

(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
2016 年 12 月 8 日 (08.12.2016)



(10) 国际公布号
WO 2016/192059 A1

- (51) 国际专利分类号:
F03G 4/00 (2006.01) *F03G 6/04* (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2015/080698
- (22) 国际申请日: 2015 年 6 月 3 日 (03.06.2015)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (71) 申请人: 清华大学 (TSINGHUA UNIVERSITY)
[CN/CN]; 中国北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。
- (72) 发明人: 姜培学 (JIANG, Peixue); 中国北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。 张富珍 (ZHANG, Fuzhen); 中国北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。 胥蕊娜 (XU, Ruina); 中国北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。
- (74) 代理人: 北京清亦华知识产权代理事务所 (普通合伙) (TSINGYIHUA INTELLECTUAL PROP-

ERTY LLC); 中国北京市海淀区清华园清华大学照澜院商业楼 301 室, Beijing 100084 (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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,

[见续页]

(54) Title: GEOTHERMAL-SOLAR COMBINED POWER GENERATION SYSTEM AND GEOTHERMAL-SOLAR COMBINED POWER GENERATION METHOD

(54) 发明名称: 地热和太阳能联合发电系统及地热和太阳能联合发电方法

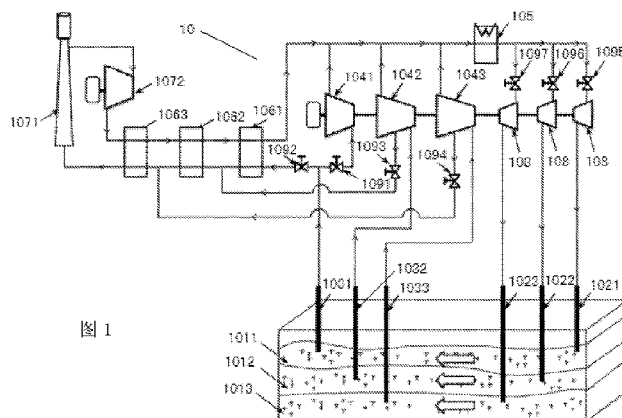


图 1

(57) Abstract: Provided is a geothermal-solar combined power generation system (10), comprising: at least three geothermal reservoir layers (1011, 1012, 1013); at least three injection wells (1021, 1022, 1023) and output wells (1031, 1032, 1033), wherein the geothermal reservoir layers (1011, 1012, 1013) are connected to gas outlets of the injection wells (1021, 1022, 1023) and gas inlets of the output wells (1031, 1032, 1033); at least three geothermal turbines (1041, 1042, 1043), wherein gas inlets of the geothermal turbines (1041, 1042, 1043) are in communication with gas outlets of the output wells (1031, 1032, 1033); a gas cooler (105); a first heat regenerator (1061) and a second heat regenerator (1062), wherein a high-pressure gas inlet of the first heat regenerator (1061) is in communication with the uppermost gas outlet in the output wells (1031, 1032, 1033), and a high-pressure gas inlet of the second heat regenerator (1062) is in communication with one of the geothermal turbines (1041, 1042, 1043); a solar receiver (1071), wherein a gas inlet of the solar receiver (1071) is in communication with the second heat regenerator (1062); and a solar turbine (1072), wherein a gas inlet of the solar turbine (1072) is in communication with the solar receiver (1071) and a gas outlet is in communication with the second heat regenerator (1062). Also provided is a geothermal-solar combined power generation method taking advantages of the above-mentioned power generation system (10). The power generation system (10) has such advantages as a low manufacturing cost and a high thermal efficiency.

(57) 摘要:

[见续页]

WO 2016/192059 A1



RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, **本国际公布:**

CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, — 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。
TG)。

一种地热和太阳能联合发电系统(10), 包括: 至少三个热储层(1011, 1012, 1013); 至少三个注入井(1021, 1022, 1023)和产出井(1031, 1032, 1033), 热储层(1011, 1012, 1013)与注入井(1021, 1022, 1023)的出气口以及产出井(1031, 1032, 1033)的进气口相连; 至少三个地热透平(1041, 1042, 1043), 地热透平(1041, 1042, 1043)的进气口与产出井(1031, 1032, 1033)的出气口连通; 气体冷却器(105); 第一回热器(1061)和第二回热器(1062), 第一回热器(1061)的高压气体进口与产出井(1031, 1032, 1033)中的位于最上方的一个的出气口连通, 第二回热器(1062)的高压气体进口与地热透平(1041, 1042, 1043)中的一个连通; 太阳能接收器(1071), 太阳能接收器(1071)的进气口与第二回热器(1062)连通; 和太阳能透平(1072), 太阳能透平(1072)的进气口与太阳能接收器(1071)连通且出气口与第二回热器(1062)连通。一种利用上述发电系统(10)实施的地热和太阳能联合发电方法。该发电系统(10)的制造成本低, 热效率高。

地热和太阳能联合发电系统及地热和太阳能联合发电方法

技术领域

5 本发明涉及地热和太阳能联合发电系统，还涉及地热和太阳能联合发电方法。

背景技术

现有的以二氧化碳为工质的地热和太阳能联合发电系统通过采用抽气压缩回热提高系统的热效率，其原因在于：二氧化碳的比热容随着压力的变化有较大的差异，例如，在 200 摄氏度内，15MPa 的二氧化碳和 8MPa 的二氧化碳的比热容相差较大。这样，采用简单回热循环时，高压低温二氧化碳和低压高温二氧化碳在换热器中的热容（质量流量和比热容的乘积）相差较大，则传热温差会加大，系统的传热不可逆性加大。采用从低压乏汽中抽气压缩后回热和部分冷却的方法，可以降低高压侧的热容以使之与低压侧的二氧化碳的热容相匹配，减少传热温差，从而使得透平出口的乏汽中的热量通过回热得到尽可能的利用。

15 但是抽气压缩回热的实现需要压缩机在高温高压下高效运行。具体而言，在超临界流体布雷顿循环中，抽气压缩回热用的压缩机的工作环境非常恶劣，虽然压比不大，但二氧化碳的绝热指数大，二氧化碳的压缩终态的温度可能高达 200 摄氏度，运行压力也在 20MPa 以上，这给压缩机的设计和制造带来了许多问题。

目前，在高温高压下高效运行的压缩机还未商业化，从而导致利用抽气压缩回热来提高现有的地热和太阳能联合发电系统的热效率的方法还停留在实验室阶段。即便以后制造出在高温高压下高效运行的压缩机，也会极大地增加地热和太阳能联合发电系统的制造难度、制造成本和运行成本。

发明内容

25 本申请是基于发明人对以下事实和问题的发现和认识作出的：二氧化碳经过注入井的注入过程，热储层中的吸热过程以及产出井的产出过程以后，相比于注入井，二氧化碳在产出井井口的温度和压力皆高于注入井的注入温度和压力。也就是说，随着温度的变化，二氧化碳的密度变化比较大，这使得增强型地热系统不仅对二氧化碳起到了一个热源的加热作用，而且起到了一个压缩机的压缩作用。在相同注入压力和透平出口压力下，产出井产出的二氧化碳的温度和压力随着热储层深度的增加而提高。

因此，可以利用增强型地热系统的加热和压缩作用，来取代太阳能热发电系统中的压缩机（即背景技术部分提及的在高温高压下高效运行的压缩机）。由于太阳能热发电中需要

不同品位的热源，因此可以对热储层进行分层激发，由此不仅可以充分地利用注入和产出井，而且可以获得不同品位的热源。

本发明旨在至少在一定程度上解决相关技术中的技术问题之一。为此，本发明提出一种具有制造成本低、热效率高的优点的地热和太阳能联合发电系统。

5 本发明还提出一种利用所述地热和太阳能联合发电系统实施的地热和太阳能联合发电方法。

根据本发明第一方面实施例的地热和太阳能联合发电系统包括：至少三个热储层，所述至少三个热储层沿上下方向间隔开地设置；至少三个注入井和至少三个产出井，所述至少三个注入井的出气口与所述至少三个热储层一一对应地相连以便向所述至少三个热储层
10 注入二氧化碳，所述至少三个产出井的进气口与所述至少三个热储层一一对应地相连以便输出二氧化碳；至少三个地热透平，所述至少三个地热透平的进气口一一对应地与所述至少三个产出井的出气口连通；气体冷却器，所述气体冷却器的进气口与所述至少三个地热透平的第一出气口连通，所述气体冷却器的出气口与所述至少三个注入井的进气口连通；第一回热器和第二回热器，所述第一回热器的高压气体进口与所述至少三个产出井中的位
15 于最上方的一个的出气口连通，所述第一回热器的低压气体出口与所述气体冷却器连通，所述第二回热器的高压气体进口与所述至少三个地热透平中的一个的第二出气口和所述第一回热器的高压气体出口连通，所述第二回热器的低压气体出口与所述第一回热器的低压气体进口连通，其中所述至少三个地热透平中的所述一个的进气口与所述至少三个产出井中的除了位于最上方的一个之外的一个产出井的出气口连通；太阳能接收器，所述太阳能
20 接收器的进气口与所述第二回热器的高压气体出口连通；和太阳能透平，所述太阳能透平的进气口与所述太阳能接收器的出气口连通，所述太阳能透平的出气口与所述第二回热器的低压气体进口连通。

根据本发明实施例的地热和太阳能联合发电系统具有制造成本低、热效率高的优点。

25 另外，根据本发明上述实施例的地热和太阳能联合发电系统还可以具有如下附加的技术特征：

根据本发明的一个实施例，所述地热和太阳能联合发电系统进一步包括至少三个压缩机，所述至少三个压缩机的进气口与所述气体冷却器的出气口连通，所述至少三个压缩机的出气口一一对应地与所述至少三个注入井的进气口连通。

30 根据本发明的一个实施例，所述至少三个注入井包括上注入井、中注入井和下注入井，所述至少三个产出井包括至少一个上产出井、至少一个中产出井和至少一个下产出井，所述至少三个热储层包括与所述上注入井的出气口和所述上产出井的进气口相连的上热储层、与所述中注入井的出气口和所述中产出井的进气口相连的中热储层以及与所述下注入

井的出气口和所述下产出井的进气口相连的下热储层，所述至少三个地热透平包括第一地热透平、第二地热透平和第三地热透平，所述第一地热透平的进气口与所述上产出井的出气口连通，所述第二地热透平的进气口与所述中产出井的出气口连通，所述第三地热透平的进气口与所述上产出井的出气口连通。

5 根据本发明的一个实施例，所述第一地热透平的进气口通过第一流量调节阀与所述上产出井的出气口连通，所述第一回热器的高压气体进口通过第二流量调节阀与所述上产出井的出气口连通。

根据本发明的一个实施例，所述第二回热器的高压气体进口与所述第二地热透平的第二出气口连通，所述地热和太阳能联合发电系统进一步包括：第三回热器，所述第三回热器的高压气体进口与所述第三地热透平的第二出气口和所述第二回热器的高压气体出口连通，所述第三回热器的高压气体出口与所述太阳能接收器的进气口连通，所述第三回热器的低压气体进口与所述太阳能透平的出气口连通，所述第三回热器的低压气体出口与所述第二回热器的低压气体进口连通。

15 根据本发明的一个实施例，所述第二地热透平的第二出气口通过第三流量调节阀与所述第二回热器的高压气体进口连通，所述第三地热透平的第二出气口通过第四流量调节阀与所述第三回热器的高压气体进口连通。

根据本发明第二方面实施例的利用根据本发明第一方面所述的地热和太阳能联合发电系统实施的地热和太阳能联合发电方法，所述地热和太阳能联合发电方法包括以下步骤：提供所述至少三个热储层；通过所述至少三个注入井一一对应地向所述至少三个热储层内
20 注入二氧化碳，以便利用所述至少三个热储层对二氧化碳进行加热；通过所述至少三个产出井一一对应地向所述至少三个地热透平输送被加热的二氧化碳，二氧化碳在所述至少三个地热透平中膨胀做功以便产生电能和第一二氧化碳乏汽；利用所述气体冷却器冷却所述第一二氧化碳乏汽，然后通过所述至少三个注入井一一对应地向所述至少三个热储层内注入所述第一二氧化碳；和在用电高峰时，通过所述至少三个产出井中的位于最上方的一个
25 将一部分被加热的二氧化碳输送到所述第一回热器内，二氧化碳在所述第一回热器内被第二二氧化碳乏汽加热，当所述至少三个地热透平中的所述一个内的二氧化碳膨胀到压力等于所述至少三个产出井中的位于最上方的一个产出的二氧化碳的压力时，所述至少三个地热透平中的所述一个内的二氧化碳的一部分被输送到所述第二回热器并在所述第二回热器内与来自所述第一回热器的被加热的二氧化碳一起被所述第二二氧化碳乏汽加热，余下的
30 二氧化碳继续膨胀做功；然后所述第二回热器内的被加热的二氧化碳进入到所述太阳能接收器内并吸收太阳能以便达到运行温度，最后达到运行温度的二氧化碳进入到所述太阳能透平中并膨胀做功以便产生电能和所述第二二氧化碳乏汽。

根据本发明的一个实施例，所述地热和太阳能联合发电方法进一步包括利用所述至少三个压缩机将冷却后的所述第一二氧化碳乏汽压缩到相应的预定压力，然后通过所述至少三个注入井一一对应地向所述至少三个热储层内注入相应的具有预定压力的所述第一二氧化碳。

5 根据本发明的一个实施例，注入到所述中注入井的二氧化碳的压力大于注入到所述上注入井的二氧化碳的压力且小于注入到所述下注入井的二氧化碳的压力，注入到所述中注入井的二氧化碳的温度大于注入到所述上注入井的二氧化碳的温度且小于注入到所述下注入井的二氧化碳的温度，注入到所述中注入井的二氧化碳的流量大于注入到所述上注入井的二氧化碳的流量且小于注入到所述下注入井的二氧化碳的流量，所述中产出井产出的二
10 氧化碳的温度大于所述上产出井产出的二氧化碳的温度且小于所述下产出井产出的二氧化碳的温度，所述中产出井产出的二氧化碳的压力大于所述上产出井产出的二氧化碳的压力且小于所述下产出井产出的二氧化碳的压力。

根据本发明的一个实施例，所述地热和太阳能联合发电方法进一步包括：当所述第三地热透平内的二氧化碳膨胀到压力等于所述上产出井产出的二氧化碳的压力时，所述第三
15 地热透平内的二氧化碳的一部分被输送到所述第三回热器并在所述第三回热器内与来自所述第二回热器的被加热的二氧化碳一起被所述第二二氧化碳乏汽加热，余下的二氧化碳继续膨胀做功；和所述第三回热器内的被加热的二氧化碳进入到所述太阳能接收器内并吸收太阳能以便达到运行温度。

根据本发明的一个实施例，所述第一回热器的高压气体出口处的二氧化碳的温度等于
20 从所述第二地热透平输送到所述第二回热器的二氧化碳的温度，所述第二回热器的高压气体出口处的二氧化碳的温度等于从所述第三地热透平输送到所述第三回热器的二氧化碳的温度。

根据本发明的一个实施例，所述太阳能透平产生的所述第二二氧化碳乏汽的压力等于每个所述地热透平产生的所述第一二氧化碳乏汽的压力。

25

附图说明

图 1 是根据本发明实施例的地热和太阳能联合发电系统的结构示意图。

具体实施方式

30 下面详细描述本发明的实施例，所述实施例的示例在附图中示出。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的，旨在用于解释本发明，而不能理解为对本发明的限制。

下面参考附图描述根据本发明实施例的地热和太阳能联合发电系统 10。如图 1 所示，

根据本发明实施例的地热和太阳能联合发电系统 10 包括至少三个热储层、至少三个注入井、至少三个产出井、至少三个地热透平、气体冷却器 105、第一回热器 1061、第二回热器 1062、太阳能接收器 1071 和太阳能透平 1072。

至少三个热储层沿上下方向间隔开地设置。至少三个注入井的出气口与至少三个热储层一一对应地相连以便向至少三个热储层注入二氧化碳，至少三个产出井的进气口与至少三个热储层一一对应地相连以便输出二氧化碳。至少三个地热透平的进气口一一对应地与至少三个产出井的出气口连通。

换言之，热储层的数量、该注入井的数量、该产出井的数量和该地热透平的数量可以相等，一个该注入井的出气口与一个热储层相连，一个该产出井的进气口与一个热储层相连，一个该地热透平的进气口与一个该产出井的出气口连通。

气体冷却器 105 的进气口与至少三个地热透平的第一出气口连通，气体冷却器 105 的出气口与至少三个注入井的进气口连通。也就是说，每个该地热透平的第一出气口均与气体冷却器 105 的进气口连通，每个该注入井的进气口均与气体冷却器 105 的出气口连通。

第一回热器 1061 的高压气体进口与至少三个产出井中的位于最上方的一个的出气口连通，第一回热器 1061 的低压气体出口与气体冷却器 105 连通。第二回热器 1062 的高压气体进口与至少三个地热透平中的一个的第二出气口和第一回热器 1061 的高压气体出口连通，第二回热器 1062 的低压气体出口与第一回热器 1061 的低压气体进口连通。

其中，至少三个地热透平中的所述一个的进气口与至少三个产出井中的除了位于最上方的一个之外的一个产出井的出气口连通。也就是说，与至少三个地热透平中的所述一个的进气口连通的产出井不是位于最上方的一个产出井。换言之，与第二回热器 1062 的高压气体进口连通地热透平称之为回热地热透平，那么与该回热地热透平的进气口连通的产出井不是位于最上方的一个产出井。

太阳能接收器 1071 的进气口与第二回热器 1062 的高压气体出口连通。太阳能透平 1072 的进气口与太阳能接收器 1071 的出气口连通，太阳能透平 1072 的出气口与第二回热器 1062 的低压气体进口连通。

二氧化碳经过注入井的注入过程，热储层中的吸热过程以及产出井的产出过程以后，相比于注入井，二氧化碳在产出井井口的温度和压力皆高于注入井的注入温度和压力。也就是说，随着温度的变化，二氧化碳的密度变化比较大，这使得增强型地热系统不仅对二氧化碳起到了一个热源的加热作用，而且起到了一个压缩机的压缩作用。在相同注入压力和透平出口压力下，产出井产出的二氧化碳的温度和压力随着热储层深度的增加而提高。

因此，可以利用增强型地热系统的加热和压缩作用，来取代太阳能热发电系统中的压缩机（即背景技术部分提及的在高温高压下高效运行的压缩机）。由于太阳能热发电中需要

不同品位的热源，因此可以对热储层进行分层激发，由此不仅可以在充分地利用注入和产出井的情况下，充分开发热储层的热量，而且可以获得不同品位的热源。

根据本发明实施例的地热和太阳能联合发电系统 10 可以包括地热发电系统和太阳能热发电系统。其中，该地热发电系统包括至少三个热储层、至少三个注入井、至少三个产出井、至少三个地热透平和气体冷却器 105，该太阳能热发电系统包括第一回热器 1061、第二回热器 1062、太阳能接收器 1071 和太阳能透平 1072。

下面参考图 1 描述利用根据本发明实施例的地热和太阳能联合发电系统 10 实施的地热和太阳能联合发电方法（即地热和太阳能联合发电系统 10 的）工作过程。根据本发明实施例的地热和太阳能联合发电方法包括以下步骤：

提供至少三个热储层；

通过至少三个注入井一一对应地向至少三个热储层内注入二氧化碳，以便利用至少三个热储层对二氧化碳进行加热；

通过至少三个产出井一一对应地向至少三个地热透平输送被加热的二氧化碳，二氧化碳在至少三个地热透平中膨胀做功以便产生电能和第一二氧化碳乏汽；

利用气体冷却器 105 冷却第一二氧化碳乏汽，然后通过至少三个注入井一一对应地向至少三个热储层内注入第一二氧化碳；和

在用电高峰时，通过至少三个产出井中的位于最上方的一个将一部分被加热的二氧化碳输送到第一回热器 1061 内，二氧化碳在第一回热器 1061 内被第二二氧化碳乏汽加热，

当至少三个地热透平中的所述一个内的二氧化碳膨胀到压力等于至少三个产出井中的位于最上方的一个产出的二氧化碳的压力时，至少三个地热透平中的所述一个内的二氧化碳的一部分被输送到第二回热器 1062 并在第二回热器 1062 内与来自第一回热器 1061 的被加热的二氧化碳一起被该第二二氧化碳乏汽加热，余下的二氧化碳继续膨胀做功；

然后第二回热器 1062 内的被加热的二氧化碳进入到太阳能接收器 1071 内并吸收太阳能以便达到运行温度，最后达到运行温度的二氧化碳进入到太阳能透平 1072 中并膨胀做功以便产生电能和该第二二氧化碳乏汽。

根据本发明实施例的地热和太阳能联合发电系统 10 通过设置至少三个热储层，从而可以使除了位于最上方的一个产出井之外的其他产出井相当于压缩机以便对二氧化碳进行压缩。由此地热和太阳能联合发电系统 10 的该太阳能热发电系统无需再设置压缩机，从而可以使采用抽气回热的地热和太阳能联合发电系统 10 得以实现。

而且，根据本发明实施例的地热和太阳能联合发电系统 10 通过设置第二回热器 1062，从而可以对该地热透平中的部分二氧化碳进行抽气回热，由此可以极大地提高地热和太阳能联合发电系统 10 的热效率。

因此,根据本发明实施例的地热和太阳能联合发电系统 10 具有结构简单、制造成本低、热效率高、易于实施等优点。

如图 1 所示,根据本发明的一些实施例的地热和太阳能联合发电系统 10 包括上注入井 1021、中注入井 1022、下注入井 1023、至少一个上产出井 1031、至少一个中产出井 1032、至少一个下产出井 1033、上热储层 1011、中热储层 1012、下热储层 1013、第一地热透平 1041、第二地热透平 1042、第三地热透平 1043、三个压缩机 108、气体冷却器 105、第一回热器 1061、第二回热器 1062、第三回热器 1063、太阳能接收器 1071 和太阳能透平 1072。

其中,地热透平是指用于该地热发电系统的透平,太阳能透平 1072 是指用于该太阳能热发电系统的透平。

有利地,根据本发明实施例的地热和太阳能联合发电系统 10 的地热发电系统为增强型地热(EGS)发电系统。换言之,地热和太阳能联合发电系统 10 为增强型地热和太阳能联合发电系统。

具体而言,上热储层 1011 的深度为 1900 米-2100 米,中热储层 1012 的深度为 3900 米-4100 米,下热储层 1013 的深度为 5900 米-6100 米。下热储层 1013 的温度大于中热储层 1012 的温度,中热储层 1012 的温度大于上热储层 1011 的温度。

注入到下注入井 1023 的二氧化碳的压力大于注入到中注入井 1022 的二氧化碳的压力,注入到中注入井 1022 的二氧化碳的压力大于注入到上注入井 1021 的二氧化碳的压力。注入到下注入井 1023 的二氧化碳的温度大于注入到中注入井 1022 的二氧化碳的温度,注入到中注入井 1022 的二氧化碳的温度大于注入到上注入井 1021 的二氧化碳的温度。注入到下注入井 1023 的二氧化碳的流量大于注入到中注入井 1022 的二氧化碳的流量,注入到中注入井 1022 的二氧化碳的流量大于注入到上注入井 1021 的二氧化碳的流量。

下产出井 1033 产出的二氧化碳的温度大于中产出井 1032 产出的二氧化碳的温度,中产出井 1032 产出的二氧化碳的温度大于上产出井 1031 产出的二氧化碳的温度。下产出井 1033 产出的二氧化碳的压力大于中产出井 1032 产出的二氧化碳的压力,中产出井 1032 产出的二氧化碳的压力大于上产出井 1031 产出的二氧化碳的压力。

如图 1 所示,上热储层 1011 与上注入井 1021 的出气口和至少一个上产出井 1031 的进气口相连,中热储层 1012 与中注入井 1022 的出气口和至少一个中产出井 1032 的进气口相连,下热储层 1013 与下注入井 1023 的出气口和至少一个下产出井 1033 的进气口相连。由上注入井 1021 注入到上热储层 1011 内的二氧化碳被上热储层 1011 加热,由中注入井 1022 注入到中热储层 1012 内的二氧化碳被中热储层 1012 加热,由下注入井 1023 注入到下热储层 1013 内的二氧化碳被下热储层 1013 加热。

第一地热透平 1041 的进气口通过第一流量调节阀 1091 与上产出井 1031 的出气口连通,

第二地热透平 1042 的进气口与中产出井 1032 的出气口连通, 第三地热透平 1043 的进气口与上产出井 1031 的出气口连通。加热后的二氧化碳在第一地热透平 1041、第二地热透平 1042 和第三地热透平 1043 内膨胀做功, 并产生第一二氧化碳乏汽。也就是说, 第一地热透平 1041、第二地热透平 1042 和第三地热透平 1043 中的每一个都产生第一二氧化碳乏汽。

5 气体冷却器 105 的进气口与第一地热透平 1041、第二地热透平 1042 和第三地热透平 1043 中的每一个的第一出气口连通, 以便对第一地热透平 1041、第二地热透平 1042 和第三地热透平 1043 排出的第一二氧化碳乏汽进行冷却。

如图 1 所示, 三个压缩机 108 的进气口与气体冷却器 105 的出气口连通, 即每个压缩机 108 的进气口都与气体冷却器 105 的出气口连通。三个压缩机 108 的出气口一一对应地与上注入井 1021 的进气口、中注入井 1022 的进气口和下注入井 1023 的进气口连通。

具体而言, 第一个压缩机 108 的出气口与上注入井 1021 的进气口连通, 第二个压缩机 108 的出气口与中注入井 1022 的进气口连通, 第三个压缩机 108 的出气口与下注入井 1023 的进气口连通。由此可以利用三个压缩机 108 将冷却后的第一二氧化碳乏汽压缩到相应的预定压力, 然后通过上注入井 1021、中注入井 1022 和下注入井 1023 分别注入到上热储层 1011、中热储层 1012 和下热储层 1013 内。

通过设置压缩机 108, 从而可以使第一地热透平 1041、第二地热透平 1042 和第三地热透平 1043 膨胀到理想的压力, 以便提高第一地热透平 1041、第二地热透平 1042 和第三地热透平 1043 的输出功。

在本发明的一个具体示例中, 气体冷却器 105 的出气口通过第五流量调节阀 1095 与第一个压缩机 108 的进气口连通, 气体冷却器 105 的出气口通过第六流量调节阀 1096 与第二个压缩机 108 的进气口连通, 气体冷却器 105 的出气口通过第七流量调节阀 1097 与第三个压缩机 108 的进气口连通。由此可以通过第五流量调节阀 1095、第六流量调节阀 1096 和第七流量调节阀 1097 调节进入到上注入井 1021、中注入井 1022 和下注入井 1023 内的二氧化碳的流量。

25 如图 1 所示, 在本发明的一些示例中, 第一回热器 1061 的高压气体进口通过第二流量调节阀 1092 与上产出井 1031 的出气口连通, 第二地热透平 1042 的第二出气口通过第三流量调节阀 1093 与第二回热器 1062 的高压气体进口连通, 第三地热透平 1043 的第二出气口通过第四流量调节阀 1094 与第三回热器 1063 的高压气体进口连通。

其中, 第一回热器 1061 的低压气体出口与气体冷却器 105 的进气口连通。第二回热器 1062 的高压气体进口与第一回热器 1061 的高压气体出口连通, 第二回热器 1062 的低压气体出口与第一回热器 1061 的低压气体进口连通。第三回热器 1063 的高压气体进口与第二回热器 1062 的高压气体出口连通, 第三回热器 1063 的低压气体出口与第二回热器 1062 的

低压气体进口连通。第三回热器 1063 的高压气体出口与太阳能接收器 1071 的进气口连通，第三回热器 1063 的低压气体进口与太阳能透平 1072 的出气口连通。

在用电高峰时，将上产出井 1031 产出的二氧化碳的一部分输送到第一回热器 1061 内，二氧化碳在第一回热器 1061 内被第二二氧化碳乏汽加热。

5 当第二地热透平 1042 内的二氧化碳膨胀到压力等于上产出井 1031 产出的二氧化碳的压力时，第二地热透平 1042 内的二氧化碳的一部分被输送到第二回热器 1062 并在第二回热器 1062 内与来自第一回热器 1061 的被加热的二氧化碳一起被该第二二氧化碳乏汽加热，第二地热透平 1042 内的余下的二氧化碳继续膨胀做功。

10 当第三地热透平 1043 内的二氧化碳膨胀到压力等于上产出井 1031 产出的二氧化碳的压力时，第三地热透平 1043 内的二氧化碳的一部分被输送到第三回热器 1063 并在第三回热器 1063 内与来自第二回热器 1062 的被加热的二氧化碳一起被该第二二氧化碳乏汽加热，第三地热透平 1043 内的余下的二氧化碳继续膨胀做功。

15 第三回热器 1063 内的被加热的二氧化碳进入到太阳能接收器 1071 内并吸收太阳能而达到运行温度。最后，达到运行温度的二氧化碳进入到太阳能透平 1072 中并膨胀做功以便产生电能和该第二二氧化碳乏汽。

有利地，第一回热器 1061 的高压气体出口处的二氧化碳的温度等于从第二地热透平 1042 输送到第二回热器 1062 的二氧化碳的温度，第二回热器 1062 的高压气体出口处的二氧化碳的温度等于从第三地热透平 1043 输送到第三回热器 1063 的二氧化碳的温度。

20 在本发明的一个示例中，太阳能透平 1072 产生的第二二氧化碳乏汽的压力等于每个地热透平产生的第一二氧化碳乏汽的压力。

本发明可以根据增强型地热系统的特性和激发情况，来确定该地热发电系统（基本负荷发电系统）和该太阳能热发电系统的发电负荷（峰值负荷发电系统）。

25 本发明可以根据增强型地热系统的特性和激发情况以及太阳能接收器 1071 的运行参数，来确定地热和太阳能联合发电系统 10 的运行压力、上注入井 1021 的注入压力、中注入井 1022 的注入压力和下注入井 1023 的注入压力。本发明根据上产出井 1031 的出口温度（即出口处二氧化碳的温度，以下同）、中产出井 1032 的出口温度和下产出井 1033 的出口温度，按照能量匹配的原则，将不同热储层产出的不同品位的二氧化碳分别注入循环系统中。

30 地热和太阳能联合发电系统 10 的回热级数可以依据高低压流体的比热容随温度的变化特点、以及上产出井 1031 的出口温度、中产出井 1032 的出口温度和下产出井 1033 的出口温度来确定，以使各个回热器中的高压流体通道和低压流体通道内的流体以最优传热温差运行。

本发明通过热储层传热流动计算、能量匹配方法以及二氧化碳物性分析，精确设计回热级数、各流道流量，以达到最优的热功转换效率。在不考虑除三个压缩机 108 之外的辅助及保障系统的用电，地热和太阳能联合发电系统 10 的净输出比单独的增强型地热发电和太阳能热发电的输出之和有所提高，使得热效率提高了 1%。同时，通过流量分配使得地热和太阳能联合发电系统 10 在最小投资的情况下，既能够满足基本用电负荷，同时也能够保证峰值用电负荷。

在本发明的一个具体示例中，上热储层 1011 位于地下 1900 米-2100 米深处，上热储层 1011 的温度为 115℃，中热储层 1012 位于地下 3900 米-4100 米深处，中热储层 1012 的温度为 205℃，下热储层 1013 位于地下 5900 米-6100 米深处，下热储层 1013 的温度为 295℃。

向上注入井 1021 中注入压力为 9.4MPa、温度为 40℃、流量为 39.0 kg/s 的二氧化碳，二氧化碳通过上注入井 1021 注入上热储层 1011，二氧化碳在上热储层 1011 中吸收热量后通过上产出井 1031 产出。上产出井 1031 产出压力为 13.0MPa、温度为 75.2℃的二氧化碳。

向中注入井 1022 注入压力为 9.8MPa、温度为 41.5℃、流量为 39.6 kg/s 的二氧化碳，二氧化碳通过中注入井 1022 注入中热储层 1012，二氧化碳在中热储层 1012 中吸收热量后通过中产出井 1032 产出。中产出井 1032 产出压力为 20MPa、温度为 147.9℃的二氧化碳。

向下注入井 1023 注入压力为 10.6MPa、温度为 44.3℃、流量为 40.2 kg/s 的二氧化碳，二氧化碳通过下注入井 1023 注入下热储层 1013，二氧化碳在下热储层 1013 中吸收热量后通过下产出井 1033 产出。下产出井 1033 产出压力为 27.9MPa、温度为 226.4℃的二氧化碳。

上产出井 1031 产出的流量为 39.0 kg/s 的二氧化碳通过第一流量调节阀 1091 和第二流量调节阀 1092 分成两股。其中，通过第一流量调节阀 1091 的流量为 20.3kg/s 的二氧化碳进入第一地热透平 1041 中膨胀做功后变成第一二氧化碳乏汽，压力降低到 8.2MPa。该第一二氧化碳乏汽进入气体冷却器 105 中被环境介质冷却到 35℃。第五流量调节阀 1095 将从气体冷却器 105 排出的 35℃的二氧化碳的流量调节为 39.0kg/s。流量为 39.0kg/s 的二氧化碳进入第一个压缩机 108，第一个压缩机 108 将二氧化碳流体从 8.2MPa 压缩到 9.4MPa，二氧化碳流体的温度从 35℃升高到 40℃。第一个压缩机 108 排出的压力为 9.4MPa、温度为 40℃的二氧化碳通过上注入井 1021 进入上热储层 1011 中。

中产出井 1032 产出的流量为 39.6kg/s 的二氧化碳进入第二地热透平 1042 中膨胀做功。当二氧化碳经过膨胀压力降低到 13.0MPa 时，即从第二地热透平 1042 中抽出 5.6kg/s 的二氧化碳，将之引入第二回热器 1062 的高压气体进口。余下的 34.0kg/s 的二氧化碳在第二地热透平 1042 中继续膨胀到 8.2MPa，变成第一二氧化碳乏汽。该第一二氧化碳乏汽进入气体冷却器 105 中被环境介质冷却到 35℃，第六流量调节阀 1096 将从气体冷却器 105 排出

的 35℃的二氧化碳的流量调节为 39.6kg/s。流量为 39.6kg/s 的二氧化碳进入第二个压缩机 108，第二个压缩机 108 将二氧化碳从 8.2MPa 压缩到 9.8MPa，二氧化碳的温度从 35℃升高到 41.5℃。第二个压缩机 108 排出的压力为 9.8MPa、温度为 41.5℃的二氧化碳通过中注入井 1022 进入中热储层 1012 中。

5 下产出井 1033 产出的流量为 40.2kg/s 的二氧化碳进入第三地热透平 1043 中膨胀做功。当二氧化碳经过膨胀做功压力降低到 13.0MPa 时，即从第三地热透平 1043 中抽出 5.7kg/s 的二氧化碳，将之引入第三回热器 1063 的高压气体进口。余下的 34.5kg/s 的二氧化碳在第三地热透平 1043 中继续膨胀到 8.2MPa，变成第一二氧化碳乏汽。该第一二氧化碳乏汽进入气体冷却器 105 中被环境介质冷却到 35℃，第七流量调节阀 1097 将从气体冷却器 105
10 排出的 35℃的二氧化碳的流量调节为 40.2kg/s。流量为 40.2kg/s 的二氧化碳进入第三个压缩机 108，第三个压缩机 108 将二氧化碳从 8.2MPa 压缩到 10.6MPa，二氧化碳的温度从 35℃升高到 44.3℃。第三个压缩机 108 排出的压力为 10.6MPa、温度为 44.3℃的二氧化碳通过下注入井 1023 进入下热储层 1013 中。

通过第二流量调节阀 1092 的流量为 18.7kg/s 的二氧化碳进入第一回热器 1061 的高压
15 流体通道，与第一回热器 1061 的低压流体通道内的二氧化碳乏汽换热后，温度升高到 112.3℃。温度为 112.3℃的二氧化碳与中产出井 1032 产出的流量为 5.6kg/s 的同温同压的二氧化碳（即从第二地热透平 1042 引来的二氧化碳）混合后进入第二回热器 1062 的高压流体通道，并与第二回热器 1062 的低压流体通道内的第二二氧化碳乏汽换热后，温度升高到 158.3℃。温度为 158.3℃的二氧化碳与下产出井 1033 产出的流量为 5.7kg/s 的同温同压的二氧
20 化碳（即从第三地热透平 1043 引来的二氧化碳）混合后进入第三回热器 1063 的高压流体通道，并与第三回热器 1063 的低压流体通道内的二氧化碳乏汽换热后，温度升高到 518.5℃。

温度为 518.5℃的二氧化碳进入太阳能接收器 1071 中，吸收太阳能后温度升高到 600℃，成为高温、高压的具有做功能力的二氧化碳。有利地，太阳能接收器 1071 可以是塔式太阳能接收器。

25 温度为 600℃的二氧化碳进入太阳能透平 1072 中膨胀做功，得到温度为 548.2℃、压力为 8.2MPa 的高温第二二氧化碳乏汽。该高温第二二氧化碳乏汽依次进入第三回热器 1063、第二回热器 1062 和第一回热器 1061 的低压流体通道内，并向高压流体通道内的二氧化碳放热，温度降低。来自第一回热器 1061 的流量为 30kg/s 的第二二氧化碳乏汽与来自第一地热透平 1041、第二地热透平 1042 和第三地热透平 1043 的第一二氧化碳乏汽混合后进入气
30 体冷却器 105 被冷却。

在太阳能辅助的地热发电系统，由于太阳能的加入，相对于原基本负荷循环，混合系统的运行性能和净输出会有所提高。但是，没有人对混合系统的净输出与太阳能系统和基

本负荷系统的净输出之和进行比较。因为一般说来，混合系统的净输出会低于太阳能系统和基本负荷系统的净输出之和。

针对 400℃-600℃ 的太阳能最高加热温度，地热和太阳能联合发电系统 10 的净输出高于该地热发电系统和该太阳能热发电系统的净输出之和，即地热和太阳能联合发电系统 10 不但解决了高温高压压缩的关键技术问题，同时还提高了系统的净输出。

使地热和太阳能联合发电系统 10 的净输出提高的主要原因在于：

(1) 以至少三层热储层产出的二氧化碳作为太阳能系统的基本流体和补充流体，使得至少三级回热器中高压侧的流体与低压侧的流体的热容得到很好的匹配，减少了传热温差。以 400℃ 太阳能最终加热温度为例，工作流体经过三级回热之后，温度升高到了 326℃，而太阳能透平 1072 的出口乏汽的温度为 353℃，即太阳能透平 1072 产生的乏汽的废热被高压侧的工作流体充分吸收。在太阳能接收器 1071 中，工作流体的温升只有 73℃，即充分利用了太阳能的高品位特性，因此该太阳能热发电系统的可用能效率得到极大的提高。

发明人对三级回热器中的温度分布进行了模拟计算。在计算中，假设第一回热器 1061、第二回热器 1062 和第三回热器 1063 均为逆流套管式换热器，高温乏汽走管内，低温高压工作流体走管外。管内换热系数采用 Dang 的经验关联式，管外二氧化碳被加热条件下的换热系数采用 Jackson 的经验关联式。第一回热器 1061、第二回热器 1062 和第三回热器 1063 的套管内外流体的热容匹配非常好，以至于在近似等温差下传热，因此极大地减少了传热的不可逆损失，从而极大地提高了热量的利用率。

(2) 由于地热和太阳能联合发电系统 10 的该太阳能热发电系统无需设置压缩机，因此减少了压缩机消耗的功。以 400℃ 的工作温度且该太阳能热发电系统设置三级压缩机为例，该太阳能热发电系统的三级压缩机的总耗功量为 0.612MW，占太阳能透平 1072 的输出功 (1.527MW) 的 40%。在混合循环中，利用增强型地热系统对二氧化碳的加热和升压作用，代替压缩机，而无需压缩功支出，使得该太阳能热发电系统的净输出大大增加 (1.5748MW)，而用于太阳能循环的增强型地热系统产生的二氧化碳如果进行单独的热发电循环，可多发出的功仅为 0.472MW，即将增强型地热流体用于太阳能热发电系统中可获得的收益更大。

以二氧化碳为工质的 EGS 发电系统不但在系统性能方面具有优势，而且还可获得二氧化碳埋存的附加效益。由于 EGS 的开发成本在当前技术水平下仍然较高，因此二氧化碳-EGS 发电系统宜承担基本用电负荷，峰值负荷可用其他能源来代替。在地热能丰富的地区，一般来说太阳能也很丰富，因此可用太阳能来承担峰值用电负荷。

本发明提出了一个太阳能辅助的 EGS 混合发电系统，其中由二氧化碳-EGS 承担基本用电负荷，而太阳能辅助 EGS 混合发电系统承担峰值用电负荷。地热和太阳能联合发电系

统 10 降低了以二氧化碳为工质的太阳能热发电系统的工作参数，且无需耐高温高压的压缩机，使系统更易实现。而且，地热和太阳能联合发电系统 10 的净输出大于该地热发电系统和该太阳能热发电系统的净输出之和。也就是说，地热和太阳能联合发电系统 10 不仅降低了对系统硬件的要求，而且可以提高系统的净输出。

5 地热和太阳能联合发电系统 10 得以实现并具有较好的运行性能的原因如下：

1、充分利用二氧化碳的物性特点：二氧化碳在注入井和产出井中密度有极大的不同，而产生浮升力，最终使得二氧化碳在产出井的井口压力大于在注入井的注入压力，即二氧化碳在热储层中的注入产出过程中，热储层既具有热源的作用，也具有泵的作用，从而使二者耦合后，全部取消了太阳能系统所需要的耐高温高压的抽气回热压缩机。同时，常规
10 太阳能热发电系统中需要的庞大的储热系统不再需要。

2、多层激发的概念的提出：多层（至少三层）激发将降低钻井成本，且使热储层的热量得到尽可能的开发利用，多层激发可产生不同温度品位的二氧化碳，可满足太阳能系统的优化需要。

3、与太阳能耦合层数取决于太阳能接收器 1071 的出口温度、该太阳能热发电系统的
15 吸热压力和太阳能透平 1072 的出口压力，保证在该太阳能热发电系统的吸热压力和太阳能透平 1072 的出口压力对应的比热容相差较大的温度范围内通过流量的补充得到较好的热匹配。

地热和太阳能联合发电系统 10 将太阳能与 EGS 相结合，可实现二者的优化利用，有利于发电量与用电负荷的匹配。在用电高峰期，来自产出井的高压二氧化碳一部分直接进入
20 地热透平做功，另一部分则通过回热器预热后进入太阳能接收器 1071 被进一步加热到高温，然后进入太阳能透平 1072 做功，这样就可以做到在用电高峰期利用太阳能将 EGS 输出的 CO₂ 提高品位而多输出功。而在用电负荷较低的夜晚，可切换为仅利用地热产生的二氧化碳驱动地热透平发电的 EGS 发电运行模式。

而且，以 EGS 与先进太阳能热发电技术相结合，极大地降低了该太阳能热发电系统的
25 运行压力（从 21MPa 降低到了不到 15MPa），系统运行的安全性得到提高，设备的设计难度、用料降低。

此外，经过优化匹配的地热和太阳能联合发电系统 10 的净输出高于该地热发电系统和该太阳能热发电系统的净输出的和。峰值电量由该太阳能热发电系统提供，从而可以避免 EGS 的过度开发，可延长其使用寿命。

30 在本发明的描述中，需要理解的是，术语“中心”、“纵向”、“横向”、“长度”、“宽度”、“厚度”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”“内”、“外”、“顺时针”、“逆时针”、“轴向”、“径向”、“周向”等指示的方位或位置关系为基于

附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明的限制。

此外，术语“第一”、“第二”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此，限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。在本发明的描述中，“多个”的含义是至少两个，例如两个，三个等，除非另有明确具体的限定。

在本发明中，除非另有明确的规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”、“固定”等术语应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或成一体；可以是机械连接，也可以是电连接或彼此可通讯；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通或两个元件的相互作用关系，除非另有明确的限定。对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

在本发明中，除非另有明确的规定和限定，第一特征在第二特征“上”或“下”可以是第一和第二特征直接接触，或第一和第二特征通过中间媒介间接接触。而且，第一特征在第二特征“之上”、“上方”和“上面”可是第一特征在第二特征正上方或斜上方，或仅仅表示第一特征水平高度高于第二特征。第一特征在第二特征“之下”、“下方”和“下面”可以是第一特征在第二特征正下方或斜下方，或仅仅表示第一特征水平高度小于第二特征。

在本说明书的描述中，参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中，对上述术语的示意性表述不必须针对的是相同的实施例或示例。而且，描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外，在不相互矛盾的情况下，本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

尽管上面已经示出和描述了本发明的实施例，可以理解的是，上述实施例是示例性的，不能理解为对本发明的限制，本领域的普通技术人员在本发明的范围内可以对上述实施例进行变化、修改、替换和变型。

权利要求

1、一种地热和太阳能联合发电系统，其特征在于，包括：

至少三个热储层，所述至少三个热储层沿上下方向间隔开地设置；

5 至少三个注入井和至少三个产出井，所述至少三个注入井的出气口与所述至少三个热储层一一对应地相连以便向所述至少三个热储层注入二氧化碳，所述至少三个产出井的进气口与所述至少三个热储层一一对应地相连以便输出二氧化碳；

至少三个地热透平，所述至少三个地热透平的进气口一一对应地与所述至少三个产出井的出气口连通；

10 气体冷却器，所述气体冷却器的进气口与所述至少三个地热透平的第一出气口连通，所述气体冷却器的出气口与所述至少三个注入井的进气口连通；

第一回热器和第二回热器，所述第一回热器的高压气体进口与所述至少三个产出井中的位于最上方的一个的出气口连通，所述第一回热器的低压气体出口与所述气体冷却器连通，所述第二回热器的高压气体进口与所述至少三个地热透平中的一个的第二出气口和所述第一回热器的高压气体出口连通，所述第二回热器的低压气体出口与所述第一回热器的
15 低压气体进口连通，其中所述至少三个地热透平中的所述一个的进气口与所述至少三个产出井中的除了位于最上方的一个之外的一个产出井的出气口连通；

太阳能接收器，所述太阳能接收器的进气口与所述第二回热器的高压气体出口连通；
和

20 太阳能透平，所述太阳能透平的进气口与所述太阳能接收器的出气口连通，所述太阳能透平的出气口与所述第二回热器的低压气体进口连通。

2、根据权利要求1所述的地热和太阳能联合发电系统，其特征在于，进一步包括至少三个压缩机，所述至少三个压缩机的进气口与所述气体冷却器的出气口连通，所述至少三个压缩机的出气口一一对应地与所述至少三个注入井的进气口连通。

25 3、根据权利要求1或2所述的地热和太阳能联合发电系统，其特征在于，所述至少三个注入井包括上注入井、中注入井和下注入井，所述至少三个产出井包括至少一个上产出井、至少一个中产出井和至少一个下产出井，所述至少三个热储层包括与所述上注入井的出气口和所述上产出井的进气口相连的上热储层、与所述中注入井的出气口和所述中产出井的进气口相连的中热储层以及与所述下注入井的出气口和所述下产出井的进气口相连的
30 下热储层，

所述至少三个地热透平包括第一地热透平、第二地热透平和第三地热透平，所述第一地热透平的进气口与所述上产出井的出气口连通，所述第二地热透平的进气口与所述中产

出井的出气口连通，所述第三地热透平的进气口与所述上产出井的出气口连通。

4、根据权利要求3所述的地热和太阳能联合发电系统，其特征在于，所述第一地热透平的进气口通过第一流量调节阀与所述上产出井的出气口连通，所述第一回热器的高压气体进口通过第二流量调节阀与所述上产出井的出气口连通。

5 5、根据权利要求3所述的地热和太阳能联合发电系统，其特征在于，所述第二回热器的高压气体进口与所述第二地热透平的第二出气口连通，所述地热和太阳能联合发电系统进一步包括：

10 第三回热器，所述第三回热器的高压气体进口与所述第三地热透平的第二出气口和所述第二回热器的高压气体出口连通，所述第三回热器的高压气体出口与所述太阳能接收器的进气口连通，所述第三回热器的低压气体进口与所述太阳能透平的出气口连通，所述第三回热器的低压气体出口与所述第二回热器的低压气体进口连通。

6、根据权利要求5所述的地热和太阳能联合发电系统，其特征在于，所述第二地热透平的第二出气口通过第三流量调节阀与所述第二回热器的高压气体进口连通，所述第三地热透平的第二出气口通过第四流量调节阀与所述第三回热器的高压气体进口连通。

15 7、一种利用根据权利要求1所述的地热和太阳能联合发电系统实施的地热和太阳能联合发电方法，其特征在于，包括以下步骤：

提供所述至少三个热储层；

通过所述至少三个注入井一一对应地向所述至少三个热储层内注入二氧化碳，以便利用所述至少三个热储层对二氧化碳进行加热；

20 通过所述至少三个产出井一一对应地向所述至少三个地热透平输送被加热的二氧化碳，二氧化碳在所述至少三个地热透平中膨胀做功以便产生电能和第一二氧化碳乏汽；

利用所述气体冷却器冷却所述第一二氧化碳乏汽，然后通过所述至少三个注入井一一对应地向所述至少三个热储层内注入所述第一二氧化碳；和

25 在用电高峰时，通过所述至少三个产出井中的位于最上方的一个将一部分被加热的二氧化碳输送到所述第一回热器内，二氧化碳在所述第一回热器内被第二二氧化碳乏汽加热，当所述至少三个地热透平中的所述一个内的二氧化碳膨胀到压力等于所述至少三个产出井中的位于最上方的一个产出的二氧化碳的压力时，所述至少三个地热透平中的所述一个内的二氧化碳的一部分被输送到所述第二回热器并在所述第二回热器内与来自所述第一回热器的被加热的二氧化碳一起被所述第二二氧化碳乏汽加热，余下的二氧化碳继续膨胀做功；

30 然后所述第二回热器内的被加热的二氧化碳进入到所述太阳能接收器内并吸收太阳能以便达到运行温度，最后达到运行温度的二氧化碳进入到所述太阳能透平中并膨胀做功以便产生电能和所述第二二氧化碳乏汽。

8、根据权利要求 7 所述的地热和太阳能联合发电方法，其特征在于，所述地热和太阳能联合发电系统为根据权利要求 2 所述的地热和太阳能联合发电系统，所述地热和太阳能联合发电方法进一步包括利用所述至少三个压缩机将冷却后的所述第一二氧化碳乏汽压缩到相应的预定压力，然后通过所述至少三个注入井一一对应地向所述至少三个热储层内注入相应的具有预定压力的所述第一二氧化碳。

9、根据权利要求 8 所述的地热和太阳能联合发电方法，其特征在于，所述地热和太阳能联合发电系统为根据权利要求 3 或 4 所述的地热和太阳能联合发电系统，

注入到所述中注入井的二氧化碳的压力大于注入到所述上注入井的二氧化碳的压力且小于注入到所述下注入井的二氧化碳的压力，注入到所述中注入井的二氧化碳的温度大于注入到所述上注入井的二氧化碳的温度且小于注入到所述下注入井的二氧化碳的温度，注入到所述中注入井的二氧化碳的流量大于注入到所述上注入井的二氧化碳的流量且小于注入到所述下注入井的二氧化碳的流量，

所述中产出井产出的二氧化碳的温度大于所述上产出井产出的二氧化碳的温度且小于所述下产出井产出的二氧化碳的温度，所述中产出井产出的二氧化碳的压力大于所述上产出井产出的二氧化碳的压力且小于所述下产出井产出的二氧化碳的压力。

10、根据权利要求 9 所述的地热和太阳能联合发电方法，其特征在于，所述地热和太阳能联合发电系统为根据权利要求 5 或 6 所述的地热和太阳能联合发电系统，所述地热和太阳能联合发电方法进一步包括：

当所述第三地热透平内的二氧化碳膨胀到压力等于所述上产出井产出的二氧化碳的压力时，所述第三地热透平内的二氧化碳的一部分被输送到所述第三回热器并在所述第三回热器内与来自所述第二回热器的被加热的二氧化碳一起被所述第二二氧化碳乏汽加热，余下的二氧化碳继续膨胀做功；和

所述第三回热器内的被加热的二氧化碳进入到所述太阳能接收器内并吸收太阳能以便达到运行温度。

11、根据权利要求 10 所述的地热和太阳能联合发电方法，其特征在于，所述第一回热器的高压气体出口处的二氧化碳的温度等于从所述第二地热透平输送到所述第二回热器的二氧化碳的温度，所述第二回热器的高压气体出口处的二氧化碳的温度等于从所述第三地热透平输送到所述第三回热器的二氧化碳的温度。

12、根据权利要求 7 所述的地热和太阳能联合发电方法，其特征在于，所述太阳能透平产生的所述第二二氧化碳乏汽的压力等于每个所述地热透平产生的所述第一二氧化碳乏汽的压力。

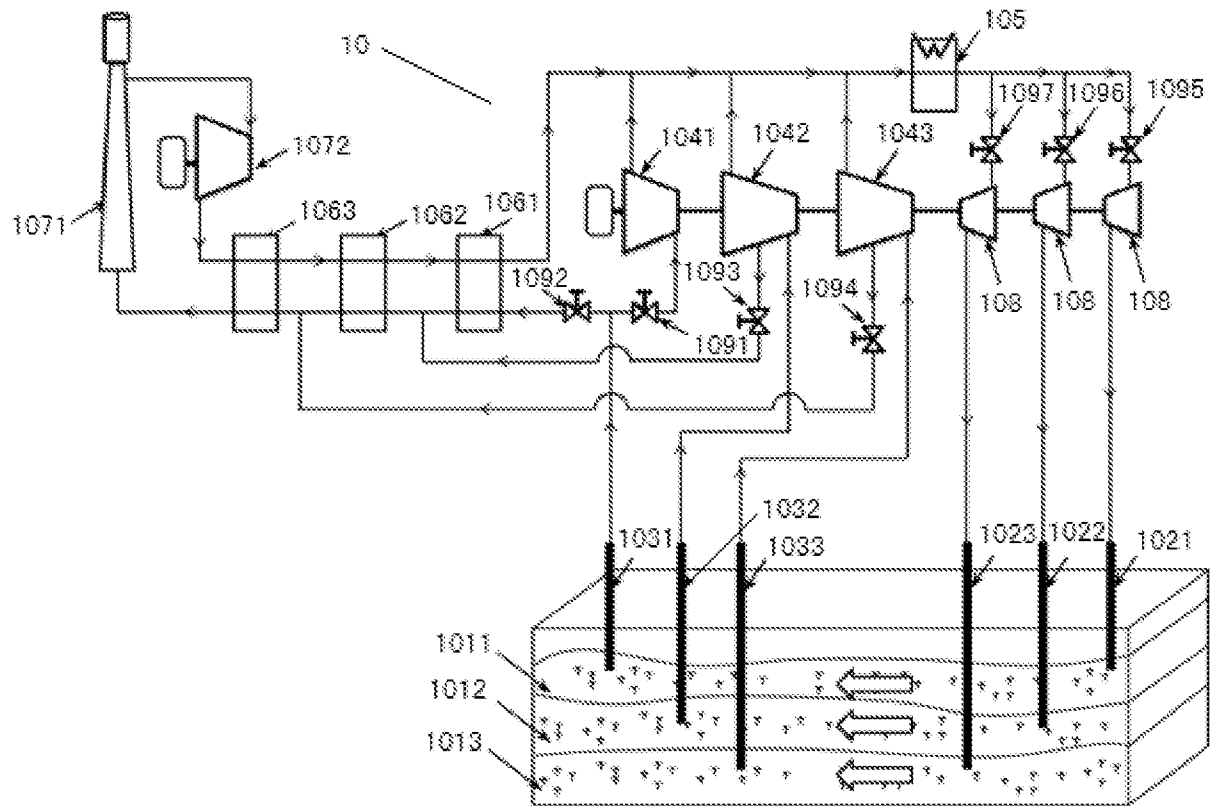


图 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2015/080698

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F03G 4/00 (2006.01) i; F03G 6/04 (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)

F03G4; F03G6; F24J2; F24J3

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)

CNABS, CNTXT, SIPOABS, VEN, CNKI: geotherm+, terrestic, solar, sun, electric+, CO2, carbon dioxide, multi+, three, layer

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E	CN 104929875 A (TSINGHUA UNIVERSITY) 23 September 2015 (23.09.2015) claims 1-12	1-12
A	CN 104481824 A (TSINGHUA UNIVERSITY) 1 April 2015 (01.04.2015) description, paragraphs [0021]-[0041] and figures 1-4	1-12
A	CN 201650630 U (SHANGHAI MARITIME UNIVERSITY) 24 November 2010 (24.11.2010) the whole document	1-12
A	CN 103147940 A (SHANXI KELIN ENERGY DEV CO., LTD.) 12 June 2013 (12.06.2013) the whole document	1-12
A	DE 102006035764 A1 (PALME KLAUS) 12 February 2008 (14.02.2008) the whole document	1-12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 25 February 2016	Date of mailing of the international search report 11 March 2016
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer WANG Yongxiu Telephone No. (86-10) 62085475

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2015/080698

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 104929875 A	23 September 2015	None	
CN 104481824 A	01 April 2015	None	
CN 201650630 U	24 November 2010	None	
CN 103147940 A	12 June 2013	None	
DE 102006035764 A1	12 February 2008	None	

A. 主题的分类		
F03G 4/00(2006.01)i; F03G 6/04(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)		
F03G4, F03G6, F24J2, F24J3		
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))		
CNABS, CNTXT, SIPOABS, VEN, CNKI地热, 太阳能, 发电, 电力, 电能, 二氧化碳, 多层, 三层, 分层geotherm+, terrestrial, solar, sun, electric+, CO2, carbon dioxide, multi+, three, layer		
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
E	CN 104929875 A (清华大学) 2015年 9月 23日 (2015 - 09 - 23) 权利要求1-12	1-12
A	CN 104481824 A (清华大学) 2015年 4月 1日 (2015 - 04 - 01) 说明书第[0021]-[0041]段、图1-4	1-12
A	CN 201650630 U (上海海事大学) 2010年 11月 24日 (2010 - 11 - 24) 全文	1-12
A	CN 103147940 A (陕西科林能源发展股份有限公司) 2013年 6月 12日 (2013 - 06 - 12) 全文	1-12
A	DE 102006035764 A1 (PALME KLAUS) 2008年 2月 14日 (2008 - 02 - 14) 全文	1-12
☐ 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		国际检索报告邮寄日期
2016年 2月 25日		2016年 3月 11日
ISA/CN的名称和邮寄地址		授权官员
中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088		王永秀
传真号 (86-10)62019451		电话号码 (86-10)62085475

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2015/080698

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	104929875	A	2015年 9月 23日	无	
CN	104481824	A	2015年 4月 1日	无	
CN	201650630	U	2010年 11月 24日	无	
CN	103147940	A	2013年 6月 12日	无	
DE	102006035764	A1	2008年 2月 14日	无	