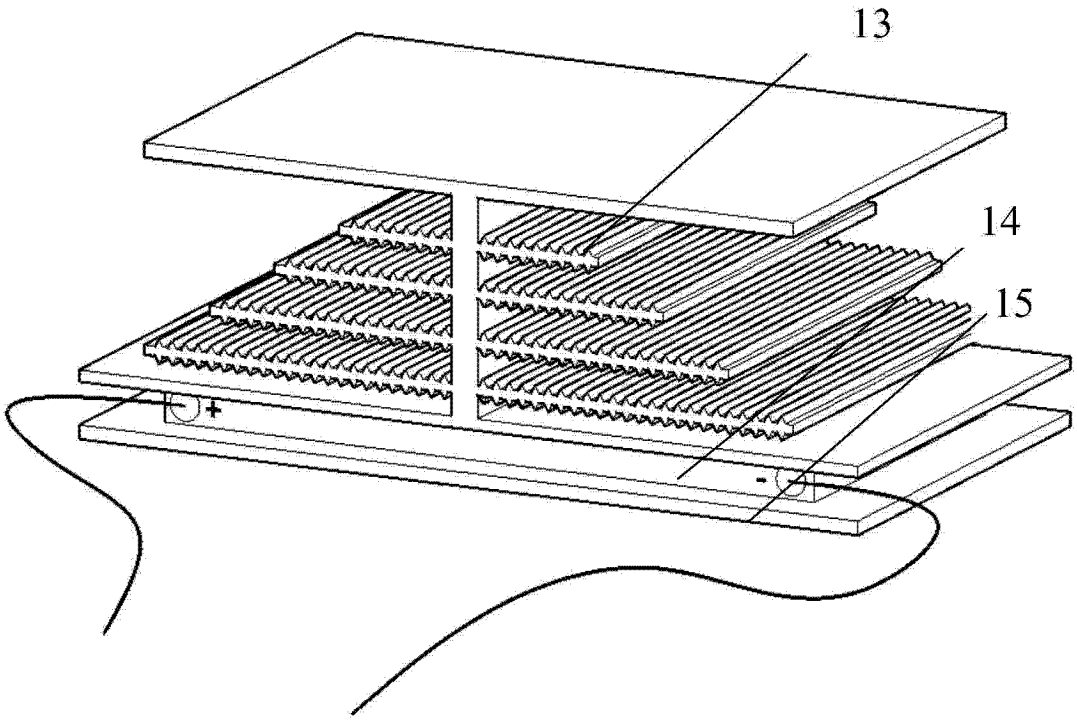


图 3

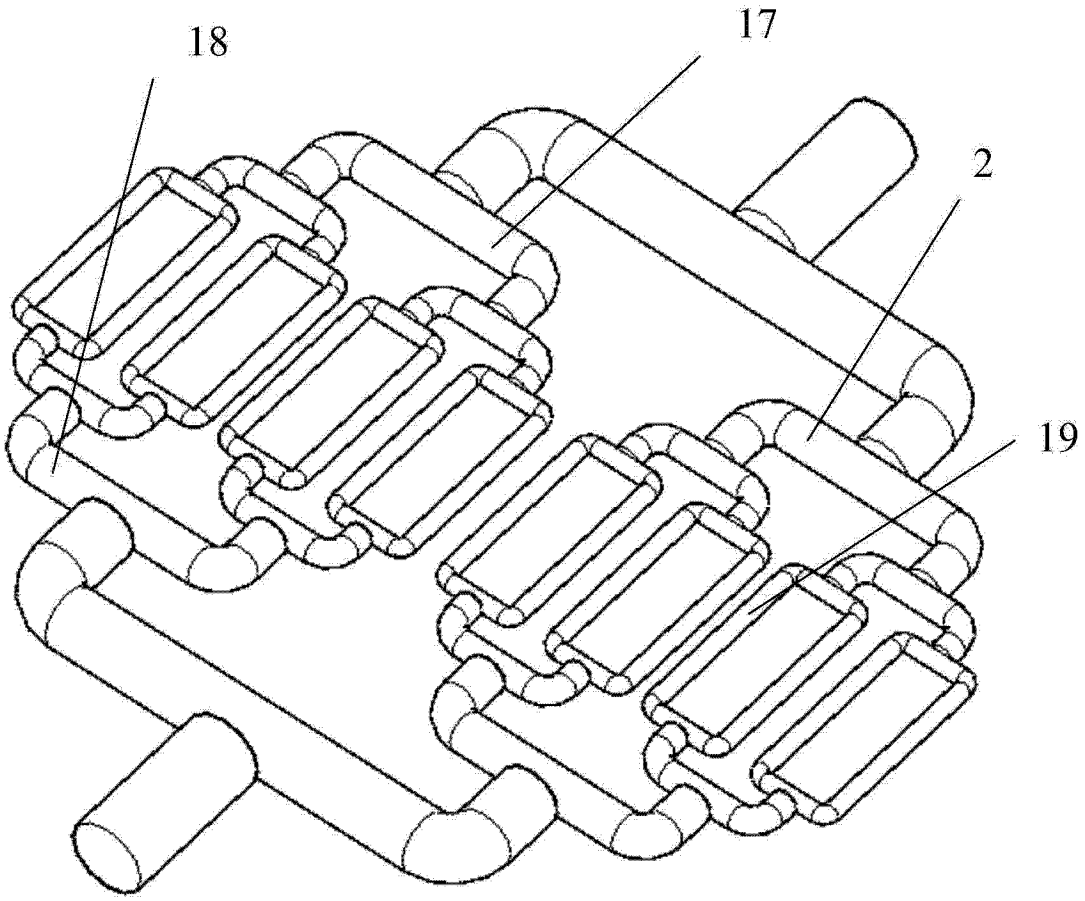


图 4