

2023国际可再生能源供热技术大会，河北雄安，2023年11月11-12日

# 太阳能建筑供热技术路线选择与思考

代彦军

上海交通大学

饮水思源 · 爱国荣校



1

**太阳能供热重要意义**

2

**太阳能高效供热方法**

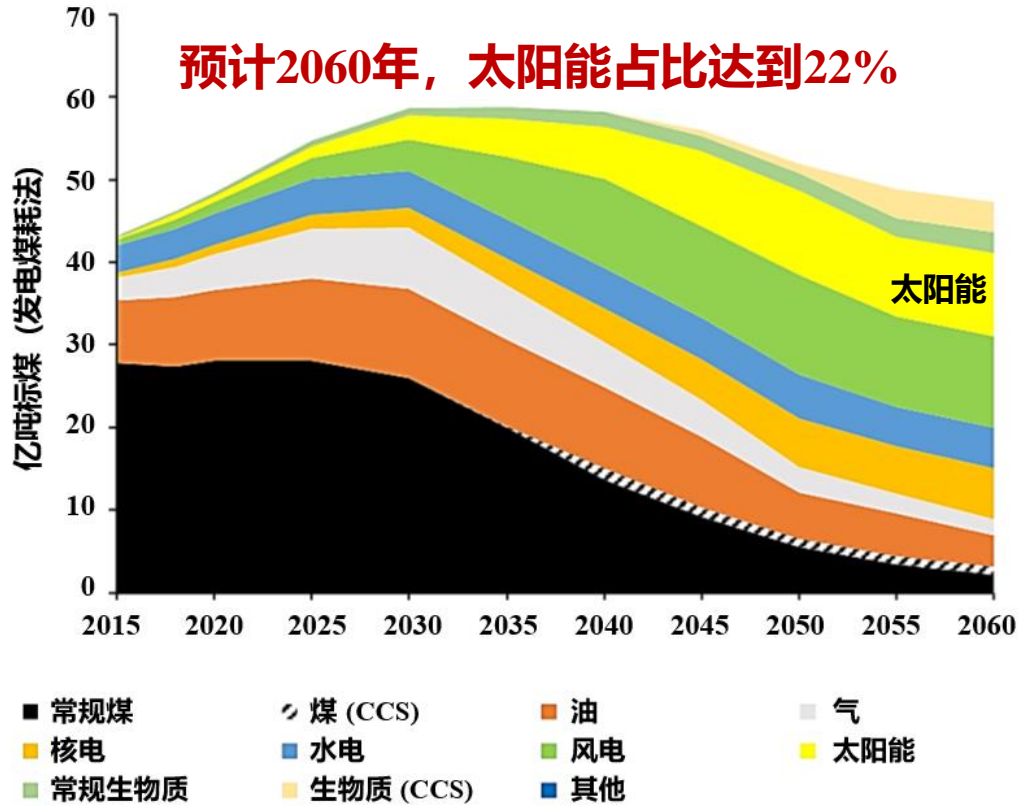
3

**太阳能热泵 – 供热倍增效应**

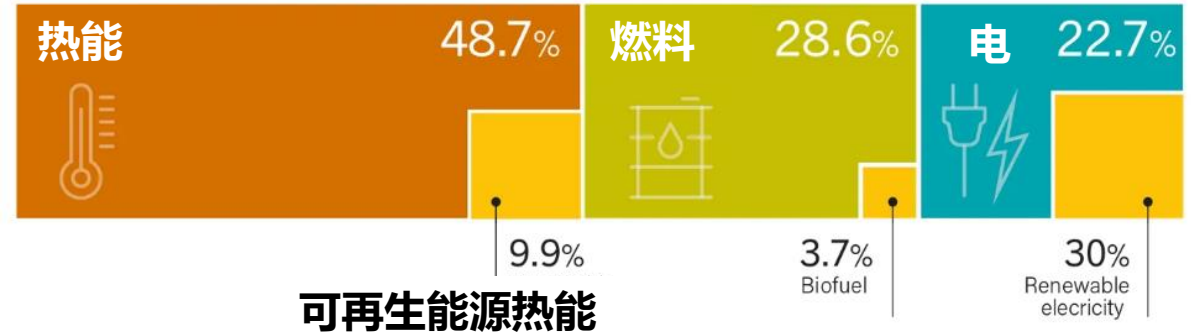
4

**总结**

## 2060 碳中和愿景



## 现阶段能源需求侧终端用能形式占比



来源：REN21. 2023. Renewables 2023 Global Status Report Collection



国家能源局  
National Energy Administration

您当前位置：首页 > 正文

目录项的基本信息

公开事项名称：国家能源局关于印发《2023年能源工作指导意见》的通知

索引号：000019705/2023-000045

制发日期：2023-04-06

“在太阳能热利用方面，加快培育能源新模式新业态。积极推广地热能、太阳能供热等可再生能源非电利用。”

国家能源局《2023年能源工作指导意见》

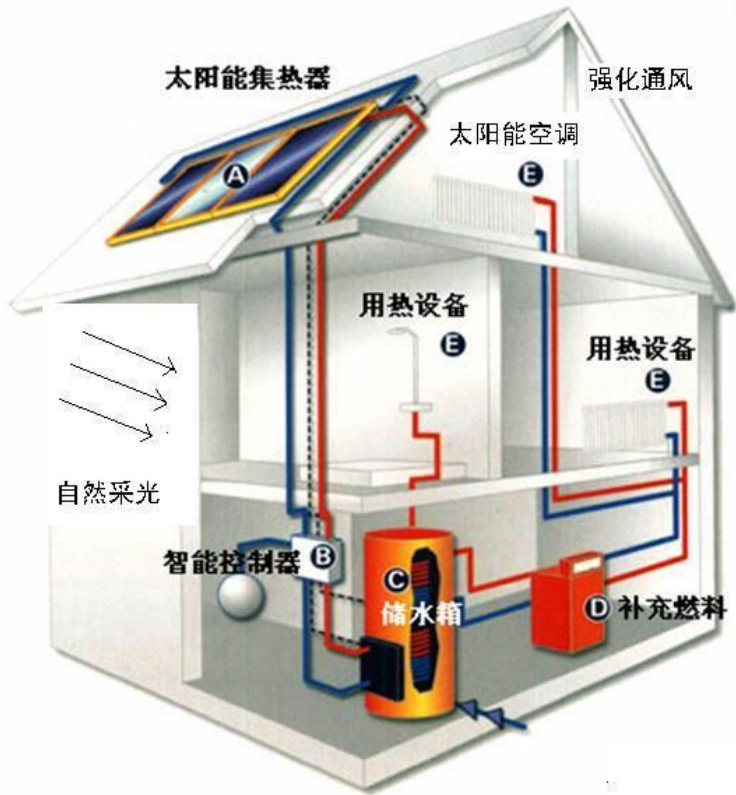
2023.04.06

国家能源局关于印发《2023年能源工作指导意见》的通知

国能发规划〔2023〕30号

碳中和愿景下的能源转型，太阳能是关键

太阳能供热是重要需求与发展方向



◆ 全年热水供应

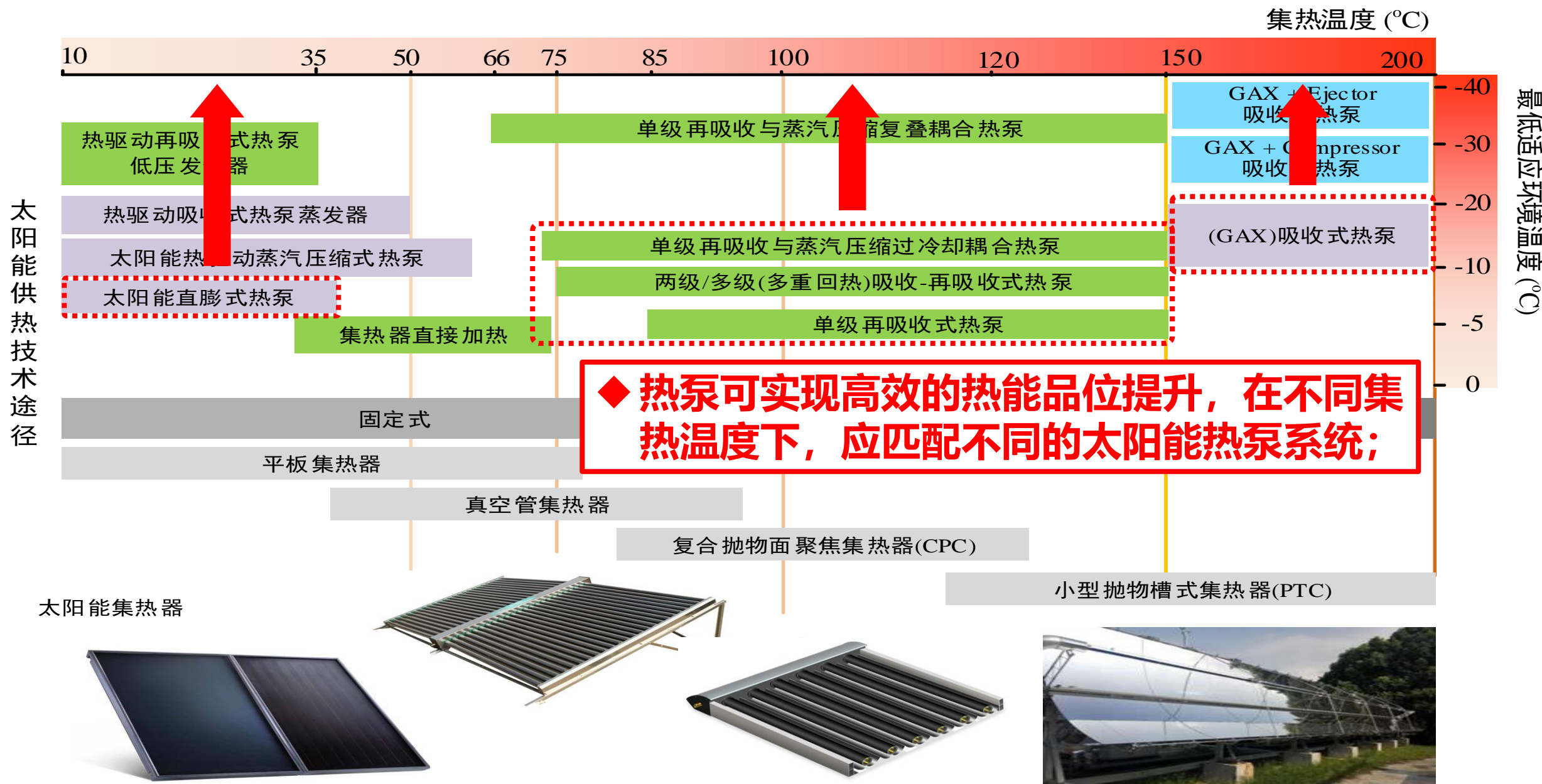
◆ 冬季供暖

◆ 夏季空调

◆ 过渡季强化室内自然通风

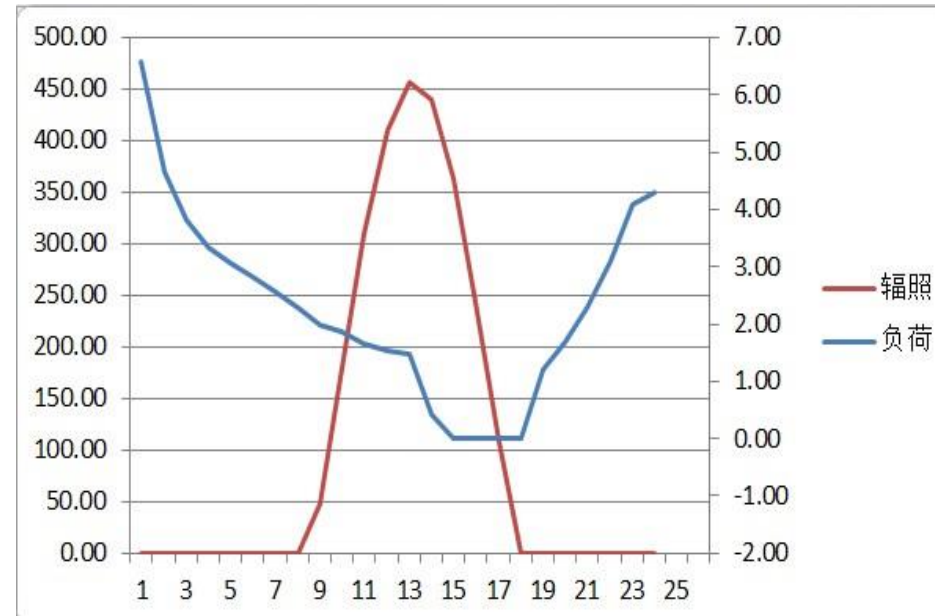
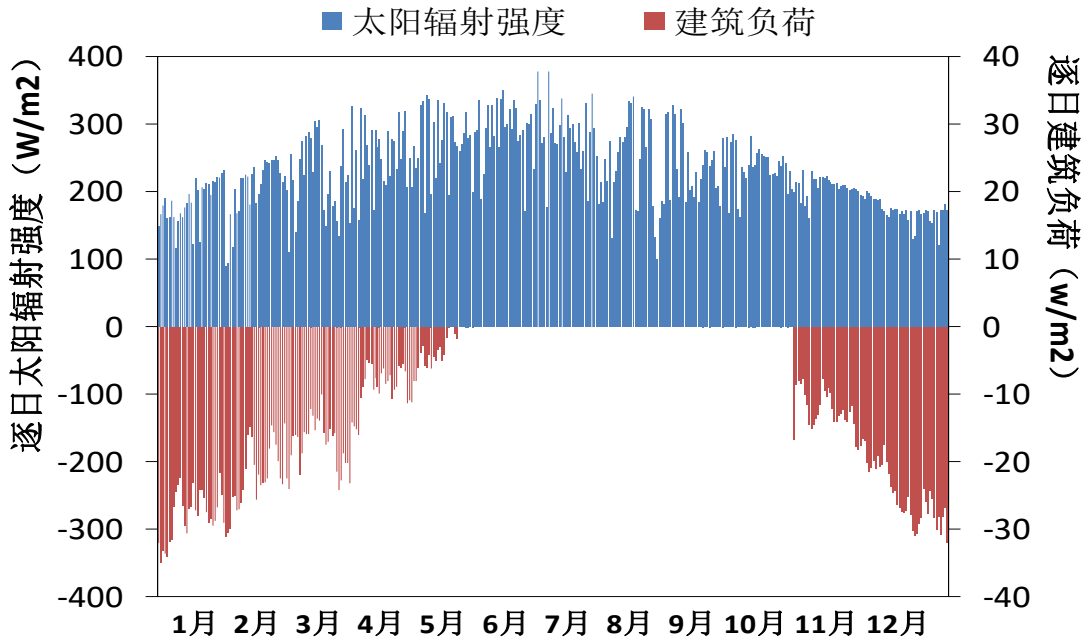
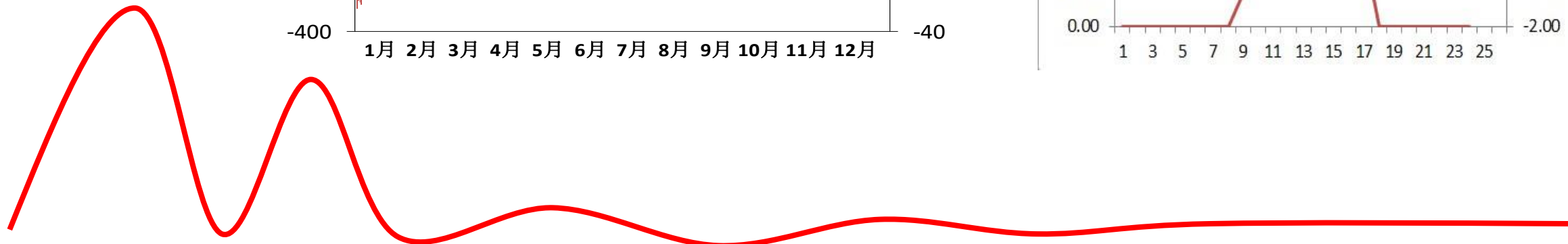


# 中低温温区内 太阳能供暖 技术路线





# 太阳能具有周期波动性和不稳定性



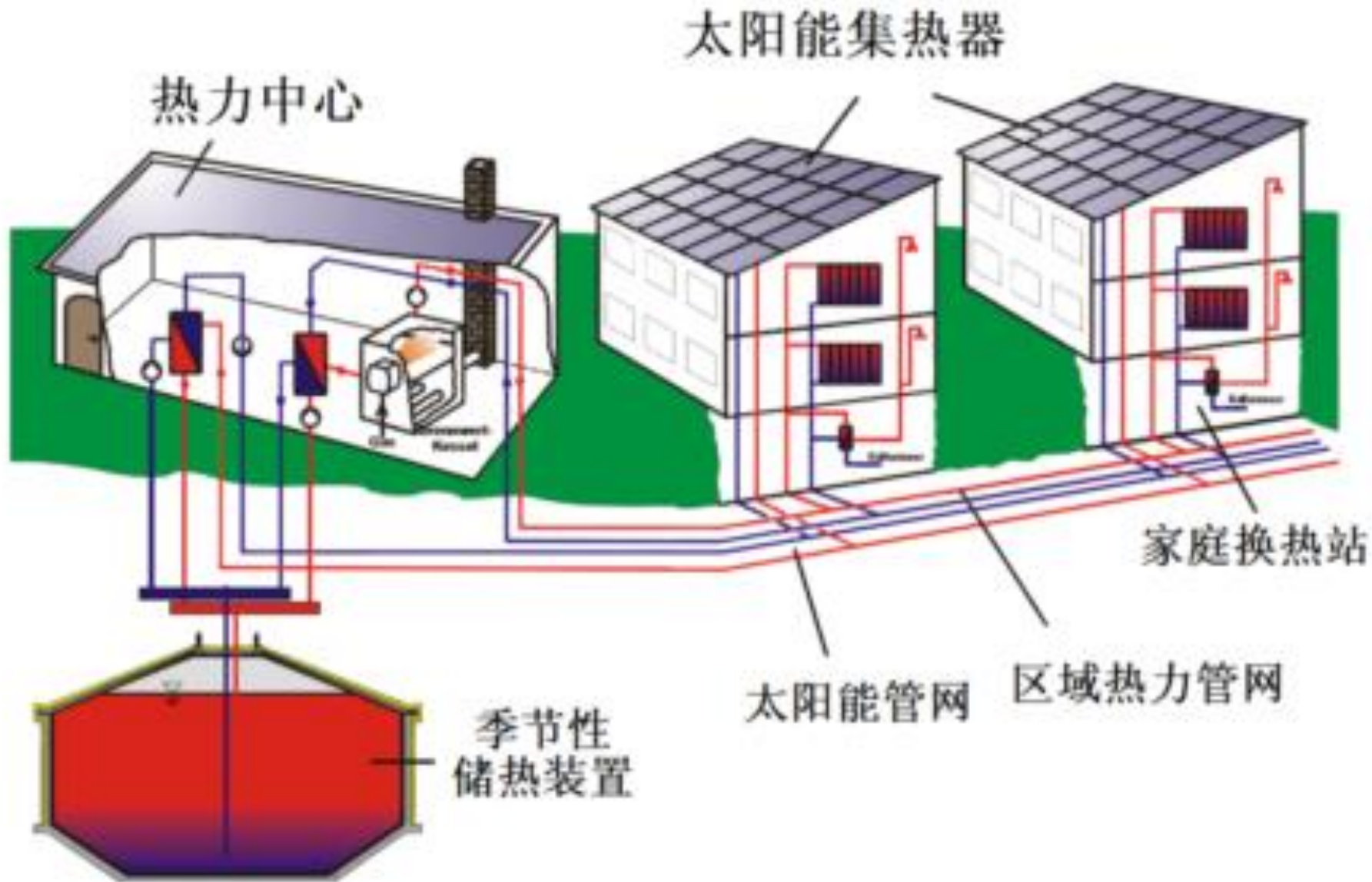
太阳能的特点：  
周期性波动  
不稳定性

太阳能资源具有时间上非连续性和“夏盈冬亏”特性  
集热是太阳能转化的核心，储热是太阳能利用的核心。



西藏日喀则市仲巴县县城太阳能集中供热工程位于海拔4700米的喜马拉雅山麓，工程由32175平方米集热场、15000立方米蓄热罐及33公里市政、小区管网等构成，采用了“太阳能+蓄热钢罐+燃油锅炉辅助”的供暖方式，设计太阳能保证率大于95%，可以满足县城11万平方米建筑的供暖需求。系统把光热、光伏有机结合









# 欧洲的太阳能跨季蓄热供暖项目



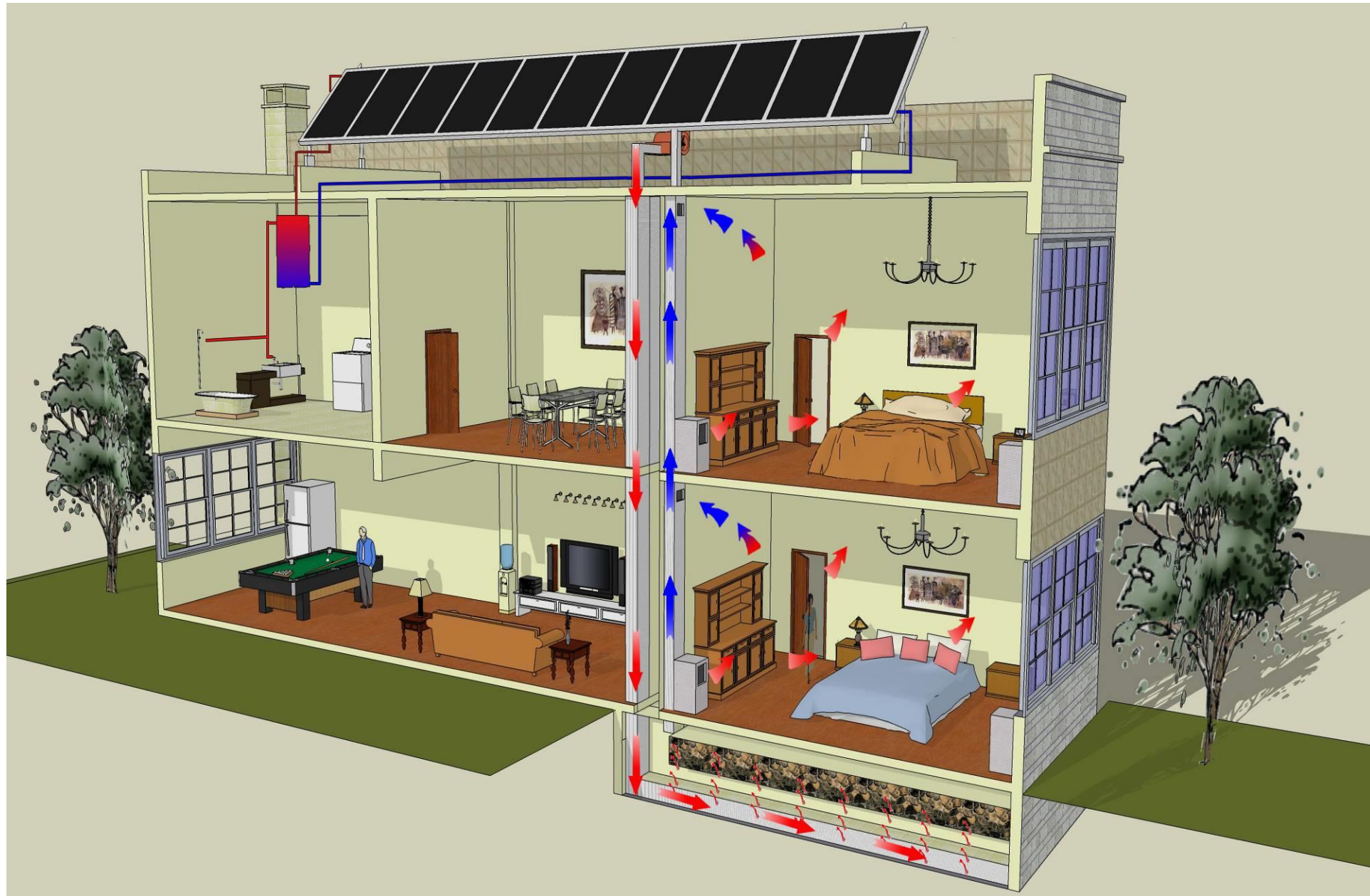


# 平板式空气集热器



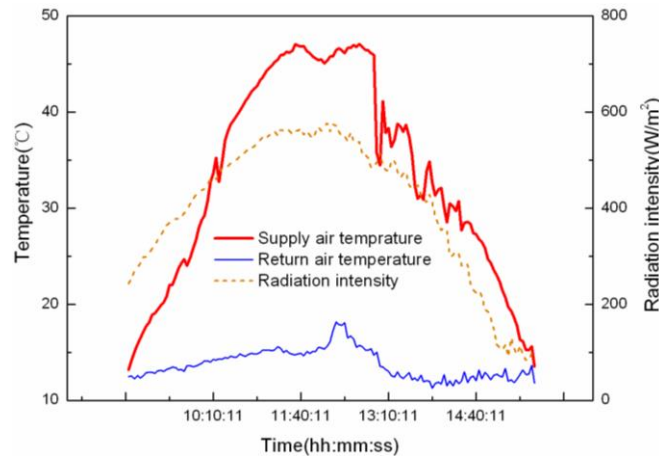


# 太阳能空气集热器采暖

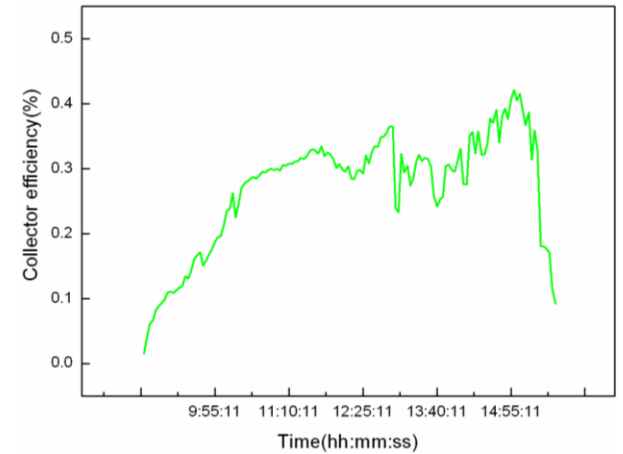




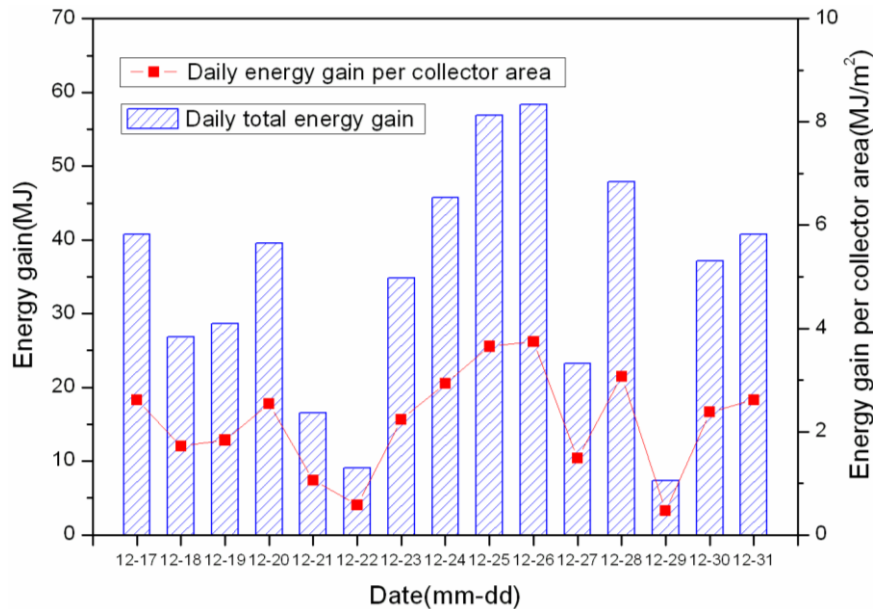
集热器安装外景



集热器送回风温度



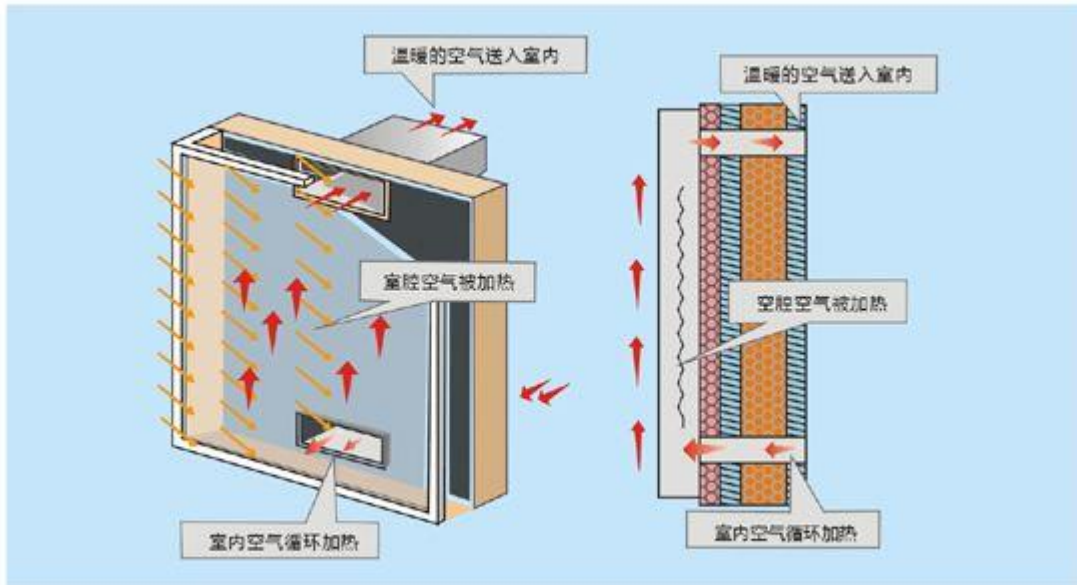
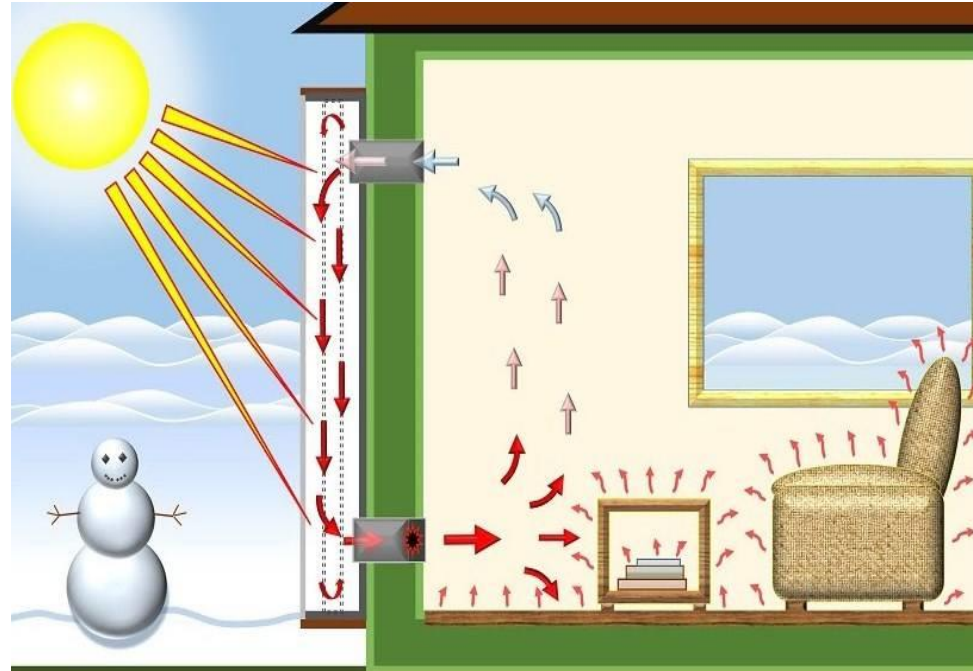
集热器热效率



集热器得热量

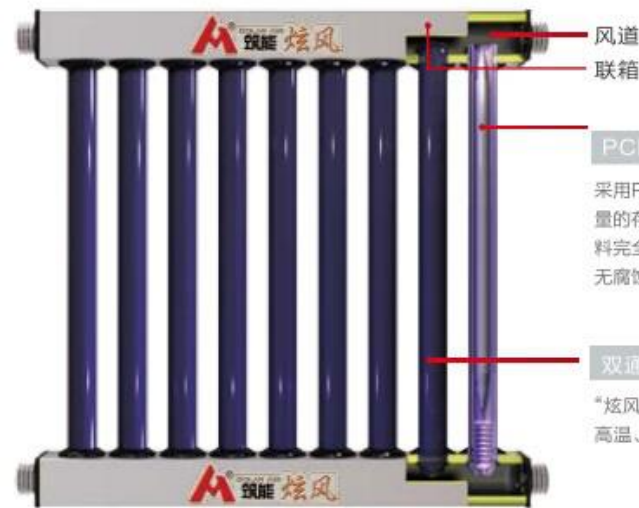
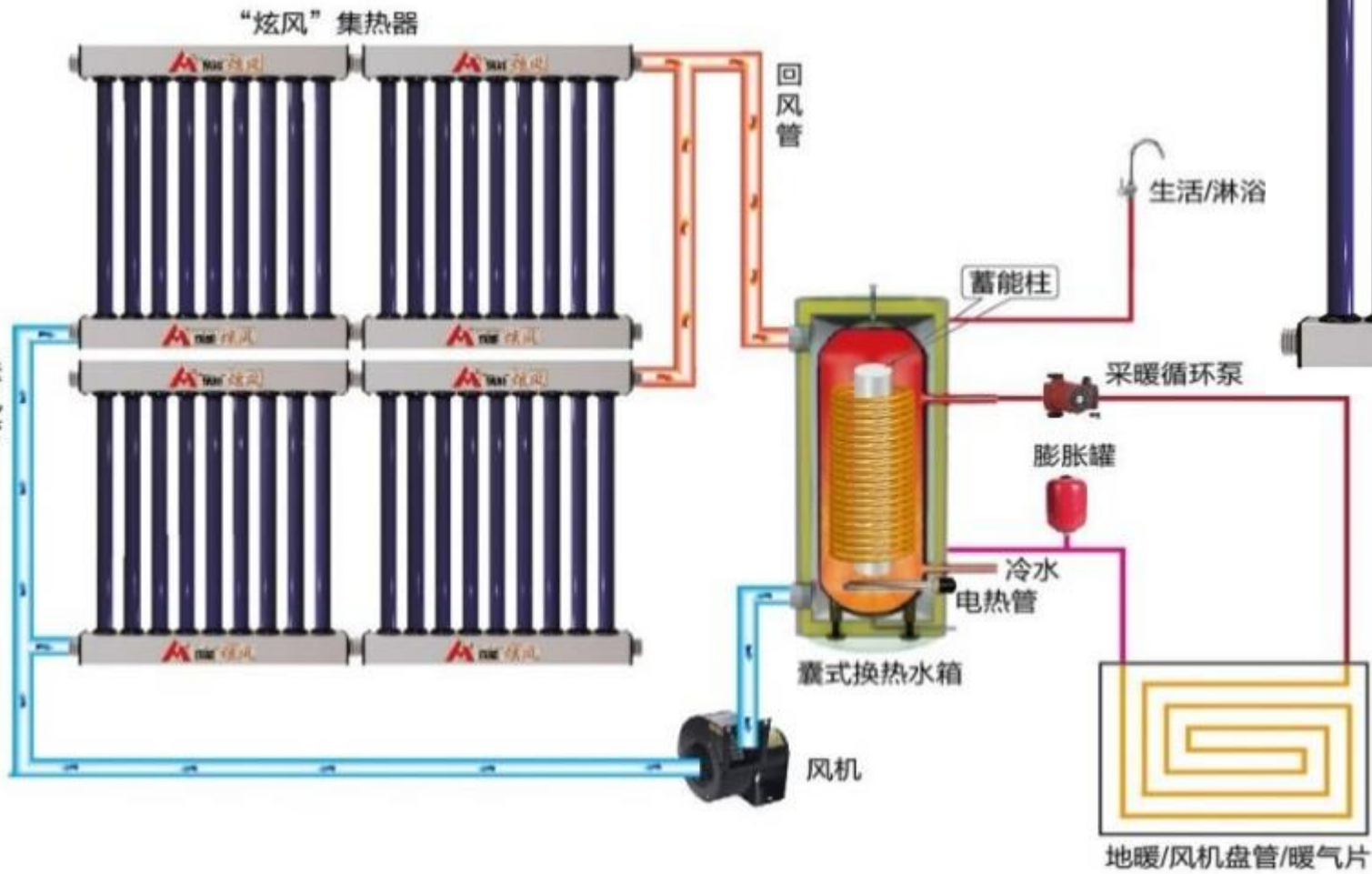
温升最高 $30^{\circ}\text{C}$ 以上。瞬时热效率白天大部时间在30%以上，最高42%

单位面积集热器日平均集热量 $2.20\text{ MJ/m}^2$ ，约相当于倾角安装集热器的65.3%





# 空气式PCM太阳能集热器



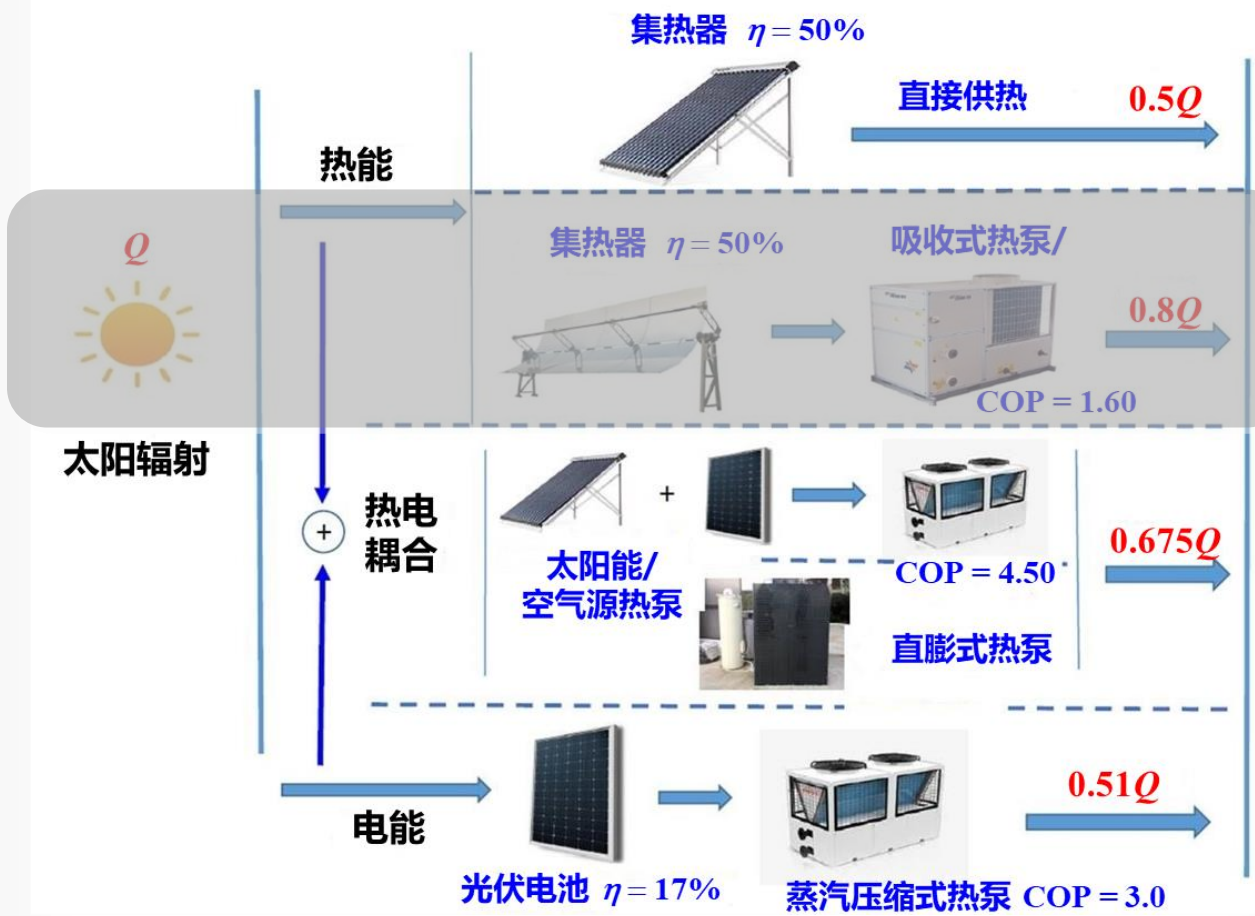
采用PCM相变蓄能技术，通过相变材料固/液转换完成热量的存储及释放，真正实现了太阳能的全天候使用。该材料完全自主研发，具有高蓄能密度、高耐热性、低膨胀性、无腐蚀性、无毒无害环保等特性。

“炫风”集热器直流双通真空管选用双通直流真空管；耐高温、抗高寒、高效吸收。

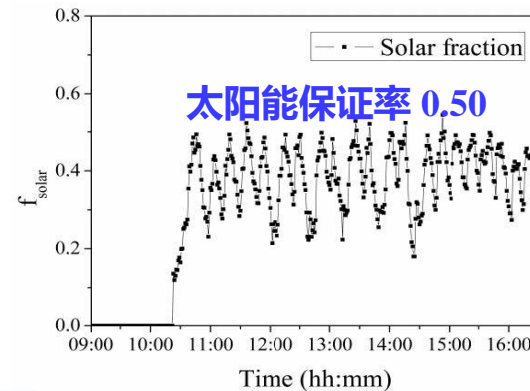
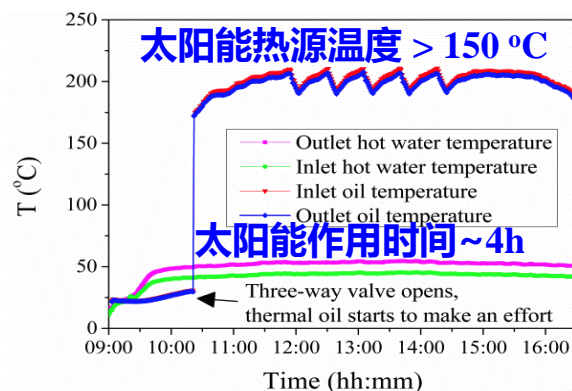
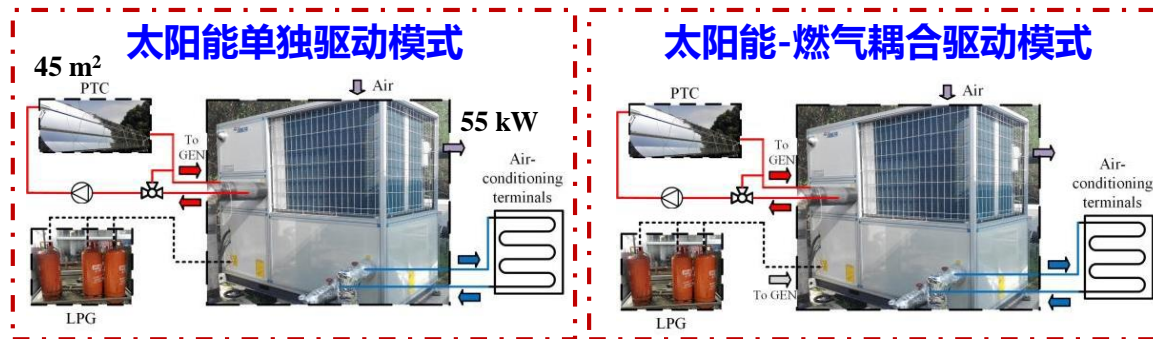


## 太阳能供热技术路线总结及对比

通过对太阳能的热量增量、提质、调控来实现



## 太阳能热驱动吸收式热泵的太阳能转化率最高

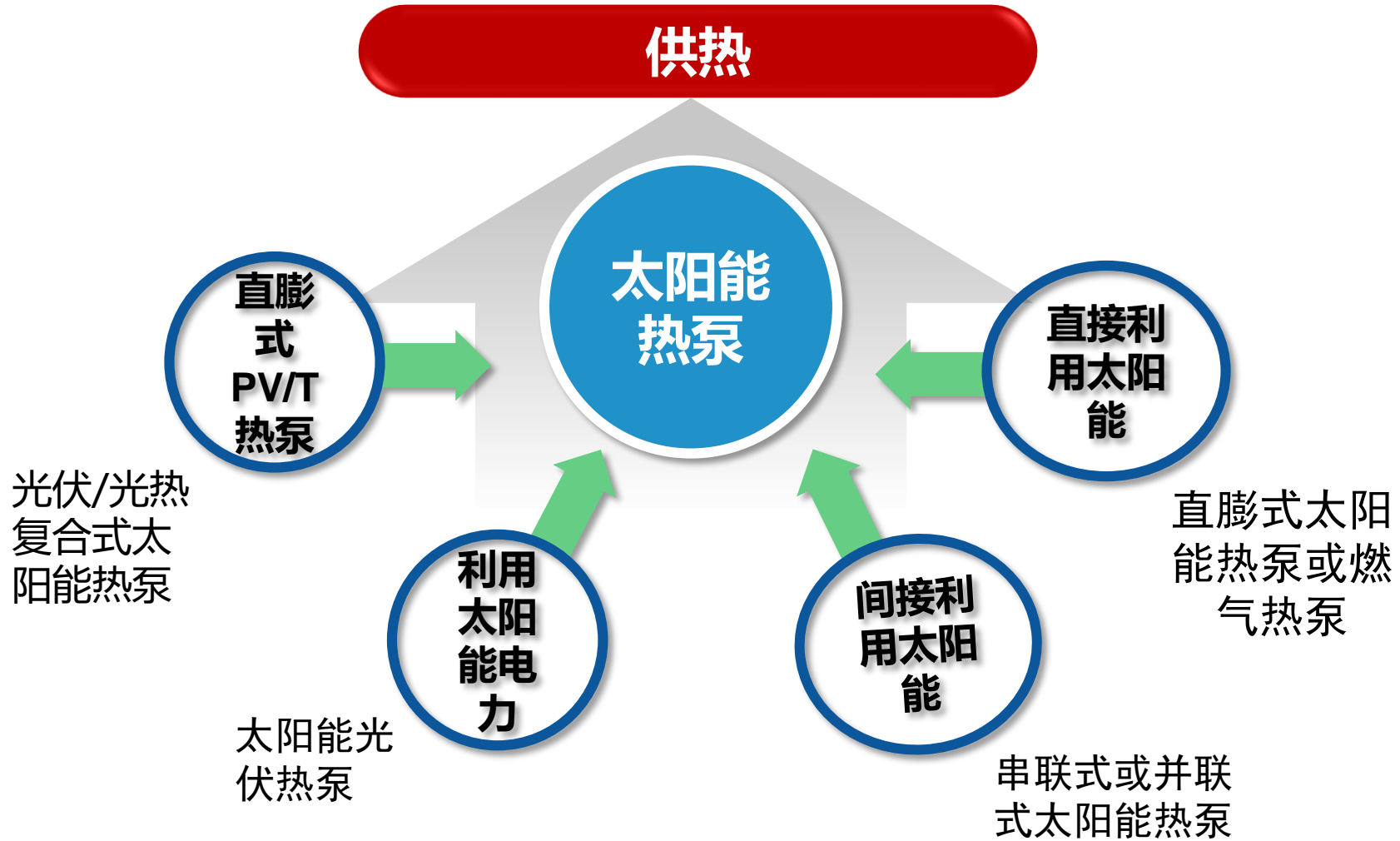


## 共性瓶颈问题

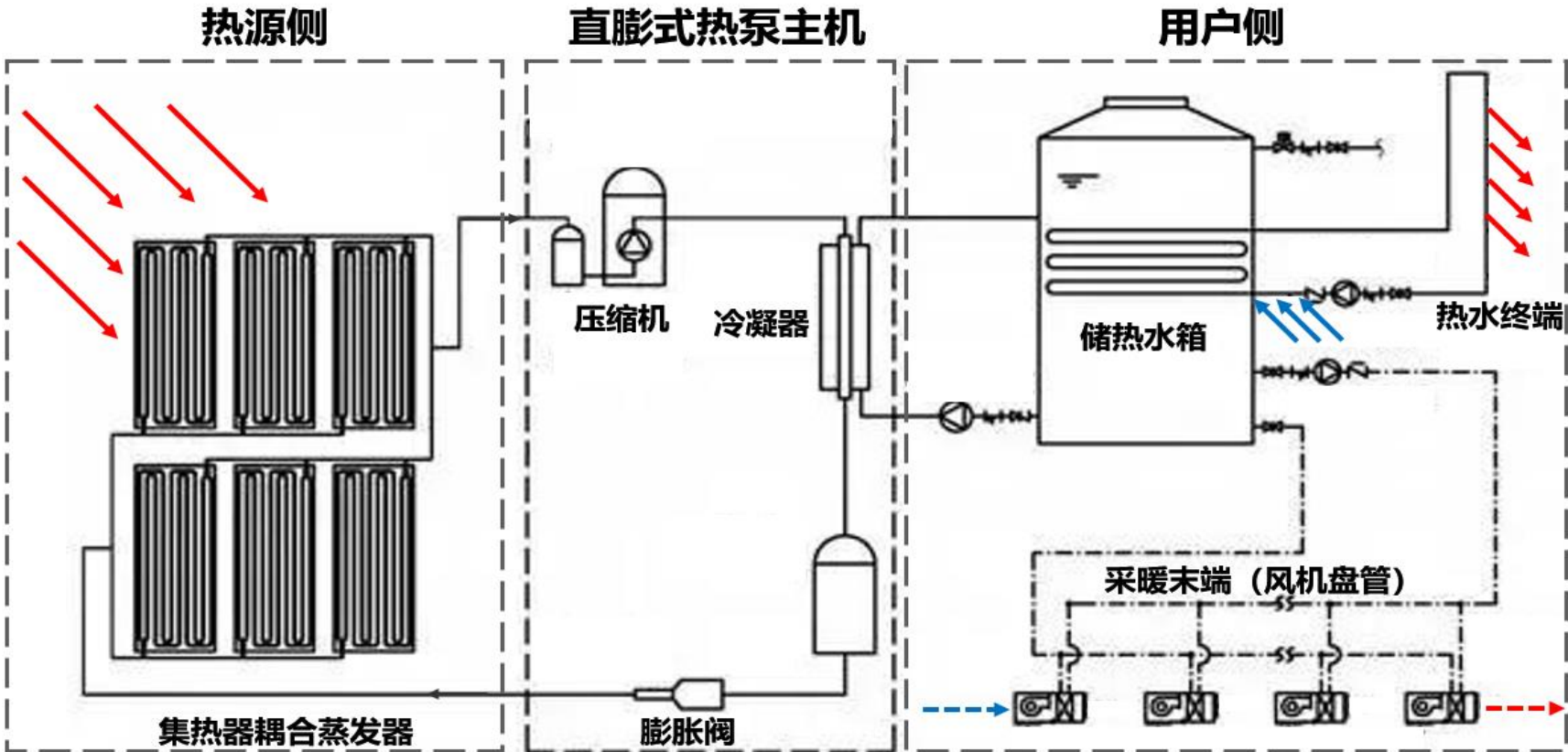
1. 太阳能热源温度要求高, 保证率低

2. 工作环温受限影响广域应用

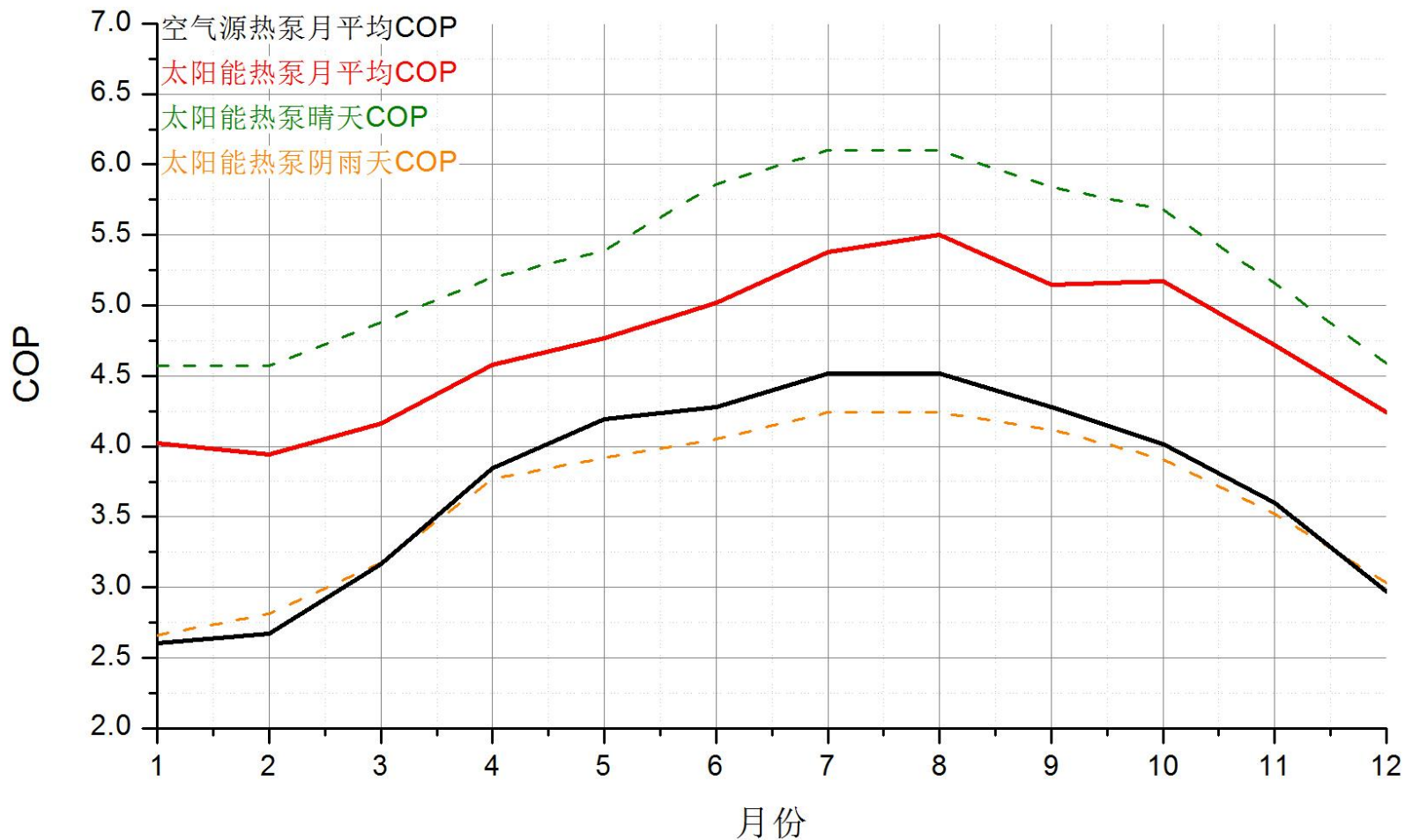
3. 太阳能热源条件与用热侧需求匹配较差







◆直膨式太阳能热泵系统节能高效、经济性好、复杂度低，适用于我国夏热冬冷地区采暖



- ◆上海冬季直膨式热泵COP为3.36，夏季热泵COP为6.6，全年平均运行COP为5
- ◆在太阳辐照条件良好时，直膨式太阳能热泵COP比空气源热泵更高



- ◆ 在晴好天气直膨式热泵集热器效率能够达到70%以上，即使无光照夜间甚至阴雨天气，COP也能超过2；
- ◆ 建筑屋顶安装6块11.22m<sup>2</sup>直膨式集热器蒸发器，采暖季输出功率能够达到8kW



- 将**光伏/光热组件与热泵系统耦合**，形成**太阳能PVT热泵系统**，实现建筑的高效**热电联产**；对比传统单一光伏或光热系统，太阳能综合利用率有**显著提升**。

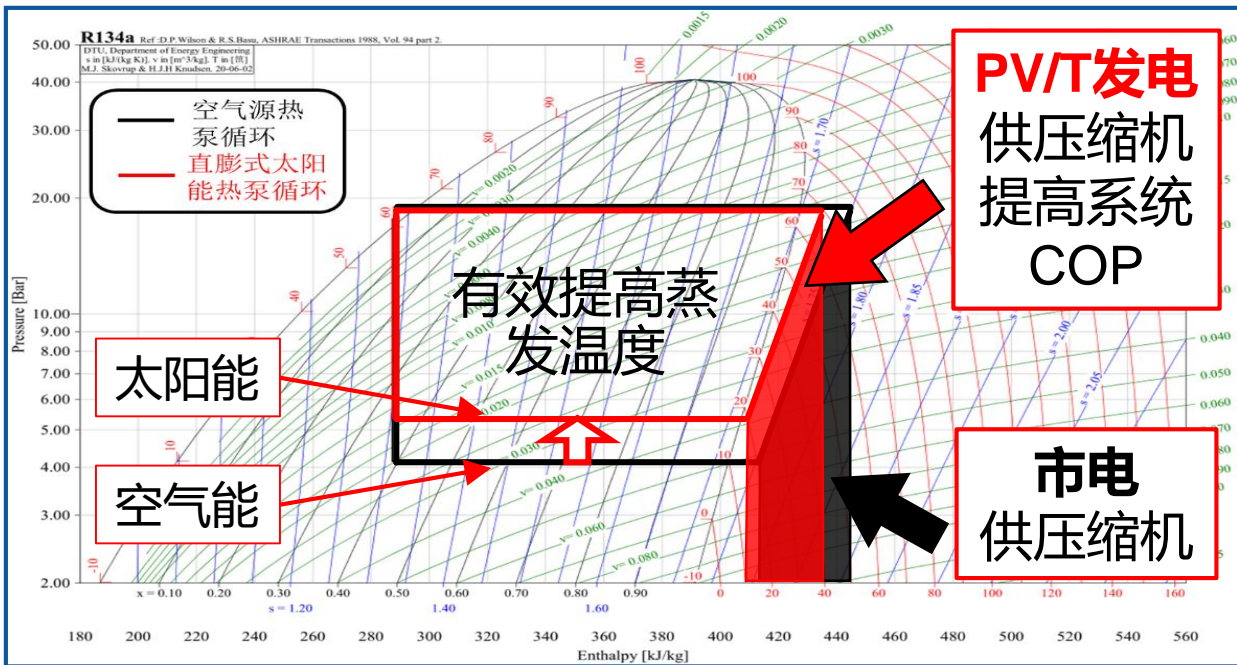
光伏系统：发电效率 **16%**

光热系统：集热效率 **50%**

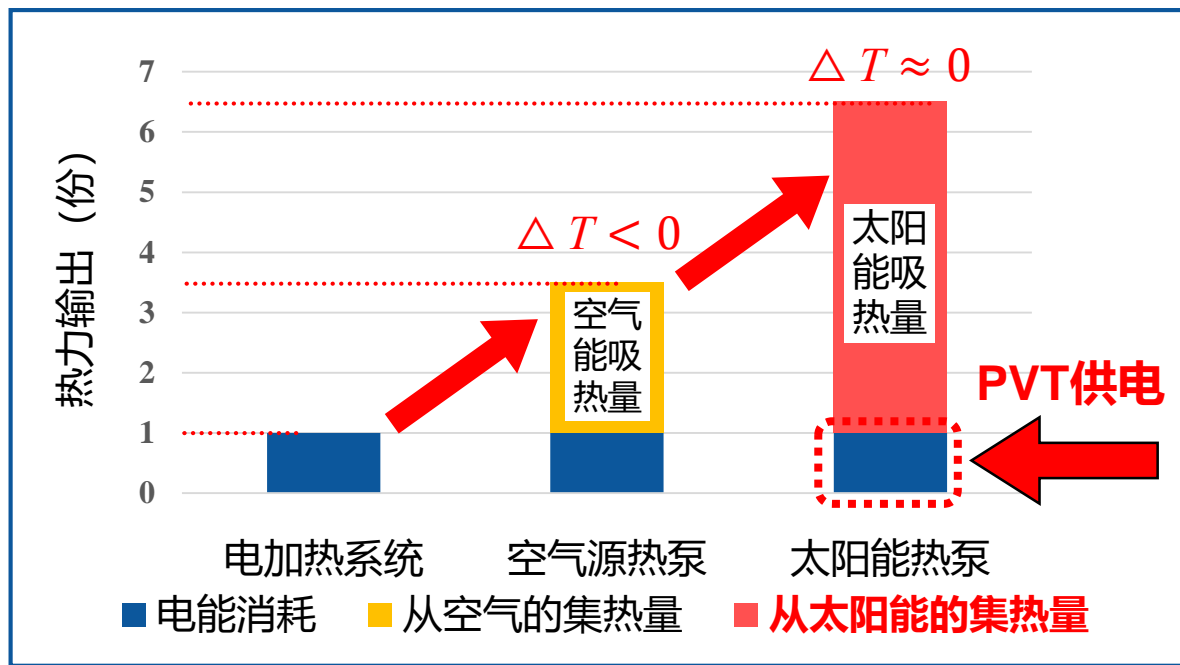


PVT系统：

发电效率 **18%** + 集热效率 **65%** = 太阳能综合利用率 **83%**



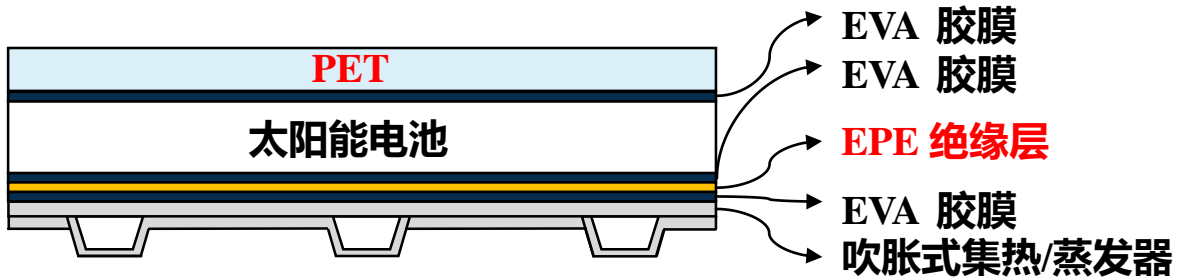
太阳能热泵与空气源热泵压焓图



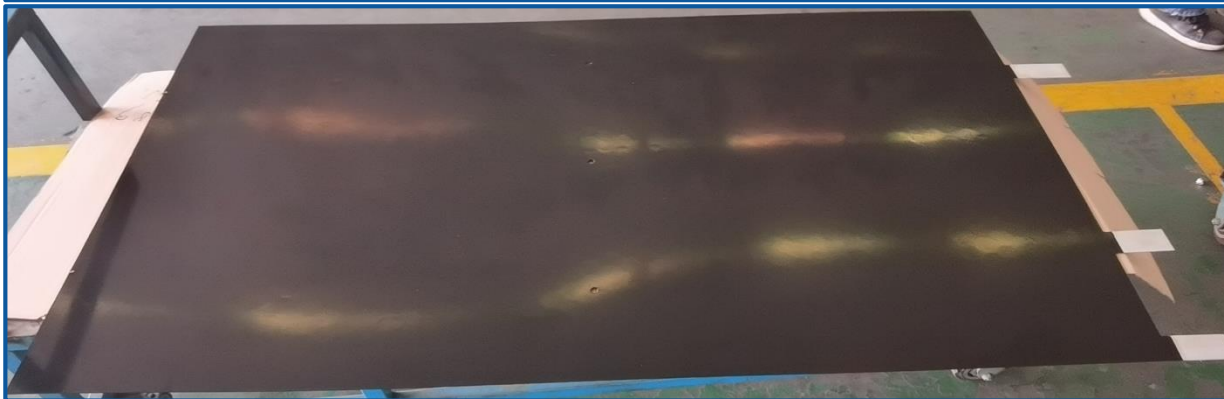
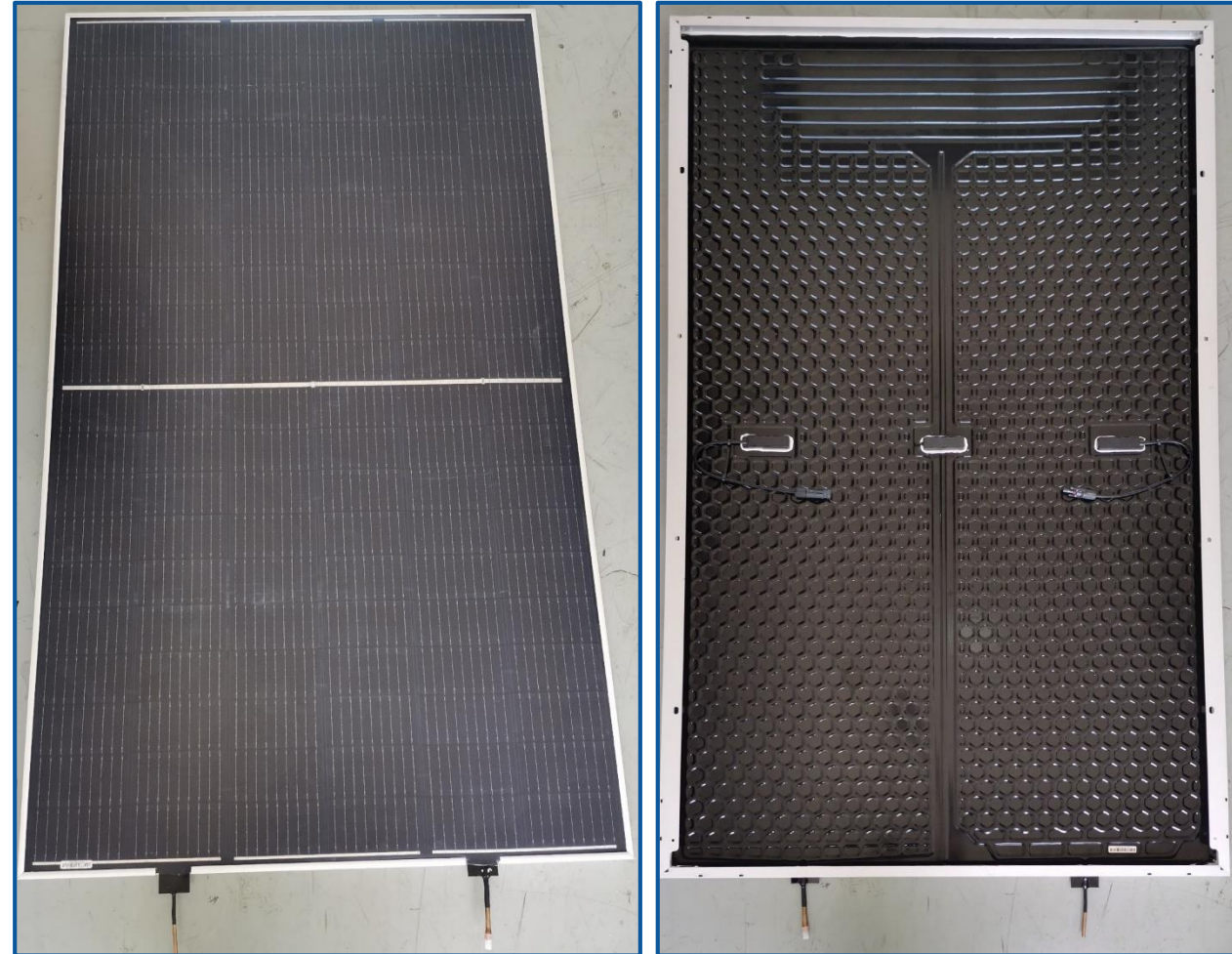
不同系统热力输出情况



## 新型PVT组件（无玻璃盖板）



## 量产化大尺寸PVT组件 实物图

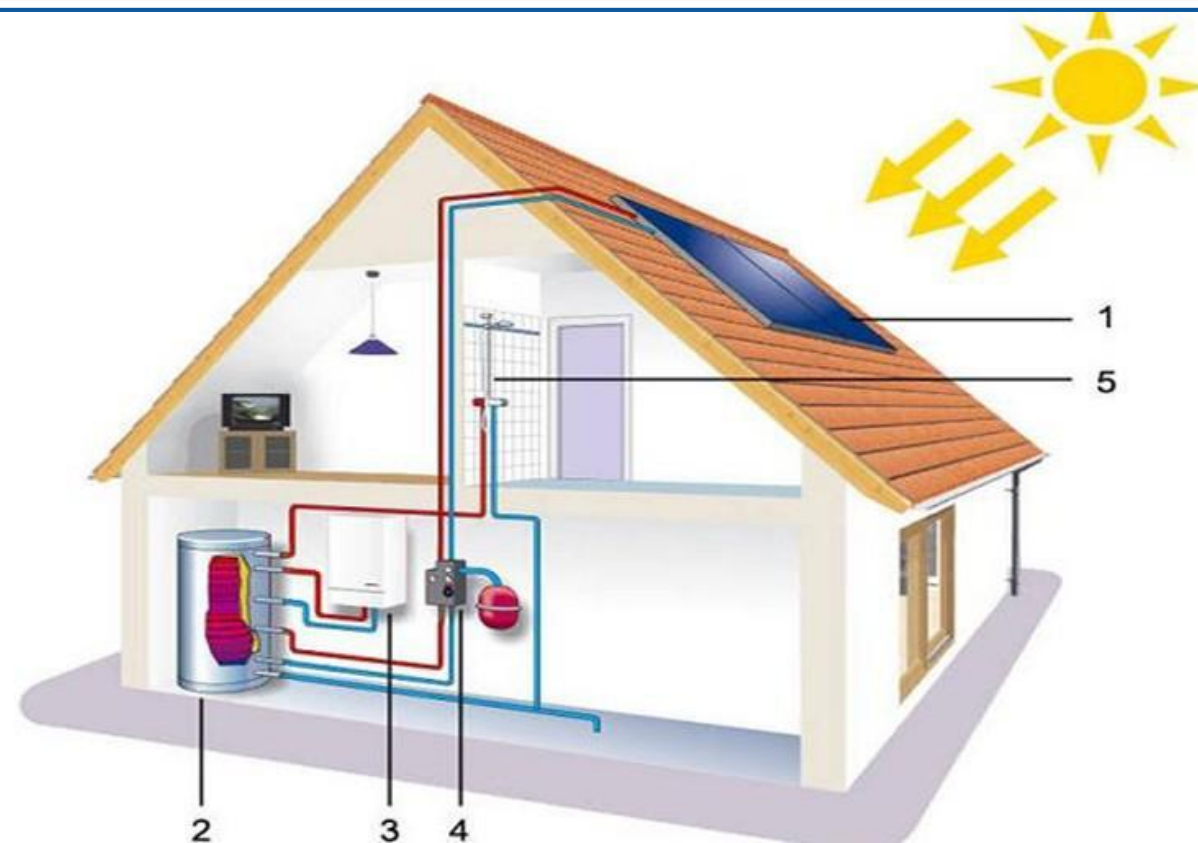
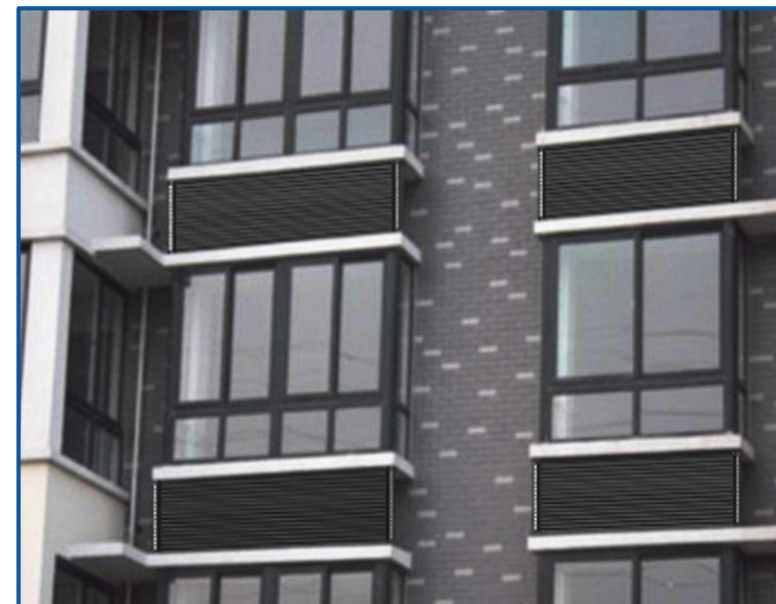


- ◆ 大尺寸组件可更好匹配光伏产品迭代；
- ◆ 加工工艺完善，一体化程度高，实现量产；



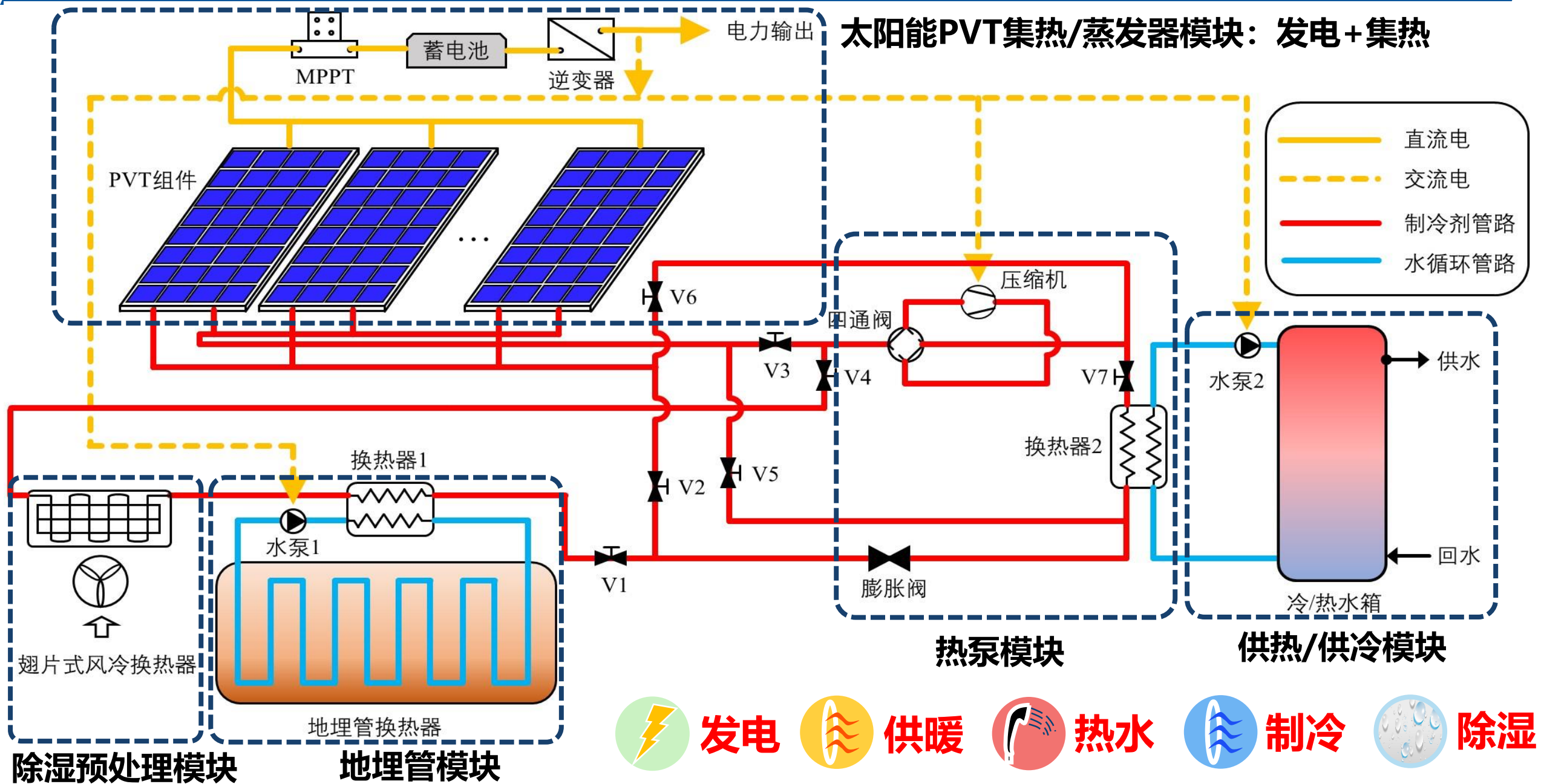
## ◆ 太阳能建筑构件化

- 屋顶、外墙立面、阳台壁挂等；
- 小型分布式热电联产能源系统；
- 光伏电站改造等；





# PVT热泵耦合浅层地热冷热电联产



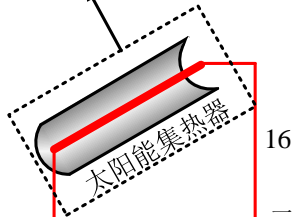


① 目前累计生产PVT组件超过1.2MW (发电) ， 供热总量约4MW.

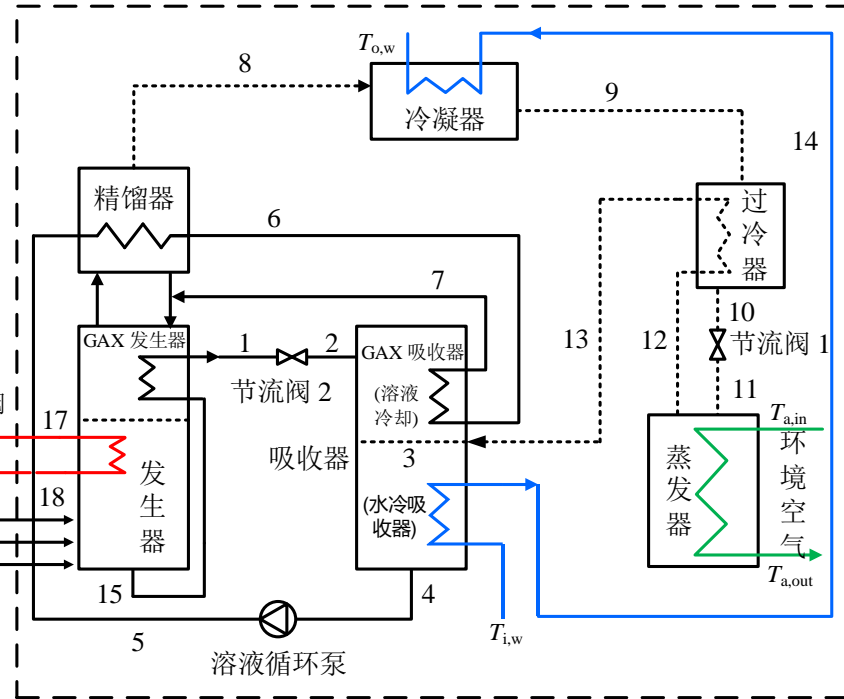
② 在生活热水、 建筑采暖和石油加热、 工业加热工艺过程等推广应用。



## 槽式太阳能集热器 (PTC)



辅助热源  
(燃气)

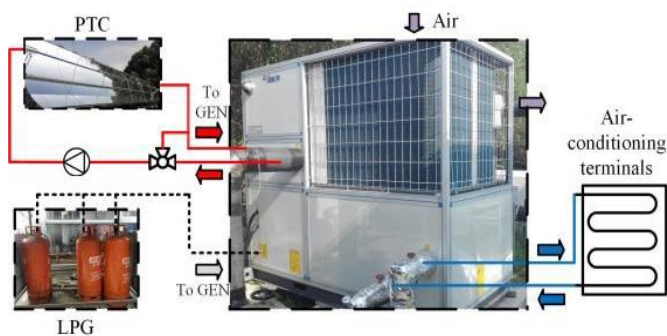


## GAX氨水吸收式热泵 (机组)

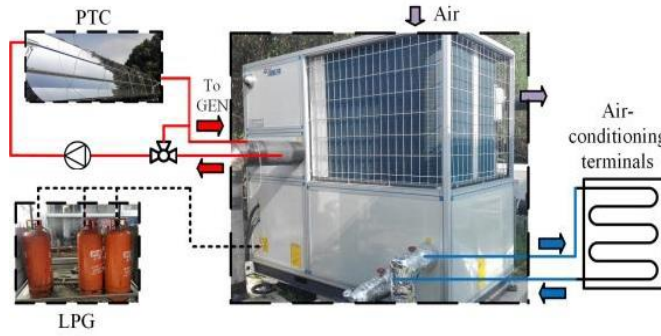


- 氨水溶液
- - - 氨制冷剂
- 导热油
- 供/回水
- 环境空气

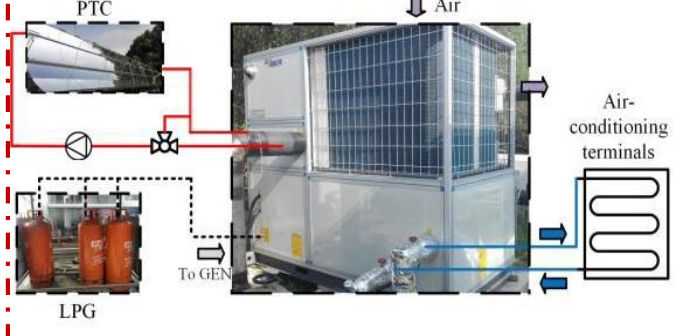
### 太阳能-燃气耦合驱动模式



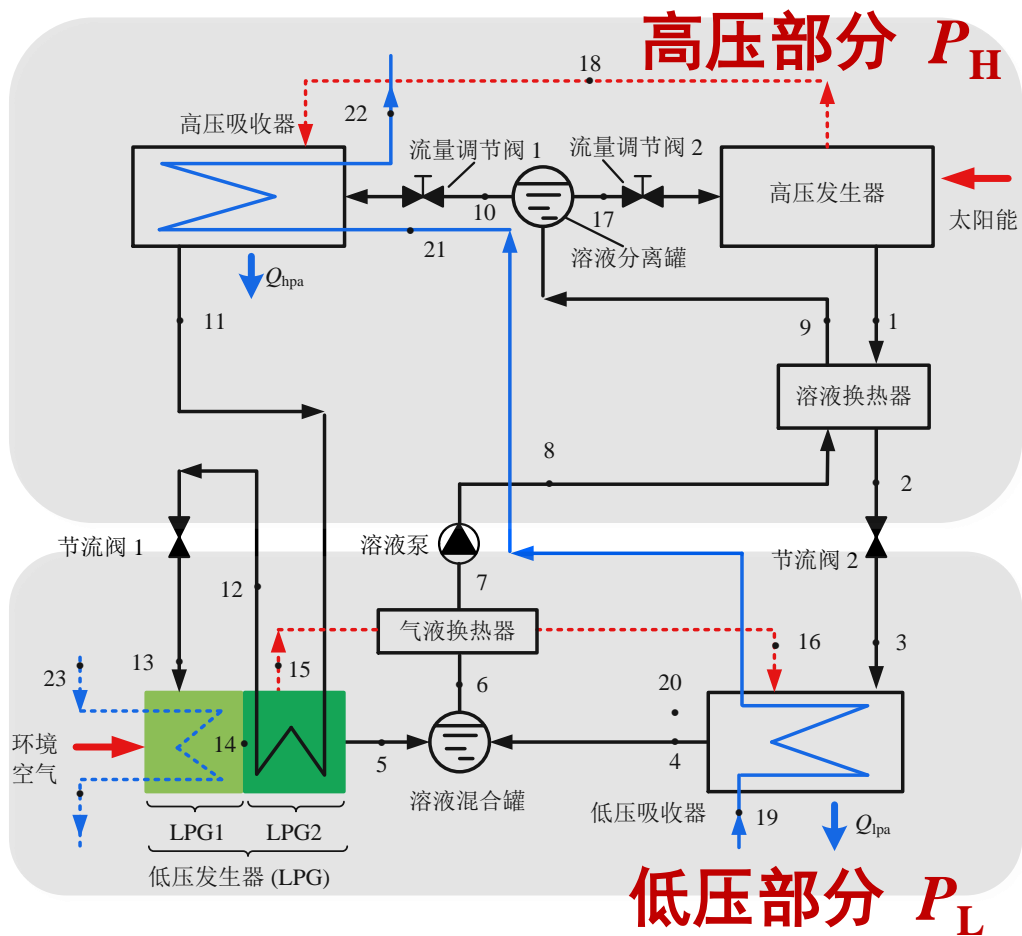
### 太阳能单独驱动模式



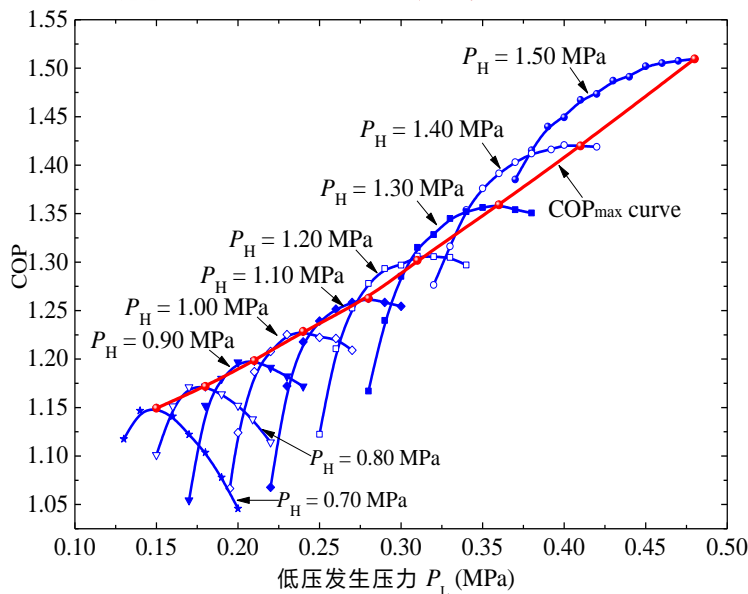
### 燃气单独驱动模式



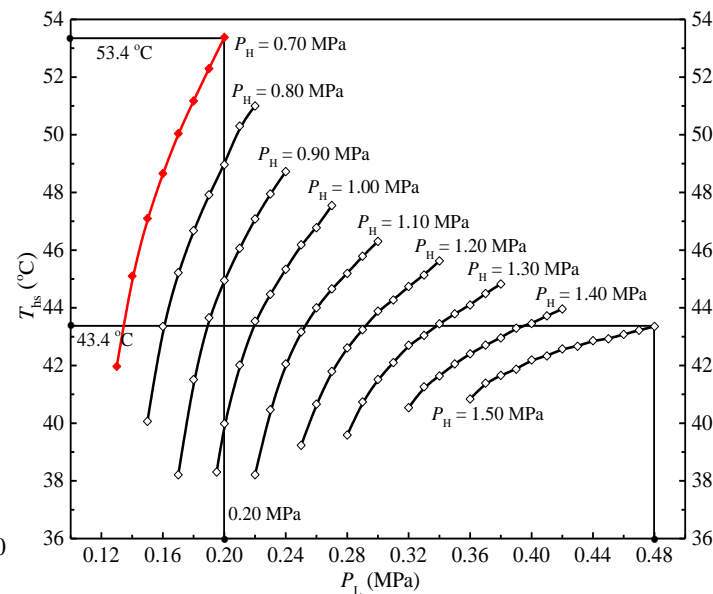
## 单级平衡式再吸收热泵循环



## 循环 COP-压力变化曲线



## 供水温度水平

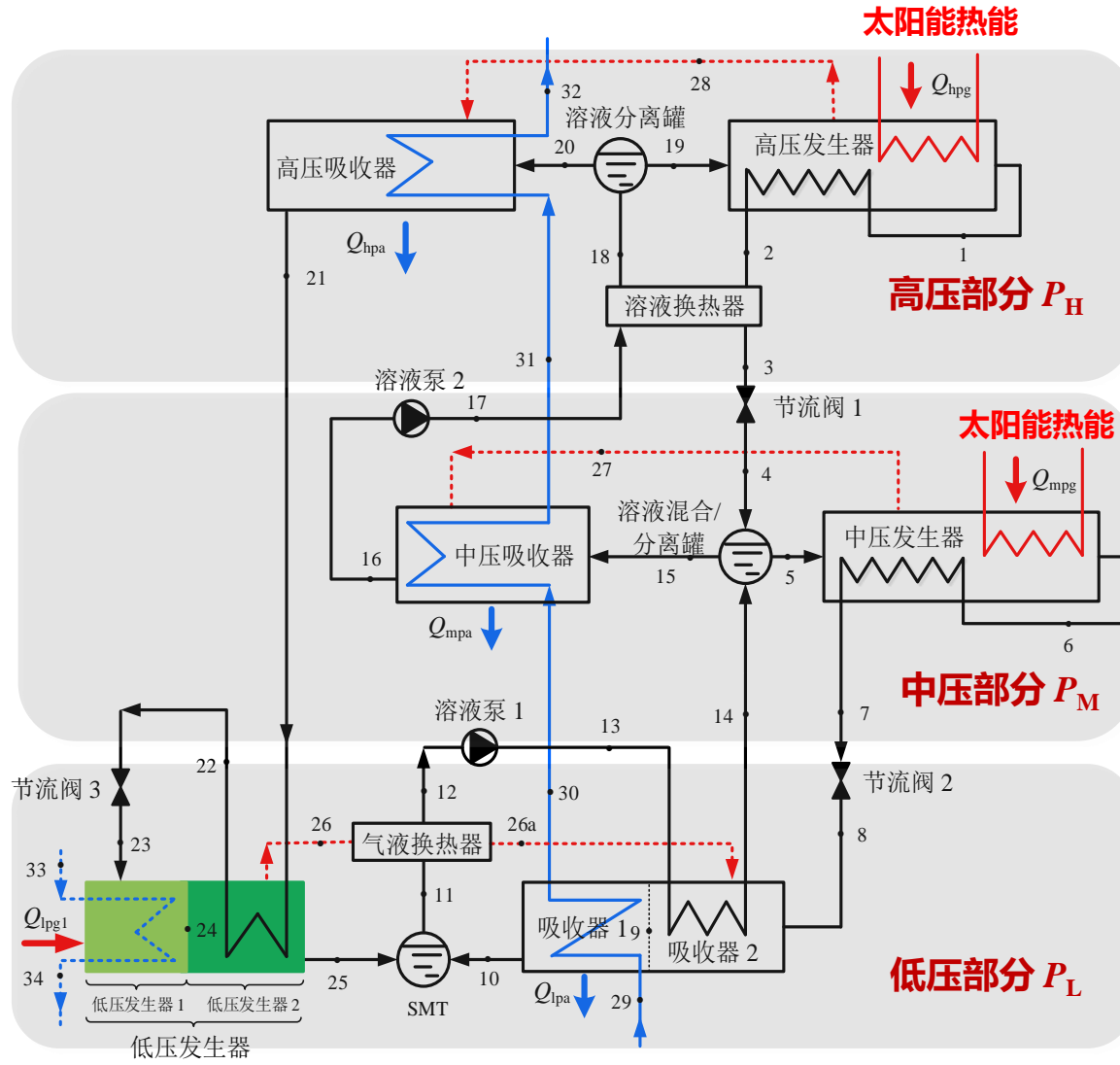


◆ COP达到最大值1.51时，供水温度**43.4°C**，满足室内辐射采暖温度需求

◆ 驱动热源温度要求高于82°C

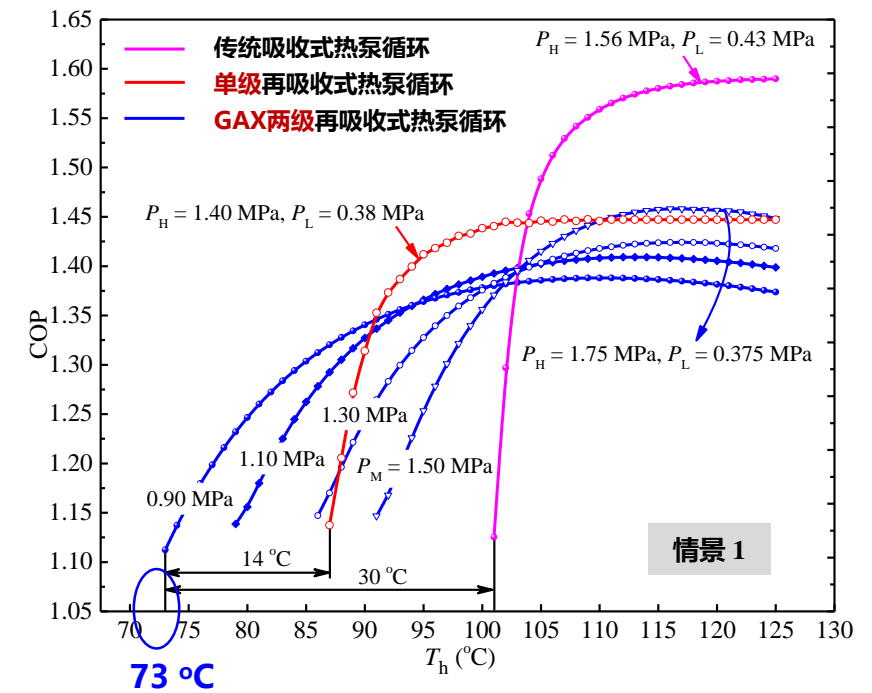
◆ 单级平衡再吸收式热泵循环要求工作环境温度  $T_a > -5.8^\circ\text{C}$ ，可以满足我国南方冬季寒冷环境温度下的采暖需求

## GAX两级再吸收多重回热式热泵循环



### 基于单级再吸收热泵循环

- ◆ 进一步提高供水温度
- ◆ 适应更多采暖末端的温度需求
- ◆ 进一步降低驱动热源温度要求
- ◆ 增强对更寒冷环境的适应性



◆ 最小驱动热源温度为 **73 °C**，低于单级循环的 85 °C



## 传统显热系统

管道保温  
成本

精简部件  
体量

管径大  
热损高

增加运行  
时间



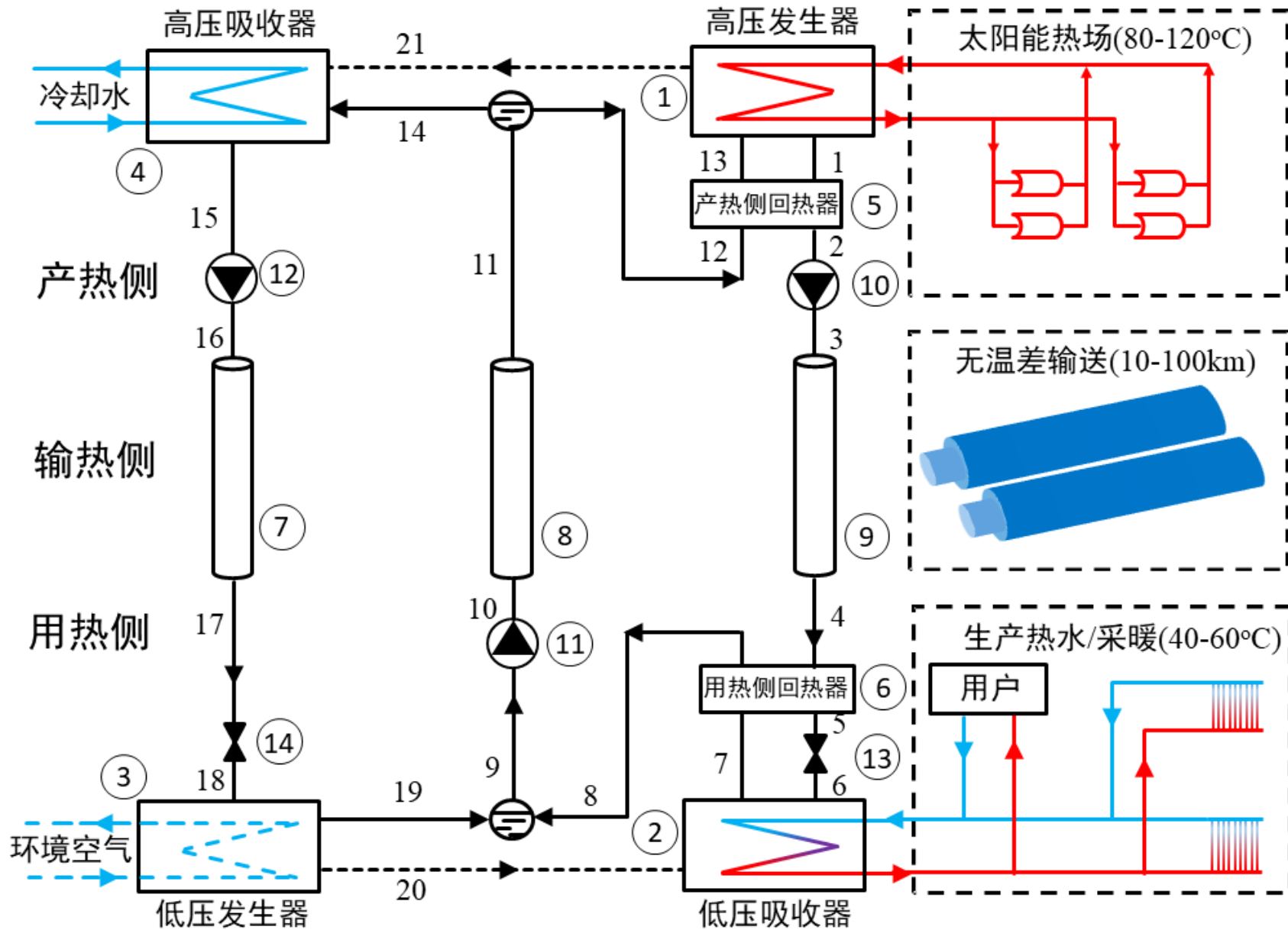
## 再吸收长距离输热系统

显热输送  
→ 潜热

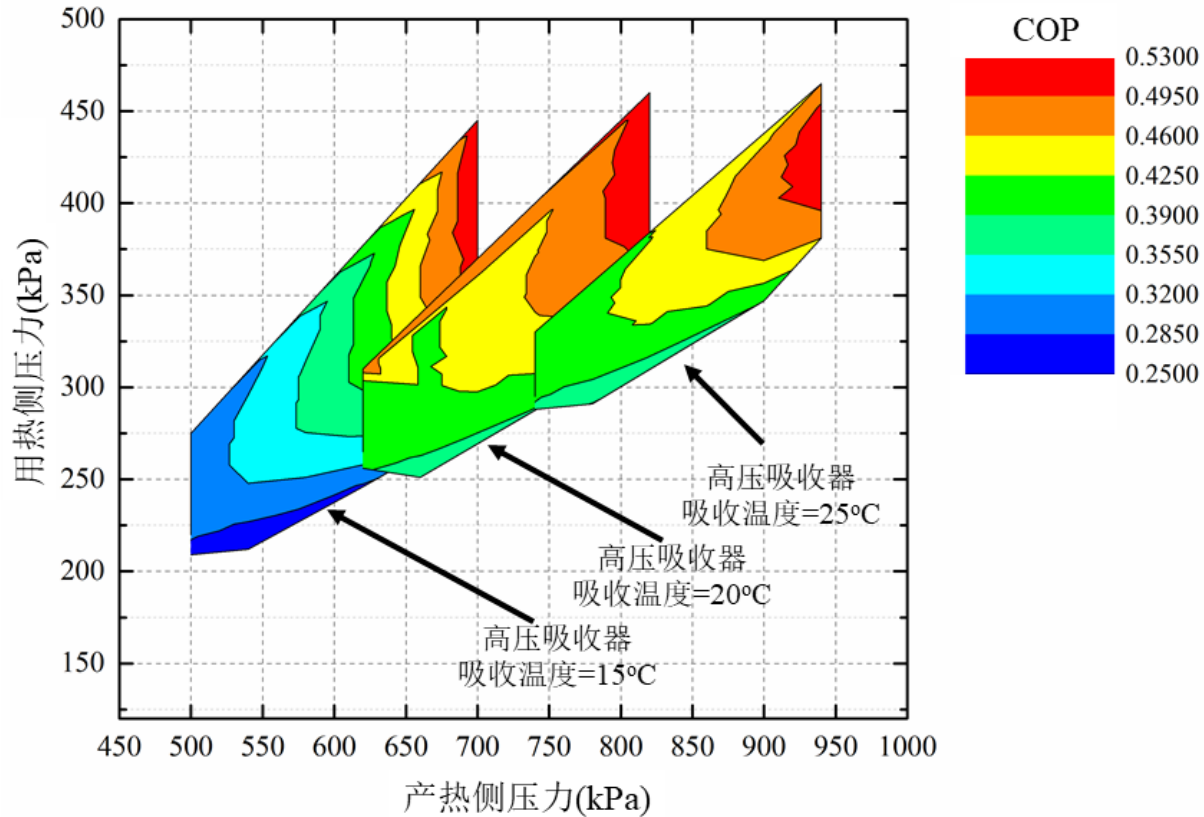
降低系统  
运行压力

提高蓄能  
密度

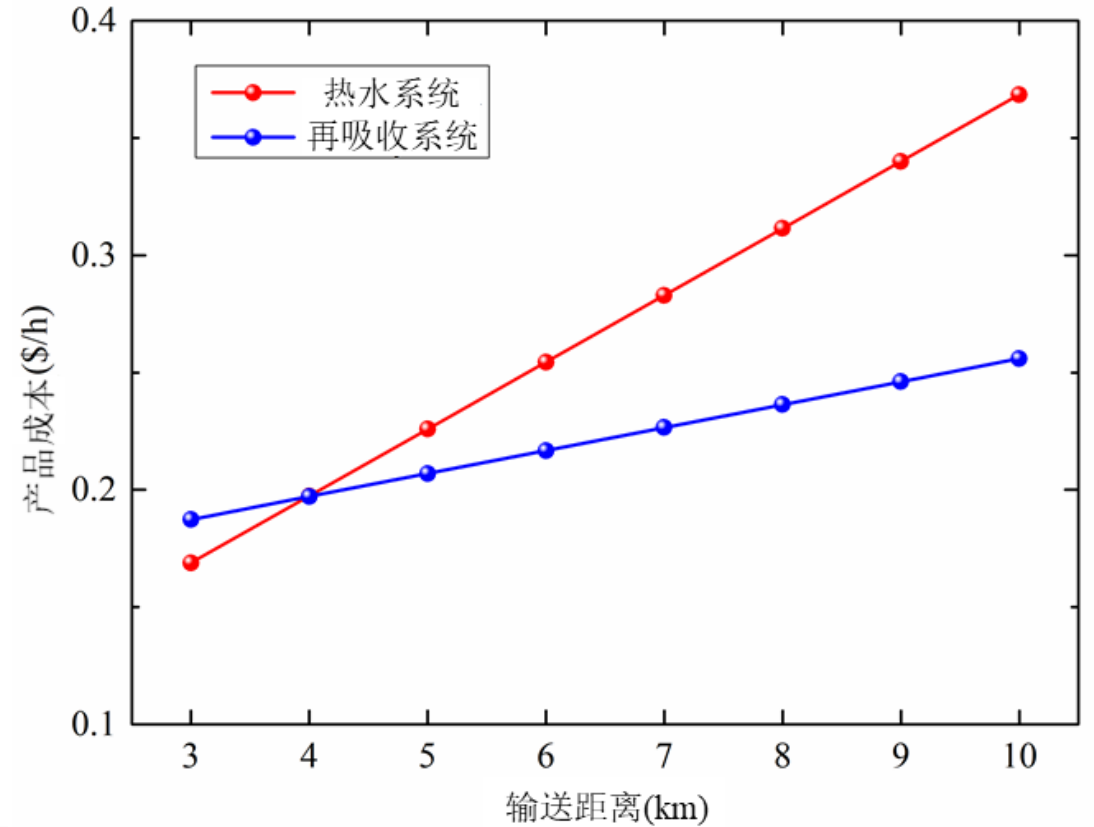
提升热源  
品质



## 再吸收输热系统COP- $P_H$ - $P_L$ 图

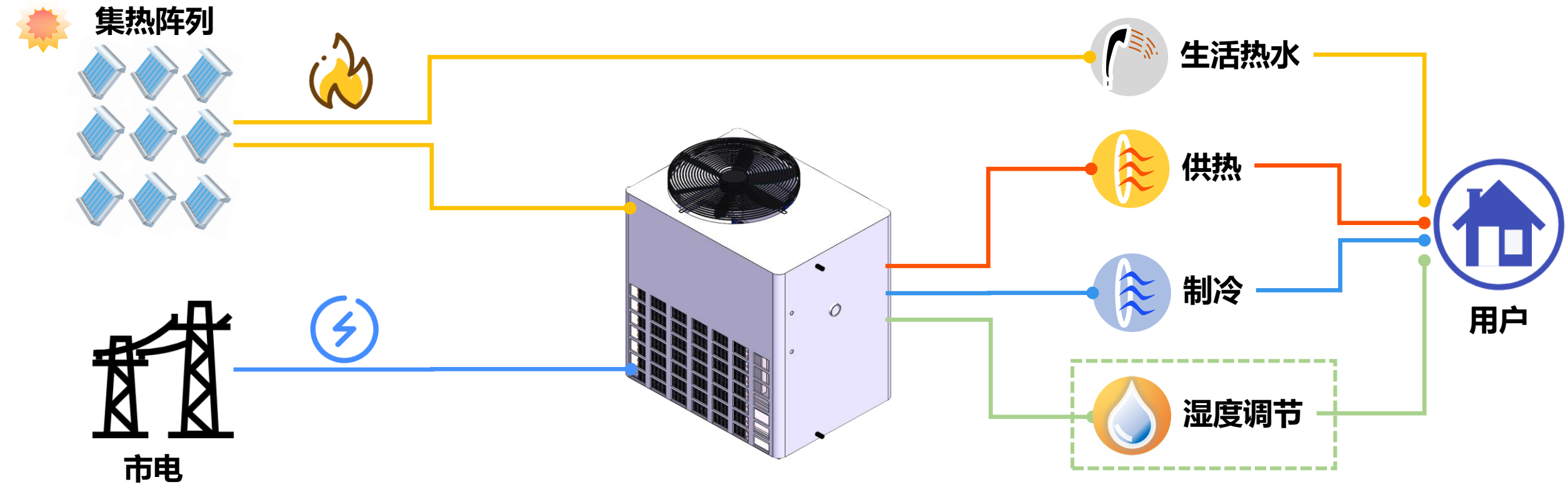


## 再吸收输热系统投资—输送距离



- ◆ 通过调节匹配吸收温度，产热侧压力，用热侧压力，能够得到系统最优COP**0.53**
- ◆ 再吸收系统无需保温，管径也更小，在运输距离大于**4km**时，再吸收系统经济性优于常规热水系统，在更长距离热能输送中有优势

## 低品位热能回收的能效提升作用



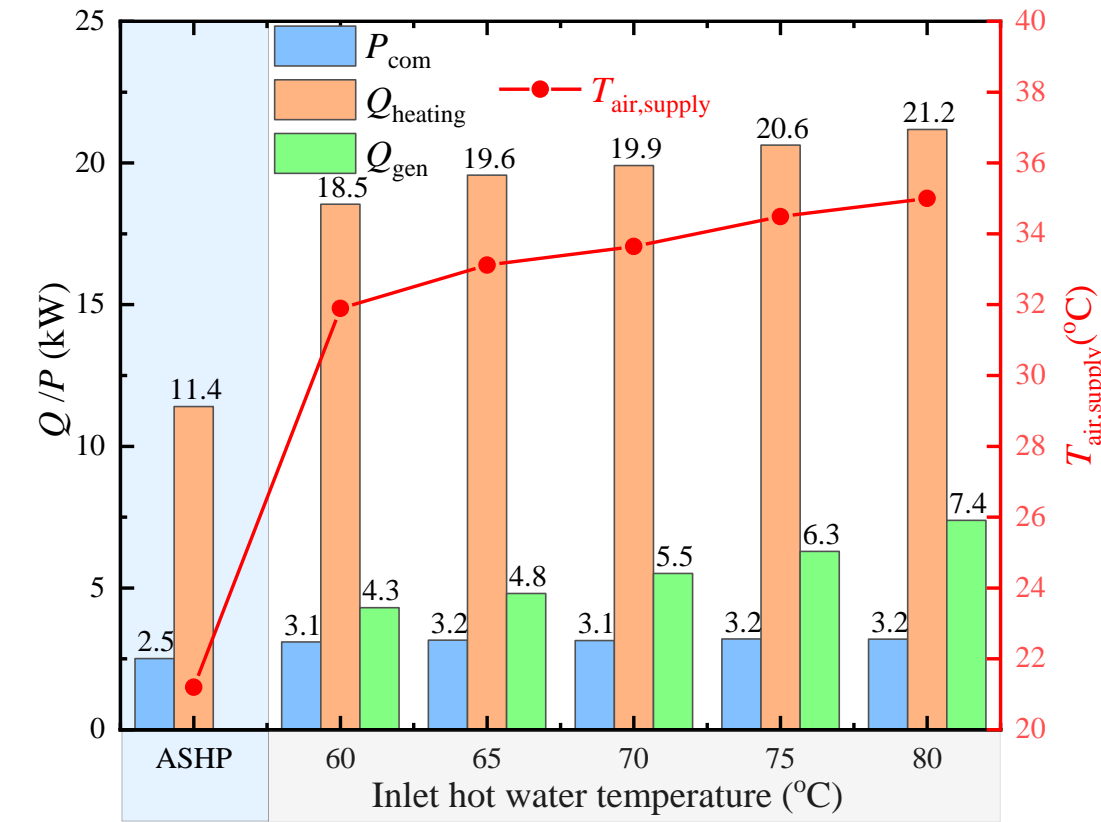
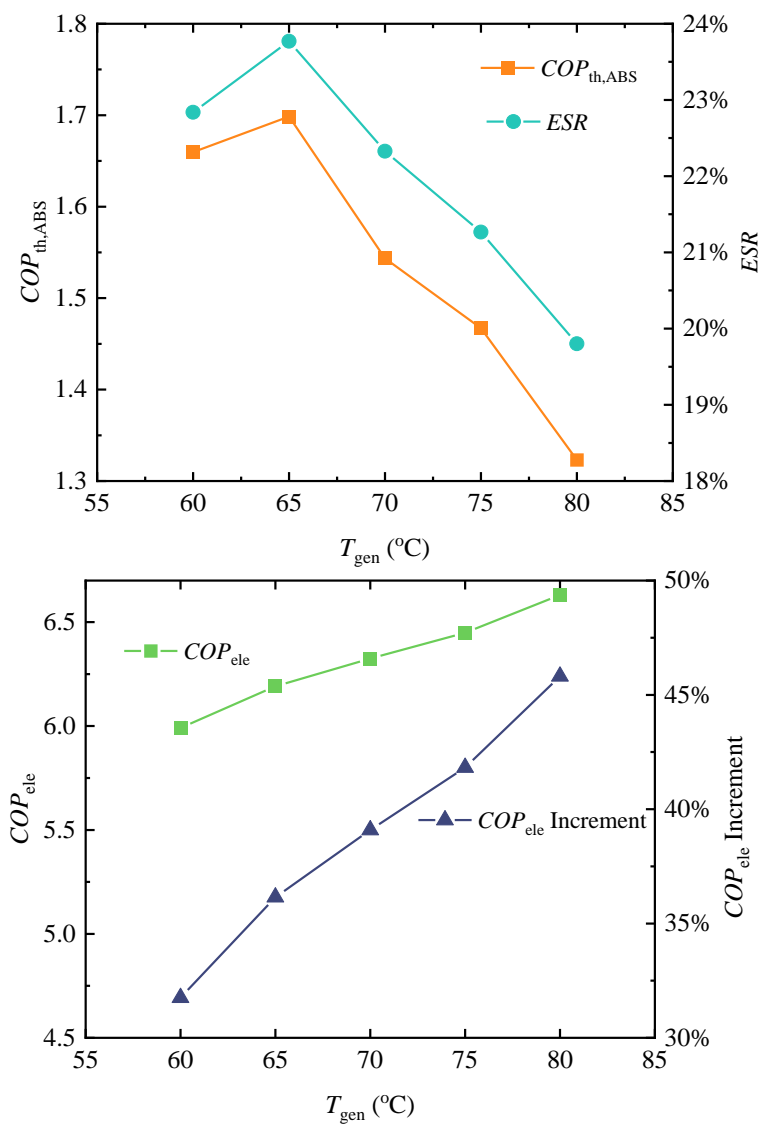
### 意义

-  ● **高效化**: 太阳能低品位热能梯级利用
-  ● **稳定性**: 克服太阳能间歇性与供能需求的矛盾
-  ● **小型化**: 热电协同供能无需广阔的集热面积
-  ● **经济性**: 全年太阳能生活热水, 辅助供热制冷

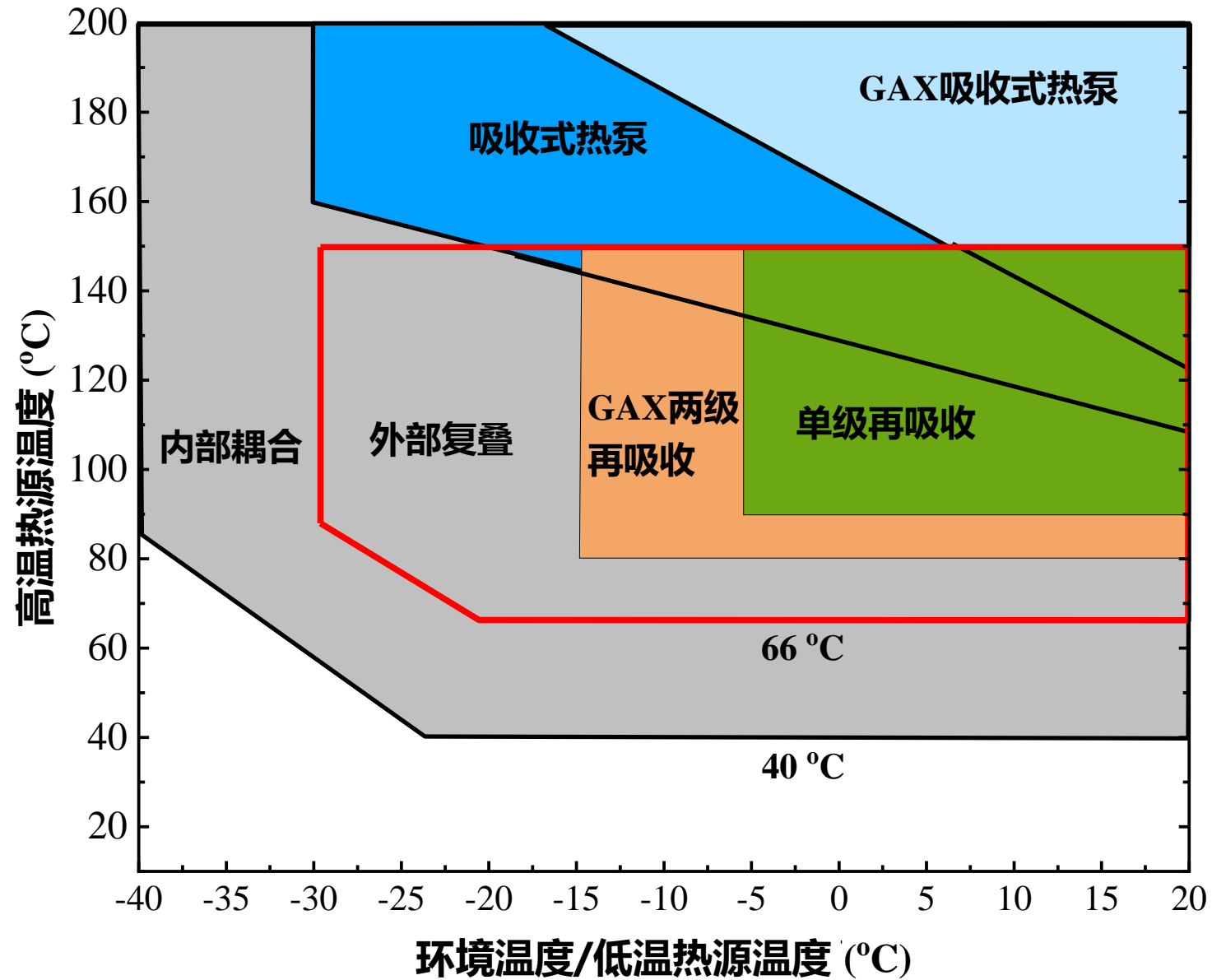
## 变发生温度 (60 °C ~80 °C)

环温 10 °C、相对湿度 40 % 工况下测得

太阳能辅助制热模式

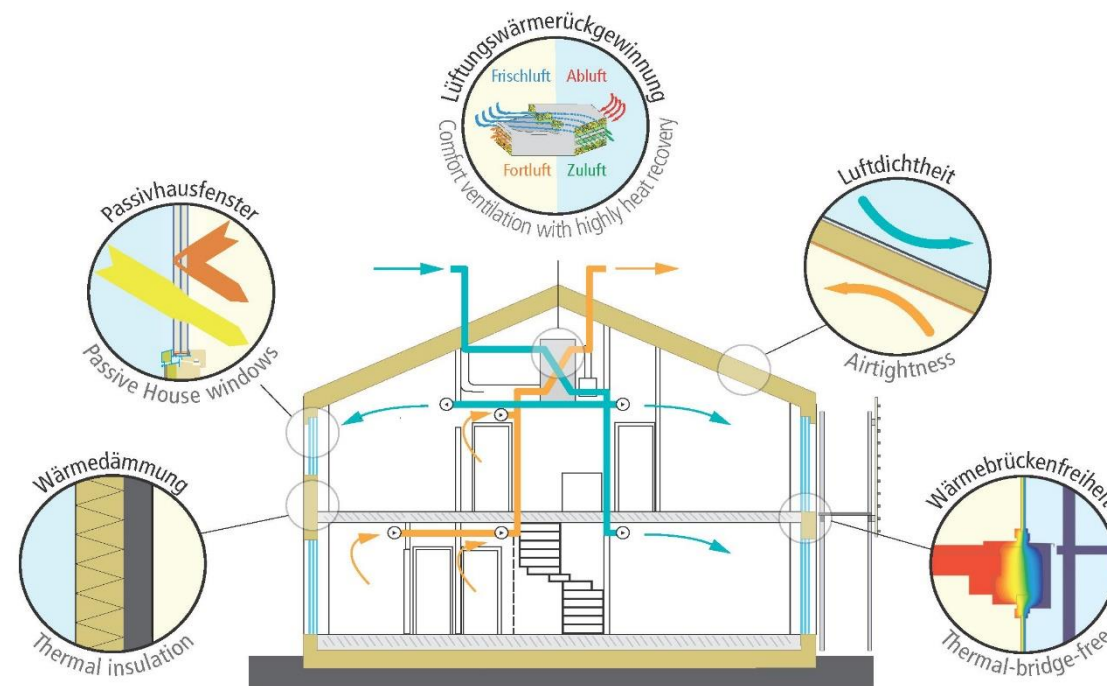


- 发生热源温度60~80 °C, 热力COP=1.32~1.79、节电率20%~23%;
- 功耗与空气源热泵基本保持不变, 供热能力提升62%~85%; 电力COP=5.6~6.0, 提升32%~45%;





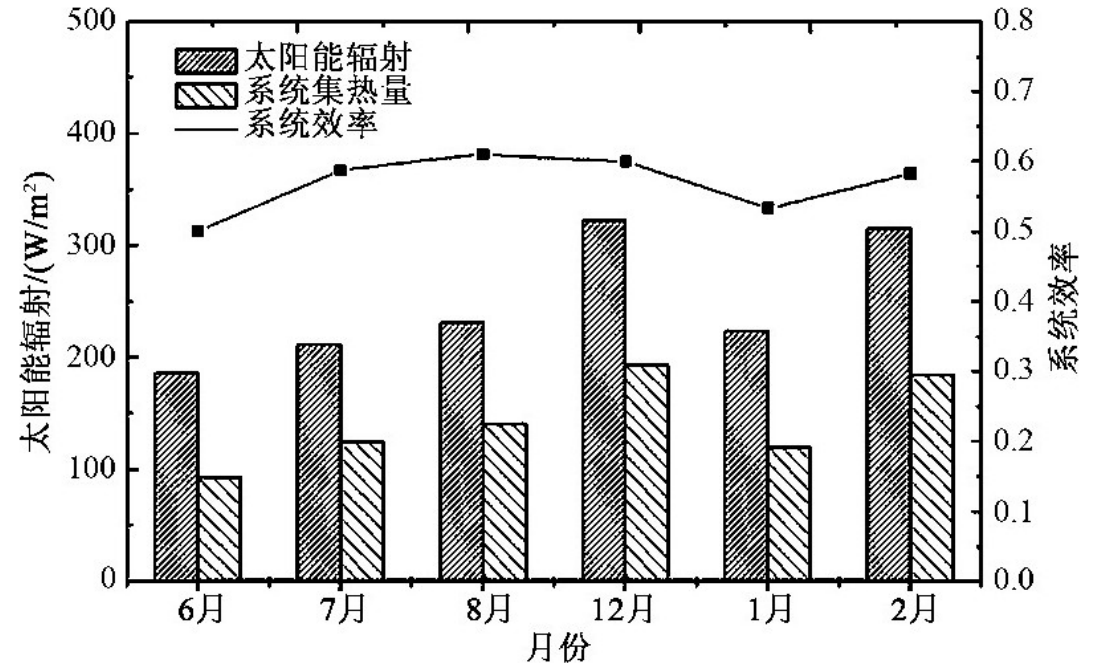
- ◆ 被动房通过自身合理设计有效利用太阳和周围自然环境的能量。其采暖能耗水平一般不超过**15kWh/(m<sup>2</sup>.a)**。
- ◆ 每年能耗合计值不超过120kWh/(m<sup>2</sup>.a), 热负荷小于**10kWh/(m<sup>2</sup>.a)**, 气密性不超过0.6/h。



## 中国被动房围护结构参数

围护结构	参数	单位	严寒地区	寒冷地区	夏热冬冷地区	夏热冬暖地区	温和地区
外窗	$k$	W/(m <sup>2</sup> · K)	0.70 ~ 1.20	0.80 ~ 1.50	1.00 ~ 2.00	1.00 ~ 2.00	≤2.00
	SHGC	—	冬季 ≥0.50 夏季 ≤0.30	冬季 ≥0.45 夏季 ≤0.30	冬季 ≥0.40 夏季 ≤0.15	冬季 ≥0.35 夏季 ≤0.15	冬季 ≥0.40 夏季 ≤0.30
外墙、屋面	$k$	W/(m <sup>2</sup> · K)	0.10 ~ 0.20	0.10 ~ 0.25	0.20 ~ 0.35	0.25 ~ 0.40	
地面	$k$	W/(m <sup>2</sup> · K)	0.10 ~ 0.25	0.15 ~ 0.35	—	—	

- ◆ 太阳能光热幕墙系统具有集热及隔热两重性能，即光热幕墙作为集热部件可以吸收太阳能，作为墙体可以减少隔热，且吸热板的颜色可以根据建筑美学的需求而改变。
- ◆ 其优点包括：减少传统能源消耗和环境污染，拓宽太阳能在建筑应用，减少空调能耗。



- ◆ 通过测试，太阳能光热系统全年得热约1648MJ/m<sup>2</sup>，系统效率约**50%**



## ① 太阳能供暖清洁无污染

- 集中式和分布式应用形式灵活;
- 因地制宜满足清洁供暖需求

## ② 太阳能集热器结合热泵实现供暖

- 冬季直膨式热泵COP为3.36, 相比空气源热泵能够减排**36.1%**;
- 在吸收热泵可满足高效、长时间利用太阳能采暖需求

## ③ 光伏光热一体化组件多种应用热电联供

- 太阳能PVT组件与热泵系统合理耦合, 集热循环与热力循环匹配, 实现**稳定的热电联产**;
- 系统输出温度**大于55°C**, **热能品位高**, 可直接用于生活热水、建筑采暖等;

## ④ 推广太阳能节能、减碳, 助力“双碳政策”

- 潜力巨大, 5%屋顶铺设屋顶光伏, 配合光伏幕墙能够贡献大量电力;
- 太阳能PVT热电联产系统的减碳效益最高。相比传统市电+电加热方式, 可**减少88.59%的CO<sub>2</sub>排放量**;



上海交通大學

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

谢谢

饮水思源 爱国荣校