



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

## 2020国际可再生能源供热技术大会暨以太阳能为主的建筑供热论坛

# 新徽派民居太阳能光电光热— 催化洁净综合利用的探索

报告人：季杰

中国科学技术大学  
中国科学院

二级教授、博导  
核心骨干特聘研究员

2020年12月9日



## 目录/Contents

01

传统徽派民居特征及问题

02

新徽派民居能耗现状

03

BIPV/T研究新进展

04

适宜新徽派民居的太阳能新技术应用

05

案例分析及能耗预测

**01**

# 传统徽派民居特征及问题



## 1.1 传统徽派民居的特征

- 中国传统建筑的**杰出代表**
- 数量众多且分布广泛
- 反映了徽州的**地域、人文**和**审美**特征

“粉壁黛瓦马头墙，青砖门楼花格窗；  
回廊挂落美人靠，天井斗拱水归堂。”



西递全貌



宏村月沼



徽州传统民居



## 1.1 传统徽派民居的特征

粉壁



外墙粉刷石灰以防潮吸湿，白色的光洁面最大程度反射太阳光，使建筑夏季凉爽。

黛瓦



黛瓦青黑相间的颜色与周边山水融为一体，保持与环境的和谐。

马头墙



马头墙高高翘起可以防火防盗。

青砖



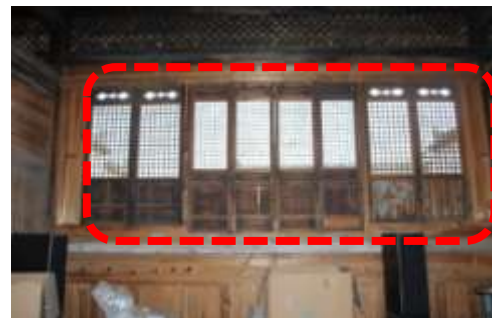
将青砖用“空斗砖”的砌法内填泥灰，可增加墙体保温隔热性能。

门楼



门楼是“牌坊”的精神物化简化，檐口伸出可遮阳避雨。

花格窗



花格窗可采光通风，采用丰富的雕花可表达主人的精神寄托。



## 1.2 传统徽派民居的问题

伴随社会的快速发展与人民生活水平的日益提高，传统徽派民居实际使用过程中产生了诸多不适宜居住的问题：

### 自然采光不足



- 小门窗洞口
- 内天井采光
- 房间昏暗

### 通风环境不佳



- 高墙窄巷
- 空间封闭

### 空气质量不高



- 潮湿闷热
- 青苔遍布
- 霉气严重

### 卫生条件较差



- 阳光极少渗入
- 功能混乱
- 病菌滋生

**02**

## **新徽派民居能耗 与室内环境现状**





## 2.1 新徽派民居特征

- 功能上增加空调、盥洗、通风设备
- 风格上简化某些徽派建筑元素
- 结构上减少繁复的木构架及雕饰
- 平面上抽象四水归堂、隐喻天井
- 立面上加大窗墙比并增设露台/阳台
- 色彩上延续黑白灰色调

「形式模仿」

三河古镇商业街



合肥城隍庙



「空间隐喻」

万科第五园



黎阳印象



「意境塑造」

绩溪博物馆



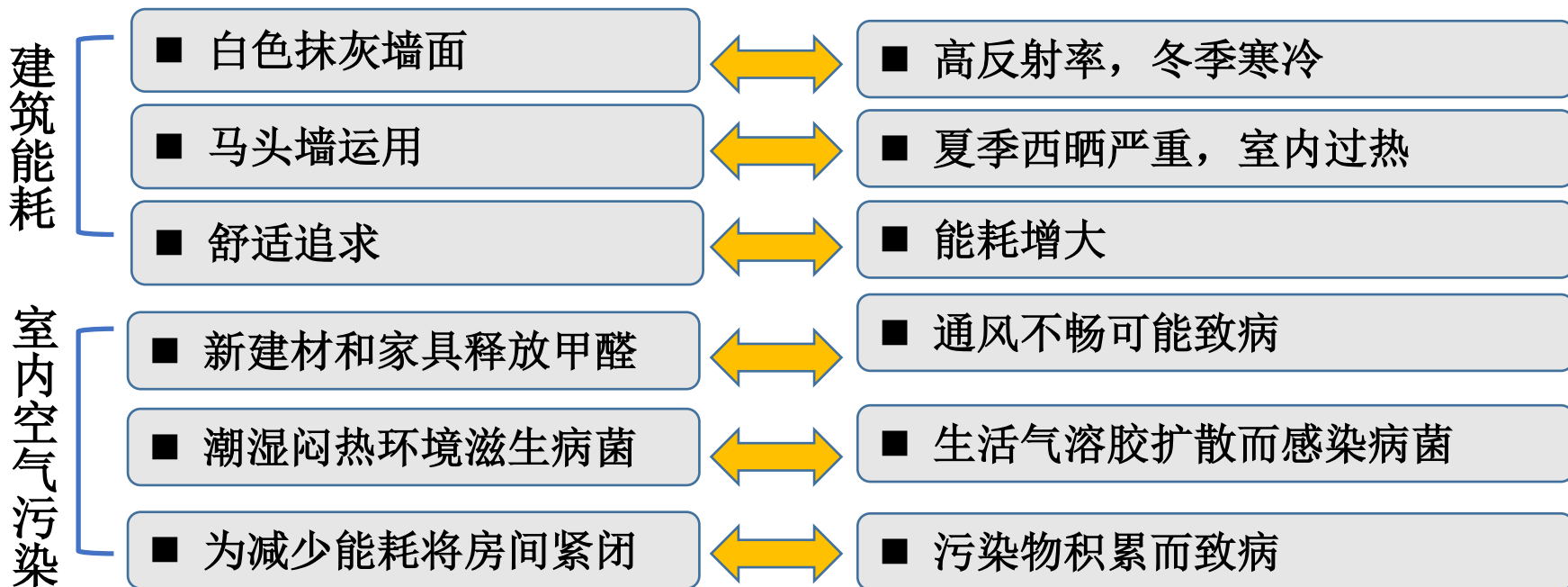
苏州博物馆







## 2.2 新徽派民居能耗及室内空气现状



在影响深远的新徽派民居中探索**太阳能建筑一体化**技术应用，是**降低常规建筑能耗、改善室内空气品质**的重要途径，为实现太阳能建筑大规模应用及创造健康舒适的室内环境提供新的思路。



## 2.3 新徽派民居太阳能应用

### 独立式真空管热水器问题

- 太阳能热水器在建筑上**应用最多**
- 附置于屋顶，**“大煞风景”**
- **功能单一**，仅产热水



### 解决方案

- ☑ 建筑是太阳能利用的最佳载体，太阳能是建筑节能的最大潜力所在
- ☑ 将**太阳能光伏光热综合利用技术(PV/T)**、**太阳能被动采暖/冷却技术**、**太阳能催化净化技术**、**太阳能热除菌杀毒技术**应用于建筑当中，是降低建筑能耗和提升室内环境品质和质量的重要途径。



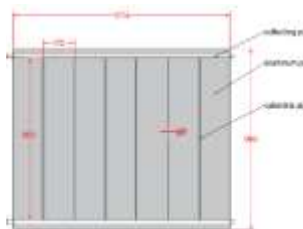
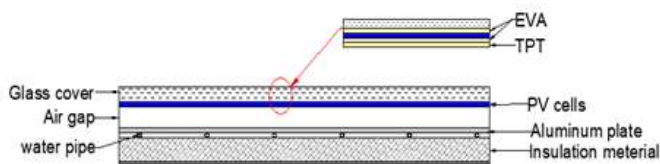
**03**

## **BIPV/T研究新进展**



## 3.1 太阳能光伏/热水集热技术PV/T-Water

### ■ 内外置式PV/T系统

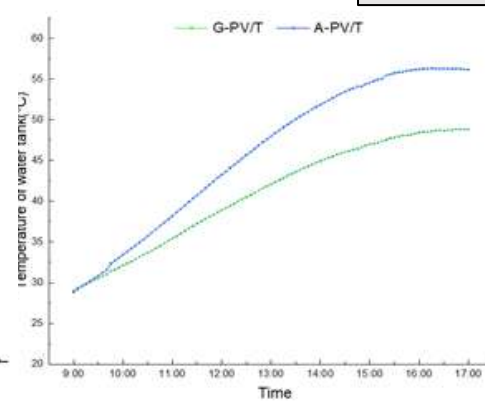
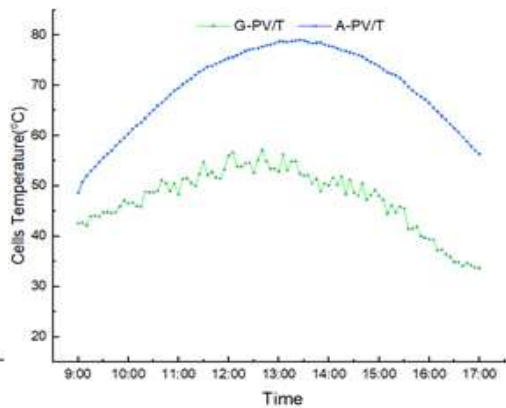
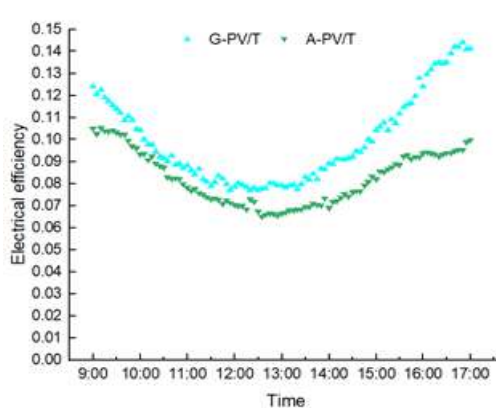


外置式PV/T系统

### ◆外置式PV/T系统的优点:

- 减小热应力, 提高系统可靠性
- 避免边框阴影对光伏电池的影响
- 降低电池温度, 提高光电性能

### ■ 内外置式PV/T的对比研究 (多晶硅电池)



### ◆实验结论

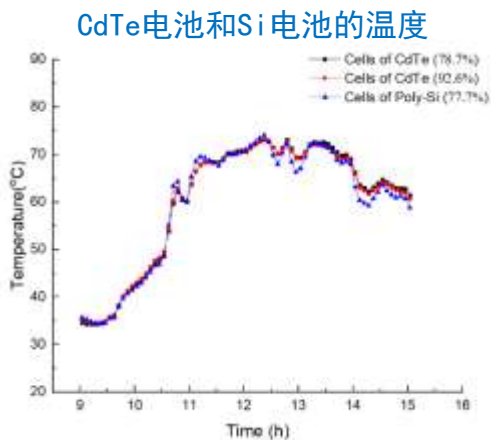
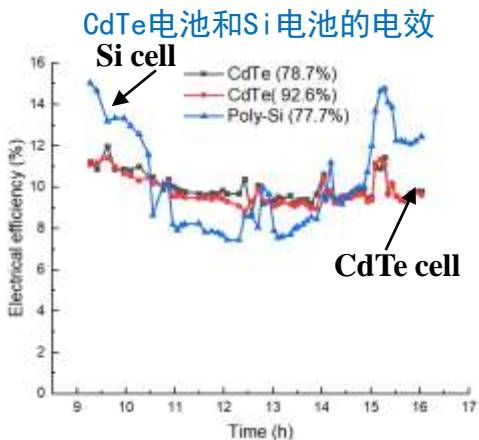
- 外置式PV/T全天平均电效率可达**9.50%**, 比内置式PV/T (8.06%) 提高了**17.87%**
- 外置式PV/T的电池温度最高比内置式PV/T的电池温度低**22°C**
- 外置式PV/T的电池温度更加均匀, 热应力减弱, 系统可靠性增强
- 外置式PV/T和内置式PV/T的水箱终温可分别达到**48.8°C**和**56.3°C**, 外置式PV/T的光热性能可以满足生活用水需要



## 3.2 碲化镉光伏通风窗

### ■ CdTe电池的优越性

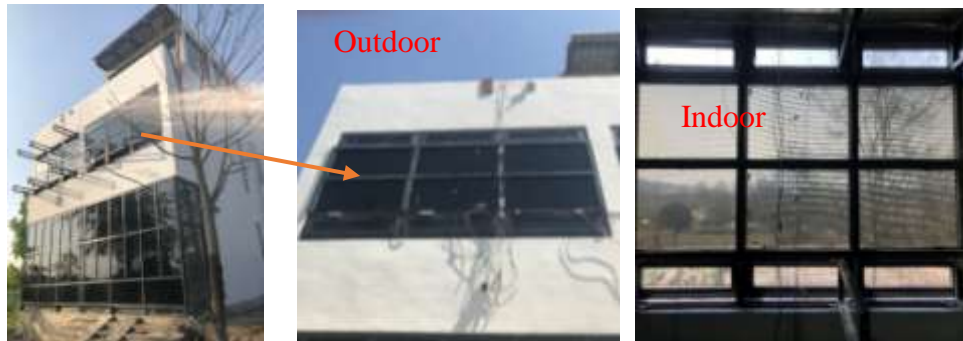
- CdTe电池具有**更小的温度系数**: CdTe 电池 (-0.214%/°C), 晶体硅电池(-0.45%/°C)
- **高温下** CdTe 电池具有更好、更稳定的电性能
- CdTe电池具有更好的**弱光性**
- 作为**薄膜电池**, 可根据要求设计成**半透过电池**, 特别适宜于建筑窗户和幕墙的应用



### 采光性能



### ■ 碲化镉光伏通风窗的光伏光热性能实验研究



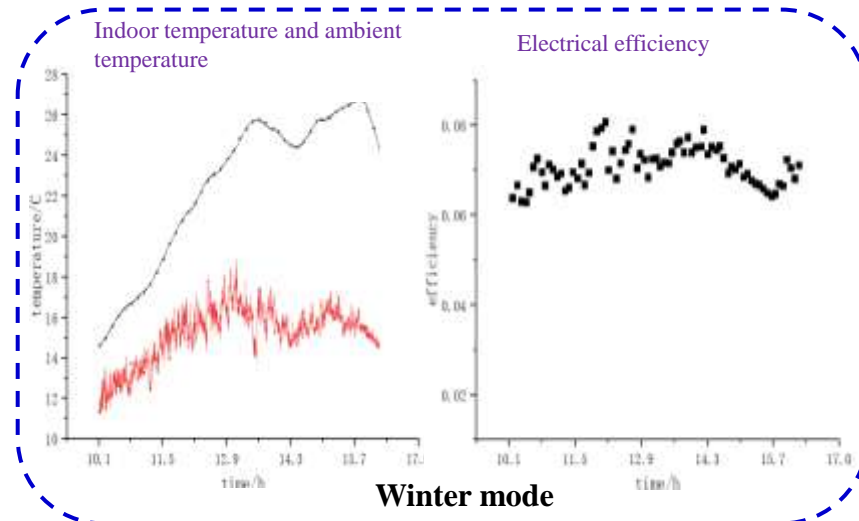
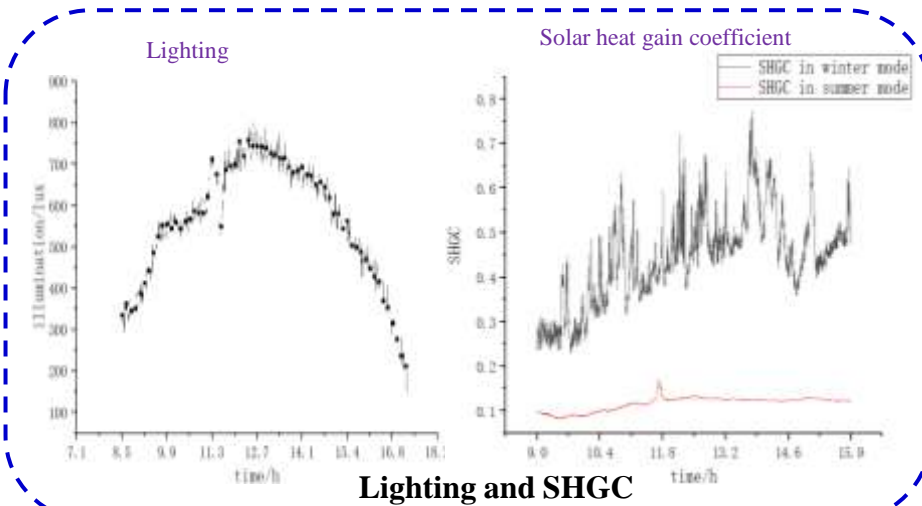
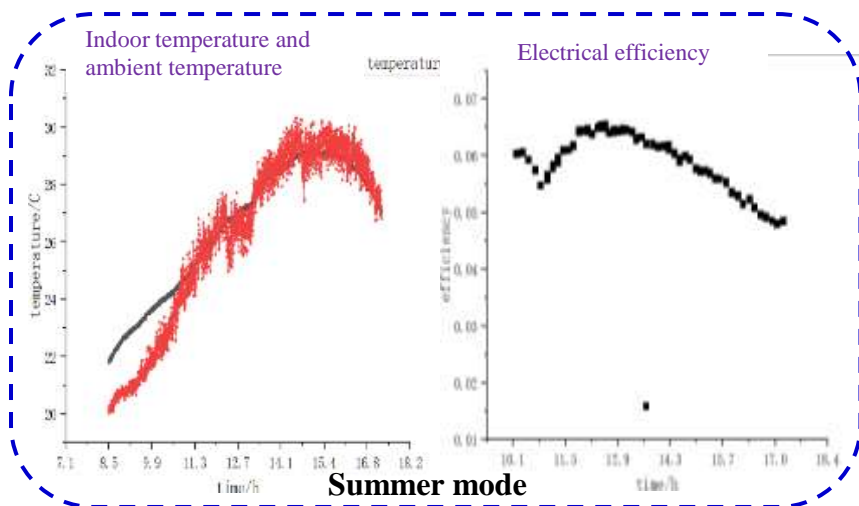
### ◆ 基本实验参数

- 碲化镉PV玻璃: 3.15m(宽)\*1.2m(高)
- 空气层厚度: 0.07m
- 碲化镉透过率: 0.8
- CdTe PV efficiency: 10%(STC)
- 房间尺寸: 3.15m\*3.3m(长)\*2.8m(高)



## 3.2 碲化镉光伏通风窗

### ■ 碲化镉光伏通风窗的光伏光热性能实验研究



#### ◆ 实验结果:

- 1、夏季，日发电效率为5.8%，室内温度接近室外环境温度，表明该窗户可以避免室内过热
- 2、冬季，日发电效率为7%，室内外温差最高达10.5°C，表明该窗户可以减少室内热负荷
- 3、该窗户可以满足室内生活照度
- 4、太阳能得热效率冬季为0.4~0.5，夏季低于0.15

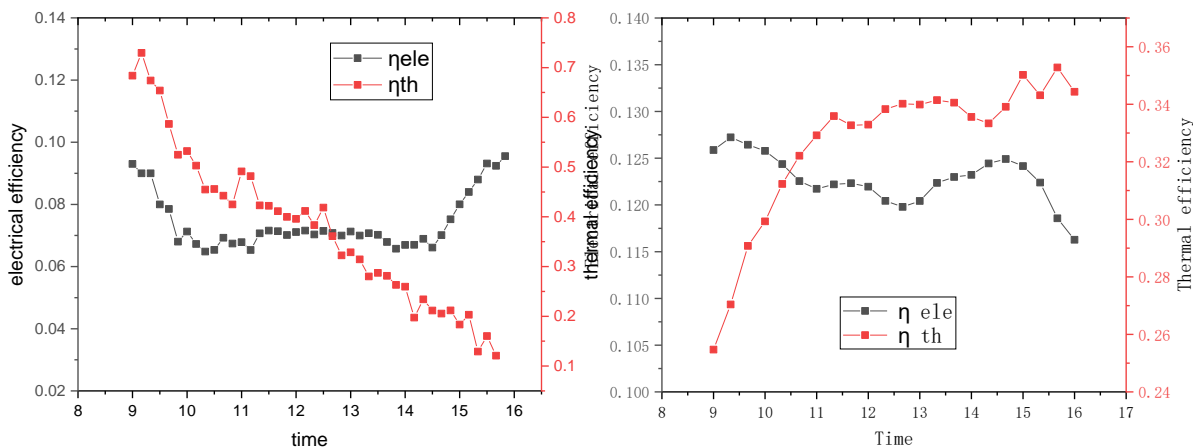
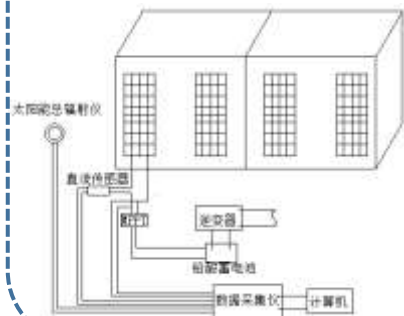
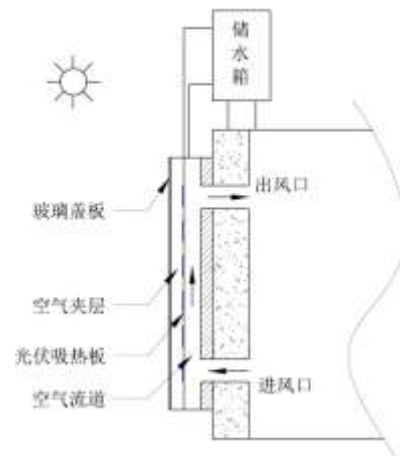




## 3.3 多功能PV-Trombe墙

### ■ 系统原理及实验结果

- 夏季，环境温度较高时，启动**水冷却模式**
- 冬季，环境温度较低时，启动**空气集热模式**
- 根据不同季节，选取不同的工作模式，有效提高系统的综合性能



### ◆ 实验结果:

夏季:  $\eta_{ele,average} = 7.22\%$ ,  $\eta_{th,average} = 51.7\%$

冬季:  $\eta_{ele,average} = 12.3\%$ ,  $\eta_{th,average} = 32.6\%$



## 3.4 太阳能热催化净化技术及其建筑一体化

### ■ 主要室内空气净化技术



分类	原理	材料	适用污染物	优点	缺点	
被动式	过滤	物理	纤维材料	颗粒，细菌	无副产物	耗能大，对小颗粒和气体污染物难以处理
	吸附	物理	活性炭，硅胶，分子筛等	气态污染物	污染物移除能力强，室温下运行	<b>需定期更换，有二次污染</b> ，阻力大，耗能
	光催化	化学	TiO <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , WO <sub>3</sub> , ZnO等	无机化合物，VOCs，细菌，烟气等	常温常压，低压降，低耗能，产物绿色	有副产物产生，催化剂钝化问题
主动式	<b>热催化</b>	<b>化学</b>	<b>Pt, MnO<sub>x</sub>, Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, CeO<sub>2</sub>等</b>	<b>主要为气态污染物，VOCs</b>	<b>污染物移除能力强，副产物少</b>	<b>需要产生一定的温度</b>
	臭氧	化学	O <sub>3</sub>	微生物，部分VOCs，部分有气味的气体	臭氧能够产生氢氧自由基	臭氧对人体有害
	等离子	化学	放电装置	VOCs，微生物，气溶胶颗粒	产生的离子活性大，污染物移除能力强	副产物多而复杂，高耗能，操作不稳定



**热催化净化技术具有装置简单，易于太阳能结合的优点**



## 3.4 太阳能热催化净化技术及其建筑一体化

### ■ 光催化氧化甲醛

以商用TiO<sub>2</sub>为例，基于紫外光驱动的光催化反应

- 太阳辐射中紫外仅占5%，限制了净化效率
- 由于紫外部分被利用，导致电效率的降低，难以与PV系统结合

### ■ 热催化氧化甲醛

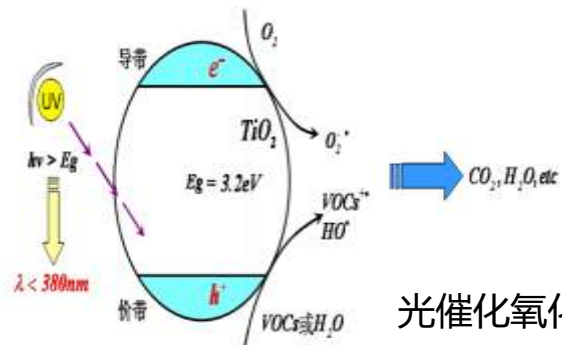
基于热驱动的热催化氧化反应 

- 净化效率高，催化装置简单，副产物少
- 易于与PV系统结合，因为热催化氧化技术是热驱动

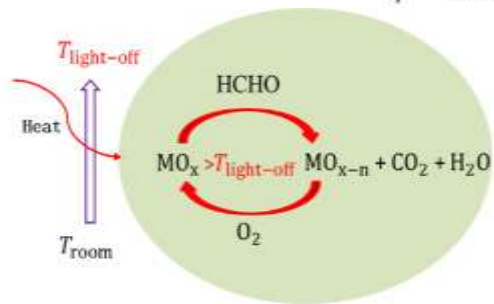


- **热催化净化技术**
- 在**热的作用**下，气态污染物与催化剂发生催化氧化的异相反应过程
- 现有的锰系热催化剂，催化温度在**25-100°C**之间，**热催化技术的热源可广泛来源于自于太阳能系统**

■ **Marsvan-Krevelen反应机理:**  
 当温度达到热催化剂的启动温度时，催化剂氧化物中的**晶格氧**会挥发出来与**污染物反应**，将污染物降解；空气中的**氧气**将补充到氧化物中缺失的**晶格氧**，完成氧化还原过程



光催化氧化甲醛



热催化氧化甲醛



常用锰系催化剂



## 3.4 太阳能热催化净化技术及其建筑一体化

### ■ 热催化剂选择和制备: $MnO_x-CeO_2$

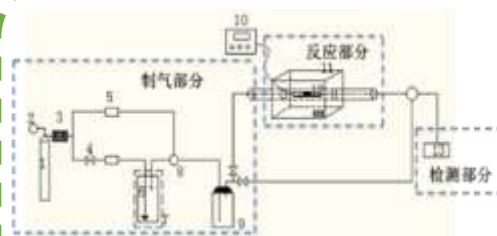
◆ **催化剂选择**:  $MnO_x$ 具有丰富的价态, 镧系Ce具有较优异的催化性能

◆ **制备方法**: 修饰共沉淀法



催化剂样品 (40-60目)

### 催化剂表征:



活性测试



不锈钢反应器

序号	名称	分子式	形态	纯度	来源
1	六水硝酸铵	$(NH_4)_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	固态颗粒	分析纯	中国科学技术大学试剂中心
2	高锰酸钾	$KMnO_4$	固态颗粒	分析纯	
3	硝酸铈铵	$(NH_4)_2Ce(NO_3)_6$	固态颗粒	分析纯	
4	氢氧化钾	$KOH$	固态颗粒	分析纯	



天平



磁力搅拌器



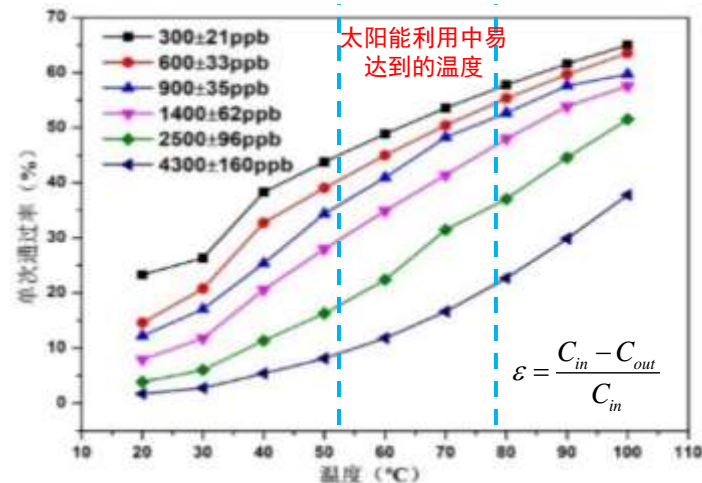
恒温水浴



干燥箱



管式炉



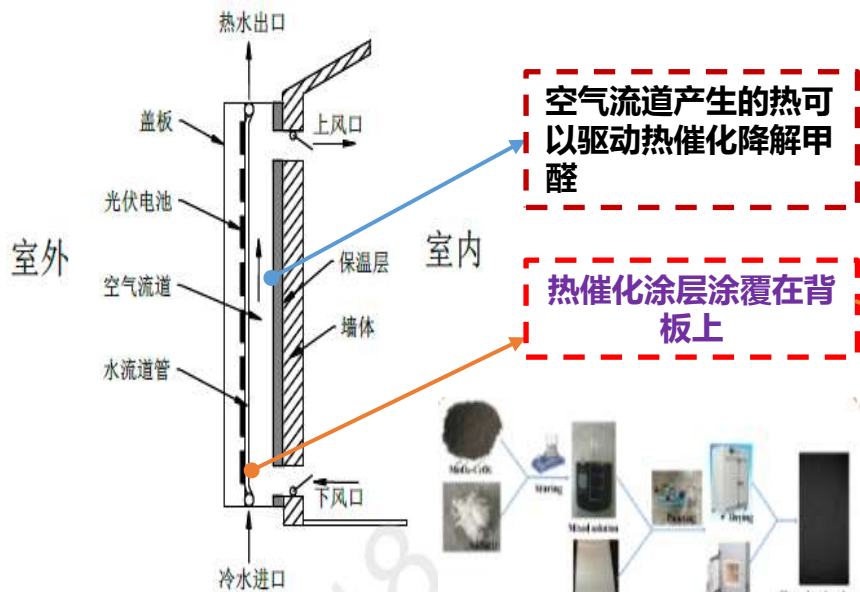
### ■ 实验结论:

在典型的室内甲醛浓度下 (300-900 ppb) 和太阳能容易达到的温度范围内 (50-80°C), 甲醛单次通过率可以达到30-60%

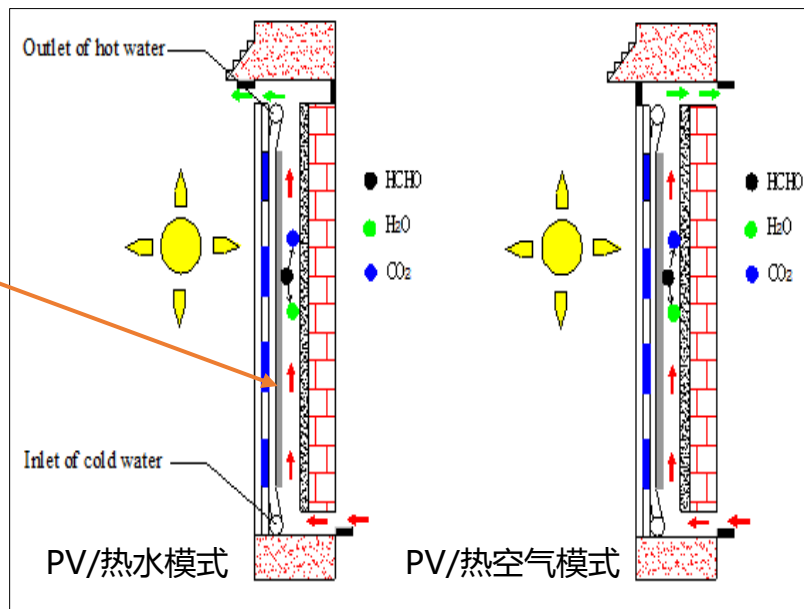


## 3.4.1 热催化型PV/T墙

■ 基于多功能PV/T复合被动墙，有机集成热催化技术，提出热催化型PV/T复合被动墙



催化剂涂覆工艺



热催化型PV/T墙

### ◆ 系统主要参数

系统尺寸：2m\*1m  
 空气流道厚度：120mm  
 电池覆盖率：0.8  
 水箱容积：100L

### ◆ 系统工作原理

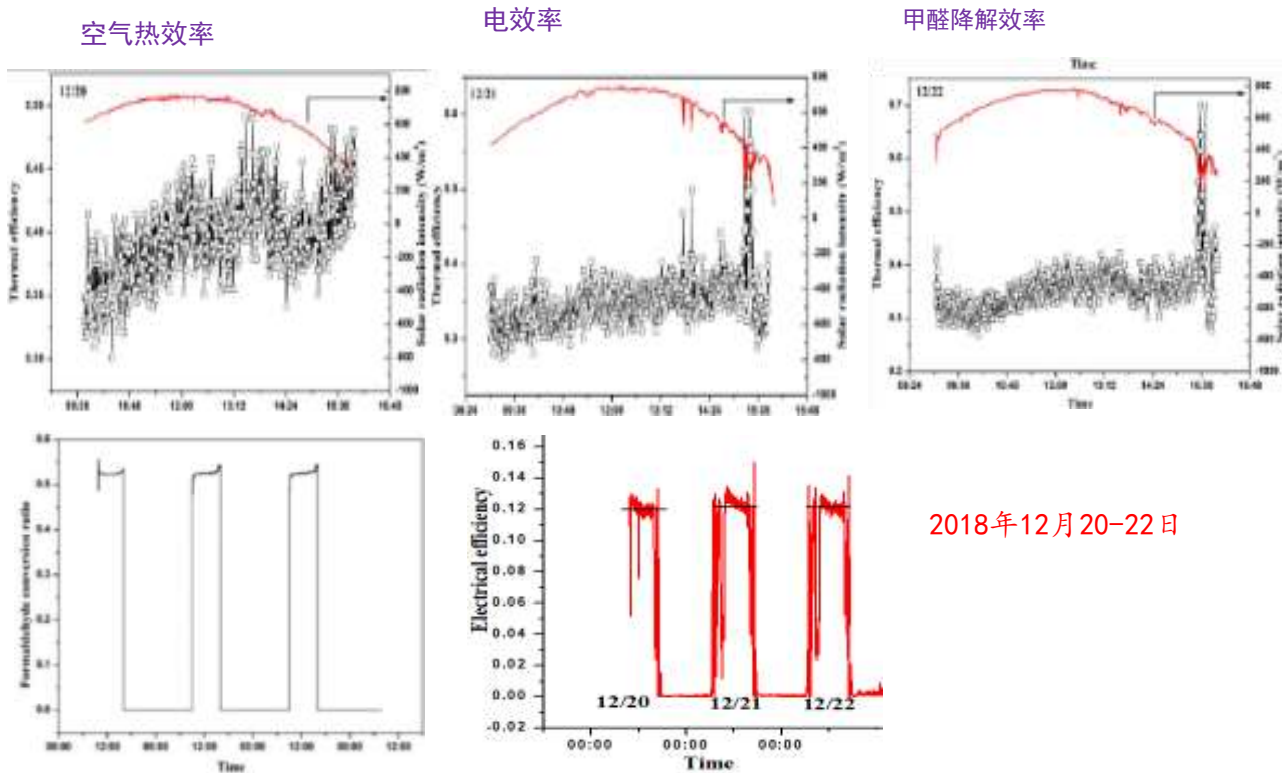
- 热催化剂涂覆在PV模块背面的铝板上
- 空气流道中产生的热量驱动热催化氧化甲醛反应
- **采暖季**，实现电力产生，甲醛降解和空气采暖
- **非采暖季**，实现电力产生，甲醛降解和热水供应





## 3.4.1 热催化型PV/T墙

### ■ 冬季实验探究



2018年12月20-22日

### ◆ 甲醛单次通过率和CADR

单位时间内产生的干净空气量, m³/h

$$\varepsilon = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}}$$

$$CADR = Q\varepsilon$$

$$V_{total} = \int_0^{\tau} CADR dt$$

### ◆ 甲醛降解速率

单位时间内降解的甲醛质量, mg/s

$$m_{HCHO} = Q(C_{in} - C_{out})$$

$$m_{total} = \int_0^{\tau} m_{HCHO} dt$$

### ◆ 主要结论

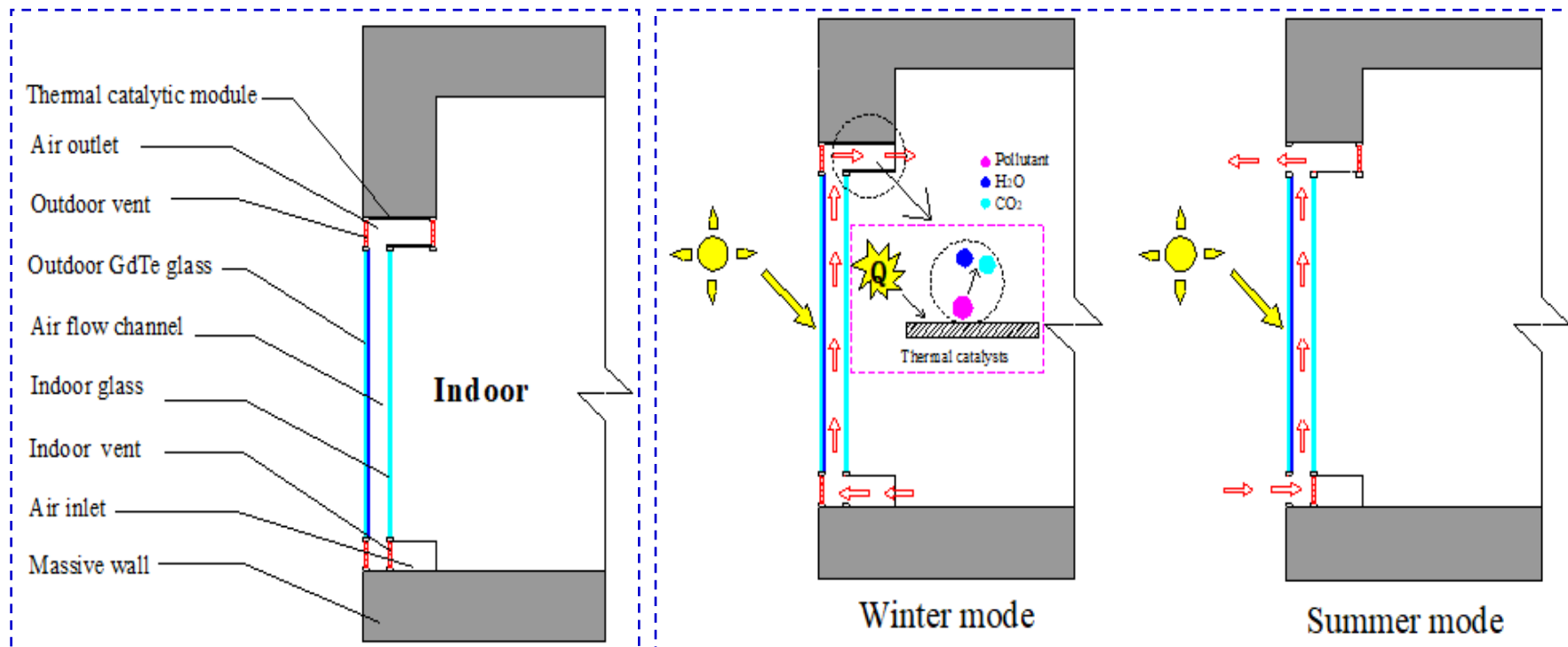
- 空气平均热效率为36.6%
- 平均电效率为11.9%
- 进口甲醛浓度为600ppb, 平均甲醛降解效率为49.8%, 产生的总的干净空气量为425.7 m³, 降解的总的甲醛质量为402 mg





## 3.4.2 热催化型CdTe 双层通风窗

■ 基于新型CdTe双层通风窗，有机集成热催化技术，提出热催化型CdTe双层通风窗



### 运行模式和功能 (夏季模式无变化)

#### ◆ 结构

- 外层玻璃: 半透明CdTe光伏玻璃
- 内层玻璃: 钢化玻璃
- 热催化模块(涂覆在空气出口处)

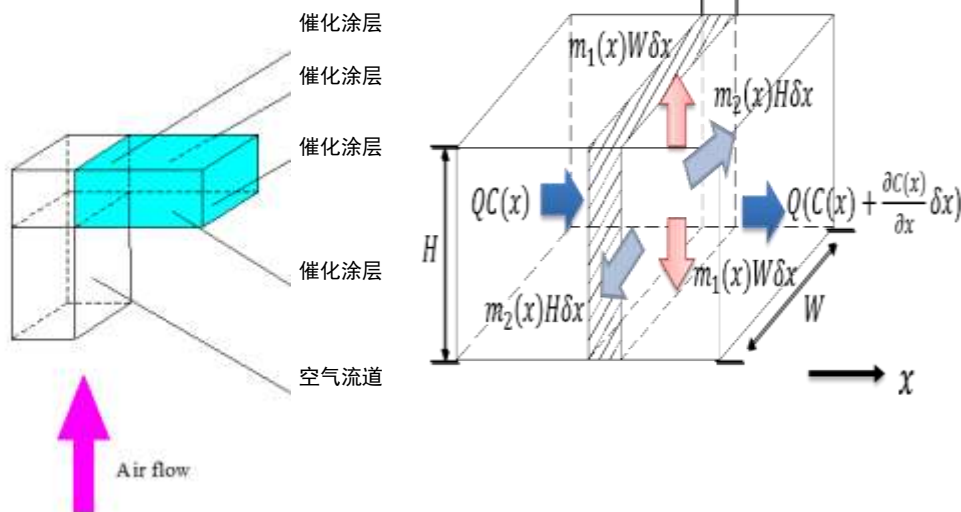
#### ◆ 冬季

- 室外通风口关闭，室内通风口打开，室内空气流入空气流道
- 产生电能；带有甲醛的空气流入空气流道，甲醛被热催化层降解为CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O，空气流道中的空气将热量带入室内降低室内制冷负荷

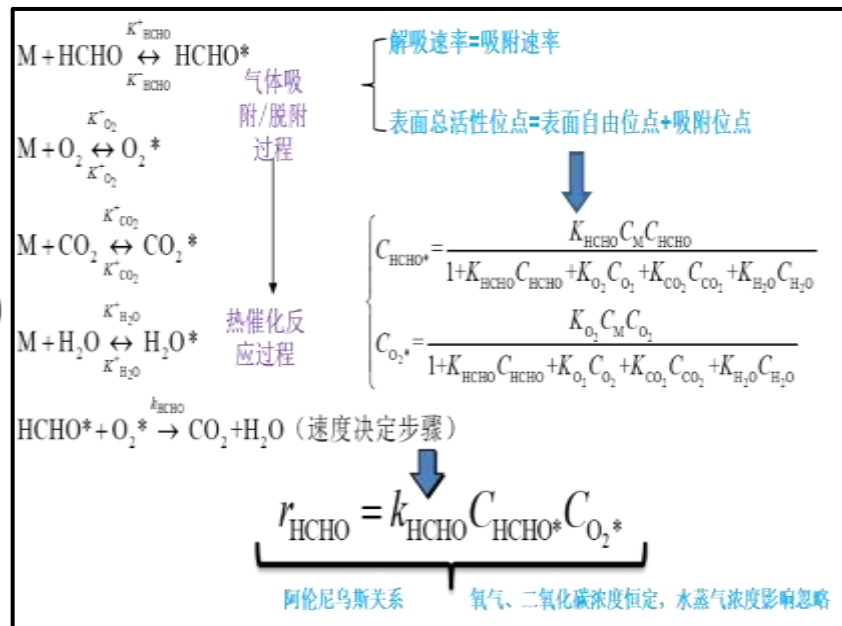


## 3.4.2 热催化型CdTe 双层通风窗

### ■ 甲醛降解模型



### ■ 热催化甲醛动力学模型



$$WH \frac{\partial C(x)}{\partial t} \delta x = QC(x) - Q(C(x) + \frac{\partial C(x)}{\partial x} \delta x) - (2m_1(x)W \delta x + 2m_2(x)H \delta x)$$

$$r_1(x) = m_1(x) = h_{m1}(C(x) - C_{s1}(x))$$

$$r_2(x) = m_2(x) = h_{m2}(C(x) - C_{s2}(x))$$

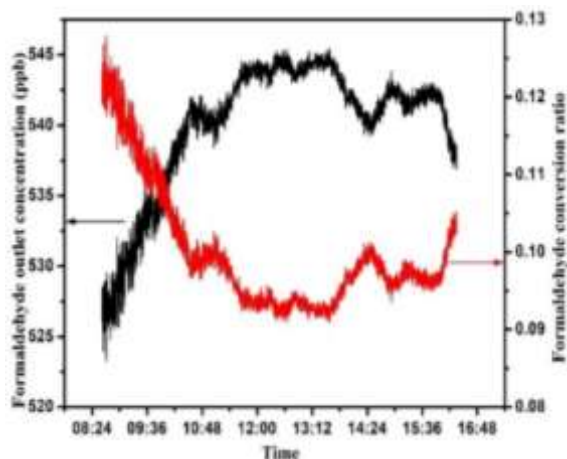
$$r_{\text{HCHO}} = \frac{k_{\text{HCHO}}'' \exp(-\frac{E_{\text{HCHO}}}{RT}) K_{\text{HCHO}}'' \exp(-\frac{H_{\text{HCHO}}}{RT}) C_{\text{HCHO}}}{(1 + K_{\text{HCHO}}'' \exp(-\frac{H_{\text{HCHO}}}{RT}) C_{\text{HCHO}})^2} = k_{\text{app}} C_{\text{HCHO}}$$



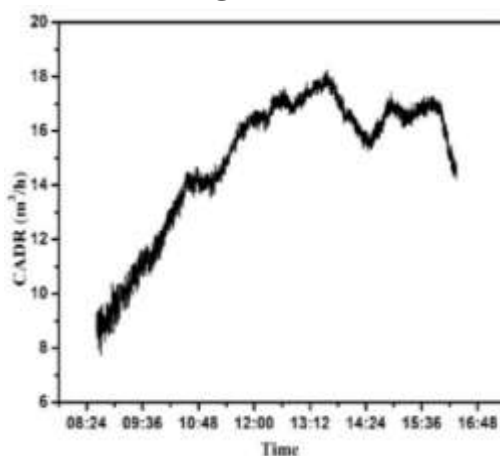
## 3.4.2 热催化型CdTe 双层通风窗

### ■ 甲醛降解性能

甲醛出口浓度和甲醛单次转换率



CADR



### ◆ 主要结论

- 初始浓度为600ppb, 甲醛出口浓度为510-545ppb, 单次通过率为0.09-0.13, 虽单次转换率不高, 但室内经过循环降解, 室内甲醛浓度必然会不断降低
- CADR值为8-19m<sup>3</sup>/h, 一天内产生的总的干净空气量为115.5m<sup>3</sup>

### ■ 热催化型CdTe 双层通风窗实验平台, 芜湖



### ◆ 主要参数

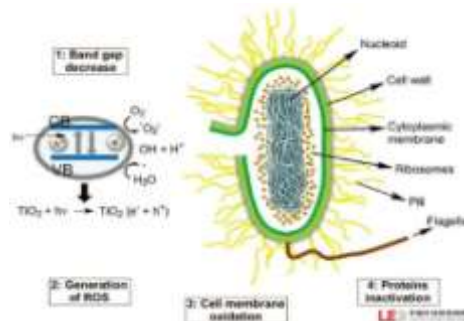
- CdTe光伏玻璃: 3.15m\*1.2m
- 空气流道厚度: 0.07 m
- 电池覆盖率: 0.8
- CdTe 电池标准效率: 10%(STC)
- 房间尺寸: 3.15m\*3.3m\* 2.8m



## 3.5 太阳能热除菌杀毒技术及其建筑一体化

### ■ 除菌杀毒技术

- 包括紫外杀菌技术、热杀菌技术以及光催化杀菌等技术
- 紫外杀菌和光催化杀菌仅仅利用紫外波段，太阳能利用有限



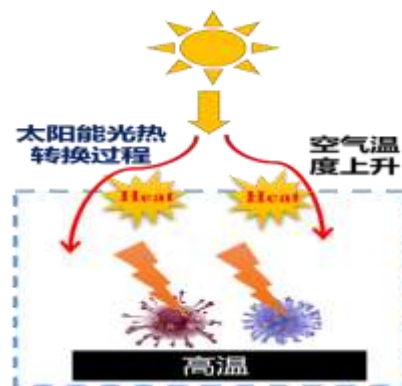
光催化除菌杀毒技术



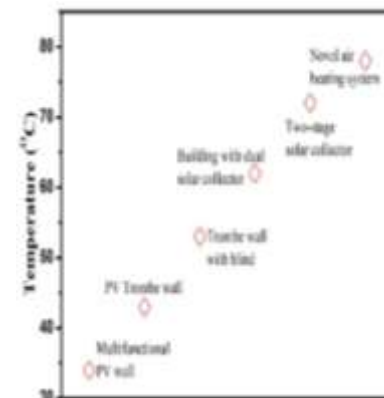
紫外除菌杀毒技术

### ■ 太阳能热除菌杀毒技术

- 热除菌杀毒过程细菌和病毒在**高温下失活的过程**，是一种安全、有效和环保的方法
- **45℃的环境**能抑制细菌和病毒DNA和RNA的自我修复，**大于55℃环境下**，细菌和病毒的DNA和RNA会遭到破坏
- 对于**SARS病毒和新型冠状病毒**，**56℃环境下加热30min、70℃加热15min完全失活**
- 现有的关于太阳能被动采暖系统可将空气加热到50-80℃，给**太阳能热除菌杀毒技术在建筑上的应用提供了条件**



太阳能热除菌杀毒技术

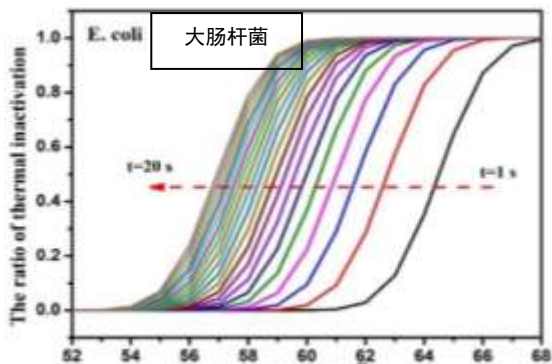


太阳能系统中易达到的温度



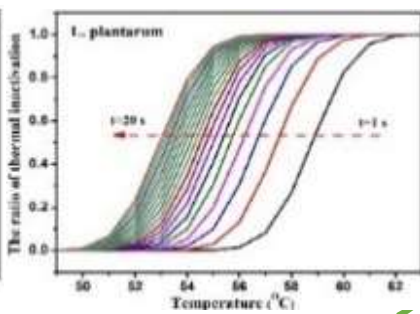
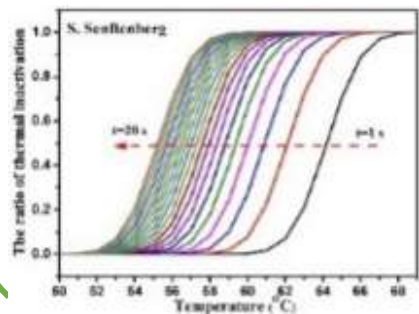
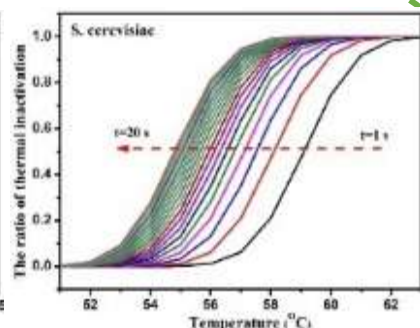
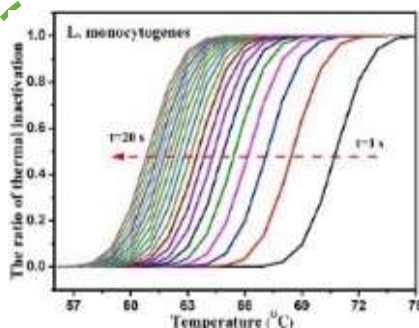
## 3.5 太阳能热除菌杀毒技术及其建筑一体化

### ■ 细菌的热失活与温度和时间的关系



#### ◆ 结论

- 热除菌则是细菌和病毒在高温下失活的过程，细菌的失活**主要与温度和停留时间**相关
- **Gauss-Eyring模型**可以用来描述细菌热失活率与温度和停留时间的关系
- 可以发现，**细菌在50°C左右开始灭活，在70°C完全热灭活**
- 在给定的热失活比下，**停留时间越长，所需的热失活温度越低**
- 热失活温度和停留时间接近太阳能应用装置中空气达到的温度水平



利斯特氏菌  
植物乳杆菌  
山夫顿堡抄门菌  
酿酒酵母

$$\log_{10}\left(\frac{N(t,T)}{N_0}\right) = \log_{10}\left(\frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{T - T_c(t)}{\sigma\sqrt{2}}\right)\right)$$

$$T_c(t) = T_r - Z \log_{10}\left(\frac{t}{\tau}\right)$$

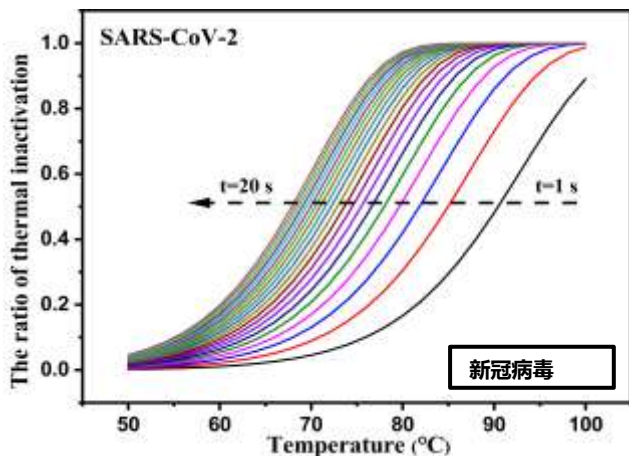
式中N和N<sub>0</sub>为初始和在时间t时的细菌浓度，T为除菌温度，T<sub>r</sub>，Z和σ是与细菌有关的特性参数。





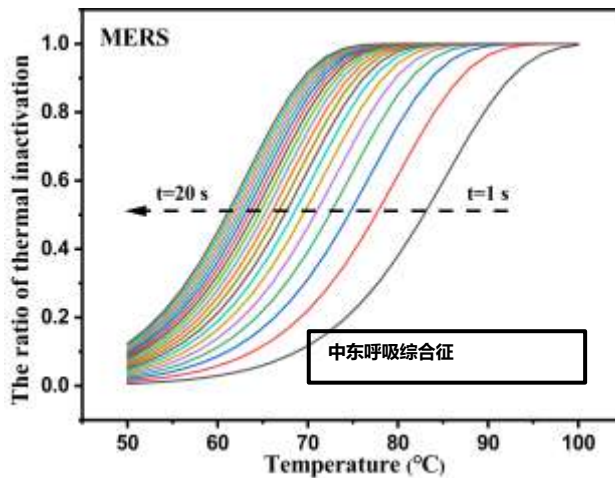
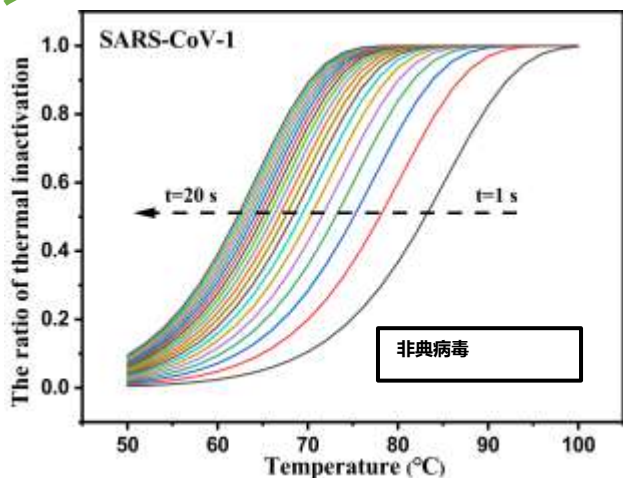
## 3.5 太阳能热除菌杀毒技术及其建筑一体化

### ■ 病毒的热失活与温度和时间的关系



#### ◆ 结论

- 病毒热失活主要与**温度和停留时间**相关
- 病毒在一定温度下的失活行为可由**一级动力学模型**描述，其速率常数随温度的变化则由**阿伦尼乌斯公式**给出
- 较细菌而言，**病毒虽然在较低温度下便开始失活，但若欲使在短时间内完全失活所需的温度更高**
- 病毒较强的热稳定性对太阳能集热装置中空气的温度水平提出了更高的要求



$$N(t) = N_0 \exp(-kt)$$

$$k = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

式中 $N_0$ 和 $N$ 为初始和在时间 $t$ 时的病毒滴度， $k$ 为速率常数， $A$ 为指前因子， $E_a$ 为活化能， $R$ 为通用气体常数， $T$ 为热失活温度。





# 病毒失活模型

## 活性随时间衰减

### 一级动力学模型

$$N(t) = N_0 e^{-kt}$$

其中：N为病毒滴度，TCID<sub>50</sub>/L；k为速率常数，min<sup>-1</sup>。

## 衰减速度随温度、湿度、紫外强度变化

Dabisch等由实验数据作逐步回归所得新冠病毒失活速率常数随温度、湿度、紫外强度变化模型

$$k = 7.569 + 1.411 \frac{T - 20.54}{10.66} + 0.022 \frac{RH - 45.235}{28.665} + 7.553 \frac{S - 50}{50} + 1.397 \frac{T - 20.54}{10.66} \frac{S - 50}{50}$$

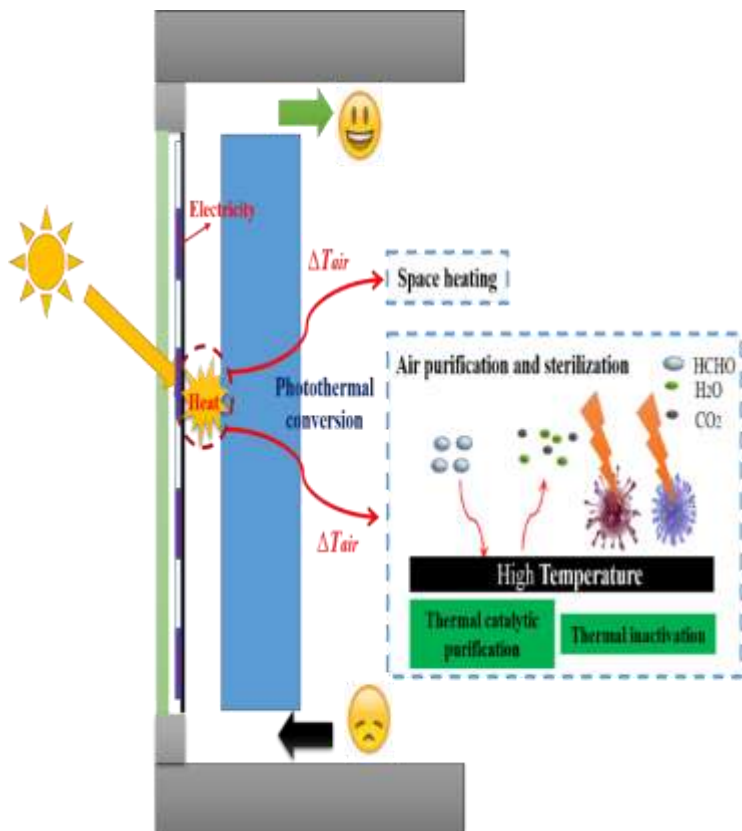
其中：k为速率常数，min<sup>-1</sup>；T为温度，°C；RH为相对湿度，%；S为UVB波段辐照强度，W/m<sup>2</sup>。

适用范围：T：10 °C -30 °C；RH：20%-70%；S：0-1.9W/m<sup>2</sup>



## 3.5 太阳能热除菌杀毒技术及其建筑一体化

### ■ 系统介绍

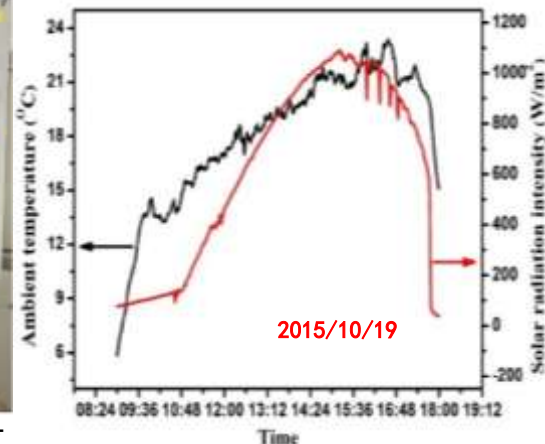


### ◆ 运行原理

- 热催化剂涂覆在PV模块背面的铝板上
- 太阳辐射作用下，光伏电池发电
- 吸热板加热热催化涂层，驱动热催化降解甲醛反应
- 热催化层加热流道空气实现空气流动，室内含有细菌病毒的空气暴露于
- 流道中高温环境下，满足温度和时间条件下，细菌和病毒失活
- 空气流动中暖空气进入室内，实现采暖



光伏光热/催化除菌杀毒技术在青海地区应用研究

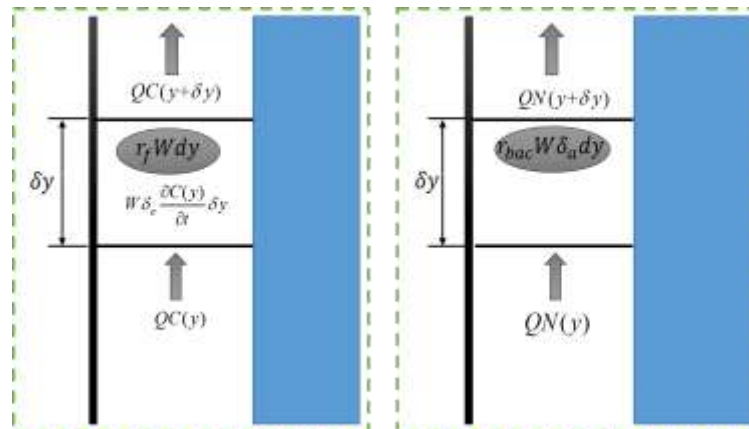
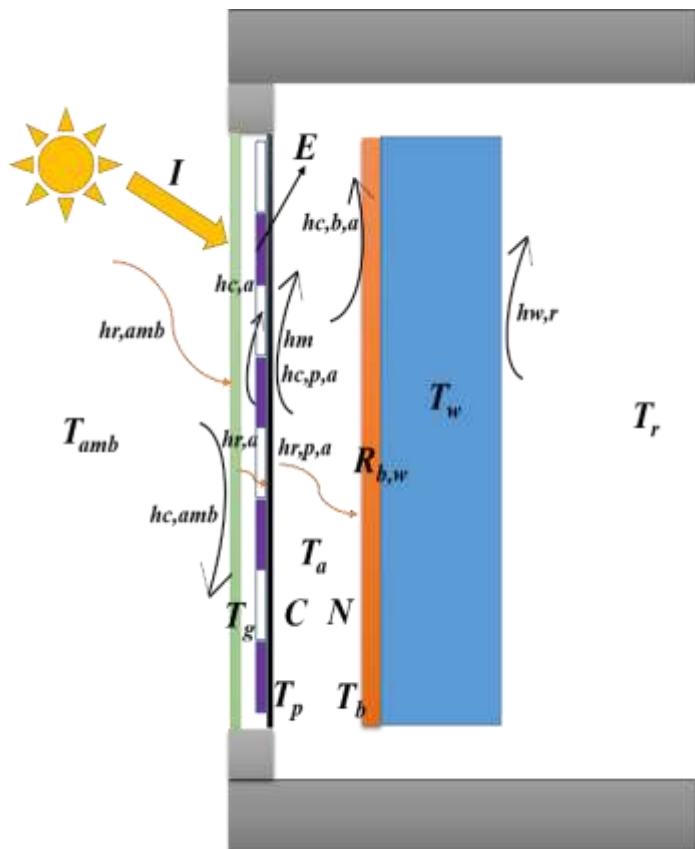


实验中的辐照强度和环境温度



### 3.5 太阳能热除菌杀毒技术及其建筑一体化

#### ■ 系统热质模型



甲醛传质模型

细菌病毒热失活模型

$$\rho_g \delta_g c_g \frac{\partial T_g}{\partial t} = \lambda_g \delta_g \frac{\partial^2 T_g}{\partial y^2} + \alpha_g I + h_{c,amb}(T_{amb} - T_g) + h_{r,amb}(T_{sky} - T_g) + (h_{r,a} + h_{c,a})(T_p - T_g)$$

$$\rho_p \delta_p c_p \frac{\partial T_p}{\partial t} = \lambda_p \delta_p \frac{\partial^2 T_p}{\partial y^2} + h_{c,p,a}(T_a - T_p) + (h_{r,a} + h_{c,a})(T_g - T_p) + h_{r,p,b}(T_b - T_p) + I \tau_g \alpha_p$$

$$\rho_a \delta_a c_a \frac{\partial T_a}{\partial t} = h_{c,p,a}(T_p - T_a) + h_{c,b,a}(T_b - T_a) - \rho_a u_a \delta_a c_a \frac{\partial T_a}{\partial y}$$

$$\rho_b \delta_b c_b \frac{\partial T_b}{\partial t} = \lambda_b \delta_b \frac{\partial^2 T_b}{\partial x^2} + h_{c,a,b}(T_a - T_b) + h_{r,p,b}(T_p - T_b) + \frac{T_w(1) - T_b}{R_{b,r}}$$

$$\rho_w c_w \frac{\partial T_w}{\partial t} - \lambda_w \frac{\partial^2 T_w}{\partial x^2} = 0$$

热电模型



## 3.5 太阳能热除菌杀毒技术及其建筑一体化

### ■ 热催化降解甲醛模型

$$W\delta_a \frac{\partial C(y)}{\partial t} dy = (QC(y) - Q(C(y) + \frac{\partial C(y)}{\partial y} dy)) - r_f W dy$$

$$m(y) = r_f(y) = h_m(y)(C(y) - C_s(y)) = k_{app}(y)C_s(y) \quad \rightarrow \quad \frac{\partial C}{\partial t} + u_a \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{h_m}{\delta_a}(C - C_s) = 0$$

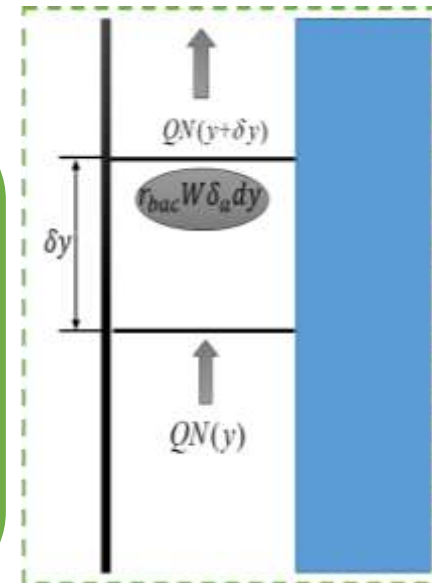
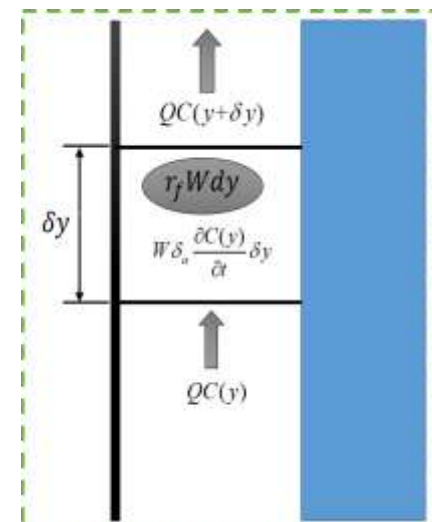
$$r_f = \frac{kKe^{\frac{E}{RT}} e^{\frac{H}{RT}} C_s}{(1 + Ke^{\frac{H}{RT}} C_s)^2}$$

### ■ 细菌病毒热失活模型

$$W\delta_a \frac{\partial N(y)}{\partial t} dy = (QN(y) - Q(N(y) + \frac{\partial N(y)}{\partial y} dy)) - r_{bac} \delta_a W dy$$

$$QN(y) - QN(y + \delta y) = QN(y) - Q(N(y) + \frac{\partial N(y)}{\partial y} dy) = -Q \frac{\partial N(y)}{\partial y} dy \quad \rightarrow \quad \frac{\partial N(y)}{\partial t} + u_a \frac{\partial N(y)}{\partial y} - \frac{\partial N(T_a, t)}{\partial t} = 0$$

$$r_{bac} = - \frac{dN(T_a, t)}{dt}$$



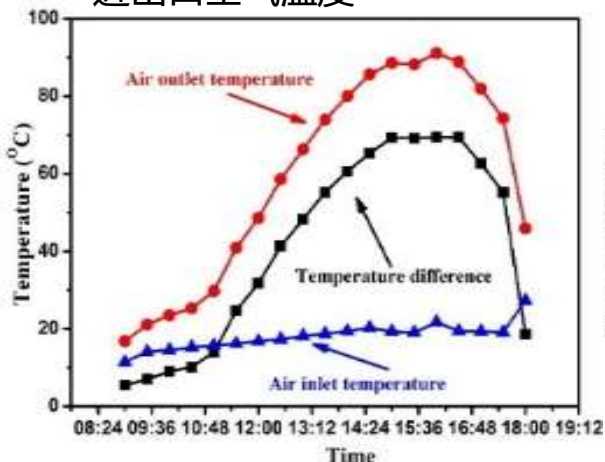


### 3.5 太阳能热除菌杀毒技术及其建筑一体化

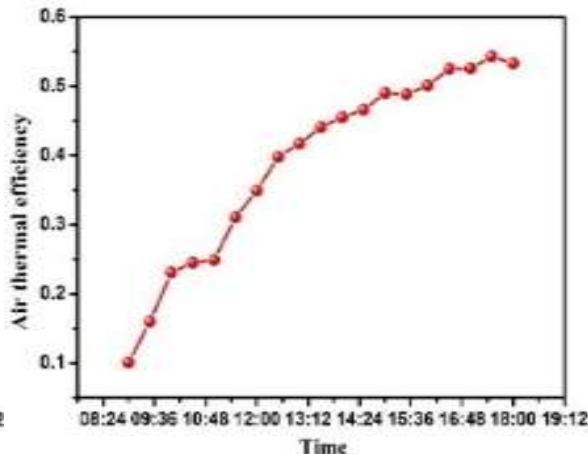
#### 催化剂甲醛计算结果分析

电池覆盖率为0时

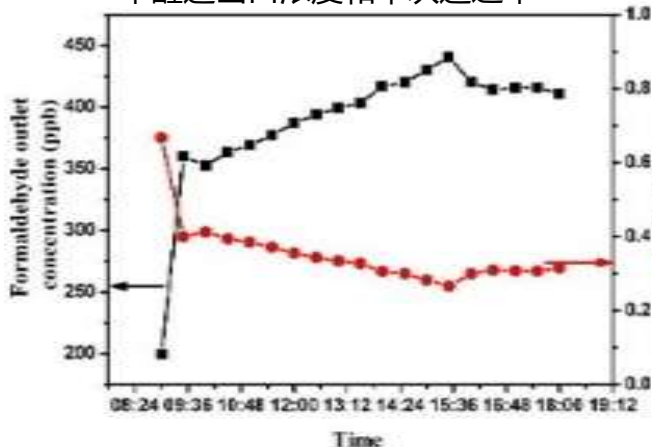
进出口空气温度



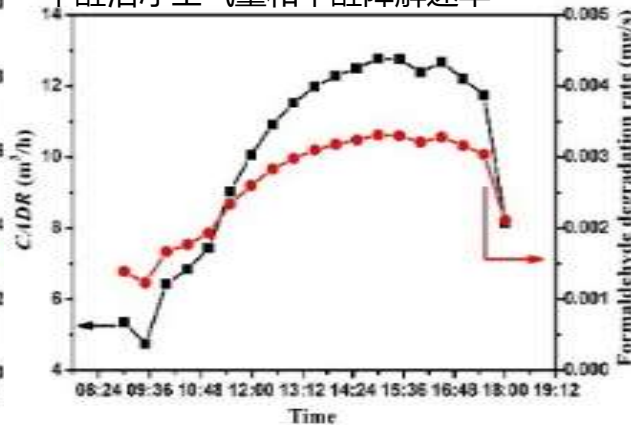
热效率



甲醛进出口浓度和单次通过率



甲醛洁净空气量和甲醛降解速率



#### ◆ 主要结论

- 空气出口温度能达到90度左右，流道平均温度为60度以上，空气平均热效率为46%
- 甲醛入口浓度设定为600 ppb，平均甲醛单次通过率为0.35，产生的总的干净空气量为93.37 m<sup>3</sup>
- 细菌进口浓度为3000 CFU/m<sup>3</sup>，在12:30左右达到初始热灭活温度(50°C左右)后，细菌开始失活，单次失活速率接近1，并保持数小时，在17:00左右迅速下降到0

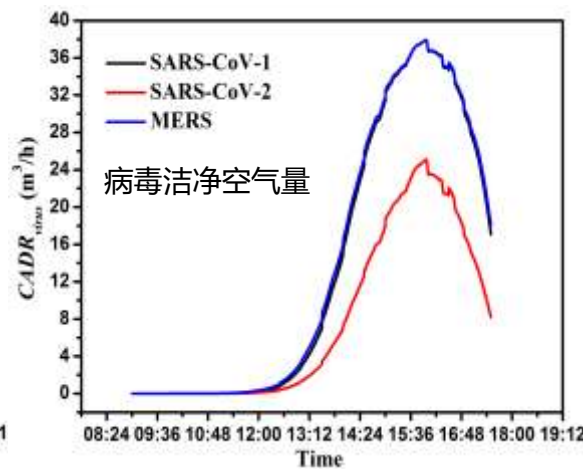
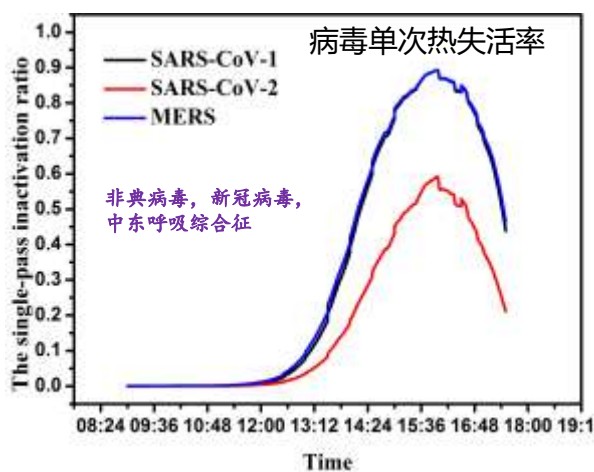
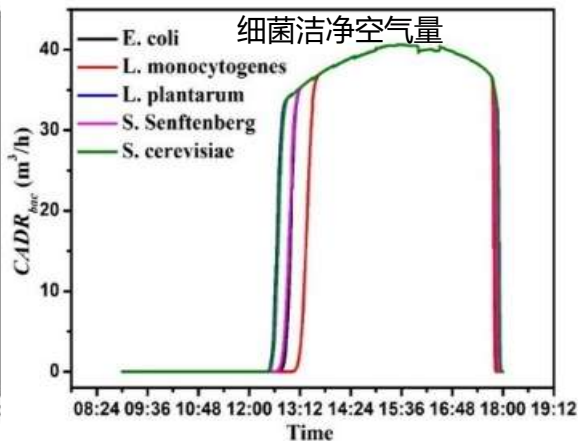
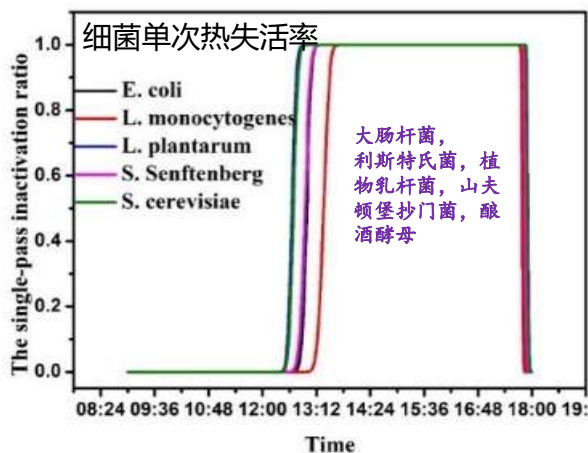




## 3.5 太阳能热除菌杀毒技术及其建筑一体化

### 细菌病毒计算结果分析

电池覆盖率为0时



#### ◆ 主要结论

- 五种细菌产生的总的干净空气量分别为188.31、173.02、201.40、189.90和200.20 m<sup>3</sup>
- 病毒入口浓度设定为1000TCID<sub>50</sub>/m<sup>3</sup>, 对于单次通过失活率, **中东呼吸综合征 ≈ 非典 > 新冠**, 前两者的最大单次通过失活率约为90%而新冠病毒则为60%。
- 三种病毒的总洁净空气量分别为114.7、112.3与63.8 m<sup>3</sup>。

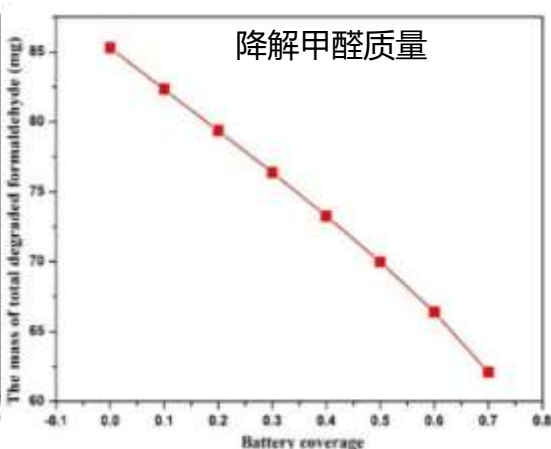
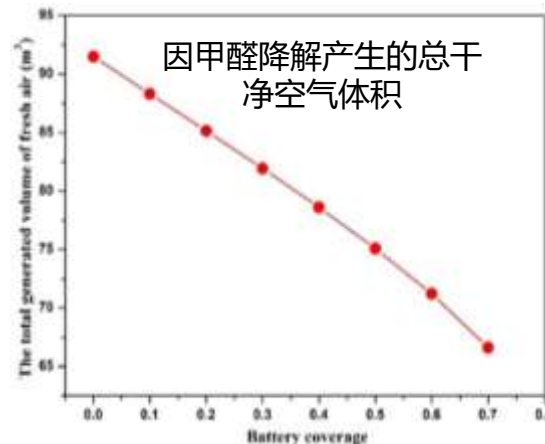
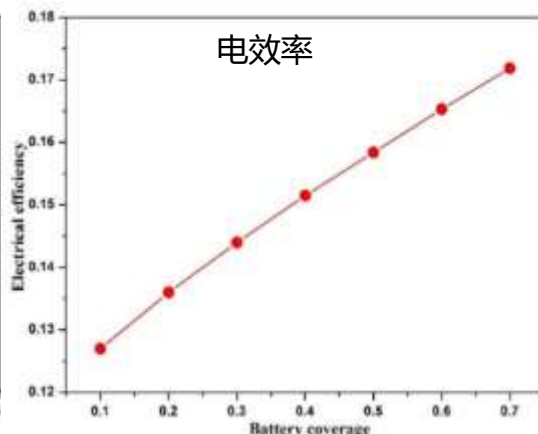
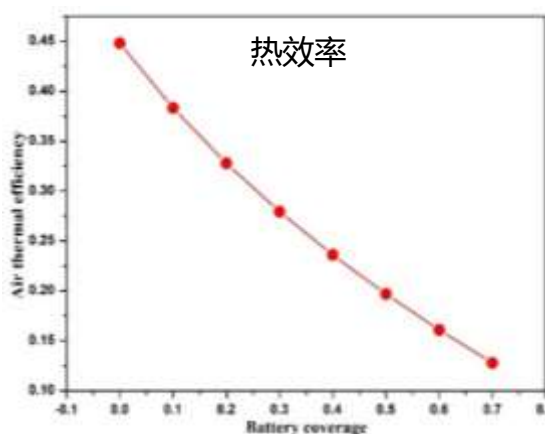




## 3.5 太阳能热除菌杀毒技术及其建筑一体化

### 计算结果分析

#### 电池覆盖率影响



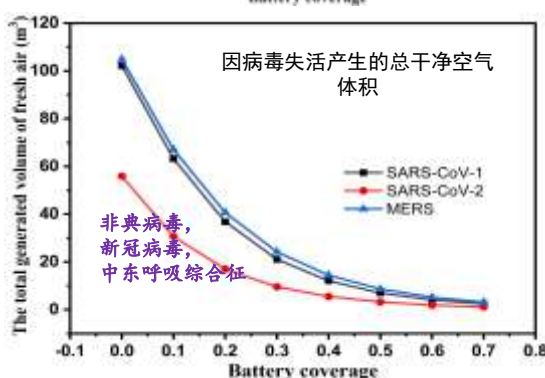
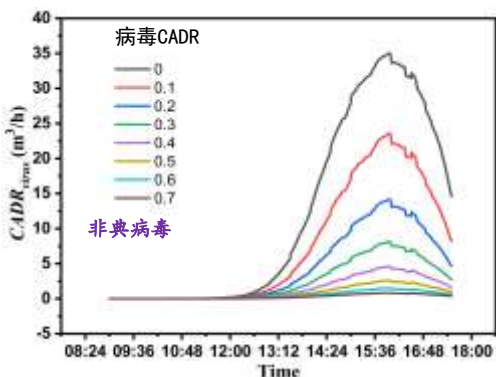
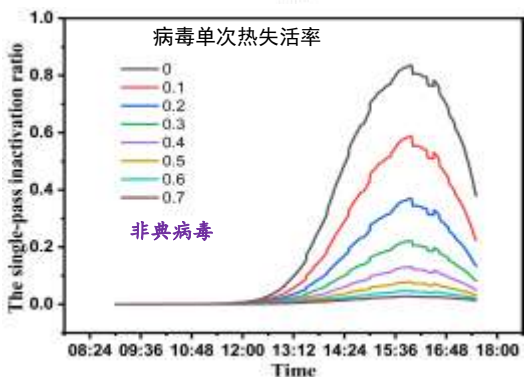
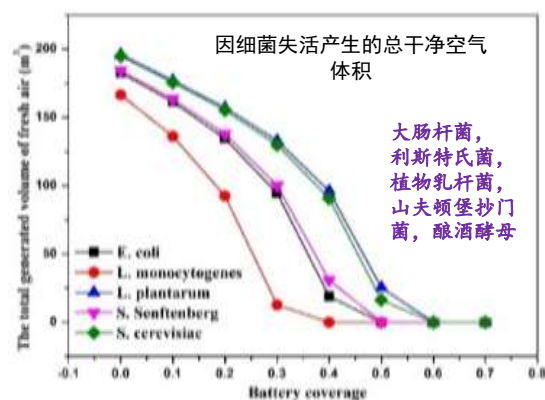
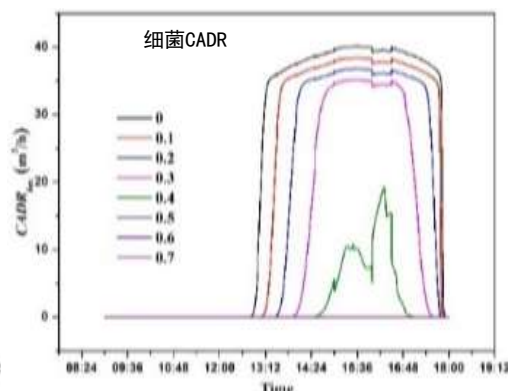
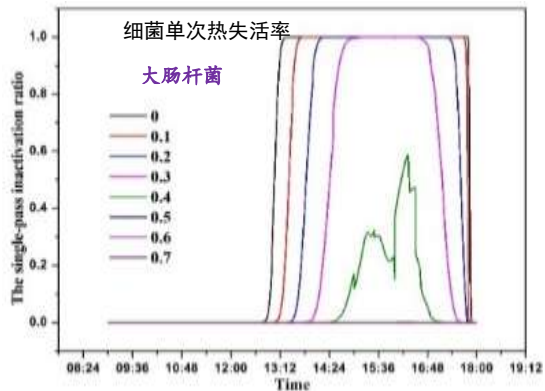
#### ◆ 主要结论

- 随着覆盖率的增加，**空气热效率逐渐降低**，覆盖率从0到0.7，热效率由0.46降到0.12
- 随着覆盖率的增加，**电效率逐渐增加**，覆盖率从0到0.7，电效率由0.125上升到0.175（电池标准效率为0.205）
- 甲醛入口浓度设定为600ppb，随着覆盖率的增加，**热催化降解甲醛性能逐渐降低**，这是因为热催化层温度逐渐降低，覆盖率从0到0.7，产生的总的干净空气量为93.37 m<sup>3</sup>到66.35 m<sup>3</sup>，总的降解甲醛质量从86.2 mg到63.1 mg



## 3.5 太阳能热除菌杀毒技术及其建筑一体化

### 电池覆盖率影响



#### ◆ 主要结论

- 细菌入口浓度设定为 $3000\text{CFU}/\text{m}^3$ , 随着覆盖率的增加, 细菌热失活性能逐渐降低, 这是因为空气温度水平逐渐降低, 随着覆盖率增加, 热失活起点逐渐推迟, 一天中热失活时间长度降低, 对于5种细菌, 当覆盖率达到0.4时, 热失活性能大大降低为0
- 病毒入口浓度设定为 $1000\text{TCID}_{50}/\text{m}^3$ , 同样, 随着覆盖率的增加, 病毒热失活性能逐渐降低, 当光伏电池覆盖率达到0.5左右时, 空气所达到的温度并不足以使病毒在短时间内失活

**04**

## **适宜新徽派民居的太阳能新技术应用**



## 4.1 与“黛瓦”相结合的光伏瓦技术

### 铜铟镓硒 (CIGS) 汉能瓦

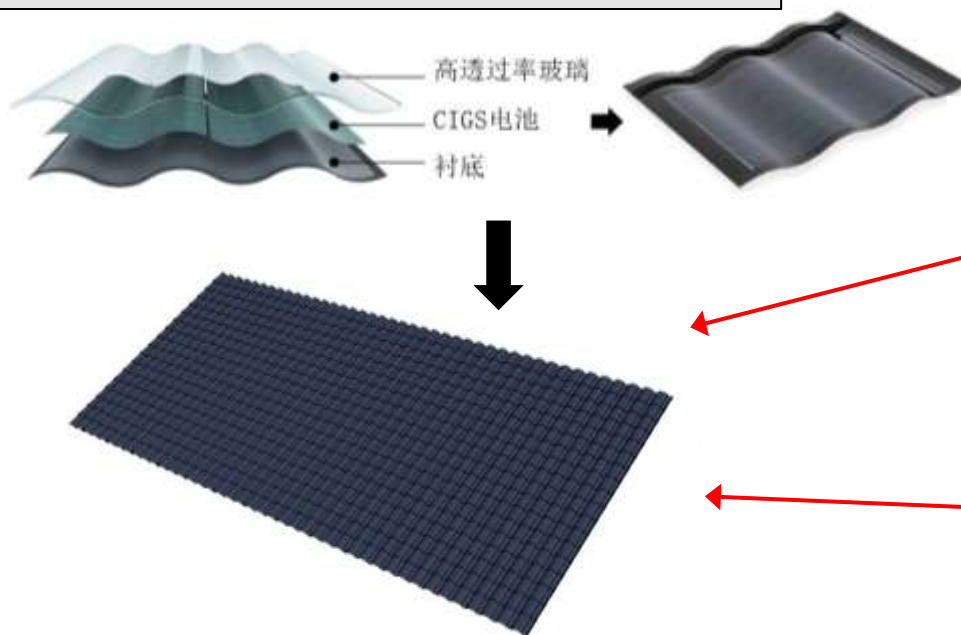
- 薄膜太阳能电池 **柔性可弯曲、质量轻、弱光性好、颜色可调、可塑性强**
- 电池转化率可达到20%以上，单位面积输出功率可达到90-160Wp/m<sup>2</sup>

### 适宜性

- **可直接替代**传统屋面青瓦，不改变建筑风貌

### 光伏瓦结构

- 将CIGS电池封装于高透过率玻璃下



浙江湖州项目



云南丽江建筑屋顶



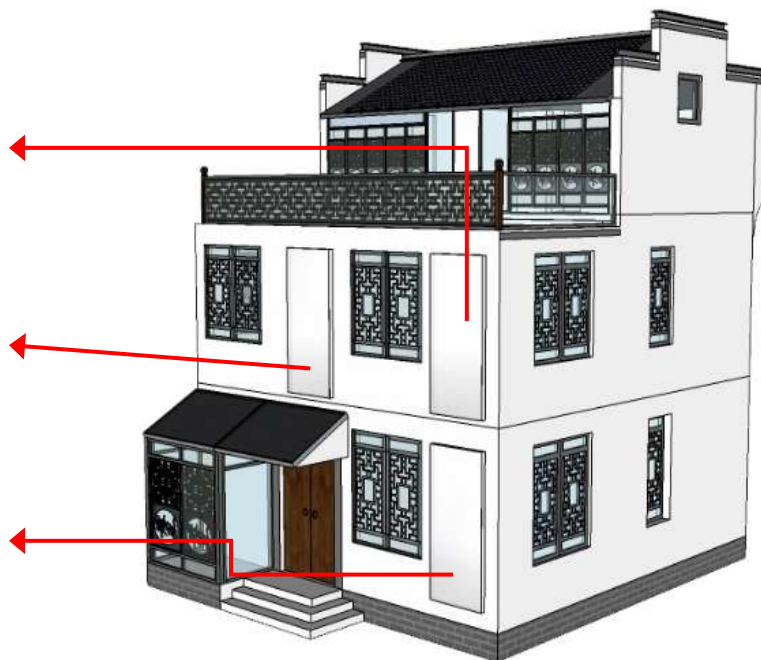
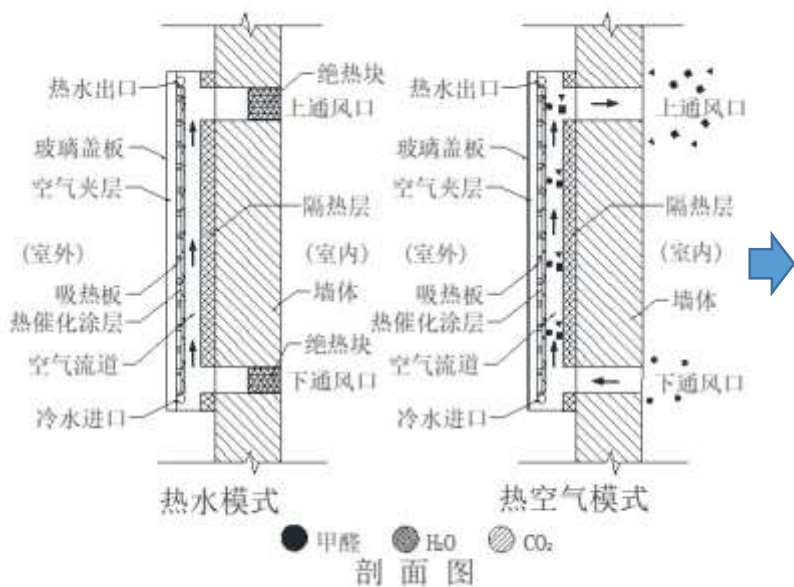
## 4.2 与“粉壁”相结合的双效集热-除甲醛多功能墙体系统

### 工作原理和功能

- 非采暖季，**运行热水模式**，上下风口关闭，阀门开启，集热器吸收太阳能加热水管内水体，系统利用水的浮力以自然循环方式供水
- 采暖季，**运行热空气模式**，水阀关闭，打开上下通风口，集热器加热流道内的空气形成冷热空气循环，利用热虹吸效应实现被动采暖，同时甲醛被热催化降解
- **大大降低室内冷热负荷**
- 兼具**产热水、被动采暖、净化甲醛**的多重功能

### 适宜性

- **白色钢化玻璃**，有效避免了黑色选择性涂层对白色墙壁的影响，保留“粉壁”特征







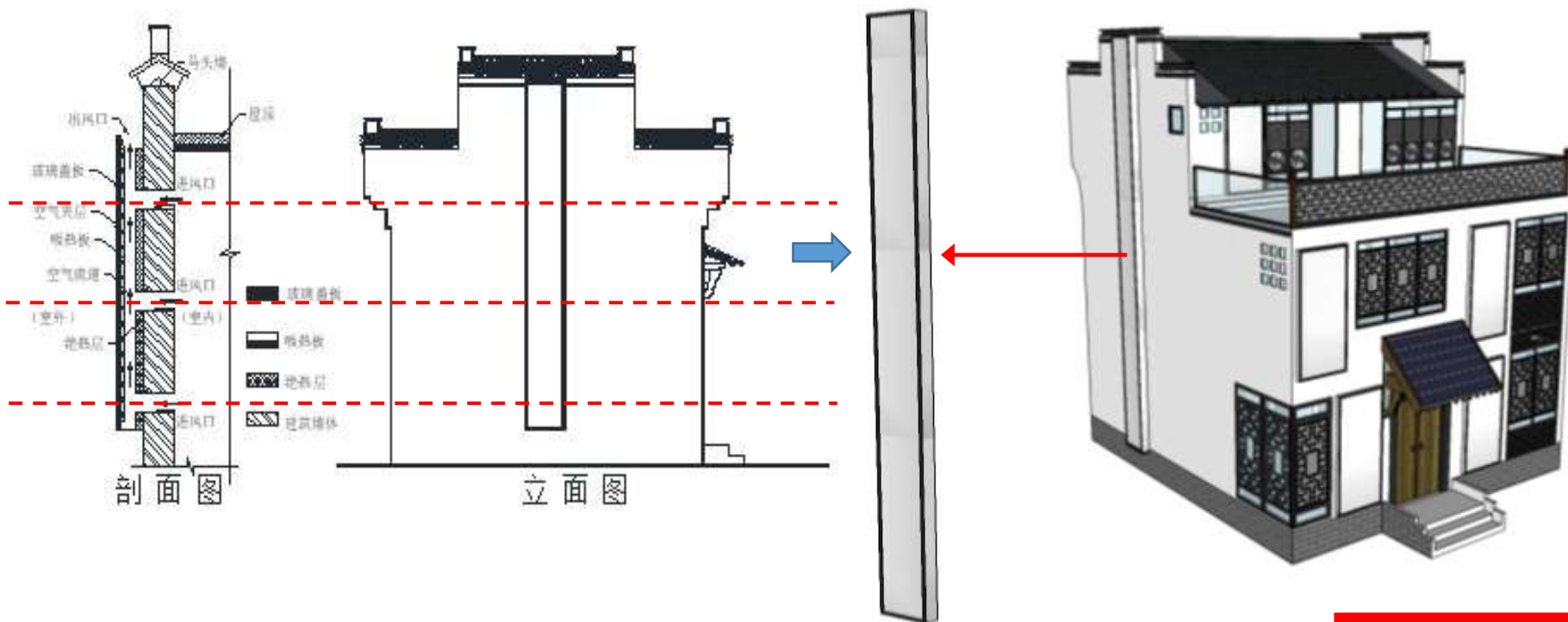
## 4.3 与“马头墙”相结合的通风-除菌杀毒太阳能烟囱系统

### 工作原理和功能

- **太阳能烟囱系统**
- 太阳辐射透过玻璃盖板被吸热板吸收，加热空气，在“**烟囱效应**”的抽吸作用下实现自然对流，**空气中以气溶胶形式存在的病菌**暴露在高温环境下**迅速失活**，并且温度越高，失活速率越快
- 实现**通风、除湿、降温、排除有害气体**多重功能

### 适宜性

- 由一个或多个壁面玻璃盖板组成的**透明墙体**，保持与环境的和谐
- **白色**钢化玻璃，与“马头墙”一体化，保持原有建筑风貌





## 4.4 与“青砖”相结合的光伏装饰技术

### 单晶硅电池

- 材料强度高、自重轻、耐腐蚀、易清洁、保温隔热性能优良
- 性能稳定，光电转化效率高

### 系统结构

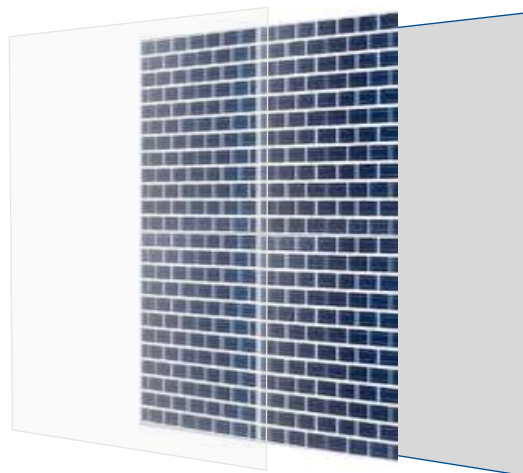
- 采用特制的**砖石玻璃外壳**，将高效光伏硅电池封装在双层纳米光学膜结构材料之中

### 适宜性

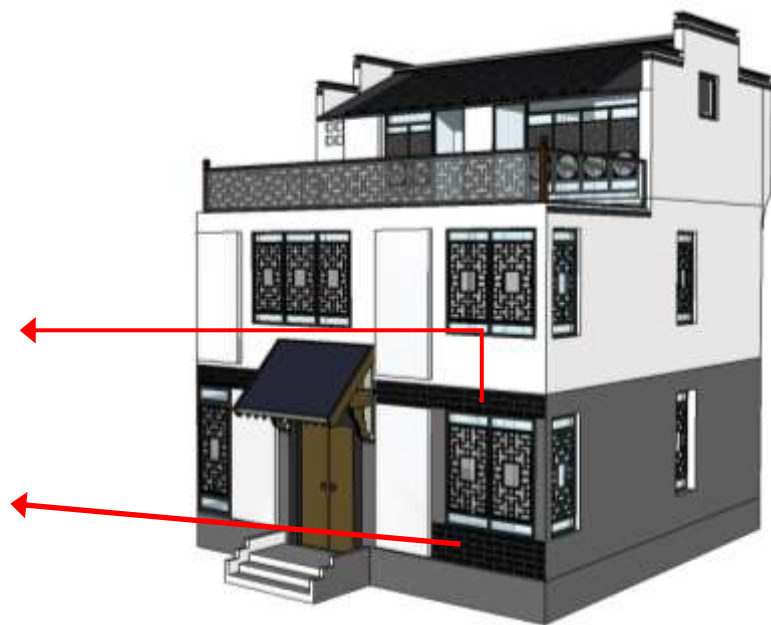
- 具有与传统青砖高度相似的外表
- 采用**干挂方式**组装，安装、维修、拆卸及回收均十分方便
- 利用有效的南墙发电
- 直接替代青砖贴面，保留“青砖”特色



Si电池



光伏青砖





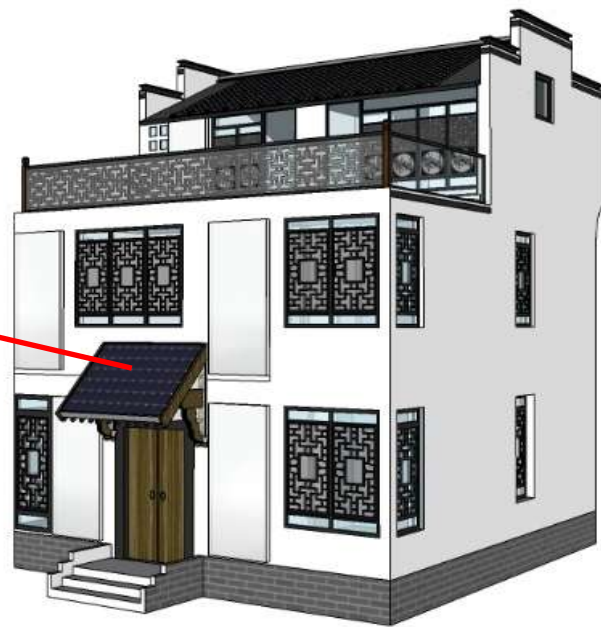
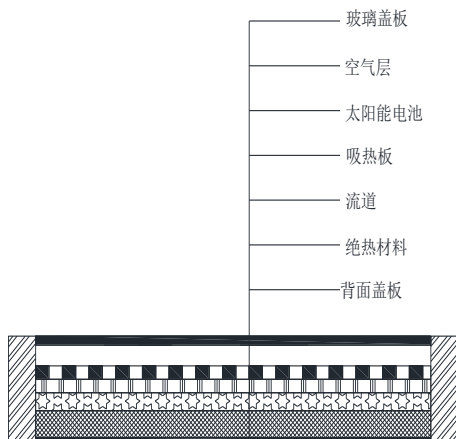
## 4.5 与“门楼”相结合的平板型PV/T热水系统

### 工作原理和功能

- 平板型PV/T热水系统
- 光伏发电的同时产生生活热水
- 自然循环式工作，无需额外供能
- 通过吸热板带走电池热量以提高其发电效率易与建筑一体化

### 适宜性

- 檐口出挑以遮风避雨
- 调整为当地阳光南向入射角度，既满足系统最佳工作条件，又很好地保留了**新徽派建筑“门楼”**的重要特征





## 4.6 与“花格窗”相结合碲化镉（CdTe）光伏通风窗系统

### 碲化镉CdTe

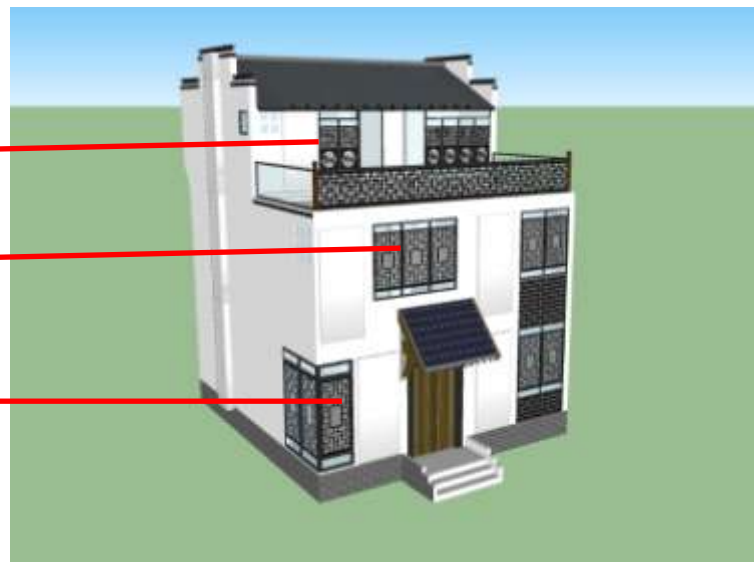
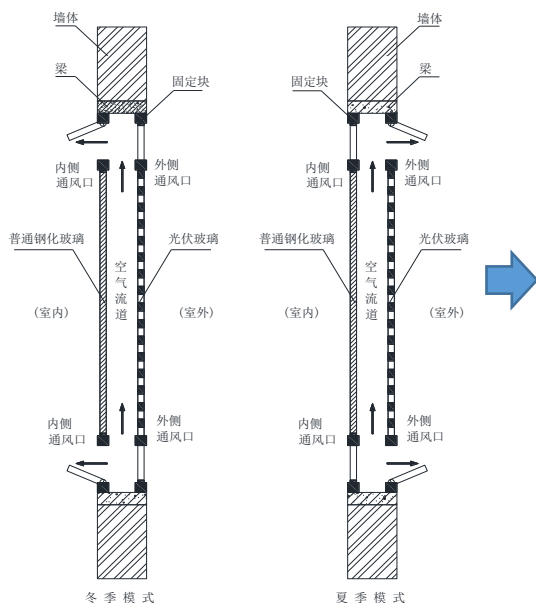
- 高吸收系数的化合物半导体，**吸收系数是硅的100倍**
- **碲化镉电池**目前实验最高发电效率为22.1%，具有更小的温度系数-0.214 %/°C
- 在高温下具有更好、更稳定的电性能,可根据要求设计成**半透过电池**

### 适宜性

- 图案式碲化镉玻璃窗，再现了徽州建筑的“花格窗”意向

### 工作原理和功能

- 在**寒冷冬季**，将内侧通风口打开并关闭外侧通风口，流道内的空气在**热虹吸**的作用下与室内空气形成**内循环**，既降低了电池温度以增加其电效率，又**对室内供暖**
- 在**炎热的夏季**，将外侧通风口打开并关闭内侧通风口，流道内空气与室外空气形成**外循环**，**降低了室内得热**
- **光伏发电**，兼具**被动采暖/冷却功能**



**05**

## **案例分析及能耗预测**





## 5.1 案例设计

## 主要技术指标



总建筑面积 182.25 m <sup>2</sup>	房间1	34m <sup>2</sup>	光伏窗 2.16m <sup>2</sup> 集热-除甲醛墙 3.12m <sup>2</sup>
	房间4	34m <sup>2</sup>	光伏窗 4.5m <sup>2</sup> 集热-除甲醛墙 3.12m <sup>2</sup>
	房间2	9.2m <sup>2</sup>	光伏窗 3.06m <sup>2</sup> 集热-除甲醛墙 3.12m <sup>2</sup>
	房间5	19.2m <sup>2</sup>	光伏窗 3.06m <sup>2</sup> 集热-除甲醛墙 3.12m <sup>2</sup>
	房间3	11.5m <sup>2</sup>	无
	房间6	11.5m <sup>2</sup>	无
	房间7	19.6m <sup>2</sup>	光伏窗 3.06m <sup>2</sup> 集热-除甲醛墙 2.4m <sup>2</sup>
	房间8	18.1m <sup>2</sup>	光伏窗 4m <sup>2</sup>
	马头墙		太阳能烟囱 0.79m <sup>3</sup>



以一栋新徽派民居为例，对太阳能新技术应用进行设计

■建筑位于安徽省黄山市屯溪区,118.33°E, 29.72°N

■分别与“粉壁”“黛瓦”“马头墙”“青砖”“门楼”“花格窗”六大特征相结合设计BIPV/T建筑

■通过Energyplus软件模拟

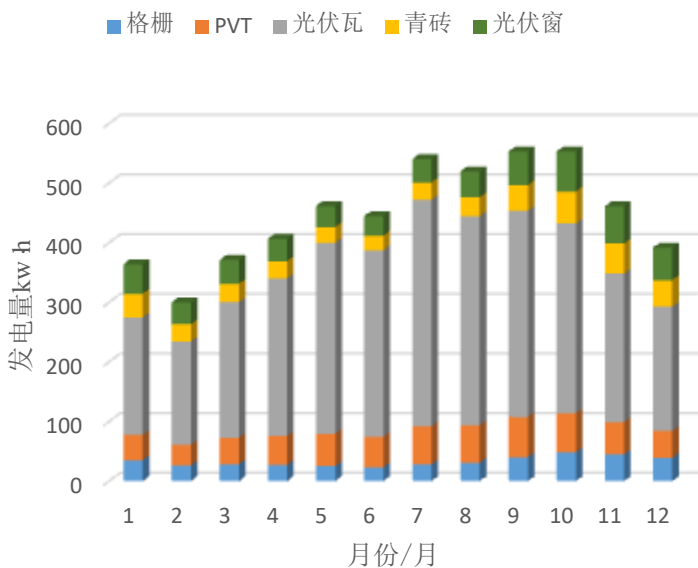
■对建筑全年发电量、温度变化、热水性能、冷热负荷差异、通风效果等分别进行预测分析



## 5.2 结果分析

### ■ 全年发电量

全年发电总量5367.079kw h



月份	格栅	PVT	光伏瓦	青砖	光伏窗
1	35.2199218	42.6272551	196.6972296	39.82555	49.47256
2	26.06976147	35.13297297	173.0104608	29.08034	36.61955
3	28.33595032	44.37954063	227.6908494	30.83512	39.80281
4	26.89133562	48.79060461	264.7837408	28.58269	37.7736
5	25.2111473	54.3655985	320.3036461	26.30154	35.41348
6	23.2556049	51.41136717	312.921905	24.40145	32.66657
7	27.92806856	64.00561757	380.2787958	28.84127	39.22987
8	30.74490422	62.91404533	350.7339551	32.01604	43.18661
9	40.08783935	67.51029796	346.0431385	42.99995	56.3104
10	48.07331955	66.01322342	318.188773	53.38247	67.52741
11	44.60660998	54.51622547	249.2429236	50.35386	62.6578
12	38.87820848	45.32583127	208.7856136	44.21009	54.61126
合计	395.3026716	636.99258	3348.681031	430.8304	555.2719

### ◆ 计算参数

电池类型	面积	覆盖率
光伏窗	23.34m <sup>2</sup>	50%
格栅	6.9m <sup>2</sup>	50%
青砖	3.8m <sup>2</sup>	100%
PVT	3.9m <sup>2</sup>	100%
光伏瓦	21.6m <sup>2</sup>	100%

### ● 发电量占比

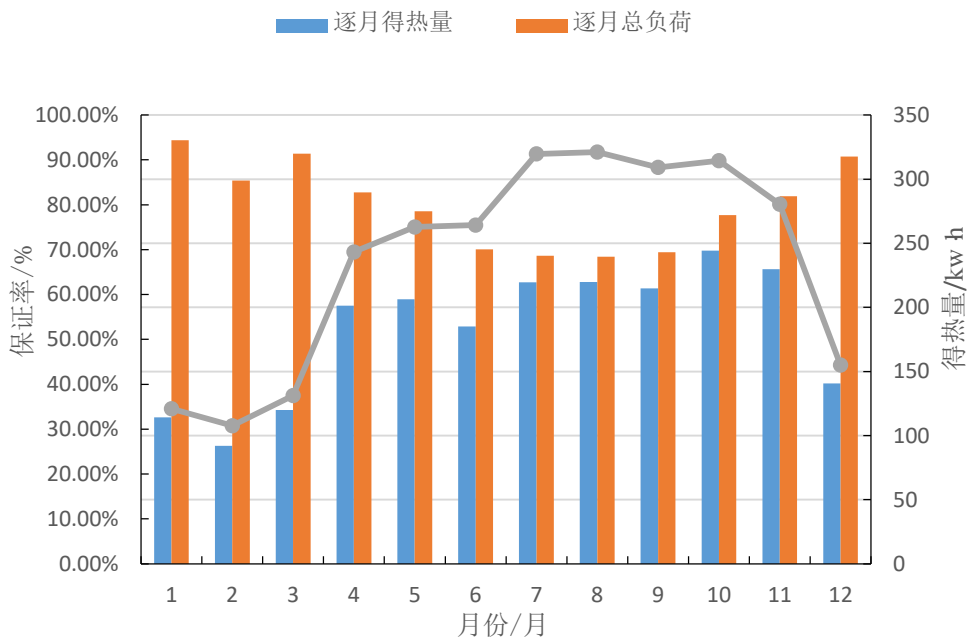
光伏瓦 62.39% > PVT 11.87% > 光伏窗 10.34% > 青砖 8.03% > 格栅 7.36%



## 5.2 结果分析

### ■ 全年热水得热

热水性能图（全年保证率65%）



#### ◆ 计算参数

- 假设本栋建筑居住人口为五人，按照《建筑给水排水设计标准 (GB-50015-2019)》，每人每日用水定额为40L,热水目标温度为60°C。
- 水箱体积为500L,初始温度为当地自来水温度。当日水箱内剩余热水量延续到第二天使用。
- 水箱温度不足目标温度时，由辅助提升温度。电加热
- 单块双效面积：3.1m<sup>2</sup>，单块PVT面积：3.9m<sup>2</sup>

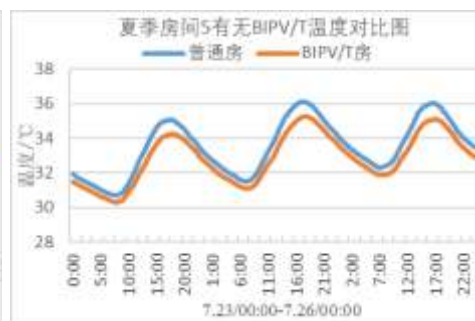
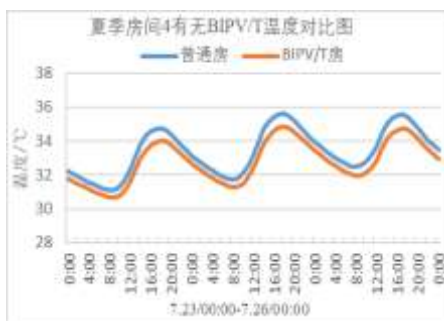
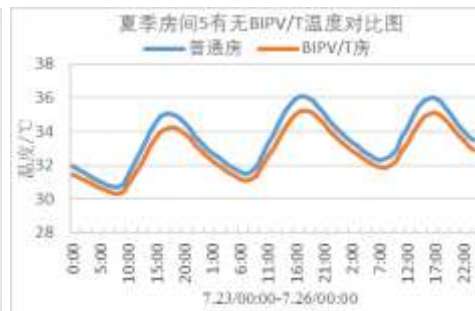
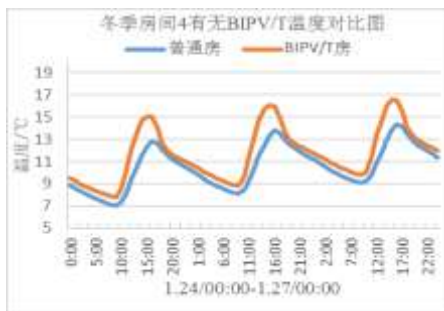
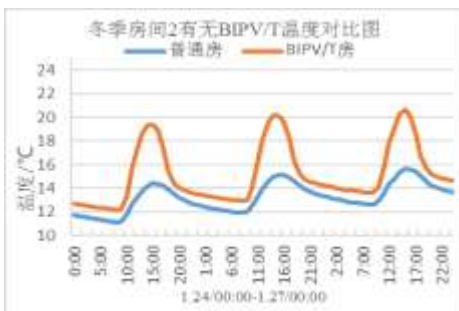
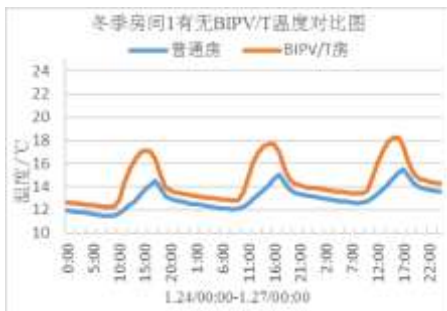
#### ◆ 主要结论

- 在非采暖季，双效集热墙体和平板型PV/T同时热水，共降低逐月热水负荷1631.39kwh
- 在采暖季，一楼和二楼四块双效集热墙体关闭水阀，三楼单块双效集热墙体和和平板型PV/T同时热水，共降低热水负荷555.72kwh.
- 全年平均热水保证率为65%



## 5.2 结果分析

### ■ 全年温差变化



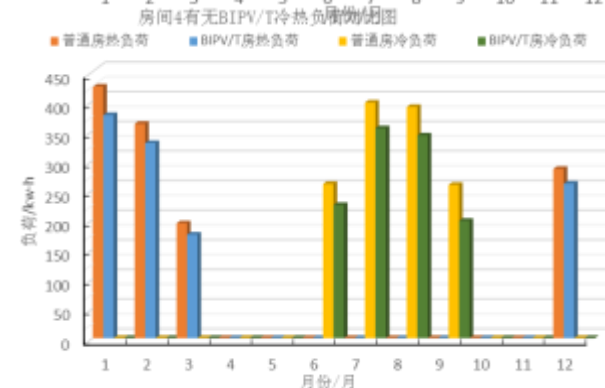
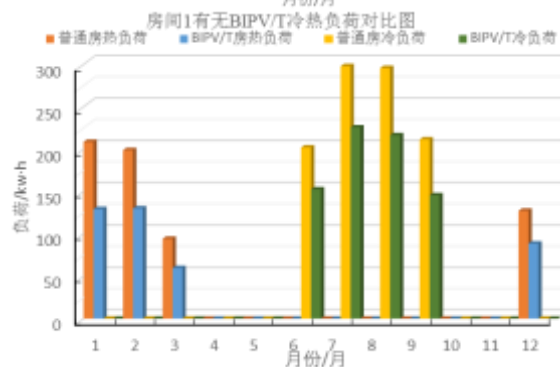
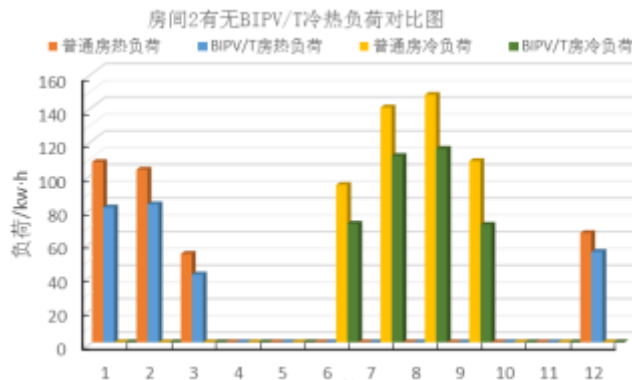
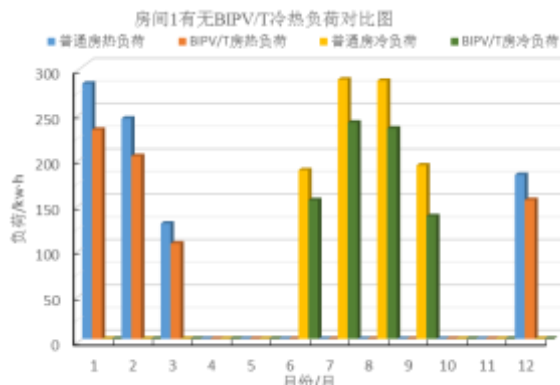
#### ◆ 主要结论

- 夏季模式下，BIPV/T房间温度基本维持低于对比间 $2^{\circ}\text{C}$ 左右的水平
- 冬季模式下，BIPV/T房间温度高于对比间温度，最大温差可达 $5-6^{\circ}\text{C}$
- 本案例的BIPV/T设计可以有效地满足徽派建筑的季节性热需求，即**夏季降温，冬季采暖**



## 5.3 结果分析

### ■ 全年冷热负荷



#### ◆ 计算参数

● 空调设定温度:

夏季白天: 24°C

夏季夜晚: 28°C

冬季白天: 22°C

冬季夜晚: 18°C

● 制热月份: 1, 2, 3, 12月

● 制冷月份: 6, 7, 8, 9月

#### ◆ 主要结论

● 夏季: 降低冷负荷20.4%

● 冬季: 降低热负荷18.3%

● 全年节能量: 1325.80kW·h

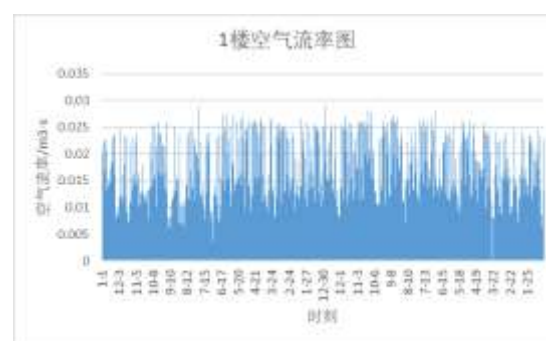
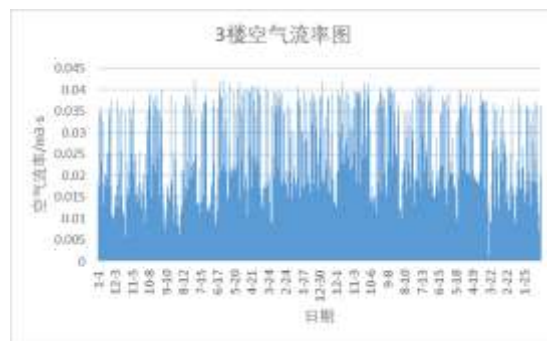
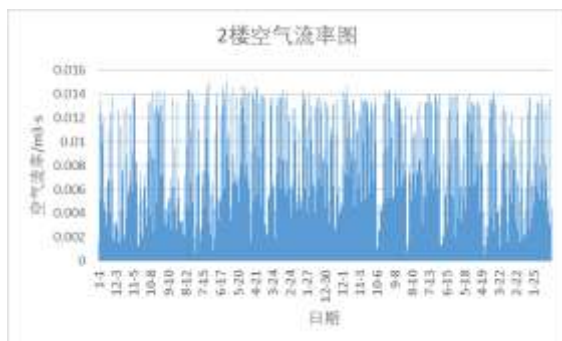
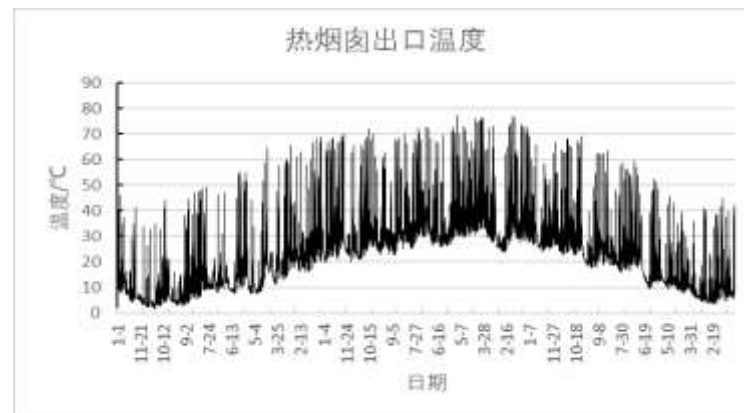
列1	热负荷1	热负荷2	冷负荷1	冷负荷2	列4	列5
	太阳房	普通房	太阳房	普通房	降低热负荷	降低冷负荷
房间1	407.5357717	628.7134985	739.7408396	1006.865958	221.1777267	267.1251185
房间2	256.8403164	327.9412584	366.7623141	488.9691103	71.10094198	122.2067962
房间4	1140.65498	1265.262892	1118.22691	1306.175292	124.6079116	187.9483816
房间5	691.0433367	833.2156679	759.0913697	948.5522761	142.1723312	189.4609063
求和	2496.074405	3055.133316	2983.821434	3750.562636	559.0589114	766.7412026





## 5.3 结果分析

### ■ 全年太阳能烟囱通风



#### ◆ 计算参数

- 风口尺寸: 0.1m\*0.7m
- 烟囱尺寸: 0.7m (长) \*0.1m (宽) \*9.9m (高)
- 吸热板: 黑铜
- 工作时间: 全年\*24h

#### ◆ 主要结论

- 全年房间换气次数为4239次, 其中单日最大换气次数为18.7/day
- 热烟囱出口温度夏季最高可达77°C, 过渡季节全天最高温度在65°C以上
- 在通风换气的同时, 可利用热烟囱出口的高温有效的将病毒细菌灭活



## 结束语

- ◆ 太阳能光电光热建筑综合应用具有发电、供热水、采暖、冷却、除菌、杀毒、除醛等多种功能
- ◆ 太阳能建筑一体化不仅能实现建筑节能，且能改善室内环境，包括热环境、光环境和健康环境
- ◆ 太阳能光电光热建筑一体化和应用需要因地制宜，科学设计，经济可靠
- ◆ 随着太阳能技术的日趋发展，太阳能光电光热建筑综合利用技术应用前景广阔

谢谢聆听!  
欢迎批评指正!