



第二届国际可再生能源供热技术大会

北方村镇建筑PVT热泵冷热跨季双储综合能源技术

张吉礼 教授

大连理工大学·建筑能源研究所

2022年4月12日 大连 (线上)





目 录

CONTENTS

- 1 / 研究背景及问题的提出
- 2 / PVT热泵综合能源技术成果
- 3 / PVT热泵土壤冷热跨季双储能源方案
- 4 / 结 语





Part I

研究背景及问题的提出

- 村镇建筑清洁采暖
- 种养农业设施需要
- 农业工业园区需要

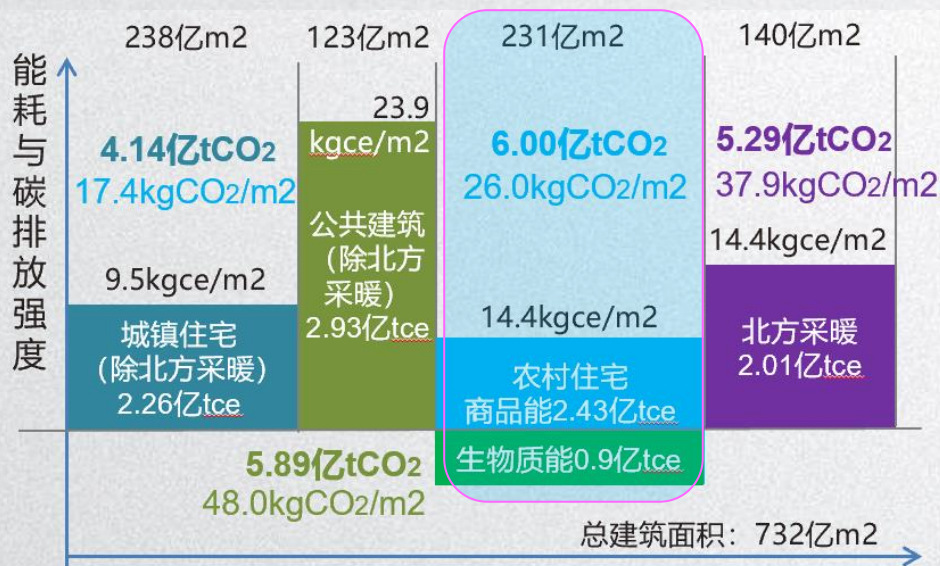




研究背景及问题的提出

“碳达峰、碳中和”，迫切需要解决北方村镇建筑清洁采暖问题

- 北方村镇建筑**：总面积超过100亿平方米，商品能耗超过1.2亿吨标煤，CO₂排放量超过3亿吨，正在面临着煤改气、煤改电、发展清洁采暖的压力



注：引自清华大学建筑节能年度报告





研究背景及问题的提出

□ “碳达峰、碳中和”，迫切需要解决北方村镇建筑清洁采暖问题

- **北方村镇建筑**对能源的基本需求及太阳能供应



需求 1: 用电需求



需求 2: 生活热水需求



需求 3: 冬季供暖需求



需求 4: 夏季空调需求

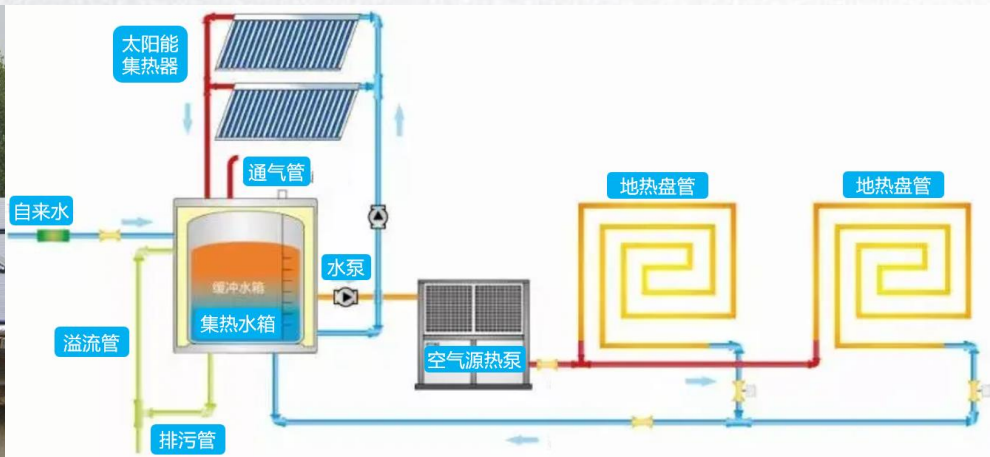




研究背景及问题的提出

□ “碳达峰、碳中和”，迫切需要解决北方村镇建筑清洁采暖问题

- 近几年，为缓解煤改气、煤改电压力，**太阳能采暖**在宁夏、内蒙、河北、辽宁等地的农村地区发展较快，政府给予以一定的补贴

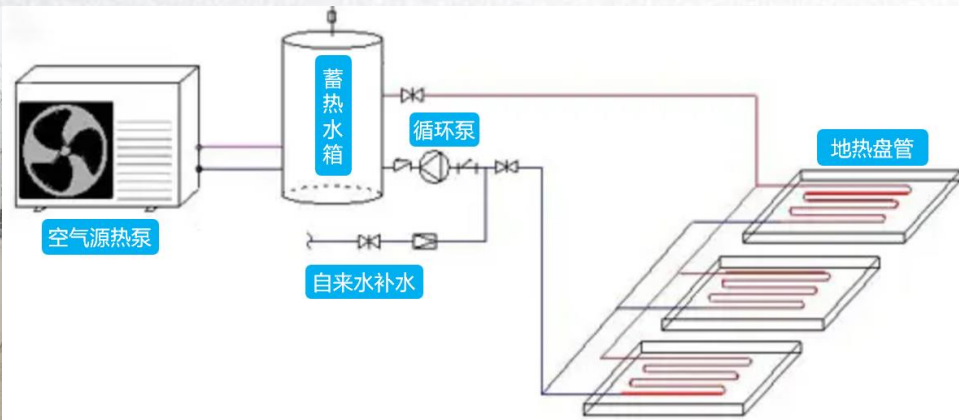




研究背景及问题的提出

□ “碳达峰、碳中和”，迫切需要解决北方村镇建筑清洁采暖问题

- 近几年，为缓解煤改气、煤改电压力，**空气源热泵采暖**在宁夏、内蒙、河北、辽宁等地的农村地区发展较快，政府给予以一定的补贴



--- 非集中供热，效率低、管理难、维修难！



研究背景及问题的提出

乡村振兴、共同富裕，亟需解决北方温室建筑**冬季采暖夏季降温**问题

- 北方农村现代**种养农业设施**对能源的基本需求 (2022年1月11日潍坊调研)



需求 1: 冬季供暖需求



需求 2: 夏季通风降温

--- **最大痛点: 玻璃温室冬季供暖问题! 休棚3个月, 果蔬调季上市难!**





研究背景及问题的提出

□ 乡村振兴、共同富裕，亟需解决北方温室建筑**冬季采暖夏季降温**问题

- 北方农村现代**种养农业设施**对能源的基本需求



需求 1：用电需求



需求 2：生活热水需求



需求 3：冬季供暖需求



需求 4：夏季空调需求





研究背景及问题的提出

乡村振兴、共同富裕，亟需解决北方温室建筑冬季采暖夏季降温问题

- 北方现代农业产业园区建设对能源的基本需求



需求 1: 用电需求



需求 2: 生活热水需求



需求 3: 冬季供暖需求



需求 4: 夏季空调需求





研究背景及问题的提出

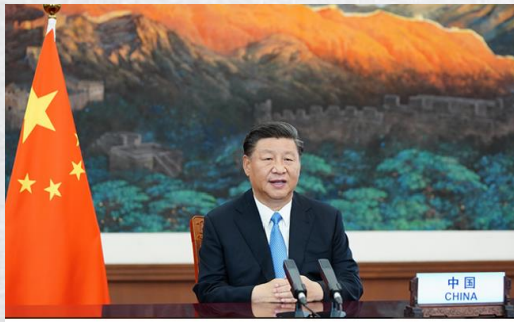
□ 我国村镇建设迎来了前所未有的**发展以太能为为主的综合能源新机遇**

- **有需求、有空间、有条件**
- 两山理论：指明了绿色发展新方向
- 双碳目标：提出了高质量发展的新要求
- 乡村振兴：按下了实现绿色发展的加速键
- 共同富裕：明确了消除城乡差距、实现共同富裕的迫切性

具体怎么发展？



浙江省湖州市安吉县余村，“绿水青山就是金山银山”理论的发源地 --- 2005年8月15日，时任浙江省委书记习近平考查余村



2020年9月22日习近平主席在第75届联合国大会向世界宣布:2030年前碳达峰、2060年前碳中和





研究背景及问题的提出

□ 双碳目标下，北方村镇发展太阳能综合能源所需解决的关键问题

- **问题1**：如何**一体化地**解决**采暖、空调、热水和用电**问题？ -- 亟需发展适于村镇应用的PVT热泵综合能源技术



需求 1：用电需求



需求 2：生活热水需求



需求 3：冬季供暖需求



需求 4：夏季空调需求

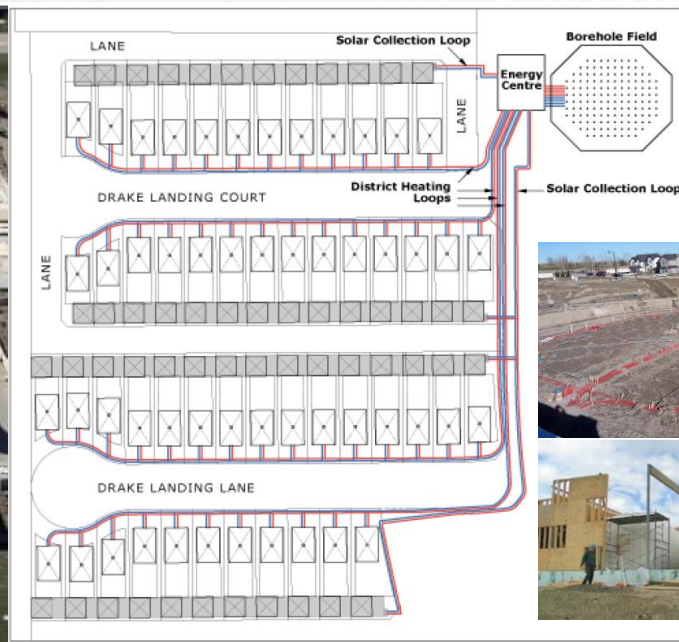




研究背景及问题的提出

口 双碳目标下，北方村镇发展太阳能综合能源所需解决的关键问题

- 问题2：是走**户式系统模式**、还是**集中式系统模式**？ -- 亟需解决供能模式问题



加拿大阿尔伯塔省Drake Landing Solar Community





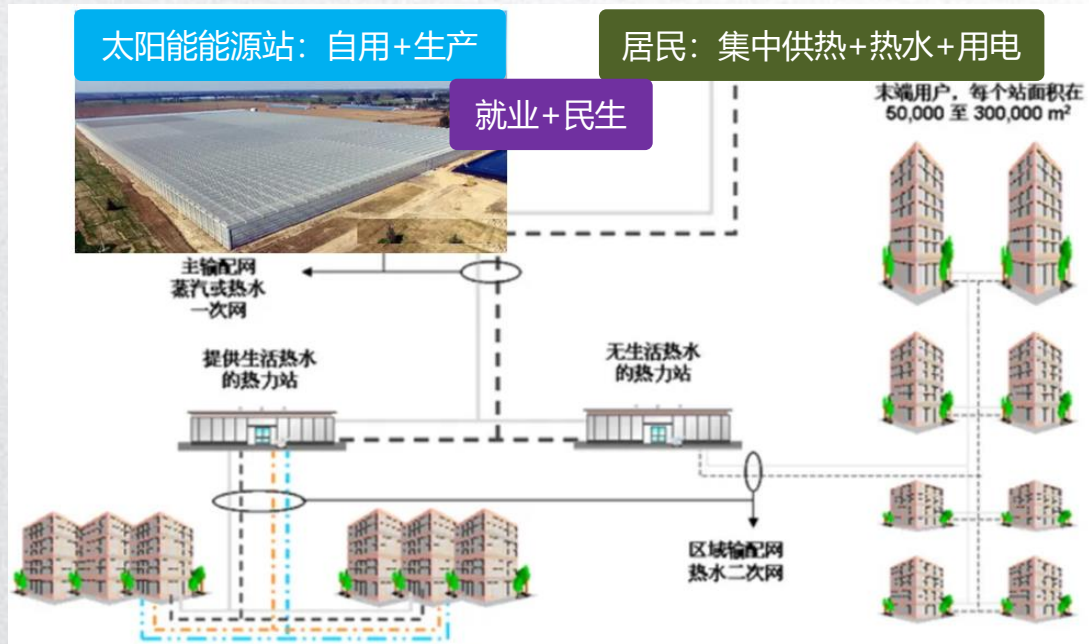
研究背景及问题的提出

□ 双碳目标下，北方村镇发展太阳能综合能源所需解决的关键问题

- **问题3**：如何解决**农业规模化生产用能**和**百姓居家供暖用能**一体化？ -- 亟需顶层设计村镇能源**产民一体**、**一产多用现代化农村能源设施**问题，为乡村振兴提供可持续的绿色能源保障

✓ 能源站作用

- 产能上：自产自用+村镇集中供热
- 生产上：农业工业化生产，解决百姓就业问题
- 百姓就业+民生工程





Part II

太阳能PVT热泵综合能源技术成果

- 太阳能PVT组件技术
- 太阳能热泵综合能源技术
- 太阳能光伏光热热泵技术规程

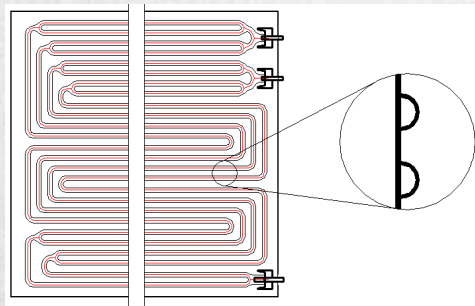
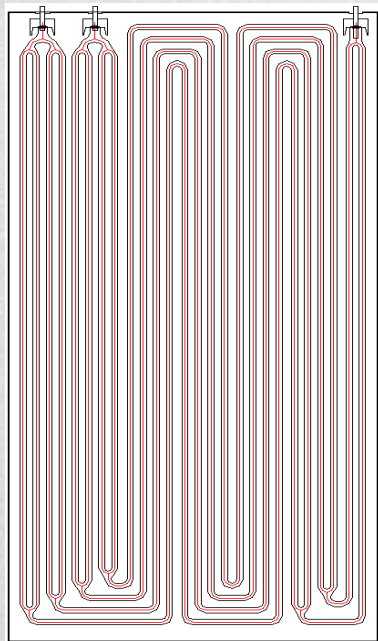




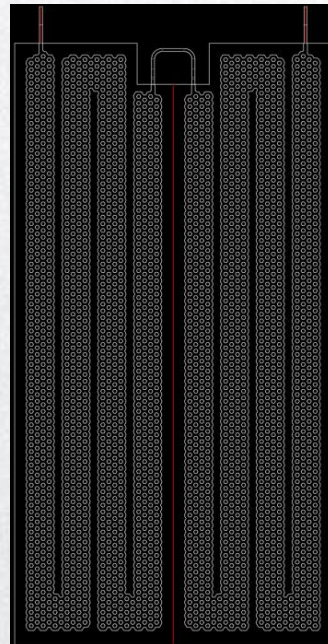
太阳能PVT热泵综合能源技术成果

口 大工建筑能源研究所提出了太阳能PVT组件

- 蛇形管流道PVT组件



- 蜂窝型流道PVT组件



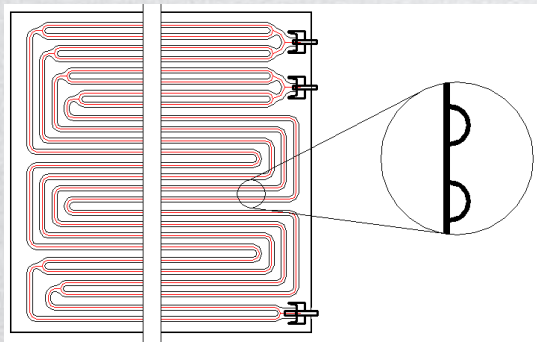


太阳能PVT热泵综合能源技术成果

口 大工建筑能源研究所提出了太阳能PVT组件

① 蛇形流道氟利昂PVT组件基本性能技术参数

尺寸 (mm)	设计发电量 (Wp)	循环工质	吹胀板承压 (MPa)	流道阻力 (mH ₂ O)
2100×1100×30	400~450	R22/R407C	2.3~3.0	5~10



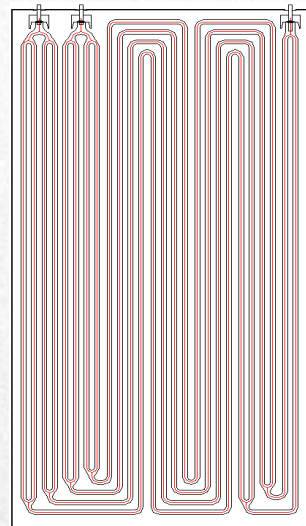


太阳能PVT热泵综合能源技术成果

口 大工建筑能源研究所提出了太阳能PVT组件

① 蛇形流道氟利昂PVT组件热泵工况换热性能技术参数

序号	换热类型	换热量(W/m ²)	环境条件	热泵工况
1	夏季白天平均吸热量	550	蒸发温度: $t_e \approx 20^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx 28^\circ\text{C}$ 太阳辐照度: $I=1000\text{W/m}^2$	白天制热
2	夏季夜间平均吸热量	300	蒸发温度: $t_e \approx 15^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx 23^\circ\text{C}$	夜间制热
3	夏季夜间平均散热量	470	冷凝温度: $t_c \approx 36^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx 23^\circ\text{C}$ 环境风速: $v=1\text{m/s}$	夜间制冷
4	冬季白天平均吸热量	185	蒸发温度: $t_e \approx -19^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx -12^\circ\text{C}$ 太阳辐照度: $I=400\text{W/m}^2$	白天制热
5	冬季夜间平均吸热量	140	蒸发温度: $t_e \approx -22^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx -15^\circ\text{C}$	夜间制热



注：表中数据为热水制备过程数据，夏季热水温升20~50℃，冬季热水温升10~50℃。



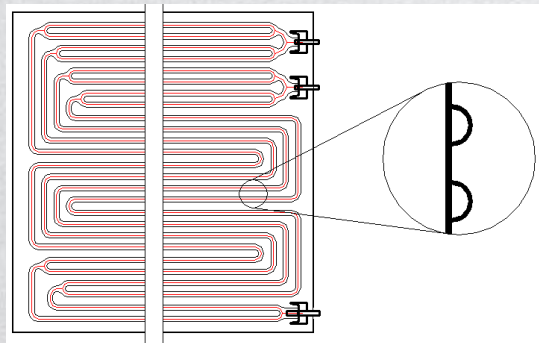


太阳能PVT热泵综合能源技术成果

口 大工建筑能源研究所提出了太阳能PVT组件

② 蛇形流道水PVT组件基本性能技术参数

尺寸 (mm)	设计发电量 (Wp)	循环工质	吹胀板承压 (MPa)	流道阻力 (mH ₂ O)
2100×1100×30	400~450	水	2.3~3.0	3~13 (0.10~0.22m ³ /h)



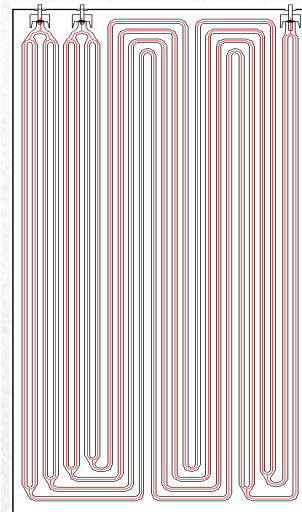


太阳能PVT热泵综合能源技术成果

口 大工建筑能源研究所提出了太阳能PVT组件

② 蛇形流道水PVT组件典型工况换热性能技术参数

序号	换热类型	换热量(W/m ²)	环境条件	用户工况
1	夏季白天瞬时吸热量	530	自来水温度: $t_w \approx 20^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx 23^\circ\text{C}$ 太阳辐照度: $I = 860\text{W/m}^2$	白天直接制热工况
2	夏季夜间瞬时散热量	185	自来水温度: $t_w \approx 40^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx 23^\circ\text{C}$ 环境风速: $v = 3\text{m/s}$	夜间热泵制冷
3	冬季白天瞬时吸热量	140	自来水温度: $t_e \approx 5^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx -12^\circ\text{C}$ 太阳辐照度: $I = 400\text{W/m}^2$	白天直接制热工况



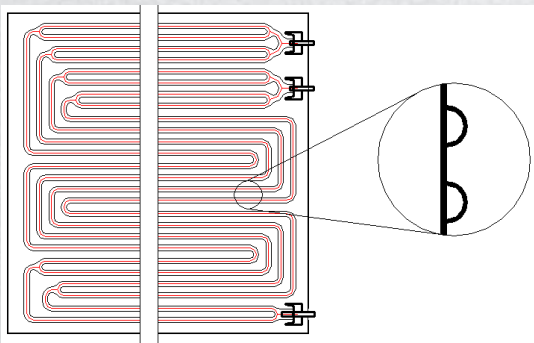


太阳能PVT热泵综合能源技术成果

口 大工建筑能源研究所提出了太阳能PVT组件

③ 蛇形流道**乙二醇溶液**PVT组件**基本性能**技术参数

尺寸 (mm)	设计发电量 (Wp)	循环工质	吹胀板承压 (MPa)	流道阻力 (mH ₂ O)
2100×1100×30	400~450	乙二醇溶液 (40%)	2.3~3.0	4~17 (流量: 0.10~0.22m ³ /h)

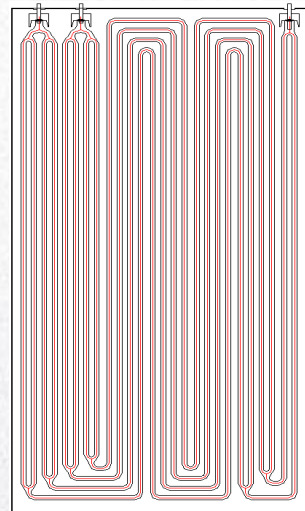




口 大工建筑能源研究所提出了太阳能PVT组件

③ 蛇形流道**乙二醇溶液**PVT组件**运行工况换热性能**技术参数

序号	换热类型	换热量(W/m ²)	环境条件	用户工况
1	夏季白天瞬时吸热量	425	自来水温度: $t_w \approx 20^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx 28^\circ\text{C}$ 太阳辐照度: $I = 1000\text{W/m}^2$	白天直接制热工况
2	夏季夜间瞬时散热量	160	自来水温度: $t_w \approx 40^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx 23^\circ\text{C}$ 环境风速: $v = 3\text{m/s}$	夜间热泵制冷
3	冬季白天瞬时吸热量	120	自来水温度: $t_e \approx 5^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx -12^\circ\text{C}$ 太阳辐照度: $I = 400\text{W/m}^2$	白天直接制热工况



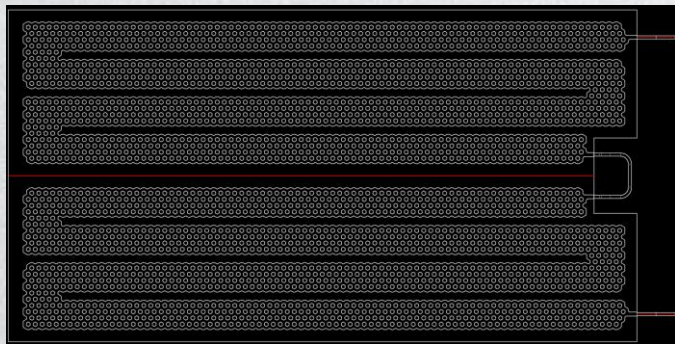


太阳能PVT热泵综合能源技术成果

□ 大工建筑能源研究所提出了太阳能PVT组件

④ 蜂窝流道氟利昂PVT组件基本性能技术参数

尺寸 (mm)	设计发电量 (Wp)	循环工质	吹胀板承压 (MPa)	流道阻力 (mH ₂ O)
2100×1100×30	400~450	R22/R407C	2.5~2.8	10~15

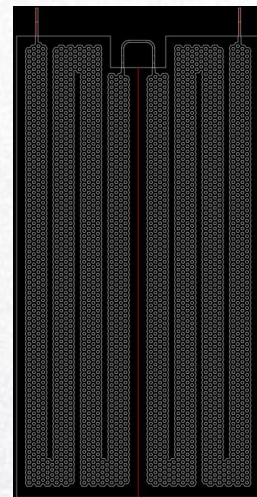




口 大工建筑能源研究所提出了太阳能PVT组件

④ 蜂窝流道流道氟利昂PVT组件热泵工况换热性能技术参数

序号	换热类型	换热量(W/m ²)	环境条件	热泵工况
1	夏季白天平均吸热量	780	蒸发温度: $t_e \approx 20^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx 28^\circ\text{C}$ 太阳辐照度: $I=1000\text{W/m}^2$	白天制热
2	夏季夜间平均吸热量	470	蒸发温度: $t_e \approx 15^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx 23^\circ\text{C}$	夜间制热
3	夏季夜间平均散热量	550	冷凝温度: $t_c \approx 40^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx 23^\circ\text{C}$ 环境风速: $v=1\text{m/s}$	夜间制冷
4	冬季白天平均吸热量	390	蒸发温度: $t_e \approx -19^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx -12^\circ\text{C}$ 太阳辐照度: $I=400\text{W/m}^2$	白天制热
5	冬季夜间平均吸热量	230	蒸发温度: $t_e \approx -22^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx -15^\circ\text{C}$	夜间制热

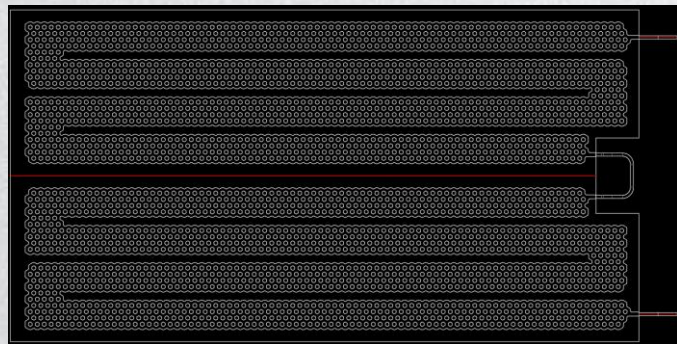


太阳能PVT热泵综合能源技术成果

□ 大工建筑能源研究所提出了太阳能PVT组件

⑤ 蜂窝流道水PVT组件基本性能技术参数

尺寸 (mm)	设计发电量 (Wp)	循环工质	吹胀板承压 (MPa)	流道阻力 (mH ₂ O)
2100×1100×30	400~450	水	2.5~2.8	7.5~23 (0.10~0.22m ³ /h)



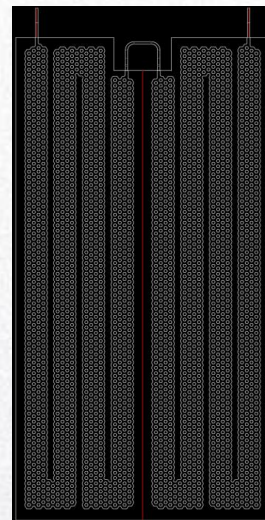


太阳能PVT热泵综合能源技术成果

口 大工建筑能源研究所提出了太阳能PVT组件

⑤ 蜂窝流道流道水PVT组件典型工况换热性能技术参数

序号	换热类型	换热量(W/m ²)	环境条件	用户工况
1	夏季白天瞬时吸热量	450	自来水温度: $t_w \approx 29^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx 26^\circ\text{C}$ 太阳辐照度: $I = 1000\text{W/m}^2$	白天直接制热工况
2	夏季夜间瞬时散热量	290	自来水温度: $t_w \approx 40^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx 23^\circ\text{C}$ 环境风速: $v = 3\text{m/s}$	夜间热泵制冷
3	冬季白天瞬时吸热量	220	自来水温度: $t_w \approx 5^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx -12^\circ\text{C}$ 太阳辐照度: $I = 400\text{W/m}^2$	白天直接制热工况



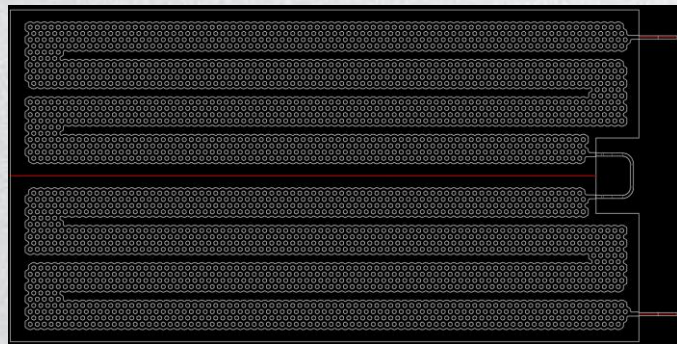


太阳能PVT热泵综合能源技术成果

口 大工建筑能源研究所提出了太阳能PVT组件

⑥ 蜂窝流道乙二醇溶液PVT组件基本性能技术参数

尺寸 (mm)	设计发电量 (Wp)	循环工质	吹胀板承压 (MPa)	流道阻力 (mH ₂ O)
2100×1100×30	400~450	乙二醇溶液 (40%)	2.5~2.8	25~30 (0.20~0.24m ³ /h)

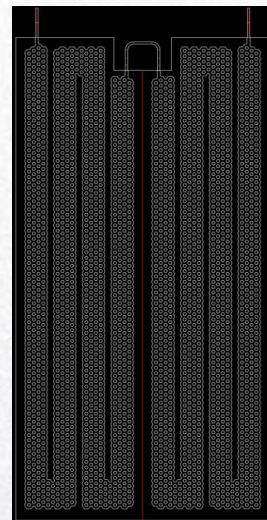




口 大工建筑能源研究所提出了太阳能PVT组件

⑥ 蜂窝流道流道乙二醇溶液PVT组件典型工况换热性能技术参数

序号	换热类型	换热量 (W/m ²)	环境条件	用户工况
1	夏季白天瞬时吸热量	680	自来水温度: $t_w \approx 20^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx 28^\circ\text{C}$ 太阳辐照度: $I=1000\text{W/m}^2$	白天直接 制热工况
2	夏季夜间瞬时散热量	260	自来水温度: $t_w \approx 40^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx 23^\circ\text{C}$ 环境风速: $v=3\text{m/s}$	夜间热泵 制冷
3	春季白天瞬时吸热量	478	自来水温度: $t_w \approx 11^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx 10^\circ\text{C}$ 太阳辐照度: $I=890\text{W/m}^2$	白天直接 制热工况
4	冬季白天瞬时吸热量	200	自来水温度: $t_w \approx 5^\circ\text{C}$ 环境温度: $t_o \approx -12^\circ\text{C}$ 太阳辐照度: $I=400\text{W/m}^2$	白天直接 制热工况



太阳能PVT热泵综合能源技术成果

大工建筑能源研究所提出了太阳能光伏光热一体化组件：PVT组件

- PVT组件类知识产权：7项



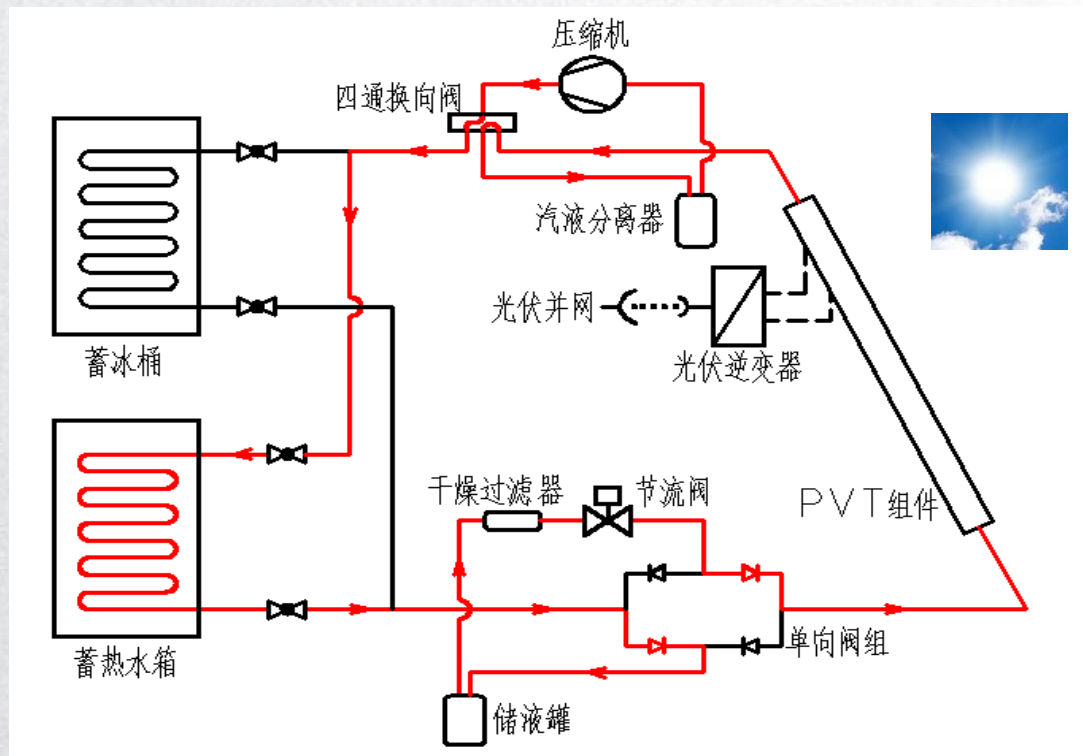


太阳能PVT热泵综合能源技术成果

□ 研究所提出了太阳能PVT热泵热电冷及生活热水综合能源系统

• PVT热泵系统构成

- ✓ PVT组件
- ✓ 压缩机
- ✓ 四通换向阀
- ✓ 生活热水箱
- ✓ 蓄热（冷）水箱
- ✓ 节流阀组
- ✓ 光伏逆变器
- ✓ 系统控制器
- ✓ 其它部件



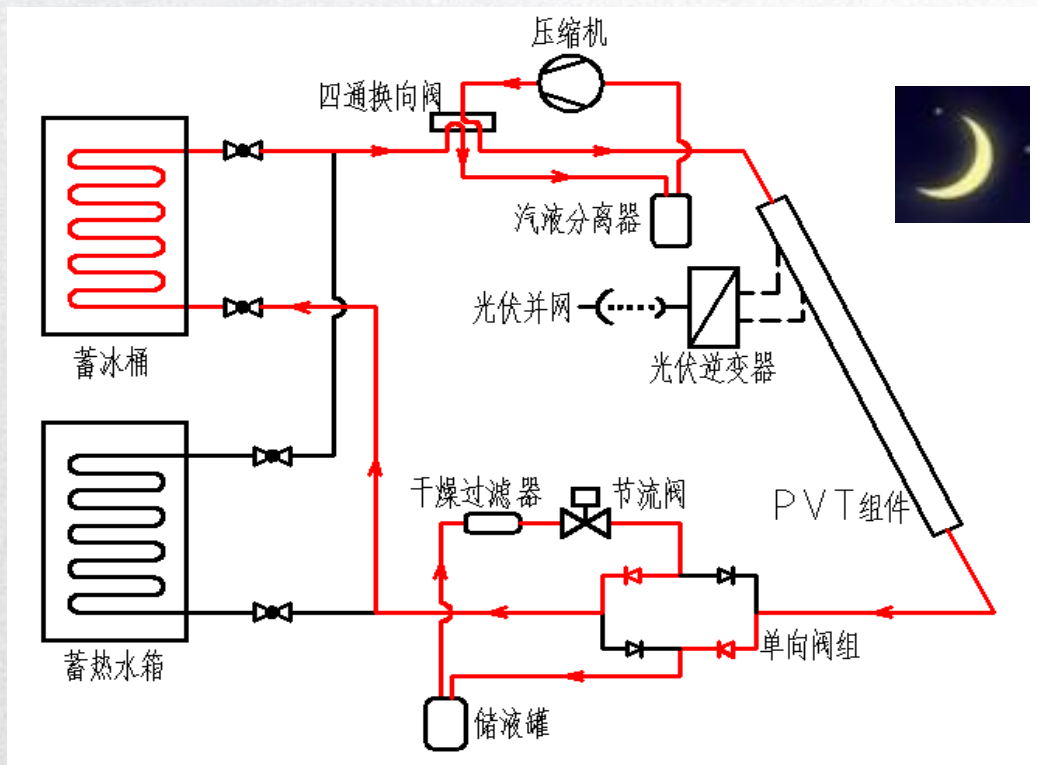


太阳能PVT热泵综合能源技术成果

□ 研究所提出了太阳能PVT热泵热电冷及生活热水综合能源系统

• PVT热泵系统构成

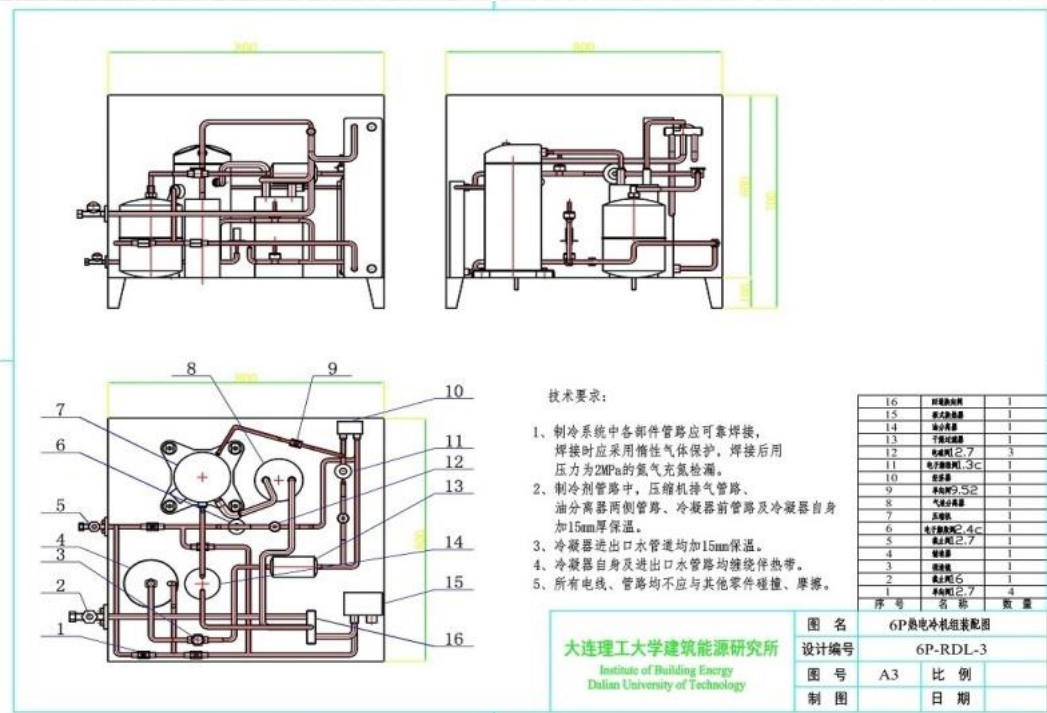
- ✓ PVT组件
- ✓ 压缩机
- ✓ 四通换向阀
- ✓ 生活热水箱
- ✓ 蓄热（冷）水箱
- ✓ 节流阀组
- ✓ 光伏逆变器
- ✓ 系统控制器
- ✓ 其它部件



太阳能PVT热泵综合能源技术成果

研究所提出了太阳能PVT热泵热电冷及生活热水综合能源系统

- PVT热泵机组：委托大连冰山空调加工





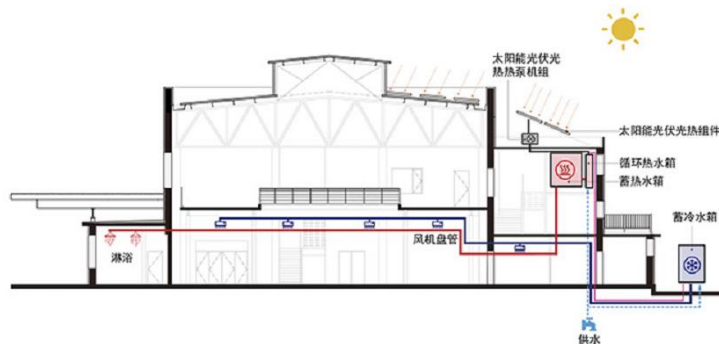
太阳能PVT热泵综合能源技术成果

□ 研究所提出了太阳能PVT热泵热电冷及生活热水综合能源系统

- 大连理工大学体能训练中心3台6HP太阳能综合能源系统：



太阳能PVT三联供系统



太阳能PVT热泵热电冷三联供系统制在满足建筑夏季供冷、冬季供热、全年供电并提供生活热水的基础上，实现太阳能、空气能的综合高效利用。该系统配置3套6HP PVT热电冷热泵机组，每日为体能训练中心提供42℃洗浴热水9吨，夏季为700m²活动场地供冷，全年光伏发电。该系统为大连理工大学建筑能源研究所自主研发，本项目为PVT热泵系统首次应用到工程实践。





太阳能PVT热泵综合能源技术成果

□ 研究所提出了太阳能PVT热泵热电冷及生活热水综合能源系统

- 大连理工大学体能训练中心3台6HP太阳能综合能源系统：




- ✓ 2021年1月1日运行：白天发电，夏季白天制热、夜间制冷，冬季制热水、供暖
- ✓ 制热水：55°C；夏季32-35吨/天，COP>4.8；冬季12-15吨/天，COP>3.0
- ✓ 制冷水：夜间10点-次日5点，18吨7°C冷水，白天4小时供冷；COP>2.3
- ✓ 发电：平均110kWh/天，年发电4万kWh（装机容量29kW）



太阳能PVT热泵综合能源技术成果

研究所提出了太阳能PVT热泵热电冷及生活热水综合能源系统



T/CECS 830-2021

中国工程建设标准化协会标准

太阳能光伏光热热泵系统
技术规程

Technical specification for solar photovoltaic
and thermal heat pump system

中国工程建设标准化协会标准

太阳能光伏光热热泵系统 技术规程

Technical specification for solar photovoltaic
and thermal heat pump system

T/CECS 830-2021

主编单位：中国建筑科学研究院有限公司
批准单位：中国工程建设标准化协会
施行日期：2021年8月1日

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2018年第二批协会标准制订、修订计划〉的通知》(建标协字〔2018〕030号)的要求,规程编制组经广泛调查研究,结合工程实践,认真总结经验,并在充分征求意见的基础上,编制本规程。

本规程共分9章和1个附录,主要技术内容包括:总则,术语,基本规定,设备,设计,施工安装,调试、检验与验收,性能评价,运行维护等。

请注意本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利,本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会建筑环境与节能专业委员会归口管理,由中国建筑科学研究院有限公司负责具体技术内容解释。如有需要修改和补充之处,请将有关意见和建议寄送解释单位(地址:北京市朝阳区北三环东路30号环能院,邮编:100013),以供今后修订时参考。

主编单位:中国建筑科学研究院有限公司
参编单位:大连理工大学





Part III

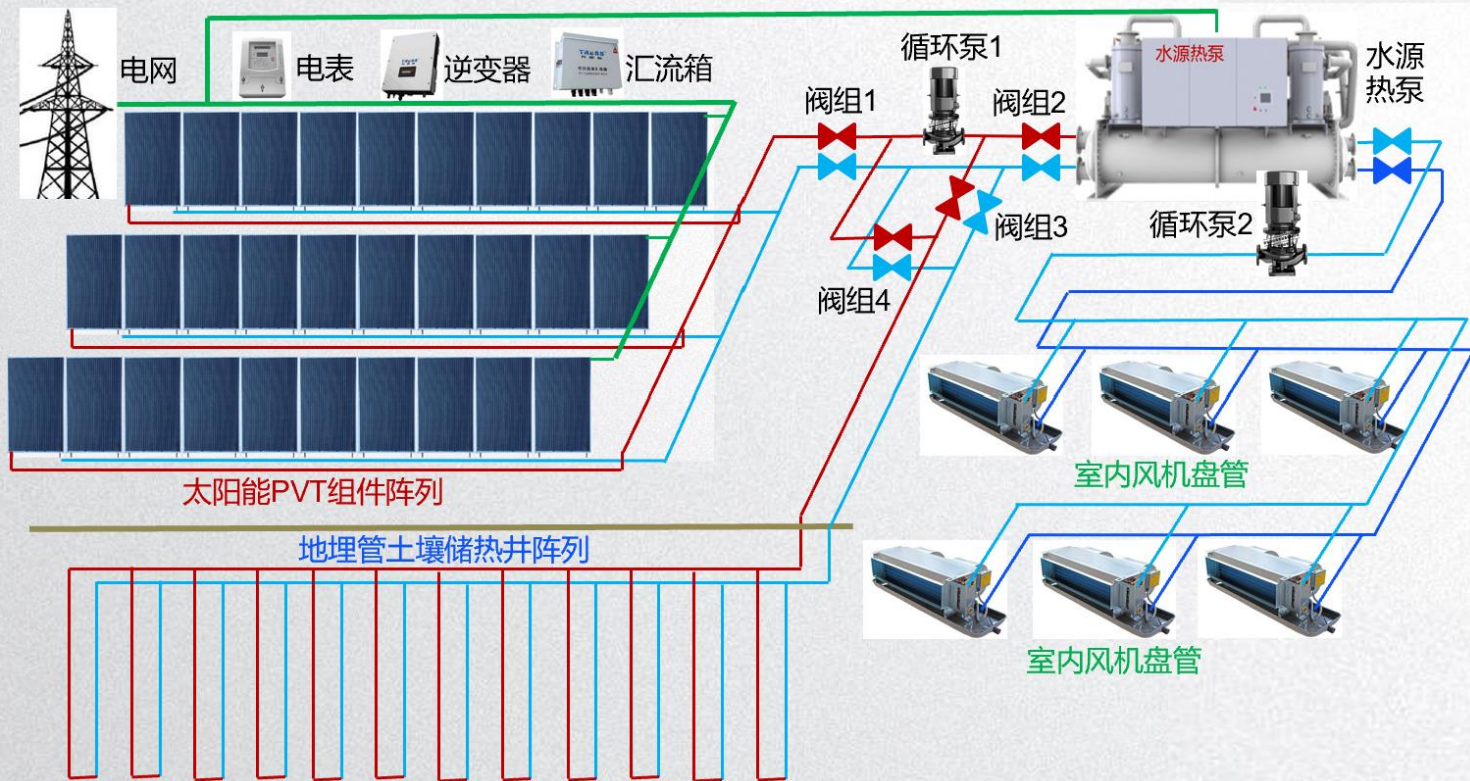
太阳能土壤跨季储能工程技术方案

- PVT热泵跨季冷热双储技术方案
- 大连等5个技术方案



太阳能土壤跨季储能工程技术方案

提出了PVT热泵土壤跨季**冷热双储**综合能源技术方案



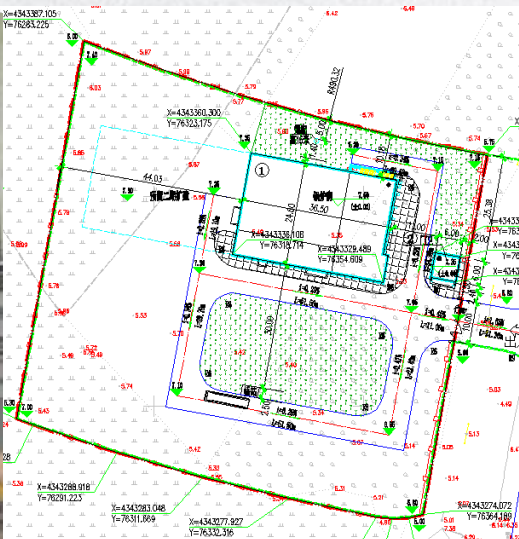
- 夏季蓄热工况
- 夏季制冷工况
- 冬季供热工况
- 全年生活热水
- 全年电力供应
- 电力自给自足



太阳能土壤跨季储能工程技术方案

□ 案例1：大连某乡镇小区太阳能跨季储能集中供热技术方案

- 项目概况：面积12万m²，3台燃气锅炉，供热成本46元/m²，热费26元/m²，年亏损240万元，拟进行改造

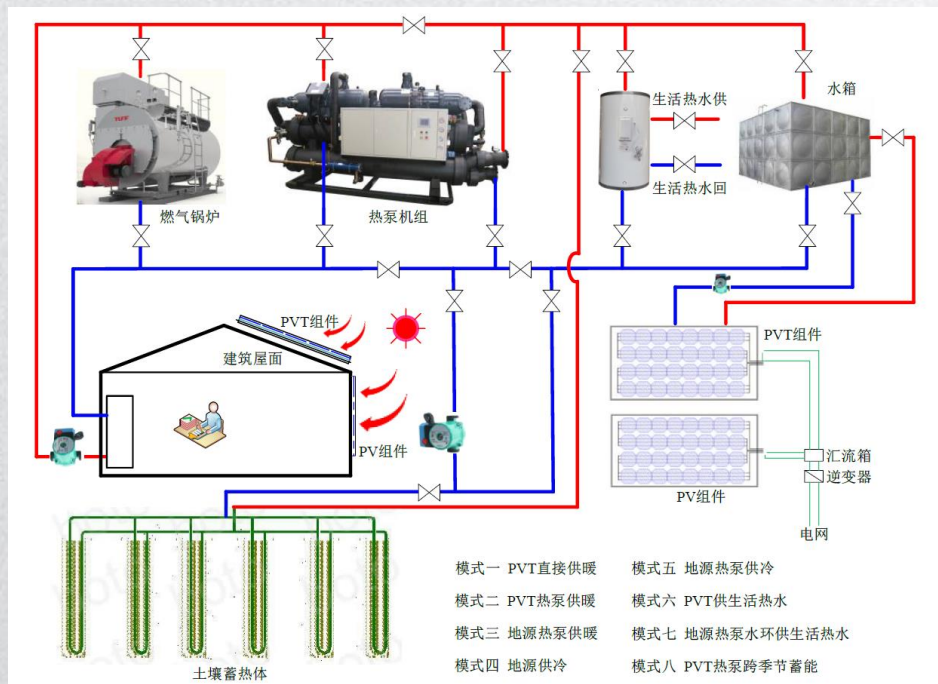




太阳能土壤跨季储能工程技术方案

□ 案例1：大连某乡镇小区太阳能跨季储能集中供热技术方案

- 项目方案：PVT热泵+土壤跨季储能+燃气锅炉

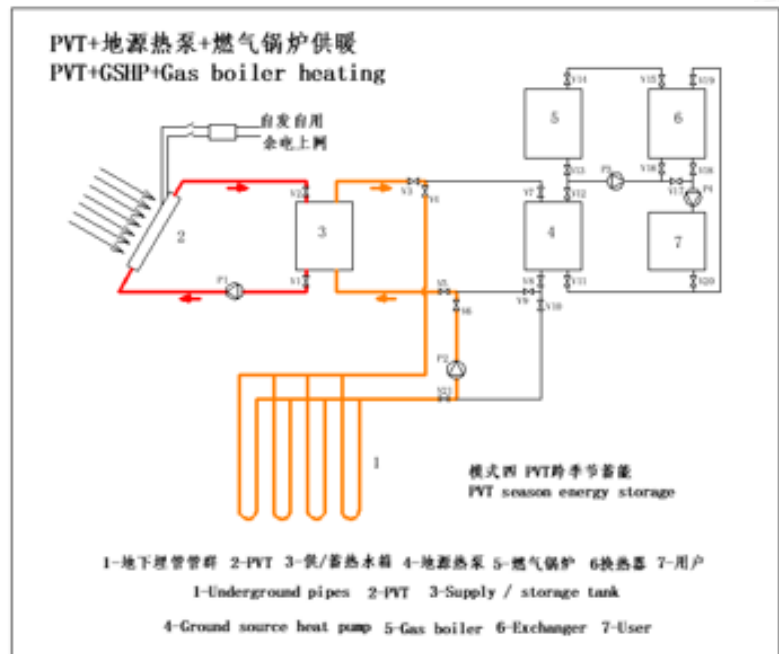
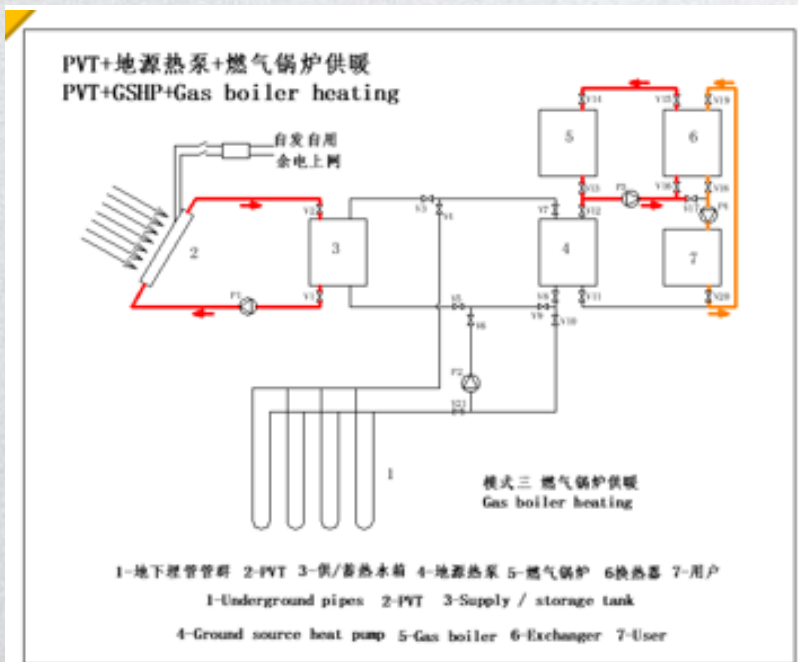




太阳能土壤跨季储能工程技术方案

案例1：大连某乡镇小区太阳能跨季储能集中供热技术方案

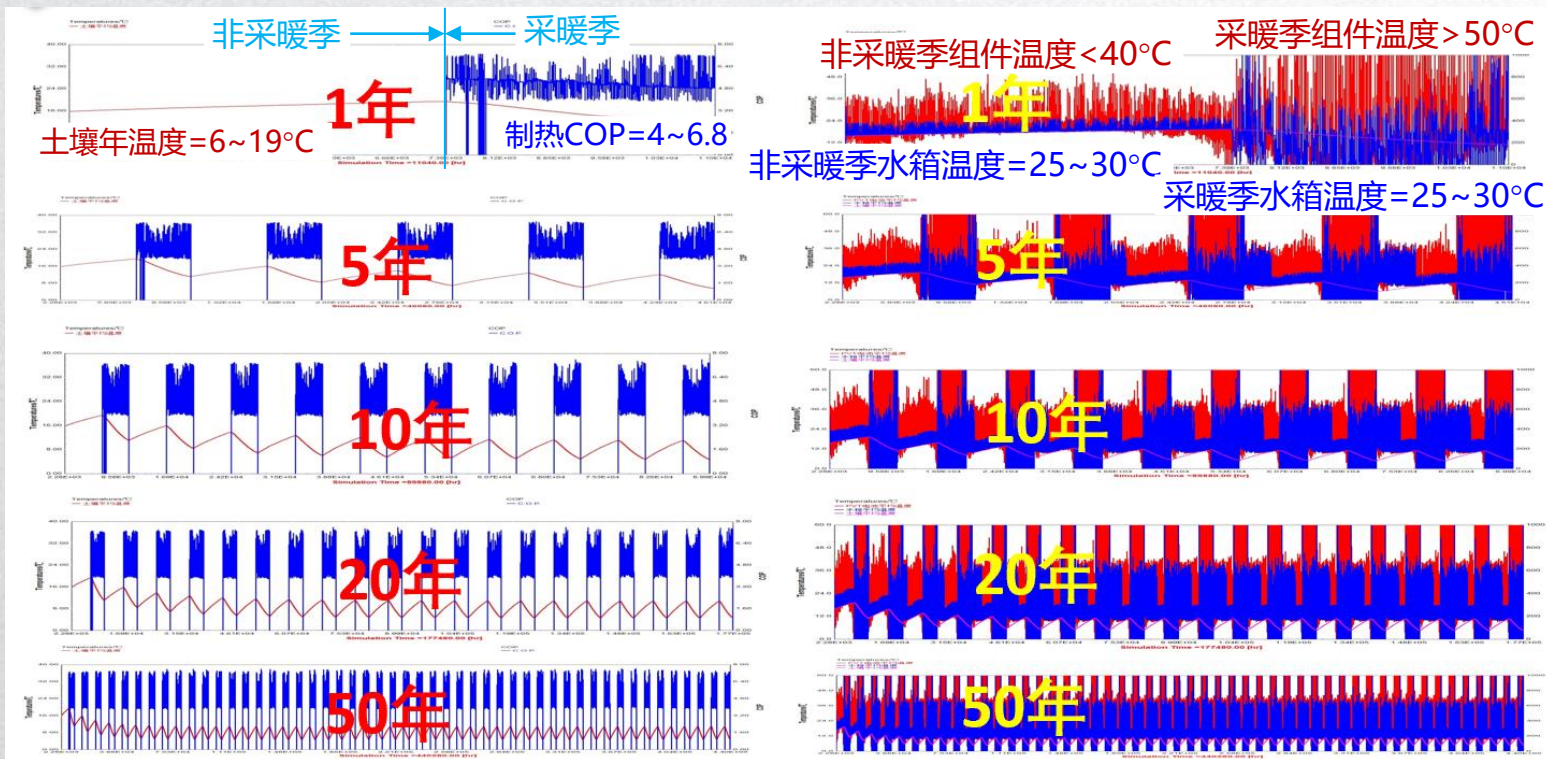
- 全年运行工况分析



太阳能土壤跨季储能工程技术方案

□ 案例1：大连某乡镇小区太阳能跨季储能集中供热技术方案

- 50年土壤温度和热量平衡分析：土壤温度6-19°C，COP_热>5.1





太阳能土壤跨季储能工程技术方案

□ 案例1：大连某乡镇小区太阳能跨季储能**集中供热**技术方案

- 技术经济性分析：3.8年收回成本，年净收益73万元，解决73.5%的燃气需求

序号	科目名称	数量/万元	元/m ²	备注
1	PVT热泵工程总投资	1419.7	118.3	单位平米工程投资：约120元/m²
2	总运行费用	263.5	22.0	包括水源热泵、循环泵、燃气锅炉等设备得运行费，以及维护费和人工费； 扣除发电收益后，运行成本15.3元/m²
3	原系统运行费用	552.0	46.0	现有燃气锅炉冬季供暖运行费为46元/平方米
4	太阳能发电收益	80.6	6.7	全年太阳能发电模拟结果为80.6万元，自发自用收益
5	节能改造后净收益	369.1	30.8	
6	改造后止亏年限（年）	3.8		即节能改造后3.8个采暖季就可收回改造投资
7	年供暖收益	327.0	27.3	收费标准为公建31元/m ² ，居住26元/m ² ，综合为27.3元/m ²
8	年总收益	407.6	34.0	
9	年净收益	144.1	12.0	
10	固定资产折旧费	71.0	5.9	按20年计算
11	扣除固定资产年净收益	73.1	6.1	





太阳能土壤跨季储能工程技术方案

□ 案例1：大连某乡镇小区太阳能跨季储能**集中供热**技术方案

- 考虑夏季供冷后经济性分析：辖区内有中学和某驻军大院

	止亏年限/年	解决燃气采暖比例
未考虑供冷	3.8	73.5%
增加学校1万平方米商业制冷	3.0	74.9%
增加1.5万平方米商业制冷	2.5	75.2%
增加2万平方米商业制冷	2.1	75.6%
增加2.5万平方米商业制冷	1.7	75.9%
增加3万平方米商业制冷	1.3	76.2%

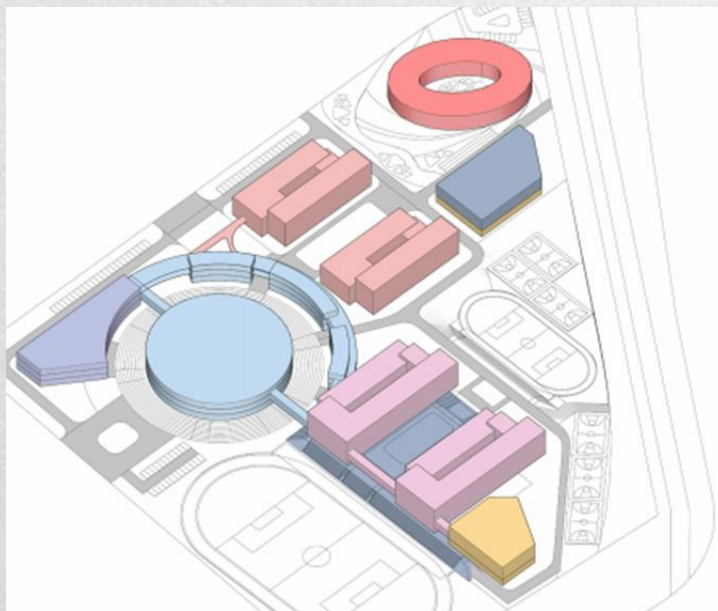




太阳能土壤跨季储能工程技术方案

□ 案例2：大连市郊某中学太阳能土壤跨季储能热电冷综合能源技术方案

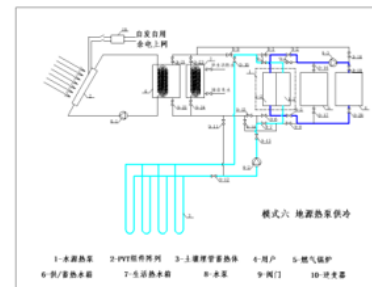
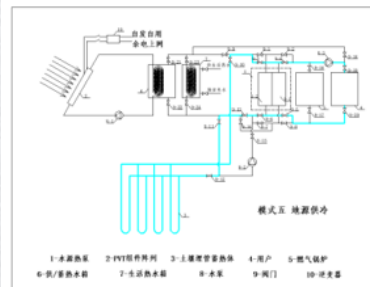
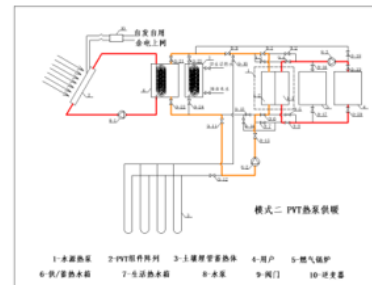
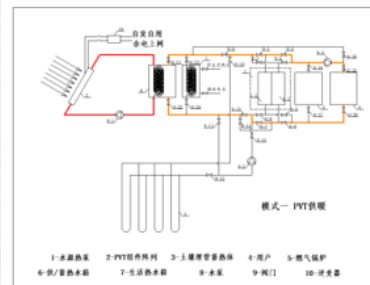
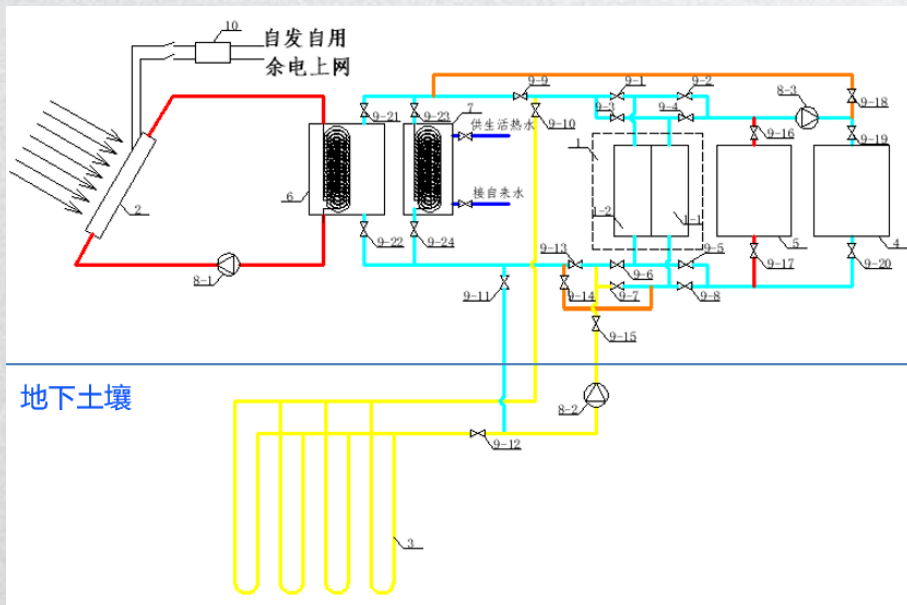
- 概况：供暖8.76万m²，空调2.64万m²，游泳馆需要生活热水



太阳能土壤跨季储能工程技术方案

案例2：大连市郊某中学太阳能土壤跨季储能热电冷综合能源技术方案

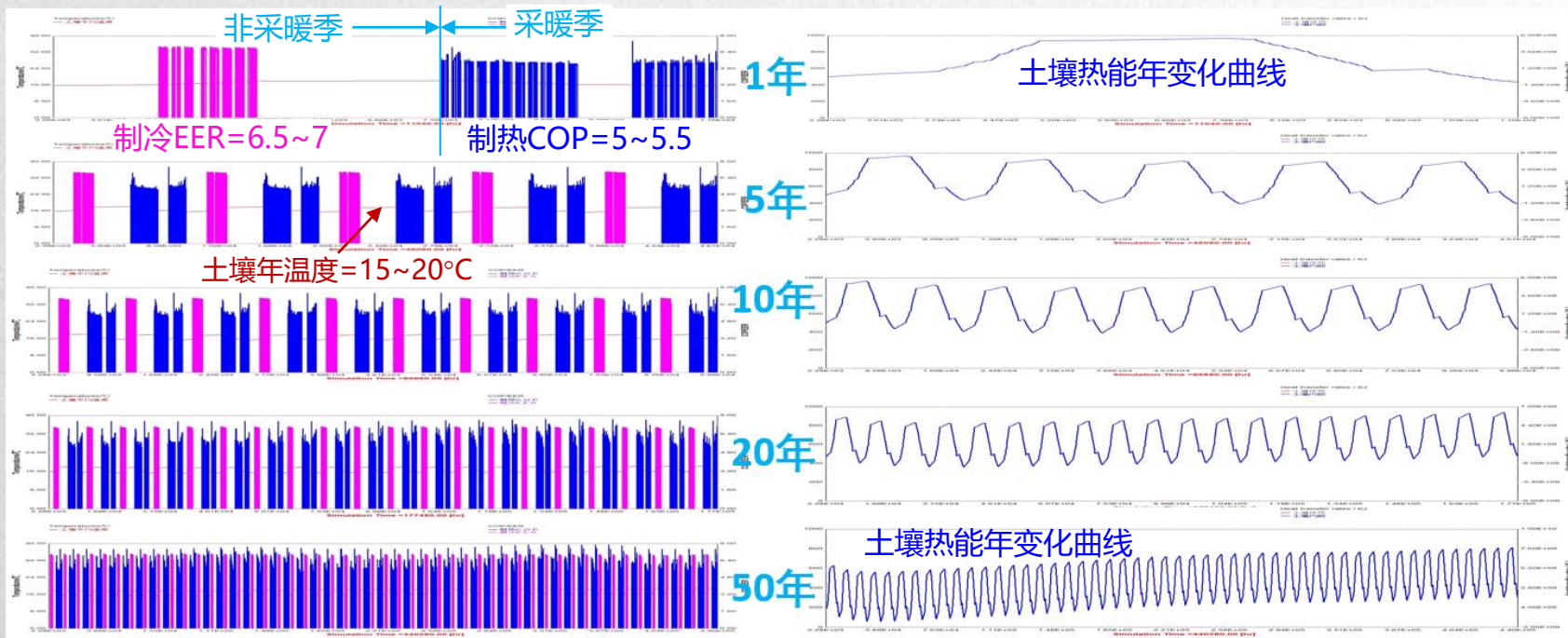
- 方案：PVT热泵土壤跨季储能热电冷及生活热水综合能源技术



太阳能土壤跨季储能工程技术方案

□ 案例2：大连市郊某中学太阳能土壤跨季储能热电冷综合能源技术方案

- 50年土壤温度和热量平衡分析：土壤温度 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ ，制热和制冷 $\text{COP}>5.0$ ，热泵机组排热全部回收利用

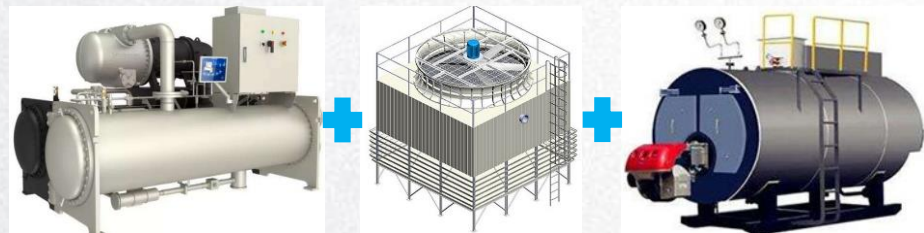


太阳能土壤跨季储能工程技术方案

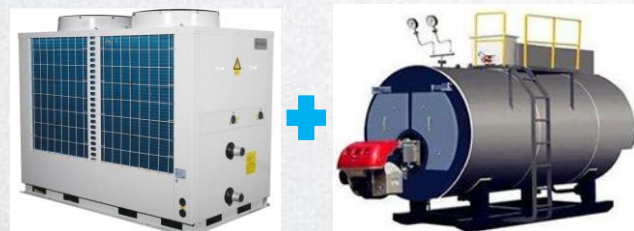
□ 案例2：大连市郊某中学太阳能土壤跨季储能热电冷综合能源技术方案

• 技术经济性分析：与常规方案对比（锅炉房除外）

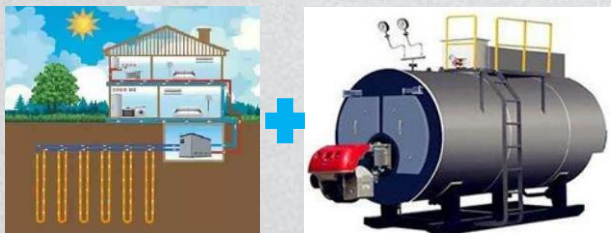
- ✓ 方案1：PVT热泵跨季冷热双储
- ✓ 方案2：冷水机组+燃气锅炉供热
- ✓ 方案3：空气源热泵+燃气锅炉
- ✓ 方案4：地源热泵+燃气锅炉
- ✓ 方案5：燃气多联机



方案2：冷水机组+燃气锅炉供热



方案3：空气源热泵+燃气锅炉供热



方案4：地源热泵+燃气锅炉供热



方案5：燃气多联机





太阳能土壤跨季储能工程技术方案

□ 案例2：大连市郊某中学太阳能土壤跨季储能热电冷综合能源技术方案

- 技术经济性分析：该技术运行成本最低、投资回收期最短、ROE值最高(>15%)

序号	对比科目	方案1 PVT热泵	方案2 冷机+燃气炉	方案3 空气源热泵+燃气锅炉	方案4 地源热泵+燃气锅炉	方案5 燃气多联机
1	工程总投资(万元)	1505.7	1006.5	1136.2	1293.8	-
2	含末端工程投资(万元)	2505.7	2006.5	2136.2	2293.8	3328.8
3	单位面积投资(元/m ²)	171.9	114.9	129.7	147.7	380
4	年总运行成本(万元/年)	78.9	157.5	186.5	148.0	118.6
5	单位面积运行成本(元/m ²)	9.0	18.0	21.3	16.9	13.5
6	年运行毛收入(万元/年)	389.6	318.6	318.6	318.6	318.6
7	年净收益(万元/年)	310.7	161.1	132.1	170.6	200
8	单位面积净收益(元/m ²)	35.5	18.4	15.1	19.5	22.8
9	静态投资回收期(年)	4.8	6.2	8.6	7.6	16.6
10	相对投资回收期(年)	-	3.3	2.1	1.5	-7.4
11	净资产收益率(ROE)	15.6%	11.0%	6.6%	8.2%	-



太阳能土壤跨季储能工程技术方案

□ 案例2：大连市郊某中学太阳能土壤跨季储能热电冷综合能源技术方案

- 环境效益分析：该技术碳排放量最低，仅为其它方案的3-5%

序号	对比科目	方案1 PVT热泵	方案2 冷机+燃气锅炉	方案3 空气源热泵+燃气锅炉	方案4 地源热泵+燃气锅炉	方案5 燃气多联机
1	年耗电量(万kWh/年)	0.0	36.8	45.6	32.4	0
2	年燃气消耗量(万m ³ /年)	1.9	44.1	48.0	39.0	33.3
3	年消耗标煤量(吨/年)	23.0	693.7	778.4	612.8	404.4
4	年碳排放量(吨/年)	57.3	1729.0	1940.2	1527.5	1007.9
5	年NO _x 排放量(吨/年)	0.9	26.0	29.2	23.0	15.2
6	年SO ₂ 排放量(吨/年)	1.7	52.0	58.4	46.0	30.3
7	年粉尘排放量(吨/年)	15.6	471.7	529.3	416.7	275.0
8	相对碳交易收益(元)	0.0	-35446.7	-39924.0	-31173.6	-20156.1

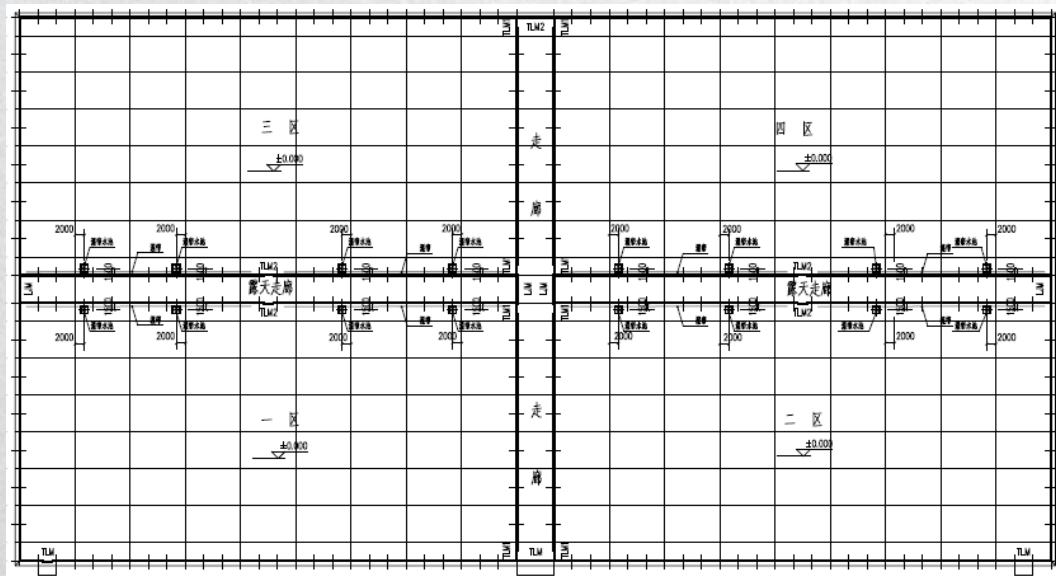




太阳能土壤跨季储能工程技术方案

□ 案例3：潍坊某玻璃温室PVT热泵土壤冷热跨季双储综合能源技术方案

- 项目概况：长224m，宽118m，占地面积2.64万m²（40亩地）；冬季供暖118天x24h，夏季降温92天x12h；冬季供暖室内温度16℃，夏季室内温度28℃

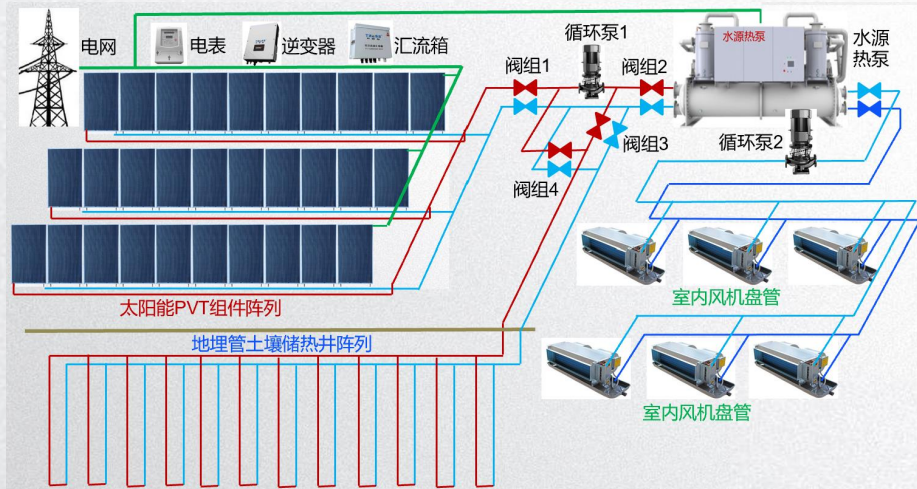




太阳能土壤跨季储能工程技术方案

□ 案例3：潍坊某玻璃温室PVT热泵土壤冷热跨季双储综合能源技术方案

- 系统方案：冬季热负荷2088kW，夏季冷负荷903kW，2台水源热泵机组，PVT组件1558块（5601m²，遮光率19.3%），蓄热井310口（约5000m²）；地盘管+风机盘管+缀铝保温膜
- 关键参数：蓄热井储热量10228GJ，机组冷凝器贡献20%，PVT贡献80%（夏季运行140天）；发电量99.7万度，耗电量98.6万度



太阳能土壤跨季储能工程技术方案

□ 案例3：潍坊某玻璃温室PVT热泵土壤冷热跨季双储综合能源技术方案

- 经济性分析：系统收益=供暖费+降温费+发电费+冬夏亩产收益（10万元/亩）

序号	类别	科目名称	数量/万元（含税）	数量/万元（不含税）	元/m2
1	总投资	PVT热泵工程总投资	995.06	912.90	376.46
2	运行成本	设备年运行费用	49.32	45.25	18.66
3		年维护费用	2.64	2.34	1.00
4		年人工费用	6.00	6.00	2.27
5		系统年运行费用	57.96	53.59	21.93
6	年收益	太阳能年发电收益	49.73	45.63	18.81
7		系统供热、供冷和亩产纯收益	326.13	299.20	123.38
8		系统总年收益	375.86	344.83	142.20
9		系统年净收益	317.90	291.24	120.27
10	管理费用	固定资产折旧	49.75	49.75	18.82
11	财务费用	银行贷款利息	0.00	0.00	0.00
12	税费	企业所得税	67.04	60.37	25.36
13	净利润	系统年净利润	201.11	181.11	76.09
14		静态投资回收期（年）	5.04		
15		净资产收益率（ROE）	19.84%		

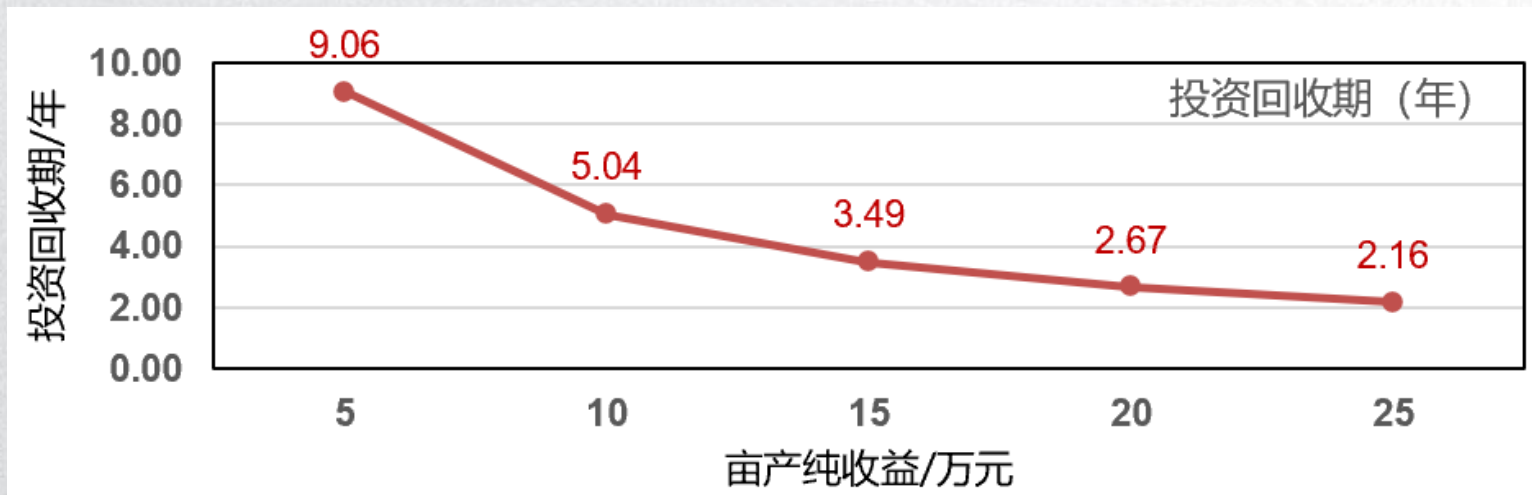




太阳能土壤跨季储能工程技术方案

□ 案例3：潍坊某玻璃温室PVT热泵土壤冷热跨季双储综合能源技术方案

- 经济性分析：系统收益=供暖费+降温费+发电费+冬夏亩产收益



太阳能土壤跨季储能工程技术方案

□ 案例3：潍坊某玻璃温室PVT热泵土壤冷热跨季双储综合能源技术方案

- 玻璃温室太阳能能源站=玻璃温室用能+附近村镇居民冬季集中供热

序号	PVT阵列倍数	1	2	3	4	5
1	PVT数量 (块)	1568	3136	4704	6272	7840
2	PVT遮光率	19.31%	38.63%	57.94%	77.26%	96.57%
3	PVT发电量 (万kWh)	99.67	199.34	299.01	398.68	498.35
4	玻璃温室制冷制热所需电量 (万kWh)	98.64	98.64	98.64	98.64	98.64
5	剩余电量 (万kWh)	1.03	100.70	200.37	300.04	400.71
6	PVT产热量 (KW)	2022.59	4045.18	6067.77	8090.36	10112.95
7	玻璃温室制热所需热量 (KW)	2022.59	2022.59	2022.59	2022.59	2022.59
8	剩余热量 (KW)	0	2022.59	4045.18	6067.77	8090.36
9	余热供暖热负荷指标 (W/m ²)	60	60	60	60	60
10	居民供暖面积 (万m ²)	0.00	3.37	6.74	10.11	13.48
11	供暖户数 (户)	0	225	449	674	899
12	热水产量 (吨/d)	155	309	464	618	773
13	玻璃温室制冷制热系统初投资 (万元)	995	995	995	995	995
14	玻璃温室主体结构投资 (万元)	664	664	664	664	664
15	供暖集中供热管网费用 (万元)	0	135	270	405	539
16	居民供暖PVT投资 (万元)	0	995	1990	2985	3980
17	总投资 (万元)	1659	2789	3919	5049	6179
18	净利润 (万元)	181	358	535	712	889
19	投资回收期 (年)	9.2	7.8	7.3	7.1	7.0

产民一体、一产多用可行性很大!



太阳能土壤跨季储能工程技术方案

案例4：富平县整县推进太阳能跨季储能热电冷综合能源技术方案

- 自然概况：下辖14个镇、268个村，人口64万；城乡建设需要；特色农业种养需要；工业园区建设需要。建筑需要采暖空调，采暖天数为120天；太阳能丰富

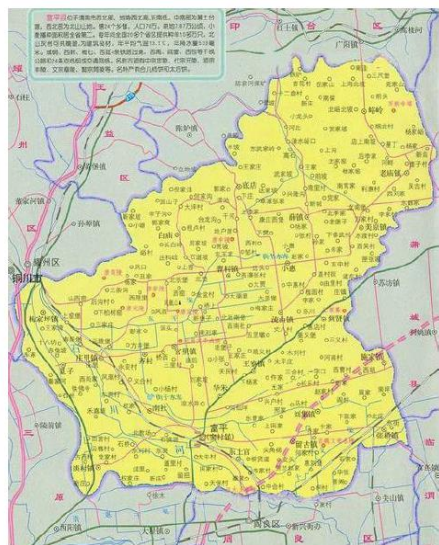


图1 富平地理位置



发展太阳能+产业，促进乡村振兴，实现碳中和

富平县域PVT热泵跨季节储能近零碳综合能源解决方案项目建议书





太阳能土壤跨季储能工程技术方案

□ 案例4：富平县整县推进太阳能跨季储能热电冷综合能源技术方案

- 项目建议：发展太阳能+产业，促进乡村振兴，实现碳中和

表1 既有建筑可利用屋顶面积

编号	项目所依托建筑	屋顶总面积 (m ²)	可利用屋顶面积 (m ²)
1	党政机关办公楼	37000	22200
2	学校	202638	87134
3	医院	60340	27153
4	村委会	45400	20884
5	工商业厂房	1568000	533120
6	合计	1913378	690491



太阳能土壤跨季储能工程技术方案

□ 案例4：富平县整县推进太阳能跨季储能热电冷综合能源技术方案

- 项目建议：发展太阳能+产业，促进乡村振兴，实现碳中和

表2 市场潜力及投资估算

序号	应用场景	面积 (万 m ²)	热负荷 (MW)	投资 (亿元)
1	规模化种植、养殖及农产品加工园区	200	200	6.7
2	工业园区	160	128	4.3
3	新建公共单体建筑(十四五期间)	100	60	2.0
4	既有公共单体建筑(十四五期间)	300	180	6.0
5	合计			18.9



太阳能土壤跨季储能工程技术方案

□ 案例4：富平县整县推进太阳能跨季储能热电冷综合能源技术方案

- 项目建议：发展太阳能+产业，促进乡村振兴，实现碳中和

表3 项目社会效益分析

序号	应用场景	面积 (万 m ²)	年收益 (亿元)	减少碳排放量 (万吨 CO ₂)
1	规模化种植、养殖及农产品加工园区*	200	3.0	6.5
2	工业园区*	160	67.3	4.2
3	新建公共单体建筑(十四五期间)	100	/	2.0
4	既有公共单体建筑(十四五期间)	300	/	5.9
5	合计		70.3	18.5

*注：规模化农业亩产按10万元/亩计算，工业园区按250万元/亩计算。





结 语

Part II





结 语

□ 双碳目标下，北方村镇发展太阳能综合能源所需解决的关键问题

- **问题1**：如何**一体化地**解决**采暖、空调、热水和用电**问题？
- **问题2**：是走**户式系统**、还是**集中式系统**的模式？
- **问题3**：如何解决**农业规模化生产用能**和**百姓居家供暖用能**一体化？

□ 上述问题的解决方案

- **方案1**：发展**集中式PVT热泵冷热跨季双储综合能源技术**，更有利于解决北方村镇建筑**采暖、空调、热水和用电**问题
- **方案2**：发展**产民一体、一产多用**的现代**太阳能玻璃温室能源站模式**，系统性解决乡村振兴农业生产用能和居民家庭用能问题
- **市场**：**万亿级**市场，前景广阔



谢谢！

张吉礼 教授.

建筑能源研究所所长

大连理工大学
建筑能源研究所

