

可再生能源应用

河北省的供暖时间为每年 11 月 1 日—次年 3 月 31 日，总计 153 天。
获取石家庄市典型气象年的相关气象数据。

1 方案选择

对整个建筑的热负荷进行模拟计算后，为保证采用清洁能源，此农房有两种常见供暖末端形式的对比。

1.1 末端选取

表 1 常见供暖末端形式的对比表

	优点	缺点
地板辐射 (主) +散热器	空气对流减弱，有较好的空气洁净度； 与其他供暖方式相比，较为节能，节能幅度约为 10%~20%； 有利于屋内装修，增加 2%~3%的室内使用面积； 有利于隔声和降低楼板撞击声； 地板辐射采暖供回水温度相对较低，对于热源的匹配度较好，更有利于配合热源侧方案选取。	设定温度不能太高，否 则会大大降低输送管道的使用寿命。对于埋管复杂的区域、地面面积不满足敷设管线条件时，往往要借助其他形式的敷设设施。
空调采暖	可以在冬季加热取暖也可以在夏季制冷降温。	制热效果差。吸顶空调送风口安装在墙顶，而热空气又是往上走的，所以吸顶式空调制热效果不尽如意； 舒适度低。由于空调是依靠热风强吹到屋面的中下部，热量分布不均匀，上热下凉。

针对上文提出的空调采暖和辐射采暖方案，对采用空调，散 热器，地暖房间的室内热环境进行分析，探究其舒适性，其中，地板辐射采暖房间的热分层现象不明显，温度偏差较小；空调采暖的热分层现象显著，呈现出“头重脚轻”的分布情况；散热器采暖房间热风层较为明显。在稳态工况下，室内热环境舒适性排序为：地暖>散热器>空调。

同时对采暖房间间歇运行时的不同高度的温度变化进行研究。地暖房间的不同高度的温度差值很小，且间歇运行时温度波动不明显；空调房间温度分布随着高度有明显的分层，2.5m 与 0.1m 处温度相差 5℃；散热器房间的温度分布存在比较明显的分层，但在间歇运行时的波动较小。在间歇运行时，室内热环境舒适性排序为：地暖>散热器>空调。

地板辐射采暖的室内设计温度比散热器低 2℃，空调采暖相反高 2℃，采用地板辐射采暖可以实现负荷侧供热量的减少，间接的提高热源侧能源的利用率。由于本次设计偏向于供热系统热源方案的比较与选取。综上所述，全部热源方案所使用的末端都选用地板辐射（主）的采暖形式。

1.2 周边能源条件

1.2.1 太阳能

我国属太阳能资源丰富的国家之一，全国总面积 2/3 以上地 区年日照时数大于 2000 小时，年辐射量在 5000MJ / m2 以 上。我国太阳能分布情况如图 3-2。

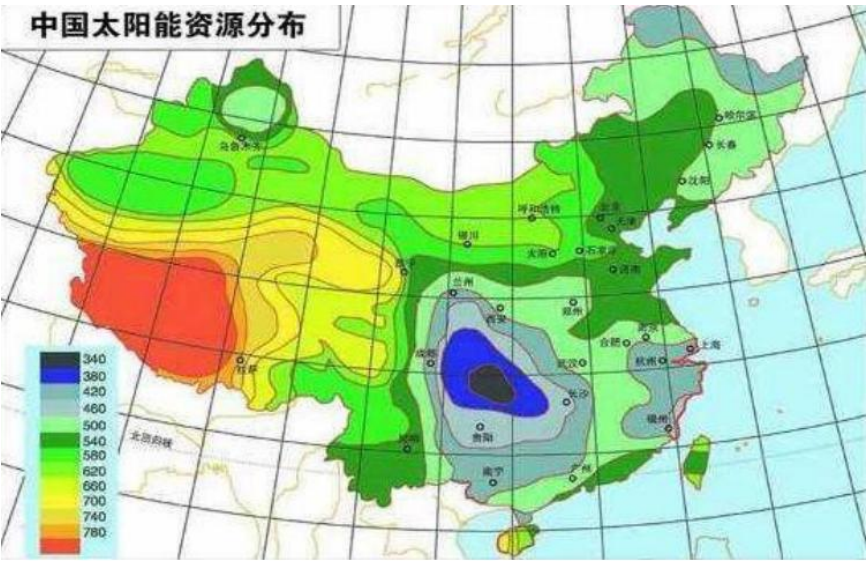


图 1 我国太阳能资源分布图

根据国家气象局风能太阳能评估中心划分标准，我国太阳能 资源地区分为四类，河北省太阳能资源较富带(二类地区)，全年辐射量在 5400~6700MJ/m2 ，相当于 180~230kg 标准 煤燃烧所发出的热量，在 2009-2016 年，年平均太阳总辐射量偏低，为 5101.8 MJ/m²。年均日照小时数为 3000h。



图 2 河北省日照时间图

我国不同地区太阳能的辐射量与日照时间相差很大，而对于一、二类地区，数据见表 2。

表 2 我国太阳能的辐射量与日照时间表

地区类别	包含地区	年辐射量（kW·h/m2·a）	年日照时间（h/a）
------	------	-----------------	------------

一类地区	宁夏省北部、新疆自治区南部、甘肃省北部、西藏自治区西部；	1855-2333	3200-3300
二类地区	河北省的北部、山西省的北部、内蒙古的南部、宁夏的南部、甘肃省的中部、青海省的东部、西藏的东南部	1625-1855	3000-3200

通过以上论述可知，河北省的光照时间较长，年辐射量较多，在整个河北是太阳能资源相对比较丰富的地区，所以此次设计可以考虑太阳能。

1.2.2 电力资源

建筑周边具有市政电网，能提供稳定的三相电压 380V 交流电，电价收费标准如下表 3。

表 3 电价收费标准表

时段	计费时间	收费标准（元/kW·h）
高峰时段	8:00-11:00； 18:00-23:00	1.2329
平谷时段	7:00-8:00； 11:00-18:00	0.7583
低谷时段	23:00-7:00	0.3432

1.2.3 风能

河北省的风能资源得天独厚，是蒙古高原冷空气进入华北平原的主要气流通道。坝上地区风资源储量达 1700 万千瓦以上；坝下地区储量约 300 万千瓦；年平均有效风速时间在 6000 小时以上，为全国风能富集区，本次设计考虑风能的利用。

1.2.4 空气

由于采用地板辐射采暖，空气源热泵也是非常好的选择，空气源热泵机组可以放在室外节省了机房的空間，冷源热源同一机组，也是方便了夏天使用空调，当然供暖末端使用的地暖，所以夏季还需要设置一套空调水系统。但是总所周知空气源热泵最大的缺点就是，随着室外温度的降低，机组的运行能耗增加且制热量随之下降即制热量与建筑热负荷随室外温度的变化规律刚好相反，可以适当的空气源热泵并搭配辅助热源，能够缓解此不足。并且机组还需要逆向循环除霜，会出现供热不足的情况，同样也需要采用辅助热源来帮助空气源热泵，两者联合运行完成供热。

1.3 方案初选依据

结合河北省当地地理位置情况以及气候特征，再加之建筑负荷特点和建筑功能需求，以资源形式来确定系统组合范围以满足建筑负荷特点，再以其他地区优秀设计案列为依据对系统方式进行合理的组合。

综合以上各种资源形式，总结出如下冷热源方案：

表 4 方案初选表

方案一	空气源热泵+蓄热电锅炉
方案二	太阳能蓄热+蓄热电锅炉
方案三	风力发电+蓄热电锅炉

方案一：空气源热泵+蓄热电锅炉

本次设计方案中，大部分房间设以地板辐射供暖，其设计供 回水温度 40/30℃，采用空气源热泵可满足以上条件，一般 空气源热泵在温度环境低于 5℃后，机组效能开始衰减，一 般在-5℃下几乎都不能使用，而河北省冬季平均气温是-10.0℃~1.0℃，白天平均 1.0℃，及在夜间容易达不到供暖需求，结合空气源热泵在冬季供暖时的不足，辅之以蓄热电锅炉，在室外空气温度较低时，采取市政供暖，承担热负荷，且空气源热泵高效运行时段较高，其利用清洁能源供暖，在供热初期和末期，室外环境温度相对较高，此时空气源热泵 COP 性能较高，结合经济性分析，可得出空气源热泵供暖与蓄热电锅炉的权重比；而在供暖中期，室外环境温度的降低，空气源热泵 COP 性能会下降，此时需调整空气源热泵供暖与蓄热电锅炉的权重比，从而达到供暖需求，故该种方案可以予以考虑。

方案二：太阳能蓄热+蓄热电锅炉

由于上述太阳能不足，因此可以考虑利用太阳能光热蓄热， 并辅之以蓄热电锅炉，以满足夜间因太阳能无法使用时的热 负荷，且根据《公共建筑节能设计标准》（GB50189-2015） 中关于冷热源的规定，符合可以利用低谷电进行蓄热，且电 锅炉不在用电高峰和平段时间启用的空调条件的项目以外， 允许采用电直接加热设备作为供暖热源。方案可行故加以考虑作为备选。

方案三：风力发电+蓄热电锅炉

此方案利用蓄热水箱来承担全部冬季热负荷，蓄热式电锅炉房运行方式分为全谷电运行方式和谷电+平电运行方式，由于本项目谷电时间较长，且采暖负荷相对较小，故选用全谷电运行。由于当地有充足的风能，且根据《公共建筑节能设计标准》（GB50189-2015）中关于冷热源的规定，利用可再生能源发电，且其发电量能满足自身电加热用电量需求的建筑，允许采用电直接加热设备作为供暖热源，因此使用风能发电以带动蓄热电锅炉，因小型风力发电机可摆放台数受场地制约，产生的电能不足以承担全部热负荷，故剩余热负荷采用全谷电市政电网以带动蓄热电锅炉。因此可考虑该种方案作为供暖热源。

1.4 方案模糊优选模型

本次设计通过建立热源方案模糊优选模型进行方案分析，总结在热源方案选择较为重要的指标和影响因素，并且根据其重要程度分配权重。根据计算得到各方案的相对优越度，作为方案的综合评价指标，从而选出最优方案。

1.4.1 模糊优选模型评价目标

在冷热源方案的选择中主要考虑的因素一般有以下几点：

1. 初投资。不同冷热源方案的初投资有较大差别，在选择方案时应进行仔细的分析比较。

2. 运行费用。其中包括运行能耗，运行管理费，设备维修费等。空调运行能耗在建筑能耗中占有很大比例，空调运行过程中的管理员工资、设备故障维修费等都是应该在冷热源选择时考虑的因素。

3. 环境影响。为了解决环境污染问题，保护环境已经成为我国的一项基本国策。

4. 运行的可靠性、安全性、操作维护的方便程度、使用寿命。

5. 机房面积。

6. 增容费。各城市根据其发展情况以及地理位置，对不同能源设定不同的增容费，而且数量一般也是比较大，因此也是项重要的考虑因素。

1.4.2 模型建立

经过上述分析可知，此次热源方案的选择是一个多目标影响的决策问题，因此要考虑其中不同评价目标的不同评价方式。该系统有 5 个评价目标，4 个定量评价目标均为越小越优。

方案 x 的目标相对优越度向量： $F(x) = (f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x), f_5(x))$ 。

各评价目标的权重向量：

$$Z = (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5)^T, \sum_{i=1}^5 w_i = 1$$

则方案综合评价指标为： $Y = ZF(x)$

定性目标通过进行二元比较确定，若方案 i 相对于方案 j 具有绝对的优越性，则模糊优越度为 1，若同样优越，则优越度为 0.5。而在此次设计中，各方案之间的设备运行可靠性，安全性等都没有绝对的优越性，因此优越度均为 0.5。

1.4.3 评价目标的权重分配

在该模型中共有 5 个评价目标，各目标的权重通常采用二元对比法，同时还需结合专家分析法确定。由于时间与条件限制，本次设计引用陆亚俊等计算得出的权重数据对此设计进行权重分配，具体权重分配如下。

表 5 评价目标权重分配

评价目标	全生命周期费用	能耗	CO2 排放量	机房面积	设备运行可靠性安全性等
权重	0.6	0.075	0.075	0.1	0.15

1.5 经济性分析

经济性分析主要从方案初投资和运行费用两个方面综合考量各方案的经济效益。初投资主要包括设备费、安装费（含材料费）以及人工费等，设备费仅考虑主要热源设备的费用。运行费用主要考虑能耗费，其余费用不考虑。

1.5.1 空气源热泵+蓄热电锅炉

板式换热器

本次选取板式换热器是应注意，使用虽然是用来补充空气源热泵在室外温度相对较低的情况下的热负荷，或者夜间人员较少时的热负荷，但是由于在供暖季最冷月时间段内，可能需要板换承担全部符合，所以选取型号应该按照最大热负荷选取（取板换传热系数为 5000 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ）根据板式换热器的估算公式。

$$\Delta t = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{\ln \frac{t_{\max}}{t_{\min}}}$$

$$A = \frac{Q}{q \cdot \Delta t}$$

式中：

$t_{\max}$ —换热最大温差，℃；

$t_{\min}$ —换热最小温差，℃；

Q —建筑热负荷，kW；

q —传热系数， $W(m^2 \cdot ^\circ C)$ ；

A —传热面积， m^2 ；

Δt —对数平均温差，℃。

计算得出板式换热器总的传热面积为 $0.2m^2$ 。

表 6 蓄热式电锅炉运行方式

时段	运行方式
23:00-7:00(低谷电时段)	开启电锅炉，将蓄热水箱的水加热至 90℃，同时向用户供热。
7:00-23:00(平、峰电时段)	关闭电锅炉，用蓄热水箱中的热水向用户供热

水泵计算:根据水泵估算公式

$$G = 0.86 \times Q / (t_1 - t_2)$$

式中：

Q —总建筑热负荷，kW；

t_1 —供水温度，℃；

t_2 —回水温度，℃。

$$H_{max} = \Delta p_1 + \Delta p_2 + 0.05L(1 + k)$$

Δp_1 —设备侧水压降， mH_2O ；

Δp_2 —环路并联最不利水压损失， mH_2O ，这里取最远处末端估算出的最不利水压损失；

L —最不利管长，这里取最远处末端估算出的管长；

K —最不利环路中局部阻力当量长度和与直管总长的比值，最不利环路长度较长取 0.2。

通过计算出总的地暖水泵需要总流量为 1.9m3/h，扬程为 3mH₂O，此后水泵的选型依据均为此处公式，下面不再赘述。

蓄热电锅炉的计算：

蓄热式电锅炉房运行方式分为全谷电运行方式和谷电+平电运行方式，由于本项目谷电时间较长，且采暖负荷相对较小，故选用全谷电运行。蓄热电锅炉水箱采用太阳能蓄热水箱，不另设置水箱，采用太阳能供热的建筑，夜间利用低谷电进行蓄热补充，且蓄热式电锅炉不在日间用电高峰和平段时间启用，这种做法有利于减小昼夜峰谷，平衡能源利用。查询资料得蓄热电锅炉蓄热量为 24kW 初投资

表 7 空气源热泵+蓄热电锅炉设备成本

序号	名称	型号	规格	单价	台	总价
----	----	----	----	----	---	----

				(万元)	数	(万元)
1	空气源热泵	RE-200J7U1	制热量: 7kW 制热功率: 2kW	0.7	2	1.4
2	板式换热器	LABR-15-5-1. 6-N-E	换热面积: 0.5 ²	0.05	2	0.1
3	地暖水泵	CPM-146-370	流量: 3m ³ /h 扬程: 16m 功率: 0.37kW	0.03	1	0.03
4	缓冲水箱		容积: 1m ²	0.06	1	0.06
5	蓄热电锅炉	HRBGL2	额定功率: 24kW	0.3	1	0.3
合计						1.89

表 8 空气源热泵+蓄热电锅炉初投资

费用类型	计价依据	计算过程	费用（万元）
设备成本	热源	见上表	1.89
安装费用	设备费用×0.15	1.89×0.15	0.28
人工费用	200 元/工日	200×10/10000	0.2
初投资			2.37

运行费用:

根据机组不同时间段不同制热量汇总出在平谷时段和高峰时段空气源热泵的总制热量和总耗电量，详见下 3-10。

表 9 空气源热泵能耗

室外温度 (℃)	平制热量 (kW·h)	平能耗 (kW·h)	峰制热量 (kW·h)	峰能耗 (kW·h)
-5~0	541.5	220.0	611.7	230.7
0~5	653.7	233.1	528.9	188.5
5~10	564.0	168.9	276.1	82.7
10~15	130.0	42.5	20.0	5.2
总计	1889.2	664.5	1436.7	507.1

根据上述空气源热泵所计算出的总制热量，建筑剩下热量全部由市政热网通过板换补充热量

$$Q_1 = 8657.8 - 1889.2 - 1436.7 = 5331.9kW \cdot h$$

表 10 空气源热泵+蓄热电锅炉运行费用

设备	运行费用：机组运行能耗×单价（分时）	合计(万元)	数量(台)	总计(万元)
空气源热泵	664.5×0.5644+507.1×0.7805	0.077	2	0.154
地暖水泵	336×（0.5644+0.7805+0.3483）	0.057	1	0.057

蓄热电锅炉	5331.9/0.961×1.5（启停修正） ×0.3483	0.290	1	0.290
总费用				0.501

综上所述方案一，初投资：2.37 万，运行费用：0.501 万。

1.5.2 太阳能+蓄热电锅炉

选择太阳能作为（主）热源时，考虑到周围空间限制面积不大，使用房顶作为摆放太阳能板的地点。介绍倾斜角度，面朝方向集热器倾角使用取当地纬度值。张家口地区位于北纬 40° 左右，取集热器倾角取 40°，朝向正南方。

1) 太阳能供热占比计算

由于太阳能供暖本身的不足，即无法在阴雨天为住宅提供足够的热量，所以这段时间内须要用到其他方式进行补充供暖，例如蓄热电锅炉。以下将根据河北省近 10 年内平均晴天天数确定太阳能供暖占据的比例。

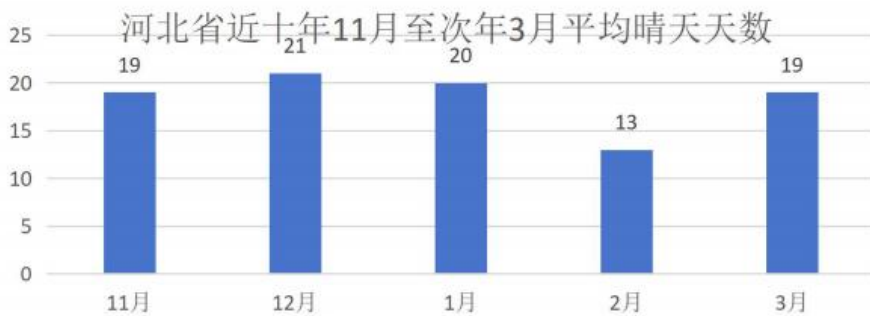


图 3 河北省近十年 11 月至次年 3 月平均晴天天数分布图

根据上图可以看出：河北省近十年内 11 月至次年 3 月，一共有 153 天，其中有 92 天为晴天，占供暖天数的 60.1%，所以太阳能供暖取比例取 60.1%，供暖量为： $9273.6 \times 60.1\% = 5203.3 \text{ kW} \cdot \text{h}$

2) 太阳能集热器面积计算

根据 DeST 模拟出太阳能辐射总量，根据太阳能在单位面积时所能获得的能量和屋顶空间的合理布置与摆放，根据公式计算出总供热量。

表 11 河北地区 40° 斜面太阳能总辐射月辐射量

月份	月辐射量 (kW·h/m ²)
11 月	28.64
12 月	63.64
1 月	65.77
2 月	85.66
3 月	55.46
总辐射量	299.17

$$S = \frac{Q_{\text{sun}} \times f}{I_0 \times \eta_3 \times \eta_4}$$

式中：

Q_{sun} —太阳能辐射获得的总能量，kW·h；

f —太阳能保证率，取 70%；

I_0 —倾斜面上的太阳总辐射量，kW·h/m²；

η_3 —采暖期集热器效率，取 60%；

η_4 —为采暖期系统输配效率，取 80%；

S —为太阳能集热器面积，m²，综合考虑屋顶面积和计算出

太阳能得热量占总共热量的比例取 $25.4m^2$ 。
 太阳能集热器所需流量扬程计算
 单块太阳能集热器工质的设计流量应按下式计算：

$$G_x = g \times A$$

式中：
 G_x —单块太阳能集热器工质的设计流量（ m^3/h ）；
 A —单块太阳能集热器的总面积（ m^2 ）；
 g —太阳能集热器工质的单位面积流量[$m^3/(h \cdot m^2)$]，根据下表 5-9 选取，取 0.04。

表 12 太阳能集热器的单位面积流量

系统类型	太阳能集热器的单位面积流量 [$m^3/(h \cdot m^2)$]
小型太阳能供热水系统	0.035~0.072
大型集中太阳能供热采暖系统 (集热器总面积大于 100m2)	0.021~0.06
小型直接式太阳能供热采暖系统	0.024~0.036
小型间接式太阳能供热采暖系统	0.009~0.012
太阳能空气集热器供热采暖系统	36

最后计算出所需流量为 1.92m3/h,扬程计算跟方案一一致计算出为 3mH₂O。
 太阳能集热器蓄热水箱

计算考虑到水箱容积影响初投资，并且规范指出，仅需要满足 1d~7d 蓄热量即可，而且蓄热电锅炉作为辅助补充热量，所以选 40L/ m^2 ，总水箱容积为 1m³。

3) 保温与隔热

蓄热水槽要做好保温,尽量减少热量的损失。蓄热水槽的工作温度为 40~95℃,要求表面热损失不大于 47W/ m^2 ;蓄热水槽的表面积都比较大,目前工程中一般采用聚氨脂发泡成形硬保温层,在室内情况下保温厚度 50mm,在室外情况下保温厚度 70mm。在保温层外要做保护层,可采用铝板或不锈钢板做保护层。

蓄热电锅炉补充热量：8657.8-5203.3=3455.5kW·h

表 13 太阳能+蓄热电锅炉设备成本

序号	名称	型号	规格	单价（万元）	台数	总价（万元）
1	太阳能板		每个模块由 60 根 Φ47 管组 成，管长 1.8 m	0.125	5 板	0.625
2	蓄热电锅炉	HRBGL2	额定功率：24kW	0.3	1	0.3
3	地暖水泵	CPM-14 6-370	量:3m ³ /h 扬程:16m 功率：0.37kW	0.03	1	0.03

4	蓄热水箱		容积: $1m^3$	0.06	1	0.06
总费用						1.015

表 14 太阳能+蓄热电锅炉初投资

费用类型	计价依据	计算过程	费用（万元）
设备成本	热源	见上表	1.015
安装费用	设备费用 $\times 0.15$	1.015×0.15	0.15
人工费用	200 元/工日	$200 \times 10/1000$	0.2
初投资			0.365

表 15 太阳能+蓄热电锅炉运行费用

序号	名称	型号	规格	单价（万元）	台数	总价（万元）
1	风力发电机	NE-1500L	3.5kW	1.5	1	1.5
2	蓄热电锅炉	HRBGL2	额定功率: 24kW	0.3	1	0.3
3	地暖水泵	CPM-14 6-370	量: $3m^3/h$ 扬程:16m 功率: 0.37kW	0.03	1	0.03
4	蓄热水箱		容积: $1m^3$	0.06	1	0.06
总费用						1.89

表 16 风力发电+蓄热电锅炉设备成本

设备	运行费用: 机组运行能耗 $\times$ 单价(分时)	合计（万元）	数量（台）	总计（万元）
地暖水泵	$336 \times (0.5644 + 0.7805 + 0.3483)$	0.057	1	0.057
蓄热电锅炉	$3455.5 / 0.961 \times 1.5 (\text{启停修正}) \times 0.3483$	0.188	1	0.188
年总运行费用				0.245

综上所述，方案二，初投资 1.365 万元，运行费用 0.245 万元。

1.5.3 风力发电+蓄热电锅炉

在该方案中，蓄热水箱中的热水用来承担所有的冬季热负荷，利用风力发电机组和市政电网共同作用为蓄热电锅炉供电。综合考虑房顶面积和所承担负荷的比例，最终选择 1 台输出功率为 4kW 的风力发电机组，蓄热电锅炉选型见方案三。

表 17 风力发电+蓄热电锅炉初投资

费用类型	计价依据	计算过程	费用（万元）
设备成本		见上表	1.89
安装费用	设备费用 $\times 1.5$	1.89×0.15	0.28
人工费用	200 元/工日	$200 \times 10/1000$	0.1

初投资	2.27
-----	------

估算风力发电量，由于风力不稳定，去风力发电效率为 50%，
 风力发电量 $3.5\text{kW}\times 24\text{h}\times 151\text{天}\times 0.5=6342\text{kW}\cdot\text{h}$ 。
 蓄热电锅炉需要电 $8657.8/0.961=9009.2\text{kW}\cdot\text{h}$ 。
 市政电网补充电量： $9009.2-6342=2667.2\text{kW}\cdot\text{h}$

表 18 风力发电+蓄热电锅炉运行费用

设备	运行费用：机组运行能耗×单价(分时)	合计 (万元)	数量 (台)	总计(万元)
地暖水泵	$336\times (0.5644+0.7805+0.3483)$	0.057	1	0.057
蓄热电锅炉	$2667.2\times 1.5\times 0.3483$	0.139	1	0.139
年总运行费用				0.196

综上所述，方案三，初投资 2.27 万元，运行 0.196 万元。

1.6 方案经济对比

本节将通过投资回收期法和全生命周期法对这三种方案进行对比分析。

1.6.1 投资回收期法 PPM

投资回收期法又称“投资返本年限法”。是计算项目投产后在正常生产经营条件下的收益额和计提的折旧额、无形资产摊销额用来收回项目总投资所需的时间，与行业基准投资回收期对比来分析项目投资财务效益的一种静态分析法。

表 19 各方案投资回收期

方案 (万元)	太阳能蓄热+蓄热电 锅炉	风力发电+ 蓄热电锅炉	
	基准	费用	差值
初投资	1.365	2.27	0.905
运行费用	0.245	0.196	0.049
投资回收期	-	18.5	

由表计算结果可知，风力发电+蓄热电锅炉方案的投资回收 期为 18.5 年，对于暖通空调工程而言，项目回收期处在 0~20 年之间的方案可以接受。

1.6.2 全生命周期法 LCC

LCC(Life Cycle Cost) 寿命周期成本是设备或系统从诞生到 报废的整个期间需要的费用总和。设备和系统的 EUAC 越小,其系统效益越高。按系统造价、运行成本、成本和残值建立的数学模型如下：

$$EUAC = LCC \times F_R$$

$$LCC = C_0 + \sum_{t=0}^T O \times PV_{sum} + \sum_{t=0}^T M \times PV_{sum} - S \times PV$$

式中：

$$PV_{sum} = \frac{1}{(1+r)^T}; PV = \frac{1}{(1+r)^T}; F_R = \frac{r \times 1 + r)^T}{(1+r)^T - 1}$$

$$M = 30\% \times 95\% \times R/T + 95\% \times R/T$$

LCC—寿命周期成本，单位(万元)；

EUAC—等价均匀全年费，单位(万元)；
 C_0 —初始建设成本，主要指冷热源设备初投资，单位(万元)；
 O—运行成本，主要为冷热源能耗费用，单位(万元)；
 M —维护成本，包括维修费用和折旧费，单位(万元)；
 S —残值率，取 5%；
 PV_{sum} —现值和；
 PV —现值；
 FR —资本回收系数；
 R—设备费，单位(万元)；
 r—折现率，分别取 0.08，0.10，0.12；
 t—时间变量，单位(年)；
 T—生命周期，取 15

表 20 LCC 与 EUAC 计算结果统计

方案		太阳能蓄热+蓄热电锅炉	风力发电+蓄热电锅炉
S	周期值		
0.08	LCC	5.77	6.36
	EUAC	0.68	0.73
0.1	LCC	5.17	5.96
	EUAC	0.71	0.77
0.12	LCC	4.90	5.62
	EUAC	0.73	0.81

由全生命周期法（LCC）的分析结果，在折现率分别为 0.08、0.10、0.12 的情况下，太阳能蓄热+蓄热电锅炉方案的 LCC 值和 EUAC 值较低，风力发电+蓄热电锅炉方案初投资较高 但投资回收期在可接受范围内，因此，具体两种方案谁更优 还需要进一步分析。

1.7 能耗分析

本次设计所涉及到的能源折标准煤参考系数如下：

表 21 能源折标准煤参考系数

能源名称	折标准煤系数
热力（当量值）	0.1229 kgce/(kW·h)

方案二：太阳能蓄热+蓄热电锅炉

表 22 太阳能蓄热+蓄热电锅炉系统年运行能耗

设备	机组耗电量(kW·h)	能耗因子 [kgce/(kW·h)]	总能耗 (kgce)
地暖水泵	336	0.1229	465.975
蓄热电锅炉	3455.5		

方案三：风力发电+蓄热电锅炉

表 23 风力发电+蓄热电锅炉系统年运行能耗

设备	机组耗电量(kW·h)	能耗因子 [kgce/(kW·h)]	总能耗 (kgce)
地暖水泵	336	0.1229	369.093
蓄热电锅炉	2667.2		

1.8 碳排放与碳交易分析

本次设计计算主要包括电力与热力碳排放计算，相应的碳排放因子见下表：

表 24 各碳源碳排放因子

碳源	碳排放因子	数据来源
电力	0.592 kgCO ₂ /kW·h	中国建筑节能年度发展研究报告 2019

方案二：太阳能蓄热+蓄热电锅炉

表 25 太阳能蓄热+蓄热电锅炉系统年运行碳排放量

设备	机组耗电量 (kW·h)	碳排放因子 (kgCO2/kW·h)	碳排放量 (kg/a)
地暖水泵	336	0.592	198.912
蓄热电锅炉	3455.5		2045.656
总排放量			2244.568

方案三：风力发电+蓄热电锅炉

表 26 风力发电+蓄热电锅炉系统年运行碳排放量

设备	机组耗电量 (kW·h)	碳排放因子 (kgCO ₂ /kW·h)	碳排放量 (kg/a)
地暖水泵	336	0.592	198.912
总排放量			1777.8944

1.8 方案选定

表 27 方案模糊优选模型计算结果

方案名称 评价标准		太阳能蓄热+ 蓄热电锅炉	风力发电+蓄 热电锅炉
全生命周期费用（万元）	特征值	5.17	5.96
	相对优越度	1	0.86
能耗(kgce)	特征值	465.975	369.093
	相对优越度	0.79	1
CO ₂ 排放(kg)	特征值	2244.568	1777.8944
	相对优越度	0.79	1
机房面积(m ²)	特征值	6	5
	相对优越度	0.83	1
设备可靠性等	相对优越度	0.5	0.5
综合评价指标		0.877	0.841

综上：我们对比太阳能蓄热+蓄热电锅炉方案和风力发电+蓄 热电锅炉方案的各项评价标准发现：太阳能蓄热+蓄热电锅炉方案在全生命周期费用上耗费 5.17 万元比风力发电+蓄热电锅炉方案耗费的 5.96 万元低了 0.79 万元，因而在相对优越度上风力发电+蓄热电锅炉方案低于太阳能蓄热+蓄热电锅炉方案仅有

0.86；在能耗、CO₂ 排放量和机房面积方面上风力发电+蓄热电锅炉方案的各项特征值均优于太阳能发电+蓄热电锅炉方案，因此太阳能蓄热+蓄热电锅炉方案的各项标 94 准的相对优越度分别为 0.79、0.79 和 0.83；在设备可靠性方面上，两种方案的相对优越度持平，均为 0.5。

由于我们对各项评价指标的着重点不同，最后的综合评价指标我们采取加权平均数的方式得出，同时各项的加权系数分别为 0.6、0.075、0.075、0.1 和 0.15，通过计算我们得出太阳能蓄热+蓄热电锅炉方案的综合评价指标为 0.877 优于风力发电加蓄热电锅炉方案的综合指标 0.841，即期优越度最大，故选定方案为太阳能蓄热+蓄热电锅炉。

2 关键节点示意图

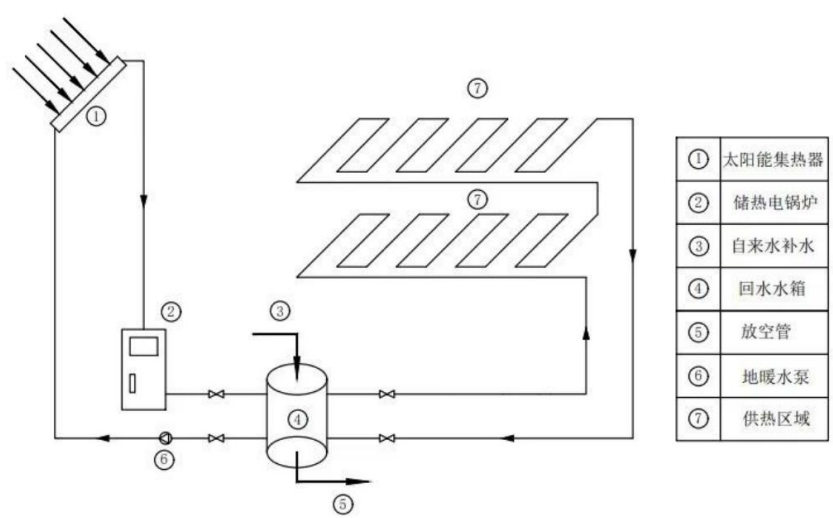


图 4 关键节点示意图

3 节能分析

3.1 可再生能源技术

太阳能一直也属于可再生能源范畴。本设计分析了多种可再生能源，并最终选取采用太阳能集热器作为主要热源，在本工程所处的太阳能丰富地区，供热季机组高效运行时段较多。利用太阳能，符合国家“煤改电”政策，有效利用了可再生能源。

3.2 低温热水地面辐射供暖技术

本设计中，农房冬季大面积采用地面辐射采暖技术，地暖供回水温度为 40/30℃，相比于散热器和空调采暖方式，其水温要求更低，运行时更加经济节

能。在稳态工况时，地暖房间热分层现象不明显，室内温度分布更加均匀；间歇运行时，室内温度波动不明显，相比散热器采暖和空调采暖，地暖更加舒适。

3.3 节能减排及经济性分析

为了响应国家“碳达峰”、“碳中和”的号召，贯彻国家有关气候变化和节能减排的方针政策，本设计中采用了各种节能措施。经过技术经济性分析、全生命周期法（LCC）、投资回收期法（PPM）、能耗分析、碳排放分析，通过方案模糊优选模型，最终确定了方案二，太阳能+蓄热电锅炉