

(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
2022 年 1 月 20 日 (20.01.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/011796 A1

(51) 国际专利分类号:

E21B 43/01 (2006.01) *F25B 27/02* (2006.01)
E21B 43/24 (2006.01) *F25B 30/02* (2006.01)
E21B 43/34 (2006.01) *E21B 43/295* (2006.01)
F24S 20/40 (2018.01) *E21B 43/30* (2006.01)
F25B 27/00 (2006.01) *F01K 17/00* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2020/111716

(22) 国际申请日: 2020 年 8 月 27 日 (27.08.2020)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:

202010694604.6 2020年7月17日 (17.07.2020) CN
202010694032.1 2020年7月17日 (17.07.2020) CN
202010694018.1 2020年7月17日 (17.07.2020) CN

(71) 申请人: 大连理工大学(DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学, Liaoning 116024 (CN)。

(72) 发明人: 宋永臣(SONG, Yongchen); 中国辽宁省大连市凌工路2号大连理工大学, Liaoning 116024 (CN)。 杨明军(YANG, Mingjun); 中国辽宁省大连市凌工路2号大连理工大学, Liaoning 116024 (CN)。 王欣茹(WANG, Xinru); 中国辽宁省大连市凌工路2号大连理工大学, Liaoning 116024 (CN)。 郑嘉男(ZHENG, Jianan); 中国辽宁省大连市凌工路2号大连理工大学, Liaoning 116024 (CN)。 赵佳飞(ZHAO, Jiafei); 中国辽宁省大连市凌工路2号大连理工大学, Liaoning 116024 (CN)。

(54) **Title:** EFFICIENT NATURAL GAS HYDRATE EXPLOITATION SYSTEM CAPABLE OF COMPENSATING FOR HEAT OF RESERVOIR STRATUM BY USING FLUE GAS WASTE HEAT/SOLAR ENERGY ABSORPTION HEAT PUMP

(54) 发明名称: 一种利用烟气余热/太阳能吸收式热泵补偿储层热量的天然气水合物高效开采系统

(57) **Abstract:** An efficient natural gas hydrate exploitation system capable of compensating for the heat of a reservoir stratum by using a flue gas waste heat/a solar energy-flue gas waste heat-based heat source system, an absorption heat pump system, and a seafloor hydrate exploitation system, to achieve efficient exploitation of seafloor natural gas hydrate by means of heat compensation. By using low-grade heat energy of an offshore platform, the problems of heat source and energy consumption during natural gas hydrate exploitation are solved, and a commercially feasible solution is provided for achieving large-scale natural gas hydrate exploitation. A condenser module, an evaporator module, and an injection well module of the system can be flexibly added or removed, so as to adapt to the distribution of multiple actual hydrate reservoir strata. The injection well module uses a ball-shaped spray nozzle (23) which can dispersedly and evenly inject hot injection water into the reservoir stratum so as to facilitate fast and effective transfer of heat of the reservoir stratum, thereby improving the speed of compensating for the heat of the reservoir stratum.

(57) **摘要:** 一种利用烟气余热/太阳能吸收式热泵补偿储层热量的天然气水合物高效开采系统, 包括太阳能-烟气余热热源系统、吸收式热泵系统以及海底水合物开采系统三个部分, 以热量补偿的方式实现了海底天然气水合物的高效开采。利用海上平台的低品位热能, 解决了天然气水合物开采过程中的热源及能耗问题, 为实现天然气水合物大规模开采提供了商业可行方案; 该系统冷凝器模块和蒸发器模块以及注入井模块可以灵活增减, 可适应多种实际水合物储层分布; 注入井模块采用球型喷头(23), 可将热注入水分散、均匀地注进储层内, 便于储层热量快速有效传递, 提高储层热量补偿速度。

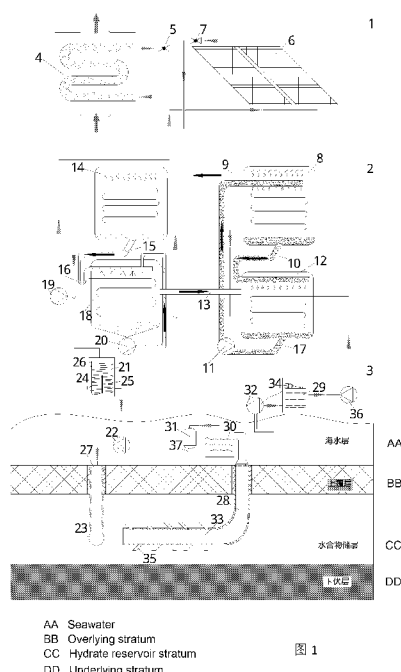


图 1



蒋兰兰(JIANG, Lanlan); 中国辽宁省大连市凌工
路2号大连理工大学, Liaoning 116024 (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,
CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,
GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT,
JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK,
LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, 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, 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)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

一种利用烟气余热/太阳能吸收式热泵补偿储层热量的 天然气水合物高效开采系统

技术领域

[0001] 本发明属于海洋油气资源开发技术领域，针对目前海洋天然气水合物开采所存在的效率问题，利用吸收式热泵技术将海上太阳能及海上发电机的烟气余热品位提高，为海洋天然气水合物的开采提供热量补偿，具体涉及一种利用烟气余热/太阳能吸收式热泵补偿储层热量的天然气水合物高效开采系统。

背景技术

[0002] 天然气水合物下文简称水合物，俗称可燃冰，是一种重要的清洁性能源。天然气水合物开采过程中，天然气水合物发生分解，分解是一个吸热反应，分解出的天然气产出时也要携带部分热量，因而天然气水合物分解产气过程，储层温度会降低。另外，天然气水合物分解受储层温度压力影响，在相同压力下，温度越高，分解驱动力越大，分解越快。因而，为了实现水合物持续快速分解、高效产气，则需要保证储层的温度，即要对储层进行热量补偿。目前，仍没有有效的海洋天然气水合物开采过程储层热量补偿方案。

[0003] 而在海洋环境下海面平台上汽轮机排出的烟气中含有大量余热可以回收利用。同时，海洋环境下太阳能含量丰富，但品位不高且受天气影响较大，不稳定。吸收式热泵是以热能为补偿实现从低温到高温输送热量的设备，具有节约能源、保护环境的双重作用，可以将海上油田燃气透平发电机烟气余热及太阳能提高温度，用于水合物开采。

发明概述

技术问题

[0004] 基于上述背景，本发明将海上油田燃气透平发电机烟气余热及海上丰富的太阳能作为吸收式热泵的低温热源，释放高品位热量，结合海洋天然气水合物开采技术，提供了一种利用烟气余热/太阳能吸收式热泵补偿储层热量的天然气水合物高效开采系统。

问题的解决方案

技术解决方案

- [0005] 本发明的技术方案：
- [0006] 一种利用烟气余热/太阳能吸收式热泵补偿储层热量的天然气水合物高效开采系统，包括热源吸收系统1、热泵制热系统2以及储层热量补偿系统3；
- [0007] 所述的热源吸收系统1主要由烟气换热部分和太阳能集热部分组成；
- [0008] 所述的烟气换热部分包括烟气换热器4和第一流量调节阀5，被烟气换热器4内热烟气加热的循环水经过第一流量调节阀5流入热泵制热系统2；所述的第一流量调节阀5用于调节烟气换热部分进入热泵制热系统2的循环水的温度；
- [0009] 所述的太阳能集热部分包括第二流量调节阀7和太阳能集热器6，太阳能集热器6用于加热低温循环水，被加热的循环水经过第二流量调节阀7流入热泵制热系统2；所述的第二流量调节阀7用于调节太阳能集热部分进入热泵制热系统2的循环水的温度；
- [0010] 所述的热泵制热系统2主要由发生器模块、冷凝器模块、吸收器模块和蒸发器模块；
- [0011] 所述的发生器模块包括冷凝管9、浓溶液管10和溶液循环泵11，冷凝管9实现发生器8与冷凝器模块的连通，发生器8的喷淋器通过溶液循环泵11与吸收器模块连通，浓溶液管10实现发生器8与吸收器模块的连通，发生器8中一级放热管入口连接热源吸收系统1，出口连接蒸发器模块；
- [0012] 所述的吸收器模块包括吸收器12、浓溶液管10、蒸发管13、稀溶液管17、溶液循环泵11和输水泵36，蒸发管13实现吸收器12与蒸发器模块的连通，稀溶液管17连通吸收器12下部与溶液循环泵11，浓溶液管10连接吸收器12的喷淋器，吸收器12中一级加热管入口连接输水泵36，出口连接冷凝器模块；
- [0013] 所述的冷凝器模块包括冷凝器14、冷凝管9、冷凝水管15、U型连通器16和热水储集罐21，冷凝管9实现冷凝器14与发生器模块的连通，冷凝水管15连通冷凝器14与U型连通器16，冷凝器14中二级加热管入口连接吸收器模块，出口连接热水储集罐21；
- [0014] 所述的蒸发器模块包括蒸发器18、U型连通器16、冷凝水泵20、蒸发管13和循

环水泵19，蒸发器18中的冷凝水喷淋器在蒸发器18内上部与U型连接器16连通，蒸发器18中二级放热管入口与吸收器模块连接，蒸发器18出口与循环水泵19连接，冷凝水泵20在蒸发器18的下方，连通蒸发器18底部出口与蒸发器18中的冷凝水喷淋器；

[0015] 所述的储层热量补偿系统3主要由注入井模块和开采井模块组成；

[0016] 所述的注入井模块包括热水储集罐21、注入泵22、注入井27、球型喷头23、温度控制器24、热电偶25和辅助加热器26，注入泵22一端连接热水储集罐21，另一端连接注入井27；注入井27末端连接球型喷头23，所述的热水储集罐21的温度由温度控制器24根据热水储集罐21内壁的热电偶25信号进行恒温控制，具体通过控制热水储集罐21外围的辅助加热器26的开关实现；

[0017] 所述的开采井模块包括开采井28、海水储集罐29、气液分离器30、集气瓶31、吸入泵32、水平井33、多簇开采孔35、输水泵36、浮球阀34和出水管37，开采井28下方连接外围带有多簇开采孔35的水平井33，开采井28上方连接气液分离器30，气液分离器30顶部连接集气瓶31，下部连接出水管37，海水储集罐29下部连接吸入泵32，中部连接输水泵36，海水储集罐29的海水液位由海水储集罐29内部的浮球阀34控制海水储集罐29下部的吸入泵32来实现；

[0018] 所述的系统运行时包括循环水流动、溶液循环流动和注入水流动；

[0019] 所述的循环水在换热管7和太阳能集热器6中吸收热量后汇合，进入发生器8中一级放热管与管外的稀溶液换热，再进入蒸发器18中二级放热管中与管外的冷凝水换热，再经循环水泵19回到热源吸收系统1，分别流入换热管7和太阳能集热器6；

[0020] 所述的溶液在吸收器模块、发生器模块、冷凝器模块和蒸发器模块循环，稀溶液在发生器8中与一级放热管中的循环水换热，溶液中水分变成水蒸气，剩下的溶液变成浓溶液进入吸收器12，水蒸气进入冷凝器14与二级加热管中的注入水换热变成冷凝水，冷凝水进入U型连通器16降压再进入蒸发器18与二级放热管中的循环水换热，蒸发成水蒸气进入吸收器12与浓溶液混合成为稀溶液，同时与吸收器12中一级加热管的注入水换热；

[0021] 所述的注入水在海水储集罐29、吸收器12、冷凝器14和注入井27中流动，海水

储集罐29中的注入水经输水泵36进入吸收器12中一级加热管中与管外的浓溶液换热，再进入冷凝器14中的二级加热管与管外的水蒸气换热，然后进入热水储集罐21保温，热水储集罐21中的热水通过注入泵22进入注入井27，并在热注入水在球型喷头23处均匀分散喷出，补偿水合物分解所需热量，注入水和水合物分解产生的天然气和水从多簇开采孔35经水平井33，进入开采井28，再进入气液分离器30，在气液分离器30中分离板的作用下，产出的水从出水管38排到海水层，产出的天然气从顶部进入集气瓶31；

[0022] 所述的冷凝器模块与蒸发器模块配合注入井模块成对使用。

[0023] 所述的球型喷头23为球形多孔，将热注入水分散、均匀地注进储层内，便于储层热量快速有效传递，提高储层热量补偿速度。

发明的有益效果

有益效果

[0024] 本发明的有益效果：本发明提出一种利用烟气余热/太阳能吸收式热泵补偿储层热量的天然气水合物高效开采系统，将吸收式热泵技术与海洋天然气水合物开采技术结合，并利用海上平台的低品位热能，解决了天然气水合物开采过程中的热源及能耗问题，为实现天然气水合物大规模开采提供了商业可行方案。

对附图的简要说明

附图说明

[0025] 图1是利用烟气余热/太阳能吸收式热泵补偿储层热量的天然气水合物高效开采系统的示意图。

[0026] 图2是利用烟气余热/太阳能吸收式热泵补偿储层热量的天然气水合物高效开采系统中球型喷头32示意图。

[0027] 图3是利用烟气余热/太阳能吸收式热泵补偿储层热量的天然气水合物高效开采系统的多注入井模式示意图。

[0028] 图中：1热源吸收系统；2热泵制热系统；3储层热量补偿系统；4烟气换热器；5第一流量调节阀；6太阳能集热器；7第二流量调节阀；8发生器；9冷凝管；10浓溶液管；11溶液循环泵；12吸收器；13蒸发管；14冷凝器；15冷凝水管；16U型连通器；17稀溶液管；18蒸发器；19循环水泵；20冷凝水泵；21热水储集

罐；22注入泵；23球型喷头；24温度控制器；25热电偶；26辅助加热器；27注入井；28开采井；29海水储集罐；30气液分离器；31集气瓶；32吸入泵；33水平井；34浮球阀；35多簇开采孔；36输水泵；37出水管。

发明实施例

本发明的实施方式

- [0029] 以下结合附图和具体实施例，对本发明的具体实施方式详细说明。
- [0030] 一种利用烟气余热/太阳能吸收式热泵补偿储层热量的天然气水合物高效开采系统包括热源吸收系统1、热泵制热系统2以及储层热量补偿系统3。
- [0031] 热源吸收系统1由烟气换热部分和太阳能集热部分组成；
- [0032] 烟气换热部分包括烟气换热器4和第一流量调节阀5，换热管置于烟气直接接触式换热器4内，从烟气入口进入烟气换热器4的热烟气与换热管内的低温循环水进行换热，换热后的低温烟气从烟气出口排出，被热烟气加热的循环水经过第一流量调节阀5流入热泵制热系统2；
- [0033] 太阳能集热部分包括第二流量调节阀7和太阳能集热器6，太阳能集热器6用于加热低温循环水，被加热的循环水经过第二流量调节阀7流入热泵制热系统2；
- [0034] 第一流量调节阀5和第二流量调节阀7分别调节烟气换热部分和太阳能集热部分进入热泵制热系统2的循环水的温度。
- [0035] 热泵制热系统2由发生器模块、冷凝器模块、吸收器模块、蒸发器模块；
- [0036] 发生器模块包括冷凝管9、浓溶液管10和溶液循环泵11，稀溶液喷淋器和一级放热管布置在发生器内部，冷凝管9连通发生器上部与冷凝器模块，稀溶液喷淋器置于发生器内的上部，通过溶液循环泵11与吸收器模块连通，浓溶液管1连通发生器下部与吸收器模块，与吸收器模块连通，一级放热管位于稀溶液喷淋器下方，热源吸收系统1出来的热循环水从一级放热管上方流入，在发生器内与稀溶液喷淋器均匀喷出的稀溶液换热，稀溶液中受热蒸发出的水蒸气向上流动经过冷凝管9进入冷凝器模块，蒸发后的稀溶液变成浓溶液向下流动并通过浓溶液管10进入吸收器模块中，换热后的循环水从一级放热管下方流出进入蒸发器模块中；
- [0037] 吸收器模块包括吸收器12、浓溶液管10、蒸发管13、稀溶液管17、溶液循环泵

11和输水泵36，浓溶液喷淋器和一级加热管分别置于吸收器12内部，蒸发管13连通吸收器12上部与蒸发器模块，浓溶液喷淋器在一级加热管上方，稀溶液管17在吸收器下部，经浓溶液管10流入浓溶液喷淋器被均匀喷出的浓溶液，吸收经蒸发管13流入来自蒸发器模块的水蒸气变成稀溶液与一级加热管中来自储层热量补偿系统3的注入水换热，换热后的稀溶液通过稀溶液管17和连接发生器模块的溶液循环泵11相连接，换热后的注入水从一级加热管流出，进入冷凝器模块中；

[0038] 冷凝器模块包括冷凝器14、冷凝管9、冷凝水管15、U型连通器16和热水储集罐21，二级加热管置于冷凝器14内的中部，冷凝管9连通冷凝器14上部与发生器模块，冷凝水管15连通冷凝器14下部与U型连通器16，经冷凝管9进入冷凝器14上部的水蒸气与二级加热管中来自吸收器模块的注入水换热，换热后的注入水流入热水储集罐21，水蒸气换热后形成的冷凝水由冷凝器14下部流入冷凝水管15，再流入与蒸发器模块连通的U型连通器16；

[0039] 蒸发器模块包括蒸发器18、U型连通器16、冷凝水泵20、蒸发管13和循环水泵19，冷凝水喷淋器在蒸发器18内上部与U型连通器16连通，二级放热管在蒸发器18内下部，出口在蒸发器18外部与循环水泵19连接，冷凝水泵20在蒸发器18的下方，连通蒸发器18底部与冷凝水喷淋器，来自U型连通器16流入冷凝水喷淋器的冷凝水被均匀喷淋到二级放热管上方，与二级放热管中的循环水换热，换热后的循环水经循环水泵19进入热源吸收系统1，换热后的冷凝水一部分成为水蒸气进入蒸发管13，一部分以液体的形式由蒸发器18底部的冷凝水泵20送回冷凝水喷淋器；

[0040] 冷凝器模块与蒸发器模块配合注入井模块成对使用。

[0041] 储层热量补偿系统3主要由注入井模块、开采井模块组成；

[0042] 注入井模块包括热水储集罐21、注入泵22、注入井27、球型喷头23、温度控制器24、热电偶25和辅助加热器26，二级加热管出口与热水储集罐21连接，注入泵22一端连接热水储集罐21，一端连接注入井27，注入井27末端连接球型喷头23，热水储集罐21用于储集来自冷凝器模块的热注入水，热水储集罐21的温度由温度控制器24根据热水储集罐21内壁的热电偶25信号进行恒温控制，具体是通

过控制热水储集罐21外围的辅助加热器26的开关实现，热水储集罐21储集的热注入水由注入泵22通过注入井27井底的球型喷头23注入水合物储层，注入泵22根据开采井模块水合物分解情况控制注入水流量，维持水合物快速分解所需要的储层温度，球型喷头23为球形多孔，可将热注入水分散、均匀地注进储层内，便于储层热量快速有效传递，提高储层热量补偿速度；

[0043] 开采井模块包括开采井28、海水储集罐29、气液分离器30、集气瓶31、吸入泵32、水平井33、多簇开采孔35、输水泵36、浮球阀34和出水管37，开采井28下方连接外围带有多簇开采孔35的水平井33，开采井28上方连接气液分离器30，气液分离器30顶部连接集气瓶31，下部连接出水管37，海水储集罐29下部连接吸入泵32，中部由输水泵36与一级加热管入口连接，注入水和水合物分解产生的天然气和水从多簇开采孔35经水平井33，进入开采井28，再进入气液分离器30，在分离板的作用下，产出的水从出水管37排到海水层，产出的天然气从顶部进入集气瓶31，海水储集罐29的海水液位由海水储集罐29内部的浮球阀34控制海水储集罐29下部的吸入泵32来实现，海水储集罐29经输水泵36与吸收器模块连接，为吸收器模块提供注入水。

[0044] 实施例一，利用烟气余热吸收式热泵补偿储层热量的天然气水合物高效开采系统的具体工作流程结合图1：

[0045] 烟气余热在换热管外围被循环水吸收，通过第一流量调节阀5调节流出水的流量来控制热量吸收系统1输出热循环水的温度；

[0046] 热循环水在热量吸收系统1中吸热后流入热泵制热系统2中，先经过一级放热管放热，在二级放热管二次放热，再回到热量吸收系统1被加热；

[0047] 来自海水储集罐29的注入水，先在吸收器模块中预热，再流入冷凝器模块吸收高品位热量，然后在热水储集罐21中保温备用；

[0048] 注入泵22将热水储集罐21的热注入水注入到注入井27，在球型喷头23处分散、均匀地注进储层内，对储层进行热量补偿，保证水合物分解速率；

[0049] 注入水和水合物分解产生的天然气和水从多簇开采孔35进入水平井33，再进入气液分离器30，在分离板的作用下，产出的水从出水管37排到海水层，产出的天然气从顶部进入集气瓶31。

- [0050] 实施例二，利用太阳能吸收式热泵补偿储层热量的天然气水合物高效开采系统的具体工作流程结合图1：
- [0051] 太阳能通过太阳能集热器6被循环水吸收，通过第一流量调节阀5调节流出水的流量来控制热量吸收系统1输出热循环水的温度；
- [0052] 热循环水在热量吸收系统1中吸热后流入热泵制热系统2中，先经过一级放热管放热，在二级放热管二次放热，再回到热量吸收系统1被加热；
- [0053] 来自海水储集罐29的注入水，先在吸收器模块中预热，再流入冷凝器模块吸收高品位热量，然后在热水储集罐21中保温备用；
- [0054] 注入泵22将热水储集罐21的热注入水注入到注入井27，在球型喷头23处分散、均匀地注进储层内，对储层进行热量补偿，保证水合物分解速率；
- [0055] 注入水和水合物分解产生的天然气和水从多簇开采孔35进入水平井33，再进入气液分离器30，在分离板的作用下，产出的水从出水管37排到海水层，产出的天然气从顶部进入集气瓶31。
- [0056] 上述两个实施例仅为利用烟气余热/太阳能吸收式热泵补偿储层热量的天然气水合物高效开采系统在单个开采井和注入井模式下的工作流程，当储层较大时，为保证开采效率，需要采用多个注入井模块，并按照水合物储层的空间分布特点进行布置，实现热量补偿的多和快。实施例三，利用烟气余热/太阳能吸收式热泵补偿储层热量的天然气水合物高效开采系统的多注入井模式布置方法举例说明结合图3：
- [0057] 当探测到水合物藏分布近似矩形时，可分布区域两端附近分别设置注入井模块如图3a；当水合物储层分布近似三角形时，可布置三个注入井模块如图3b；当水合物储层分布近似正四边形时，可布置四个注入井模块如图3c。
- [0058] 值得注意的是，上述实施例是示例而非限制本发明，依据本发明的基本原理和思路，还可以利用其他类型热源、多级热泵、多开采井、注入井布置等方式变形，本领域技术人员将能够设计出很多替代实施例而不脱离本发明保护的范围。

权利要求书

- [权利要求 1] 一种利用烟气余热/太阳能吸收式热泵补偿储层热量的天然气水合物高效开采系统，其特征在于，该利用烟气余热/太阳能吸收式热泵补偿储层热量的天然气水合物高效开采系统包括热源吸收系统（1）、热泵制热系统（2）以及储层热量补偿系统（3）；
- 所述的热源吸收系统（1）主要由烟气换热部分和太阳能集热部分组成；
- 所述的烟气换热部分包括烟气换热器（4）和第一流量调节阀（5），被烟气换热器（4）内热烟气加热的循环水经过第一流量调节阀（5）流入热泵制热系统（2）；所述的第一流量调节阀（5）用于调节烟气换热部分进入热泵制热系统（2）的循环水的温度；
- 所述的太阳能集热部分包括第二流量调节阀（7）和太阳能集热器（6），太阳能集热器（6）用于加热低温循环水，被加热的循环水经过第二流量调节阀（7）流入热泵制热系统（2）；所述的第二流量调节阀（7）用于调节太阳能集热部分进入热泵制热系统（2）的循环水的温度；
- 所述的热泵制热系统（2）主要由发生器模块、冷凝器模块、吸收器模块和蒸发器模块；
- 所述的发生器模块包括冷凝管（9）、浓溶液管（10）和溶液循环泵（11），冷凝管（9）实现发生器（8）与冷凝器模块的连通，发生器（8）的喷淋器通过溶液循环泵（11）与吸收器模块连通，浓溶液管（10）实现发生器（8）与吸收器模块的连通，发生器（8）中一级放热管入口连接热源吸收系统（1），出口连接蒸发器模块；
- 所述的吸收器模块包括吸收器（12）、浓溶液管（10）、蒸发管（13）、稀溶液管（17）、溶液循环泵（11）和输水泵（36），蒸发管（13）实现吸收器（12）与蒸发器模块的连通，稀溶液管（17）连通吸收器（12）下部与溶液循环泵（11），浓溶液管（10）连接吸收器（12）的喷淋器，吸收器（12）中一级加热管入口连接输水泵（36），

出口连接冷凝器模块；

所述的冷凝器模块包括冷凝器（14）、冷凝管（9）、冷凝水管（15）、U型连通器（16）和热水储集罐（21），冷凝管（9）实现冷凝器（14）与发生器模块的连通，冷凝水管（15）连通冷凝器（14）与U型连通器（16），冷凝器（14）中二级加热管入口连接吸收器模块，出口连接热水储集罐（21）；

所述的蒸发器模块包括蒸发器（18）、U型连通器（16）、冷凝水泵（20）、蒸发管（13）和循环水泵（19），蒸发器（18）中的冷凝水喷淋器在蒸发器（18）内上部与U型连接器（16）连通，蒸发器（18）中二级放热管入口与吸收器模块连接，蒸发器（18）出口与循环水泵（19）连接，冷凝水泵（20）在蒸发器（18）的下方，连通蒸发器（18）底部出口与蒸发器（18）中的冷凝水喷淋器；

所述的储层热量补偿系统（3）主要由注入井模块和开采井模块组成；

所述的注入井模块包括热水储集罐（21）、注入泵（22）、注入井（27）、球型喷头（23）、温度控制器（24）、热电偶（25）和辅助加热器（26），注入泵（22）一端连接热水储集罐（21），另一端连接注入井（27）；注入井（27）末端连接球型喷头（23），所述的热水储集罐（21）的温度由温度控制器（24）根据热水储集罐（21）内壁的热电偶（25）信号进行恒温控制，具体通过控制热水储集罐（21）外围的辅助加热器（26）的开关实现；

所述的开采井模块包括开采井（28）、海水储集罐（29）、气液分离器（30）、集气瓶（31）、吸入泵（32）、水平井（33）、多簇开采孔（35）、输水泵（36）、浮球阀（34）和出水管（37），开采井（28）下方连接外围带有多簇开采孔（35）的水平井（33），开采井（28）上方连接气液分离器（30），气液分离器（30）顶部连接集气瓶（31），下部连接出水管（37），海水储集罐（29）下部连接吸入泵（32），中部连接输水泵（36），海水储集罐（29）的海水液位由海

水储集罐（29）内部的浮球阀（34）控制海水储集罐（29）下部的吸入泵（32）来实现；

所述的系统运行时包括循环水流动、溶液循环流动和注入水流动；

所述的循环水在换热管（7）和太阳能集热器（6）中吸收热量后汇合，进入发生器（8）中一级放热管与管外的稀溶液换热，再进入蒸发器（18）中二级放热管中与管外的冷凝水换热，再经循环水泵（19）回到热源吸收系统（1），分别流入换热管（7）和太阳能集热器（6）；

所述的溶液在吸收器模块、发生器模块、冷凝器模块和蒸发器模块循环，稀溶液在发生器（8）中与一级放热管中的循环水换热，溶液中水分变成水蒸气，剩下的溶液变成浓溶液进入吸收器（12），水蒸气进入冷凝器（14）与二级加热管中的注入水换热变成冷凝水，冷凝水进入U型连通器（16）降压再进入蒸发器（18）与二级放热管中的循环水换热，蒸发成水蒸气进入吸收器（12）与浓溶液混合成为稀溶液，同时与吸收器（12）中一级加热管的注入水换热；

所述的注入水在海水储集罐（29）、吸收器（12）、冷凝器（14）和注入井（27）中流动，海水储集罐（29）中的注入水经输水泵（36）进入吸收器（12）中一级加热管中与管外的浓溶液换热，再进入冷凝器（14）中的二级加热管与管外的水蒸气换热，然后进入热水储集罐（21）保温，热水储集罐（21）中的热水通过注入泵（22）进入注入井（27），并在热注入水在球型喷头（23）处均匀分散喷出，补偿水合物分解所需热量，注入水和水合物分解产生的天然气和水从多簇开采孔（35）经水平井（33），进入开采井（28），再进入气液分离器（30），在气液分离器（30）中分离板的作用下，产出的水从出水管（38）排到海水层，产出的天然气从顶部进入集气瓶（31）。

[权利要求 2] 根据权利要求1所述的一种利用烟气余热/太阳能吸收式热泵补偿储层热量的天然气水合物高效开采系统，其特征在于，所述的冷凝器模块与蒸发器模块配合注入井模块成对使用。

- [权利要求 3] 根据权利要求1所述的一种利用烟气余热/太阳能吸收式热泵补偿储层热量的天然气水合物高效开采系统，其特征在于，所述的球型喷头（23）为球形多孔，将热注入水分散、均匀地注进储层内，便于储层热量快速有效传递，提高储层热量补偿速度。

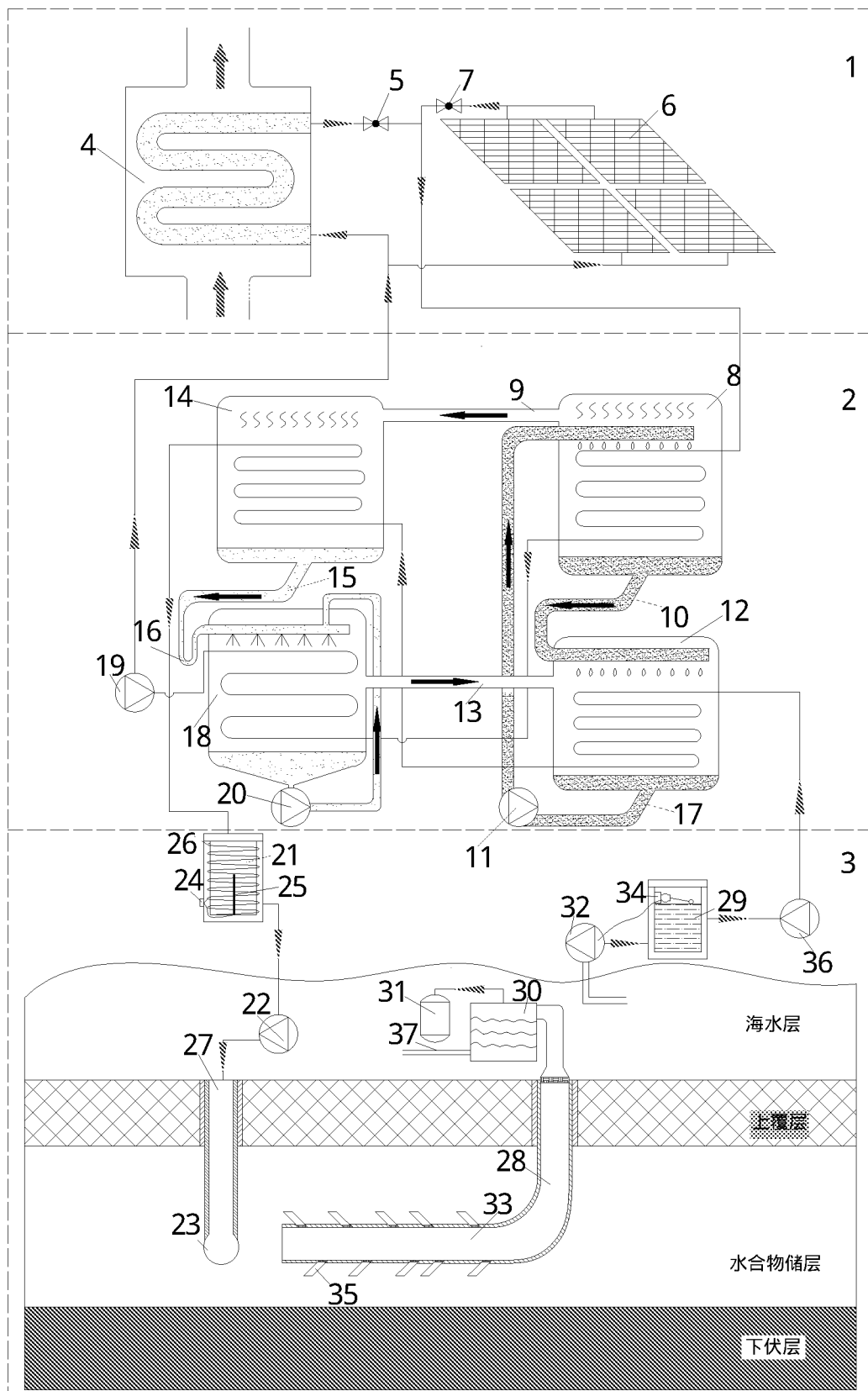


图 1

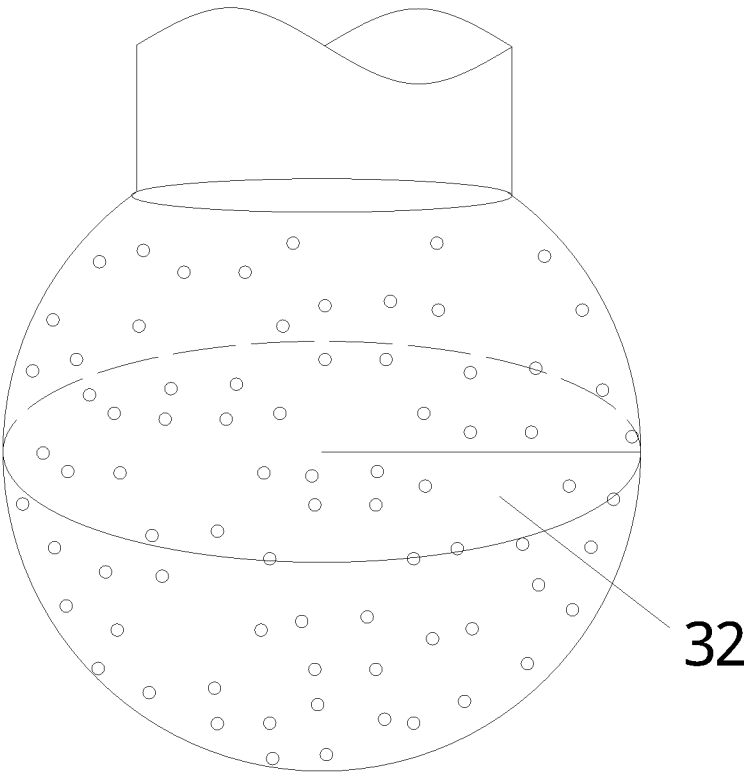


图 2

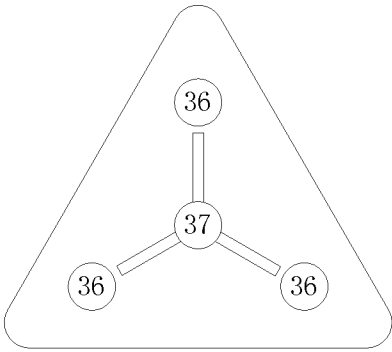


图3a

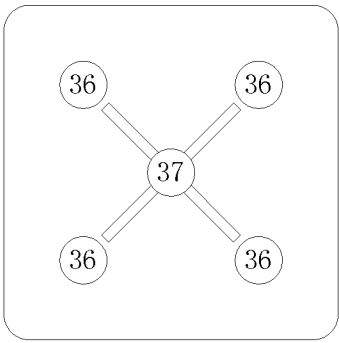


图3b

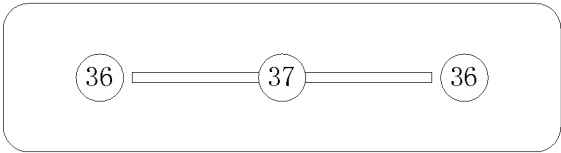


图3c

图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/111716

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER E21B 43/01(2006.01)i; E21B 43/24(2006.01)i; E21B 43/34(2006.01)i; F24S 20/40(2018.01)i; F25B 27/00(2006.01)i; F25B 27/02(2006.01)i; F25B 30/02(2006.01)i; E21B 43/295(2006.01)i; E21B 43/30(2006.01)i; F01K 17/00(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) E21B; F24S; F25B; F01K 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) WPI, EPODOC, CNKI, CNPAT: 宋永臣, 杨明军, 王欣茹, 郑嘉男, 赵佳飞, 蒋兰兰, 大连理工大学, 开采, 天然气, 太阳能, 烟气, 汽轮机, 海洋, 海底, 泵, 冷凝器, 发生器, 蒸发器, 吸收器, 储集罐, 注入井, 水平井, 集气瓶, 气液分离器, 循环, sea, solar, sun, gas, natural, steam+, pump, condens+, evaporat+, absorb+, stor+, well, collect+, circulat+																							
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>CN 108005618 A (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 08 May 2018 (2018-05-08) description, paragraphs 21-25, figure 1</td> <td>1-3</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105840159 A (SOUTHWEST PETROLEUM UNIVERSITY) 10 August 2016 (2016-08-10) entire document</td> <td>1-3</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 1690360 A (INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 02 November 2005 (2005-11-02) entire document</td> <td>1-3</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 108387013 A (XIANGTAN UNIVERSITY) 10 August 2018 (2018-08-10) entire document</td> <td>1-3</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106593372 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 26 April 2017 (2017-04-26) entire document</td> <td>1-3</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 4110628 A (TEXACO DEVELOPMENT CORP.) 29 August 1978 (1978-08-29) entire document</td> <td>1-3</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	A	CN 108005618 A (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 08 May 2018 (2018-05-08) description, paragraphs 21-25, figure 1	1-3	A	CN 105840159 A (SOUTHWEST PETROLEUM UNIVERSITY) 10 August 2016 (2016-08-10) entire document	1-3	A	CN 1690360 A (INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 02 November 2005 (2005-11-02) entire document	1-3	A	CN 108387013 A (XIANGTAN UNIVERSITY) 10 August 2018 (2018-08-10) entire document	1-3	A	CN 106593372 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 26 April 2017 (2017-04-26) entire document	1-3	A	US 4110628 A (TEXACO DEVELOPMENT CORP.) 29 August 1978 (1978-08-29) entire document	1-3
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																					
A	CN 108005618 A (SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 08 May 2018 (2018-05-08) description, paragraphs 21-25, figure 1	1-3																					
A	CN 105840159 A (SOUTHWEST PETROLEUM UNIVERSITY) 10 August 2016 (2016-08-10) entire document	1-3																					
A	CN 1690360 A (INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 02 November 2005 (2005-11-02) entire document	1-3																					
A	CN 108387013 A (XIANGTAN UNIVERSITY) 10 August 2018 (2018-08-10) entire document	1-3																					
A	CN 106593372 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 26 April 2017 (2017-04-26) entire document	1-3																					
A	US 4110628 A (TEXACO DEVELOPMENT CORP.) 29 August 1978 (1978-08-29) entire document	1-3																					
☐ 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 “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 23 March 2021		Date of mailing of the international search report 27 April 2021																					
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088 China Facsimile No. (86-10)62019451		Authorized officer Telephone No.																					

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/111716

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	108005618	A	08 May 2018	None			
CN	105840159	A	10 August 2016	CN	105840159	B	06 March 2018
CN	1690360	A	02 November 2005	CN	1690360	B	12 May 2010
CN	108387013	A	10 August 2018	None			
CN	106593372	A	26 April 2017	CN	106593372	B	18 December 2018
US	4110628	A	29 August 1978	BR	7804383	A	15 January 1980

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/111716

A. 主题的分类 E21B 43/01(2006.01)i; E21B 43/24(2006.01)i; E21B 43/34(2006.01)i; F24S 20/40(2018.01)i; F25B 27/00(2006.01)i; F25B 27/02(2006.01)i; F25B 30/02(2006.01)i; E21B 43/295(2006.01)i; E21B 43/30(2006.01)i; F01K 17/00(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) E21B; F24S; F25B; F01K 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)) WPI, EPDOC, CNKI, CNPAT: 宋永臣, 杨明军, 王欣茹, 郑嘉男, 赵佳飞, 蒋兰兰, 大连理工大学, 开采, 天然气, 太阳能, 烟气, 汽轮机, 海洋, 海底, 泵, 冷凝器, 发生器, 蒸发器, 吸收器, 储集罐, 注入井, 水平井, 集气瓶, 气液分离器, 循环, sea, solar, sun, gas, natural, steam+, pump, condens+, evaporat+, absorb+, stor+, well, collect+, circulat+																							
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>CN 108005618 A (华南理工大学) 2018年 5月 8日 (2018 - 05 - 08) 说明书第21-25段, 图1</td> <td>1-3</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105840159 A (西南石油大学) 2016年 8月 10日 (2016 - 08 - 10) 全文</td> <td>1-3</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 1690360 A (中国科学院过程工程研究所) 2005年 11月 2日 (2005 - 11 - 02) 全文</td> <td>1-3</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 108387013 A (湘潭大学) 2018年 8月 10日 (2018 - 08 - 10) 全文</td> <td>1-3</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106593372 A (大连理工大学) 2017年 4月 26日 (2017 - 04 - 26) 全文</td> <td>1-3</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 4110628 A (TEXACO DEVELOPMENT CORP.) 1978年 8月 29日 (1978 - 08 - 29) 全文</td> <td>1-3</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	A	CN 108005618 A (华南理工大学) 2018年 5月 8日 (2018 - 05 - 08) 说明书第21-25段, 图1	1-3	A	CN 105840159 A (西南石油大学) 2016年 8月 10日 (2016 - 08 - 10) 全文	1-3	A	CN 1690360 A (中国科学院过程工程研究所) 2005年 11月 2日 (2005 - 11 - 02) 全文	1-3	A	CN 108387013 A (湘潭大学) 2018年 8月 10日 (2018 - 08 - 10) 全文	1-3	A	CN 106593372 A (大连理工大学) 2017年 4月 26日 (2017 - 04 - 26) 全文	1-3	A	US 4110628 A (TEXACO DEVELOPMENT CORP.) 1978年 8月 29日 (1978 - 08 - 29) 全文	1-3
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
A	CN 108005618 A (华南理工大学) 2018年 5月 8日 (2018 - 05 - 08) 说明书第21-25段, 图1	1-3																					
A	CN 105840159 A (西南石油大学) 2016年 8月 10日 (2016 - 08 - 10) 全文	1-3																					
A	CN 1690360 A (中国科学院过程工程研究所) 2005年 11月 2日 (2005 - 11 - 02) 全文	1-3																					
A	CN 108387013 A (湘潭大学) 2018年 8月 10日 (2018 - 08 - 10) 全文	1-3																					
A	CN 106593372 A (大连理工大学) 2017年 4月 26日 (2017 - 04 - 26) 全文	1-3																					
A	US 4110628 A (TEXACO DEVELOPMENT CORP.) 1978年 8月 29日 (1978 - 08 - 29) 全文	1-3																					
☐ 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 “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) “O” 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 2021年 3月 23日		国际检索报告邮寄日期 2021年 4月 27日																					
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		授权官员 徐春华 电话号码 53961093																					

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/111716

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	108005618	A	2018年 5月 8日	无	
CN	105840159	A	2016年 8月 10日	CN 105840159	B 2018年 3月 6日
CN	1690360	A	2005年 11月 2日	CN 1690360	B 2010年 5月 12日
CN	108387013	A	2018年 8月 10日	无	
CN	106593372	A	2017年 4月 26日	CN 106593372	B 2018年 12月 18日
US	4110628	A	1978年 8月 29日	BR 7804383	A 1980年 1月 15日