

## 第 3 篇 太阳能供暖（制冷）案例

### 3.1 天普新能源科技(天津)有限公司综合办公楼项目

#### 一、项目基本情况

本工程为天普新能源科技(天津)有限公司综合办公楼，是天普新能源科技有限公司投资并建设运营的生产基地之一，位于天津宝坻九园工业区。该园区总用地面积 64996.3 m<sup>2</sup>，总建筑面积 29003.31 m<sup>2</sup>，占地面积 27901.46 m<sup>2</sup>，一期建设 21752.65 m<sup>2</sup>，开工时间 2018 年 11 月，竣工时间 2021 年 10 月。

本示范工程为园区综合楼部分，占地面积 745.46 m<sup>2</sup>，建筑面积约 1941.85 m<sup>2</sup>，整体为三层综合办公建筑，一层及部分二层为办公，二层剩余部分及三层一半为宿舍，三层另一半为露台。

#### 二、技术路线及工艺流程

##### 1. 负荷情况

根据《近零能耗建筑技术标准》GB/T51350-2019 等标准，选择围护结构材料及厚度、门窗、辅助保温隔热建筑结构措施等，然后通过调整窗户大小等措施进行优化，在保证采光和通风需求的前提下，尽量减小北窗面积，同时，在保证保温隔热、采光、隐私需求及具有夏季防过热措施的前提下，充分利用南向窗户、阳光间、被动式蓄热墙等结构最大化利用太阳能，降低空调供暖期常规能源需求；合理调整室内房间面积大小、层高高度，在尊重使用习惯需求的前提下，尽量降低房间面积和层高，从布局上注重建筑节能；设计配置必要的主动式能源供应系统，如太阳能热水系统、新风及热回收系统等；设备选型上选择合适的末端散热和换气装置，保证其工作的可控性、散热和换气的均匀性；对以上内容的相容和协调性进一步优化设计，达到性能、安全、经济、视觉效果等方面的统一。参考《近零能耗建筑技术标准》GB/T 50350-2019 及天津地方相关标准，采用 PKPM 建筑节能设计分析软件(应用版本：20180821)分别计算建筑办公部分和居住部分能耗，结果如表：

能耗种类	能耗(kWh)	单位面积能耗(kWh/m <sup>2</sup> )
供暖能耗	22478.52	12.25
空调能耗	16142.33	8.80
照明能耗	30058.56	16.38
总能耗	68679.41	37.43(小于55)

根据以上设计计算结果及净零能耗建筑的基本要求，拟采用光伏发电作为建筑能耗平衡用能，太阳能集热系统作为生活热水供应，并分别按照建筑总能耗值和宿舍居住用水需求量配置光伏电站和太阳能集热系统规模。

经设计计算，该示范建筑需要配置 62300W 光伏组件，可保证 25 年以上年发电超过 68679.41kWh。配置 100 m<sup>2</sup>太阳能集热器，可保证冬至日晴天满负荷热水日用量的需求，平时在不满足负荷的情况下可满足 2-3 天阴雨天的热水日用量的需求。冬季产热富余时还可为供暖贡献。

## 2. 技术路线

本项目针对寒冷气候区特点、公共建筑功能需求，以净零能耗为目标，实现以一次能源为衡量单位，示范建筑全年消耗的能源小于或等于可再生能源产生的能源。参考近零能耗建筑技术条件等通过加强墙体、窗户等保温结构，使之能耗尽量降低，通过太阳能、热泵低能耗空调供暖及热水供应设施等关键技术的应用，保障建筑不同时期的供能需求，最后，以光伏发电系统发电抵消实际消耗的常规电力能源。同时，实现保证在单位建筑面积增量投资低于 200 元的前提下，比现有同类建筑能耗相比节约 80%以上的最低目标，争取在单位建筑面积增量投资低于 300 元的前提下，实现近零能耗目标，在单位建筑面积增量投资低于 450 元的前提下，实现净零能耗目标。通过示范建筑的建设，系统性对北方建筑节能技术进行研究与示范。

## 3. 系统配置

根据以上设计计算结果及净零能耗建筑的基本要求，拟采用光伏发电作为建筑能耗平衡用能，太阳能集热系统作为生活热水供应，并分别按照建筑总能耗值和宿舍居住用水需求量配置光伏电站和太阳能集热系统规模。

经设计计算，该示范建筑需要配置 62300W 光伏组件，可保证 25 年以上年发电超过 68679.41kWh。配置 100 m<sup>2</sup>太阳能集热器，可保证冬至日晴天满负荷热水日用量的需求，平时在不满足负荷的情况下可满足 2-3 天阴雨天的热水日用量的需求。冬季产热富余时还可为供暖贡献。

具体该示范建筑采用了以下设计和系统配套：

### 3.1 被动式设计技术

建筑节能设计内容：综合楼外墙材质改为 BLP 粉煤灰泡沫水泥条板外贴 150 厚岩棉。综合楼内隔墙材质改为蒸压加气混凝土板。综合楼外门窗材质改为 5mm+12Ar+5mmLow-E(EA)+12Ar+5mmLow-E(EA)。

### 3.2 主动式能源系统优化设计技术

风机盘管和空气源热泵机组性能系数(COP)均需达到《近零能耗建筑技术标准》GB/T 50350-2019 要求。

### 3.3 可再生能源利用技术

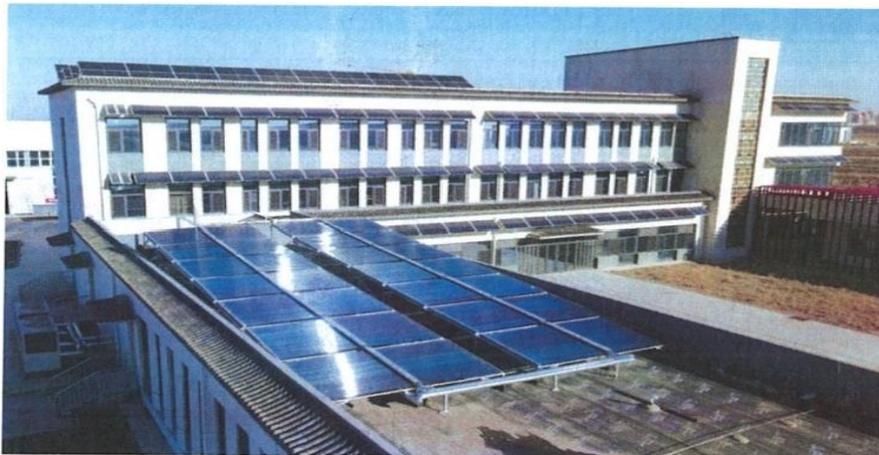


图 1 可再生能源利用示范建筑

#### (1) 太阳能建筑应用

光伏需求设计计算：本建筑可再生资源产能需大于总能耗 68679.41kWh，经设计计算，本项目需要配套 62.30kW 装机容量，系统效率为 0.82 的光伏电站，25 年平均年发电量 68802kWh，方可满足该示范建筑年总能耗 68679.41kWh 的需求。具体为 140

块 445W 的单晶硅电池组件，外形尺寸为 2094mm×1038mm×35mm，35° 倾角竖向单排安装，前后排间距 5.2m,每组实际占地面积为  $5.2 \times 1.058 = 5.5 \text{ m}^2$ 。即整个系统约占地面积 770  $\text{m}^2$ ，按建筑占地面积 745.46  $\text{m}^2$  比较，差不多覆盖整个建筑屋顶。所选 445W 单晶硅电池组件单组重量为 23.5kg，则 140 组总重为 3290kg,包括支架重量建筑总负载约为 10t。本示范建筑楼梯间西侧屋顶可满足其安装面积要求。

光热需求设计计算：根据示范建筑内生活热水点的具体生活热水需求量计算，设计计算太阳能热水系统的规模，经设计计算，本项目需要配套 100  $\text{m}^2$  太阳能集热器，每个全晴天最低产 45℃ 热水 6000kg，可满足该示范建筑全年生活热水需求。具体选用 24 组 581825 集热器，标称集热面积 4  $\text{m}^2$ ，单组外形尺寸为 1976 mm×2002 mm×150mm，45° 倾角竖向单排设计，前后排间距 4.2m，每组实际占地面积为 9.4584  $\text{m}^2$ 。即整个系统约占地面积 227  $\text{m}^2$ 。该规格太阳能集热器单组自重 68kg 容重 84kg，即工作状态总重 152kg，则 24 组总重为 3648kg，屋顶单位面积荷载为 16kg/ $\text{m}^2$  包括支架、管道等总荷载约为 25kg/ $\text{m}^2$ 。检验车间屋顶东西向总宽为 9.60m，该集热器单组实际安装宽度为 2.25m，即每排最多安装 4 组，前后安装 6 排，南北向占地尺寸为 4.2 m×6=25.2 m。

## (2) 空气源热泵供暖空调系统

补充冷热源采用空气源热泵，冬季生活热水需求量较低时，太阳能富裕产热为热泵供暖提供一定贡献。整体太阳能和热泵互补结合实现生活热水、供暖、空调、照明用能 100% 可再生能源。

## 4. 运行情况

供暖供水泵和太阳能循环泵均为定频水泵，运行工况稳定，流量稳定，未出现喘振等情况；生活热水供水泵为变频泵，实际运行能够适应末端不同的流量和压力变化的需求，所有水泵均为一用一备；所有阀门开闭正常，整个水系统未出现漏水、漏气等情况；空气源热泵运行正常；光伏系统发电正常；自控设备、在线监测系统运行正常，可通过现场电脑屏幕和手机 APP 实时查看系统各部分运行状态。

## 单项技术运行效果分析

(1)太阳能集热系统在日均气温 3.5℃,日总辐射量 22.65MJ/m<sup>2</sup>的条件下,蓄热水箱水温可达 62℃,整个太阳能系统集成热效率约为 43%,足够供给 5 天的生活热水需求,开启换热循环泵还可通过板式换热器向供暖供水加热,降低空气源热泵供暖能耗,有明显的节能效果。

(2)空气源热泵系统在室外温度为-10℃的情况下依然能稳定供给 45℃的供暖用水,此时 COP 为 2.2 左右;整个供暖季实际运行平均 COP 为 2.6 左右,最大供热功率达 190kW,满足最不利工况的供暖需求。

### 三、经营模式

企业自筹资金投资。自己运营维护,自己受益节约能源费用开支。

### 四、效益分析

在太阳辐射日得热量 24.66MJ/m<sup>2</sup>的天气情况下,光伏系统的峰值发电量在上午 10:40 时就达到 45.4kW,当日总发电量达 300kWh;当日整个供暖系统,包括空气源热泵、3 台水泵、室内风机盘管+新风、设备间控制系统总耗电量不到 250kWh;可见光伏系统的发电量不仅能完全覆盖综合楼的日常运行与供暖用电,而且有富余可以并网。

### 五、突出亮点

通过预算比较,对于示范建筑这种独立小规模建筑采用标准装配式建造方式,增量成本不能满足经济性要求。本项目在达到净零能耗目标的前提下单位建筑面积增量投资为 347.58 元,低于 450 元的设计指标。

本项目在近零能耗建筑措施基础上,通过光伏光热技术应用达到了净零能耗设计目标。在日照时间最短日,太阳能集热系统以实测 40.67%得热效率为建筑提供设计生活热水量需求和供暖补热,集热循环泵和热水供应循环泵用电依靠光伏供电解决。以环境温度 0℃左右条件下实测 COP 为 2.62 的空气源热泵保障示范建筑的供暖致冷需求。热泵工作和冷暖供应循环泵用电依靠光伏供电解决。光伏发电系统以实测太阳能辐射转化率计算年发电 69490kWh,可满足年发电量 68679.41kWh 的设计需求。

### 六、问题和建议

建议通过后期运行观察,示范,宣传,向同类地区进行推广应用。

## 3.2 河北经贸大学跨季节蓄热太阳能集中供热系统示范项目

### 一、项目基本情况

项目名称：河北经贸大学跨季节蓄热太阳能集中供热系统示范项目。

项目类型：太阳能跨季节蓄热。

项目规模：项目采用 69000 支真空管，总集热面积为 1.16 万 m<sup>2</sup>，覆盖 14 个学生宿舍楼，总蓄热容量达 2 万 t。供暖末端为翅片式散热器，该系统同时能够满足全年洗浴热水需求。

建设单位：河北达祥投资有限公司。

总投资：4000 万元。

建成运行时间：10 年。

所在地能源供应消纳条件：

(1) 政策支持：河北省及其下辖城市石家庄在政策层面大力支持太阳能等新能源的发展。《河北省电力条例（修订草案）》的公开征求意见中明确提到，供电企业应按照国家规定积极接入和消纳太阳能、风力等新能源发电。这种政策导向有利于太阳能能源的供应和消纳。

(2) 能源主管部门的规划：省人民政府能源主管部门负责统筹利用风能、太阳能资源，根据全省新能源发展相关规划、可再生能源消纳责任权重来指导新能源的开发建设。这意味着石家庄市在太阳能能源的开发和消纳方面有着明确的规划和管理。

群众消费水平：石家庄市城乡居民人均可支配收入分别达到 44745 元、15025 元。

可再生能源资源条件：石家庄市位于中国河北省中南部，拥有较为丰富的可再生能源资源。石家庄市属于温带季风气候，年日照时数较长，光照资源较为丰富。因此，太阳能光伏发电在石家庄市有着广阔的应用前景。近年来，石家庄市积极推动光伏发电项目的建设，包括屋顶光伏、光伏农业等多种形式，以提高太阳能的利用率和光伏发电的普及率。

项目区生态环境敏感因素：

(1) 空气质量：石家庄市曾经面临严重的空气污染问题，尤其以雾霾天气为突出。颗粒物（PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>）、二氧化硫（SO<sub>2</sub>）、氮氧化物（NO<sub>x</sub>）等空气污染物浓度较高，导致市民健康风险增加。因此，改善空气质量是石家庄市生态环境建设的重中之重。

(2) 水资源：石家庄市地处河北省中南部，属于半湿润地区，水资源相对紧张。地下水超采、水体污染等问题较为严重，水资源的合理开发和保护是生态环境建设的另一个关键因素。

(3) 土壤污染：工业废弃物、农药和化肥的不当使用等因素导致了石家庄市部分区域的土壤污染问题，这直接影响到食品安全和农业的可持续发展。

(4) 生态退化：人类活动导致的天然植被破坏、湿地减少等问题，使得石家庄市的部分区域出现了生态退化现象，这不仅影响了生物多样性，也削弱了生态系统的服务功能。

(5) 城市扩张与绿地减少：随着城市化进程的加快，石家庄市面临城市扩张和绿地减少的问题，城市热岛效应、生物多样性减少等现象逐渐显现。

(6) 环境污染事故：工业生产过程中偶发的污染事故，如化工泄漏、废水排放等，对当地的环境和居民健康造成威胁。

## 二、技术路线及工艺流程

### 1. 负荷情况

负荷情况：3 万 m<sup>3</sup> 供暖及 80t 生活用水

用能场景：满足全校师生供暖及生活热水需求

用能需求：日常定时洗浴用水量中午 11：00 到 14：00，晚上 17：00 到 21：00，中午与晚上用水比例为 1：3。

月份	计算公式	序号	供暖季				非供暖季										供暖季		每年总量
			1月份	2月份	3月份 (1-14日)	3月份 (15-31日)	4月份	5月份	6月份	7月份	8月份	9月份	10月份	11月份 (1-14日)	11月份 (15-30日)	12月份			
月平均日辐照量 MJ	辐照量参照天津	2	14.73	16.49	18.23	18.23	17.63	19.50	17.98	15.50	15.89	17.38	16.41	13.81	13.81	12.61			
月天数		3	31	28	14	17	30	31	30	31	31	30	31	14	16	31	365		
月辐照量 MJ	序号: 4=2×3	4	456.63	461.72	255.22	309.91	528.90	604.50	539.40	480.50	492.59	521.40	508.71	193.34	220.96	390.91	5964.69		
太阳能集热面积m <sup>2</sup>		5	11592	11592	11592	11592	11592	11592	11592	11592	11592	11592	11592	11592	11592	11592	11592		
太阳能集热效率		6	35%	35%	35%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	38%	35%	35%			
每日太阳能系统得热量	序号: 8=4×5×6	7	1852639.24	1873290.38	1035478.58	1436990.69	2452403.52	2802945.60	2501089.92	2227982.40	2284041.31	2417627.52	2358786.53	851654.97	896478.91	1586000.05	26577409.62		
月合计非供暖季80t 热水热量	80t×40度温升×4.18=13376MJ 序号: 8=13376MJ×序号3	8				227392.00	401280.00	414656.00	401280.00	414656.00	414656.00	401280.00	414656.00	187264.00			3277120		
扣除非供暖80t 热水热量后收集热量	非供暖季需减去80t 热水得热量 序号: 9=7-8	9	1852639.24	1873290.38	1035478.58	1209598.69	2051123.52	2388289.60	2099809.92	1813326.40	1869385.31	2016347.52	1944130.53	664390.97	896478.91	1586000.05	23300289.62		
非供暖季的热量衰减	非供暖季, 误差至30% 供暖季取100%	10	100%	100%	100%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	100%	100%			
热量衰减后的月得热量	序号: 11=9×10+8	11	1852639.24	1873290.38	1035478.58	650751.54	1119173.23	1250557.36	1136213.47	1049320.24	1068940.86	1107001.63	1095101.68	419800.84	896478.91	1586000.05	16140748.03		

## 2. 技术路线

### 技术思路与特点

此项目是以太阳能为主的跨季节蓄热供热项目。在非供暖季时，太阳能系统收集到的热量部分用于日常洗浴热水，其余热量通过间接换热的方式储存到季节性蓄热水箱中。在供暖季，当太阳能系统每天收集热量达不到需求时，提取季节性蓄热水箱中的热量，对学校里的教学楼、宿舍楼等进行供暖及供应洗浴热水。

### 系统特点：

系统跨季节蓄热，最大化利用太阳能，“三季”蓄热“一季”使用，同时还可满足全年生活热水需求。太阳能系统集热、储热与供热之间采用间接换热方式进行供热，对洗浴热水无污染。系统安装了远程监控功能，时时监控系统的正常运行。

### 技术适应性：

符合当地总体发展规划的定位，满足国家环保要求，对环境影响最小。尽量利用当地资源，能源获取便利，能够满足当地供暖需求。建设投资及运行成本经济合理。

## 3. 系统配置

### 系统构成：

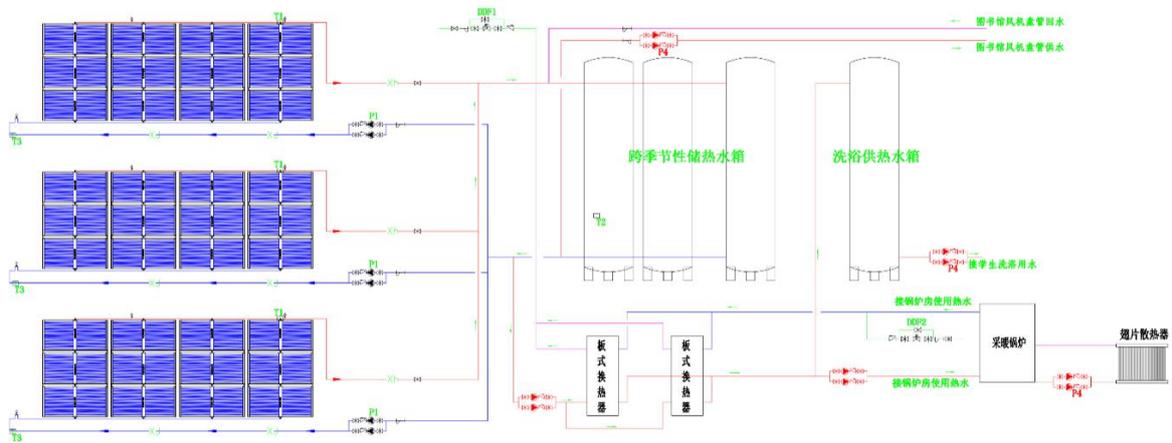
一期共安装 9 栋楼，每栋楼安装  $\varnothing 58 \times 1800-50 \times 6-83-10^\circ$  型“四季沐歌”原装太阳能集热器 15 组，合计 135 组集热器，太阳能集热面积达到 6804 m<sup>2</sup>；二期共安装 5 栋楼，每栋楼安装  $\varnothing 58 \times 1800-50 \times 6-83-10^\circ$  型“四季沐歌”原装太阳能集热器 19 组，合计 95 组集热器，太阳能集热面积达到 4788 m<sup>2</sup>。整个项目采用 69000 支真空管，总计集热面积 11592 m<sup>2</sup>。项目设计安装 89t 圆柱形储热水箱（上下钢板厚度 12mm、周围钢板厚度 8mm、直径 3.3m、高 10.5m）共 228 个，总计水箱储热量 2 万 t。

### 设备参数：

$\varnothing 58 \times 1800-50 \times 6-83-10^\circ$  型“四季沐歌”原装太阳能集热器

89t 储热水箱

### 系统原理图：



### 系统控制说明:

太阳能集热系统对跨季节储热水箱进行循环加热,直至跨季节储热水箱内水温达到设定高温。当跨季节储热水箱温度下降到一定温度值时再次进行循环加热。跨季节水箱加热循环等程全部由蝶阀进行调节。

洗浴供热水箱通过自来水压力进行补水,自来水在补出水箱前通过板式换热器提取跨季节储热水箱中的热量进行间接加热。当跨季节储热水箱内的水温达到设定温度时,输送到池浴锅炉加热系统进行二次加热后使用。

翅片式散热器供热循环:首先采用跨季节储热水箱内热量通过板式换热器加热后的供暖循环热水,如跨季节储热水箱内水温达不到换热要求温度时,采用跨季节储热水箱内的热水直接与供暖末端进行循环;当跨季节储热水箱温度再次降至直接供暖温度以下时,采用锅炉与供暖末端进行循环加热。此功能为手动操作。

图书馆风机盘管供热循环:采用跨季节储热水箱内的热水直接与风机盘管末端进行循环,当跨季节储热水箱温度再次降至直接供暖温度以下时,采用锅炉与供暖末端进行循环加热。此功能为手动操作。

太阳能系统自动控制功能有:温差循环、防冻循环,其他补水、供热供暖系统控制为人为操作。

### 4. 太阳能集热系统功能:

集热: 太阳能集热器与供热水箱的温差循环: 当集热器  $T_1$ -跨季节储热水箱  $T_2 \geq 7^\circ\text{C}$ , 温差循环泵 P1 启动;当集热器  $T_1$ -跨季节储热水箱  $T_2 \geq 3^\circ\text{C}$ , 温差循环泵 P1 停止;

防冻：当集热器 T3 温度低于设定温度（5℃）时，循环泵 P1 启动；当集热器 T3 温度高于设定温度（10℃）时，循环泵 P1 停止。

### 5. 运行情况

各种能源费用对比									
能源类型	单位	燃烧值	锅炉热转换率	市场价	单位	每年费用/元	系统得热量	16140748.03	MJ
煤	(MJ/kg)	29.3	0.8	1	元/kg	688598	煤燃烧值	29.309	MJ/kg
天然气	(MJ/m <sup>3</sup> )	33.4	0.9	2.5	元/m <sup>3</sup>	1342378	节省标准煤	688387.0154	kg
柴油	(MJ/kg)	42.8	0.85	7.7	元/L	3416266	节省标准煤 kg 换算为 t	688.3870154	t
电	(MJ/kWh)	3.6	0.96	1	元/kWh	4670355	15年合计节省标准煤	10325.80523	t

河北经贸大学跨季节蓄热太阳能集中供热系统示范项目，每年节省标准煤 688.39t，二氧化碳减排量 1832.49t，二氧化硫 5.85t，氮氧化物 5.09kg。

### 三、经营模式

河北达祥投资有限公司与河北经贸大学合同签约 15 年，时间从 2013 年 5 月 15 日至 2028 年 5 月 14 日。全部投资为河北达祥投资有限公司自筹，合同到期后，水箱间及太阳能设备归达祥公司所有，其它地下管道及锅炉房等设备归经贸大学所有。收费方式：供暖季，按照 65.56 元/m<sup>2</sup>，其中含 5.56 元为日常管理维修费用；热水洗浴，大概每天收费 7000~8000 元左右。

### 四、效益分析

**节能效益：**太阳能跨季节储热项目可以将太阳能转化为热能，并在需要时释放，实现了能源的时空转换。这样一来，项目可以充分利用太阳能资源，提高能源利用效率，减少对传统能源的依赖，从而降低能源消耗。

**经济效益：**太阳能跨季节储热项目投资回收期相对较短，一般在 5-10 年左右。项目运行过程中，可以节省大量的能源费用，降低能源成本。此外，项目还可以获得政府补贴和支持，进一步降低投资风险。

**环境效益：**太阳能跨季节储热项目是一种清洁、可再生能源利用方式，可以减少化石能源的消耗，降低温室气体排放，对改善空气质量、保护生态环境具有积极意义。

**社会效益：**太阳能跨季节储热项目的推广和应用，有助于提高公众对可再生能源

的认识和接受程度，推动新能源产业的发展。同时，项目还可以促进就业，提升地区经济效益。

**可持续发展效益：**太阳能跨季节储热项目具有稳定的能源供应，可以满足日益增长的能源需求，为经济社会发展提供有力保障。此外，项目还可以促进能源结构的优化，推动能源可持续发展。

## **五、突出亮点**

**促进环境保护：**通过推广清洁能源供暖，项目将有助于减少石家庄市的环境污染，并促进可持续发展，同时保护河北地区的自然环境。

**节约资源：**项目采用太阳能等可再生能源，减少对稀缺能源的依赖，降低运输和维护成本，实现能源的高效利用。

**社会作用：**通过在大学内实施太阳能跨季节储热技术，项目将起到示范引领作用，推动清洁能源供暖在河北地区的广泛应用。

**技术层面：**该项目采用太阳能跨季节储热技术，利用丰富的太阳能资源降低运行成本，同时解决生活热水的使用问题，有效减少环境污染，对当地供暖市场的绿色转型具有指导效应。

## **六、问题与建议**

太阳能跨季节储热系统运行过程中，需要关注安全问题。建议学校建立健全运维管理体系，确保系统安全、稳定运行。同时，加强运维人员培训，提高运维水平。

### 3.3 新民居小区光热太阳能分布式供暖典型案例项目

#### 一、项目基本情况

大森店村新民居小区光热太阳能分布式供暖项目位于河北省秦皇岛市青龙县隔河头镇，全村共 246 户（实际搬迁 238 户），828 口人，原分散居住在两条深沟内。2012 年底被县政府纳入国家“十二五”易地扶贫搬迁计划。该项目总建筑面积 27522.4 m<sup>2</sup>，共 12 栋建筑，村民住宅楼 9 栋，老年公寓 1 栋，村委会 1 栋，村民活动中心 1 栋。总投资为 3853 万元，其中太阳能供暖部分投资为 385 万元，2014 年 10 月建成投入使用，当年开始供暖。本案例建设单位为秦皇岛市北戴河兰德科技有限责任公司。目前已经正常运行了 10 个供暖期，供暖效果很好。供暖期室内平均温度 16~20℃，最低温度不低于 14℃，尽管供暖系统中有电辅助加热的功能，但是村民认为该室温基本能够满足需求，因而一直没有使用电辅助加热系统（部分村民在极寒天气情况下自己使用小太阳或空调辅热）。整个社区太阳能供暖运营每建筑 m<sup>2</sup> 每个供暖季耗电 1.18 度，每建筑 m<sup>2</sup> 耗电折合人民币为 0.61 元，加上每年的远程运营维护费每户收取 100 元，每年每 m<sup>2</sup> 总运行成本为 1.478 元，每户每年不到 200 元，因而村民很满意，该社区 2016 年被河北省发改委评为全省农村低碳社区示范单位。

秦皇岛市青龙县位于河北省东北部，燕山东麓，所处位置东经 118°33'31"~119°36'30" 北纬 40°04'40"~40°36'52"，属于我国太阳能资源比较丰富的 III 类太阳能资源地区，12 月份平均日照 h 数约 5.6h，12 月份水平面月平均日辐照量充足，非常适合利用太阳能光热资源进行制热供暖。根据《全玻璃真空太阳能集热管技术规范》NB/T 34070-2018 技术要求，玻璃管太阳能透射比  $\tau \geq 0.90$  (AM1.5)，吸收涂层太阳能吸收比  $\alpha \geq 0.90$  (AM1.5)，平均热损  $\leq 0.80\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ，本项目通过采用符合国标的全玻璃真空太阳能集热管进行光热转换，太阳能日辐照量能有效被吸收消纳转换成热量进行供暖，所以太阳能利用率极高。

青龙县是在 2018 年刚刚脱贫的贫困县，农村人均年收入约 1.5 万元至 2 万元，确实也不高，而太阳能供暖的费用相对比较低廉，所以深受农民的欢迎。

## 二、技术路线及工艺流程

### (一) 负荷情况

#### 1. 项目负荷和用能需求

本项目总建筑面积 27522.4 m<sup>2</sup>，建筑采用 65%建筑节能标准。

小区总热负荷为： $33.6\text{W}/\text{m}^2 \times 27522.4 \text{ m}^2 = 925\text{kW}$ 。

大森店新民居小区采用太阳能光热供暖总集热量 1376kW，满足小区供暖需求。

#### 2. 项目用能场景

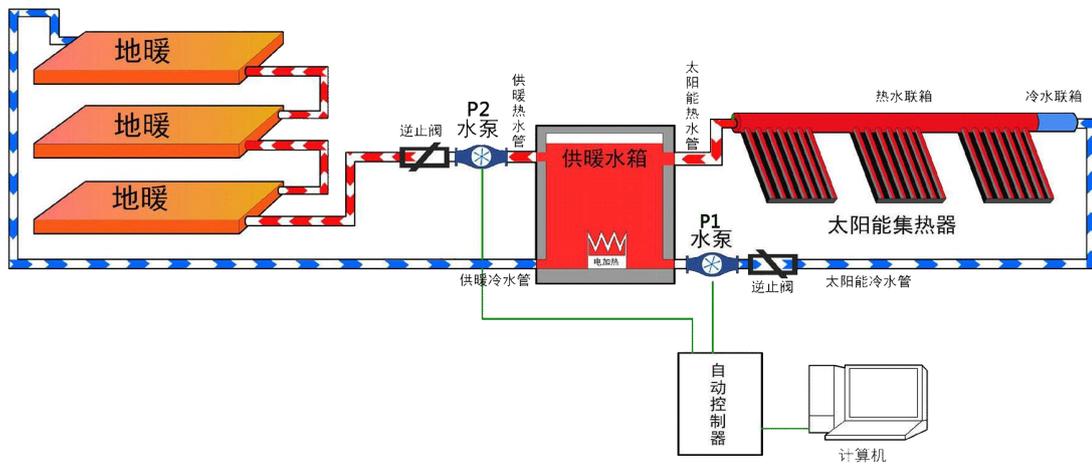


图 1 光热太阳能供暖原理图

### (二) 技术路线

#### 1. 技术思路

(1) 建筑物重视保温围护。本案例建筑工程达到 65%建筑节能标准，外墙、屋顶保温围护为 20kg 容重 10cm 厚聚乙烯阻燃苯板；窗户为塑钢单玻平开双层窗；末端为地板辐射低温供暖；主管道采用下进上回同程式系统。

(2) 高控制系统的精度和可靠性，从而提高供热系统的效能和稳定性。本案例控制系统由秦皇岛市北戴河兰德科技有限责任公司自主研发，全自动运行无人值守，温度传感器精度为误差 0.1℃的军品级。

(3) 在设计供暖系统时充分考虑提高太阳能系统的集热效率，水箱保温厚度为 55mm,水箱保温特殊设计定制。

(4) 应用物联网技术在远程对供暖系统进行监测和控制，以保证供暖系统的稳定运行。

## 2. 技术特点

(1) 运用建筑物与太阳能供暖系统一体化的科学设计方法,实现供暖、保温、投资和运行费用、居住舒适度的最优化。

(2) 系统利用智能传感器、总线通讯、自动控制和物联网技术实现了系统的自动控制、远程监控、无人值守。

(3) 解决了炸管、冻管、跑水等问题，确保系统可靠运行。

(4) 综合设计系统的储能，热量合理分配和均匀释放，解决了太阳能供暖的温差变化大的问题。

(5) 系统具有应对极端天气的能力。

(6) 应用价格相对低廉、热转换效率高的真空玻璃太阳能集热管，利用先进的控制技术克服了其可靠性差的缺陷，提高了整个系统的性能价格比，以利于大范围推广应用。

本案例供暖效果很好，供暖期室内平均温度 16~20℃，最低温度不低于 14℃，村民很满意。尽管供暖系统中有电辅助加热的功能，但是村民认为该室温基本能够满足需求，因而一直没有使用电辅助加热系统（部分村民在极寒天气情况下自己使用小太阳或空调辅热）。2014 年兰德公司研发的“太阳能供暖及自动控制系统”被河北省住建厅评为科技进步一等奖。2016 年大森店社区被河北省发改委评为全省农村低碳社区示范单位。

## 3. 技术适应性

### (1) 国内适合太阳能取暖的地区

河北、河南、山东、山西、内蒙、甘肃、辽宁南部、新疆北疆的南部和南疆地区、西藏东南部低海拔地区。

### (2) 本案例适宜的领域

农村整村的新民居；农村中学、小学、幼儿园；乡镇办公楼；乡镇医院、养老院；城乡结合部接不上集中供暖的开发区企业。

### （三）系统配置

#### 系统构成和系统配置

##### 1. 主要设备配置

本案例属于分布式光热太阳能供暖系统，每栋楼为一个独立的系统单元，本案例一个系统的供暖面积在 400 m<sup>2</sup>至 2500 m<sup>2</sup>之间，系统配置如下表：

配置类别	建筑面积 (m <sup>2</sup> )	不锈钢保温水箱 (t)	集热单元 (组)	控制器 (个)	循环泵 (台)		
					320W	550W	1100W
民居住宅	2000	2	52	1	1		1
老年公寓	2500	2	65	1	1		1
村委会	800	1	36	1	1	1	
村民活动中心	400	1	26	1	1	1	

##### 2. 集热单元主要设备构组件成及参数

集热单元由联箱、集热管、尾盒、支架组成，外形尺寸 2450mm×1800mm×1130mm；

联箱外壳材质：铝拉丝的不锈钢彩涂板；

联箱内胆材质：SUS304-2B 食品级，厚度 0.5mm；

真空管间距 75mm，管孔支数单面 30 支；

管口丝头 DN25 外丝，露出端盖尺寸 45mm；

联箱保温层一次发泡，聚氨脂密度大于 40kg/m<sup>3</sup>，厚度 55 mm；

尾盒一体材料加工且与联箱各孔保证同轴， $\delta=1.2\sim 1.5\text{mm}$ ；

联箱固定板（凤尾）厚度及工艺参照行业标准，不用打固定孔；

集热管为 $\text{O}58\text{mm}\times 1800\text{mm}$ 的多棱双玻璃真空管；

每组集热单元为 30 根太阳能集热管；

支架为组合式可拆卸模式，材质为型钢。

##### 3. 系统运行规律

设备名称	设备运行规律	备注
集热单元	间歇	
控制器	连续	
循环泵	间歇	
水箱	间歇	

4. 本案例系统寿命 15 年。
5. 太阳能系统的转换效率 $\geq 35\%$ 。
6. 系统供水温度  $40^{\circ}\text{C}$ ，回水温度  $30^{\circ}\text{C}$ ；

太阳能供暖系统与太阳能热水系统的本质区别是对热能的刚性需求不同,在光照时间最短的冬季,系统必须能够高可靠、低成本运行,并且具有应对极端天气的能力。因此本系统采用全新的设计理念,综合太阳能集热、短期储能、辅助加热、建筑节能等要素优化系统设计。本系统全自动控制,高稳定性,实现无人值守,节约人力成本;系统集成物联网技术,通过上位机实现远程监控;实际供暖期可比国家规定的时间前、后延长,同时基本不增加供暖成本;系统投资少、运行费用低、可靠性高、使用寿命长,且室内温度适宜,易于推广应用。

#### (四) 系统运行情况

本案例自 2014 年 10 月建成投入使用,目前已经正常运行了 10 个供暖周期。每年供暖时间为 10 月 15 日~4 月 15 日六个月时间,本案例一个供暖周期实际耗电  $32476^{\circ}\text{C}$ ,按照每度电 0.52 元计算,电费 16887.52 元。整个社区太阳能供暖运营每建筑  $\text{m}^2$  每个供暖季耗电  $1.18^{\circ}\text{C}$ ,每建筑  $\text{m}^2$  耗电折合人民币为 0.61 元,每年的远程运营维护费每户收取 100 元,每年每  $\text{m}^2$  总运行成本为 1.478 元,每户  $110\sim 130\text{ m}^2$  不等的建筑面积,每年每户用供暖费用不到 200 元。

### 三、经营模式

#### (一) 项目建设投融资模式

本案例属于国家“十二五”易地扶贫搬迁项目,每户村民根据建筑面积的大小不同出资 10 万至 12 万元,国家对每个村民补贴 0.6 万元,合计总投资 3583 元。太阳能供暖系统每  $\text{m}^2$  投资 140 元,合计 385 万元,其中由河北省农业厅给予每户补贴 1.5 万合计太阳能供暖补贴 357 万元。

#### (二) 运营主体管理模式

本案例采用社区物委会+楼长+太阳能供暖系统建设单位+物联网远程等联合运营管理模式。社区物业管理委员会推荐全社区太阳能供暖系统管理员,每栋楼选出太阳能供暖楼长,太阳能供暖系统建设单位利用远程物联网监测供暖数据,有异常时首先

远程处理，或者联系管理员配合处理，远程处理不了的情况下再派人现场维修。村民每年付给太阳能供暖系统建设单位每户 100 元的远程运维费，需要派人到现场维修时再另外收取相关的费用。

兰德公司“太阳能供暖物联网远程管理平台”是一套基于 Windows 的操作系统，具有对若干建筑物太阳能供暖系统的数据采集、系统运行状态实时显示、历史数据存储、报警阈值设定、报警等功能的计算机上位机软件。它依托兰德科技公司研发生产的太阳能供暖及自动化控制系统、底层无线局域网以及无线传输系统对太阳能供暖运行系统进行数据采集，通过物联网将所采集的数据发送至兰德公司的太阳能供暖物联网远程管理平台，从而对应用太阳能供暖建筑的客户群供暖状况进行实时监控。平台可以在远程精确地获得该供暖系统数据，依据数据来判断故障并处理。同时将该平台的功能通过专门的软件使兰德公司太阳能供暖运营部的工程师手机客户端具有与服务器平台相同的功能，运营工程师也可用手机昼夜监视供暖系统状况，方便供暖系统运营的管理和控制，确保供暖系统更加稳定可靠运行，保障优良的售后服务，减少人力、物力、财力支出。

由于村民整体文化水平较低，而且多数是老弱病残等留守人员，所以供暖系统最好实现全自动、无人值守方式，并且进行先进的远程运行服务模式与本村供暖系统管理人员相结合进行运营管理，否则在北方寒冷地区，再好的太阳能供暖系统由于管理不善，也会将系统“冻死”，导致项目的失败，这种情况在全国比比皆是。所以本案例的运行管理模式对于系统的稳定和长期运行非常重要。

#### 四、效益分析

##### （一）经济效益

##### （1）建设成本和运行成本分析

本案例光热太阳能系统安装费用为 140 元/m<sup>2</sup>，建设成本为 27522.4 m<sup>2</sup>×140 元/m<sup>2</sup>=3853136 元，一个供暖季实际耗电 32476 度，按照电价 0.52 元/kWh 计算，电费 16887.52 元。与秦皇岛市城市集中供暖收费标准相比静态回收期约 5.4 年。

##### （2）产生的经济效益

上述计算表明，整个社区太阳能供暖运营每建筑 m<sup>2</sup> 每个供暖季耗电 1.18kWh，每

建筑平方米耗电折合 0.61 元，每年的远程运营维护费每户收取 100 元，共计 23800 元，折合 0.865 元/m<sup>2</sup>，每年每平方米总运行成本为 1.478 元，每年全社区总计供暖费用 40687 元。按照秦皇岛市城市集中供暖收费标准，该社区每年每 m<sup>2</sup> 需要缴费 26.48 元，本案例每年每 m<sup>2</sup> 减少 25 元，整个社区每年节省供暖费用 68.8 万元，10 年共计节省供暖费用 688 万元。

## （二）环保效益

本案例在一个供暖季节约标准煤 197t，减排二氧化碳 524t，10 个供暖季少烧标准煤 1970t，减排二氧化碳 5240t。

## （三）社会效益

由于太阳能供暖，杜绝了煤烟和煤灰，整个社区环境优美、空气清新，跟城市没有大的区别，提升了村民的生活质量和幸福指数。

# 五、突出亮点

## （一）设计理念先进

运用建筑物与太阳能供暖系统一体化的科学设计方法,实现供暖、保温、投资和运行费用、居住舒适度的最优化。

## （二）太阳能供暖系统设计、制造、施工水平先进

1. 太阳能供暖系统利用智能传感器、总线通讯、自动控制和物联网技术实现了系统的全自动控制、远程监控、无人值守，以保证适应农村社区管理现状和供暖系统的稳定运行。

2. 从技术上解决了寒冷地区炸管、冻管、跑水等问题，确保系统可靠运行。

综合设计系统的储能、热量合理分配和均匀释放，解决了太阳能供暖的温差变化大的问题。

3. 应用价格相对低廉、热转换效率高的真空玻璃太阳能集热管，利用先进的控制技术克服了其可靠性差的缺陷，提高了整个系统的性能价格比，以利于大范围推广应用。

4. 施工过程中不断改进技术和方法，遴选新的器件，以适应寒冷地区的太阳能供暖特性。

### （三）创新了供暖运营管理模式

本案例采用“社区物委会+楼长+太阳能供暖系统建设单位+物联网远程”等联合运营管理模式。社区物业管理委员会推荐全社区太阳能供暖系统管理员，每栋楼选出太阳能供暖楼长，太阳能供暖系统建设单位利用远程物联网监测供暖数据，有异常时首先远程处理，或者联系管理员配合处理，远程处理不了的情况下再派人现场维修。村民每年付给太阳能供暖系统建设单位每户 100 元的远程运维费，需要派人到现场维修时再另外收取相关的费用。

### （四）经济效益显著

整个社区太阳能供暖运营每建筑平方米每个供暖季耗电 1.18kWh，每建筑平方米耗电折合 0.61 元，加上每年的远程运营维护费每户收取 100 元，每年建筑平方米总运行成本 1.478 元，每户每年不超 200 元，运营费用十分低廉。跟秦皇岛市集中供暖收费相比，整个社区每年节省供暖费用 68.8 万元，10 年共计节省供暖费用 688 万元。

### （五）社会效益显著

在建筑 65%节能标准基础上，一个供暖周期还能节约标准煤 197t，减排 CO<sub>2</sub> 485t，10 个供暖季少烧标准煤 1970t，减排 CO<sub>2</sub> 4850t。由于太阳能供暖，杜绝了煤烟和煤灰，整个社区环境优美、空气清新，室内窗明几净，跟城市生活几乎没有差别，极大地提升了村民的生活质量。

## 六、问题和建议

一是复制本案例最好是新建建筑，在设计阶段将建筑与太阳能供暖进行一体化的科学设计；

二是建筑物达到 65%或以上建筑节能标准；

三是分布式供暖；

四是如果对供暖温度要求比较高的建筑，建议光热太阳能+空气能辅助或者燃气辅助较好。

### 3.4 宏庆德村 248.1 亩太阳能光热利用项目

#### 一、项目基本情况

1. 项目名称：宏庆德村 248.1 亩太阳能光热利用项目

2. 类型：太阳能供热

3. 规模：槽式太阳能集热场总面积约 9.3 万 m<sup>2</sup>（地面+厂房屋顶）。根据第三方检测报告，综合考虑槽式太阳能集热系统和储热水箱储热能力，基于供暖设计负荷指标 21.3W/m<sup>2</sup>，系统能够满足供暖季 50 万 m<sup>2</sup> 的供热面积；具备年产 280 万 t 以上生活热水的能力。该项目是国内甚至是全球首例大型槽式太阳能供热供暖项目。

4. 建设单位：内蒙古新源光热有限责任公司和内蒙古旭宸能源有限公司

5. 总投资：近 5 亿元

6. 建成运行时间：自 2016 年建成以来，共平稳运行七个供热季，供热效果良好。

7. 项目介绍：

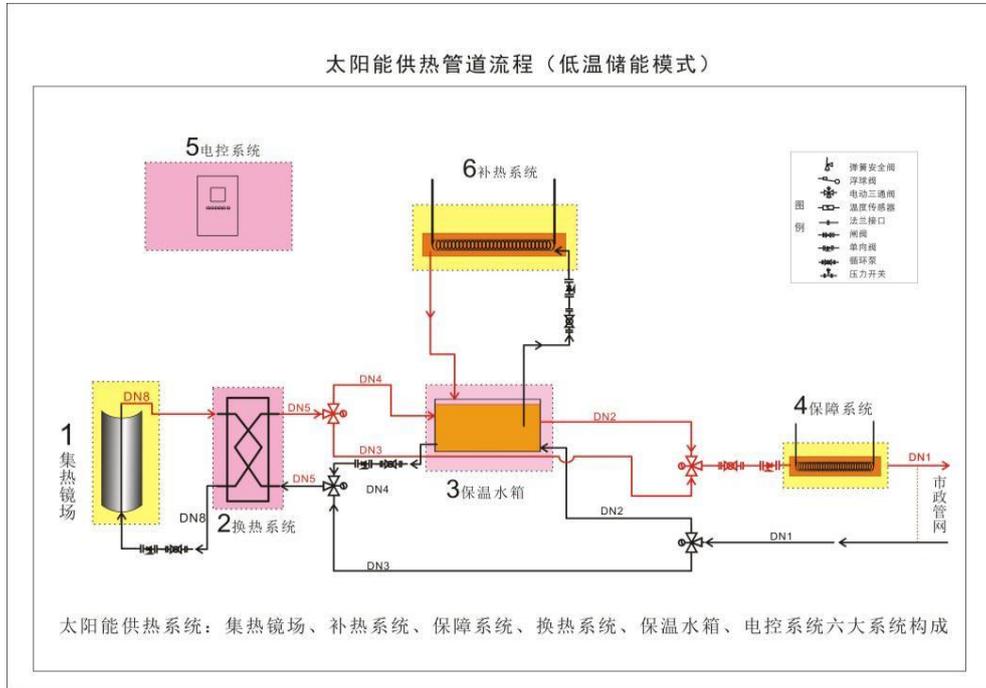
项目采用旭宸能源自主研发的小型槽式聚光技术，利用闲置土地建设槽式太阳能聚光镜场 7.1 万 m<sup>2</sup>，配置了九个储热水箱，为商业楼和园区供热；同时利用 5 万 m<sup>2</sup> 公司集热管厂房屋顶，在不影响原有厂房的情况下，对屋面进行改造，安装了 2.2 万 m<sup>2</sup> 槽式集热器，满足自身厂房、办公楼以及配套建筑的供热、热水及蒸汽需求。2016 年 10 月完成部分镜场建设，实现商业、住宅 8 万 m<sup>2</sup> 供热。2017 年 6 月底，整体项目完工。目前集热系统为包头装备制造产业园区内管委会、超高压、水务集团、北方装备等 12 家企事业单位、奥特莱斯商户及中诚国际城居民提供供热服务；为包头市青昆两区提供移动热源服务；为占地 6191 m<sup>2</sup> 的太阳能供热运营数控中心提供热能，保持温室的恒温恒湿。

项目的实施助力包头装备制造产业园区进入工信部《第三批绿色制造名单》，成为包头市首个“国家绿色园区”。

#### 二、技术路线及工艺流程

本项目采用槽式聚光集热技术，太阳能供热系统由集热镜场部分（槽式聚光器和

真空集热管)、换热系统、保温储热大型水箱, 以及电气控制系统、补热系统、保障系统六大部分组成。



系统运行流程为: 抛物面反射镜跟踪太阳将阳光汇聚到真空集热管上, 加热真空管内的导热油传热介质, 将汇聚的阳光转化为热能, 并通过换热设备将热量传递到用户端或者高效储热保温水箱, 根据供热一次管网所需温度, 输出高品质热能以满足建筑的供热需求。当阳光好, 集热场所收集的热量大于室内末端所需的热量时, 多余的能量换热后储存在储热保温水箱中。在太阳能日集热总量低于供热总量时, 系统自动释放保温储能水箱中的热量。如保温水箱中的热能低于安全设定值时, 补热系统自动根据电力资源情况对保温储能水箱进行能量补充。在特殊情况下, 系统在太阳能及保温储能水箱都全出力的情况下, 系统仍不能保障一次供热管网的需求时, 系统可启用保障性补热系统。以保证系统能够正常运行 10 天后, 最低温度不低于 50°C。

系统通过远程智能中控系统管理实现热水工程的智能化控制, 包括: 自动上水, 水满自停, 显示水温水位, 自动或定时电加热、管道循环以及增压等控制换热系统将热量传递到用户端或者高效储热保温水箱, 实现全天候无人值守。



图 1 槽式集热场和储热水箱



图 2 集热管生产车间屋顶槽式集热器



图3 槽式集热器示意图

槽式反射镜采用自主研发的专有技术，使用超白低铁玻璃，经过高温物理钢化、镀反射银层、铜铬镍稀土合金保护层及太阳能专用抗风化保护层制成，反射率 $\geq 93.5\%$ ，表面张力 $\alpha \geq 95\text{MPa}$ ，工作环境温度 $-50 \sim 50^\circ\text{C}$ ，使用寿命可达25年。槽式集热器相关参数为：孔径3.2m，单模组长度8m；聚光比80；集热器最高运行温度： $420^\circ\text{C}$ ；集热器光热转换效率约75%。

### 三、经营模式

(1) 太阳能光热集中供热。现为园区内管委会、超高压、水务集团、北方装备等12家企事业单位、奥特莱斯商户及中诚国际城居民提供供热服务。该项目设计以电极锅炉作为辅热设备，2022年接入三电厂热电联产作为主要辅热热源，实现“多能互补”供热模式。自2016年建设以来经过七个供热季，供热效果良好。

2023年政府给予地方专项债3000万元，用于扩大原有供热管线铺设范围。通过市场的不断拓展，2023年扩大了近6.5万 $\text{m}^2$ 供热面积、增加热费收入302万元，实现近三年收入的不断增长，实现了国有资产的保值与增值。

(2) 城市移动热源。为提升太阳能光热利用率，实现全年“集热、储热、用热”一体化。2023年新源光热将现有储热设备进行技术改造，并依托自身全年集热优势，深化与包头市供水总公司的合作模式。非供暖季，系统产生的热水就近运输到酒店、洗浴中心、游泳池等长年热水用量较大的用户处，满足用户对热水的需求，改变用户利用煤、电、燃气等能源的现状。截至目前，已销售近1.5万t  $82^\circ\text{C}$ 左右的热水，实现了方便快捷、清洁环保、安全可靠、节约成本、适用范围广等特点，并填补了包头

市移动热源的空缺，满足了用能企业的各项需求，探索出一条城市用能新途径。

(3) 正在培育太阳光热、电厂辅热、工业余热等多能互补模式。结合包头装备制造产业园区工业余热利用率低实际，新源光热将“工业余热回收及利用”作为公司的培育业务。当前包头装备制造工业余热资源丰富，余热资源约占其燃料消耗总量的17~67%，其中可回收率达60%，余热利用率提升空间大，节能潜力巨大。未来计划建设园区企业工业余热收集再利用系统，将收集的工业余热纳入智能供热管网系统，实现太阳光热、电厂辅热、工业余热等多能互补。同时打造智慧化能源管理系统，提供技术改造，通过余热循环再利用，提升能源有效利用率，实现节能减排，扩大收益。

#### 四、效益分析

##### 1. 社会效益

推进我国北方地区清洁供暖是关系民生的重大需求，各地都在寻求适合当地区域的清洁能源供暖最佳方案。包头冬季平均气温可达零下10℃，供热不足会严重影响人民生活。包头本地的供热行业存在供求关系紧张、资源利用率较低、可再生能源利用不足等问题，而且这些问题正呈现出日益尖锐化的趋势，已经对经济的发展造成了一定的制约。

本项目是城市公共设施建设的重要组成部分，作为公益性项目，项目的兴建和运营对青山区的经济和社会发展产生了积极影响。项目的建设改善了城市部分区域基础设施与城市建设不协调的状况，方便了园区企业进行厂房供暖，美化了城市环境，完善了城市功能，改善了城区的硬件环境以及城市人居环境。

##### 2. 环境效益

项目的建成为装备园区企业实现高质量零碳集中供热，满足入驻企业的供暖需求，实现年收集热能1.79亿kWh（合63.3万GJ），相当于每年节约2.1万t标准煤，减少二氧化碳排放5.8万t、氮氧化物约155t，二氧化硫约178t，助力包头市装备园区实现绿色低碳发展。

##### 3. 经济效益

项目的经济效益主要来自集中供热区域居民及企业的供热效益。如用户使用集中供热每m<sup>2</sup>交费24元，而同等供暖面积电供暖大概需要48~60元。50万m<sup>2</sup>供热面积，

总的节能效益约为 1200~1800 万元。此外，在非供暖季销售太阳能热水作为收益的手段。

该项目于 2023 年得到了地方政府的高度认可与支持，并成功申请地方专项政府债，在原有供热面积的基础上，进一步扩大管网铺设范围，减少散煤燃烧污染，保障群众温暖过冬。项目实施对周边地区环境改善和人民生活质量的提高，加强基础设施建设，推动工业发展做出了积极贡献。同时为技术的推广做出了示范。

### **五、突出亮点**

该项目是我国甚至全球目前唯一一个以大规模槽式太阳能聚光集热技术供热的项目。项目采用槽式太阳能聚光集热技术，太阳能集热场总面积 9.3 万 m<sup>2</sup>。项目已连续稳定运行 7 年，满足了园区企业和周边居民的供暖需求。此外在非供暖季通过出售太阳能热水提高收益。项目的实施一方面实现了节能减排，节约企业的运营成本，同时也为园区“七通一平”基础建设提供了根本保障，为园区提供了优良的投资环境。项目助力包头装备制造产业园区成功入选工信部《第三批绿色制造名单》，成为包头市首个“国家绿色园区”。

### 3.5 浪卡子县县城太阳能集中供暖项目（一期）

#### 一、项目基本情况

浪卡子大型太阳能储热供暖工程由日出东方阿康清洁能源有限公司于 2018 年底建成，项目位于山南浪卡子县，海拔 4500m。一期项目供暖建筑面积 8.9 万 m<sup>2</sup>，太阳能集热面积 22275 m<sup>2</sup>，储热量 1.5 万 m<sup>3</sup>。是当时亚洲最大的太阳能储热供暖工程，也是世界上第一个太阳能实际运行保证率达到 100% 的太阳能集中供暖示范标杆项目工程，年减排 CO<sub>2</sub> 达 13000t。填补了大型太阳能供热系统在西藏成功运行的空白。

浪卡子项目经过四个完整的供暖季运行检验，建筑室内温度 16~22℃，每 m<sup>2</sup> 供暖建筑的运行用电成本不到 2 元，清洁、便宜、高效，受到藏区民众的广泛认可和赞誉。西藏太阳能资源丰富，选择太阳能供暖既可就地利用当地可再生资源，又可保护当地脆弱的生态。

作为世界第一个高寒高海拔、第一个全链条交钥匙的太阳能集中供热项目，运行至今，也创下了数据采集最完整、运行费用最低的太阳能供热项目记录，为利用太阳能热供暖的世界历史，书写了浓墨重彩的一个篇章。同时，也引起国内外行业专家的高度关注，为此，我公司于 2018 年 10 月 29 日至 11 月 4 日承办了国际能源署太阳能供热制冷委员会 Task55 专家会议，这也是该会议首次在中国召开，浪卡子项目获得了专家的一致好评。

#### 二、技术路线及工艺流程

##### 1. 负荷情况

项目为浪卡子县县城提供清洁供暖，浪卡子县地处高海拔地区、气候寒冷、供暖季漫长，但太阳能资源丰富。项目供暖期时间为每年 9 月 23 日~5 月 31 日，长达 251 天。供暖期室外平均温度 -3.7℃，最低可达 -20℃。地区年日均总辐照量为 23.7MJ/m<sup>2</sup>，年均日照时长 2933.8h，平均每日日照小时数 8.03h。

项目用能需求仅为供暖，无工业用热需求。供暖建筑面积 8.9 万 m<sup>2</sup>，热负荷 4.3MW。用能场景包括学校、医院等公共建筑，还有小区、住宅等居住建筑，为当地居民提供

温暖舒适、清洁低碳的生活、学习、办公环境。

## 2.技术路线

本项目采用“集热器收集太阳能热量-储热装置储存热量-换热系统将热量传递给供暖系统-供暖系统供暖”的工艺流程。集热器将太阳能转化为热能，储热装置储存热能，换热系统将热能传递给供暖系统，供暖系统通过循环水将热量传递给用户，实现供暖。

项目采用了高效集热技术、大容量蓄热温度分层技术、智能化控制技术等先进技术，选用高效大平板集热器、大型人工蓄热水池、智能控制系统等设备，实现了太阳能的充分利用和稳定供暖。

技术路线主要如下：

(1) 高效集热技术：采用高效大平板集热器，通过大面积接收太阳辐射能，将太阳能转化为热能，为系统提供稳定的热源。

(2) 大容量蓄热温度分层技术：采用大型人工蓄热水池，可以储存足够多的热量，满足夜间和阴天等没有日照情况下的供暖需求。同时蓄热体上下温差可达 40℃，在提高集热效率的同时，也保证了系统的安全运行。

(3) 智能化控制技术：采用智能控制系统，实时监测和控制集热、储热、供暖等环节，确保系统稳定运行，同时实现能源的节约和优化。

技术特点如下：

(1) 适应性广：该技术适用于各种气候条件下的供暖需求，尤其适合太阳能资源丰富的地区。

(2) 稳定性好：由于采用了大容量储热技术，系统可以稳定供暖，不受天气变化的影响。

(3) 效率高：通过高效集热和储热技术，实现了太阳能的高效利用，能效比高。

(4) 运行费用低：以太阳能作为热源，仅循环泵等用电设备需要消耗少许电能，运行费用远低于传统能源供暖方式。

(5) 环保节能：该技术利用可再生能源，减少了对化石能源的依赖，具有环保和节能的双重优势。

### 3.系统配置

系统集热部分采用高效大平板集热器，装机容量 17.5MW，总集热面积 22275 m<sup>2</sup>，集热器安装倾角为 40°，循环介质为丙二醇防冻液，与蓄热部分采用板式换热器进行换热。高效大平板集热器效率截距>83%，轮廓面积 15 m<sup>2</sup>，采光面积 13.75 m<sup>2</sup>。

蓄热部分采用大型人工蓄热水池，蓄热体积 15000m<sup>3</sup>，蓄热介质为纯水。

供热部分采用板式换热器与蓄热部分换热，设计换热量 4.3MW，供热介质为水，供回水温度为 65℃/40℃。辅助热源采用 2 台 1.5MW 的电锅炉。

系统耐候性好，可抵抗高原恶劣的气候环境，寿命可达 25 年。系统设置多重防冻防过热措施，保证系统安全稳定运行。同时采用大量高精度传感器对辐照、温度、压力、流量等系统运行参数进行实时监测，能够根据实际工况，自动调整运行状态，保证系统高效运行。系统采用智能化控制，能够实现远程监控和操作，方便用户的使用和维护。

系统经四个供暖季的运行，实际太阳能保证率高达 99%以上。

### 4.运行情况

系统运行仅消耗少量电能以维持系统水泵运行，供暖所需热量全部来源于太阳能。

在整个供暖期，从 9 月 23 日到 5 月 31 日，供暖房间温度在 16~22℃，供暖稳定可靠。运行费用低，每平方米供暖面积年运行电费不到 2 元/m<sup>2</sup>。

## 三、经营模式

### 1.投资方式

本项目采用 EPC 工程总承包模式，政府全额出资，确保项目的顺利实施。通过招标方式选择具有实力的承包商，负责项目的整体设计、采购、施工和调试等全过程。这种模式能够充分发挥政府的主导作用，确保项目的质量和进度，同时减轻了企业的投资压力。

### 2.收费模式

本项目由专业运维公司运维，运维公司根据用户供暖面积，向用户收取供暖费。

### 3.经营方式

本项目采用专业化运营方式。社会资本组建专业化的运营团队，负责项目的日常管理和维护。运营团队具备丰富的经验和专业技能，能够确保项目的稳定运行和持续发展。同时，政府将定期对项目进行监督和评估，确保项目的质量和效益。

#### 四、效益分析

##### 1.经济效益

本项目采用太阳能供暖技术，能够大幅降低能源成本，减少对传统能源的依赖，项目运行过程中仅消耗少量电能，运行成本极低，能够很好地减轻当地政府的财政压力。实际运行每个供暖季单位供暖面积运行用电成本不到 2 元。

##### 2.环保效益

西藏太阳能资源丰富，选择太阳能供暖既可就地利用当地可再生资源，又可保护当地脆弱的生态。本项目利用太阳能供暖，减少了化石能源的使用，年减排 CO<sub>2</sub> 达 13000t，具有显著的环保效益。通过太阳能的利用，能够减少对自然资源的开采和破坏，保护生态环境。同时，太阳能是一种可再生能源，长期使用能够为地区创造可持续发展的有利条件。

##### 3.社会效益

本项目的实施能够改善当地居民的生活质量，为他们提供温暖舒适的居住环境。太阳能供暖技术具有稳定性和可靠性，能够确保居民在冬季得到持续供暖。此外，项目的实施能够促进当地就业和产业发展，为地区经济的繁荣做出贡献。通过太阳能供暖技术的推广和应用，能够推动地区能源结构的转型和升级，实现绿色发展。同时，作为全球第一个高寒、高海拔、高太阳能保证率的成功案例，为在西藏地区发展太阳能供暖提供了宝贵的示范效益。

##### 4.政策支持与优惠

本项目充分利用国家和地方的太阳能供暖政策支持，享受相关优惠措施。政府为项目的实施提供了全额资金支持，减轻了企业的投资压力。同时，项目还享受国家和地方的税收优惠、补贴等政策支持，进一步降低了项目的运营成本。这些政策支持为项目的顺利实施提供了有力保障。

综上所述，本项目的实施具有显著的经济效益、环保效益和社会效益。通过太阳

能供暖技术的应用，能够为地区创造可持续发展的有利条件，促进经济和社会的繁荣发展。

## 五、突出亮点

1.采用高效集热、分层蓄热和智能化控制的技术路线，实现了世界首例高寒高海拔的太阳能集中供热项目；

2.多重防冻防过热保护措施，保障系统的安全稳定运行；

3.世界上第一个实际太阳能保证率达到 100%的大型太阳能集中供热项目；

4.作为西藏首个大型太阳能集中供暖项目，起到了良好的示范作用，推动了太阳能供暖行业的发展；

5.项目运行成本极低，单位供暖面积运行用电成本不到 2 元；

6.采用太阳能供暖技术，降低了碳排放和空气污染，具有显著的环保效益。

7.通过太阳能供暖技术的推广和应用，推动地区能源结构的转型和升级，实现绿色发展。

## 六、问题和建议

在项目的实施过程中，我们也遇到了一些问题和挑战。以下是对这些问题的总结和建议：

一是气候条件的影响：高寒高海拔地区的极端气候对系统设备提出了更高的要求。建议在未来的项目中，进一步研究和优化设备的耐寒、耐高原缺氧性能，提高设备的适应性和稳定性；二是初期投资成本：虽然太阳能供暖技术的长期运营成本较低，但项目的初期投资成本较高。建议政府进一步加大对太阳能供暖项目的支持力度，通过财政补贴、税收优惠等措施降低企业的投资压力；三是与其他可再生能源的集成。考虑将太阳能供暖系统与其他可再生能源（如风能、地热能等）进行集成，形成多能互补的能源供应体系，进一步提高能源利用效率和系统的稳定性。

## 3.6 仲巴县县城太阳能集中供暖项目

### 一、项目基本情况

仲巴大型太阳能储热供暖工程由西藏日出东方阿康清洁能源有限公司于 2019 年 11 月建成，项目位于日喀则仲巴县，海拔 4700 米。项目供暖建筑面积 11.5 万 m<sup>2</sup>，太阳能集热面积 32175 m<sup>2</sup>，储热量 1.5 万 m<sup>3</sup>。是当时亚洲最大的太阳能储热供暖工程，也是世界上海拔最高的太阳能集中供暖项目，年减排 CO<sub>2</sub> 达 21000t。为仲巴县提供了清洁无污染、运行费用最低廉的供热解决方案，终结了仲巴县城依靠烧牛粪供暖的历史。

仲巴项目经过四个完整的供暖季运行检验，建筑室内供暖温度在 16~22℃，一个供暖季系统运行电费不到 2 元/m<sup>2</sup>，清洁、便宜、高效，受到藏区民众的广泛认可和赞誉。西藏太阳能资源丰富，选择太阳能供暖既可就地利用当地可再生资源，又可保护当地脆弱的生态。

### 二、供暖面积

仲巴县县城位于日喀则市，地处青藏高原，地理条件复杂，冬季气候寒冷，供暖需求迫切。本项目仅为仲巴县城提供供暖，供暖范围为仲巴县县城东至柴曲河东岸，西至县城西侧山麓线，南至现状法院南 890m，北至县政府以北，总面积约 3.34km<sup>2</sup>。

项目供暖建筑总面积为 11.5 万 m<sup>2</sup>，供暖对象包括学校、医院等公共建筑，还有小区、住宅等居住建筑。根据对仲巴县城的调研结果，当时县城内部分建筑没有保温措施，围护结构做法以“普通砖墙+水泥砂浆”，单层玻璃窗为主。项目包含对这部分建筑的节能改造，改造之后项目供暖热负荷 6.07MW，供暖期时间为每年 10 月 1 日~5 月 31 日。

### 三、技术路线及工艺流程

本项目采用“集热器收集太阳能热量—储热装置储存热量—换热系统将热量传递给供暖系统—供暖系统供暖”的工艺流程。集热器将太阳能转化为热能，储热装置储存热能，换热系统将热能传递给供暖系统，供暖系统通过循环水将热量传递给用户，

实现供暖。

项目采用了高效集热技术、大容量蓄热温度分层技术、光伏光热耦合技术、智能化控制技术等先进技术，选用高效大平板集热器、蓄热钢罐、智能控制系统等设备，实现了太阳能的充分利用和稳定供暖。

技术路线主要如下：

(1) 高效集热技术：采用高效大平板集热器，通过大面积接收太阳辐射能，将太阳能转化为热能，为系统提供稳定的热源。

(2) 大容量蓄热温度分层技术：采用大型蓄热钢罐，可以储存足够多的热量，满足夜间和阴天等没有日照情况下的供暖需求。同时蓄热体上下温差可达 40℃，在提高集热效率的同时，也保证了系统的安全运行。

(3) 光伏光热耦合技术：采用太阳能光伏发电为太阳能集热循环提供动力，光伏发电功率与集热循环泵所需负载功率基本持平，多余的发电量储存在蓄电池中，不足的从储能蓄电池中取电，蓄电池电量不足时由市电补充。

(4) 智能化控制技术：采用智能控制系统，实时监测和控制集热、储热、供暖等环节，确保系统稳定运行，同时实现能源的节约和优化。

技术特点如下：

(1) 适应性广：该技术适用于各种气候条件下的供暖需求，尤其适合太阳能资源丰富的地区。

(2) 稳定性好：由于采用了大容量储热技术，系统可以稳定供暖，不受天气变化的影响。

(3) 能效比高：通过高效集热和储热技术，实现了太阳能的高效利用，能效比高。

(4) 运行费用低：以太阳能作为热源，仅循环泵等用电设备需要消耗少许电能，运行费用远低于传统能源供暖方式。

(5) 环保节能：该技术利用可再生能源，减少了对化石能源的依赖，具有环保和节能的双重优势。

#### **四、主要设备选型**

集热部分采用高效大平板集热器，装机容量 28.1MW，总集热面积 32175 m<sup>2</sup>，循

环介质为丙二醇防冻液，与蓄热部分采用板式换热器进行换热。高效大平板集热器瞬时热效率 $>65\%$ ，轮廓面积  $15\text{ m}^2$ ，采光面积  $13.75\text{ m}^2$ 。

蓄热部分采用大型蓄热钢罐，蓄热体积  $15000\text{m}^3$ ，蓄热介质为水，能够缓存  $525\text{MWh}$  热量。

供热部分直接从蓄热钢罐取热，热负荷  $6.07\text{MW}$ ，供热介质为水，供回水温度为  $65^\circ\text{C}/40^\circ\text{C}$ 。辅助热源采用两台  $1.4\text{MW}$  的燃油锅炉。

系统光伏储能部分配置  $200\text{kW}$  光伏组件， $372\text{kWh}$  储能电池，为供暖系统提供部分运行电能，不足部分由市电补充。

系统耐候性好，可抵抗高原恶劣的气候环境，寿命可达 25 年。系统设置多重防冻防过热措施，保证系统安全稳定运行。同时采用大量高精度传感器对辐照、温度、压力、流量等系统运行参数进行实时监测，能够根据实际工况，自动调整运行状态，保证系统高效运行。系统采用智能化控制，能够实现远程监控和操作，方便用户使用和维修。

系统经三个供暖季的运行，实际太阳能保证率接近  $100\%$ 。

## 五、生产运行情况

系统主要消耗能源为电能。供暖所需热量主要来自于太阳能，太阳能不足的由燃油锅炉补充。维持系统循环动力所需的电量同样主要来自于太阳能光伏，太阳能光伏发电不足的由市电补充。在过去的的一个供暖季，平均环境温度为  $-3.1^\circ\text{C}$ ，最冷日平均环境温度为  $-19.8^\circ\text{C}$  条件下，集热系统累计得热量为  $25212.6\text{MWh}$ ，供暖系统累计供热量为  $23643.5\text{MWh}$ ，供暖季供暖期间，燃油锅炉未启动，平均太阳能保证率为  $100\%$ 。

在整个供暖期，供暖房间温度在  $16\sim 22^\circ\text{C}$ ，供暖稳定可靠。运行费用低，每  $\text{m}^2$  供暖面积年运行电费仅为  $2\text{元}/\text{m}^2$  左右。

## 六、建设运营模式

### 1. 投资方式

本项目采用 EPC 工程总承包模式，政府全额出资，确保项目的顺利实施。通过招标方式选择具有实力的承包商，负责项目的整体设计、采购、施工和调试等全过程。这种模式能够充分发挥政府的主导作用，确保项目的质量和进度，同时减轻了企业的

投资压力。

## 2. 收费模式

本项目由专业运维公司运维，运维公司根据用户供暖面积，向用户收取供暖费。

## 3. 经营方式

本项目采用专业化运营方式。社会资本组建专业化的运营团队，负责项目的日常管理和维护。运营团队具备丰富的经验和专业技能，能够确保项目的稳定运行和持续发展。同时，政府将定期对项目进行监督和评估，确保项目的质量和效益。

## 七、项目经济性

本项目采用太阳能供暖技术，能够大幅降低能源成本，减少对传统能源的依赖，项目运行过程中仅消耗少量电能，运行成本极低，能够很好地减轻当地政府的财政压力。实际运行每个供暖季单位供暖面积运行用电成本仅为 2 元/m<sup>2</sup>左右。

## 八、环境及社会效益

本项目利用太阳能供暖，减少了化石能源的使用，降低了碳排放和空气污染，具有显著的环保效益。通过太阳能的利用，能够减少对自然资源的开采和破坏，保护生态环境。同时，太阳能是一种可再生能源，长期使用能够为地区创造可持续发展的有利条件。

本项目的实施能够改善当地居民的生活质量，为他们提供温暖舒适的居住环境。太阳能供暖技术具有稳定性和可靠性，能够确保居民在冬季得到持续供暖。此外，项目的实施能够促进当地就业和产业发展，为地区经济的繁荣做出贡献。通过太阳能供暖技术的推广和应用，能够推动地区能源结构的转型和升级，实现绿色发展。

## 九、典型经验和做法

1. 采用高效集热、分层蓄热和智能化控制的技术路线，实现了高寒高海拔地区的太阳能集中供暖；

2. 采用光伏光热耦合技术，实现了超低能耗清洁供暖；

3. 多重防冻防过热保护措施，保障系统的安全稳定运行；

4. 连续多年太阳能实际运行保证率在 95%以上；

5. 项目运行成本极低，单位供暖面积运行用电成本仅 2 元左右；

6. 采用太阳能供暖技术，降低了碳排放和空气污染，具有显著的环保效益。

7. 通过太阳能供暖技术的推广和应用，推动地区能源结构的转型和升级，实现绿色发展。

## 十、问题和建议

在项目的实施过程中，遇到了一些问题和挑战。以下是对这些问题的总结和建议：

1. 气候条件的影响：高寒高海拔地区的极端气候对系统设备提出了更高的要求。建议在未来的项目中，进一步研究和优化设备的耐寒、耐高原缺氧性能，提高设备的适应性和稳定性。

2. 初期投资成本：虽然太阳能供暖技术的长期运营成本较低，但项目的初期投资成本较高。建议政府进一步加大对太阳能供暖项目的支持力度，通过财政补贴、税收优惠等措施降低企业的投资压力。

3. 与其他可再生能源的集成：考虑将太阳能供暖系统与其他可再生能源（如风能、地热能等）进行集成，形成多能互补的能源供应体系，进一步提高能源利用效率和系统的稳定性。

## 3.7 岗巴县城太阳能跨季节蓄热供暖项目

### 一、项目基本情况

太阳能集热系统建设 3.5 万 m<sup>2</sup> 真空热管式太阳能集热器，总容积约 7 万 m<sup>3</sup> 跨蓄热水池等配套设施；供热系统设置两台高温板式换热器，单台换热量 4000kW；设置六台螺杆式水源热泵梯级利用太阳能集热量，单台热泵制热量 1500kW；设置两台电热水锅炉作为辅助热源，单台制热量 2000 kW；供暖热力管网总长约 20km；室内供暖末端采用立式明装风机盘管，实施供暖建筑面积 12 万 m<sup>2</sup>；实施既有建筑围护结构节能改造建筑面积 11706 m<sup>2</sup>。

项目建设总投资 1.43 亿元，于 2020 年 1 月建成投产运行。当地常规石化能源匮乏，运输费用高，同时生态环境脆弱。但电能供应可靠，太阳能资源丰富，年日照时数 3320h，年总辐射 6639.7MJ/m<sup>2</sup>。当地群众收入水平较低，不能承受过高供暖费用。本项目利用太阳能资源供暖，不但可以满足能源供给需求，还可以减少污染物和碳的排放量，降低温室效应对环境的影响，有助于生态平衡、降低能源投资费用。

### 二、供暖面积

项目供暖总建筑面积 12 万 m<sup>2</sup>，总热负荷需求 10.44MW。以太阳能作为主要供暖热源，电能为动力，设置跨季节蓄热水池，充分利用全年太阳能资源。

### 三、技术路线及工艺流程

项目采用“太阳能跨季节蓄热+水源热泵梯级利用+电锅炉辅助”供暖模式，设置跨季节蓄热水池最大限度利用太阳能，供暖系统优先采用高温板式换热器进行直接供暖，并以高能效比的螺杆式水源热泵梯级利用太阳能集热量，降低运行费用；同时设置电热水锅炉作为备用热源，保证项目供暖全年可靠。本项目实施多项节能措施，自动化程度高，确保项目低耗减碳运行。

### 四、主要设备选型

整个系统从热源到用户主要包括 10 个子系统：

- ① 太阳能集热系统：约 3.5 万 m<sup>2</sup> 的太阳能真空热管集热器。

- ② 太阳能蓄热系统：约 7 万 m<sup>3</sup> 的跨季节蓄热水池一座。
- ③ 太阳能防过热系统：散热能力约 20MW 的冷却塔系统一套。
- ④ 高温热水直接利用系统：两台 4.0MW 的高温板式换热器。
- ⑤ 水源热泵梯级利用系统：六台 1.5MW 的螺杆式水源热泵机组，COP 达 4.7 以上。
- ⑥ 电锅炉辅助热源系统：两台 2.0MW 的承压电热水锅炉。
- ⑦ 供热管网系统：直接供热，枝状供热管网，预制直埋保温钢管，无补偿冷安装技术。
- ⑧ 供暖末端系统：以低噪音立式明装风机盘管为主。
- ⑨ 能源管理系统：建立集热、蓄热、供暖机房、供暖管网及供暖末端运行管理与能源管理的自动控制系统一套。
- ⑩ 供配电系统：35kV/10kV/0.4kV 输变配电系统，配置柴油发电机作为备用电源。

## 五、生产运行情况

通过近三个供暖季的实际运行，每个供暖季时长按 240 天考虑。根据 2021—2023 年运行实测数据分析，本项目供暖系统年耗电量 2689MWh，年用水量 42125t，年综合能源消费总量 334tce。

## 六、建设运营模式

项目投资全部为国家投资。

自项目建成投产以来，岗巴县人民政府将岗巴县城太阳能供暖全系统全权委托给成都栖睿机电设备有限公司负责，完成岗巴县城供暖项目的设备运行、维护保养等综合管理工作，包括机组运行能源费、整个供暖系统日常运行管理、维护保养、能源优化管理等内容。

## 七、项目经济性

项目具有非常好的经济效益，虽初投资较高，但年运行成本低。根据 2021~2023 年运行实测数据分析，年平均供热量 1228 万 kWh，年平均耗电量 269 万 kWh，按照 0.1229kgce/kWh 的折标系数，年耗电量折标准煤量为 330tce。相较于电锅炉供暖，年节约电能 959 万 kWh，年节约运行能耗费用 470 万元（电价 0.49 元/kWh）。

## 八、环境及社会效益

岗巴县城供暖采用“太阳能+长期蓄热+水源热泵梯级利用+电锅炉辅助”的集中供暖方式，相较于电供暖方案，本项目供暖方案每年可节约电 959 万 kWh，折合节约标准煤 2057t，减少 CO<sub>2</sub> 排放量 5472t，减少粉尘排放量 2610t，减少 SO<sub>2</sub> 排放量 288t，减少 NO<sub>x</sub> 排放量 144t。

本项目对太阳能资源进行开发与有效利用，没有常规燃料需求，无温室气体和大气污染物排放，节约了城区污染的治理费用，并相应减少城市运输量，有效地保护了生态环境，有明显的环境效益；同时太阳能作为绿色能源为满足城区的能源需求，优化能源结构，为城区提供良好的基础环境，发挥重要作用，具有较高的社会效益。

### 九、典型经验和做法

与常规供暖项目相比，本项目具有以下技术亮点与创新：

#### 1. 运用先进技术

结合当地太阳能资源丰富的能源条件，确定以太阳能光热利用为主、水源热泵梯级利用+电热水锅炉为辅的总体供热方案，设置跨季节蓄热水池存储太阳能，实现太阳能的跨季节利用。

#### 1. 系统集成优化

利用 TRNSYS 能耗模拟软件对系统的运行性能进行逐时模拟，优化设计，确定关键技术参数，提高蓄热、储热和取热的效率，本工程跨季节蓄热保证率不低于 85%。太阳能集热器的类型选择充分考虑了集热器的防冻、防过热、安装及后期运行维护。前期集热器选型时同各大专业厂家进行前期的技术合作，科学论证及优化集热器设备，最终选择真空热管式集热器，更高效地服务于本工程。充分利用跨季节蓄热水池进行非供暖季的蓄热，让集热器不空晒、闷晒，既能维护保养好集热器设备，还能做好非供暖季的蓄热利用服务于供暖季，并增设全系统的水冷防过热，设备考虑备用，能进一步保证全系统的防过热能力。本工程太阳能集热系统防冻方案主要为“循环防冻”。

#### 3. 开发效果

供热系统采用三级供热，供热设备多元化，供热系统供热保证率大大提高，具体三级供热如下：

一级：高温板式换热器直接供热，充分利用水池高温热水；

二级：螺杆式水源热泵梯级供热，充分利用水池中低温热水；

三级：电热水锅炉辅助供热。

#### 4. 建设模式

项目建设采用“EPC 模式”，本项目涉及建设范围广、专业技术难度较大、各专业系统较为复杂，因此项目建设采用 EPC 模式。该模式下的建设单位具备更专业的管理能力，包括工程设计、采购、施工和试运行等方面的管理能力，能够有效地控制工程的进度、成本和质量，提高工程建设的效率和成功率。

#### 5. 系统管理智能化

项目安装了能源监控量化调试系统，可智能管控全系统的热源、管网和末端供暖运行情况，节约人力资源成本，提高劳动生产率。项目建设投运后，聘请当地具有丰富运维管理技术及经验的单位进行全系统的运行与维护。在运维过程中，充分利用本项目“能源管理系统”进行科学地运维分析，通过不同阶段的“量化调试”分析来不断优化系统自动运行逻辑，不断降低运维费用，实现节能运行。全年运维费用 80 万元左右（人工及设备材料费），通过一定的热费收取，基本可实现项目自收自支，无财政负担。

#### 6. 经济效益

项目具有非常好的经济效益，虽初投资较高，但年运行成本低。根据 2021—2023 年运行实测数据分析，全系统主要是集热循环、换热循环以及供热循环泵产生的电费，一个月电费仅 16 万元左右，年运行能耗费用 132 万元。相较于电供暖，年节约运行能耗费用 470 万元。

#### 7. 环境效益

本项目采用清洁能源—太阳能，以电能作为动力，项目本身属于环境保护项目，可有效的减少常规燃料需求和灰、渣、二氧化硫及氮氧化物排放量，节约了城区污染的治理费用，并相应减少城市运输量，有效地保护了生态环境，有明显的环境效益；同时太阳能作为绿色能源为满足城区的能源需求，优化能源结构，为城区提供良好的基础环境，发挥重要作用，具有较高的社会效益。

### 十、问题和建议

岗巴县城仍有大部分建筑未实施节能改造，围护结构热工性能较差，需尽快跟进落实建筑围护结构节能保温改造工作，提高建筑保温性能，避免能源的浪费。

立足于岗巴县城可再生能源供暖项目，对高海拔地区供暖提出以下建议：

1. 建立高海拔低碳供暖示范基地：依托成功运行的低碳低能耗供暖系统，直观展示先进供暖技术的实际应用，助力于推广清洁供暖技术。

2. 总结高海拔地区供暖的实际工程经验：由于高海拔地区气候与建设条件特殊，导致内地与国外的工程经验不能完全适合高海拔地区特点，直接套用内地标准与规范，往往会导致“水土不服”，从而导致项目失败。因此建设队伍，应有非常丰富的高海拔地区工程实践经验。

3. 立项阶段：避免利用特定供暖系统形式来套项目：应根据每个项目自身特点，确定适合各自项目的供暖形式（例如：项目规模、建筑功能、当地可利用资源等），避免一刀切只采用某一种供暖形式。

4. 方案确定阶段：从全寿命周期考虑项目的经济性与技术性：供暖项目不仅要考虑初投资，还需要考虑运行费用与后期维护保养成本。从节流、开源、增效三个方面，确定在全寿命周期内最合理的供暖形式。

5. 建设阶段—重视量化调试：在施工阶段，需要对安装的设备进行量化调试，确保安装设备的性能满足设计要求。

6. 运行阶段—重视运行与维护保养团队建设：供暖系统为动态运行系统，运行与维护保养团队的实际工程经验与技术能力，直接决定了系统运行的可靠性、舒适性与节能性。

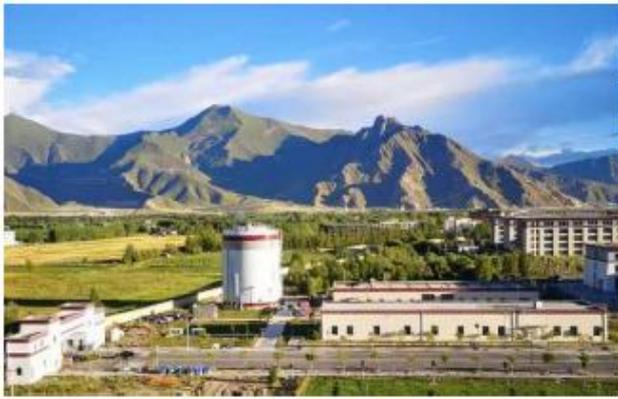
7. 积极利用先进 AI（人工智能）技术：通过利用先进 AI（人工智能）技术，对运行数据进行分析，确定优化运行方案，并实现预防性维修保养，避免系统带病运行。

### 3.8 拉萨市第一中等职业技术学校太阳能集中供暖项目

#### 一、项目基本情况

拉萨市第一中等职业技术学校太阳能集中供暖项目由拉萨市政投建设项目代建管理有限公司承建，由西藏日出东方阿康清洁能源有限公司实施，项目于 2019 年 10 月开工，建成于 2020 年 6 月，并在当年 10 月投入运行供暖。项目地海拔 3650 m，项目总投资约 5000 万元。

拉萨一职供暖项目以太阳能为主，电锅炉为辅的供暖方式，供暖建筑面积共计 11.9 万 m<sup>2</sup>，目前在校师生 3000 余人，未来规划 1 万人左右。学校供暖区域分为教学区和生活区，系统采用分时分区供暖；该项目还为全校 3000 余学生全年提供洗浴热水，提高了系统全年太阳能利用率。与此同时该项目还为全校师生提供符合标准的直饮水，实现了“三联供”。



换热机房和储热钢罐



太阳能集热场



太阳能换热机组



水处理设备

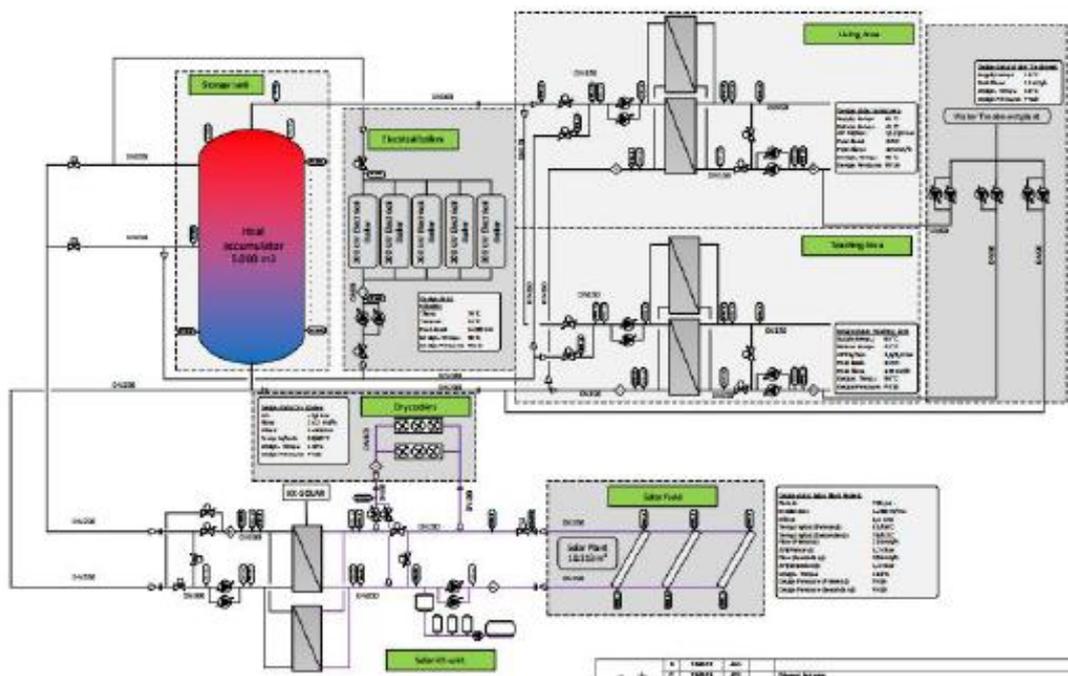
## 二、供暖面积

(1) 太阳能换热机组设计容量为 8.4MW，对应太阳能集热器面积为 10312.5 m<sup>2</sup>。

(2) 教学区供热机组设计容量为 4MW，末端供暖设计供回水温度为 65°C/40°C。  
教学区供暖建筑面积为 81575.2 m<sup>2</sup>。

(3) 生活区供热机组设计容量为 3MW，末端供暖设计供回水温度为 65°C/40°C。  
生活区供暖建筑面积为 37123.1 m<sup>2</sup>。

## 三、技术路线及工艺流程



系统运行原理图

当冬季太阳辐射条件较好时，以太阳能集热系统产生的热能直接供给供暖末端，多余部分储存在蓄热钢罐内，供夜间及阴天条件下供暖使用。当蓄热水池温度过低不满足供暖需求时，启动管道式电加热器进行供暖。

#### 四、主要设备选型

系统主要配置信息见下表：

序号	名称	内容	备注
1	太阳能集热面积	10312.5 m <sup>2</sup>	
2	储热容量	5000m <sup>3</sup>	
3	储热体形式	钢罐	
4	辅助热源形式	管道式电加热器	
5	太阳能保证率	85%	
6	系统年产热量	10500MWh	
7	设备用房	1035 m <sup>2</sup>	
8	集热场占地	37.5 亩	

#### 五、生产运行情况

该项目结合太阳能特点以及当地气候条件，为保证系统稳定、高效运行，实现了

高度自动化运行，同时运维操作简便。目前该项目已安全、稳定运行 4 年。供暖季太阳能系统平均集热效率在 50%以上，系统每天耗电量平均 750kWh，按 5 个月供暖期计算，总运行电费为折合供暖面积单价为 5.7 万元，折合单位供暖面积系统运行电费不足 0.5 元/m<sup>2</sup>。

## 六、建设运营模式

该项目由国家专项资金解决，项目建成后由专业的运维公司进行管理维护，签订运维合同，每年向学校收取 177.8 万元的供暖费用。运维公司管理范围包含热源厂运营、热力站运行、热网运行、附属检修、管理服务等，以保证项目能够一直处于良好的运行状态。

## 七、项目经济性

无。

## 八、环境及社会效益

本项目采用太阳能集中供热技术，充分利用当地太阳能丰富的太阳能资源，显著降低了学校供暖、洗浴热水的用热成本，大大改善了学校区域的空气环境，有着明显的节能效益、环境效益、经济效益和社会效益。

(1) 本工程有显著的经济效益：集中供暖工程实施后，热用户的用热成本较低，减轻了学校正常运行的经济负担。

(2) 本工程有明显的环境效益：拉萨市第一中等职业技术学校太阳能集中供热工程实施后，每年可以减少 6437.5MWh 的耗电量，环境效益非常显著。

(3) 本工程有很好的社会效益：拉萨市第一中等职业技术学校太阳能集中供热工程可提供供暖服务和学校的生活热水服务，极大的改善了学校的生活、工作条件，为提高学校的正常教学创造出良好的基础条件。

## 九、典型经验和做法

### 1. 功能创新

(1) 采用分时分区供暖：结合学校建筑供暖特点，即教学区和生活区界限明显，太阳能系统采用分时分区供暖，有效减少太阳能集热场规模，白天给教学区和生活区供暖，晚上只给生活区供暖，教学区保持值班温度。

(2) 提供生活洗浴热水：利用学校原有公共浴室，以太阳能作为热源，为全校 3000 名学生全年提供洗浴热水，同时也提高了系统全年太阳能利用率。

(3) 为全校师生提供直饮水：利用机房水处理设备，稍加改造，为全校师生提供符合标准的直饮水。

(4) 太阳能供热技术实训基地：项目可作为学校太阳能供热技术的实训基地，为以后西藏太阳能供热技术培养技能型人才提供平台，为学校理论和实践相结合的办学宗旨提供了很好的教学条件。

## 2. 技术优势

(1) 大平板集热技术：集热效率高（平均效率 50%以上）、热损失小、性能可靠、安装快捷、寿命长；

(2) 储热技术：采用了以温度分层为特征的专有储热技术，保温性能好、使用寿命长、设计方式灵活；

(3) 采用变频自动化热能控制系统；

(4) 多种清洁能源耦合互补技术；

(5) 防冻、防过热安全保护技术。

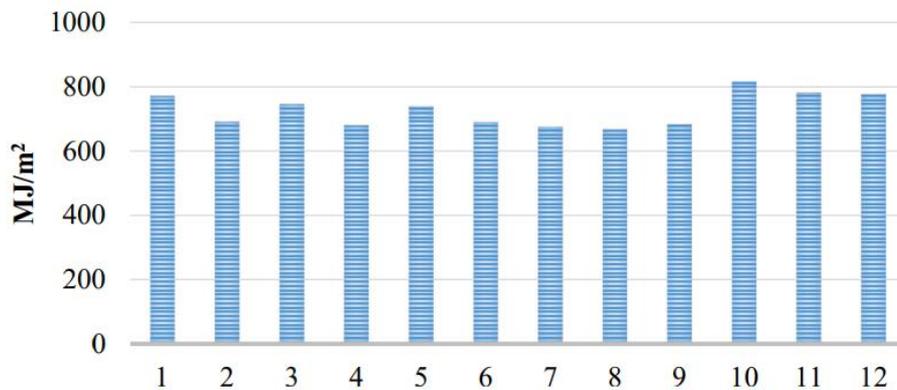
## 十、问题和建议

太阳能光热集中供热系统具有很好的节能效益，不仅可以用于供暖，对于热水项目也可使用，大大提高了项目的科技性、安全性、经济性。但是太阳能光热集中供暖系统组成运行相对复杂，需要定期巡检和维护，建议项目建成后交由专业的运维团队进行管理，确保项目的可持续性。

### 3.9 山南市浪卡子县太阳能供暖项目

#### 一、项目基本情况

山南市浪卡子县海拔平均约 4457m，冬季大气压约 650.6hPa，水的汽化温度约 85℃ 左右。根据我国太阳能资源区划，浪卡子县属于太阳能资源极富区的I类地区。邻近的拉萨市水平面年太阳能辐照量约 7775MJ/m<sup>2</sup>·a。下图为浪卡子县 30°倾角斜面逐月辐照量。



浪卡子县作为西藏自治区高寒高海拔边境县，历来深受党中央、自治区党委、市委的亲切关怀，自 2018 年以来先后实施了县城太阳能供热建设项目一、二期供暖建设项目，累计总投资达 2.294 亿元，供暖建筑面积达 17.18 万 m<sup>2</sup>，确保了县城干部职工冬季正常供暖。

#### 二、供暖面积

##### 1. 县城供暖一期项目

浪卡子县县城一期太阳能供热项目总投资 12044 万元，资金来源为中央预算内投资及中央财政资金，主要建设内容为新建太阳能集中供热热源厂一座，供暖建筑面积 8.26 万 m<sup>2</sup>，总热负荷 6.5MW，热力管网 25520.20m，现有建筑节能改造 5.2 万 m<sup>2</sup>，设计供暖方式为太阳能集热、“蓄热+电锅炉”集中式。该项目采取 EPC（勘察、设计、采购、施工）总承包模式进行公开招标，2018 年 4 月 15 日全面开工建设，2018 年 10 月 30 日通过竣工验收并投入使用。2018 年开始交由第三方机构托管运营服务，

目前运行时间长达 5 年之余。

## 2. 县城供暖二期项目

浪卡子县县城供暖二期工程建设项目总投资 10900 万元，资金来源为国家专项债券资金，主要建设内容为新建集热场、热交换站、设备用房、宿舍、蓄热罐、供暖面积 8.92 万 $m^2$ ，设计供暖热负荷 5.30MW 等附属设施。设计供暖方式为太阳能集热、蓄热+电锅炉集中式。该项目于 2021 年 8 月 9 日采取 EPC（勘察、设计、施工）总承包模式进行公开招标，2022 年 3 月 1 日全面开工建设，2023 年 9 月 20 日竣工验收并投入使用，目前交由第三方机构托管运营服务。

一、二期总供暖面积 17.18 万 $m^2$ ，累计负荷 11.8MW，主要是为县城机关、学校、医院及职工周转房进行供暖。

## 三、技术路线及工艺流程

由于西藏得天独厚的太阳能资源，西藏浪卡子县属于高海拔地区，要解决该地区的供暖问题，应结合该地的实际资源情况确定合理的供热方式和热源。西藏的太阳能资源非常丰富，太阳能供暖的优势非常明显，浪卡子县太阳能年辐射总量 7775MJ/ $m^2$ ，高于北欧、中欧很多太阳能广泛应用国家的太阳能年辐射总量，具有发展太阳能供暖得天独厚的自然条件，以太阳能为主的城镇供暖技术可以提供高性价比的供暖效果，在 4000 米以上地区进行供暖、供热、供电、供氧和加湿，是创造安居乐业的工作和生活环境的重要组成部分。相比其他能源，如燃气、燃油等需要从外地远距离运输的资源，从热源获取、环境效益、经济成本等方面比较，都有相对的优势。因此应积极利用本地区的太阳能优势资源，选用最合适的集热和供热系统，最大限度地发挥当地的资源优势，为当地居民的经济和生活环境带来较好效益。

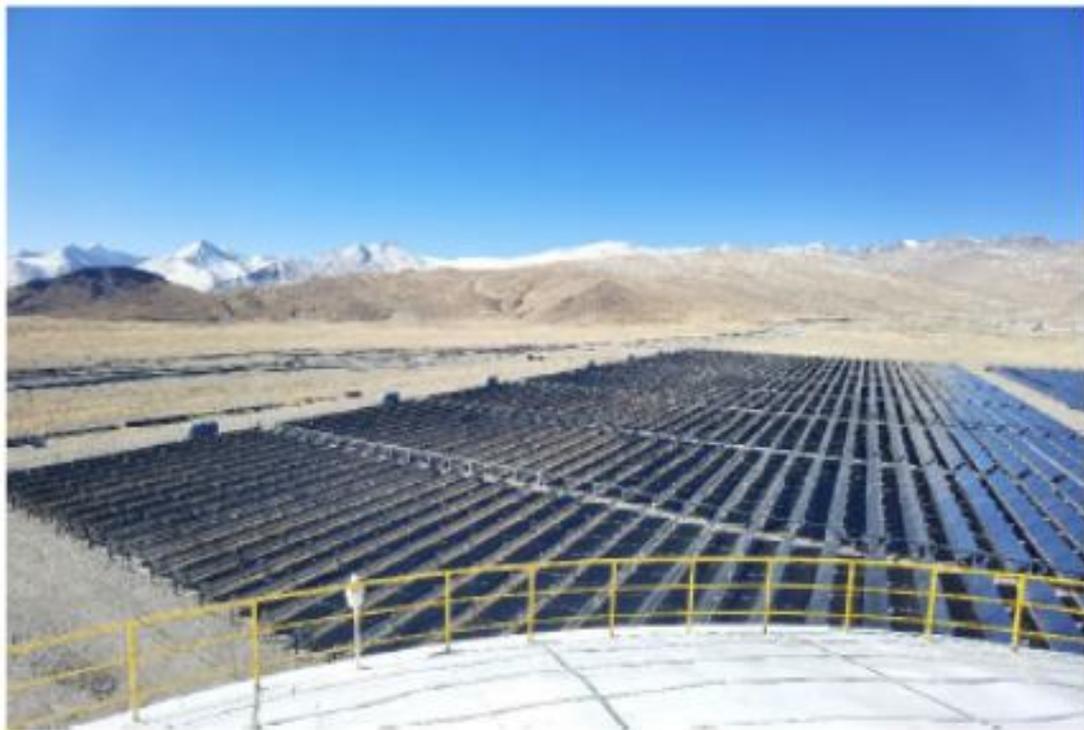
选用太阳能作为该地区公共建筑和居住建筑的主要供热热源，考虑太阳能在冬季及阴、雨、雪天气不能连续集热供暖的特点，应设置辅助热源，以补充特殊天气时的供热量。当地可以作为辅助热源的有电供暖和热泵。电供暖要结合当地的电价以及峰谷电能的利用进行设计，由计算的热负荷可知整个城区需要的供热量是很大的，大面积地采用电供暖欠合理，根据当地需供热的建筑性质及分布，可以将电供暖用于较为分散的居住建筑的辅助热源；使用浅层地热能需要考虑的是从地下取热和向地下放热

的平衡，本项目只需在供暖季向建筑物供暖，不需要夏季的供冷，因此利用浅层地热能时需考虑采用相关技术尽量保证浅层地热能能量的平衡。使用太阳能、热泵及太阳能、电供暖综合利用的供暖方式，能有效利用当地的可再生能源优势，符合绿色环保生态发展的理念。

#### 四、主要设备选型

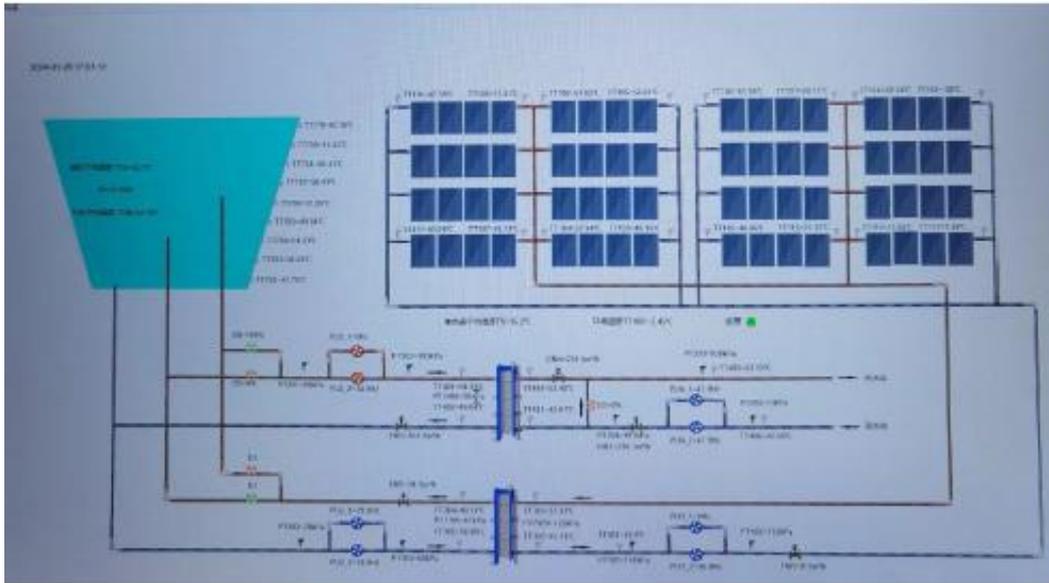
系统选用强制循环间接加热系统即：太阳能集热器阵列—换热器—蓄热装置（结合电锅炉系统）—热力网—热用户。

本系统为闭式集热器间接供热水系统，整个系统由太阳能集热器阵列、换热器、蓄热装置、管道系统、控制系统、辅助加热系统组成，由太阳能集热器加热的介质经换热器将热量传递给蓄热装置中的水后返回集热器，通过比较传热介质热水经太阳能集热器加热后的出口温度与蓄热装置底部的出水温度对比来控制系统的启停。蓄热水箱中的热水经热网直接供给末端供暖系统。

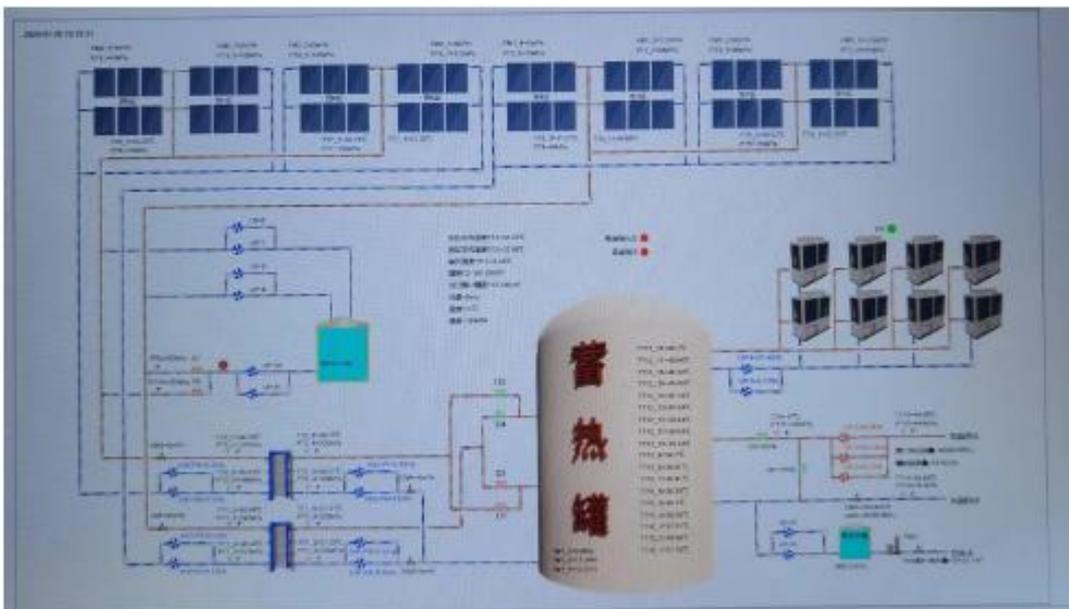


一期选用太阳能集热器采光面积  $13.95 \text{ m}^2$  的大平板太阳能集热器。太阳能集热器总数 1728 组，累计总采光面积  $24105 \text{ m}^2$ 。系统设计  $15000 \text{ m}^3$  半地下蓄热水池，辅

助能源采用 2 台 1.5MW 电锅炉。系统采用远程监控智能控制系统。



二期选用太阳能集热器采光面积  $10.5 \text{ m}^2$  的大平板太阳能集热器。太阳能集热器总数 2240 组，累计总采光面积  $23520 \text{ m}^2$ 。系统设计  $12000\text{m}^3$  地上储能罐，辅助能源采用 20 台 80P 高原型空气源热泵。



## 五、生产运行情况

县城供暖时间为每年 10 月 1 日至来年 5 月 31 日，系统主要能耗为水泵运转电

耗，由于县城电力供应不足，一期项目电锅炉从未启动，完全以太阳能集热进行供热，基本满足室内温度 18°C 的几率约为 90%，太阳能不足时室内温度约为 16°C 左右。

近几年电耗折合供暖面积约为 5 元/m<sup>2</sup>。

## 六、建设运营模式

项目建设资金来源为中央预算内投资财政资金，由县政府委托第三方专业供暖运营单位运维，运维收费标准 35 元/m<sup>2</sup>。

## 七、项目经济性

无。

## 八、环境及社会效益

一期二期太阳能集热系统全年有用得热量约 119261GJ，与常规燃煤锅炉相比，每年可节约 5812.85 t 标准煤，折合单位供暖面积每年节约标准煤 33.8kg/m<sup>2</sup>。通过降低常规能源的消耗，本项目实施后，每年可以减少二氧化碳排放 14353 t，减少二氧化硫排放 116 t，减少粉尘排放 58t。为早日实现国家要求实现节能减排的目标提供了有力保障。

## 九、典型经验和做法

### 1. 规模

一期二期合计太阳能集热器规模为 47625 m<sup>2</sup>，供暖面积合计 17.18 万 m<sup>2</sup>，是目前已经建成并正式投入运行的由太阳能进行集中供暖全国最大的项目。

### 2. 成果

一期运行从 2018 年至今已经稳定运行五年，实现大规模太阳能集热器供暖稳定运行和低成本运行的成果，是符合西藏地区能源禀赋及可持续发展的新能源利用形式。

## 十、问题和建议

西藏有着得天独厚的丰富的风、光、水、地热等可再生资源，充分利用西藏特有的可再生能源用于西藏供暖、供氧、供电是符合西藏地区自然条件的。

由于西藏特有的地理特点，很多城镇属于高山峡谷地貌特征，距离城镇附近可利用平坦场地不足，就近安装大规模太阳能场的条件不足。建议结合西藏丰富的风、光、

水、地热等可再生资源，实现源网荷储综合能源体系解决西藏供暖、供氧、供电的民生需求。

由于涉及地方政府、电网以及社会企业等多方，需要国家层面针对西藏进行统一协调，早日实现西藏区域的源网荷储综合能源体系，争取西藏自治区率先实现“双碳”目标。

### 3.10 宁夏回族自治区彭阳县 2020 年无集中供热区域煤改电（清洁取暖） 试点示范项目

#### 一、项目基本情况

1. 项目名称：宁夏回族自治区彭阳县 2020 年无集中供热区域煤改电（清洁取暖）  
试点示范项目

2. 项目类型：采用太阳能平板集热器+高温水源热泵+高温复叠式空气源热泵，  
三源耦合系统为建筑提供供暖保障

3. 项目规模：彭阳综合福利中心总供暖建筑面积 18880 m<sup>2</sup>，太阳能平板集热器  
2361 m<sup>2</sup>，高温水源热泵 11 台，高温复叠式空气源热泵 24 台。

4. 建设单位：固原市生态环境局彭阳分局。

5. 总投资：6846267.00 元。

6. 建成运行时间：3 年。

7. 所在地能源供应消纳条件：

政策支持：宁夏回族自治区人民政府印发了《宁夏回族自治区可再生能源电力消纳保障实施方案》，明确规定了区内可再生能源电力的消纳责任权重和实施机制，为可再生能源电力消纳提供了政策支持。能源结构调整：宁夏能源供应消纳需要不断优化能源结构，提高可再生能源在能源结构中的比重。通过推广清洁能源和新能源，减少对化石能源的依赖，可以降低能源消费的碳排放强度，实现绿色发展。科技创新：科技创新是推动能源供应消纳的重要手段。通过加强科技创新，研发先进的能源技术和设备，提高能源利用效率，可以降低能源生产成本，促进可再生能源的大规模开发和利用。

8. 群众收入水平：

宁夏回族自治区城镇居民人均可支配收入 2.29 万元，增长了 7.7%；农村居民人均可支配收入 0.86 万元，增长了 8.5%。以上数据表明宁夏回族自治区居民的收入水平在稳步提高，居民的生活水平得到了明显改善。

#### 9. 可再生能源资源条件:

截至 2020 年底,宁夏的可再生能源装机容量超过了 7500 万 kW,占全区发电装机容量的 62.6%。其中,风电和光伏发电是宁夏可再生能源产业的主导力量。宁夏风电装机容量达到了 4800 万 kW,光伏发电装机容量也达到了 2.3 万 kW。此外,宁夏还拥有丰富的水资源,为水力发电提供了条件。这些数据表明,宁夏在可再生能源资源方面具有较大的潜力和优势,未来可再生能源的发展前景广阔。

#### 10. 项目区生态环境敏感因素:

**土地荒漠化:**宁夏地处沙漠地带,荒漠化现象比较严重,过度放牧、过度开垦、采矿等活动都可能导致土地荒漠化,进而影响生态环境。**水资源短缺:**宁夏地处内陆,水资源比较匮乏,加上近年来气候变化和人类活动的影响,水资源短缺问题更加严重。水资源短缺不仅影响当地居民的生产生活,还可能对生态环境造成不良影响。**植被覆盖率低:**由于气候干旱、水资源短缺等原因,宁夏的植被覆盖率比较低,这使得当地的生态环境比较脆弱,容易受到外界因素的干扰。**土壤侵蚀:**由于植被覆盖率低、水土流失等因素的影响,宁夏项目区的土壤侵蚀比较严重,土壤侵蚀不仅会破坏土地资源,还可能对当地生态环境造成不良影响。**自然灾害:**宁夏地处沙漠地带,自然灾害比较频繁,例如沙尘暴、干旱、洪水等自然灾害都可能对当地生态环境造成不良影响。

## 二、技术路线及工艺流程

### (一) 负荷情况

#### 1. 负荷情况:

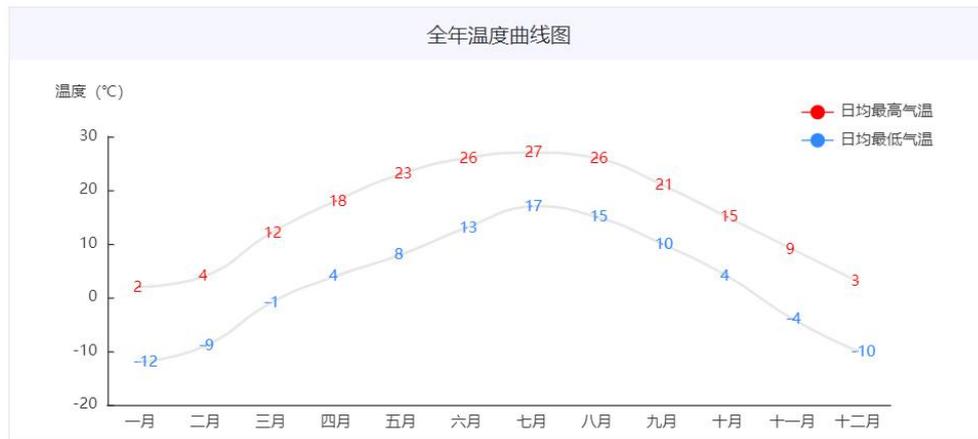
彭阳综合福利中心总供暖建筑面积 18880 m<sup>2</sup>,建筑热负荷 1095kW。

#### 2. 用能场景:

供暖面积 18880 m<sup>2</sup>。建筑为三栋楼,东侧综合服务楼和西侧孤儿院救助站两栋建筑均为 3 层。北侧中心敬老院建筑为 4 层楼,使用暖气片进行供暖。

本项目为保证环保要求及节能要求,供暖系统热源我们采用的是三热源的供暖系统形式。分别为太阳能平板集热器、高温水源热泵、高温复叠式空气源热泵组成热源部分,用板式换热器换热,不锈钢保温水箱作为储热单元以及其他辅助设备共同组成来为建筑提供供暖负荷需求。以太阳能平板集热器+水源热泵耦合系统作为基础热源

供热、高温复叠式空气源热泵机组为辅助热源供热，这两套热源组成供热系统。在天气良好时以太阳能平板集热器+水源热泵耦合系统作为基本热源，在阴天及太阳能热量不足的情况下启动高温复叠式空气源热泵机组对供热系统进行补充，保证供热系统稳定。为末端暖气片提供 75℃ 的热水。



### 3. 用能需求:

由于该项目为敬老院及孤儿院等特殊建筑，由于老人及小孩对于冬季供暖环境的要求相对较高，不仅要求温度舒适，还需要湿度适宜，健康舒适的供暖环境才更利于老人们生活，这也成为衡量养老院服务水平的关键因素。

故而选择最高 75℃ 出水的三源耦合系统，跟随室外环境温度及室内温度智能调节出水温度达到控制室内 24h 温度恒定的舒适环境。

在晴好天气下，由太阳能平板集热器+高温水源热泵耦合系统作为基础热源供应，平板集热器收集太阳能热量提供 30~45℃ 介质温度，在这个温度下太阳能吸热效率高，系统高效运行，充分利用太阳能，通过水源热泵将水温提高到 75℃；在阴雨天以及夜间等太阳光照不足的情况下由高温复叠式空气源热泵来供应建筑热负荷需求。使系统在运行费用低的同时提高供暖舒适度。

#### (二) 技术路线

##### 1. 技术思路:

本项目采用“太阳能平板集热器+高温水源热泵+高温复叠式空气源热泵”等多能互补的复合能源进行供暖。在白天太阳光照充足时使用太阳能为水源热泵提供初始水温，经水源热泵对初始水温提升温度，从而达到供暖所需水温，当天气良好太阳能集

热水箱侧水温超过水源热泵进口水温限制时，经旁通装置进入恒温水箱直接进行供暖循环，当天气情况不好时太阳能无法满足供暖需求，空气源热泵启动为供暖系统提供所需热量。因地制宜，按需供暖。采用环保型产品，无任何废气、废水、废渣排放，绝对环保。使用寿命长的设备，减轻政府能源补贴负担。

## 2. 技术特点：

本项目为保证环保要求及节能要求，供暖系统热源我们采用的是三热源的供暖系统形式。分别为太阳能平板集热器、高温水源热泵、高温复叠式空气源热泵组成热源部分，用板式换热器换热，不锈钢保温水箱作为储热单元以及其他辅助设备共同组成来为建筑提供供暖负荷需求。以太阳能平板集热器+水源热泵耦合系统作为基础热源供热、高温复叠式空气源热泵机组为辅助热源供热，这两套热源组成供热系统。在天气良好时以太阳能平板集热器+水源热泵耦合系统作为基本热源，在阴天及太阳能热量不足的情况下启动高温复叠式空气源热泵机组对供热系统进行补充，保证供热系统稳定。为末端暖气片提供 75°C 的热水。

在晴好天气下，由太阳能平板集热器+高温水源热泵耦合系统作为基础热源供应，平板集热器收集太阳能热量提供 30~45°C 介质温度，在这个温度下太阳能吸热效率高，系统高效运行，充分利用太阳能，通过水源热泵将水温提高到 75°C；在阴雨天以及夜间等太阳光照不足的情况下由高温复叠式空气源热泵来供应建筑热负荷需求。

## 3. 技术适应性

针对项目的相关特点，本着以用户的安全使用、系统的稳定运行、能源的高效利用以及对环境友好为设计理念进行方案设计。

**安全：**这里的用户安全说的是实际使用者，本项目的实际使用者是居民，那么对居民来说，最实际的安全即是保证其环境的舒适、适宜、恒定；

**稳定：**说的是设计方案所用技术是稳定成熟的，系统能够稳定运行。这里既包括所选设备的成熟，也包括系统控制逻辑的成熟；

**高效：**能源的高效利用主要体现在系统的节能，而节能有三方面，一是利用先进的技术，二是采用清洁的能源，三是设备之间相互耦合运营，总结来说，即是“围追、堵截”。

环境友好：所用技术不仅需要注重效率的提升，还要兼顾对环境友好的原则，比如减少碳排放等。

热源供热能力保障措施：每个系统安装有多台空气源热泵，当1台设备维修时，每套系统的供热保障率在87.5%以上，满足基本供热需求。

系统防超压、防汽化、防倒空措施：每套系统回水干管上有补水泵定压补水，定压点压力为系统工作压力，确保系统不汽化、不倒空；每套系统回水干管设安全阀，安全阀起跳压力为“工作压力+0.05MPa”，防止系统超压运行。

系统排气措施：在供暖系统相对高点设排气阀，锅炉间设排气集气罐，及时排除系统内空气。

防水击措施：每套系统供热循环泵进出口之间设旁通管，旁通管设止回阀，避免突然停电后发生水击现象。

防热泵堵塞措施：在供回水之间设旁通管，在调试初期，循环水流经旁通管，防止锅炉及热泵堵塞，旁通管设阀门，平时关闭。

### （三）系统配置

#### 1. 系统构成

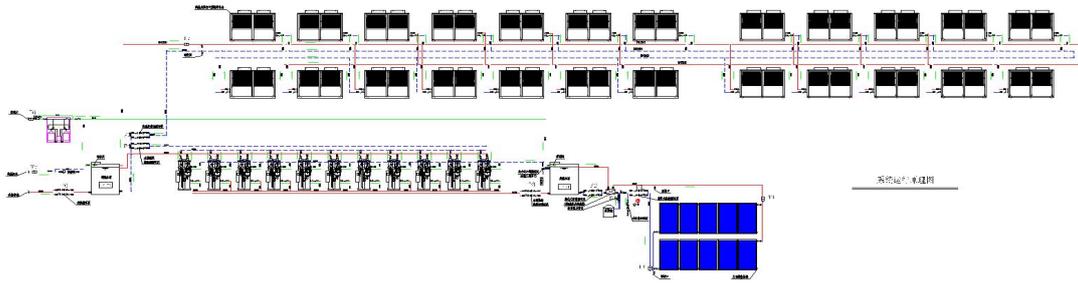
本工程热源设备采用太阳能平板集热器+高温水源热泵+高温复叠式空气源热泵等多种热源机组，充分适应供暖末端设备的输出能力、充分利用系统能量的互补性，提高供暖的效果。

设计工况条件为：室内设计供暖温度 $\geq 18^{\circ}\text{C}$ 。

机组运行情况：在白天太阳光照充足时使用太阳能为水源热泵提供初始水温，经水源热泵对初始水温提升温度，从而达到供暖所需水温，当天气良好太阳能集热水箱侧水温超过水源热泵进口水温限制时，经旁通装置进入恒温水箱直接进行供暖循环，当天气情况不好时太阳能无法满足供暖需求，空气源热泵启动为供暖系统提供所需热量。

#### 2. 系统配置

##### （1）系统原理图



## (2) 设备装机参数

### 1) 主设备数量

序号	设备名称	单位	数量	设备规格型号及参数	设备寿命(年)	转换效率
1	高温水源热泵	台	11	M-RG20MWSK/H	15	COP: 3.08
2	高温复叠式空气源热泵	台	24	DKFXRS-100/MFII	15	COP: 2.32
3	太阳能平板集热器	组	787	规格: 2000×1500×80mm, 集热器总面积: 3m <sup>2</sup>	15	集热效率: 0.60

### 2) 太阳能平板集热器参数

类别	参数
总面积尺寸	2000mm×1500mm
总面积	3.00 m <sup>2</sup>
采光面积尺寸	1950mm×1450mm
采光面积	2.83 m <sup>2</sup>
瞬时效率截距	0.77
总热损系数	5.4W/ (m <sup>2</sup> •K)

### 3) 高温水源热泵参数

micoe四季沐歌 容积式冷水(热泵)机组			
产品型号	M-RG20MWSK/H	电源	380V-3N-50Hz
制热量kW/出水温度℃	76.5/80	制冷剂	R134a
制热功率kW/出水温度℃	24.85/80	制冷剂充注量 kg	18
防触电保护类别	I类	使用侧接管尺寸	DN50
热源侧接管尺寸	DN50	运转噪音dB(A)	72
净重kg	380	适用环温 ℃	-35~43
外形尺寸mm	2150×1050×2350	机组编号	OYWSX20200903011
执行标准	GB/T 19409	出厂日期	2020年9月
测试工况: 热源侧进/出水温度30/25℃; 使用侧进/出水温度75/80℃			
四季沐歌科技集团有限公司			

### 4) 高温复叠式空气源热泵参数

micoe四季沐歌		复叠式空气源高温热泵机组	
产品型号	DKFXRS-100/MFII	电源规格	380V-3N-50Hz
制热量kW/出水温度℃	75.95/75	最大功率kW/电流A	54.4/100.2
制热功率kW/出水温度℃	32.86/75	防触电保护类别	I类
水流率m <sup>3</sup> /h	15.17	制冷剂	R404A/混合 (R142b/R134a)
水侧压力损失kPa	≤45	制冷剂充注量kg	6.0×2
净重kg	760	运转噪音dB (A)	72
适用环境温度℃	-35~43	接管尺寸	DN65
外形尺寸mm	2400×1100×2000	制造日期	2020年8月
执行标准	GB/T 25127.1-2010	生产编号	ZXWKF25200825001
测试工况：环境干/湿球温度-12/-14℃，出水温度75℃			
四季沐歌科技集团有限公司			

### (3) 系统性能

本系统由太阳能配合水源热泵，进行逐级加热，高温复叠机为稳定热源补充夜间及天气情况不好时对系统提供绿色、稳定、高效的热量。为保证负荷变化时系统能有效、可靠节能的运行，机组可以根据供回水温的变化调节能量输出。为防止管网因杂质和结垢而造成水路堵塞影响使用，在系统回水口及机组之间的总进水口上设 Y 型过滤器。

供暖管道为镀锌钢管，太阳能集热器连接管为不锈钢管或无缝钢管；所有钢管在安装前做好除锈措施、管道保温前刷两道防锈底漆。

主要体现在：

- a) 每台机组的进水管装有 Y 型过滤器，可定期清洗，防止管路堵塞影响运行效果或引起机组故障；
- b) 每台机组及水泵进出水口处加装有橡胶软接头，使机组和管道之间做到柔性连接，有效降低系统的振动及噪声，起到补偿管道热胀冷缩和减震的作用；
- c) 通过对现场的勘察，在不阻碍道路通行及消防通道的情况下对太阳能集热器，及高温复叠机及水源热泵在空旷位置进行合理布置。

### (4) 系统可靠性

该系统由两套独立系统进行供暖供应，在晴好天气下，由太阳能平板集热器+高温水源热泵耦合系统作为基础热源供应，平板集热器收集太阳能热量提供 30~45℃介质温度，在这个温度下太阳能吸热效率高，系统高效运行，充分利用太阳能，通过水源热泵将水温提高到 75℃；在阴雨天以及夜间等太阳光照不足的情况下由高温复叠式空气源热泵来供应建筑热负荷需求。

以此既提高了系统能效、降低了系统运行费用，也保证了系统稳定性高。且每个

系统安装有多台空气源热泵及水源热泵，当一台设备维修时，每套系统的供热保障率在 87.5%以上，满足基本供热需求。从多方面保障系统供应不间断，为老人及小孩提供舒适的供暖温度。

#### （5）智能控制

本项目为保证环保要求及节能要求，供暖系统热源我们采用的是三热源的供暖系统形式。分别为太阳能平板集热器、高温水源热泵、高温复叠式空气源热泵组成热源部分，用板式换热器换热，不锈钢保温水箱作为储热单元以及其他辅助设备共同组成来为建筑提供供暖负荷需求。以“太阳能平板集热器+水源热泵耦合系统”作为基础热源供热、高温复叠式空气源热泵机组为辅助热源供热，这两套热源组成供热系统。在天气良好时以“太阳能平板集热器+水源热泵耦合系统”作为基本热源，在阴天及太阳能热量不足的情况下启动高温复叠式空气源热泵机组对供热系统进行补充，保证供热系统稳定。为末端暖气片提供 75°C 的热水。

在晴好天气下，由太阳能平板集热器+高温水源热泵耦合系统作为基础热源供应，平板集热器收集太阳能热量提供 30~45°C 介质温度，在这个温度下太阳能吸热效率高，系统高效运行，充分利用太阳能，通过水源热泵将水温提高到 75°C；在阴雨天以及夜间等太阳光照不足的情况下由高温复叠式空气源热泵来供应建筑热负荷需求。

在光照条件充足的情况下，太阳能平板集热器吸收太阳辐照的热量，加热平板系统内的介质 1（为避免系统冰冻，此处介质为防冻液），通过循环水泵的输送经由板换加热集热水箱中介质 2（此处介质可选经软化处理后的水或是防冻液）到设定温度并输送到集热水箱储存以便供应高温水源热泵热源需求；损失部分热量后的介质 1 输送回平板集热器系统继续吸收平板集热器得到太阳辐照热量。

而被加热的介质 2 作为高温水源热泵热源水与制冷剂系统换热，提高制冷剂蒸发温度，让气态制冷剂在压缩机的压缩下产生高温高压的过热气体制冷剂，过热气体与使用侧换热器中介质 3（水）进行换热，制取高温热水，输送到供热水箱中储存，由供暖循环侧水泵输送到室内末端散热器对建筑室内空气进行加热，降温后的介质 3 输送回供热水箱继续加热。

在出现阴雨天气以及夜间等光照不足的情况下，系统检测介质 1、2、3 未能达到

设定温度时，启动高温复叠式空气源热泵，加热供热水箱中介质 3，以便能保证供暖介质温度。

#### （四）运行情况

类别	太阳能平板集热器	高温水源热泵	高温复叠式空气源热泵
型号	规格：2000×1500×80mm， 集热器总面积：3 m <sup>2</sup>	M-RG20MWSK/H	DKFXRS-100/MFII
能源种类	太阳能	电	电
设备数量	2361 m <sup>2</sup>	11 台	24 台
供暖季平均日照 h 数	7.025 (h)		
运行时间	7 (h)	10 (h)	14 (h)
电价	综合电价0.4486元/kW·h（居民峰段电价为0.568元/kW·h，谷段电价为0.288元/kW·h，供暖期峰谷时段：峰段8：00-22：00，谷段：22:00-8:00）。		
单系统年运行费用 （万元）	11.30		21.00
单系统单位面积运行 费用（元/m <sup>2</sup> ）	5.98		11.12
运维费用（元/年）	11328		
年总运行费用（万元）	33.43		
单位面积总运行费用 （元/m <sup>2</sup> ）	17.70		

### 三、经营模式

该项目投资方式为政府投资，属于公益型项目。

### 四、效益分析

#### 1. 经济效益

投资回报率高：虽然多能耦合系统的初始投资相对较高，但长期运营下来，其节能效果显著，可以快速回收投资成本。

运行费用低：相较于传统的燃煤、燃气等供暖方式，多能耦合系统的运行费用大幅降低，每年可以节省大量的能源费用。

维护成本低：系统结构简单，故障率低，维护成本也相对较低。

## 2. 环保效益

**低碳排放：**多能耦合系统使用低品位热能作为能源，不产生任何污染物排放，低碳环保。

**节能减排：**由于其高效的能源利用效率，可以大幅减少化石燃料的消耗，从而减少温室气体的排放。

**节能减排量：**减排二氧化碳：5470.89t/年；节约标准煤：2194.49t/年。

**社会效益：**该项目原有供暖形式为燃煤锅炉供暖，煤炭燃烧会释放大量的二氧化碳、二氧化硫等有害气体和颗粒物，对环境造成严重的污染。为响应国家政策，减少有害气体的排放，缓解空气和水资源的污染，改善环境质量。采用清洁能源这种安全、清洁、舒适的取暖方式提升居民的生活品质和生活质量。

## 3. 社会效益

**提高生活质量：**提供舒适的居住环境，改善冬季供暖问题。

**促进技术进步和创新：**多能耦合系统技术的推广和应用可以促进相关技术的进步和创新。

**保障能源安全：**推广多能耦合系统供暖有助于减少对传统能源的依赖，提高能源安全。

综上所述，多能耦合系统供暖具有显著的经济效益、环保效益和社会效益。不仅可以降低能源消耗和运营成本，还可以改善环境质量、提高居民生活质量、促进技术进步和推动经济发展。

## 五、突出亮点

1. 本项目为保证环保要求及节能要求，供暖系统热源我们采用的是三热源的供暖系统形式。分别为太阳能平板集热器、高温水源热泵、高温复叠式空气源热泵组成热源部分，用板式换热器换热，不锈钢保温水箱作为储热单元以及其他辅助设备共同组成来为建筑提供供暖负荷需求。以“太阳能平板集热器+水源热泵耦合系统”作为基础热源供热、高温复叠式空气源热泵机组为辅助热源供热，这两套热源组成供热系统。在天气良好时以“太阳能平板集热器+水源热泵耦合系统”作为基本热源，在阴天及太阳能热量不足的情况下启动高温复叠式空气源热泵机组对供热系统进行补充，保证

供热系统稳定，为末端暖气片提供 75℃的热水。

在晴好天气下，由太阳能平板集热器+高温水源热泵耦合系统作为基础热源供应，平板集热器收集太阳能热量提供 30~45℃介质温度，在这个温度下太阳能吸热效率高，系统高效运行，充分利用太阳能，通过水源热泵将水温提高到 75℃；在阴雨天以及夜间等太阳光照不足的情况下由高温复叠式空气源热泵来供应建筑热负荷需求。

2. 项目运行费用低，且节能减排量与使用效果与单一系统相比性能显著。

3. 随着技术成熟和更大范围的推广应用，可有效改善乡镇等无法供应集中供暖地区人民的生活水平和生活质量。

4. 本案例受到“中国发展网”、“国际在线”、“信息新报”等多家媒体报道和转载；当地政府多部门对民生工程高度重视，坚持以人为本，贯彻落实科学发展观，切实保障公民基本权利，提高生活水平，重点关心弱势群体，采取的一系列积极政策举措。

## 六、问题与建议

### （一）存在的问题

1. 因项目系统较为复杂，所以初始投资偏高，需进一步优化，降低投资，提高能源利用率。

2. 因该项目所使用群体较为特殊，需要相对较高的舒适供暖温度，健康舒适的供暖环境，及更长的供暖周期，以更利于老人们的舒适生活，所以耗热量要高于正常居住建筑，在一定程度上造成系统能耗偏高。

### （二）建议

1. 建议将本项目列为全国可再生能源供暖（制冷）典型案例进行推广，形成规模效应，进一步降低初始投资，提高效益，推动低碳经济的发展，为实现绿色发展、可持续发展做出贡献。

#### 2. 清洁能源供暖的推荐性

环保性：该系统主要利用太阳能、空气能等可再生能源，这些能源对环境无害，不会产生污染物排放，从而减少对大气的污染，减缓生态恶化。

节能性：清洁能源供暖在运行过程中，能够充分利用低谷电、太阳能等可再生能

源，有效降低运行成本，比传统供暖方式节能约 30%。

舒适性：清洁能源供暖升温快，温度均匀，能保证人体的舒适度。

安全性：清洁能源供暖系统安全可靠，不易发生事故。

寿命长：采用清洁能源供暖，其设备的使用寿命相比传统供暖设备使用寿命长，具有巨大的优势。

灵活性：清洁能源供暖系统可以灵活地进行分户、分室控制，用户可以根据自身需求进行调节，节约能源。

自动化：清洁能源供暖系统可与智能家居系统连接，实现远程控制和自动化管理，提高生活的便利性。

广泛性：清洁能源供暖适用于各种类型的建筑和环境，尤其适合在电力资源丰富、太阳能辐射较强的地区使用。

资源丰富：太阳能、空气能等清洁能源储量丰富，可持续利用，为供暖行业的发展提供了充足的资源保障。

总的来说，清洁能源供暖具有环保、节能、舒适、安全、寿命长、灵活、自动化等优点，是未来供暖行业的发展方向。