



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114084569 B

(45) 授权公告日 2023. 11. 21

(21) 申请号 202111336276.3

(22) 申请日 2021.11.12

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114084569 A

(43) 申请公布日 2022.02.25

(73) 专利权人 长沙理工大学
地址 410114 湖南省长沙市天心区万家丽南路2段960号

(72) 发明人 李毅 喻浩 刘银江 罗贤

(74) 专利代理机构 西安知诚思迈知识产权代理
事务所(普通合伙) 61237
专利代理师 何秀娟

(51) Int. Cl.
F01K 25/10 (2006.01)
F01D 15/10 (2006.01)
B65G 5/00 (2006.01)
F28D 20/00 (2006.01)

(56) 对比文件

- US 5397553 A, 1995.03.14
- CN 101493007 A, 2009.07.29
- CN 103827439 A, 2014.05.28
- US 2015204171 A1, 2015.07.23
- CN 107676180 A, 2018.02.09
- CN 109083706 A, 2018.12.25
- KR 20190015837 A, 2019.02.15
- WO 2020104327 A1, 2020.05.28
- CN 211287815 U, 2020.08.18
- CN 112523827 A, 2021.03.19
- CN 113236220 A, 2021.08.10
- JP H0456300 U, 1992.05.14
- US 2011236134 A1, 2011.09.29
- CN 108709843 A, 2018.10.26
- CN 109086519 A, 2018.12.25
- CN 109681279 A, 2019.04.26
- US 2020392815 A1, 2020.12.17

(续)

审查员 姚放

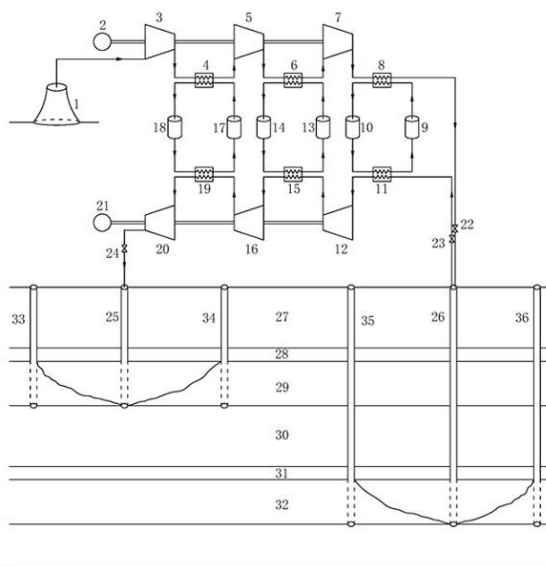
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

在深部含水层二氧化碳地质封存上开展压缩二氧化碳储能的方法

(57) 摘要

本发明公开了在深部含水层二氧化碳地质封存上开展压缩二氧化碳储能的方法,该方法包括:工程场地选址、钻井施工、地面储能系统布置、二氧化碳运输与注采和系统运行期监测与反馈。通过对工业活动中产生的二氧化碳进行提纯收集,经管道或者罐车运输到选定场址,利用太阳能、风能产生的富余电力源源不断将二氧化碳压缩并注入到含水(咸水)层中,实现二氧化碳的地质封存和电力存储,并在用电高峰时段从咸水层中抽采部分二氧化碳进行发电,并将发完电的二氧化碳重新注入到含水(咸水)层进行封存。本发明在实现二氧化碳大规模封存的同时解决了可再生能源发电波动性和不可控等问题,有利于促进节能减排和可再生能源的高效利用。



CN 114084569 B

[接上页]

(56) 对比文件

CN 112413915 A, 2021.02.26

CN 112880451 A, 2021.06.01

Hui Liu等. Thermodynamic analysis of a compressed carbon dioxide energy storage system using two saline aquifers at different depths as storage reservoirs. Energy Conversion and

Management. 2016, 第127卷第149-159页.

Xin Rong Zhang等. Thermodynamic analysis of a compressed carbon dioxide energy storage system using two saline aquifers at different depths as storage reservoirs. International Journal of Energy Research. 2017, 41(10), 第1486-1503页.

1. 在深部含水层二氧化碳地质封存上开展压缩二氧化碳储能的方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤S1,进行工程场地选址;

步骤S2,在选址的工程场地上进行钻井管道施工,钻井管道分为工作井和监测井,工作井数量为2个,工作井之间的间距为50m~150m,监测井数量为2个~4个,监测井设置在每个工作井的外围,每个监测井距相应工作井的距离为30m~100m;

步骤S3,布置压缩二氧化碳储能系统:包括压缩二氧化碳储能子系统、冷热能储存子系统、二氧化碳封存子系统和发电释能子系统;压缩二氧化碳储能子系统通过管道与二氧化碳封存子系统连接;压缩二氧化碳储能子系统的换热器组与冷热能储存子系统发生热量交换;冷热能储存子系统与发电释能子系统的换热器组发生热量交换;发电释能子系统通过管道与二氧化碳封存子系统连接;

步骤S4,二氧化碳捕集、提纯、运输与注采:捕集外部二氧化碳排放工厂(1)排放的二氧化碳,将捕集的二氧化碳提纯至99.9%,并冷却加压到-20℃的液体状态,通过压缩二氧化碳储能子系统、冷热能储存子系统,将压缩的二氧化碳注入到二氧化碳封存子系统中;压缩的二氧化碳通过二氧化碳封存子系统的第二工作井(26)抽采至发电释能子系统进行发电释能;

步骤S5,系统运行期监测与反馈:监测二氧化碳封存子系统的指标参数,通过粒子示踪技术监测二氧化碳运输移动路径,通过时移垂直地震剖面测井技术监测是否有CO₂透过上覆盖层上窜泄漏;所述指标参数包括:地下水水质指标、压力指标、温度指标、地面沉降指标、地表二氧化碳浓度指标;

步骤S3中,所述压缩二氧化碳储能子系统,包括依次同轴连接的电动机(2)、低压压缩机(3)、中压压缩机(5)、高压压缩机(7),以及第一换热器(4)、第二换热器(6)、第三换热器(8)和第一节流阀(22);所述低压压缩机(3)的入口连接外部二氧化碳排放工厂(1),所述低压压缩机(3)、中压压缩机(5)、高压压缩机(7)的出口分别连接第一换热器(4)、第二换热器(6)、第三换热器(8)的上部入口;所述第一换热器(4)、第二换热器(6)的上部出口分别接连中压压缩机(5)、高压压缩机(7)的入口;所述第三换热器(8)的上部出口连接第二工作井(26),所述第二工作井(26)连接深层含水层(32);

步骤S3中,所述冷热能储存子系统,包括第三热能储罐(18)、第二热能储罐(14)、第一热能储罐(10)以及第三冷能储罐(17)、第二冷能储罐(13)、第一冷能储罐(9);所述第三热能储罐(18)、第二热能储罐(14)、第一热能储罐(10)的入口分别连接第一换热器(4)、第二换热器(6)、第三换热器(8)的下部出口;所述第三热能储罐(18)、第二热能储罐(14)、第一热能储罐(10)的出口分别连接第六换热器(19)、第五换热器(15)、第四换热器(11)的上部入口;所述第三冷能储罐(17)、第二冷能储罐(13)、第一冷能储罐(9)的入口分别连接第六换热器(19)、第五换热器(15)、第四换热器(11)的上部出口;所述第三冷能储罐(17)、第二冷能储罐(13)、第一冷能储罐(9)的出口分别连接第一换热器(4)、第二换热器(6)、第三换热器(8)的下部入口;所述第四换热器(11)的下部入口与第二工作井(26)连接;

步骤S3中,所述发电释能子系统,包括依次同轴连接的发电机(21)、低压涡轮机(20)、中压涡轮机(16)、高压涡轮机(12),以及第四换热器(11)、第五换热器(15)、第六换热器(19)、第二节流阀(23)、第三节流阀(24);所述高压涡轮机(12)、中压涡轮机(16)、低压涡轮

机(20)的入口分别连接第四换热器(11)、第五换热器(15)、第六换热器(19)的下部出口;所述高压涡轮机(12)、中压涡轮机(16)的出口分别连接第五换热器(15)、第六换热器(19)的下部入口,所述低压涡轮机(20)的出口连接第一工作井(25),所述第一工作井(25)连接浅层含水层(29);

步骤S3中,所述二氧化碳封存子系统,包括第一工作井(25),所述第一工作井(25)的两侧分别设置第一监测井(33)和第二监测井(34);所述第二工作井(26)的两侧分别设置第三监测井(35)和第四监测井(36)。

2.根据权利要求1所述的在深部含水层二氧化碳地质封存上开展压缩二氧化碳储能的方法,其特征在于,步骤S1中,所述进行工程场地选址的选址原则是:源汇匹配合理,储盖层组合适宜,场区地质构造稳定,地震、火山和活动断裂不发育,目标储层可灌性良好、目标储层有效储存量大。

3.根据权利要求1所述的在深部含水层二氧化碳地质封存上开展压缩二氧化碳储能的方法,其特征在于,所述第一工作井(25)穿过第一地下岩层(27)和第一上覆盖层(28)接入浅层含水层(29);所述第二工作井(26)穿过第一地下岩层(27)、第一上覆盖层(28)、浅层含水层(29)、第二地下岩层(30)、第二上覆盖层(31)接入深层含水层(32);所述第一监测井(33)和第二监测井(34)分别穿过第一地下岩层(27)和第一上覆盖层(28)接入浅层含水层(29);所述第三监测井(35)、第四监测井(36)分别穿过第一地下岩层(27)、第一上覆盖层(28)、浅层含水层(29)、第二地下岩层(30)、第二上覆盖层(31)接入深层含水层(32)。

在深部含水层二氧化碳地质封存上开展压缩二氧化碳储能的方法

技术领域

[0001] 本发明属于二氧化碳地质封存及电能储存技术领域,涉及在深部含水层二氧化碳地质封存上开展压缩二氧化碳储能的方法。

背景技术

[0002] 大气中CO₂等温室气体含量的增加是造成全球气候变暖、气候灾害频发的重要原因之一。为尽快实现“碳达峰”与“碳中和”,一方面需要推进实施CCS (Carbon Capture and Storage, 碳捕获与封存) 技术,另一方面,需要不断减少化石能源的使用,大力发展太阳能、风能等可再生能源。然而,太阳能、风能等可再生能源固有的间歇性和不稳定性等特点限制了其在发电并网中的应用,导致了大量的“弃风”和“弃光”现象。

[0003] 大规模电力储能技术是解决可再生能源出力波动性和不稳定性问题的主要措施之一,目前世界上已有的电力储能技术中,抽水蓄能和压缩空气储能系统是两种比较成熟的100WM级大规模储能技术。但抽水蓄能电站受到地形条件的限制,开发潜力较为有限;传统压缩空气储能系统压缩热没有被回收利用,膨胀过程依赖天然气等化石燃料补燃,燃烧的气体会造成环境污染,系统储能效率低,并且空气可压缩性低、系统储能密度低,大规模储能时占用地下空间相对较大。

[0004] 因此,需要以实现二氧化碳减排和可再生能源高效利用为出发点,针对目前传统压缩空气储能技术的缺点,提出一种新型二氧化碳储能的方法及系统。

发明内容

[0005] 为了达到上述目的,本发明提供在深部含水层二氧化碳地质封存上开展压缩二氧化碳储能的方法,通过将“碳捕捉、利用与封存”和“大规模储能技术”两项重大现实需求相结合,既减少了大气中CO₂的排放,又大幅减小风、光等可再生能源大规模并网产生的出力波动性和不稳定性对电网造成的冲击,缓解高峰负荷供电压力,并且充分利用超临界二氧化碳的物性优势和回收压缩热以及加热膨胀过程的二氧化碳,保证整个系统具有较高的储能密度和储能效率,解决了现有技术中存在的问题。

[0006] 本发明所采用的技术方案是,在深部含水层二氧化碳地质封存上开展压缩二氧化碳储能的方法,包括以下步骤:

[0007] 步骤S1,进行工程场地选址;

[0008] 步骤S2,在选址的工程场地上进行钻井管道施工,钻井管道分为工作井和监测井,工作井数量为2个,工作井之间的间距为50m~150m,监测井数量为2个~4个,监测井设置在每个工作井的外围,每个监测井距相应工作井的距离为30m~100m;

[0009] 步骤S3,布置压缩二氧化碳储能系统:包括压缩二氧化碳储能子系统、冷热能储存子系统、二氧化碳封存子系统和发电释能子系统;压缩二氧化碳储能子系统通过管道与二氧化碳封存子系统连接;压缩二氧化碳储能子系统的换热器组与冷热能储存子系统发生热

量交换;冷热能储存子系统与发电释能子系统的换热器组发生热量交换;发电释能子系统通过管道与二氧化碳封存子系统连接;

[0010] 步骤S4,二氧化碳捕集、提纯、运输与注采:捕集外部二氧化碳排放工厂(1)排放的二氧化碳,将捕集的二氧化碳提纯至99.9%,并冷却加压到-20℃的液体状态,通过压缩二氧化碳储能子系统、冷热能储存子系统,将压缩的二氧化碳注入到二氧化碳封存子系统中;压缩的二氧化碳通过二氧化碳封存子系统的第二工作井(26)抽采至发电释能子系统进行发电释能;

[0011] 步骤S5,系统运行期监测与反馈:监测二氧化碳封存子系统的指标参数,通过粒子示踪技术监测二氧化碳运输移动路径,通过时移垂直地震剖面测井技术监测是否有CO₂透过上覆盖层上窜泄漏;指标参数包括:地下水水质指标、压力指标、温度指标、地面沉降指标、地表二氧化碳浓度指标。

[0012] 进一步地,步骤S1中,进行工程场地选址的选址原则是:源汇匹配合理,储盖层组合适宜,场区地质构造稳定,地震、火山和活动断裂不发育,目标储层可灌性良好、目标储层有效储存量大。

[0013] 进一步地,步骤S3中,压缩二氧化碳储能子系统,包括依次同轴连接的电动机、低压压缩机、中压压缩机、高压压缩机,以及第一换热器、第二换热器、第三换热器和第一节流阀;低压压缩机的入口连接外部二氧化碳排放工厂,低压压缩机、中压压缩机、高压压缩机的出口分别连接第一换热器、第二换热器、第三换热器的上部入口;第一换热器、第二换热器的上部出口分别接连中压压缩机、高压压缩机的入口;第三换热器的上部出口连接第二工作井,第二工作井连接深层含水层。

[0014] 进一步地,步骤S3中,冷热能储存子系统,包括第三热能储罐、第二热能储罐、第一热能储罐以及第三冷能储罐、第二冷能储罐、第一冷能储罐;第三热能储罐、第二热能储罐、第一热能储罐的入口分别连接第一换热器、第二换热器、第三换热器的下部出口;第三热能储罐、第二热能储罐、第一热能储罐的出口分别连接第六换热器、第五换热器、第四换热器的上部入口;第三冷能储罐、第二冷能储罐、第一冷能储罐的入口分别连接第六换热器、第五换热器、第四换热器的上部出口;第三冷能储罐、第二冷能储罐、第一冷能储罐的出口分别连接第一换热器、第二换热器、第三换热器的下部入口;第四换热器的下部入口与第二工作井连接。

[0015] 进一步地,步骤S3中,发电释能子系统,包括依次同轴连接的发电机、低压涡轮机、中压涡轮机、高压涡轮机,以及第四换热器、第五换热器、第六换热器、第二节流阀、第三节流阀;高压涡轮机、中压涡轮机、低压涡轮机的入口分别连接第四换热器、第五换热器、第六换热器的下部出口;高压涡轮机、中压涡轮机的出口分别连接第五换热器、第六换热器的下部入口,低压涡轮机的出口连接第一工作井,第一工作井连接浅层含水层。

[0016] 进一步地,步骤S3中,二氧化碳封存子系统,包括第一工作井,第一工作井的两侧分别设置第一监测井和第二监测井;第二工作井的两侧分别设置第三监测井和第四监测井。

[0017] 更进一步地,第一工作井穿过第一地下岩层和第一上覆盖层接入浅层含水层;第二工作井穿过第一地下岩层、第一上覆盖层、浅层含水层、第二地下岩层、第二上覆盖层接入深层含水层;第一监测井和第二监测井分别穿过第一地下岩层和第一上覆盖层接入浅层

含水层;第三监测井、第四监测井分别穿过第一地下岩层、第一上覆盖层、浅层含水层、第二地下岩层、第二上覆盖层接入深层含水层。

[0018] 本发明的有益效果是:

[0019] (1) 本发明实施例采用深部含水(咸水)层进行二氧化碳地质封存,有效利用我国含水(咸水)资源的同时减少了大气中CO₂的排放,减缓温室效应,有助于“碳达峰,碳中和”双碳目标的实现。

[0020] (2) 本发明实施例采用深部含水(咸水)层作为储能系统地下储气库,相较于盐洞、废弃矿井和岩石洞穴等储气库,使用含水(咸水)层建库成本低,且含水(咸水)层在我国分布广泛,对地质依赖性弱。

[0021] (3) 本发明实施例将换热后的超临界态二氧化碳注入到深部含水(咸水)层,利用超临界二氧化碳具有粘度低、扩散系数高、密度大和临界点易达到的优点,可以得到相对高的系统储能密度。

[0022] (4) 本发明实施例采用热能储罐和冷能储罐进行压缩过程和膨胀过程的热能和冷能存储与循环利用,实现系统闭环循环,无需化石燃料提供热源,大幅提高系统储能效率。

[0023] (5) 本发明实施例相较于单一的二氧化碳含水(咸水)层封存系统或深部含水(咸水)层压缩二氧化碳储能系统,具有更好的经济效益。

附图说明

[0024] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0025] 图1为本发明在深部含水(咸水)层二氧化碳地质封存上开展压缩二氧化碳储能系统的结构示意图。

[0026] 图2为本发明实施例的水平构造深部含水层压缩二氧化碳封存示意图。

[0027] 图3为本发明实施例的背斜构造深部含水层压缩二氧化碳封存示意图。

[0028] 图中:1-二氧化碳排放工厂、2-电动机、3-低压压缩机、4-第一换热器、5-中压压缩机、6-第二换热器、7-高压压缩机、8-第三换热器、9-第一冷能储罐、10-第一热能储罐、11-第四换热器、12-高压涡轮机、13-第二冷能储罐、14-第二热能储罐、15-第五换热器、16-中压涡轮机、17-第三冷能储罐、18-第三热能储罐、19-第六换热器、20-低压涡轮机、21-发电机、22-第一节流阀、23-第二节流阀、24-第三节流阀、25-第一工作井、26-第二工作井、27-第一地下岩层、28-第一上覆盖层、29-浅层含水层、30-第二地下岩层、31-第二上覆盖层、32-深层含水层、33-第一监测井、34-第二监测井、35-第三监测井、36-第四监测井。

具体实施方式

[0029] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0030] 本发明公开了一种在深部含水(咸水)层二氧化碳地质封存上开展压缩二氧化碳储能的方法,包括以下步骤:

[0031] 步骤S1,根据源汇匹配合理,储盖层组合适宜,场区地质构造稳定,地震、火山和活断层发育,目标储层可灌性良好、目标储层有效储存量大的选址原则,进行工程场地选址;

[0032] 源汇匹配合理:综合考虑碳源分布和规模、碳源运输距离、可再生能源富集区和目标注入场区四者之间相互关系,使综合经济成本最低;

[0033] 储盖层组合适宜:储盖层包括含水储层和上覆盖层;储盖层组合数量至少2组;储盖层组合为水平(如图2)或背斜地质构造(如图3);最上部含水(咸水)储层深度至少800m,含水储层厚度至少20m,含水储层含盐度至少0.2%;上覆盖层突破压为含水储层静水压的1.5倍~2倍,且无断层、裂隙和废弃油气井等地质缺陷;

[0034] 含水储层按深度分为浅层含水层29和深层含水层32;

[0035] 目标储层可灌性良好:要求含水储层渗透率在0.01D以上,孔隙度在0.1以上;

[0036] 目标储层有效储量大:要求含水层孔隙连通性好,封存潜力在十万吨级别以上,且能确保CO₂安全封存1000年以上。

[0037] 步骤S2,在选址的工程场地上进行钻井管道施工,钻井管道分为工作井和监测井,工作井数量为2个,工作井之间的间距为50m~150m,监测井数量为2个~4个,监测井设置在每个工作井的外围,每个监测井距相应工作井的距离为30m~100m。

[0038] 步骤S3,布置压缩二氧化碳储能系统:压缩二氧化碳储能系统如图1所示,包括压缩二氧化碳储能子系统、冷热能储存子系统、二氧化碳封存子系统和发电释能子系统;压缩二氧化碳储能子系统通过管道二氧化碳封存子系统连接;压缩二氧化碳储能子系统的换热器组与冷热能储存子系统发生热量交换;冷热能储存子系统与发电释能子系统的换热器组发生热量交换;发电释能子系统通过管道与二氧化碳封存子系统连接。

[0039] 本申请在进行大规模二氧化碳地质封存的同时进行压缩二氧化碳储能,储能的二氧化碳可用于发电释能,并不是单纯的二氧化碳咸水层封存或压缩二氧化碳储能,有效实现了碳封存和碳利用的结合。

[0040] 压缩二氧化碳储能子系统,包括:电动机2、低压压缩机3、中压压缩机5、高压压缩机7、第一换热器4、第二换热器6、第三换热器8和第一节流阀22;电动机2依次与低压压缩机3、中压压缩机5、高压压缩机7同轴连接,用于将排放的二氧化碳分级压缩,注入到二氧化碳封存子系统中。

[0041] 外部二氧化碳排放工厂1连接低压压缩机3的入口,用于将排放的二氧化碳捕集运输至现场进行低压压缩,低压的压力范围是0.1MPa~4MPa;低压压缩机3的出口与第一换热器4的上部入口连接,经低压压缩的二氧化碳通过第一换热器4中的换热工质发生换热,第一换热器4的上部出口与中压压缩机5的入口连接,经过第一换热器4换热的低压压缩的二氧化碳通过第一换热器4的上部出口进入至中压压缩机5中,进行中压压缩,中压的压力范围是4MPa~10MPa;中压压缩机5的出口与第二换热器6的上部入口连接,经中压压缩的二氧化碳通过第二换热器6中的换热工质发生换热,第二换热器6的上部出口与高压压缩机7的入口连接,经过第二换热器6换热的中压压缩的二氧化碳通过第二换热器6的上部出口进入至高压压缩机7中,进行高压压缩,高压的压力范围是10MPa~30MPa,高压压缩机7的出口与

第三换热器8的上部入口连接,经高压压缩的二氧化碳通过第三换热器8中的换热工质发生换热,第三换热器8的上部出口与第二工作井26连接,第二工作井26深入至深层含水层32,经过第三换热器8换热的高压压缩二氧化碳直接注入深层含水层32封存;在第三换热器8与第二工作井26之间的管道上设置有第一节流阀22,用于调节压力,保持注入压力恒定。

[0042] 压缩二氧化碳储能子系统依次设置低压、中压、高压压缩机多级压缩装置可有效降低压缩比、节省功率消耗,便于吸收压缩热,促进二氧化碳的压缩储能,压缩二氧化碳储能子系统的多级压缩装置通过换热器组进行热量交换,交换的热量储存于冷热能储存子系统中,使得二氧化碳压缩储能过程中释放的热量作为后续发电过程气体的热量补充,通过热能与冷能的循环利用,无需依赖天然气等化石燃料补燃,环境污染小,有效提高系统储能效率。

[0043] 冷热能储存子系统,包括第三热能储罐18、第二热能储罐14、第一热能储罐10、第三冷能储罐17、第二冷能储罐13、第一冷能储罐9;各热能储罐和冷能储罐中的换热工质为水或油。

[0044] 第一换热器4的下部出口与第三热能储罐18连接,第三热能储罐18用于储存换热后的高温换热工质,高温换热工质的温度范围是 $100^{\circ}\text{C}\sim 600^{\circ}\text{C}$,第三热能储罐18与第六换热器19的上部入口连接,用于将储存换热后的高温换热工质传送给第六换热器19,第六换热器19的上部出口与第三冷能储罐17的入口连接,第三冷能储罐17用于储存换热后的低温换热工质,低温换热工质的温度范围是 $0^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$,第三冷能储罐17的出口与第一换热器4的下部入口连接,用于将低温换热工质送入第一换热器4;第二换热器6的下部出口与第二热能储罐14连接,第二热能储罐14用于储存换热后的高温换热工质;第二热能储罐14与第五换热器15的上部入口连接,用于将储存换热后的高温换热工质传送给第五换热器15,第五换热器15的上部出口与第二冷能储罐13的入口连接,第二冷能储罐13用于储存换热后的低温换热工质,第二冷能储罐13的出口与第二换热器6的下部入口连接,用于将低温换热工质送入第二换热器6;第三换热器8的下部出口与第一热能储罐10连接,第一热能储罐10用于储存换热后的高温换热工质,第一热能储罐10与第四换热器11的上部入口连接,用于将储存换热后的高温换热工质传送给第四换热器11,第四换热器11的上部出口与第一冷能储罐9的入口连接,第一冷能储罐9用于储存换热后的低温换热工质,第一冷能储罐9的出口与第三换热器8的下部入口连接,用于将低温换热工质送入第三换热器8;第四换热器11的下部入口与第二工作井26连接,用于采集深层含水层32内储藏的压缩二氧化碳,第二工作井26与第四换热器11之间的管道上设置有第二节流阀23。

[0045] 冷热能储存子系统利用换热工质吸收经过压缩后的高温二氧化碳的热量,吸热升温后的换热工质储存在热能储罐中,在发电释能的过程中储存在热能储罐中的换热工质流经换热器加热抽采出来的压缩二氧化碳,交换完热量后的换热工质储存在冷能储罐中,通过热能与冷能的循环利用,无需外接热源,环境污染小,有效提高系统储能效率。

[0046] 发电释能子系统,包括发电机21、低压涡轮机20、中压涡轮机16、高压涡轮机12、第四换热器11、第五换热器15、第六换热器19、第二节流阀23、第三节流阀24;发电机21依次与低压涡轮机20、中压涡轮机16、高压涡轮机12依次同轴连接;第四换热器11的下部出口与高压涡轮机12连接,高压的压力范围是 $30\text{MPa}\sim 20\text{MPa}$,高压涡轮机12的出口与第五换热器15的下部入口连接,用于加热二氧化碳,第五换热器15的下部出口与中压涡轮机16连接,中压的

压力范围是20MPa~15MPa;中压涡轮机16的出口与第六换热器19的下部入口连接,第六换热器19的下部出口与低压涡轮机20相连,低压涡轮机20与第一工作井25连接,低压的压力范围是15MPa~7.5MPa;第一工作井25与浅层含水层29连接;低压涡轮机20与第一工作井25之间的管道上设置有第三节流阀24,经高压涡轮机12、中压涡轮机16、低压涡轮机20处理的二氧化碳以超临界形态注入浅层含水层29中。

[0047] 二氧化碳封存子系统,包括第一工作井25、第二工作井26、第一监测井33、第二监测井34、第三监测井35、第四监测井36、第一地下岩层27、第一上覆盖层28、浅层含水层29、第二地下岩层30、第二上覆盖层31、深层含水层32;在第一工作井25的两侧分别设置第一监测井33和第二监测井34;在第二工作井26的两侧分别设置第三监测井35和第四监测井36;监测井用于监测二氧化碳的运移情况和是否泄露。

[0048] 本申请一个优选的实施例中,第一工作井25穿过第一地下岩层27和第一上覆盖层28接入浅层含水层29;第二工作井26穿过第一地下岩层27、第一上覆盖层28、浅层含水层29、第二地下岩层30、第二上覆盖层31接入深层含水层32,浅层含水层29和深层含水层32用于注入和抽采二氧化碳;第一监测井33和第二监测井34与第一工作井25相同,也穿过第一地下岩层27和第一上覆盖层28接入浅层含水层29,用于监测浅层含水层29的孔隙压力、温度、水质变化情况以及监测二氧化碳的迁移与泄露情况;第三监测井35、第四监测井36与第二工作井26相同,也穿过第一地下岩层27、第一上覆盖层28、浅层含水层29、第二地下岩层30、第二上覆盖层31接入深层含水层32,用于监测深层含水层32的孔隙压力、温度、水质变化情况以及监测二氧化碳的迁移与泄露情况;第一上覆盖层28和第二上覆盖层31用于防止二氧化碳运移出含水(咸水)封存区。

[0049] 本申请深部含水层二氧化碳地质封存上开展压缩二氧化碳储能的工作过程具体为:

[0050] 在用电低谷和富余电能过剩时,将外部二氧化碳排放工厂1排放的二氧化碳通过压缩二氧化碳储能子系统进行多级压缩处置,具体是外部二氧化碳排放工厂1排放的二氧化碳经捕集运输至现场,然后依次通过低压压缩机3、中压压缩机5、高压压缩机7进行多级压缩处置,多级压缩的二氧化碳通过管道进入深部含水(咸水)层进行封存,具体是多级压缩的二氧化碳通过第二工作井26进入深层含水层32进行封存。

[0051] 压缩二氧化碳储能子系统产生的热量通过换热器组储存于冷热能储存子系统,热能储罐储存换热后的高温换热工质,冷能储罐储存换热后的低温换热工质。

[0052] 发电释能子系统通过压缩的二氧化碳以及冷热能储存子系统中储存的能量进行发电释能的具体过程是:在用电高峰时期,储存在深层含水层32的高压二氧化碳通过第二工作井26被抽采出来,经第二节流阀23调压后以恒定压力进入第四换热器11,然后依次通过高压涡轮机12、中压涡轮机16和低压涡轮机20进行多级膨胀发电,气体进入涡轮机之前进入每级换热器吸热,通过最后一级低压涡轮机20发完电的二氧化碳气体通过第三节流阀24调压,经通过管道和第一工作井25注入浅部含水层29中进行封存。

[0053] 步骤S4,二氧化碳捕集、提纯、运输与注采:捕集外部二氧化碳排放工厂1排放的二氧化碳,将捕集的二氧化碳提纯至99.9%,并冷却加压到-20℃的液体状态,通过压缩二氧化碳储能子系统、冷热能储存子系统,将压缩的二氧化碳注入到二氧化碳封存子系统中;压缩的二氧化碳通过二氧化碳封存子系统的第二工作井26抽采至发电释能子系统进行发电释

能。

[0054] 步骤S5,系统运行期监测与反馈:监测二氧化碳封存子系统的指标参数,通过粒子示踪技术监测二氧化碳运输移动路径,通过时移垂直地震剖面测井技术(VSP)监测是否有CO₂透过上覆盖层上窜泄漏;

[0055] 指标参数包括:地下水水质指标、压力指标、温度指标、地面沉降指标、地表二氧化碳浓度指标。

[0056] 需要说明的是,在本申请中,诸如第一、第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来,而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0057] 本说明书中的各个实施例均采用相关的方式描述,各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处。

[0058] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并非用于限定本发明的保护范围。凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换、改进等,均包含在本发明的保护范围内。

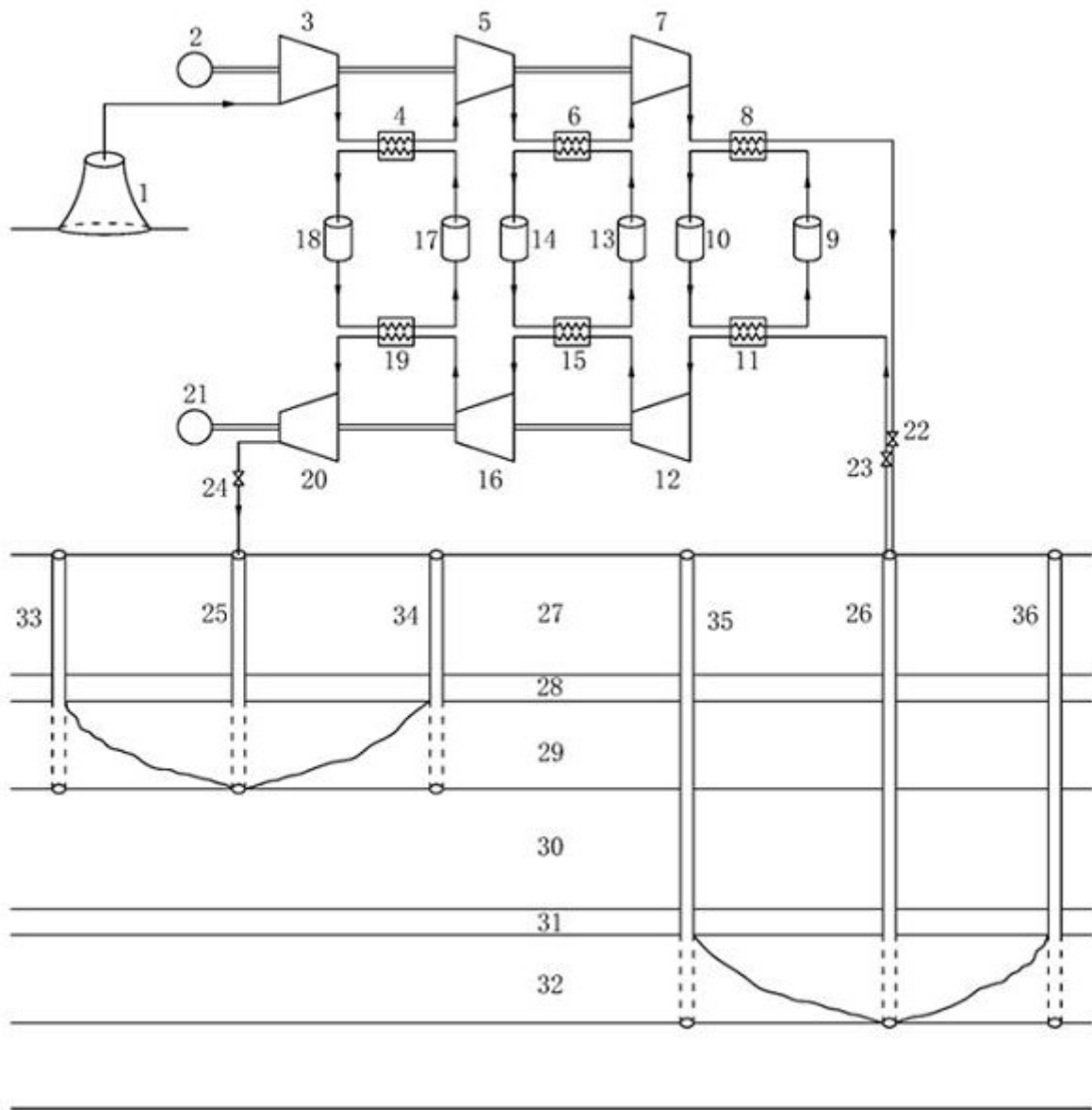


图1

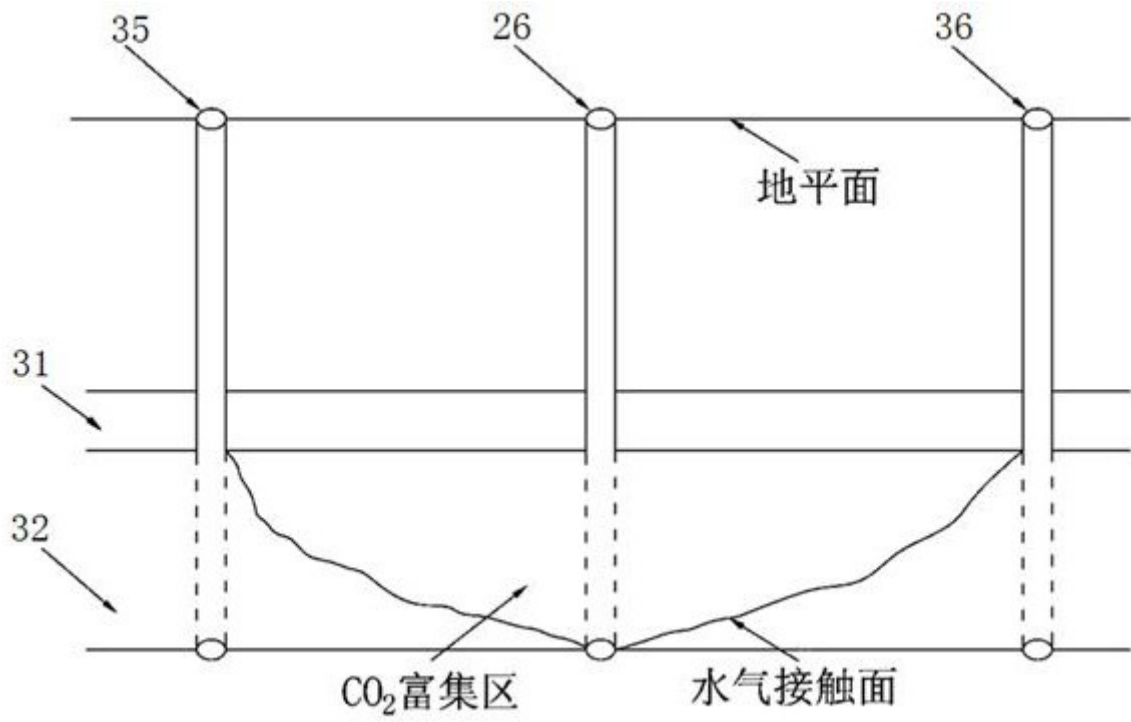


图2

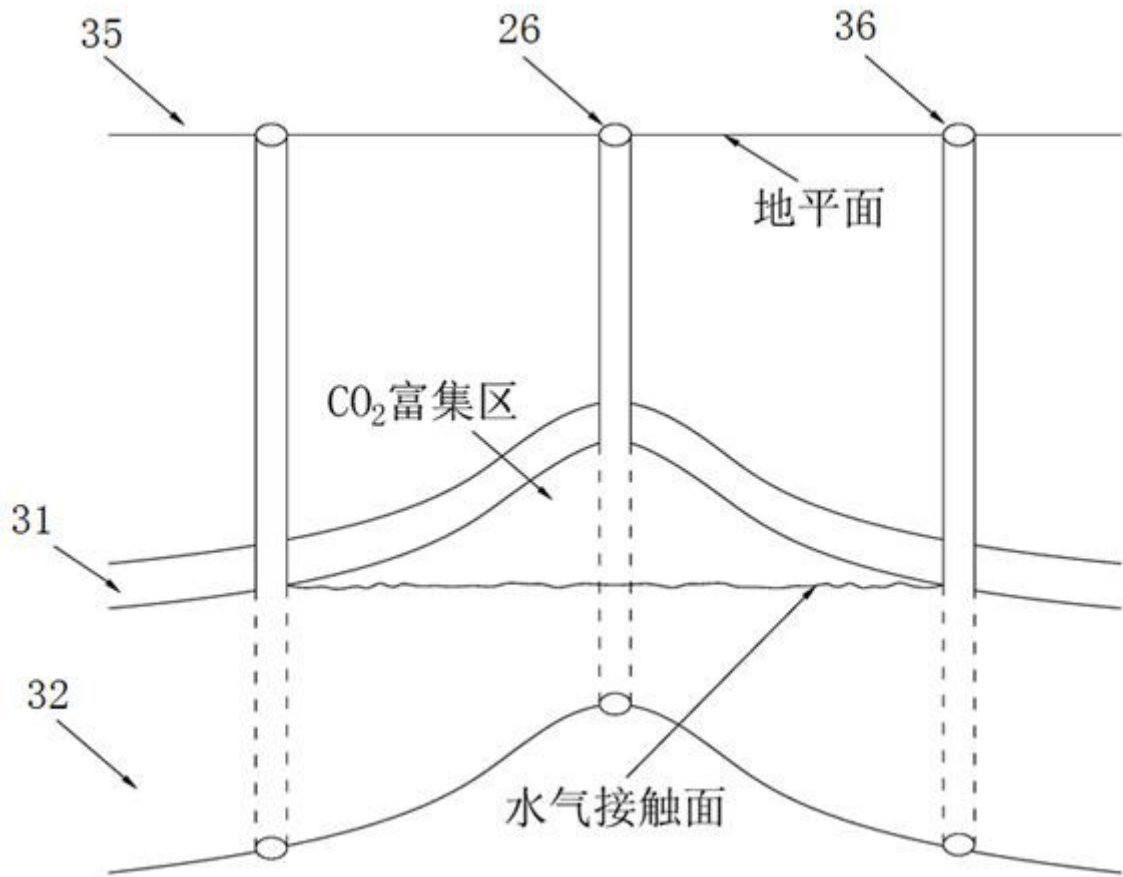


图3