



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117889583 A

(43) 申请公布日 2024. 04. 16

(21) 申请号 202410075933.0

H02S 40/44 (2014.01)

(22) 申请日 2024.01.18

H02S 40/42 (2014.01)

(71) 申请人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市碑林区咸宁西路28号

(72) 发明人 徐占伯 王硕斌 刘晋辉 吴江
刘坤 管晓宏

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任
公司 61200

专利代理师 闵岳峰

(51) Int. Cl.

F25B 30/06 (2006.01)

F25B 41/40 (2021.01)

F25B 49/02 (2006.01)

F24T 10/13 (2018.01)

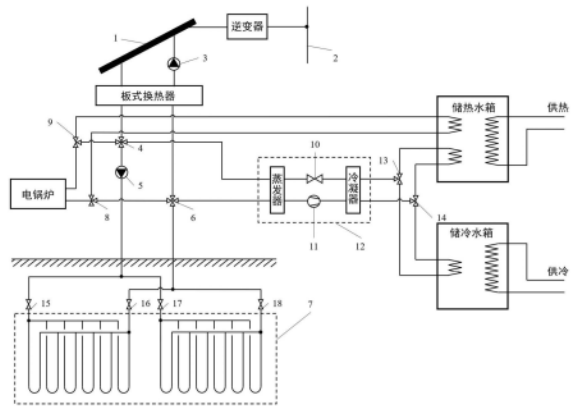
权利要求书3页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

一种间膨式PVT辅助地源热泵系统及运行方法

(57) 摘要

本发明公开了一种间膨式PVT辅助地源热泵系统及运行方法,该系统包括PVT热电联供模块,用于利用太阳能并输出电能和热能;地热能模块,用于其余模块与地热能的热量交互;热泵机组模块,用于利用地热能向用户供热与供冷模块提供热能或冷却能;辅助制热模块,用于利用余电向土壤灌热或向储热水箱储热;用户供热与供冷模块,用于向末端供热和供冷。本发明通过规划设计PVT阵列与热泵机组的间接连接,将PVT阵列输出的热能灌入土壤,降低太阳能间歇性对系统性能的影响;此外,精细化计量土壤热交换量对土壤温度的影响,并考虑地埋管阵列根据季节和负荷状况的分区运行,保持地热能的可持续性,从而保证PVT辅助地源热泵系统高效稳定运行。



1. 一种间膨式PVT辅助地源热泵系统,其特征在于,包括PVT热电联供模块、地热能模块、热泵机组模块、辅助制热模块和用户供热与供冷模块;

PVT热电联供模块,用于高效利用太阳能并输出电能和热能,电能用于该系统供电或通过逆变器输送至电网,热能输送给地热能模块;

地热能模块,用于与PVT热电联供模块、热泵机组模块以及辅助制热模块与土壤中地热能的交互;第一:用于将PVT热电联供模块中输出的热能通过地理管灌入土壤;第二:在制热模式下,将地热能模块提取出的地热能输送给热泵机组模块,在制冷模式下,将热泵机组输出的热能输送给地热能模块并灌入土壤;第三:在光伏发电富余或土壤温度过低的情况下,连通辅助制热模块与地热能模块,将电锅炉输出的热能通过地理管灌入土壤;

热泵机组模块,用于与地热能模块进行热能交互,向用户供热与供冷模块提供热能或冷却能;热泵制热模式下,热泵机组利用地热能模块输出的热能,加热用户供热与供冷模块中的储热水箱,以实现向末端用户供热,在热泵制冷模式下,热泵机组通过将用户供热与供冷模块中的储冷水箱的热能输送给地热能模块,以实现向末端用户供冷;

辅助制热模块,用于在电价低、末端负荷高、土壤温度低或者地源热泵故障情况下,加热用户供热与供冷模块中的储热水箱,从而满足系统的供热需求;此外,在非供暖季且电价低或PVT热电联供模块输出电能富余的情况下,利用辅助制热模块向地热能模块输送热能,以保证地热能的可持续性和冬季地源热泵的高效运行;

用户供热与供冷模块,用于通过储热水箱和储冷水箱向用户末端供热和供冷。

2. 根据权利要求1所述的一种间膨式PVT辅助地源热泵系统,其特征在于,PVT热电联供模块包括PVT集热/蒸发装置、板式换热器、PVT循环泵和逆变器;

板式换热器的热水出口通过PVT循环泵连通至PVT集热/蒸发装置的进口,PVT集热/蒸发装置的出口连通至板式换热器的热水进口;PVT集热/蒸发装置通过逆变器连接至电网。

3. 根据权利要求2所述的一种间膨式PVT辅助地源热泵系统,其特征在于,板式换热器与PVT集热/蒸发装置组成的冷冻液循环回路中采用的介质是乙二醇与水的混合溶液。

4. 根据权利要求2所述的一种间膨式PVT辅助地源热泵系统,其特征在于,地热能模块采用埋设在土壤中的地理管阵列,地理管阵列通过截止阀和管道与板式换热器组成水循环回路,并且通过板式换热器将冷冻液循环回路和水循环回路分开。

5. 根据权利要求4所述的一种间膨式PVT辅助地源热泵系统,其特征在于,地理管阵列设置有多个,多个地理管并联布置,并且地理管阵列通过控制对应截止阀的开断实现地理管的分区运行。

6. 根据权利要求2所述的一种间膨式PVT辅助地源热泵系统,其特征在于,热泵机组模块包括蒸发器、电子膨胀阀,冷凝器以及压缩机。

7. 根据权利要求6所述的一种间膨式PVT辅助地源热泵系统,其特征在于,辅助制热模块采用电锅炉,用于在电价低、末端负荷高、土壤温度低或者地源热泵故障情况下,加热储热水箱以满足供热需求,以及在非供暖季且电价低或PVT热电联供模块输出电能富余的情况下向土壤灌热,以维持土壤热平衡。

8. 根据权利要求6所述的一种间膨式PVT辅助地源热泵系统,其特征在于,用户供热与供冷模块包括储热水箱和储冷水箱。

9. 权利要求1至8中任一项所述的一种间膨式PVT辅助地源热泵系统的运行方法,其特

征在于,包括:

- 1) 统计负荷侧历史电热冷负荷和天气数据制作数据集;
- 2) 根据历史电热冷负荷和天气数据确定在以维持土壤温度的目标下,下一年度每月各设备与土壤的热交互量与最终土壤温度的月度策略;
- 3) 根据天气预报和历史数据生成下一日用户负荷预测数据;
- 4) 根据预设的系统数学模型和电热冷负荷预测数据,以及该月的月度策略,获取下一日系统运行策略;
- 5) 根据运行策略调整系统的运行模式,并更新该月份的月度策略。

10. 根据权利要求9所述的一种间膨式PVT辅助地源热泵系统的运行方法,其特征在于,间膨式PVT辅助地源热泵系统数学模型的包括:

目标函数为:

$$\min obj = \sum_{i=1}^N (\lambda_i^{pur} \cdot p_i^{pur} - \lambda^{sol} \cdot p_i^{sol})$$

其中 λ_i^{pur} , λ^{sol} 分别是第i时刻的买电价格和卖电价格; p_i^{pur} , p_i^{sol} 分别是i时刻的买电,卖电量;买卖电量的单位是kWh;

模型约束条件包括能量平衡约束和设备运行约束;能量平衡约束包括电能平衡,热能平衡和冷却能平衡;能量平衡约束指间膨式PVT辅助地源热泵系统设备供应的能量和系统消耗的能量应当守恒;系统中供电设备和供电方式包括:PVT集热/蒸发装置供电以及电网购电;耗电设备和耗电方式包括:用户组团电负荷,热泵机组耗电,电锅炉耗电,以及循环水泵耗电;系统中供热设备包括:电热锅炉,地源热泵,以及储热水箱,系统中用热方式为用户组团热负荷;系统中制冷设备包括:地源热泵,系统中用冷方式为用户组团冷需求;设备运行约束为系统中设备能量传递和能量转换过程的数学描述,包括PVT热电联供约束,热泵机组制热量或制冷量与电功率的约束,电锅炉制热量与电功率的约束,通过地埋管与土壤热交换热量约束,土壤温度随地埋管与土壤交换热量而变化的约束以及储能约束;

为精细化计量土壤热交换量对土壤温度的影响,更加合理地分配地热能的使用与灌热,根据地埋管阵列的钻孔特征,预先求得地埋管阵列钻孔壁温度 t^b 随阶跃热流变化 Δg^{ghe} 的无量纲温度相应系数,并用 $G(\cdot)$ 表示,并考虑i时刻钻孔壁温度 t_i^b 受到i时刻之前所有阶跃热流变化的共同影响,具体由下式表示:

$$t_i^b = t^g - \frac{1}{2\pi\kappa nL} \sum_{j=1}^i [(g_j^{ghe} - g_{j-1}^{ghe})G(i-j+1)]$$

其中 t^g , t_i^b 分别代表远端未受干扰土壤温度和i时刻地埋管阵列钻孔壁温度, κ , n , L 分别代表土壤热导率,地埋管数量以及单个地埋管的深度, $G(\cdot)$ 为温度响应系数,与地埋管阵列的几何参数和时间有关,并且将i时刻地埋管阵列钻孔壁温度近似为i时刻的土壤温度;因此通过上式可以由i时刻前各时刻地埋管阵列与土壤的热交换量获得i时刻对应的地埋管管壁温度,即i时刻的土壤温度;

而i时刻地埋管阵列与土壤的热交换量由 g_i^{ghe} 表示,即i时刻与土壤交换的净热量,若 g_i^{ghe} 为正,表示i时刻地埋管阵列从土壤中取热,否则表示向土壤中灌热,具体由下式表示:

$$g_i^{ghe} = g_i^{ghe, hp} - g_i^{hp, ghe} - g_i^{eb, ghe} - g_i^{pvt, ghe}$$

其中 $g_i^{ghe, hp}$, $g_i^{hp, ghe}$, $g_i^{eb, ghe}$, $g_i^{pvt, ghe}$ 分别为i时刻地理管阵列传给热泵机组的热量, 热泵机组传给地理管阵列的热量, 电锅炉给地理管阵列的热量和PVT集热/蒸发装置给地理管阵列的灌热量。

一种间膨式PVT辅助地源热泵系统及运行方法

技术领域

[0001] 本发明属于能源综合利用技术领域,尤其涉及一种间膨式PVT辅助地源热泵系统及其运行方法。

背景技术

[0002] 近年PVT(太阳能光伏/热)技术迅猛发展,PVT技术将光伏电池技术与太阳能集热技术相结合,不仅能将太阳能有效地转化为电能,同时通过其集热组件中的冷却介质带走光伏热效应产生的热量并有效利用,可以实现太阳能在有限空间的高效热电联产,但目前已有的直膨式PVT热泵结构系统稳定性较差,易受季节和天气因素影响,难以在夜间或极端天气为用户提供稳定的热能供应,并且液体工质PVT系统通常以水箱作为储热设备,存在夏季产热较多,水箱温度达到设定点而余热无法及时利用等挑战。

[0003] 地源热泵因其低碳性、高能效比以及稳定性而被视为重要的建筑供暖制冷技术,它通过使用少量电能使低品位地热能转换为高品位热能,其技术特点包括通过埋在地下的地理管与土壤进行高效热交换,从而实现空间加热和制冷。相较于空气源热泵系统,地源热泵系统在能效比和运行稳定性方面更具优势,并且受天气条件影响较低。地源热泵系统还使用先进的压缩机技术,耐用的材料和智能控制系统,以确保系统长期稳定运行,同时减少对有限能源资源的依赖,符合可持续发展和环保的原则;在实际运行中,地源热泵系统面临热负荷和冷负荷不均衡的挑战,长期连续运行可能导致从土壤中提取的热量超过土壤的自然回温量,从而引起土壤温度衰减的问题,这不仅会导致地热能的短期不可持续性,而且会显著影响地源热泵系统的制热效率。

发明内容

[0004] 为克服现有技术的上述问题,本发明提出一种间膨式PVT辅助地源热泵系统及其运行方法,通过规划设计PVT阵列与热泵机组的间接热耦合连接的间膨式PVT辅助地源热泵系统,精细化计量土壤热交换量对土壤温度的影响,并考虑地理管阵列根据季节和负荷的分区运行,控制阀门组的状态切换系统的运行模式,合理分配地热能的灌热与使用,高效利用太阳能并维持地热能的可持续性和地源热泵的高效、稳定运行,从而降低一次能源的消耗,推进供能系统的低碳化进程。

[0005] 本发明采用如下技术方案来实现的:

[0006] 一种间膨式PVT辅助地源热泵系统,包括PVT热电联供模块、地热能模块、热泵机组模块、辅助制热模块和用户供热与供冷模块;

[0007] PVT热电联供模块,用于将太阳能高效地转换为电能和热能并输出,电能可直接供给于该系统或通过逆变器输送至电网,热能通过板式换热器间接输送给地热能模块;

[0008] 地热能模块,用于与PVT热电联供模块、热泵机组模块以及辅助制热模块与土壤中地热能的交互;第一:用于将PVT热电联供模块中,由板式换热器间接输出的热能通过地理管阵列灌入土壤,以维持土壤的热平衡;第二:在制热模式下,将地热能输送到热泵机组模

块,在制冷模式下,将热泵机组输出的热能输送给地热能模块并灌入土壤,高效地实现系统供热和供冷;第三:在PVT热电联供模块发电富余或土壤温度过低的情况下,连通辅助制热模块与地热能模块,将电锅炉输出的热能通过地理管阵列灌入土壤,解决地热能地短期不可持续性问题;

[0009] 热泵机组模块,用于与地热能模块进行热能交互,从而高效地向用户供热与供冷模块提供热能或冷却能;热泵制热模式下,热泵机组利用地热能模块输出的热能,加热用户供热与供冷模块中的储热水箱,以实现向末端用户供热,在热泵制冷模式下,热泵机组通过将用户供热与供冷模块中的储冷水箱的热能输送给地热能模块,以实现向末端用户供冷;

[0010] 辅助制热模块,一方面用于在电价低、末端负荷高、土壤温度低或者地源热泵故障情况下,加热用户供热与供冷模块中的储热水箱,从而满足系统的供热需求;此外,在非供暖季且电价低或PVT热电联供模块输出电能富余的情况下,利用辅助制热模块向地热能模块输送热能,合理分配地热能的灌热,以保证地热能的可持续性和地源热泵在供暖季的正常运行;

[0011] 用户供热与供冷模块,用于通过储热水箱和储冷水箱向用户末端供热和供冷。

[0012] 本发明进一步的改进在于,PVT热电联供模块包括PVT集热/蒸发装置、板式换热器、PVT循环泵和逆变器;

[0013] 板式换热器的热水出口通过PVT循环泵连通至PVT集热/蒸发装置的进口,PVT集热/蒸发装置的出口连通至板式换热器的热水进口;PVT集热/蒸发装置通过逆变器连接至电网。

[0014] 本发明进一步的改进在于,板式换热器与PVT集热/蒸发装置组成的冷冻液循环回路中采用的介质是乙二醇与水的混合溶液。

[0015] 本发明进一步的改进在于,地热能模块采用埋设在土壤中的地理管阵列,地理管阵列通过管道和截止阀与板式换热器组成水循环回路,并且通过板式换热器将冷冻液循环回路和水循环回路分开。

[0016] 本发明进一步的改进在于,地理管阵列设置有多个,多个地理管并联布置,并且地理管阵列通过控制对应截止阀的开断实现地理管的分区运行。

[0017] 本发明进一步的改进在于,热泵机组模块包括蒸发器、电子膨胀阀、冷凝器以及压缩机。

[0018] 本发明进一步的改进在于,辅助制热模块采用电锅炉,用于在电价低、末端负荷高、土壤温度低或者地源热泵故障情况下,加热储热水箱以满足供热需求,以及在非供暖季且电价低或PVT热电联供模块输出电能富余的情况下向土壤灌热,以维持土壤热平衡。

[0019] 本发明进一步的改进在于,用户供热与供冷模块包括储热水箱和储冷水箱。

[0020] 所述的一种间膨式PVT辅助地源热泵系统的运行方法,包括:

[0021] 1) 统计负荷侧历史电热冷负荷和天气数据制作数据集;

[0022] 2) 根据历史电热冷负荷和天气数据确定在以维持土壤温度的目标下,下一年度每月各设备与土壤的热交互量与最终土壤温度的月度策略;

[0023] 3) 根据天气预报和历史数据生成下一日用户负荷预测数据;

[0024] 4) 根据预设的系统数学模型和电热冷负荷预测数据,以及该月的月度策略,获取下一日系统运行策略;

[0025] 5) 根据运行策略调整系统的运行模式,并更新该月份的月度策略。

[0026] 本发明至少具有如下有益的技术效果:

[0027] 本发明提供的一种间膨式PVT辅助地源热泵系统,通过光伏光热(PVT)技术实现高效的热电联供,以提高太阳能在有限空间内的综合利用效率,能够充分发挥清洁、可再生能源的优势,这对于解决城市环境和有限空间建筑所面临的空间限制问题具有重要意义;将PVT阵列与热泵机组间接热耦合连接,能够降低季节和天气因素影响,提高系统运行稳定性;此外,将PVT阵列输出的低品位热能注入土壤,实现了对地热能的可持续维护,通过这一设计,成功克服了地源热泵长期运行导致的土壤温度下降和制热效率衰减的问题,从而降低了热泵机组的电能耗费和供能过程中的碳排放量,并且显著提升系统的运行稳定性。

[0028] 本发明提供的一种间膨式PVT辅助地源热泵系统的运行方法,在以系统经济性最优的目标下,综合考虑光照强度、土壤温度、负荷等因素以及系统中各设备的运行约束,精细化计量土壤热交换量对土壤温度的影响,并考虑地埋管阵列根据季节和负荷的分区运行,从而确定各时段系统的运行模式以及各设备具体的运行功率,有效提高系统的运行效率,降低系统的运行成本;相比于传统控制方法中的定时或定温控制策略,本发明提供的运行控制方法能够更加真实充分地考虑系统运行的物理过程,并提供更多运行优化空间。

附图说明

[0029] 图1为本发明一种间膨式PVT辅助地源热泵系统的结构框图。

[0030] 图2为本发明一种间膨式PVT辅助地源热泵系统的运行方法的流程图。

[0031] 图3为本发明一种间膨式PVT辅助地源热泵系统在PVT向土壤灌热模式下的示意图。

[0032] 图4为本发明一种间膨式PVT辅助地源热泵系统在PVT与地埋管共同向热泵机组供热的制热模式下的示意图。

[0033] 图5为本发明一种间膨式PVT辅助地源热泵系统在地埋管单独向热泵机组供热的制热模式下的示意图。

[0034] 图6为本发明一种间膨式PVT辅助地源热泵系统在热泵机组单独向地埋管灌热的热泵制冷模式下的示意图。

[0035] 附图标记说明:

[0036] 1-PVT集热/蒸发装置;2-电网;3-第一循环水泵;4-第一四通阀;5-第二循环水泵;6-第二四通阀;7-地埋管阵列;8-第一三通阀;9-第二三通阀;10-电子膨胀阀;11-压缩机;12-热泵机组;13-第三三通阀;14-第四三通阀;15-第一截止阀;16-第二截止阀;17-第三截止阀;18-第四截止阀。

具体实施方式

[0037] 下面将参照附图更详细地描述本公开的示例性实施例。虽然附图中显示了本公开的示例性实施例,然而应当理解,可以以各种形式实现本公开而不应被这里阐述的实施例所限制。相反,提供这些实施例是为了能够更透彻地理解本公开,并且能够将本公开的范围完整的传达给本领域的技术人员。需要说明的是,在不冲突的情况下,本发明中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。下面将参考附图并结合实施例来详细说明本发明。

[0038] 本发明通过设计PVT阵列与热泵机组之间的间接热耦合连接,并将PVT阵列输出的热能灌入土壤,降低气温、光照强度等环境因素对系统性能的影响,实现了PVT辅助地源热泵系统的稳定运行;同时,精细化计量土壤热交换量对土壤温度的影响,并考虑地埋管阵列根据季节和负荷的变化进行分区运行,通过控制阀门组的状态切换系统运行模式,合理分配地热能的灌热和使用,保持地热能的可持续性,从而保证PVT辅助地源热泵系统高效、稳定运行,进而降低一次能源的消耗。

[0039] 第一方面,如图1所示,本发明提供一种间膨式PVT辅助地源热泵系统,系统设备包含:PVT集热/蒸发装置1、板式换热器、地埋管阵列7、由蒸发器、冷凝器、电子膨胀阀10以及压缩机11组成的热泵机组12、电锅炉,储热和储冷水箱以及多个阀门,按照功能可分为PVT热电联供模块、地热能模块、热泵机组模块、辅助制热模块和用户供热与供冷模块。

[0040] (1) PVT热电联供模块:包括PVT集热/蒸发装置1、板式换热器、第一循环水泵3和逆变器;第一循环水泵3分别连接PVT集热/蒸发装置1和板式换热器,板式换热器的安装主要是为了将地热能模块与PVT热电联供模块分开,在PVT热电联供模块中,PVT集热/蒸发装置1内部使用乙二醇与水的混合液体(具体比例根据工作环境温度确定),而在地热能模块中,地埋管阵列7内流动的工质为水,板式换热器的作用是在两个液压回路之间提供缓冲,以确保在两个子系统中可以实现不同的流量控制;此外,由于地埋管阵列7规模较大,其内部工质总流量相对较大,通过板式换热器可以显著减少乙二醇的使用量,这不仅有助于减少乙二醇泄露的风险,同时也能有效控制系统的运行成本;并且通过板式换热器将PVT阵列与热泵机组的间接热耦合连接,能够降低气温、光照强度等环境因素对系统能效的影响,降低系统模式切换频率,实现系统的稳定运行;PVT集热/蒸发装置1还通过利用将光生伏特效应将太阳能转换为直流电能,通过逆变器将直流电能转换为交流电能,该部分电能可以直接供给到系统中其他设备,也可以将多余的电能通过逆变器接入电网2。

[0041] (2) 地热能模块:地埋管阵列7用于与土壤中进行热量交互,地埋管阵列7设置有多个,多个地埋管并联布置,具体根据用户需求设置数量,并且地埋管阵列可以通过控制第一截止阀15、第二截止阀16、第三截止阀17以及第四截止阀18的开断实现地埋管的分区运行;所述地埋管阵列7的出水口通过第二四通阀6相连,入水口与第二循环水泵5相连,根据负荷工况、天气状况、PVT集热/蒸发装置1出水温度以及土壤温度控制第一四通阀4和第二四通阀6来切换系统的运行模式。

[0042] (3) 热泵机组模块:热泵机组12由与PVT热电联供模块的板式换热器、地热能模块的地埋管阵列7连接的蒸发器、电子膨胀阀10、与保温储能水箱(储热或储冷水箱)相连的冷凝器以及压缩机11组成。

[0043] (4) 辅助制热模块:电锅炉用于在电价低、末端负荷高、土壤温度低或者地源热泵故障情况下,加热储热水箱以满足供热需求,以及在非供暖季且电价低或PVT热电联供模块输出电能富余的情况下向土壤灌热,以维持土壤热平衡

[0044] (4) 用户供热与供冷模块:分别通过储热水箱和储冷水箱向用户末端供热和供冷。

[0045] 第二方面,如图2所示,本发明还提供一种上述的间膨式PVT辅助地源热泵系统的运行方法,本方法集中控制系统中热泵机组12的运行功率,地热能模块与PVT热电联供模块以及与热泵机组模块连接的第一四通阀4,第二四通阀6,地热能模块与辅助制热模块连接的第一四通阀4,第二四通阀6,第一三通阀8和第二三通阀9,用于控制地埋管阵列分区运行

第一截止阀15,第二截止阀16,第三截止阀17和第四截止阀18以及其热交换量,根据系统的物理设备和运行方式建立优化模型。

[0046] a) 系统数学模型

[0047] 整体控制调度的目标是在满足用户负荷需求的前提下,尽可能多的降低运行成本,所以目标函数为:

$$[0048] \quad \min obj = \sum_{i=1}^N (\lambda_i^{pur} \cdot p_i^{pur} - \lambda^{sol} \cdot p_i^{sol}) \quad (1)$$

[0049] 其中 λ_i^{pur} , λ^{sol} 分别是第i时刻的买电价格和卖电价格; p_i^{pur} , p_i^{sol} 分别是i时刻的买电,卖电量;买卖电量的单位是kWh;

[0050] 模型约束条件包括能量平衡约束和设备运行约束;能量平衡约束包括电能平衡,热能平衡和冷却能平衡;能量平衡约束指间膨式PVT辅助地源热泵系统设备供应的能量和系统消耗的能量应当守恒;系统中供电设备和供电方式包括:PVT集热/蒸发装置1供电以及电网2购电;耗电设备和耗电方式包括:用户组团电负荷,热泵机组12耗电,电锅炉耗电,以及第一循环水泵3和第二循环水泵5耗电;系统中供热设备包括:电热锅炉,热泵机组12,以及储热水箱,系统中用热方式为用户组团热负荷;系统中制冷设备包括:热泵机组,系统中用冷方式为用户组团冷需求;设备运行约束为系统中设备能量传递和能量转换过程的数学描述,包括PVT热电联供约束,热泵机组制热量或制冷量与电功率的约束,电锅炉制热量与电功率的约束,通过地理管与土壤热交换热量约束,土壤温度随地理管与土壤交换热量而变化的约束以及储能约束;其中PVT热电联供约束为:

$$[0051] \quad p_i^{pvt} = n^{pvt} I_i \tau^g \alpha^{pv} \eta_i^{e,pvt} \quad (2)$$

$$[0052] \quad \eta_i^{e,pvt} = \eta^{rc} \cdot [1 - \beta^{pv} \cdot (t_i^{pvt} - T^{rc})] \quad (3)$$

$$[0053] \quad g_i^{pvt,total} = n^{pvt} I_i \tau^g \alpha^{pv} (1 - \eta_i^{e,pvt}) \quad (4)$$

$$[0054] \quad g_i^{pvt,total} \geq g_i^{pvt,ghe} + g_i^{pvt,loss} \quad (5)$$

$$[0055] \quad g_i^{pvt,loss} = n^{pvt} U^{loss} \cdot (t_i^{pvt} - T_i^a) \quad (6)$$

[0056] 其中 p_i^{pvt} 为i时刻PVT集热/蒸发装置1的发电量, n^{pvt} 为PVT阵列的面积, I_i 为i时刻的太阳辐射强度, τ^g , α^{pv} 分别为PVT外层玻璃盖板的透射率和光伏板的吸收率, $\eta_i^{e,pvt}$ 为i时刻对应的PVT集热/蒸发装置1发电效率,并且其发电效率随PVT板温度线性下降, T^{rc} , η^{rc} , β^{pv} 分别为参考温度,参考温度对应的发电效率,以及光伏板发电的温度系数, $g_i^{pvt,total}$ 为i时刻对应PVT集热/蒸发装置1的发热量, $g_i^{pvt,ghe}$, $g_i^{pvt,loss}$ 分别为i时刻PVT集热/蒸发装置1向地理管阵列7的灌热量和PVT集热/蒸发装置1与周围环境的热量损失, U^{loss} 为PVT集热/蒸发装置1与周围环境的热损失系数。

[0057] 为精细化计量土壤热交换量对土壤温度的影响,更加合理地分配地热能的使用与灌热,根据地理管阵列7的钻孔特征,预先求得地理管阵列7钻孔壁温度 t^b 随阶跃热流变化 Δg^{ghe} 的无量纲温度相应系数,并用 $G(\cdot)$ 表示,并考虑i时刻钻孔壁温度 t_i^b 受到i时刻之前所有阶跃热流变化的共同影响,具体由下式表示:

$$[0058] \quad t_i^b = t_i^g - \frac{1}{2\pi\kappa nL} \sum_{j=1}^i [(g_j^{ghe} - g_{j-1}^{ghe})G(i-j+1)] \quad (7)$$

[0059] 其中 t_i^g , t_i^b 分别代表远端未受干扰土壤温度和i时刻地埋管阵列7钻孔壁温度, κ , n , L 分别代表土壤热导率, 地埋管数量以及单个地埋管的深度, $G(\cdot)$ 为温度响应系数, 与地埋管阵列7的几何参数和时间有关, 并且将i时刻地埋管阵列7钻孔壁温度近似为i时刻的土壤温度; 因此通过上式可以由i时刻之前, 每一时刻地埋管阵列7与土壤的热交换量获得i时刻对应的地埋管管壁温度, 即土壤温度。

[0060] 而i时刻地埋管阵列与土壤热交换热量由 g_i^{ghe} 表示, 即i时刻与土壤交换的净热量, 若 g_i^{ghe} 为正, 表示i时刻地埋管阵列从土壤中取热, 否则表示向土壤中灌热, 具体由下式约束表示:

$$[0061] \quad g_i^{ghe} = g_i^{ghe, hp} - g_i^{hp, ghe} - g_i^{eb, ghe} - g_i^{pvt, ghe} \quad (8)$$

[0062] 其中 $g_i^{ghe, hp}$, $g_i^{hp, ghe}$, $g_i^{eb, ghe}$, $g_i^{pvt, ghe}$ 分别为i时刻地埋管阵列7给热泵机组12, 热泵机组12给地埋管阵列7, 电锅炉给地埋管阵列7和PVT集热/蒸发装置1给地埋管阵列7的热量。

[0063] b) 系统运行模式

[0064] i) PVT向土壤灌热模式: 如图3所示, 当PVT集热/蒸发装置1的输出温度 $t_i^{pvt, out}$ 比土壤温度 t_i^b 高3℃及以上, 且热泵机组12处于关闭时, PVT集热/蒸发装置1利用板式换热器, 将其输出的热能通过地埋管阵列7灌入土壤; 此时通过调整第一四通阀4和第二四通阀6, 使得板式换热器与地埋管阵列7通过第二循环水泵5接通, 并绕过热泵机组12, 以实现PVT集热/蒸发装置1向土壤灌热; 此外, 若为夏季, 则只打开第三截止阀17和第四截止阀18, 只给部分地埋管阵列7灌热, 若为其他季节, 则打开第一截止阀15、第二截止阀16、第三截止阀17和第四截止阀18, 向全部地埋管阵列7灌热;

[0065] ii) PVT与地埋管共同向热泵机组供热的制热模式: 如图4所示, 当PVT集热/蒸发装置1的输出温度 $t_i^{pvt, o}$ 比土壤温度 t_i^{soil} 高3℃及以上, 并且热泵机组12处于制热模式时, 通过调整第一四通阀4和第二四通阀6, 接通板式换热器, 地埋管阵列7以及热泵机组12的蒸发器, 实现PVT集热/蒸发装置1与地埋管阵列7共同向热泵机组供热;

[0066] iii) 地埋管单独向热泵机组供热的制热模式: 如图5所示, 当太阳辐射强度较弱, PVT集热/蒸发装置1的输出温度未达到向土壤灌热的温度, 通过调整第一四通阀4和第二四通阀6, 接通地埋管阵列7与热泵机组12的蒸发器, 实现地埋管阵列7向热泵机组12供热;

[0067] iv) 热泵机组单独向地埋管灌热的热泵制冷模式: 如图6所示, 当太阳辐射强度较弱, PVT集热/蒸发装置1的输出温度未达到向土壤灌热的温度, 通过调整第一四通阀4和第二四通阀6, 接通地埋管阵列7与热泵机组12的冷凝器, 实现热泵机组12向土壤灌热的热泵制冷模式; 此外在该模式下, 只打开第一截止阀15和第二截止阀16, 降低PVT灌热对热泵制冷效率的影响。

[0068] 此外, 根据峰谷电价、土壤温度以及负荷需求的实际情况, 在以上模式中均可能存在通过调整第一四通阀4、第二四通阀6、第一三通阀8以及第二三通阀9, 借助电锅炉通过地埋管阵列7向土壤灌热辅助灌热和电锅炉向末端供热的情况。

[0069] 负荷预测与模型求解

[0070] 确定了间膨式PVT辅助地源热泵系统模型的目标函数和约束条件之后,使用基于场景生成的多目标优化方法对模型进行求解。第一步,统计负荷侧历史热电冷负荷和天气数据制作数据集;第二步,根据以往的气候和负荷的历史数据,确定在维持地热能多年可持续运行的约束下,下一年度每月各设备与土壤的热交互量与最终土壤温度的月度策略,以在下一年度系统具体运行时提供短期系统运行策略依据;第三步,在系统实际运行时,预估每天负荷侧的电热冷负荷数据,具体方法为根据以往的气候和历史数据进行预测和负荷数据,将下一日天气预报中的温度,湿度,风速,和下一日冷热电负荷的预测峰值和预测均值作为数据特征生成负荷数据;第四步,根据间膨式PVT辅助地源热泵系统数学模型和负荷侧的电热冷负荷预测数据以及该月的月度策略,获取下一日系统运行策略求解下一日设备运行策略;最后,根据该模型提供的具体各设备的运行策略以及与土壤的热量交互策略,按照该策略调整间膨式PVT辅助地源热泵系统的运行模式以及设备相应参数和功率,并更新该月份的月度策略。

[0071] 虽然,上文中已经用一般性说明及具体实施方案对本发明作了详尽的描述,但在本发明基础上,可以对之作一些修改或改进,这对本领域技术人员而言是显而易见的。因此,在不偏离本发明精神的基础上所做的这些修改或改进,均属于本发明要求保护的范围。

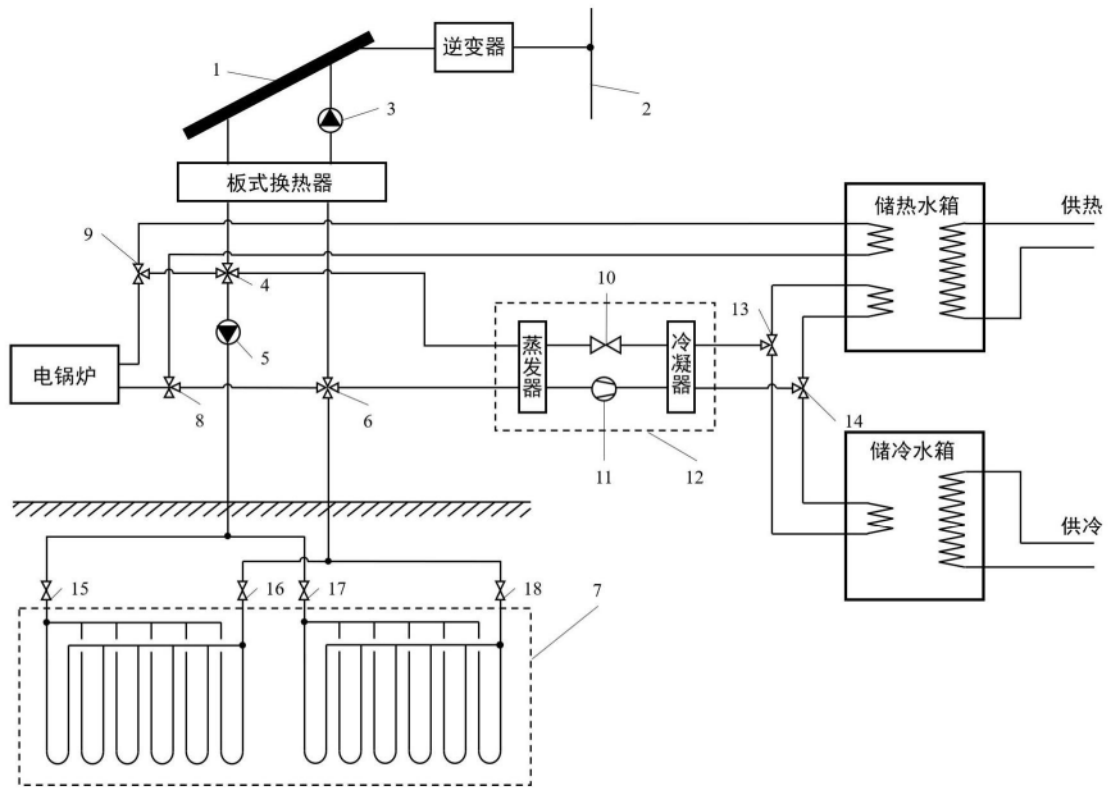


图1

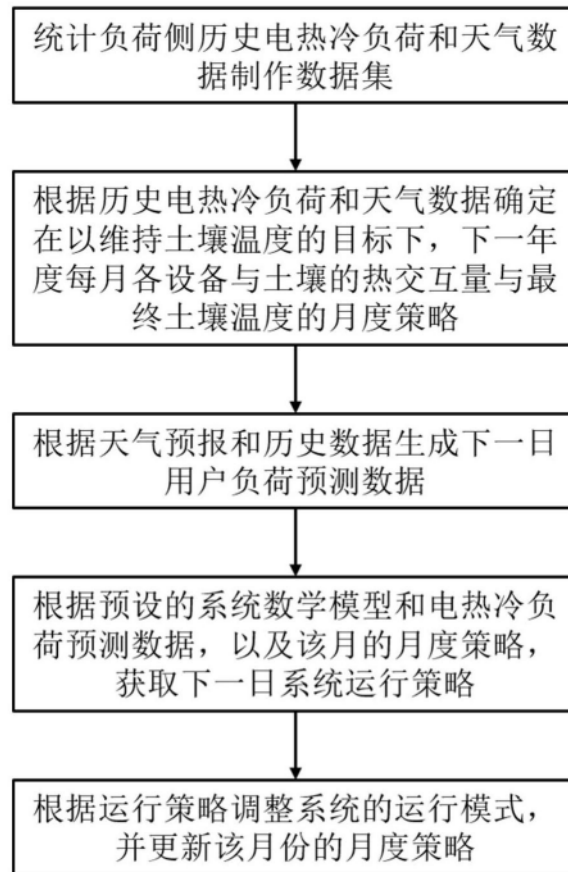


图2

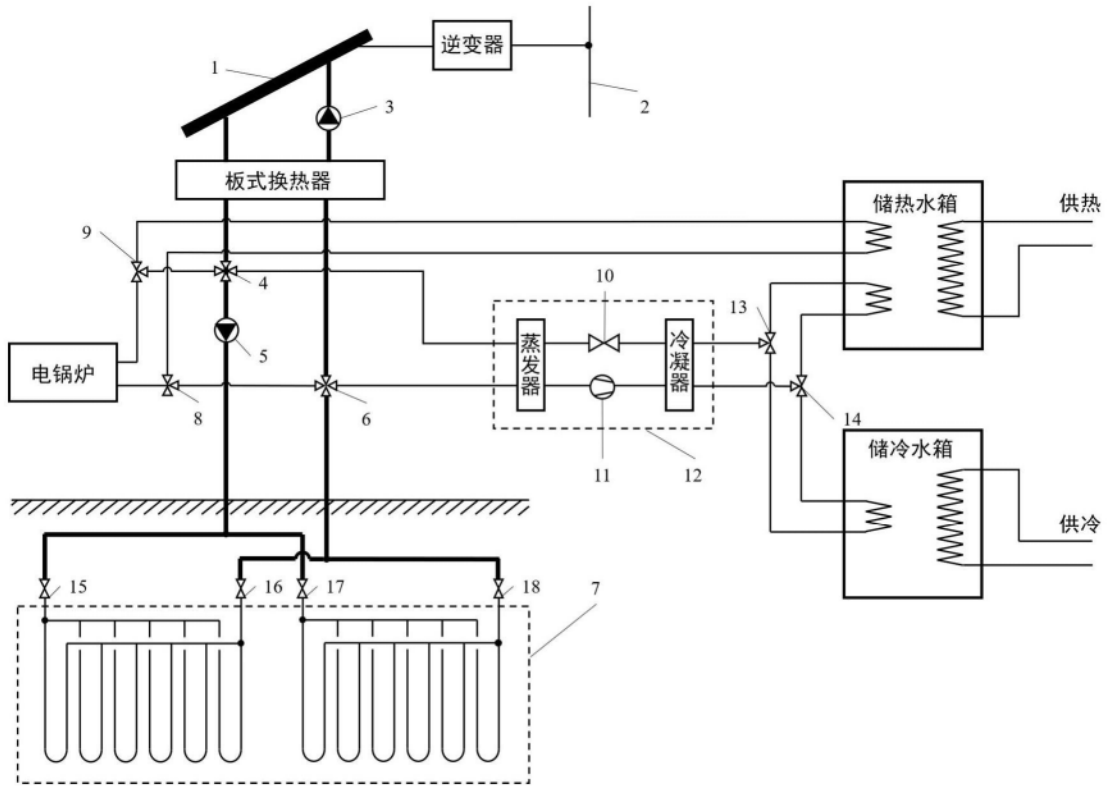


图3

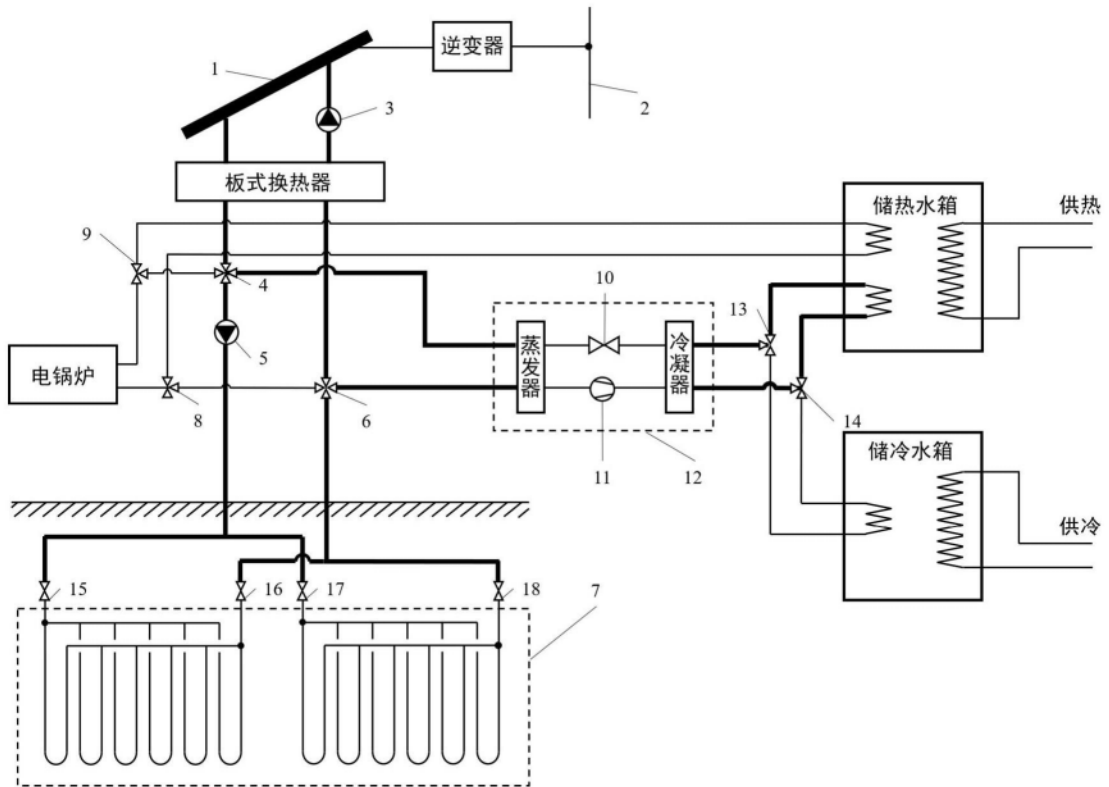


图4

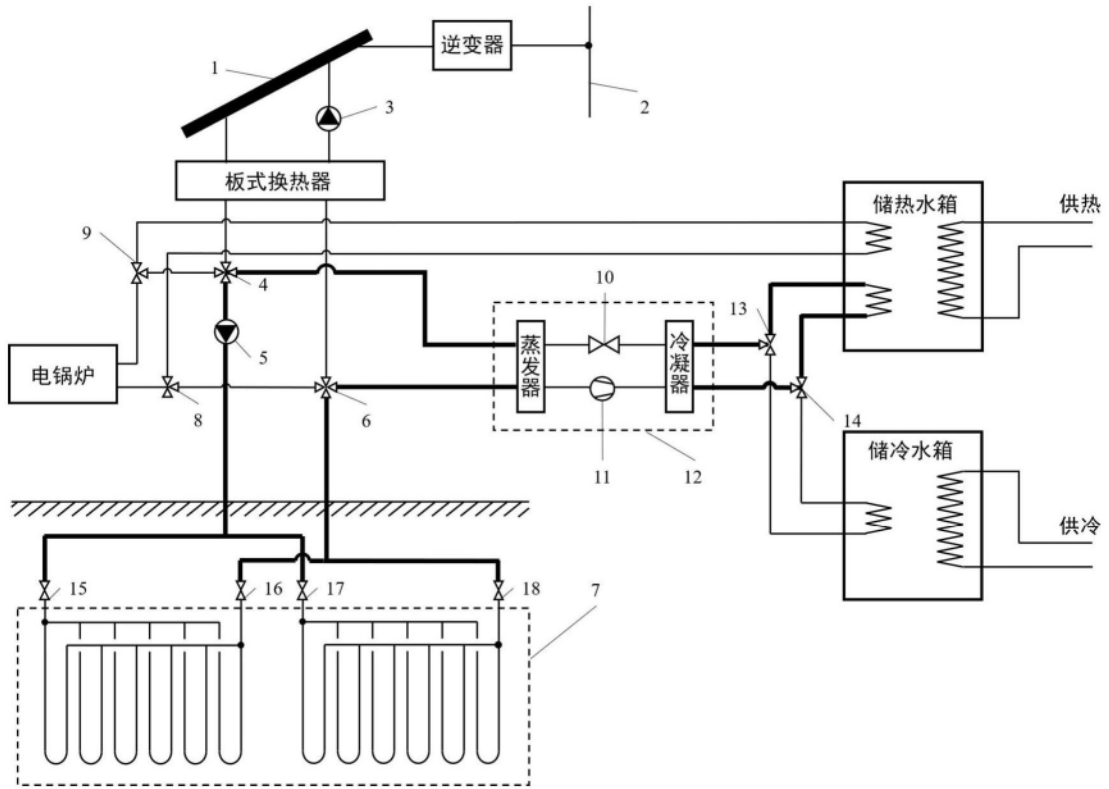


图5

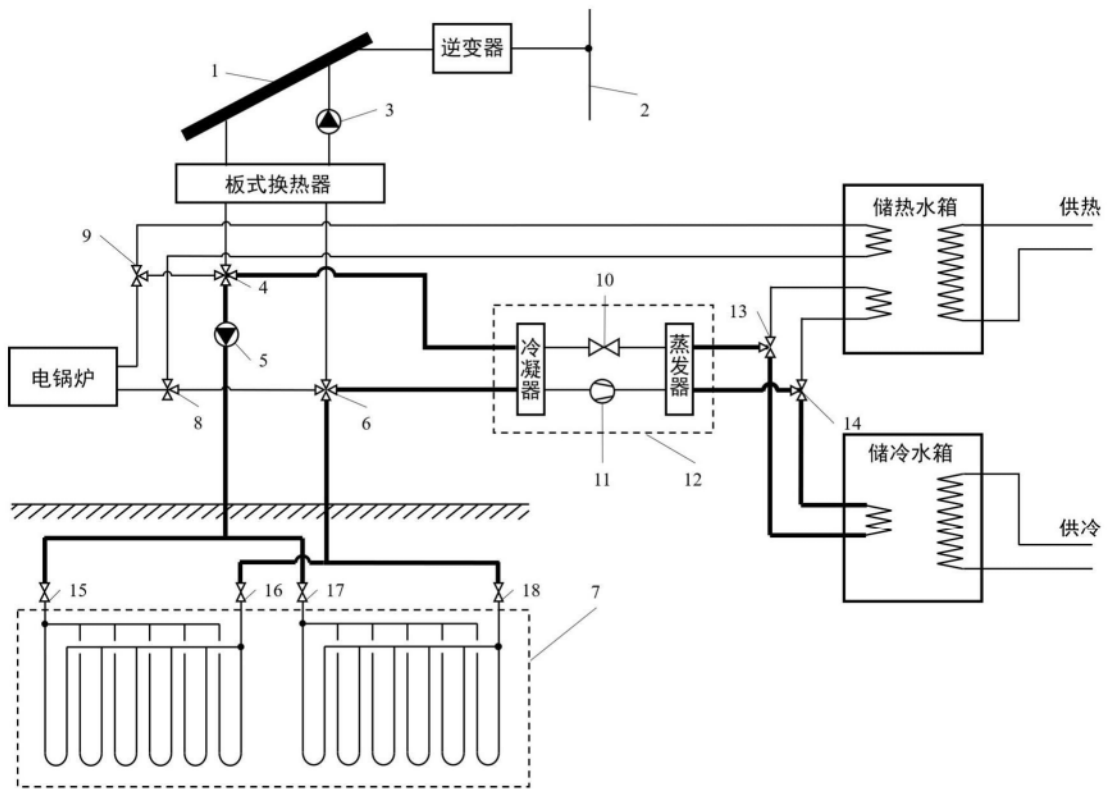


图6