

太阳能/地热能供暖技术应用

甘肃省建材科研设计院有限责任公司
甘肃省绿色建筑技术重点实验室
甘肃省中深层地岩热应用技术工程研究中心
蔺瑞山（高级工程师/项目经理）
2022年4月

目录

CONTENTS

- 01 背景
- 02 太阳能/地热能供暖技术
- 03 工程案例分析
- 04 结论



背景

◆背景：建筑业碳达峰任务紧迫

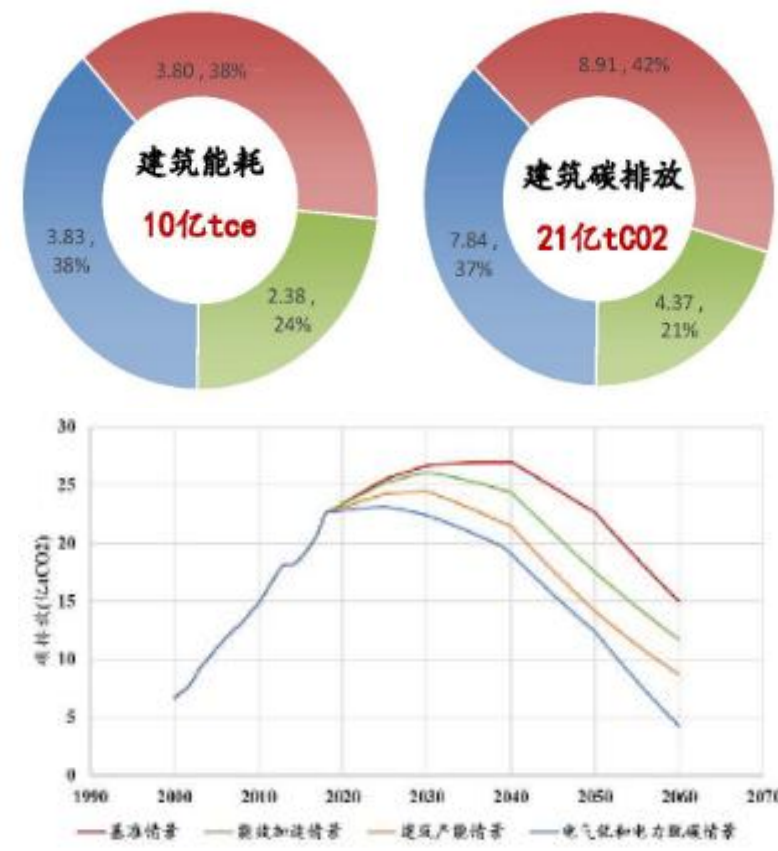
➤ 根据《中国建筑能耗研究报告（2020）》：

2018年全国建筑运行阶段碳排放占全社会总排放的22%；其中北方地区供暖碳排放占建筑运行阶段的26%，占全社会总碳排放的**5.7%**。是排放大户与平碳重点。

按现状，预计建筑行业碳达峰时间为2040年，2060年产生碳排放15亿t，将严重制约“碳达峰、碳中和”战略目标的实现。



亟需充分开发非碳基能源采暖技术



(《中国建筑能耗研究报告（2020）》)

- 2021年10月，国务院印发《2030年前碳达峰行动方案》中：“加快优化建筑用能结构。深化可再生能源建筑应用，……因地制宜推行热泵、生物质能、地热能、太阳能等清洁低碳供暖等。”
- 2021年1月，《国家能源局关于因地制宜做好可再生能源供暖工作的通知》：“因地制宜推广各类可再生能源供暖技术”。明确列出三个技术方向：地热能、生物质能、太阳能。



太阳能/地热能供暖技术

■ 太阳能供热技术

在建筑中应用形式

太阳能光热技术分类:

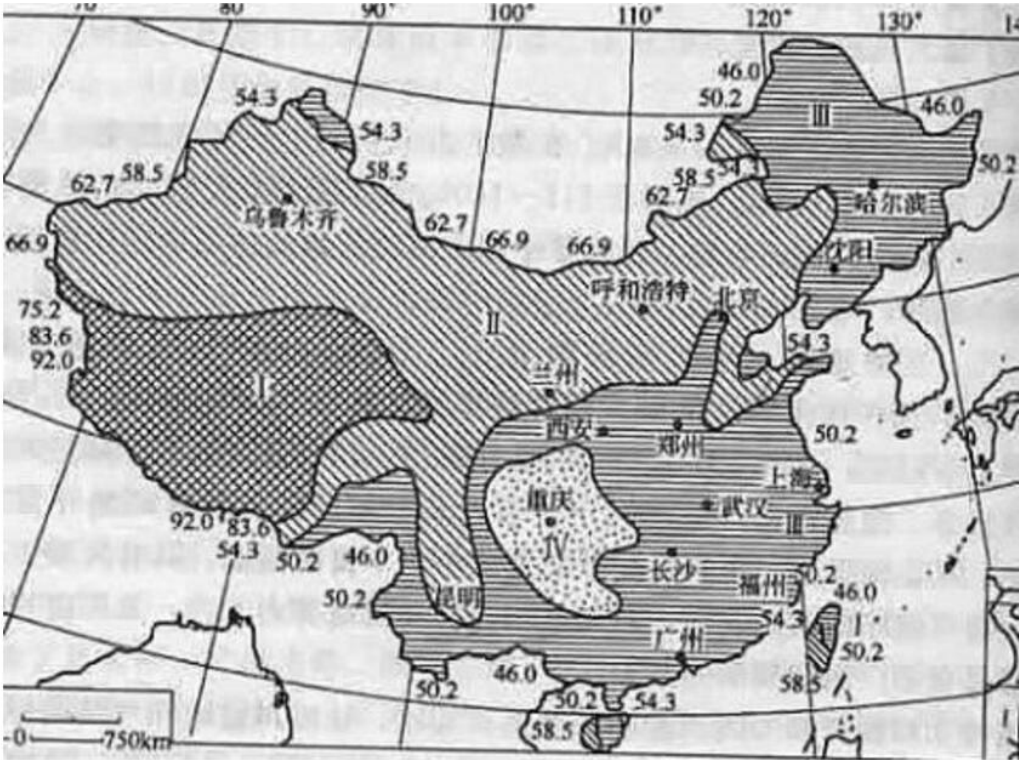
- 太阳能热水技术
 - 太阳能供暖技术
 - 太阳能制冷技术
 - 太阳能热发电技术
 - 其他形式的太阳能热利用技术
- 主动式：集热系统
- 被动式：受益窗、特朗勃墙、阳光间等

我国太阳能资源丰富，分为5类资源区。

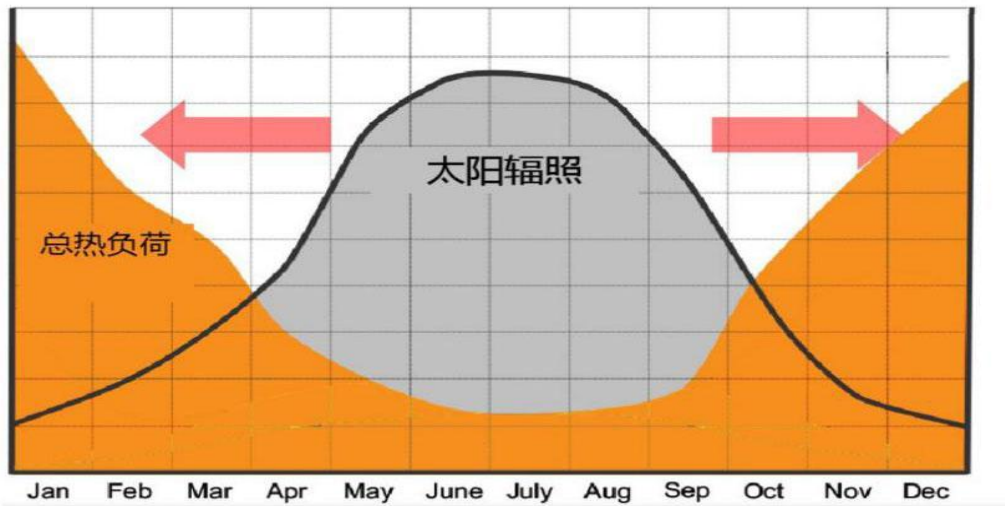
太阳能的特点：

- 1、总量大：取之不尽，用之不竭
- 2、普遍性：有阳光普照的地方，就可以利用太阳能
- 3、能量密度低：大气外层为1353W/m²，在地面上<1000W/m²
- 4、不稳定，不连续：

日夜更替的昼夜不平衡
四时变换的季节不平衡
阴晴雨雪随机不确定性



■ 太阳能供热技术

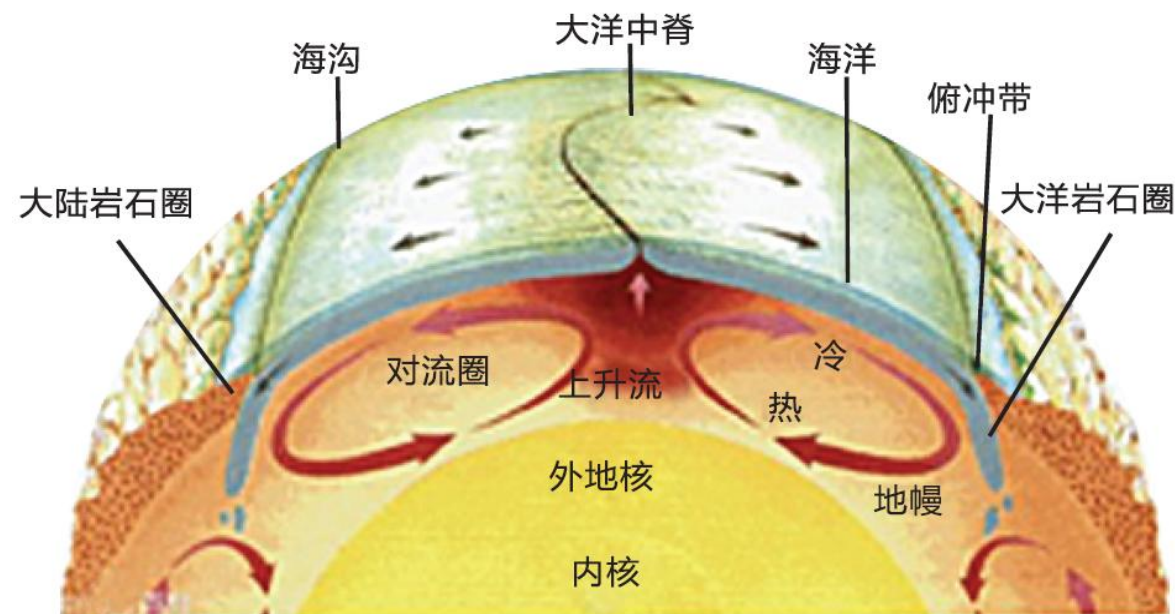


太阳能供给与热负荷
之间存在季节性不平
衡的矛盾

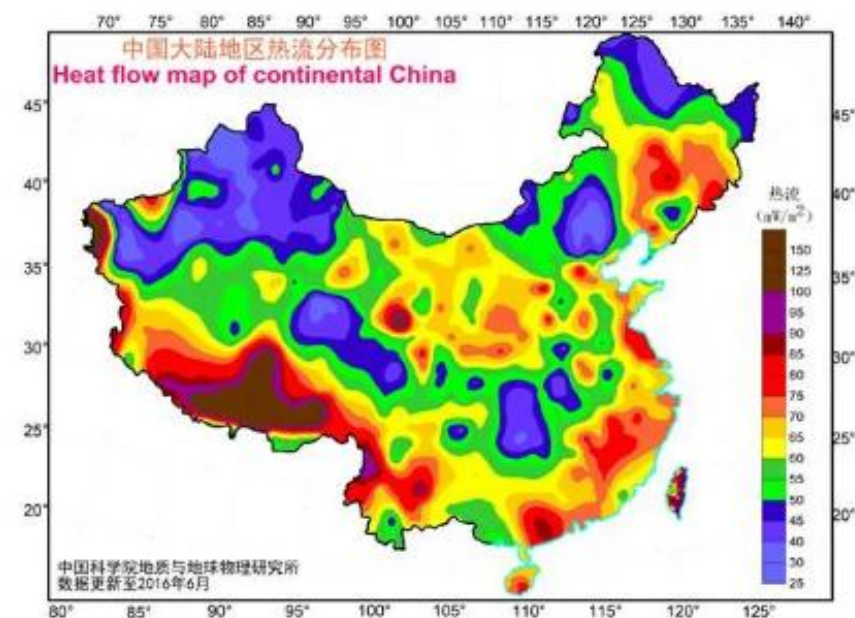
序号	解决途径	重点内容
1	多能互补的供能系统	研究太阳能与其他能源（燃气、热泵、地热、电、生物质能等）有效结合的匹配方式，提高保证率，所开发出的性能稳定可靠、具有市场竞争力的多能源互补供能系统
2	集成控制技术	研究太阳能与多能源互补系统集成控制技术，保证系统的安全性、可靠性及运行经济性
3	跨季节蓄热技术	研究太阳能光热系统的年平衡和跨季节蓄热技术

■ 地热能简介

- 地热能：赋存于地球内部岩土体、流体和岩浆体中，能够为人类开发和利用的热能。
- 地热能利用的基本公理是地温随着深度的增加而升高。地壳层平均地温梯度为 $3^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 。
- 热源：上地壳放射性元素生热、地幔热流、附加岩浆热源。
(张超,胡圣标等, 2022)
- 地热富集区：主要为板块边界（如俯冲碰撞带、火山岛弧）、板内沉积盆地等。
- 地热资源量：我国陆域地热资源量为856万亿tce，中低温资源丰富。可开采量约为2015年全国能源消耗总量的4000倍。
- 地热能具有储量大、连续稳定、热品位高等特点，不受气候、季节等因素的影响，在可再生能源中，有潜力成为基本载荷能源。



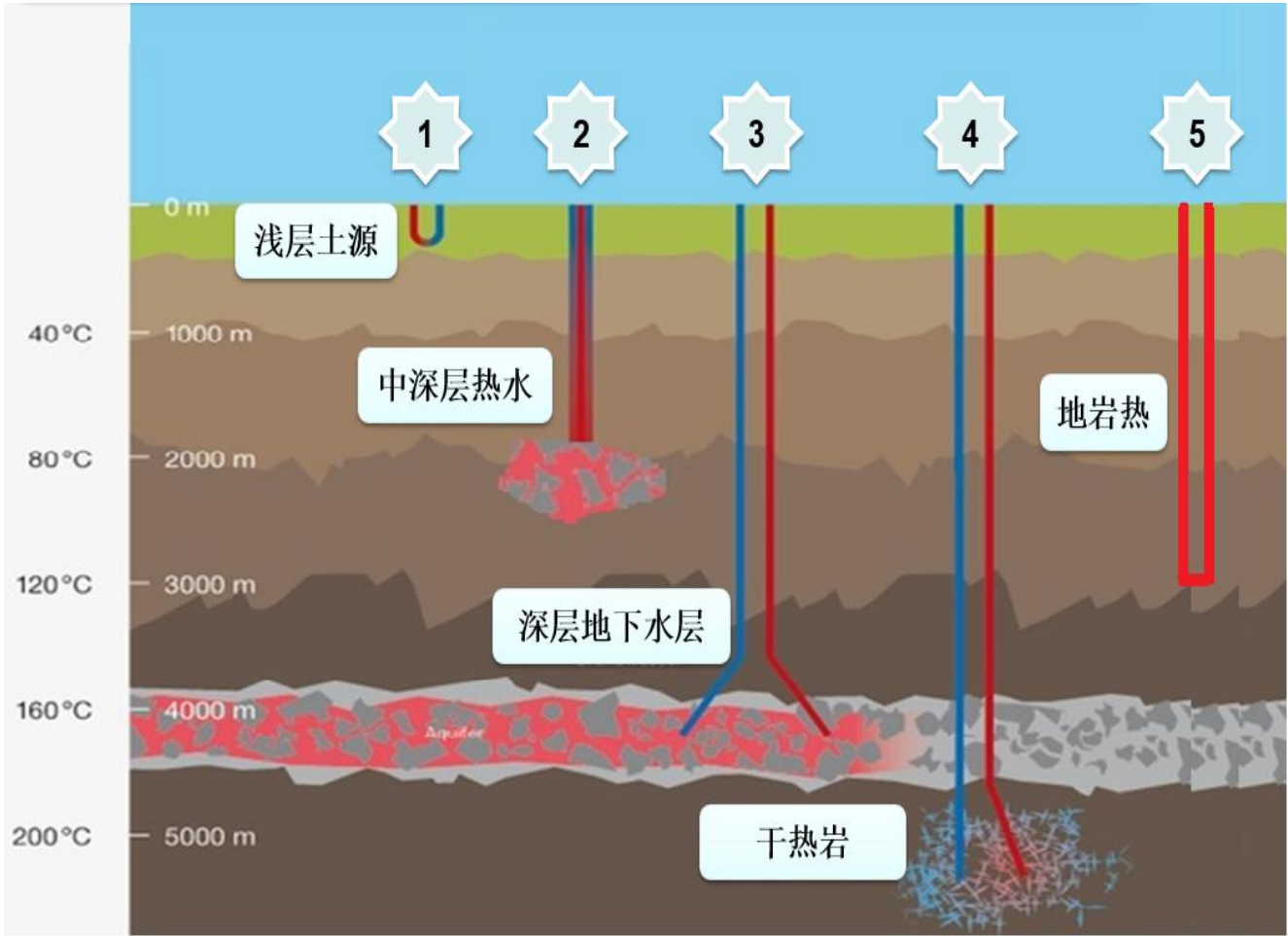
地幔对流



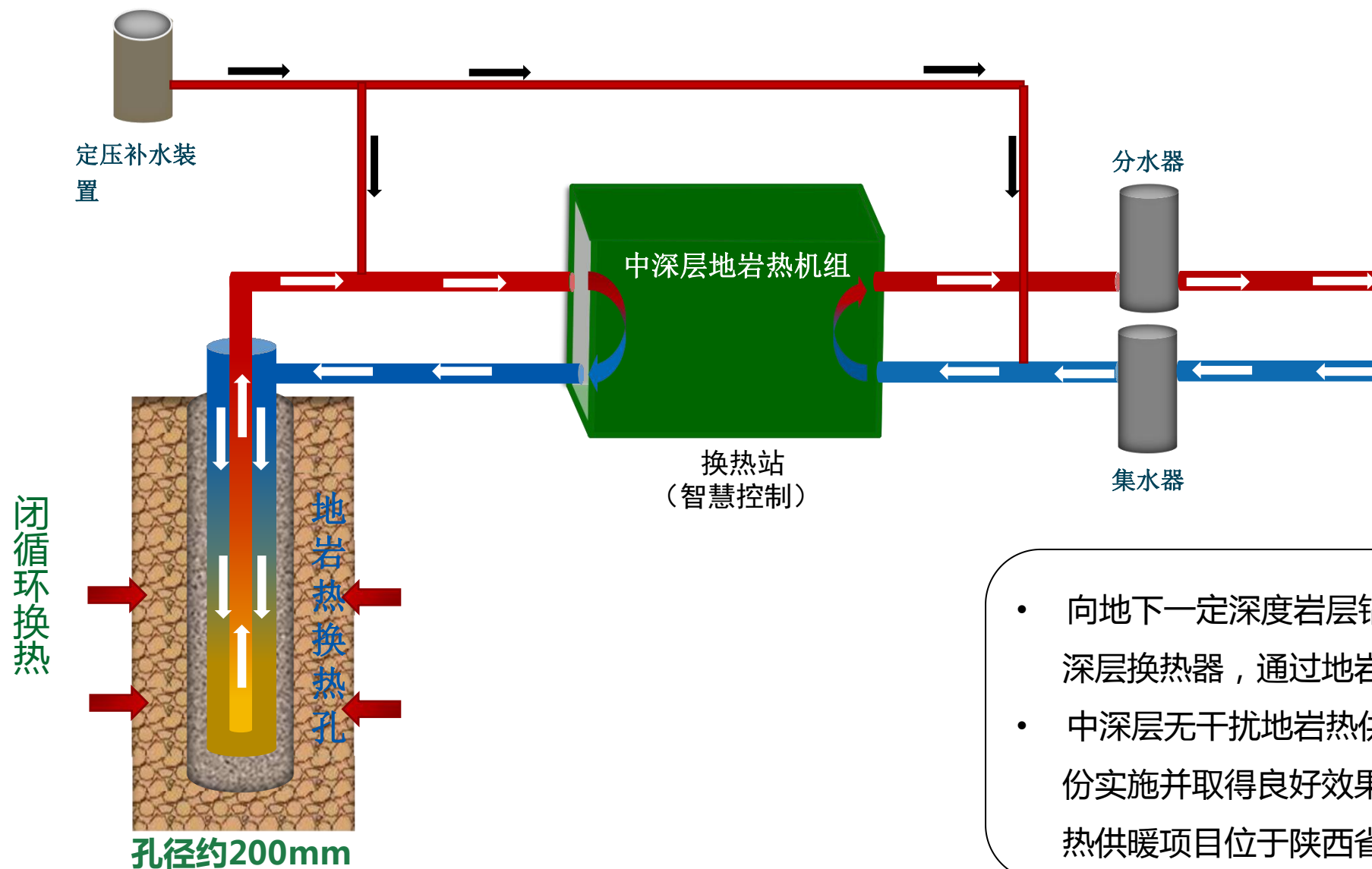
中国大陆地区大地热流图 (姜光政等, 2016) 8

■ 地热能技术分类

分 类		定 义	特 点
依据深度划分	浅 层	0~200m，主要来自太阳辐射对地表土壤的加热。	- 热品位低，能流密度较小。 - 冷热平衡问题。
	中深层	200~4000m，主要来自地球内热。	- 能流密度大，地温恢复快。 - 是地热能开发研究的主要方向。
依据载体划分	水热型	赋存于天然地下水及蒸汽中。	- 热能品位高，利用效率高。 - 同层等量回灌技术难度大，保护政策严格。
	岩热型	赋存于地下岩土体中，主要通过岩土体热传导形成。	普遍存在，储量大。



■ 中深层无干扰地岩热技术原理



- 向地下一定深度岩层钻孔，在钻孔中安装封闭循环的深层换热器，通过地岩热泵系统向建筑物供热。
- 中深层无干扰地岩热供暖发展迅速，已在北方多个省份实施并取得良好效果。目前国内最大的中深层地岩热供暖项目位于陕西省，已实现3000万 m^2 建筑供暖。

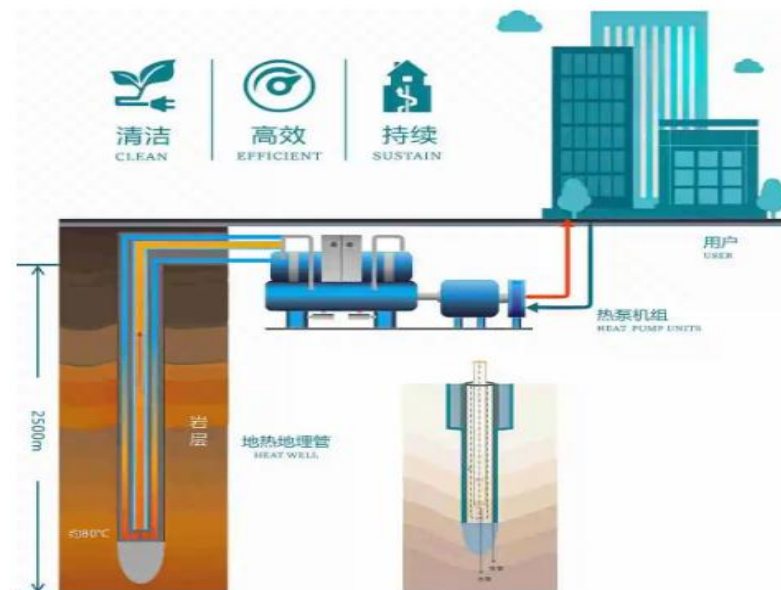
■ 技术特点

✓ 优点：

- 井下封闭换热，取热不取水，对地下水、土壤等自然环境无干扰。
- 分布式自主供热，不受地域条件限制，无需市政管网接入。
- 自动化程度高，无人值守。
- 运行成本低。
- 绿色低碳，运行过程不产生CO₂排放。

× 缺点：

- 单井能流密度较低。
- 一次性初始投资略高。



■ 存在的问题

1、工程应用先于研究。

我国中深层无干扰地岩热技术的发展特点是：先有工程应用，后有研究开发；理论研究（数值模拟）较多，实验研究较少；定性研究较多，定量研究较少；大地热流基础数据、热源成因机制、浅部控热机制等尚有很大空间。由于开采深度深、钻井成本和设备成本高，建立实验平台不易，导致实验验证较少，实验研究较困难。

2、亟需进一步开展能效提升技术和产品研发。

目前中深层无干扰地岩热系统的关键工艺、材料、设备和部件还有很大的提升空间，成本较高。亟需开发高效低成本的设备及产品，以及配套的实施工艺，以提高中深层可持续取热能力。

3、相关的产业链、标准规范体系不完善。

主要的设备、材料由传统产业移植而来，缺乏专有性、针对性。



案例分析

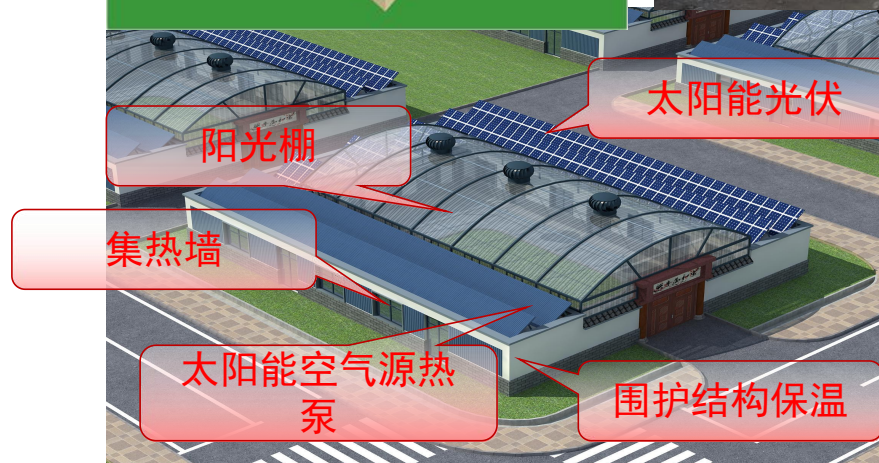
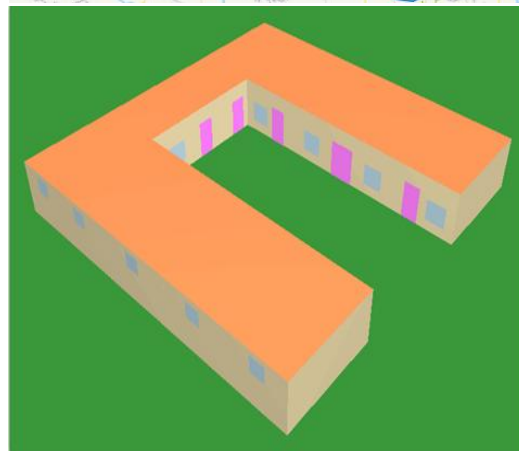
案例1：严寒地区农村建筑分户供暖——太阳能+空气源热泵

1、技术方案

示范工程位于甘肃金昌市永昌县赵家庄，建筑整体呈U型布置，总建筑面积380m²，主要功能房间共9间，分南北两侧布置，中间为庭院。

■示范工程总体技术方案如下：

- (1)围护结构保温
- (2)阳光棚
- (3)集热墙
- (4)太阳能+空气源热泵采暖
- (5)太阳能光伏



2、被动技术应用



建筑本体保温节能措施

- 外墙：60mmXPS板外保温系统；
- 屋面：80mmXPS板外保温系统；
- 地面：50mmEPS板保温系统；
- 外窗：low-E中空玻璃窗；
- 门：保温门。



阳光棚

安装阳光棚，使建筑整体形成一个封闭的空间，达到节能隔热、高效隔音、自然通风、有效排水、易于清洁等多方面的功能。



集热墙

安装太阳能空气集热器，通过太阳辐照能量加热空气后产生热压热空气流向室内。当温度低于设定值时，百叶窗形自动温控的风门自动关闭，从而避免室内热量的流失。

3、可再生能源技术应用



太阳能空气源热泵联合供热系统

安装30块平板集热器，配置4t采暖水箱，300L生活热水供应水箱，空气源热泵作为辅助供热，空气源热泵制热量为16kW，可与水箱互补或单独供暖。

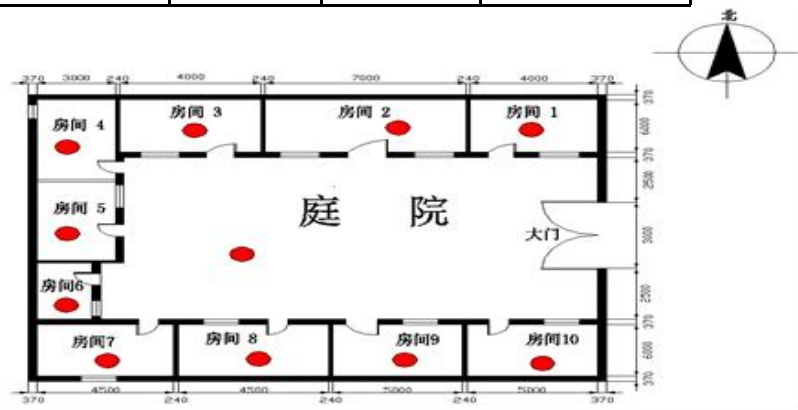
光伏发电系统

示范工程在屋顶安装光伏发电系统。光伏发电系统共计安装44块光伏发电板，每块光伏发电板容量为250W，光伏发电系统总总量为11kWp。由于现场条件等客观原因本系统采用两台220v逆变器，将44块光伏发电板分成两路分别接出。发电通过双向电表后可自用，同时可以将富裕电能上网。

4、测试效果

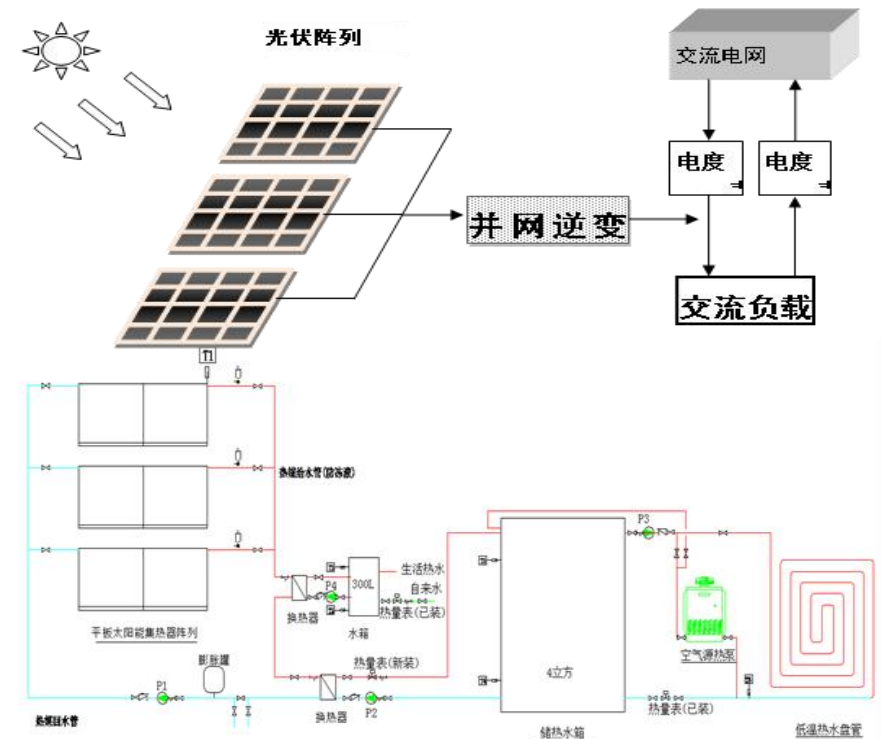
示范农房典型房间温度测试

室外环境 温度 (°C)	日平均室内环境温度 (°C)		
	南厢房	北厢房	西厢房
-5.9	14.4	13.5	15.1
-6.7	13.8	13.5	15.0
-7.9	14.0	13.4	15.0
-7.4	14.0	13.1	15.1
-8	14.2	13.2	15.1
-8.6	13.9	13.4	15.1



示范工程增量成本核算

成本项目	增量成本 (元)
围护结构-屋顶	7980
围护结构-外墙	0
围护结构-地面	7350
外窗	3645
门	1600
节能照明	0
太阳能采暖系统	64456.9
集热墙	4200.0
空气源热泵系统	21050.0
太阳能光伏系统	70436.0
智能控制系统	3700.0
合计	184417.9
当地农房建设费用	1666元/m ²
增量比率	36%



日均能耗		可再生能源供给	
总量	372.33 kW·h/d	太阳能光伏+太阳能供热	279.8 kW·h/d
可再生能源供给占总能耗的比率		75.2%	

案例2：严寒地区农村建筑分户供暖——太阳能+传统能源

1、技术方案

位于甘肃甘南州合作市扎油新村，建筑概况：共一层，南北朝向，总建筑面积217m²，采暖建筑面积72m²，建筑层高为3.2m。

■示范工程改造方案如下：

- (1)围护结构节能改造
- (2)阳光棚
- (3)太阳能+节能炉
- (4) 太阳能光伏



阳光棚



围护结构节能改造

太阳能采暖+热水

2、被动技术应用



阳光棚：

庭院全部覆盖阳光顶棚以减少建筑与外界的空气对流降低对流传热，面积95.22m²。

建筑本体节能改造：

- 墙体：外墙全部采用XPS板保温系统。
- 窗户：铝合金断桥隔热门窗，增大围护结构热阻降低传热系数。



3、可再生能源技术应用



太阳能采暖

集热器：集热面积 22.5m^2 ；
蓄热水箱蓄热：容积 1.5m^3 ；
辅助热源：节能炉；
末端装置：地板辐射+散热器。



太阳能热水

供热水箱：容积为 150L ；
太阳能炕：西侧卧室，面积为 2.8m^2 。炕面盘管并联于室内采暖供热管道上

屋顶光伏发电

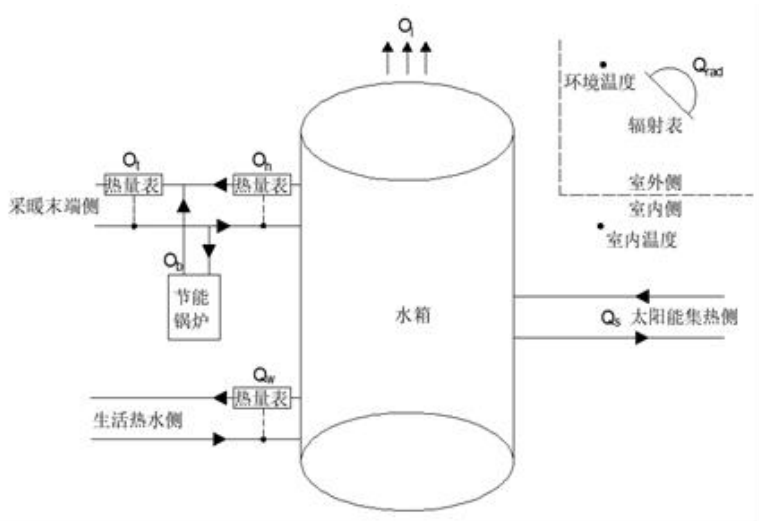
光伏发电系统共计安装6块光伏发电板，光伏发电板容量为 $250\text{W}/\text{块}$ ，光伏发电系统总总量为 1.5kWp 。

4、农房改造效果

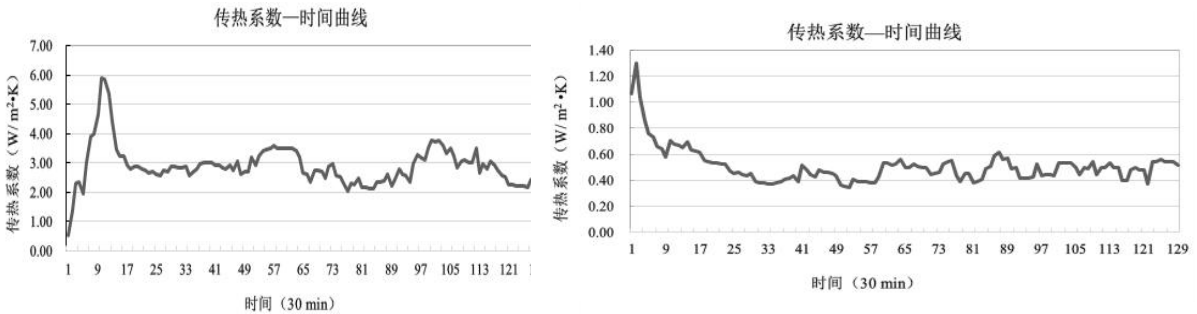


围护结构测点布置

5、测试效果



供热系统测点布置

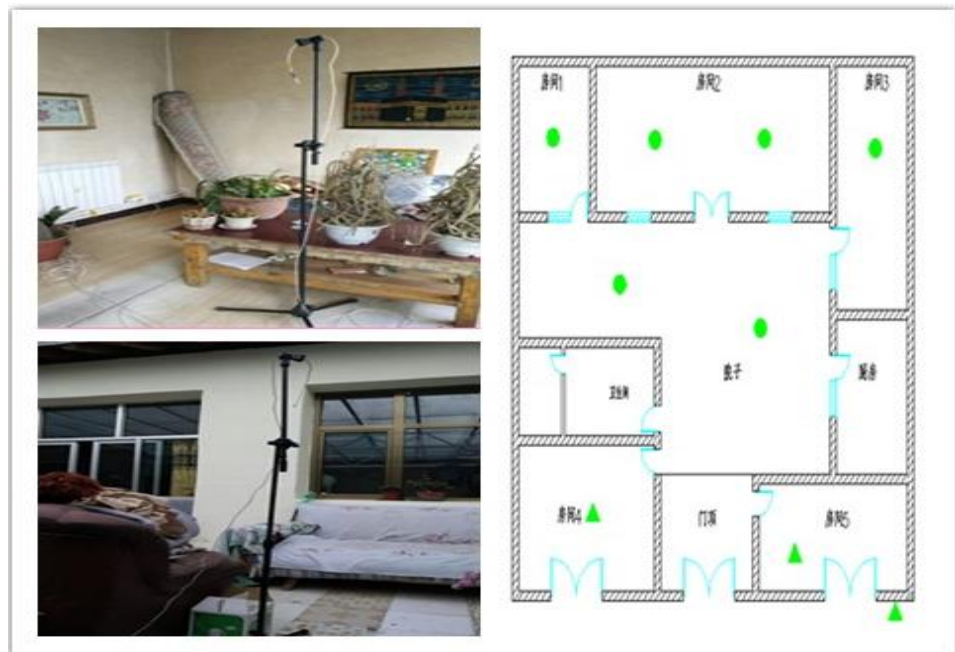


未改造外墙粘土实心砖与普通水泥砂浆，并未作保温处理，经检测，外墙传热系数为： $2.82\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ；改造外墙做法在粘土实心砖上，外贴50mm热固性改性聚苯板，外墙传热系数为： $0.47\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。

环境温度 (°C)	太 阳 辐 照 量 (MJ/m²)	光伏系统发电量 (kWh)	光电转换效率 (%)
-5.89	6.39	1.86	11.79
-2.26	6.62	1.77	10.81
-5.11	6.45	1.70	10.65

环境温度 (°C)	太阳辐照量 (MJ/m²)	集热系统得热量 (MJ)	采暖耗热量 (MJ)	集热系统效率 (%)	太阳能保证率 (%)
-7.87	19.99	134.98	198	32.11	68.17
-5.89	14.77	106.88	248.4	34.41	43.03
-2.26	11.29	67.07	172.8	28.24	38.81
-5.11	7.62	44.32	190.8	27.66	23.23

5、测试效果



室内测点布置



太阳能炕测点布置



5、测试效果

示范工程增量成本核算

序号	成本项目	对比方案	增量成本（元）
1	围护结构-屋顶	满足节能要求	0
2	围护结构-外墙	满足节能要求	0
3	围护结构-地面	满足节能要求	0
4	外窗	满足节能要求	0
5	门	满足节能要求	0
6	节能照明	满足国家节能照明标准要求	0
7	太阳能采暖系统	满足当地太阳能应用要求	40690.1
8	太阳能光伏系统	满足当地太阳能应用要求	21978.56
9	合计	62668.66	
10	增量	27.5%	

日均能耗		可再生能源供给	
总量	173.3 kW•h/d	太阳能光伏+ 太阳能供热	90.42 kW•h/d
可再生能源供给占总能耗 的比率		52.19%	

■ 案例3：严寒地区公共建筑独立供暖——中深层无干扰地岩热

通渭县姜家滩小学位于甘肃定西市通渭县，东经105.3°，北纬35.2°，海拔1774m。

工程由两部分组成：通渭县姜家滩小学、第六幼儿园，总建筑面积14697m²。

供暖需求：由于学校地处县城郊区，周边没有市政集中供热管网。

末端形式：铸铁散热器

建筑气候分区：严寒C区

总供热负荷：840kW

计算采暖期：152天



小 学



幼儿园

◆ 校园供暖系统的特点分析

校园的供暖系统与学校的作息时间表相关，耗热量变化较大：

- 对于无住宿要求的学校，一周5天供暖，且学生放学后晚上无需供暖。
- 最寒冷时期，学校放寒假，也无需供暖。

在非供暖期间，系统低温运行，达到防冻要求即可。

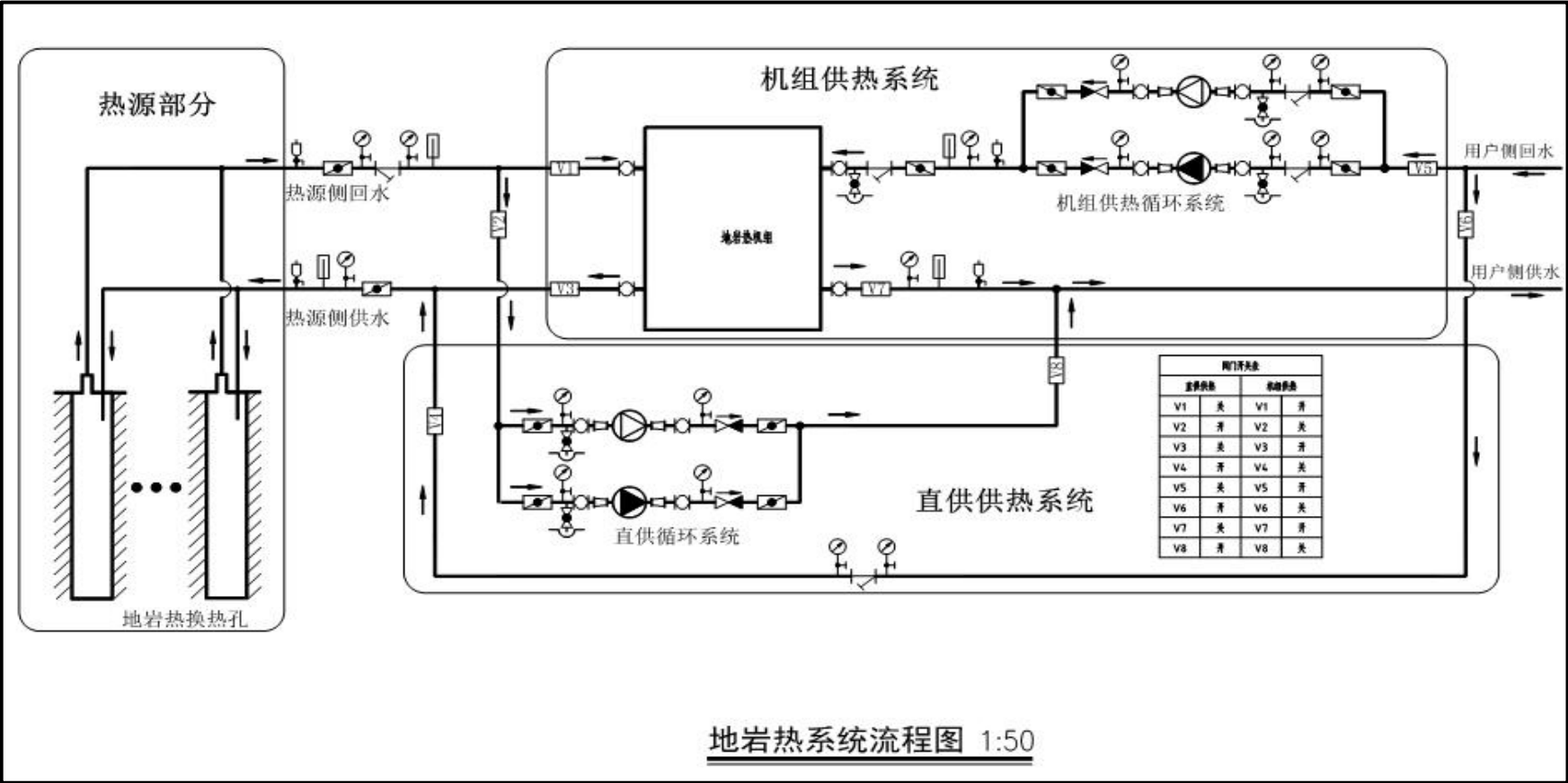


序号	建筑名称	建筑面积 (m ²)	设计热指标 (W/m ²)	设计热负荷 (kW)	备注
1	综合楼	2713.47	55	149.00	
2	教学楼	4017.04	55	220.00	
3	食堂	615.68	80	49.00	
4	厕所	404.2	55	22.20	
5	大门	75.60	55	4.20	
6	教研楼	2469.70	55	135.80	在建
7	幼儿园	3675.00	65	260.00	
8	合计	14372.00		840.20	

◆ 中深层地岩热供暖系统概况

根据校园供热需求特征，采用地热直供+热泵供热双系统，根据室外环境和末端需求实现智能调控，降低运行成本。

- 地岩热井数：2孔
- 地岩热井深：~1250m



◆ 工程施工

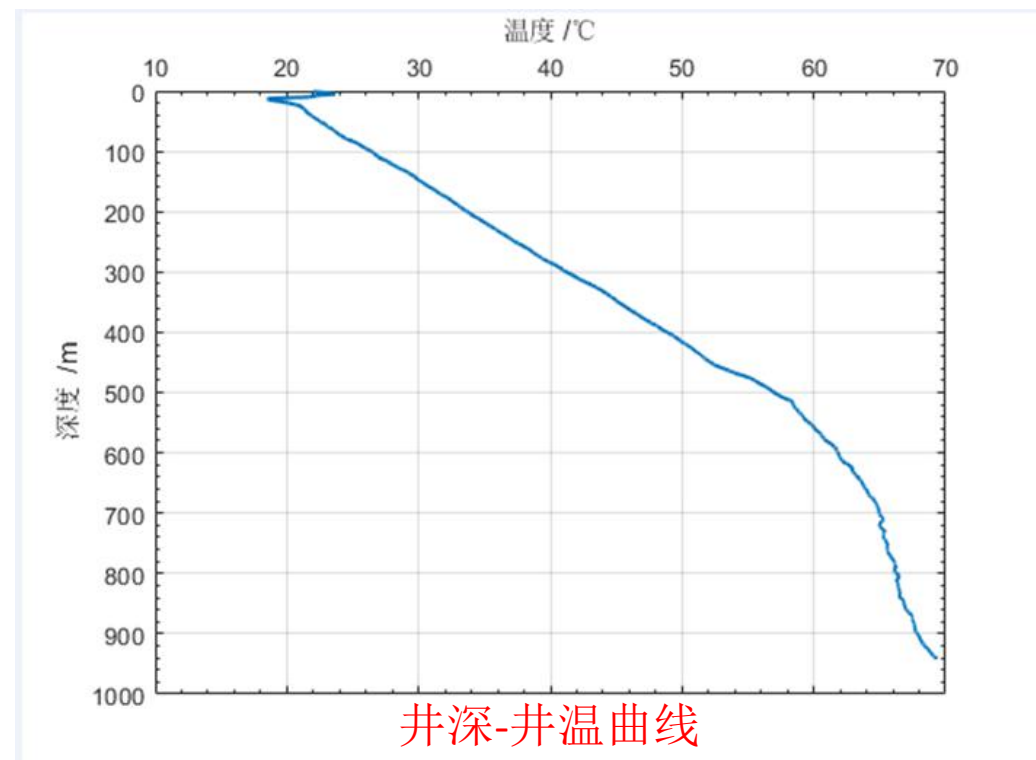
工程内容主要包括钻井成井、设备和管道安装，总工期约30天，2019年11月15日投入运行。

钻井主要机械		
设备名称	数量	型号
钻 机	1	ZJ25
泥浆泵	1	3NB1000
泥浆测试仪	1	MS-3
测斜仪	1	DK-5
电动机	2	315KW
钻 具	165 钻铤 11 根，127 钻杆 190 根	



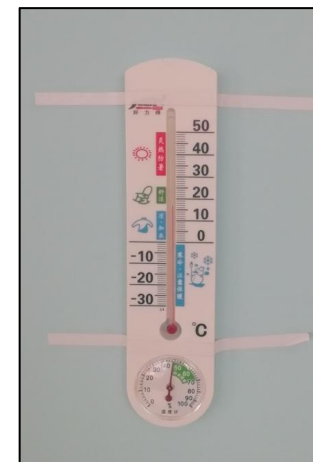
◆ 地质和地热资源状况

- 地质分层状况大致如下：0-400m为新生代地质系，400m以下进入基底岩层（主要为酸性花岗岩，具有密度和硬度大、热储好的特点）。
- 成钻后，对井温、地温梯度分布情况，进行了现场测试。测试结果：**孔底温度达到69.5℃，换热段平均地温梯度约7℃/hm，远高于平均地温梯3℃/hm。**



◆ 系统效果评价

- 系统总占地面积：井孔位于地面以下，只留有2个检查井，不占用地面面积，也不影响周边建筑。
- 采暖季运行概况：换热井出水温度39-51℃，供回水温差11.5-18.2℃。日换热量4270 kWh/d。
 - 教学期间的室内温度保持在18.5℃-21℃
 - 在直供状态下，直接供暖成本0.09元/(m²·月)。
 - 整个采暖季的平均供暖成本0.9元/(m²·月)，远低于当地市政供暖收费标准公共建筑6.75元/(m²·月)。



■ 案例4：寒冷地区公共园区分布式能源站——中深层地岩热供暖（制冷）

天水市职教园区位于甘肃天水市秦州区藉口镇，建筑面积60万平米，其中供暖/制冷面积50万平米，总热负荷2.9万kW，总冷负荷2.0万kW。

该项目由甘肃省建材科研设计院有限公司牵头承担，总共设计了32孔中深层无干扰地岩热井，井深2200m。预计2022年10月底完成一期建设。

设计分为西侧教学区、东侧生活区、附属小学区三个分区，建立3个分布式能源站。供热井数分别为20/10/2孔。

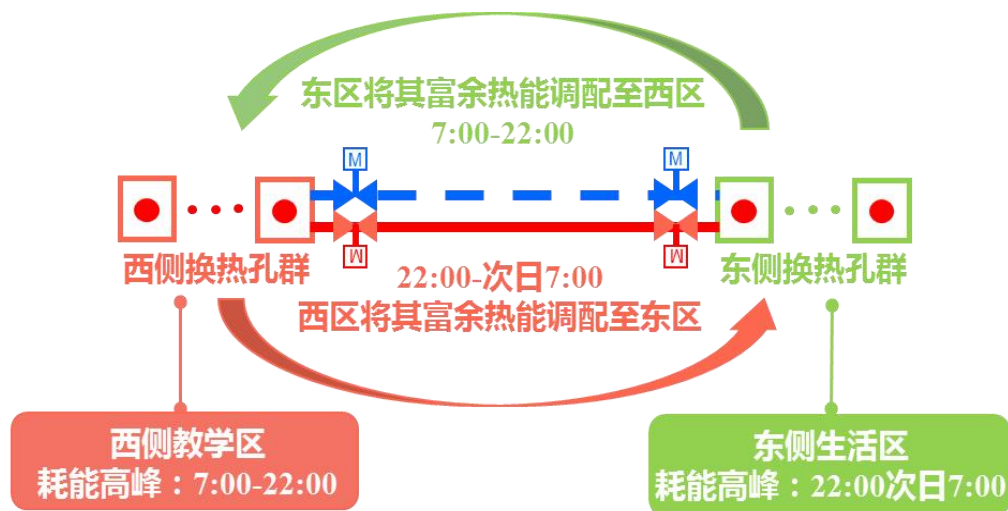
项目名称	天水市职教园区中深层地岩热供暖（制冷）项目			
承包模式	工程总承包（EPC）			
供热分区	西侧教学区	东侧生活区	附属小学区	合计
动力中心	1#	2#	3#	
供暖/制冷面积（万m²）	23	24	3	50
总热负荷（kW）	17329.72	9970.46	1459.06	28759.23
总冷负荷（kW）	17678.19	0	2254.91	19933.09
地热井数（孔）	20	10	2	32



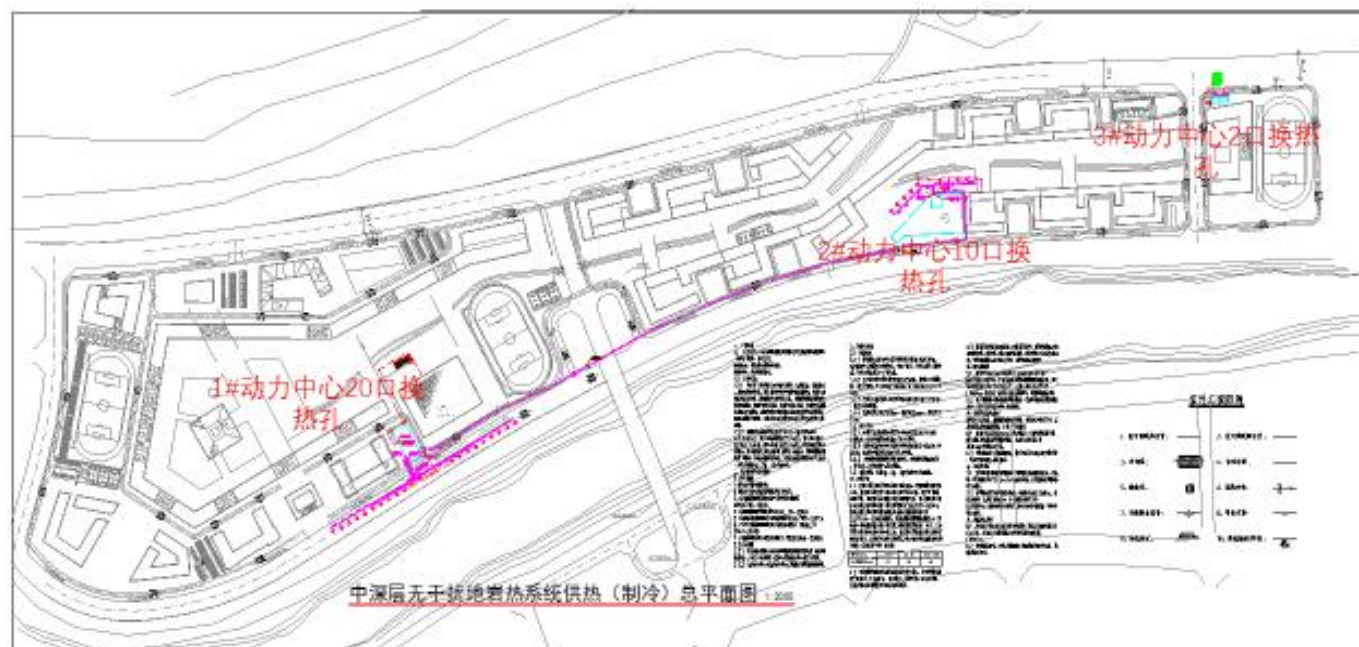
◆ 项目特点

- 利用分区耗能高峰时段的不同，通过智能化控制系统，实现智能化调度：

教学区供暖高峰时段为每日7:00~22:00，其余时段供暖需求低；生活区供暖耗能高峰为每日22:00~次日7:00时段。两个分区之间设计热量调度管网，依靠智能控制系统实现智能互补。减少总供热井数，降低初投资和运行成本。

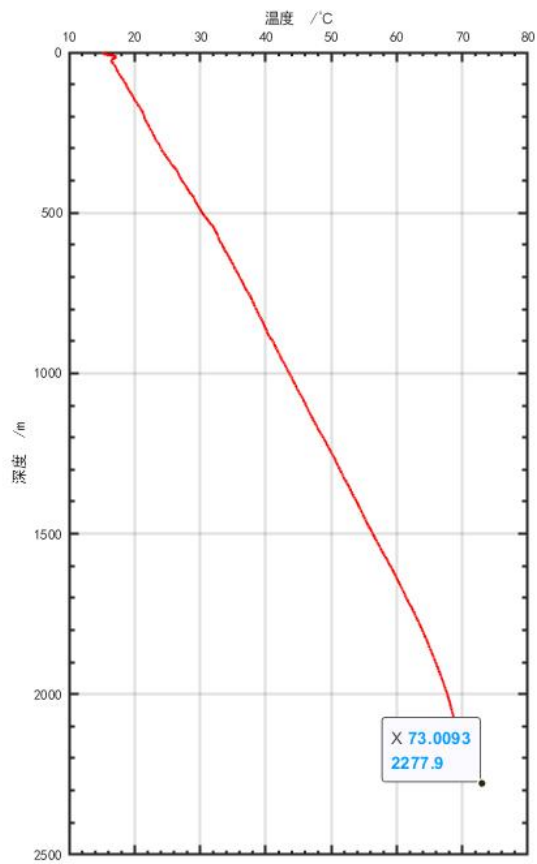


1#、2#动力中心热源互通、互补原理示意图

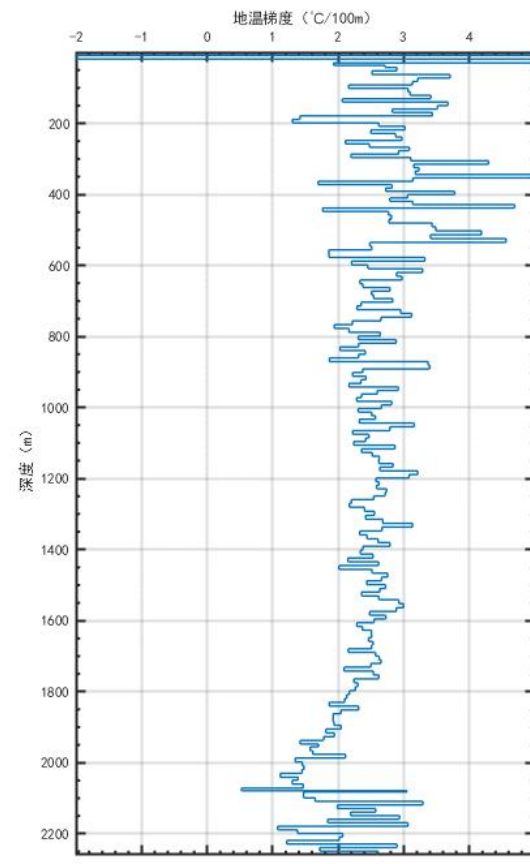


◆ 地质和地热资源状况

- 地质分层状况大致如下：0-850m为泥岩、砂岩层，850m以下进入基底岩层（主要为片麻岩）。
- 井温测试结果：井底温度达到73℃，平均地温梯度约3.3℃/hm。



井深-井温曲线



地温梯度



结 论

◆ 结 论

➤ 太阳能供暖技术（不含跨季节储热系统）：

- 投资成本较低。
- 供暖保证率较低。
- 适用于小/微型分布式场景、多能互补条件。

➤ 中深层无干扰地岩热供暖技术：

- 同轴套管换热的中深层地岩热技术具有广泛的普适性，可以很好地开发利用低品位地热能。
- 中深层地岩热技术系统简洁，占用土地少，环境相容性较好。
- 适用于中/大型分布式项目，增大规模可降低边际成本。
- 可根据热负荷进度分期建设。现阶段适合作为集中供热的补充能源。
- 根据具体项目（如学校/园区）供暖特点，优化设计控制方式可以实现精准供热，最大限度地降低能源消耗。

地岩之热 厚德共享

Thanks for your attention!

