

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2024 年 7 月 18 日 (18.07.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/148709 A1

(51) 国际专利分类号:
B01D 53/04 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/090156

(22) 国际申请日: 2023 年 4 月 23 日 (23.04.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202310040321.3 2023 年 1 月 12 日 (12.01.2023) CN

(71) 申请人: 苏州西热节能环保技术有限公司(SUZHOU XIRE ENERGY CONSERVATION AND ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGY CO., LTD.) [CN/CN]; 中国江苏省苏州市高新区培源街 8 号, Jiangsu 215153 (CN)。西安热工研究院有限公司(XI'AN THERMAL POWER RESEARCH

INSTITUTE CO., LTD.) [CN/CN]; 中国陕西省西安市碑林区兴庆路 136 号, Shaanxi 710032 (CN)。

(72) 发明人: 方朝君 (FANG, Zhaojun); 中国江苏省苏州市高新区培源街 8 号, Jiangsu 215153 (CN)。孔凡海 (KONG, Fanhai); 中国江苏省苏州市高新区培源街 8 号, Jiangsu 215153 (CN)。姚啸林 (YAO, Xiaolin); 中国江苏省苏州市高新区培源街 8 号, Jiangsu 215153 (CN)。鲍强 (BAO, Qiang); 中国江苏省苏州市高新区培源街 8 号, Jiangsu 215153 (CN)。王乐乐 (WANG, Lele); 中国江苏省苏州市高新区培源街 8 号, Jiangsu 215153 (CN)。姚燕 (YAO, Yan); 中国江苏省苏州市高新区培源街 8 号, Jiangsu 215153 (CN)。杨晓宁 (YANG, Xiaoning); 中国江苏省苏州市高新区培源街 8 号, Jiangsu 215153 (CN)。马云龙 (MA, Yunlong); 中国江苏省苏州市高新区培源街 8 号, Jiangsu

(54) Title: DIRECT AIR CARBON CAPTURE AND UTILIZATION SYSTEM AND METHOD BASED ON MOFS ADSORBENT

(54) 发明名称: 基于MOFs吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统和方法

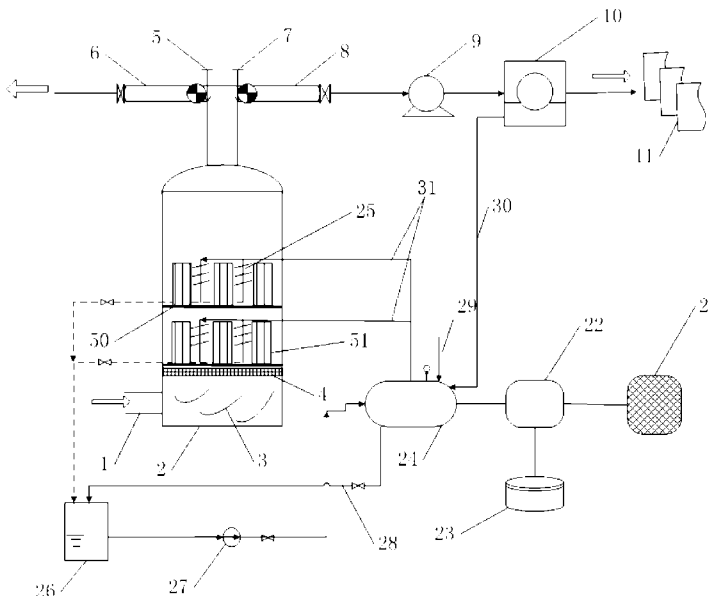


图 1

(57) Abstract: Disclosed in the present application are a direct air carbon capture and utilization system and method based on an MOFs adsorbent. The system comprises: an adsorption reactor system, which is used for adsorbing or desorbing CO₂ in air; a steam generator and water drainage recovery system, which is connected to the adsorption reactor system and is used for providing a heat source for the adsorption reactor system; and a regeneration cooling water-removal system, which is connected to the adsorption reactor system and the steam generator and water drainage recovery system. In the present application, the MOFs adsorbent is used as an adsorption material for carbon adsorption performed by the adsorption reactor system, and a heat source is provided for the

215153 (CN)。王凯(WANG, Kai); 中国江苏省苏州市高新区培源街8号, Jiangsu 215153 (CN)。
罗彦佩(LUO, Yanpei); 中国江苏省苏州市高新区培源街8号, Jiangsu 215153 (CN)。

(74) 代理人: 北京三聚阳光知识产权代理有限公司(SUNSHINE INTELLECTUAL PROPERTY INTERNATIONAL CO., LTD.); 中国北京市海淀区海淀南路甲21号中关村知识产权大厦A座5层, Beijing 100080 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则4.17的声明:

— 发明人资格(细则4.17(iv))

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

adsorption reactor system by means of the steam generator and water drainage recovery system, so as to increase the temperature of the area where the MOFs adsorbent is located, to facilitate desorption in a later period; and captured carbon dioxide is used for urban agriculture, and electric energy is provided for the steam generator and water drainage recovery system by means of a solar power generation and energy storage system, such that the aims of a win-win situation between air carbon capture and agricultural economy, and greener energy supply can be achieved.

(57) 摘要: 本申请公开了基于MOFs吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统和方法, 该系统包括: 吸附反应器系统, 用于吸附空气中的CO₂或进行解吸附; 蒸汽发生器及疏水回收系统, 与吸附反应器系统相连, 用于为吸附反应器系统提供热源; 再生冷却除水系统, 与吸附反应器系统和蒸汽发生器及疏水回收系统相连。本申请中, 采用MOFs吸附剂作为吸附反应器系统进行碳吸附的吸附材料, 通过蒸汽发生器及疏水回收系统为吸附反应器系统提供热源, 以升高MOFs吸附剂所在区域的温度, 便于后期实现解吸附, 捕集的二氧化碳用于都市农业, 通过太阳能发电与储能系统为蒸汽发生器及疏水回收系统提供电能, 可实现空气碳捕集与农业经济双赢、能源供给更绿色的目标。

基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统和方法

相关申请的交叉引用

本申请要求在 2023 年 1 月 12 日提交中国专利局、申请号为 202310040321.3、发明名称为“基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统和方法”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用的方式并入本文中。

技术领域

本申请属于碳捕集技术领域，具体涉及基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统和方法。

背景技术

2020 年 9 月，我国宣布 2030 年实现“碳达峰”和 2060 年实现“碳中和”（简称双碳）的目标，碳捕集与利用封存技术的发展迎来高峰期。在工业源二氧化碳捕集示范工程得到了大量部署，作为重要的补充和缓解碳封存中运输环节的成本压力的手段，直接空气捕集技术（direct air capture, DAC）也得到了重视与发展。Klaus Lackner 教授等于 1999 年发表论文“Carbon Dioxide Extraction From Air: Is It An Option?”，第一次正式提出 DAC 技术，截至 2022 年初，全球已有 18 个 DAC 工程项目建成运营，但中国尚无工程示范案例。从空气中直接捕集的二氧化碳可以作为工业原料，对土地进行反哺，进入碳循环闭环，能够产生负碳的效应，有助于降低大气中二氧化碳浓度水平。DAC 技术面临的首要挑战是低浓度情况下碳捕集的能耗问题，以及低浓度下吸附剂如何实现较高的吸附容量、如何实现快速传质和吸脱附等。

申请公布号为 CN113813746A 的中国发明专利，公布了一种从空气中直接捕集二氧化碳的装置，其采用的是薄层移动床和球形固态胺吸附剂，薄层移动床的高度为 10m~25m，球型固态胺吸附剂需要在其中上下转移，系统磨损较大。申请公布号为 CN112169537A 的中国发明专利，公布了一种快速变温吸附转轮式直接空气二氧化碳捕集系统实现连续捕集二氧化碳，但是由于

需要使用 3D 打印技术成型的转轮为整体式结构，性能虽好，但是成本极高。

我们注意到各种金属有机框架材料（MOFs）被不断开发出来，MOFs 材料往往具有发达的孔道结构和巨大的比表面积，兼具优良的表面和孔道可调节性，在较低温度下便可实现再生。含有金属中心的 Mg-MOF-74、MIL-101(Cr)、SIFSIX-3-Cu/Ni/Zn 等 MOFs 材料均表现出了较高的二氧化碳吸附性能。MOFs 材料容易制成薄板形式，且材质一般较轻，便于组装和使用。但是将 MOFs 材料与二氧化碳捕集的研究甚少。

发明内容

为解决现有技术中存在的技术问题，本申请的目的在于提供基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统和方法。

为实现上述目的，达到上述技术效果，本申请采用的技术方案为：

基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统，包括：

吸附反应器系统，所述吸附反应器系统用于吸附空气中的 CO_2 或进行解吸附；

蒸汽发生器及疏水回收系统，所述蒸汽发生器及疏水回收系统与吸附反应器系统相连，用于为吸附反应器系统提供热源；

再生冷却除水系统，所述再生冷却除水系统与吸附反应器系统和蒸汽发生器及疏水回收系统相连；

当需要吸附空气中的 CO_2 时，空气进入吸附反应器系统进行碳吸附后排入大气；

当需要解吸附时，通过蒸汽发生器及疏水回收系统为吸附反应器系统提供热源，升高吸附反应器系统内的吸附剂模块所在区域的温度，启动再生冷却除水系统，产生微负压环境，进而将吸附的 CO_2 解吸出来。

在本申请提供的基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统中，还包括太阳能发电与储能系统，所述太阳能发电与储能系统与蒸汽发生器及疏水回收系统相连，用于为蒸汽发生器及疏水回收系统提供电能。

所述太阳能发电与储能系统包括光伏组件方阵、控制器和储能电池，所述光伏组件方阵与储能电池相连，所述储能电池与控制器相连并受其控制，所述储能电池与蒸汽发生器及疏水回收系统的电蒸汽发生器相连并为其供电。

在本申请提供的基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统中，所述吸附反应器系统包括直接空气碳捕集塔，所述直接空气碳捕集塔下部设置有空气进气风道，所述直接空气碳捕集塔内部下方设置有若干个进气导流板，所述直接空气碳捕集塔内部且位于进气导流板上方设置有进气局部网，所述直接空气碳捕集塔内部且位于进气局部网上方设置有若干个散热翅片和若干个吸附剂模块，所述直接空气碳捕集塔与蒸汽发生器及疏水回收系统的电蒸汽发生器相连，所述直接空气碳捕集塔上部外侧设置有脱碳出气风道挡板门与 CO₂ 出气风道挡板门，所述脱碳出气风道挡板门与脱碳出气风道相连通，所述 CO₂ 出气风道挡板门与 CO₂ 出气风道相连通再连通再生冷却除水系统，所述脱碳出气风道挡板门与 CO₂ 出气风道挡板门不同时打开，所述脱碳出气风道上设置有 CO₂ 非分散红外分析仪，根据 CO₂ 非分散红外分析仪检测的 CO₂ 浓度数值决定进行碳吸附或解吸附，当需要进行碳吸附时，脱碳出气风道挡板门打开，CO₂ 出气风道挡板门关闭，当需要解吸附时，脱碳出气风道挡板门关闭，CO₂ 出气风道挡板门打开。

所述吸附剂模块与散热翅片相间布置，为间接换热方式。

所述吸附剂模块呈矩阵式布置，所述吸附剂模块的层数设置为 2~5 层，每个吸附剂模块含有 50~200 片 MOFs 吸附剂薄板，MOFs 吸附剂薄板之间的间隙为空气流通通道，空气在流通 MOFs 吸附剂薄板表面时其中的 CO₂ 被吸附下来。

在本申请提供的基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统中，所述蒸汽发生器及疏水回收系统包括电蒸汽发生器、散热翅片、疏水箱和疏水回流泵，所述电蒸汽发生器下部设置有事故排水管，所述电蒸汽发生器通过事故排水管与疏水箱入口相连通，所述疏水箱出口通过回流管及其上设置的疏水回流泵与电蒸汽发生器相连通，所述电蒸汽发生器上部设置有补充水进水管，所述散热翅片设置有若干个并设置于吸附反应器系统的直接空气碳捕集塔内部。

所述电蒸汽发生器的额定出汽压力为 0.3MPa~0.6MPa，额定出气温度为 120°C~145°C。

在本申请提供的基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统中，所述再生冷却除水系统包括变频再生风机和冷却除水器，所述变频再生风机一端与吸附反应器系统的 CO₂ 出气风道相连通，所述变频再生风机另一端与冷

却除水器相连通，所述冷却除水器与蒸汽发生器及疏水回收系统的电蒸汽发生器相连通。

本申请还提供了基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用方法，采用如上所述的基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统进行碳捕集及利用，所述方法包括以下步骤：

含有正常浓度二氧化碳的空气从空气进气风道进入直接空气碳捕集塔内，经过进气导流板导流分配后向上流动，通过进气局部网的均布后形成平缓气流，继续向上并流经吸附剂模块；

当需要进行碳吸附时，打开脱碳出气风道挡板门和脱碳出气风道，气流中的 CO_2 与吸附剂模块接触并被吸附下来，通过吸附剂模块净化后的气流经过脱碳出气风道挡板门和脱碳出气风道排向大气，此时， CO_2 出气风道挡板门、 CO_2 出气风道、变频再生风机处于停运状态；

当 CO_2 非分散红外分析仪检测的 CO_2 浓度数值达到 90%及以上的入口 CO_2 浓度值时，进入解吸附状态，此时，关闭脱碳出气风道挡板门，打开 CO_2 出气风道挡板门，启动变频再生风机，打开进气管道上的阀门，通过电蒸汽发生器给直接空气碳捕集塔内部的散热翅片供气，升高吸附剂模块所在区域的温度至 $80\sim 100^\circ\text{C}$ ，通过升温及变频再生风机启动产生的微负压环境将吸附剂模块吸附的 CO_2 解吸出来并被变频再生风机送出，实现吸附剂模块的再生与干燥；当解吸附完成后，系统再恢复到碳吸附状态，继续捕集大气中的 CO_2 ，以此循环反复。

与现有技术相比，本申请的有益效果为：

本申请公开了基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统和方法，采用 MOFs 吸附剂作为吸附反应器系统进行碳吸附的吸附材料，通过蒸汽发生器及疏水回收系统为吸附反应器系统提供热源，以升高 MOFs 吸附剂所在区域的温度，便于后期实现解吸附，捕集的二氧化碳用于都市农业，通过太阳能发电与储能系统为蒸汽发生器及疏水回收系统提供电能，可实现空气碳捕集与农业经济双赢、能源供给更绿色的目标。

附图说明

图 1 为本申请的结构示意图。

具体实施方式

下面对本申请进行详细阐述，以使本申请的优点和特征能更易于被本领域技术人员理解，从而对本申请的保护范围做出更为清楚明确的界定。

以下给出一个或多个方面的简要概述以提供对这些方面的基本理解。此概述不是所有构想到的方面的详尽综览，并且既非旨在指出所有方面的关键性或决定性要素亦非试图界定任何或所有方面的范围。其唯一的目的是要以简化形式给出一个或多个方面的一些概念以为稍后给出的更加详细的描述之序。

如图 1 所示，基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统，主要包括：太阳能发电与储能系统、蒸汽发生器及疏水回收系统、吸附反应器系统、再生冷却除水系统，通过该系统捕集的二氧化碳用于供给温室大棚 11。

吸附反应器系统包括直接空气碳捕集塔 2，直接空气碳捕集塔 2 下部设置有空气进气风道 1，直接空气碳捕集塔 2 内部设置有若干个进气导流板 3、进气局部网 4、若干个吸附剂模块 51，进气导流板 3 设置于直接空气碳捕集塔 2 内部下方，进气局部网 4 设置于进气导流板 3 上方，吸附剂模块 51 设置于进气局部网 4 上方；直接空气碳捕集塔 2 上部外侧设置有脱碳出气风道挡板门 5 与 CO₂ 出气风道挡板门 7，脱碳出气风道挡板门 5 与脱碳出气风道 6 相连通，CO₂ 出气风道挡板门 7 与 CO₂ 出气风道 8 相连通，脱碳出气风道挡板门 5 与 CO₂ 出气风道挡板门 7 不同时打开，当需要进行碳吸附时，脱碳出气风道挡板门 5 打开，CO₂ 出气风道挡板门 7 关闭，而解吸附过程正好相反，即脱碳出气风道挡板门 5 关闭，CO₂ 出气风道挡板门 7 打开。脱碳出气风道 6 上设置有 CO₂ 非分散红外分析仪。

吸附剂模块 51 优选呈矩阵式布置，吸附剂模块 51 的层数可设置为 2~5 层，吸附剂模块 51 的层数不易过多，避免增加直接空气碳捕集塔 2 的高度，通过合理设计吸附剂模块 51 的层数可减少设备投资，同时降低系统阻力，节约运行成本。每个吸附剂模块 51 含有多个 MOFs 吸附剂薄板，该薄板根据需求和吸附剂模块框架尺寸决定安装片数，一般为 50~200 片，薄板的间隙为空气流通通道，空气在流通薄板表面时其中的 CO₂ 被吸附在薄板表面。

蒸汽发生器及疏水回收系统包括电蒸汽发生器 24、散热翅片 25、疏水箱 26、疏水回流泵 27 等。其中，散热翅片 25 设置有若干个，设置于直接空气碳捕集塔 2 内，吸附剂模块 51 与散热翅片 25 相间布置，为间接换热方式；

电蒸汽发生器 24 所需电能主要由太阳能发电与储能系统提供,同时设置有外来电源做备用电源,可自动切换供电方式。电蒸汽发生器 24 上部设置有补充水进水管 29,电蒸汽发生器 24 下部设置有事故排水管 28,电蒸汽发生器 24 通过事故排水管 28 与疏水箱 26 入口相连通,疏水箱 26 出口通过回流管及其上设置的疏水回流泵 27 与电蒸汽发生器 24 相连通,当电蒸汽发生器 24 进行检修时,可通过下部的事故排水管 28 将电蒸汽发生器 24 中的水排入疏水箱 26。事故排水管 28 和回流管上均可根据实际需要设置若干阀门。

电蒸汽发生器 24 的额定出汽压力为 0.3MPa~0.6MPa,额定出气温度为 120°C~145°C,进水与补水过程压力平稳,通过设置疏水箱 26 等实现了水的循环利用,节约了碳捕集系统的用水量。

太阳能发电与储能系统包括光伏组件方阵 21、控制器 22、储能电池 23。其中,光伏组件方阵 21 可以根据需求串/并联而成,是一种用于将太阳能转换成电能输出的部件;控制器 22 集成有控制功能、逆变器以及监测功能,它对储能电池 23 的充、放电条件加以控制;储能电池 23 则是将产生的电能储存起来,当晚上或者负载需求大于光伏组件方阵 21 所发的电量时,将储存的电能释放以满足电蒸汽发生器 24 的能量需求。控制器 22 与 CO₂ 非分散红外分析仪相连,CO₂ 非分散红外分析仪检测的 CO₂ 浓度数据传送至控制器 22 进行分析和处理,根据 CO₂ 浓度高低决定进行碳吸附或解吸附。

再生冷却除水系统包括变频再生风机 9 和冷却除水器 10,从冷却除水器 10 冷却下来的水通过冷凝回水水管 30 送入电蒸汽发生器 24 作为补充水源。

基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用方法,包括以下步骤:

含有正常浓度二氧化碳的空气经由鼓风机从空气进气风道 1 进入直接空气碳捕集塔 2 内,经过进气导流板 3 导流分配后向上流动,通过进气局部网 4 的均布后形成平缓气流,平缓气流继续向上并在流经吸附剂模块 51 时,其中的 CO₂ 与 MOFs 吸附剂薄板接触过程中被吸附下来,当需要进行碳吸附时,打开脱碳出气风道挡板门 5 和脱碳出气风道 6,通过吸附剂模块 51 净化后的气流经过脱碳出气风道挡板门 5 和脱碳出气风道 6 排向大气,此时,CO₂ 出气风道挡板门 7、CO₂ 出气风道 8、变频再生风机 9 处于停运状态。当 CO₂ 非分散红外分析仪检测的 CO₂ 浓度数值达到 90%的入口 CO₂ 浓度值时,进入解吸附状态,关闭脱碳出气风道挡板门 5,停止鼓风机进气,打开 CO₂ 出气风道挡板门 7,启动变频再生风机 9,打开进气管道 31 上的阀门,通过电蒸汽发生

器 24 给直接空气碳捕集塔 2 内部的散热翅片 25 供气, 升高吸附剂模块 51 所在区域的温度至 80~100°C, 通过升温及变频再生风机 9 启动产生的微负压环境将吸附剂模块 51 吸附的 CO₂ 解吸出来并被变频再生风机 9 送出至温室大棚 11, 实现了吸附剂的再生与干燥。当解吸附完成后, 系统再恢复到碳吸附状态, 继续捕集大气中的 CO₂, 由此循环反复。

脱碳出气风道挡板门 5、CO₂ 出气风道挡板门 7 的启闭可进行人工控制或受控制器 22 的控制。

实施例 1

如图 1 所示, 基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统, 是基于大气中二氧化碳浓度低 (约 420ppm) 的特点进行设计的, 该系统主要包括: 太阳能发电与储能系统、蒸汽发生器及疏水回收系统、吸附反应器系统、再生冷却除水系统, 通过该系统捕集的二氧化碳用于供给温室大棚 11。

吸附反应器系统包括直接空气碳捕集塔 2, 直接空气碳捕集塔 2 下部设置有空气进气风道 1, 直接空气碳捕集塔 2 内部设置有若干个进气导流板 3、进气局部网 4、若干个吸附剂模块 51, 进气导流板 3 设置于直接空气碳捕集塔 2 内部下方, 进气局部网 4 设置于进气导流板 3 上方, 吸附剂模块 51 设置于进气局部网 4 上方, 吸附剂模块 51 与散热翅片 25 相间布置, 为间接换热方式; 直接空气碳捕集塔 2 上部外侧设置有脱碳出气风道挡板门 5 与 CO₂ 出气风道挡板门 7, 脱碳出气风道挡板门 5、CO₂ 出气风道挡板门 7 的启闭可进行人工控制或受控制器 22 的控制, 脱碳出气风道挡板门 5 与脱碳出气风道 6 相连通, CO₂ 出气风道挡板门 7 与 CO₂ 出气风道 8 相连通, 脱碳出气风道挡板门 5 与 CO₂ 出气风道挡板门 7 不同时打开, 当需要进行碳吸附时, 脱碳出气风道挡板门 5 打开, CO₂ 出气风道挡板门 7 关闭, 而解吸附过程正好相反, 即脱碳出气风道挡板门 5 关闭, CO₂ 出气风道挡板门 7 打开。脱碳出气风道 6 上设置有 CO₂ 非分散红外分析仪。

吸附剂模块 51 呈矩阵式布置, 吸附剂模块 51 的层数设置为上下 2 层, 减少了设备投资, 同时降低了系统阻力, 节约了运行成本, 吸附剂模块 51 安装于框架 51 上, 框架 51 为合金板拼成的长方体腔型式, 框体高度为 400mm, 沿两个长边的合金板内面设置有厚度为 10mm 的硅胶衬里, 硅胶衬里表面开有 0.6mm 宽的沟槽, 沟槽深度 5mm, 每个吸附剂模块 51 含有 100 片厚度为 0.5mm 的 MOFs 吸附剂薄板, MOFs 吸附剂薄板安置于沟槽中, MOFs 吸附剂

薄板之间的间隙为空气流通通道，空气在流通薄板表面时其中的 CO_2 被吸附在薄板表面，空气流通面的长×宽为 400mm×600mm。

蒸汽发生器及疏水回收系统包括电蒸汽发生器 24、散热翅片 25、疏水箱 26、疏水回流泵 27 等。其中，散热翅片 25 设置有若干个，设置于直接空气碳捕集塔 2 内；电蒸汽发生器 24 所需电能主要由太阳能发电与储能系统提供，同时设置有外来电源做备用电源，可自动切换供电方式。电蒸汽发生器 24 上部设置有补充水进水管 29，电蒸汽发生器 24 下部设置有事故排水管 28，电蒸汽发生器 24 通过事故排水管 28 与疏水箱 26 入口相连通，疏水箱 26 出口通过回流管及其上设置的疏水回流泵 27 与电蒸汽发生器 24 相连通，当电蒸汽发生器 24 进行检修时，可通过下部的事故排水管 28 将电蒸汽发生器 24 中的水排入疏水箱 26。事故排水管 28 和回流管上均可根据实际需要设置若干阀门。

电蒸汽发生器 24 的额定出汽压力为 0.3MPa~0.6MPa，额定出气温度为 120°C~145°C，进水与补水过程压力平稳，通过设置疏水箱 26 等实现了水的循环利用，节约了碳捕集系统的用水量。

太阳能发电与储能系统包括光伏组件方阵 21、控制器 22、储能电池 23。其中，光伏组件方阵 21 可以根据需求串/并联而成，是一种用于将太阳能转换成电能输出的部件；控制器 22 集成有控制功能、逆变器以及监测功能，它对储能电池 23 的充、放电条件加以控制；储能电池 23 则是将产生的电能储存起来，当晚上或者负载需求大于光伏组件方阵 21 所发的电量时，将储存的电能释放以满足电蒸汽发生器 24 的能量需求。控制器 22 与 CO_2 非分散红外分析仪相连， CO_2 非分散红外分析仪检测的 CO_2 浓度数据传送至控制器 22 进行分析和处理，根据 CO_2 浓度高低决定进行碳吸附或解吸附。

再生冷却除水系统包括变频再生风机 9 和冷却除水器 10，从冷却除水器 10 冷却下来的水通过冷凝回水水管 30 送入电蒸汽发生器 24 作为补充水源。

基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用方法，包括以下步骤：

含有正常浓度二氧化碳（约 410ppm，因地略有而异）的空气经由鼓风机从空气进气风道 1 进入直接空气碳捕集塔 2 内，经过进气导流板 3 导流分配后向上流动，通过进气局部网 4 的均布后形成平缓气流，平缓气流继续向上并在流经吸附剂模块 51 时，其中的 CO_2 与 MOFs 吸附剂薄板接触过程中被吸附下来，当需要进行碳吸附时，打开脱碳出气风道挡板门 5 和脱碳出气风道 6，

通过吸附剂模块 51 净化后的气流经过脱碳出气风道挡板门 5 和脱碳出气风道 6 排向大气，此时，CO₂ 出气风道挡板门 7、CO₂ 出气风道 8、变频再生风机 9 处于停运状态。当控制器 22 分析出 CO₂ 非分散红外分析仪检测的 CO₂ 浓度数值达到 90% 的入口 CO₂ 浓度值时，进入解吸附状态，关闭脱碳出气风道挡板门 5，停止鼓风机进气，打开 CO₂ 出气风道挡板门 7，启动变频再生风机 9，打开进气管道 31 上的阀门，通过电蒸汽发生器 24 给直接空气碳捕集塔 2 内部的散热翅片 25 供气，升高吸附剂模块 51 所在区域的温度至 80~100℃，通过升温及变频再生风机 9 启动产生的微负压环境将吸附剂模块 51 吸附的 CO₂ 解吸出来并被变频再生风机 9 送出至温室大棚 11，实现了吸附剂的再生与干燥。当解吸附完成后，系统再恢复到碳吸附状态，继续捕集大气中的 CO₂，由此循环反复。

本申请未具体描述的部分或结构采用现有技术或现有产品即可，在此不做赘述。

以上所述仅为本申请的实施例，并非因此限制本申请的专利范围，凡是利用本申请说明书内容所作的等效结构或等效流程变换，或直接或间接运用在其他相关的技术领域，均同理包括在本申请的专利保护范围内。

权 利 要 求 书

1、基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统，其特征在于，包括：吸附反应器系统，所述吸附反应器系统用于吸附空气中的 CO_2 或进行解吸附；

蒸汽发生器及疏水回收系统，所述蒸汽发生器及疏水回收系统与吸附反应器系统相连，用于为吸附反应器系统提供热源；

再生冷却除水系统，所述再生冷却除水系统与吸附反应器系统和蒸汽发生器及疏水回收系统相连；

当需要吸附空气中的 CO_2 时，空气进入吸附反应器系统进行碳吸附后排入大气；

当需要解吸附时，通过蒸汽发生器及疏水回收系统为吸附反应器系统提供热源，升高吸附反应器系统内的吸附剂模块所在区域的温度，启动再生冷却除水系统，产生微负压环境，进而将吸附的 CO_2 解吸出来。

2、根据权利要求 1 所述的基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统，其特征在于，还包括太阳能发电与储能系统，所述太阳能发电与储能系统与蒸汽发生器及疏水回收系统相连，用于为蒸汽发生器及疏水回收系统提供电能。

3、根据权利要求 2 所述的基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统，其特征在于，所述太阳能发电与储能系统包括光伏组件方阵、控制器和储能电池，所述光伏组件方阵与储能电池相连，所述储能电池与控制器相连并受其控制，所述储能电池与蒸汽发生器及疏水回收系统的电蒸汽发生器相连并为其供电。

4、根据权利要求 1 所述的基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统，其特征在于，所述吸附反应器系统包括直接空气碳捕集塔，所述直接空气碳捕集塔下部设置有空气进气风道，所述直接空气碳捕集塔内部下方设置有若干个进气导流板，所述直接空气碳捕集塔内部且位于进气导流板上方设置有进气局部网，所述直接空气碳捕集塔内部且位于进气局部网上方设置有若干个散热翅片和若干个吸附剂模块，所述直接空气碳捕集塔与蒸汽发生器

及疏水回收系统的电蒸汽发生器相连，所述直接空气碳捕集塔上部外侧设置有脱碳出气风道挡板门与 CO_2 出气风道挡板门，所述脱碳出气风道挡板门与脱碳出气风道相连通，所述 CO_2 出气风道挡板门与 CO_2 出气风道相连通再连通再生冷却除水系统，所述脱碳出气风道挡板门与 CO_2 出气风道挡板门不同时打开，所述脱碳出气风道上设置有 CO_2 非分散红外分析仪，根据 CO_2 非分散红外分析仪检测的 CO_2 浓度数值决定进行碳吸附或解吸附，当需要进行碳吸附时，脱碳出气风道挡板门打开， CO_2 出气风道挡板门关闭，当需要解吸附时，脱碳出气风道挡板门关闭， CO_2 出气风道挡板门打开。

5、根据权利要求 4 所述的基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统，其特征在于，所述吸附剂模块与散热翅片相间布置，为间接换热方式。

6、根据权利要求 4 所述的基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统，其特征在于，所述吸附剂模块呈矩阵式布置，所述吸附剂模块的层数设置为 2~5 层，每个吸附剂模块含有 50~200 片 MOFs 吸附剂薄板，MOFs 吸附剂薄板之间的间隙为空气流通通道，空气在流通 MOFs 吸附剂薄板表面时其中的 CO_2 被吸附下来。

7、根据权利要求 1 所述的基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统，其特征在于，所述蒸汽发生器及疏水回收系统包括电蒸汽发生器、散热翅片、疏水箱和疏水回流泵，所述电蒸汽发生器下部设置有事故排水管，所述电蒸汽发生器通过事故排水管与疏水箱入口相连通，所述疏水箱出口通过回流管及其上设置的疏水回流泵与电蒸汽发生器相连通，所述电蒸汽发生器上部设置有补充水进水管，所述散热翅片设置有若干个并设置于吸附反应器系统的直接空气碳捕集塔内部。

8、根据权利要求 7 所述的基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统，其特征在于，所述电蒸汽发生器的额定出汽压力为 0.3MPa~0.6MPa，额定出气温度为 120°C~145°C。

9、根据权利要求 1 所述的基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系

统，其特征在于，所述再生冷却除水系统包括变频再生风机和冷却除水器，所述变频再生风机一端与吸附反应器系统的 CO_2 出气风道相连通，所述变频再生风机另一端与冷却除水器相连通，所述冷却除水器与蒸汽发生器及疏水回收系统的电蒸汽发生器相连通。

10、基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用方法，其特征在于，采用权利要求 1-9 任一所述的基于 MOFs 吸附剂的直接空气碳捕集及利用系统进行碳捕集及利用，所述方法包括以下步骤：

含有正常浓度二氧化碳的空气从空气进气风道进入直接空气碳捕集塔内，经过进气导流板导流分配后向上流动，通过进气局部网的均布后形成平缓气流，继续向上并流经吸附剂模块；

当需要进行碳吸附时，打开脱碳出气风道挡板门和脱碳出气风道，气流中的 CO_2 与吸附剂模块接触并被吸附下来，通过吸附剂模块净化后的气流经过脱碳出气风道挡板门和脱碳出气风道排向大气，此时， CO_2 出气风道挡板门、 CO_2 出气风道、变频再生风机处于停运状态；

当 CO_2 非分散红外分析仪检测的 CO_2 浓度数值达到 90% 及以上的入口 CO_2 浓度值时，进入解吸附状态，此时，关闭脱碳出气风道挡板门，打开 CO_2 出气风道挡板门，启动变频再生风机，打开进气管道上的阀门，通过电蒸汽发生器给直接空气碳捕集塔内部的散热翅片供气，升高吸附剂模块所在区域的温度至 $80\sim 100^\circ\text{C}$ ，通过升温及变频再生风机启动产生的微负压环境将吸附剂模块吸附的 CO_2 解吸出来并被变频再生风机送出，实现吸附剂模块的再生与干燥；当解吸附完成后，系统再恢复到碳吸附状态，继续捕集大气中的 CO_2 ，以此循环反复。

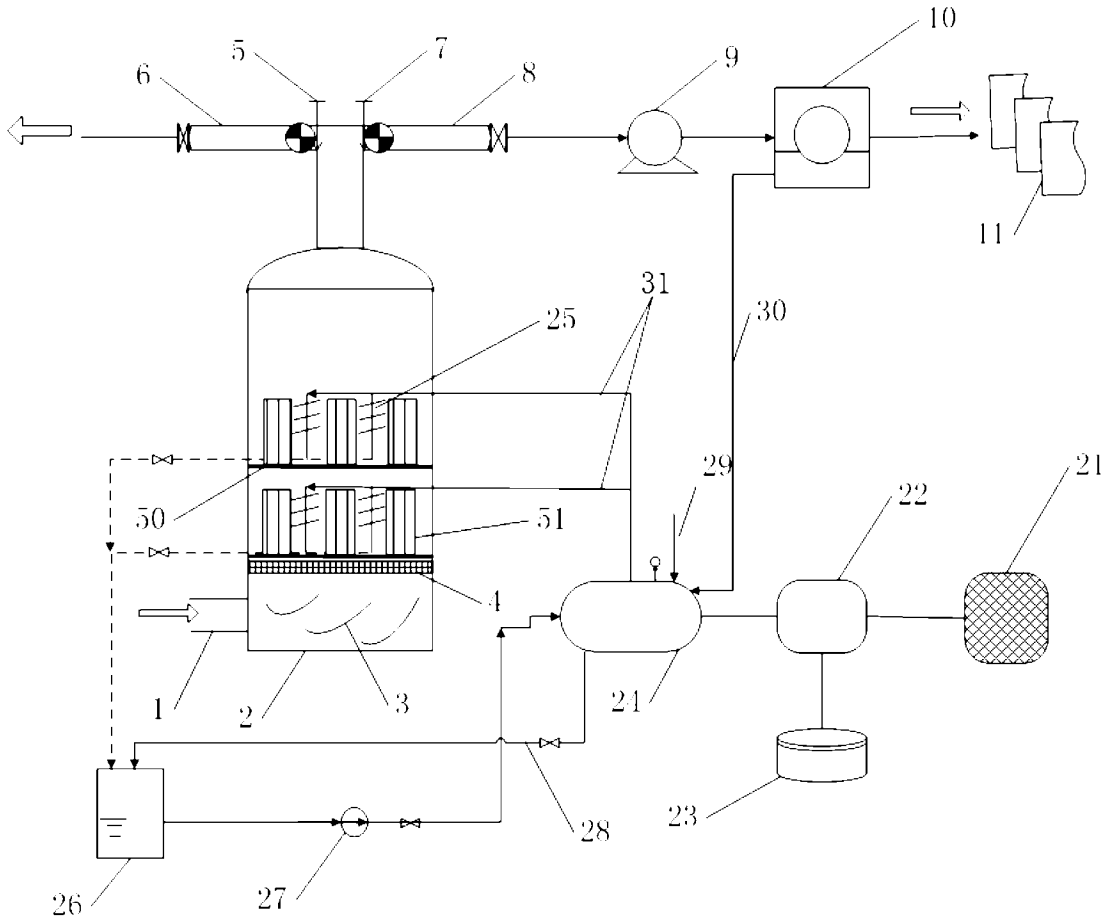


图 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/090156

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B01D53/04(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC:B01D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNTXT, SIPOABS, DWPI, CNKI: 二氧化碳, 碳捕集, 脱碳, 金属有机骨架, 吸附, 太阳能, 再生, 冷却, carbon, dioxide, capture, CO₂, metal, organic, framework, adsorb+, adsorption, solar, power, regeneration, condensation**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 115999308 A (SUZHOU XIRE ENERGY SAVING AND ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGY CO., LTD. et al.) 25 April 2023 (2023-04-25) claims 1-10	1-10
Y	CN 105435581 A (TIANJIN UNIVERSITY) 30 March 2016 (2016-03-30) description, paragraphs 28-35, and figures 1-2	1-10
Y	CN 112263890 A (STATE GRID NEW ENERGY TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) 26 January 2021 (2021-01-26) description, paragraphs 51-64, and figures 1-2	1-10
Y	CN 109954382 A (TIANJIN UNIVERSITY) 02 July 2019 (2019-07-02) description, paragraphs 26-42, and figure 1	1-10
A	CN 114307534 A (XI'AN THERMAL POWER RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.) 12 April 2022 (2022-04-12) entire document	1-10
A	US 9266057 B1 (JONES ROBERT LEE) 23 February 2016 (2016-02-23) entire document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 September 2023

Date of mailing of the international search report

27 September 2023

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/090156

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	115999308	A	25 April 2023	None	
CN	105435581	A	30 March 2016	None	
CN	112263890	A	26 January 2021	None	
CN	109954382	A	02 July 2019	None	
CN	114307534	A	12 April 2022	None	
US	9266057	B1	23 February 2016	None	

国际检索报告		国际申请号 PCT/CN2023/090156
A. 主题的分类 B01D53/04(2006.01) i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) IPC:B01D 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNTXT, SIPOABS, DWPI, CNKI, 二氧化碳, 碳捕集, 脱碳, 金属有机骨架, 吸附, 太阳能, 再生, 冷却, carbon, dioxide, capture, CO2, metal, organic, framework, adsorb+, adsorption, solar, power, regeneration, condensation		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 115999308 A (苏州西热节能环保技术有限公司等) 2023年4月25日 (2023 - 04 - 25) 权利要求1-10	1-10
Y	CN 105435581 A (天津大学) 2016年3月30日 (2016 - 03 - 30) 说明书第28-35段和附图1-2	1-10
Y	CN 112263890 A (国电新能源技术研究院有限公司) 2021年1月26日 (2021 - 01 - 26) 说明书第51-64段和附图1-2	1-10
Y	CN 109954382 A (天津大学) 2019年7月2日 (2019 - 07 - 02) 说明书第26-42段和附图1	1-10
A	CN 114307534 A (西安热工研究院有限公司) 2022年4月12日 (2022 - 04 - 12) 全文	1-10
A	US 9266057 B1 (JONES ROBERT LEE) 2016年2月23日 (2016 - 02 - 23) 全文	1-10
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “D” 申请人在国际申请中引证的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “Q” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期 2023年9月22日		国际检索报告邮寄日期 2023年9月27日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088		授权官员 王东升 电话号码 (+86) 010-62084844

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2023/090156

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	115999308	A	2023年4月25日	无	
CN	105435581	A	2016年3月30日	无	
CN	112263890	A	2021年1月26日	无	
CN	109954382	A	2019年7月2日	无	
CN	114307534	A	2022年4月12日	无	
US	9266057	B1	2016年2月23日	无	