

中国太阳能热发电行业

Blue Book of China's Concentrating Solar Power Industry

蓝皮书

2022

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



版权声明

国家太阳能光热产业技术创新战略联盟和中国可再生能源学会太阳能热发电专业委员会是本蓝皮书的编著和发布者，依法享有本蓝皮书版权并受法律保护。本蓝皮书提供的内容资料可供浏览和学习、科研目的参考使用，未经许可禁止部分或全部拷贝，转载文字、数据及图片引用务必注明出处，引用格式为：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟《中国太阳能热发电行业蓝皮书 2022》。

任何人不得对本蓝皮书内容原意进行曲解、修改，本蓝皮书内容所含有的知识产权信息不得被删改。凡引用本蓝皮书内容而引起的民事纠纷、行政处理或其他损失，版权人均不承担责任。对不遵守本声明、用于商业用途或者其他恶意、违法使用的，版权人保留追究其法律责任的权利。



中国太阳能热发电行业蓝皮书

Blue Book of China's Concentrating Solar Power Industry

2022

2023年1月



中国太阳能热发电行业蓝皮书

Blue Book of China's Concentrating Solar Power Industry

2022

- 批 准：**何雅玲 中国科学院院士 西安交通大学教授
国家太阳能光热产业技术创新战略联盟专家委员会主任委员
- 统 筹：**王志峰 中国科学院电工研究所研究员
国家太阳能光热产业技术创新战略联盟理事长
中国可再生能源学会太阳能热发电专委会主任委员
- 主 编：**杜凤丽 国家太阳能光热产业技术创新战略联盟秘书长
中国可再生能源学会太阳能热发电专委会秘书长
- 参 编：**董清风 (附录 9.2、9.5、9.6)
洪 松 (附录 9.3、9.7)
雷东强 (附录 9.4)
王志峰 (第五章、第八章)
- 校 核：**董清风 洪 松 原郭丰
- 审 核：**国家太阳能光热产业技术创新战略联盟专家委员会
- 致 谢：**各太阳能热发电示范项目业主单位 白凤武 常春 卢智恒 焦芳 王鸣川 徐二树



目 录

一、太阳能热发电的特点和定位	1
1.1 太阳能热发电概述	1
1.1.1 定义与主要特点	1
1.1.2 太阳能热发电系统组成和运行原理	2
1.2 太阳能热发电的作用和定位	4
1.2.1 新型电力系统的需求和挑战	4
1.2.2 太阳能热发电的作用	5
1.2.3 太阳能热发电的定位	7
二、太阳能热发电市场发展	8
2.1 我国兆瓦级太阳能热发电系统集成技术的起步	8
2.2 我国太阳能热发电装机容量及聚光形式占比	11
2.3 全球太阳能热发电装机容量及聚光形式占比	12
2.4 我国在建太阳能热发电项目	14
2.4.1 甘肃省	15
2.4.2 青海省	16
2.4.3 吉林省	19
2.4.4 新疆维吾尔自治区	19
2.4.5 西藏自治区	22
三、我国太阳能热发电示范项目运行情况	23
3.1 中船新能乌拉特100MW槽式光热电站	23
3.2 首航高科敦煌100MW塔式光热电站	23
3.3 青海中控德令哈50MW塔式光热电站	24
3.4 中广核德令哈50MW槽式光热电站	25
3.5 中电建共和50MW塔式光热电站	25
3.6 兰州大成敦煌50MW线菲式光热电站	25
3.7 鲁能格尔木多能互补工程50MW塔式光热电站	25
3.8 中电哈密50MW塔式光热电站	26
四、我国太阳能热发电产业链情况	27
4.1 太阳能热发电产业链体系和特点	27
4.2 我国太阳能热发电产业链主要代表性单位	27
4.3 光热发电相关部件装备/材料制造产能	29
4.4 我国光热发电关键部件/材料应用情况	29



4.5 我国关键设备技术和应用突破情况	31
五、我国太阳能热发电技术研发项目情况	33
5.1 国家自然科学基金	33
5.2 国家重点研发计划	34
六、太阳能光热电站投资成本	36
6.1 塔式光热电站建造成本及构成	36
6.1.1 我国7小时储热50MW塔式光热电站投资构成	36
6.1.2 我国12小时储热100MW塔式光热电站投资构成	37
6.1.3 定日镜成本构成	38
6.2 槽式光热电站建设成本及构成	38
6.2.1 全球首座7.5小时储热50MW槽式光热电站投资构成	38
6.2.2 我国4小时储热50MW槽式光热电站投资构成	40
6.2.3 我国10小时储热100MW槽式光热电站投资构成	40
6.3 储热时长和度电成本	41
6.4 太阳能热发电示范项目决算各部分单位造价所占比例	42
七、太阳能热发电站全生命周期碳排放	43
八、太阳能热发电发展面临的挑战及对策	47
8.1 单位kW造价和运维成本降低	47
8.2 效率的提升	50
8.3 太阳能热发电技术和产业发展建议	51
九、附录	53
9.1 我国太阳能热发电行业发展主要历程	53
9.2 我国2022年发布的太阳能热发电相关政策	59
9.3 我国2022年发布的太阳能热发电相关国家标准	61
9.4 国外2022年立项的太阳能热发电科研项目	62
9.5 我国在建太阳能热发电项目已中标企业汇总	63
9.6 国内外太阳能热发电项目参建设计院汇总	66
9.7 太阳能光热联盟2021~2022年度理事单位简介	71
参考文献	81



一、太阳能热发电的特点和定位

1.1 太阳能热发电概述

1.1.1 定义与主要特点

太阳能热发电（英文：concentrating solar power, 简称 CSP）是将太阳能转化为热能，通过热功转换过程发电的系统^[1]。太阳能热发电前端采用太阳能集热、后端采用同步发电机组发电、配置大容量、长周期、高安全的储热系统；其运行过程基本为：聚光器跟踪太阳将直射辐射光聚焦并反射至吸热器上，加热吸热器内的传热流体，将太阳能转换为热能；热能可以直接与水换热产生高温高压的蒸汽驱动汽轮发电机组发电，也可以被储存在储罐中，在需要发电的时候释放热能进行发电。

根据聚光形式的不同，目前国际上商业化应用的太阳能热发电主要包括塔式、槽式和线性菲涅耳式（“耳”也被写成“尔”，以下简称：线菲式）等三种类型。其中，塔式为点聚焦，槽式和线菲式为线聚焦。

太阳能热发电的主要特点是能够实现 24 小时连续稳定发电。太阳能热发电配置长周期、大容量储热系统，可以支撑机组在夜间或电网需要时低负荷长时不停机连续运行。在我国首批太阳能热发电示范项目中，储热时长（满足汽轮发电机组满负荷运行的小时数）为 6 小时~15 小时不等。以单机容量最大的两座光热电站为例，首航敦煌 100MW 塔式光热电站储电容量高达 1.1GWh，中船新能乌拉特 100MW 槽式光热电站储电容量 1GWh。以储热时长 7 小时的塔式光热电站典型周数据为例，热盐储罐储满入夜后，机组可在 40% 负荷水平连续运行 14 小时。据国家太阳能光热产业技术创新战略联盟调研，中广核德令哈 50MW 槽式光热电站在 2021 年 9 月 19 日至 2022 年 5 月 7 日期间连续安全运行 230.2 天；中船新能乌拉特 100MW 槽式光热电站 2022 年 6 月 4 日~15 日，在 6 天多云的情况下，实现无停机连续发电 12 天；青海中控德令哈光热电站也达到了连续运行 12 天（292.7 小时）的记录；首航高科敦煌 100MW 塔式光热电站最长不间断发电时长约 263 小时。

太阳能热发电配置的储能方式具有高安全性。目前商业化运行的光热电站所使用的熔盐为硝酸钾和硝酸钠的混合物；自全球首个以熔盐为传热和储热介质的光热电站投运以来（1995 年，美国 Solar Two）投运以来，全球约 7GW 的太阳能光热电站装机（储电容量超过 1000GWh）均未发生过爆炸等安全性事故。

太阳能热发电机组是能够发挥煤电机组作用的可再生能源发电方式。根据水电水利规划设计总院、国家太阳能光热产业技术创新战略联盟、电力规划设计总院、中国电力科学研究院联合开展的并网太阳能热发电示范项目运行情况评估，光热发电具备响应快速性和同步支撑性，具备参与电网有功频率调节、无功电压控制、低频振荡抑制等方面的能力。大部分光热电站最小技术出力可达约 15%~20%Pe（设计出力），优于常规燃煤机组；升负荷平均调节速率约为 1.5%~3%Pe/min，降负荷平均调节速率约为 2.5%~5%Pe/min，与常规燃煤机组的水平基本相同。在频率支撑方面，光热电站以同步发电机组并网，可为系统提供惯量支撑，同时其前级换热效率高、响应快，具有参与电网调频的优势。在电压支撑方面，光热发电站作为电压型支撑电源，能抵消由于风电、光伏发电并网造成的电网强度降低程度，对稳定电网电压具有较好的支撑作用。在功角稳定支撑方面，光热电站具备热调节的快速性和同步发电机的同步

支撑性，可以快速响应电网需求，对于维持电力系统的功角稳定具有重要意义。

1.1.2 太阳能热发电系统组成和运行原理

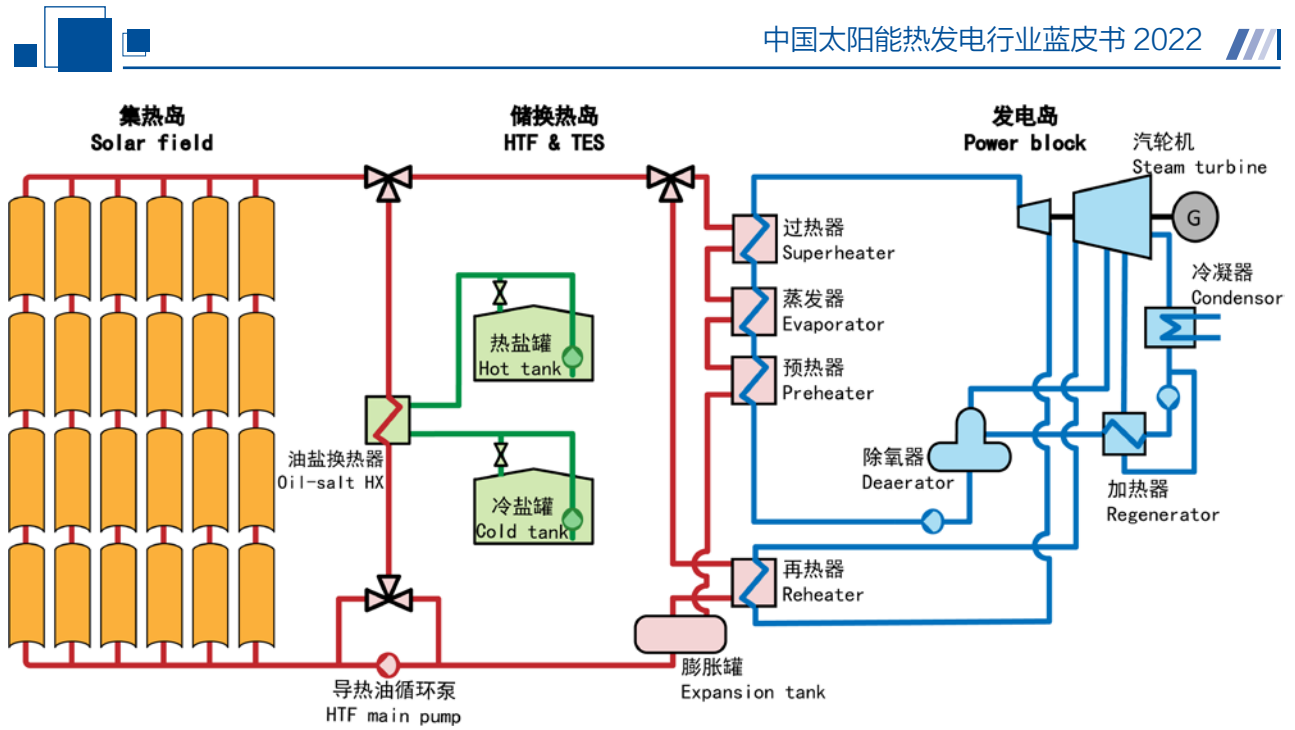
太阳能热发电可以采用不同的传热流体（英文：Heat Transfer Fluid，简称 HTF）吸收热量，主要包括熔盐（二元硝酸盐、氯化物盐）、导热油（联苯和联苯醚混合物）、水、颗粒、液态金属等。储热（英文：Thermal Energy Storage, 简称 TES）介质可采用熔盐、相变材料、混凝土等；目前熔盐为商业化应用最多的储热介质。不同传热流体的太阳能热发电系统组成和运行原理简介如下。

熔盐塔式太阳能热发电系统可分为聚光、吸热、储换热和发电四大系统，主要部件设备包括：定日镜、吸热塔、吸热器、熔盐储罐、蒸汽发生器和汽轮发电机组等。熔盐塔式光热电站运行原理基本为：以吸热塔为中心呈圆周状分布的定日镜跟踪太阳（方位角和高度角调节控制），将太阳光反射汇聚至位于吸热塔顶部的吸热器上，加热通过冷盐泵送至吸热内的低温熔盐，被加热的熔盐（温度升至约 565℃）通过管道流入高温熔盐储罐中，在需要发电时，高温熔盐与水换热后产生高温高压蒸汽，驱动汽轮发电机组发电。经过蒸汽发生器，放热后的熔盐被送至低温熔盐储罐，再循环至塔顶的吸热器被加热。



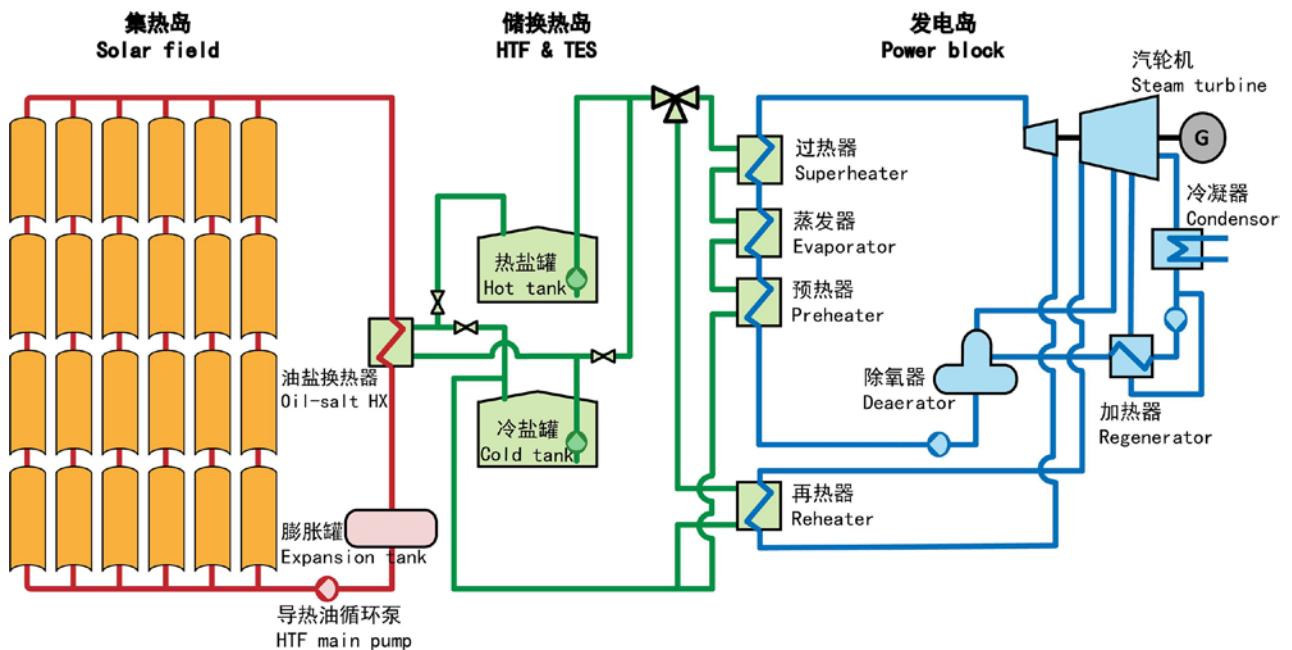
图：熔盐塔式太阳能热发电系统示意图（图片来源：可胜技术）

导热油槽式太阳能热发电系统可分为集热岛、储换热岛和发电岛；主要部件设备包括：槽式集热器、油盐换热器、热盐罐、冷盐罐、蒸汽发生器和汽轮发电机组等。数个槽式集热器通过串联连接成标准集热器回路，数量众多的标准集热器回路通过并联方式组成集热场。槽式光热电站的基本运行流程为：槽式集热器通过跟踪太阳收集热量，加热集热器内循环流动的导热油，然后导热油进入蒸汽发生器释放热量，加热水产生过热蒸汽，蒸汽进入汽轮机发电，放热后的导热油返回至集热场重新吸热。当白天太阳较好时，一部分导热油将进入油盐换热器，释放热量加热熔盐，高温熔盐被存放在热盐罐中；到了晚上，热盐罐中高温熔盐的热量被重新释放出来，反向加热导热油，进而导热油进入蒸汽发生器，加热水产生蒸汽，实现在夜间继续发电。



图：导热油槽式太阳能热发电系统（常规流程）示意图（图片来源：龙腾光热）

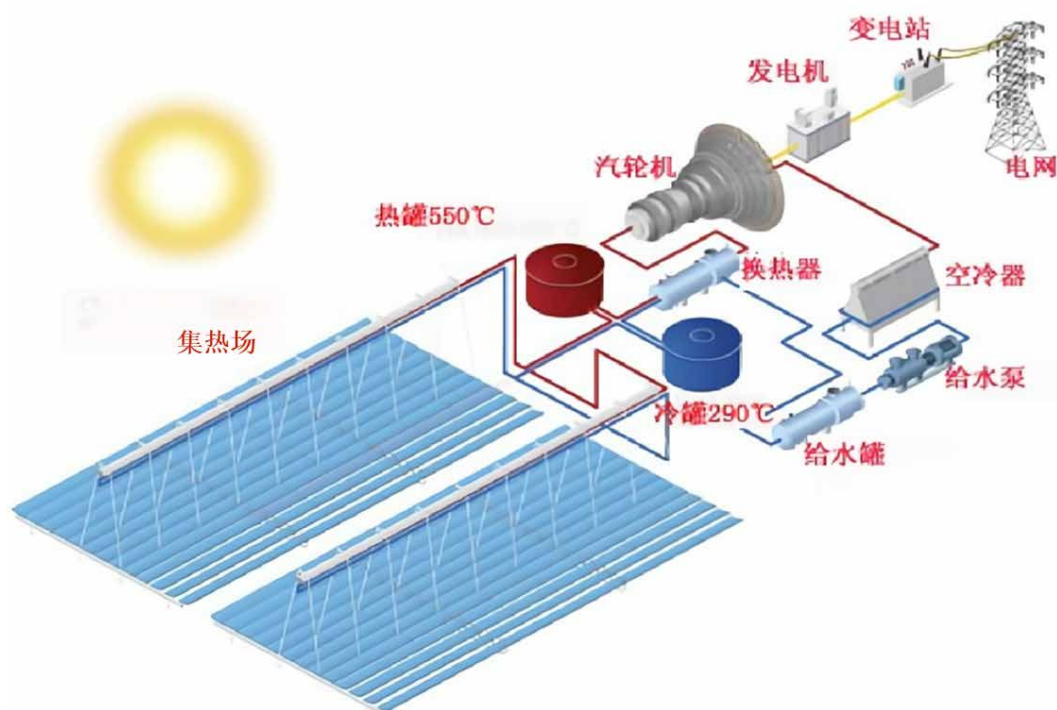
此外，导热油槽式光热电站还可以按照解耦流程进行设计，其运行原理为：槽式集热器跟踪太阳收集热量，加热导热油，导热油全部进入油盐换热器，将热量全部传递给熔盐，熔盐吸热后温度升高，存放在热盐罐中，完成集热储热环节。在需要发电时，热盐罐中的熔盐直接进入蒸汽发生器释放热量，加热水产生过热蒸汽，蒸汽进入汽轮机发电，熔盐放热后温度下降，返回至冷盐罐中存放，完成放热发电环节。通过集热储热与放热发电之间的解耦，能够将前端太阳能波动对后端发电稳定性影响降到最低。



图：导热油槽式太阳能热发电系统（解耦流程）示意图（图片来源：龙腾光热）

槽式太阳能热发电系统也可以以熔盐为传热和储热介质。熔盐槽式光热电站运行流程为：槽式集热器跟踪太阳收集热量，加热熔盐，熔盐吸热后温度升高，存放在热盐罐。在需要发电时，热盐罐中的熔盐进入蒸汽发生器释放热量，加热水产生过热蒸汽，蒸汽进入汽轮机发电，熔盐放热后温度下降，返回至冷盐罐中存放，如此反复。

熔盐线菲式太阳能热发电系统主要包括集热场、储热系统和发电系统；主要部件设备包括：一次反射镜、二次聚光器、吸热管（三者组成集热场）、熔盐储罐、蒸汽发生器和汽轮发电机组等。其运行原理基本为：布置紧凑的多列反射镜构成类弧面结构，通过自动跟踪的一次反射镜将阳光汇聚至上方的复合抛物面二次聚光器内，阳光再次被反射汇聚至固定在聚光器内的真空吸热管上，加热管内的熔盐，产生的热量存储在熔盐储罐中，在需要的时段通过换热产生发电所需的蒸汽。



图：熔盐线菲式太阳能热发电系统示意图（图片来源：兰州大成）

1.2 太阳能热发电的作用和定位

1.2.1 新型电力系统的需求和挑战

中央财经委员会 2021 年 3 月 15 日提出：实施可再生能源替代行动，深化电力体制改革，构建以新能源为主体的新型电力系统。党的二十大报告中明确：积极稳妥推进碳达峰、碳中和，深入推进能源革命，加强煤炭清洁高效利用，加快规划建设新型能源体系。新型电力系统作为未来我国能源体系的核心组成部分意味着以风光等新能源为主的可再生能源电力占比将大幅提高。根据周孝信院士等研究预测，电力装机方面，随着风光等新能源发电快速发展，非化石能源发电在电力装机总量中的占比在“十四五”末将超过 50%。风光发电装机不断增加，2025-2030 年间，风光装机总量超过煤电，2030 年将达到 16.1



亿千瓦，占装机总量 41.5%；2035 年达到 24.3 亿千瓦，超过电力装机总量的 50%，成为装机主体；2060 年达到 70.1 亿千瓦，在电力装机总量中的占比超过 85%^[2]。

中国工程院郭剑波院士表示：新型电力系统仍主要以交流同步机制运行；其中，新能源资源特性对电力系统带来充裕性挑战：功率波动大、预测难，对系统调节能力提出更高要求；长时间高出力，给系统安全和储能技术带来挑战；长时间低出力，给供电保障带来挑战。新能源设备特性带来安全性挑战：系统惯量降低、电源支撑能力弱，系统稳定问题突出^[3]。中国工程院刘吉臻院士指出：构建新型电力系统需要关键技术的支撑，需要从电源侧、电网侧和负荷侧三个方面发力突破。其中，电源侧大力发展电网友好型先进发电技术、多元互补与灵活发电技术^[4]。

风光具有“极热无风”“晚峰无光”等特点和“大装机、小电量”特征，随着“双碳”目标的推进，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，电力系统灵活性不足、调节能力不够等短板和问题日渐突出，将制约更高比例和更大规模可再生能源发展^[5]。国家发改委、国家能源局在《关于鼓励可再生能源发电企业自建或购买调峰能力增加并网规模的通知》（发改运行〔2021〕1138号）中指出：实现碳达峰关键在促进可再生能源发展，促进可再生能源发展关键在于消纳，保障可再生能源消纳关键在于电网接入、调峰和储能。

《国家电网公司“碳达峰、碳中和”行动方案》（2021年3月发布）指出，提高新能源发电机组并网性能，加快光热发电技术推广应用。提升灵活调节电源的比重，建设调峰电源，发展“新能源+储能”、光热发电，提高系统调节能力。

1.2.2 太阳能热发电的作用

第十九届、二十届中央委员会候补委员，中国科学院何雅玲院士研究认为：对电源、电网侧而言，现阶段电力系统呈现高比例可再生能源、高比例电力电子设备的“双高”特征，系统转动惯量持续下降，调频、调压能力不足，对电网安全提出严峻挑战，太阳光热储能发电通过汽轮发电机组的转动惯量可以有效实现调频；在火电厂灵活性改造中，热储能发电技术将机组变负荷运行时出现的过剩蒸汽热量转化为储热介质的热能存储起来，当需要时将热能释放，既能增加机组调峰深度，也能增加峰负荷能力，投资和运行成本较低，具有明显优势。热储能系统在储热容量、规模化建设及运营成本、运行寿命、安全性、发电功率等方面具有突出优势，特别是对消纳间歇性新能源（风电、光伏等）装机出力，在构建以新能源为主体的新型电力系统、保障电力系统安全稳定运行等方面发挥重要作用，是未来规模储能的中坚力量，具有广阔的发展前景，在能源革命中发挥着重要作用^[6]。

中国科学院李灿院士提出：随着大量的波动性风电和光伏上网，必须要发展相应的储能技术，而且储能的规模必须能够与大规模体量的可再生能源匹配。太阳能热发电是最有希望的规模化储能技术，将是未来保障光伏、风电规模化发展的技术。现有的储能技术规模都差一、两个数量级；其中，化学储能即使能做到 GW 级，也比要求的还要差两个数量级，差距很大。其他的储能技术，比如说物理储能、抽水储能，飞轮储能等等，受到条件限制，都无法从根本上解决这个问题。等到 2030 年以后，光热发电的作用将越来越凸显。光热发电是可再生能源替代火电的重要技术之一，将成为实现“双碳”目标的技



术路径^[7]。

新中国成立以来我国第一代理论物理学家、中国科学院何祚庥院士公开表示：除了抽水蓄能，在新型储能技术中，比较看好太阳能热发电储能，也就是光热发电。光热发电比常规的光伏发电在并网方面更具优势，光热发电的转换效率要远远高于光伏发电。而且，通过白天将多余热量储存，晚间再用储存的热量释放发电可以实现连续供电，保证电流稳定，避免新能源难以解决的入网调峰问题。此外，光热储能电站应用场景不仅限于电力场景，还可为工商业提供工业蒸汽、供暖等，有较大潜力^[8]。

清华大学能源互联网研究院在《高比例可再生能源电力系统中光热发电的价值发现》研究指出：光热发电既是可再生能源，又是灵活性电源。灵活可控的特点使得光热发电并网既具有可再生能源效益又具有灵活性效益。发挥运行灵活性特性，可以实现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。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；可以起到利用可再生能源消纳可再生能源作用。以青海电网为例模拟计算发现，从青海可再生能源发电量占比不变出发，光热具有显著的经济性，对光伏的装机替代率在 4 倍左右。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^[9]。

落基山研究所在 2022 年 11 月发布的《西北地区电力系统低碳转型探索——打造零碳电力系统的青海样本》报告中表示，光热发电是稳定可控的零碳电源技术。光热作为可调节性新能源，提高光热在新能源中的装机占比可有效缓解弃风和弃光现象，同时减少枯水期对外购电量的依赖度。根据 4 种光热装机规模情景下的电力系统仿真结果，仅增加 3.0GW 光热发电装机就起到了增加 7.0GW 电化学储能所对应的火电及外购电量减少效果。在近零碳电力系统的 2030 年，对比增加 3.0GW 光热发电装机和新增光伏光热装机比分别约为 18:1 和 8:1 情景，全年弃风率从 6.8% 下降到 6.2%，弃光率从 9.2% 下降到 8.8%；同时（天然气）气电的利用小时数从 3140 小时下降到 2997 小时，外购电量占比从 5.4% 下降到 4.9%。光热在青海既可以满足波动性可再生出力不足时的电力缺口，提供日内灵活性并加速火电电量退出、减少外购依赖，又具有较强的经济性^[10]。

电力规划设计总院以新疆电网为例模拟计算光热发电调峰作用，结果发现，假定建设 100 万千瓦~500 万千瓦不同规模的太阳能热发电机组，可减少弃风弃光电量 10.2%~37.6%^[11]。

实践证明，太阳能热发电不仅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的区域电网提供必要的转动惯量、故障短路容量、电压频率支撑等。在“双碳”战略目标下，随着新一代电力系统推进，需大力发展太阳能热发电这样具有大规模储能和电网同步机特性的电源。大规模的太阳能热发电能够逐步替代火电等高碳能源，作为可再生能源的入网调节手段，作为可再生能源高占比电网的重要支撑^[12]。



1.2.3 太阳能热发电的定位

综合我国目前光热电站开展的机组和电站并网性能验证情况，光热电站不仅可以独立发电，实现不间断运行；同时也可以利用大容量储热系统双向连接电网，将网上的峰值电力转化为热能存储发电^[12]，与风光互补发电，提高间歇性可再生能源消纳比例。

国务院印发的《2030年前碳达峰行动方案》明确：积极发展太阳能光热发电，推动建立光热发电与光伏发电、风电互补调节的风光热综合可再生能源发电基地。加快建设新型电力系统。

发改运行〔2021〕1138号文件鼓励可再生能源发电企业自建或购买调峰能力增加并网规模多渠道增加调峰资源；其中，光热电站与抽水蓄能电站、化学储能等新型储能、气电，灵活性制造改造的煤电等列入承担可再生能源消纳对应的调峰资源。国家能源局新能源和可再生能源司新能源处副处长孔涛出席“2021中国太阳能热发电大会”时表示，一些大规模开发利用新能源的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。光热发电具有出力灵活可调、可长时储能的优势；将光热电站作为调峰电源建设，利用光热在早晚高峰和夜间发电并在白天为光伏调峰，有利于改善新能源快速发展中出现的消纳问题。随着碳达峰、碳中和以及构建以新能源为主体的新型电力系统目标的提出，在今后较长一段时期内，我国风电、光伏都将以更快速度发展，这也为光热行业发展带来了新的机遇。“十四五”期间国家能源局将继续支持在资源优质区域，通过与风电、光伏发电基地一体化建设等方式，建设一定规模的光热发电项目，充分发挥光热发电的调节作用和系统支撑能力，并通过电力现货市场、辅助服务市场等手段，保障光热发电产业在补贴退出情况下能够接续发展^[13]。

2022年，国家发改委、国家能源局《“十四五”现代能源体系规划》（发改能源〔2022〕210号）提出：加快推进以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地项目建设，积极发展太阳能热发电；在青海、新疆、甘肃、内蒙古等地区推动太阳能热发电与风电、光伏发电配套发展，联合运行。国务院办公厅转发国家发改委、国家能源局《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》（国办函〔2022〕39号）提出：完善调峰调频电源补偿机制，加大光热发电等项目建设力度，鼓励西部等光照条件好的地区使用光热发电作为调峰电源。国家发改委、国家能源局、财政部等九部委《“十四五”可再生能源发展规划》（发改能源〔2021〕1445号）明确：在青海、新疆、内蒙古等资源优质区域，建设长时储热型光热发电项目，推动一体化、千万千瓦级新能源基地建设。

二、太阳能热发电市场发展

2.1 我国兆瓦级太阳能热发电系统集成技术的起步

太阳能热发电系统涉及太阳能集热、传热、储热、发电等多种系统集成，集合光学、热力学、材料学、机械及自动化控制学科等多个技术领域，既不同于常规的电力生产，又不同于传统的太阳能热利用，需要跨学科、跨领域的系统集成。我国自“十一五”开始研究 1 兆瓦级别的太阳能热发电系统集成技术。2006 年，科技部国家高技术研究发展计划（863 计划）先进能源技术领域启动了“太阳能热发电技术及系统示范”重点项目，开启了我国太阳能热发电全系统集成技术的研究示范工作。通过中国科学院电工研究所牵头的 11 家单位协同攻关，历时 6 年的不懈努力，2012 年 8 月 9 日，我国自行研发、设计并建成的亚洲首座兆瓦级塔式太阳能热发电实验电站成功发电。项目实现了核心装备、协调控制、系统集成等多项技术突破，全面掌握了高精度聚光器、聚光场、直接过热型吸热器、储热和发电单元及系统设计技术，以及总体、光场、机务、仪控和电气设计技术，取得了以光热场耦合直接产生过热蒸汽工艺为代表的一批自主创新成果，建立起太阳能热发电技术研发体系和标准规范体系，编制了首部太阳能热发电国家标准，为我国太阳能热发电技术发展奠定了基础。



图：我国首个 1MW 塔式光热发电系统（图片来源：中科院电工所，2012 年拍摄）

2011 年，我国第一个太阳能热发电工程项目——鄂尔多斯 50MW 槽式太阳能热发电项目完成特许权示范招标，国家能源局正式同意由中国大唐集团新能源股份有限公司负责项目建设和经营，建设期 30 个月，特许经营期为 25 年^[14]。由于中标电价过低，该项目未能建设，但特许权项目的启动引发了更广泛的市场关注和行业期待，包括华能、华电、中广核等国企以及龙腾光热、中海阳等一些民营企业开始布局进入光热发电行业。

2012 年 7 月，科技部“十二五”主题项目“太阳能槽式集热发电技术研究与示范”项目启动，我国开始对兆瓦级槽式光热发电技术进行研究示范。项目依托单位——中国科学院电工研究所协同国内 13



家技术优势单位，以大规模、低成本的太阳能热发电技术为目标，对槽式太阳能热发电关键装备、关键工艺和检测技术，以及槽式太阳能热发电的系统设计、集成与运行技术进行了研究。项目团队通过对曲面玻璃热弯、钢化工艺的研究，针对国产玻璃原片的性能特性，提出了高速加热的加热工艺新参数以及相适应的高风压、远风栅的淬火工艺及控制参数，颠覆了国外槽式反射镜设备的出厂工艺参数，基于此工艺建立了年产 100 万 m^2 的槽式曲面反射镜生产线。通过深入研究，建立了高温真空集热管吸热涂层加速老化方法，提出了预测吸热涂层的服役寿命的公式。项目建立了基于材料放气、渗透、吸氢、泄漏等多因素的集热管真空寿命预测模型，预测数据与一年真空度变化数据误差为 3.9%，达到国际先进水平。基于传热学和工程热力学的基本理论，在研究太阳辐照随时间变化规律的基础上，结合太阳辐照的间歇性和波动性，提出了吸热、储热和蒸汽发生系统的动态容量匹配设计方法；基于该方法完成了国内首台 1MW 槽式太阳能热发电站热力系统设计、建设和调试运行，开发了国内首台槽式太阳能热发电系统仿真机；建立了槽式聚光器集热性能的野外测试平台和动力学测试方法，该测试方法的公式已被国际电工委员会 (IEC) 太阳能槽式部件标准《Solar Thermal Electric Plants Part3-2: System sand components. General requirements and test methods for parabolic-trough collectors》所采用。项目实施为中国首批太阳能热发电示范项目起到了产业的先导作用，使我国高效率低成本槽式太阳电热发电研发和设备国产化迈上一个新台阶，对进一步增强我国太阳能热发电产品的竞争力具有重要意义。



图：我国首个 1MW 槽式光热发电系统（图片来源：中科院电工所）

2012 年 10 月，华能清洁能源技术研究院和华能海南公司共同研发建设的 1.5MW 线菲式光热联合循环混合电站在海南三亚投产，项目产生的过热蒸汽接入华能南山电厂发电机组的补汽口并供给汽轮机发电^[15]。

2013 年 7 月，国家高技术研究发展计划支持的青海中控德令哈塔式太阳能热发电站一期 10MW 项目（东西两塔各 5MW）示范工程并入青海电网发电。项目研制了单台反射面积为 2 平方米的智能定日镜，开发了定日镜高精度智能跟踪技术和大规模镜场控制系统，实现了规模化定日镜集群的整体聚光和集热，研究了不同地理、气候环境下，塔式太阳能热发电能量动态建模和优化设计；设计了基于水工质的高能

流密度的吸热器、蒸汽缓冲、发电的能量回路和装备,实现了规模化光热技术路线的光电能量转换技术^[16]。2014年9月初,国家发改委核定该电站上网电价(含税)为每千瓦时1.2元,这也是太阳能热发电项目首次获得国家批复的上网电价,标志着中国自主研发的太阳能光热发电技术向商业化运行迈出了坚实步伐。在国家863计划“基于小面积定日镜的10MW塔式太阳能热发电技术研究及示范”主题项目支持下,中控太阳能德令哈10MW光热电站将水/蒸汽传热介质改为熔盐,并于2016年8月21日实现满负荷发电。项目充分展示了我国具有自主知识产权的塔式光热系统集成技术水平,以及适应高寒高海拔环境的核心装备研制能力^[17]。项目培育了包括中控太阳能(现更名为可胜技术)、杭锅(现更名为西子洁能)以及杭汽等在内的又一批骨干企业。



图:青海中控德令哈10MW(2座5MW)+50MW塔式光热电站(图片来源:可胜技术)

2013年10月,兰州大成在西藏开工建设1MW线菲式热电联供项目。2015年10月,兰州大成在生产车间屋顶建成1MW线菲式太阳能热电联供电站^[18]。



图:拉萨市柳梧新区1MWe线菲式太阳能热电联供能源站(图片来源:兰州大成)

2016年12月26日,在国家首批太阳能热发电示范项目名单公布后的3个月,首航高科敦煌10MW塔式熔盐光热发电示范项目成功并网发电。该项目经过了5年的技术储备,2年的项目建设,是

完全由企业自主投资、研发、设计、建设、运维的十兆瓦级熔盐塔式光热电站，为行业发展注入强力动力。该 10MW 光热电站作为先导工程，不仅为首航高科 100MW 国家示范项目系统设计和装备选型提供实验和测试，也为更大规模光热发电项目储备人才队伍，同时摸索符合我国资源条件和电网调度要求的运行方式。

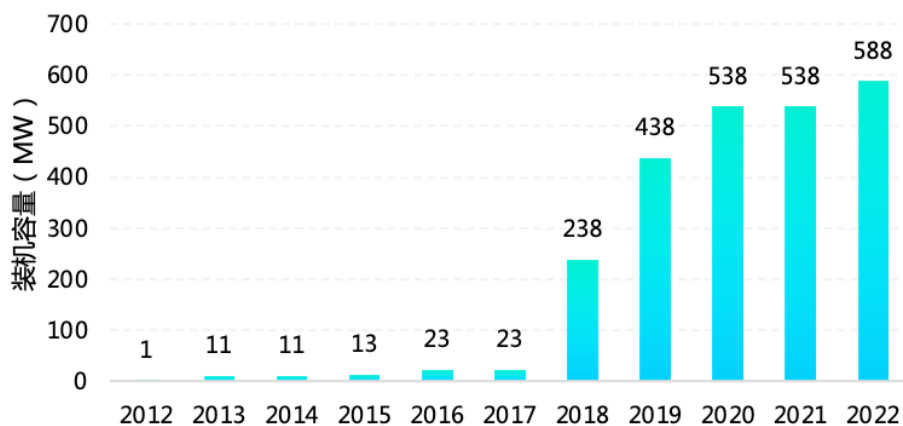


图：首航敦煌 10MW+100MW 塔式光热电站（图片来源：首航高科）

2.2 我国太阳能热发电装机容量及聚光形式占比

2022 年，我国新增 1 座光热电站并网发电，为玉门鑫能二次反射塔式光热发电示范项目，装机容量 50MW，电站设计储热时长 9 小时。根据国家太阳能光热产业技术创新战略联盟对我国 MW 级以上规模含汽轮发电机组的太阳能热发电系统的梳理统计，截至 2022 年底，我国太阳能热发电累计装机容量 588MW (58.8 万千瓦)，在全球太阳能热发电累计装机容量中占比 8.3%。

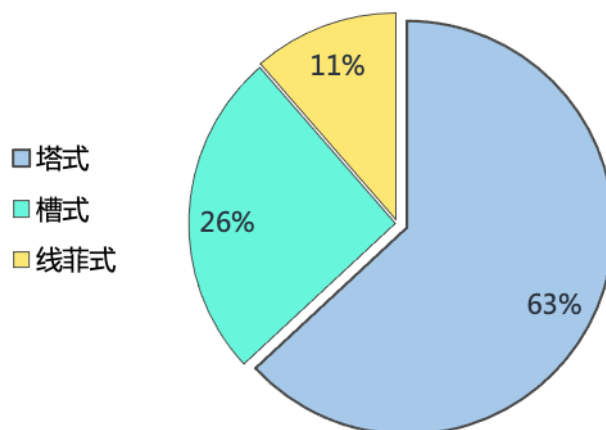
我国太阳能发电累计装机容量



统计制图：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟

根据聚光形式的不同，在我国太阳能热发电累计装机容量中，塔式占比约 63.1%，槽式约 25.5%，线菲式约 11.4%。

我国太阳能热发电累计装机中聚光形式占比

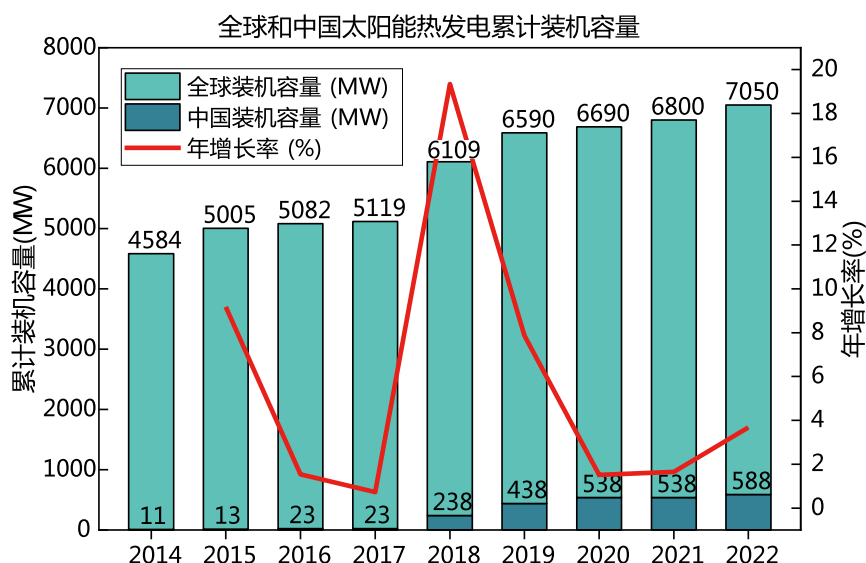


统计制图：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟

2.3 全球太阳能热发电装机容量及聚光形式占比

2022年，国外新增1座太阳能光热电站，为迪拜太阳能光热光伏混合项目中的槽式1号机组^[19]，装机容量200MW，储热时长13.5小时。

根据国家太阳能光热产业技术创新战略联盟综合统计，2022年底，全球太阳能热发电累计装机容量约7050MW(含美国运行30年后退役的槽式电站)。2014~2022年全球和中国太阳能热发电累计装机容量发展情况如下图所示。

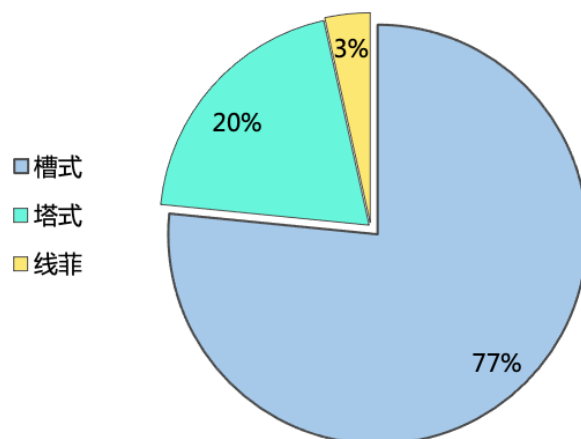


统计制图：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟

从全球太阳能热发电累计装机容量发展曲线可以看出，2018年年增长率较高，主要原因是我国首批太阳能热发电示范项目有3座在2018年集中投运，总装机容量200MW。

国家太阳能光热产业技术创新战略联盟对西班牙、美国、中东、北非、南非、以色列、印度、智利、法国以及中国等国家和地区累计太阳能热发电装机中聚光形式进行了统计，槽式占比约77%，塔式约20%，线菲式约3%。

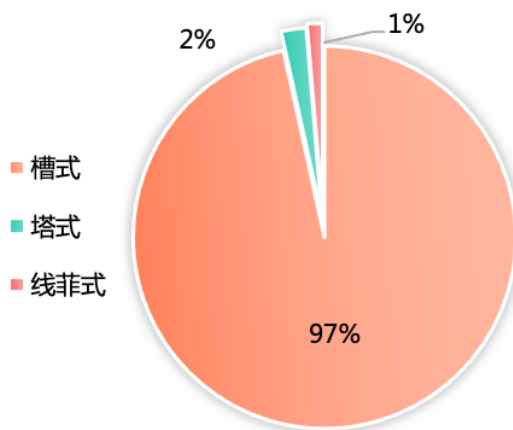
全球主要国家和地区太阳能热发电聚光形式占比



统计制图：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟

其中，西班牙仍是全球太阳能热发电装机容量最多的国家，约 2300MW，槽式技术约占本国太阳能热发电总装机容量的 97%。主要原因是槽式是全球最早实现商业化应用的技术，美国于 1984~1990 年期间先后投运了 9 座不同容量的槽式光热电站，总净容量 354MW。经过商业化验证的技术更容易获得西班牙金融机构的融资支持。

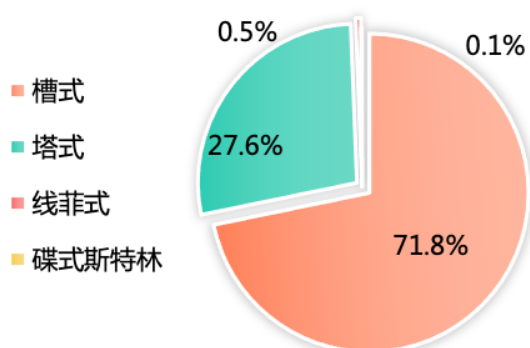
西班牙太阳能热发电聚光形式占比情况



统计制图：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟

美国目前太阳能热发电装机容量约 1837MW，槽式技术约占 71.8%，塔式技术约占 27.6%。商业化槽式电站运行寿命已超过 30 年。1984 年和 1985 年投运的 SEGS1 号和 2 号槽式电站于 2015 年退役；1986 年~1989 年期间投运的 SEGS3~8 号槽式电站于 2021 年退役，总净容量 230MW。目前 1990 年投运的 SEGS9 号机组（净容量 80MW，总容量 88MW）仍在运行。

美国太阳能热发电聚光形式占比情况



统计制图：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟

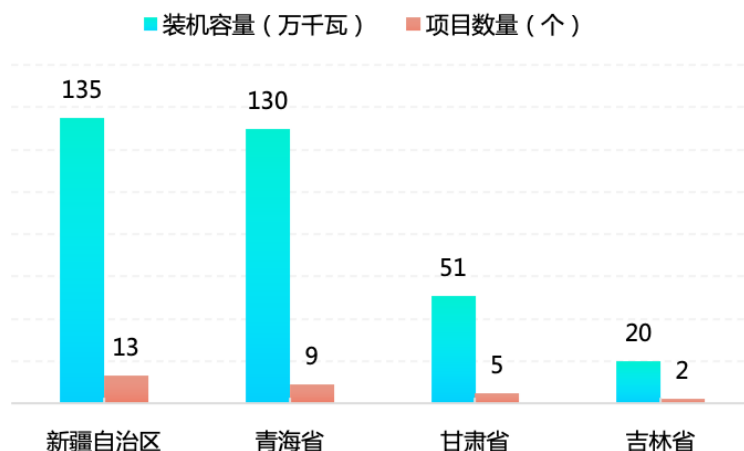
2.4 我国在建太阳能热发电项目

根据国家能源局 2021 年 5 月发布的《关于 2021 年风电、光伏发电开发建设有关事项的通知》，对于保障性并网范围以外仍有意愿并网的项目，可通过自建、合建共享或购买服务等市场化方式落实并网条件后，由电网企业予以并网。并网条件主要包括配套新增的抽水蓄能、储热型光热发电、火电调峰、新型储能、可调节负荷等灵活调节能力。作为落实并网条件的配套选择之一，储热型光热发电与光伏、风电等波动性电源共同互补，不仅能够发挥光热发电的储能和调峰能力，体现光热作为调峰电源支持新能源发展的作用，还能利用近年来风电光伏成本快速下降的成果，充分释放光伏、风电的低成本优势，填补用电高峰期的光伏发电的电力供应缺口，有效提升能源利用效率和经济效益。

2021 年，国务院发布《2030 年前碳达峰行动方案》（国发〔2021〕23 号）明确：积极发展太阳能光热发电，推动建立光热发电与光伏发电、风电互补调节的风光热综合可再生能源发电基地。2022 年 5 月 30 日，国务院办公厅转发国家发展改革委、国家能源局《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》提出，创新新能源开发利用模式，加快推进以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地建设。

经过国家太阳能光热产业技术创新战略联盟梳理统计，在国家相关政策的指导和支持下，目前在各地政府公布的大型风电光伏基地项目、新能源市场化并网以及直流外送等项目名单中（不含企业正在运作或计划建设的项目）配置太阳能热发电项目 29 个，总装机容量约 330 万千瓦。这些项目预计将在 2023 或 2024 年前投产。其中，青海省列入名单的光热发电项目 9 个，总装机容量 130 万千瓦；甘肃省 5 个，光热发电总装机容量 51 万千瓦；新疆维吾尔自治区 13 个，光热发电总装机容量 135 万千瓦；吉林省 2 个，光热发电总装机容量 20 万千瓦。

各地列入名单的太阳能热发电装机容量及项目数量



统计制图：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟

此外，在西藏自治区有 3 个包含光热发电项目的孤网能源供应项目已经启动相关建设工作。国家能源集团西藏电力有限公司也就那曲安多光热 + 风光电一体化项目规划及首期光热发电项目 (100MW) 预可行性研究。

2.4.1 甘肃省

甘肃省第一批大型风电光伏基地建设项目、甘肃酒泉自调节新能源示范项目中共有 5 个项目配置光热发电系统，光热发电总装机容量 51 万千瓦。

甘肃省在建太阳能“光热+”项目 (国家太阳能光热产业技术创新战略联盟汇总制表)			
项目名称	建设企业	项目简介	工程建设情况
金塔中光太阳能“10万千瓦光热+60万千瓦光伏”项目	金塔中光太阳能发电有限公司	项目总装机规模 70 万千瓦，采用“光热+”配置模式，包括光热 10 万千瓦，光伏 60 万千瓦，吸热器中心标高 220 米，混凝土塔高 195 米，设计年发电量 13.7 亿 kWh，其中光热采用塔式熔盐技术，配置 9 小时熔盐储能系统。项目于 2022 年 3 月 25 日开工建设，计划于 2023 年底实现全容量并网发电。	2022 年 3 月 25 日正式启动场平工程。目前吸热塔、电控楼和空冷系统框架已结顶，储罐基础施工已基本完成。预计 2023 年上半年完成所有土建工程，下半年完成所有安装工程。
中核集团玉门“10万千瓦光热+20万千瓦风电+40万千瓦光伏”项目	中核集团玉门新奥新能源有限公司	项目总装机规模 70 万千瓦。其中，光热发电与光伏发电场占地 15 平方公里，场址位于玉门市花海光电基地内；风电场占地 30 平方公里，场址位于玉门市红柳泉风光储综合能源示范基地内。项目计划于 2023 年 12 月全额并网发电。	中能建西北院和兰州大成全资子公司——敦煌大成晟能联合体为 10 万千瓦光热储能工程总承包方，项目已开展全面建设。集热器桩基已施工超过 35000 根，组装车间、生产办公楼、生活综合楼、主厂房部分基础施工等都已完成。

恒基伟业(三峡集团)瓜州“10万千瓦光热+20万千瓦光伏+40万千瓦风电”项目	三峡恒基能脉(酒泉)新能源发电有限公司	项目总装机容量70万千瓦,其中:光热发电装机10万千瓦,光伏发电装机20万千瓦,风力发电装机40万千瓦。光热发电采用塔式熔盐技术路线,装机规模为2×50MW,双塔一机模式,配套两座吸热塔、一台超高压、一次中间再热、8级回热(暂定)、轴向排汽、直接空冷凝汽式汽轮机,汽轮机额定容量为1×100MW。	中国葛洲坝集团电力有限责任公司(牵头单位),甘肃省安装建设集团有限公司、恒基能脉新能源科技有限公司为项目总承包方。项目已进入全面建设阶段,已完成330kV桥湾汇集升压站及送出线路工程、吸热塔基础浇筑等建设工作。
国家能源集团敦煌“10万千瓦光热+60万千瓦光伏”项目	国家能源集团甘肃电力公司、兰州大成科技股份有限公司	项目规划总装机容量700MW,包括600MW光伏发电工程、100MW熔盐线菲式光热发电项目工程,配套建设一座330KV汇集站,通过1回330KV线路就近接入沙洲750KV变电站330KV侧,项目总占地21547亩,总投资43亿元。	2022年4月,获得备案;2022年9月,取得国家电网甘肃省电力公司接入系统批复。可行性研究已通过评审。
阿克塞县汇东新能源有限责任公司11万千瓦光热+64万千瓦光伏试点项目	阿克塞哈萨克族自治县汇东新能源有限责任公司	项目总投资50.6亿元,位于甘肃省酒泉市阿克塞四十里戈壁千万千瓦级光热发电基地,规划总装机750MW(其中光热110MW+光伏640MW),面积约20.6平方公里,将于2023年底建成并网发电。拟将光热部分布置在整个站区的西南侧,用地面积3.15km ² ,储能8小时,主要包括镜场、光热动力岛、行政管理与生活区。计划于2023年底前建成并网发电。项目建成后,可实现年均上网电量17亿千瓦时。	中电工程华东院为项目总包方,项目已开展全面建设。主厂房基础浇筑已完成;2022年完成吸热塔、主厂房、蒸汽发生装置等土建出零米。

2.4.2 青海省

青海省第一批大型风电光伏基地建设项目、青海省2021年市场化并网重点推进项目、第二批大型风电光伏基地建设项目中共有9个项目配置光热发电系统,光热发电总装机容量130万千瓦。

青海省在建太阳能“光热+”项目 (国家太阳能光热产业技术创新战略联盟汇总制表)			
项目名称	建设企业	项目简介	工程建设情况
海南基地青豫直流二期 340 万千瓦外送项目、海西基地青豫直流二期 190 万千瓦外送项目 1 标段	国家能源投资集团有限责任公司(牵头)、中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司	项目位于海南州共和塔拉滩,项目建设光伏 90 万千瓦和光热发电 10 万千瓦。10 万千瓦光热电站场址位于海南州生态太阳能发电园区南部,距离共和县城约 33km。光热发电项目采用塔式熔盐太阳能热发电站,拟配置采光面积为 80 万 m ² 镜场以及 12h 储热系统。	10 万千瓦光热项目建设项目已经备案。发布了工程总承包招标公告。
海南基地青豫直流二期 340 万千瓦外送项目、海西基地青豫直流二期 190 万千瓦外送项目 2 标段	国家电投集团黄河上游水电开发有限责任公司(牵头)、浙江可胜技术股份有限公司、中海油融风能源有限公司	光热发电将采用熔盐塔式技术,项目应在 2023 年 12 月 31 日前实现“光伏+风电”项目全部容量同期建成并网。	发布了项目可行性研究报告审查项目的询价招标。启动了 10 万千瓦光热项目接入系统设计技术咨询招标。
海南基地青豫直流二期 340 万千瓦外送项目、海西基地青豫直流二期 190 万千瓦外送项目 3 标段(90 万千瓦光伏+10 万千瓦光热)	中国三峡新能源(集团)股份有限公司(牵头)、首航高科能源技术股份有限公司	项目位于青海省海西州格尔木市乌图美仁太阳能发电园区南部,作为青豫直流二期配套电源点项目。光热项目采用熔盐塔式技术。项目计划 2023 年 11 月 30 日具备全容量并网条件。	中国电建西北院、可胜技术与中能建浙江火电联合体中标 100MW 光热发电项目总承包。根据联合体分工,可胜技术将参与项目的总体设计及工程管理,并负责聚光集热系统的技术方案、设备集成供货、以及与之相关的调试与运行指导服务。
三峡能源海西基地格尔木 100 万千瓦光伏+10 万千瓦光热项目	中国三峡新能源(集团)股份有限公司	项目位于青海省海西州格尔木市乌图美仁太阳能发电基地内。光热发电项目采用熔盐塔式技术,计划新建一座 110kV 升压站,以 1 回 110kV 线路接入光伏区新建 330kV 升压站低压侧,以 2 回 330kV 线路接入乌图 750kV 升压站。项目计划 2023 年 11 月 30 日具备全容量并网条件。	中电工程西北院、首航高科与中国电建四川工程、上海勘测设计研究院联合体中标 100MW 光热发电项目总承包。根据联合体分工,首航高科负责光热发电项目总承包管理,并负责提供镜场设备及控制系统、吸热器及集热系统、储热系统、空冷系统等主要光热电站设备供货;中电工程西北院联合上海勘测设计院负责全场整体勘察设计;四川电建负责项目主体建安施工。

青海众控德令哈135万千瓦多能互补项目	浙江可胜技术股份有限公司	项目占地面积 9.52 平方公里，储能时间 11.2 小时，镜场面积 145 万平方米，预计使用熔盐约 37240 吨。项目拟总投资 31.26 亿元。预计每年可产生清洁电量约 4.35 亿千瓦时。	前期开发方面，已完光伏备案，光热前期工作的函；可研报告已评审；已完成勘界、环评、地灾、节地报告编制和评审；完成了水资源论证、防洪评价和水土保持等报告编制。
中广核太阳能德令哈80万千瓦光伏+20万千瓦光热项目	中国广核新能源控股有限公司	项目位于青海省海西州德令哈市光伏（光热）产业园区，规划面积约 5.3 万亩。	2022 年 3 月举行开工仪式。中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司中标项目初设。中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司中标设计监理。2022 年 11 月，一期 20 万千瓦塔式光热储发电及 330kV 升压站监理采购公开招标。
中电建共和 100 万千瓦光伏光热项目	海南州西北水电新能源有限公司	项目位于青海省海南州生态太阳能发电园区。光热电站采用熔盐塔式技术路线，将采用 1 回 110kV 线路接入思明变电站。光热电站由集热场与熔盐电加热器共同提供热量，另配电化学储能 10 万千瓦 /20 万千瓦时，建成后运行期年均发电量 21300 万 kWh，等效年利用小时数 2130h。项目预计建成时间为 2024 年 12 月。	2022 年 8 月，项目获备案。已经启动监理和项目总承包项目招标工作。
中能建江苏设计院 / 江苏美科共和 100 万千瓦源网荷储项目	中国能源建设集团江苏省电力设计院有限公司	项目位于青海省海南州生态太阳能发电园区。光热电站采用熔盐塔式技术路线，由集热场与熔盐电加热器共同提供热量，另配电化学储能 10 万千瓦 /20 万千瓦时。项目预计建成时间为 2024 年 12 月。	/
格尔木乌图美仁多能互补项目	中国绿发青海新能源公司	项目位于青海省格尔木市乌图美仁光伏光热园区内，预计投资 195.75 亿元，规划总装机容量 330 万千瓦，其中光伏项目 300 万千瓦、光热项目 30 万千瓦（电加热熔盐蓄热系统 60 万千瓦）、储能 52 万千瓦及 1 万千瓦调相机，建设 330 千伏汇集变电站 3 座，整体项目计划“十四五”内建设完成。	/

2.4.3 吉林省

根据 2021 年 9 月 9 日吉林省白城市人民政府对外发布的《优选公告》，吉西基地鲁固直流白城 140 万千瓦外送项目总容量 140 万千瓦，其中风电 80 万千瓦、光伏 40 万千瓦、光热 20 万千瓦；共分 2 个项目，1 号项目 (1-1、1-2) 和 2 号项目 (2-1、2-2) 均为一体化项目，100MW 光热项目为共建项目，建设两座 220kV 共用升压站及 220kV 联络线。项目所发电量送至光伏升压站后通过 220kV 联络线汇集至风电升压站后统一送出。目前两个光热发电项目均已进入建设阶段。

吉西基地鲁固直流白城 140 万千瓦外送项目光热发电项目 (国家太阳能光热产业技术创新战略联盟汇总制表)			
项目名称	建设地点	建设单位	项目简介
吉西基地鲁固直流 140 万千瓦外送项目 1 号 (光热 100MW)	吉林省白城市通榆县八面乡	通榆中吉光热发电有限公司	光热发电项目采用单塔单镜场塔式熔盐技术路线，配套 8h 储热系统、蒸汽发生系统、高温超高压再热纯凝汽轮发电机系统以及其他辅助设施，同时配备 40MW 电加热器，电加热器可以加热熔盐储存风电或光伏的弃电，经 1 回 220kV 电缆汇集至光伏电站升压站。项目计划 2024 年 6 月投产。
吉西基地鲁固直流 140 万千瓦外送项目 2 号 (光热 100MW)	白城市大安市种马场	大安市广投中能光热发电有限公司	光热发电项目采用塔式熔盐技术路线，单塔单镜场 (共建)，1 套储热和蒸汽发生系统，1 套高温超高压再热纯凝汽轮发电机系统以及其他辅助设施，同时配备 10MW 电加热器，电加热器可以加热熔盐储存风电或光伏的弃电，经 1 回 220kV 电缆汇集至光伏电站升压站。

2.4.4 新疆维吾尔自治区

2022 年 7 月 4 日，新疆维吾尔自治区发改委发布《关于印发自治区 2022 年第二批市场化并网新能源项目清单有关事宜的通知》。项目清单规模总计为 4783.25 万千瓦，其中，光伏项目 2739 万千瓦，风电项目 1349.5 万千瓦，配储规模 694.75 万千瓦。电网消纳项目共 49 个，源网荷储一体化项目共 18 个。配储类型包括光热和电化学，其中，光热发电 135 万千瓦，在配储规模中占比 19.43%。这 13 个光热发电项目主要位于昌吉州 (序号 1 项目)、哈密市 (序号 2-5 项目)、吐鲁番 (序号 6-9 项目)、巴州 (序号 10-11 项目) 和博州 (序号 12-13 项目)。光热项目装机容量最大 15 万千瓦，其余均为 10 万千瓦；储能时长在 8~12 小时之间。这些项目预计将于 2024 年前并网发电。

新疆维吾尔自治区 2022 年第二批市场化并网新能源项目配储光热发电项目
(国家太阳能光热产业技术创新战略联盟汇总制表)

序号	项目名称	建设企业	项目简介
1	鲁能阜康市多能互补(暨新能源市场化并网)项目	鲁能新能源(集团)有限公司	项目由鲁能新能源(集团)有限公司建设,投资约 60 亿元。项目将建设 10 万千瓦光热电站,储热时长 8 小时,配建 90 万千瓦光伏设施,其中光伏发电部分计划于 2023 年 3 月底前投运,光热电站计划于 2024 年 9 月 20 日前投运。
2	中能建哈密“光(热)储”多能互补一体化绿电示范项目	中国能源建设集团投资有限公司	项目位于哈密市巴里坤县三塘湖镇。项目总装机容量 150 万千瓦,包括 135 万千瓦光伏、15 万千瓦光热及配套 220 千伏升压汇集站等,总投资 82 亿元。投产发电之后每年可向电网输送 30 亿度的清洁电能。
3	三峡新能源哈密 100 万千瓦“光热+光伏”一体化综合能源示范项目	中国三峡新能源(集团)股份有限公司	项目包括 90 万千瓦光伏和 10 万千瓦光热发电项目。
4	哈密北 90 万千瓦光伏发电+10 万千瓦光热发电项目	新疆丝路坤元能源有限责任公司	项目场址区域位于哈密市巴里坤县三塘湖乡东北五日劲风戈壁荒滩内,拟建设 90 万千瓦光伏和 10 万千瓦光热发电示范项目,储热时长 8 小时。根据自治区电网情况,在场址区配套建设 2 座 220kV 升压汇集站。
5	大唐石城子 100 万千瓦“光热+光伏”一体化清洁能源示范项目	大唐新疆发电有限公司	项目位于新疆哈密市伊州区境内石城子光伏园区西侧,哈密市西北方向约 18km。建设 90 万千瓦光伏和 10 万千瓦光热项目,计划 2024 年 9 月 24 日并网发电。
6	吐鲁番市托克逊县 乌斯通光热+光伏一体化项目	中国电建新能源集团有限公司、新疆中安睿达新能源科技有限公司联合体	项目位于新疆吐鲁番市托克逊县(乌斯通沟)省道 S301 以南 6 公里,乌斯通沟水库以北,项目用地面积共计 249.83 公顷,建设 90 万千瓦光伏和 10 万千瓦光热项目。项目建成后,将接入新建的 220 千伏汇集站并送至系统 220 千伏变电站。
7	唐山海泰新能科技股份有限公司光热+光伏一体化项目	唐山海泰新能科技股份有限公司	项目将建设 90 万千瓦光伏和 10 万千瓦光热项目。

8	国家电投集团河南电力有限公司光热+光伏一体化项目	国家电投集团河南电力有限公司	项目总投资 60 亿元，总装机 1GW，规划建设 90 万千瓦光伏发电系统及 10 万千瓦光热发电系统，配套建设两座 220KV 升压站。
9	中国能源建设集团浙江火电建设有限公司光热+光伏一体化项目	中国能源建设集团浙江火电建设有限公司	项目位于新疆吐鲁番市鄯善县，总投资 54.03 亿元，主要建设 10 万千瓦光热储能、90 万千瓦光伏发电项目，配套建设 2 座 220 千伏升压汇集站。项目计划 2024 年 7 月 30 日前实现光热储能项目投产。
10	国投若羌县 10 万千瓦光热储能配套 90 万千瓦光伏市场化并网发电项目	国投新疆新能源有限公司	项目位于新疆巴州若羌县铁木里克乡境内。光热装机 10 万千瓦，采用塔式熔盐技术，建设工期暂定 24 个月；90 万千瓦光伏工程分批建设，第一批 10 万千瓦光伏，暂定 4 个月；后续分批建设按照实际需求开展，工期为 20 个月。
11	若羌县 10 万千瓦光热(储能)+90 万千瓦光伏示范项目	新疆电建睿达能源开发有限公司	项目位于新疆巴音郭楞蒙古自治州若羌县县城东南 170 千米，总装机容量 100 万千瓦，包括 10 万千瓦光热发电项目，采用塔式熔盐太阳能热发电技术，规划用地为 1896.6 公顷；配套 90 万千瓦光伏发电，采用 540Wp 高效单晶双面太阳能电池组件，直流侧装机容量 994.70592MWp；光伏区规划用地为 2995.9 公顷。
12	新华水力发电有限公司博州 10 万千瓦储热型光热配建 90 万千瓦新能源项目	新华水力发电有限公司	项目位于博乐市以西 G219 国道北侧。总装机规模 100 万千瓦，包括储能时长 8 小时的熔盐塔式光热储能电站 10 万千瓦，地面集中式光伏电站 90 万千瓦及相关附属设施。项目总投资 65 亿元。
13	精河新华新能源有限公司“光热储能新能源”一体化基地项目	精河新华新能源有限公司	项目位于精河县阿合其农场，总装机规模 100 万千瓦，包括储能时长 8 小时的熔盐塔式光热储能电站 10 万千瓦，地面集中式光伏电站 90 万千瓦及相关附属设施。项目总投资 65 亿元。

2.4.5 西藏自治区

西藏自治区新建光热发电项目 (国家太阳能光热产业技术创新战略联盟汇总制表)		
项目名称	建设企业	项目简介
中广核阿里雪域高原“零碳”光储热电示范项目	中广核新能源西藏分公司	项目位于西藏阿里地区噶尔县狮泉河镇，预计投资 27.6 亿元。规划建设 1 座 10 万千瓦光伏电站，5 万千瓦太阳能热发电与供暖电站。光热采用熔盐槽式技术路线，设计安装 480 个集热器组合，分为 160 个集热回路，集热面积为 825600m ² ，储热时长为 16h。一期先行建设投产 108 个集热回路，集热面积为 557280m ² 。配套 16h 储热系统、蒸汽发生系统、高温超高压再热抽凝汽轮发电机系统以及其他辅助设施。
西藏扎布耶盐湖绿色综合开发利用万吨级碳酸锂能源供应项目	西藏扎布耶锂业高科技有限公司	项目位于日喀则市仲巴县以北直线距离约 165km 处的扎布耶盐湖东南侧。据西藏矿业 2022 年 2 月发布的公告，该能源供应项目为碳酸锂项目配套项目，为碳酸锂厂提供孤网运行、电网应急、综合能源等一揽子调度运行方案。项目为可再生能源孤网系统，由电源（光热+光伏）、负荷（电、蒸汽）、储能（储热+电化学储能）、变配电和控制系统构成的热电综合能源系统，包含光热系统 40MW，光伏系统容量 35MW（交流侧），电化学储能 20MW/40MWh。
西藏华电那曲色尼区光伏光热一体化项目一期	华电西藏能源有限公司	项目场址位于那曲市色尼区那曲镇，距离市区直线距离约 7km，海拔高度约 450-4600m 左右。规划用地约 7000 亩，规划装机规模为 120MW 光伏（含 96MWh 储能）+50MW 光热（以可研成果为准），光热项目作为 2023-2025 年保供措施在“十四五”中后期建成。



三、我国太阳能热发电示范项目运行情况

为推动我国太阳能热发电技术产业化发展，2015年9月，国家能源局发布《关于组织太阳能热发电示范项目建设的通知》（国能新能〔2015〕355号），决定组织一批太阳能热发电示范项目建设。《通知》提出：通过示范项目建设，形成国内光热设备制造产业链，扩大太阳能热发电产业规模；培育若干具备全面工程建设能力的系统集成商，以适应后续太阳能热发电发展的需要。2016年9月，国家能源局印发《关于建设太阳能热发电示范项目的通知》（国能新能〔2016〕223号），确定第一批太阳能热发电示范项目共20个，总计装机容量134.9万千瓦，分别分布在青海省、甘肃省、河北省、内蒙古自治区、新疆维吾尔自治区。示范项目名单公布后，各项目投资企业根据实际情况，积极开展了不同程度的示范项目建设工作，以期按要求建成投产，发挥项目应有的示范引领作用。

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。截至2022年底，并网发电太阳能热发电示范项目共9个，总容量55万千瓦；其中，塔式项目6个，槽式项目2个，线菲式1个。经过不断消缺以及运维经验的逐步提高，各电站性能较2021年均有一定程度的提高。通过太阳能光热联盟调研评估发现，示范项目对于引导光热发电产业链建设、核心装备自主化发展以及人才队伍培养发挥了重大作用。通过光热发电示范项目实施，我国已完全掌握了拥有完整知识产权的聚光、吸热、储换热，发电等核心技术，高海拔、高寒地区的设备环境适应性设计技术，以及电站建设与运营技术，为后续光热发电技术大规模发展奠定了坚实基础。

3.1 中船新能乌拉特 100MW 槽式光热电站

中船新能乌拉特 100MW 槽式光热电站项目位于内蒙古巴彦淖尔市乌拉特中旗，是国家首批太阳能热发电示范项目中单体规模最大、储热时长最长的槽式光热电站。电站于2018年6月正式动工，2020年1月8日首次实现并网发电，2020年12月16日实现满负荷发电，2021年7月13日熔盐储能系统全面投运。

电站自投运以来，实现了连续稳定、高负荷运行，累计发电约5.4亿kWh。2022年1月对机组进行了计划性检修，2022年2月-12月发电约3.1亿kWh。2022年6月4日~15日，在6天多云的情况下，实现无停机连续发电12天，共发电2232万kWh。

项目由中国船舶重工集团新能源有限责任公司设计、建设、调试和运维。目前电站各项指标达到甚至超过设计值，仅用一年时间完成发电能力的爬坡，实现一次投运一次达标；其中，光学指标——拦截率经过欧洲第三方权威实验室检测，达到98%，高于目前国际水平1个百分点；最高发电功率达105.54MW、单日最高发电量219.2万kWh，均超过设计值。在41.5°高纬度下，国产化槽式集热器运行效率超出预期。

3.2 首航高科敦煌 100MW 塔式光热电站

首航高科敦煌 100MW 塔式光热电站是我国首座百兆瓦级塔式光热电站。电站位于甘肃省敦煌市七里镇西光电产业园，配置11小时储热系统，镜场反射面积140万平方米。2019年6月电站实现满负荷运行。2022年，经过系统优化，镜场效率及机组其它各系统性能指标均有明显改善，其中，2022年6

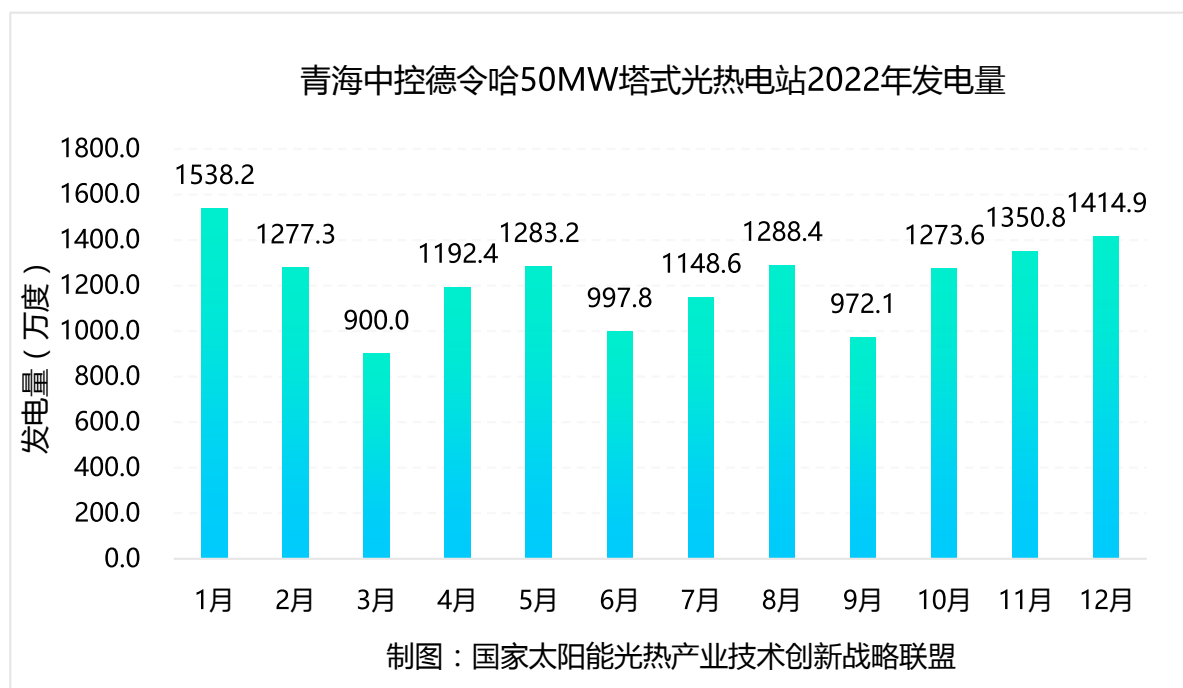
月份单月发电量超过 3379 万 kWh，同比增长 91.2%。电站单日最大发电量达到 212.165 万 kWh，较 2021 年增加 19.76 万 kWh；最长不间断发电时长约 263 小时，较 2021 年增加 47 小时。生产厂用电率较 2021 年减少约 1%。

按照上半年实际发电量测算，2022 年电站全年总发电量应至少可达 2.5 亿 kWh，预计比上年度提升 25% 以上。但由于汽轮机 3 瓦油挡因设计缺陷造成大轴磨损，导致机组自 2022 年 7 月份开始多次长时间停机处理大轴磨损部位；同时，因电网公司安排的线路检修超时，共造成全年有 77 个晴天停机，根据停机期间 DNI 测算，停机直接造成减少发电 5277 万 kWh。此外，由于汽轮机大轴磨损致使轴径变细，2022 年 7 月 14 日至今，机组只能以 50% 负荷运行，最大安全运行负荷不能超过 60%，导致 2022 年全年发电量约 19741.6314 万 kWh。

3.3 青海中控德令哈 50MW 塔式光热电站

青海中控德令哈 50MW 塔式光热电站是我国首座率先达到设计值的示范项目，位于青海省德令哈市西出口光伏（热）产业园区，由青海中控太阳能发电有限公司投资建设。电站配置 7 小时熔盐储能系统，镜场采光面积 54.27 万平方米，设计年发电量 1.46 亿 kWh，全部投产后每年可节约 4.6 万吨标准煤，减排二氧化碳气体约 12.1 万吨。项目采用浙江可胜技术股份有限公司自主研发并完全拥有知识产权的塔式熔盐光热发电核心技术，95% 以上的设备实现了国产化。电站总体设计、储换热系统工艺包技术、聚光集热系统设备、系统调试及运维指导全部由可胜技术提供。电站于 2018 年 12 月 30 日并网发电，2019 年 4 月 17 日实现了满负荷运行，2019 年 7 月开始移交生产运行。

2022 年，电站发电量达到 1.464 亿 kWh，实现年度设计发电量的 100.3%。2022 年 9 月 28 日至 10 月 7 日，由于电网检修，机组停机 10 天；如果扣除此因素，2022 年发电量可达到设计值的 103.18%。





3.4 中广核德令哈 50MW 槽式光热电站

中广核德令哈 50MW 槽式光热电站位于青海省德令哈市西出口光伏（热）产业园区，是国家首批光热发电示范项目中最早开工、最早建成的项目。项目场址海拔 3000 米，极端低温零下 30℃，为全球首个高寒、高海拔大型槽式光热电站。电站配置 9 小时熔盐储能，镜场采光面积 62 万平方米，技术路线为“槽式导热油聚光吸热 + 二元熔盐储热 + 汽轮机”。

2022 年，电站实现上网电量 1.207 亿 kWh，全年满负荷等效利用小时数达 2414 小时，期间单日最高上网电量 86.5 万度，单月最高上网电量 1401.18 万度，均超过历史最高水平。2022 年 4 月~6 月期间，单月发电量均超过 1200 万度，电站的运维水平与发电能力显著提升。2021 年 9 月 19 日至 2022 年 5 月 7 日，机组连续安全运行 230.2 天。

通过不断总结光热机组长周期、低负荷、变工况运维策略，采取多项有效措施，电站的设备可利用率和上网电量均大幅提升，运维水平不断提高，运营成效取得历史性突破。2022 年，设备可利用率由 65% 提升至 98%，机组发电能力提升 53.7%。

3.5 中电建共和 50MW 塔式光热电站

中电建青海共和 50MW 塔式光热电站位于青海省海南州共和县生态太阳能发电园区，园区平均海拔 2880 米，项目总占地面积 2.12 平方公里。电站配置 6 小时储热系统，安装 30016 面定日镜，单台定日镜尺寸 20 平方米，镜场总采光面积约为 60 万平方米。熔盐吸热器额定输出功率 230MWth，设计温度为 650℃，进出口温度 290/565℃，材质为镍基合金。汽轮机选用超高压、一次再热、8 级抽汽直接空冷汽轮机，额定功率 50MW。

项目于 2018 年 5 月 8 日开工奠基，2019 年 9 月 19 日机组并网，2021 年 4 月 25 日通过国家示范性验收。电站生产运行期为 25 年，单位千瓦投资 23883.12 元/kW。

3.6 兰州大成敦煌 50MW 线菲式光热电站

兰州大成敦煌 50MW 线菲式光热电站是全球首个实现商业化运行的熔盐工质线性菲涅耳式光热电站。项目位于甘肃省敦煌市七里镇光电产业园区，采用兰州大成具有自主知识产权的高温熔盐线性菲涅耳聚光吸热技术，电站储热时长 15 小时，正常天气具备 24 小时持续发电能力。

项目于 2019 年 12 月 31 日实现并网发电，2020 年 6 月初进行热态进盐调试，2020 年 6 月 18 日太阳能集热场系统并网发电投运。项目率先实现熔盐工质线聚焦技术的商业化运行，在日常运行中开拓性的实现常态化进退熔盐操作，解决了线聚焦技术熔盐工质低热损运行技术难点，熔盐线性菲涅耳式集热器通过国际权威第三方测试和国内专家评审，均评价为国际先进水平。

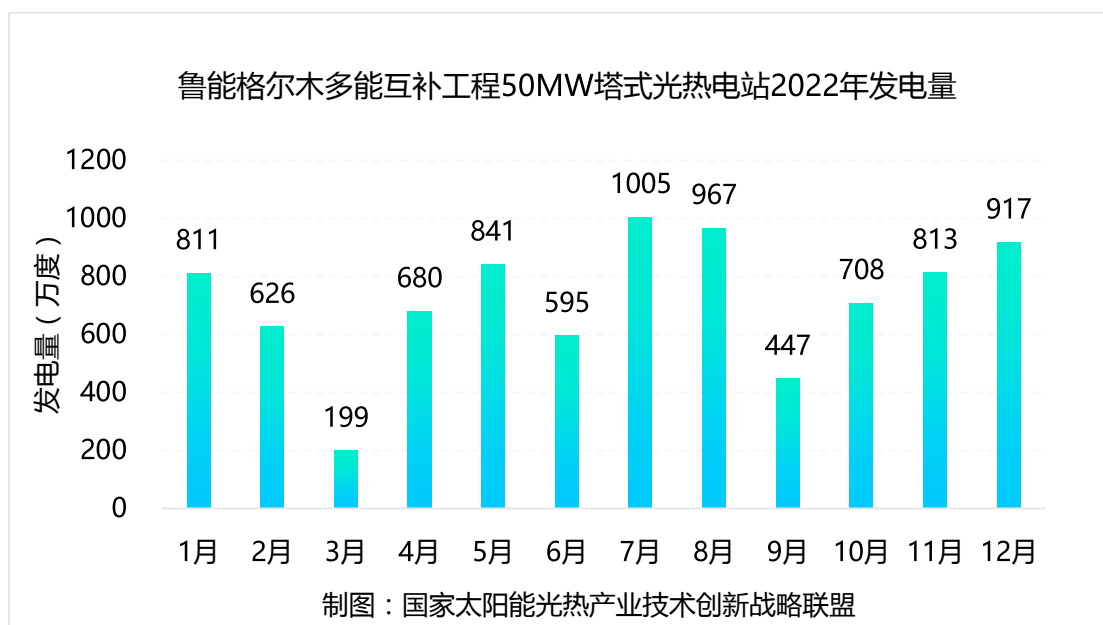
2022 年，经过运行优化、运维策略调整等工作，电站逐步进入发电量爬坡阶段，5、6、7 月单月发电量均超过 1000 万 kWh，年总发电量较 2021 年同比提高 45.85%。

3.7 鲁能格尔木多能互补工程 50MW 塔式光热电站

鲁能海西州多能互补集成优化国家示范项目总装机容量 700MW，其中光伏发电 200MW、风电 400MW、光热发电 50MW、电化学储能 50MW，配套建设 330 千伏汇集站和国家级多能互补示范展示中心，

是世界首个集风光热储调荷于一体的多能互补科技创新项目。光热发电作为多能互补工程的重要组成部分，配置 12 小时熔盐储热系统，肩负着为风电、光伏等间歇性电源调峰的重任。光热电站于 2019 年 9 月 19 日成功一次并网；2020 年 8 月 27 日完成 120 小时可靠性运行；2021 年 5 月 14 日，完成涉网试验，AVC 自动电压调整实现闭环运行。

经过不断优化运行，电站生产情况逐步稳定向好。2022 年，电站发电量达到 8608.95 万 kWh，同比 2021 年电量提升 1659 万 kWh。电站单日发电量最高达 109.62 万 kWh，月度最高发电量 1067.3775 万 kWh。



3.8 中电哈密 50MW 塔式光热电站

中电哈密 50MW 塔式电站位于哈密市伊吾县内，总投资 15.8 亿元。聚光场共安装 14500 面定日镜，单台定日镜面积 48.5 平方米，储热时长 13 小时，首次采用双热罐 + 单冷罐设计方案以及国产首台用于光热发电的超高温、超高压、一次中间再热、双缸、轴向排汽、8 级回热的直接空冷凝汽式汽轮机。

项目于 2017 年 10 月 19 日正式开工建设，2019 年 12 月 29 日实现首次并网。2021 年 6 月 18 日凌晨 01 时 26 分并网发电，9 月 6 日实现全容量发电。2021 年 8 月 26 日至 9 月 27 日期间，系统连续运行时间超过 240 小时；9 月 15 日至 19 日，机组实现连续运行 5 天，每天持续不间断运行小时数 4.16~24h，平均值达到 8.674h；在设计气象条件下，实现了 5 天内机组在设计出力 90% 以上负荷每天连续运行 1h 以上，平均 1.3h。



四、我国太阳能热发电产业链情况

4.1 太阳能热发电产业链体系和特点^[5]

太阳能热发电产业链长，体系可分为研发、设计、制造、安装、运维等环节。

其中，研发体系主要包括相关大专院校，各大研究院所及各企业的研究部门；设计体系主要包括从事发电行业的设计单位，新能源和可再生能源的设计单位，具有相应资质的设计单位；制造体系主要包括各大制造企业（国企、民企、合资企业），大专院校、研究院所的生产单位等；安装体系主要包括专业电力安装单位和工业建设安装单位。

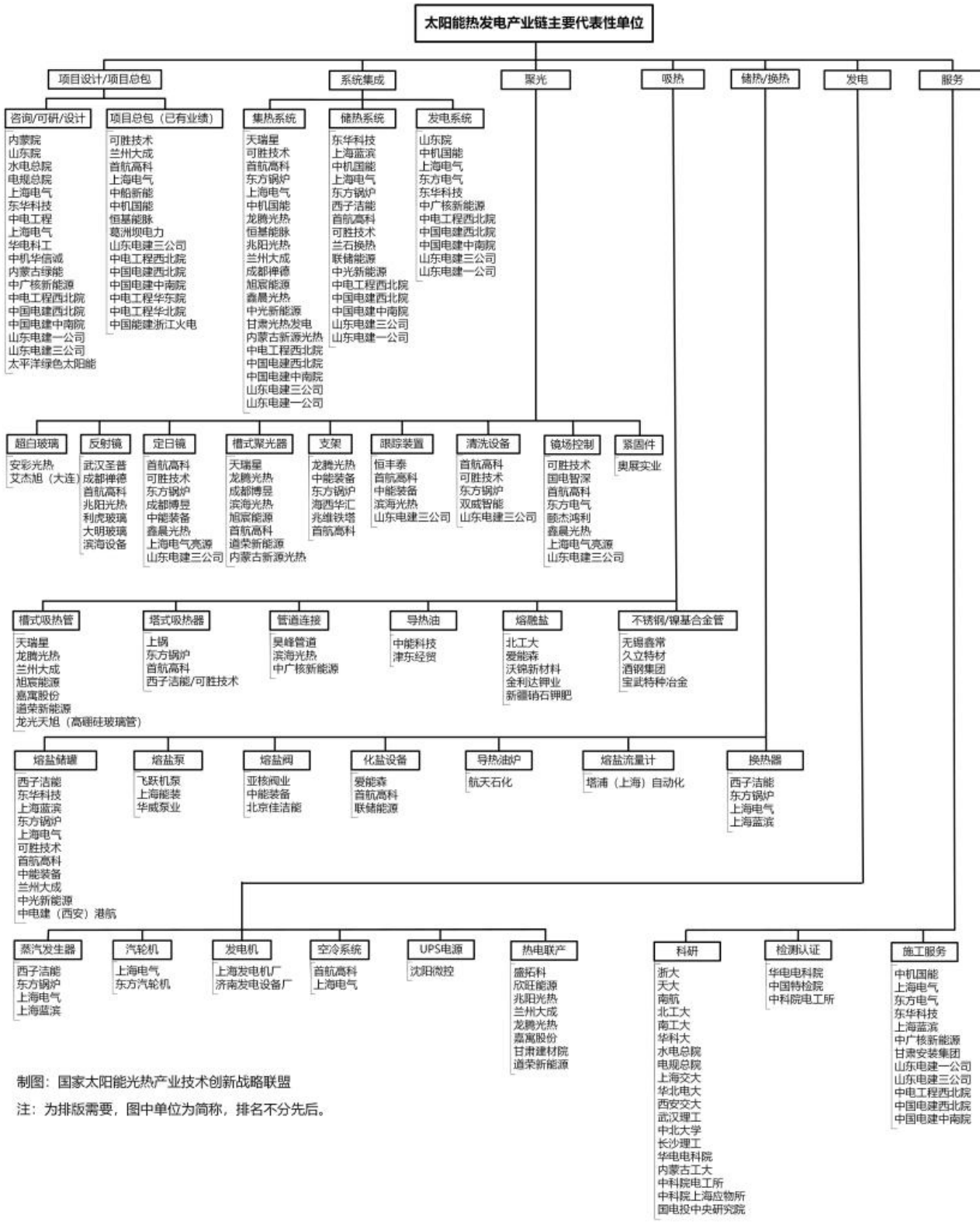
我国太阳能热发电产业链的主要特点是以易于获得、安全且丰富的原材料为出发点和起点，如钢铁、水泥、超白玻璃、高温吸热及传储热材料（导热油、熔融盐）、保温材料等，带动了自主知识产权的产业链核心装备的发展，如反射镜、定日镜、塔式吸热器、槽式聚光器、槽式吸热管、高精度传动箱、支架、就地控制器、储热装置/系统、滑压汽轮机等。在国家第一批光热发电示范项目中，设备、材料国产化率超过 90%，技术及装备的可靠性和先进性在电站投运后得到有效验证。其中，在青海中控德令哈塔式电站和中船新能槽式电站中，我国自主化设备部件和材料比例达 95%。

4.2 我国太阳能热发电产业链主要代表性单位

据国家太阳能光热产业技术创新战略联盟不完全统计，目前我国从事太阳能热发电相关产业链产品和服务的企事业单位数量约 600 家；其中，太阳能热发电行业特有的聚光、吸热、传储热系统相关企业数量约占全行业相关企业总数的 55%，以聚光领域从业企业数量最多，约 170 家。

根据中国可再生能源学会太阳能热发电专委会对太阳能热发电产业链的调研，包括设计、制造、建设以及运维等环节，粗略统计，我国太阳能热发电行业直接和间接相关就业人数约 5.9 万人。

下图对我国太阳能热发电产业链的主要环节以及代表性单位进行列示。



制图: 国家太阳能光热产业技术创新战略联盟

注: 为排版需要, 图中单位为简称, 排名不分先后。

图: 我国太阳能热发电产业链的主要环节及代表性企事业单位

4.3 光热发电相关部件装备 / 材料制造产能

在我国首个太阳能热发电特许权招标项目以及国家首批太阳能热发电示范项目的带动下，经过十几年的发展，我国目前已经建立了具有完全自主知识产权的太阳能热发电行业全产业链，具备了支撑太阳能热发电大规模发展的产品供应能力。据国家太阳能光热产业技术创新战略联盟粗略统计，目前我国关键产品部件的制造产能可支撑每年至少 3GW 光热发电项目建设（不考虑项目集中建设、集中采购可能引发的暂时性供应不足）。太阳能热发电相关关键部件 / 材料生产线产能情况如下表所示。

表：我国太阳能热发电关键部件 / 材料生产线及产能情况
(国家太阳能光热产业技术创新战略联盟统计制表)

关键部件生产线	数量 (条)	产能
太阳能超白玻璃原片	5	9200 万平米
槽式玻璃反射镜	6	2350 万平米
平面镜	6	3360 万平米
槽式真空吸热管	10	100 万支
跟踪驱动装置	21	2 万套
导热油 (联苯和联苯醚混合物)	2	4 万吨 (联苯产量)
熔融盐 (光热发电用熔盐为 60% 硝酸钠和 40% 硝酸钾的混合物)	15	60 万吨 (熔盐级硝酸钾产能约 73 万吨, 硝酸钠产能约 35 万吨)

4.4 我国光热发电关键部件 / 材料应用情况

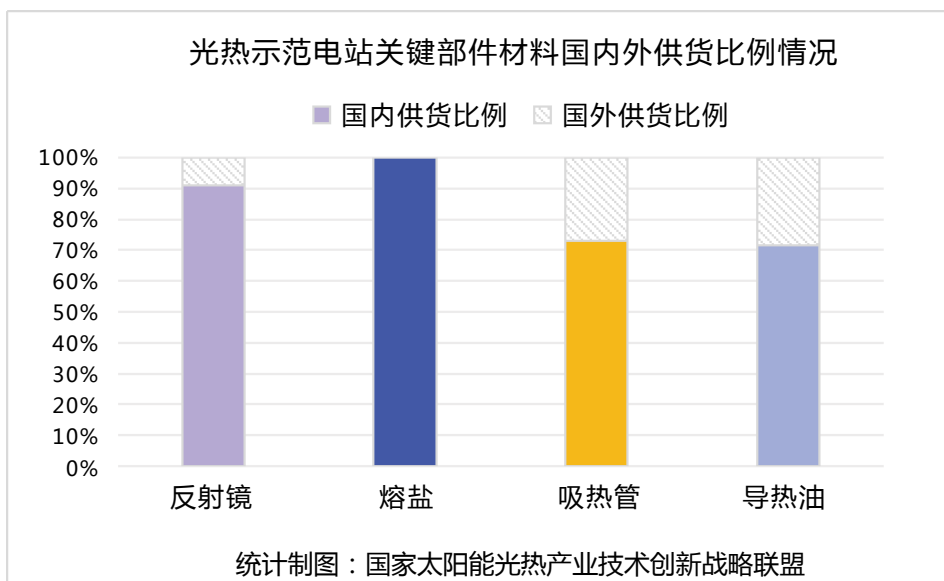
根据国家太阳能光热产业技术创新战略联盟对相关厂商和业主单位的统计，我国已经并网运行的 8 座太阳能光热示范电站共使用反射镜 691.3 万平方米，国内供货占比约 91%；熔盐 21.5 万吨，均为国内企业供货。3 座线聚焦型太阳能热发电项目中（槽式和线性菲涅耳），使用吸热管 10.23 万支，导热油约 1 万吨，国内供货占比分别为 73.1% 和 78.9%。

表：我国 8 座太阳能光热电站关键设备 / 材料使用情况
(国家太阳能光热产业技术创新战略联盟统计制表)

项目简称	储能时长 (小时)	反射镜面积 (平方米)	熔盐用量 (吨)	吸热管用量 (支)	导热油用量 (吨)
大成敦煌 50MW 线菲项目	15	1270000	24000	22000	/
中能建哈密 50MW 塔式项目	13	719902	16000	/	/
鲁能格尔木 50MW 塔式项目	12	610000	16000	/	/
首航敦煌 100MW 塔式项目	11	1400000	30000	/	/

乌拉特 100MW 槽式项目	10	1150000	73130	52800	7500
中广核德令哈 50MW 槽式项目	9	620000	36000	27500	2000
中控德令哈 50MW 塔式项目	7	542700	10093	/	/
中电建共和 50MW 塔式项目	6	600320	9300	/	/
小计		6912922	214523	102300	9500

需要特别说明的是，上述四项太阳能热发电用材料和部件的国外供货均发生在中广核德令哈 50MW 槽式光热发电项目中。该项目是我国最早建设的大容量太阳能热发电项目，采用了 1.5 亿美元的亚洲开发银行 (ADB) 低息贷款；在面向全球的公开招标中，对于供货商的经验业绩做了较高要求，由于我国属于首次进行大规模的太阳能热发电技术示范，因此在一些产品采购招标中国内企业没能参与。



我国某 50MW 熔盐塔式光热电站相关设备 / 材料使用及供应情况			
序号	设备或材料名称	一个项目使用量	供应商产能 (业主调研)
1	定日镜	20 平米定日镜 2.7 万台	10 万套
2	熔盐	1.5 吨	50~100 万吨
3	不锈钢材料	1200 吨	大于 100 万吨
4	水泥	2.6 万吨	大于 1 亿吨
5	碳钢 (含钢筋)	0.9 万吨	大于 1 亿吨
6	保温材料	130 吨	大于 1 万吨
7	熔盐储罐	2 台	大于 100 台套
8	熔盐换热器	10 台	大于 500 台套

9	阀门	280 台	大于 1 万台
10	熔盐吸热器	1 台	大于 20 台套
11	玻璃	70 万平方米	大于 5000 万平米
12	吸热管	34 吨	
13	熔盐吸热器涂层	0.3 吨	
14	熔盐流量计	10 台	
15	熔盐泵	10 台	
16	熔盐阀门	120 台	
17	红外热成像仪	8 台	

根据示范项目业主反馈，光热示范电站中使用的定日镜、镜场控制系统、吸热器、换热器等国产核心设备运行稳定，各项性能指标均能达到预期。进口熔盐泵在投运初期曾出现振动超标，经过整改后目前已经基本运行稳定，国产熔盐泵已经开始试用，基本运行稳定，但长时间运行效果还需要进一步验证。国产汽轮发电机组多次出现正常停机在惰走中发生高压缸振动超限等问题，导致电站较长时间停机，其原因主要是经验不足，在设计阶段未针对光热电站的运行特性进行针对性设计优化。经过多次对汽轮机本身以及配套热力系统管道的整改，目前问题已经基本解决，能够实现长时间稳定运行。通过示范项目的建设、运行、与优化，现阶段对于塔式光热电站而言，主要设备已经不存在瓶颈。下一步的目标是通过更多的光热项目，推动部分冷、热熔盐泵、吸热器材料等进口设备材料的国产化，逐步提高这些设备的国产化比例，通过实际工程项目的验证，最终实现完全的国产化；同时不断开展系统和关键工艺优化，以提高系统效率，降低成本，提升光热发电的经济性。

4.5 我国关键设备技术和应用突破情况

经过十几年的技术和小型示范项目积累，我国在高精度抛物面聚光器、槽式真空吸热管、反射镜等光热发电关键器件已经实现自主化生产和应用，产业基础逐步增强。但通过大规模光热发电项目的建设，产业链相关缺失的环节也得到了弥补。通过首批太阳能热发电示范项目建设，我国高温熔盐泵、熔盐阀、熔盐塔式吸热器（材料）、高温熔盐流量计、槽式电站用柔性连接件等产品已经取得重大突破。

在高温熔盐泵方面，在首批光热发电示范项目招标中，均要求是国外熔盐泵产品。以飞跃机泵为代表的企业，通过技术研发以及在示范电站中以备用泵的形式进行使用验证，经过近两年的运行，国产的高扬程冷盐泵性能被证明是基本可靠稳定的，获得了项目业主的认可，并成功在风光新能源大基地光热发电项目中中标。

在熔盐阀方面，该设备虽然投资占比小，但作用关键，一直被少数国际品牌垄断，不但价格昂贵，而且故障责任认定和售后服务困难。随着太阳能热发电示范项目的建设，上海亚核阀业、北京佳洁能等阀门企业结合光热熔盐特性和具体工况，成功研发了一系列光热电站用熔盐阀门，其中，熔盐专用逆止阀为全球首台。我国制造的熔盐阀门产品已在多个试验平台和太阳能热发电示范项目应用近 300 台，大多运行时间已超过两年。此外，国产熔盐阀门也积极开展降本工作，例如，上海亚核阀业经过优化设计，



成功研制出能够大幅降低电伴热成本的熔盐阀门，降低电伴热成本 60% 以上。对于一个 100MW 的塔式光热项目，仅下塔大压差调阀与熔盐泵出口逆止阀两个设备就可节约投资成本近千万元。

在熔盐高温塔式吸热器方面，我国相关钢铁企业与示范项目业主合作，生产出可制作塔式高温吸热器的镍基合金，部分金属合金企业联合国内知名高校，在吸热器用镍基薄壁焊接管的自主化开发已取得阶段性的成果；包括可胜技术 / 西子洁能（原杭锅）、上锅、首航高科等在内企业可以年提供熔盐吸热器大于 30 台套。

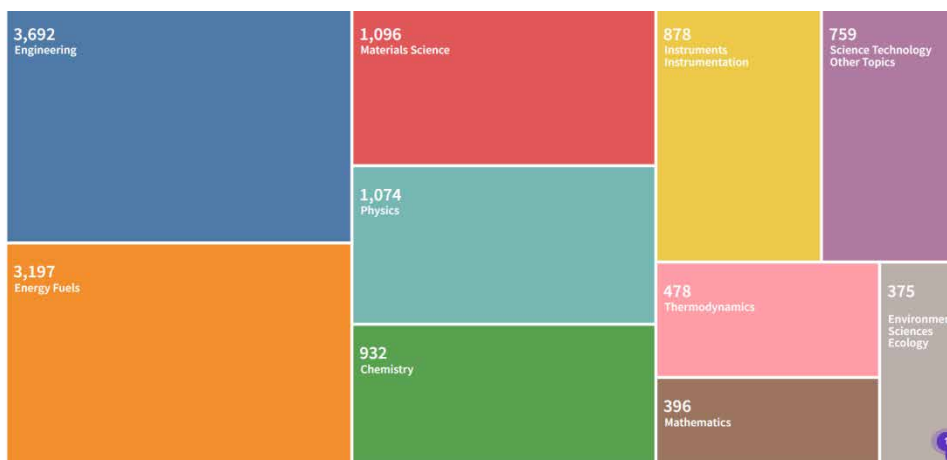
在高温熔盐流量计方面，作为传热流体的熔盐，在冷端的工作温度超过 250℃，在热端可达到 500~600℃ 的高温，其密度、粘度等理化特性也会随着温度变化而变化，并且熔盐的凝固点比较高。这对管道中的流体流量日常测量带来了挑战。基于熔盐在运行中大的温度波动，以及熔盐本身的高温、低温凝结、腐蚀、盐雾等物质特性，塔浦（上海）自动化开发了适用于光热电站、可达 600℃ 的超声波熔盐流量计。

在槽式柔性连接件方面，槽式集热器离不开柔性连接，其主要功能为：真空集热管和冷热汇管连接，补偿真空集热管的轴向位移，补偿集热器方位角旋转位移。我国企业研制的旋转接头金属软管组件已实现了工程验证应用，累计应用数量超过 1000 套。

此外，我国适合建设光热电站的地方处于西北部，冬季严寒。为助力冬季严寒时期电站启动、导热油系统和储热系统的防凝，北京航天石化公司以液体火箭发动机燃烧、传热、控制等专业技术为依托，研制了适用于太阳能光热电站的导热油炉，导热油炉效率高达 92% 以上，创新设计的应用效果达到国际先进水平。

五、我国太阳能热发电技术研发项目情况

2022 年，太阳能热发电技术全球发表的 SCI 论文研究内容分布见下图，可见工程方面居多。太阳能热法制取燃料也是一个热点，这个方法是太阳能热解催化制燃料，例如氢、一氧化碳和甲烷等，然后利用气体和液体燃料发电。



图：2022 年太阳能热发电 SCI 文章研究内容分布

5.1 国家自然科学基金

国家自然科学基金委员会工程与材料科学部工程热物理与能源利用学科 2022 年资助太阳能热发电立项的各类基金项目共计 21 项，资助总额共计 806 万元。包括面上 8 项、青年 12 项、地区及国际（地区）合作与交流项目 1 项。涉及太阳能颗粒和液体高效太阳光谱吸收方式和调控、太阳能光伏和光热动态调控全光谱高效利用、太阳能海水淡化、太阳能热驱动制氢、太阳能光热耦合 CO₂ 转化能量以及太阳能储热等方面。从图可见，在太阳能热发电方面，中国国家自然科学基金资助的论文在全球 SCI 论文中的占比第一，对太阳能热发电科学的进步起到重大作用。



图：2022 年 SCI 文章资助机构分布

5.2 国家重点研发计划

2022 年，国家重点研发计划有关太阳能热发电的项目有 4 项立项，具体如下：

项目一：

项目名称：高通量聚光太阳能热化学转化储能理论与方法

项目牵头单位：西安交通大学

项目负责人：魏进家

合作单位：浙江大学、中国科学院电工研究所、中国科学院理化技术研究所、福州大学、北京石油化工学院

执行期限：2021.12.01—2026.11.30

项目概况：常规太阳能储能技术存在储能密度低、放热温度低的问题，严重制约了清洁可持续太阳能热发电技术的大规模应用。高通量聚光太阳能热化学转化储能系统具有储能密度和效率高、反应温度高的优势，是最具应用前景的大规模太阳能储能技术之一。针对常规太阳能储能系统储能密度低、放热温度低的瓶颈问题，项目将围绕共掺杂改性太阳能热化学载能体的构效关系与反应热力学 / 动力学性能机理，以及非稳态、多尺度、多场耦合协同的高通量聚光太阳能热化学转化储能过程强化机制 2 个关键科学问题，建立非稳态高通量聚光条件下的光、热、力、流、化、声多场多尺度耦合协同强化热化学转化储能理论，提出高性能热化学载能体构筑与制备方法，开发载能体颗粒烧结和团聚的高效抑制技术，构建聚光集热—化学储能一体化太阳能高效储能装置与系统并实现应用验证，形成高能量密度、高反应温度、长循环寿命的大规模太阳能热化学转化储能的创新理论与方法，为稳定连续太阳能热利用提供关键支撑。研究目标：（1）研制热功率 ≥ 15 kW 的室外高通量太阳能聚光器，峰值热流密度 ≥ 1.6 MW/m²；（2）开发反应温度 ≥ 750 °C 和储能密度 ≥ 1200 kJ/kg 的高活性防烧结细颗粒载能体，循环 ≥ 2000 次后性能下降不超过 30 %；（3）研发高通量聚光太阳能直接吸热移动床反应单元和声激励流化床放热反应单元，反应单元转化率 ≥ 85 %；（4）研制聚光集热—化学储能一体化太阳能高效储能示范装置系统，太阳能热化学储能效率 ≥ 60 %、热功率 ≥ 15 kW、反应单元转化率 ≥ 85 %、放热温度 ≥ 750 °C、储能密度 ≥ 1200 kJ/kg。

项目二：

项目名称：太阳能热发电用高温熔盐储罐力学研究及寿命预测（“政府间国际科技创新合作”重点专项之“中国和美国政府间合作项目”）

项目牵头单位：中国科学院电工研究所

项目负责人：臧春城（中），Dr. Mark Mehos（美）

合作单位：中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司、中广核太阳能开发有限公司、哈尔滨汽轮机厂有限责任公司、NREL（美）

执行期限：2023.01.01—2025.12.31

研究目标：针对高温熔盐储罐在复杂工况条件下的腐蚀和热疲劳等所导致的泄露故障和寿命损失问题，开展高温熔盐储罐的力学研究和寿命预测，通过实验验证优化寿命预测模型，结合商业化太阳能热发电电站工程实践，开发具备寿命预测功能的熔盐储罐结构设计软件，突破大容量熔盐储罐长寿命预测的技术难点，为太阳能热发电电站熔盐储罐的寿命评估、结构设计优化和安全运行提供技术指导。

项目三：

项目名称：CPC 聚光式太阳能界面蒸发海水淡化系统关键技术研究（“政府间国际科技创新合作”重点专项之“中国和美国政府间合作项目”）

项目牵头单位：中国科学院电工研究所

项目负责人：王腾月（中），Dr. Lun Jiang（美）

合作单位：国家纳米科学中心、中国矿业大学、Winston Cone Optics Co.Ltd（美）

执行期限：2023.01.01—2025.12.31

研究目标：利用太阳能光热进行海水淡化是缓解全球淡水资源匮乏和能源短缺的重要低碳清洁方式。太阳能界面蒸发可以将太阳能收集、光热转换和蒸发等过程都局限在水—空气界面，使水体温度接近环境温度，最大限度减少热损失。但在实际应用中，室外环境温度低、太阳辐照度低，界面蒸发器与环境的对流和辐射热损失大，这些造成其表面温度低，限制蒸发速率。此外，室外自然状态下存在蒸汽难以快速扩散、自然冷凝效率低的问题，本项目拟提出一种非对称紧凑式 CPC 聚光太阳能界面蒸发海水淡化系统，推动界面蒸发技术从实验室走向室外实际工程应用。研究目标：（1）设计基于等离子体增强光热转换的界面蒸发器，实现吸热/蒸发/隔热一体化分层多孔等级结构设计，光热转换效率 $\geq 95\%$ ；（2）基于界面蒸发器，研发一种非对称紧凑式 CPC 聚光界面蒸发系统，采光总面积不低于 100m^2 ，满足出口蒸汽温度 $\geq 70^\circ\text{C}$ ；（3）设计基于亲—疏水复合结构换热表面的管式相变换热装置，并建立以太阳能 CPC 蒸汽热源驱动下的多效增湿—除湿海水淡化系统，实现界面蒸发器每平米日产水量 $\geq 8\text{kg}$ 。

项目四：

项目名称：二次反射塔式光热—光伏联合电站稳定电力输出关键技术研究（“政府间国际科技创新合作”重点专项之“中国和西班牙政府间合作项目”）

项目牵头单位：鑫晨光热（上海）新能源有限公司

项目负责人：谢文韬（中），Raúl Navío Gilaberte（西班牙）

合作单位：上海交通大学、Alia Energy Consulting SL（西班牙）

执行期限：2023.01.01—2025.12.31

研究目标：从循环效率和比功等多角度考虑新型循环设计，开展系统配置技术方案设计及目标优化；仿真分析不同运行工况下的系统性能参数的响应特点，并对系统评价指标进行综合分析和目标优化；开展耦合吸—储—换热一体化关键部件理论建模，进行超临界 CO_2 动力循环特性与储—放热特性的最优匹配研究；进行匹配二次反射镜场的超临界 CO_2 动力循环运行机理研究。

项目创新点包括：

① 建立耦合新型吸—储—换热一体化部件的二次反射塔式集热系统 研发基于定日镜场全闭环控制的二次反射塔式聚光系统以及基于固体颗粒等高温 材料的新型吸—储—换热一体化关键部件，大幅提升光学效率和光热转换效率。

② 开发 600°C 热源驱动的高效超临界 CO_2 发电技术 通过工质再压缩、中间分级冷却及内部多重热回收等多种技术途径，开发高参数、高灵活性的新型动力循环，提高循环效率。

③ 提出保障光热—光伏联合电站经济平稳运行的配置与调度优化方法 耦合光热发电的储热环节，并通过光伏发电提升联合站的经济性。开发通用智能优化方法以及相应的调度运行控制策略，保障联合电站经济平稳运行。

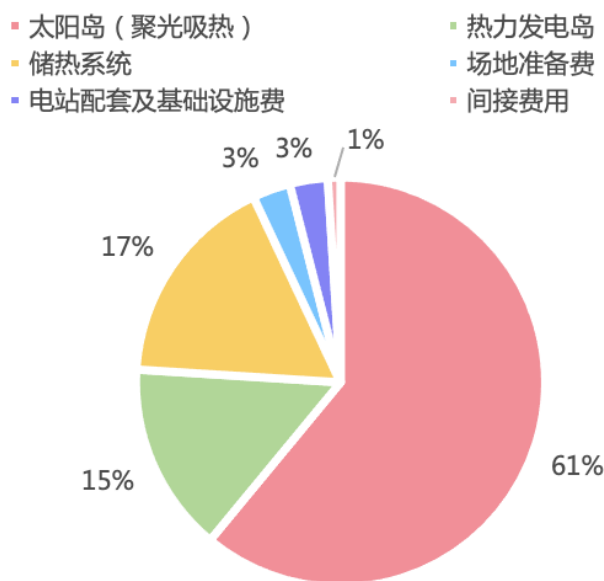
六、太阳能光热电站投资成本^[5]

6.1 塔式光热电站建造成本及构成

6.1.1 我国 7 小时储热 50MW 塔式光热电站投资构成

太阳能热发电是技术和资金双密集型行业，产业链长，涉及学科多，系统复杂；项目的投资受装机容量规模、储热时间影响较大。李心、赵晓辉等在《塔式太阳能热发电全寿命周期成本电价分析》中，按系统功能将 50MW 塔式太阳能热发电建造成本分为太阳岛成本、热力发电岛成本、储热系统成本、场地准备费、电站配套及基础设施费和间接费用，各部分具体占比如下图所示。

太阳岛是塔式太阳能热发电站完成光—热能量转换的系统，主要包括聚光系统和吸热系统；其中，定日镜成本约占太阳岛成本的 75%，镜场控制系统成本占 10%，吸热器成本占 6%，吸热塔成本占 9%。热力发电岛主要包括热力系统及辅机设备、水循环、水处理系统、换热设备、热工控制系统、电气系统、电网接入系统及仪表阀门管路等。

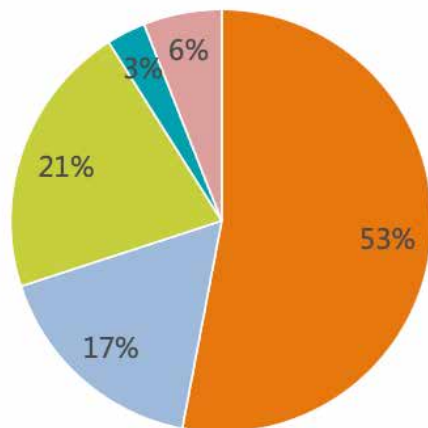


制图：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟

图：7 小时储热 50MW 塔式太阳光热电站投资组成

以青海中控德令哈 50MW 塔式太阳能热发电示范项目为例，从制造角度划分，太阳能热发电行业专有的聚光、吸热、储热子系统投资成本结构中，材料成本占比 <30%，制造加工成本占比 >50%，包装运输、安装等成本 <20%。其中，聚光、吸热、储热子系统中原材料的成本构成比例如下图所示：钢材约占 53%、熔盐约占 21%，玻璃约占 17%。

■ 钢材 ■ 玻璃 ■ 熔盐 ■ 电伴热 ■ 其他



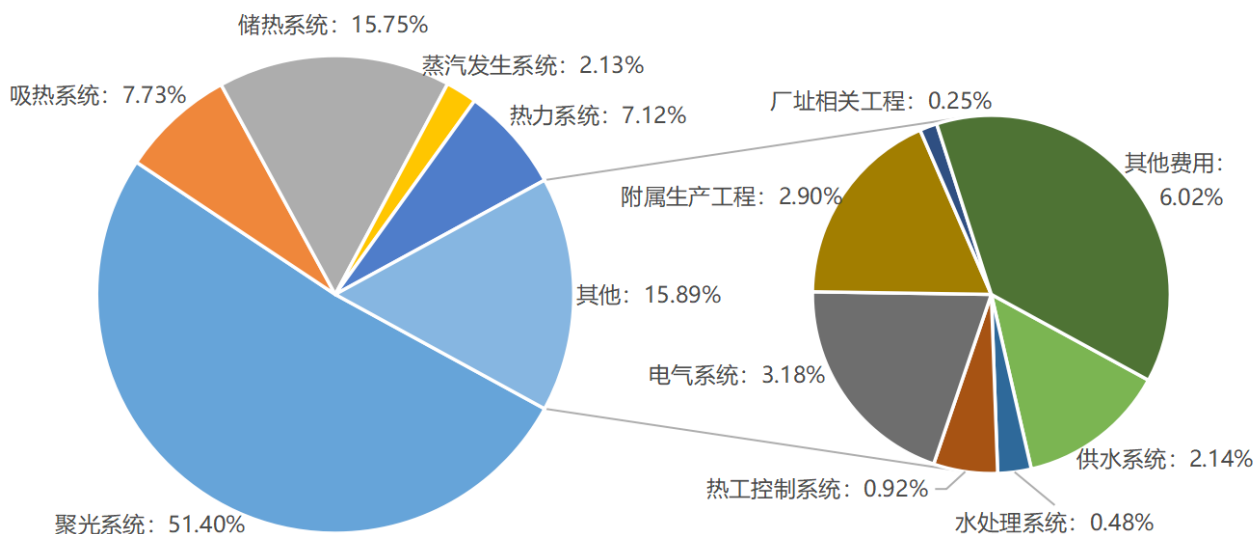
制图：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟

图：聚光吸热储热子系统中原材料的成本构成比例

青海中控德令哈 50MW 塔式太阳能热发电示范项目占地 3.3 平方公里，吸热塔高 200 米，定日镜 27000 多台，储热时长 7 小时，共消耗约 55 万平方米玻璃，2 万吨钢材，1 万吨熔盐，3 万吨水泥。

6.1.2 我国 12 小时储热 100MW 塔式光热电站投资构成

根据太阳能光热产业技术创新战略联盟委托浙江可胜技术股份有限公司编写的《太阳能热发电成本下降路径分析》报告，12 小时储热 100MW 塔式太阳能热发电站的总投资在 25~30 亿元之间。按照功能划分，电站投资主要发生在集热系统（聚光系统、吸热系统），储换热系统（包括储热系统、蒸汽发生系统），热力系统，供水系统，水处理系统，热工控制系统电气系统，附属生产工程以及厂址相关工程及其他费用。从下图可以看出：聚光、吸热、储换热系统约占整个电站成本的 77% 左右，是决定太阳能光热发电站造价高低最重要的因素。



制图：浙江可胜技术股份有限公司

图：12 小时储热 100MW 塔式太阳能光热电站投资组成

需要说明的是，随着电站规模变大，或储能时间增加（根据不同的边界条件，储能时间会有个最优值），定日镜数量会相应增加，这样太阳岛成本所占的投资成本比例也会增加；但电站年利用小时数和所发电量都会有所提升，因此电站整体经济性将会提高，发电成本会有所下降。

6.1.3 定日镜成本构成

根据统计数据，定日镜场的成本约占整个塔式电站投资成本的 40%~50%。而定日镜场中每一个单台定日镜主要由支撑结构、反射镜单元、驱动装置、控制系统等组成；其中，传动装置和反射镜单位在定日镜总成本中所占比例较大，约占 50%~60%。单台定日镜成本构成及比例如下表所示。

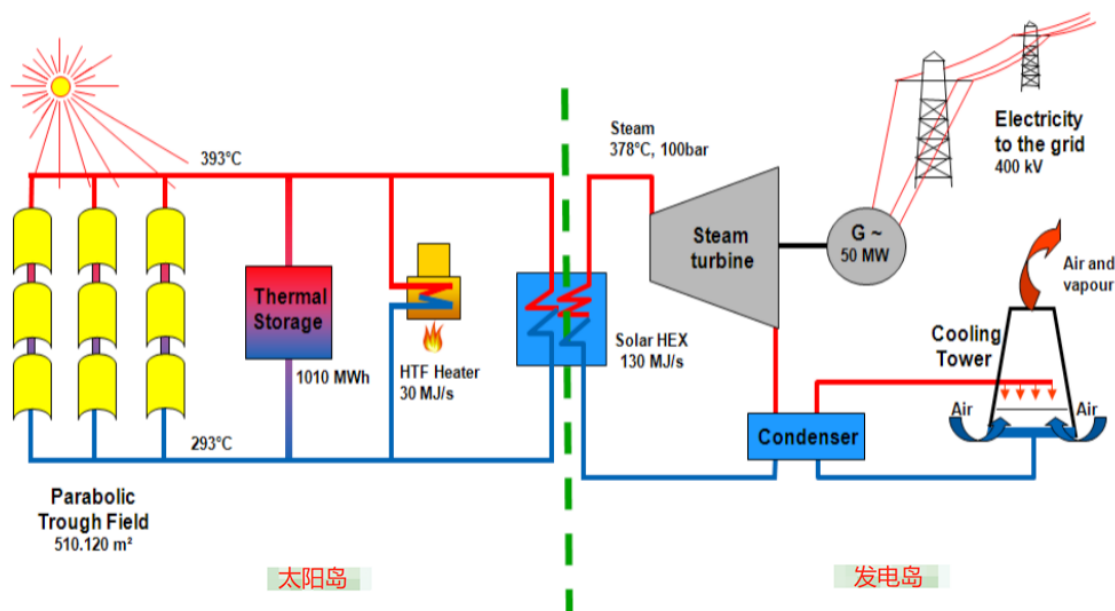
表：定日镜成本构成

主要部件	所占成本比例
驱动装置（水平和俯仰）	30%~35%
反射镜单元	25%~30%
支撑结构	15%~20%
立柱和基础	10%~15%
控制系统	5%~10%
安装和调试费用	10%~15%

6.2 槽式光热电站建设成本及构成

6.2.1 全球首座 7.5 小时储热 50MW 槽式光热电站投资构成

槽式技术是全球最早实现商业化运行的太阳能热发电技术。西班牙 Andasol1 号是全球首座带有长时间储热系统的槽式太阳能热发电站，其投资成本构成具有典型性。Andasol1 号槽式光热电站位于西班牙南部的温暖地区，装机容量 50MW，于 2009 年 3 月投运，其系统流程图及项目信息见下。

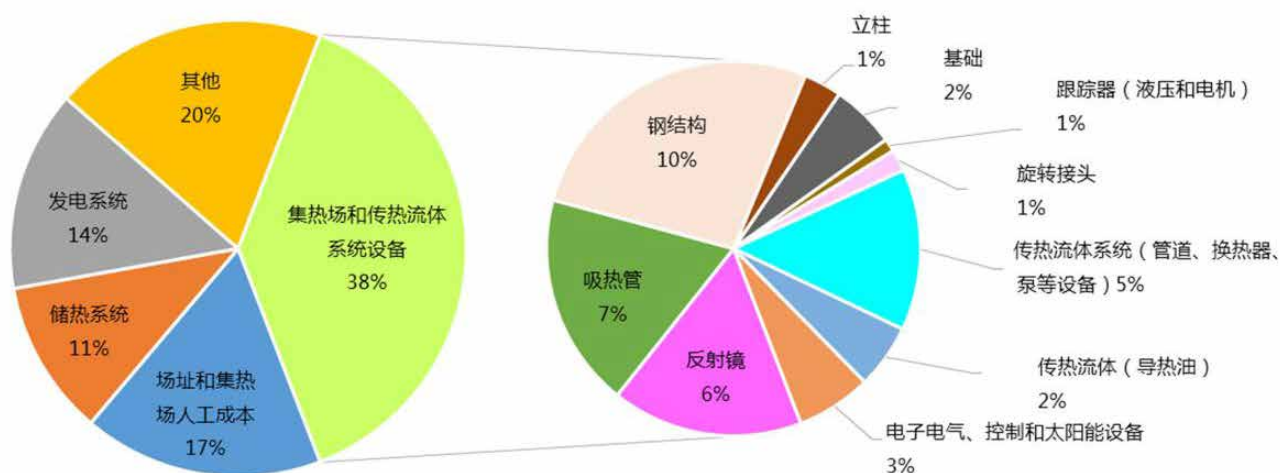


图：Andasol 1 号槽式太阳能热发电站系统流程图

表：Andasol 1 号 50MW 槽式光热电站主要参数

类别	说明
法向直接辐射值 (DNI)	2136kWh/m ² /年
额定容量	50MW
聚光场采光口总面积	51 万平方米 (每个聚光器开口 5.677 米, 长 144 米, 采光口面积 817 平方米; 聚光器总数量 624 个)
集热器型号	SKALET-150 (反射镜型号 RP3)
回路数量	156 个 (每个回路由 4 个聚光器组成, 长度 576 米; 回路总长度 89,856 米)
吸热管数量	11,232 支 (吸热管型号 PTR70, UVAC2008)
传热介质	导热油 (镜场入口温度 293℃、出口温度 393℃)
储热系统	双罐间接熔盐储热, 储热罐高 14 米, 直径 36 米, 熔盐用量 2.85 万吨; 储热容量 1010MWh, 可实现汽轮机满负荷运行 7.5 小时
汽轮机效率	38.1% (西门子 SST-700)
年均光—电效率	16% (实测)
总投资	3.1 亿欧元 (2008 年)
上网电价	27 欧分 /kWh (25 年)
年设计发电量	179GWh (年运行小时数 3580 小时)
度电成本 (LCOE)	\$0.29/kWh (2020 年)

根据 Ernst&Young 和 Fraunhofer 的报告, 该电站集热场和传热流体系统的设备成本在电站总投资中占比最高, 约为 39% (其中, 钢结构、吸热管和反射镜的总投资占比分别为 10.7%、7.1% 和 6.4%); 储热系统约占总投资的 10.56% (熔盐材料占比 5.1%), 储热系统成本约 50 美元 /kWh; 项目总承包成本 (其他类别) 占总投资的 7.7%。另外, 场址准备和集热场人工成本占比达 17.1%。



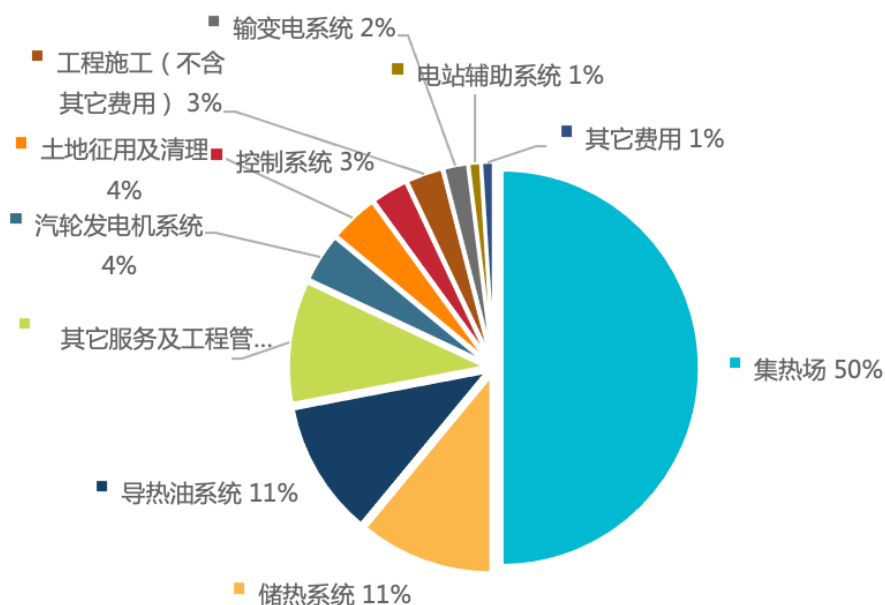
制图：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟

图：全球首座 7.5 小时储热 50MW 槽式电站投资成本构成

6.2.2 我国 4 小时储热 50MW 槽式光热电站投资构成

2013 年，受国家能源局委托，太阳能光热产业技术创新战略联盟等组织开展了《中国太阳能热发电产业政策研究报告》的编写工作。其中，联合克林顿基金会对我国的太阳能热发电项目成本进行了分析，选取的案例电站为我国第一个太阳能热发电工程项目 - 鄂尔多斯 50MW 槽式太阳能热发电电站，该电站于 2011 年完成了特许权招标。

案例电站当地法向直射辐射值 (DNI) 1900kWh/m²/年，工程初始投资包括太阳能集热、储热、换热、热力发电及其他辅助系统和设施（如采暖、生产办公设施等），不包括电网基础设施建设。案例电站一次性初投资约 14.56 亿元，其中，集热场设备成本（主要由聚光器、真空吸热管、就地控制器和安装费等构成）占整个电站建设成本的 50%；储热系统和导热油系统占总投资的 22%，主要是熔盐与储罐的投资成本；工程设计与施工建设成本占总投资成本的 10% 左右；汽轮发电机组等动力部分占总成本的 4% 左右。该案例电站投资组成情况如下图所示。

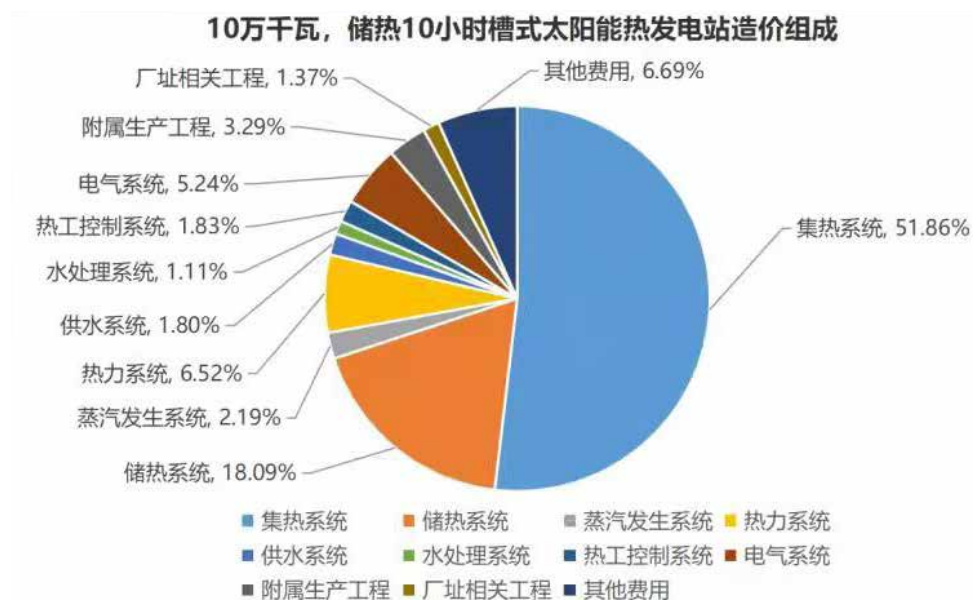


制图：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟

图：我国内蒙古 4 小时储热 50MW 导热油槽式电站投资组成

6.2.3 我国 10 小时储热 100MW 槽式光热电站投资构成

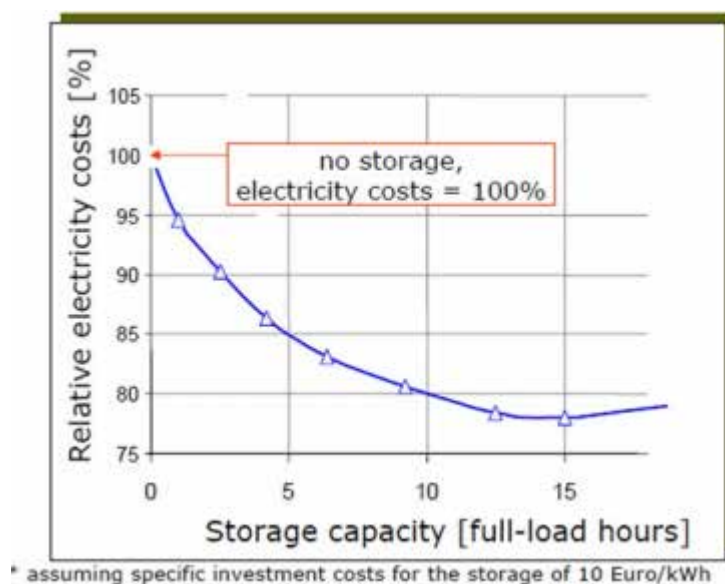
下图是我国某装机 10 万千瓦储热 10 小时典型槽式光热电站的投资构成图。该电站总投资约 28 亿元，主要由集热系统、蒸汽发生系统、储热系统、热力系统、供水系统、水处理系统、热工控制系统、电气系统、附属生产工程、厂址相关工程及其他组成。其中，集热系统占比约 52%，储热系统占比约 18%。



图：我国 10 小时储热 100MW 导热油槽式电站投资组成

6.3 储热时长和度电成本

从系统容量配置角度，太阳能热发电站的装机容量、储能时长和镜场面积与电站的经济性密切相关。一般来说，为了储存更长时间的能量，就需要增加聚光场的面积，这种情况下一次投资成本就会增加。根据对不同储热时长的太阳能光热示范电站经济性评估发现，7 小时光热项目的概算、决算单位造价最低，分别是 23915、22417 元 /kW，15 小时光热项目概算、决算单位造价最高，分别为 34965、41893 元 /kW。这体现了储热时长越长，单位造价越高。然而，需要注意的是，由于储能时长的增加，电站发电量将提高，综合度电成本则会下降。

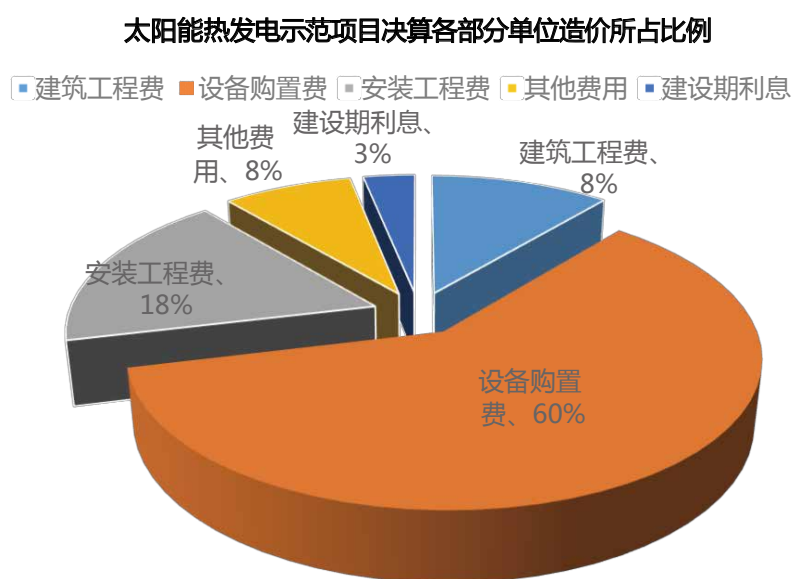


图：太阳能热发电储热时长与电力成本的关系

根据德国宇航中心 (DLR) 早期的研究结果 (如上图所示), 当储能时长超过 15 小时, 相对于没有储能的太阳能热发电 100% 的电力成本而言, 度电成本将呈上升趋势。因此, 需要根据实际情况对储能时长进行优化。针对不同的气象条件、可用土地面积和电站设计等存在一个最优化的储热值。

6.4 太阳能热发电示范项目决算各部分单位造价所占比例

根据水电水利规划设计总院、国家太阳能光热产业技术创新战略联盟、中国电力科学研究院、电力规划设计总院联合开展的《国内外光热发电发展现状和前景研究》, 5 个太阳能热发电示范项目决算各部分单位造价所占比例如下图所示。其中, 设备购置费占比 60%, 安装工程费占比 18%, 建设期利息占比 3%



统计制图：电力规划设计总院

七、太阳能热发电站全生命周期碳排放^[5]

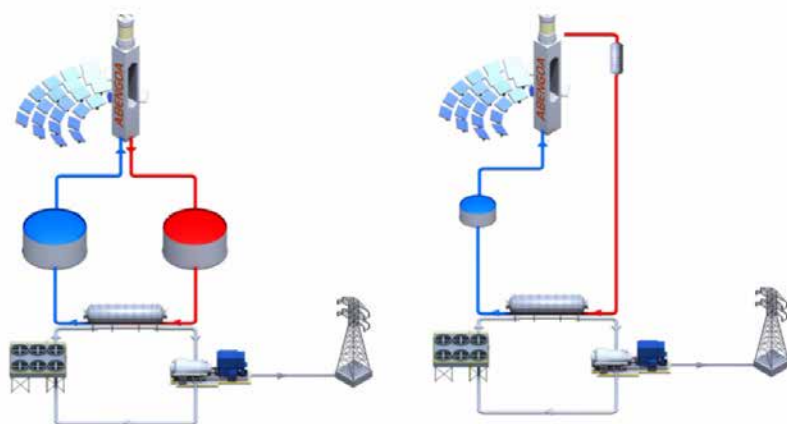
生命周期评估（Life Cycle Assessment，简称 LCA）是一项重要环境管理工具。据 MBA 智库据·百科词条，生命周期是指某一产品（或服务）从取得原材料，经生产、使用直至废弃的整个过程，即从摇篮到坟墓的过程。按 ISO14040 的定义，生命周期评估是用于评估与某一产品（或服务）相关的环境因素和潜在影响的方法，它是通过编制某一系统相关投入与产出的清单记录，评估与这些投入、产出有关的潜在环境影响，根据生命周期评估研究的目标解释清单记录和环境影响的分析结果来进行的。为确保我国实现碳达峰、碳中和目标，生命周期全过程的碳排放核算至关重要。

2021 年，西班牙莱里达大学联合西班牙 Abengoa Energia 公司（开发建设并运营全球较多的太阳能光热电站的企业）对塔式太阳能热发电站（带储热和不带储热两种配置）进行了全生命周期分析。研究发现：带 17.5 小时储能的 110MW 塔式太阳能光热电站全生命周期（30 年）每千瓦时净发电量的气候变化指标为 9.8g CO₂ 当量 /kWh。

在研究中，案例电站容量为 110MW，运行寿命按照 30 年，以能够提供基础负荷的配置设计，其中带储能的电站储能时长为 17.5 小时。研究单位以“并网 1 度电”，包括塔式光热电站的全部部件，评估了从建设、运行到拆除全周期的环境影响。全生命周期分析评估的塔式光热的特征如下表所示。

表：全生命周期评估的塔式太阳能热发电站特征

特征	无储热	有储热	单位
容量，总	120.8	120.8	MW
容量，净	110.0	110.0	MW
定日镜数量	3300	10600	台
镜场开口面积	0.457	1.469	km ²
塔高	140	240	m
吸热器功率等级	266	690	MW
直射辐射	3332	3332	kWh/(m ² ·年)
传热介质	5300	56160	公吨
储热容量	-	5330	MWhth
年净并网电量	274.61	776.24	GWh
年厂用电量	18.5	0.9	GWh
年用水量	23100	64250	m ³
项目用地类型	荒漠	荒漠	



图：带（左）和不带（右）储能系统的塔式光热电站设备配置

两座塔式电站在制造阶段的清单数据被分为 9 组，包括：镜场区、吸热器系统、塔、蒸汽发生系统、储热 & 传热流体系统、基础及辅助建筑、接线、管道（吸热器系统管道以外的）。带有 17.5 小时储热以及不带储热的容量 110MW 塔式电站制造清单中使用的材料和重量如下表所示。

表：110MW 塔式电站制造清单中使用的材料和重量

部件	塔式电站 - 无储热	塔式电站 - 有储热	单位
镜场区部件			
镀膜平板玻璃	$3.3 \cdot 10^3$	$1.1 \cdot 10^4$	吨
低合金钢	$1.1 \cdot 10^4$	$3.6 \cdot 10^4$	吨
镀锌件	$8.5 \cdot 10^4$	$2.7 \cdot 10^5$	平方米
非合金钢	$9.6 \cdot 10^2$	$3.1 \cdot 10^3$	吨
润滑油	$1.8 \cdot 10^2$	$5.7 \cdot 10^2$	吨
混凝土	$3.0 \cdot 10^4$	$9.5 \cdot 10^4$	立方米
硅胶产品	$3.3 \cdot 10^1$	$1.1 \cdot 10^2$	吨
用于控制单元的电子设备	$4.6 \cdot 10^1$	$1.5 \cdot 10^2$	吨
吸热器系统			
钢筋	$1.4 \cdot 10^3$	$1.7 \cdot 10^3$	吨
钢，铬钢 18/8，热轧	$1.6 \cdot 10^2$	$2.5 \cdot 10^2$	吨
有机硅涂料	$3 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-1}$	吨
基本的耐火材料	$1.0 \cdot 10^2$	$2.6 \cdot 10^2$	吨
石棉	$1.2 \cdot 10^1$	$2.5 \cdot 10^1$	吨
塔			
混凝土	$1.1 \cdot 10^4$	$1.9 \cdot 10^4$	立方米
钢筋	$2.1 \cdot 10^3$	$3.6 \cdot 10^3$	吨

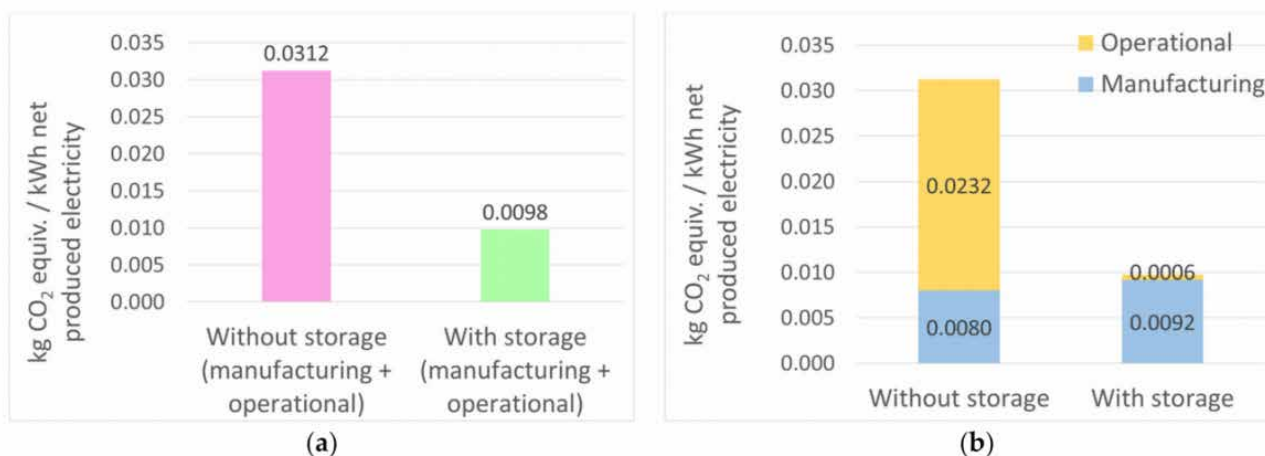
部件	塔式电站 - 无储热	塔式电站 - 有储热	单位
液压挖掘机	$7.5 \cdot 10^3$	$1.3 \cdot 10^4$	立方米
蒸汽发生系统			
钢筋	$8.2 \cdot 10^1$	$8.2 \cdot 10^1$	吨
低合金钢	$1.0 \cdot 10^2$	$1.0 \cdot 10^2$	吨
钢, 铬钢 18/8, 热轧	$3.5 \cdot 10^2$	$3.5 \cdot 10^2$	吨
石棉	$8.4 \cdot 10^{-2}$	$8.4 \cdot 10^{-2}$	吨
玻璃纤维	$2.3 \cdot 10^0$	$2.3 \cdot 10^0$	吨
发电动力模块 (包括动力循环组件和水箱)			
钢, 铬钢 18/8, 热轧	$3.2 \cdot 10^2$	$3.7 \cdot 10^2$	吨
钢筋	$1.8 \cdot 10^2$	$3.0 \cdot 10^2$	吨
低合金钢	$5.3 \cdot 10^2$	$5.3 \cdot 10^2$	吨
非合金钢	$7.5 \cdot 10^1$	$7.5 \cdot 10^1$	吨
铸铁	$6.0 \cdot 10^{-2}$	$6.0 \cdot 10^{-2}$	吨
铜	$1.8 \cdot 10^1$	$1.8 \cdot 10^1$	吨
铝	$6.2 \cdot 10^1$	$6.2 \cdot 10^1$	吨
石棉	$2 \cdot 10^0$	$2 \cdot 10^0$	吨
镀锌件	$6.1 \cdot 10^3$	$6.1 \cdot 10^3$	平方米
储热 & 传热流体系统			
太阳能用硝酸盐	$5.3 \cdot 10^3$	$5.6 \cdot 10^4$	吨
钢, 铬钢 18/8, 热轧	$4.3 \cdot 10^1$	$1.2 \cdot 10^3$	吨
钢筋	$4.8 \cdot 10^2$	$1.4 \cdot 10^3$	吨
石棉	$1.9 \cdot 10^2$	$5.8 \cdot 10^2$	吨
基础和辅助建筑			
混凝土	$3.2 \cdot 10^3$	$9.7 \cdot 10^3$	立方米
钢筋	$2.7 \cdot 10^2$	$8.0 \cdot 10^2$	吨
开挖, 液压挖掘机	$2.5 \cdot 10^3$	$7.4 \cdot 10^3$	立方米
建筑, 大厅	$1.6 \cdot 10^3$	$4.8 \cdot 10^3$	平方米
接线			
电缆	$7.8 \cdot 10^2$	$1.9 \cdot 10^3$	千米
管道 (吸热器系统管道以外的)			
钢筋	$2.72 \cdot 10^2$	$2.9 \cdot 10^2$	吨
翻译制表: 国家太阳能光热产业技术创新战略联盟 CSTA			

表：两座被分析塔式电站运行中的水电消费量

参数	塔式电站 - 无储热	塔式电站 - 有储热	单位
厂用电	$1.9 \cdot 10^1$	$9.0 \cdot 10^{-1}$	GWh/年
用水	$2.3 \cdot 10^4$	$7.8 \cdot 10^4$	立方米/年
加工化学品水处理	$2.4 \cdot 10^4$	$7.1 \cdot 10^4$	千克/年

制表：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟 CSTA

通过对两个塔式电站全生命周期的评估分析（其中没有配置储热系统的作为参考，另一个配置了储热系统），研究对比发现：带有储热的光热电站比不带储热的光热电站环境影响更小，使用 ReCiPe 指标评估每千瓦时净发电量的总影响时，无储能的塔式电站多产生了 46% 的影响。当考虑每千瓦时净发电量的气候变化指标时，带储能的塔式电站的环境影响为 9.8g CO₂ 当量 /kWh，没有储能的塔式电站的环境影响为 31g CO₂ 当量 /kWh。



(a) 总体影响；(b) 制造阶段和运营阶段的影响

图：IPCC 方法：每千瓦时净发电量 GW20a 指标

研究发现，运营阶段的影响决定了两个电站之间的环境影响差异，并且这可以归因于没有储能的塔式电站所需的用电量源于电网。电站系统中产生更大影响的是聚光场、传热和储热流体系统。但是当使用 ReCiPe 指标时，接线的环境影响也较突出；而当使用气候变化指标时，必须考虑集热塔自身。

对于无论是否有储热的太阳能热发电站来说，在聚光场组成部件中，产生环境影响最高的是定日镜金属支架（无论是 ReCiPe 指标还是 IPCC 指标），其次是混凝土基础。尽管如此，如果采用气候变化指标，混凝土基础的影响更大；如果采用 ReCiPe 指标，金属部件的影响较多。在传热介质和储热系统（HTF&TE Ssystem）组成部件中，硝酸盐产生的影响最大。Ecoinvent 数据库中包含的硝酸盐来自矿山或通过化学反应合成。当盐的类型改变时，硝酸盐对太阳能热发电站 LCA 的影响也会发生变化。影响最小的盐是那些从矿山（比使用合成产品低 20%）提取的。

研究总结指出，储能对于太阳能光热电站至关重要，这不仅能够确保电力的可调度性，而且能够减少其全生命周期对环境的影响。



八、太阳能热发电发展面临的挑战及对策

太阳能热发电易于配置大容量、长周期、更安全低碳的储能系统，且采用常规汽轮发电机组，系统具有转动惯量和电网同步机特性，是一种灵活性调节电源，非常符合当前高比例不稳定可再生能源电源并网情境下电网安全稳定运行对快速调峰电源的迫切需要，可为构建新能源为主体的新型电力系统奠定安全稳定的基础。2022年，我国开启可再生能源大基地建设，逐步形成太阳能热发电加光伏和风电的大型可再生能源电源布局。太阳能热发电在其中起调节电力系统稳定性的作用。在此场景下，太阳能热发电大规模发展面临的主要问题是降低聚光器成本、提高集热系统温度、提高热电转化效率，储热设备和系统频繁大功率充/释热可靠性等方面。

降低聚光器成本和提高聚光场效率一直是推进太阳能热发电产业化的重大课题。2021年9月，美国能源部（DOE）成立了 Renewable Energy National Laboratories, Sandia National Laboratories, Australian Solar Thermal Research Institute 参加的 DOE 定日镜财团（DOE's Heliostat Consortium, 简写 HelioCon）。DOE 从 2021 年起，拨款 2500 万美元支持 HelioCon 5 年，HelioCon 与工业界一道正努力实现 DOE 制定的 2030 年定日镜成本（包括现场安装）50 美元/m² 的目标；据 HelioCon 的报告，2022 年该成本为 140 美元/m²。2022 年 9 月，HelioCon 出版了《Roadmap to Advance Heliostat Technologies for Concentrating Solar-Thermal Power》对太阳能热发电定日镜技术发展进行了详细的阐述。

太阳能热发电的发展与光伏是相伴的，有必要先了解一下光伏的发展情况。全球光伏的基本情况如下。到 2021 年底，全球安装的光伏系统超过 843 GW，比 2010 年增长了近 21 倍。2021 年新增 133GW，比 2020 年安装量增加 13%，成为 2021 年新增最多的可再生能源。全球规模化光伏电站的 LCOE 从 2010 年的 0.417 美元/kWh 到 2021 的 0.048 美元/kWh，光伏发电成本下降了 88%。光伏系统的全球加权平均安装成本 2021 为 857 美元/kW，比 2010 年下降 82%，比 2020 年低 6%（RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2021, IRENA 2022）。

太阳能热发电基本情况如下，截至 2022 年底，全球安装的太阳能热发电系统累计安装超过 7.05GW，比 2010 年增长了 5.26 倍（数据来源：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟，2022）。

8.1 单位 kW 造价和运维成本降低

全球太阳能热发电的 LCOE 从 2010 年的 0.358 美元/kWh 到 2020 的 0.114 美元/kWh，十年来下降 70%。太阳能热发电系统的全球加权平均单位 kW 造价 2021 为 4746 美元/kW，比 2010 年下降 50%，成本降低中各部分对降低的贡献比例如下：电站装机成本 64%、容量因子提高 17%、运营和维护（O&M）贡献 10%，加权平均资本成本贡献 9%。（数据来源，RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2021, IRENA 2022）

要注意的是，由于储热部分的投资，太阳能热发电系统的单位 kW 造价和储热时长有关。2021 年太阳能热发电单位 kW 造价为 9090 美元/kW，比 2010 年仅低 4%。然而这个增加应该谨慎解读，2021 全球只有一个储热时长 17.5 小时光热电站并网，即位于智利 Atacama 沙漠的 110MW Cerro Dominador

塔式电站，该电站的储热时长（17.5 小时）拉高了 2021 年的太阳能热发电单位 kW 造价（数据来源，RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2021，IRENA 2022）。

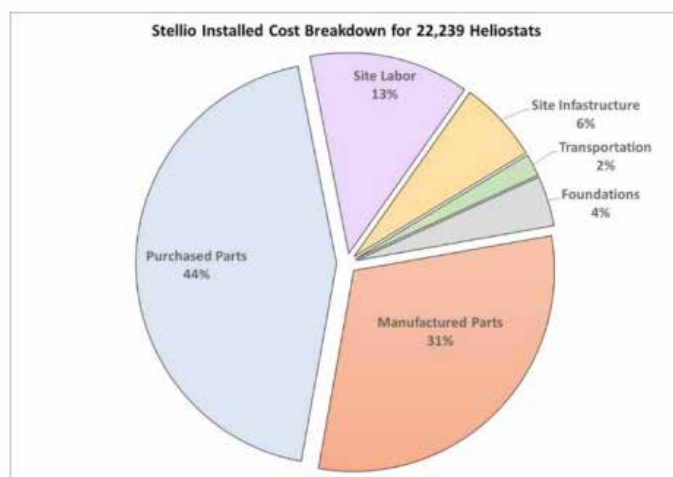
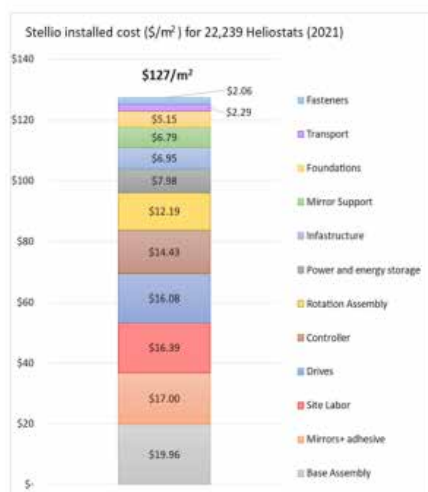
2022 年，全球运行的数个太阳能热发电站证明了其具有 7 天 24 小时满负荷发电能力，中广核德令哈 5 万 kW 槽式电站 2021-2022 年连续运行 230 天，这对提升电站的价值提供了坚实数据。如前所述，在太阳能热发电站总投资中，聚光、吸热和储热系统成本所占比例较高。根据国家太阳能光热产业技术创新战略联盟的研究报告显示，在中国建设的塔式电站中，设备购置费约占总投资的 73%，安装费约占 12%，建筑工程约占 9%，其他约占 6%。其中，设备购置部分，成本下降的主要途径如下表所示。

表：太阳能热发电成本下降途径

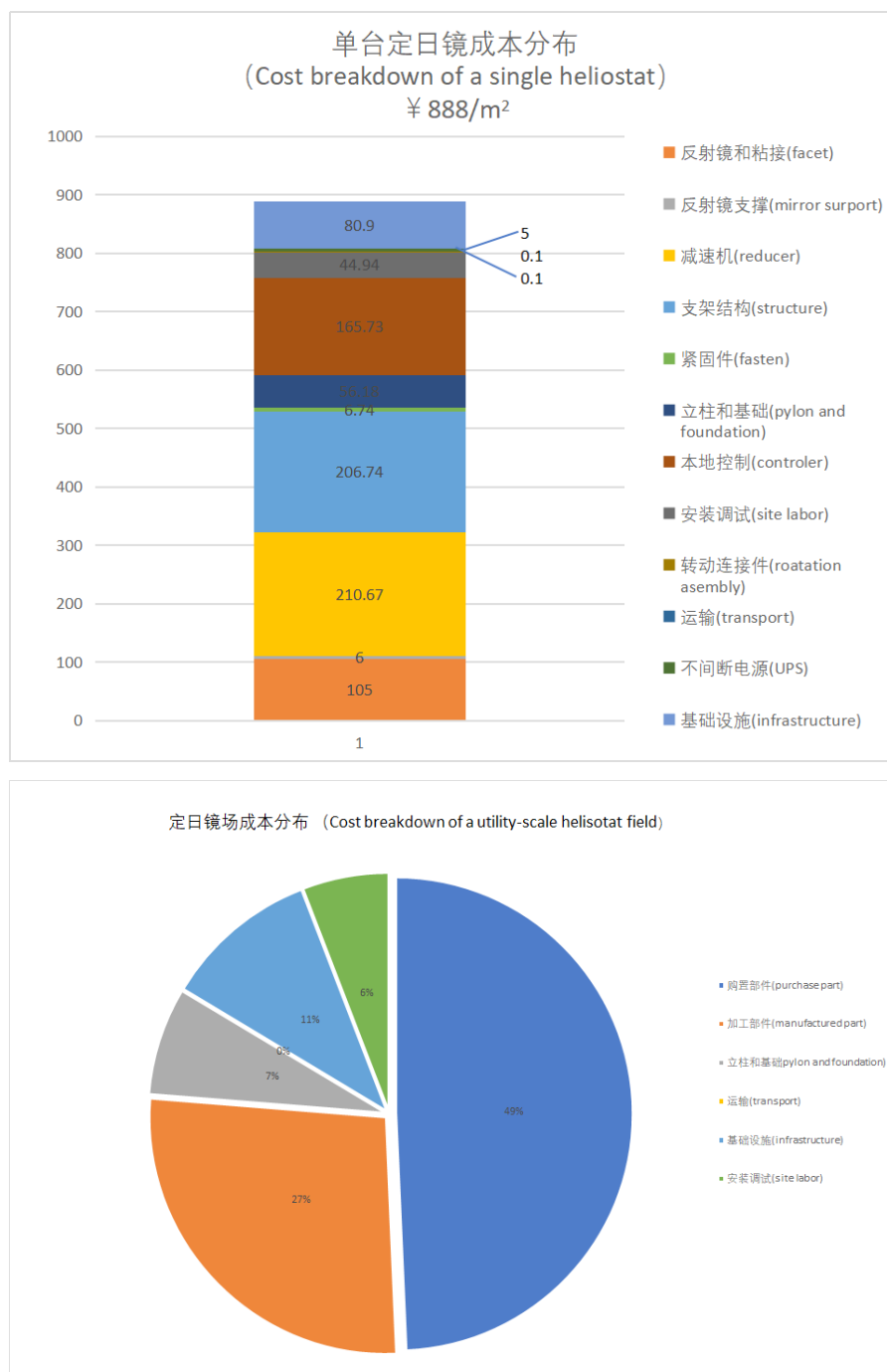
设备	成本下降途径	电站造价降低值（≥，绝对值）
聚光场	定日镜：用钢量降低、生产效率提高、新的传动结构、竞争效益；镜场控制系统：软件、硬件成本下降	10.7%~15.4%
吸热器系统	材料国产化、加工优化及产业规模化	1.03%~1.49%
储换热系统	储罐设计优化、加工成熟、集中采购；熔盐阀门及熔盐泵国产化；运维费降低；熔盐规模化发展	3.59%~5.66%
热力发电系统	设计优化、集中采购	1.4%~2.1%

定日镜成本对单位 kW 造价有重要影响。2021 年，定日镜安装后成本是 140 美元 /m²，DOE 的目标是 2030 年降低到 50 美元 /m²。本报告列出 2022 年中国哈密塔式电站的定日镜场和河北张家口某项目定日镜场的成本分布，供读者参考。

中国哈密 50MW 塔式电站定日镜的成本分布如下。（数据来源：Roadmap to Advance Heliostat Technologies for Concentrating Solar-Thermal Power, 2022 Heligen）



我国位于河北张家口的太阳能塔式聚光系统的各部分成本分布如下图所示。（数据来源：中国科学院电工研究所，达华工程集团）



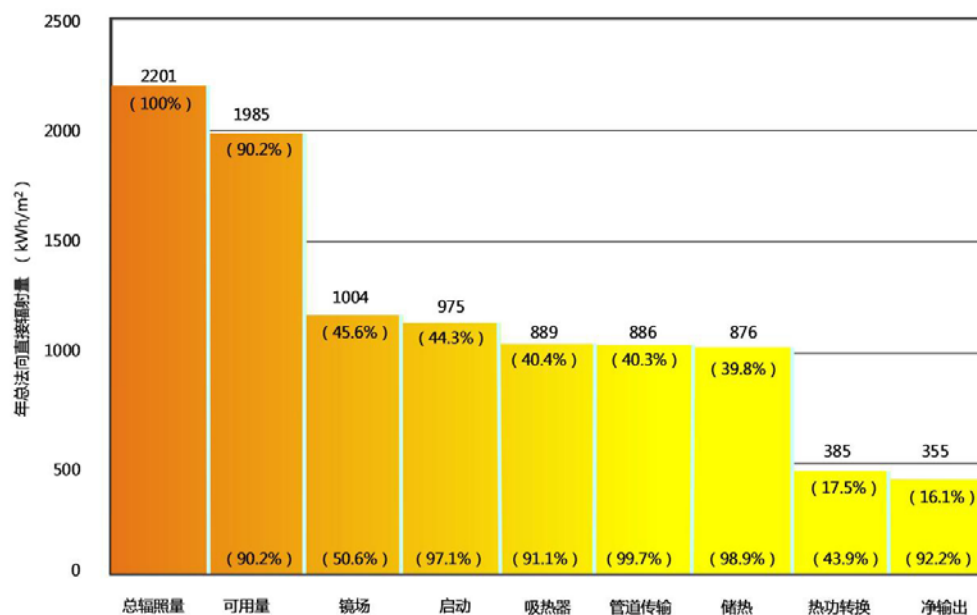
图：我国某项目定日镜成本构成

2022年1-7月，我国东、中、西部和东北地区全社会用电量分别为22845、9481、14361和2615亿kWh，增速分别为1.7%、7.5%、4.2%和0.1%。可见由于耗能产业西移，致使中西部地区用电量增幅较快，西部能源基地的电力传输成本会有所下降，这对太阳能电站与当地火电的价格差距拉近是有好处的。

8.2 效率的提升

太阳能热发电的基本过程涉及聚光、传热和热功转换等方面，太阳能通过热的形式转换成电能需要经过多个能量转换和传输过程。从 2022 年开始，补贴取消，太阳能热发电与光伏和风电打捆成为今后太阳能热发电发展的最主要形式。在此情形下，光伏和风电无法上网部分的电力将进入太阳能热发电的储能系统，传统的太阳能热发电设计理论需要考虑高品位电力输入后的高效电力转换的问题，以期得到低的储电成本和能进行灵活调峰。

太阳能热发电技术与其他采用热功转换发电的能源一样，其学科体系以工程热物理学科基础，并与光学、力学、信息、材料等多学科交叉。下图是一座典型塔式太阳能热发电站的能量传递构成图。由图可见，聚光、吸热及热功转换过程是构成系统能量和效率损失的主要部分，占总损失的 97%，因此提高太阳能热发电效率关键在于提高集热及热功转换过程的效率，尤其是热功转换过程的效率。国内外的研究也大都集中于这两个过程。对现有熔盐塔式通过下图所列各部分的优化，太阳热发电系统效率可提升 12%~27%。



制图：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟 CSTA

图：典型太阳能热发电系统各环节效率及能量损失情况

表：工程角度建议的熔盐塔式技术优化项

技术	优化项	提升值 (≥, 绝对值)
定日镜清洁技术	清洁度	2%~6% ↑
云预测技术	弃光率	2%~4% ↓
定日镜镜面工艺	反射率	0.4%~1% ↑
镜场排布优化	镜场效率	0.4%~0.7% ↑
截断效率优化	截断效率	1%~2% ↑

吸热器涂层	吸热器表面吸收率	1%~2% ↑
汽轮机效率	汽轮机效率	1%~1.5% ↑
设备的可靠性模型研究	设备可用率	1%~2% ↑
全场优化运营技术	发电量	1%~2% ↑
光伏代替部分厂用电	厂用电率	4%~6% ↓
改进系统的保温效果	厂用电、储热效率	/
最佳规模带来经济性的改善	成本	2 分钱 ↓

8.3 太阳能热发电技术和产业发展建议

未来，我国太阳能热发电产业需要围绕以下十个方面开展工作：

1、太阳能集热和弃风弃光耦合系统的热力学分析。因为出现太阳辐射、电、热以及热电的相互转换，基于热力学第二定律效率模型是亟须研究的内容。由于有电力的存在，化学能在存储中的作用也在该体系中可能出现，需要从热经济学的角度对该系统进行细致、系统地研究。

2、百万千瓦级电热转换方式的研究。2022 年，在我国西部建设的太阳能热发电与光伏和风电的发电功率比典型是 1:9。10 万 kW 级的太阳能热发电站熔融盐罐体应对 100 万 kW 的光伏和风电涌入的冲击，因此，在储热部分百万千瓦级的大功率熔融盐电加热方式也是 2022 年以后需要重点研究的内容。

3、测试在运的列入国家示范项目的太阳能热发电站。应对 2018 年 12 月底以来运行的太阳能热发电站进行详细的性能测试，包括核心设备，子系统和全系统，辅机设备的性能参数。形成详细的测试调研报告，基于数据梳理经验教训，得出设备设计方法，运行操作规范、系统设计规范和事故处理大纲，总结出一批行业和国家标准。这对今后我国太阳能热发电的发展至关重要。

4、高温集热储热换热：储热是太阳能热发电连续性的一个重要因素。储热问题涉及材料和热学的耦合，其中，800℃以上的固体储热和熔融盐储热是今后应对混合型电站较有前景的储热材料。需要对高可靠性储热材料和系统，具有固有安全性的熔融盐吸热储热系统设计方法等进行研究。对热化学储热加强基础研究。可耐受频繁热冲击的储热换热器也是必要的研究内容；对于吸热颗粒，应侧重其耐磨性能的研究。

5、聚光器：聚光器成本约占整个太阳能热发电站投资的 50%，全球的太阳能热发电定日镜和槽式聚光器的成本指标差别不大，未来应侧重提高聚光准确度，减少吸热器溢出损失。为此需研制聚光器误差的光学测量和校准系统。对于塔式电站，定日镜误差也是影响定日镜用量的重要因素，定日镜误差从 3 mrad 降低到 2 mrad，在甘肃敦煌 100MW 电站使用的定日镜面积减少 2.4%。

6、吸热器：吸热器在高温、非均匀和非稳定热流边界条件下工作，需具备一定的抗疲劳寿命，吸热器的安全性是吸热器最重要的指标。需要对吸热器的用材以及运行相关的力学和传热特性进行耦合探索，研制固有安全性和长寿命的太阳能吸热器。在 800℃以上高温吸热器方面，颗粒吸热器是目前唯一可行的方式，应加强该类吸热器在室外风况条件下可靠性和吸热颗粒质量损失的研究；由于吸热颗粒也用于储热，应对吸热和储热放热进行耦合研究，研究颗粒吸热器中高密度辐射传递规律，得到综合最佳



的集热储热全系统放热效率。

7、太阳能部件生产线专用设备：太阳能关键部件生产线技术在我国发展缓慢。目前在玻璃镜、吸热管、聚光器、专用透平等生产线方面的研究成果还不足以支撑大规模工业化的需要。需要在规模化实践中完善产品的质量控制技术和工艺，建立聚光、吸热和传热部件的生产线和生产工艺。

8、性能检测设备研究：高能流密度测量系统，生产线和现场的聚光器误差测量仪器，槽式集热器聚光误差测试仪器，高温颗粒流量计。

9、技术规范和标准：建立太阳能热发电核心材料、装备和系统性能评价的规范和标准。通过对新型聚光形式、聚光系统优化设计、适应于不同形式热发电技术、不同工质类型和运行温度的吸热器技术、储热材料与储热系统、高效热电转化技术等领域的研发和关注，推动我国太阳能热发电技术向高参数—高效率—低成本—基础负荷方向发展。

10、超临界二氧化碳太阳能热发电技术：1000 小时无大修的 800℃ 太阳能吸热器，能流密度为 1200 kW/m² 的聚光场，5 万 kWth 级颗粒 / 二氧化碳换热器，1 万 kW 超临界二氧化碳压缩机透平。

九、附录

9.1 我国太阳能热发电行业发展主要历程

2006.11

“十一五”国家高技术研究发展计划（863 计划）先进能源技术领域“太阳能热发电技术及系统示范”重点项目成功立项。项目共有 5 个课题，课题 1：太阳能塔式热发电系统总体设计技术及系统集成（中国科学院电工研究所）；课题 2：高精度日光定位方式研究及成套设备开发（皇明太阳能集团有限公司）；课题 3：高可靠性吸热、传热、蓄热方式的研究和系统建立（中国科学院电工研究所）；课题 4：全厂集中控制技术（河海大学）；课题 5：太阳能热发电实验平台建设（西安交通大学）。中科院电工所王志峰研究员担任项目负责人。

2009.10

国家重点基础研究计划（973 计划）“高效规模化太阳能热发电的基础研究”项目正式启动。2014 年 9 月通过科技部验收。

2011.5

我国第一个太阳能热发电工程项目——鄂尔多斯 50MW 槽式太阳能热发电电站完成特许权示范招标。

2012.5

兰州大成自主研发的 200kW 槽式 + 线性菲涅耳聚光太阳能光热发电试验系统并网发电。

2012.7

“太阳能热发电技术及系统示范”项目通过验收。作为国家 863 高技术科学试验项目，建成了我国首座兆瓦级塔式光热电站，并且额外完成了发电设施建设工作。专家组认为：项目的建设为中国太阳能热发电技术的发展提供了有力支撑，培养了一支活跃于太阳能热发电领域的高水平技术队伍，为我国太阳能热发电技术的发展奠定了基础。

2012.7

国家能源局印发《太阳能发电发展“十二五”规划》，光热发电装机目标 1GW。

2012.7

科技部“十二五”主题项目“太阳能槽式集热发电技术研究与示范”项目启动。

2012.8

我国首座 1MW 塔式太阳能热发电实验电站在北京延庆首次成功发电。

2012.9

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，就太阳能热发电产业发展政策开展课题研究。

2012.10

华能清洁能源技术研究院和华能海南公司共同研发建设的 1.5MWth 线性菲涅尔式光热联合循环混合电站在海南三亚投产，项目产生的过热蒸汽接入华能南山电厂发电机组的补汽口并供给汽轮机发电。

2013.4

国家能源局委托水电总院和电规总院就“我国太阳能热发电项目的资源普查和选址方案”及“光热发电示范工程的技术条件及实施方案”进行研究。

2013.5

太阳能光热联盟完成《太阳能热发电产业发展政策研究》专题报告并提交国家能源局。

2013.7

青海中控德令哈 10MW 光热示范工程并网发电。

2013.10

1MW 太阳能线性菲涅尔式热电联供项目在西藏开工建设。

2014.2

国家能源局会同国家发改委价格司组织召开光热发电示范项目电价政策座谈会。

2014.7

1MW 太阳能槽式热发电系统在北京延庆开工建设。

2014.8

首航投资开发的敦煌 10MW 熔盐塔式光热发电项目在敦煌开工。

2014.9

国家发改委核定青海中控德令哈 10MW 光热示范工程上网电价（含税）为每千瓦时 1.2 元。

2014.12

“十二五”国家科技支撑计划项目“太阳能热发电槽式高温集热管研发及产业化”通过科技部组织的项目验收。

2015.3

华强兆阳张家口 15MW 类菲涅耳式光热电站开工建设。

2015.7

国家能源局原副局长刘琦赴青海省海西州调研光热发电项目，并在太阳能热发电产业发展座谈会上明确表示：要继续深化完善太阳能热发电的资源调查评价工作，做好太阳能热发电“十三五”规划，提出指导性的发展目标，给行业发展增强信心；要尽快启动一批示范工程，早起步、早探索、早积累，为产业的大规模发展奠定坚实基础；要抓紧协调出台相关支持政策，特别是示范项目的电价政策；要聚焦太阳能热发电关键技术，国家借助企业平台，整合各种资源，组织力量进行核心技术攻关，努力占领太阳能热发电技术的国际竞争制高点。

- 2015.9
国家能源局发布《关于组织太阳能热发电示范项目建设的通知》。文件提出：为推动我国太阳能热发电技术产业化发展，决定组织一批太阳能热发电示范项目建设。
- 2015.10
兰州大成 1MW 屋顶线性菲涅尔式太阳能热电联供电站建成投产。
- 2015.11
水电水利规划设计总院牵头，联合电力规划设计总院和国家太阳能光热产业技术创新战略联盟共同开展了太阳能热发电示范项目评审工作。
- 2016.8
青海中控德令哈 10MW 光热电站将水 / 蒸汽传热介质改为熔盐后成功并网发电。
- 2016.8
国家发改委发布《关于太阳能热发电标杆上网电价政策的通知》，明确国家能源局 2016 年组织实施的太阳能热发电示范目标标杆上网电价为每千瓦时 1.15 元（含税）。2018 年 12 月 31 日以前全部投运的太阳能热发电项目执行上述标杆上网电价。
- 2016.9
国家能源局发布《关于建设太阳能热发电示范项目的通知》，确定第一批太阳能热发电示范项目共 20 个，总计装机容量 134.9 万千瓦。
- 2016.11
国家发改委、国家能源局发布《电力发展“十三五”规划》，光热发电装机目标 5GW。
- 2016.12
首航敦煌 10MW 熔盐塔式太阳能热发电项目一次并网发电成功。
- 2017.5
1MW 太阳能槽式热发电系统在北京延庆完成建设后进入试运行。
- 2018.5
国家能源局发布《关于推进太阳能热发电示范项目建设有关事项的通知》。文件提出，首批示范项目建设期限可放宽至 2020 年 12 月 31 日，同时建立逾期投运项目电价退坡机制，具体价格水平由国家发展改革委价格司另行发文明确。
- 2018.6
华强兆阳张家口 15MW 光热电站通过 24 小时连续发电测试。
- 2018.10~2018.12
中广核德令哈 50MW 槽式、首航敦煌 100MW 塔式、青海中控德令哈 50MW 塔式光热示范电站并网发电。
- 2019.6
国家重点研发计划“超临界 CO₂ 太阳能热发电关键基础问题研究”项目启动。

2019.9~2019.12

中电建共和 50MW 塔式、兰州大成 50MW 线性菲涅耳式、中能建哈密 50MW 塔式光热示范电站，以及鲁能海西州多能互补示范项目 50MW 塔式电站并网发电。

2020.1

内蒙古乌拉特 100MW 槽式光热示范电站并网发电。

2020.2

财政部、国家发改委、国家能源局联合发布《关于促进非水可再生能源发电健康发展的若干意见》。文件提出：新增海上风电和光热项目不再纳入中央财政补贴范围，按规定完成核准（备案）并于 2021 年 12 月 31 日前全部机组完成并网的存量光热发电项目，按相应价格政策纳入中央财政补贴范围。

2021.6

国家发改委发布《关于 2021 年新能源上网电价政策有关事项的通知》。文件提出：2021 年起，新核准（备案）海上风电项目、光热发电项目上网电价由当地省级价格主管部门制定，具备条件的可通过竞争性配置方式形成，上网电价高于当地燃煤发电基准价的，基准价以内的部分由电网企业结算。鼓励各地出台针对性扶持政策，支持光伏发电、陆上风电、海上风电、光热发电等新能源产业持续健康发展。

2021.6

国家发改委办公厅发至国家能源局综合司《关于落实好 2021 年新能源上网电价政策有关事项的函》明确：对国家能源局确定的首批光热发电示范项目，于 2021 年底前全容量并网的，上网电价继续按每千瓦时 1.15 元执行，之后并网的示范项目中央财政不再补贴。

2021.7

国家发展改革委国家能源局发布《关于鼓励可再生能源发电企业自建或购买调峰能力增加并网规模的通知》，鼓励多渠道增加调峰资源。承担可再生能源消纳对应的调峰资源，包括抽水蓄能电站、化学储能等新型储能、气电、光热电站、灵活性制造改造的煤电。超过电网企业保障性并网以外的规模初期按照功率 15% 的挂钩比例（时长 4 小时以上）配建调峰能力，按照 20% 以上挂钩比例进行配建的优先并网。

2021.10

国务院印发《2030 年前碳达峰行动方案》。方案提出：积极发展太阳能光热发电，推动建立光热发电与光伏发电、风电互补调节的风光热综合可再生能源发电基地。加快建设新型电力系统。构建新能源占比逐渐提高的新型电力系统，推动清洁电力资源大范围优化配置。大力提升电力系统综合调节能力，加快灵活调节电源建设；加快新型储能示范推广应用。

2021.11

三峡恒基能脉瓜州“10 万千瓦光热 +20 万千瓦光伏 +40 万千瓦风电”项目启动场平建设。

2022.2

国家发改委国家能源局发布《关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》。文件

提出：完善灵活性电源建设和运行机制。发挥太阳能热发电的调节作用；完善支持灵活性煤电机组、天然气调峰机组、水电、太阳能热发电和储能等调节性电源运行的价格补偿机制。

2022.3

国家发改委国家能源局印发《“十四五”现代能源体系规划》。文件提出：加快推进以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地项目建设，积极推进黄河上游、新疆、冀北等多能互补清洁能源基地建设。积极发展太阳能热发电；增强电源协调优化运行能力，因地制宜建设天然气调峰电站和发展储热型太阳能热发电，在青海、新疆、甘肃、内蒙古等地区推动太阳能热发电与风电、光伏发电配套发展，联合运行。

2022.3

国家能源局印发《2022年能源工作指导意见》。文件提出：积极探索作为支撑、调节性电源的光热发电示范。扎实推进在沙漠、戈壁、荒漠地区的大型风电光伏基地中，建设光热发电项目。

2022.3

国家市场监督管理总局发布《“十四五”市场监管科技发展规划》。文件提出：研发氢能、油气、光热发电等重要产业领域场景高适应性检测监测技术及装备。

2022.3

金塔中光太阳能“10万千瓦光热+60万千瓦光伏”项目启动场平等建设。

2022.4

国家能源局、科学技术部印发《“十四五”能源领域科技创新规划》。文件提出：集中攻关开展热化学转化和热化学储能材料研究，探索太阳能热化学转化与其他可再生能源互补技术，研发中温太阳能驱动热化学燃料转化反应技术，研制兆瓦级太阳能热化学发电装置；应用推广开发光热发电与其他新能源多能互补集成系统，发掘光热发电调峰特性，推动光热发电在调峰、综合能源等多场景应用。

2022.5

国务院办公厅转发国家发展改革委国家能源局《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》。文件提出：加快构建适应新能源占比逐渐提高的新型电力系统。全面提升电力系统调节能力和灵活性。完善调峰调频电源补偿机制，加大煤电机组灵活性改造、水电扩机、抽水蓄能和太阳能热发电项目建设力度，推动新型储能快速发展。研究储能成本回收机制。鼓励西部等光照条件好的地区使用太阳能热发电作为调峰电源。

2022.6

国家发展改革委国家能源局财政部自然资源部生态环境部住房和城乡建设部农业农村部中国气象局国家林业和草原局联合印发《“十四五”可再生能源发展规划》。文件提出：有序推进长时储热型太阳能热发电发展。推进关键核心技术攻关，推动太阳能热发电成本明显下降。在青海、甘肃、新疆、内蒙古、吉林等资源优质区域，发挥太阳能热发电储能调节能力和系统支撑能力，建设长时储热型太阳能热发电项目，推动太阳能热发电与风电、光伏发电基地一体化建设运行，提升新能源发电的稳定性可靠性。推进光热发电工程施工技术与配套装备创新，研发光热电站集成技术。

2022.8

科技部、国家发展改革委、工业和信息化部、生态环境部、住房城乡建设部、交通运输部、中科院工程院、国家能源局联合印发《科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022—2030年）》。文件提出：研发高可靠性、低成本太阳能热发电与热电联产技术，突破高温吸热传热储热关键材料与装备。

2022.8

工业和信息化部、财政部、商务部、国务院国有资产监督管理委员会、国家市场监督管理总局、联合印发《加快电力装备绿色低碳创新发展行动计划的通知》。文件提出：推进火电、水电、核电、风电、太阳能、氢能、储能、输电、配电及用电等 10 个领域电力装备绿色低碳发展。积极发展太阳能光热发电，推动建立光热发电与光伏、储能等多能互补集成。

2022.8

阿克塞汇东新能源“11 万千瓦光热 +64 万千瓦光伏发电”试点项目启动临建工程建设。

2022.9

中核玉门新奥“10 万千瓦光热 +40 万千瓦光伏 +20 万千瓦风电”项目启动建设。

2022.9

国家电投河南公司新疆鄯善“90 万千瓦光伏 +10 万千瓦光热”一体化项目开始临建场地浇筑。

2022.10

国家能源局发布《能源碳达峰碳中和标准化提升行动计划》。文件提出：抓紧完善沙漠、戈壁、荒漠地区大型风电光伏基地建设有关技术标准。建立完善光伏发电、光热发电标准体系。

2022.10

宝武清洁能源西藏扎布耶源网荷储一体化综合能源供应项目三通一平工程开工（光热 40MW）。

2022.10

国家市场监督管理总局、国家发展改革委、工业和信息化部、自然资源部、生态环境部、住房城乡建设部、交通运输部、中国气象局、国家林草局发布《关于印发建立健全碳达峰碳中和标准计量体系实施方案的通知》。文件提出：开展塔式、槽式、菲涅尔式等型式光热发电设备安装、调试、运行、检修、维护、监造、性能、评估等标准，以及二氧化碳超临界机组、特殊介质机组标准研究。研究制定中高温太阳能热利用系列标准。

2022.11

中国能建哈密“光（热）储”1500MW 多能互补一体化绿电示范项目（光热 150MW）动工。

2022.11

中广核新能源西藏阿里地区源网荷储一体化热电示范项目 110kV 升压站带电成功。

2022.12

中国能建投资公司吉西基地鲁固直流 140 万千瓦外送项目 2-2（245MW）开工（奠基）。



9.2 我国 2022 年发布的太阳能热发电相关政策

表：我国 2022 年发布的太阳能热发电相关政策 (国家太阳能光热产业技术创新战略联盟汇总制表)		
文件名称	发文机构	相关内容
关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见（发改能源〔2022〕206号）	国家发展改革委 国家能源局	完善灵活性电源建设和运行机制。发挥太阳能热发电的调节作用，完善支持灵活性煤电机组、天然气调峰机组、水电、太阳能热发电和储能等调节性电源运行的价格补偿机制。
“十四五”市场监管科技发展规划（国市监科财发〔2022〕29号）	国家市场监督管理总局	研发氢能、油气、光热发电等重要产业领域场景高适应性检测监测技术及装备。
“十四五”现代能源体系规划（发改能源〔2022〕210号）	国家发展改革委 国家能源局	积极发展太阳能热发电；增强电源协调优化运行能力，因地制宜建设天然气调峰电站和发展储热型太阳能热发电，在青海、新疆、甘肃、内蒙古等地区推动太阳能热发电与风电、光伏发电配套发展，联合运行。
2022 年能源工作指导意见（国能发规划〔2022〕31号）	国家能源局	积极探索作为支撑、调节性电源的光热发电示范。扎实推进在沙漠、戈壁、荒漠地区的大型风电光伏基地中，建设光热发电项目。
“十四五”能源领域科技创新规划（国能发科技〔2021〕58号）	国家能源局 科学技术部	集中攻关开展热化学转化和热化学储能材料研究，探索太阳能热化学转化与其他可再生能源互补技术，研发中温太阳能驱动热化学燃料转化反应技术，研制兆瓦级太阳能热化学发电装置；应用推广开发光热发电与其他新能源多能互补集成系统，发掘光热发电调峰特性，推动光热发电在调峰、综合能源等多场景应用。
关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案（国办函〔2022〕39号）	国务院办公厅转发 国家发展改革委 国家能源局	加快构建适应新能源占比逐渐提高的新型电力系统。全面提升电力系统调节能力和灵活性。完善调峰调频电源补偿机制，加大煤电机组灵活性改造、水电扩机、抽水蓄能和太阳能热发电项目建设力度。鼓励西部等光照条件好的地区使用太阳能热发电作为调峰电源。

<p>“十四五”可再生能源发展规划（发改能源〔2021〕1445号）</p>	<p>国家发展改革委 国家能源局 财政部 自然资源部 生态环境部 住房和城乡建设部 农业农村部 中国气象局 国家林业和草原局</p>	<p>有序推进长时储热型太阳能热发电发展。推进关键核心技术攻关，推动太阳能热发电成本明显下降。在青海、甘肃、新疆、内蒙古、吉林等资源优质区域，发挥太阳能热发电储能调节能力和系统支撑能力，建设长时储热型太阳能热发电项目，推动太阳能热发电与风电、光伏发电基地一体化建设运行，提升新能源发电的稳定性可靠性。推进光热发电工程施工技术与配套装备创新，研发光热电站集成技术。</p>
<p>科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022—2030年）（国科发社〔2022〕157号）</p>	<p>科技部 国家发展改革委 工业和信息化部 生态环境部 住房城乡建设部 交通运输部 中科院 工程院 国家能源局</p>	<p>研发高可靠性、低成本太阳能热发电与热电联产技术，突破高温吸热传热储热关键材料与装备。</p>
<p>加快电力装备绿色低碳创新发展行动计划的通知（工信部联重装〔2022〕105号）</p>	<p>工业和信息化部 财政部 商务部 国务院国有资产监督管理委员会 国家市场监督管理总局</p>	<p>推进火电、水电、核电、风电、太阳能、氢能、储能、输电、配电及用电等10个领域电力装备绿色低碳发展。积极发展太阳能光热发电，推动建立光热发电与光伏、储能等多能互补集成。</p>
<p>能源碳达峰碳中和标准化提升行动计划</p>	<p>国家能源局</p>	<p>抓紧完善沙漠、戈壁、荒漠地区大型风电光伏基地建设有关技术标准。建立完善光伏发电、光热发电标准体系。</p>
<p>关于印发建立健全碳达峰碳中和标准计量体系实施方案的通知（国市监计量发〔2022〕92号）</p>	<p>国家市场监管总局 国家发展改革委 工业和信息化部 自然资源部 生态环境部 住房城乡建设部 交通运输部 中国气象局 国家林草局</p>	<p>开展塔式、槽式、菲涅尔式等型式光热发电设备安装、调试、运行、检修、维护、监造、性能、评估等标准，以及二氧化碳超临界机组、特殊介质机组标准研究。研究制定中高温太阳能热利用系列标准。</p>



9.3 我国 2022 年发布的太阳能热发电相关国家标准

标准名称	主要起草单位	归口单位	发布日期
《太阳能热发电站储热系统性能评价导则》 (GB/T 41308-2022)	中国大唐集团新能源科学技术研究院有限公司、中国大唐集团新能源股份有限公司、中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司、思安新能源股份有限公司、内蒙古电力勘测设计院有限责任公司、云南电网有限责任公司电力科学研究院、北京思安综合能源发展有限公司、中广核太阳能开发有限公司、中广核太阳能德令哈有限公司、西安热工研究院有限公司	全国太阳能光热发电标准化技术委员会	2022-03-09
《塔式太阳能热发电站吸热器技术要求》 (GB/T 41303-2022)	中国能源建设集团有限公司、浙江大学、杭州锅炉集团股份有限公司、机械工业北京电工技术经济研究所、中国能源建设集团华东电力试验研究院有限公司、中关村新源太阳能热利用技术服务中心	全国太阳能光热发电标准化技术委员会	2022-03-09
《塔式太阳能热发电站吸热器检测方法》 (GB/T 41307-2022)	中国能源建设集团有限公司、浙江大学、杭州锅炉集团股份有限公司、机械工业北京电工技术经济研究所、中国能源建设集团华东电力试验研究院有限公司、中关村新源太阳能热利用技术服务中心	全国太阳能光热发电标准化技术委员会	2022-03-09
《太阳能热发电站运行指标评价导则》 (GB/T 41992-2022)	中国大唐集团新能源科学技术研究院有限公司、中国大唐集团新能源股份有限公司、内蒙古电力勘测设计院有限责任公司、中广核太阳能开发有限公司、中广核太阳能德令哈有限公司、浙江可胜技术股份有限公司、浙江高晟光热发电技术研究院有限公司	全国太阳能光热发电标准化技术委员会	2022-10-14

9.4 国外 2022 年立项的太阳能热发电科研项目

表：2022 年通过欧盟地平线 2022 获得资助的太阳能热发电项目

(HORIZON-CL5-2021-D3-03)		
序号	项目名称	项目缩写
1	基于氧化还原氧化物结构的热化学换热器 / 热助推器的空气布雷顿循环未来太阳能光热电站 (Air-Brayton cycle concentrated solar power future plants via redox oxides-based structured thermochemical heat exchangers/thermal boosters)	ABrayt CSP future
2	在 sCO ₂ 循环中采用 PCM 存储解决方案的先进混合太阳能发电厂 (Advanced HYBRID solar plant with PCM storage solutions in sCO ₂ cycles)	HYBRID plus
3	太阳能混合空气 - 二氧化碳光热电站 (Solar Hybrid Air-sCO ₂ Power Plants)	SHARP-sCO ₂

表：2022 年美国能源部支持太阳能热发电研发项目

序号	2022 年受资助单位	项目名称	支持阶段
1	Advanced Materials Scientia (Bothell, WA)	Economical Thermal Transfer Media for Generation 3 Concentrating Solar Power System with High Durability 第三代聚光太阳能发电系统高耐久性的经济传热介质	PHASE II
2	Solar Dynamics (Broomfield, CO)	Aerial Solar Thermal Radiometric Observer 空间太阳热辐射观测仪	PHASE II
3	Altitude Grid (Grapevine, TX)	Reinforced Hierarchical Probabilistic Solar Forecasting Tool Based on Dynamic Multi-model Machine Learning 基于动态多模型机器学习的增强分层概率太阳预报工具	PHASE I
4	Physical Sciences (Andover, MA)	Reclaimed Coal Ash as Low-Cost Thermal Energy Storage Material 再生煤灰低成本储热材料研究	PHASE I
5	Solar Dynamics (Bromfield, CO)	Advanced Development and Testing of the SunRing Heliostat SunRing 定日镜的先进开发和测试 (成本降低 40%)	PHASE I
6	Tietronix Software (Houston, TX)	Improving the Non-Intrusive Optical Heliostat Field Optical Error Characterization Method and Tools 改进无干扰式光学定日镜场光学误差表征方法与工具	PHASE I
7	Ultra Safe Nuclear Corporation (Seattle, WA)	Affordable, Reliable, High-Performance Ceramic Components for CSP 价格合理、可靠且高性能的 CSP 陶瓷组件	PHASE I



9.5 我国在建太阳能热发电项目已中标企业汇总

单位名称	项目名称	中标项目	备注
浙江可胜技术股份有限公司	青豫直流二期外送项目 2 标段 90 万千瓦光伏 +10 万千瓦光热发电项目	开发建设	由国家电投黄河水电牵头、联合中海油融风能源
	青豫直流二期外送项目 3 标段 10 万千瓦光热项目	总承包	与中国电建西北院、中国能建浙江火电联合体中标，参与项目的总体设计及工程管理，并负责聚光集热系统的技术方案、设备集成供货、以及与之相关的调试与运行指导服务
	青海众控德令哈 115 万千瓦光伏 +20 万千瓦光热互补项目	开发建设	
	金塔中光太阳能 70 万千瓦光热光伏项目	开发建设	金塔中光太阳能发电有限公司
	吉西基地鲁固直流白城 140 万千瓦外送项目 -2 单元（共建 100MW 光热电站）	聚光吸热设备	
首航高科能源技术股份有限公司	三峡能源青海格尔木 10 万千瓦光热发电项目	总承包	与中电工程西北院、中国电建四川工程、上海勘测院联合体中标，负责光热发电项目总承包管理，并负责提供镜场设备及控制系统、吸热器及集热系统、储热系统、空冷系统等主要光热电站设备供货
	青豫直流二期外送项目 3 标段 90 万千瓦光伏 +10 万千瓦光热发电项目	开发建设	由三峡新能源牵头
	国投若羌 10 万千瓦光热发电项目	总承包	与中电工程华北院联合体中标，负责提供聚光集热系统方案和设备供应（含定日镜及控制系统、吸热气及辅助设备）、储热系统、化盐系统、空冷系统设备及相应的建安工程
	哈密北 10 万千瓦光热发电项目	总承包	与中电工程华北院、中能建西北城建（联合体）中标
三峡恒基能脉（酒泉）新能源发电有限公司	三峡恒基能脉瓜州“10 万千瓦光热 +20 万千瓦光伏 +40 万千瓦风电”项目	开发建设	恒基能脉新能源科技有限公司控股 51%，中国三峡新能源（集团）股份有限公司持股 49%

甘肃省安装建设集团有限公司	三峡恒基能脉瓜州“10万千瓦光热+20万千瓦光伏+40万千瓦风电”项目	总承包	与葛洲坝电力（牵头）、恒基能脉新能源联合体中标
兰州大成科技股份有限公司	中核集团玉门“光热储能+光伏+风电”示范项目10万千瓦光热储能工程	总承包	与中电工程西北院联合中标，兰州大成科技子公司——敦煌大成晟能新能源签约
浙江中光新能源科技有限公司	吉西基地鲁固直流白城140万千瓦外送项目-1单元（共建100MW光热电站）	开发建设	由国家能源集团牵头
山东电力建设第三工程有限公司	西藏扎布耶源网荷储一体化综合能源供应项目40MW光热电站和光伏及储能工程	总承包	
中国能源建设集团浙江火电建设有限公司	中国能源建设集团鄯善县1GW光热+光伏一体化项目	总承包	
上海蓝滨石化设备有限责任公司	阿克塞县汇东新能源有限责任公司11万千瓦光热+64万千瓦光伏试点项目	储罐成套设备供货及安装工程	
西子清洁能源装备制造股份有限公司	吉西基地鲁固直流白城140万千瓦外送项目-2单元（共建100MW光热电站）	蒸汽发生系统	
东方电气集团东方锅炉股份有限公司	阿克塞县汇东新能源有限责任公司11万千瓦光热+64万千瓦光伏试点项目	聚光集热设备	
中国船舶重工集团新能源有限责任公司	西藏扎布耶源网荷储一体化综合能源供应项目40MW光热电站	工艺设计与主工艺设备集成供货服务	
山东济南发电设备厂	金塔中光太阳能70万千瓦光热光伏项目	发电机	
	中核集团玉门“10万千瓦光热+20万千瓦风电+40万千瓦光伏”项目	发电机	



江苏飞跃泵业股份有限公司	金塔中光太阳能“10万千瓦光热+60万千瓦光伏”项目	熔盐泵	
	吉西基地鲁固直流白城140万千瓦外送项目-2单元（共建100MW光热电站）	热盐泵及调温泵，冷盐泵	
奥展实业有限公司	金塔中光太阳能70万千瓦光热光伏项目	紧固件	
上海锅炉厂有限公司	阿克塞县汇东新能源有限责任公司11万千瓦光热+64万千瓦光伏试点项目	熔盐蒸汽发生系统成套供货	
上海电气斯必克工程技术有限公司	阿克塞县汇东新能源有限责任公司11万千瓦光热+64万千瓦光伏试点项目	光热项目直接空冷凝汽器设备	
	中核集团玉门“10万千瓦光热+20万千瓦风电+40万千瓦光伏”项目	直接空冷系统	
济南华威泵业有限公司	阿克塞县汇东新能源有限责任公司11万千瓦光热+64万千瓦光伏试点项目	熔盐调温泵设备	
哈尔滨锅炉厂有限责任公司	三峡恒基能脉瓜州70万千瓦“光热储能+”项目	吸热器	
东方电气集团东方汽轮机有限公司	吉西基地鲁固直流白城140万千瓦外送项目-2单元（共建100MW光热电站）	汽轮发电机组	
	西藏扎布耶盐湖绿色综合开发利用万吨级碳酸锂能源供应项目	汽轮机	
哈尔滨汽轮机厂有限责任公司	恒基伟业（三峡集团）瓜州“10万千瓦光热+20万千瓦光伏+40万千瓦风电”项目	汽轮机	
	中核集团玉门“10万千瓦光热+20万千瓦风电+40万千瓦光伏”项目	汽轮机	
<p>说明：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟秘书处根据公开信息整理，内容如有疏漏，敬请谅解。考虑篇幅，备注中企业用简称。</p>			

9.6 国内外太阳能热发电项目参建设计院汇总

参与国内外太阳能热发电项目建设的设计院及服务内容汇总 (国家太阳能光热产业技术创新战略联盟统计制表)			
单位名称	项目名称	服务内容	备注
中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司	三峡能源青海格尔木 10 万千瓦光热项目	联合总承包	与首航高科、中国电建四川工程、上海勘测院联合体中标
	中核集团玉门“光热储能+光伏+风电”示范项目 10 万千瓦光热储能工程	可研、联合总承包	与兰州大成子公司——敦煌大成晟能新能源联合体中标总承包
	中广核太阳能德令哈 80 万千瓦光伏+20 万千瓦光热项目	设计监理	
	大唐石城子 100 万千瓦“光热+光伏”一体化清洁能源示范项目	项目可研(含地勘)	
	西安热工院 50MW 光热超临界 CO2 循环发电系统	工程设计	
	中广核太阳能德令哈 80 万千瓦光伏+20 万千瓦光热项目	开发建设	
	华能张掖市高台 70 万千瓦光热光伏示范项目	可研	
	迪拜 950MW 太阳能混合项目(光热为 3*200MW 槽式+1*100MW 塔式)	塔式电站设计咨询	
	玉门油田 2022 水电厂玉门油田光热+风光发电示范项目	预可研	
	希腊米诺斯(MINOS) 50MW 塔式光热发电项目	可研	
	中电工程哈密 50MW 塔式光热发电项目	总承包	国家首批示范项目(包括镜场、储热岛和常规岛在内的全部工作)
	中广核德令哈 50MW 光热发电项目	工程可研、常规岛总承包、可行性分析	国家首批示范项目
	青海德令哈 50MW 光热发电项目	可研及总体设计	国家首批示范项目
	青海德令哈一期 10MW 光热发电项目	熔盐改造施工图设计	试验项目
	兰州大成敦煌熔盐线性菲涅耳式 50MW 光热发电项目	可研	国家首批示范项目
兰州大成敦煌熔盐线性菲涅耳式一期 10MW 项目	参与设计	试验项目	
摩洛哥努奥三期塔式 150MW 光热发电项目	设计(发电单元、BOP 以及全厂土建)	由山东电建三公司总承包	
中科院电工所八达岭 1MW 塔式光热发电科研项目	项目设计	科技部“十一五”863 项目	



中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司	中电建共和 90 万千瓦光伏 +10 万千瓦光热发电项目	开发建设	由海南州西北水电新能源有限公司建设
	青豫直流二期外送项目 1 标段 90 万千瓦光伏 +10 万千瓦光热发电项目	开发建设	由国家能源集团牵头
	青豫直流二期外送项目 3 标段 100MW 光热项目	联合总承包	与可胜技术、中国能建浙江火电联合体中标
	中广核太阳能德令哈 80 万千瓦光伏 +20 万千瓦光热项目	初设	
	金塔中光太阳能 70 万千瓦光热光伏项目	可研	
	哈密北 90 万千瓦光伏发电 +10 万千瓦光热发电项目	可研	
	西藏华电那曲色尼区光伏光热一体化项目一期（12 万千瓦光伏 +5 万千瓦光热 +96MWh 储能）	工程可研及前期专题专项设计	
	中电建青海共和熔盐塔式 50MW 光热发电项目	总承包	国家首批示范项目
中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司	吐鲁番市托克逊县乌斯通 10 万千瓦光热 +90 万千瓦光伏一体化项目	可研	联合中国电建水电一局
	中广核太阳能德令哈 80 万千瓦光伏 +20 万千瓦光热项目	可研	
	精河新华新能源有限公司“光热储能新能源”一体化基地项目（10 万千瓦光热 +90 万千瓦光伏）	全阶段勘察设计	
	中广核新能源西藏阿里地区“50MW 光热 +100MW 光伏”源网荷储一体化热电示范项目	初步设计	
	吉西基地鲁固直流白城 140 万千瓦外送项目（2 单元）10 万千瓦光热发电项目	初步设计	
	国家电投赤峰敖汉旗荒漠化地区 200 万千瓦风光热储新型电力系统示范工程项目	规划报告编制	
	兰州大成敦煌 50MW 熔盐线性菲涅耳式光热发电项目	总承包	国家首批示范项目

内蒙古电力勘测设计院有限责任公司	恒基伟业（三峡集团）瓜州 10 万千瓦光热项目	业主工程师	
	中广核新能源西藏阿里地区“50MW 光热 +100MW 光伏”源网荷储一体化热电示范项目	设计监理	
	吉西基地鲁固直流白城 140 万千瓦外送项目（2 单元）10 万千瓦光热发电项目	设计监理	
	鲁能阜康 10 万千瓦熔盐塔式光热项目	可研	
	迪拜 950MW 太阳能混合项目（光热为 3*200MW 槽式 +1*100MW 塔式）	设计咨询、勘测设计等	700MW 光热项目工程设计咨询服务； 100MW 塔式光热发电项目工程（勘察设计：槽式机组全厂性能优化及储热系统关键技术研究技术服务
	中科院电工所延庆 1MW 槽式光热发电试验项目	施工图设计	科技部“十二五”863 项目
	中海阳玉门东镇导热油槽式 50MW 光热发电项目	初步设计、勘察及总体设计	
中国电力工程顾问集团华北电力设计院有限公司	国投若羌 10 万千瓦光热发电项目	联合总承包	与首航高科联合体中标，华北院负责项目的全面设计、勘察，以及除首航高科供货范围外的其他设备供应及相应的建安工程等
	哈密北 10 万千瓦光热发电项目	联合总承包	与首航高科、中能建西北城建（联合体）中标
	内蒙古乌拉特中旗导热油槽式 10 万千瓦光热发电项目	设计	国家首批示范项目
	玉门鑫能熔盐塔式 50MW 光热发电项目	可研	国家首批示范项目
	乌拉特中旗导热油槽式 100MW 光热发电项目	可研	国家首批示范项目
	常州龙腾太阳能热电设备有限公司玉门东镇导热油槽式 5 万千瓦光热发电项目	基础设计	
	深圳市金钒能源科技有限公司阿克塞 5 万千瓦熔盐槽式光热发电项目	可研	
	中海阳玉门东镇导热油槽式 50MW 光热发电项目	可研	
	国电投黄河上游水电开发有限责任公司德令哈水工质塔式 135MW 光热发电项目	可研	
	国华玉门熔盐塔式 100MW 光热发电项目	可研	
达华工程管理（集团）有限公司尚义水工质塔式 50MW 光热发电项目	可研		



中国电力工程顾问集团华东电力设计院有限公司	阿克塞县汇东新能源有限责任公司 11 万千瓦光热 +64 万千瓦光伏试点项目	项目开发、设计	
	迪拜 950MW 太阳能混合项目（光热为 3*200MW 槽式 +1*100MW 塔式）	常规岛勘察设计服务	槽式 1 号机组已经并网发电
中国电力建设集团成都勘测设计研究院有限公司	博州 10 万千瓦储热型光热配建 90 万千瓦新能源项目	全阶段勘察设计	
	西藏自治区改则县拉果错盐湖一期供能（BOO）项目	可研	
中国能源建设集团浙江省电力设计院有限公司	三峡能源青海格尔木 1100MW 光伏光热项目	业主工程师服务	
	青海众控德令哈 135MW 塔式光热发电项目	勘察设计	
河北省电力勘测设计研究院	华强兆阳张家口 15MW 类菲涅耳光热电站	可研	采用兆阳光热技术
	中信张北水工质类菲涅耳式 50MW 光热发电项目	可研	
中国电建集团江西省电力建设有限公司	迪拜 950MW 太阳能混合项目（光热为 3*200MW 槽式 +1*100MW 塔式）	调试、运维	塔式镜场联合亮源进行调试，以及塔式建成后的质保期运维工作；与青岛华晨伟业进行槽式电站运维
中国电力工程顾问集团东北电力设计院有限公司	首航敦煌熔盐塔式 100MW 光热发电示范项目	常规岛校审	国家首批示范项目
中国能源建设集团黑龙江省电力设计院有限公司	内蒙古乌拉特中旗导热油槽式 10 万千瓦光热发电项目	联合总承包	与中船新能、Ingeteam 组成联合体
河北电力勘测设计研究院上海分院	中广核德令哈 50MW 槽式光热发电项目	太阳岛 EPC 技术咨询	国家首批示范项目
上海勘测设计研究院有限公司	三峡能源青海格尔木 100MW 光热项目	联合总承包	与航高科、中电工程西北院、中国电建四川工程组成联合体

中国能源建设集团江苏省电力设计院有限公司	中能建江苏设计院 / 江苏美科青海共和 100 万千瓦源网荷储项目	投资 / 开发建设	与江苏美科共同开发
中国能源建设集团新疆电力设计院有限公司	鲁能阜康 100 万千瓦多能互补（暨新能源市场化并网）项目	全过程监理	
中国电建集团福建省电力勘测设计院有限公司	吐鲁番市托克逊县乌斯通光热光伏一体化项目	工程建设监理	
中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司	华能准格耳旗多能互补项目 10 万千瓦光热项目	规划报告编制 技术咨询服务	
中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司	那曲安多光热 + 风光电一体化项目规划及首期光热发电项目（100MW）	预可行性研究 服务	
湖北省电力勘测设计院有限公司	中电建青海共和 50MW 熔盐塔式光热发电项目	熔盐储罐、疏盐罐设计及安装	与中国电建核电工程联合体； 国家首批示范项目

说明：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟秘书处根据公开信息整理，内容如有疏漏，敬请谅解。考虑篇幅，备注中企业用简称。

9.7 太阳能光热联盟 2021~2022 年度理事单位简介

单位名称 (按拼音排序)	服务范围及业绩
艾杰旭特种玻璃 (大连)有限公司	主要生产和销售太阳能光热用途的高品质超白浮法玻璃、太阳能光伏用途的 TCO 镀膜玻璃、汽车、工业及建筑用途在线低辐射镀膜玻璃和透明浮法玻璃。光热发电用太阳能超白玻璃年产能可达 2GW，已广泛应用于全球著名的商业及国内太阳能光热发电示范项目。
奥展实业有限公司	主要产品为各类高品质精密不锈钢、特殊不锈钢、镍基合金、铬不锈钢、高温合金、钛合金、铝合金、铜合金及优质碳素钢紧固件及高端不锈钢线材棒材。2022 年 8 月相继中标金塔中光太阳能 10 万千瓦光热 +60 万千瓦光伏项目标准件招投标项目、浙能宁东基地光伏产业园 150MW 光伏复合发电工程项目。
北京工业大学	北京工业大学传热强化与过程节能教育部重点实验室及传热与能源利用北京市重点实验室，主要致力于熔盐传热蓄热、相变储热储冷、热泵制冷、压缩机及膨胀机、低品位热源高效热功转换、压力能发电、强化传热、燃料电池等方面的研究，在低熔点高工作温度宽液体温域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、熔盐储热和高温熔盐传热应用系统开发、单螺杆压缩机膨胀机、微尺度流动与传热等方面取得了世界领先的研究成果。
北京航天石化技术装备工程有限公司	致力于民用产品技术创新与规模经营，可提供热能工程、特种泵阀、环保与节能装置、大型石化专用设备、电子测控设备等关键装备和产品。为内蒙古乌拉特中旗 100MW/1000MWh 光热发电示范项目提供导热油炉产品。
北京天瑞星光热技术有限公司	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的核心技术，具备在全球大规模部署槽式聚光集热系统的能力。生产的中高温太阳能集热管产品已经远销世界各地，开拓了美国、西班牙、印度、澳大利亚等国际市场。2021 年 5 月，交付西班牙某 100MW 商业化槽式光热电站近万支集热管订单。截至 2021 年，近三年吸热管销售量超过 26800 支。
北京兆阳光热技术有限公司	提供菲涅耳太阳能热电技术咨询、装备集成、工程服务，以及开发、投资、建设、运营菲涅耳太阳能热电工程。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，除可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。开发建设张北华强兆阳 15MW 光热发电项目，采用首创东西轴倾斜布置的线性聚光集热系统和固态混凝土储热系统，储热时长 14 小时。承建了青海盐湖佛照蓝科锂业股份有限公司碳酸锂项目清洁能源供热系统项目，年供热水 1500 万吨。
常州龙腾光热科技股份有限公司	国内领先的高温真空集热管制造商，集热管产品远销北美、南美、中东、南欧、南亚等海外市场，现已实现国内外出货超 6 万支。成功开发并参与了国内纬度最高、单体规模最大的内蒙古中核龙腾乌拉特 100MW/1000MWh 槽式光热电站，是该电站集热场技术提供方和集热设备供货方。目前联合华能共同开发建设的内蒙古自治区巴彦淖尔市光热装备产业园以及自主研发的大型聚光槽式集热器技术均稳步推进中。

单位名称 (按拼音排序)	服务范围及业绩
东方电气集团东方锅炉股份有限公司	中国东方电气集团有限公司下属核心企业。是火力发电设备、太阳能光热、核电站设备、电站辅机、化工容器、煤气化等设备的设计供货商和节能环保新能源工程、电站改造、氢能制储运等工程服务提供商。作为国内最早从事光热发电技术开发的单位之一，拥有近百项技术专利，是塔式太阳能热发电站设计规范国家标准主要编制单位之一，历经 10 余年的自主研发与探索，已形成光热镜场、吸热器、储换热系统等全产业链内关键的技术设计与设备制造的核心竞争力，并已成功应用于哈密熔盐塔式 5 万千瓦光热发电示范项目，目前已获得国内多个光热发电业绩。
东华工程科技股份有限公司	隶属于中国化学工程集团有限公司，是工程勘察设计行业较早进行股份制改造并上市的现代科技型企业。拥有国家工程设计综合甲级资质，专业从事化工、石油化工、医药、市政、建筑、环保等多领域工程建设的工艺研发、咨询、设计、采购、施工管理、开车指导、工程监理、工程总承包、PMC 管理、运营等全过程服务。曾承揽中船重工乌拉特中旗导热油槽式 100MW 光热发电项目热传储热岛设计等项目，拥有光伏发电相关领域的工程业绩。
电力规划设计总院	国家级高端咨询机构，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、国际交流与合作等工作。
甘肃光热发电有限公司	成立于 2013 年 9 月，是一家混合所有制企业，主要进行新能源电力、热力的生产、运营及销售等。公司正在甘肃省阿克塞县负责实施国家首批太阳能热发电示范项目——金钒能源阿克塞 50 兆瓦熔盐槽式光热发电示范项目，电站采用熔盐为传热和储热介质，配置 15 小时的储热系统。其先导项目于 2016 年 10 月投运，系统集热回路 800 米、储热功率 8.7MWt、换热功率 1.62MWt，发电机组功率 200kW，包含了集热、储热、换热、发电的全部功能。
甘肃省安装建设集团有限公司	主要从事电力、机电安装、市政、钢结构、环保、石油化工、矿冶、水利水电、民用建筑等行业领域的工程项目施工，施工足迹遍布全国 20 多个省、市、自治区。以建安专业化施工、房地产开发、基础设施投资建设运营为主业，多种相关业务辅助发展的综合性企业集团。2022 年 9 月 26 日，签订三峡恒基能脉瓜州 70 万千瓦“光热储能+”项目总承包（EPC）合同，合同金额 21.99 亿元。
甘肃省建材科研设计院有限责任公司	国有控股科技型企业，主要从事新型建材、绿色建筑、新能源利用、节能环保等行业的新材料研究开发、检验检测鉴定加固、科研成果产业化、工程设计咨询监理等工作，拥有建筑工程设计、建材工程设计、建设工程检测等 10 项甲级资质和国家技术转移示范机构、工信部工业节能与绿色发展评价中心、甘肃省绿色建筑技术重点实验室等国家级、省级技术创新服务平台与机构。建院 40 余年，在检验检测鉴定、先进无机非金属材料、绿色建筑、新型节能环保材料、绿色功能建筑材料、资源综合利用、太阳能热利用、中深层地岩热利用等领域取得了一批科研成果。以技术创新为引领，逐步形成了绿色建材、绿色建筑、绿色能源三合一技术优势，科研成果工程化成效显著，为西部地区生态建设、环境保护和绿色低碳发展作出了重要贡献。
国家电力投资集团公司中央研究院	国家电投集团全资子公司，主要进行科技研发和科技成果转化。具体从事核能、火电、氢能、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。

单位名称 (按拼音排序)	服务范围及业绩
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。产品覆盖槽式光热系统、CPC光热系统、平板、真空管等户用供暖系统，80℃~500℃的中高温热能供应商，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。
河南安彩光热科技有限责任公司	自主成功开发出了用于光热发电的3mm、4mm光热超白浮法玻璃基板，填补了国内企业空白，成为全球仅有的两家能够批量生产供应光热发电超白玻璃的高新技术企业之一。拥有600吨/天的超白光热玻璃及配套深加工生产线。自主研发的光热玻璃产品已用在青海、迪拜、印度光热电站等项目中得到应用。
华电电力科学研究院有限公司	是中国华电集团有限公司直属的唯一科研机构，拥有国家能源分布式能源、火电能效检测等7个国家级研发中心，浙江省蓄能与建筑节能省级重点实验室，中国华电水电、新能源、智能能源、环保监督、电力市场等11个集团级技术中心以及中国华电大坝管理中心；设有院士工作站、博士后工作站；具有CMA、特检、计量、工程咨询甲级、调试特级、工程设计乙级等20余项资质，是中国科技核心期刊《发电技术》的主办单位。
嘉寓控股股份公司	集研发、设计、生产、施工于一体的建筑节能、智能、光热光伏、门窗幕墙系统提供商。在光热利用领域，基于在平台技术研发的“光热+”清洁能源采暖系统，通过远程后台控制，实现高效、精准、舒适供应，引领了“光热+”清洁能源采暖行业发展。在辽宁、河北、吉林、宁夏等地实施的光热+户用清洁能源采暖项目，得到了各地政府及教育部等各级领导和终端用户的广泛认可，并被辽宁省建筑节能环保协会授予清洁取暖推荐品牌。
江苏飞跃机泵集团有限公司	是一家集生产、研发、销售为一体的高新技术企业。主要产品包括：各类高温、高压、低温、耐磨、耐腐蚀的泵、阀、管道、耐磨耐热铸件、衬氟化工设备、合金钢制品等。为中控德令哈、首航敦煌、大成敦煌、中电工程哈密、鲁能海西州、兰州大成等国内光热发电项目提供货冷盐泵、热盐泵、调温泵、化盐泵、补盐泵、疏盐泵、补盐泵、排盐泵产品，已投入运行的熔盐泵产品均在稳定运行。
江苏中能化学科技股份有限公司	我国首家合成高温导热油行业上市企业，在海外舒尔茨导热油产品已经远销五大洲多个国家和地区。SCHULTZ®舒尔茨合成导热油系列和DYNOVA达诺功能性化学品系列，年产量均超万吨。成功为内蒙古乌拉特中旗100MW导热油槽式光热发电项目供应2500吨SCHULTZ®S740导热油。
兰州大成科技股份有限公司	主要从事聚光太阳能光热发电组件产品研发、生产，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。已投资建成敦煌50MW熔盐线性菲涅耳式光热发电示范项目，为该项目提供成套技术方案，负责项目集热场总体建设调试工作并负责项目整体运行维护工作。该项目为首批国家光热发电示范项目之一，已于2019年底开始发电，也是世界首个实现商业化运行的熔盐线性菲涅耳式光热电站。目前具备年产高温熔盐真空集热管5万支，一次反射镜200万m ² 、二次反射镜50万m ² 的生产能力，年产能可满足200MW熔盐线性菲涅耳式光热电站建设要求。
兰州兰石换热设备有限责任公司	从事板式换热器研发、设计、生产和服务，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。研制的新型（微通道）高效紧凑型焊接式热交换器（PCHE）主要可应用于超临界CO ₂ 发电、太阳能热发电、核电、LNG船、燃气轮机、加氢站、热泵等清洁能源领域。

单位名称 (按拼音排序)	服务范围及业绩
美欣达欣旺能源 有限公司	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。
南京工业大学	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。
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、热力工程等数十项国家甲级资质，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。自 2007 年开始进行太阳能热发电设计技术的规划研究。2011 年，中标我国第一个槽式太阳能热发电特许权项目。近年来先后承接了几十项太阳能发电领域的设计咨询任务，涵盖（导热油）槽式、（熔盐）槽式、塔式、线性菲涅耳、碟式多种技术路线以及太阳能热发电、联合供热、风光热储等。
内蒙古绿能新能源有 限责任公司	主营业务包括：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、规划报告、节能评估报告、社会稳定风险评估报告等编制工作；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。我国首个特许权招标项目——内蒙古鄂尔多斯巴拉贡 50MW 槽式太阳能热发电项目的技术支持和前期工作开发单位。
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，可实现集热镜场 250 万平方米，可满足集中供热面积约 1000 万平方米的配件供给。
宁夏中昊银晨能源技 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。
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。
山东电力建设第三工 程有限公司	拥有研发、设计、采购、制造与施工、调试、运维的完整的光热全产业链公司。在全球范围内总承包建设在运世界单机容量最大槽式、塔式光热电站——摩洛哥努奥二三期 350MW 光热电站（获 2019 年 & 2020 年国家优质工程金奖），鲁能格尔木 50MW 熔盐塔式多能互补示范项目，参建国内最大的乌拉特中旗 100MW 槽式光热发电项目，正在建设南非红石 100MW 熔盐塔式光热电站。参与 30 余项国内外光热项目的技术咨询以及方案设计等。可提供聚光集热系统、EPC/设计/工程/施工、调试运维，以及塔式太阳能热发电技术、装备与服务。核心技术产品涵盖定日镜、镜场控制系统、校准系统、清洗系统以及太阳岛附属技术产品等。

单位名称 (按拼音排序)	服务范围及业绩
山东电力建设第一工程有限公司	集成火电、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。先后承揽了敦煌大成 50MW 熔盐线性菲涅尔式光热项目常规岛、储热岛建安及调试工程，中电建青海共和 50MW 塔式光热发电项目储换热系统安装、调试工程等光热电站项目建设以及中电哈密 50MW 熔盐塔式光热发电项目设备材料代保管、玉门鑫能 50MW 二次反射塔式光热发电示范项目初期调试运维等工作。
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。
山东盛拓科能源有限公司	拥有太阳能综合利用解决方案完整产业链的高科技产业集团，近年来大力发展以太阳能为主的清洁能源替代业务，有覆盖全球市场的销售与服务渠道，产品出口多个国家和地区。年产平板太阳能集热器 3GWt（60 万平方米），2017 至 2019 年连续 3 年全球第三，2020 年至 2021 年全球第二。正在开发烟草烘干集热器、工业用热集热器、分布式能源站成套装备等。
山西沃锦新材料股份有限公司	主要从事硝酸熔盐储能新材料研发、设计、制造、销售和回收。2022 年 5 月中标了国内首个熔盐储能供热和发电示范项目——浙江天圣控股集团旗下绍兴绿电能源有限公司熔盐储能项目全部硝酸盐采购产品。为中电哈密熔盐塔式 50MW 光热发电项目、首航高科敦煌 100MW 熔盐塔式光热电站、鲁能格尔木熔盐塔式 50MW 光热发电项目、中船新能乌拉特中旗 100MW 槽式光热发电项目等示范项目提供 OEM 熔盐级硝酸钾产品供货；同时参与了多个太阳能光热项目、熔盐储热项目的方案编制。
上海电气电站集团有限公司	是全球最大太阳能光热光伏一体化项目——迪拜 700MW 光热 + 250MW 光伏混合电站总包方，该项目涵盖塔式和槽式两种光热发电技术。拥有熔盐储热产品及系统的核心自主知识产权。 旗下上海电气斯必克在光热市场起步较早，拥有斯必克空冷技术和专利，并共享欧洲最新的空冷技术与科研成果，在国际上拥有包括南非红石等较多的光热发电项目空冷设备订单。 国内先后中标中船乌拉特 100MW 光热发电项目、中控金塔 100MW 光热发电项目、阿克塞汇东能源公司 100MW 光热发电项目、青海海西州 50MW 光热发电项目、天津滨海阿克塞 50MW 光热发电项目、玉门鑫能 50MW 光热发电项目空冷系统以及阿克塞光热 + 光伏试点项目。
上海交通大学	上海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充分的研究开发经验。

单位名称 (按拼音排序)	服务范围及业绩
上海蓝滨石化设备 有限责任公司	<p>自 2016 年以来，已开展太阳能光热电站储能及蒸发系统关键设备研制工作，借助公司在高参数余热锅炉和换热器方面积累的经验，具备蒸发系统预热器、蒸发器、过热器、汽包等核心设备供应能力。</p> <p>承建了首航高科敦煌 100MW 熔盐塔式光热电站、兰州大成敦煌 50MW 熔盐线性菲涅尔光热电站和乌拉特中旗 100MW/1000MWh 槽式光热电站三个项目的熔盐储罐工程，这三个项目都在正常运营中。</p> <p>承接实施了阿联酋迪拜 700MW 光热项目中的熔盐储罐施工及附件预制；中标了南非红石 100MW 熔盐塔式光热电站和阿克塞汇东 110MW 光热（8 小时储热）+640MW 光伏试点项目储罐成套设备供货及安装总承包工程。</p>
上海亚核阀业成套 有限公司	<p>专业设计、制造、销售各类阀门及各类流体自动化仪表成套设备的高新技术企业。产品涵盖火电、化工、石油、水电、核电、军工、海上油田钻井平台、造船、冶金、食品、制药等有关行业的阀门及相关自动化仪表成套设备，并可根据客户要求设计与制造各种非标阀门、特殊阀门，承包压力管线检修工程，进口阀门及特种特殊阀门的维修与服务工作等。</p>
涉县津东经贸有限 责任公司	<p>是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。总投资 6.69 亿元高温热媒新材料项目投产。为乌拉特中旗 100MW 光热发电示范项目提供 5000 吨的联苯联苯醚产品。</p>
沈阳微控新能源技术 有限公司	<p>掌握全球领先的全磁悬浮轴承及控制技术、飞轮材料及工艺技术、高速电机技术、大功率电力电子变换、安全防护等核心技术，拥有国内 / 国际发明专利四十余项。是辽宁省主动磁悬浮技术应用工程研究中心依托单位，承担了辽宁省、深圳市重大科技专项研发项目，我国飞轮储能标准制定企业。现已建成全国唯一的量产磁悬浮飞轮储能设备生产及测试线，飞轮储能系统全球部署规模近 3000 台，稳定运行时间超过 10 万小时。</p>
首航高科能源技术 股份有限公司	<p>以“清洁能源和节能环保”为业务发展战略，从事光热发电、光热储能 + 多能互补、氢能利用、电站空冷、余热发电、水务技术、清洁供暖等领域的研发、设计、制造、销售、安装、管理、调试、培训及电站总承包等服务的高新技术型企业。投资并建设运维了敦煌 100MW+10MW 两个熔盐塔式光热电站项目；是中广核德令哈 50MW 导热油槽式光热电站太阳岛系统集成分包商。</p> <p>计划在甘肃酒泉地区开发建设 1.52GW “光热储能 +” 新能源多能互补一体化大基地项目。在电站熔盐储能调峰辅助业务领域，公司业务涉及光热发电熔盐储能技术结合发电机组现有系统应用于火电深度调峰。近期相继中标风光新能源大基地中多个光热发电项目总包工程，总合同额近 50 亿元。</p>
水电水利规划设计 总院	<p>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和定额；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。</p>

单位名称 (按拼音排序)	服务范围及业绩
塔浦(上海)自动化仪表有限公司	<p>专门从事工业现场仪表的研发、生产与销售一体的原创型科技公司。专注于超声波流量计产品及配套解决方案的开发与制造,拥有 10 多年超声波流量产品的开发、应用经验。所开发的产品与方案适用于各种工业流体流量的测量,长期服务于天然气输配、油气田、石化、化工、钢铁冶金、煤化工、电厂、水务、半导体等工业用户。</p> <p>产品能够用于高温渣油、高温沥青、高温醋酸、熔盐、超低温 LNG、循环水、海水、化工品、汽柴油、溶剂油、原油、低压大口径煤气、蒸汽、天然气、压缩空气、氮气、烟气、尾气、火炬气等各种液体、气体流量测量,是一家超声波流量计产品门类与解决方案齐全的专业供应商。</p>
天津大学	<p>机械工程学院下设机械工程、力学和能源与动力工程 3 个系,及机械工程实践教学中心。建有机械设计制造及其自动化、工程力学、能源与动力工程、工业设计、智能制造工程等 5 个本科专业。拥有内燃机燃烧学国家重点实验室、机构理论与装备设计教育部重点实验室、中低温热能高效利用教育部重点实验室、先进陶瓷与加工技术教育部重点实验室(与材料科学与工程学院共建)、3 个天津市重点实验室以及若干高水平科研基地和合作平台。赵力教授课题组在热泵系统优化、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。</p>
无锡鑫常钢管有限责任公司	<p>是以开发、生产、销售不锈钢无缝钢管、不锈钢焊管、钛无缝管、钛合金焊管、高性能铜合金管、高效传热管、高温合金、镍基合金和多元复杂黄铜的企业,年产量达到 1.3 万吨。生产规格范围:外径 6mm—426mm,壁厚 0.8mm—35mm。产品广泛应用于空调、冰箱、发电机组、船舶制造、海水淡化、核工业、石油化工装备、化纤、医药、食品、纺织、印染、机械等行业。</p>
武汉圣普太阳能科技有限公司	<p>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。</p> <p>已批量供货:中电工程西北院哈密塔式 50MW 光热发电示范项目 Stelio 巨蜥定日镜,玉门鑫能光热熔盐塔式 50MW 光热发电项目的一次反射镜和二次反射镜,兰州大成敦煌熔盐线性菲涅尔式 50MW 光热发电示范项目一次反射镜,华强兆阳 15MW 菲涅尔光热电站项目菲涅尔用一次反射镜和二次反射镜。成功开发了开口 7,512mm UT 终极槽用钢化玻璃反射镜,具有批量制造 RP1~RP5 槽式反射镜的能力。</p>
西子清洁能源装备制造股份有限公司	<p>西子洁能前身为杭州锅炉集团股份有限公司,主营业务涉及新能源、新装备、新服务等多个领域的产品和解决方案。</p> <p>新能源业务包括光热发电、熔盐储能、零碳工厂(园区)、多能联储、电极锅炉、光伏、核电和氢能等清洁能源产品和服务。已成功打造以新能源技术为核心的中国首个航空零碳工厂和首个熔盐储能零碳园区;投资参建中国首座规模化运行光热储能电站,所应用的储能技术入围国家 2021 年度能源领域首台(套)重大技术装备项目;旗下电极锅炉技术荣获欧盟及中国核电标准认可。</p> <p>新装备业务包括余热锅炉、循环流化床锅炉、燃气锅炉、压力容器换热器和盾构机等节能减排产品,广泛应用于钢铁、建材、电力、有色金属、焦化、化工、炼化、化纤、医药、造纸等能源消耗行业。新服务业务包括工程安装、运维服务、系统改造、备品备件、智慧锅炉、智慧工厂等服务,提供能源领域全生命周期服务,并将业务链延伸至新能源投资运营。</p>

单位名称 (按拼音排序)	服务范围及业绩
鑫晨光热(上海)新能源有限公司	主要从事光热电厂项目开发、工程总包、电厂设计、系统研发、产品开发制造、系统集成、运营维护等在内的全价值产业链业务,涉及土木工程、机械设计、电信、管道、软件、电子、电控、电气、热控、光学、机器视觉、数学等十多个专业技术学科的交叉与集成。是国内最早从事太阳能光热发电领域技术研发与商业化的单位之一,拥有二次反射镜场聚光集热系统和分布式熔盐储能系统等两大核心系统,是国际领先的二次反射塔式光热发电系统集成商。
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、生物能源等可再生能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。
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。倪明江和肖刚教授的光热研发团队在青山湖地区占地约 1 万平方米的太阳能热发电试验平台,可用于太阳能高温集热(吸热温度可达 900℃ 以上)、热化学储热、高温布雷顿循环系统、熔融盐吸热器热性能测试及高温防护研究、斯特林发动机、PETE 等先进技术的研究和示范。
浙江可胜技术股份有限公司	主要从事光热电站开发、投资、建设、运营;聚光集热系统设计与设备、熔盐储换热系统工艺包、项目全过程咨询服务、电站运维服务等。开发建设运营青海中控德令哈 10MW+50MW 塔式熔盐储能光热电站,50MW 示范电站自 2021 年 8 月 6 日至 2022 年 8 月 5 日,完整年度累计实际发电量 1.58 亿 kWh,达到年度设计发电量(1.46 亿 kWh)的 108%,创下全球同类型电站最高运行纪录。中电建青海共和 50MW 塔式熔盐储能光热示范电站的技术提供方与聚光集热系统设备供货方,并为该项目提供分系统调试及全厂整体调试服务。中标青豫直流二期三峡能源青海青豫直流 100MW 光热项目总承包项目,将参与项目总体设计及工程管理,并负责聚光集热系统的技术方案、设备集成供货,以及与之相关的调试与运行指导服务。正在建设金塔中光太阳能“10 万千瓦光热+60 万千瓦光伏”光热项目。
浙江中光新能源科技有限公司	致力于打造成为拥有“光热+”“熔盐储能+”、多能互补、智慧能源管理等技术的新能源科技企业,目前正加快实现投资、建设、运营全产业链布局。全资控股青海中控太阳能发电有限公司,拥有我国首座、全球第三座规模化储能塔式光热电站——青海中控德令哈 10MW 塔式光热电站,以及国家首批光热发电示范项目之一——青海中控德令哈 50MW 塔式光热电站。总承包的西子航空零碳智慧能源中心源网荷储一体化项目获得浙江省“十四五”第一批新型储能示范项目。
中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司	是我国首批成立的大型综合性勘察设计院,拥有包括工程勘察、设计综合甲级资质在内的数十项甲级资质,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。在水、风、光、地热、生物质能等清洁能源综合利用领域,水环境治理、水污染防治、水生态修复、垃圾集成利用等环境工程领域,水利工程、市政工程、交通工程、轨道交通、海绵城市、城市地下综合管廊、城市地下空间开发、区域社会经济规划、城乡发展规划、特色小镇等基础设施建设领域形成了鲜明的技术特色、工程能力和投融资能力。

单位名称 (按拼音排序)	服务范围及业绩
中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司	拥有全国勘察、设计、咨询、监理“四综甲”级资质，中国工程设计企业 60 强，中国承包商企业 80 强。业务领域包括：能源电力、水资源与环境、基础设施三大版块。业务类型包括：技术服务（规划、勘察、设计、监理、检测、监测、科研实验、水情测报、全过程咨询、招标代理、信息化、数字化、智慧化）、工程承包、投资运营（能源电力、水务、环保、基础设施、建筑材料、城市片区开发）。是兰州大成敦煌光热发电示范项目总包方。
中国电力工程顾问集团公司	中电工程于 2002 年底在原国家电力公司所属中国电力工程顾问（集团）有限公司基础上组建，现为中国能源建设股份有限公司的全资子公司。中电工程是面向国内外市场，为政府部门、金融机构、投资方、发展商和项目法人提供工程建设一体化解决方案的服务商，主要从事能源与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、投资与经营、相关专有技术产品开发等业务。中电工程技术力量雄厚，专业配套齐全，具有丰富的工程实践经验和坚实的综合管理能力，是中国电力工程服务行业的“国家队”和“排头兵”。2020 年，收购西班牙知名光热工程咨询公司易安（Empresarios Agrupados, EA）与盖飒工程（Ghesa）100% 股权，增强了技术能力和投融资能力拓展海外光热发电业务。EA 参与了美国新月沙丘熔盐塔式光热发电项目，是西班牙 Olivenza150MW 槽式、努奥 II 200MW 槽式以及努奥 III150MW 塔式光热发电项目业主工程师（OE）；在南非的 Redstone 项目（装机 100MW 的塔式熔盐电站）中承担建筑师的工作，负责整个电站的概念设计，基础设计及其施工设计；在科威特的 Shagaya 项目（50MW 槽式带储热电站）中也扮演建筑师的角色。
中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司	是具有工程设计综合甲级、工程勘察综合甲级、工程咨询、造价咨询、环境影响评价、测绘等十余种甲级资质的大型国有企业，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。通过在百万千瓦超超临界二次再热燃煤发电、特高压输变电、空冷技术、大塔技术、节能减排技术、IGCC 发电、太阳能热发电、生物质发电、多能互补等前沿科技领域积极开展科研攻关，现在能源规划研究、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保持全面的行业技术领先优势。是中国能建哈密 50MW 塔式太阳能热发电示范项目的总承包方并独立自主提供全厂全过程工程设计。
中国广核新能源控股有限公司	是一家电源种类和地理分布多元化的独立发电商，专注于收购清洁及可再生能源发电项目，资产组合包括位于中国及韩国的风力、太阳能、燃气、燃煤、燃油、水力、热电联产及燃料电池发电项目。建成、投产我国首个大型商业化光热示范电站，依托该项目，获批建设了国家能源光热研发中心，具备大型光热电站系统集成的核心能力。启动了国内储能配比率最高的光热储多能互补项目建设，总装机容量 200 万千瓦，其中光伏 160 万千瓦、光热 40 万千瓦，储能配比率 25%、储能时长 6 小时。

单位名称 (按拼音排序)	服务范围及业绩
中国科学院电工研究所	<p>太阳能热利用技术研究部自上个世纪 70 年代开始从事太阳能热发电、中低温利用等方面的研究，已取得诸多研究成果：先后建成了我国首座 MW 级塔式和槽式太阳能热发电实验示范系统，我国首个大型太阳能水体跨季节储热项目，全球首个太阳能热联供系统等。在北京延庆建成国际一流的全方位学科实验平台和科普教育基地，拥有风洞装备气动力学测试平台、光学测试平台、储热 / 传热材料与系统性能测试平台、材料抗老化性测试平台、槽式集热器及真空管系统稳态热性能测试平台、中低温集热器热性能测试平台、反射面精度测试台、定日镜跟踪准确度测试仪、槽式反射镜精度在线测量仪等检测实验平台设施。分别于 2007 年和 2009 发起创立了中国太阳能热发电大会、太阳能光热产业技术创新战略联盟，是 973 项目“高效规模化太阳能热发电的基础研究”以及国家重点研发计划“超临界二氧化碳太阳能热发电基础问题研究”项目牵头单位。</p>
中国科学院上海应用物理研究所	<p>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，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。唐忠锋研究员所在的熔盐传蓄热团队拥有熔盐物性、分析、制备净化、传蓄热试验、腐蚀评价等 5 大平台，新熔盐体系设计、熔盐分析和测试、熔盐质量评价及寿命评估、腐蚀控制与防护、熔盐净化与回收、关键设备研制与寿命评估、回路设计研发、熔盐传蓄热技术开发与验证等 8 项技术能力。围绕光热、储能等洁净能源开展研究，以工程应用为导向，提供工质设计、测试分析评价、设备研发、系统设计、储换热的运维调试服务。具备 CNAS 及 CMA 资质。</p>
中能建集团装备有限公司	<p>中能装备是集能源装备研发、设计、制造、服务于一体的大型企业集团，主要产品：电站辅机、钢结构、电气设备及电网器材、成套设备等。扬州设备公司研发的“塔式太阳能热发电站用定日镜”通过江苏省经信委新产品鉴定。北京电力设备总厂研发的长轴调温熔盐泵中标中能建哈密 50MW 塔式太阳能热发电示范项目。</p>
Pacific Green Solar Technologies Inc. 太平洋绿色太阳能公司	<p>PGST 是太平洋绿色技术集团 PGTK 的太阳能热发电业务支线。旗下全资子公司广东东北电力工程设计有限公司，在煤电、燃机发电等传统能源领域以及光热发电、熔盐储能、电储能、光伏发电等新能源领域的具有丰富的设计业绩。工作内容涵盖从初可、可研、初设、施工图、竣工图的全过程设计咨询服务，以及工程现场服务。先后主导并集成设计了首航敦煌 10MW 光热电站和 100MW 塔式熔盐光热电站，中广核德令哈 50MW 导热油槽式光热电站集热场，为玉门龙腾 50MW 导热油槽式光热电站提供了咨询服务。并在 2021 年为美洲某 3.8GW 光伏 +2*200MW 光热能源基地项目编制了初可研。2022 年又与国内多家大型央企达成设计咨询战略合作协议。</p>



参考文献

- [1] 《聚光型太阳能热发电术语》(GBT 26972--2011)
- [2] 周孝信 赵强 张玉琼. “双碳”目标下我国能源电力系统发展前景和关键技术 [J]. 中国电力企业管理, 2021, 11: 14-17
- [3] 全国能源信息平台. 国家电网郭剑波: 以新能源为主体的新型电力系统面临的挑战 [EB/OL]. (2021-09-13). <https://www.163.com/dy/article/GJOVHPD105509P99.html>
- [4] 火力发电网. 如何构建以新能源为主体的新型电力系统 [EB/OL]. (2021-09-09). http://www.chinatpg.com/home/news/pages/n_id/124937.html
- [5] 杜凤丽等编. 中国太阳能热发电行业蓝皮书 2021[R]. 北京: 国家太阳能光热产业技术创新战略联盟, 2022.
- [6] 何雅玲. 热储能技术在能源革命中的重要作用 [J]. 科技导报, 2022, 40(4): 1-2
- [7] 李灿院士: 光热发电是最有希望的规模化储能技术, 是替代火电的重要技术之一 [EB/OL]. (2022-05-12) https://www.sohu.com/a/546079600_120099883
- [8] 中科院院士何祚庥: 新型储能中我最看好光热发电 [EB/OL]. (2022-11-02) <http://de.escn.com.cn/news/show-1494782.html>
- [9] 清华大学康重庆: 高比例可再生能源电力系统中光热发电的价值发现 [EB/OL]. (2019-08-12) <http://www.cnste.org/html/jishu/2019/0812/5306.html>
- [10] 刘雨菁 刘子屹 周勤等. 西北地区电力系统低碳转型探索——打造零碳电力系统的青海样本 [R], 落基山研究所, 2022
- [11] 电规总院孙锐: 太阳能热发电规模化发展的设想 [EB/OL]. (2019-09-04) <http://www.cnste.org/html/jishu/2019/0904/5406.html>
- [12] 王志峰 何雅玲 康重庆 王伟胜 杜凤丽. 明确太阳能热发电战略定位促进技术发展 [J]. 华电技术, 2021, 43(11): 1-4.
- [13] 中国科技网. 2021 中国太阳能热发电大会在浙江湖州召开 [EB/OL]. (2021-09-30) http://www.stdaily.com/index/kejixinwen/2021-09/30/content_1223345.shtml
- [14] 大唐集团中标中国首家 50MW 槽式太阳能热发电电项目 [EB/OL]. (2011-05-10) <https://news.solarbe.com/201105/10/17323.html>
- [15] 华能 1.5MW 菲涅尔式光热联系循环混合电站在海南三亚建成发电 [EB/OL]. (2012-10-31). http://www.pv-tech.cn/news/huaneng_1.5mw_fresnel_csp_project_built_in_sanya
- [16] 科学中国. 中国太阳能光热发电技术将向商业化运行迈进 [EB/OL]. (2013-12-10). http://science.china.com.cn/2013-12/10/content_30851823.htm
- [17] 科技部. 国家 863 计划先进能源技术领域主题项目“基于小面积定日镜的 10MW 塔式太阳能热发电技术研究及示范”取得重要进展 [EB/OL]. (2017-02-09). http://www.most.gov.cn/kjbgz/201702/t20170208_130821.htm
- [18] 拉萨市柳梧新区 1MWe 聚光太阳热能分布式热电联供能源站 <http://www.lzdc solar.com/Success%20Stories/Generating/2015/0819/231.html>
- [19] 上海电气迪拜光热项目槽式 1 号机组并网 [EB/OL]. (2022-11-30). <https://finance.sina.cn/2022-11-30/detail-imqmmthc6493662.d.html>

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