中国太阳能热发电行业

蓝皮书

2023

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 2023》。

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 2023

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业委员会 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业委员会 秘书长

参 编（按姓氏拼音排序）：

陈 晨、董清风、范玉磊、官建国、黄文博、洪 松、金建祥、刘福国、刘向雷、卢智恒、祁万年、盛 涛、孙晓峰、王志峰、魏进家、吴玉庭、谢文韬、徐 能、袁 磊、臧春城、张 军、赵晓辉

校 核： 菅泳仿（国网能源研究院）、洪 松

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：白凤武、刘路平、常 春、时璟丽、孙 锐、太阳能热发电示范项目业主单位

说 明：以上编制署名已经所有作者书面同意

2024 年 1 月

目 录

一、太阳能热发电技术概述 …… 1
1.1太阳能热发电技术原理 …… 1
1.2 太阳能热发电的功能定位 …… 3
1.3 2023年发布的太阳能热发电相关政策 …… 4
二、太阳能热发电市场发展情况 …… 8
2.1 我国太阳能热发电装机容量 …… 8
2.2 全球太阳能热发电装机容量 …… 8
2.3 太阳能热发电技术类型 …… 9
2.4 新增太阳能热发电项目 …… 11
三、太阳能热发电示范项目运行情况 …… 13
3.1 中广核德令哈50MW槽式光热电站 …… 13
3.2 首航高科敦煌100MW塔式光热电站 …… 13
3.3 青海中控德令哈50MW塔式光热电站 …… 14
3.4 中电建共和50MW塔式光热电站 …… 15
3.5 中国能建哈密50MW塔式光热电站 …… 16
3.6 兰州大成敦煌50MW线菲式光热电站 …… 16
3.7 中船新能乌拉特100MW槽式光热电站 …… 17
3.8 鲁能格尔木多能互补工程50MW塔式光热电站 …… 17
四、我国太阳能热发电产业发展情况 …… 18
4.1 太阳能热发电产业链 …… 18
4.2 太阳能热发电产业基础 …… 19
4.3 太阳能热发电相关企业 …… 21
五、我国太阳能热发电技术研发情况 …… 23
5.1 国家科技计划项目 …… 23
5.1.1 超临界CO_2太阳能热发电关键基础问题研究（基础研究类） …… 24
5.1.2 高效能仿生型储热材料和过程设计 …… 25
5.1.3 宽波段超表面太阳能聚光器及其集热系统 …… 25
5.1.4 高通量聚光太阳能热化学转化储能理论与方法 …… 26
5.1.5 光热发电用耐高温熔盐特种合金研制与应用 …… 26
5.1.6 宽液体温域高温熔盐储热技术 …… 26
5.1.7 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 …… 27
5.1.8 太阳能热发电用高温熔盐储罐力学研究及寿命预测 …… 27

5.2 太阳能热发电标准 …… 27
5.2.1 国家标准 …… 27
5.2.2 行业标准 …… 30
5.3 2022-2023年度太阳能热发电技术获奖情况 …… 33
六、太阳能热发电技术经济性 …… 37
6.1 太阳能热发电项目的电价及投资 …… 37
6.2 熔盐储能光热发电与光伏+新型储能系统技术经济性对比 …… 40
6.3 光热发电成本下降路径 …… 42
6.3.1 塔式光热发电技术 …… 42
6.3.2 槽式光热发电技术 …… 47
6.3.3 熔盐线菲式光热发电技术 …… 48
七、太阳能热发电站全生命周期碳排放研究 …… 50
7.1 国外研究结果 …… 50
7.2 我国最新研究结果 …… 50
八、太阳能光热发电行业面临的挑战及发展建议 …… 52
8.1 光热发电行业面临的挑战 …… 52
8.1.1 产业快速发展，成本快速下降，但与光伏风电比依然较高 …… 52
8.1.2 产业链配套齐全，但电站项目少，拉动强度不足 …… 52
8.1.3 光热调峰启动，但机组容量小，不足以体现光热的价值 …… 53
8.2 发展建议 …… 53
8.2.1 研究制定“去补贴-市场化发展”过渡期间的光热发电两部制电价 …… 53
8.2.2 尽快开展太阳能热发电对电网支撑能力的研究 …… 53
8.2.3 不断总结现有商业化光热电站的经验，进行技术创新，降低成本 …… 54
8.2.4 开展光热发电前沿技术示范，持续深化基础研究 …… 54
8.2.5 尽快实施单机大容量光热发电示范项目 …… 55
8.2.6 推进以太阳能为主的多能互补的低碳发电技术示范 …… 55
8.2.7 对多种新型储能发电项目进行集中示范，研究其在电网中实际发挥的作用和特性 … 55
九、 附录 …… 56
9.1 2023年度热点新闻 …… 56
9.2 国家太阳能光热联盟2022-2023年度理事单位简介 …… 58
参考文献 …… 79

一、太阳能热发电技术概述

1.1 太阳能热发电技术原理

太阳能热发电是将太阳能转化为热能，通过热功转换过程发电的系统[1]，英文为 concentrating solar power 或 solar thermal electricity，英文简写为 CSP 或 STE。太阳能热发电系统的主要特点有：前端采用聚光吸热装置、后端采用同步发电机组、配置二元硝酸熔盐等储热系统，可连续稳定发电，是能够发挥煤电机组作用的电网友好型电源。

根据聚光形式的不同，商业化应用的太阳能热发电技术主要包括塔式、槽式和线性菲涅尔式（尔同耳，以下简称：线菲式）三种类型。其中，塔式为点聚焦，槽式和线菲式为线聚焦。太阳能热发电系统可采用不同的传热流体作为吸热介质，商业化应用最多的主要有二元硝酸熔盐（60%硝酸钠和40%硝酸钾的熔融态混合物）和导热油（联苯 - 联苯醚混合物）。不同传热流体、不同聚光形式的太阳能热发电系统运行原理如下所述。其中，以熔盐作为传热流体的塔式技术、以导热油作为传热流体的槽式技术都是当前主流的商业化应用较多的太阳能热发电技术形式。

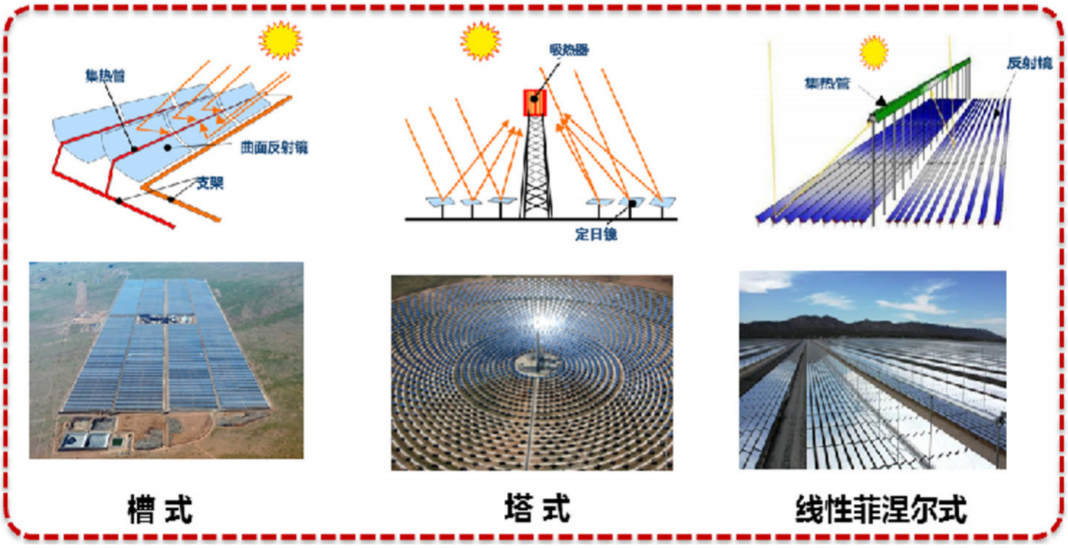


图 1.1-1 三种主流太阳能热发电聚光形式

熔盐塔式太阳能热发电系统可分为聚光、吸热、储换热和发电四大单元，主要由定日镜、吸热塔、吸热器、高低温熔盐储罐、蒸汽发生器和汽轮发电机组等组成。其运行原理基本为：定日镜以吸热塔为中心，呈圆周状分布，通过对定日镜的方位角和高度角的调节控制，将太阳光反射汇聚到吸热塔顶部的吸热器上，液态的二元硝酸低温熔盐通过冷盐泵驱动，流经塔顶吸热器吸收热量，温度升高至565℃，被加热的熔盐流入高温热盐罐中储存；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储罐，再循环至塔顶的吸热器吸收热量，循环往复。在熔盐塔式技术中，熔盐既是传热流体也是储热介质，运行模式简单；储热单元将太阳能集热与发电部分解耦。

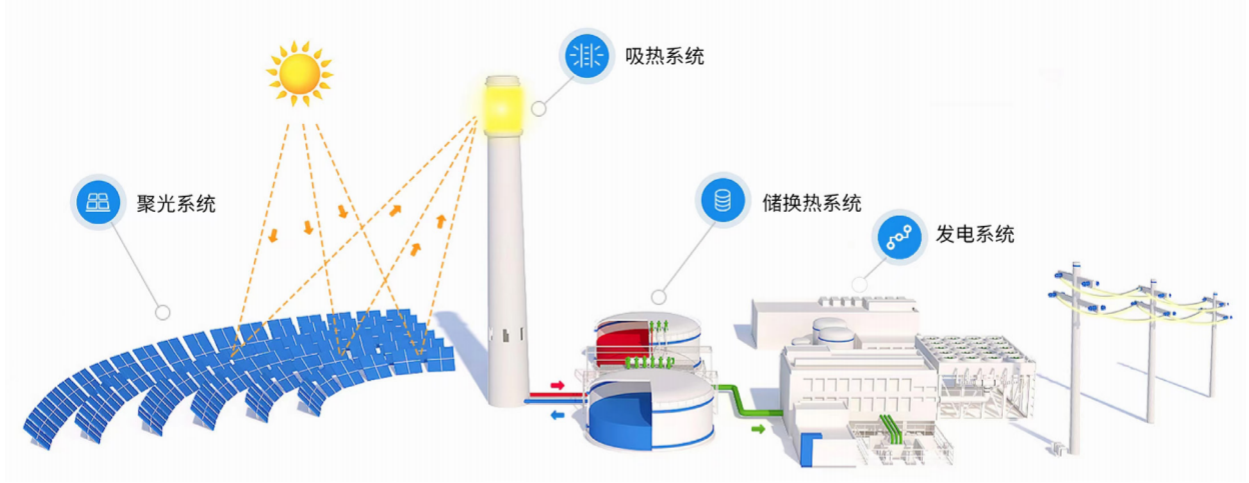


图 1.1-2 熔盐塔式太阳能热发电系统示意图（图片来源：可胜技术）

导热油槽式太阳能热发电系统主要由抛物面槽式集热器（包括聚光器和吸热管）、换热储热系统、蒸汽发生系统和汽轮发电机组等单元组成，集热器通过串联和并联方式相互连接，并通过模块化布局形成集热场。其运行原理基本为：聚光器通过单轴跟踪太阳，将投射在镜面的阳光反射至位于焦线的吸热管上，加热管内的导热油，并通过导热油蒸汽发生器产生过热蒸汽驱动汽轮机发电机组做功发电。汽轮机出口的低温低压蒸汽经过凝汽器冷凝后，返回导热油蒸汽发生器重新吸热蒸发。经过导热油蒸汽发生器放热后的导热油返回至吸热管进行加热，形成封闭的导热油循环回路。当太阳辐照度较高时，可将一部分导热油的热量通过油盐换热器存储在熔盐罐中；当太阳辐照不足时，提取热盐罐的热量至换热器产生蒸汽发电。与熔盐塔式一样，储热单元将太阳能集热单元与发电单元解耦，消除太阳能辐照波动对汽机出力稳定性的影响，并可使电站在不依赖太阳辐照情况下参加电网调度。

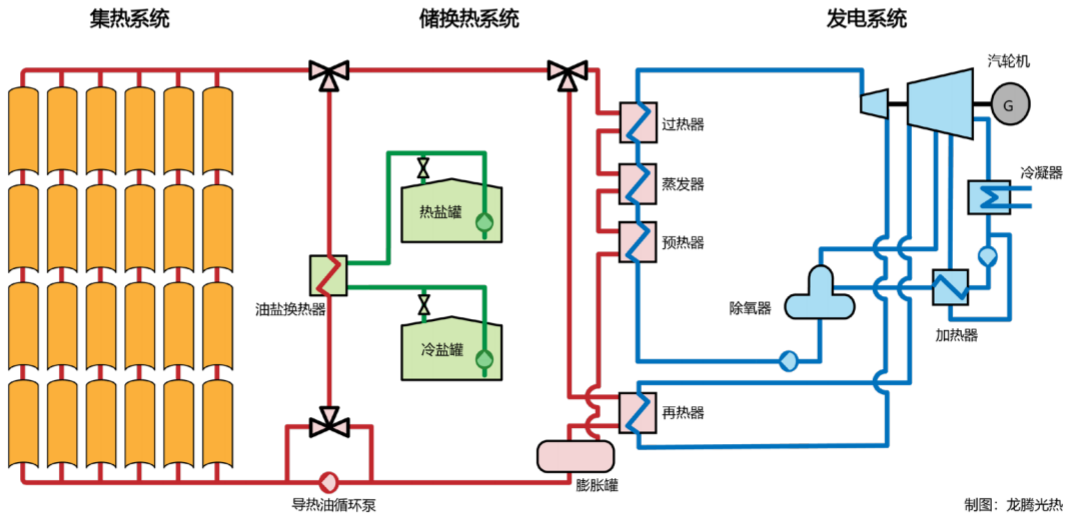


图 1.1-3 导热油槽式太阳能热发电系统（常规流程）示意图（图片来源：龙腾光热）

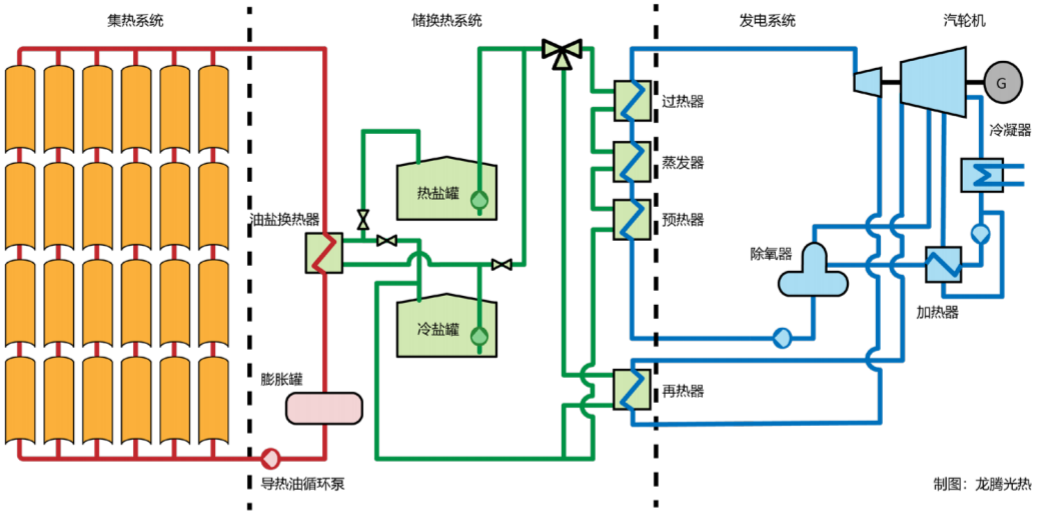


图 1.1-4 导热油槽式太阳能热发电系统（解耦流程）示意图（图片来源：龙腾光热）

槽式太阳能热发电系统也可以以熔盐为传热流体，其运行流程为：槽式聚光器跟踪太阳加热吸热管内流动的熔盐，吸热后的熔盐存放在热盐罐中。在需要发电时，热盐罐中的熔盐进入蒸汽发生器释放热量，与水换热产生过热蒸汽推动汽轮机组发电，换热后的冷盐存入冷盐罐中存储。

熔盐线菲式太阳能热发电系统由菲涅尔集热器、高低温熔盐储罐、蒸汽发生器和汽轮发电机组等部分组成。菲涅尔集热场由一次聚光器、二次聚光器和吸热管组成。其基本运行模式为：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聚光器将太阳直射辐射汇聚至上方的二次聚光器，太阳辐射通过两次反射聚集在真空吸热管表面，加热管内的熔盐存储于高温熔盐储罐中。

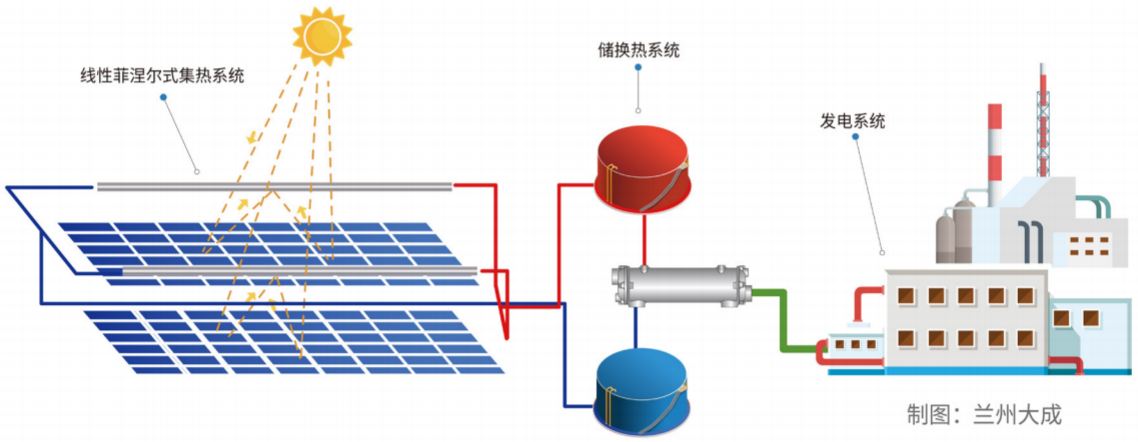


图 1.1-5 熔盐线菲式太阳能热发电系统示意图（图片来源：兰州大成）

1.2 太阳能热发电的功能定位

国务院《2030 年前碳达峰行动方案》提出：构建新能源占比逐渐提高的新型电力系统。党的二十大报告中明确：加快规划建设新型能源体系。国务院国资委在 2023 年 11 月 16 日召开的中央企

业今冬明春保暖保供工作专题会上提出，因地制宜推动调峰电源建设，加大技术创新投入，加快构建以新能源为主体的新型电力系统[2]。截止 2023 年 11 月底，我国可再生能源装机达到 14.5 亿千瓦，占全国发电总装机比重超过 50%，历史性超过火电装机[3]。随着可再生能源装机规模快速增长，电力系统对各类调节性电源需求迅速增长。2023 年 12 月 21 日召开的 2024 年全国能源工作会议强调：持续提高能源资源安全保障能力；加快建设新型能源体系、新型电力系统；聚焦落实“双碳”目标任务，持续优化调整能源结构，大力提升新能源安全可靠替代水平，加快推进能源绿色低碳转型[4]。

太阳能热发电是绿色低碳的电网友好型电源，兼具调峰电源和储能的双重功能，可以实现用新能源调节、支撑新能源，可以为电力系统提供更好的长周期调峰能力和转动惯量，具备在部分区域作为调峰和基础性电源的潜力，是新能源安全可靠替代传统能源的有效手段，是加快规划建设新型能源体系的有效支撑[5]。国家发改委、国家能源局、财政部等九部委印发《“十四五”可再生能源发展规划》提出：有序推进长时储热型太阳能热发电发展。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。发展光热发电能够保障可再生能源消纳、促进可再生能源更大规模接入电网。

《国家能源局综合司关于推动光热发电规模化发展有关事项的通知》（2023 年 3 月）明确：应充分认识光热发电规模化发展的重要意义，充分发挥光热发电在新能源占比逐渐提高的新型电力系统中的作用，助力加快规划建设新型能源体系。各地能源主管部门和企业在新能源基地建设中要充分发挥光热发电调峰特性，科学合理确定基地项目电源配比。鼓励有条件的省份和地区尽快研究出台财政、价格、土地等支持光热发电规模化发展的配套政策，提前规划百万千瓦、千万千瓦级光热发电基地，率先打造光热产业集群。

1.3 2023 年发布的太阳能热发电相关政策

政策名称	发布部门	发布时间	主要内容
加快油气勘探开发与新能源融合发展行动方案（2023-2025 年）	国家能源局	2023.3	重点推进在新疆、青海、甘肃等油气和太阳能资源丰富的地区，建设油气与太阳能同步开发综合利用示范工程，充分利用太阳能聚光集热及储热技术，实现油气生产过程的清洁化供热，助力低碳油气开发。

政策名称	发布部门	发布时间	主要内容
国家能源局综合司关于推动光热发电规模化发展有关事项的通知	国家能源局综合司	2023.3	充分认识光热发电规模化发展的重要意义。积极开展光热规模化发展研究工作。内蒙古、甘肃、青海、新疆等光热发电重点省份能源主管部门要积极推进光热发电项目规划建设，根据研究成果及时调整相关规划或相关基地实施方案，统筹协调光伏、光热规划布局，合理布局或预留光热场址，在本地新能源基地建设中同步推动光热发电项目规模化、产业化发展，力争“十四五”期间，全国光热发电每年新增开工规模达到 300 万千瓦左右。结合沙漠、戈壁、荒漠地区新能源基地建设，尽快落地一批光热发电项目。提高光热发电项目技术水平。各地能源主管部门和企业在新能源基地建设中要充分发挥光热发电调峰特性，科学合理确定基地项目电源配比；拟建和在建项目技术水平要求不得低于国家组织的示范项目；优化光热电站单机规模和镜储等配置，原则上每 10 万千瓦电站的镜场面积不应少于 80 万平方米。
2023 年能源工作指导意见	国家能源局	2023.4	推动第一批以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地项目并网投产，建设第二批、第三批项目，积极推进光热发电规模化发展。
关于组织开展可再生能源发展试点示范的通知	国家能源局	2023.10	到 2025 年，组织实施一批技术先进、经济效益合理、具有较好推广应用前景的示范项目。其中，光热发电低成本技术示范。主要支持光热发电新技术创新和应用，包括大容量机组、高效集热系统技术及设备部件、低成本镜场技术、大容量储热系统、高精度智能化控制系统等技术创新和应用，实现低度电成本的光热发电示范应用，推动太阳能热发电降本增效和规模化发展。
关于进一步规范可再生能源发电项目电力业务许可管理的通知	国家能源局	2023.11	达到设计寿命的光热发电机组，参照煤电机组许可延续政策和标准执行。
甘肃省碳达峰实施方案	甘肃省人民政府	2023.5	探索光热发电新模式，加大光热发电技术攻关，谋划实施“光热 + 风光电”一体化项目。到 2030 年，力争全省新能源装机容量突破 1.3 亿千瓦。加快先进适用技术研发和推广应用。开展熔盐储能供热和发电、氢能规模化应用示范项目等高比例新能源示范。

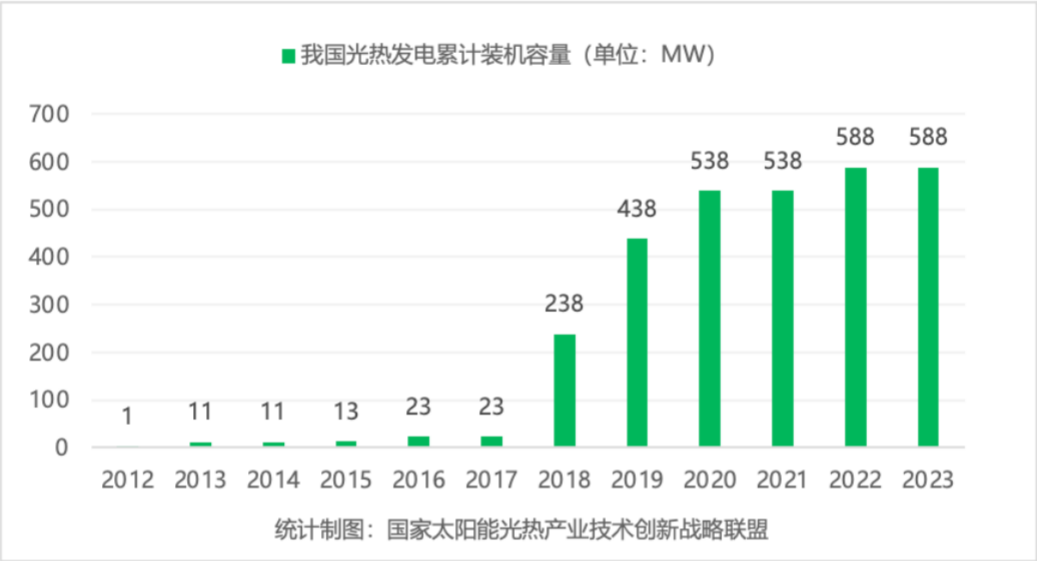
政策名称	发布部门	发布时间	主要内容
山西省科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022-2030年）	山西省科学技术厅 山西省发展和改革委员会 山西省工业和信息化厅 山西省生态环境厅 山西省住房和城乡建设厅 山西省交通运输厅 山西省能源局	2023.6	开发高效低成本集热、大规模储热、相变储热、多能互补供暖等技术与装备，加快高效光伏技术、新型光热发电与储能技术、太阳能电站智能运维技术等新技术转化。
青海省能源局关于推动“十四五”光热发电项目规模化发展的通知	青海省能源局 国家能源局西北监管局 青海省发展和改革委员会 青海省自然资源厅 青海省林草局	2023.7	结合“十四五”电力需求，以光热配比、镜储配置、调峰调频、技术性能、光热业绩（含建设履约情况）等为主要条件，竞争性配置光热一体化项目。原则上参与竞争配置项目新能源与光热比例最高为 6 ： 1，鼓励每 10 万千瓦电站的镜场面积不少于 80 万平方米，日储能时长 6 小时以上（年时长最低为 2190 小时），技术水平要求不得低于国家组织的示范项目。光热一体化项目用地参照《自然资源部办公厅国家林业和草原局办公室国家能源局综合司关于支持光伏发电产业发展规范用地管理有关工作的通知》及青海省实施细则执行。 纳入 2021 年、2022 年全省新能源开发建设方案且按期建成的本地消纳项目，光热上网电价按照煤电基准电价执行。2023 至 2025 年，通过竞争性配置取得的光热一体化项目均参与市场化交易，光热上网电价参照《国家发展改革委关于进一步深化燃煤发电上网电价市场化改革的通知》执行，绿电优先参与青海省各类电力市场，具体按照市场交易规则完成。 光热一体化项目可不配套其他调节能力设施。充分发挥光热项目优良的基荷电源作用与辅助服务特性。光热参与市场化交易时，在光热发挥顶峰、调峰等调节作用的基础上，按照绿电优先的原则进行科学调度。 鼓励配置天然气熔盐加热炉、大功率电制热设备。通过大功率电制热设备使用自发电量加热熔盐时，不收取过网费和容量费。

政策名称	发布部门	发布时间	主要内容
青海省能源领域碳达峰实施方案	青海省发展和改革委员会 青海省能源局	2023.8	提升多极支撑清洁能源供给能力:稳妥发展光热发电。发挥光热发电灵活调节、电网支撑和促进新能源消纳的优势，推进光热发电多元化开发建设。创新技术发展模式 ,示范推进光热与光伏一体化友好型融合电站。加快建成多个十万千瓦级的光热发电项目，推动各类型光热发电关键部件、熔融盐等核心材料和系统集成技术开发，着力培育自主知识产权的光热发电核心技术和产业链优势。提升多能互补储能调峰能力：开展太阳能热发电参与系统调峰的联调运行示范，提高电力系统安全稳定水平。
关于推动内蒙古高质量发展奋力书写中国式现代化新篇章的意见	国务院	2023.10	加快建设库布其、腾格里、乌兰布和、巴丹吉林等沙漠、戈壁、荒漠地区大型风电光伏基地、支撑性电源及外送通道。研究推动浑善达克沙地至京津冀输电通道建设。坚持规模化与分布式开发相结合，同步配置高效储能调峰装置，积极发展光热发电。
内蒙古自治区新能源倍增行动实施方案	内蒙古自治区人民政府办公厅	2023.11	到 2030 年，新能源本地消纳电量达到 4000 亿 kWh，灵活性调节能力达到 3000 万千瓦左右，其中，光热发电达到 100 万千瓦；新型储能 2000 万千瓦。着力提升电力系统调节能力。推动太阳能光热发电示范，结合沙漠、戈壁、荒漠地区新能源基地建设规划光热布局 ,统筹新能源项目布局或预留光热项目场址，推动光热发电示范，“十四五”期间力争完成新增光热发电并网装机规模 20 万千瓦。
西北区域电力并网运行管理实施细则 西北区域电力辅助服务管理实施细则	国家能源局西北监管局	2023.11	由地调直调的装机容量 50MW 及以上的光热发电厂适用。新版“两个细则”将开展模拟试运行、结算试运行后再转入正式运行。

二、太阳能热发电市场发展情况

2.1 我国太阳能热发电装机容量

2023 年，我国没有新增并网光热发电机组。截至 2023 年底，我国兆瓦级规模以上光热发电机组累计装机容量为 588MW；其中，并网光热发电机组容量 570MW，包括 11 座光热电站，最大装机规模 100MW，最小装机规模 10MW。

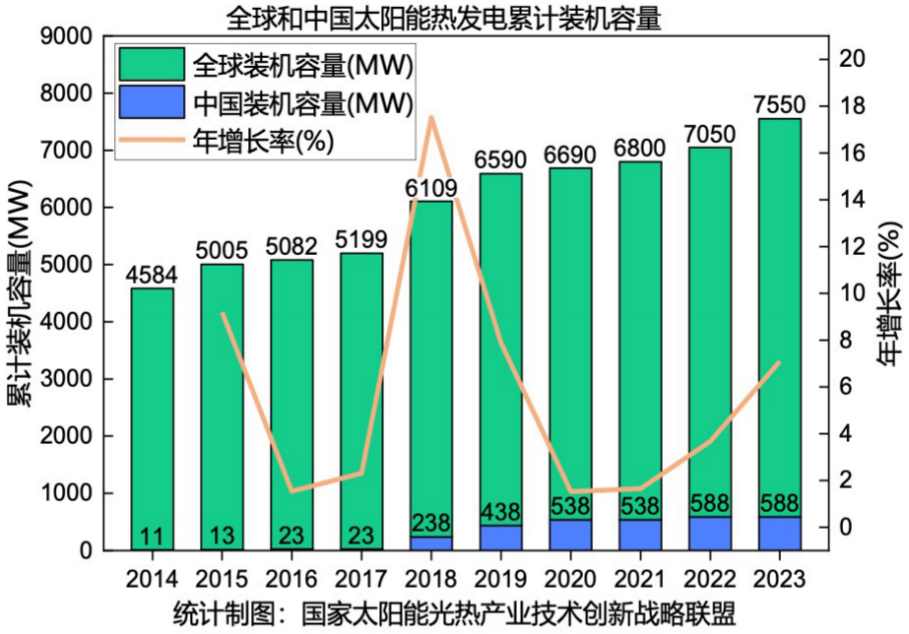


2.2 全球太阳能热发电装机容量

2023 年，国外新增 3 座并网光热电站，总装机容量 500MW，均为上海电气联合体总承包建设的迪拜 950MW 太阳能光热光伏混合项目（NOOR ENERGY 1）中的组成部分。该项目中，光伏发电容量 250MW，光热发电容量 700MW，包括 1 座 100MW 塔式和 3 座 200MW 槽式电站（1-3 号机组），综合上网电价 7.3 美分 /kWh，运营期 35 年。其中，槽式 1 号光热机组于 2022 年 11 月 29 日首次成功并网发电；100MW 塔式机组经过将近四个月时间全面调试后于 2023 年 2 月顺利实现满负荷运行[6]；200MW 槽式 2 号机组于 2023 年 10 月并网发电[7]；200MW 槽式 3 号机组于 2023 年 12 月并网发电[8]。

图 2.2-1 NOOR ENERGY 1 太阳能混合项目（图片来源：上海电气）

根据国家太阳能光热联盟统计，2023 年底，全球光热发电累计装机容量达到 7550MW（含美国上个世纪 80 年代建设目前已退役的 8 座槽式电站，总装机容量 274MW，最长运行时间超过 30 年）。近几年全球光热发电累计装机容量发展情况如下图[1]所示。



2.3 太阳能热发电技术类型

按照聚光形式，国家太阳能光热联盟对国内外太阳能热发电技术路线占比情况进行了统计。截至 2023 年，我国并网光热电站中，熔盐塔式（简称塔式）占比约 64.9%，导热油槽式（简称槽式）约 26.3%，熔盐线性菲涅尔式（简称线菲式）约 8.8%。而在我国 MW 级规模以上光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%。

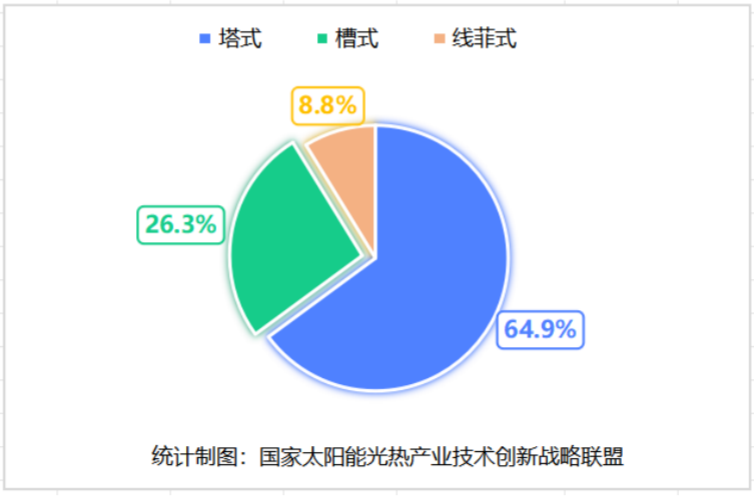


图 2.3-1 我国并网光热电站技术类型占比

[1] 本图由中国科学院电工研究所王鸣川同学绘制

全球来看（主要包括西班牙、美国、阿联酋、沙特、科威特、北非、南非、以色列、印度、智利、法国、意大利以及中国等国家和地区），截至 2023 年底，全球光热发电累计装机容量中槽式占比约 75.5%，塔式约 20.9%，线菲式约 3.6%。

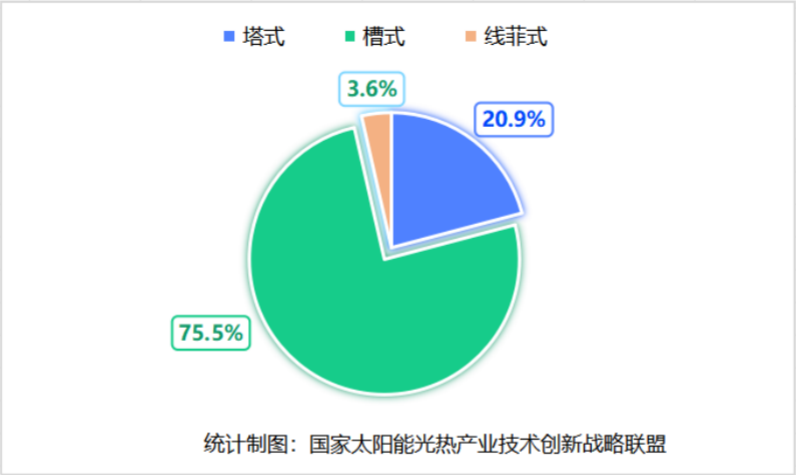


图 2.3-2 全球累计光热发电装机中的技术类型占比

通过对比发现，我国塔式光热发电占比较多，而全球范围内槽式较多，主要原因是国外最早的商业化光热电站采用了槽式技术。美国建于上个世纪 80 年代的 9 座 SEGS 电站均为槽式电站（未配置储热系统），总装机容量 354MW；此后，欧洲的首座商业化光热电站也采用了槽式（含有熔盐储热系统）技术。2007 年，西班牙政府率先发布了促进太阳能热发电技术发展的上网电价法案（Royal Decree 661-2007）[9]，然而，包括银行在内的融资机构要求建设项目应有案例参考，从而增加可授信度。因此西班牙建设的光热电站几乎都采用了槽式光热发电技术；在西班牙约 2300MW 的光热发电装机容量中，槽式技术约占 97%。同时，在全球光热发电装机容量位居第二的美国，槽式技术占比也达到约 71.8%。

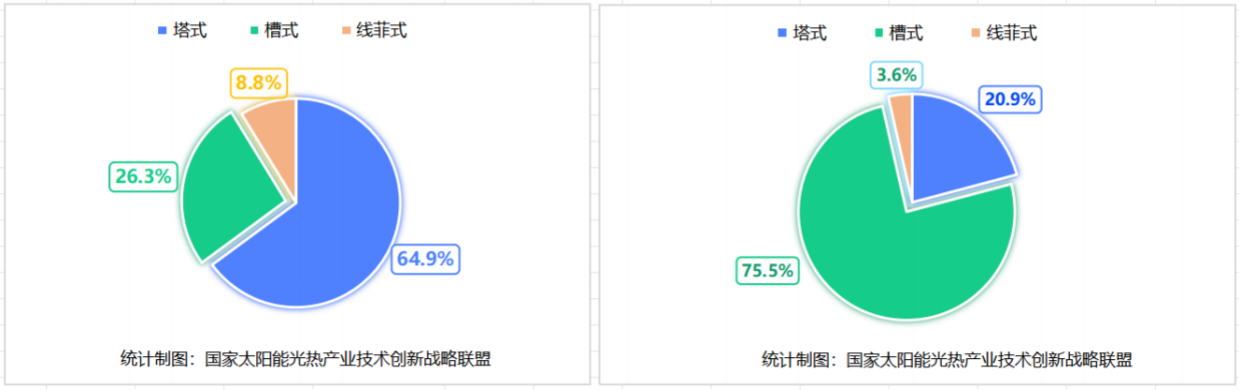


图 2.3-3 我国并网光热电站（左）及全球（右）累计光热发电装机中的技术类型占比

在我国，经组织专家对有关地区发展改革委（能源局）推荐的申报项目进行评审，国家能源局于 2016 年 9 月公布了第一批太阳能热发电示范项目名单（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。其中，塔式 9 个项目，槽式 7 个项目，线菲式 4 个项目 [10]。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，给予了所有技术路线在我国独特气候条件下进行大规模验证的机会，从而攻克关键技术装备，形成完整产业链和系统集成能力，推动太阳能热发电技术进步和产业发展。然而，由于太阳能热发电系统复杂，产业链不完整，加上延期投产政策不明确，我国西北地区有效施工期短以及项目用地问题等多方原因，截至 2021 年底前（延期并网时间节点），塔式项目完成率 44.4%，槽式项目完成率 28.6%，线菲式项目完成率 25%。

2.4 新增太阳能热发电项目

随着以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地建设加快推进，作为落实市场化并网条件的配套选择之一，太阳能热发电项目不断增加。根据国家太阳能光热联盟统计，在国家第一、二批大型风电光伏基地建设项目等配储光热发电项目基础上（项目清单可参见《中国太阳能热发电行业蓝皮书 2022》），2023 年，我国列入政府名单的新增拟建光热发电项目约 12 个 [11-17]，总装机容量 1350MW（详见表 2.4-1，容量按国际单位标注）。其中，甘肃光热发电有限公司阿克塞 50MW 高温熔盐槽式光热发电项目为国家能源局首批光热发电示范项目以及 2021 年甘肃省省列重大项目，2023 年 8 月 16 日举行了项目复工复启仪式 [18]。

表 2.4-1 2023 年我国新增拟建光热发电项目清单

序号	项目名称	光热发电容量
1	“疆电入渝”哈密 - 重庆 ±800 千伏特高压直流输电工程配套新能源电源项目	200MW（新疆华电天山、新疆重能电力各 100MW）
2	华能乌拉特后旗风光热储一体化项目 30 万千瓦光热发电项目	300MW
3	合盛电业（鄯善）有限公司吐鲁番市鄯善县 235 万千瓦光伏光热一体化项目	250MW
4	中国石油吐哈油田鄯善东 100 万千瓦“风光热储”一体化综合能源项目	100MW
5	中广核甘肃玉门 70 万千瓦光伏光热风电制氢示范项目	100MW
6	甘肃光热阿克塞 50MW 高温熔盐槽式光热发电项目	50MW
7	西藏 2023 年保障性并网新能源项目	350MW（5 个项目，详见表 2.4-2）
统计制表：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟		

表 2.4-2 2023 年西藏自治区含光热发电的保障性项目竞配结果

序号	项目名称	光伏容量	光热容量	竞配企业
1	拉萨市当雄县 450MW 光伏 +150MW 光热项目	250MW	100MW	中国电力工程顾问集团有限公司
2	中广核拉萨乌玛塘 500MW 光伏配套 100MW 光热项目	125MW	50MW	中广核风电有限公司
3	那曲市色尼区光伏 + 光热一体化项目	250MW	100MW	国投电力控股股份有限公司
4	那曲市聂荣光伏 + 光热一体化项目	125MW	50MW	国投电力控股股份有限公司
5	那曲市安多县光伏 + 光热一体化项目	125MW	50MW	西藏开发投资集团有限公司
统计制表：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟				

据国家太阳能光热联盟梳理统计，截至 2023 年底，我国各省和自治区在建和拟建（列入政府名单）光热发电项目约 43 个，总装机容量 4800MW，预计最晚将于 2025 年完成建设；其中，约有 1200MW 预计将于 2024 年建成。

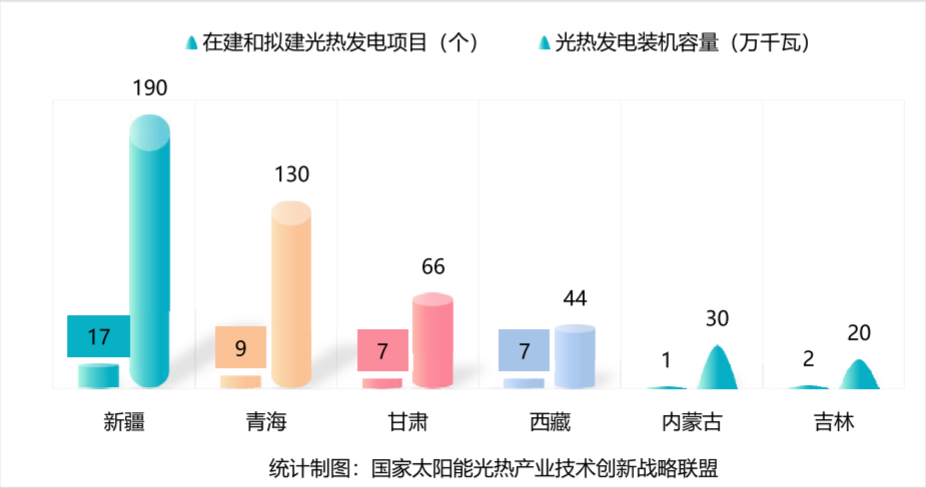


图 2.4-1 我国列入政府名单的在建和拟建光热发电项目分布（截至 2023 年底）

三、太阳能热发电示范项目运行情况

截至 2023 年底，我国并网运行的光热电站仍主要为国家能源局首批太阳能热发电示范项目。根据国家发改委相关文件，纳入国家能源局太阳能热发电示范项目名单的项目于 2021 年底前全容量并网的，上网电价继续按 1.15 元 /kWh 执行，之后并网的首批示范项目中央财政不再补贴。我国 2021 年底前成功并网的太阳能热发电示范项目有 7 个，总装机容量 450MW。此外，国家能源局首批多能互补集成优化示范工程项目（国能规划 [2017]37 号）中，风光水火储多能互补系统项目——海西州多能互补集成优化示范工程于 2019 年 9 月完成全部建设任务，其中包括一座 50MW 塔式光热电站。2023 年，随着运行经验的积累和运行水平的逐步提高，各光热示范电站的运行性能不断提高，逐步进入稳定发电期，发电量大幅提升。本章节主要总结太阳能光热示范电站的运行情况。感谢各电站业主对于本章的贡献。

3.1 中广核德令哈 50MW 槽式光热电站

中广核德令哈 50MW 槽式光热电站于 2018 年 10 月正式商运，总投资约 17 亿元，占地面积 2.46 平方公里。集热场面积 62 万平方米，采用 190 个标准 ET-3 槽式集热器回路，导热油为传热介质（工作温度在 293-393℃），二元硝酸盐双罐储热，储热时长 9 小时，中温、高压汽轮发电机组（主汽温度 381℃ / 正常运行；370℃ / 储热发电模式）发电。

2023 年，电站运维团队全方面开展“提质增效”工作，通过机组大修、G 镜场集热器角度修正及精度调整、系统流量提升、熔盐加注及保温修复等技改重点工作，提升机组发电能力，持续开展精细化调整和节能降耗工作。2023 年度，完成上网电量 11040 万 kWh。

其中，2023 年单日最高上网电量达到 102 万 kWh，同比提升 18.3%，单月最高上网电量 1626 万 kWh，同比提升 16%，均超过历史最高水平。2023 年 7 月 6 日，电站有功出力达到 50.9MW，较之前最大负荷 42MW，同比提升 20.9%，时隔四年再次实现满负荷运行。

3.2 首航高科敦煌 100MW 塔式光热电站

敦煌首航 100MW 熔盐塔式光热电站是我国首座百 MW 级塔式光热电站。2018 年 12 月 28 日机组首次并网；2019 年 6 月电站实现满负荷运行，年发电量 8647.17 万 kWh。2020 年发电量 1.37 亿 kWh，增幅 58.3%。2021 年发电量 2.00 亿 kWh，增幅 46.2%。2022 年因汽轮机缺陷，经专家提议机组最大安全运行负荷不超过 63%，发电量保持与 2021 年持平。

2023 年再创电站投运以来历年最高纪录，2023 年 1-11 月份，电站发电量为 2.35 亿 kWh，同比上年 1-11 月增幅 21%。2023 年由于机组最大安全运行负荷不超过 63%，造成大量弃光，直接减少发电量 6579 万 kWh。首航敦煌 100MW 光热电站投运后运行数据如下表所示。

表 3.2-1 首航敦煌 100MW 塔式光热电站运行数据

日期	发电量（万 kWh）	同比增幅	说明
2019 年	8647.17	/	2018 年 12 月 28 日机组首次并网，2019 年 6 月电站实现满负荷运行。
2020 年	13700	58.30%	/
2021 年	20000	46.20%	/
2022 年	20000	0	因国外采购汽轮机缺陷，经专家提议机组最大安全运行负荷不超过 63%，影响发电量。
2023 年 1-11 月	23500	21%	2023 年由于机组最大安全运行负荷不超过 63%，造成大量弃光，直接减少发电量 6579 万 kWh。12 月开始对汽轮机高压缸进行更换。
制表：首航高科 / 国家太阳能光热产业技术创新战略联盟			

电站 2023 年 9 月单月发电量超过 3192 万 kWh，最长不间断发电时长达 338.21 小时，生产厂用电率为 8%。经过 2023 年各种运行数据分析发现，除发电系统外，聚光集热系统，储热换热系统运行指标均有明显上升。2023 年底至 2024 年初电站对汽轮机高压缸进行更换，各方面系统将进行技术的升级改造，预计 2024 年电站发电量将创历史新高。

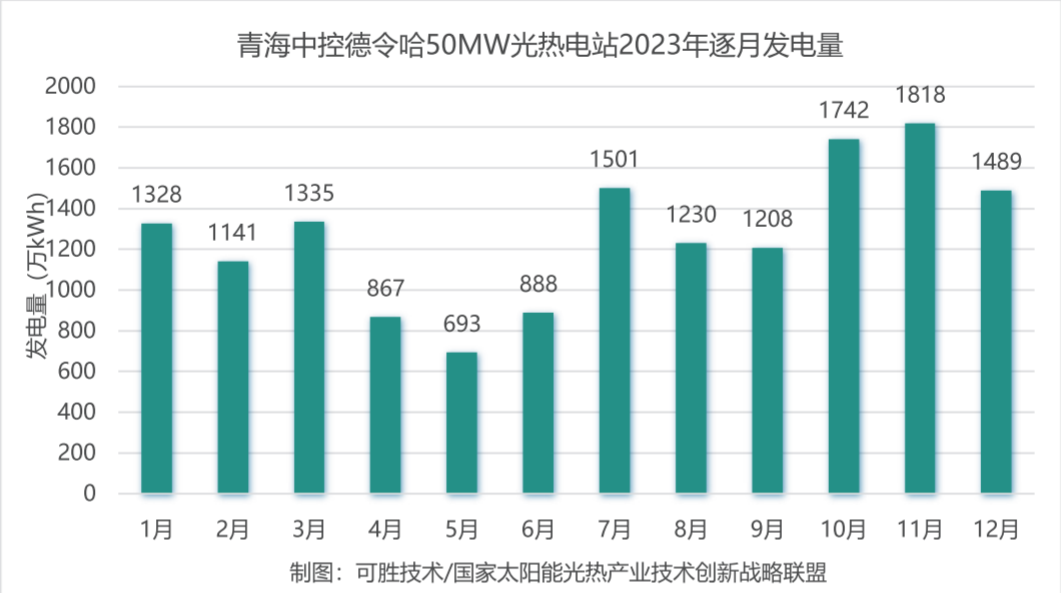
3.3 青海中控德令哈 50MW 塔式光热电站

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。电站移交生产后的首个完整年度，累计发电量 1.22 亿 kWh，创下全球同类型电站投运后同期最高水平。2020 年和 2021 年发电量均突破 1 亿 kWh，扣除期间汽轮机故障影响，发电量达到设计值的 95% 以上。2022 年，电站年度发电量 1.464 亿 kWh，发电量达到年度设计发电量的 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%。

2023 年，青海中控德令哈 50MW 塔式光热电站年度发电量 1.524 亿 kWh，达到设计发电量的 104.38%，连续两年达到年设计发电量。2023 年，电站全年运行稳定良好，提前 10 天完成年度设计发电量，在太阳能直接辐射总量略低于 2022 年情况下，发电量比 2022 年度进一步提高 4.13%。

电站逐月发电量如下图所示，其中 11 月发电量达到 1818 万 kWh，创投运以来月度发电量新高；此外，全年有 129 天单日发电量达产率超过 100%。2023 年 5 月和 6 月发电量偏低，主要是由于项目所在地雨季，太阳法向直射辐射总量下降；另由于特检院进行熔盐管道、蒸汽管道特检，全厂停机 7 天，影响发电量 211 万 kWh（若扣除管道检测的影响，年度发电量预计将达到设计值的 105.83%）。



自 2019 年 7 月移交生产运行以来，青海中控德令哈 50MW 光热电站已稳定运行四年零六个月，通过不断优化运行策略，连续突破单日、单月、年度发电量记录。截至 2023 年底，电站已累计发电 5.738 亿 kWh。电站的卓越运行表现充分验证了我国光热发电核心技术及装备的先进性及可靠性，也为正在全面推进的风光大基地光热项目建立了扎实基础。

3.4 中电建共和 50MW 塔式光热电站

中电建共和 50MW 塔式光热发电站是中国电建旗下电建新能源公司当前唯一一个投运光热发电站，也是中国电建首个自行投资、设计、建设、运维的光热发电站。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，总占地面积 2.12 平方公里。电站采用塔式熔盐聚光太阳能热发电技术，配 1 座太阳能集热塔，吸热器中心标高 210 米；定日镜场采用 30016 面定日镜；配套建设保证汽轮发电机组额定功率满发约 6 小时的熔盐储热系统；配套汽轮机为国内首台高温、超高压、双缸、双轴、一次中间再热、轴向排汽、8 级凝气式直接空冷汽轮机，额定功率 50MW；以发电机 - 变压器 - 线路单元接线方式接入自建的 110 kV 升压站送出，通过一回 110 kV 架空线路接入电网 330 kV 升压汇集站。

电站于 2018 年 5 月 6 日开工，2019 年 9 月 19 日并网发电，是国内全国第四家实现并网发电的光热示范项目。2021 年 4 月 22 日项目通过了国家示范性验收。

自投运以来，电站各方人员团结奋进、克服重重困难，深挖设备性能、精细化管理及运行策略。2023 年，电站设备性能、发电量逐步提升，全年发电量达 6818.7 万 kWh，实现年度发电任务的 100.275%，上网电量为 6757.3 万 kWh，实现年度上网任务的 108.99%。

3.5 中国能建哈密 50MW 塔式光热电站

中国能建哈密 50MW 塔式光热发电站是中国能建首个自行投资、设计、建设、运维的光热发电站。电站位于新疆哈密市伊吾县淖毛湖太阳能发电园区，总占地面积 6600 亩。电站采用熔盐塔式太阳能热发电技术，配 1 座太阳能集热塔，吸热器塔顶标高 220 米；定日镜场采用 14500 面巨蜥形定日镜；配套建设保证汽轮发电机组额定功率满发约 13 小时的熔盐储热系统；配套汽轮机为东方电气首台高温、超高压、双缸、双轴、一次中间再热、轴向排汽、8 级凝气式直接空冷汽轮机，额定功率 50MW；以发电机 - 变压器 - 线路单元接线方式通过一回 110kV 架空线路接入新疆电网。

电站于 2017 年 10 月 19 日开工，2019 年 12 月 29 日机组首次完成并网工作，2021 年 11 月顺利通过国家示范性验收。2023 年是电站主设备治理、性能提升的关键年份，年内月度最高发电量 1507.51 万 kWh、单日最高发电量 86.9 万 kWh。

3.6 兰州大成敦煌 50MW 线菲式光热电站

兰州大成敦煌 50MW 线菲式光热电站位于敦煌市七里镇光电产业园区，总体技术方案采用兰州大成自主知识产权的高倍熔盐线性菲涅尔式太阳能聚光集热系统，以熔盐作为集热、传热和储热统一工质，配套建设额定满发约 15 小时的熔盐储热系统，匹配使用常规高温高压参数的汽轮发电机组。作为全球首个采用熔盐工质的线聚焦技术商业化运行的光热项目，具有集热场抗风能力强、占地面积小、系统设备和运行环节简化、清洗运维方便、初始投资低等优势。

电站于 2018 年 6 月全面开工，2019 年 12 月 31 日完成首次并网，2021 年实现月度满发。项目运行开拓性地实现了日常进退盐操作，解决了线聚焦高温熔盐工质运行难题，提高了项目运行的经济性、可靠性和安全性。2023 年，电站进行了系统进一步优化升级，提升运维策略及运行稳定性，经过优化的集热回路表现超过设计指标，预计 2024 年全面完成电站升级工作。

3.7 中船新能乌拉特 100MW 槽式光热电站

乌拉特中旗 100MW 槽式光热电站由中船新能设计、建设、调试和运维，龙腾光热开发并参与投资建设的国家首批太阳能热发电示范项目中单体规模最大、储热时间最长的槽式光热发电项目。电站位于内蒙古巴彦淖尔市，于 2018 年 6 月正式动工，2020 年 12 月实现满负荷发电，2021 年 7 月熔盐储能系统全面投运，实现 24 小时连续稳定高负荷运行。

电站自投运以来，累计发电量约 8.7 亿 kWh，2023 年纯光热年发电量约 3.3 亿 kWh，单月纯光热最高发电量 5230 万 kWh，单日纯光热最高发电量 221.6 万 kWh，各项指标均超过设计值，实现当年投产当年达标。

项目建设期间，中船新能成功申请专利 100 余项，创造了 5 项世界纪录，培养了光热发电研发、设计、工程管理和生产运营队伍，具备了系统集成能力、掌握了部分核心技术。通过严格精细化的质量管控，保证了槽式集热器光学拦截率超过 98%（目前国际水平为 97%）；通过设计优化，电站按照 35 年寿命建造，率先达到国际先进水平。该项目的成功建设带动了中国船舶集团内外光热关键产品的研制和应用，推动了槽式光热发电技术国产化发展。

3.8 鲁能格尔木多能互补工程 50MW 塔式光热电站

鲁能格尔木多能互补工程 50MW 塔式光热电站是世界上首个集风光热储调荷于一体的多能互补科技创新项目——鲁能海西多能互补集成优化国家级示范工程的组成部分（另建有 200MW 光伏项目、400MW 风电项目及 50MW 储能项目）。电站位于青海格尔木市东光伏发电园区，海拔 2800 米，采用塔式熔盐太阳能热发电技术，主要由聚光吸热系统、储热和蒸汽发生系统、高温高压（540℃，14MPa）再热纯凝汽轮发电机系统以及其他辅助设施组成。单台定日镜面积 138m^2，总采光面积 61 万 m^2，定日镜数量为 4400 台；混凝土塔高 147.4m，吸热器高度为 40.7m，吸热器额定功率为 280MW；储热时长 12 小时；汽轮机采用冲动式汽轮机组，发电机中置，一端连接高压缸，另一端连接低压缸，高压缸转速 10031rpm，通过减速箱与发电机相连接，低压缸转速 3000rpm，轴向排汽，发电机采用无刷励磁系统，直接空冷排汽系统。

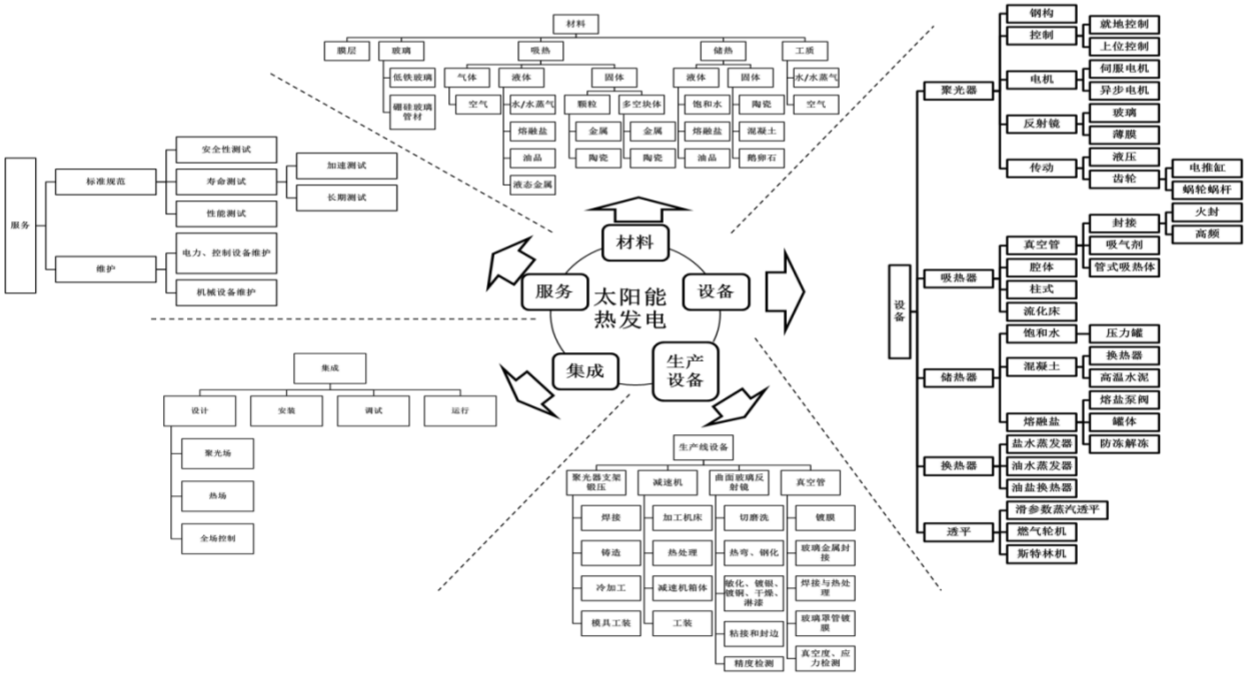
电站于 2018 年 5 月 8 日开工建设，2019 年 9 月 19 日并网发电，成为我国首个储热时长最长、可实现 24 小时连续稳定发电的塔式光热电站。通过运行发现，光热电站能够很好地解决传统可再生能源间歇性问题，为电网调峰调频提供支撑，稳定电网输送能力，有效解决“弃风弃光”的难题，为我国能源转型起到了积极的示范、推动作用。2023 年，鲁能格尔木多能互补工程 50MW 塔式光热电站年度发电量 9102.76 万 kWh，电站单日发电量最高达 109.62 万 kWh，月度最高发电量 1067.38 万 kWh。

四、 我国太阳能热发电产业发展情况

4.1 太阳能热发电产业链

太阳能热发电行业产业链长。国家太阳能光热联盟将太阳能热发电产业链分为材料、设备、生产设备、集成和服务等 5 大板块。材料板块主要包括：超白玻璃原片、吸热涂层、吸热板材（镍基合金管、不锈钢管）、熔盐（硝酸钾和硝酸钠二元盐）、导热油（联苯 - 联苯醚）、混凝土（储热材料）、陶瓷等。设备板块主要包括：聚光器、吸热器、储热器（高低温储罐、混凝土）、换热器、透平以及镜场清洗车等。生产设备板块主要包括：超白玻璃生产线、曲面 / 平面制镜生产线、吸热材料生产线、跟踪驱动装置生产线、槽式吸热管生产线等。集成板块主要包括：设计、安装、调试、运维等。服务板块包括检测、标准规范、设备维护等。

《国家能源局综合司关于推动光热发电规模化发展有关事项的通知》[5] 表示：光热发电可消化提升特种玻璃、钢铁、水泥、熔融盐等传统产业，还可带动新材料、精密设备、智能控制等新兴产业发展，光热发电规模化开发利用将成为我国新能源产业新的增长点。



制图：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟

光热发电系统各子系统涉及的关键技术和产品服务等列示如下（不完全列示）：

聚光系统：气象监测系统、云预测系统（全天空成像仪，30 分钟内 DNI 预测）、金属背板冲压自动生产线、子镜粘接固化及检验生产线、定日镜结构组装及面型调整检测生产线、高精度定日镜（面型精度、跟踪精度）、镜场布置设计软件、定日镜校正系统（基于机器视觉）、镜场控制系统、线菲式一次反射镜（超白玻璃，反射率＞ 94%）和二次反射镜（超白玻璃，反射率＞ 94%，复合抛物面聚光器）等。

吸热系统：槽式吸热管（内管、高温选择性吸收膜层）、塔式吸热器（高温镍基合金管材、高吸

收率涂层）、吸热器结构设计、吸热器热工水力程序、吸热器热负荷计算程序、吸热器效率计算程序、事故安全计算程序、吸热器能流密度红外监测、镜场与吸热器耦合控制技术（镜场能量调度、吸热器能流分布调整）、吸热器管屏自动化盐控制技术、耐候性隔热材料、吸热器保温材料、分散式控制系统、温度智能信号采集终端设备、智能型仪表，聚光吸热全自动运行技术等。

储换热系统：储罐结构设计（提高承载能力、减少散热）、储罐焊缝无损探伤、储罐基础隔热层、储罐隔热检修、熔盐泵、熔盐阀、熔盐泵支架、管道防凝伴热系统（电加热丝、氧化镁绝缘、金属铠装复合加热元件）、化盐工艺（太阳能与天然气相结合）、熔盐换热器、储换热岛溢流槽容器罐等。

全系统仿真平台：吸热器、镜场等关键设备仿真（吸热器壁面温度分布模拟），系统预热、升温、运行、停机全流程仿真，运行数据输出等。

4.2 太阳能热发电产业基础

我国“十一五”期间，在中国科学院电工研究所的牵头下开始研究 MW 级太阳能热发电系统集成技术及示范。经过十几年的发展，尤其是国家能源局首批太阳能热发电示范项目建设，推动了我国光热发电产业配套能力显著增强。根据国家太阳能光热联盟不完全统计，我国光热发电工程相关配套企业约 600 家[2]。其中，集热系统相关产品和设备供应商约 245 家，涉及塔式、槽式、线性菲涅尔式，产品和服务覆盖超白玻璃原片、反射镜、聚光器、控制系统、跟踪机构、液压驱动、减速机、吸热器及管材、旋转接头、支架、镜面漆、导热油、导热油阀、导热油泵、热镀锌、太阳辐照测量、反射镜生产线及检测等。储热系统相关产品和设备供应商约 135 家，产品和服务覆盖熔盐、熔盐储罐、保温材料、熔盐泵、熔盐阀、化盐服务、加热炉、电加热器、电伴热等。

在关键材料和产品产能方面，在原有产能基础上，为迎接风光大基地中光热发电项目建设，2023 年，相关企业通过延长自身产业链或新建生产线，从而提高光热发电行业的供应支撑能力。例如，在熔盐材料方面，2023 年 5 月，拥有 2.5 亿吨盐矿和 1.8 亿吨煤矿的自有储量以及业内最长盐化工、磷化工、煤化工产业链的云图控股成立湖北云图熔盐科技有限公司，作为旗下专业的熔盐产品研发、营销及服务平台。2023 年 9 月，青海盐湖沃锦储热技术有限公司成立，通过股权投资盘活盐湖资产，复工复产青海盐湖原 40 万吨熔盐项目，提高光热电站用熔盐产能保障能力，助力熔盐储能成本下降。在光热超白玻璃及制镜方面，甘肃凯盛大明光能科技有限公司结合玉门当地优质的低铁石英砂矿产资源，新建一条 600t/d 全氧光热超白浮法玻璃线，从原材料到深加工形成重要闭环，为反射镜降低成本奠定基础。2023 年 10 月，内蒙古百川光热科技有限公司引进西班牙 Rioglass 在华子公司瑞环的钢化槽式镜生产线全套工艺设备、辅助设备及 Rioglass 钢化技术，同时新增一条平面镜生产线，具备 1000 万 m^2/ 年高精度太阳能聚光镜的生产能力。在塔式光热电站吸热器关键管材方面，武汉金牛不锈钢管道科技有限公司致力于该产品国产化，引进了世界先进数控激光焊接生产线及相关检测装备，具备年产 1500 吨镍基合金吸热管的生产能力。

国家太阳能光热联盟对我国部分光热发电关键材料部件的生产供应能力进行了不完全统计更新，详见下表[3]。

[2] 企业数量由国家太阳能光热联盟秘书处洪松、董清风整理。

表 4.2-1 我国部分光热发电关键材料部件生产能力

产品	单位名称（按拼音排序）	年生产能力
光热超白玻璃	大连耀皮玻璃有限公司	超白光热玻璃 700 吨 / 天，年供应能力 2GW
	河南安彩光热科技有限责任公司	超白光热玻璃 600 吨 / 天，年产能 2.5GW（3-15mm 厚度）
	甘肃凯盛大明光能科技有限公司	超白光热玻璃 600 吨 / 天
反射镜	北京兆阳光热技术有限公司	菲涅尔反射镜片 500 万平米 菲涅尔聚光集热镜场 300 万平米
	成都禅德新型储能科技有限公司	槽式抛物面反射镜 350 万平米 塔式平面镜 600 万平米
	甘肃凯盛大明光能科技有限公司	槽式抛物面反射镜 360 万平米 平面镜 1000 万平米
	兰州大成科技股份有限公司	菲涅尔一次反射镜 300 万平米 二次反射镜年产能 50 万片 熔盐线性菲涅尔式集热场整套设备年供应力 300MW
	内蒙古百川光热科技有限公司	槽式抛物面反射镜 350 万平米 平面镜 650 万平米
	山西国利天能科技有限公司	槽式抛物面反射镜 200 万平米
	首航高科能源技术股份有限公司	槽式抛物面反射镜 200 万平米 平面镜 560 万平米
	武汉圣普太阳能科技有限公司	800MW（槽式、塔式、菲涅尔式、二次反射镜、碟式和聚光光伏反射镜）
真空集热管	北京天瑞星光热技术有限公司	200MW
	常州龙腾光热科技股份有限公司	32 万支
	兰州大成科技股份有限公司	6 万支（熔盐集热管）
	山东汇银新能源科技有限公司	20 万支
高温镍基合金吸热管	武汉金牛不锈钢管道科技有限公司	1500 吨
硝酸盐	湖北云图熔盐科技有限公司	硝酸钠和亚硝酸钠 15 万吨
	江西金利达钾业有限责任公司	硝酸钾 22 万吨
	金钾科技有限公司	硝酸钾 15 万吨
	青海盐湖沃锦储热技术有限公司	熔盐级硝酸钾、硝酸钠、硝酸钙及各种高中低温熔盐 40 万吨
	山西沃锦新材料股份有限公司（并盛化工）	熔盐级硝酸钾、硝酸钠、硝酸钙及各种高中低温熔盐 18 万吨
	新疆硝石钾肥有限公司	硝酸钠 7 万吨
导热油	江苏中能化学科技股份有限公司	导热油 30000 吨
	涉县津东经贸有限责任公司	导热油 36800 吨（其中，联苯联苯醚年产 25000 吨）

[3] 产能情况由国家太阳能光热联盟秘书处分别与相关企业确认。

产品	单位名称（按拼音排序）	年生产能力
熔盐泵	江苏飞跃泵业股份有限公司	各类行业熔盐泵上千台
	山东华威泵业有限公司	长轴熔盐泵 40 台
熔盐阀	上海亚核阀业成套有限公司	熔盐阀年产能超 5000 台
	北京佳洁能新节能技术有限公司	下塔大压差调节阀 16 台，调节阀 200 台，截止阀 400 台，多功能熔盐专用自紧式蝶阀 50 台，年供能力 8 个塔式项目，2 个线菲或槽式
隔热防护保温材料	湖北烁砺新材料科技有限公司	塔式吸热器防护隔热保温材料、槽式回路进出口保温、储罐新型保温隔热系统等产品年产量 25000 吨
不锈钢管道	武汉金牛不锈钢管道科技有限公司	10000 吨
	无锡鑫常钢管有限责任公司	高温熔盐管道、导油管及电加热管年产能 1.5 万吨
	中钢不锈钢管业科技山西有限公司	高温熔盐管道、高温导油管年产能 10000 吨
减速机	恒丰泰精密机械股份有限公司	6 万台
熔盐电加热器	杭州华源前线能源设备有限公司	2000MW
熔盐流量计	塔浦（上海）自动化仪表有限公司	500 台
统计制表：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟		

4.3 太阳能热发电相关企业

太阳能热发电产业链主要环节关键材料设备及代表性单位列示[4]如下，以供参考。

说明：考虑页面排版，本图仅做典型列示，按单位简称拼音排序

制图：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟

[4] 列示图由中国科学院电工研究所常春博士根据信息绘制。

说明：考虑页面排版，本图仅做典型列示，按单位简称拼音排序

制图：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟

五、 我国太阳能热发电技术研发情况

5.1 国家科技计划项目

2023 年，处于执行期间的太阳能热发电相关国家重点研发计划项目共有 8 项，如表 5.1-1 所示（按照项目启动时间先后排序）。各项目主要研究内容及 2023 年度取得的相关成果见下，特此感谢各项目负责人对项目本年度进度情况的分享[5]。

2023 年 11 月 13 日，国家自然科学基金委员会发布工程与材料科学部“双碳”专项项目（二）——“工程与材料领域低碳科学基础研究”项目指南，公布十大资助方向，其中包括：聚光太阳能全光谱光 - 热 - 储协同利用，其科学目标为：探究聚光太阳能全光谱利用的热力学极限，阐明聚光太阳能全光谱捕获过程中的多因素、多尺度效应对光热能量传输及转化影响机理，揭示极端能流条件下光场 - 温度场 - 应力场等多物理场耦合对光谱选择性吸收、能量转化和系统运行的影响规律，提出聚光太阳能全光谱利用技术的综合评价方法，建立下一代高温光 - 热 - 储系统能量传递转化与储能 / 释能协同调控方法。专项项目资助期限 3 年（2024 年 -2026 年），计划资助 10-12 项，平均资助强度 200 万元 / 项。

表 5.1-1 2023 年度处于执行间的太阳能热发电技术相关国家重点研发计划项目

序号	项目名称	专项名称	项目牵头单位	项目首席 / 负责人	参与单位
1	超临界 CO_2 太阳能热发电关键基础问题研究（基础研究类）	“可再生能源与氢能技术”重点专项	中国科学院电工研究所	王志峰	南京航空航天大学、首航高科能源技术股份有限公司、西安交通大学、浙江大学、北京工业大学、武汉理工大学、中国科学院上海应用物理研究所、清华大学、北京大学、中山大学、东方电气集团东方锅炉股份有限公司、西安热工研究院有限公司、重庆江增船舶重工有限公司、天津大学、山东电力建设第三工程有限公司、中国科学院工程热物理研究所等
2	高效能仿生型储热材料和过程设计	“变革性技术关键科学问题”重点专项	南京航空航天大学	刘向雷	北京科技大学、南京金合能源有限公司、吉林大学、哈尔滨工业大学、上海交通大学
3	宽波段超表面太阳能聚光器及其集热系统	“变革性技术关键科学问题”重点专项	武汉理工大学	官建国	中国科学院电工研究所、复旦大学、厦门大学、中国科学技术大学、中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

[5] 项目进度情况分别由王志峰、刘向雷、官建国、魏进家、孙晓峰、吴玉庭、谢文韬、臧春城提供。

序号	项目名称	专项名称	项目牵头单位	项目首席 / 负责人	参与单位
4	高通量聚光太阳能热化学转化储能理论与方法	“工程科学与综合交叉”重点专项	西安交通大学	魏进家	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
5	光热发电用耐高温熔盐特种合金研制与应用	“先进结构与复合材料”重点专项	中国科学院金属研究所	孙晓峰	中国科学院上海应用物理研究所、中国科学院宁波材料技术与工程研究所、甘肃光热发电有限公司、松山湖材料实验室、常州龙腾光热科技股份有限公司、振石集团东方特钢有限公司、宝山钢铁股份有限公司、抚顺特殊钢股份有限公司、浙江久立特材科技股份有限公司
6	宽液体温域高温熔盐储热技术	“储能与智能电网”重点专项	北京工业大学	吴玉庭	中国科学院工程热物理研究所、西安交通大学、华南理工大学、浙江可胜技术股份有限公司、西安热工研究院、浙江高晟光热发电研究院、蓝星(北京)化工机械有限公司、华北电力大学、河北工业大学
7	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	鑫晨光热（上海）新能源有限公司	谢文韬	上海交通大学、Alia Energy Consulting SL
8	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	中国科学院电工研究所	臧春城 /Mark Mehos	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、美国国家可再生能源实验室

5.1.1 超临界 CO_2 太阳能热发电关键基础问题研究（基础研究类）

项目研究超临界 CO_2 太阳能热发电的聚光、集热、储热、发电部分关键器件及系统集成理论和方法；拟解决的关键科学问题主要有：高温高效吸热器设计理论与方法，储热放热模式对系统性能的影响机理，超临界 CO_2 与透平热功转换过程的相互作用机制等。

目前项目取得的科技成果主要包括：1）开发了高温环境下稳定运行使用的陶瓷颗粒，吸光比达 0.94，比热容达 1.16 kJ/(kg·K)，具有较高的吸储热性能和耐磨性能，实现了吸热陶瓷颗粒 10 吨级中试生产，并形成了一套吸热与储热材料热物性测试方法。2）发展了面向光热的新型高效超临界 CO_2 动力循环系统的原理和方法，建成了完整的 200kW 超临界 CO_2 发电机组样机，完善了超临界 CO_2 循环发电机组的调试和运维技术，形成了百千瓦级超临界 CO_2 循环发电机组集成技术体系。3）搭建了 200kW 超临界 CO_2 太阳能热发电示范平台。4）开展了超临界 CO_2 太阳能热发电聚光集热系统室外

实验，累计运行超过 167 小时，吸热器出口颗粒温度达 872℃，最高单位距离温升达 324℃ /m。

5.1.2 高效能仿生型储热材料和过程设计

储热技术可以有效解决由于时间、空间或强度上的可再生能源 / 热能供给与需求间不匹配所带来的问题，最大限度地提高整个系统的能源利用率、降低能源利用成本，对构建“清洁低碳、安全高效”的现代能源产业体系，推进我国能源行业供给侧改革、推动能源生产和利用方式变革具有重要战略意义。现有储热技术存在导热系数小（小于 5 W/m·K）、储热密度低 (小于 200kJ/kg)、储热效率低下、系统可靠性差等一系列问题，已成为制约太阳能热发电、采暖及余热回收等技术发展的瓶颈。因此，亟需研发高效率高可靠性储热技术。

本项目拟突破传统思维，立足传热学、材料学、仿生学等多学科交叉，开展热量储存、传输、释放的全链条研究。通过提出容积式太阳能热转换与储存一体化方法，探索仿生等级孔多尺度光子波、声子波传递机理，建立仿生等级孔复合材料的可控制备及可靠性提升方法，开展材料 - 单元 - 系统多层次仿生优化设计，突破传统方法的掣肘，最终开发储热密度大、响应快、可靠性高的革命性储热材料，并建立长寿命、高可靠性、高效率储热系统的动态运行调控策略。

2023 年度，项目团队制备了基于 MXene 的热导率和机械性能协同增强的碳化硅基复合储热材料，突破了传统陶瓷骨架固有的高脆性的瓶颈，研制了光热 / 电热多源驱动复合储热材料，实现了光热 / 电热转化与储存一体化，实现复合储热材料储热密度达 291.37 J/g、热导率突破 51.82 W/(m·K)；提出了三周期极小曲面基仿生多孔相变储热单元设计方法，大幅缩减储 / 释热时间达 80% 以上；综合仿生预测算法、优化算法以及模糊逻辑，开展了材料 - 单元 - 系统多层次仿生优化设计，突破传统方法的掣肘，建立了长寿命、高可靠性、高效率储热系统的动态运行调控策略。

5.1.3 宽波段超表面太阳能聚光器及其集热系统

现有的太阳能聚光器需要高精度的抛物面和复杂的逐日装置，导致运行和维护成本高昂，制约了太阳能光热发电产业快速发展。该项目致力于发展平面超表面太阳能聚光器，将原有抛物面聚光器空间调制聚光变革为相位调控聚光，有效聚焦广角宽波太阳辐射，实现太阳光的免跟踪并降低聚光器运行成本。

2023 年度项目取得的重要进展有：1）基于变换光学建立了平面聚光器的设计基础理论；发展了超表面实现高效光场调控的设计方法，完成了 100 mm × 200 mm 的平面介质超表面聚光器的结构设计，它在 400 nm - 1000 nm 频段理论聚光效率达 55%。2）发展大面积纳米图案的交叉压印技术和纳米转移压印技术，实现了从小面积工作模具到大尺寸压印图案的高效、高精度制备；提出负压增强毛细结构填充技术，实现高精度、高深宽比结构的可靠纳米压印制造，压印精度 ≤0.05 um；发展大幅面高精度扫描离子束刻蚀技术，制备了有效聚光幅面为 300 mm × 600 mm、聚光比为 10 的聚光器样件。3）建立了平面超表面太阳能集热系统模型，揭示了新型真空集热管的“光 - 热 - 力”耦合作用机制；提出了分波段优化利用平面超表面聚光器在吸热器上的色散现象，研制了变截止波长选择性吸收膜层的吸热管，膜层非聚光区域红外发射率 < 0.05，聚光区域红外发射率 < 0.10，太阳波段吸收率 > 0.95；吸热管的热损 < 200 W/m，使用温度可 > 500 ℃；完成了太阳能集热系统中的熔盐系

统设计与设备选型。

5.1.4 高通量聚光太阳能热化学转化储能理论与方法

项目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，开展了高储能密度、高放热温度、长寿命循环的高效聚光太阳能热化学储能技术研究。目前已在多场耦合储能机制、载能体构筑与制备、太阳能热化学反应单元与运行调控、储能系统集成与评价等方面，取得了一系列创新成果和关键技术，具体如下：

1）建立了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理论并构建了相关数理模型，模型与实验误差均小于 16.9%。2）建成了基于 2.2kW 太阳能聚光模拟器的钙基载能体长效吸放热循环试验平台，并建立了高性能太阳能热化学载能体构筑与制备方法；已成功开发多种高性能太阳能热化学载能体材料，反应温度 800℃，初始储能密度 1030~1285 kJ/kg，1000 次循环后性能衰减 8.0~29.5%。3）建成了直接吸热移动床反应单元与实验测试系统，反应转化率达到 85.7%；建成了流化床放热反应单元与实验测试系统，放热温度 667℃，反应转化率达到 84.6%；分别建立了吸、放热反应单元实时控制方案及载能体形貌结构调控方案。4）建成了室外高通量聚光跟踪单元，聚光热功率 27 kW，峰值热流密度 1.9 MW/m^2；完成了聚光集热与化学储能相结合的一体化太阳能高效热化学储能装置集成示范系统实施方案；建成了太阳能高效热化学储能系统性能现场动态测试平台，建成了太阳能热化学储能系统性能现场动态测试平台，测量温度 1100℃，测量能流密度 3 MW/m^2，拍摄速度 10,000 帧 / 秒。上述进展及成果为项目后续示范系统建设提供了有力支撑。

5.1.5 光热发电用耐高温熔盐特种合金研制与应用

本项目针对太阳能光热发电产业低成本高效发电可持续发展需求，通过开展高温合金 / 不锈钢成分优化与组织调控、高温熔盐环境下特种合金腐蚀性能调控、耐温涂层设计及多重光物理效应耦合机理等关键科学问题研究，研发出下一代光热发电系统集热、储热、换热部件所需特种合金、高温熔盐和吸热涂层等关键材料，突破材料批量制备技术，实现关键材料在光热发电系统中的集成设计与示范应用。

目前项目取得的研究结果主要包括：通过固溶强化 + 晶界强化设计理念，研发一种耐 800℃熔盐腐蚀 Ni-W-Cr 体系高温合金；采用微合金化技术使氧化物原位弥散析出，制备出高强度 ODS 不锈钢；热力学计算和实验验证相结合，获取 600℃ 高稳定硝酸熔盐的相图及配方，并分别获取 2 种三元氯化物熔盐的相图和配方；提出以难熔氧化物、跨尺度孔洞协同诱发多重光效应提高涂层吸热率的方法；完成了超高温熔盐（800℃氯化物盐）环境测试装置的方案设计。

5.1.6 宽液体温域高温熔盐储热技术

本项目针对电 / 热泵储热发电调峰电站、 火电厂深度调峰、新一代太阳能热发电、 多能互补综合能源系统等对大容量超长时间高温储热的要求，突破宽液体温域高温熔盐储热系统优化设计、低熔点高分解温度低成本低腐蚀性的混合熔盐材料、大容量高温熔盐储罐及其地基、高温高压大温差熔盐换热器、高电压熔盐电加热器、系统集成与控制等关键技术，完成 10MWh 高温熔盐储热系统工程验

证和工程示范。

2023 年度，项目研发出了熔点 133.3℃、分解温度 734℃的低成本高分解温度混合熔盐配方，获得了一种在 660℃下能承受 16000V 试验电压历时 1min 不闪络和击穿的高绝缘强度高导热的绝缘材料，完成了 10MWh 工程验证系统的安装和试运行，提出了 3 种基于高温熔盐储热的新型能源系统并进行了方案优化分析，筛选出了 660℃大容量高温熔盐储罐的单层结构方案和双层结构方案，针对熔盐 - 水 / 水蒸气、熔盐 - 超临界 CO_2 换热器，建立了其内部的流动 - 换热 - 应力一体化耦合数值模型，初步获得了换热器内多物理场分布特性，建立了换热和流动阻力关联式。

5.1.7 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

项目拟通过开发新型二次反射塔式聚光技术及吸 - 储 - 换热一体化关键器件，开发高参数、高灵活性超临界 CO_2 发电技术，发展光热 - 光伏联合电站的配容与运行调度方法，实现太阳能发电的低成本、高稳定性运行和并网。2023 年度，项目已完成新型定日镜组件、吸 - 储 - 换热一体化部件等关键部件的自主设计和开发工作，并共同研究了光热 - 光伏联合电站的理论综合性能。项目单位已共同申请专利 4 项、SCI 论文 2 篇，后续工作将继续围绕定日镜场、固体颗粒吸热、储热和换热特性、超临界 CO_2 动力循环以及联合电站调度优化控制等层面进一步深化技术合作和交流。

5.1.8 太阳能热发电用高温熔盐储罐力学研究及寿命预测

项目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，结合商业化太阳能光热电站工程实践，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，为太阳能光热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。

目前项目已开展的工作包括：1）基于塔式和槽式 CSP 商业化电站用高温熔盐储罐的温度测试数据，研究了罐体及熔盐温度场分布特征和规律，为储罐力学性能研究提供了边界载荷分析的数据支撑。2）建立了熔盐储罐的结构和温度场数值计算模型，分析了温度变化和熔盐液位变化工况下储罐关键部位的应力分布响应，为储罐的应变测试技术提供了理论参考，确定了高温储罐应变测试方案。3）基于熔盐储罐的结构特征和运行工况条件，开展了储罐寿命预测的理论基础研究，研究了名义应力法和结构应变法的疲劳强度理论。4）设计了熔盐储罐加速疲劳寿命实验平台，开展了加速疲劳实验方案的研究。5）与美国 NREL 交流讨论了电站用高温熔盐储罐力学研究方法和仿真计算结果，进一步完善力学仿真模型。

5.2 太阳能热发电标准

5.2.1 国家标准

根据国家太阳能光热联盟统计，2023 年我国发布太阳能热发电相关国家标准 2 项，处于批准阶段 2 项，处于制修订中的国家标准 11 项[6]。截至 2023 年底，我国已经发布太阳能热发电（含热利用）相关标准 33 项（含 2 项已经处于批准阶段的标准）。

[6] 国家标准由国家太阳能光热联盟秘书处洪松整理。

表 5.2-1 2023 年度我国已发布及报批中的太阳能热发电相关国家标准

序号	标准名称	主要起草单位	归口单位	状态
1	金属和合金的腐蚀 金属材料在静态浸入熔盐或其他液体条件下的高温腐蚀试验方法（GB/T 42912-2023）	西安热工研究院有限公司、中国特种设备检测研究院 、冶金工业信息标准研究院、厦门市特种设备检验检测院、帅翼驰（河南）新材料科技有限公司	全国钢标准化技术委员会	2023-08-06 发布
2	太阳能光伏及光热发电用自清洁涂膜玻璃（GB/T 43083-2023）	北京莱恩创科新材料科技有限公司、山东金晶科技股份有限公司 、山东惠中新材料科技有限公司 、苏州浩纳新材料科技有限公司、北京环丁环保大数据研究院、瑞达森能源科技（北京）有限公司、中清能绿洲（北京）能源科技有限公司、上海晶澳太阳能科技有限公司、北京中科中电能源科技有限公司、中国科学院电工研究所、国家电投集团科学技术研究院有限公司、浙江甬坤能源科技有限公司、熠星赋能（北京）光伏科技有限公司、中能云科能源科技有限公司	全国工业玻璃和特种玻璃标准化技术委员会	2023-09-07 发布
3	《太阳能光热发电站 第 1-3 部分：通用 气象数据集数据格式》（20212983-Z-524）	大唐可再生能源试验研究院有限公司、中国大唐集团新能源科学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	正在批准
4	《线性菲涅尔式太阳能光热发电站技术标准》	中国电力企业联合会、北京兆阳光热技术有限公司、中国能源建设集团西北电力试验研究院有限公司、中国电力工程顾问集团华北电力设计院有限公司、内蒙古电力勘测设计院有限责任公司、河北省电力勘测设计研究院、中国葛洲坝集团电力有限责任公司、山东汇银新能源科技有限公司、常州龙腾光热科技股份有限公司、山东电力建设第三工程有限公司（征求意见稿中列示单位）	住房和城乡建设部 / 中国电力企业联合会	正在批准
统计制表：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟				

表 5.2-2 我国制修订中的太阳能热发电相关国家标准

序号	标准名称	主要起草单位	归口单位	项目进度
1	槽式太阳能集热管热损系数测试方法	中国科学院电工研究所、常州龙腾光热科技股份有限公司、有研工程技术研究院有限公司、北京天瑞星光热技术有限公司、山东汇银新能源科技有限公司、兰州大成科技股份有限公司、北京桑达太阳能技术有限公司、皇明太阳能股份有限公司、中广核新能源控股有限公司、中国船舶重工集团新能源有限责任公司等	全国太阳能标准化技术委员会	正在起草
2	太阳能光热发电站熔融盐储热系统技术要求（GB/T 43083-2023）	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	正在起草
3	塔式太阳能光热发电站主控制系统技术条件（GB/T 42912-2023）	中国能源建设集团科技发展有限公司、中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司、首航高科能源技术股份有限公司、中国大唐集团新能源科学技术研究院有限公司、西门子电站自动化有限公司、南京科远自动化集团股份有限公司	全国太阳能光热发电标准化技术委员会	正在起草
4	光热电站太阳能资源评估规范（20204028-T-416）	中国气象局公共气象服务中心	全国气候与气候变化标准化技术委员会	征求意见
5	塔式太阳能光热发电站集热系统技术要求（20210670-T-524）	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	征求意见
6	太阳能光热发电站并网调度运行技术要求（20214984-T-524）	中国电力科学研究院有限公司、国家电网有限公司 、国网青海省电力公司	全国太阳能光热发电标准化技术委员会	征求意见
7	太阳能光热发电站 直接与间接式主动显热储热系统特性（20214675-Z-524）	浙江可胜技术股份有限公司、中广核风电有限公司、中国大唐集团科学技术研究总院有限公司、浙江高晟光热发电技术研究院有限公司、中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司、中国船舶重工集团海装风电股份有限公司、常州龙腾光热科技股份有限公司、华北电力大学	全国太阳能光热发电标准化技术委员会	征求意见

序号	标准名称	主要起草单位	归口单位	项目进度
8	塔式太阳能光热发电站定日镜技术要求（20212981-T-524）	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	征求意见
9	太阳能光热发电站储热 / 传热用工作介质技术要求 熔融盐（20212982-T-524）	浙江高晟光热发电技术研究院有限公司、北京工业大学、浙江可胜技术股份有限公司、中广核太阳能开发有限公司	全国太阳能光热发电标准化技术委员会	征求意见
10	太阳能热发电站 第 3-2 部分：系统与部件 - 大尺寸抛物面槽式集热器通用要求与测试方法（20230050-T-524）	常州龙腾光热科技股份有限公司、中国大唐集团新能源科学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	征求意见
11	太阳能发电工程项目规范（工程建设强制性国家规范）	/	住房和城乡建设部	完成征求意见
12	塔式太阳能光热发电站运行规程（20210668-T-524）	中国能源建设集团科技发展有限公司	全国太阳能光热发电标准化技术 委员会	
统计制表：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟				

5.2.2 行业标准

2023 年，国家能源局下达 2023 年能源领域行业标准制定计划，其中太阳能热发电相关标准 13 项，涉及工程建设、管理和方法，如表 5.2-3 所示。这些标准制定完成年限为 2024 年或 2025 年。其中，第 1-9 项的标准化管理机构为中国电力企业联合会、技术委员会或归口单位为全国太阳能光热发电标准化技术委员会；《熔盐阀门选用导则》技术委员会或归口单位为电力行业电站阀门标准化技术委员会；第 11-13 项标准的标准化管理机构为水电水利规划设计总院。

表 5.2-3 国家能源局 2023 年能源领域太阳能热发电相关行业标准

序号	标准项目名称	主要起草单位	适用范围和主要技术内容
1	太阳能热发电站熔盐电伴热系统设计规范	中国电建西北勘测设计研究院有限公司等	适用范围：适用于以太阳盐作为传热、储热介质的太阳能热发电站电伴热系统设计。 主要技术内容：总则，术语，电伴热系统设计（总体要求、基础资料、伴热电缆选型、加热功率计算、电伴热回路划分、备用伴热电缆、仪表与控制系统、电气系统），标志、安装及检测要求等。
2	太阳能热发电厂防凝防冻保温技术规程	中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司等	适用范围：适用于太阳能热发电厂设备、管道及其附件的防凝、防冻和保温设计。 主要技术内容：总则、术语和符号、基本规定，防凝设计及计算，防冻设计及计算，保温设计及计算等。
3	太阳能热发电厂节能设计规范	中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司等	适用范围：适用于新建、扩建、改建的槽式、塔式、线性菲涅尔式类型的太阳能热发电工程的节能设计，碟式太阳能热发电工程设计时可参考本规范。 主要技术内容：总则、术语、基本规定、集热系统、储换热系统、汽轮发电系统、电气与仪控和其他技术要求（水工、建筑、供暖通风空调）。
4	光热发电建设项目文件归档与档案整理规范	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司等	适用范围：适用于光热发电建设项目文件归档与档案整理。 主要技术内容：总则、术语和定义、管理职责、项目文件编制、项目文件收集、项目文件整理、声像档案收集与整理、电子文件收集与整理、项目文件归档、项目档案移交及档案分类等内容。
5	二次反射塔式太阳能光热发电站集热系统技术规范	上海勘测设计研究院有限公司、中国长江三峡集团有限公司、内蒙古电力勘测设计院有限责任公司、江苏鑫晨光热技术有限公司	本文件适用于新建、改建、扩建的塔式二次反射太阳能光热发电站集热系统设计。 本文件规定了二次反射塔式太阳能光热发电站的定日镜场、吸热系统、系统协同的技术规范及测试要求。

序号	标准项目名称	主要起草单位	适用范围和主要技术内容
6	太阳能光热发电站环境保护技术监督规程	中广核太阳能德令哈有限公司、中广核太阳能开发有限公司、青海中控太阳能发电有限公司、中电哈密太阳能热发电有限公司、共和西北水电光热发电有限公司、鲁能新能源（集团）有限公司、青海分公司、南方电网电力科技股份有限公司、敦煌大成聚光热电有限公司	本文件适用于太阳能光热发电站环境保护技术监督工作。 本文件规定了太阳能光热发电站环境保护技术监督的内容及技术要求。
7	太阳能光热发电站汽轮机技术监督规程	中广核太阳能德令哈有限公司、中广核太阳能开发有限公司、青海中控太阳能发电有限公司、中电哈密太阳能热发电有限公司、共和西北水电光热发电有限公司、鲁能新能源（集团）有限公司、青海分公司、南方电网电力科技股份有限公司、敦煌大成聚光热电有限公司	本文件适用于太阳能光热发电站单机容量在6MW及以上启、停频繁汽轮机（包括双转速汽轮机）的技术监督。 本文件规定了太阳能光热发电站汽轮机系统技术监督的内容及技术要求。
8	太阳能光热发电站集热系统技术监督规程	中广核太阳能德令哈有限公司、敦煌大成聚光热电有限公司、中广核太阳能开发有限公司、青海中控太阳能发电有限公司、中电哈密太阳能热发电有限公司、共和西北水电光热发电有限公司、鲁能新能源(集团)有限公司、青海分公司、南方电网电力科技股份有限公司	本文件适用于槽式、塔式和线性菲涅尔式等类型太阳能光热发电站集热系统技术监督工作。 本文件规定了太阳能光热发电站集热系统技术监督的内容及技术要求。
9	太阳能光热发电站储热换热系统技术监督规程	中广核太阳能德令哈有限公司、敦煌大成聚光热电有限公司、中广核太阳能开发有限公司、青海中控太阳能发电有限公司、中电哈密太阳能热发电有限公司、共和西北水电光热发电有限公司、鲁能新能源(集团)有限公司、青海分公司、南方电网电力科技股份有限公司	本文件适用于槽式、塔式和线性菲涅尔式等类型太阳能光热发电站技术监督工作。 本文件规定了太阳能光热发电站储热换热系统技术监督内容及技术要求。

序号	标准项目名称	主要起草单位	适用范围和主要技术内容
10	熔盐阀门选用导则	哈电集团哈尔滨电站阀门有限公司	本文件适用于焊接连接的熔盐阀门，主要包括截止阀、蝶阀和调节阀。 本文件规定了熔盐阀门的结构形式、选型要求、产品选型、选型资料等内容。
11	风电光伏与光热一体化发电项目规划报告编制规程	水电水利规划设计总院、中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司	适用范围：适用于新建、扩建风电光伏与光热一体化发电项目的规划。 主要技术内容：范围、术语、基本规定、基础资料、资源分析、工程选址、建设条件、技术路线、规划装机容量、发电量估算、电力接入、环境影响和水土保持、投资匡算和效益分析、实施保障措施、结论及建议。
12	风电光伏与光热一体化发电项目可行性研究报告编制规程	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司、水电水利规划设计总院等	适用范围：适用于风电光伏与光热一体化发电项目可行性研究报告的编制。 主要技术内容：总则、基本规定、基础资料、工程概况、工程任务和规模、太阳能资源、风能资源、站址选择、风电光伏与光热一体化发电设计、光热发电系统设计、光伏发电系统设计、风电机组选型、布置及发电量估算、电气、总平面布置、施工组织设计、环境影响初步分析、投资估算、财务效益初步分析、结论与建议等。
13	多能互补项目经济评价规范	中国电建西北勘测设计研究院有限公司、水电水利规划设计总院等	适用范围：适用于风光储多能互补项目规划、预可行性研究、可行性研究等阶段的经济评价。 主要技术内容：总则、基本规定、财务评价、国民经济评价、技术方案经济比选、改扩建项目财务评价及附录等。
统计制表：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟			

5.3 2022–2023 年度太阳能热发电技术获奖情况

2022-2023 年度，部分太阳能热发电相关技术成果参与了相关评奖，名单如表 5.3-1 所示（如有统计遗漏，敬请谅解）。

表 5.3-1 太阳能热发电相关技术获奖项目名单（排名不分先后）

序号	获奖项目名称	完成单位	奖项
1	熔盐线性菲涅尔式聚光集热系统关键技术及产业化	兰州大成科技股份有限公司、兰州交通大学、兰州大成聚光能源科技有限公司、兰州大成真空科技有限公司、敦煌大成晟能新能源科技有限公司	甘肃省科技进步奖一等奖
2	高效热载介质换热储能设备关键技术及应用	西子清洁能源装备制造股份有限公司、浙江大学	浙江省科学技术进步奖二等奖
3	高性能热媒材料绿色制备技术研发与产业化	涉县津东经贸有限公司	河北省科技进步奖二等奖
4	基于青藏高原光热储能技术研究	中广核太阳能德令哈有限公司、西安交通大学、中国科学院青海盐湖研究所、中广核太阳能开发有限公司、青海盐湖工业股份有限公司	青海省科学技术进步奖三等奖
5	面向可再生能源消纳的高温热泵与电热协同关键技术及成套装备	国网江苏省电力有限公司、上海交通大学、东南大学、南瑞集团有限公司、常州金坛金能电力有限公司、山东力诺瑞特新能源有限公司、河海大学、上海诺通新能源科技有限公司	江苏省科学技术奖二等奖
6	一种热电联产机组深度调峰系统及其运行方法	华电电力科学研究院有限公司	浙江省知识产权奖专利奖三等奖、中国电力企业联合会电力科技创新奖一等奖
7	智能型塔式光热电站性能优化与运行提升关键技术	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司	中国可再生能源学会科学技术奖技术创新奖一等奖
8	聚光集热关键技术与装备	浙江可胜技术股份有限公司	中国电力企业联合会 2023 年度电力科技创新奖一等奖
9	塔式光热电站定日镜场高效布置及瞄准策略技术与应用	中国电建集团西北勘测设计研究院、有限公司、水电水利规划设计总院	中国电力企业联合会 2023 年度电力科技创新奖二等奖
10	世界首座熔盐菲涅尔式光热电站设计安装调试整套关键技术研究	中国电建集团山东电力建设第一工程有限公司	中国安装协会科学技术进步二等奖

序号	获奖项目名称	完成单位	奖项
11	哈密熔盐塔式 5 万千瓦光热发电项目	中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司	中国勘察设计协会电力工业工程设计二等奖
12	中低温热能高效热力循环关键技术及应用	天津大学（赵力课题组）、上海汉钟精机股份有限公司、上海柯茂机械有限公司	中国工程热物理学会科学技术奖技术发明二等奖
13	MW 级电极熔盐加热器	中国能源建设集团有限公司、杭州华源前线能源设备有限公司	中国电力技术市场协会电力科技成果“金苹果奖”二等奖
14	100MW 级塔式光热电站熔盐储热装置技术	首航高科能源技术股份有限公司	中国可再生能源学会科学技术奖技术创新三等奖、“科创中国”系列榜单先导技术奖（绿色低碳领域）
15	乌兰察布“源网荷储一体化”关键技术研究与示范应用	中国长江三峡集团有限公司、中国三峡新能源（集团）股份有限公司、上海勘测设计研究院有限公司	中国可再生能源学会科学技术奖产业推广三等奖
16	大型高温熔盐储罐保温隔热基础关键技术及工程应用	中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司	中国能建科学技术奖一等奖
17	大型塔式光热电站光岛控制系统关键技术研究与应用	山东电力建设第三工程公司	中国电建科学技术奖一等奖
18	大开口槽式集热器的开发以及在中国的性能适用性研究	中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司	中国能建科学技术奖二等奖
19	熔盐储换热系统设计及关键制造施工技术	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司、中国电建集团核电工程有限公司、中国电建集团上海能源装备有限公司、湖北电力勘测设计院有限公司、中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司、中国电建集团江西装备有限公司	中国电建科学技术奖三等奖

序号	获奖项目名称	完成单位	奖项
20	中低温太阳能光热驱动热力循环三维构建理论与方法	天津大学（赵力课题组）	天津市可再生能源学会科学技术奖科学技术一等奖
21	槽式镜与高参数熔盐集热系统	内蒙古百川光热科技有限公司	内蒙古自治区伊金霍洛旗第八届创新创业大赛二等奖
22	材料表面处理用熔盐系统和工艺	中国科学院上海应用物理研究所	第二十三届中国国际工业博览会“CIIF 创新引领奖”
统计制表：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟			

六、太阳能热发电技术经济性

6.1 太阳能热发电项目的电价及投资

发电项目的投资经济性与电价密切相关。根据《国家发展改革委关于 2021 年新能源上网电价政策有关事项的通知》（发改价格〔2021〕833 号），2021 年起，新核准（备案）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。如表 6.1-1 所示，目前我国西北地区不同省区的电价存在较大差异。

表 6.1-1 我国西北省区光热发电项目电价政策

地区	电价	其他说明
新疆维吾尔自治区	统一基准电价 0.262 元 /kWh。	燃煤标杆电价为 0.25 元 /kWh。
内蒙古自治区	”基准价 + 上下浮动“的市场化价格机制。	基准价按现行燃煤发电标杆上网电价确定，蒙西电网基准价 0.2829 元 /kWh，蒙东电网基准价 0.3035 元 /kWh；浮动范围：上浮不超过 10%、下浮原则上不超过 15%。
甘肃省	燃煤标杆基准电价 0.3078 元 /kWh。	光伏采用分时上网电价。
青海省	纳入 2021 年、2022 年全省新能源开发建设方案且按期建成的本地消纳项目，光热上网电价按照煤电基准电价（0.3247 元 /kWh）执行。 2023 至 2025 年，通过竞争性配置取得的光热一体化项目均参与市场化交易，光热上网电价参照《国家发展改革委关于进一步深化燃煤发电上网电价市场化改革的通知》（发改价格〔2021〕1439 号）执行（煤电基准价 ±20%）。 光热项目延期建成的，转为平价项目（电价 0.2277 元 /kWh）。日储能时长（6 小时以上，年时长最低为 2190 小时）未达到中标承诺的，整改期间上网电价按平价执行。	光热项目应单独结算、单独计量，鼓励按照青海省、西北区域电力辅助服务市场运营规则或西北区域“两个细则”参与电力辅助服务获得相应收益。 充分发挥光热项目优良的基荷电源作用与辅助服务特性，光热电站按照电源并网要求接入 AGC 系统，接收调度指令实时调节，早晚高峰具备满发顶峰能力，其余时段优先保障在线运行，尽量降低机组启停次数。 光热参与市场化交易时，在光热发挥顶峰、调峰等调节作用的基础上，按照绿电优先的原则进行科学调度。 鼓励配置天然气熔盐加热炉、大功率电制热设备。通过大功率电制热设备使用自发电量加热熔盐时，不收取过网费和容量费。
统计制表：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟		

在去补贴以及国家以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点，加快推进大型风电、光伏发电基地建设的新形势下，光热发电以风光一体化项目形式建设。光热电站的系统配置，考虑在满足装机规模、储能时长、系统设备安全性等要求前提下降低初投资。与国家第一批光热发电示范项目相比，目前大多数光热 + 新能源电站项目均配备了大容量的电加热器，用于吸纳光伏和风电的弃电；光热电站在电力系统中的功能发生了变化，由此前的“能发尽发”的独立电源调整为“储能调峰”，储能时间也按照项目需求优化为 8 小时左右；聚光系统规模比第一批示范项目减少，等效年利用小时数较低。国家太阳能光热联盟副理事长单位——中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司 [19] 通过对比国家首批太阳能热发电示范项目中玉门某 100MW 塔式电站和当前吐鲁番光热 + 新能源工程中 100MW 光热部分的工程造价（可研）发现：镜场面积从 140 万平米减少为约 65.6 万平米；镜场、三大主机、熔盐罐等主要设备价格均有较大幅度降低；熔盐介质的单价相较于首批示范工程增幅约 1 倍。100MW 塔式光热电站单位造价由 29770 元 /kW 下降至 16209 元 /kW，下降幅度约 45.6%。

需要注意的是，熔盐储能光热电站的投资与所在地区的光资源及气象条件，以及所在省份的相关政策，包括光热发电项目的储能时长、光热与新能源的配比要求、上网电价等密切相关。由于光热电站的功能定位发生了变化，光热电站的年发电小时数和设备利用率降低，导致设备投资的分摊成本提高，电站的度电成本下降幅度较小。

根据各招标网站公布的中标信息，国家太阳能光热联盟统计了部分在建 100MW（即 10 万千瓦）光热发电项目总承包中标情况 [7]，如表 6.1-2 所示；总承包服务中标价格最高约 16.98 亿元，最低 11.99 亿元。但需要特别说明的是，虽然这些光热发电项目装机容量相同，但由于场址（太阳光资源及气象条件）、总承包招标范围、服务内容不尽相同，此外技术路线、镜场面积（最大 130 万平米，最小 44 万平米）、储热时长（8-12 小时不等）、财务模式等均存在差异，因此总承包价格不具有横向对比性。

表 6.1-2 部分在建光热发电项目总承包中标情况（排名不分先后）

序号	项目名称	EPC 总承包方
1	中核玉门 10 万千瓦光热发电项目	中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司 兰州敦煌大成晟能新能源科技有限公司
2	三峡青豫直流二期外送项目 3 标段 100MW 光热发电项目	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 浙江可胜技术股份有限公司 中国能源建设集团浙江火电建设有限公司
3	三峡能源海西基地格尔木 1100MW 光伏光热项目	中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司 首航高科能源技术股份有限公司 中国电建集团四川工程有限公司 上海勘测设计研究院有限公司

[7] 在建光热发电项目总承包中标情况由国家太阳能光热联盟秘书处董清风整理。

序号	项目名称	EPC 总承包方
4	新疆电建睿达若羌县 10 万千瓦光热 +90 万千瓦光伏示范项目	中国水利水电第一工程局有限公司 中国电建集团江西省电力设计院有限公司 山东电力建设第三工程有限公司
5	中国电建新能源吐鲁番市托克逊县乌斯通光热 + 光伏一体化项目 100MW 光热发电项目	中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司 中国水利水电第一工程局有限公司 中国电建集团核电工程有限公司 中国电建集团河北省电力勘测设计研究院有限公司
6	国投若羌 10 万千瓦光热储能 +90 万千瓦光伏项目	中国电力工程顾问集团华北电力设计院有限公司 首航高科能源技术股份有限公司
7	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	设计总承包： 中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司 中国能源建设集团华中电力试验研究院有限公司联合体 EPC 总承包： 中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司
8	哈密北 90 万千瓦光伏发电 +10 万千瓦光热发电项目	首航高科能源技术股份有限公司 中国电力工程顾问集团华北电力设计院有限公司 中能建西北城市建设有限公司
9	中广核吉西基地鲁固直流白城 140 万千瓦外送项目 2-1（100MW 光热）工程	中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司
10	三峡恒基能脉瓜州 70 万千瓦光热储能 + 项目	中国葛洲坝集团电力有限责任公司 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
11	中能建哈密“光（热）储”多能互补一体化绿电示范项目	中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司
12	国家能源集团青豫直流外送项目 1 标段 100MW 光热发电项目	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司

序号	项目名称	EPC 总承包方
13	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	浙江可胜技术股份有限公司 中国能源建设集团浙江省电力设计院有限公司 浙江华业电力工程股份有限公司
14	中广核新能源青海德令哈光储热一体化 200 万千瓦（光热 20 万千瓦）项目	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 中国电建湖北电力建设有限公司 西北水利水电工程有限责任公司
15	新华水力发电博州 100MW 光热发电项目	PC（采购安装）总包： 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
16	精河新华新能源 100MW 光热发电项目	PC（采购安装）总包： 中国电建集团四川工程有限公司 首航高科能源技术股份有限公司
统计制表：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟		

6.2 熔盐储能光热发电与光伏 + 新型储能系统技术经济性对比

2022 年，国家太阳能光热联盟启动了《熔盐储能光热发电与光伏 + 其他新型储能系统技术经济性对比》共性技术课题的研究工作。经过自主申报和联盟专家委员会投票，浙江可胜技术股份有限公司承担了该课题，课题经费 5 万元，该课题于 2023 年结题。本节将主要研究结果进行分享。

熔盐储能、纯电制热熔盐储能、抽水蓄能、压缩空气储能、电化学储能等技术都适用于电力系统大规模、长时间、长寿命的储能调峰应用场景。其中，与熔盐储能光热电站相比，纯电制热熔盐储能不带聚光集热系统，而通过吸收弃风弃光电力的电加热器加热熔盐储能系统进行储能，其余部分完全相同。本研究在青海省德令哈市的太阳能资源条件下，不考虑项目地地理条件限制，在保持项目整体上网电力曲线相同时，分析了带有熔盐储能的光热发电与光伏 + 其他储能路线项目的经济性。

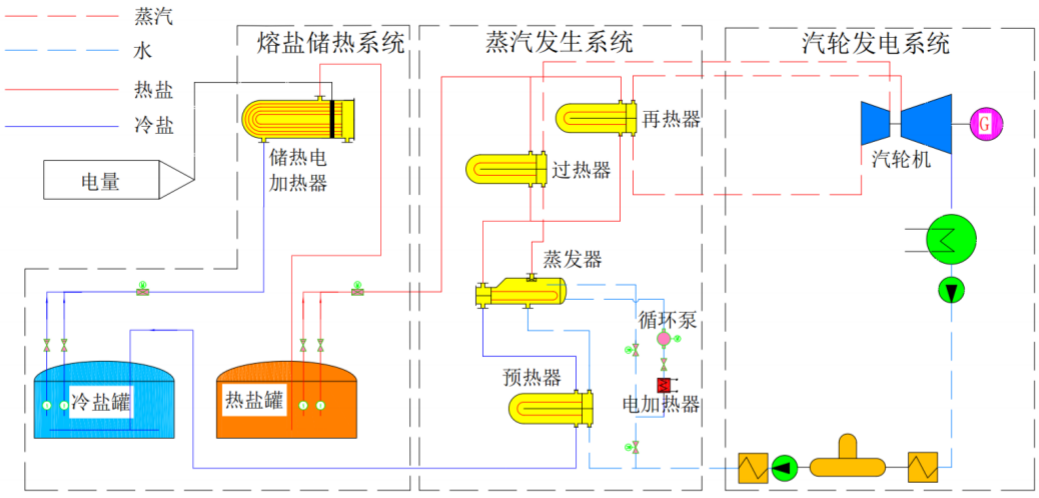


图 6.2-1 纯电制热熔盐储能系统示意图

在研究中，光伏造价按照 2.8 元 /Wp 取值；随着储能时长从 2h 增加至 12h，熔盐储能光热发电造价水平从 2567 元 /kWh 下降至 1153 元 /kWh，纯电制热熔盐储能造价水平从 2117 元 /kWh 下降至 708 元 /kWh，电化学储能造价水平从 1500 元 /kWh 下降至 1250 元 /kWh，抽水蓄能造价水平从 2350 元 /kWh 下降至 892 元 /kWh，压缩空气储能（人工硐室）造价水平从 3250 元 /kWh 下降至 958 元 /kWh 测算。测算结果发现：当储能时长在 2~7h 时，光伏 + 电化学储能的度电成本最低；当储能时长大于 7h 时，熔盐储能光热发电的度电成本最低。熔盐储能光热发电、光伏 + 纯电制热熔盐储能、光伏 + 抽水蓄能三种技术的度电成本较为接近。储能时长从 2h 增加至 12h 时，熔盐储能光热发电的度电成本始终最低；而光伏 + 压缩空气储能（采用人工硐室）的度电成本高于这三种系统技术。熔盐储能光热发电项目经济性优于其他光伏 + 新型储能方式。

表 6.2-1 光热发电与光伏 + 不同储能技术的度电成本（单位：元 /kWh）

储能时长（h）	年发电量（亿 kWh）	熔盐储能光热发电	光伏 + 纯电制热熔盐储能	光伏 + 电化学储能	光伏 + 抽蓄	光伏 + 压缩空气储能（效率 70%）	光伏 + 压缩空气储能（效率 60%）
2	1.04	1.6523	1.6631	0.9512	1.6481	2.1735	2.2081
4	2.21	1.0238	1.1071	0.8323	1.0513	1.2730	1.3077
6	3.21	0.8764	0.9721	0.8296	0.9053	1.0402	1.0748
8	4.19	0.8052	0.8894	0.8296	0.8298	0.9191	0.9538
10	5.31	0.7388	0.8259	0.8134	0.7671	0.8283	0.8630
12	6.41	0.6926	0.7825	0.8052	0.7291	0.7711	0.8057

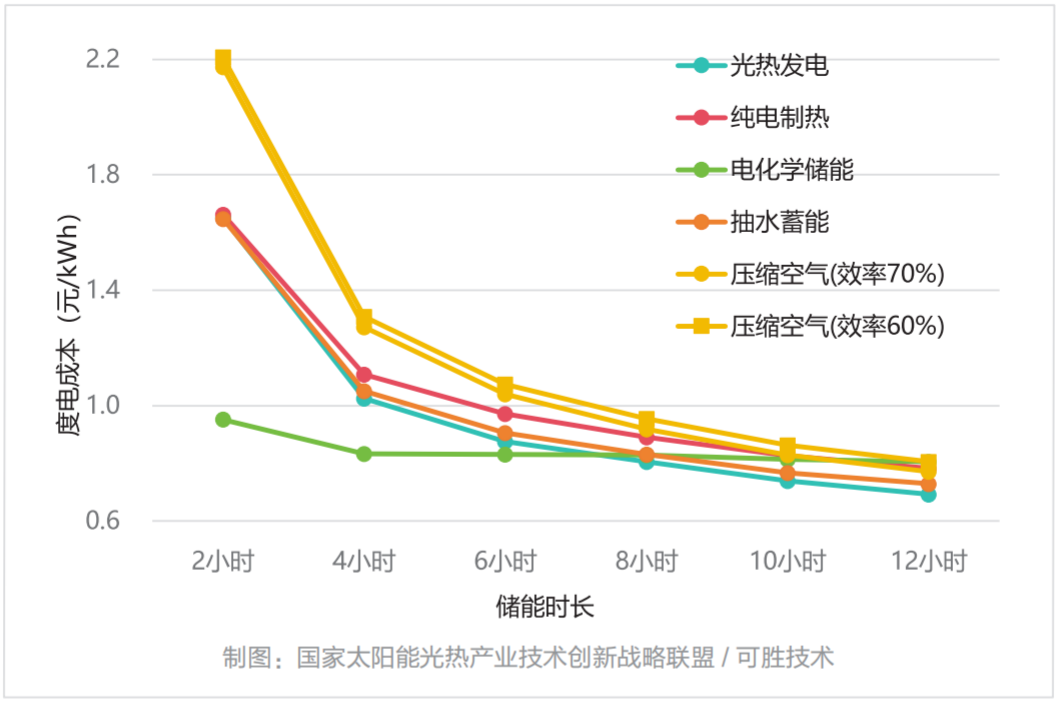


图 6.2-2 光热发电与光伏 + 不同储能技术的度电成本

研究认为：光热发电正处于规模化发展和技术快速进步阶段，随着规模化成本降低和发电效率提高，熔盐储能光热发电的度电成本将进一步下降：预计到 2026 年，塔式光热电站的度电成本可进一步降低至 0.5287~0.5312 元 /kWh（含运维优化）。光热相比其他电源相比，全生命周期更为低碳，涉网性能更为优越，随着电力市场改革，绿电交易、碳排放交易等市场的建立与成熟，其调节支撑、绿色低碳等价值都将在收益中得以体现，投资经济性将大幅提高。

6.3 光热发电成本下降路径

6.3.1 塔式光热发电技术 [8]

光热电站的成本受很多因素影响，不仅有电站的初始投资，也包括电站整个生命周期内的支持成本，主要与电站建造成本、运营维护成本、年发电量、财务成本、税金等因素有关。光热电站度电成本的影响因素如下表所示（按其影响的显著性划分）。

表 6.3-1 光热电站度电成本影响因素

直接影响因素	间接影响因素
造价	贷款比率
运维费用	贷款利息

8 本节内容来自浙江可胜技术股份有限公司承担的国家太阳能光热联盟共性技术课题报告。

直接影响因素	间接影响因素
发电量	厂用电率
资本金内部收益率 *	增值税、所得税
运营期年数	装机规模
土地成本	储能时长
送出线路分摊给发电企业的成本	建设期长短
太阳法向直射辐射（DNI）	逐年投资比
	还款方式（等金、等息）
	贷款年限
	折旧方式及年限
	风速
	环境温度

*** 说明：项目全寿命周期内净现值为 0 时的资本金的贴现率。**

研究发现，火电、水电、光伏、风电的年等效利用小时数（也就是发电设备全年发电量与该发电设备的额定功率之比值）是基本固定的，因此一般采用单位千瓦投资，即可反映电站的经济性；光热电站的单位千瓦投资和年等效利用小时数都会随着储能时长增加而增大，虽然单位千瓦投资的增大会增加初投资，但由于年等效利用小时数也在增加，因此最终折算到电站的度电成本可能反而会降低，所以单位千瓦投资无法正确反映光热电站的经济性，采用全寿命周期内的度电成本才能更合理地体现光热电站的经济性。光热电站全寿命周期度电成本是指电站全寿命周期内满足一定资本金收益率（贴现率）条件下能够保证收支平衡的最低上网电价。

可胜技术以青海省德令哈市作为项目地（法向直射辐射为 2009kWh/m^2，总辐射为 1850kWh/m^2），以塔式光热发电技术、每 10 万千瓦装机规模配置 80 万平米镜场采光面积、储热时长 10 小时为基础，对三种不同装机容量的塔式电站方案进行了经济性分析，按照 6.5% 的资本金内部收益率反算出其度电成本。

表 6.3-2 不同规模塔式光热电站配置方案及经济性对比

项目（单位）	方案一	方案二	方案三
装机规模（MW）	100	200	300
配置类型	单塔单机	单塔单机	双塔一机
汽轮机额定效率	45.49%	45.89%	46.30%

项目（单位）	方案一	方案二	方案三
总反射面积（万 m^2）	80	160	240
吸热器中心标高（米）	220	250	230
吸热器额定功率（MWt）	416	780	600×2
储热时间（小时）	10	10	10
熔盐总量（吨）	22125	44646	67376
静态投资（万元）	163463	277428	410578
单位千瓦静态投资（元/kW）	16346.3	13871.4	13685.9
年发电量（亿 kWh）	2.33	4.55	6.98
上网电量（亿 kWh）	2.19	4.24	6.56
离线厂用电率（%）	3.46	3.21	3.03
资本金内部收益率（IRR）	6.5%	6.5%	6.5%
度电成本（元 / kWh）	0.8487	0.7369	0.6981

在上述边界条件下，测算发现，光热电站装机规模由 100MW 增加至 200MW 时，电站单位千瓦投资下降明显；但装机规模由 200MW 上升到 300MW 时，电站单位千瓦投资下降不明显，这是由于采用了双塔一机配置增加了吸热系统部分的单位投资以及增设了两塔之间的并盐管道投资。采用双塔一机配置、装机容量 300MW 塔式光热电站度电成本约 0.6981 元 /kWh。随着单机规模的扩大，汽轮机额定效率提高，厂用电率下降，电站的上网电量有显著的提升。因此，在此基础上，电站的度电成本下降明显，相比于 100MW 规模电站，300MW 规模电站的度电成本下降了 17.7%。

基于装机容量 300MW、储热时长 10 小时的塔式光热电站为基础进行成本下降路径分析，电站投资构成如图 6.3-1 所示。其中，聚光系统、吸热系统、储换热系统（储热系统、蒸汽发生系统）投资占整个电站投资的近 70%，是决定电站投资高低的重要因素。

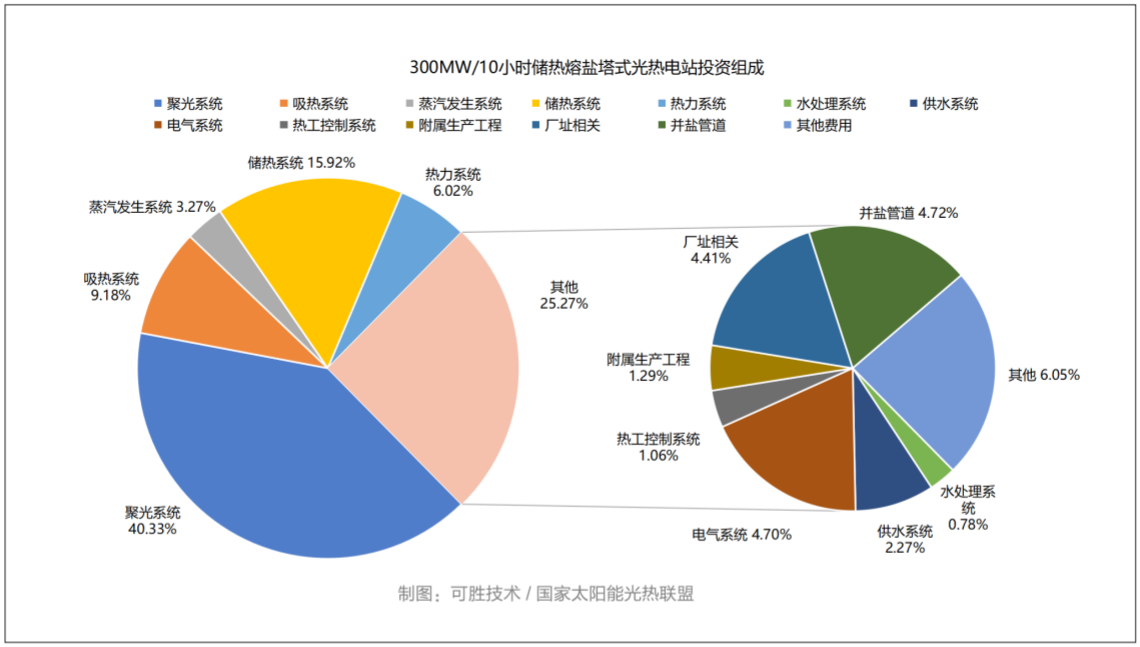


图 6.3-1 德令哈 300MW/10 小时储能塔式光热电站投资结构图

1）行业规模化效应促进成本下降

光热发电的成本具有显著的规模效应，规模越大，成本越低。规模化会吸引更多上下游供应商参与，逐步完善并形成稳定的供应链体系，可以通过对主要设备和对原材料实施批量化采购以降低供应成本；另外，规模化后的市场竞争机制将促进行业成本降低，促使供应商寻找低成本、高品质的替换材料并开展技术创新，加快关键设备和材料的国产化发展，提高国产设备的先进性和可靠性，从而实现光热发电的降本增效。同时，由于开发商和各参与方经验越来越丰富，各方面的风险和试错成本也会降低，设计和建设周期也会大幅缩短。

经计算，各系统通过标准化复制、集中采购以及产业规模化后的竞争效益，预计到 2026 年，由于规模化发展带来的造价整体降低幅度为 10.28%~10.76%，在发电量不变的基础上，度电成本可达 0.6321~0.6351 元 /kWh。塔式光热电站各系统基于行业规模化发展带来的成本下降情况如表 6.3-3 所示。

表 6.3-3 至 2026 年各系统基于行业规模化发展带来的成本下降情况

序号	系统类型	造价占比	造价降低比例	成本下降措施	整个电站造价降低值
1	聚光系统	40.33%	9.8%	反射镜、镜架、传动设备、控制器等制造工艺成熟及批量制造；集中采购；定日镜安装土建作业标准化	3.96% ↓
2	吸热系统	9.18%	15.3%	吸热管材料国产化；加工效率提升及工装改进；集中采购	1.40% ↓

序号	系统类型	造价占比	造价降低比例	成本下降措施	整个电站造价降低值
3	储换热系统	19.19%	11.8~14.3%	熔盐、熔盐泵、储罐、换热器、电伴热、仪表阀门等充分竞争；标准化生产；集中采购	2.26%~2.74%↓
4	热力系统	6.02%	20%	汽轮机、热力系统及其他系统的相关设计标准化，不再定制化	1.20%↓
5	其他系统*	14.8%	9.8%	-	1.46%↓
总计		-	-		10.28%~10.76%↓
* 说明：其他系统含水处理系统、供水系统、电气系统、热工控制系统、并盐管道及附属生产工程。					

2）运维水平优化带来度电成本下降

第一批光热示范电站运行至今已形成了较为成熟的运维经验以及成本体系。随着当前光热电站运行经验的积累，设备的可靠性提升，电站设备性能在实践中得到不断优化，电站的自动化水平进一步提升，电站修理费用以及运维人员数量等都会随之降低，从而带来度电成本的下降。塔式光热电站运维费用构成如图 6.3-2 所示，主要包括人工成本、修理费用、保险费、材料费以及其他费用。

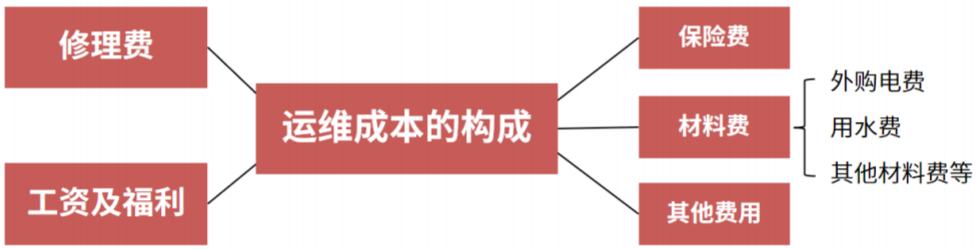


图 6.3-2 塔式光热电站的运维成本构成

预计到 2026 年，由于运维费用降低带来的度电成本降幅可达 0.07 元 /kWh，300MW、10 小时储热时长塔式光热电站度电成本在规模化发展的基础上可进一步降低至 0.5597~0.5623 元 /kWh。

3）技术优化与进步带动度电成本下降

在现有技术体系上，通过技术优化与进步提升效率、降低成本是最直接有效的方式。目前，以熔盐为传热和储热介质的第二代塔式光热发电技术改进的方向主要有：镜场效率优化、储热设备优化以及熔盐技术优化。

（1）镜场效率优化：采用新的传动结构，优化定日镜设计可降低用钢量并提升聚光效率，通过进一步优化镜场控制策略可从控制以及运行的角度提升效率。

（2）储热设备优化：研究发现，采用高低位罐方案，在常规储罐的基础上增设低位罐，降低每

个熔盐罐不能使用盐量（比如长轴泵最低工作液位 1 米），能够减少熔盐用量和储罐体积。另外，可配合低位罐采用成本更低的国产短轴泵替代以往项目所用的长轴泵。

（3）熔盐技术优化：采用温区更大、可用温度更高的新型熔盐。一方面，系统热电效率随着参数的提升而提高，在发电量不变的情况下，所需吸热量减少，因此聚光集热系统、储换热系统成本降低。另一方面，由于熔盐储热温差扩大，单位重量的储热量增加，用盐量可减少，储换热系统的成本进一步降低。

根据测算，随着镜场相关设计优化以及熔盐低位罐及高温熔盐的成熟应用，电站整体造价降低幅度将增加至 16.18%~16.67%，度电成本可进一步降低至 0.5287~0.5312 元 /kWh（含运维优化）。

综上，随着单机规模扩大、行业规模扩大、运维及技术优化，塔式光热电站的度电成本将明显下降。在此基础上预测，2025 年塔式光热电站度电成本约 0.61 元 /kWh，2027 年降低至 0.53 元 /kWh 左右。

6.3.2 槽式光热发电技术[9]

得益于槽式集热器的标准化设计和模块化生产，槽式光热发电技术特别适合于大规模电站部署，在市场规模目标确定、配套生产链日益成熟的情况下，槽式光热发电技术降本潜力巨大。具体可分为以下两个阶段进行：

1）第一阶段：大槽集热 + 导热油传热 + 熔盐储热

该阶段主要依托“大槽集热 + 导热油传热 + 熔盐储热”技术方案，通过大容量的单体电站或多机组电站的规模化效应实现降本。具体实施措施如下：

（1）经初步验证，采用新型结构形式的低成本大开口槽式集热器，能够在保证相同强度的前提下降低钢材用量约 20%；此外结合完全自主的槽式集热器设计技术，根据场址荷载条件对集热器作进一步优化，可实现进一步减少材料用量，降低项目初投资的目的。

（2）槽式集热器的开口尺寸由 5.8 米增加到 8.6 米，在相同集热面积下可减少集热回路数量约 40%，集热器跟踪系统、柔性连接、地基数量减少 40%，导热油管道、保温数量也相应减少，有利于降低项目初投资。

（3）配备大口径、长尺寸的集热管，降低管道流阻，一方面可以减少建设阶段的焊接施工成本，另一方面可以减少运行阶段的泵功损耗，降低厂用电量和运维成本。

（4）大容量的单体电站或多机组电站（单机 ≥200MW，或多机组 ≥2×150MW）的规模化效应，能够提高各种设备部件的采购量，有利于供应链的连续、稳定、批量化生产，降低设备部件的单位造价；能够摊薄设计费、管理费等间接费用，降低项目初投资；同时通过规模化项目的集中管理、运行和维保效应，能够有利于降低电站在运行阶段的单位运维费用。

经测算，通过上述措施，相比第一批光热发电示范项目的乌拉特 100MW 导热油槽式电站，槽式光热电站的度电成本可下降至约 0.61 元 /kWh。该度电成本目标在当前阶段即可实现。

2）第二阶段：超大槽集热 + 熔盐传热及储热

该阶段以“超大槽集热 + 熔盐传热及储热”技术方案作为降本的主要驱动，电站装机容量可进一

[9] 本节内容由常州龙腾光热科技股份有限公司提供。

步扩大至 2×300MW 或更大规模。具体实施措施如下：

（1）槽式集热器的开口尺寸进一步增大至 14 米，集热回路数量相比前一阶段进一步减少，相应的集热器跟踪系统、柔性连接、地基数量、导油管道、管道保温等也进一步减少。

（2）配备新型超低热损真空集热管，相比常规集热管热损失进一步降低约 30%，集热器设计集热效率由原来的 73.5% 提高至 75%，提高镜场有效集热量和电站发电量。

（3）采用高效双玻复合反射镜工艺，将镜面反射率绝对值增加 2%-3%，提升电站发电量；双玻复合技术提升反射镜耐老化性能，使镜面反射率在更长的生命周期内保持稳定，降低电站的运维成本。

（4）拟采用大型整体反射镜设计，在风载情况下增加抛物镜面的面型稳定性，在满足相同光学效率的前提下进一步降低材料用量，此外反射镜数量的减少也可以降低组装复杂程度和减少组装成本。

（5）采用熔盐作为传热、储热一体化介质，无需导热油以及相关的换热、膨胀、溢流、净化、再生、氮封等附属系统，简化电站设计及运行模式，有利于降低初投资和运维成本；同时采用熔盐作为传储一体化介质，可以显著减少熔盐用量，进一步降低初投资。

(6) 熔盐槽式集热器采用夜间或阴雨天退盐、二次预热、二次进盐方案，可极大降低集热系统散热损失，降低电站厂用电率，提高项目整体经济性。

经测算，上述措施可将度电成本进一步降低至 0.4-0.5 元 /kWh。该目标预计在经历一至两轮前一阶段的项目实施后，在 2030 年之前可以实现。

另外，在实施过程中，按照具体技术的研发进展和成熟程度，很可能会出现中间过渡状态的技术方案，例如“大槽集热 + 熔盐传热及储热”，此类方案的目标度电成本将介于上述两个目标值之间，具体实施措施与上述相应条目相同。

6.3.3 熔盐线菲式光热发电技术 [10]

熔盐线菲式光热发电技术通过采用更高聚光倍数的聚光器以及高温熔盐作为集热、换热、储热的统一工质（能够实现快速进退盐操作），设备部件制造难度和熔盐用量较低，系统简单可靠，具有较大的成本下降空间。我国在敦煌已经建成并运行 50MW 熔盐线菲式光热发电示范项目，验证了技术路线的可行性和可靠性，并积累了丰富的设计、建设和运行经验，建立起较为完善的供应链体系。目前多个熔盐线菲式光热一体化项目正在建设中。经过总结电站建设执行情况，考虑未来光热发电市场综合发展，熔盐线菲式光热发电技术成本下降路径主要有以下几个方面：

1）单机规模扩大能够显著降低光热电站的建造成本和度电成本

光热电站的开发建设具备规模化效应，单机规模增大能够降低项目发电设施、建筑工程、技术服务和开发成本等投资分项的均摊成本，带来项目单位千瓦造价的显著降低。同时单台大机组项目的运行维护、人员投入等均摊成本也能够显著降低，从而进一步降低项目的度电成本。项目规模扩大时还能够进一步引发供应链的规模化效应，降低项目的设备投资。熔盐线菲式光热发电技术采用多个标准的熔盐工质回路并联而成，在项目单机规模增大时不需要更改集热支路和集热器本身的设计指标，只需对集热系统整体布置进行分区和优化，因此能够较为简便可靠地通过并联回路的增加达到单机大规模机组的规模化设计要求。

根据测算，熔盐线菲式光热电站装机规模由 100MW 增加至 200MW 时，电站单位千瓦投资能够

下降 13.3%；装机规模由 200MW 上升到 350MW 时，电站单位千瓦投资进一步下降 11.5%。同时装机规模的增大使得项目的调峰能力增强，上网电量增加，运维成本降低，进一步促进电站度电成本的降低。单机 350MW 规模熔盐线菲式光热电站的度电成本较 100MW 规模机组度电成本降低 23.5%。

2）光热电站及产业链的规模化发展

（1）光热电站项目增多促进行业议价能力提高、产业链参与者增多，光热电站的设备投资成本将显著下降。

光热电站建设的主要投资为设备投资，线菲式光热电站工程施工难度相对较低，尤其集热场工程量较小，项目总体设备投资约占项目总投资的 75%。集热系统的设备没有“卡脖子”环节，国产化率可达到近 100%，制造环节关键设备全部在工厂进行模块化、批量化生产，因此由规模化效应引起的成本下降空间较大。随着项目和市场规模的扩大，集热场主要材料的钢材、玻璃等大宗材料的采购价格和条件也将随着规模增加而实现进一步优化。

第一批示范项目建设之后，多个光热“一体化”项目的开工建设促使光热项目市场容量的显著扩大，多项关键设备如反射镜、熔盐泵、熔盐阀等陆续有更多厂家参与，光热电站设备造价通过项目的规模化建设也开始逐步下降，市场活跃度增高。相信随着光热电站市场规模的进一步扩大和技术产品的进一步积累，光热电站的整体设备造价将进一步下降，行业议价能力进一步提高。

（2）光热电站技术创新优化和经验积累。

通过第一批示范项目的建设，我国光热行业积累了一批能够进行光热技术研究、开发、系统设计、建设施工和调试运行的人才团队，为关键设备的使用和运行、系统设计优化、电站调试运维提供了平台和基础。通过首批示范项目的消缺优化和运行经验，以及持续的技术创新，预计未来通过优化设计和升级运行方案可以提高项目整体达成率、发电效率和发电量，节省项目建设和运行成本。对于熔盐线菲式技术来说，集热器结构的轻量化、集热效率的增高以及设备的材料优化等技术创新都可以显著降低电站建设成本。

综上所述，通过扩大单机规模，行业规模化发展，持续的技术创新和系统优化，以及政策和电力市场的支持，都将促进光热发电成本下降。经测算，预计至 2025 年，单机规模 30 万千瓦以上的熔盐线菲式光热电站的度电成本可达到 0.6 元 /kWh 以内水平，项目经济性将显著提高。

[10] 本节内容由兰州大成科技股份有限公司提供。

七、太阳能热发电站全生命周期碳排放研究

7.1 国外研究结果

太阳能热发电是重要的可再生能源发电技术，国内外学者已针对其开展了全生命周期评价的研究工作，评估其整个生命周期中，即从原材料的获取、产品的生产直至产品使用后的处置，对环境的影响。从目前研究结果发现，太阳能热发电站具有极大的碳减排能力及环保效益，其全生命周期碳排放平均值约为 18 gCO_2eq/kWh[20]。

德国 Viebahn 等 2008 年研究结果为：西班牙 20MW Solar Tres 塔式电站的碳排放量约为 22 gCO_2eq/kWh；2011 年研究表示：在年均太阳法向直接辐射 (DNI) 为 2000 kWh/m^2 时，西班牙 Andasol-I 50MW 槽式太阳能热发电站的碳排放量为 33.4 gCO_2eq/kWh，而在 DNI 为 2500 kWh/m^2 条件下，其碳排放量为 30.9 gCO_2eq/kWh。Corona 等研究得出位于西班牙 Ciudad Real 的槽式太阳能热发电站的碳排放量为 26.6 gCO_2eq/kWh[21]。

美国国家能源实验室 Burkhardt 等（2011）对位于加州的 103MW 槽式电站（湿冷）的全生命周期评价研究结果为：生命周期碳排放为 26g CO_2eq/kWh，耗水 4.7L/kWh，需要 0.4MJeq/kWh 能量，能量回收期（EPBT）大约为 1 年。采用空冷机组的话，将减少水耗约 77%，但提高温室气体排放以及累计能量需求约 8%。此外，采用合成硝酸盐比采用矿采硝酸盐的温室气体排放更多，约 52%[22]。

西班牙 Gemma Gasa 等（2022）通过对带有 17.5 小时储热以及不带储热的 110MW 塔式电站进行 LCA 分析发现：带储能的塔式电站的环境影响为 9.8 gCO_2eq /kWh，而没有储能的塔式电站碳排放为 31gCO_2eq /kWh[20]。

7.2 我国最新研究结果 [21]

浙江高晟光热发电技术研究院有限公司朱晓林等以我国西北地区 135MWe 塔式光热电站为研究对象，计算得出了该塔式光热电站全生命周期的碳排放量。研究设定的参数条件为：电站全生命周期为 25 年，年均太阳直接辐射量为 2015kWh/m^2，镜场面积为 145 万 m^2，年均光电效率为 14.9%；采用冷、热双罐熔盐储热，储热时长为 11.2 h；冷却方式为直接空冷。考虑调峰后，该电站的年设计发电量为 4.35 亿 kWh；考虑厂用电情况后，该电站的年上网电量为 3.95 亿 kWh。按时间划分为设备、材料制造阶段，建设安装阶段，运营维护阶段，废弃处置 4 个阶段。

该研究发现：该塔式光热发电站全生命周期的度电碳排放量为 22.7gCO_2e/kWh，处于国内外同类电站全生命周期度电碳排放量的低位水平。此外，研究发现，太阳能热发电站全生命周期的度电碳排放量，随年均太阳直接辐射量和储热时长的增加呈降低趋势，且降幅逐步减小。

在全生命周期 4 个时间阶段的度电碳排放量中，设备、材料制造阶段的度电碳排放量最高，占总度电碳排放量的比例为 87.40%；运营维护阶段的度电碳排放量次之，占总度电碳排放量的 7.16%；废弃处置阶段的度电碳排放量为 0.75gCO_2e/kWh，约占 4 个阶段总度电碳排放量的 3.33%。建设安装阶段的度电碳排放量最低。4 个阶段的度电碳排放量情况如下表所示。

表 7.2-1 我国西北地区 135MWe 塔式太阳能热发电站生命周期度电碳排放情况

LCA 阶段	度电碳排放量（gCO_2e/kWh）	占比	说明
设备、材料制造	19.8	87.4%	镜场度电碳排放量最高（7.87 gCO_2e/kWh），约占电站全生命周期总度电碳排放量的 40.8%，这是由于塔式定日镜钢材、玻璃的用量占比大。储热系统的度电碳排放量次之，为 4.04 gCO_2e/kWh，约占电站全生命周期总度电碳排放量的 20.9%，其中热盐罐、冷盐罐的度电碳排放量分别占储热系统度电碳排放量的 49.7%、12.9% ，其原因是盐储罐材料用量大，热盐罐和冷盐罐重量分别达到 2248、2120 t。吸热系统的度电碳排放量位列第三，约占电站全生命周期碳排放量的 9.8%，主要是由于吸热塔的塔身和地基采用了大量高标号钢筋混凝土。
建设安装	0.48	2.11%	建设工程度电碳排放量为 0.41 gCO_2e/kWh，安装工程度电碳排放量占比较小。
运营维护	1.62	7.16%	包括电站调试一次性用能、采暖用电量，以及食堂、员工交通耗能产生的度电碳排放量。不同类型太阳能热发电站的运营维护的用能方式对电站的度电碳排放量有巨大影响。
废弃处置	0.75	3.33	建筑、设备拆除过程的度电碳排放量占该阶段的比例为 57.33%。

该研究计算发现：如果新增 135 座塔式太阳能热发电站（135MWe/ 座），可替代 1% 的全国火力发电发电量，年碳减排量达到 0.49 亿 t，全生命周期可实现碳减排 12.25 亿 t。

八、我国光热发电行业面临的挑战及发展建议

8.1 光热发电行业面临的挑战

8.1.1 产业快速发展，成本快速下降，但与光伏风电比依然较高

为推动我国太阳能热发电技术产业化发展，形成国内光热设备制造产业链，培育系统集成商，2016 年 9 月，国家能源局组织实施了一批光热发电示范项目建设，发改委核定标杆电价为 1.15 元 / kWh（和 2011 年的光伏电价相同，当时国内光伏装机已达到 3GW）。通过示范项目的建设，我国完全掌握了光热发电系统的聚光、吸热、储换热等核心技术，以及适应我国高海拔、高寒地区环境的光热电站设计集成、建设与运营技术，并拥有完整的知识产权，从业企事业单位数量和产品供应能力实现较大增长，为后续光热发电进一步发展奠定了坚实基础。

国家发展改革委在《关于太阳能热发电标杆上网电价政策的通知》中提出：2019 年以后国家将根据太阳能热发电产业发展状况、发电成本降低情况，适时完善太阳能热发电价格政策，逐步降低新建太阳能热发电价格水平。然而，财政部 2020 年 1 月发布《关于促进非水可再生能源发电健康发展的若干意见》提出：新增光热项目不再纳入中央财政补贴范围。《国家发展改革委关于 2021 年新能源上网电价政策有关事项的通知》（发改价格〔2021〕833 号）规定：2021 年起，新核准（备案）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。

截至 2023 年底，我国并网运行的光热发电机组容量仅有 57 万千瓦，装机容量非常小；光热发电处于发展初期，度电成本仍较高，并不具备同经历了数十年补贴发展的风电、光伏平价的条件。此外，光热发电的电力品质尚未受到重视，对于促进新能源消纳的价值没有被科学评估及在价格中体现。

8.1.2 产业链配套齐全，但电站项目少，拉动强度不足

我国光热发电技术起步晚于国外，最早的商业化光热电站始建于上世纪 80 年代（美国），欧洲于 2007 年投运了第一座商业化储热型光热电站。我国首座 50MW 及以上光热示范电站于 2018 年投运。光热发电涉及热力学、传热学、光学、材料学、自动化控制等多个学科，系统较为复杂。通过示范项目的建设，我国光热发电整体技术能力基本与国外第二代商业化电站技术齐平，部分电站的设计、建设和运维水平已处于国际领先水平。然而，由于光热发电项目初投资高，在没有国家电价政策和补贴的情况下，光热电站投资积极性不足，市场技术迭代机会欠缺，相关设计、施工、设备等未能有机会实现标准化、集约化，产业规模效应尚未释放，导致度电成本仍较高，阻碍了快速迈向大规模发展。同时，新能源 + 储能过网型技术逐步成熟、由电动车发展带动起来的庞大的电池储能技术成本不断下降，如何快速实现降本增效是行业发展面临的巨大挑战。

8.1.3 光热调峰启动，但机组容量小，不足以体现光热的价值

光热发电是具有灵活调节和系统支撑能力的可再生能源发电技术，是唯一具有替代煤电潜力的新能源技术。然而，首批示范项目是为了验证光热发电技术路线的可行性；当前风光大基地项目中，光热发电的装机容量及系统配置受制于平价上网的投资经济性，功能定位为“调峰电源”，整体装机容量比重较低（与风光配比为 1:6 或 1:9），不足以发挥对电网系统的支撑作用。此外，光热发电对构建以新能源为主体的新型电力系统的价值，包括提高电网的稳定性、提高风电和光伏的安装量等，尚未有定量的数据和价格体现。

8.2 发展建议 [11]

8.2.1 研究制定“去补贴 – 市场化发展”过渡期间的光热发电两部制电价

光热发电初投资较大，目前在风光大基地中，光热发电的角色被定为“调节性电源”，与风电、光伏一体化发展，运行策略为中午太阳能资源较好时，为光伏让路，只在早晚高峰顶峰发电，年运行小时数从 4000 小时左右下降至 2000 小时甚至更低。建议在新能源基地中，率先开展上网电价形成机制的市场化改革，研究出台光热发电机组的两部制电价，结合全国典型光热发电机组的投资成本，明确了光热机组容量电价的适用范围和国家补偿标准，为光热发电投资提供一定程度稳定的预期和收入来源，充分体现光热发电对电力系统的支撑调节价值，从而提高新能源基地新能源电力比重。

在给予光热发电机组容量电价的基础上，耦合电能量价值（电力中长期或现货市场）或调节价值（辅助服务）以及环境价值（CCER、绿电、绿证）的货币化实现，提高光热发电项目投资的积极性，确保光热发电行业持续健康运行，在逐步去煤炭化的“双碳”战略背景下，促进更大规模的新能源消纳。未来随着电力市场建设和顶层设计的不断完善，光热发电将最终通过市场化确定价格而非政府定价，不断提升自己在电能量市场中的竞争优势，适应光热发电在现阶段的系统调节性以及未来基础保障性电源转型需要，从而确保电力系统发电容量的长期充裕性。

8.2.2 尽快开展太阳能热发电对电网支撑能力的研究

受制于平价上网条件下的投资经济性，新能源大基地项目中光热发电与光伏的容量配置比例极低，这些项目建成后对提升电网稳定性和可靠性的作用尚不明确。如此低的配置和容量恐将“杯水车薪”，无法保证新能源大基地的电力品质和外送要求。建议尽快开展光热发电机组对电网支撑能力的研究。依据大基地千万千瓦级规模的直流送出特点以及西部地区的电网特征，结合用户侧需求，立足于对外输送 100% 的新能源电力建设新能源基地，从参与电力系统调峰、调频，进行电网运行控制策略的优化研究，结合不同储能技术特点与响应特性分析研究提升大基地外送消纳能力的合理配置与优化控制，以项目数据验证光热发电的实际调节作用和系统支撑能力。建议根据受电地区的负荷特性，研究确定上网电价系数和对应的时段，使上网电价体现供求关系，激励电源为系统调峰。

[11] 本节内容由中国科学院电工研究所王志峰研究员编写。

8.2.3 不断总结现有商业化光热电站的经验，进行技术创新，降低成本

1）提高核心设备的寿命和可靠性。由于在今后与光伏及风电打捆的太阳能光热电站需频繁启停及大幅度变负荷运行，吸热器、储热、换热以及汽轮机热应力问题突出，频繁启停造成的疲劳问题和安全问题不容忽视。需要研究并进一步提高材料和设备的安全性和可靠性，建议对百兆瓦级吸热器、熔融盐罐体、耐热震蒸汽透平、大容量蒸汽发生器等进行研究。开展大开口、轻量化、高拦截率的槽式集热器支架及其配套反射镜、集热管产品的研发与工程实证。

2）优化电站来云的应对策略。云是影响电站集热量、发电量的重要因素；另外，云层短时间的遮挡和离开会使吸热器表面受热发生巨大变化，从而影响吸热器的使用寿命以及电站的安全运行。云策略的优化可以减少热冲击对设备的影响，减小运行风险。建议研制短时更精确的云 / 太阳辐照度预报系统。

3）提高聚光场效率。低成本光伏电力加热熔盐的技术对太阳能热发电的集热场造成巨大冲击。太阳能热发电系统中，太阳能聚光成本占比最高。一方面要与现有商业化光热电站结合，开发低成本聚光器和镜场控制系统及反射镜自洁技术 ,提高聚光器动态准确度 ,减少集热系统溢出损失。另一方面，需要采用新的聚光方式，降低余弦损失和截断损失，提高太阳能聚光场的年均光学效率，用更小的光场提高能量输出，从而从根本上降低聚光场成本。

4）提高核心材料性能。需要开发高温高稳定性光 / 热转化材料、高温合金、高温长寿命低成本“充 / 储 / 放热”材料，柔性反光材料。

5）组织专门第三方技术力量，总结示范项目经验，测试评价在运国家光热发电示范电站。建议对光热示范电站核心设备、子系统和全系统以及辅机设备的性能参数进行测试，形成详细的测试科研报告；并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。

6）提高我国在高精度检测测量设备研制和工程应用。我国相关检测测量设备主要为进口设备。建议重点开展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、高温熔盐以及颗粒流量计等仪器仪表的研制和工程应用。

8.2.4 开展光热发电前沿技术示范，持续深化基础研究

技术创新是促进行业持续发展的源泉，建议加紧部署前沿颠覆性技术研究，支持光热发电新技术研发和新技术示范工程。建议开展低成本聚光方式的基础研究，从太阳形状、太阳辐射的能量性质，光学曲面的自适应调控方法，高密度聚集光能对物质表面微观结构的影响，太阳能到化学能转化存储及反应器研究，太阳能超临界水蒸气发电等基础研究内容。在“十三五”太阳能超临界二氧化碳发电基础研究项目基础上，进行 20-50MWe 级高温超临界二氧化碳太阳能热发电示范研究；采用绿色传热储热介质的太阳能热发电站以及 50MW 级太阳能热化学燃气电站等前沿技术研发和示范。同时开展基于热力学第二定律效率的能量转换方式研究、太阳能聚光与高温氢燃料电池系统耦合发电技术等前沿理论研究。

8.2.5 尽快实施单机大容量光热发电示范项目

推动大容量、低成本光热发电项目的应用。通过加强新装备、新技术研发和试验示范工作进一步提升其灵活性和调节能力，加快技术改进和设备升级，提高光热机组的发电效率，降低单位发电成本，增加机组在市场上的竞争力。建议尽快实施光热单机规模大、容量比例高的“光热 +”一体化大基地示范项目，总结高比例“光热 +”大基地项目的发电以及调峰特性，将太阳能热发电站规模推广到 1000MW 级，助力以新能源为主体的新型电力系统发展。

8.2.6 推进以太阳能为主的多能互补的低碳发电技术示范

太阳能高温集热与火电及核电的互补发电技术，与高温燃料电池制氢技术的结合，与生物质能的互补系统。特别是考虑在大基地中考虑以光热为主，与火电结合的 1000MW 级混合电力系统技术，将电站调峰速率提高 4 倍，将度电煤耗降低 70%。

8.2.7 对多种新型储能发电项目进行集中示范，研究其在电网中实际发挥的作用和特性

熔盐储能光热发电、纯电制热熔盐储能、压缩空气储能、电化学储能等技术都适用于电力系统大规模、长时间、长寿命的储能调峰应用场景。在青海省或甘肃等同等资源条件下，对纯熔盐储能光热发电以及光伏 + 纯电制热熔盐储能、压缩空气储能、电化学储能等技术路线进行集中示范，研究不同季节、不同气象条件下各电源的发电功率特性，在项目整体上网电力曲线相同的情况下，对电网的实际支撑作用。

九、 附录

9.1 2023 年度热点新闻

回首充满机遇与挑战的 2023 年，太阳能热发电行业写下了精彩而富有成效的篇章。国家太阳能光热联盟致力于推动光热行业发展，与业界同仁勇毅前行，与产业链同频共振，追光逐日，谋划新篇。“太阳能光热产业技术创新战略联盟”微信公众号积极宣传光热行业相关技术成果，2023 年共发布（含转载）行业资讯 1143 篇。其中，阅读量排名前 35 的热点新闻整理如下。

表 9.1-1 2023 年度关注度较高的新闻回顾（太阳能光热联盟微信号发布）

序号	题目	阅读量	发布时间
1	（一周资讯）浙江省委书记易炼红考察德令哈光热电站；东方锅炉正在执行610MW光热项目；兰州大成等技术拟入能源局首台（套）重大技术装备名单.....	27,342	07-30
2	中国电建中南院再中标 100MW 光热总包项目；乌拉特光热电站单月单日发电量再创新高；山东电建三公司联合体总包的若羌光热项目开工.....	14,836	07-02
3	中电工程西北院签订我国单机容量最大光热发电项目总承包合同	13,512	08-25
4	（一周资讯）西安热工院再中两个熔盐储热调峰项目；2023 国际可再生能源供热技术大会闭幕；中广核新能源被评为中国企业绿电交易领先卖方.....	12,664	11-19
5	中国电建西北院预中标共和 100 万千瓦光伏光热项目 EPC 总承包	10,804	05-27
6	西安热工研究院熔盐储热技术成果转化全面突破	10,573	11-14
7	（一周资讯）西藏将新增 390MW 光热项目；水电一局联合体预中标若羌100MW光热项目总承包；山东电建三公司：高效塔式光热聚光场技术介绍.....	8,395	05-27
8	中广核新能源 20 万千瓦光热发电项目总承包中标候选人公示	7,548	11-22
9	东方汽轮机中标全球最大单机容量塔式太阳能光热电站汽轮发电机组设备	6,365	05-24
10	工程热物理学家何雅玲院士在总理召开的座谈会上发言，希望加大对太阳光热储能发电技术的科技研发和示范投入	6,017	02-09
11	中国能建湖南火电中标乌斯通光热发电项目	5,914	09-18
12	山东电建一公司预中标西安热工院火电机组调峰调频供汽的模块化熔盐储能工程	5,601	07-11
13	（一周资讯）国家能源集团青海光热项目公布总承包候选人；中能建当雄100MW光热 +250MW 光伏项目开工；电建新能源正投建 35 万千瓦光热项目.....	5,325	09-02
14	山东电建三公司宋秀鹏：高效塔式光热聚光场技术分析	5,103	05-25

序号	题目	阅读量	发布时间
15	华北电力大学校长杨勇平当选中国工程院院士，长期关注太阳能热发电与燃煤互补技术	4,599	11-22
16	中国电建西北院总经理武建学：积极推进熔盐储热等新型储能项目建设	4,523	07-23
17	中电工程西北院青海分公司揭牌成立	4,405	12-18
18	（一周资讯）首航高科、中国电建西北院、中国能建西北院和华中电力试研院、凯盛大明等中标；哈密光热电站发电量再创新高；供热技术大会议程发布……	4,338	10-29
19	中国电建西北院、中南院，山东电建一公司，内蒙院上榜国资委“科改企业”最新名单	4,365	12-20
20	甘肃省副省长陈得信在兰州大成敦煌光热发电站调研指导	4,297	10-28
21	山东电建三公司中标阿克塞 110MW 塔式光热发电聚光集热系统调试项目	4,277	12-16
22	单日发电量达 61.9 万 kWh ！中电建青海共和 50MW 光热示范电站发电性能稳步提升	4,261	04-06
23	华电电科院：熔盐储热技术的应用现状与研究进展	4,223	07-19
24	湖北首个熔盐储能项目获核准批复，国家能源集团湖北公司 100MW 抽汽储能试点示范	4,178	05-26
25	含 4.8GW 光伏 + 光热储能项目！新疆乌鲁木齐 10 个项目签约	4,114	03-22
26	三峡上海院与中国电建西北院签署战略合作协议	4,004	12-21
27	单月发电量 1222 万度，中电建青海共和光热示范电站再创佳绩	3,870	12-02
28	中电建若羌 10 万千瓦光热（储能）EPC 项目开工	3,862	06-29
29	竞逐光热储能千亿赛道，中国电建中南院的大动作！	3,837	07-25
30	迪拜 100MW 塔式光热发电项目完工	3,681	08-30
31	甘肃安装集团与恒基能脉联合体预中标新华博州 100MW 光热项目 PC 总承包	3,750	06-21
32	龙源新能源敦煌 70 万千瓦光热 + 项目启动	3,632	06-27
33	2022 中国太阳能热发电大会在敦煌开幕	3,517	02-27
34	102 万 kWh ！中广核德令哈 50MW 光热示范项目单日上网电量创新高	3,428	07-11
35	中电工程西北院赵晓辉：槽式和塔式光热发电技术路线发展前景	3,399	03-22

9.2 国家太阳能光热联盟 2022-2023 年度理事单位简介

单位名称（按拼音排序）	业务简介
北京市	
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	北京航天石化是中国燃烧工程及流体控制和输送领域技术实力最强的公司之一，下设热能工程加热炉、特种阀、安全阀、流体与旋转机械、节能环保等五个事业部，主要提供加热炉、特种阀、特种泵产品、燃烧热能设备和单元工程总包服务。为内蒙古乌拉特中旗 100MW 光热发电示范项目、西藏扎布耶光热发电项目提供导热油炉产品。
北京天瑞星光热技术有限公司	隶属于中国航天科技集团有限公司，专业从事太阳能线聚焦式光热技术领域研发、核心产品制造和技术服务，是国家高新技术企业，拥有 110 多项核心知识产权，建有占地 140 亩的航天新能源产业园。公司生产的高温太阳能集热管产品已经远销世界各地，并通过了德国中心 DLR、欧洲太阳能试验中心 PSA 以及西班牙国家可再生能源中心 CENER 的测试。通过一系列工程示范和商业应用，已掌握高温集热管生产和系统集成的核心技术，具备在全球大规模部署线聚焦式聚光集热系统的能力。
北京兆阳光热技术有限公司	提供菲涅尔太阳能光热技术咨询、装备集成、工程服务，以及开发、 投资、建设运营菲涅尔太阳能光热工程。研究开发的具有完整自主知识产权的类菲涅尔技术和耐高温混凝土储热技术，可单独或结合应用于工业蒸汽、工业热水、火电站灵活性改造、城镇供热、海水淡化、油田供热、农业畜牧业供热及光热电站等领域。开发建设了张北华强兆阳 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。承建了青海盐湖蓝科理业 2 万吨碳酸钾项目太阳能供热工程，已成功实现光热供能成本低于传统能源用能成本的这一关键性目标。
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。

单位名称（按拼音排序）	业务简介
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。
恒基能脉新能源科技有限公司	立足于光热发电核心技术产品，专注于“光热储能 +”多能互补项目，提供项目开发、投资、建设和运维等一站式核心技术产品解决方案。目前拥有发明专利及实用新型专利 80 多项；掌握了定日镜场系统总成，镜场控制系统，定日镜面形设计、镜场设计，吸热、储热、换热系统设计，组装工艺等核心技术。正在主导开发、建设甘肃瓜州 70 万千瓦“光热储能 +”国家示范项目（含 10 万千瓦光热 +20 万千瓦光伏 +40 万千瓦风电），承接了新疆博州 10 万千瓦光热项目。
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。
中国船舶重工集团新能源有限责任公司	中船新能隶属于中国船舶集团有限公司，是整合集团公司在动力领域（燃气动力、蒸汽动力、化学动力、全电动力、核动力、柴油机动力、热气动力）、舰艇综合能源微网系统（冷、热、电联供）内外部核心技术及产业链上下游资源优势，打造的以光热及热储能为核心的军民融合清洁能源产业集群平台公司。 由中船新能设计、建设、调试和运维的内蒙古乌拉特中旗 10 小时储能 100MW 槽式光热发电项目是国家首批光热发电示范项目中单体规模最大、储热时间最长的槽式光热发电项目。电站于 2018 年 6 月正式动工，2020 年 12 月实现满负荷发电，2021 年 7 月储能系统全面投运，实现 24 小时连续稳定高负荷运行。电站光热转换效率、热电转换效率均超过设计值；单日纯光热最高发电量超 221 万千瓦时、单月纯光热最高发电量超 5200 万千瓦时、完整年纯光热发电量超 3.3 亿千瓦时，均超过设计值，实现当年投产当年达标。 中船新能以核心技术和装备提供商身份参建西藏扎布耶源网荷储一体化综合能源供应项目，克服该项目高海拔（4500 米）和孤网运行的困难和技术难点，为项目业主提供可靠、稳定、安全的工艺设计方案及经济、适用、可靠的装备供货和全流程技术服务。

单位名称（按拼音排序）	业务简介
中国电力工程顾问集团有限公司	中国能源建设股份有限公司全资子公司，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。2020 年，收购西班牙具有多个光热发电项目实战经验的工程咨询公司易安（EA）与盖飒工程（Ghesa）100% 股权，增强了技术和投融资能力。
中国广核新能源控股有限公司	中广核新能源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。是国家能源光热研发中心依托单位，具备大型光热电站系统集成的核心能力。投资、建设并运维我国首个 50MW 商业化槽式光热示范电站，电站实现不停机运行 230 天。该项目是我国首个大型商业化槽式光热电站，成功填补了我国大规模槽式光热发电技术的空白，使我国正式成为世界上第 8 个拥有大规模光热电站的国家。 入选第二批大型风电光伏基地建设项目的中广核太阳能德令哈 200 万千瓦光伏光热项目（国内储能配比率最高的光热储多能互补项目）一期项目、吉西基地鲁固直流白城 140 万千瓦外送项目 -2 单元 20 万千瓦风电 +10 万千瓦光伏 +10 万千瓦光热（共建），阿里雪域高原“零碳”光储热电示范项目，中广核新能源西藏当雄乌玛塘光热 + 光伏一体化项目等项目正在有序推进建设中。 下一步，中广核还将在沙戈荒大基地、源网荷储一体化、光热示范、海上风电、风光制氢等方面持续发力。在四川、甘肃重点布局“光热 +”项目，平抑新能源出力波动，为电力系统稳定运行提供支撑，持续推动新能源高质量发展。
中国科学院电工研究所	太阳能热利用技术研究部自 20 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：先后建成了亚洲首座 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，全球首个太阳能热电联供系统等。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，具备 CNAS 检测资质。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能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。2007 年发起举办“太阳能热发电技术三亚国际论坛”（2015 年更名为中国太阳能热发电大会），2009 发起创立太阳能光热产业技术创新战略联盟（26 家科技部 A 类联盟之一）。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”项目的牵头单位。

单位名称（按拼音排序）	业务简介
天津市	
天津大学机械工程学院	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。
河北省	
河北煜剑节能技术有限公司	是一家集技术研发、核心设备制造、工程建设集成、项目运营及总承包业务于一体的高新技术企业、国家级“专精特新小巨人”示范企业。目前，已形成了系列自主知识产权的技术体系，高效光热管蒸汽发生系统在保证性价比的基础上能稳定产生高品质蒸汽。可广泛应用于电力、冶金、化工、食品、医药医疗、纺织、服务、军工等工业领域和城市供暖、学校、医院、乡村等公共设施的蒸汽供应、生活热水、集中空调制冷、冬季采暖、电力供应等。
涉县津东经贸有限责任公司	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 亿元的高温热媒新材料项目在河北涉县投产。为乌拉特 100MW 光热发电示范项目提供 5000 吨的联苯 - 联苯醚产品，与沙特签订 20000 吨的供货协议。

单位名称（按拼音排序）	业务简介
山西省	
山西沃锦新材料股份有限公司	沃锦新材料是山西常晟新能源科技集团下辖的又一专业硝酸熔盐储能新材料制造商，是在集团下辖交城县并盛化工有限公司的基础上，通过创新优化升级、扩大生产规模，增加独创先进陶瓷膜制造工艺提高产品品质打造的又一硝酸熔盐制造基地。是集研发、设计、制造、销售、回收于一体的熔盐核心原材料制造服务商；旗下有“并盛”“沃锦金甲”“沃丰裕”等品牌工业级硝酸钾、硝酸钠、硝酸盐等产品。现已形成熔盐级硝酸钾、硝酸钠、硝酸钙及各种高中低温熔盐年产 30 万吨的生产能力，其中熔盐级硝酸钾产量稳居全国第一。截至目前，供货业绩主要包括：中电哈密熔盐塔式 50MW 光热发电项目、首航高科敦煌熔盐塔式 100MW 光热发电示范项目、鲁能海西州 50MW 光热发电项目、中船新能乌拉特槽式 100MW 光热发电项目，兰州大成敦煌熔盐线性菲涅尔 50MW 光热发电示范项目（OEM）；绍兴绿电 20MW/240MWh 熔盐储能供热和发电示范项目硝酸盐供货、西安热工院生产项目储热用无机盐材料采购、化盐服务，思安新能源股份有限公司山西建龙 5MW 熔盐储热开发项目熔盐采购；中广核太阳能德令哈储热介质熔盐采购和设备服务，中国宝武西藏扎布耶源网荷储一体化综合能源供应项目、中核玉门“10 万千瓦光热 +20 万千瓦风电 +40 万千瓦光伏”项目、中电工程华东院阿克塞汇东 750MW 光热 + 光伏试点项目、中广核新能源阿里雪域高原“零碳”光储热电示范项目（50MW 光热部分）的太阳能熔盐产品采购等。此外，沃锦新材料（并盛化工）充分利用青海国家清洁能源产业高地政策、区位、多元化产业优势，发挥青海盐湖国内最大氯化钾原材料产业基地原料优势，2023 年 9 月 7 日，参与成立青海盐湖沃锦储热技术有限公司，全力推进年产 20 万吨硝酸钾、年产 20 万吨硝酸钠的青海盐湖沃锦基地项目。
中纲不锈钢管业科技山西有限公司	致力于研发生产和销售：有关核电、火电、石油、煤炭、化工、天然气等能源工程用管材及配件；有关城市饮用水、食品卫生、制药、电子工业、环境工程、生物工程、海洋工程、超低温工程等气体及液体管道输送设施用高性能、高耐腐蚀管材及配件；有关机械结构、锅炉、热交换器和冷凝器用等耐高温、耐高压管材及配件。产品广泛应用于石油化工 、新能源等重要领域，可生产外径为 ϕ8mm ~ ϕ3600mm ，壁厚为 0.2mm ~ 120mm 的各类不同钢号的奥氏体及超级奥氏体不锈钢管、铁素体不锈钢管、双相钢及超级双相钢管、镍基合金管、钛合金管、铜合金管、复合管等，是国内不锈钢焊管品种齐全、规格组距涵盖范围广的制造企业，年生产能力达 15 万吨。

单位名称（按拼音排序）	业务简介
内蒙古自治区	
内蒙古百川光热科技有限公司	百川光热由熔拓光热基金 100% 投资设立，工厂位于内蒙古鄂尔多斯光热智能装备制造产业园，通过引进西班牙 Rioglass、美国 Glasstech、瑞士 ABB、德国 Kloepper、瑞士 Bystronic 等全球顶尖工艺设备厂商，构建了完整的光热发电聚光反射镜产业链体系，具备 1000 万 m^2/ 年高精度太阳能聚光镜装备（曲面镜 350 万 m^2/ 年，平面镜 650 万 m^2/ 年）的生产能力，可为全球光热客户提供一流品质的光热发电聚光反射镜产品。公司自建反射镜检测实验室，对标国外 OPAC 实验室，可对反射镜面型精度、反射率、耐候性等进行全面测试。公司立足于光热发电行业反射镜装备制造及系统集成领域，深入推进零碳能源动力岛、零碳工业蒸汽利用、太阳能分布式供暖、“光热 +”光伏风电储能综合能源项目开发与建设，实现全产业链纵深布局。
内蒙古电力勘测设计院有限责任公司	始建于 1958 年，隶属于内蒙古能源集团有限公司，是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热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。先后中标新疆阜康 100MW 光热 +900MW 光伏项目、中广核西藏拉果错“零碳提锂”源网荷储项目、中广核西藏阿里改则县“铁格隆南金铜矿”源网荷储示范项目设计任务；西藏阿里源网荷储一体化热电项目、吉林大安吉西鲁固直流综合能源项目设计监理；三峡恒基能脉瓜州光热项目业主工程师等市场项目。内蒙院是国内为数不多的同时拥有多项光热设计、设计咨询、设计监理、业主工程师业务业绩的设计院。
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、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。

单位名称（按拼音排序）	业务简介
内蒙古新源光热股份有限公司	业务领域覆盖工业余热回收利用、太阳能工业蒸汽供给、冰雪水世界、农业大棚养殖等领域的智能管网供热，实现太阳集热、燃气补热、电厂辅热、工业余热收集利用等多能互补。在内蒙古包头市青山区建成国内首例大型槽式太阳能集热供热项目，槽式太阳能集热场面积高达 7.1 万平方米，可实现供热面积 35.5 万平方米。此外，在工厂屋顶上还铺设 2.2 万平方米太阳能集热器，太阳能集热场总面积达到 9.3 万平方米。
内蒙古旭宸能源有限公司	成立于 2016 年 4 月 13 日，注册资金三亿元人民币，坐落于内蒙古包头市青山区装备制造产业园新规划区，主要经营太阳能光热系统的研发、制造与销售。是首家规模从事太阳能中高温技术城市供热研发、生产与推广的企业，在产能与技术领域国际领先。公司以“技术创新、精益求精”为核心理念坚持专注于太阳能中高温集热项目研究，目前已拥有五十九项核心专利、百余项自主知识产权技术。
辽宁省	
大连耀皮玻璃有限公司	主要生产和销售太阳能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、工业及建筑用在线低辐射镀膜玻璃，以及建筑用、汽车用、各种工业用途的透明浮法玻璃。光热发电用太阳能超白玻璃生产能力 700 吨 / 天，年供应能力 2GW，目前已经为国内太阳能光热发电以及太阳能热利用项目供应 851MW 的太阳能超白玻璃，国外供货数量达到 483MW，总计达 1.33GW。
沈阳微控新能源技术有限公司	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约 3000 台，稳定运行时间超过 10 万小时。

单位名称（按拼音排序）	业务简介
上海市	
上海交通大学机械与动力工程学院	太阳能发电及制冷教育部工程研究中心是教育部首批批准成立的部级工程研究中心。工程中心主要研发方向包括：太阳能高效供热与制冷；太阳能光伏技术及系统应用；分布式能源及储能；热泵与空调新技术；能源 - 水 - 空气前沿交叉创新。牵头组织完成了“太阳能中温技术与工业应用”“低品位余能回收技术及热泵装备研发与示范”国家科技项目，是中挪低碳社区国际合作、变革性技术科学问题、金砖国际合作储热项目的牵头单位。中心与华为、美的、格力、力诺、双良、浙能集团、上海航天等建立了规模化研发创新科技合作。中心成果“采用小温差末端的空气源热泵采暖系统”“空气源热泵锅炉”等成果实现产业化。
上海蓝滨石化设备有限责任公司	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。承建了 3 个国家首批光热发电示范项目——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 槽式光热电站的熔盐储罐工程。承接实施了阿联酋迪拜 600MW 槽式光热项目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等。
上海亚核阀业成套有限公司	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。2023 年先后中标山西建龙熔盐储热开发项目以及辽河工程有限公司电热熔盐储热注汽试验站工程项目熔盐阀采购。
司祈曼（上海）化工有限公司	世界领先的天然硝酸盐生产商和销售商——智利化学矿业有限公司（SQM）在中国的全资子公司，负责特色植物营养、碘、锂、工业化学品和钾五大产品线在中国的市场拓展与销售工作。SQM 已经为全球众多太阳能热发电项目提供硝酸盐产品。
塔浦（上海）自动化仪表有限公司	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。针对光热电站熔盐流体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，推出了全新一代流量仪表，专用于高温熔盐流量测量，采用双通道设计，测量精度 ±0.5%；最高适用温度可达 600℃。

单位名称（按拼音排序）	业务简介
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。
宣伟（上海）涂料有限公司	已为全球超过 2.2GW 光热项目提供反射镜镜面漆产品。作为全球领先的太阳能镜涂层和解决方案供应商，宣伟所提供涂料及相关解决方案制作的太阳能聚光反射镜，可有效防止腐蚀和风化，从而保护太阳能镜面在户外的长期使用；可提升太阳能热发电项目的发电效率，并减少由于涂层降解导致发电效率降低的风险。目前，已在五大洲的各太阳能热发电项目上展现出优异的耐久性和耐候性。
中国科学院上海应用物理研究所	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。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。具备 CNAS 及 CMA 资质。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。与兰州兰泵等研制出 700℃超高温熔盐泵。
江苏省	
常州龙腾光热科技股份有限公司	专业致力于太阳能光热发电技术与装备的研发应用，是最早进入光热领域的行业开拓者之一，是光热发电及绿色综合能源解决方案提供商。通过多年的技术攻关及工程实践，龙腾光热已成功掌握槽式等太阳能光热发电全流程技术，并具备系统的自研自产能力，目前已拥有包括高温真空集热管、聚光集热器等槽式光热发电核心技术，并实现了核心装备的产业化、国产化。 龙腾光热将通过持续的技术创新和产业化、规模化降本，推动光热电站及高效光热能源系统在全球范围的大规模部署，推动区域绿色经济循环发展。

单位名称（按拼音排序）	业务简介
江苏飞跃泵业股份有限公司	江苏飞跃泵业始创于 1957 年，与江苏大学、中科院金属研究所等高等院校保持长期产学研合作，并共建有“江苏省高温高压泵工程技术研究中心”“金研新材料研发中心”，是国家高新技术企业、江苏省专精特新企业、江苏省级企业技术中心。曾多次承担国家和省部级行业重大装备攻关和重大科研成果转化项目；泵产品参与了我国运载火箭的发射，并受到中共中央、国务院、中央军委贺电及嘉奖。 专业从事石化泵、高温高压泵、特种泵的研制、销售与服务，长期为新能源领域提供：高温熔盐泵、导热油泵、热水循环泵等系列产品。先后为中控德令哈、首航敦煌、中电工程哈密、鲁能海西州等国内光热发电项目提供冷盐泵、热盐泵、调温泵、化盐泵、补盐泵、疏盐泵、排盐泵产品，已投入运行的熔盐泵产品均在稳定运行。在风光基地光热项目中，先后中标金塔中光 70 万千瓦光热储能一体化项目 9 台熔盐泵、中广核吉林鲁固直流 490MW 综合能源项目冷、热盐泵及调温泵、中核玉门 10 万千瓦光热项目调温泵等以及多个熔盐储能调峰等项目熔盐泵。
江苏中能化学科技股份有限公司	是一家专注于合成导热油的研发、生产、销售和服务的高新技术企业，也是我国首家将高温合成导热油工业化生产的企业之一，同时还是我国首家导热油行业挂牌企业、国家级专精特新“小巨人”企业。自 2008 年成立至今，公司目前分别在江苏连云港、宁夏宁东设有生产基地，并在上海设有产品研发中心，公司具备 SCHULTZ® 合成高温导热油系列产品超 30000 吨的年生产能力，成功跻身为全球三大合成导热油及联苯系列功能化学品制造商。
南京工业大学机械与动力工程学院	机械与动力工程学院源于南京工学院 1956 年成立的化工机械专业。现有动力工程及工程热物理一级学科博士点，动力工程及工程热物理一级学科博士后科研流动站，机械工程一级学科硕士点以及过程装备与控制工程、机械工程、车辆工程、新能源科学与工程、焊接技术与工程、应急装备技术与工程等 6 个本科专业，分设化工机械研究所、化工设备设计所等 2 所 5 系 1 中心 1 教研室。形成了极端承压设备先进设计与制造、过程强化与高效节能技术、重大装备安全理论与风险评价技术、先进装备数字化制造技术等特色学科方向，成立了过程强化与高效过程装备、先进装备制造等 12 个科研创新团队。学院拥有国家热管技术推广中心以及江苏省过程强化与新能源装备技术重点实验室、江苏省工业装备数字制造及控制技术重点实验室、江苏省流程工业节能环保技术与装备工程实验室、江苏省极端承压装备设计与制造重点实验室、中石化南京设备失效分析与预防研究中心、中石化工程风险分析技术研究中心等省部级研究基地 7 个。承压设备结构完整性及寿命评价技术的研究在国际上已具有较高的知名度，在与时间相关的设计与再设计理论、高温设备损伤与破坏方面取得显著成绩，先后获得国家科技进步二等奖 3 项。近年来高效紧凑式换热器的研发与工程化形成特色，开发的热管换热器、紧凑式换热器已在全国 200 多家大型石化、冶金企业中得到应用，先后获国家技术发明二等奖、国家科技进步二等奖、全国创新争先奖、何梁何利基金科学与技术创新奖等国家级科技奖励 6 项；成功研制国内第一台垫片综合性能试验机，奠定了我国静密封检测标准的基础，改变了高参数密封元件长期依赖进口的局面。

单位名称（按拼音排序）	业务简介
日出东方控股股份有限公司	日出东方是一家创立于 1999 年的上市科技企业集团，主营业务包括：太阳能光热、空气能热泵、储能电池、光储系统集成、厨电、净水器等。集团旗下有“太阳雨”“四季沐歌”“帅康”“日出东方太阳能电力”“日出东方储能科技”“西藏日出东方太阳能供暖”等行业 品牌或企业，有连云港、余姚、顺德、洛阳、拉萨等产业基地，累计为全球 6700 万家庭和 20000+ 工程客户提供清洁能源和健康家居解决方案。拥有“国家认定企业技术中心”“CNAS 国家认可实验室”，设有太阳能、空气能、厨电等研发创新平台，是全球相关行业标准的参与制订者。
无锡鑫常钢管有限责任公司	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 3 万吨。生产规格范围：外径 6mm—526mm，壁厚 0.8mm—35mm。产品广泛应用于煤化工、炼油、石油化工装备、核工业、发电机组、船舶制造、海水淡化、化纤、医药、食品、纺织、印染、机械等行业。2023 年参与了中电工程西北院玉门光热高温熔盐管道项目。
浙江省	
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零部件及高端不锈钢线材棒材。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、浙能宁东基地光伏产业园 150MW 光伏复合发电工程项目。

单位名称（按拼音排序）	业务简介
杭州华源前线能源设备有限公司	创建于一九七八年，原为解放军总后勤部第九零八四工厂，现隶属于中国能源建设集团。是国家专精特新“小巨人”企业、国家高新技术企业、浙江省制造业单项冠军企业、浙江省经信厅“节能降碳节水工程解决方案服务商”、杭州市专利试点企业。建有浙江省热能设备省级企业研究院、浙江大学能源工程学院 - 华源前线规模化储热技术联合实验室。持有 A 级锅炉制造许可证、A3 级 /D 级压力容器制造许可证、CCC 电气产品强制认证、美国 ASME 锅炉压力容器制造许可证。华源前线核心自主专利技术涵盖热源设备、储（蓄）热系统、系统集成技术三大板块，是热储能行业的领军企业。其核心产品和技术包括各类电锅炉（含高压电极锅炉、熔盐电极加热炉）、各类高效环保燃油燃气锅炉、各类生物质锅炉（含生物质气化炉）、温度分层水储热系统、饱和水相变储蒸汽系统、熔盐 / 导热油储热系统、大规模压缩空气储能电站储热技术、微压电蓄热技术、生物质气化与熔盐电极锅炉耦合储能调峰技术、电冷热双蓄及热泵系统耦合技术等。 核心技术主要荣誉： 1、电极锅炉成为入选国资委《中央企业科技创新成果推荐目录（2022 年版）》、工信部《国家工业和信息化领域节能技术装备推荐目录（2022 年版）》、浙江省首台套攻关项目。 2、MW 级熔盐电极加热器入选 2023 年电力科技成果“金苹果奖”、中国能建首台套重大装备技术目录、浙江省首台套重大装备目录。 3、电极式锅炉蓄热系统（介质：水、熔盐）入选《全球环境基金 GEF 先进技术目录》《中国好技术 A 类项目库》、工信部《全国工业领域电力需求侧管理第四批参考产品（技术）目录》《浙江制造精品》《浙江省节能新技术新产品新装备推荐目录》。 4、电蓄热技术、快装锅炉国家火炬计划承担单位，作为压缩空气储能电站储热系统装备供应方入选国家能源局第三批首台套重大技术装备目录。 华源前线目前已在电站辅助锅炉、清洁供热、工业蒸汽、火电灵活调峰、熔盐储能、压缩空气储能等领域有数千项实践应用案例。
恒丰泰精密机械股份有限公司	致力于光热、光伏跟踪系统回转减速器的研发与制造，自主研发了 HVE、HDR、HSE 等系列在内的精密回转传动装置，适用于塔式、槽式、碟式和菲涅尔式太阳能发电装置以及光伏发电的平单轴跟踪系统等。2008 年以来，公司先后为国内外 40 余家业内企业提供了最全面的光热、光伏跟踪系统整体解决方案和定制化产品服务。
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。

单位名称（按拼音排序）	业务简介
西子清洁能源装备制造股份有限公司	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。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。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，旗下电极锅炉技术荣获欧盟及中国核电标准认可。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。
浙江大学可持续能源研究院	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建有占地约 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	成立于 2010 年，是专业从事太阳能光热发电和熔盐储能技术研究及产业化推广的国家高新技术企业。深度聚焦光热发电及多能互补发电业务，并积极布局以熔盐储能为核心的综合能源应用领域。自主开发、建设、运行青海中控德令哈 10MW 塔式光热项目、青海中控德令哈 50MW 塔式光热项目；作为主要技术提供方与聚光集热系统供货方参与建设中电建青海共和 50MW 塔式光热项目；开发建设金塔中光太阳能“光热 + 光伏”试点项目。青海中控德令哈 50MW 光热项目投运以来，运行表现屡次打破行业纪录，是全球首个达产的塔式熔盐储能光热电站，2022 年、2023 年连续两年发电量超过年度设计发电量。截至 2023 年底，可胜技术光热业绩装机规模已达 1260MW，分布在青海、甘肃、新疆、吉林等多个省份，成为全球唯一一家业绩超过 1GW 的塔式光热发电技术提供商。
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，并已成功参与申报三项浙江省储能示范项目——西子航空零碳智慧能源中心源网荷储一体化示范项目（已完成建设）、黄岩热电储热型储能电站示范项目以及杭州医药港零碳电厂熔盐储能示范项目。

单位名称（按拼音排序）	业务简介
中绿可胜工程技术有限公司	是由中国绿发集团有限公司和浙江可胜技术股份有限公司联合成立的一家工程技术合资公司，结合中国绿发央企强大实力和业内龙头浙江可胜的技术积累，专注专业于熔盐储能储热开发、应用和推广。主要业务范围是基于先进的熔盐储能储热系统集成为光热电站、火电灵活性改造、园区清洁供暖提供技术研发、技术咨询及服务，以及机电设备的生产、安装，机电成套设备的销售、安装及服务，机电工程安装、施工，电站成套设备的销售、安装及服务，实业投资，经营进出口业务，电力工程施工与管理。
安徽省	
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。承揽了乌拉特中旗槽式 100MW 光热发电项目热传储热岛设计等项目，拥有光热、光伏、风电、电解水制氢等相关领域的工程业绩。
中国能源建设集团华中电力试验研究院有限公司	主营电力工程调试、电力设备检测试验、发电运行、电力技术服务和电力技术咨询等业务，是具有电源类和电网类电力工程双二级调试资质的单位。拥有大型火电机组、燃气机组、垃圾焚烧发电、生物质能源发电、光热发电等各种类型机组的调试经验，业务拓展至印度、越南、蒙古、土耳其、菲律宾等“一带一路”国家。出色完成了中广核德令哈 50MW 光热发电项目常规岛系统（BOP）EPC 总承包光热机组启动调试项目、迪拜 950MW 光热光伏复合电站项目全厂单体调试项目等。目前，正在履约阿克塞 110MW 光热项目系统调试和三峡能源格尔木 100MW 光热项目系统调试。
江西省	
中国电建集团江西省电力建设有限公司	江西电建公司是一家国家高新技术企业，拥有电力工程施工总承包、建筑工程施工总承包、市政公用工程施工总承包、建筑机电工程专业承包壹级，承装、承试电力设施许可证壹级，环保工程专业承包叁级，建筑行业（建筑工程）设计甲级，发电厂热力设备化学清洗 A 级，电源 / 电网类电力工程调试甲级，电力行业（变电工程）专业甲级设计资质，电力行业（送电工程、新能源发电、风力发电）专业乙级设计，建筑幕墙工程设计乙级，城乡规划编制丙级，高新技术企业证书等 40 余项重要资质。拥有区域分布式数字化解决方案、水环境综合治理技术、数字文旅装备产品等技术，专注于可再生能源领域，致力于生态环境保护，服务于新型城镇化发展，投身于国家碳中和绿色转型，成为新时代低碳经济领域投建营一体化的提供商和服务商。在光热发电领域，高质量完成了迪拜 700MW 光热发电项目 100MW 塔式机组的调试及运维、3*200MW 槽式机组的调试工作，服务范围涵盖了塔式 / 槽式机组分系统及整套调试（不含镜场）、塔式机组运维、塔式机组镜场技术服务等。依托迪拜光热项目的成功履约，能够为业主提供安装 / 检修、机组调试及运维、定值计算、自动化优化、机组协调优化、性能试验等综合技术服务业务。

单位名称（按拼音排序）	业务简介
山东省	
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、运维全光热全产业链公司。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，正在总承包建设南非红石100MW熔盐塔式光热电站、中国电建若羌县10万千瓦光热（储能）示范项目以及西藏扎布耶源网荷储一体化综合能源供应项目40MW槽式光热电站项目。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。
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，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。
山东盛拓科能源有限公司	是一家专注于平板太阳能系统研发、生产的科技型集团企业，总部位于山东德州，旗下拥有金亨、邦特、飞天、盛拓科、西藏盛拓科、康德、金奈尔七家子公司和六大生产基地。年产平板清洁热能装备3GWth，2017年至2019年平板太阳能集热器产量连续三年全球第三，2020年至2021年连续两年位居全球第二。集团拥有58项核心专利技术和行业解决方案。为民用建筑、军用设施、工业加热、种植、养殖、烘干等各领域提供高品质热能、采暖、制冷、供热等清洁能源综合利用服务。
山东兆维铁塔有限公司	是集设计、生产、销售为一体的钢结构支架等大型现代化企业，总资产5.79亿元，年生产能力6万吨。拥有3条激光切割机、12条先进的数控角钢生产线、11台焊接机器人焊接、数台等离子切割机和数控锯床等焊割设备。较高的加工效率和较低的物料损耗带来了综合加工成本行业较低水平。产品出口至五十余个国家。目前已与相关业主签订光热电站支架供应合同。
山东宇影光学仪器有限公司	宇影光学产品范围包括直径2毫米到2200毫米之间各类菲涅尔透镜，面形精度达到0.1微米，光洁度达到2个纳米，可应用在聚光吸热、太阳能制氢、高倍聚光发电领域。研发制作的高倍聚光光伏（钢化玻璃+硅胶）SOG透镜累计装机总量达到600MW。

单位名称（按拼音排序）	业务简介
河南省	
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，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在青海、迪拜、印度光热电站等项目中得到应用。
湖北省	
湖北烁砺新材料科技有限公司	可提供各类耐火纤维产品，包括整体模块、工程纤维、棉、毯、板、纸等。产品在钢铁冶金、有色金属、石油化工、电力、陶瓷、玻璃、防火、航空航天，家电、环保、新能源汽车、太阳能等诸多工业领域都有广泛的应用。目前，已成功研发出可应用于塔式吸热器的防护隔热保温材料，槽式回路进出口保温、储罐新型保温隔热系统等产品。
湖北云图熔盐科技有限公司	拥有业内最长、协同效率最高的盐化工、磷化工、煤化工产业链的云图控股（上市公司）旗下、专业的熔盐产品研发、营销及服务平台。为充分发挥公司硝酸、纯碱以及钾盐产业链的配套优势，云图控股通过技改、新建等方式形成熔盐级硝酸钠和熔盐级硝酸钾的配套生产线。目前拥有硝酸钠和亚硝酸钠产能 15 万吨，规划新建 20 万吨“两钠”的产能，硝酸钠、亚硝酸钠产品质量已达到熔盐级产品的要求。参与（新都化工）编写了工信部《农业用硝酸铵钾》等多项行业标准。
武汉金牛不锈钢管道科技有限公司	专业生产流体输送用不锈钢和耐蚀合金管道管、锅炉和热交换器用不锈钢焊管以及各种高温合金管等中高端产品。已成功研制出塔式光热发电吸热器用 N06625 镍基高温合金管、槽式和菲涅尔式光热电站集热管用 321 和 347 等耐热不锈钢管，产品送第三方权威机构检测，各项性能指标均符合 ASME 标准和用户采用技术条件要求，并已具备批量稳定生产能力。
武汉圣普太阳能科技有限公司	全球产品线最丰富的太阳能光热发电用反射镜的专业供应商，具有全系列槽式、塔式、菲涅尔式反射镜、二次反射镜（CPC）、碟式和聚光光伏反射镜等产品的研发和批量生产能力，年产能为 300MW 槽式电站和 400MW 塔式 / 菲涅尔式电站配套反射镜。成功开发了开口 7512mm 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。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。在太阳能中低温热利用领域，圣普太阳能供货业绩包括：国内目前最大的槽式热利用邯郸鲲乐湾项目（原称“光热 +”），西藏日喀则岗巴县光伏电站太阳能供暖、新疆轮台基地中石化咸水淡化、新疆伊宁抗病毒中心太阳能供暖、西藏拉萨第十五幼儿园太阳能供暖、江苏常州科利达公司光热蒸汽、山东滨州鑫瑞新能源科技有限公司光热蒸汽等项目。

单位名称（按拼音排序）	业务简介
湖南省	
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、基础设施三大板块。作为“熟水懂电、擅规划设计、长工程承包、能投资运营”的国际型一流工程公司，全国勘察、设计、咨询、监理四项综合甲级资质单位，中国电建中南院自 2013 年开始进入光热发电领域，通过 10 年的研发与实践，现已掌握了光热型多能互补耦合发电技术、线性聚焦多回路流量平衡设计技术、线性聚焦太阳能热发电站全厂性能分析、大型储热罐罐体抗倾覆技术、大规模熔盐槽式关键设计技术研究及应用、不同技术路线下熔盐泵选型方法等核心技术。并先后在甘肃、新疆、西藏等地区承担实施了一批重点项目，共申请光热相关专利 10 余项、软件著作权 3 项，在 EI 期刊和核心期刊发表论文 10 篇，是全国光热发电技术领域第一梯队单位。 承担了兰州大成敦煌熔盐线性菲涅尔 50MW 光热发电示范项目总承包工程；在风光新能源基地建设中，正在执行新疆吐鲁番市托克逊县乌斯通光热 + 光伏一体化项目 100MW 光热 EPC 总承包工程，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 EPC 总承包、初步设计，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、精河新华“光热储能新能源”一体化基地项目全阶段勘察设计，中广核太阳能德令哈 80 万千瓦光伏 +20 万千瓦光热项目可研，以及中广核阿里光储热电示范项目新增 20MW 光储保供项目总承包工程等。
四川省	
成都禅德新型储能科技有限公司	注册资本 1.6 亿元，专注于太阳能光热发电与新型储能的技术研究、市场开发、系统集成，深度聚焦太阳能光热发电、中低温热利用以及稠油开采等应用场景规划布局；纵深延拓“光热 +”光伏风电基地的储能联合循环、煤电和燃气发电机组的灵活性改造，积极开发以熔盐新型热储能为核心的清洁能源综合应用。 公司自有核心专利技术，并已形成完整的光热发电和热利用系统解决方案，广泛服务于西藏、内蒙古、新疆等地区的光热发电和热利用项目；与此同时，公司联合拥有聚光镜装备制造能力，其中聚光曲面镜年产能 350 万平方米、平面镜年产能 600 万平方米，聚光镜产品已远销美国、德国等十余个国家，产品性能与技术参数均位居全球领先水平。

单位名称（按拼音排序）	业务简介
东方电气集团东方锅炉股份有限公司	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单位之一，东方锅炉始终将太阳能光热发电产业作为转型发展的重要方向，目前已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 余年的自主技术研发与探索，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。 在新能源产业的光热版块，已参与哈密熔盐塔式 5 万千瓦光热发电工程、大成敦煌 50 兆瓦熔盐线性菲涅尔式光热发电工程、玉门鑫能 50 兆瓦熔盐塔式光热发电工程等国家首批光热发电示范项目建设。 2023 年，东方锅炉成功签订中国电建股份公司共和 100 万千瓦光伏光热项目聚光集热系统项目合同，签订多个单独招标的吸热器合同；签订批量蒸发器合同，市场占有率超 50%，并成功实现蒸发器本体设备到系统集成的业绩突破。大幅提升了“东方造”热设备在光热发电领域的品牌知名度。
云南省	
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。太阳能研究所和云南省高校太阳能供热与制冷重点实验室研究团队在太阳能干燥系统、热泵干燥系统、太阳能与热泵联合干燥系统方面拥有多年实践成果。
陕西省	
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。是中电工程太阳能热发电技术中心的依托单位，在光热发电领域保持技术研发和工程设计能力全国领先优势，具备光热发电项目投融资、设计、建设、总承包一体化全产业链服务的实力，具有多个商业运行光热电站设计经验，技术路线覆盖塔式、槽式、线性菲涅尔式等。是中能建哈密 50MW 塔式光热项目总包方，中广核德令哈 50MW 槽式项目常规岛总承包方，大成敦煌 50MW 线性菲涅尔项目常规岛及 BOP 勘测设计单位，参与设计青海中控德令哈 10MW+50MW 塔式光热项目等。牵头或参与制定了多部太阳能热发电的国家标准、行业标准，开发出目前世界上开口最大的槽式集热器。在以光热、储能为主要调节措施的多能互补一体化项目规划和建设方面拥有行业领先的技术实力，具备多能互补模拟仿真系统等专有技术，是目前中标光热发电项目最多的设计院。

单位名称（按拼音排序）	业务简介
中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司	是从事清洁能源开发、水生态环境治理、基础设施建设项目的规划、勘测设计、工程总承包、投资运营于一体的现代科技型工程公司。作为我国首批成立的大型勘察设计企业，持有工程勘察、工程设计、工程监理、工程咨询资信评价等“四综甲”资质资信，拥有水利水电工程、电力工程、市政公用工程施工总承包一级资质及支持多业务发展的一系列行政许可及信用评价。从 2010 年开始，依托总承包及参与建设的国家首批太阳能热发电示范项目，牵头组建中国电建太阳能热发电工程研究中心、陕西省风光发电与多元储能工程技术研究中心、陕西省秦创原“科学家 + 工程师”团队，全面梳理塔式和线聚焦太阳能热发电站设计建设中需要解决的急难问题，开展了深入系统的研究，先后承担了 10 余项太阳能热发电领域相关的国家、集团及省级科研项目，先后主编了《太阳能热发电站工程预可行性研究报告编制办法》《太阳能热发电站工程可行性研究报告编制办法》《太阳能发电工程光资源评估办法》等多项太阳能光热领域有关国家行业规范规程。 在太阳能评估技术研究、储换热系统设计及关键施工技术研究、常规岛热力系统优化研究、200m 级吸热塔结构及基础设计研究、太阳岛系统防凝保温技术研究、兆瓦级线性菲涅尔太阳能热发电镜场布置及集热关键技术等方面已取得了丰硕成果，全面掌握了太阳能热发电系统集成领域的核心技术，并成功促成依托项目之一的中电建青海共和 50MW 塔式太阳能热发电工程顺利并网发电。 积极探索风能、太阳能、生物质能、地热能等新的能源利用方式。开展了青海、甘肃、新疆、西藏等多个省、自治区的太阳能热发电规划、勘察设计和 EPC 总承包工作，在光热电站系统设计、工程建设、性能评估、运行优化等方面形成了鲜明的技术特色，具备建设一流智能型光热电站的全过程系统集成服务能力。 近年来，中国电建西北院共完成光热发电可研设计总装机容量 3000MW，勘察设计 750MW。目前正在开展承担青海共和二期、三峡能源青豫直流、国能青海共和等多个百兆瓦级光热发电项目 EPC 总承包建设工作。
甘肃省	
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。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 50MW 熔盐槽式光热发电示范项目。其先导项目于 2016 年 10 月投运，熔盐传储热槽式集热回路 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	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，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、建筑等行业领域的工程项目施工以及房屋建筑、电力工程监理。以联合体形式中标三峡恒基能脉瓜州 70 万千瓦“光热储能 +”项目总承包、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。

单位名称（按拼音排序）	业务简介
甘肃凯盛大明光能科技有限公司	国内商业化应用最为广泛的光热反射镜制造企业之一，凯盛大明已实现国内外反射镜超过 1000MW 的供货业绩（其中含 150MW 国外项目，200MW 反射镜背板粘接业绩，包括德令哈 50MW、共和 50MW 和金塔 100MW 等项目），超 600MW 反射镜在产订单。目前，凯盛大明联合中建材凯盛科技集团在甘肃酒泉玉门投资建设太阳能光伏和光热发电用聚光材料及深加工项目，项目总投资 38 亿元，建设一条 600t/d 全氧光热超白浮法玻璃线和三条 1000t/d 光伏玻璃生产线，生产 1.6—3.2mm 光伏玻璃、光热超白浮法玻璃、光热反射镜（塔式、菲涅尔、槽式及定日镜粘接组装）等产品并配套相关深加工。公司目前产能可达日产 600t/d 光热超白浮法玻璃、年产超 1000 万平方米反射镜及逐步投产 3000t/d 光伏玻璃（可实现 5GW 双玻璃组件玻璃的供给）。
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、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。其中，在建和投入使用的中深层地岩热供暖项目 12 个，供热面积达到 100 万 m^2。
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。已投资建成世界首个实现商业化运行的 50MW 熔盐线性菲涅尔式光热电站，并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。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 熔盐线性菲涅尔式光热电站建设要求。兰州大成子公司—敦煌大成晟能新能源科技有限公司与中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司联合体中标中核玉门 10 万千瓦光热储项目总承包工程。
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）	业务简介
首航高科能源技术股份有限公司	创建于 2001 年，总部位于甘肃省，生产基地位于天津。以“清洁能源和节能环保”为业务发展战略，是从事光热发电、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。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 55 亿元。正在稳步推进玉门风光热储多能互补一体化项目和甘肃酒泉 1.52GW“光热储能 +”新能源多能互补一体化大基地项目，以及光热发电熔盐储能技术应用于火电深度调峰等项目。
宁夏回族自治区	
宁夏中昊银晨能源技术服务有限公司	是一家主要从事太空能恒热站、空气源热泵、空气源热泵辅助太阳能集成采暖供热制冷系统、清洁能源采暖大数据平台、平板太阳能热水器、太阳能集热器、PVT、BIPV、EIT 智能恒热站等清洁能源取暖、集自主研发、制造、销售和技术咨询服务于一体的国家高新技术企业，是宁夏回族自治区“专精特新企业”“瞪羚企业”“科技小巨人企业”“科技型中小企业”。近年来，在宁夏五大市 22 个县区等 2 万多户农宅、学校、乡镇政府、卫生院、卫生所、村委会、敬老院提供舒适性采暖，采暖面积共达到 200 多万 m^2。
国外	
ARI Solar 公司	在太阳能光热发电领域有超过 15 年的经验，其核心团队成员均在国际知名光热企业以及电站积累了丰富的设计及项目现场经验，技术能力涵盖了槽式、水蒸汽塔式、熔盐塔式、线性菲涅尔等技术路线，业绩超过 2GW。能够为国内光热发电项目提供咨询和调试等服务。

参考文献

[1] 《聚光型太阳能热发电术语》(GBT 26972--2011)

[2] 国资委：加快构建以新能源为主体的新型电力系统 [EB/OL]. (2023-11-18)
https://news.cnr.cn/native/gd/20231118/t20231118_526491176.shtml

[3] 我国可再生能源装机占比过半 [EB/OL]. (2023-12-22)
https://www.163.com/dy/article/IMI4GP880514R9M0.html

[4] 国家发展改革委 . 2024 年全国能源工作会议在京召开 [EB/OL]. (2023-12-21)
https://mp.weixin.qq.com/s/VYKbRgQYfJjbTnZRNJZ1mA

[5] 国家能源局： 推动光热发电规模化发展 [EB/OL]. (2023-04-18)
https://newenergy.in-en.com/html/newenergy-2422285.shtml

[6] 出海记 | 大漠孤烟中的「光」与「热」（上篇）[EB/OL]. (2023-08-26)
https://mp.weixin.qq.com/s/TXIkf1MRebzhCpY6eqa9QA

[7] DEWA commissions second unit in the 4t" phase of the Mohammed bin Rashid Al Maktoum Solar Park adding 200MW of clean energy using parabolic basin complex technology [EB/OL]. (2023-10-02)
www.dewa.gov.ae

[8] 中国能源建设股份有限公司 基层动态 中国能建承建的迪拜 950MW 光伏光热混合电站项目槽式 3 号机组首次并网一次成功 [EB/OL]. (2023-12-19)
https://www.ceec.net.cn/art/2023/12/19/art_11019_2529846.html

[9] 西班牙再生能源立法历程
https://www.docin.com/p-940936199.html

[10] 国家能源局关于建设太阳能热发电示范项目的通知 [EB/OL]. (2016-09-13)
http://zfxxgk.nea.gov.cn/auto87/201609/t20160914_2298.htm

[11] 哈密至重庆特高压直流工程配套煤电项目开工 [EB/OL].（2022-09-29）
https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_20108868

[12] 新疆重能哈密 410 万千瓦新能源项目可行性研究咨询服务 [EB/OL].（2023-02-27）
http://www.ggzy.gov.cn/information/html/b/650000/0101/202302/27/0065fda05ac2c24f4444b9f03d5bd938c6e7.shtml

[13] 内蒙古巴彦淖尔市 2023 年重大项目清单 [EB/OL].（2023-03-21）
https://www.toutiao.com/article/7213014944198115852/

[14] 573.5 万千瓦！西藏发布 2023 年新能源开发建设方案 [EB/OL].（2023-05-24）
https://news.bjx.com.cn/html/20230524/1308554.shtml

[15] 立新能源：与华电新能源集团成立合资公司 [EB/OL].（2023-07-07）

https://www.sohu.com/a/695510167_115433
[16] 这场活动，12 个项目 587.03 亿元 [EB/OL].（2023-10-19）
https://mp.weixin.qq.com/s/aDMxo2GvjeEofEKFavP_aQ
[17] 吐哈油田鄯善东“风光热储”一体化综合能源项目用地报批服务 [EB/OL].（2023-11-07）
https://www.bidcenter.com.cn/news-256272970-1.html
[18] 我县举行甘肃光热发电有限公司阿克塞 50MW 高温熔盐槽式光热发电项目复工复启仪式 [EB/OL].（2023-08-16）
https://mp.weixin.qq.com/s/UODOYats9fz2YzQA-37QyQ
[19] 苑晔 . 光热 + 新能源一体化项目开发投资典型方案 [R]. 中电工程太阳能热发电技术中心技术培训与研讨会，2023 年 12 月（西安）
[20] Gasa, G.; Lopez-Roman, A.; Prieto, C.; Cabeza, L.F. Life Cycle Assessment (LCA) of a Concentrating Solar Power (CSP) Plant in Tower Configuration with and without Thermal Energy Storage (TES). Sustainability 2021, 13, 3672.
[21] 朱晓林 宓霄凌 章颢缤 金建祥 王伊娜 . 135 MWe 塔式太阳能热发电站全生命周期碳排放研究 [J] . 太阳能 2023 年第 02 期 : 20-31
[22] John J. Burkhardt, III, Garvin A. Heath, and Craig S. Turchi . Life Cycle Assessment of a Parabolic Trough Concentrating Solar Power Plant and the Impacts of Key Design Alternatives[J]. Environ. Sci. Technol. 2011, 45, 2457–2464

关注国家光热联盟微信公众号

入盟咨询

国家太阳能光热产业技术创新战略联盟 秘书处
中国可再生能源学会太阳能热发电专业委员会

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