

中国太阳能热发电及采暖行业

Blue Book of Concentrating Solar Power and Solar Heating Industry

蓝皮书

(2020)

国家太阳能光热产业技术创新战略联盟
中国可再生能源学会太阳能热发电专业委员会
中关村新源太阳能热利用技术服务中心



中国太阳能热发电行业蓝皮书

Blue Book of Concentrating Solar Power and Solar Heating Industry

2020





敬告读者

版权所有 翻印必究 严禁抄袭 引用务必注明出处

编写不足之处敬请谅解





2020 中国太阳能热发电及采暖行业蓝皮书

Blue Book of Concentrating Solar Power and Solar Heating Industry 2020

编写组

批 准: 何雅玲 (太阳能光热联盟专家委员会主任)

统 筹: 王志峰

编写人员:

绪论	第一节: 科技发展	张剑寒、杜凤丽
	第二节: 太阳能热发电示范项目进展	杜凤丽
一、行业发展现状评估	第一节: 从业企业数量	杜凤丽
	第二节: 行业规模	杜凤丽
	第三节: 规模企业	寇建玉
	第四节: 行业发展存在的主要问题	杜凤丽、雷东强
二、2025 年面临形势判断	第一节: 国内外经济发展趋势对太阳能热发电技术的影响	寇建玉
	第二节: 面临的机遇	张剑寒
	第三节: 面临的挑战	杜凤丽
	第四节: 市场需求分析及预测	寇建玉
三、2025 年行业发展指导思想、发展目标及任务	第一节: 经济目标	
	第二节: 产品结构调整目标	寇建玉、钟鹏元
	第三节: 技术目标	
	第四节: 主要任务	张剑寒
	第五节: 稳步实现国际化	寇建玉、钟鹏元
四、对策措施		张剑寒
五、教育及宣传		寇建玉、钟鹏元
六、太阳能采暖行业发展		原郭丰

校 核: 杜凤丽、洪松、钟鹏元

审 核: 太阳能光热联盟专家委员会

版式设计: 焦芳



正文目录

绪论	1
(一) 科技发展	1
(二) 太阳能热发电示范项目进展	3
一、行业发展现状评估	6
(一) 从业企业数量	6
1、2020年新增企业数量	6
2、生产线数量及产能	7
(二) 行业规模	8
1、行业总资产	8
2、项目营收	8
3、市场规模和发电量	9
4、行业结构	12
5、2010-2020生产线数量变化	15
(三) 规模企业	16
1、规模企业的生产能力、厂家数量	16
2、业务类型及总资产	17
3、近五年自主创新取得的效果	17
4、国际市场	19
5、民营企业、国企、外企占比情况	20
(四) 行业发展存在的主要问题	22
1、发展初期尚未达到规模效应，成本较高	22
2、首批太阳能热发电示范项目“历史”问题尚未解决	23
3、系统设计、设备选型和运行经验需要进一步积累	23
4、常规发电设备需结合太阳能热发电的特点优化	23
二、2025年面临形势判断	25
(一) 国内外经济发展趋势对太阳能热发电技术的影响	25
(二) 面临的机遇	25
(三) 面临的挑战	26
1、光伏实现平价，国家不再对新增太阳能热发电项目进行补贴	26
2、太阳能热发电的市场价值如何体现并量化	27
3、无补贴情形下的发展模式尚不清晰	28
(四) 市场需求分析及预测	29
三、2025年行业发展指导思想、发展目标及任务	30

(一) 经济目标	30
1、全行业总产值规模	30
2、单位生产成本的目标	30
(二) 产品结构调整目标	30
1、核心装备国产亿元目标	30
2、新兴服务业的发展	30
3、形成3-5家国际知名生产商	31
(三) 技术目标	31
(四) 主要任务	31
1、太阳能热发电	31
2、太阳能工业应用	31
3、太阳能采暖	31
(五) 稳步实现国际化	32
四、对策措施	33
1、完善首批示范项目的善后工作	33
2、国家实施科技进步推动行业发展的研究计划	33
3、积极开拓国际市场，通过扩大市场总规模，降低太阳能热发电的成本	33
4、以储能电价为手段，推动带有储能的可再生能源作为调峰电源的应用	34
5、大力推进具有可控出力特性的“光伏+光热”大型太阳能发电基地	34
6、推动太阳能采暖的政策激励，太阳能采暖与电采暖及燃气采暖相比具有明显的价格优势	34
五、教育及宣传	35
(一) 科普教育基地	35
1、中国科学院电工研究所八达岭太阳能热发电实验基地	35
2、中广核新能源德令哈“能源科普教育基地”	36
3、鲁能海西州多能互补“能源科普教育基地”	37
4、首航高科敦煌“能源科普教育基地”	38
(二) 媒体平台宣传	39
六、太阳能采暖行业发展	42
(一) 发展现状与发展方向	42
1、我国太阳能采暖发展概况	42
2、太阳能采暖发展方向	47
(二) 太阳能采暖项目案例	51
1、大规模太阳能-工业余热用于城市集中供热示范工程	51
2、西藏达孜广东五星平板太阳能集中供热系统	53
3、西藏浪卡子大型太阳能集中供暖工程	55

4、北京延庆王家堡“太阳能+土壤源热泵”清洁能源采暖项目	57
5、河北辛集县户用采暖热水示范项目	59
6、河北威县户用采暖热水示范项目	61
7、太阳能+地能为热源的供热试点工程	62
附录1 太阳能光热产业技术创新战略联盟简介	65
附录2 2020年度太阳能光热联盟理事单位主要业务范围	68

图表目录

图0-1 兰州大成敦煌50MW熔盐线性菲涅耳式太阳能热发电示范电站	4
图0-2 鲁能海西格尔木50MW塔式光热电站	4
图0-3 中电建青海共和50MW熔盐塔式光热电站	5
图0-4 内蒙古乌拉特中旗100MW槽式导热油太阳能光热电站	5
图1-1-1 2020年我国太阳能热发电产业链相关企业分类及数量	6
图1-1-2 2018~2020年太阳能热发电细分产业链新增企事业单位数量及分布	7
图1-2-1 我国太阳能热发电累计装机容量	10
图1-2-2 2020年全球太阳能热发电累计装机容量	11
图1-2-3 世界主要国家和地区太阳能热发电装机容量	11
图1-2-4 国内某7小时储能50MW太阳能热发电项目投资成本结构图	12
图1-2-5 国内某50MW带15小时储能太阳能热发电项目实际投资组成	13
图1-2-6 国内带12小时储能100MW塔式太阳能热发电项目造价组成	13
图1-2-7 我国太阳能热发电聚光系统细分行业结构	14
图1-2-8 我国太阳能热发电传储热系统细分行业结构	15
图1-2-9 龙腾光热槽式高温吸热管	15
图1-3-1 2020年我国太阳能热发电产业链规模化企业数量	16
图1-3-3 2020年民营企业在我国太阳能热发电产业链上的分布	21
图1-3-2 2020年参与我国太阳能热发电各类企业占比情况	21
图1-3-4 2020年国有企业在我国太阳能热发电产业链上的分布	22
图1-3-5 2020年事业单位在我国太阳能热发电产业链上的分布	22
图2-3-1 光伏标杆上网电价退坡情况	27
图5-1-1 中科院电工所王志峰研究员对太阳能热发电知识进行科普	35
图5-1-2 中国科学院大学材料科学与光电技术学院学生参观	36
图5-1-3 中广核新能源德令哈光热电站	37
图5-1-4 鲁能海西州50MW光热发电项目	37
图5-1-5 海西多能互补集成优化示范工程沙盘展示	38



图5-1-6 敦煌首航10+100MW光热电站	38
图5-1-7 首航高科副董事长黄文博进行科普讲座	39
图5-2-1 青海中控德令哈50MW光热电站	39
图5-2-2 太阳能光热联盟线上直播讲堂	40
图5-2-3 浙江经视《大牌对大牌》节目采访金建祥	41
图6-1-1 太阳能热水采暖系统运行原理	43
图6-1-2 2000-2019年全球太阳能集热器保有量与年产热变化	45
图6-1-3 2019年末全球太阳能区域供热系统装机量分布	48
图6-1-4 中国科学院电工研究所—达华集团太阳能供热示范项目	50
图6-2-1 赤峰大规模太阳能—工业余热用于城市集中供热示范工程场地示意图	51
图6-2-2 赤峰城市集中供热示范工程系统储热运行示意图	52
图6-2-3 赤峰城市集中供热示范工程系统取热运行示意图	52
图6-2-4 西藏达孜某太阳能集中供热系统运行原理示意图	54
图6-2-5 西藏达孜某太阳能集中供热系统	55
图6-2-6 西藏浪卡子县县城大型太阳能集中供暖工程	55
图6-2-7 西藏浪卡子县县城大型太阳能集中供暖工程系统运行原理	56
图6-2-8 延庆王家堡“太阳能+土壤源热泵”采暖项目系统运行原理图	58
图6-2-9 20m ² 平板太阳能电加热采暖系统原理图	59
图6-2-10 “光热+”电辅助蓄热户用采暖热水系统原理图	61
图6-2-11 太阳能+地热能互补供热试点工程实景	63
图6-2-12 太阳能—地热能互补供热系统运行原理	64
表1-2-1 我国太阳能热发电项目投资和预计营收情况	8
表1-1-1 我国太阳能热发电关键细分产品产能情况	8
表1-2-2 我国建成的兆瓦级以上太阳能热发电项目	10
表1-3-1 太阳能热发电业务类型及总资产	17
表1-3-2 太阳能热发电产业链国际化经营情况	19
表1-3-3 中国企业参与迪拜950MW太阳能电站项目的部分情况	19
表1-3-4 民营企业、国有企业、外企数量情况	20
表6-1-1 户用太阳能空气与热水采暖系统的特点对比	43
表6-1-3 2020年太阳能光热行业分类数据表	44
表6-1-2 我国太阳能集热器保有量变化与减排情况	44
表6-1-4 2020年行业工程与零售市场运行数据	45
表6-1-5 太阳能供暖面积数据	46
表6-1-6 我国大容量太阳能区域供暖项目统计（部分）	49



表6-2-1 赤峰城市集中供热示范工程主要参数表	53
表6-2-2 西藏浪卡子县太阳能集中供暖工程2019~2020 采暖季户均运行费用	57
表6-2-3 西藏浪卡子县太阳能集中供暖工程2019~2020 采暖季系统运行的环境效益	57
表 6-2-4 延庆王家堡太阳能+土壤源热泵采暖项目2017~2018采暖季系统整体运行费用	58
表 6-2-5 延庆王家堡太阳能+土壤源热泵采暖项目2017~2018采暖季户均运行费用	59
表 6-2-6 延庆王家堡太阳能+土壤源热泵采暖项目2017~2018 采暖季系统运行的环境效益	59





绪论

（一）科技发展*

2020 年是特殊的一年，在全球抗疫的艰难环境下，我国太阳能热发电技术取得了长足进步。

在太阳能热发电系统集成技术方面，我国太阳能热发电技术获得国际先进评价。中控太阳能公司承建的青海中控德令哈 50MW 光热示范电站通过了德国 Fichtner 公司的完整技术评估，评估报告的总体结论认为：“From a general technical perspective, Fichtner considers the plant as being of advanced quality. In the comparison to plants of other international technology providers the quality of Delingha 50MW solar tower plant can be rated as similar. The new design approaches are surprising and tend to lead to significant improvements of performance and O&M.” 兰州大成熔盐菲涅耳回路获得德国 Fraunhofer ISE 的评估反馈：

“As a conclusion, Dacheng molten salt LFC loop is able to achieve its design working stat, i.e. 565°C as HTF temperature at the loop outlet. The loop performance is within the international advance level and remarkable considering the large scale of this LEC design.”

在电站运维技术和发电量方面，通过不断消缺，太阳能热发电示范电站发电量逐步提升。逐步解决了冷盐泵震动、电伴热故障、吸热屏的堵管、换热器和蒸发器泄露、汽轮机组热应力故障等问题；阀门和电伴热等设备故障率显著降低；聚光器清洗技术得到完善，清洗速度大大加快，发现并采用了适合风沙环境下的清洗剂，清洗洁净度提高，定日镜清洗间隔延长（例如：首航敦煌 100 万 m² 定日镜清洗所需时间由 24 天缩短到 14 天，清洗间隔延长了 6 天），运维成本降低。2020 年，青海中控德令哈塔式光热示范电站的实际发电量基本接近设计值；中广核德令哈槽式光热示范电站 2020 年上网电量同比 2019 年提升了 115%；中电建青海共和 50MW 光热发电示范项目和内蒙古乌拉特 100MW 槽式光热示范电站分别于 2020 年 11 月 6 日和 12 月 16 日实现满负荷发电；兰州大成 50MW 线性菲涅耳光热示范电站在 2020 年整个冬季低温环境中，保持熔盐集热场的连续运行；首航高科敦煌 100MW 塔式光热示范电站各系统软硬件方面都在持续改进，镜场效率有明显提升，机组整体性能在稳步提高。

在电站软件开发方面，中控太阳能依托德令哈光热发电示范项目，开发了塔式光热电站设计、仿真培训、性能评估和运营优化系列软件产品，能够为塔式光热电站前期开发、设计、培训、运行维护、性能考核等提供全方位服务，并可通过对光热电站关键设备运行状态的诊断和分析，持续提升电站运维人员操作能力和电站发电量水平。目前该系列软件已在中控德令哈 50MW 项目得到应用验证，并已广泛用于多个项目方案设计。中电建西北院依托青海共和光热发电示范项目形成了一套完整的塔式光热电站性能评估软件平台，可有效提升塔式光热电站发电量计算精度，为优化设计方案、精准设备选型、精细运行策略提供了有效的技术支撑；同时将光热电站和光伏、风电等可再生能源的互补分析时间分辨率提高到了十分钟级，为大型多能互补基地规划建设提供了有力支撑。

在电站运行策略方面，不同情景下的运行方案得到实践，例如：兰州大成熔盐线性菲涅耳光热示范电站成功按照电网指令要求在晚高峰期间发电；内蒙古乌拉特槽式光热示范电站尝试采用光伏 / 风

* 特别感谢白凤武、董清风、范多进、洪慧、贾永柱、金建祥、雷东强、裴刚、齐志鹏、王德元、魏进家、俞科、杨旭东、张信荣、赵晓辉等对本节内容的贡献。

电与光热混合发电，通过风光热合理配比以及电加热熔盐，实现能源稳定输出，为“风光水火储一体化”项目实施奠定了基础。

在关键设备方面，我国突破了熔盐泵受国外厂商垄断、核心技术受制于人的局面。继飞跃机泵成功将 17 米热盐泵（热罐补盐）应用于示范项目后，2020 年，中国电建上海装备公司研发的太阳能光热发电高温熔盐泵被认定为上海市高新技术成果转化项目，项目等级为 A 级。中控太阳能完全自主设计、研发的定日镜清洗车项目荣获国际能源署 SolarPACES 2020 技术创新奖，该清洗技术及装备已成功应用于青海中控德令哈 50MW 塔式光热示范电站中，经实际测算，该项目全年平均镜场清洁度可保持在 0.94 以上，年光电转换效率有效提升了 10.6%。

在下一代太阳能热发电技术研发方面，我国在超临界 CO₂ 太阳能热发电技术领域研究取得节点性进展。北京市科委和国家重点研发计划支持的超临界太阳能 CO₂ 发电项目在热力学循环以及关键部件，如颗粒换热器、熔融盐换热器以及超临界 CO₂ 透平机等方面都取得了突破性进展。完成了热功率 1MW 的颗粒吸热器设计与样机研制、超临界 CO₂ 压缩机和透平样机设计、发电功率 200kW 的超临界 CO₂ 太阳能热发电系统的设计图纸和施工图纸等，研制了热功率 1MW 的颗粒与超临界 CO₂ 换热器样机、使用温度 550℃ 的高温颗粒提升机等关键设备。兰石换热公司与中科院工程热物理所等合作完成的“新型（微通道）高效紧凑型焊接式热交换器”应用到超临界 CO₂ 发电系统。中科院先导 A 专项、衡水高新区院地合作项目研发的兆瓦级超临界 CO₂ 离心压缩机样机在中科衡水创新动力研发基地测试运行成功；华能西安热工院 5MWe 超临界 CO₂ 试验平台热端部件也顺利通过压力测试。以颗粒吸热器 / 超临界二氧化碳布雷顿循环为代表的新一代集热 / 热力循环技术已初步实现集热器和换热器研发。

2020 年，不少太阳能热发电技术成果获得了认可和肯定。其中，中控太阳能主要完成的“大规模塔式太阳能热发电关键技术及产业化”项目荣获浙江省技术发明奖一等奖，青海中控太阳能和浙江中控太阳能完成的“大规模太阳能热发电中高温蓄热技术与工程化应用”项目荣获青海省科学技术进步奖二等奖。首航高科公司“100MW 级塔式光热电站吸热器技术”获得中国可再生能源学会科学技术进步奖一等奖。中国能建西北院主持完成《槽式太阳能集热场导热油系统管道设计技术研究及应用》成果荣获中国能源建设集团规划设计有限公司 2020 年度科技进步奖三等奖，《甘肃玉门花海百万千瓦级光热发电基地规划环境影响报告书》、《兰州大成科技股份有限公司敦煌熔盐线性菲涅耳式 5 万千瓦光热发电示范项目可行性研究报告》分别获得中国电力规划设计协会电力行业优秀工程咨询成果一等奖和二等奖。中广核新能源的《槽式光热电站集成控制技术》获得中国节能协会创新奖科技进步二等奖（成果评价为“国际领先水平”），《我国首座槽式光热电站关键技术及运行特性研究》被授予中国电力企业联合会 2020 年度电力创新奖技术成果一等奖，《槽式太阳能光热发电集热系统性能试验规程》国际标准成功立项。中电建山东电建三公司和 Sener 联合体总承包的摩洛哥努奥三期 150MW 塔式光热电站工程荣获 2020 年度中国电力优质工程（境外）奖项。中电建山东电建一公司《熔盐线性菲涅耳式光热电站发电机组安装关键技术研究》、《光热电站试运行熔盐防凝关键技术研究与应用》成果通过中国电力企业联合会组织的关键技术成果鉴定会，均达到国际领先水平。飞跃机泵“极端高温工况高可靠性熔盐泵关键技术研究及产业化”项目获江苏省科学技术二等奖。《太阳能热发电技术》获得中科院大学工程科学学院 2019 年学院级优秀课程。《Design of Solar Thermal Power Plants（太阳能热发电站设计）》（王志峰为著作责任者）获得 2020 年中国石油和化学工业优秀出版物奖，图书奖一等奖。



2020年，“宽波段平面超表面太阳能聚光器及其集热系统”项目列入国家重点研发计划“变革性技术关键科学问题”重点专项、国家市场监管总局“科技助力经济2020”重点专项项目“高品质太阳能光热发电有机热载体国产化应用”等获得立项支持。我国企业承担的中国政府与世界银行及全球环境基金合作开展的可再生能源政策开发和投资项目——中国可再生能源规模化发展项目均通过了验收，其中，龙腾光热和电工所“基于硅油介质的槽式太阳能高温集热管的关键技术研发”项目研究了高温硅油对于槽式电站的性能的提升，针对更高的温度和压力工况进行了选择性吸收涂层及集热管结构设计的优化，开发了新型集热管及其性能测试方法，为新一代高效槽式电站工程建设奠定了产业化基础。中控太阳能“30m²定日镜及其控制系统的研究开发”项目为今后30m²定日镜适应西北地区风况的推广和应用进行了研究，定日镜场综合成本下降约10%。上海电气“太阳能光热电站集成优化”项目开发设计了光热发电系统性能模拟设计软件，对于提高前期项目开发设计能力和装备集成能力起到促进作用。中国能建西北电力设计院“槽式太阳能热发电大开口集热器研发”项目，突破了高聚光比太阳能集热器技术，为降低槽式太阳能热发电成本提供了新方法；大开口槽式集热器装备技术被国家发改委、科技部等列入2020年12月31日发布的《绿色技术推广目录》。

在太阳能采暖方面，北方地区清洁取暖进一步催生了新的需求和技术进步。2020年，以太阳能与热泵等相结合、短周期储热的分布式分户采暖技术的日趋完善，低温太阳能集中供暖和中温太阳能应用示范运行数据得到进一步积累；大型跨季节储能技术研发不断推进并在一些试点工程中初步应用，在大型能源系统中显示出良好的发展潜力。2018年建成的张家口矾山黄帝城3000m³水体太阳能跨季节采暖项目，在2020年实现了跨年度稳定运行，实测数据表明全年储热效率大于64%。国家电投集团中央研究院“基于斜温层原理的水储能关键技术研究与应用”技术成果通过了中国电机工程学会组织的成果鉴定，其研究成果提升了我国基于斜温层原理的水储能技术水平，可促进高效水储能技术的应用，布水器设计方法属国际领先水平。中国科学技术大学、广东五星太阳能等完成的“太阳能全光谱综合利用技术及在建筑中的多效应用”项目荣获中国可再生能源学会技术发明一等奖。内蒙古旭宸能源有限公司9.3万m²大型槽式太阳能供热供暖持续稳定运行，并通过专家评估；河北道荣新能源科技有限公司累计太阳能推广建筑面积360万m²；倒倾角反射镜太阳能集热技术不断成熟，初步解决了集热器冬季能力不足、夏季过热问题。但是，已有户用系统太阳能保证率受初装及储热成本制约仍有待大幅度提升，运行维护、防冻、初投资、辅助热源等问题仍然是制约系统大规模应用的关键因素。太阳能供暖仍需加大技术研发力度，在降低系统初投资及运行成本、提高系统保证率及灵活性、新型集热装置、新型储能装置等方面进一步寻求技术突破。

（二）太阳能热发电示范项目进展

2016年，国家下达的首批太阳能热发电示范项目共计20个，总示范装机容量134.9万千瓦。目前整体建设情况如下：

7个总计45万千瓦项目已建成并网。其中，3个总计20万千瓦项目于2018年底前并网，已纳入可再生能源电价附加资金补助目录，享受每度电1.15元电价；4个总计25万千瓦项目于2019年及以后并网，目前正在开展系统调试、性能优化和发电提升等工作。

4个总计20万千瓦项目正在建设中。其中，2个总计10万千瓦项目正加紧开展实质性建设，计划

于 2021 年底前并网；2 个总计 10 万千瓦项目已开展部分现场工作（如场平），但因融资、投资收益预期等原因进展较为缓慢，2021 年底前建成并网面临较大困难。此外，有 5 个总计 36.4 万千瓦项目尚未开工，但企业表示有意继续建设；有 4 个总计 33.5 万千瓦项目已明确退出。

太阳能热发电示范项目 2020 年里程碑事件主要有：

6 月 18 日，兰州大成敦煌 50MW 熔盐线性菲涅耳式太阳能热发电示范电站实现集热场全场带熔盐发电，当日发电量 33 万 kWh；6 月 19 日，举行投运揭牌仪式，正式投入商业运行。11 月 10 日达到发电功率 49.5MW。



图 0-1 兰州大成敦煌 50MW 熔盐线性菲涅耳式太阳能热发电示范电站

8 月 27 日，由中国能建规划设计集团西北院设计、山东电建三公司总承包的鲁能海西格尔木 50MW 塔式光热电站圆满完成 120 小时可靠性运行。



图 0-2 鲁能海西格尔木 50MW 塔式光热电站

9月，中广核德令哈 50MW 太阳能热发电项目、青海中控德令哈 50MW 太阳能热发电项目以及敦煌首航 100MW 太阳能热发电项目纳入国家电网可再生能源补贴清单，上网电价为 1.15 元 /kWh（含税）。

11月6日，由中国电建集团投资、中电建西北院总承包的中电建青海共和 50MW 熔盐塔式光热发电项目成功实现满负荷发电。11月28日，项目完成 240 小时试运行考核，正式投入生产运行并进入性能指标考核期。



图 0-3 中电建青海共和 50MW 熔盐塔式光热电站

12月16日，内蒙古乌拉特中旗 10 小时储能 100MW 槽式导热油太阳能热发电项目实现满负荷发电。



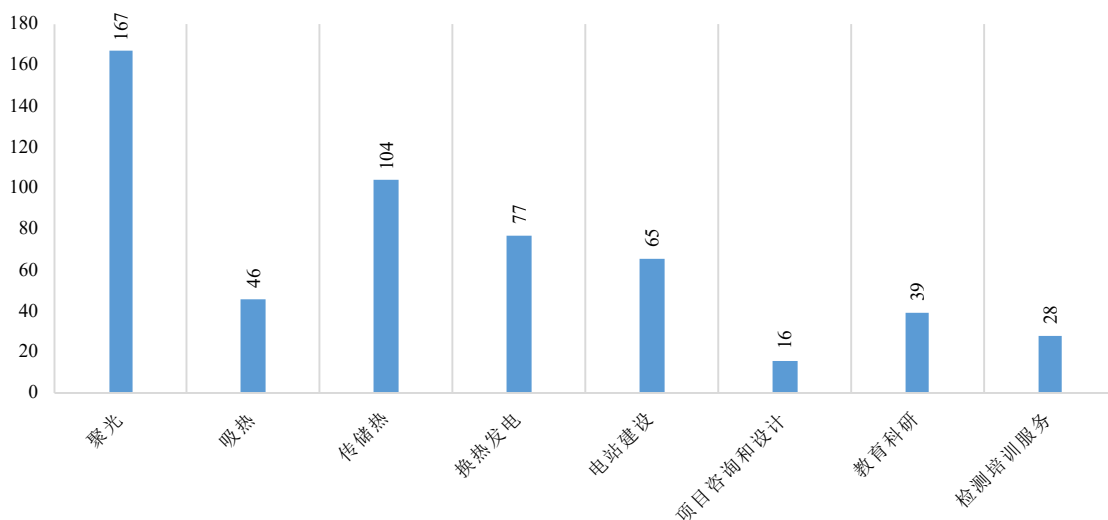
图 0-4 内蒙古乌拉特中旗 100MW 槽式导热油太阳能光热电站

一、行业发展现状评估

（一）从业企业数量

太阳能热发电是太阳能的高品位利用方式，产业链长，涉及太阳能集热、传热储热、常规发电等多种系统集成，集光学、热学、材料学、热能工程及机械等多个技术领域。随着太阳能热发电示范项目的建设和投产，我国太阳能热发电产业链企业逐步清晰。在一些太阳能热发电示范项目中，国产化设备、零部件等产品使用率达到 95% 左右。包括超白玻璃、反射镜、槽式太阳能聚光器、高温真空太阳集热管、塔式定日镜、塔式吸热器、蒸汽发生器、熔盐储罐、储热系统、镜场精密控制技术、汽轮发电机、液压跟踪系统、回转减速机、电动推杆、熔盐泵、导热油泵、清洗车、电加热、电伴热、不锈钢材料（板材、管材）、波纹管、金属软管、旋转接头、膨胀节、保温材料、支架、轴承、传感器、阀门、流量计、熔融盐、导热油、水处理系统、辐射测量系统、太阳能热发电核心产品质量和性能检测等产业链相关产品和技术得到了工程实践验证。

随着规模化太阳能热发电示范项目的建设，越来越多的行业力量进入太阳能热发电领域。据国家太阳能光热产业技术创新战略联盟（以下简称“太阳能光热联盟”）不完全统计，2020 年，我国太阳能热发电产业相关企业事业单位数量达到 540 家左右。其中，聚光领域企事业单位数量最多，约为 167 家；其次是传储热领域，达到 104 家。我国 2020 年太阳能热发电产业链相关企业事业单位分类及数量如图 1-1-1 所示。



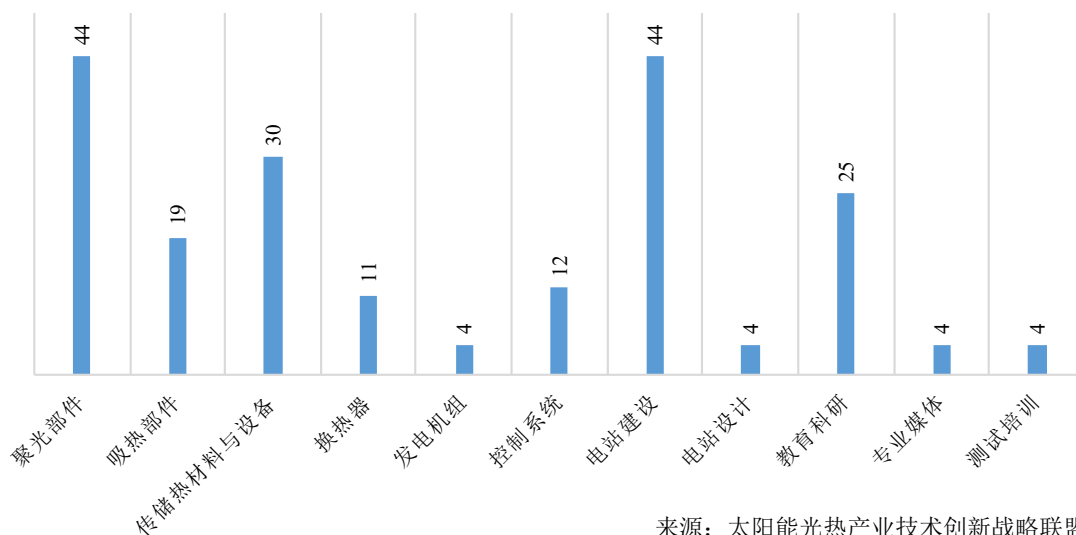
来源：太阳能光热产业技术创新战略联盟 CSTA

图 1-1-1 2020 年我国太阳能热发电产业链相关企业事业单位分类及数量

1、2020 年新增企业数量

太阳能光热联盟《太阳能热发电及采暖技术产业蓝皮书 2018》对太阳能热发电产业链相关企业进行了初次统计。对比 2018 年统计条目和数据，2020 年聚光部件企业达到 90 家，较 2018 年增加了 40 家；

吸热部件企业达到 46 家，较 2018 年增加了 25 家；传、储热材料与设备企业达到 104 家，较 2018 年增加了 61 家；控制系统相关企业达到 26 家，较 2018 年增加 12 家；电站建设单位达到 65 家，较 2018 年增加 43 家；关注太阳能热发电相关技术研究的高校也较 2018 年增加了 20 家，达到 30 家。具体分布和数量如图 1-1-2 所示。



来源：太阳能光热产业技术创新战略联盟 CSTA

图 1-1-2 2018~2020 年太阳能热发电细分产业链新增企事业单位数量及分布

2、生产线数量及产能

从工程建设方面来说，一座太阳能热发电站主体工程主要分为三大部分：集热区、储换热区和发电区。其中，换热区主要包括预热器、蒸汽发生器、过热器、再热器以及相应的管道阀门等设备设施；发电区主要建设内容为汽轮机、发电机、空冷岛、给水泵、凝结水泵、控制系统等设备，这些和常规煤电站系统设备极为相似。对于太阳能热发电领域而言，集热和储热是专有核心技术，本节生产线数量及产能统计主要针对集热和储热区的关键设备和部件。

集热系统通过跟踪太阳运转的聚光装置收集阳光，将太阳能转化为热能进行储存和利用。需要的核心部件主要包括反射镜、聚光器支架、吸热管（器）、跟踪驱动系统（双回转减速机、回转减速机+电动推杆、液压驱动系统），连接软管（或旋转接头）等配套部件以及吸热介质（熔盐或导热油等）。储热系统将转化的热能进行储存，在没有阳光的时候通过换热器产生高温高压蒸汽推动汽轮机组发电。需要的核心装备主要包括大尺寸熔盐储罐（例如，某电站中冷罐直径 24m×高 14m，热罐直径 25m×高 14m）、熔盐换热器、熔盐泵、熔盐阀以及储热介质（熔盐）等设备设施及材料。

据太阳能光热联盟统计，在太阳能热发电用超白玻璃原片、专用聚光器、吸热器等方面，我国企业已经建立了数条生产线，具备了支撑太阳能热发电大规模发展的供应能力。我国拥有太阳能超白玻璃原片生产线 5 条，槽式玻璃反射镜生产线 6 条，平面镜生产线 6 条，槽式真空吸热管生产线 10 条，塔式定日镜组装生产线 19 条，槽式集热器组装生产线 18 条，跟踪驱动系统生产线 21 条，导热油生产线 9 条，熔融盐生产线 15 条。

粗略计算，我国反射镜产能已经能够满足每年 2~3GW 带 6 小时以上储能的太阳能热发电站的建设。槽式吸热管的总产能约 2GW，能够供应约 40 座带 7 小时储能 50MW 槽式电站同时建设。我国太阳能热发电关键细分产品产能情况如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 我国太阳能热发电关键细分产品产能情况

分类	年产能	主要代表企业
太阳能超白玻璃	9200 万平米	艾杰旭特种玻璃（大连）、中建材、凯盛大明、河南安彩太阳能、金晶科技
槽式反射镜	2350 万平米	武汉圣普、成都禅德、平湖凯盛大明、山西国利天能、瑞环（内蒙古）太阳能
平面镜	3360 万平米	武汉圣普、成都禅德、凯盛大明、台玻悦达
槽式高温吸热管	100 万支	龙腾光热、天瑞星、大成科技、山东汇银、道荣新能源、瑞环（内蒙古）太阳能

（二）行业规模

1、行业总资产

据不完全统计，2020 年太阳能热发电行业总资产累计达到约 455 亿（不包括企业资产，2018 年约 300 亿），2020 年新增投资约 155 亿。

2、项目营收

截至 2020 年底，我国共有 10 座 1 万千瓦规模以上太阳能热发电项目并网。华强兆阳张家口一号 15MW 类菲涅耳发电项目建设完成，玉门鑫能 50MW 熔盐塔式示范项目、金钒能源阿克塞 50MW 熔盐槽式示范项目正在建设，预计 2021 年底并网发电。若按照 1.15 元/kWh 标杆电价粗略计算，并网的太阳能热发电项目（2020 年前并网项目年设计发电量总计 17.83 亿 kWh）满发后电力销售年营收约 20 亿元。我国太阳能热发电项目投资和发电量情况见表 1-2-1。

表 1-2-1 我国太阳能热发电项目投资和预计营收情况

序号	项目名称	储能时长	总投资	设计年发电量	预计营收
1	青海中控德令哈 10MW 光热电站	2h	2.1 亿元	1.2 亿 kWh	1.44 亿元（上网电价 1.2 元/kWh）
2	首航敦煌 10MW 塔式熔盐光热发电项目	15h	4.2 亿元	5000 万 kWh	1539 万元（上网电价 0.3078 元）

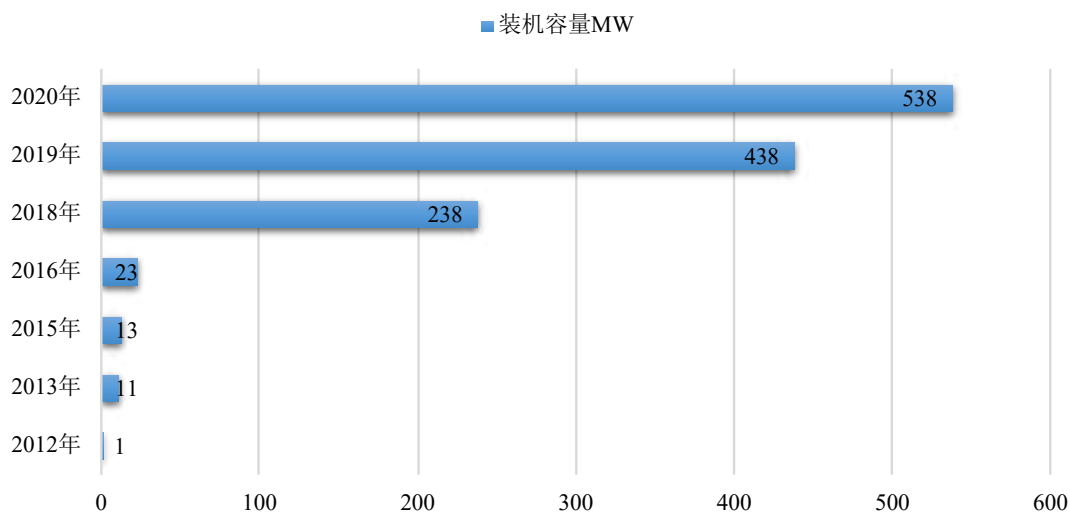
3	中广核德令哈 50MW 导热油槽式示范项目	9h	17 亿元	1.975 亿 kWh	2.27 亿元（上网电价 1.15 元 /kWh）
4	首航高科敦煌 100MW 熔盐塔式示范项目	11h	30 亿元	3.9 亿 kWh	4.485 亿元（上网电价 1.15 元 /kWh）
5	青海中控德令哈 50MW 熔盐塔式示范项目	7h	10.88 亿元	1.46 亿 kWh	1.679 亿元（上网电价 1.15 元 /kWh）
6	中电建青海共和 50MW 熔盐塔式示范项目	6h	12.22 亿元	1.569 亿 kWh	上网电价待明确
7	中电工程哈密 50MW 熔盐塔式示范项目	13h	16.4 亿元	1.983 亿 kWh	上网电价待明确
8	兰州大成敦煌 50MW 熔盐线菲示范项目	15h	16.88 亿元	2.14 亿 kWh	上网电价待明确
9	鲁能格尔木 50MW 熔盐塔式多能互补示范项目	12h	15 亿元	1.6 亿 kWh	上网电价待明确
10	乌拉特中旗 100MW 导热油槽式示范项目	10h	28.8 亿元	3.92 亿 kWh	上网电价待明确
11	华强兆阳张家口 15MW 类菲涅耳发电项目	14h	7 亿元	7500 万 kWh	上网电价待明确
12	玉门鑫能 50MW 熔盐塔式示范项目	9h	17.9 亿元	2.16 亿 kWh	上网电价待明确
13	金钒能源阿克塞 50MW 熔盐槽式示范项目	15h	19.86 亿	2.56 亿 kWh	上网电价待明确

注：表中数据根据公开信息整理。

3、市场规模和发电量

3.1 太阳能热发电装机规模

根据太阳能光热联盟统计，截至 2020 年底，全球太阳能热发电累计装机容量达到 6690MW，我国并网的太阳能热发电累计装机容量达到 538MW（含兆瓦级以上规模项目）。其中，首批太阳能热发电示范项目并网容量达到 450MW。我国装机容量在全球占比达到 8%，较 2019 年提高了 2%。内蒙古乌拉特中旗 100MW 导热油槽式太阳能热发电示范项目为 2020 年全球公开报道的唯一一座并网发电的太阳能热发电项目。



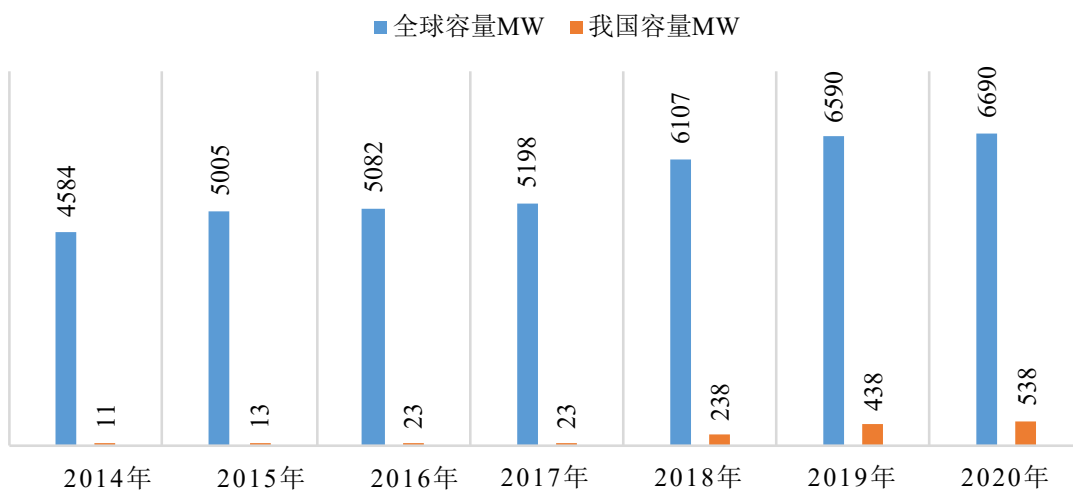
来源：太阳能光热产业技术创新战略联盟 CSTA

图 1-2-1 我国太阳能热发电累计装机容量

表 1-2-2 我国建成的兆瓦级以上太阳能热发电项目

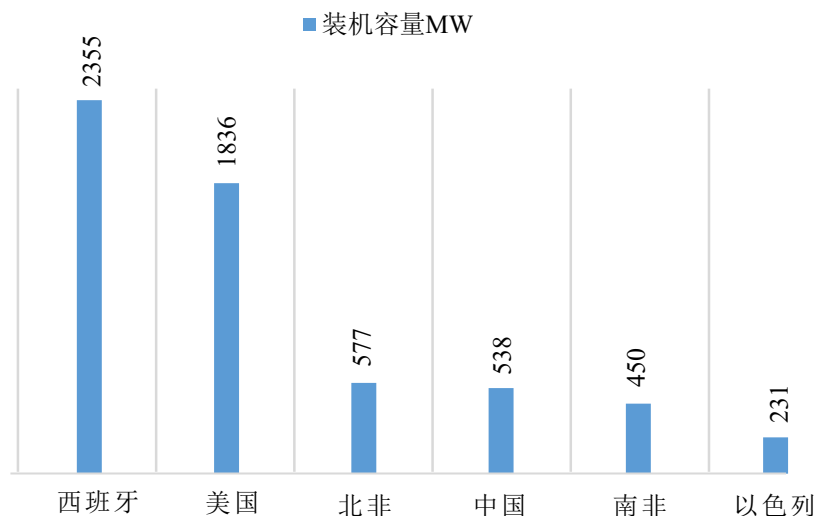
时间	装机 (MW)	太阳能热发电项目
2012 年	1	中科院电工所八达岭 1MW 塔式
2013 年	11	中控德令哈 10MW 塔式
2015 年	13	兰州大成 1MWe 的屋顶式聚光太阳能热电联供电站、拉萨柳梧 1MWe 聚光太阳能分布式热电联供示范项目
2016 年	23	首航敦煌 10MW 塔式
2018 年	238	中广核 50MW 槽式、首航敦煌 100MW 塔式、青海中控 50MW 塔式、华强兆阳张家口一号 15MW 类菲涅耳发电项目
2019 年	438	青海共和 50MW 塔式、新疆哈密 50MW 塔式、兰州大成 50MW 线菲、鲁能海西多能互补 50MW 塔式
2020 年	538	内蒙古乌拉特中旗 100MW 导热油槽式示范项目

2020 年底，我国太阳能热发电装机容量位居全球第四。西班牙仍拥有全球最大的太阳能热发电装机容量，约为 2355MW；美国位居第二，约为 1836MW；北非地区太阳能热发电装机容量达到 577MW。



来源：太阳能光热产业技术创新战略联盟 CSTA

图 1-2-2 2020 年全球太阳能热发电累计装机容量



来源：太阳能光热产业技术创新战略联盟 CSTA

图 1-2-3 世界主要国家和地区太阳能热发电装机容量

3.2 太阳能热发电示范项目发电量

太阳能热发电系统复杂，且在我国属于太阳能热发电技术的首次规模化示范，太阳能热发电站的设计、建设及运维经验较少，存在较长的设备调试消缺、优化和运行经验积累的过程。国际经验，一般需要2年左右的调试消缺和提升时间。此外，加上受新冠肺炎疫情影响，一些项目的国外设备供应商不能及时提供售后服务，影响了电站运行。2018年率先并网的三个示范项目通过不断消缺、优化和经验的积累，发电量逐步提高。

其中，中广核德令哈 50MW 光热发电示范项目通过不断调试消缺，2020 年上网电量同比 2019 年提升 115%、2021 年一季度同比进一步提升了 65%，并实现连续稳定运行 32 天（772 小时）的运行记录。青海中控德令哈 50MW 光热电站实际发电量已经基本接近设计发电量，截至 2020 年，累计发电量达到 1.7 亿度；其中 2020 年 10 月份（10 月 9 日～11 月 8 日 24 时）发电量合计达 1840 万 kWh，再创月度发电量新高，月度累计上网电量 1715.28 万 kWh，厂用电率仅为 6.78%。机组最长连续时间为 292.7 小时，单日最大发电量 99.5 万 kWh。首航高科敦煌 100MW 光热电站 2020 年全年发电量 1.37 亿 kWh（发电量偏低的主要原因是项目前期典型年气象数据与实际数据相差较大、四季度安排吸热防护板检修，疫情导致汽轮机组维修周期很长，以及敦煌全年天气变化，风沙天太多等导致年利用小时数远不及预期），以平均负荷率 60% 左右实现了不停机运行 9 天（216 小时）。

根据 2018 年并网太阳能热发电示范项目验收结论，太阳能热发电机组调峰深度最大可达 80%，爬坡速度快，升降负荷速率可达每分钟 3%～6% 额定功率，冷态启动时间 1 小时左右、热态启动时间约 25 分钟，可 100% 参与电力平衡，是灵活快速调峰电源，对保障以新能源为主体的电力系统安全稳定运行具有重要价值。

4、行业结构

太阳能热发电是技术和资金双密集型行业。在太阳能热发电项目投资成本结构中，对于太阳能热发电行业专有的聚光、吸热、传储热系统约占整个电站投资的 68%。这与目前太阳能热发电行业结构中企业数量及其构成比例成对应关系。如前所述，目前太阳能热发电行业中聚光、吸热、传储热系统相关企业数量达到了 317 家，占到目前行业相关企业总数的 58%。

4.1 投资成本结构

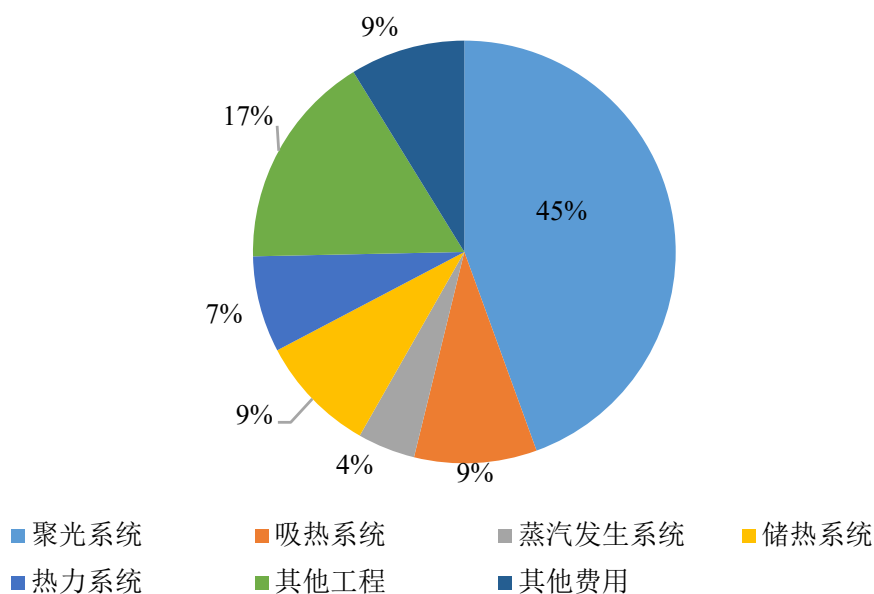


图 1-2-4 国内某 7 小时储能 50MW 太阳能热发电项目投资成本结构图

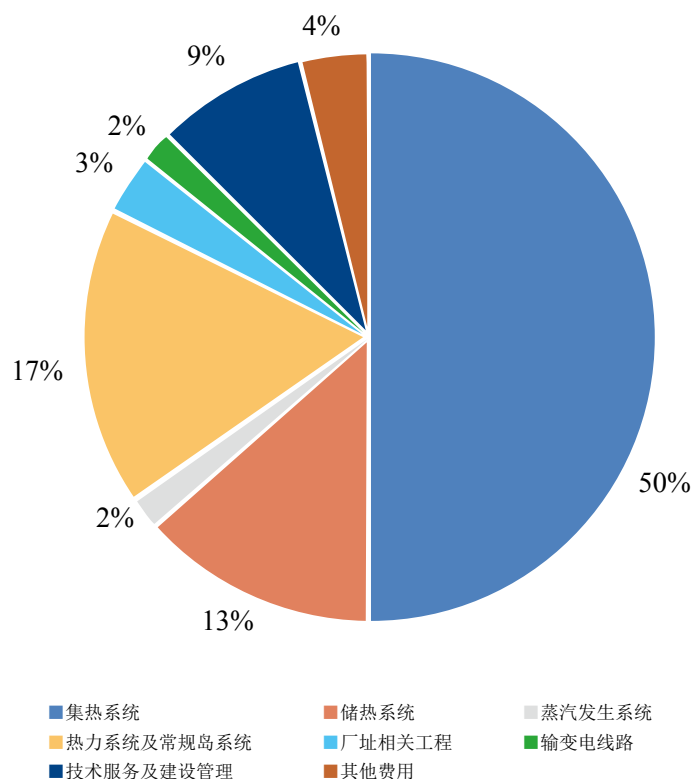


图 1-2-5 国内某 50MW 带 15 小时储能太阳能热发电项目实际投资组成

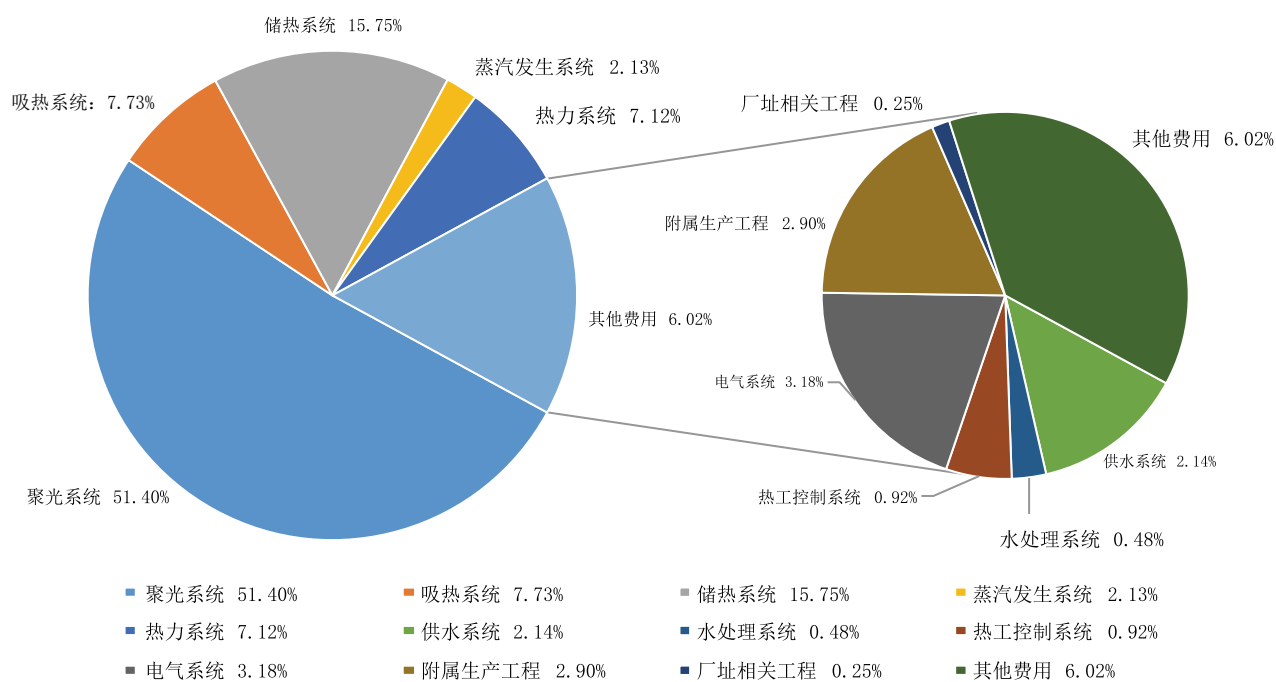
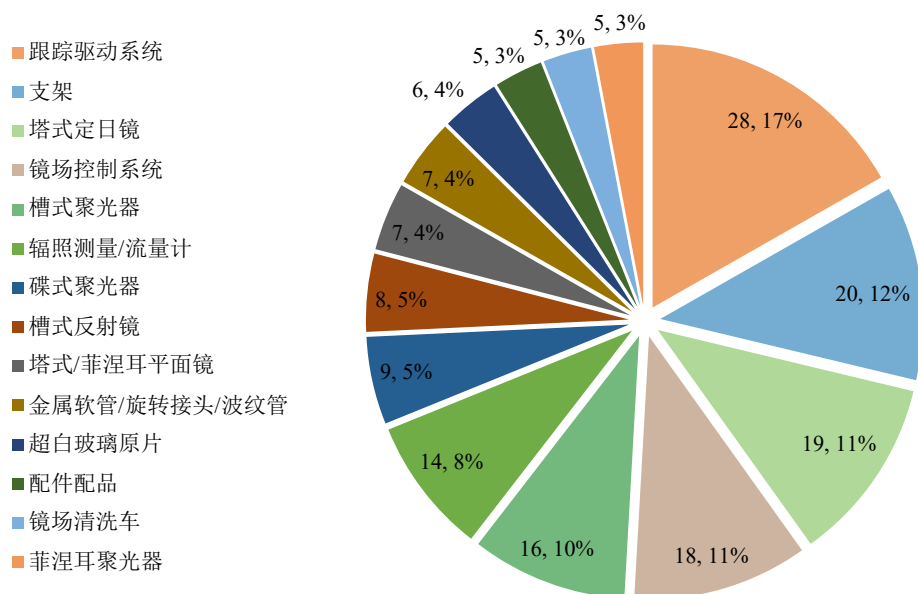


图 1-2-6 国内带 12 小时储能 100MW 塔式太阳能热发电项目造价组成 *

* 来源：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟《太阳能热发电成本下降路径分析》

4.2 细分行业结构

在太阳能热发电行业中，目前聚光领域企事业单位数量最多，约为 167 家。细分聚光系统行业结构发现，跟踪驱动系统相关企业最多，占比约 28%。其次是支架企业，占比在 20% 左右。塔式定日镜、镜场控制系统、槽式聚光器也分别占到聚光系统相关企业总数的 19%~16%。如下图 1-2-12 所示。

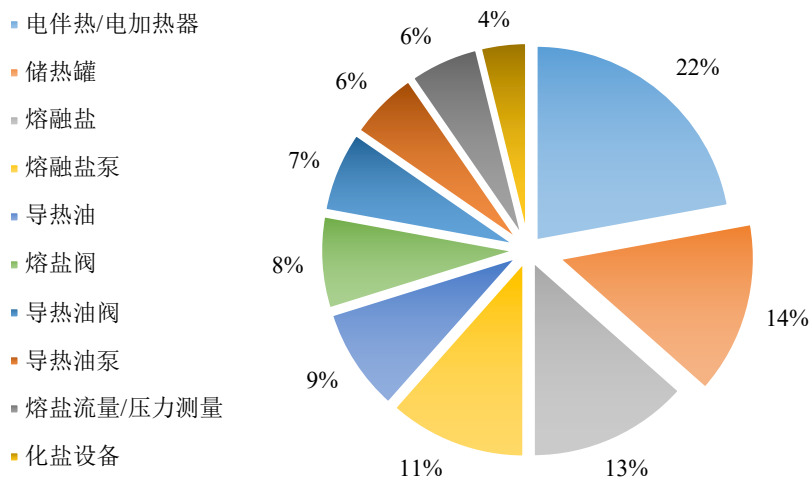


来源：太阳能光热产业技术创新战略联盟 CSTA

图 1-2-7 我国太阳能热发电聚光系统细分行业结构

太阳能热发电最大的特点是带有大容量、低成本、安全环保的储热系统，从而克服太阳能间歇性和不稳定性的劣势。据太阳能光热联盟不完全统计，2020 年我国太阳能热发电储热领域相关企事业单位 104 家，其中，电伴热 / 电加热器企业占比最高，达到 22%。其次，熔盐储罐和熔盐材料行业，企业占比分别为 14% 和 13%。

通过太阳能热发电示范建设，我国在高温熔盐泵领域也有了重大突破，相关企业达到 12 家。其中，江苏飞跃机泵集团有限公司为兰州大成敦煌 50MW 熔盐线性菲涅耳式光热发电项目研发制造的 17 米热盐泵于 2019 年 12 月 14 日首次启泵（热罐补盐），一次性调试成功，且稳定运行。这是我国首台自主研发制造的熔盐热泵在大型太阳能热发电站中成功投运，标志着光热发电熔盐泵在国产化进程中迈出了坚实一步，具有重要意义。



来源：太阳能光热产业技术创新战略联盟CSTA

图 1-2-8 我国太阳能热发电传储热系统细分行业结构

太阳能热发电吸热环节相关企业总量约为 46 家。其中，槽式中高温集热管厂家最多，达到 19 家；玻璃外管企业 4 家；塔式吸热器企业 11 家；菲涅耳镀膜钢管企业 9 家；碟式斯特林机企业 3 家。

5、2010-2020 生产线数量变化

2010 年，由于对于我国第一个特许权招标项目——50MW 鄂尔多斯槽式太阳能热发电项目以及我国太阳能热发电市场的期待，相关企业开始关注太阳能热发电领域，陆续建设并投产了一批关键核心部件生产线。其中，浙江大明、成都禅德、台玻悦达、武汉圣普、国利天能等太阳能光热聚光反射镜生产线于 2011~2015 年期间投产。山东汇银、北京天瑞星、龙腾光热等槽式真空管生产线分别于 2013-2015 年期间投产。



图 1-2-9 龙腾光热槽式高温吸热管

2016年~2020年,在首批太阳能热发电示范项目建设期间,新增反射镜生产线3条,包括瑞环太阳能槽式反射镜生产线、清芸主力能源碟式聚光镜生产线以及甘肃凯盛大明太阳能光热和光伏发电用聚光材料及深加工生产线。新增超白光热材料生产线1条——中建材(濮阳)光电材料有限公司日熔化量400吨超白光热材料生产线和配套光热发电反射技术深加工项目。新增槽式集热管生产线2条(龙腾光热科二期年产24万支真空集热管生产线、瑞环太阳能年产10万支集热管生产线)。新增太阳能光热支架热镀锌生产线2条(青岛星跃铁塔、甘肃远航光热)。

(三) 规模企业

1、规模企业的生产能力、厂家数量

随着太阳能热发电示范项目的建设和投产,2020年我国太阳能热发电产业链需求相较于2018年更为旺盛,产业链日益紧张的产品需求促进了相关企业的规模化发展,同时有规模的企业带动了太阳能热发电行业消费的提档升级,吸引了更多的资本投入和技术投入,为太阳能热发电项目的建设及投产注入了活力。

2020年我国太阳能热发电产业规模化企业主要经营定日镜、太阳能超白玻璃、槽式反射镜、平面镜、槽式高温吸热管、跟踪系统、导热油泵、集热器等相关产品。据不完全统计,太阳能超白玻璃可规模化供货企业有5家,这5家企业总产能约为9200万 m^2 /年;槽式反射镜可规模化供货企业有6家,总产能约为2350万 m^2 米/年;平面镜可规模化供货企业有5家,产能约3360万 m^2 /年;槽式高温吸热管可规模化供货企业有10家,产能约100万支/年。规模化企业具体数量情况如图1-3-1所示。

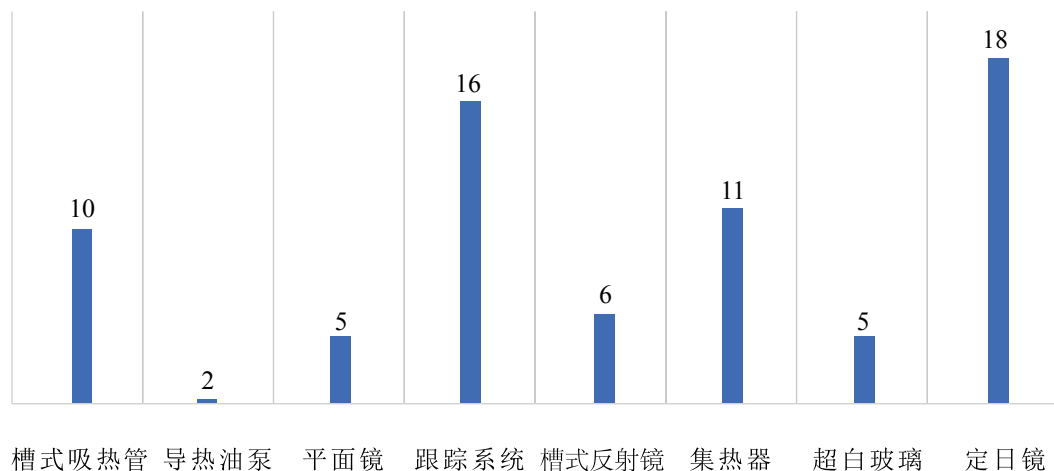


图 1-3-1 2020 年我国太阳能热发电产业链规模化企业数量

2、业务类型及总资产

伴随着我国太阳能热发电累计装机容量的不断攀升，我国太阳能热发电产业链吸引了国内众多科研机构、大型企业的投资。同时政府部门积极颁布相关政策，吸引外资助力中国太阳能热发电产业的发展。国家发展改革委和商务部共同发布了《鼓励外商投资产业目录（2020年版）》，太阳能集光镜玻璃被列入鼓励外商投资的制造业大类中的非金属矿物制品业；光热发电行业发电成套设备或关键设备制造、斯特林发电机组制造、太阳能空调、采暖系统、太阳能干燥装置制造等被列入鼓励外商投资的制造业大类中的电气机械和器材制造业类目。

2018年我国太阳能热发电产业链业务总资产达到1948亿元。据不完全统计，2018到2020年间，我国太阳能热发电行业新增投资约155亿，即2020年我国太阳能热发电产业链业务总资产达到2100亿元。2020年企业总资产在专用材料、专用设备、电站设计科研机构单位、电站投资、建设方面的大致情况如表1-3-1所示。

表 1-3-1 太阳能热发电业务类型及总资产

序号	技术类别	资产总额（亿元）
1	专用材料	377
2	聚光器及减速机	3.5
3	吸热器	226
4	流体运输类	2.5
5	换热器	86.4
6	发电设备	320
7	控制设备	7.5
8	电站设计科研机构	5
9	电站投资，建设单位	1070
10	服务类	0.4
11	教育单位	2.2
12	专业媒体	0.22
	总计	2100

3、近五年自主创新取得的效果

1) 2016年12月26日，首航敦煌10MW熔盐塔式光热电站一次并网发电。该电站于2018年确定改造为超临界二氧化碳布雷顿循环系统。

2) 2017年5月，中国科学院电工研究所、中广核太阳能公司、中海阳能源公司、皇明太阳能集团

等在国家 863 项目的支持下，在北京延庆中国科学院电工所太阳能热发电实验电站内建成了 1MW 槽式电站，并成功运行。

3) 2018 年 10 月 10 日，中广核德令哈 50MW 光热发电示范项目投入运营，电站配置高温熔盐储热系统，储热设计时长 9 小时，年发电量约 2 亿度，与火电相比，每年可节约近 6 万吨标准煤，可减少二氧化碳排放约 10 万吨，相当于植树造林 4200 亩。

4) 2018 年 12 月 28 日，首航高科敦煌 100MW 熔盐塔式电站并网发电，该电站配置 11 小时熔盐储能系统，设计年发电量 3.9 亿 kWh，每年可减少二氧化碳排放 35 万吨，节约标煤 13 万吨，减少粉尘排放 10 万吨，还可减少 140 多万 m² 的太阳光对地面的直接照射，减少沙漠蒸发量，减少风速，从而阻止了部分土壤的进一步沙化，相当于种植了约 1 万亩森林，兼顾了环保效应和经济效应。

5) 2018 年 12 月 30 日，中控太阳能德令哈 50MW 熔盐塔式电站并网发电，该电站配置 7 小时熔盐储能系统，共安装 27135 台定日镜，每台定日镜面积 20m²，镜场采光面积 54.27 万 m²，电站设计年发电量 1.46 亿 kWh，每年可满足 8 万余户家庭清洁用电，每年可节约标准煤 4.6 万吨，减少二氧化碳排放约 12.1 万吨，经济和社会效益较好。

6) 2019 年 12 月 29 日，中电哈密 50MW 塔式光热发电项目一次并网成功，该项目采用塔式熔盐发电技术，配置大容量、高参数、高效率自主集成设计的储换热系统，系统可以为发电机组提供 13 小时连续满负荷发电能量，可实现年供 1.983 亿 kWh 清洁电力，每年可节约标煤 6.19 万吨，对推动整个新疆光热发电产业技术进步具有积极的示范效应。

7) 2020 年 6 月 19 日，兰州大成敦煌 50MW 熔盐线性菲涅耳式太阳能热发电示范电站正式投入商业运行，该项目是世界首座 50MW 商业化运营的熔盐线性菲涅耳式光热电站，采用兰州大成具有自主知识产权的线性菲涅耳聚光集热技术，并采用熔盐作为集热、传热和储热的统一介质，集热器设计出口温度 550℃，储热时长 15 小时，具备 24 小时持续发电能力，年利用小时数 4283 小时，年设计发电量 2.14 亿 kWh。

8) 2020 年 8 月 27 日，由中国能建规划设计集团西北院设计、山东电建三公司总承包的鲁能海西格爾木 50MW 塔式光热电站圆满完成 120 小时可靠性运行，该项目采用塔式熔盐太阳能热发电技术，可实现 24 小时连续稳定发电，项目建成后每年可输送清洁电力 1.46 亿度，节约标准煤 4.6 万吨，减少二氧化碳排放达 12.1 万吨，是国家层面对光热发电的成功示范。

9) 2020 年 11 月 6 日，由中国电建集团投资、中电建西北院总承包的中电建青海共和 50MW 熔盐塔式光热发电项目成功实现满负荷发电，该电站总占地面积 2.12 平方公里，采用 30016 面 20 平米定日镜，吸热器中心标高 210 米，选用二元熔盐作为传储热介质，温度参数 290/565℃，储热时长 6 小时，汽轮机选用超高压、一次再热、双缸双转速、直接空冷凝汽式汽轮机，预计年发电 1.56 亿 kWh。

10) 2020 年 12 月 16 日，内蒙古乌拉特中旗 10 小时储能 100MW 槽式导热油太阳能热发电项目实现满负荷发电，电站全面投运后，年发电量约 3.92 亿 kWh，年节省标煤 12 万吨、减排二氧化碳 30 万吨、减少硫氧化物排放 9000 吨、减少氮氧化物排放 4500 吨。

4、国际市场

表 1-3-2 太阳能热发电产业链国际化经营情况

	法国	印度	马来西亚	希腊	摩洛哥	迪拜	美国	比利时
材料						√		
聚光器							√	
吸热器	√	√	√			√		√
储热器						√		
换热器						√		
熔融盐泵								
导热油					√			
聚光场控制器								
设计咨询				√		√		
工程总包				√	√	√		

据统计，导热油、熔融盐、塔式吸热器、槽式聚光器、机械 & 液压传动、菲涅耳聚光器、吸热管、菲涅耳吸热器生产商中已有向全球进行供应的厂商，相比于 2018 年国际化经营情况，吸热器及聚光器出口国家数目略有增多，同时对外工程总包数量也有增多。其中，龙腾光热槽式吸热管累计出口 1 万支。继山东电力建设第三工程公司和上海电气集团分别总包了摩洛哥和迪拜的太阳能热发电站后，2019 年 11 月 10 日，中国企业与希腊签订首个光热发电项目总包合同，中国能建下属的中国葛洲坝集团国际工程有限公司与浙江中控太阳能技术有限公司组成联营体负责希腊 MINOS 50MW 光热发电项目 EPC 建设。对外工程总包能够进一步带动国内太阳能热发电产品的出口，同时将国内太阳能热发电技术应用到国外太阳能热发电项目中。由上海电气集团总包的迪拜 950MW 太阳能电站项目中，中国企业参与的部分情况如表 1-3-3 所示。

表 1-3-3 中国企业参与迪拜 950MW 太阳能电站项目的部分情况

建设 / 招标内容	参建 / 中标单位
EPC 总包方	上海电气集团
常规岛勘察设计服务	中国电力工程顾问集团华东电力设计院
塔式电站蒸汽发生器	上海电站辅机厂
9000 吨钢板	南京钢铁集团有限公司
塔式电站设计咨询	中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司

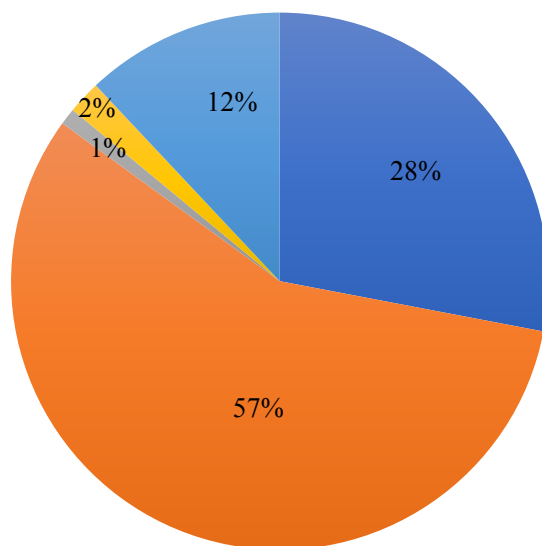
熔盐储罐	甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司 蓝星(北京)化工机械有限公司
塔式电站定日镜立柱	江苏振江新能源装备股份有限公司
槽式电站设计咨询	内蒙古电力勘测设计院有限责任公司
吸热器保温系统	山东鲁阳节能材料股份有限公司
塔式熔盐吸热器	上海锅炉厂有限公司
槽式电站油盐换热器	上海电站辅机厂

5、民营企业、国企、外企占比情况

据统计,参与太阳能热发电的企业数量呈现逐年快速增长的趋势,尤其是民营企业、国有企业以及事业单位。对比2018年企业占比情况,2020年参与太阳能热发电的国有企业达到153家,比2018年增长了87家;民营企业达到310家,比2018年增长了196家;事业单位达到了65家,比2018年增长了6家。太阳能热发电技术类别中各类企业分布情况如表1-3-4所示。

表 1-3-4 民营企业、国有企业、外企数量情况

技术类别	国有企业	民营企业	合资企业	外资企业	事业单位
专用材料	4	19	2	2	
专用设备	13	77		5	
吸热器	16	48			
流体运输类	10	51			1
换热器	18	54	3		
发电设备	7	7			
控制设备	5	20	1		
电站设计科研	23	2		1	16
电站投资建设	52	12		1	
服务类	5	8			7



■ 国有企业 ■ 民营企业 ■ 合资企业 ■ 外资企业 ■ 事业单位

图 1-3-2 2020 年参与我国太阳能热发电各类企业占比情况

由图 1-3-2 可知，参与我国太阳能热发电的企业中，数量比重最大的是民营企业，其次是国有企业，再者为事业单位，合资企业以及外资企业占有比例较小。由此可见，我国太阳能热发电产业依旧是国内企业参与为主导，外资参与建设为辅助的格局。

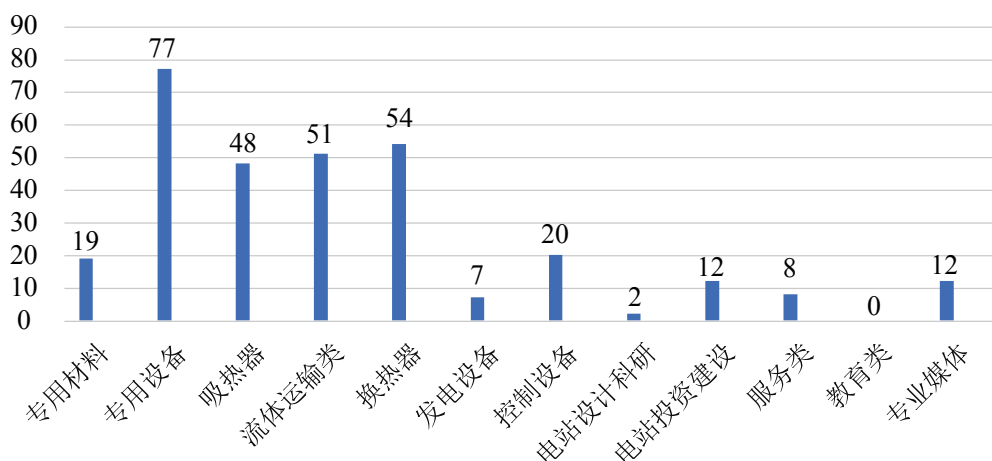


图 1-3-3 2020 年民营企业在我国太阳能热发电产业链上的分布

由图 1-3-3 可知，在 2020 年我国太阳能热发电产业链上，民营企业大多从事专用设备、吸热器、换热器等制造业，在电站设计科研、发电设备以及教育类投资相对较少，这意味着随着太阳能热发电行业的发展，资金雄厚的央企和国企将占据主导地位。

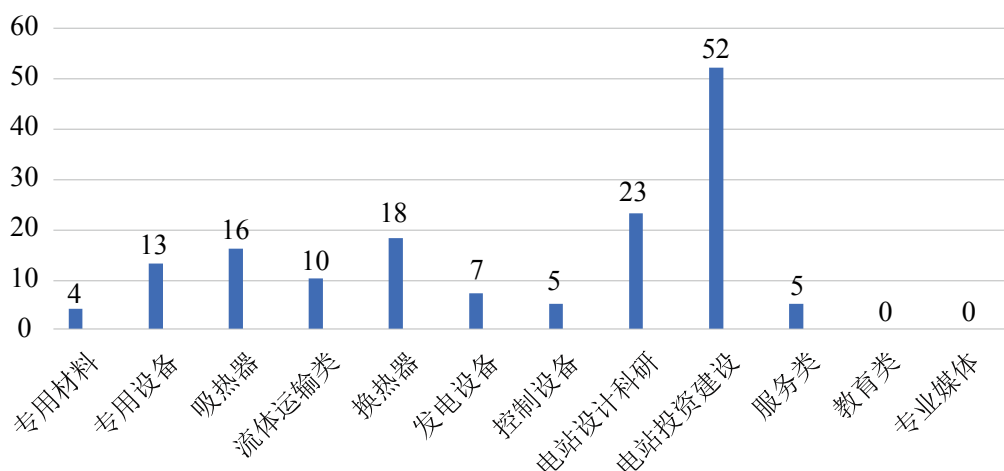


图 1-3-4 2020 年国有企业在我国太阳能热发电产业链上的分布

由图 1-3-4 可知，2020 年，我国太阳能热发电产业链上，国有企业主要分布在电站设计科研、电站投资建设、换热器等技术含量高、投资大的领域，与民营企业投资形成互补，为太阳能热发电行业解决了技术以及经费难题，同时给民营企业投资太阳能热发电行业起了积极向导作用。

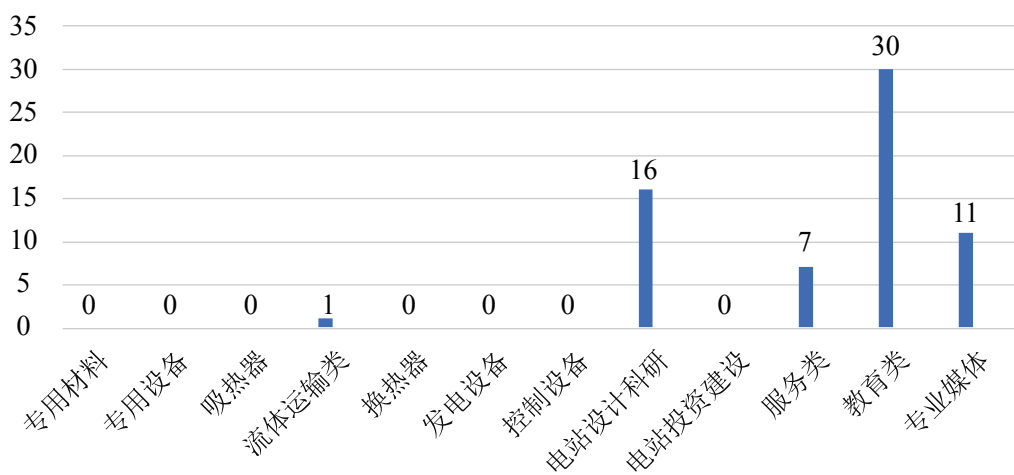


图 1-3-5 2020 年事业单位在我国太阳能热发电产业链上的分布

由图 1-3-5 可知，在 2020 年我国太阳能热发电产业链上，事业单位在产业链上主要从事太阳能热发电的相关教育和研究，事业单位中主要以高等院校为主，例如：北京大学、清华大学、浙江大学、天津大学、西安交通大学和华北电力大学等。

（四）行业发展存在的主要问题

1、发展初期尚未达到规模效应，成本较高

我国于 2016 年启动了首批太阳能热发电示范项目建设。2020 年初，财政部、国家发改委、国家能源局突然发布《关于促进非水可再生能源发电健康发展的若干意见》（财建〔2020〕4 号），提出：



2021年12月31日后新增太阳能热发电项目不再纳入中央财政补贴范围。太阳能光伏上网电价经历了十余年的发展变化，才实现了目前的电价水平。而我国太阳能热发电行业仅给予了4年的示范期（建设周期就需要2年），电价补贴政策的“断崖式”停止对技术示范后有待进一步发展的太阳能热发电行业可能是“致命打击”。

太阳能热发电示范项目是国家组织实施的首台套技术示范，技术路线与关键装备多元。同时，由于示范项目的技术路线已经确定、关键装备尚未实现批量化生产，首批示范项目在建设过程中成本难以下降（实质上由于国际经济形势，部分原材料价格还有较大程度上涨）。从技术路线和建设周期而言，首批太阳能热发电示范项目不具备每年电价退坡的条件，不适合光伏发电（建设周期短、产业链已成型）的上网电价退坡节奏。

2、首批太阳能热发电示范项目“历史”问题尚未解决

首批太阳能热发电示范项目是我国首次大规模开展的太阳能热发电利用示范工程，是推动太阳能热发电技术进步和产业发展的重要举措，项目顺利建设运营对于示范引领产业发展意义重大。为发挥示范引领作用，自2016年9月示范项目名单公布以来，各示范项目投资企业作为示范项目建设的责任主体积极推进项目实施，认真做好示范项目各项工作，努力确保项目按要求建成投产。但因我国西北部地区冬季漫长，有效施工期短（每年仅为7个月），产业发展初期经验不足。同时，在没有类似项目建设先例可循的情况下，各地能源投资主管部门均审慎推进项目建设，客观上造成了决策环节较多、各地步骤和标准不尽相同，最主要的是关于延期投产项目的相关政策（上网电价、投资主体）一直未明确，这些因素叠加影响了项目建设进度，导致大部分示范项目进度被迫滞后于国家规定的时间节点。

延期投产项目的电价补贴为多少？能否再次给予延期？这两个核心问题一直困扰未建项目业主，导致投融资决策困难，项目无法开工，因而不能充分发挥示范项目的带动意义。

3、系统设计、设备选型和运行经验需要进一步积累

太阳能热发电站发电量和经济性与前端太阳能资源输入直接相关，示范项目中存在现场实际光资源与设计时采用的典型年光资源数据存在较大差距，导致实际发电量与设计值偏差较大，极大地影响了经济性。由于太阳能热发电是首批示范项目，为确保系统顺利运行，包括熔盐泵阀、汽轮机等设备多采用进口，然而当现场出现问题时（几个电站都出现了熔盐泵振动问题），国外设备厂技术人员响应不及时、维修较慢、配件到厂时间长，同时存在问题责任认定等问题难以解决，耽误了大量的发电时间。设备国产化需求迫切。

此外，太阳能热发电系统较为复杂，存在频繁启停、工况多变化快等情况，对太阳岛、传储热岛及常规岛的设备运行和调控要求较高，但缺乏具有相关经验的运维人员，操作中难免出现失误导致设备或运行出现问题，需要一定时间的培训和实际操作才能满足电站运行要求。

4、常规发电设备需结合太阳能热发电的特点优化

太阳能热发电站采用汽轮发电机组进行发电，发电岛采用的设备在火力发电领域中已经具有较为成熟的运行经验，因此业内普遍认为不存在任何问题。然而光热联盟调研发现，聚光集热系统下游的换热



和发电单元设备的设计和制造过程中未充分考虑太阳能热发电站频繁启停等运行特点，实际运行中换热和发电单元出现了一些问题。如蒸发器泄漏、高温管道作用在汽轮机上的力和力矩超汽轮机设计值，造成汽轮机振动超标，轴封系统和滑销系统损坏；汽轮机轴瓦、发电机轴承漏油，甚至回热加热器疏水系统布置不合理等一系列问题，导致多个光热电站并网后花费较长时间消缺，影响了机组的达产时间。根据对燃煤发电领域及国际太阳能热发电站的调研，此类问题也曾发生；从侧面印证了光热发电全系统的复杂性。因此，需要依据太阳能热发电站频繁启停等运行特点，组织国内关键设备供货方、系统设计方以及运行方深入研究及优化，特别注意汽轮机、加热器，电伴热设置、保温这类看似常规的辅助系统，虽然与常规火电工程类似，却存在其特殊之处。因此需加强从前期设备设计选型到工程设计、施工建设、调试等多个环节的技术管理，使机组投运后系统、设备运行安全稳定，最大限度缩短消缺时间，确保太阳能热发电站的经济效益。



二、2025 年面临形势判断

在复杂的国内外形势下，全球能源需求和经济增速都有所放缓，世界能源体系面临着多种能源共同利用和节能减排的需求。随着新能源发电的经济竞争力逐步增强，清洁能源装机容量将大幅增长，电源结构朝着更加清洁低碳的方向发展。太阳能热发电作为新能源发电的重要组成部分，既有机遇又面临着挑战。

（一）国内外经济发展趋势对太阳能热发电技术的影响

根据《BP 世界能源展望》（2020 版）研究结果，在未来 30 年，世界经济将持续增长，全球 GDP 年均增长约为 2.6%，经济体的日益繁荣促进了全球能源需求增长，预计到 2050 年，一次能源需求增长约 10%。随着多项政策鼓励向低碳能源转型，用于电力行业的可再生能源将呈现迅速增长趋势，尤其是风能和太阳能，太阳能热发电技术作为友好型可再生能源发电技术将进一步得到发展。

在可再生能源需求日益紧张的形势下，太阳能热发电技术将迎来巨大的发展机遇。太阳能热发电技术的特点和优势主要包括：①带有储能装置，发电功率相对平稳可控，对电网友好。②采用常规的汽轮机或燃气轮机进行热功转换驱动发电机发电，在去除煤电产能的背景下，能够拉动汽轮机、发电机、电站锅炉、电站辅机等产品需求，降低去煤化对火力发电装备制造业的冲击。③运行方式灵活。④综合能源服务的中坚力量，太阳能热发电可进行热电并供，可利用余热进行咸水淡化和清洁供暖等。太阳能热发电（含储能系统）最大的优点就是对电网友好，非间歇式发电形式，这点优于光伏发电系统。在碳中和的大背景下，太阳能热发电由于其以上特点，在部分替代火力发电的方面将发挥重要作用。

太阳能热发电除在部分替代火力发电方面发挥重大作用外，其度电成本也有较大的下降空间。目前，除了研发新材料和新技术、优化运维、提升系统效率、提高发电量外，规模化发展也是降低成本的主要途径。同时，国家政策的支持、社会和市场的认可与融资支持力度等也是促进光热发电成本下降的主要驱动因素。

我国太阳能热发电不仅面临着机遇，同时也充满着挑战。目前尚未并网投运的存量项目中，除玉门鑫能项目和金钒阿克塞项目外，其余项目在 2021 年内投运已不现实，这在一定程度上给太阳能热发电产业发展带来了极大挑战。

但总的来说，在复杂的世界经济形势下，我国太阳能热发电将继续砥砺前行、稳定发展。据《中国 2030 年能源电力发展规划研究及 2060 年展望》，我国 2025 年太阳能发电装机规划为 5.6 亿千瓦，其中太阳能热发电装机规划约为 10GW，这给太阳能热发电行业的发展释放了积极的信号。

（二）面临的机遇

2020 年 9 月 22 日，中国政府在第七十五届联合国大会上提出：“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和。”碳达峰和碳中和目标的提出，使得我国削减碳排放有了明确的目标和时间表，太阳能热发电和采暖产业

也迎来了前所未有的机遇。

高比例可再生能源接入电网已经成为定局，随着波动性可再生能源光伏和风电装机容量的不断增加，电网对电源侧的稳定性要求越来越高。太阳能热发电的能量转换过程为太阳辐射能转化为热能，再通过热功转换生产电能，这一特点使得太阳能热发电在技术上天然配有低成本大容量的储热系统，生产的电力可以根据电网需求调度的优势，可以和光伏电站互补，组成太阳能电站，也可以和风电组成新型的风光互补电站，还可以在我国西部可再生能源基地中，充当能源互联网中能量接收和发送的重要节点。清华大学和新能源研究所的研究表明，太阳能热发电站和光伏电站按照一定的装机比例组成太阳能发电站后，可以有效地提高电力稳定性，减少弃光现象的发生。美国能源部发布报告表明，电网中存在一定比例的太阳能热发电，可以有效地提高电网的健壮性。

以超临界二氧化碳为做功工质的超临界二氧化碳太阳能热发电技术被美国能源部认为是降低太阳能热发电成本最有效的技术途径。我国在 2019 年启动了由科技部资助的重点研发计划“超临界 CO₂ 太阳能热发电关键基础问题研究”，2020 年该项目完成了颗粒吸热器、颗粒换热器、颗粒提升机等关键装备的研制。此外，可以用于超临界二氧化碳太阳能热发电的高温熔盐材料、基于印刷电路板技术的回热器也在展开研究。而对于传统的熔盐塔式太阳能热发电站和导热油槽式太阳能热发电站，配备更大容量的储热系统，也是应对以高比例可再生能源接入电网，太阳能热发电可以采用的技术途径。

太阳能热发电可以分为聚光、吸热、储热换热和发电四个组成部分，发电特性与传统的火电站非常相似，发电过程也是传统的热功转换过程。我国太阳能热发电商业化应用表明，太阳能热发电不仅可以拉动传统的水泥、钢铁、机械加工、玻璃、化工制造等产业的产能，而且传统的火力发电厂的设备供应商和火电厂的电力设计院均是我国太阳能热发电站的装备供应商和技术服务商。碳达峰和碳中和目标的提出，虽然压缩了传统化石燃料发电站的装机容量，但是这部分产能和技术人员可以相对容易地转移到太阳能热发电产业上来，这对提高国家经济和社会稳定有很大的帮助。

在我国碳排放中，水泥、冶金和玻璃等行业在碳排放中占有重要比例，而水泥和玻璃的生产过程中，主要能耗在窑炉，窑炉的热能如采用部分太阳能供应，也可以大幅度减排，这也是太阳能热利用行业的一个发展方向。

2020 年我国多个地区已经出台支持采用太阳能采暖政策，2020 年我国新增太阳能采暖面积 1000 万 m²。虽然新增采暖面积仍然是以短周期储热为主，但是基于跨季节储热的采暖技术仍然是一个重要发展方向。

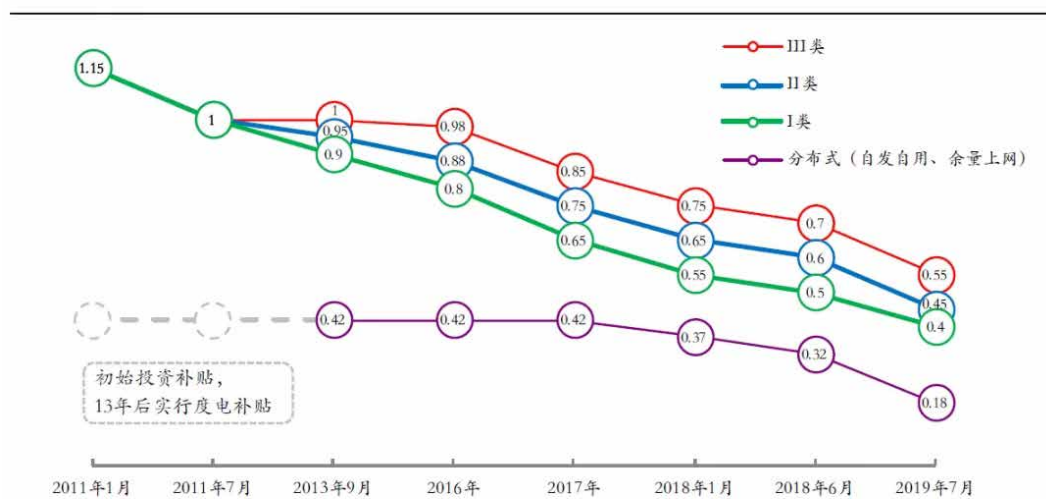
（三）面临的挑战

1、光伏实现平价，国家不再对新增太阳能热发电项目进行补贴

电价政策对可再生能源发展至关重要。政府财政的政策弥补了行业发展初期技术放大，商业模式不成熟及盈利能力较弱的核心问题，从而带动了科技创新和技术突破的步伐以及装机容量的提高，发电成本得以大幅下降，形成良性循环。经过了十余年的补贴式发展（我国光伏补贴累计拨付约 2000 亿元，含扶贫），在国内外大容量市场的拉动和技术进步下，太阳能光伏发电装机容量大幅提升，发电成本也随之大幅下降（光伏标杆上网电价退坡情况如图 2-3-1 所示），2020 年出现了集中式平价上网项目。

由于均属于利用太阳能进行发电的技术，在成本方面，带长周期、大容量储能系统的太阳能热发电

一直被与光伏发电进行对比。2020年，首批太阳能热发电示范项目中率先投产的3个项目被确认进入补贴目录，上网电价1.15元/kWh。这一电价对于首台套示范的太阳能热发电技术而言并不高，与2011年7月1日以前核准建设的太阳能光伏发电项目相同（2011年我国新增太阳能光伏发电装机容量已经达到220万千瓦，全球太阳能光伏发电累计装机容量达6900万kWh，是目前我国以及全球太阳能热发电累计装机容量的4倍和10倍）。在不考虑发展阶段、电力品质和市场规模的情况下，太阳能热发电的电价在整个可再生能源系统中显得较高。



资料来源：各政府文件，光大证券研究所整理；单位：元/千瓦时
注：分布式为补贴标准

图 2-3-1 光伏标杆上网电价退坡情况*

2019年底，我国仅有50MW以上规模示范电站7座，总装机容量仅400MW。然而，2020年2月发布的《财政部 国家发展改革委 国家能源局关于促进非水可再生能源发电健康发展的若干意见》提出：国家将完善现行补贴方式，实施以收定支，合理确定新增补贴项目规模。新增海上风电和光热项目不再纳入中央财政补贴范围。这一政策文件的出台，对于处于发展初期的太阳能热发电行业是致命性打击。如何在无补贴情况下实现发展是太阳能热发电行业面临的首要挑战。

2、太阳能热发电的市场价值如何体现并量化

随着高比例、间歇性和波动性的风电与光伏在电力系统中的比重不断增加，煤电机组占比逐步降低，电力系统的安全、稳定、高效、经济运行和供应将面临严峻挑战。国家电网有限公司总工程师陈国平在《现代电力系统的问题、挑战与发展方向》报告中提出：新能源波动大、我国灵活调节电源占比低，电力系统调节能力严重不足；直流、新能源缺乏常规电源的惯量、调频、调压等功能，导致系统调频调压能力持续下降；新能源出力不确定性强，电力供应保障难度不断增加。现代电力系统自身发展重构需要围绕解决3个关键问题：系统惯量、调节能力、支撑能力。

* 来源：未来智库《可再生能源发展基金的前世今生》

太阳能热发电是集清洁发电、大规模廉价环保储能和同步机并网发电为一身的可再生能源发电方式，具有电力输出稳定、可靠、调节灵活的天然特性，可为电力系统提供可靠、低碳的保障与支撑，尤其在高峰用电支撑方面，可以发挥煤电的作用。实践证明，太阳能热发电不再单是新能源利用和电力系统调节能力的解决方案和手段，更是大型同步电力系统稳定和大直流超远距离输送的必要支撑基础，为电网尤其是风光富裕且远离负荷中心的弱连接区域电网提供必要的惯量、故障短路容量、电压频率支撑等。应大力发展具有传统同步电源特性的光热电源。

太阳能热发电具有运行灵活性的特性，可以实现太阳能光热与风电光伏及其他能源打捆的平滑效益，提升区内消纳和打捆外送中的可再生能源消纳水平，起到“利用可再生能源消纳可再生能源”的作用。高比例可再生能源并网下，太阳能热发电的电力支撑效益显著，有望成为部分地区主要的调节电源重要选项之一。根据清华大学能源互联网研究院的最新研究结果，如果安装 22GW 光伏和 7GW 风电，青海电网在丰水期可连续 3 日全清洁能源供电（包括省内负荷以及特高压外送河南），如在此基础上配置 4GW 太阳能热发电，青海省在丰水期可高达创世界纪录的连续 30 日全清洁能源供电。

目前急需的是太阳能热发电对电网安全稳定运行、调峰以及大规模可再生能源并网的价值量化体现。还原能源商品属性，发挥市场对配置资源的决定性作用。探索体现电源品质差异和市场供求关系的上网电价形成机制，充分发挥储能型太阳能热发电的深度调峰、调频等优势。

3、无补贴情形下的发展模式尚不清晰

2020 年我国提出了“碳达峰、碳中和”目标，这意味着在今后较长一段时期内，已经实现平价的风电和光伏发电都将以更快的速度发展。但随之而来的是日益严峻的调峰能力不足等问题，这也为太阳能热发电行业带来了新的发展机遇。目前，无补贴形势下，太阳能热发电的发展模式和方向主要包括：

一是太阳能热发电作为调峰电源。西北地区是我国大规模开发利用新能源的重要区域，但其中部分地区不具备抽水蓄能、气电等灵活电源的建设条件，同时由于生态保护等原因难以新增煤电装机，缺少为新能源提供调峰能力的解决方案。这些地区有望将具有快速调节能力的太阳能热发电站作为调峰电源，改善新能源快速发展中出现的消纳问题。在青海、新疆、甘肃、内蒙古等资源优质区域，通过与风电、光伏发电基地一体化建设等方式，建设一定规模的太阳能热发电为主的多能互补一体化项目，充分发挥太阳能热发电的调节作用和系统支撑能力，体现太阳能热发电作为调峰电源支持新能源发展的作用，又能充分利用近年来风电、光伏成本快速下降的成果，可以在不需要国家补贴的条件下建设一批太阳能热发电项目，推动行业持续发展。

二是太阳能热发电机组参与电力市场。当前不少省份正在积极推进电力现货市场、辅助服务市场建设，太阳能热发电具有的出力灵活可调、可长时低成本储能等优势，将使其能够通过市场化的方式取得更多收益，有利于在没有国家补贴的情况下支撑太阳能热发电产业可持续发展。自 2019 年以来，各省市及电网公司陆续提出发电企业在投资建设光伏、风电等可再生能源项目时，按一定的容量配套建设储能系统。青海省提出了共享储能的新概念。在 2019 年 6 月西北能监局印发的《青海电力辅助服务市场运营规则（试行）》中，明确指出储能电站可作为市场主体参与调峰辅助服务市场化交易，交易后仍有剩余充电能力，在电网需要调峰资源的情况下调度机构可以按照电网调用储能调峰价格调用储能设施参与青海电网调峰。

三是太阳能热发电走出国门，参与国际市场竞争。近年来，中东、北非等太阳能资源丰富的地区开始将太阳能热发电作为可全天候 24 小时发电的可再生能源解决方案。我国通过首批示范项目的建设和运行，积累了大量经验。一些代表性企业已经走出国门参与或主导国际太阳能热发电项目，这能够提升我国光热产业在国际市场的竞争优势。

这些发展方向目前仍处于探索阶段，在国内尚未有明确的政策支持规定以及示范应用，应用模式仍待明确。此外，国际市场参与度受制于项目数量和工程案例数等因素仍有待加强。

（四）市场需求分析及预测

为满足节能减排的需求，促进可再生能源持续高效发展，习近平总书记在联合国大会上提出“碳达峰、碳中和”的目标愿景。“十四五”规划指出“要积极推进能源革命，建设清洁低碳、安全高效的能源体系，提高能源供给保障能力。”这给太阳能热利用行业释放了积极的信号，有力地加快了太阳能热利用行业的进步。

以下从太阳能热发电、太阳能采暖两方面着重阐述。

国务院新闻办公室 2020 年 12 月发布的《新时代的中国能源发展》白皮书显示，中国可再生能源累计装机容量位居世界首位，绿色能源的发展对我国碳排放强度下降已经产生重要作用。

在 2020 年到 2030 年间，我国太阳能热发电产业将进入规模化阶段，同时随着储能电价政策和机制的明确，在国家政策的有力支持下，预计到“十四五”末期的 2025 年，我国太阳能热发电的累计装机量有望达到 5GW，我国参与全球电站建设的累计装机不低于 10GW。

随着我国第一批太阳能热发电示范项目的陆续投产，以及在国际上承接的太阳能热发电项目各阶段任务的日益增多，中国在该领域技术不断成熟，自主创新能力不断提升，项目管理及装备制造能力也逐年凸显。我国在太阳能热发电装备制造领域具有明显优势，随着国内电站的持续建设和运行维护经验的不断积累，我国在国际市场上逐渐突破国外项目设置的“电站业绩”壁垒，国外已经实施和计划实施的项目中，有大量中国国产设备商参与竞标。在电站的工程建设总包和电站整体总包业务方面，我国企业也积极参与全球竞争，中东、北非项目均有中国企业的参与。世界太阳能热发电领域将越来越需要中国，中国电站总包团队将在项目投资研究与分析等咨询、勘察设计、工程总承包、设备及零部件供应、介质供应、检修运维等方面承担更多的市场份额。

我国北方地区冬季采暖既是市场需求，也是高强度碳排放的重要组成部分。《新时代的中国能源发展》白皮书已经清晰指明，太阳能应采用多方式、多元化的利用模式，在我国北方具有良好太阳资源的地区积极发展太阳能采暖技术。根据国家能源局《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021 年）》，我国北方地区采暖总能耗为 4 亿吨标准煤，以保证率为 60%，太阳能替代其中的 10% 计算，可以年节省标准煤 2400 万吨。2019 年我国北方农村清洁采暖率为 31%，在国家已经积极支持生物质、地热能和太阳能采暖的情景下，预计到 2025 年，我国使用太阳能采暖的建筑面积达到 3000 万 m^2 ，其中太阳能集热面积不低于 500 万 m^2 。

三、2025 年行业发展指导思想、发展目标及任务

（一）经济目标

1、全行业总产值规模

在“碳达峰、碳中和”的目标指引下，太阳能热发电产业将积极按照“十四五”规划的要求，致力于清洁能源发电，构建清洁低碳，安全高效的能源体系。综合现有国家政策、相关技术水平、示范项目投运现状，预计到 2025 年，太阳能热发电将实现国内累计装机达到 10GW。按照年均发电小时数 2800 小时，年均电价为 0.9 元 /kWh，电站装机一次投资 1600 元 /kWh 计算，太阳能热发电年发电量达到 280 亿 kWh，年售电产值 252 亿元，年装机产值 480 亿元。年出口 5GW 装机的太阳能热发电装备、材料和总包，年总出口产值约为 625 亿元。全行业年总产值约 1357 亿元。根据行业产品的划分，出现年销售百亿的装备型生产企业可能 3-4 家，主要分布在生产聚光器的制造业和以工程总包为主的设计工程建设行业。

2、单位生产成本的目标

预计到 2025 年，定日镜整机产品销售价格下降到 700 元 /m²，在塔式电站中，定日镜场的成本约占总投资的 50%，而定日镜又在镜场成本中占比 90%，定日镜成本的下降将在很大程度上降低塔式电站的投资成本。槽式真空吸热管达到 600 元 / 米，槽式玻璃反射镜 110 元 /m²，槽式集热器达到 540 元 /m²。

（二）产品结构调整目标

1、核心装备国产亿元目标

太阳能聚光器，吸热部件以及 EPC 总包行业的产值较高，预计到 2025 年，应出现 1-2 家年产值过百亿的公司，过十亿的公司应该出现 20 家左右。

太阳能聚光器用玻璃反射镜的竞争将进一步加大，建筑玻璃行业和汽车玻璃的重点企业将进入该领域，反射镜生产商将减少至 2-3 家，反射镜销售价格降低，预计到 2025 年，槽式玻璃反射镜的价格将降至 110 元 /m²，反射镜市场的规模化效应将进一步增大，这将有效降低电站建设的投资成本，缓解投资方的投资压力。

在塔式熔融盐吸热器、蒸汽发生器和储热罐方面的生产厂家数量应在 20 个左右，我国的化工装备厂和锅炉厂将是该产品的竞争者。该行业总体产值不大，预计在 2020 到 2025 年间，按照总市场总需求为 20 套，价值应在 100 亿元以内。

2、新兴服务业的发展

太阳能电站设计顾问、设计软件工具等的编制、装备检测、系统性能检测评价、标准和规范研究等方面、仿真机研制、操作人员培训、设备维修、镜场清洁等方面的工作已经随着示范项目的开展逐渐开始。



3、形成 3-5 家国际知名生产商

“碳达峰、碳中和”的目标愿景预示着太阳能热发电行业将迎来巨大的发展机遇，《绿色技术推广目录（2020 年）》和《“十四五”电力科技重大技术方向研究报告》的发布预示着国家将给予太阳能热发电技术更加充分的肯定与支持。在机遇与技术并存的形势下，预计到 2025 年，我国将出现 3-5 家可承接国际业务大型 EPC 公司，这些公司既有技术案例、实际经验，也有充分的资金，将为世界太阳能热发电贡献一份中国力量。

（三）技术目标

对于太阳能热发电站：预计到 2025 年，我国太阳能热发电站年平均效率达到 19%，储热系统效率达到 93%，电站年满发小时数达到 4500 小时。

对于电站装备和部件，预计到 2025 年，玻璃反射镜镜面反射比 93%；槽式吸热管工作温度达到 560℃；塔式吸热器选择性涂层吸收比 92%，常温发射比小于 10%，560℃发射比 20%。

（四）主要任务

1、太阳能热发电

至 2025 年建成一座兆瓦级超临界二氧化碳太阳能热发电实验电站，打通超临界二氧化碳太阳能热发电技术路线各环节，包括验证以固体颗粒材料、高温熔盐材料或超临界二氧化碳作为传热流体的吸热换热技术的可行性，热机工作温度不低于 600℃，建成一座 10MW 级超临界二氧化碳太阳能热发电商业电站，年均光电转换效率不低于 20%，为超临界二氧化碳太阳能热发电站的大规模应用提供技术支撑。

完成太阳能热发电站在电网中作用的实际测试。太阳能热发电在电网中的作用主要以模拟仿真为主，而我国当前已经建成多座太阳能热发电站，这些电站均坐落于我国西部地区，西部地区波动性可再生能源装机容量较大，电网健壮性不高，因此具备了太阳能热发电技术对电网影响的实测能力。该数据可以为发展我国太阳能热发电站的装机容量提供数据支持。

熔盐塔式太阳能热发电站和导热油槽式太阳能热发电站进一步规模化应用，太阳能热发电站的成本电价降低到 0.8 元 /kWh 以下，电站具备快速调峰能力。通过与光伏电站和风电站深度耦合，一方面降低带有大规模储热系统太阳能热发电站的成本，同时，也能为光伏和风电无法上网的电力提供储能能力，太阳能热发电站作为可再生能源基地能源互联网的节点作用获得商业应用。建成装机容量不小于 1000MW，以能源节点为设计目标的太阳能热发电站。

2、太阳能工业应用

针对水泥或玻璃制造产业，完成太阳能辅助水泥或玻璃加工的示范应用，建成集热场不小于 5 万 m²，为窑炉提供辅助热源，热源温度不低于 500℃。进一步推进太阳能中温工业热利用，在太阳能资源适合地区，建成 5 个太阳能中温工业热利用示范项目。

3、太阳能采暖

我国西部地区太阳能资源优良，土地资源丰富，人口密度低，冬季有采暖需求，同时环境相对脆弱，



在西北的新农村和小城镇地区，特别适合于太阳能采暖的应用。以太阳能跨季节储热采暖为核心技术，选择太阳能资源较好地区，建设不少于 5 个太阳能跨季节采暖的示范项目。这些项目在经济上，有望能够与电采暖和天然气采暖进行商业竞争。

多能互补型短储热周期的分布式太阳能采暖主要采用平板集热器、真空管集热器或线聚光集热器，以水或者导热油作为传热流体和储热材料，成本低廉。由于太阳能的间断性，无法保证冬季连续供暖，因此需要与其他能源相结合。这种技术已经在我国多个地区实现商业应用，未来至 2025 年，建成太阳能保证率不低于 50%，年采暖面积不低于 1000 万 m^2 的太阳能采暖系统，具备与电采暖和天然气采暖进行商业化竞争的能力。

（五）稳步实现国际化

可再生能源市场的国际化是全球一体化的趋势，我国太阳能热发电技术走出国门，走向世界，更好地服务于世界是必然的市场走向。同时，我国建设光热电站的自然条件较国际差很多，光资源一般，水源缺乏，加上国内目前政策上大力支持成本较低的光伏发展。综合以上两点，中国太阳能热发电技术成熟后可有意识拓宽国际市场，如北非、中东、南美等太阳能资源较好的区域。

我国对外出口技术和市场应分步骤稳步推进，总体推进思路为：（1）装备制造；（2）总承包；（3）咨询（高端）和勘察设计等新兴现代化服务；（4）投资。

四、对策措施

太阳能热发电是集光热转换发电、大规模储热和电网同步机特性于一身的可再生能源发电方式，可为绿色电力系统提供可靠廉价的保障与支撑。作为清洁低碳、稳定、安全、高效的灵活电源，太阳能热发电对我国“碳达峰”和“碳中和”战略目标实现，推动能源革命具有重大意义！

太阳能热发电技术已在西班牙、美国以及中东北非等国家和地区取得了良好的应用效果。2020 年全球累计装机容量达到 669 万千瓦，分布在西班牙、美国、法国、意大利、以色列、摩洛哥、埃及、阿尔及利亚、南非、智利，阿联酋和中国等。目前，我国具备了第二代槽式、塔式和菲涅耳式太阳能热发电核心技术，形成了自主知识产权的产业链，关键设备部件已全部可国产，除集成和运维技术需借以更多的实践达到完善外，我国太阳能热发电产业已基本成熟，具备商业化发展的条件。

随着首批太阳能热发电示范项目的开展，我国各级政府部门，金融机构和国家电网对太阳能热发电的投资、财税、土地，并网等政策有了逐步明确的支持思路。截至 2020 年，不少具备太阳能热发电资源条件的地方政府组织编制了太阳能热发电基地规划，主要包括：甘肃玉门市、敦煌市、阿克塞县，青海省海西州，新疆哈密市，新疆生产建设兵团等，总规划容量约 34GW。据太阳能光热联盟统计，至 2020 年已有 32 个太阳能热发电项目开展了可行性研究报告的评审，总装机容量约 3.7GW。

目前急需通过工程项目和技术进步推动太阳能热发电成本快速下降。主要对策和措施如下：

1、完善首批示范项目的善后工作

当前已完成的首批示范项目不到中标的 50%，由于太阳能热发电项目的电价政策只维持到 2021 年底，未来电价政策尚不明朗，亟需出台新政策，激励示范项目的推进。参考光伏标杆电价 10 年期下降曲线，自 2011 年 6 月至 2016 年，其标杆电价从 1.15 元/千瓦时缓慢下降到 1.0 元/千瓦时，再考虑太阳能热发电建设工期通常为 2 年的实际情况，希望首批示范项目的电价退坡政策应该持续到 2023 年底，其标杆电价不低于 1.05 元/千瓦时，对于已经明确退出的投资方，应允许其它投资方和太阳能热发电技术形式进入，尽可能完成首批示范项目的计划装机。

2、国家实施科技进步推动行业发展的研究计划

美国通过实施 Sunshot 项目，始终保持太阳能领域的领先地位，而作为欧洲“地中海太阳能行动计划”中的一部分，摩洛哥已经成为世界第三大太阳能热发电市场。为保持我国在太阳能热发电领域的技术先进性和主导地位，建议每年从可再生能源发展专项资金中预留资金，用于支持太阳能热发电新技术研发，或者用于支持新技术示范工程初投资补贴。例如，超临界二氧化碳太阳能热发电技术，600℃ 高温槽式和塔式技术，太阳能与火电联合运行技术，太阳能高温集热和化学能耦合发电技术，太阳能热发电热电联产技术等。在科技部主导的“十四五”国家科技计划中规划和实施太阳能热发电原创性技术的研究，包括太阳能的收集、转换、存储，电能和化学能转换新技术等方面。

3、积极开拓国际市场，通过扩大市场总规模，降低太阳能热发电的成本

随着“十三五”示范项目的实施，我国已经培育出一批太阳能热发电站总包商、具有太阳能热发电

设计能力的设计院、诸如定日镜、槽式集热器、槽式真空管、线性菲涅耳式集热器、传动箱、聚光器支架、玻璃反射镜、换热器、储热罐、发电机组和冷却设备等电站装备的制造商以及施工建设的承建商，我国已经具备组团参与国际市场竞争的能力。上海电气集团正在总承包阿联酋 700MW 太阳能热发电项目建设。中国电建集团山东电建三公司联合体总承包的摩洛哥太阳能发电园总计 350MW 太阳能热发电项目早已稳定运行。龙腾光热公司的槽式真空管产品累计出口达到 1 万支。希望国家以减税和低息贷款的形式，支持国内企业去国外建设电站，拓展全球市场，在适当的政策激励下，我国太阳能热发电企业有望占据全球电站建设和装备市场份额的 50% 以上。

4、以储能电价为手段，推动带有储能的可再生能源作为调峰电源的应用

太阳能热发电作为优质可再生电力，实现优质优价。建议将光热电站的收益分为两部分，一部分是峰谷电价差的收益，即以可再生能源而不是化石能源的电力作为调峰电源的主力，以 3 倍左右的谷电价格出售调峰电力；通常每天计划生产的电力和实际消费电力总有一个差额，如果规定这个差额不能由化石能源提供补偿，那么可由太阳能热发电补偿，赚取服务费用。

5、大力推进具有可控出力特性的“光伏 + 光热”大型太阳能发电基地

大力推进具有可控出力特性的“光伏 + 光热”大型太阳能发电基地，在光伏和光热一定的装机比例下实现无补贴发电。“风光水火储一体化”和“源网荷储一体化”项目，使太阳能热发电的优势有了充分发挥的载体，当前储热材料、系统和运营合计的成本约为 0.1 元 / 千瓦时电或者 0.04 元 / 千瓦时热，远低于电化学储能，在可再生能源基地中，各种原因无法上网的风电、光伏产生的近零成本电力，转化为热能存储于太阳能热发电站的储热系统中，在电网有需求的时候再发电，其储能电价通过可再生能源基地的合理分担有了机制保障，避免了因补贴性政策的阶段性带给产业发展的波动性影响，更加体现了市场在资源配置中起决定性作用的价值。

6、推动太阳能采暖的政策激励，太阳能采暖与电采暖及燃气采暖相比具有明显的价格优势

建筑排碳是影响“碳中和、碳达峰”的重要因素。在我国北方和西北等太阳能资源丰富地区，通过政府的财政支持、金融支持和政策法规规定，实现采暖低碳化。

五、教育及宣传

太阳能热发电是技术密集型行业，目前行业力量薄弱，教育及宣传的意义不言而喻。从太阳能热发电技术本身来说，科普太阳能热发电技术，能提高全民对太阳能热发电的认识，提升全民的科学素养和科学精神，培养青少年的创新能力和实践能力。科普工作也能够提升太阳能热发电技术在全社会的土壤条件，让更多人了解太阳能光热发电价值，进而吸引更多的相关人才进入这个领域。随着社会教育的发展，科普的方式更为多样，比如设立科普教育基地、媒体科普等。

（一）科普教育基地

1、中国科学院电工研究所八达岭太阳能热发电实验基地

中国科学院电工研究所八达岭太阳能热发电实验基地位于北京市延庆区八达岭镇大浮坨村，是北京市中小学生社会大课堂资源单位和北京市科普基地单位。

作为亚洲最大的太阳能热发电试验基地，太阳能热利用科技园的参观和研学项目包括：（1）可再生能源研学馆，通过沙盘和声光电技术，科普太阳能光热、光伏、风力发电及水力发电技术；（2）太阳能光热科考路，通过走进定日镜场、走近槽式集热器、近距离观摩光热电站的运行控制，了解太阳能光热电站相关知识；（3）太阳能光热利用实验课题，依托基地已有实验装置，通过理论学习和实验操作，学习太阳能聚光器跟踪聚焦、学习反射镜和集热管等关键部件的性能检测，学习聚光、吸热、传热、储热和发电的系统运行及原理。

太阳能热利用科技园每年定期开展中国科学院公众科学开放日、中国电工技术学会绿色能源科普活动，组织大学生课题实习活动、高中生科学实践活动、中小学生暑期节能环保夏令营活动、科普进社区等活动，深受公众的欢迎。科技园对于弥合科研与科普之间长期存在的“断层”和“割裂”，切实推进“科研过程科普化”产生了积极影响。



图 5-1-1 中科院电工所王志峰研究员对太阳能热发电知识进行科普



图 5-1-2 中国科学院大学材料科学与光电技术学院学生参观

2、中广核新能源德令哈“能源科普教育基地”

中国广核新能源控股有限公司（简称“中广核新能源”）在大力发展清洁能源的同时，一直致力于传播清洁能源科普知识、增进公众对清洁能源的理性认知。2018年，中广核新能源德令哈光热电站被中国能源研究会授予“能源科普教育基地”称号。中广核新能源充分利用场站内的生产运营、科普教育设施，传播清洁能源常识，推动提高公众的科学认知，助力国家清洁能源事业高质量发展。与此同时，中广核也正大力推动“新能源科普课堂”走进项目周边小学。

中广核新能源德令哈光热电站装机容量 50MW，厂址位于青海省德令哈市西出口德令哈工业园太阳能热发电基地内，占地面积约 2.46 平方公里，2018 年 9 月 30 日建成投运。电站采用抛物面槽式导热油太阳能热发电技术，主要建设 190 个槽式集热器标准回路，设置一套双罐二元硝酸盐储热系统（储热容量满足汽轮发电机组满负荷 9 小时的运行需要），一套 50MW 规模的中温、高压、一次再热的汽轮发电机组和其他电站所需配套设施。



图 5-1-3 中广核新能源德令哈光热电站

3、鲁能海西州多能互补“能源科普教育基地”

2019年12月，鲁能海西州多能互补示范项目被中国能源研究会授予“能源科普教育基地”称号。2020年11月该科普基地又被评为2020年中国能源研究会“优秀能源科普教育基地”。该基地包括海西多能互补集成优化国家示范工程、清洁能源数据平台、丝路明珠展示厅三大部分；可向公众展现风、光、热、储、调、荷为一体的多能互补运行控制系统，丰富公众电力知识，展示助力“三型两网、世界一流”能源互联网企业建设的科技创新成果。丝路明珠展示厅用于呈现能源变革历史，展示中国清洁能源的成就和未来智能电网的发展应用，不仅能让参观者了解当前国际前沿的能源发电技术，更可以现场体验无处不在的移动能源产品应用所带来的便捷，勾画出未来移动能源科技彻底改变人类生活方式的美好图景。



图 5-1-4 鲁能海西州 50MW 光热发电项目



图 5-1-5 海西多能互补集成优化示范工程沙盘展示

4、首航高科敦煌“能源科普教育基地”

作为中国能源研究会 2020 年授牌的“能源科普教育基地”，敦煌首航能源科普教育基地包括 10MW+100MW 熔盐塔式太阳能光热电站，由首航高科能源技术股份有限公司自主投资、设计、建设和运行。其中，10MW 塔式电站于 2016 年 12 月 26 日成功发电，是全球第三座、亚洲第一座可实现 24 小时连续发电的熔盐塔式光热电站。100MW 熔盐塔式光热电站被形象地誉为“超级镜子发电站”，是中国首批太阳能热发电示范项目之一，配置 11 小时熔盐储热系统，镜场面积 140 万 m^2 ，于 2018 年 12 月 28 日并网发电，是全球单机聚光面积最大、吸热塔最高的塔式光热电站。

在科普教育方面，首航高科积极承担太阳能热发电科普教育职责，通过各种渠道，如媒体宣传、组织宣讲学习、现场参观等形式，让社会各界特别是金融界更加了解太阳能光热企业和行业。自 2018 年起，首航高科光热技术模型在中关村展示中心长期展出，让广大市民可零距离感受太阳能光热技术，增强社会各界对太阳能热发电行业发展的信心。



图 5-1-6 敦煌首航 10+100MW 光热电站



图 5-1-7 首航高科副董事长黄文博进行科普讲座

（二）媒体平台宣传

除了实地科普之外，随着电信技术的发展，微信公众号、电视媒体等网络平台已经成为民众获取能源信息的主要来源。据不完全统计，宣传太阳能热利用的媒体平台超过 20 家，其中，包括太阳能光热联盟在内的专注于太阳能热发电宣传的自媒体 3 家。电视媒体有“爆炸性媒体”之称，信息量极大，信息内容很广，有助于太阳能热利用宣传工作的开展与推进。2020 年太阳能热发电相关企业单位都以不同的形式，对太阳能热发电技术和产品进行了不同程度的宣传和推广。其中，通过电视媒体进行宣传的主要包括：

1、2020 年 3 月 5 日，中央电视台 CCTV-10 播出了《中国影像方志·青海卷·德令哈篇》纪录片。纪录片在新能源发展部分，重点介绍了德令哈天然的光热能源发展优势，并以青海中控太阳能德令哈 50MW 塔式光热电站为例，展示了这座“光热之都”的风采。



图 5-2-1 青海中控德令哈 50MW 光热电站

2、为迎合疫情期间的工作状态，促进太阳能热发电技术的交流，2020 年 4 月 -5 月期间，太阳能光热联盟发起了「太阳能光热说」线上直播活动，共举办了 6 期共计 8 场的线上演讲，包括太阳能热发电市场发展现状，近期发展途径，槽式、塔式、线性菲涅耳式技术路线和工程实践，太阳能与燃煤互补发电及供热技术以及成本下降路径等，累计超过 5800 人次观看了直播。

序号	演讲人及题目	直播情况
第一期	杜凤丽：「太阳能光热说」序言——太阳能热发电经济性分析及市场发展现状 王霁雪：太阳能光热发电近期发展途径	
第二期	贾永柱：结合乌拉特 100MW 光热发电项目建设浅谈装备推动系统，系统拉动装备的降本增效	
第三期	王晓：塔式太阳能热发电站系统集成关键技术及应用前景	
第四期	徐灿君：商业化熔盐线性菲涅耳光热电站设计关键技术	
第五期	侯宏娟：太阳能与燃煤互补发电及供热技术	
第六期	杜凤丽：《2019 太阳能热发电产业发展蓝皮书》主要内容介绍 金建祥：太阳能热发电成本下降路径	

图 5-2-2 太阳能光热联盟线上直播讲堂

3、2020年7月5日，中央电视台科教频道《透视新科技》对太阳能光热发电技术进行了解析，太阳能光热联盟理事长单位——中国科学院电工研究所张剑寒博士应邀与节目主持人胜春、北京交通大学陈征老师一起为观众科普了太阳能热发电知识，并探讨了太阳能热发电在我国的建设情况以及在新的能源形势下光热发电技术的优势与应用前景。

4、2020年10月4日，浙江中控太阳能技术有限公司董事长兼总工程师金建祥做客浙江经视《新闻深呼吸》节目中《大牌对大牌》，对中控太阳能德令哈50MW光热项目运行情况、储能型太阳能发电技术的应用场景以及未来发展之路等问题进行了电视宣传。



图 5-2-3 浙江经视《大牌对大牌》节目采访金建祥

此外，高校和科研机构作为科研人才的聚集地，更为踊跃地参与到太阳能热利用的科研工作中，并且形成了各自的太阳能热利用课题组，或是开展太阳能热发电相关的教学工作，为太阳能热利用行业的发展提供了科研和人才支撑。例如：清华大学、北京大学、浙江大学、华北电力大学、西安交通大学、天津大学、中国科学院电工研究所、中国科学院上海应用物理研究所、北京工业大学、南京工业大学、中国科学院大学等等。

六、太阳能采暖行业发展

（一）发展现状与发展方向

据统计,目前我国北方城镇建筑有约 140 亿平米冬季需要供暖,随着城镇化进一步发展和居民对建筑环境的需求的不断提高,未来北方城镇冬季供暖面积将达到 200 亿平米。北方城镇采暖建筑的冬季平均耗热量为 $0.3\text{GJ}/\text{m}^2$,每年需要 42 亿 GJ 的热量来满足供暖需求,其中,约有 40% 是由各种规模的燃煤燃气锅炉提供,50% 则由热电联产电厂提供,其余 10% 主要是通过不同的电动热泵从空气、污水、地下水及地下土壤等各种低品位热源提取热量来满足供热需求。目前,燃煤、燃气锅炉造成约 10 亿吨二氧化碳的排放,热电联产和电动热泵供热也需要分摊电厂所排放二氧化碳的一部分责任。

2015 年以来,相关部门已经意识到供热引起的环境污染问题,推进清洁能源供热。尤其在北京城区及京津冀地区,大力推广天然气、电力替代燃煤供热,成为目前污染物减排的主要途径之一。但是,天然气作为化石燃料,依然存在氮氧化物以及硫化物排放的问题,且我国天然气资源匮乏。2020 年,我国天然气的对外依存度达到 43.2%,若全面实施煤改气,将严重影响我国的能源安全。电力作为高品位能源,直接供热不仅导致能量品位的不匹配应用,而且电网改造费用以及每年超百亿的电价大额补贴无疑加重了国家以及地区政府的经济负担,只能在有强大经济实力的特殊地区实现,并且长期补贴运行的经济可行性存在问题。根据近几年的煤改电、煤改气运行经验来看,大量政府财政补贴无以为继,清洁供热推进举步维艰。另一方面,虽然多项可再生能源供热技术基本成熟,但也很难实现规模化应用。究其原因,经济性是限制推广的重要因素之一。因此,基于资源特性,整合资源优势,以经济性为约束条件的清洁供热才具备推广基础。我国北方地区太阳能资源丰富,且具备产业化推广基础,因地制宜的开发太阳能采暖是推动建筑领域碳中和的重要的技术发展方向之一。

1、我国太阳能采暖发展概况

1) 太阳能建筑采暖形式和技术特点

我国从“七五”期间就开始太阳能建筑采暖方面的研究。从太阳能采暖方式来分,主要分为被动式采暖和主动式采暖。两者最大的区别在于被动式采暖不需要机械能驱动就可以实现建筑采暖。在一些较为寒冷的地区,仅依靠被动采暖无法满足室内环境要求。因此,在此基础上,利用水或者空气作为传热介质,实现主动式供热。下文所述的太阳能建筑采暖专指主动式太阳能采暖。

从传热介质来分,太阳能建筑采暖分为热水采暖系统和空气采暖系统,二者具有不同的技术特点,详见表 6-1-1。空气作为传热介质,具有良好的冬季防冻、非采暖季防过热效果,较少的维护量,但是由于其较小的比热和密度、较大的黏度,其换热效果相对较差,很难达到较高的集热效率。同时,空气采暖系统无专属的储热设备,易导致建筑室内温度波动过大,对于城镇住宅类建筑适用性较差,较适用于以白天使用为主的公建建筑和对室内热环境要求不高的改善型农村住宅类建筑。鉴于我国中低温太阳能热水器、储热水箱的产业化发展,太阳能热水采暖系统在我国发展规模相对较大,以下主要针对太阳能热水采暖系统进行详细说明。

表 6-1-1 户用太阳能空气与热水采暖系统的特点对比

序号	性能指标	太阳能热水采暖系统	太阳能空气采暖系统
1	经济性（成本）	1600 元 /m ² （采光面积）	500 元 /m ² （采光面积）
2	典型供热工况下集热效率和系统效率	50%（集热效率） 45%（系统效率）	45%（集热效率） 37%（系统效率）
3	冬季防冻	采用集热器排空、低速反循环、电伴热带等措施防止室外管路冻结	不存在防冻问题
4	夏季过热	用遮光布遮盖集热器表面，但有时还是难以控制“水箱沸腾”现象的出现	可开启通风孔，可以形成太阳能烟囱，有助于室内纵向通风
5	系统后期维护	管路维修、水处理、控制柜维护、更换破损集热管等，系统维护工作量较大	每年清洗风口过滤网，更换老化的通风塞，维护量相对较小
6	室温波动	室温波动小	室温昼夜波动大
7	加工工艺	已形成产业化、系列化集热产品以及水箱等关键产品质量有一定的保障	正在形成成型产品，产品质量对供热效果影响很大

太阳能热水系统主要由太阳能集热系统、储热系统、辅助热源系统、供热末端以及自控系统组成（如图 6-1-1 所示）。系统优先使用太阳能集热系统，根据温差控制逻辑，将热量输送并储存在水箱中，当水箱温度无法满足供热要求时，启动辅助热源（如热泵、电锅炉、燃气等）维持水箱既定温度。末端循环泵根据室温控制阈值要求，实现自动启停。

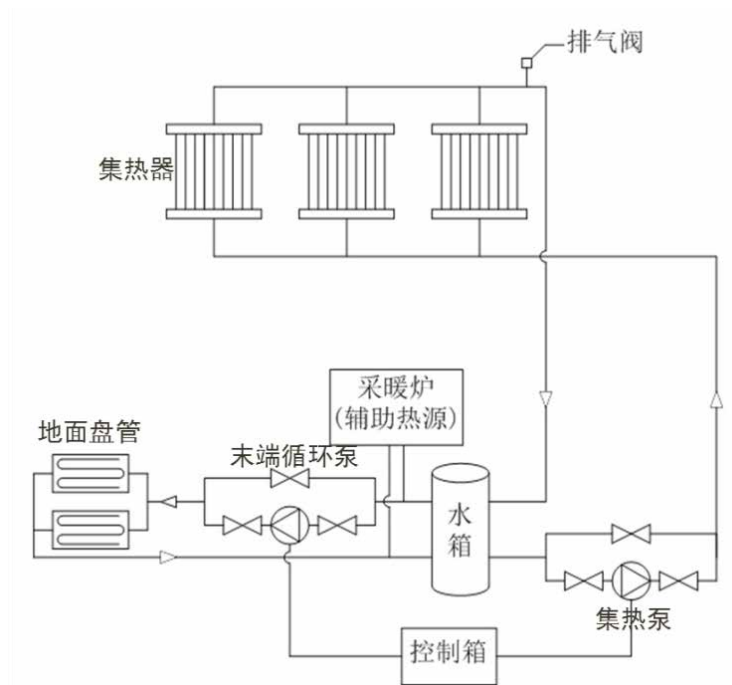


图 6-1-1 太阳能热水采暖系统运行原理

2) 产业发展情况

太阳能热水器已然成为我国目前产业化水平最高的太阳能光热利用产品，并已经成功解决了部分城乡建筑的生活热水供应问题。根据《2020 中国太阳能热利用行业运行状况报告》内容，截至 2020 年底，我国太阳能集热器的保有量约为 5.3789 亿 m^2 。2020 年，全国太阳能热利用集热系统总销量 2703.7 万 m^2 ，其中，真空管型太阳能集热系统销量 2008.3 万 m^2 ，与 2019 年同比下降 8.6%（见表 6-1-2）；平板型太阳能集热系统销售 695.4 万 m^2 ，与 2019 年同比增长 6%。我国 2020 年生产太阳能集热器类型中，真空管型占 74.3%，平板型占 25.7%（见表 6-1-3）。

表 6-1-2 我国太阳能集热器保有量变化与减排情况

年份	保有量 万 m^2	保有量 MWth	节约标煤 万吨	节电 GWh	减排 SO_2 万吨	减排烟尘万吨	减排 CO_2 万吨
2009	17910	125370	2687	747	86.86	67.16	5767.02
2010	22170	155190	3326	924	107.52	83.14	7138.74
2011	27110	189770	4067	1130	131.48	101.66	8729.42
2012	32310	226170	4847	1347	156.7	121.16	10403.82
2013	37470	262290	5621	1562	181.73	140.51	12065.34
2014	41360	289520	6204	1724	200.6	155.1	13317.92
2015	44200	309380	6630	1842	214.4	165.8	14231
2016	46360	324520	6954	1932	224.87	173.9	14926.45
2017	47790	334530	7169	1993	231.7	179.21	15388.38
2018	48233	337631	7235	2011	233.93	180.87	15531.03
2019	49735	348145	7460	2073	241.21	186.5	16014.64
2020	53789	376523	7641	2123	247.04	191.01	16402.33

注：数据来源《2020 中国太阳能热利用行业运行状况报告》

表 6-1-3 2020 年太阳能光热行业分类数据表

序号	类别	销量（万 m^2 /MWth）	同比
1	真空管型集热系统	2008.3	-8.6%
2	平板型集热系统	695.4	6%
3	太阳能集热系统	2703.7（18926）	-5.2%
4	折合总产值	432.6 亿元	-5.2%

注：数据来源《2020 中国太阳能热利用行业运行状况报告》

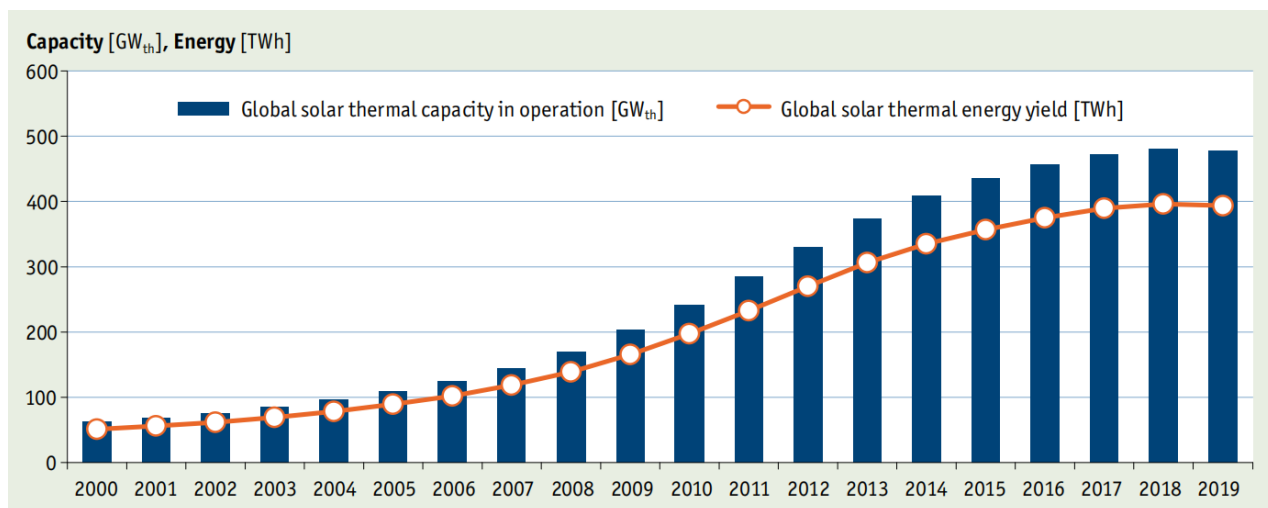


图 6-1-2 2000-2019 年全球太阳能集热器保有量与年产热变化

数据来源：《Solar Heat Worldwide 2020》

根据国际能源署（IEA），2019 年底全球太阳能集热器保有量达 6.84 亿 m^2 （见图 6-1-2）。从表 6-1-2 和图 6-1-2 可以看出，近年来，虽然太阳能热利用总装机量呈快速发展之势，但是全球太阳能集热器市场受到热泵和光伏系统的竞争，传统的小型 and 户用太阳能热水系统装机量增速放缓，整体太阳能热利用产业增长率呈下降趋势，我国 2020 年装机量比 2019 年下降 5.2%。

2020 年我国太阳能企业工程市场占据了企业的主营业务板块，整体占比达到了 74.3%，零售市场为 25.7%，家用热水系统销量继续下降（表 6-1-4）。同时，民用住宅热水、公共建筑热水（包括医院、学校、工厂等领域）、工农业及采暖供热等领域在整个太阳能热利用工程市场中占比分别为 73.3%、20.7% 和 6.0%。

表 6-1-4 2020 年行业工程与零售市场运行数据

工程市场	74.3%	民用建筑热水	54.5%	1473.5
		公共建筑热水	15.4%	416.4
		工农业及采暖供热	4.4%	119.0
零售市场	25.7%	694.9 万 m^2		

注：数据来源《2020 中国太阳能热利用行业运行状况报告》

随着技术创新和北方煤改清洁能源利好政策的驱动，我国太阳能采暖项目得以大面积实施与落地。目前，太阳能采暖和工业用热过程中的太阳能替代是未来提升行业产能、促进建筑供能体系低碳化的途径，同时也是未来太阳能热利用产业发展的重要方向。2020 年，我国新增太阳能供暖面积突破 1000 万 m^2 ，成为行业最有活力的增长点之一。今年新增用于供暖的太阳能集热器面积为 245 万 m^2 ，新增建筑供暖面积 1225 万 m^2 。累计用于供暖的太阳能集热器面积为 330 万 m^2 ，累计建筑供暖面积 1650 万 m^2 。

在中国科学院电工研究所的积极推动下，2020 年向十三届全国人大三次会议提交了《关于在京津冀等阳光充足地区推广以太阳能为主的低成本高比例可再生能源建筑采暖的建议》相关议案，并得到了国家能源局、河北省发改委的积极回应与项目部署。

2020 年 9 月，国家能源局在《对十三届全国人大三次会议第 3406 号建议的答复》中表示，国家积极鼓励推动各地因地制宜利用太阳能等可再生能源进行供暖，下一步，国家能源局将指导地方积极探索建立符合市场化原则的可再生能源供热项目开发运营模式、在具备条件的地区开展可再生能源供暖试点示范工作和重大项目建设，探索先进的项目运行和管理经验，并将指导地方进一步在财政贴息、税费减免、融资优先及建设用地等方面研究出台可操作性强的可再生能源供暖支持政策。

2020 年 12 月，河北省发展和改革委员会与河北省住房与城乡建设厅共同发布《关于印发〈河北省易地扶贫搬迁集中安置点太阳能集中供暖试点方案〉的通知》，探索易地扶贫搬迁集中安置点清洁取暖新模式，结合河北省易地扶贫搬迁集中安置点供暖情况，按照统筹谋划、分步实施、科技引领、政策支持、市场推动原则，在张家口、承德、保定等不同光照资源条件、不同规模安置区内组织开展太阳能集中供暖试点项目建设，积极探索可复制、可持续的太阳能清洁取暖技术集中供暖路径和办法，为进一步推广总结经验奠定基础。

表 6-1-5 太阳能供暖面积数据

年份	供暖集热器面积 (万 m ²)	供暖建筑面积 (万 m ²)
2020 之前	85	425
2020	245	1225
累计	330	1650
2021 (国家能源局规划)	约计 1000	5000

注：数据来源《2020 中国太阳能热利用行业运行状况报告》

目前，我国太阳能采暖仍然以户用水工质采暖技术示范为主，北京地区是此类采暖系统发展较早和应用示范面积最大的地区。近年来，在国家环保部“2+26”城市清洁能源采暖项目推动下，我国环京津冀地区太阳能采暖得到了不同程度的应用，涉及到平板集热器、真空管集热器、全玻璃真空管集热器、CPC 集热器、槽式集热器等多种集热技术在分户采暖中的技术应用与示范。2008-2013 年是北京地区发展太阳能热水采暖系统的最为迅速的时期。根据相关不完全统计，截至 2013 年，北京地区太阳能热水采暖技术已有近 50 万平米建筑的应用。从建设的区域分布来讲，主要分布在北京周边的郊区县，平谷区、门头沟区、房山区、密云区、昌平区等区县。其中，平谷区的应用份额最大，平谷区拥有将军关村、玻璃台村、挂甲峪村、南宅村、太平庄村、井峪村、张家台村、大东沟村、大庙峪村、东四道岭村、向阳村等 10 余个村镇的整村建设及 1000 余户的太阳能新民居示范户，建设面积达 35 万余平米。2014 年后，随着近几年京郊无烟煤补贴力度的加强以及煤改电政策的推进，太阳能热水采暖系统的经济性优势越发不明显，相应的示范工程数量明显减少，近年的改造户用系统转向了空气源热泵、电采暖等系统应用。2018 年，五星太阳能股份有限公司在河北辛集市建成 220 户用太阳能采暖系统，总供热面积



达 14000m²，在广东深泽县完成 20 户太阳能 + 空气源热泵的建筑采暖改造，建筑面积 1600m²，道荣新能源在河北邢台进行了基于全部真空管热管型太阳能集热器的户用太阳能采暖系统示范。2020 年，河北省，太阳能光热 + 冬季清洁取暖改造项目供暖建筑面积总计达到了 360 万 m²。河南、山西、甘肃、内蒙古等地区开展了“太阳能 +”太阳能采暖项目示范，推动了太阳能供热项目技术与市场的快速发展。

3) 当前太阳能建筑采暖的主要问题

太阳能采暖效果，除与太阳能集热器配比面积有关外，还受建筑物建设地点、建筑材料、房屋结构、建筑朝向、居住人口、生活方式等多种主客观因素影响。即便是同一建筑物，在不同季节其运行效果也不尽相同。根据现场实测效果，目前太阳能采暖系统安装的比例范围（太阳能集热面积 / 建筑面积）基本在 1/8-1/6，整个采暖季太阳能采暖保证率在 20-35%。从室内热环境角度来看，在气温不是很低的采暖季初期和末期，在不使用辅助能源只启动太阳能集热系统的情况下，房间温度可达到 16℃ 以上。在冬季最冷的三个月里（12 月、1 月、2 月），不启动辅助设施的条件下，太阳能采暖房间（节能建筑）的平均温度为 10-12℃，与非采暖房间的温差在 10℃ 左右。太阳能热水采暖系统有较为明显的节能减排效果，在“煤改清洁能源”利好政策推动下，各种“太阳能 +”采暖模式得到示范与拓展，在河北、山东、内蒙、北京、山西等地得到了更多的示范应用。但是，整体上，分户式太阳能采暖系统仍然存在以下问题：

(1) 系统冬夏冷热不平衡问题难以解决。采暖季太阳能保证率 20-35%，非采暖季仅使用太阳能热水作为生活热水使用，由于生活热水能耗仅为建筑采暖负荷的 1/10，使得过多的热量无处释放，系统储热容量有限，系统过热现象严重。过热引起系统组成部件老化，炸管等现象，降低了系统使用寿命，增加了系统维护量，用户体验差。

(2) 系统组成部件多，控制复杂，一般用户不易操作。例如，太阳不足时，用户须开启备用热源，两套系统的切换操作麻烦，用户掌握运行困难。

(3) 系统仅冬季使用，使用小时数少，储热容量有限，很难达到高比例采暖保证率。根据实测数据显示，太阳能采暖保证率仅为 20-35%，节能减排效果有限，农户一般认为节能效果不明显，也在一定程度上阻碍了规模化应用。

(4) 系统经济性优势不明显。对示范工程的经济性分析发现，单位热价（考虑初投资折旧和运行费用）约为 0.4-0.6 元 / kWh（热量），经济优势不明显。

综上所述，太阳能冬夏冷热不平衡是目前分布式太阳能热水采暖系统推广中面临的根本问题之一，由此引发的经济性、维护量大等问题是影响太阳能建筑采暖的根本原因。只有突破跨季节储热技术，实现太阳能的夏热冬用以及四季利用才是未来实现规模化太阳能采暖的有效途径。

2、太阳能采暖发展方向

1) 集中型太阳能热站的优势

基于太阳能中温集热和跨季节储热技术的集中型太阳能热站是太阳能采暖发展的重要方向之一。

(1) 聚光型太阳能中温集热满足热网供热品位要求。

目前我国城市供热一次热网的供 / 回水温度为 95/70℃，80/65℃，或蒸汽供热 130/70℃。多数城镇热网采用 95/70℃ 和 80/65℃ 的供回水温度要求。利用高效的中温集热恰能满足供热品位的要求，也是未来聚光型太阳能中温集热器又一重要的应用领域。

(2) 大容量跨季节储热技术可以实现太阳能的四季利用。

在非采暖季，将收集到的太阳能蓄存于大容量储热体中，待采暖季提取出来，输入供热热网中。太阳能四季运行，大大提高使用时数，使得系统运行的经济性明显改善。根据北欧国家应用经验，2016 年系统热价可降低至 0.2-0.3 元/kWh（热量），与其他可再生清洁能源相比，具有明显的经济优势。此外，系统四季运行避免了集热系统因过热造成的部件老化，延长系统使用寿命。另外，大容量跨季节储热技术的合理应用，也为供热系统中太阳能保证率达到 100% 提供了前提条件。

(3) 集中型热站具备高智能化控制系统以及专业维护团队，规避了分布式系统维护困难问题。

集中型热站可全部实现集热、储热以及供热系统的智能化控制运行，基本实现无人值守。根据北欧相关国家的运行经验，1 座太阳能集热场面积为 7 万平米、储热容量为 22 万立方米水体的集中型太阳能热站仅需 5 人维护。

2) 太阳能区域供热技术发展概况

根据 IEA SHC 2020 年度报告数据统计（图 6-1-3），截至 2019 年底，全球在运行的单体集热面积大于 500m² 的太阳能区域供热系统达到 400 个（该统计中国部分数据不尽准确），装机面积达到 230 万 m²（不包含聚光型集热系统）。丹麦引领了全球太阳能区域供热的发展，截至 2019 年底，丹麦建成大型区域供热项目 123 座，集热器装机量达到 155.5 万 m²，其中，2019 年，丹麦建成 15 座集热面积 >2000m² 的太阳能区域供热系统，装机面积达到 25300m²。丹麦的太阳能区域供热系统一般采用地面安装的大型平板集热场，系统根据太阳能在区域供热中的设计太阳分数，一般配备大型储热水体，并传统热网相连。较大的太阳能区域供热系统包括 Silkeborg (156000m²)、Vojens (69991m²) 和 Gram (44836m²) 等。其中，Vojens 太阳能区域供热项目系统太阳分数达到了 45% 以上，系统配置 20 万 m³ 跨季节储热系统，为当前全球最大的跨季节水体储热系统。

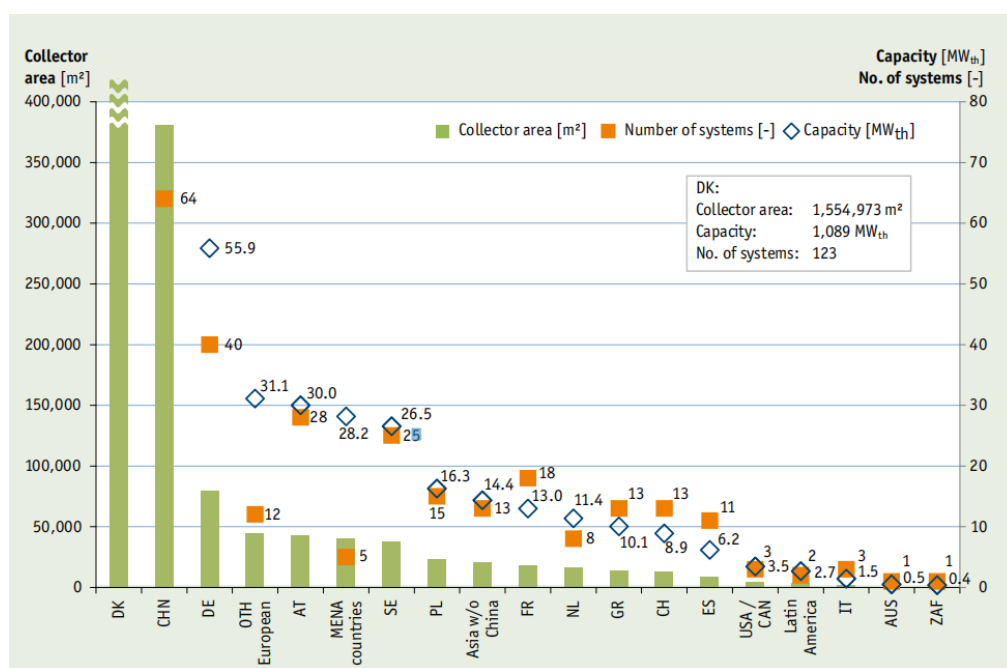


图 6-1-3 2019 年末全球太阳能区域供热系统装机量分布

（单体 >500m²，不包含聚光型。数据来源：瑞典查尔姆斯理工大学）

近年来，中国在大型太阳能区域供热方面进行了不同程度的探索示范。2013年，河北经贸大学建成装机 11592 m² 的太阳能跨季节供热系统。2016年，清华大学在内蒙古赤峰建成大规模太阳能 - 工业余热用于城市集中供热示范工程，太阳能集热器装机量 1002m²。2018年，西藏达孜地区某营区建成了集热器装机面积 3200m² 的太阳能供热系统，内蒙古呼和浩特建成 3100m² 装机的区域供热系统，北京市延庆区康庄镇小王家堡村建成太阳能跨季节储热 + 地源热泵系统，太阳能补热系统的集热面积 2400m²，项目整体设计供暖（建筑）面积 19000m²。2018年，西藏浪卡子县完成首期集中太阳能供热工程，该工程一期工程建筑 8.26 万 m²，集热器装机量 2.2275 万 m²。2019年，西藏仲巴县启动太阳能供暖项目建设，集热场面积约 35000m²，总供暖面积 88246m²。

在聚光型太阳能区域供热方面，近年来，全球也进行了广泛的示范探索。2016年底，奥尔堡 CSP 在丹麦建成 CSP 与生物质 ORC 耦合电热联供系统，槽式集热器装机量 26929m²。2017年，旭宸能源在内蒙古包头建成 9.3 万 m² 槽式集热场用于周边商业和居民建筑供热。西藏建成 9000m² 槽式太阳能采暖系统。中国科学院电工研究所在张家口进行了塔式采暖的示范研究，定日镜安装面积约 726m²，采用跨季节储热技术，为 3000m² 建筑采暖（图 6-1-4）。兰州大成在其园区建成 1MW 屋顶式线性菲涅耳聚光集热系统。相关项目对我国不同气候条件、不同形式集热类型、不同的储热类型及系统集成形式的太阳能区域供热开展的广泛的工程探索和示范，推动了我国太阳能区域供热技术与产业的发展。

表 6-1-6 我国大容量太阳能区域供暖项目统计（部分）

序号	项目名称	项目地点	集热面积 (m ²)	集热器类型	建成时间	储热类型	供热面积 万 (m ²)
1	黄帝城塔式太阳能供热项目	河北张家口	700	塔式	2018年	坑式水体	0.3
2	河北经贸大学供热项目	河北石家庄	11600	真空管	2013年	钢罐	48
3	西藏达孜采暖项目	西藏达孜	3200	平板	2017年	钢罐	0.86
4	北京市延庆区王家堡村太阳能供热项目	北京延庆	2400	平板	2018年	浅层土壤	1.9
5	西藏日喀则萨嘎县城太阳能集中供暖项目	西藏日喀则萨嘎	20000	平板	2019年	钢罐	8.1
6	西藏日喀则仲巴县城太阳能集中供暖项目	西藏日喀则仲巴县	35000	平板	2019年	钢罐	8.8246
7	西藏日喀则岗巴县城太阳能集中供暖项目	西藏日喀则岗巴县	25000	真空管热管	2019年	坑式水体	9.5000
8	拉萨采纳乡政府办公楼项目	西藏拉萨市	1875	平板			0.583
9	那曲地区牧业科技扶贫产业园区供暖项目	西藏那曲	26757	平板	2020年	钢罐	5(含大棚)

注：数据来源国家太阳能光热产业技术创新战略联盟部分统计



图 6-1-4 中国科学院电工研究所—达华集团太阳能供热示范项目

从技术上讲，太阳能集热系统可以与几乎所有的基于其他能源的区域供热系统相互耦合，构建高太阳分数、稳定的区域热能供应系统。但是当用热区域的夏季热负荷是由很难关停 / 关停成本很高的垃圾焚烧、工业废热、电热联供电厂提供的廉价热源供热时，太阳能供热方案将被排除，很难有接入机会。如果垃圾焚烧热量 / 工业余热已经全面满足了该区域的夏季用热，太阳能区域集热技术的接入不仅会增加区域供热的成本，并带来原有能源系统热排放的环境负效应。在太阳能区域供热设计时，需要对周边资源、耦合条件与负荷特征等从经济、环境等多角度进行论证，以保障系统的科学合理与技术经济性。

当前我国在太阳能区域供热发展方面仍然面临以下问题：太阳能区域供热技术在我国处于起步阶段，在应用于大型太阳能采暖的大型集热场集成、单体 10 万 m^2 以上水体设计及关键材料需要通过大型示范项目进行探索；太阳能区域供热技术和所有可再生能源供热技术类似，是典型的一次投资较高，运行成本低的供热技术，资金成本是影响供热成本核算和影响企业投资的重要因素。当前我国大部分区域的采暖收费标准均为基于煤锅炉采暖的成本核算，缺乏统一的去煤后的采暖价格及解决方案；目前推行的城市清洁能源采暖项目改造，大多数方案为分户式初投资补贴加一定年限的运行补贴复合方案，而缺少针对区域性集中清洁能源采暖方案补贴机制。已建成和在建的太阳能区域供热项目在政策和商业模式方面各有不同，需要在相关项目探索的基础上，形成较为完善的太阳能区域供热政策和商业引导机制，以推进太阳能区域供热技术的规模化发展。

（二）太阳能采暖项目案例

1、大规模太阳能—工业余热用于城市集中供热示范工程

地 点：内蒙古赤峰市

项目来源：“十二五”国家科技支撑计划项目

建设时间：2015年8月—2016年8月

项目简介：

示范工程位于内蒙古赤峰市的一家铜冶炼厂内，该厂建有 20MW 工业余热回收系统，该系统每年为赤峰市的集中供热管网提供总量约 1.4 亿 kWh 的热量，为约 100 万 m^2 的建筑面积提供供热。在示范项目正式运行后，该工业余热回收系统将作为示范项目提供热量。

项目场地示意图如图 6-2-1 所示，项目工业余热系统位于铜厂北厂区的工业余热机房，地埋管储热系统及太阳能系统位于铜厂南厂区的一座小山上，距离工业余热机房约 1300 米，高度差约 60 米。整个示范项目占地面积 1 万 m^2 。项目地埋管储热体总体积为 50 万 m^3 。

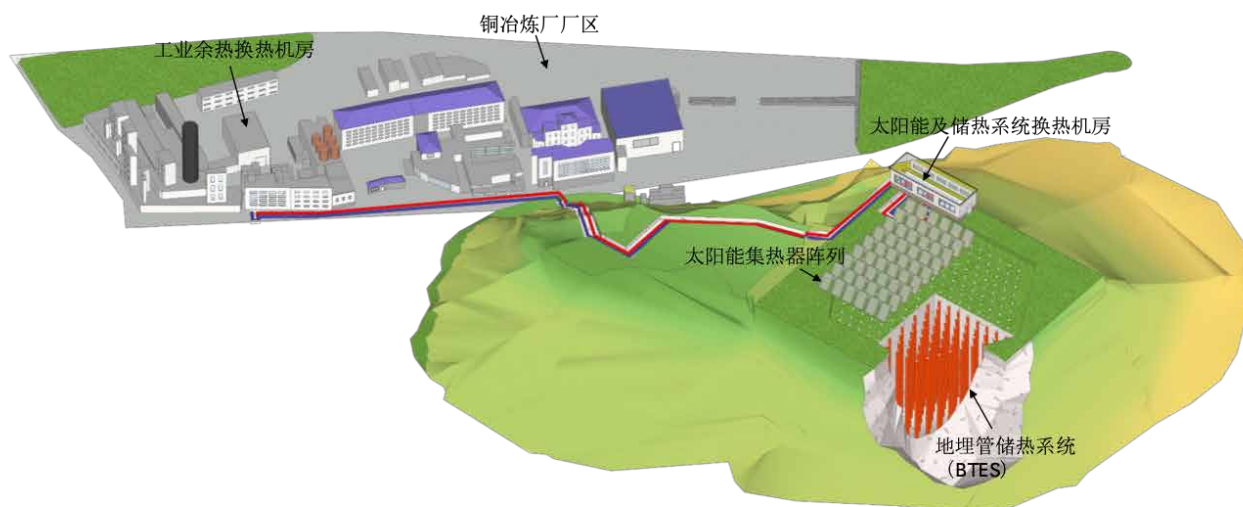


图 6-2-1 赤峰大规模太阳能—工业余热用于城市集中供热示范工程场地示意图

根据系统功能划分，示范系统包括太阳能子系统、工业余热子系统、地下储热子系统。系统的运行周期分为储热期和取热期，分别对应赤峰当地的非采暖季（4月16日—10月14日）和采暖季（10月15日—4月15日）。两个不同周期内，系统的运行方式不同。

在储热期，系统的运行方式如图 6-2-2 所示：

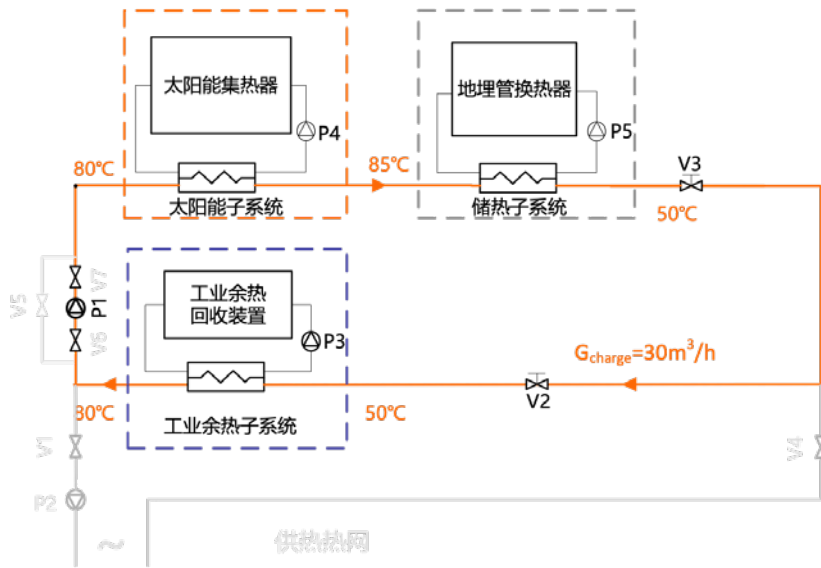


图 6-2-2 赤峰城市集中供热示范工程系统储热运行示意图

系统的储热循环泵 P1 开启，储热循环流量为 $30\text{m}^3/\text{h}$ 。储热工质在铜厂的工业余热子系统内被加热到 80°C 后经过太阳能子系统，温度继续升高到 85°C ，随后进入地下储热子系统，与地埋管换热器内循环工质换热。在这个过程中，储热工质对地下土壤放热，工质温度降低到 50°C ，随后回到工业余热子系统回收工业余热，如此循环。

在取热期，系统的运行形式如图 6-2-3 所示：供热循环泵 P2 启动，太阳能子系统与储热子系统之间的流动方向切换，来自供热热网的一部分低温回水 ($30\text{m}^3/\text{h}$) 首先流经储热子系统提取储存在地下的热量，然后经太阳能子系统的进一步加热，达到 45°C 左右（如图中蓝线所示）。另外一部分载热流体 ($270\text{m}^3/\text{h}$) 则进入工业余热子系统回收工业余热，温度升高至 65°C 左右（如图中红线所示）。两股流体混合后进入热网供暖。热网的低温回水通过将吸收式热泵集成在末端的各供热站内获得。

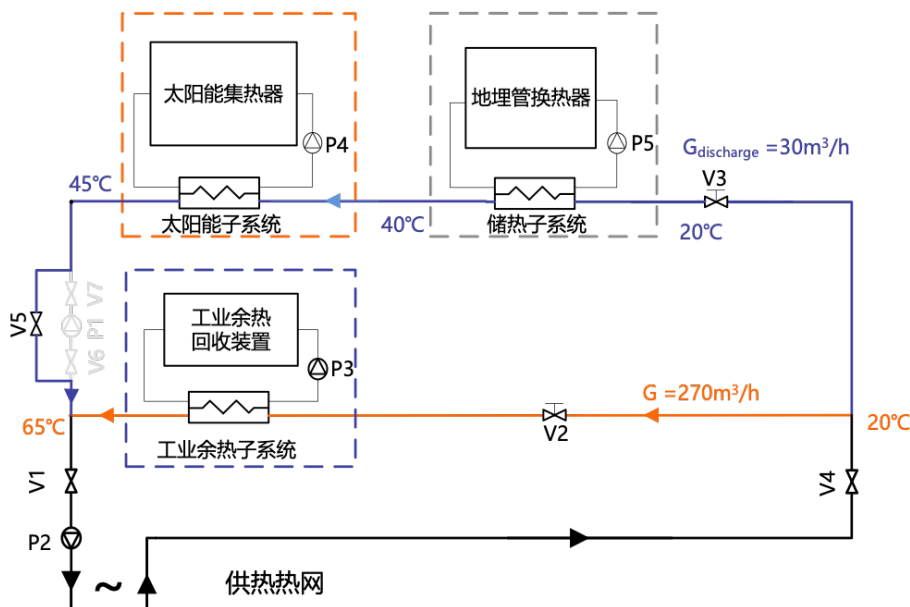


图 6-2-3 赤峰城市集中供热示范工程系统取热运行示意图

主要设计参数如表 6-2-1 所示：

表 6-2-1 赤峰城市集中供热示范工程主要参数表

设置参数	单位	值
集热器面积	m ²	1002
集热器效率曲线	-	$\eta = 0.497 - 1.483T_i^*$
土壤导热系数	w/(m·k)	0.852
土壤初始温度	°C	10

典型工况的运行参数：

储热期：

工业余热侧出水温度：70°C（白天）/80°C（夜间）

太阳能集热侧出水温度：85°C（最高）/75°C（平均）

储热系统入水温度：75°C（平均）

储热系统出水温度：55°C（平均）

换热循环流量：30m³/h

循环管路压力：0.65MPa（工业余热热力站）/0.10MPa（储热热力站）

换热循环泵功率：18.5kW

储热循环泵功率：18.5kW

U型管集热器阵列管循环泵功率：12kW

CPC集热器阵列循环泵功率：5kW

取热期：

储热系统入水温度：25°C（平均）

储热系统出水温度：45°C（平均）

太阳能集热侧出水温度：60°C（最高）/50°C（平均）

换热循环流量：30m³/h

循环管路压力：0.65MPa（工业余热热力站）/0.10MPa（储热热力站）

换热循环泵功率：18.5kW

储热循环泵功率：18.5kW

U型管集热器阵列管循环泵功率：12kW

CPC集热器阵列循环泵功率：5kW

2、西藏达孜广东五星平板太阳能集中供热系统

地 点：西藏达孜

建设时间：2017年8月至2017年12月

系统原理图：

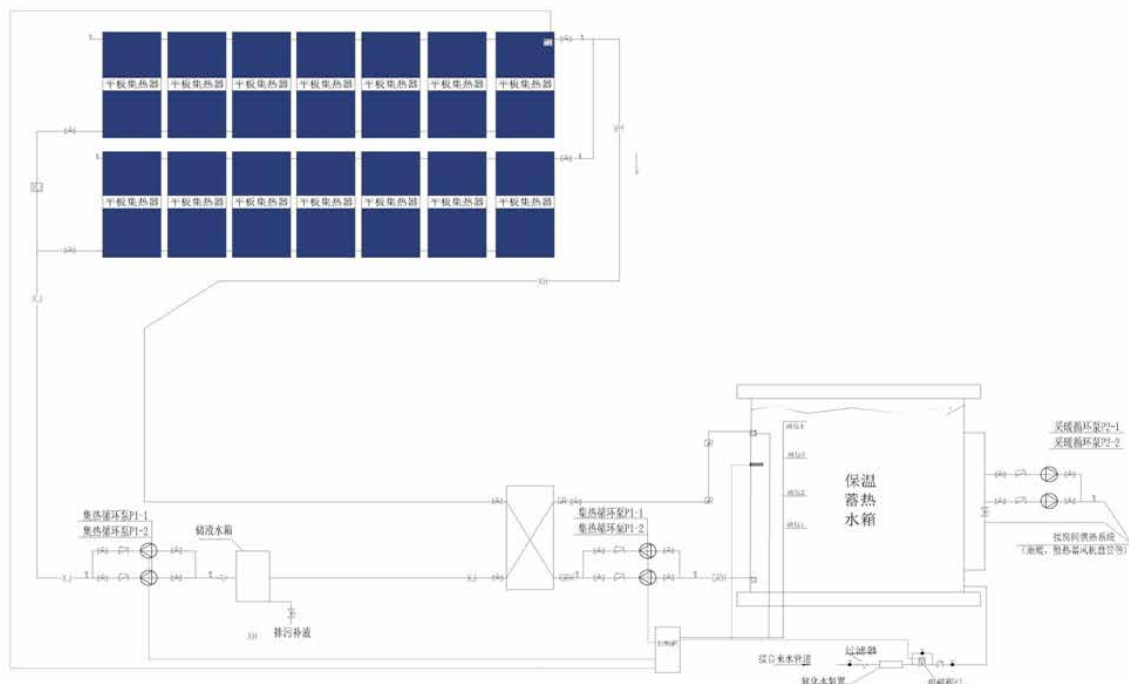


图 6-2-4 西藏达孜某太阳能集中供热系统运行原理示意图

1) 项目概况

本项目所在地海拔 3640 米，冬季日照率 77%，属优良的太阳能利用区，这里采用太阳能具有独特的优势和良好的经济环保效益。以选择性吸热涂层的新一代太阳能利用技术，有效提高太阳能光热转换效率，降低了集热效率的衰减速度，延长了集热器的使用寿命。集热器满足 -20°C 以下、海拔 4000 米以上的高寒环境中正常工作，并保持较高的集热效率。

本项目房屋共 7 栋，总供暖面积 8600m^2 ，室内设计温度 18°C ，餐厅食堂为 16°C ；取暖期为 132 天，每天取暖时间 18 个小时。

2) 运行原理

集热：太阳能集热器与供热水箱的温差循环：当集热器 T_1 - 储热水箱 $T_2 \geq 8^{\circ}\text{C}$ ，温差循环泵 P1 启动；当集热器 T_1 - 储热水箱 $T_2 \leq 2^{\circ}\text{C}$ ，温差循环泵 P1 停止；

供热：根据房间温度和时间设定自动启动供暖循环水泵，储热水箱温度高于供暖需求设定温度，直接供暖，水温低于设定温度，自动启动辅助电锅炉加热到需求温度。

3) 主要参数

集热面积： 3200m^2 （总面积）

储热容量：水箱储热量 320m^3

供热面积： 8600m^2 （7 栋楼）

辅助热源容量：电锅炉

热水用水设计定额 $60\text{L}/(\text{人天})$ ，热水设计温度 60°C 。



图 6-2-5 西藏达孜某太阳能集中供热系统

3、西藏浪卡子大型太阳能集中供暖工程

地 点：西藏山南市浪卡子县

建 设 方：太阳雨集团

建设时间：2018 年 4 月 -2018 年 11 月

1) 项目基本条件

本项目建设地点位于西藏山南市浪卡子县县城，浪卡子县地处山南地区南部，位于西藏南部的喜马拉雅山中段北麓平均海拔 4500 米，镇政府驻地于北纬 $28^{\circ} 97' 56.13''$ ，东经 $90^{\circ} 40' 77.58''$ ，全县国土总面积 8109.23 平方千米。



图 6-2-6 西藏浪卡子县县城大型太阳能集中供暖工程

本项目一期总供暖面积约 8.9 万 m^2 ，其中涵盖镇政府、幼儿园、防疫站、医院等公共建筑以及小区和公租房等住宅。总热负荷 4.3MW 在本项目建设前，浪卡子县城区大部分建筑主要采用小型牛粪采暖设备供暖或完全没有采暖设施。供暖设计室外温度 -14.4°C ，极端最低温度 -37°C ，采暖期：9 月 23 日～5 月 31 日（共 251 天）。

2) 系统原理

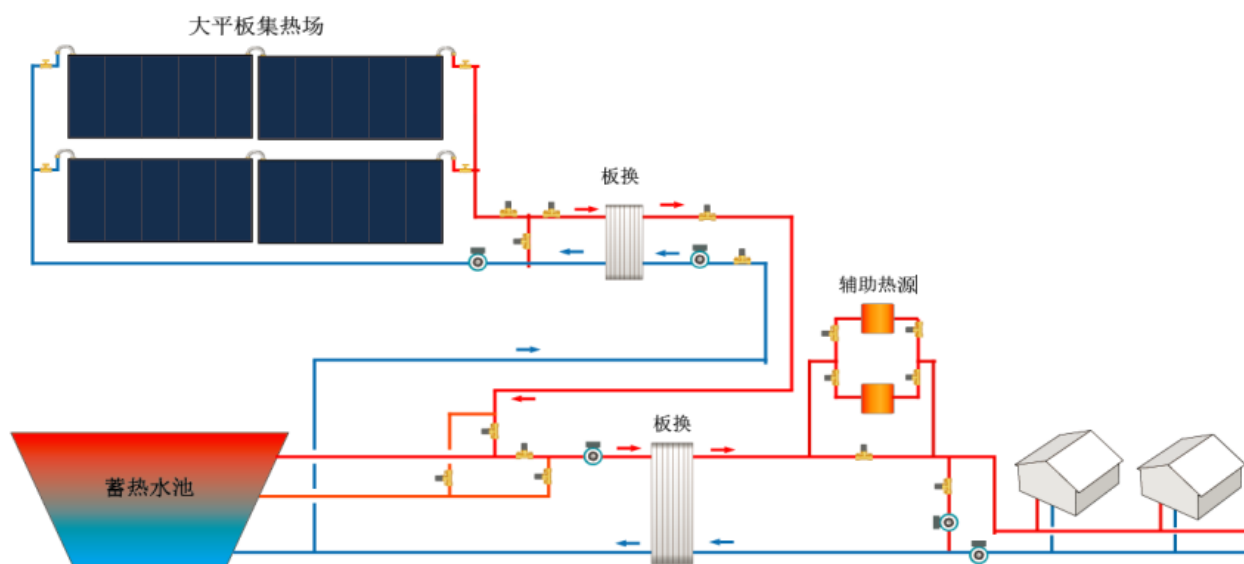


图 6-2-7 西藏浪卡子县县城大型太阳能集中供暖工程系统运行原理

大型太阳能集中供暖工程采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，蓄热水箱中的热水经热网直接供给室内采暖系统。在晴天，太阳热能经太阳能热力管网和热力站的热交换器输送至储热装置，在夜间和阴雨天，利用蓄热装置内热能，通过换热器将蓄热装置内的热能输送至区域热力管网，通过这种方式节约能源，减少采暖季因燃煤等造成的雾霾危害。

3) 主要技术参数

西藏浪卡子县县城大型太阳能集中供暖工程由太阳能热源厂、市政供热管网、室内采暖末端三大部分组成。

太阳能热源厂：高性能平板集热器面积 $1620 \times 13.75 = 22275 \text{ m}^2$

蓄热体积：1.5 万 m^3

锅炉功率：2×1.5MW

主管网长度：10.12km

散热片：折合双金属压铸铝 600 型 6.1 万片

4) 管理模式

本项目以县城为单位形成集中供暖系统，项目投入使用后，由政府和日出东方公司成立专业运维公司统一管理，通过每户的供暖面积计算费用，实现社区化管理。

5) 项目运行情况

表 6-2-2 西藏浪卡子县太阳能集中供暖工程 2019~2020 采暖季户均运行费用

电价 (元/kWh)	总耗电 (kWh)	日均耗电 (kWh)	运维人员工资及材料费 等(元)	平米每季采暖费 (元/m ² 季)
0.57	348890	1390	1581132	20

备注：数据采集时间为 2019 年 9 月 23 日 -2020 年 5 月 31 日，共计 251 天。实际供暖面积 8.9 万 m²

采暖能源全部来自太阳能，实现 100% 太阳能供暖，每天供暖平均需要 70-80MWh 的热能，晴天时，每天能得到 90-100MWh 的有效热能；项目每年可产总能量：约 17,000MWh、节约标煤 6800 吨、减少二氧化碳排放量 16949 吨。

表 6-2-3 西藏浪卡子县太阳能集中供暖工程 2019~2020 采暖季系统运行的环境效益

节约标煤	减排粉尘	减排二氧化碳	减排二氧化硫	减排氮氧化物
6800t	25.16t	16949t	57.8t	50.32t

备注：数据采集时间为 2019 年 9 月 23 日 -2020 年 5 月 31 日，共计 251 天。实际供暖面积 8.9 万 m²

4、北京延庆王家堡“太阳能 + 土壤源热泵”清洁能源采暖项目

地 点：北京市延庆区康庄镇小王家堡村

业 主：延庆区康庄镇小王家堡村

建 设 方：英豪阳光（北京）节能科技服务有限公司

建设时间：2017 年

1) 项目基本条件

项目建设地点位于北京市延庆区康庄镇，延庆县城西北、延怀盆地东部，地处北纬 40 度 16 分~ 40 度 47 分，东经 115 度 44 分~ 116 度 34 分。村域呈东北向西南延伸，东北至西南 0.8 公里，南北宽 0.7 公里，辖域面积 0.56 平方千米，平原区占 100%。

项目设计供暖（建筑）面积 19000m²，其中包含 50 年代建房 31 处。150 栋住宅、1 栋村委会。现有村民 223 户 450 人，房屋 182 处改造前主要采用传统散煤供暖方式。

供暖设计室外温度 -7.6℃、极端最低温度 -18.3℃根据业主提供本项目热指标为：热指标 105W/m²，冷指标 80W/m²，总采暖面积为 1.9 万 m²，本项目总建筑总冷负荷 1520kW，总热负荷 1995kW。

根据项目单位委托专业公司完成的《延庆王家堡地下热响应实验报告》，地块地源热响应夏季换热热量 67.4W/延米，冬季 26.7W/延米。

2) 系统原理及组成

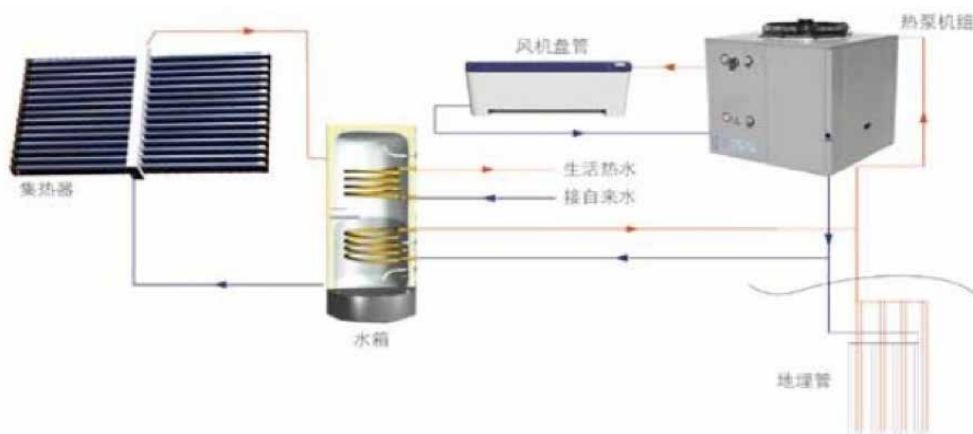


图 6-2-8 延庆王家堡“太阳能+土壤源热泵”采暖项目系统运行原理图

项目以地源热泵为主体，冬季采暖时，通过热泵机组将土壤中储存的热量提取实现室内采暖。项目采用太阳能和地源热泵耦合运行模式，可以将太阳能集热器收集的热量通过循环泵及地埋换热管将热量储存到土壤中，以提升土壤基础温度的恢复能力，并实现太阳能热量跨季节储存使用。热泵主机通过遍布全村街道的供热管网，将热量送至每户。供热管网由主管网和户内管网组成。室内末端采用风机盘管的方式，部分新建农户采用地板采暖的方式。户内均设有热计量表。系统主要由太阳能集热器、换热水箱、地埋换热管、热泵机组、风机盘管末端、管路系统、控制系统等组成。

3) 主要技术参数

王家堡村新建太阳能辅助地源热泵供热制冷系统，主要包括太阳能集热场、热泵机房系统、室外地源换热系统、室内末端系统及太阳能系统。总冷负荷 1520kW，总热负荷 1995kW。项目共设置一个地源热泵机房，机房置 2 台地源热泵机组，单台制冷量为 943kW，制热量为 950kW，总供热能力 1900kW、总供冷能力 1886kW。采用双 U 管 De32、钻孔的有效深度为 100m，数量为 508 口，换热孔间距 4.5m，单孔占地面积 20.25m²，布孔区占地面积为 10287m²。建成后可解决王家堡村 19000m² 建筑面积的冬季供热及夏季供冷。太阳能补热系统的集热面积 2400m²，太阳能系统的占地面积约 3700m²。

4) 管理模式

采用“清洁能源区域供热”模式，即以村为单位形成统一供热系统。项目投入使用后，由村委组织成立管理团队统一管理。通过安装在每户热计量表计算费用，实现社区化管理。

5) 项目运行情况

表 6-2-4 延庆王家堡太阳能+土壤源热泵采暖项目 2017~2018 采暖季系统整体运行费用

2# 热泵机组	空调侧循环泵	地源侧循环泵	1# 热泵机组	合计 (kWh)	系统日用电量 (kWh/天)
314227	139907	178651	310080	942865	7253

备注：数据采集时间共 130 天，从 2017 年 11 月 22 日至 2018 年 3 月 31 日。实际供暖面积 2.3 万 m²，共 182 户。

表 6-2-5 延庆王家堡太阳能 + 土壤源热泵采暖项目 2017~2018 采暖季户均运行费用

电价 (元 / kWh)	全村总电费用 (元)	户均电费 (元 / 户 / 季)	平米每季采暖费 (元 / m ² / 季)
0.5	471432.5	2590	20

备注：数据采集时间共 130 天，从 2017 年 11 月 22 日至 2018 年 3 月 31 日。项目电价为 0.5 元 / kWh，未享受“煤改电”补贴政策。

表 6-2-6 延庆王家堡太阳能 + 土壤源热泵采暖项目 2017~2018 采暖季系统运行的环境效益

节约标煤	减排粉尘	减排二氧化碳 (CO ₂)	减排二氧化硫 (SO ₂)	减排氮氧化物 (NOx)
161 t	109 t	400 t	12 t	6 t

备注：以上数据为每个采暖季累计减排量。

5、河北辛集县户用采暖热水示范项目

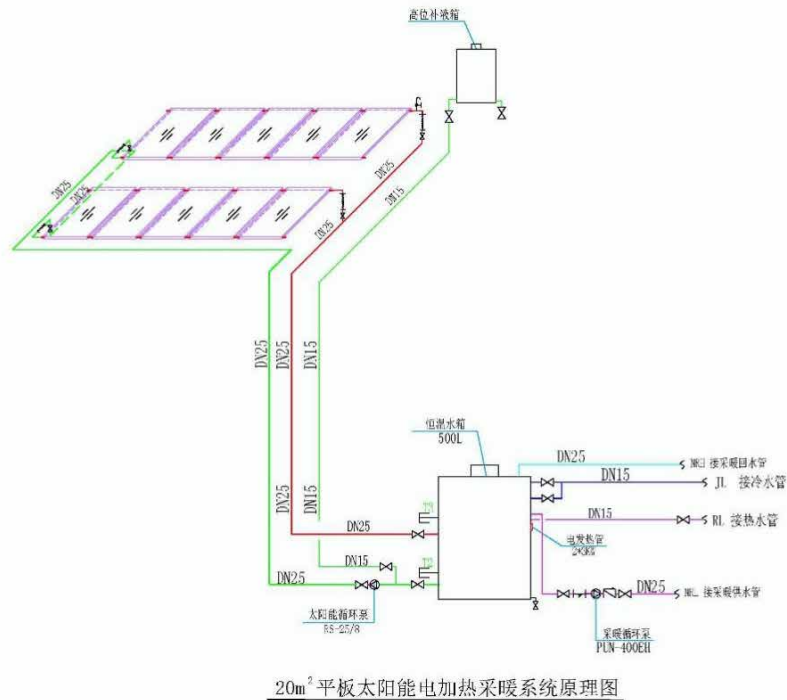
地 点：河北省辛集县、深泽县

业 主：农户煤改太阳能光热 +

建设方：广东五星太阳能股份有限公司

建设时间：2018 年 8 月—12 月

系统原理：

图 6-2-9 20m² 平板太阳能电加热采暖系统原理图

系统主要包括平板太阳能集热器、500L 蓄热水箱(带 2x3kW 电加热器)、采暖终端(暖气片、风机盘管、地暖)、控制系统、管道泵阀等。

1) 总体设计思路

尽可能利用太阳能集热、供热，即采即热，多余部分储存夜间使用，热量不足开启电辅助，控制系统造价。充分发挥太阳能优势和采暖季节夜间低谷电价特征，发挥白天用太阳能采暖，晚上用低谷电价采暖，太阳能不足时用电辅助，可延长采暖时间。在非采暖集热器可以为用户提供大量即热式生活热水供应，热水水质标准以进水相同，如果进水是自来水，则可用于达到饮用、做饭、洗碗洗菜使用，非采暖季节的生活用水太阳能保证率 90% 以上；提高太阳能的全年利用率，控制太阳能系统保证率、控制建造成本，提高系统性价比，便于农村市场推广；系统安全可靠，智能简单控制。

2) 运行原理

白天太阳能集热器集热，控制器控制集热循环泵、采暖泵工作，实现集热、储热、采暖功能；过剩热能储存在储热水箱内，供夜间供热使用。太阳能不足时，采用电辅助锅炉供热采暖。夜晚，储热水箱水温达到采暖要求，直接用储热热水采暖，不足时，启动电加热辅热。

系统具有一键启停功能，便于家里没人时节约能量，供热人为停止状态下，采暖末端防冻功能依然保留，保持采暖管路长期不冻状态系统具有采暖、热水一键切换功能，便于采暖季与非采暖季功能切换；

防冻方面：集热循环管路采用防冻液、排空防冻，采暖末端管路采用循环防冻方式，其他管路及水泵采用伴热带防冻。

3) 主要技术参数

基本信息（单户标准配置）：

集热面积：16~20m² 平板集热器

储热容积：500L

供热面积：面积 60~80m²

辅助能源：2x3kW 电辅助加热器

扩展：可依据用户节能，供热面积需求，模块化扩展光热采暖机配置数量和电辅助功率

4) 运行参数

集热温度：30-95℃

储热温度：30-95℃

光热采暖机供热温度：40-95℃

电辅助供热温度：50-60℃

循环流量：46/67/93W 屏蔽泵，三档可调

5) 检测

多户监测，晴好天气水箱温度可达到 45~65℃，暖气片 40~60℃，室内温度以房间结构及保温效果差异较大，总体在 15~30℃波动，总体基本满足用户需求；

采暖耗电量根据采暖时间、房屋能耗有较大差异，采暖季前后两月太阳能保证率高，启动电辅助时间约为中间两月 50% 左右。

6、河北威县户用采暖热水示范项目

地点：河北省邢台市威县东夏官村

业主：煤改电农户

建设方：河北道荣新能源科技有限公司

建设时间：2018年8月—2019年3月

系统原理：

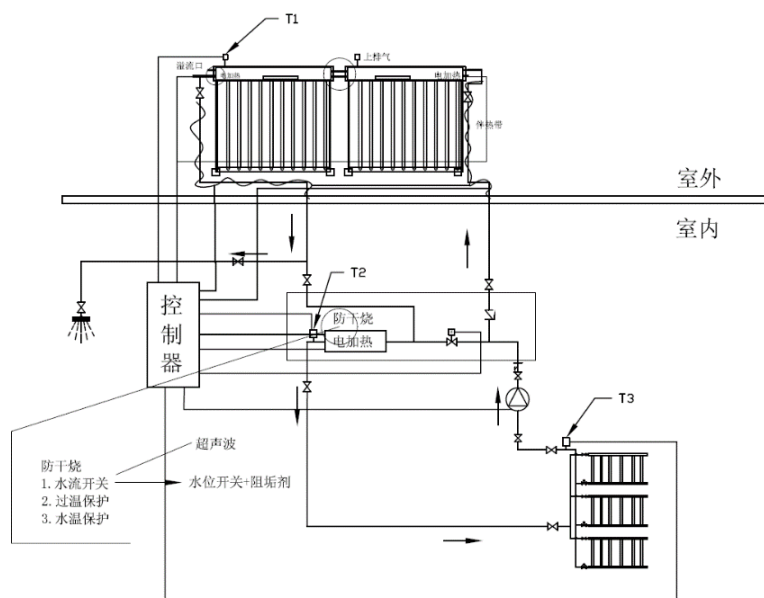


图 6-2-10 “光热+”电辅助蓄热户用采暖热水系统原理图

系统主要包括非承压全玻璃热管式太阳能集热管采暖机（两组串联）、电辅助锅炉（管道加热器）、采暖终端（暖气片或风机盘管）、控制系统、管道泵阀等。

1) 总体设计思想：太阳能光热、电辅助锅炉、低谷电价、降本

充分发挥太阳能优势和采暖季节夜间低谷电价特征，发挥白天用太阳能采暖，晚上用低谷电价采暖，太阳能不足时用电临时补充。非采暖季节延长采暖季，及提供生活热水，实现“光热+”低谷电价采暖/热水技术方案。

以政府投资少、用户运行少、企业有利润的三方共赢为目的。系统安全可靠，智能简单控制。

2) 运行原理

白天光热采暖机集热，通过管道循环泵向采暖终端供热，实现室内供热采暖；过剩热能储存在非承压水箱内，供傍晚供热采暖使用。太阳能不足时，采用电辅助锅炉供热采暖。

夜晚，储热水箱有过剩热能时，用储热水箱热能供热采暖，不足时，启动管道加热器，利用低谷电进行补充供热。

可依靠光热采暖机特性提前或延后采暖时间。非采暖机使用光热采暖机提供生活热水，以最大化发挥太阳能的优势和利用率。

防冻：管道循环防冻+伴热带防冻。

3) 主要技术参数

基本信息（单户标准配置）：

集热面积：8.8m²，72 支全玻璃热管

储热容积：250L

供热面积：折合面积 60m²（50W/m²），实际供热 30m² 左右（80-100W/m²）

辅助能源：3kW 电辅助锅炉

扩展：可依据用户节能，供热面积需求，模块化扩展光热采暖机配置数量和电辅助锅炉功率。

4) 运行参数

集热温度：30-85℃

储热温度：30-85℃

光热采暖机供热温度：40-85℃

电辅助锅炉供热温度：50-60℃

循环流量：100W 屏蔽泵，三档可调。

5) 检测

经国家中低温太阳能光热利用产品质量检测中心（浙江）现场检测，光热采暖机集热效率 50%，太阳能保证率为 20%-40%。

公司实际长期监测，暖气片采暖室内温度呈锯齿波动，风机盘管采暖呈矩形波动。高温时段温度在 15℃左右，低温段在 12℃左右。

采暖季电费为 1200 元左右（供电局数据），并可提前进入采暖应用，延后采暖应用，非采暖季节提供充足生活热水。

7、太阳能 + 地热能作为热源的供热试点工程

作为国内首座以太阳能 + 地热能作为热源的供热试点工程，甘肃省兰州市张家大坪供热工程自 2017 年建成以来系统运行良好，设备稳定，已经圆满完成了 2018-2019 供暖季的供热任务。目前设备处于反向运行模式，即利用太阳能集热系统将太阳能储存于地下进行蓄热。

1) 系统概况

太阳能 + 地热能互补供热系统，由太阳能集热系统、中深层地岩热系统、智能监控系统、末端供热系统组成。其中太阳能集热系统将太阳能集热场与停车场结合，形成太阳能集热与停车场一体化系统，共安装 90 块高效平板太阳能集热器，集热面积 202.5 m²，停车场面积为 256 m²，共 12 个车位。地热能作为中深层地岩热系统，遵循“取热不取水”的思想，采用 2500 米深地岩热井与井下换热器实现热量交换，通过地岩热井与地岩热机组共同组成地热系统，可实现地岩热井单独供热或者与机组联合供热。智能监控系统将计算机技术、工业自动化控制技术、通信及网络技术有机结合为一体，可实现系统运行的远程监控、数据传输等，通过可视化屏幕显示“太阳能—地岩热”供热系统的设备运行情况和相关运行参数，供生产调度和管理人员进行生产管理。建成试点工程实景如图 6-2-11 所示。



图 6-2-11 太阳能 + 地热能互补供热试点工程实景

2) 运行概况

项目于 2017 年建成投入运行，系统经 2018-2019 采暖季的运行检验，各设备运行平稳，进出水温度达到设计值，室内温度达到设计值要求。

项目利用太阳能—地岩热互补供热系统供热面积 3900 m^2 ，供热负荷 400 kW ，供热季运行期间，各系统在智能监控系统的调度下，其启动顺序为：优先采用太阳能供暖，启动太阳能集热及末端供暖系统；当太阳能无法满足供热时，启动地岩井互补供热；当地岩热井亦无法满足供热需求时，启动地岩热机组，从而满足室内温度舒适性的要求。系统运行原理如图 6-2-12 所示。

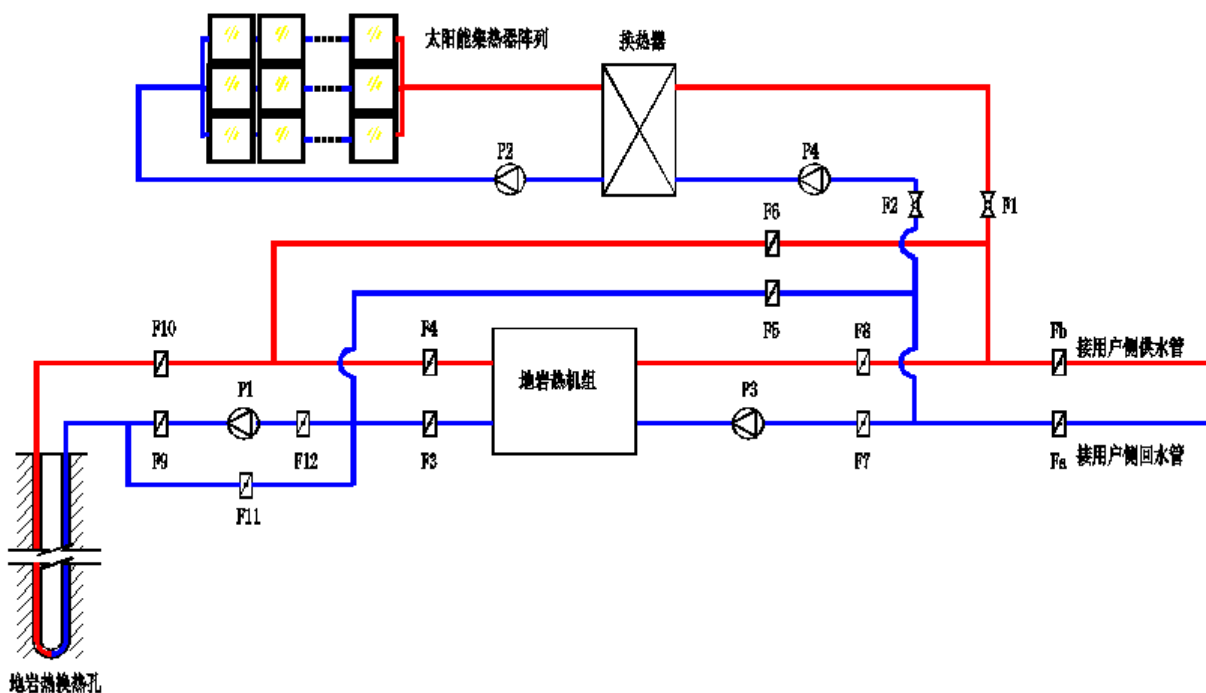


图 6-2-12 太阳能—地热能互补供热系统运行原理

经监测数据显示，冬季供暖期间倾斜面太阳平均辐照量为 3.3kWh/m^2 ，太阳能集热系统集热效率约为 30%。运行期间太阳能系统供水最高温度 51.3°C 、回水最高温度 38°C ，最大温差 13.3°C 。供水平均温度 45°C 、回水平均温度 35.1°C ，平均温差 9.9°C 。地岩热换热井出水设计温度为 41°C ，回水温度为 30°C ，系统运行压力 0.4MPa ，设计流量为 $25\text{m}^3/\text{h}$ 。经计算冬季运行期间，地岩热井平均出力 204.8kW/h ，地岩热机组 COP 为 5.8。

冬季供热结束后，系统反向运行，将太阳能以热能的形式储存于中深层地岩中，不仅进一步提高了资源利用率，同时为下一个周期供热奠定基础。



附录 1:

太阳能光热产业技术创新战略联盟简介

太阳能光热产业技术创新战略联盟（以下简称太阳能光热联盟）是按照科技部、财政部、教育部、国务院国资委、中华全国总工会、国家开发银行六部门联合发布的《关于推动产业技术创新战略联盟构建的指导意见》（国科发政〔2008〕770号）精神，在产学研结合工作协调指导小组支持和积极推动下，于2009年10月成立，发起单位30家。

作为一个由太阳能光热领域（主要包括太阳能热发电、太阳能供热供暖、储热储冷）相关企业、大学、科研机构组成的技术创新型合作组织，太阳能光热联盟致力于推动太阳能热利用技术和产业健康持续发展。目前联盟理事成员单位总量近150家，覆盖太阳能热利用全产业链关键环节（在国家太阳能热发电示范项目中，太阳能光热联盟成员单位占项目投资企业数量的55%；占技术来源与系统集成企业数量的85%）。

太阳能光热联盟是科技部36家试点联盟之一（国科办政〔2010〕3号），26家A类联盟（国家级）之一（国科办体〔2013〕4号）。理事长单位为中国科学院电工研究所，秘书处单位为中关村新能源太阳能热利用技术服务中心。2020年，因在组织机构建设与运行、产学研深度融合协同创新、引领或支撑产业创新发展等方面取得的突出成效，获得科技部试点联盟联络组颁发的“A级活跃度产业技术创新战略联盟”荣誉。

太阳能光热联盟在太阳能热发电等政策研究和推动、标准研制、技术研发、科技项目推荐管理、产业合作、成果推广应用和国内外合作交流等方面，发挥着组织协调和桥梁纽带作用，为我国太阳能光热技术创新、产业发展、政府管理提供支撑和服务。

近年来在政府决策支撑方面，太阳能光热联盟开展的主要工作包括：

▶ 2012年9月12日，国家能源局新能源和可再生能源司发函，委托太阳能光热联盟会同国家可再生能源中心等单位开展太阳能热发电产业政策研究；

▶ 2014年6月4日，国家能源局新能源和可再生能源司发函，委托水电水利规划设计总院、电力规划设计总院、太阳能光热联盟开展太阳能热发电设备能力情况调查；

▶ 2014年6月30日，国家能源局新能源和可再生能源司邀请太阳能光热联盟等单位参加太阳能发电行业标准体系建设座谈会；

▶ 2014年12月16日，国家能源局综合司发函，要求做好太阳能发展“十三五”规划编制工作；

▶ 2015年10月19日，国家能源局综合司发函（国能综新能〔2015〕606号），委托水电水利规划设计总院、电力规划设计总院、太阳能光热联盟开展太阳能热发电示范项目审核；

▶ 2017年7月3日，国家能源局综合司发函，委托水电水利规划设计总院、电力规划设计总院、太阳能光热联盟开展太阳能热发电示范项目进展情况调研；

▶ 2017年8月7日，太阳能光热联盟组织首批太阳能热发电示范项目座谈会，梁志鹏副司长出席；

▶ 2017年12月8日，太阳能光热联盟常务副理事长向李创军副司长汇报太阳能热发电示范项目进

展情况：

- ▶ 2017年12月27日，面对新情况，太阳能光热联盟组织首批太阳能热发电示范项目业主单位座谈；
- ▶ 2018年1月18日和19日，太阳能光热联盟分别向国家能源局新能源和可再生能源司和国家发改委价格司递交了《国家太阳能光热联盟关于我国太阳能热发电示范项目问题分析和推进建议的报告》，并进行了口头汇报；
- ▶ 2018年2月，太阳能光热联盟组织太阳能热发电示范项目业主单位向国家能源局相关部门进行口头汇报；
- ▶ 2018年8月，太阳能光热联盟通过实地勘察和询问等方式再次对太阳能热发电示范项目进展情况调研，并形成汇报材料上交国家能源局相关部门。
- ▶ 2019年2月，太阳能光热联盟根据国家发改委价格司相关职能部门要求，对首批项目中未建成项目进行延期项目电价政策的意见征集，形成意见汇总并上报。
- ▶ 2019年7月，太阳能光热联盟副理事长分别向国家发改委价格司、国家能源局相关职能部门进行汇报，推动电价政策出台。
- ▶ 2019年9月，太阳能光热联盟向财政部提交了《关于支持太阳能热发电示范项目建设及产业发展的请示》，恳请对延期投产的13个项目给予鼓励性支持。
- ▶ 2019年9月，太阳能光热联盟向发改委价格司和财政部提交了《关于为太阳能热发电企业保留合理适应调整期的请示》，恳请给予首批太阳能热发电示范项目“留出必要的适应调整期”，建议如2019年出台关于光热示范项目的价格补贴政策，其建成时间延至至少2021年底（2年左右）是合理的。同时，恳请在“十四五”期间创新太阳能热发电产业支持政策，营造更加稳定、透明、可预期的政策环境。
- ▶ 2020年，太阳能光热联盟积极开展行业调研，分别向国家能源局、国家发改委价格司、财政部经建司、工信部节能司等相关部门提交请示、建议报告，反映光热行业发展情况和需求。2020年3月2日，5月20日，6月15日和12月10日，先后向国家相关部门提交了《关于光热发电项目受疫情影响需要给予适应调整和缓冲期的报告》、《关于对首批太阳能热发电示范项目电价不进行退坡的报告》、《关于请求继续支持光热发电产业的报告》、《关于尽快明确光热示范项目价格政策的请示》以及《关于尽快发布太阳能热发电项目电价政策的请求》等。针对国家能源局发展规划司《国家能源局关于征集“十四五”能源发展意见建议的公告》，光热联盟结合产业发展现状及未来发展路径，提出了太阳能热发电及太阳能供热产业在“十四五”期间的发展规划建议。根据国家能源局《关于总结提供2020年度及“十三五”以来能源发展改革情况研提下一步工作思路建议的通知》相关要求，梳理了2020年度太阳能热发电行业发展概况、装备制造业市场情况、发展中存在的主要问题，总结了“十三五”以来太阳能热发电领域的成绩与亮点，提出了推动行业高质量发展的思路建议。
- ▶ 2021年1月11日，太阳能光热联盟收到了国家能源局新能源和可再生能源司发来的感谢信，感谢对新能源司工作的大力支持！信中表示：光热联盟一年来积极为太阳能光热行业发声，在太阳能热发电示范项目推进方面开展了大量调研工作，提交了数份高质量的研究报告，为政策决策提供了支撑。希望光热联盟能够继续为推动新能源和可再生能源实现跨越式发展再做新贡献。
- ▶ 太阳能光热联盟理事长单位——中国科学院电工研究所组织编写的《京津冀阳光充足地区推广



以太阳能为主的低成本高比例可再生能源建筑采暖》建议获得了河北省政府领导的批示。一批太阳能为主的供暖示范项目在河北省获得部署。2020年9月9日，国家能源局对该建议进行了公开答复。

▶ 2021年4月，太阳能光热联盟就国家能源局综合司关于对《关于2021年风电、光伏发电开发建设有关事项的通知（征求意见稿）》组织相关单位进行研究，并提出了反馈意见。

▶ 2021年5月，太阳能光热联盟就《国家发展改革委 国家能源局关于加快推动新型储能发展的指导意见（征求意见稿）》组织行业单位研讨，并联合中国可再生能源学会太阳能热发电专委会以及储能专委会进行了意见反馈。

在国家科技计划支撑和服务方面，太阳能光热联盟的主要工作包括：

▶ “十二五”期间，太阳能光热联盟成功组织申报两个国家科技支撑计划项目。2014年，推荐的《太阳能储热技术与示范》获国家科技支撑计划能源领域2014年项目立项（国科发计〔2014〕208号），专项经费1788万元；2015年，组织推荐的《太阳能高品质吸收膜与平板集热器关键技术研发》获国家科技支撑计划能源领域2015年项目立项（国科发资〔2015〕234号），专项经费2500万。在执行期间，太阳能光热联盟对两个项目共7个课题进行管理，并负责组织课题验收。

▶ “十三五”期间，太阳能光热联盟积极组织推荐国家重点研发计划项目以及国际合作项目数项。其中，“超临界二氧化碳太阳能热发电关键基础问题研究”获得科技部重点研发计划立项。

▶ 2020年，针对《科技部关于开展国家重点研发计划“十四五”重大研发需求征集工作的通知》，太阳能光热联盟认真、积极地组织行业代表研究提出迫切需要通过科技创新予以破题和解决的重大需求，特别是针对具体应用场景的协同攻关需求。共组织凝练包括“基于宽温域传热流体的低成本高温线聚焦太阳能热发电技术研发”、“中低温太阳能与天然气互补制氢关键技术”等在内的科学问题和重大需求30余项，上报科技部系统。以编制组工作成员单位，组织精干力量，积极参加国家能源局《能源技术创新“十四五”规划》前期研究工作，提出列入规划的重点方向和重点任务等意见建议。

此外，太阳能光热联盟在联盟标准编制、太阳能热发电关键共性技术研究、公共技术服务平台建设、搭建合作交流平台、培养人员等方面也取得了较好成效。截至2020年底，联盟共发布联盟标准16项，在研联盟标准近10项；自筹经费立项资助了槽式真空管寿命评价、熔融盐系统安全性评价、太阳能热发电的定位、太阳能热发电成本下降路径4个共性技术研发课题；分别对中国科学院电工研究所太阳能热发电检测中心、中海阳太阳能热发电北京工程实验室和宿迁光热发电工程技术研究中心授予联盟公共技术服务平台；共举办了14届“中国太阳能热发电技术大会”、10届太阳能热利用科学技术研究生论坛、数十次太阳能热利用（发电）高级培训班；评选并颁发了6个年度的中国太阳能热利用科学技术杰出贡献奖……

2020 年度太阳能光热联盟理事单位主要业务范围

业务范围	
序号	单位名称（按拼音排序）
1	艾杰旭特种玻璃（大连）有限公司
2	北京大学
3	北京工业大学
4	北京启迪清洁能源科技有限公司
5	北京天瑞星光热技术有限公司
6	北京兆阳光热技术有限公司
7	常州龙腾光热科技股份有限公司

主要生产和销售太阳能用途的高质量超白浮法玻璃、太阳能光伏用途的 TCO 镀膜玻璃、工业及建筑用在线辐射镀膜玻璃，以及建筑用、汽车用、各种工业用途的透明浮法玻璃。

北京大学工学院对利用超临界 CO₂ 等流体工质实现高效利用太阳能、环境低品质热能等进行发电、制冷、制热的能源转换系统开展了系统性的研究。目前，已研制出了低品质热能超临界 CO₂ 发电、制冷 / 制热系统以及高效商用 CO₂ 制冷热泵等，并进行了大量的实验测试和示范工程建设。

熔盐传热蓄热和单螺杆膨胀机是北京工业大学传热强化与过程节能教育部重点实验室的特色研究方向，在低熔点高工作温度混合熔盐配制与改性、熔盐热物性测定与推算理论、熔盐对流传热等方面取得了世界领先的研究成果，拥有二百多种混合熔盐配方，研发了三代低熔点熔盐，实现了低熔点、高工作温度和低成本的完美结合。

业务范围包括：太阳能光热、核能供热、压缩空气储能、风电开发建设、配电网与能效管理、清洁能源综合服务、能源环境全过程咨询等。

专业从事太阳能光热技术领域研发、核心产品制造、技术服务。已研制出拥有完全知识产权的高温太阳能集热管，并通过德国中心 DLR 和欧洲太阳能试验中心 PSA 的测试。通过一系列工程示范和商业应用，已掌握槽式系统集成核心技术，具备在全球大规模部署槽式聚光集热系统的能力。

提供菲涅耳太阳能热发电技术咨询、装备制造、工程服务，以及开发、投资、建设、运营菲涅耳太阳能热发电工程。研究开发了一套具有完整自主知识产权的类菲涅耳技术体系，该技术体系除了整体应用于太阳能热发电之外，其各组成部分及其衍生产品可以被单独应用于工业蒸汽、火电站灵活性改造、城镇供热、海水淡化、农业畜牧业供热等领域。

致力于光热发电及分布式太阳能热利用领域的研发创新和产业推广，业务涵盖高温真空集热管、集热场系统集成、分布式太阳能冷热电联供系统等领域。

序号	单位名称（按拼音排序）	业务范围
8	成都博昱新能源有限公司	核心业务包括：对光热太阳岛提供产品、集成和服务的全套解决方案。是国内较早掌握槽式集热器支架全套设计、生产、安装、调试的企业之一，并且产品拥有完全自主知识产权和丰富的运行经验。
9	德州金亨新能源有限公司	致力于高性能太阳能集热器的研发、生产、应用的技术创新型企业，拥有多项自主知识产权的核心技术，包括高耐候选择性吸收涂层磁控溅射制备技术、帮定（BONDING）传热技术、高温选择性吸收涂层制备技术等。专注集热器研发/制造领域，设计、研发的核心产品有：平板集热器、线性聚焦集热器、STC500集热器（性能是普通平板的2~3倍）、U型管集热器、长寿U型管集热器、热管集热器、蒸汽集热器等。
10	电力规划设计总院	国家级高端咨询机构，是中央编办登记管理的事业单位，主要面向政府部门、金融机构、能源及电力企业，提供产业政策、发展战略、发展规划、新技术研究以及工程项目的评审、咨询和技术服务，组织开展科研标准化、信息化、国际化、国际交流与合作等工作。
11	甘肃省建材科研设计院有限责任公司	主要从事新型建材、绿色建筑、新能源利用等行业的新材料研究开发、检验检测认证、科研成果产业化、工程咨询设计监理等工作。
12	广东雷子克热电工程技术有限公司	自主研发高性能热金属材料及生产工艺，材料的热电优值 ZT 达到 1.81，100℃时材料的热电转换效率为 14%，全自主研发生产的半导体热电转换芯片，适用于汽车领域、商业、工业、国防、太空和光子学领域、生物医学、石油、天然气和采矿、电信（光通讯）等领域。
13	广东五星太阳能股份有限公司	产品涵盖太阳能光热、光伏、热泵三大领域，形成了太阳能热水器、太阳能蒸汽锅炉、太阳能光伏组件、太阳能路灯、太阳能光伏发电系统、热泵热水器、太阳能（热泵）采暖、太阳能（热泵）烘干等多个产品系列。
14	国家电力投资集团公司中央研究院	从事核能、火电、太阳能及新能源领域的战略先导性技术、交叉前沿技术、共性关键技术研究，战略与技术经济研究，科技成果转化与推广等综合性研究与咨询业务。
15	河北道荣新能源科技有限公司	集光热产品研发、设计、制造、销售于一体，专注于“光热+”清洁能源开发利用。研发的槽式光热系统、CPC光热系统、平板、真空管等户用供暖系统，能提供80℃-500℃的中高温热能，广泛应用于光热发电、工业蒸汽、采暖制冷、海水淡化、燃煤锅炉替代、石油开采、智慧农业、农副产品烘干等领域。

业务范围		单位名称（按拼音排序）	序号
华北电力大学能源动力与机械工程学院主要研究方向：强化传热、火力发电过程节能、太阳能和新能源发电、储能材料与储能技术、氢能与燃料电池、海水淡化等。	华北电力大学	16	
主要产品包括：各类高温、高压、低温、耐磨、耐腐蚀、泵、阀、管道、耐磨耐热铸件、衬氟化工设备、合金钢制品等。	江苏飞跃机泵集团有限公司	17	
从事储能技术开发应用与储能核心装备制造集成，产品及服务包括：化盐设备、储罐、换热器、储热技术服务、EPC 总包、储热岛 EPC 等。	江苏联储能源科技有限公司	18	
以合成导热油与功能性化学品的研发、生成、销售为主。具备合成高温导热油及功能性化学产品均超 10000 吨的年生产能力。	江苏中能化学科技股份有限公司	19	
致力于专业提供完整太阳能热发电镜场技术。产品包括“终极碟”、PTOC 调试/检测/检修装备、钜光定日镜及低成本钜光太阳能塔式电站技术包和光斑校准系统（BCS）、云监测系统（CCS）等。	钜光太阳能科技（北京）股份有限公司	20	
主要经营聚光太阳能热发电组件产品研发生产及聚光太阳能热源系统和光热发电系统集成建设、绿色镀膜设备、铁路信号设备等三个业务板块。	兰州大成科技股份有限公司	21	
从事板式换热器研发、设计、生产和服务。公司产品主要应用于节能环保、核电军工、石油化工、暖通空调、船舶、冶金、生物能源、钢铁、电力、制药、纺织、造纸、食品等众多领域。	兰州兰石换热设备有限公司	22	
属于热电联产性质，专注于热电厂的运营管理、实业投资、投资管理、热电厂的投资、煤炭经营、热电技术咨询、污泥无害化处理、天然气分布式能源、光伏发电、再生资源、储能等一系列项目。	美欣达欣旺能源有限公司	23	
主要从事过程强化与节能环保装备、新能源技术与装备、表面强化处理、承压设备结构完整性等研究。	南京工业大学	24	

序号	单位名称（按拼音排序）	业务范围
25	内蒙古电力勘测设计院有限责任公司	国家甲级电力勘测设计企业、总承包企业。具有电力工程设计、勘察、咨询、测绘、总承包、环境影响评价、水土保持方案编制、电子通讯、热力工程等多项国家甲级资质，拥有对外承包工程资格和国家特种设备设计许可证，可承担各种等级的发电、输变电、新能源工程的咨询、勘测、设计、监理、总承包业务及新能源项目投资运营。
26	内蒙古绿能新能源有限责任公司	主营业务为前期工作申请报告、备案申请报告、能源审计、合同能源管理、可行性研究报告、项目建议书、项目申请报告、资金申请报告、节能评估报告、节能评估报告编制工作；以及工程项目包括无人机航拍等国内最尖端技术地形图测绘和岩土勘测。
27	内蒙古旭宸能源有限公司	主要经营太阳能光热系统的研发、制造与销售。已建成年产20万支金属直通式真空集热管智能生产线2条、集热器支架生产线以及CPC集热器生产线，可实现集热场250万平米，可满足集中供热面积约1000万平米的配件供给。
28	宁夏中昊晨能源技术服务有限公司	主营业务包括：“煤改电”清洁取暖示范、供热领域节能改造、供热节能和煤改清洁能源、太阳能供热分布式光伏、能耗分析、节能诊断、节能改造实施、煤改电采暖工程、工业余热利用等。
29	青海爱能森新材料科技有限公司	业务类型：传储热系统；EPC/设计/工程/施工。核心产品及服务：储热介质；储热系统
30	清华大学	“十二五”国家科技支撑计划“太阳能储热技术与示范”项目承担单位，建设并成功运行首个大型太阳能集热与工业余热相结合的跨季节储热集中供热工程，首次将热源塔热泵技术运用于北方寒冷地区进行冬季供热示范，为太阳能储热技术研究提供示范平台和实验基地。
31	日出东方控股股份有限公司	专注于太阳能热利用，通过自主创新及国内外并购与合作，逐步形成太阳能、空气能、净水、厨电等主营业务。拥有“太阳雨”、“四季沐歌”、“帅康”、“日出东方阿康”等行业知名品牌。
32	山川秀美生态环境工程股份有限公司	从事燃煤电厂锅炉烟气治理工程，包括袋式除尘器的设计、制造、安装、调试和技术服务等工程项目总承包。

业务范围

序号	单位名称（按拼音排序）	业务范围
33	山东电力工程咨询院有限公司	业务范围涵盖火电、新能源、电网和增量配网、核电、综合智慧能源以及非电业务 6 大板块，规划、咨询、勘察、设计、EPC 总承包、服务、科技研发和投资运营 8 大领域。
34	山东济南发电设备厂有限公司	以生产汽轮发电机为主，集科研开发、生产制造、经营销售和其他多种经营于一体的国有电机制造企业，主导产品为国产 QF 系列空冷汽轮发电机和引进 ALSTOM 公司 WX 系列空内冷汽轮发电机。
35	山东龙光天旭太阳能有限公司	主要从事高硼硅特种玻璃及太阳能光热、光电、空气能等新能源产品研发、生产、销售等。主要有高硼硅太阳能玻璃管、高硼硅玻璃棒、工艺管等系列高硼硅特种玻璃产品，以及太阳能热水器、真空集热管、太阳能集热工程、空气源热泵等新能源系列产品。
36	上海电气电站集团有限公司	产品包括火力发电机组（煤电、气电）、核电机组、风力发电设备、输配电设备、环保设备、自动化设备、电梯、轨道交通、医疗设备、油气海工和工业互联网等。
37	上海交通大学	上交大太阳能发电及制冷教育部工程研究中心在太阳能建筑一体化应用、太阳能制冷、太阳能采暖、高效太阳能集热器、太阳能光伏应用、空气源热泵热水系统、基于热泵的综合能源利用技术、地源热泵、水源热泵、冷热电联供系统的匹配与优化等领域具有显著优势，并已实施相关技术的工程化应用。在余热制冷、吸附技术、冷却塔技术、吸收式空调等领域也积累了丰富的研究开发经验。
38	涉县津东经贸有限责任公司	以热媒制造与精细化工为主体的综合性生产企业，主导产品联苯。近年来，相继研发优化技改了以联苯为主导的氢化三联苯、联苯—联苯醚等环保型新能源高温导热油系列产品。
39	首航高科能源技术股份有限公司	主要从事光热发电、电站节水、余热利用、水务技术、清洁供暖、氢能利用、烟羽消白等领域的研发、设计、制造、建设、运维，项目投资及项目总承包等服务的高新技术型企业。

序号	单位名称（按拼音排序）	业务范围
40	水电水利规划设计总院	国务院批准的事业单位，主要职责是参与编制水电水利及风电长远发展规划，制订和部署前期工作计划；代部组织预审河流规划和风电规划报告，负责审查部管大中型水电水利和风电工作预可行性研究和可行性研究（原初步设计）；组织编制和审查水电水利、风电勘测设计技术标准 and 定额；归口领导部属勘测设计院，并对全国水电水利和风电勘测设计单位实行行业管理等。
41	天津大学	在热泵系统优化、新型制冷剂循环特性研究分析、太阳能高效利用等方面开展了很多卓有成效的研究工作。
42	武汉圣普太阳能科技有限公司	具有全系列槽式、塔式、菲涅耳式反射镜，二次反射镜（CPC）和聚光光伏反射镜等产品的研发和批量生产能力，广泛应用于太阳能光热发电、太阳能中低温热利用和聚光光伏等领域。
43	西安交通大学	西安交通大学化工学院特色研究方向为：能源化工工艺系统集成与排放控制、能源化工过程强化与放大、煤—油—气—盐资源的绿色转化、能源化工系统及装备的长周期安全运行、高效化工过程机械与设备技术等。同时，西安交通大学还创办全球第一个储能专业。
44	云南师范大学	云南师范大学能源与环境科学学院（太阳能研究所）是集教学、科研及工程应用为一体的教学科研单位，是国内最早开展太阳能利用研究的单位之一。以太阳能、生物能源等可再生资源利用研究和高层次人才培养为主要优势特色，具有本科、硕士、博士和博士后完整的人才培养体系。
45	浙江大学	浙江大学可持续能源研究院致力于太阳能热发电与高效利用领域的研究工作，涵盖高温集热（空气、颗粒、超临界 CO ₂ 、熔盐等）、热化学与显热储热、高温工质换热（如颗粒与超临界 CO ₂ 等）、布雷顿循环（空气、超临界 CO ₂ 等）、斯特林循环，以及多能互补与余热梯级利用等。
46	浙江中控太阳能技术有限公司	专注于塔式熔盐储能光热发电技术的技术研究、装备研制与工程化应用，已成功掌握塔式熔盐储能光热发电全流程核心技术，并建立起光热发电全产业链，实现了核心装备的产业化、国产化，能够为光热电站建设提供成熟、可靠的解决方案。

序号	单位名称（按拼音排序）	业务范围
47	中广核工程有限公司	我国第一家专业化的核电工程管理机构。业务范围主要包括：核电、常规电力、热力、燃气、港口、公路、水利、给排水以及民用建筑工程的承包、管理、咨询、监理；工程建设技术服务、咨询；经济信息咨询；工程建设项目招标代理；经营进出口业务；建筑工程施工；电力设备和材料的购销；工程设计。
48	中国电建集团山东电力建设第三工程有限公司	央企中国电建集团的全资 A 级子公司，是以 EPCO、EPC、BOT、BOO、PMC 等方式承包火电、核电、燃气、水电、风电、变电、光伏电站、生物发电、光伏发电、光热发电、海水淡化等工程建设为主的专业化公司。公司业务范围遍及电力与金融投资、设计咨询、设备制造与租赁、国际物流与贸易、调试运行、房地产、休闲旅游等多个领域。
49	中国电建集团山东电力建设第一工程有限公司	集火电、核电、新能源发电、电站设计、电站调试、检修运维、输电变电、基础设施和起重机械设计制造、商贸物流、投资融资于一体的综合性、集团化、多元化国有大型电力工程公司。
50	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司	主营业务方向为清洁能源开发、水生态环境治理、基础设施建设工程三大领域，是集勘测设计、工程总承包、投资运营于一体的科技型工程公司。
51	中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司	经营格局涵盖技术服务（含规划、勘测、设计、科研、咨询等）、工程承包（含 EPC、设备成套、岩土施工等）、投资运营三大板块，业务领域涉足水电水利工程、新能源工程、水环境治理与生态保护工程、市政交通与建筑工程等四大行业。
52	中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司	具致力于高端咨询规划、工程勘察设计、工程总承包等业务领域。在能源规划研究、火力发电、新能源发电、多能互补、输变电、市政工程和环境保护等方面业绩显著。
53	中国广核新能源控股有限公司	中国广核集团有限公司的控股子公司，定位为中国广核集团开发、运营非核清洁及可再生能源发电项目。主要致力于风电、太阳能、水电等新能源电站的投资、建设和运营维护及技术研发。

业务范围		单位名称（按拼音排序）
54	业务结构包括：投资、产品、工程协同发展，高端制造及系统工程、环保水务、电站投资建设、清洁能源等，产品和服务涵盖了电力、化工、矿业、港口、冶金、市政、新能源、分布式能源等领域。	中国华电科工集团有限公司
55	主要研究方向为：可再生能源发电、电力设备新技术、电网技术、电力电子与电能变换、超导与新材料应用、生物电磁学与电磁探测等。	中国科学院电工研究所
56	以钍基熔盐堆核能系统、高效能源存储与转换等先进能源科学技术为主要研究方向，同时兼顾核技术在环境、健康、材料领域的若干前沿应用研究，致力于熔盐堆、钍铀燃料循环、核能综合利用等领域的关键技术研发。	中国科学院上海应用物理研究所
57	集能源装备研发、设计、制造、服务于一体的大型企业集团，产品在电力行业的百万千瓦级水电、火电、核电机组，特高压，智能电网，新能源等诸多重点工程建设中创造了丰厚的工程业绩，在冶金、建材、煤炭、化工等行业也得到广泛应用。	中国能建集团装备有限公司
58	主要从事能源及基础设施领域规划研究、咨询、评估、工程勘察、设计、服务、工程总承包，项目投资与经营、相关专有技术产品开发等业务。	中国能源建设集团规划设计有限公司
59	外资企业，拥有全球领先的全套太阳能光热技术解决方案，包括工程咨询、项目开发、技术方案提供以及 EPC 服务。	Pacific Green Solar Technologies Inc. (太平洋绿色太阳能公司)

国家太阳能光热产业技术创新战略联盟秘书处

地址：北京市海淀区中关村北二条6号中国科学院电工研究所北院317

邮编：100190

电话：010-82547214

网址：<http://www.cnste.org>

邮箱：cnste@vip.126.com

微信号：nafste