中国太阳能热发电行业蓝皮书

2025

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

《中国太阳能热发电行业蓝皮书（2025）》

版权声明

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是《中国太阳能热发电行业蓝皮书（2025）》的编著和发布者。本蓝皮书内容发表于《电工电能新技术》期刊。

本蓝皮书提供的内容仅供浏览、学习以及科研参考使用。未经许可，禁止部分或全部拷贝用于商业用途。对于不遵守本声明以及其他恶意、违法使用蓝皮书内容的行为，版权人保留追究其法律责任的权利。

转载或引用蓝皮书中的文字、数据及图片，请务必注明出处。引用格式为：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟等. 中国太阳能热发电行业蓝皮书(2025)[J]. 电工电能新技术，2026，45(2): 1-45

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

2026 年 1 月

中国太阳能热发电行业蓝皮书 (2025)

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

主笔：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

参编人员：

董清风、方嘉宾、范玉磊、官建国、化宜森、洪 松、侯宏娟、黄文博

金建祥、寇建玉、雷东强、刘 才、刘义达、刘福国、卢智恒、祁万年

沈 航、盛 涛、隋 军、孙登科、唐永录、唐宏芬、王宏圣、王志峰

魏进家、吴玉庭、邢国华、夏 鼐、谢文韬、尹 航、臧春城、张 军

赵晓辉、钟财富、朱胜国

（按姓氏拼音排序，以上署名已经作者本人书面同意）

校核：杜凤丽、王志峰、WPSAI

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：全体联盟理事单位、太阳能热发电示范项目业主单位

中国太阳能热发电行业蓝皮书(2025)

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

摘要:太阳能热发电具有大规模、低成本和高安全的长时储能电站功能,后端采用汽轮发电机组发电,能够发挥煤电机组对电网的支撑调节作用,具备作为绿色低碳基础保供电源的潜力,是实现新能源安全可靠替代传统能源的有效手段,是增强电力供应的安全性和灵活性的有效支撑。为使社会全面了解太阳能热发电技术和产业现状,促进太阳能热发电行业进一步发展,本文对 2025 年我国太阳能热发电行业发展情况进行了梳理,包括太阳能热发电技术概述、市场发展情况、太阳能热发电示范项目运行情况、产业链情况、太阳能热发电技术研发情况、太阳能热发电技术经济性、太阳能热发电的碳减排,最后提出了太阳能热发电发展建议。

关键词:光热发电;行业现状;塔式;槽式;线性菲涅耳式;经济性;发展建议
DOI:10.12067/ATEEE2601019　　**文章编号**:1003-3076(2026)02-0001-45　　**中图分类号**:TK511

1　太阳能热发电技术概述

1.1　太阳能热发电技术原理

根据《聚光型太阳能热发电术语》国家标准,太阳能热发电是将太阳辐射转化为热能,通过热功转换过程发电的系统[1]。太阳能热发电也被简称为光热发电或光热,其英文表达为 Concentrating Solar Power 或 Solar Thermal Electricity,英文简写为 CSP 或 STE。太阳能热发电站一般由集热系统、储热换热系统和热-功-电转换系统三部分组成。

太阳能热发电聚光形式主要包括塔式聚光、槽式聚光、线性菲涅耳式聚光、碟式聚光、轮式聚光、旋转塔式聚光、二次和多次反射式聚光、透射式聚光八种。其中,塔式和碟式为点聚焦,槽式和线性菲涅耳式(简称:线菲式)为线聚焦,示意图如图 1 所示。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融盐(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,以熔融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,以及以熔融盐作为传热流体的线性菲涅耳技术都是当前商业化应用较多的太阳能热发电技术。

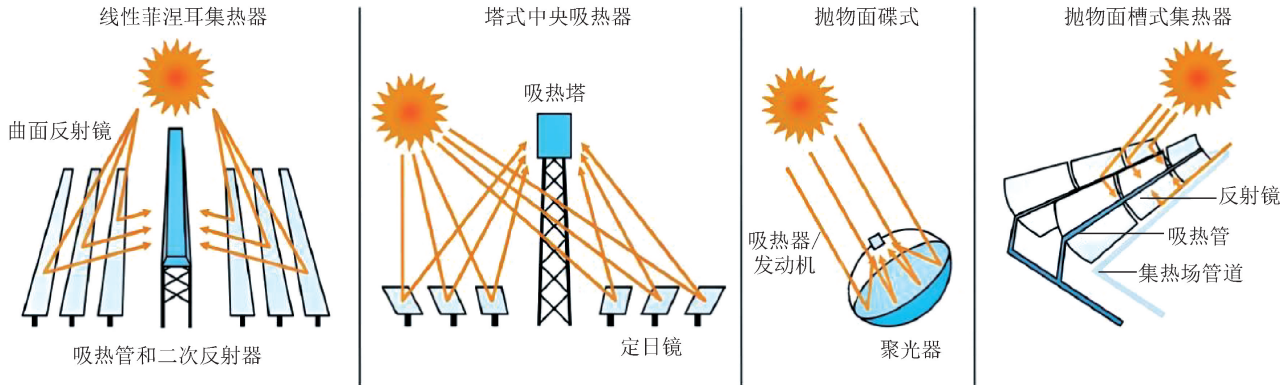


图 1　太阳能热发电四种聚光形式(图片来源:IEA,2014,图中说明为译文)

1.1.1　熔融盐塔式太阳能热发电系统

熔融盐塔式太阳能热发电系统主要由定日镜、吸热塔、吸热器、高低温熔融盐储罐、蒸汽发生器和汽轮发电机组等组成,如图 2 所示。其基本运行流

收稿日期:2026-01-16

程是:以吸热塔为中心分布的定日镜,通过跟踪太阳,将太阳直射、辐射、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融盐在冷盐泵驱动下,流经吸热器吸收热量,被加热的熔融盐流入高温熔盐罐中储存;需要发电时,储存的高温熔融盐与水在蒸汽发生器换热后产生高温高压蒸汽,驱动汽轮发电机组发电。蒸汽发生器放热后的熔融盐送至低温熔盐罐存储,再循环至塔顶的吸热器吸收热量,循环往复。在熔融盐塔式技术中,储热单元将太阳能集热与发电部分解耦,熔融盐既是传热流体也是储热介质。

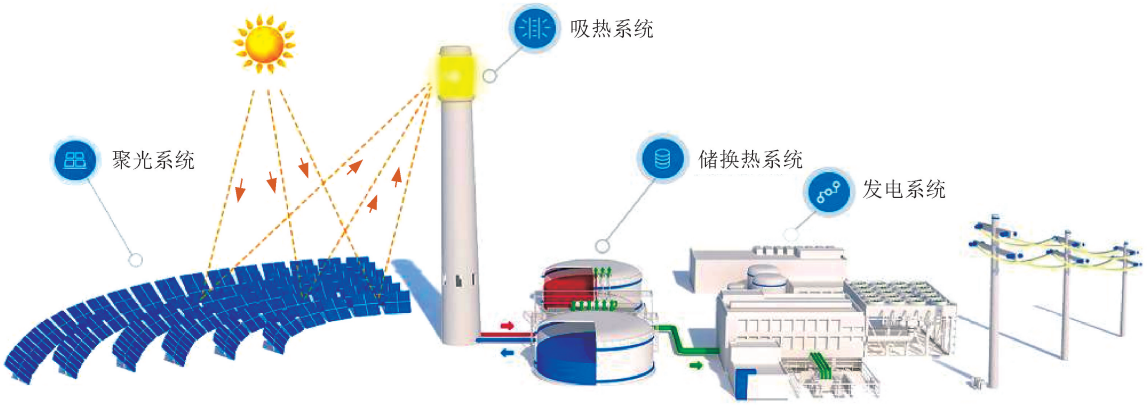


图 2　熔融盐塔式太阳能热发电系统示意图(图片来源:可胜技术)

1.1.2　导热油/熔盐槽式太阳能热发电系统

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)、熔融盐换热储热系统、导热油/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。其基本运行流程是:聚光器通过跟踪太阳,将投射在镜面的阳光反射至位于焦线的吸热管上,加热管内导热油,并通过导热油/熔融盐换热器将热量存储到熔盐罐中,需要时用高温熔融盐加热导热油,导热油进入蒸汽发生器产生蒸汽发电。太阳能集热系统加热的导热油也可直接通入油/水蒸汽发生器,蒸汽发生器产生蒸汽驱动汽轮机发电机组做功。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吸热管进行加热,形成封闭的导热油循环回路。槽式太阳能热发电系统示意图如图 3、图 4 所示。

与熔融盐塔式一样,槽式的熔融盐储热单元将太阳能集热单元与动力单元解耦,消除太阳能辐照波动对汽轮机出力稳定性的影响,并可使电站在不依赖太阳辐照的情况下参加电网调度。

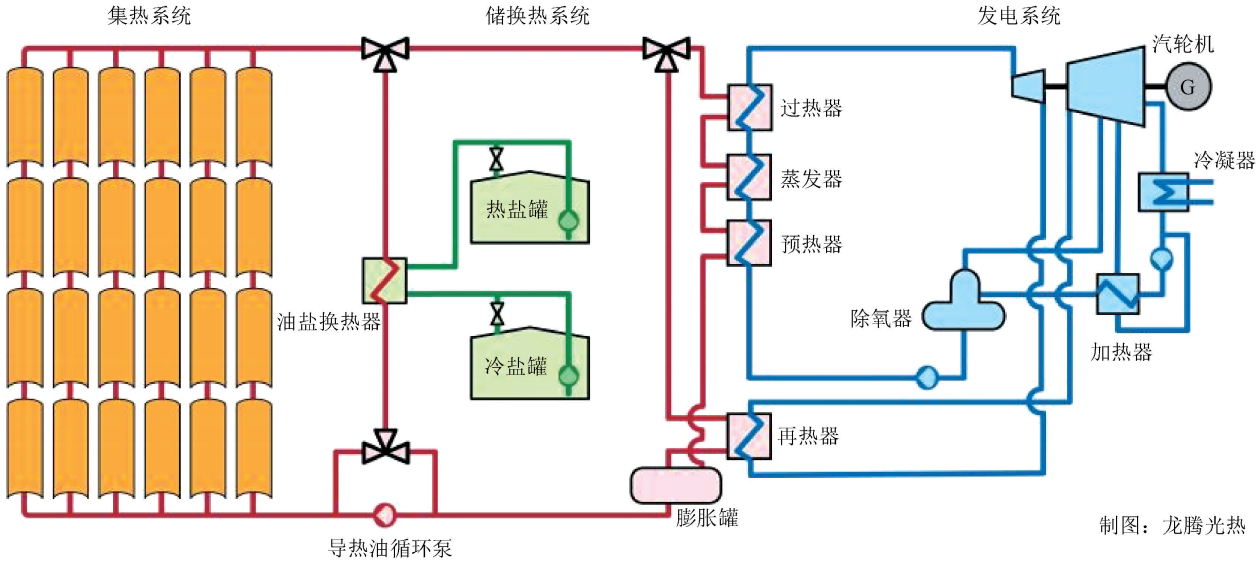


图 3　导热油槽式太阳能热发电系统(常规流程)示意图(图片来源:龙腾光热)

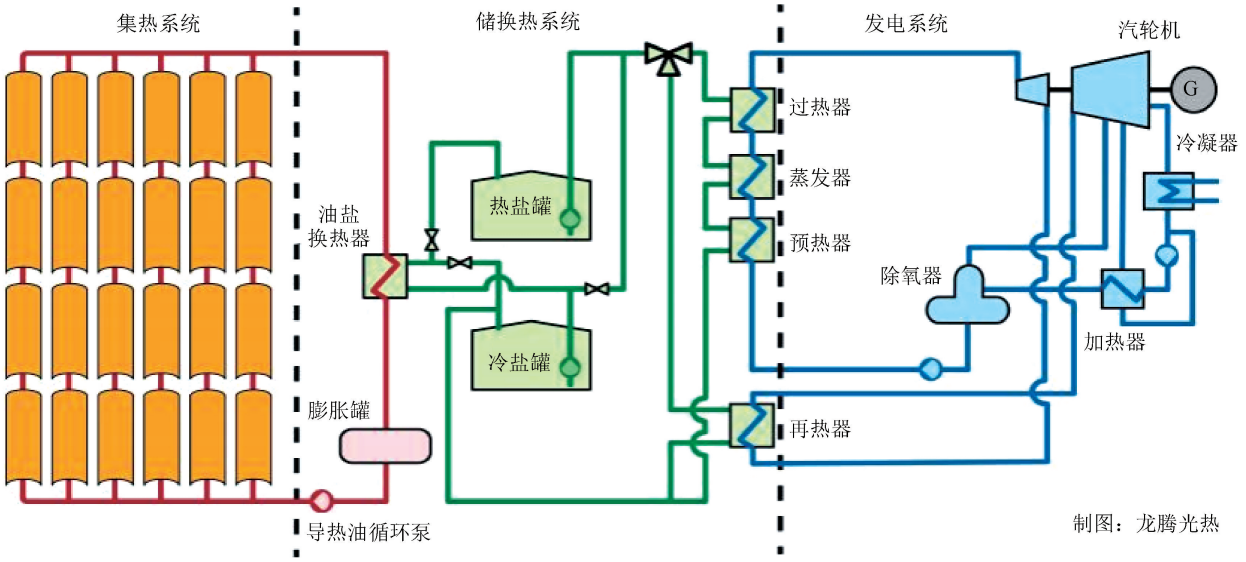


图 4　导热油槽式太阳能热发电系统(解耦流程)示意图(图片来源:龙腾光热)

槽式太阳能热发电系统也可以熔融盐作为传热流体,其运行流程是:槽式聚光器跟踪太阳加热吸热管内流动的熔融盐,吸热后的熔融盐存放在热熔盐罐中。需要发电时,热盐罐中的熔融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。换热后的熔融盐(冷盐)存入冷熔盐罐中。

1.1.3　熔融盐线性菲涅耳式太阳能热发电系统

熔融盐线性菲涅耳式太阳能热发电系统由菲涅耳集热器、高低温熔融盐储罐、蒸汽发生器和汽轮发电机组等部分组成,示意图如图 5 所示。菲涅耳集热场由一次聚光器、二次聚光器和吸热管组成。其基本运行模式是: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,加热管内的熔融盐,熔融盐存储于高温熔融盐储罐中。

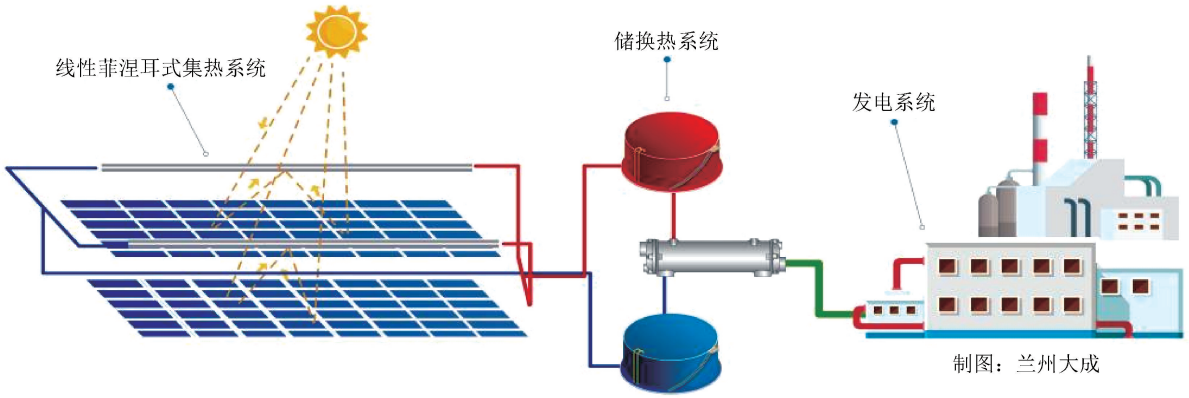


图 5　熔融盐线菲式太阳能热发电系统示意图(图片来源:兰州大成)

1.1.4　二次反射塔式太阳能热发电系统

二次反射塔式太阳能热发电系统主要由定日镜、二次反射塔、吸热器、高低温熔盐储罐、蒸汽发生系统和汽轮发电机组组成。其基本运行流程是:定日镜将阳光反射至二次反射镜,再经过二次反射汇聚到地面上的容积式熔盐吸热器中,系统示意图如图 6 所示。白天正常发电时,低温与高温熔盐罐液位相对稳定,吸热器将低温熔盐升温至 570 ℃,然后储存在高温熔盐罐中。系统可以根据电网需求,灵活调配高温熔盐至蒸汽发生系统,产生汽轮发电机组所需的过热蒸汽。储存的多余高温熔盐可在夜晚用于持续发电。二次反射塔式聚光集热系统在玉门鑫能 50 MW 二次反射熔盐塔式光热发电项目中得到了应用,运行照片如图 7 所示。

二次反射塔式太阳能热发电系统也可以采用固体颗粒作为吸热储热介质,其运行流程为:定日镜将阳光反射至二次反射镜,再经过二次反射汇聚到地面上的吸储一体化集热装置中,被加热的固体颗粒直接存放在吸储一体化集热装置中。在需要发电时,固体颗粒与管路中低温的超临界 CO_2 换热产生高温的超临界 CO_2,通过布雷顿循环实现高效发电。该系统的示意图如图 8 所示。

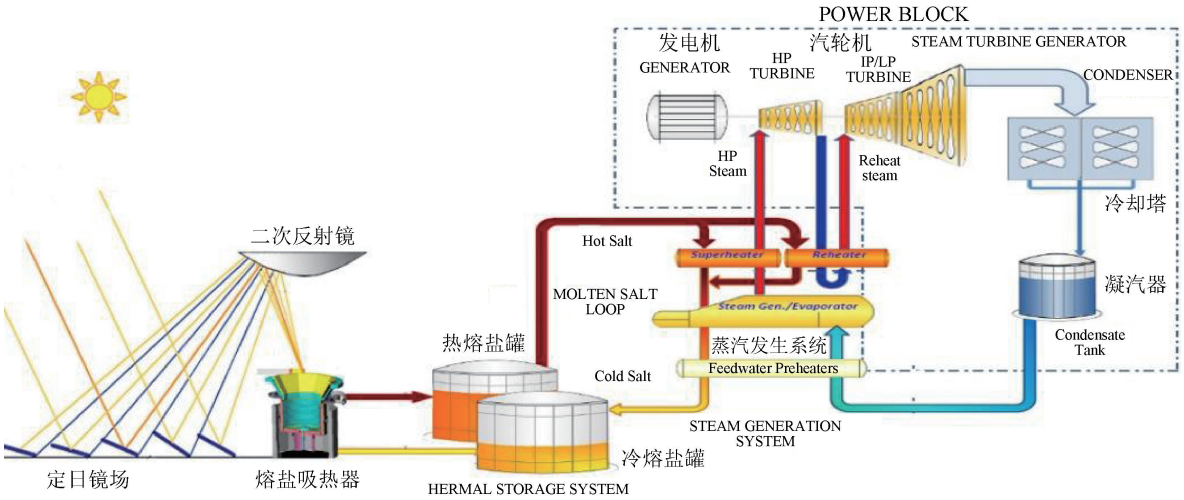


图 6 二次反射塔式太阳能热发电系统示意图(图片来源:众擎光热)



图 7 二次反射塔式太阳能热发电系统现场运行照片(图片来源:众擎光热)



图 9 斜拉索二次反射塔式高倍聚光集热系统示意图(图片来源:众擎光热)

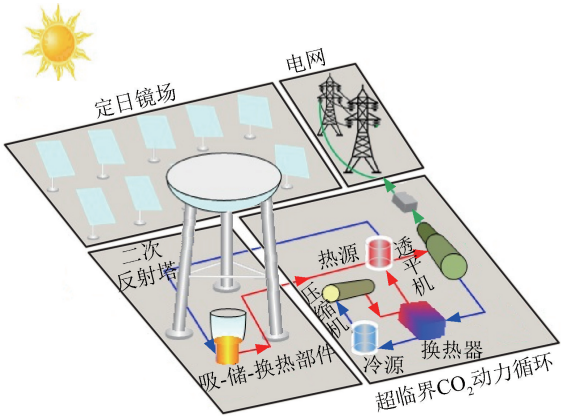


图 8 二次反射塔式太阳能聚光集热耦合超临界 CO_2 发电系统示意图(图片来源:众擎光热)

二次反射塔式太阳能聚光系统通过优化二次反射曲面的面型设计,能够实现极高的聚光倍数,使系统聚光比达到 1 000~3 000。结合设置于地面的吸热器或反应器(如图 9 所示),未来有望推动多种高温太阳能热利用技术的商业化应用,如太阳能热化学制氢、太阳能高温烧制水泥熟料与陶瓷等,具有广阔的发展前景。

1.1.5 新型聚光器

旋转塔式聚光器使定日镜场的光学中心、吸热器与太阳位置三点一线,在太阳某些位置可达到较高的光学效率和较高的温度,目前已有 400 m^2 样机。

轮式聚光器主要拟解决第四代太阳能热发电和太阳能 800 ℃以上高温热转换的聚光器光学效率问题以及高密度点聚光器成本问题,目前已有 2 m^2 两类样机共 2 台。

1.2 太阳能热发电技术发展路线图

太阳能热发电将太阳能转换为热能,通过热力循环进行热功转换发电。热力循环的驱动力来自太阳能集热介质,太阳能集热温度既关系到光热转换效率,也关系到热功转换效率,是决定太阳能热发电能效和成本最重要的因素。中国科学院电工研究所依据该温度对太阳能热发电技术进行了分代,如图 10 所示,这与美国能源部(Department of Energy, DOE)公布的太阳能热发电技术分代基本对应。该路线图编制于 2004 年,目前仍有参考价值。图 10 中灰色为示范级技术,灰色上部为实验室技术,灰色下部为商业化技术,温度为集热器温度,介质为吸热器吸热介质,效率为设计点光到电的全系统效率。

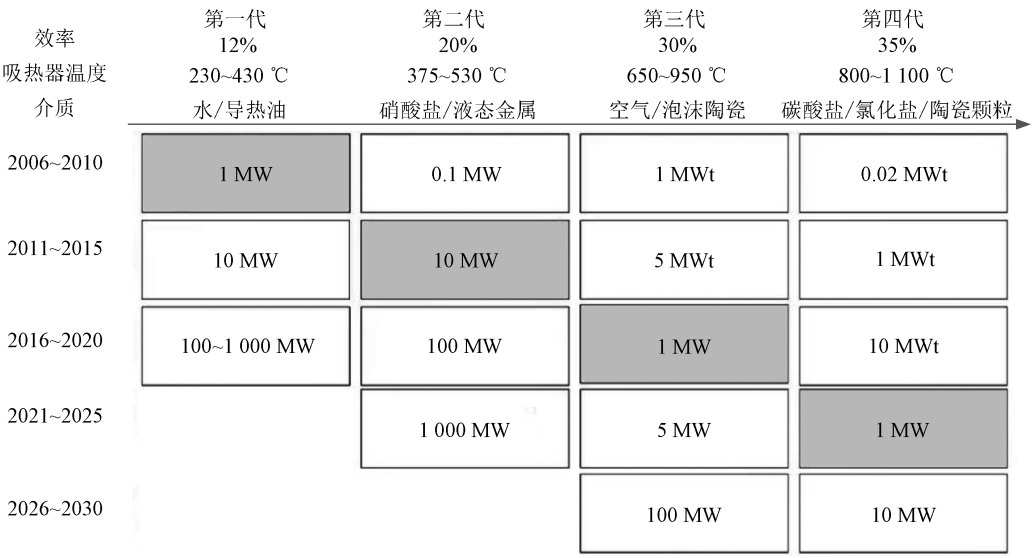


图 10　太阳能热发电技术发展路线图

2013 年 6 月,《中国太阳能热发电产业政策研究报告》课题组完成了向国家能源局新能源和可再生能源司的课题汇报。该报告是太阳能光热产业技术创新战略联盟按照国家能源局新能源和可再生能源司 2012 年 9 月 18 日《关于委托开展太阳能热发电产业政策研究的函》的要求,会同国家可再生能源中心等有关单位开展的专项研究成果。课题组织国内外权威单位,围绕中国太阳能热发电经济性展开分析,并选取位于鄂尔多斯带 4 h 储热的 50 MW 槽式光热电站作为案例进行测算。数据显示,该案例电站 2013 年的单位初投资为 29 119 元/kW,预计 2015 年降至 23 004 元/kW,2020 年进一步降至 14 268 元/kW,2025 年降低至 12 521 元/kW;电价方面,保守情形下 2017 年可降至 1 元/(kW·h),乐观情形下最早于 2016 年实现 1 元/(kW·h)的目标电价,2025 年则有望降至 0.6~0.7 元/(kW·h)。从 2025 年实际情况来看,报告对单位初投资与电价的预测,与当前电价水平基本吻合,充分印证了彼时预测的科学性与准确性。

目前,我国在第二代以熔融盐为传热介质的电站和以导热油为介质的第一代太阳能热发电技术方面已经实现商业化示范。2024 年,青海省启动单机规模为 350 MW 的大容量光热发电技术试点示范。2024 年 5 月 28 日 19:01,由中国科学院电工研究所牵头研发,以颗粒为传热介质的 200 kW 超临界二氧化碳太阳能系统全球首次成功发电,吸热器温度和功率为 700 ℃/1 MWt,透平发电机组温度、压力和功率为 550 ℃/14 MPa/0.2 MW。目前光热发电技术发展基本与路线图吻合。这里需要说明的是,从热力学循环效率角度,太阳能集热场温度是热力循环效率的核心指标,目前 565 ℃熔融盐线性菲涅耳、熔融盐槽式与熔融盐塔式技术均为第二代技术。

针对第四代太阳能热发电技术,在美国能源部和欧盟科技计划支持下,美国已经完成透平发电机组(500 ℃/14 MPa/10 MW),但吸热器和换热器还未完成,系统集成尚未有报道。在 2025 年 9 月举行的第 31 届国际太阳能热发电和热化学大会上,欧盟和美国科学家展示了第三代太阳能热发电空气吸热器方面的研究成果,但在系统集成方面的成果较少。

太阳能集热场的光学聚光比是影响集热温度和集热效率的最主要指标。光学聚光比是指聚集到吸热器采光口平面上的平均辐射功率密度(kW/m^2)与进入聚光场采光口的太阳法向直射辐照度之比(kW/m^2)。一般来讲,聚光场的聚光比越大,太阳能热发电系统可实现的集热效率就越高,整个系统的发电效率也就越高。碟式-斯特林太阳能热发电系统的聚光比最高,在 600~3 000 之间;塔式太阳能热发电系统的聚光比在 300~1 000 之间,线性菲涅耳式太阳能热发电系统的聚光比在 150 以下,而槽式太阳能热发电系统的聚光比在 80~100 之间。因为太阳能热发电的系统效率是集热效率和热电效率的乘积,在聚光比确定的情况下,如果单纯提高集热温度,并不一定能够实现系统效率的提高,反而可能会降低太阳能-电转换效率。在某一聚光比下,随着吸热器工作温度的提高,热机效率会随之提高,但集热效率会出现下降,因而系统效率曲线会出现一个“马鞍点”(如图 11 所示)。因此,必须满足聚光比与集热温度的协同提高,才能实现光电转换效率的提高。

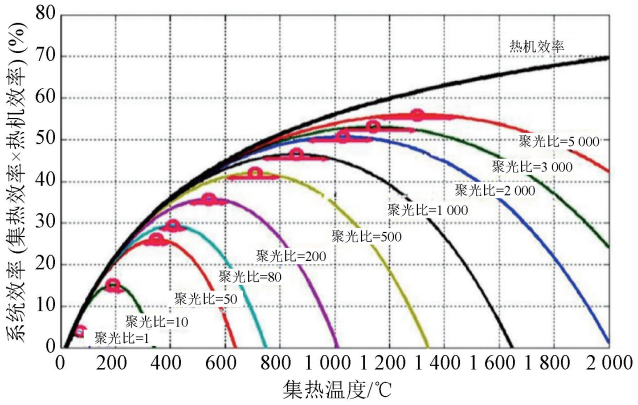


图11 太阳能集热温度、聚光比和系统发电效率的关系

1.3 光热发电和光伏发电的区别

光热发电和光伏发电都属于太阳能的利用形式，但二者存在显著差异，详见表1。其中，最关键的差别是：光热发电具有大规模、低成本和高安全长时储能电站功能[2]；后端采用汽轮发电机组发电，能够发挥类似煤电机组对电网的支撑调节作用，具备作为绿色低碳基础保供电源的潜力。不过，随着我国新能源产业的规模化推进，光热发电与光伏发电正各展所长、互为补充（图12为青海一处光热光伏共同建设的图景），合力推动我国能源绿色低碳转型。

表1 光热发电与光伏发电的特点比较

	光伏发电	光热发电
发电原理	利用光伏电池板的光生伏打效应，将光能直接转换为电能，是光转电的方式	利用集热装置将太阳辐射热能转化为热能，驱动汽轮机组发电，是热转电的方式
并网难易	受太阳资源影响较大、并网难度较大、容易造成弃光	输出电力稳定、能够按需24 h发电、电网友好型电源
光资源	总辐射（GHI）	法向直射辐射（DNI）
应用场景	站址不受地域限制、布置灵活、建设周期短、运维简单	站址受地域限制、系统复杂、建设周期长、运维要求高
出力特性	间歇性、波动性出力	输出电力稳定、调节灵活、可实现24 h连续发电
调峰能力	需要调峰电源或储能电站	可根据电网负荷需求调峰
系统电压支撑能力	电力电子设备，无法向电网提供短路容量支撑	同步发电机，可为系统提供短路容量，具备电压支撑能力
调频能力	频率支撑能力弱，其间歇性、波动性出力可能会引发系统频率波动	可参与一次调频和二次调频，并为系统提供转动惯量，增强系统稳定性
谐波	并网逆变器产生谐波	基本不产生谐波
次同步振荡	易引发次同步振荡	作为同步发电机电源，可抑制次同步振荡
应对极端天气发电	不能	可用天然气发电，仅需备用天然气锅炉，备用成本低
发电成本	低（成熟商业化，置信容量0）	较高（商业化起步期，发展快，置信容量100%）
碳足迹因子	0.052 0 $kgCO_2e/(kW \cdot h)$	0.031 2 $kgCO_2e/(kW \cdot h)$



图12 光热发电和光伏发电一体化项目实景图
（图片来源：国家能源集团青海公司）

1.4 太阳能热发电在能源体系中的地位

《中共中央国务院关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》提出，加快构建新型电力系统，提升电力系统安全运行和综合调节能力，是我国稳妥推进能源绿色低碳转型的重要举措。我国明确2035年全国风电、太阳能发电总装机容量力争达到36亿kW以上，未来10年中国需每年新增2亿kW左右风光装机[3]。随着大规模波动性电力上网，为保障电力系统的安全稳定运行，必须发展相应的“抗波动”绿色发电技术。国务院、国家发展改革委、国家能源局等政府部门发布了一系列文件（本报告仅选择了部分文件内容，按照发布时间排序列

示),积极支持太阳能热发电技术及其规模化发展,充分发挥其调峰能力,挖掘光热发电作为绿色低碳基础保供电源潜力。

国务院《2030 年前碳达峰行动方案》(2021. 10):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。大力提升电力系统综合调节能力,加快灵活调节电源建设。

国家能源局《2022 年能源工作指导意见》(2022. 3):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。

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》(2022. 5):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。

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《"十四五"可再生能源发展规划》(2022. 6):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。

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. 3):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。

国家发展改革委、国家能源局《关于加强电网调峰储能和智能化调度能力建设的指导意见》(2024. 2):充分发挥光热发电的调峰作用。推动系统友好型新能源电站建设,通过加强高精度、长时间功率预测技术和智慧集控技术的应用,实现风光储协调互补,推动电站具备一定的电网调峰和容量支撑能力。

中共中央、国务院《关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》(2024. 8):科学布局抽水蓄能、新型储能、光热发电,提升电力系统安全运行和综合调节能力。

《中华人民共和国能源法》(2024 年 11 月 8 日第十四届全国人民代表大会常务委员会第十二次会议通过,2025 年 1 月 1 日起实施)第二十五条:"积极发展光热发电"。

2025 年 12 月 23 日,国家发展改革委、国家能源局联合印发《关于促进光热发电规模化发展的若干意见》(发改能源〔2025〕1645 号)(简称:《意见》),其中明确提出:光热发电是实现新能源安全可靠替代传统能源的有效手段,是加快构建新型电力系统的有效支撑。充分发挥光热发电对新型电力系统的支撑调节作用。挖掘光热发电作为绿色低碳基础保供电源潜力。

《意见》中,关于光热发电的功能表述为:光热发电兼具调峰电源和长时储能的双重功能,能够实现用新能源调节支撑新能源,能够为电力系统提供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。结合光热发电集"热电"转换和常规交流同步发电机于一身的绿色支撑能力,充分发挥光热发电在调频、调压、黑启动和惯量响应等方面的作用,进一步优化电站运行方式,挖掘光热发电作为绿色低碳基础保供电源潜力,推动光热的系统保供价值转化,提高新型电力系统绿色可靠支撑容量比重。支持配置电加热系统的光热电站通过电力市场发挥系统长时储能电站功能。

2025 年,国家相关部门发布的太阳能热发电相关政策见表 2。

2 太阳能热发电市场发展情况

2.1 我国太阳能热发电装机情况

据太阳能光热产业技术创新战略联盟统计,截至 2025 年底,我国光热发电机组累计装机容量达到 1 738. 2 MW(共 28 座、含首座 200 kW 超临界二氧化碳光热发电基础研究实验系统),较 2024 年增长 107%;其中,并网光热发电机组容量达到 1 720 MW。我国光热发电累计装机容量发展情况如图 13 所示。

2025 年,我国新增并网光热电站 9 座[4-12]、总装机容量 900 MW,见表 3。

从各省区光热电站建设情况来看,截至 2025 年,甘肃省光热发电累计装机规模最大(621 MW,含兰州大成 1 MW 屋顶线菲式光热发电系统),青海省次之(510 MW),新疆位居第三(450 MW)。我国各省区光热发电累计装机容量如图 14 所示。

表2 国家相关部门2025年发布的光热发电相关政策文件

发文部门	文件名称	相关内容
国家发展改革委、商务部	《鼓励外商投资产业目录(2025年版)》(自2026年2月1日起施行)	“电气机械和器材制造业”目录中,包括:新能源发电成套设备或关键设备制造:光热发电、地热发电、潮汐发电、波浪发电、垃圾发电、沼气发生与发电;大尺寸异质结基体材料制造。 《中西部等地区外商投资优势产业目录》的新疆维吾尔自治区(含新疆生产建设兵团)中,包括:风力、光伏、光热等清洁能源设备整机及零部件制造。
国家发展改革委、国家能源局	《关于促进光热发电规模化发展的若干意见》(发改能源〔2025〕1645号)	①2030年光热发电总装机力争达1 500万kW,度电成本与煤电基本相当,技术自主可控;②强化规划引导、培育应用市场(大型能源基地配建、支撑调节型电站等);③充分发挥光热发电对新型电力系统的支撑调节作用;④加快推动光热发电技术与产业创新;⑤完善政策保障机制,包括加大政策支持力度、推动光热发电公平参与电力市场(对符合条件的光热发电容量,可按可靠容量给予补偿)、建立健全光热发电激励机制、提高光热电站绿色收益、加强土地等要素保障和政策落实保障。
国家能源局	《关于促进新能源集成融合发展的指导意见》(国能发新能〔2025〕93号)	①因地制宜建设光热发电等调节性电源,合理控制新建基地煤电装机需求,鼓励以熔盐储热耦合调峰,就地制绿氨掺烧等方式,提高新能源与煤电深度协同水平,提升基地绿电电量占比;②支持有条件地区充分发挥光热、抽水蓄能和新型储能等的支撑调节作用,探索打造100%新能源基地;③鼓励用热(冷)需求旺盛的产业园区,通过可再生能源电力供热、热泵供热(制冷)、光伏光热一体化等方式,打造以新能源为主体的多能耦合综合供能站。
国家发展改革委、国家能源局	《关于促进新能源消纳和调控的指导意见》(发改能源〔2025〕1360号)	适度布局调峰气电,因地制宜建设光热电站。
生态环境部、国家统计局、国家能源局	《关于发布2024年电力碳足迹因子数据的公告》(公告2025年第19号)	光热发电碳足迹因子为0.031 2 $kgCO_2e/(kW\cdot h)$,在主要发电类型中位居第三位。
国家能源局、工业和信息化部、国务院国资委、市场监管总局	关于推进能源装备高质量发展的指导意见(国能发科技〔2025〕78号)	突破高效率、低成本30万kW级光热发电成套技术装备,进一步提升光热发电效率与达产水平。突破大容量、低成本物理储能技术,研制低成本、高效率、长寿命储热关键技术装备。
国家能源局	《关于促进能源领域民营经济发展若干举措的通知》(国能发法改〔2025〕40号)	支持民营企业参与“沙戈荒”大基地投资建设,鼓励民营企业建设光热发电、生物质能多元化利用和可再生能源供暖等项目。
国家发展改革委	《绿色低碳先进技术示范项目清单(第二批)》(发改办环资〔2025〕396号)	中广核太阳能德令哈有限公司作为实施主体的“30万kW熔盐槽式光热发电示范项目”,中国大唐集团新能源股份有限公司作为实施主体的“弃电热转换光伏光热发电一体化示范项目”入选。
国家发展改革委、国家能源局、工业和信息化部、商务部、国家数据局	《关于促进可再生能源绿色电力证书市场高质量发展的意见》(发改价格〔2025〕136号)	加快提升以绿色电力和对应绿色电力环境价值为标的物的绿色电力交易规模,稳步推动风电(含分散式风电和海上风电)、太阳能发电(含分布式光伏发电和光热发电),以及生物质发电、地热能发电、海洋能发电等可再生能源发电项目参与绿色电力交易。
国家能源局	《关于2025年能源工作指导意见》的通知(国能发规划〔2025〕16号)	加大光伏治沙、光热项目建设力度。
国家发展改革委、国家能源局	《关于深化新能源上网电价市场化改革促进新能源高质量发展的通知》(发改价格〔2025〕136号)	2025年6月1日为新老项目划断节点,分类确定机制电量&电价。2025年6月1日以前投产的新能源存量项目,执行期限按照现行相关政策保障期限确定。光热发电项目、已开展竞争性配置的海上风电项目,按照各地现行政策执行。

续表 2

发文部门	文件名称	相关内容
国家发展改革委、国家能源局	《电力系统调节能力优化专项行动实施方案(2025—2027 年)》(发改能源〔2024〕1803 号)	①统筹提升可再生能源调节能力,因地制宜建设光热电站;②电源侧调节能力方面,按照本实施方案有关要求,分类明确煤电、气电、水电、光热等各类电源调节能力建设的规模、布局及时序。
国家能源局	《关于组织开展新型电力系统建设第一批试点工作的通知》(国能发电力〔2025〕53 号)	探索光热发电与风电、光伏发电联合运行,提升稳定供应水平。
国家能源局西北监管局	《西北区域“沙戈荒”大基地配套电源短期平衡市场运营规则(试行)》(西北监能市场〔2025〕35 号)	发电侧主体包括接入西北电网,由省级及以上电力调度机构直调的直流配套火电、风电、光伏和光热。其中,火电、光热以机组为单位,风电、光伏以场站为单位,风光同场电站以调度控制单元为单位参与市场。

表 3 我国 2025 年新增光热发电站

序号	项目名称	装机容量/MW	聚光形式
1	三峡能源青豫直流二期 100 MW 光热工程	100	塔式
2	三峡能源格尔木 100 MW 光热项目	100	塔式
3	中能建浙江火电吐鲁番七克台 1 GW“光热+光伏”一体化项目	100	塔式
4	中国绿发金塔多能互补基地项目 100 MW 光热项目	100	塔式
5	国家电投集团河南公司新疆光热+光伏一体化项目	100	塔式
6	新疆吐鲁番唐山海泰 100 MW 塔式光热项目	100	塔式
7	三峡集团哈密百万千瓦“光热+光伏”项目	100	线性菲涅耳
8	三峡恒基能脉瓜州 700 MW“光热储能+”项目	100	塔式
9	国能青豫直流二期 100 MW 光热项目	100	塔式
统计制表:太阳能光热产业技术创新战略联盟			

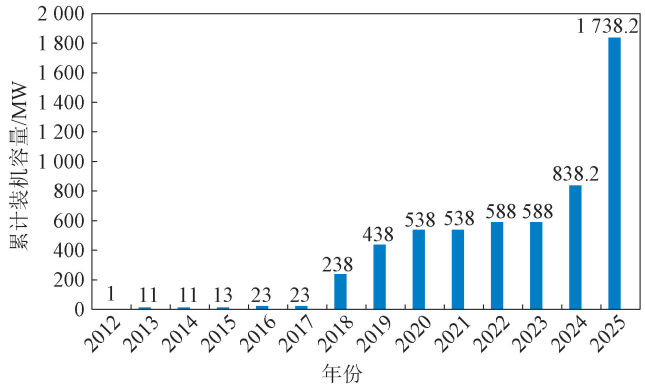


图 13 我国光热发电累计装机容量发展情况(截至 2025 年)

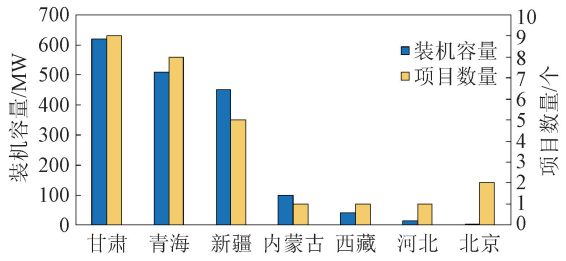


图 14 我国各省区光热发电累计装机容量(截至 2025 年)

2.2 全球太阳能热发电装机情况

2025 年,国外没有关于新增光热发电装机的报道。据中国可再生能源学会太阳能热发电专业委员会统计,2025 年底,全球主要国家和地区光热发电累计装机容量达到 8 800.2 MW(含美国 20 世纪 80 年代建设、现已退役的 8 座槽式电站,总装机容量 274 MW,最长运行时间超过 30 年),同比增长 11.4%。全球主要国家和地区光热发电累计装机容量及年增长率情况如图 15 所示。

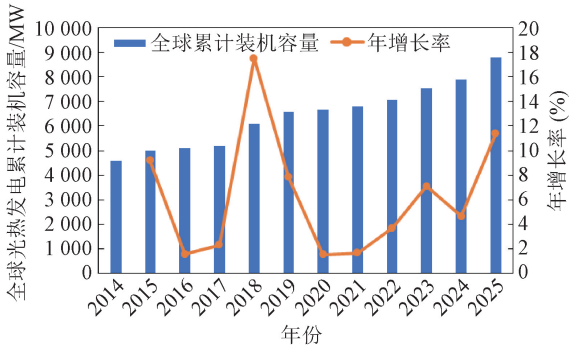


图 15 全球主要国家和地区光热发电累计装机容量及年增长率情况

2.3 太阳能热发电聚光形式占比

据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统计,截至 2025 年底,我国光热发电累计装机容量中,塔式约

占70.82%，槽式约占10.93%，线菲式约占14.50%，二次反射式约占2.88%，类菲涅耳式约占0.86%，超临界二氧化碳式约占0.01%。

2025年我国新增光热电站中，8座为塔式，1座为线菲式。

如图16所示，国外主要国家和地区光热发电累计装机中，槽式较多，约占79.97%，主要原因是国外最早的商业化光热电站采用了导热油为传热介质的槽式技术。美国建于20世纪80年代的9座SEGS（Solar Energy Generating Systems）电站均为槽式电站（未配置储热系统），总装机容量354 MW；此后，欧洲的首座商业化光热电站也采用了槽式（含有熔融盐储热系统）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，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均采用了导热油槽式光热发电技术。

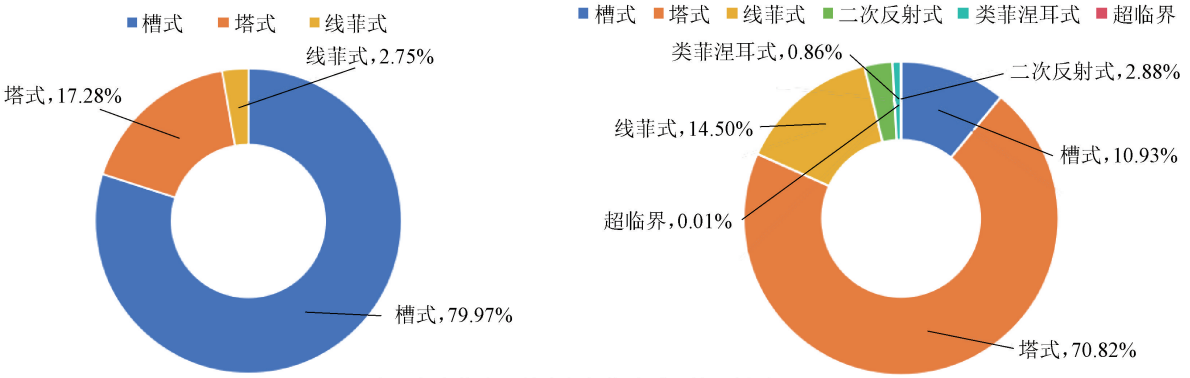


图16 国外主要国家和地区（左）和中国（右）光热发电累计装机中的聚光形式占比（2025）

我国光热发电累计装机容量中，槽式仅约占10.93%，与国外装机比例相差较大，主要原因是导热油槽式产生的主蒸汽温度为380 ℃左右，而熔盐塔式主蒸汽温度为550℃，塔式的热电转换效率高。此外，我国2016年以来运行的塔式电站的熔融盐吸热器可靠性较高，因此我国大多数新投资电站选择了热电效率高的塔式聚光技术路线。为了提高槽式热电效率，目前包括中广核新能源、龙腾光热、中国能建西北院、中国电建西北院等单位正在研发熔盐槽式技术，并加快推进其产业化，旨在降低初投资成本，进一步提高市场竞争力。

2.4 我国在建的太阳能热发电项目

根据太阳能光热产业技术创新战略联盟统计，目前我国各省和自治区处于实质性建设阶段的光热发电项目约23个，总装机容量2 750 MW。其中，2025年有两个350 MW独立光热电站启动建设[13,14]，分别为：青海亿储格尔木350 MW塔式光热发电项目、青海众控德令哈350 MW光热发电示范（试点）项目。我国在建的光热发电项目分布情况如图17所示。

2.5 我国待建及规划的太阳能热发电项目

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委会基于公布的信息进行初步核实，我国待建及规划的太阳能热发电项目

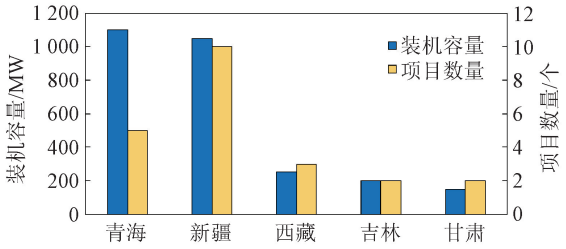


图17 我国在建的光热发电项目分布情况

总装机容量约4 000 MW（不包括尚未明确装机容量的项目），分布情况如图18所示。目前，内蒙古、西藏和青海宣布待建和规划的光热发电装机容量位居前列，总计约3 000 MW。

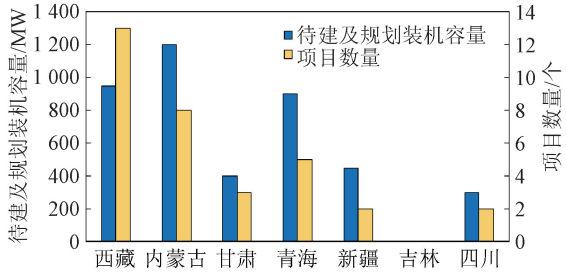


图18 我国待建及规划的光热发电项目分布情况

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委会梳理了目前我国西北各省区光热发电已建、在建和待建规划的装机容量情况，形成各省区总体装机容量情况，如图19所示。根据国家发展改革委、国家能源局《关于促进

光热发电规模化发展的若干意见》提出的目标:到2030年,我国光热发电发展总装机规模力争达到15 000 MW左右,在现有项目(含待建及规划项目)基础上,未来5年还需要开发建设光热发电项目装机约6 000 MW。

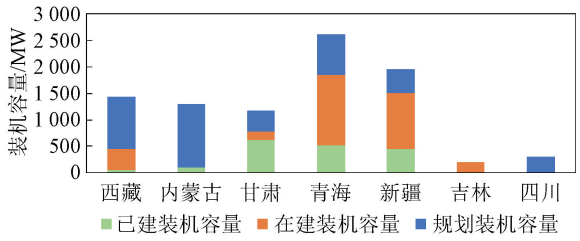


图19 我国西北各省区光热发电预计总装机容量情况

3 太阳能热发电示范项目运行情况

3.1 中广核德令哈50 MW槽式光热电站

中广核太阳能德令哈有限公司持续加大光热发电技术创新应用,围绕集热效能提升、设备可靠性提升开展技术攻关,并持续优化运行策略,努力提高发电效率。2025年度,中广核德令哈50 MW槽式光热示范电站发电量1.476 5亿kW·h,上网电量1.4638亿kW·h,达到历史新高,提前一个月超越2024年电量,同比电量提升3.67%,刷新了电站自2018年投运以来年度上网电量纪录。中广核德令哈50 MW槽式光热电站技术参数及运行情况见表4。

表4 中广核德令哈50 MW槽式光热电站技术参数及运行情况

参数	数值
集热场面积、回路数量、传热介质/工作温度	62万m^2、190个、导热油/393 ℃
占地面积	2.46 km^2
聚光器单元尺寸	5.67×12 m(开口宽度5.67 m,长度12 m)
吸热管型号	ϕ76×4 060×3 mm(外径76 mm,长度4 060 mm,厚度3 mm)
储热介质/重量、储热时长	二元硝酸盐/约为35 000 t、9 h
机组设计参数	中温、高压、一次再热的水冷汽轮发电机组,高压转子转速6 070 r/min,主汽温度381 ℃/正常运行;370 ℃/储热发电模式
项目投资、项目并网时间	17亿元、2018年6月
2023年、2024年、2025年上网电量	1.104亿kW·h、1.412亿kW·h、1.463 8亿kW·h

2025年单日和单月上网电量创历史新高,其中,6月15日单日上网电量116万kW·h,超过2024年单日记录2万kW·h;2025年7月,单月上网电量达到1 956万kW·h,超过2024年单月记录64万kW·h。

3.2 首航高科敦煌100 MW塔式光热电站

首航高科敦煌100 MW塔式光热电站2025年度发电量达到2.448 2亿kW·h,创造历史最好成绩,同比电量提升3.7%。在镜场面型纠正、定日镜智能化纠偏、运行策略优化等方面取得显著成效。首航高科敦煌100 MW塔式光热电站技术参数及运行情况见表5。

表5 首航高科敦煌100 MW塔式光热电站技术参数及运行情况

参数	数值
定日镜场总采光面积、定日镜数量	138万m^2、1.2万面
定日镜尺寸	采光面积115.7 m^2,由35面凹面子镜组成,排列方式竖5排、横7排
定日镜场尺寸	圆周布置,最远点距离吸热塔中心1 500 m,共78圈
占地面积	7.8 km^2
吸热塔高度、吸热器尺寸	263 m、ϕ19.2×40 mm(外径19.2 mm,长度40 mm)
集热场传热介质/工作温度	二元熔融盐/565 ℃
储热介质/重量、储热时长	二元硝酸盐/25 000 t、10 h
机组设计参数	机组设计主蒸汽压力12.6 MPa、温度550 ℃、再热温度550 ℃、排气压力8 kPa
项目投资	28.12亿元
项目并网时间	2018年12月28日。2019年6月,电站实现满负荷运行
2019年、2020年、2021年发电量	8 647.17万kW·h、1.37亿kW·h、2亿kW·h
2022年发电量	2亿kW·h。因国外采购汽轮机缺陷,机组最大安全运行负荷不超过63%,影响发电量

续表 5

参数	数值
2023 年发电量	2.35 亿 kW·h(2023 年 1~11 月份)。因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 6 579 万 kW·h;12 月开始对汽轮机高压缸进行更换
2024 年发电量	2.360 8 亿 kW·h。2024 年超 2023 年发电量 108 万 kW·h。1 月 25 日高压缸及系统更换完毕启动,1 月 28 日实现满负荷发电;1~5 月配合完成各项机组实验及涉网实验;8 月 17 日实现日发电量 227.14 万 kW·h,打破电站历史记录
2025 年发电量	2.448 2 亿 kW·h

3.3 青海中控德令哈 50 MW 塔式光热电站

青海中控德令哈 50 MW 塔式光热电站 2025 年度全年累计发电量 1.43 亿 kW·h,连续第四年完成年度发电目标。2022~2025 四年累计实际发电量达 5.852 亿 kW·h。青海中控德令哈 50 MW 塔式光热电站技术参数及运行情况见表 6。

3.4 兰州大成敦煌 50 MW 线菲式光热电站

兰州大成敦煌 50 MW 线菲式光热电站 2025 年度主要开展进一步运行维护策略升级等。电站日最高发电量达到 95.9 万 kW·h,项目年发电量提高 13.6%。兰州大成敦煌 50 MW 线菲式光热电站技术参数及运行情况见表 7。

表 6 青海中控德令哈 50 MW 塔式光热电站技术参数及运行情况

参数	数值
定日镜场总采光面积	54.27 万 m^2
占地面积	2.47 km^2
定日镜尺寸	20 m^2
定日镜数量	27 135 面
镜场尺寸	方形镜场,南北 1 500 m,东西 1 721 m,圆周布置
吸热塔高度	200 m
吸热器尺寸	ϕ12.14×15.03 m(外径 12.14 m,高度 15.03 m)
集热场传热介质/工作温度	二元熔盐/565 ℃
储热介质/重量、储热时长	二元硝酸盐/10 116 t、7 h
机组设计参数	设计压力 13.7 MPa、主汽温度 540 ℃、再热温度 540 ℃、排气压力 8 kPa
项目投资、项目并网时间	10.88 亿元、2018 年 12 月 30 日
2019 年(4 月起)、2020 年、2021 年发电量 2022 年、2023 年、2024 年、2025 年发电量	0.597 亿 kW·h、1.066 亿 kW·h、1.050 亿 kW·h 1.496 亿 kW·h、1.524 亿 kW·h、1.402 亿 kW·h、1.430 亿 kW·h

表 7 兰州大成敦煌 50 MW 线菲式光热电站技术参数及运行情况

参数	数值
集热场面积	121 万 m^2
占地面积	2.65 km^2
聚光器单元尺寸	1 320×760 m(长 1 320 m,宽 760 m)
吸热管型号	ϕ76×4 060×3 mm(外径 76 mm,长度 4 060 mm,厚度 3 mm)
集热场回路长度、回路数量、传热介质/工作温度	1 100 m、80 个、熔盐/290~550 ℃
储热介质/重量、储热时长	二元硝酸盐/约 23 000 t、15 h
机组设计参数	再热温度 538 ℃,排气压力 8 kPa,蒸汽温度 538 ℃,压力 12.2 MPa,蒸汽流量 150 t/h。
项目投资、项目并网时间	16.88 亿元、2019 年 12 月
2024 年发电量及运行情况	电站主要进行技术改造及部分设备升级、升级内容包括运维方案优化调整、集热场设备升级,清洗设备扩容等。截至 2024 年底,已完成项目部分升级内容,显著提升项目运行的连续性和可靠性。日最高发电量达到 89.524 万 kW·h
2025 年发电量及运行情况	2025 年度电站主要开展进一步运行维护策略升级,自动化巡检,提高项目运行维护效率,并开展集热场高效运行策略探索。项目日最高发电量达到 95.9 万 kW·h,项目年发电量提高 13.6%。

3.5 中电建共和 50 MW 塔式光热电站

中电建共和 50 MW 塔式光热电站 2025 年度发电量 9 121.274 万 kW·h,同比增长 6.4%。中电建共和 50 MW 塔式光热电站技术参数及运行情况见表 8。

表 8 中电建共和 50 MW 塔式光热电站技术参数及运行情况

参数	数值
定日镜场总采光面积、定日镜尺寸、定日镜数量	60.03 万 m^2、单面定日镜反射面积 20 m^2、30 016 面
占地面积	2.13 km^2
吸热塔高度、吸热器尺寸	228 m、吸热器直径 12.9 m,采光口高度 14.2 m
集热场传热介质/工作温度	二元熔融盐/565 ℃
储热介质/重量、储热时长	二元硝酸盐/10 886 t、6 h
汽轮机容量/参数	50 MW,汽轮机型号为:N50-13.21/540/540,超高压、一次再热、双缸双转速、直接空冷凝汽式汽轮机
项目投资、项目并网时间	120 609.43 万元(含送出)、2019 年 9 月 19 日
2020 年、2021 年、2022 年发电量	1 043.175 万 kW·h、3 762.675 万 kW·h、2 194.65 万 kW·h
2023 年、2024 年、2025 年发电量	6 819.23 万 kW·h、8 571.25 万 kW·h、9 121.274 万 kW·h

3.6 中电哈密 50 MW 塔式光热电站

中电哈密 50 MW 塔式光热电站 2025 年度发电量约 1.029 9 亿 kW·h。由于 2025 年 9~10 月份机组大修,发电量受到影响。中电哈密 50 MW 塔式光热电站技术参数及运行情况见表 9。

表 9 中电哈密 50 MW 塔式光热电站技术参数及运行情况

参数	数值
总采光面积	70 万 m^2
占地面积	4.4 km^2
定日镜尺寸、数量	采光口面积 48.5 m^2(由 11 面子镜组成,外形呈五边形)、14 500 面
镜场尺寸	圆周布置,最远点距吸热塔中心水平距离 1 253.14 m,88 圈
吸热塔高度、吸热器尺寸	220 m、ϕ14.15×15.69 m(外径 14.15 m,高度 15.69 m)
集热场传热介质/工作温度	二元熔融盐/565 ℃
储热介质/重量、储热时长	二元硝酸盐/17 000 t、13 h
机组设计参数	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;设计压力 14 MPa、主汽温度 550 ℃、再热温度 550 ℃、排气压力 8.5 kPa
项目投资、项目并网时间	16.5 亿元、2019 年 12 月 30 日,2022 年 9 月,电站实现满负荷运行
2021 年、2022 年发电量	934 万 kW·h、3 614 万 kW·h(4 月 30 日移交生产运行)
2023 年发电量	5 704 万 kW·h。因蒸发器泄漏、热盐泵故障返厂维修,影响发电量
2024 年发电量	1.325 5 亿 kW·h。完成新型蒸发器更换、国产冷、热熔盐泵的替代改造及 SGS 封闭改造后,机组运行趋于稳定,发电量显著提升
2025 年发电量	1.029 907 亿 kW·h

3.7 中船新能乌拉特中旗 100 MW 槽式光热电站

中船新能乌拉特中旗 100 MW 槽式光热电站 2025 年度发电量达到 3.01 亿 kW·h,较 2024 年增长 8.27%。中船新能乌拉特中旗 100 MW 槽式光热电站技术参数及运行情况见表 10。

表 10 中船新能乌拉特中旗 100 MW 槽式光热电站技术参数及运行情况

参数	数值
集热场面积	115 万 m^2
占地面积	4.867 km^2
聚光器单元尺寸	5.771 2 m
吸热管型号	RTUVR® 70M4
集热场回路数量、传热介质/工作温度	352 个、导热油/393 ℃
储热介质/重量、储热时长	二元硝酸盐/约 70 234 t、10 h
汽轮机容量/参数	中温、高压机组,100 MW/(主汽温度 383 ℃/正常运行;371 ℃/储热发电模式)
项目投资、项目并网时间	30 亿元、2020 年 11 月 20 日。2020 年 12 月 16 日,电站实现满负荷运行
项目全系统投运时间	2021 年 7 月全系统投运发电
2020 年、2021 年、2022 年发电量	536.8 万 kW·h、2.29 亿 kW·h(下半年储热系统投运)、3.1 亿 kW·h
2023 年、2024 年、2025 年发电量	3.26 亿 kW·h、2.78 亿 kW·h、3.01 亿 kW·h

3.8 鲁能格尔木多能互补工程 50 MW 塔式光热电站

鲁能格尔木多能互补工程 50 MW 塔式光热电站 2025 年发电量达到 1.482 327 亿 kW·h,同比增长 55.92%。通过现场设备治理、运行参数优化调整等工作,2025 年 6 月 15 日单日发电量达 115.291 万 kW·h,创月度新高。2025 年 10 月,月度发电量达 2 053.01 万 kW·h,创历年新高,实现了产能的突破。鲁能格尔木多能互补工程 50 MW 塔式光热电站技术参数及运行情况见表 11。

表 11 鲁能格尔木多能互补工程 50 MW 塔式光热电站技术参数及运行情况

参数	数值
定日镜场总采光面积	61 万 m^2
占地面积	5 500 亩
定日镜尺寸	单台采光面积 138.672 m^2,由 64 面子镜组成,排列方式竖 8 排、横 8 排
定日镜场尺寸、定日镜数量	圆周布置,最远点距离吸热塔中心 1 500 m,48 环、4 400 面
吸热塔高度、吸热器尺寸	吸热塔高度 147.4 m、吸热器直径 50.8 mm、厚 1.5 mm、高度为 40.7 m
集热场传热介质/工作温度	二元熔融盐/565 ℃
储热介质/重量、储热时长	二元硝酸盐/15 200 t、12 h
汽轮机容量/参数	50 MW,机组设计压力 14 MPa、主汽温度 540 ℃、再热温度 540 ℃、排气压力 8 kPa
项目并网时间	2019 年 9 月 19 日。2021 年 8 月,电站实现满负荷运行
2019 年、2020 年、2021 年、2022 年发电量 2023 年、2024 年、2025 年发电量	37.33 万 kW·h、711.58 万 kW·h、6 949.86 万 kW·h、8 608.95 万 kW·h 9 102.76 万 kW·h、9 506.7 万 kW·h、1.482 327 亿 kW·h

3.9 200 kW 超临界二氧化碳太阳能热发电系统

该系统(全貌见图 20)是国家重点研发计划“可再生能源与氢能技术”重点专项临界 CO_2 太阳能热发电关键基础问题研究(基础研究类)项目成果,2024 年建成发电。项目由太阳能光热产业技术创新战略联盟理事长单位——中国科学院电工研究所牵头、王志峰研究员担任首席科学家。项目突破了太阳能高温颗粒吸热、流化床颗粒/二氧化碳换热、200 kW 级超临界二氧化碳发电机组等核心装备设计制造难题,在全球范围内率先实现包括高焦比聚光场、颗粒吸热器、颗粒/超临界二氧化碳换热器、超临界二氧化碳压缩机透平机组和高速电机在内的超临界二氧化碳太阳能热发电系统运行。



图 20 位于北京延庆的超临界二氧化碳太阳能热发电系统

针对科学问题一:高温吸热器设计理论及方法,建立了聚光太阳辐射在柔性不连续颗粒流内的时空协同吸收、转换和传热机理;研制了 3 种聚光器和包括 700 ℃/1 MWt 颗粒吸热器在内的 4 种吸热器;提出了 2 种高密度能量测量方法。

针对科学问题二:储热放热模式对系统性能的影响机理,探索了熔融盐对金属腐蚀抑制机理;突破高温固体吸热颗粒与 sCO_2 在变热流、变温度和强变物性条件下的换热特性匹配;研制了包括 550 ℃/1 MWt 在内的 3 种储热换热装置。

针对科学问题三:CO_2 与透平热功转换过程的相互作用机制,构建高太阳能流、高温、高膨胀比、高比功的高效太阳能热发电系统主要参数本构匹配关系;建立以 sCO_2 流动为核心的光-热-电能量转化全系统模型;研制了 550 ℃/200 kW sCO_2 透平发电机组;建立了“光-热-电”实证系统,并实现运行。

《人民日报》(2024 年 11 月 29 日 01 版)刊文:我国成功研制出首座超临界二氧化碳光热发电机组,走在世界前列。该发电机组涉及基础理论研究、技术装备开发、系统集成多个环节,凝聚了中国科学院电工研究所、清华大学、山东电建三公司等 18 家单位的智慧。

2025 年 1~12 月,系统核心设备——太阳能颗粒集热器共计运行 3 174 min(2025 年冬至日工作情况如图 21 所示)。其中,运行温度 600~700 ℃:195 min;运行温度 500~600 ℃:1 454 min;运行温度 400~500 ℃:1 080 min;运行温度 400 ℃以下:445 min。

3.10 龙腾光热熔盐大槽太阳能集热系统

为进行熔盐槽式太阳能热发电技术大规模商业化应用前的示范验证,龙腾光热在内蒙古巴彦淖尔市临河区搭建了熔盐槽式聚光集热系统验证平台,



图 21 位于北京延庆的太阳能颗粒集热系统在 2025 年冬至日工作

平台实景图如图 22 所示,相关技术参数见表 12。该平台采用龙腾光热自主研发的 RT86 系列大开口槽式集热器、高温熔盐集热管、“平面旋转头+软管”高温熔盐柔性连接等核心装备,以二元硝酸盐作为传储热一体化工质,组建第三代熔盐大槽回路热态系统。投运至今,熔盐大槽回路热态系统每天参照槽式电站的日常模式运行,已连续运行四个多月,系统整体运行平稳,未出现故障停机事故,证明了熔盐大槽技术在工程应用上已具备可行性。



图 22 龙腾光热熔盐槽式聚光集热系统验证平台实景图

表 12 龙腾光热熔盐槽式聚光集热系统验证平台技术参数

参数	数值
集热面积/m^2	2 376
占地面积/亩	约 12
集热器开口弦长/m	8.6
集热器总长度/m	293
集热器组合(Solar Collector Assembly, SCA)数量/个	2
每个 SCA 包含的单元数量/个	8
集热管管径/mm	80
单个集热管长度/mm	4 525
集热回路设计最高出口温度/℃	565
传储热一体化介质	二元硝酸盐
传储热一体化介质用量/t	约 27

RT86 集热器本体于 2024 年 5 月建成,经历了 12 个月室外气象条件下的连续运行测试,其间保护姿态下实测最高等效风速 26 m/s,运行姿态下实测最高等效风速 19 m/s,集热器结构完好无损,验证了集热器本体结构设计的可靠性。熔盐大槽回路热态系统于 2025 年 3 月动工,安装高温熔盐集热管、高温熔盐柔性连接、熔盐管道、冷热盐罐、冷热盐泵等设备,组建熔盐热态循环系统,于 2025 年 7 月底完成施工,8 月 12 日进行熔盐化盐,8 月 24 日完成扫掠预热并一次注盐成功投运。

通过熔盐大槽回路热态系统的运行实践,具体验证了以下几方面:

(1)熔盐大槽回路温升及出口温度达标

虽然因场地限制临河熔盐大槽回路的实际长度只有标准回路的 40%,但在实际操作中通过分温度段运行,覆盖了入口 290 ℃、出口 394 ℃,到入口 461 ℃、出口 565 ℃的标准回路温度工况的所有范围,验证了熔盐大槽回路温升达标、出口温度达标。此外,其间还进行了多次出口温度为 570~580 ℃的超温运行试验,系统整体安全,未出现集热管爆管、失效或熔盐泄漏等事故,验证了熔盐大槽回路对出口温度波动的高容忍性。

(2)“平面旋转头+软管”高温熔盐柔性连接方案运行可靠

由龙腾光热自主研发的“平面旋转头+软管”高温熔盐柔性连接方案,在熔盐大槽回路中实装且至今连续运行四个多月,平面旋转头密封结构良好,未出现熔盐泄漏;金属软管工作状态良好,未出现疲劳失效或熔盐泄漏。该方案在实际气象环境中的持续可靠运行,作为室内加速旋转老化试验的有力补充,充分证实了“平面旋转头+软管”方案的工程可行性,有望填补国内乃至国际光热行业在该细分领域中商用解决方案的空白。

(3)夜间低速循环防凝切实可行

熔盐大槽回路在连续四个多月的运行过程中,每天夜间均采用熔盐低速循环方式进行防凝,不退盐,其间未出现熔盐凝固、冻堵管道等情况,验证了熔盐槽回路夜间低速循环防凝的可行性。

(4)扫掠预热注盐工程操作可行

熔盐大槽回路集热器在注盐前采用扫掠预热方式,利用太阳能直接对集热管进行扫掠升温。此后集热器一次注盐成功,其间未出现集热管玻璃管爆管、钢管塑性变形等情况,充分验证了扫掠预热方案在商业化项目操作中的可实施性。

3.11 中广核 8.6 m 大开口熔盐槽式标准化中试回路

2025 年 12 月 12 日,中广核光热技术公司建设

的国内首套面向工程化应用的8.6 m大开口熔盐槽式标准化中试回路(简称:中试回路)完成全部设备安装及调试。该中试回路包括4个SCA、40个集热器单元,集热器开口弦长8.6 m,总长度728 m,回路有效集热面积5 970 m^2;配套约310 t循环熔盐,可进行完整的功能验证。2025年12月18日,开展了集热器注盐、排盐、集热等相关性能试验,集热回路入口温度290 ℃,出口温度达到550 ℃,整体集热效率超过60%,验证了大开口熔盐槽式系统的可行性和稳定性。

中试回路采用标准化工程回路设计,旨在打造性能优异、自主可控且具备商业化量产条件的成熟产品,降低槽式光热电站建设成本。回路采用自主研发的大开口槽式集热器、高温熔盐柔性连接组件、集热器就地控制系统、阻抗电加热系统等核心装备。通过流水线组装工装,搭建组装面形质量控制体系,实现了高精度组装,样件的第三方拦截率检测达到96.6%,形成全套熔盐槽式集热器设计、关键设备、组装、检测、防凝、预热等解决方案,实现核心设备国产化。

在集热器设计方面,通过拓扑优化空间桁架结构,提升了支架稳定性和经济性;进行了刚性与气动稳定性风洞试验,验证了集热器运行过程中的气动稳定性;开展集热系统流场分析,完成集热器结构适应性优化和挡风墙设计,降低了集热器用钢量与综合建设成本。

在集热器组装方面,设计组装生产线采用自主研发的组装工装,可实现集热器单元的高精度稳定装配,反射镜安装控制精度达±2 mm,角度偏差≤0.2°。

在集热器配套关键设备方面,完成熔盐槽式集热器柔性连接设备自主研发,打破“卡脖子”局面。设备使用温度550 ℃,完成5 000次循环测试,运行寿命10年以上;完成就地控制系统研发,自主化掌握此项核心技术,控制精度±0.05°、控制周期不大于100 ms,已完成LOC控制器产品生产以及现场测试。

在集热器检测方面,完成了国内首套自主槽式集热器支架在线检测设备的开发,国产化率达到100%,检测精度达到毫米级和0.01°级,产品指标优于国际同类设备;搭建了国际上最大的槽式太阳能集热器入射角修正因子测试(Incident Angle Modifier,IAM)平台,参照IEC 62862-3-2标准,通过IAM平台测试大开口槽式集热器性能,在0°入射角条件下,熔盐集热器集热效率超过78%。

4 太阳能热发电产业链情况

4.1 太阳能热发电产业板块

太阳能热发电产业链长,大体上可以分为材料、设备、生产设备、集成和检测等五大板块。随着新能源大基地的建设,电站投资和运维技术也成为产业链的重要部分。

(1)材料板块,主要包括:超白玻璃原片、反射镜背漆、反射镜耐候油漆、吸热器吸收涂层、镍基合金管、不锈钢管、熔融盐(硝酸钾和硝酸钠二元盐)、多元盐、800 ℃高温熔融盐、导热油(主要是联苯-联苯醚)、硅油、混凝土储热材料、各种普通钢材、各种温度保温材料等。近年来,陶瓷吸热颗粒材料、陶瓷储热材料、石英玻璃管、二氧化碳、硅酸铝纤维耐火保温材料等第四代太阳能热发电用的材料也进入产业链。

(2)设备板块,主要包括:

1)太阳能聚光器,包括:聚光器本体、小功率控制电机、电动推杆、高精度减速机、电机、液压驱动设备,电动机推杆。

2)太阳能吸热器,包括:塔式吸热器、槽式真空管、颗粒吸热器、空气吸热器、吸热器阀门(熔盐、导热油、蒸汽、固体颗粒)。

3)储热容器:储罐本体、储罐阀门、储罐内电加热器及控制器、熔融盐或导热油液位计、储换热岛溢流槽容器罐等。

4)泵阀:熔融盐泵、熔融盐阀门、导热油泵、导热油阀门、蒸汽阀门、水阀门、高温颗粒阀门。

5)换热设备:600 ℃颗粒提升机、导热油/熔融盐换热器、熔融盐/蒸汽发生器、熔融盐/颗粒换热器、陶瓷颗粒/超二氧化碳换热器、流量计。

6)控制设备:电站控制设备、聚光器跟踪控制设备、定日镜场纠偏设备、管路传热流体流量控制设备、吸热器管屏自动化控制器、聚光吸热全自动控制设备、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、全场分散式控制系统)。

7)跟踪误差测量仪器:定日镜校准设备、目标点成像误测量设备、机器视觉误差探测仪、水平倾角仪、激光校准设备、月光法校准设备、聚光器校准用人工光源。

8)动力机械设备:光热发电专用蒸汽轮机、空气透平、斯特林机、有机朗肯循环(Organic Rankine Cycle,ORC)透平、超临界二氧化碳压缩机、超临界二氧化碳透平、发电机、高速电机、空冷系统。

9)辅机: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)、电加热器、电气设备、聚光器清洗车、制水设备、上网设备、太阳法向直射辐照度测量仪表、气象站、云预测系统(全天空成像仪、30 min 内直接法向辐照度预测)、化盐设备等。

(3)生产设备板块,主要包括:超白玻璃生产线、反射镜镀膜生产线、玻璃弯曲钢化生产线、跟踪驱动装置生产线、槽式吸热管生产线、槽式聚光器生产线、金属背板冲压设备、子镜粘接固化及检验设备、定日镜结构组装及面型调整检测仪器、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、定日镜总装生产线、熔融盐生产线、储热罐生产线、换热器生产线、定日镜控制器生产线等。

(4)集成板块,主要包括:设计、设计咨询、业主工程师、设备和系统安装、系统调试、系统运维、主蒸汽管路设计规则、定日镜场布置设计软件、线性集热场布置设计软件、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、事故安全计算程序等。

(5)检测板块,主要包括:液体和固体吸热材料性能和寿命检测、聚光场光学效率及寿命检测、吸热器热性能检测、吸热器寿命检测、吸热涂层吸收比和发射比检测、吸热涂层寿命检测、集热系统热性能检测、换热器热性能检测、吸热器力学性能检测、集热系统热效率检测、透平发电机组热功转换效率检测、太阳能热发电系统发电量检测、系统发电效率检测、管路焊缝无损探伤、吸热器受热面能流密度红外监测、各种标准制定等。

表 13 为新疆某 100 MW 光热发电项目部分招标采购清单(特别说明:表 13 中分类大类和细分类别由作者根据采购产品/服务自行归类,尤其是辅机招标采购产品被打乱)。可以看出,光热发电系统复杂,涉及很多产品部件等。

表 13 新疆某 100 MW 光热发电项目部分招标采购清单

分类大类	细分类别	采购产品/服务
前期咨询与设计类	技术咨询与论证	光热运行模式研究技术咨询、环境影响评价、水资源论证报告、水土保持方案
	可行性研究	新建 220 kV 升压站可行性研究、100 MW 光热项目可行性研究相关(含整体项目可研关联内容)
	专项设计	接入系统设计、110 kV 送出线路及 35 kV 熔盐电加热器电源线路工程设计
	测绘服务	土地地形图测绘
	造价咨询	总承包工程造价咨询服务
	涉网相关	100 MW 光热项目涉网试验、100 MW 光热项目功率预测系统
	其他前期服务	光热项目化学实验室分析仪器设备采购(前期配套)
工程承包与管理类	总承包服务	100 MW 光热项目设计施工总承包、EPC(Engineering, Procurement, Construction)总承包
	项目管理	100 MW 光热项目业主工程师、光热项目工程监理服务
	设备监理/监造	主要设备监理、主要辅机设备监造
	施工配套	光热工程五通一平及项目临建施工
建筑安装施工类	主体建筑安装	常规岛、储换热建筑安装施工、100 MW 光热项目厂前区公用部分建筑安装工程
	钢结构工程	钢结构、支吊架、压缩空气管道支架
	管道工程	100 MW 光热项目管道及其附件、四大管道管材管件工厂化、熔盐管道管材管件工厂化、低温熔盐管道管件及工厂化加工、临吹管及管件采购、管道及其附件
	材料采购	液态熔盐、超白玻璃、加气块、保温材料、不锈钢无缝钢管、不锈钢螺栓镀锌钢管、管道管材
	通风空调	光热工程全厂通风设备、多联式空调机设备、风冷分体式空调机、风冷分体式空调机设备、太阳能生活热水器
	其他安装配套	全场检修起吊设备、电动双梁桥式起重机
核心发电设备类	主机设备	蒸汽发生器、汽轮机、发电机
	熔盐储换热设备	熔盐储罐(系统及设备)、调温泵、热盐泵、冷盐泵、国产热盐泵、进口热盐泵、进口冷盐泵、疏盐泵
	熔盐相关阀门	熔盐调节阀、熔盐截止阀、熔盐三偏心蝶阀、熔盐止回阀、熔盐止回阀采购、国产熔盐阀门、进口熔盐阀门、熔盐介质仪表阀、进口调节阀、国产调节阀
	热交换设备	高压加热器、低压加热器、启动给水电加热器、采暖加热站
	泵类设备	凝结水泵、全厂通用水泵、熔盐介质压力变送器
	其他核心设备	35 kV 熔盐电加热器

续表 13

分类大类	细分类别	采购产品/服务
电气设备类	主变与配电设备	主变、厂高变、备用变、110 kV 地理信息系统(Geographic Information System, GIS)、35 kV/6 kV 高压开关柜、380 V 低压开关柜、低压干式变压器、低压干式变压器、6 kV 高压变频装置(进口)
	电缆与桥架	光热项目 35 kV 及以下高压动力电缆、低压动力电缆(辅助厂房及集热场部分)、电缆桥架
	备用电源	柴油发电机组
	电气二次设备	光热项目电气二次设备、信息管理系统电气二次设备、分散控制系统 DCS(含仿真机)、厂级管理信息系统(MIS/SIS)
	其他电气配套	集热场箱式变电站、电气小三箱、常规岛电伴热、铠装加热电缆、铠装加热电缆、厂内通信设备
辅机与配套设备类	辅机设备	高压加热器、低压加热器、凝结水泵、电动双梁桥式起重机、国产热盐泵、110 kV GIS、熔盐调节阀、熔盐截止阀、熔盐三偏心蝶阀、主变、厂高变、备用变、蒸发冷却机组、除氧器
	其他辅机设备	空压机及空气干燥器、储气罐、压力容器及箱罐、启动给水电加热器、全场闭路电视监控系统、生活污水处理设备、疏水器
	仪表与实验室设备	熔盐超声波流量计采购、熔盐介质压力变送器、仪表与控制实验室、熔盐介质仪表阀
其他配套类	暖通配套	轴流风机、高温排烟风机、电暖器、采暖加热站
	其他	电暖器、保温材料、不锈钢螺栓镀锌钢管

4.2 太阳能热发电产业链发展情况

在“十一五”“十二五”期间陆续开展的光热发电技术基础研究、高技术研究和研发中试基础上，2016 年，我国启动了首批太阳能光热发电示范项目建设。经评估，首批光热发电示范项目建设非常圆满地完成了既定示范目标。我国光热发电装机规模实现从小到大的跨越式增长，技术路线多元化，已建立了具有完全自主知识产权的产业链，关键设备材料自主可控，具备了规模化光热发电系统设计集成能力，并走出国门，部分光热电站运行维护水平达到国际领先，支撑光热电站大规模发展的人才队伍逐步建立。“十四五”期间，随着光热发电与风电、光伏一体化建设，我国光热发电装机规模进一步增长，产业链材料设备制造能力稳步提升，涌现了一批具备全面工程设计和建设能力的系统集成商，制定了一批标准，为光热发电规模化、市场化发展奠定了坚实基础。

根据企业名称、企业经营范围、企业简介、品牌产品、企业存续等五个要素在“天眼查”查询，搜索结果仅展示境内有限责任公司和股份有限公司，排除个体户等其他组织机构类型，得到我国涉及光热发电的大、中、小及微型企业约 6 610 686 家，国有企业 10 722 家，民营企业 533 771 家，外商投资企业 3 469 家，小微企业 458 861 家。

其中，北京 12 462 家，上海 12 949 家，内蒙古 10 758 家，青海 3 581 家企业，甘肃 10 948 家，陕西 20 213 家，江苏 65 142 家，西藏 4 162 家，湖南 17 064 家，浙江 37 209 家等。各主要省区太阳能热发电单位分布情况如图 23 所示。

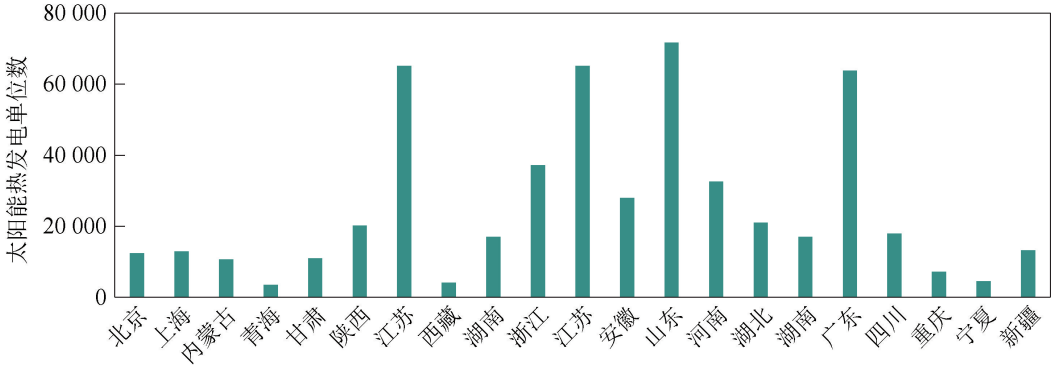


图 23 各主要省区太阳能热发电单位分布情况

在企业注册时间方面,注册十年以上的企业达到41 018家,5~10年的79 934家,注册3~5年的1 134 310家,注册1年内的企业达到116 202家,最近3个月注册的与太阳能热发电业务相关的企业达到30 051家。有专利信息的有14 727家。

在产业链中,A股上市公司75家,新三板323家,新四板323家,港股上市10家,美股3家。

高新技术产业8 565家,科技型中小企业8 921家,创新型中小企业3 339家,龙头企业25家,科技小巨人48家,科技创新示范企业31家,制造业单项冠军22家,民营科技企业428家,独角兽企业37家,瞪羚企业379家,牛羚企业3家,纳税信用A级企业579 503家,有发明专利公布的企业14 014家,企业经营异常31 053家,股权冻结2 066家。产业链中制造业单位36 884家,其中,通用设备制造业4 011家,专用设备制造业1 460家。科学研究和技术服务业单位181 170家,高等教育业181 356家。

4.3 部分光热发电产业链环节拥有应用业绩的代表性企业

中国可再生能源学会太阳能热发电专委会根据中标信息等公开资料,盘点了部分光热发电产业链供应环节拥有应用业绩的代表性企业。经梳理发现,中标企业数量前10位的主要集中在设计/总包(20家)、电加热器、熔盐阀、熔盐、镜场控制、保温材料、熔盐泵、回转减速机、熔盐储热系统、支架等环节,如图24所示。光热发电部分环节中拥有光热发电应用业绩的代表性企业名录可联系编写组索取。

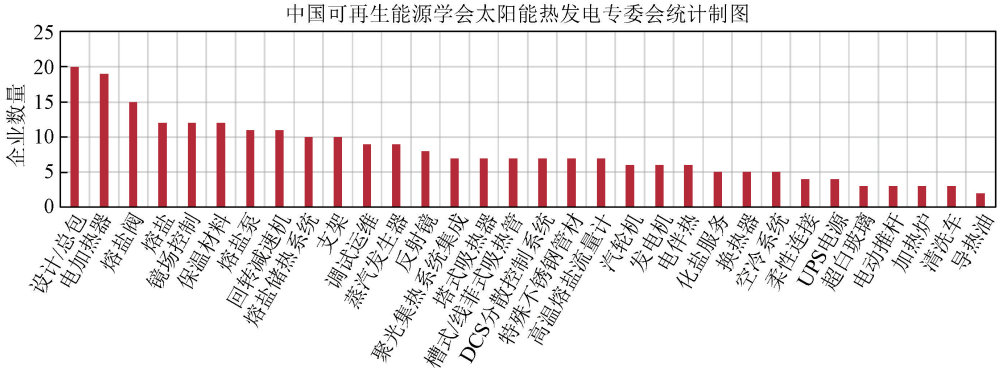


图24 部分光热发电产业链环节拥有应用业绩的代表性企业数量情况

4.4 太阳能热发电产业产能情况

太阳能光热产业技术创新战略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,详见表14。以平面反射镜产能为例,按照国家能源局提出的"原则上每100 MW电站的镜场面积不应少于80万m^2"的要求粗略计算,我国主要反射镜企业年产能能够支撑约5 300 MW光热电站的安装。

5 太阳能热发电技术研发情况

5.1 国家重点研发计划项目

2025年启动的国家重点研发计划项目有4个[15-18]:

国家重点研发计划青年科学家项目"太阳能与生物质能耦合的可再生分布式能源系统设计理论和调控方法",4月11日召开启动会。

国家重点研发计划"多能耦合稠油热采低碳能源系统设计理论与方法"项目,4月15日召开启动会。

国家重点研发计划"面向稠油热采的多能耦合热化学转化及电/热/汽联产系统一体化设计理论与方法"项目,4月23日召开项目启动会暨实施方案论证会。

国家重点研发计划"政府间国际科技创新合作"重点专项"基于内燃机与太阳能热发电的低碳多能互补系统关键技术"项目,11月26日召开启动会。

目前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约13个,见表15(按照项目启动时间先后排序)。特别感谢各项目首席对项目本年度进度情况的分享。

5.1.1 宽波段超表面太阳能聚光器及其集热系统

针对传统亚波长人工微结构(如纳米柱)超表面存在频率色散和角度色散等挑战,基于深度渐变结构单元,设计了复合超表面聚光器,实现了成百上千倍2π范围的大幅度相位调控,解决了频率色散难题;同时,通过规范太阳光与超表面聚光器及其集热管的空间布局,设计了该复合超表面聚光器聚光集热系统,解决了广角聚光的难题。该聚光系统对太阳光可实现免跟踪的广角聚光,工作波长覆盖400~3 000 nm,入射角度范围170°,聚光比达到91,正入射的平行太阳光的理论聚光效率高达92.1%。

表14 我国部分光热发电关键材料部件生产能力

产品类型	企业名称(按拼音排序)	生产能力
超白玻璃	大连耀皮玻璃有限公司	700 t/天,年产能3 GW,玻璃厚度为2~4 mm
	河南安彩光热科技有限责任公司	600 t/天,年产能2.5 GW,玻璃厚度为3~15 mm
	甘肃凯盛大明光能科技有限公司	600 t/天
	福建瑞玻玻璃有限公司	600 t/天,年产能约2 GW,玻璃厚度为3~4 mm
反射镜	北京兆阳光热技术有限公司	菲涅耳式反射器制造能力为500万 m^2/年,菲涅耳式聚光集热镜场建设能力为300万 m^2/年
	甘肃凯盛大明光能科技有限公司	槽式抛物面反射镜为360万 m^2/年,平面镜为1 500万 m^2/年,反射镜粘接产能600万 m^2/年
	兰州大成科技股份有限公司	整套菲涅耳式反射镜产能400万 m^2/年,二次双抛物面反射镜产能60万片/年,熔盐线性菲涅耳式集热场设备供应建设能力达到400 MW/年。
	内蒙古百川光热科技有限公司	槽式抛物面反射镜为700万 m^2/年,平面镜为650万 m^2/年
	首航高科能源技术股份有限公司	槽式抛物面反射镜为200万 m^2/年,平面镜为560万 m^2/年
	武汉圣普太阳能科技有限公司	800 MW/年(槽式、塔式、菲涅耳式、碟式反射镜,二次反射镜、聚光光伏反射镜)
	山东宇影光学仪器有限公司	按光学形式可提供透射式,反射式,正负焦距菲涅耳透镜; 按材质可提供PMMA、HDPE、PC、PVC、PS、钢化玻璃+硅胶菲涅耳透镜;按尺寸可提供直径3~2 200 mm菲涅耳透镜
镜背涂料	浙江芬齐涂料密封胶有限公司	2万t/年
真空集热管	北京天瑞星光热技术有限公司	8万支/年
	常州龙腾光热科技股份有限公司	32万支/年(70标准管)
	兰州大成科技股份有限公司	10万支/年(熔盐真空集热管)
	山东汇银新能源科技有限公司	20万支/年
	北京道荣能源集团有限公司	20万支中高温真空集热管/年
	内蒙古旭宸能源有限公司	20万支/年
	山东斯美达新能源科技有限公司	10万支/年
	陕西宝光真空电器股份有限公司	光热发电用4 m真空集热管年产3万只,光热利用工程用2 m集热管年产6万只
高温镍基合金管	常州市神能金属制品有限公司	1 500 t/年
	宝钛集团有限公司	镍及镍合金生产能力达到年产3 000 t以上
硝酸盐	湖北云图熔盐科技有限公司	硝酸钠和亚硝酸钠共15万t/年
	江西金利达钾业有限责任公司	硝酸钾为10万t/年(因硝铵管控问题,不能满负荷生产)
	金钾科技有限公司	硝酸钾为15万t/年
	青海盐湖沃锦储热技术有限公司	熔盐级硝酸钾、硝酸钠共40万t/年。
	山西沃锦新材料股份有限公司	熔盐级硝酸钾、硝酸钠、硝酸钙及各种高中低温熔盐共为14万t/年
	交城县并盛化工有限公司	熔盐级硝酸钾、硝酸钠及各种高中低温熔盐共为4万t/年
	新疆硝石钾肥有限公司	硝酸钠为7万t/年
	智矿斯凯姆(上海)化学有限公司	硝酸钾和硝酸钠总产能为30万t/年
	山东华阳迪尔化工股份有限公司	年产28.5万t稀硝酸,12万t浓硝酸,10万t硝酸镁,15万t熔盐级硝酸钾及水溶肥,10万t熔盐级硝酸钠,20万t复合熔盐
	山东爱能森新材料科技有限公司	拥有年产10万t熔盐复配生产线,2套可移动化盐设备,具备每小时各化30 t,一天700 t的化盐能力
	山东奥博储能科技有限公司	具备熔盐级硝酸钾、硝酸钠、亚硝酸钠等各类复配熔盐年供应能力12万t。可提供全套供盐、预热、化盐服务
	山东海化华龙新材料有限公司	年产亚硝酸钠13万t,硝酸钠6.5万t
	江苏联储能源科技有限公司	双效化盐系统,化盐效率可满足600~1 200 t/天

续表 14

产品类型	企业名称(按拼音排序)	生产能力
导热油	江苏中能化学科技股份有限公司	30 000 t/年
	河北津东科技集团有限公司	36 800 t/年(其中,联苯-联苯醚为 25 000 t/年)
熔盐泵	江苏飞跃泵业股份有限公司	各类行业用熔盐泵年产量达上千台
	江苏双达泵业股份有限公司	5 000 台(套)/年各类工业泵、12 000 t/年各类复合管道、1 000 t/年各类金属铸件
	济南华威泵业有限公司	长轴熔盐泵为 100 台/年
熔盐阀	上海亚核阀业成套有限公司	7 000 台/年
	北京佳洁能新节能技术有限公司	3 000 台/年
	成都华西流体控制科技有限公司	年产总量约 1 000 t,能满足 10 个光热+10 个储能项目的整机供货
隔热防护保温材料	湖北烁砺新材料科技有限公司	在光热保温防护材料领域累计服务塔式装机量 1 160 MW,槽式装机量 640 MW,发货总量已超 1 000 t。
	山东鲁阳节能材料股份有限公司	60 万 t/年
不锈钢管道	常州市神能金属制品有限公司	10 000 t/年
	江苏鑫常特材有限公司	高温熔盐管道、导油管及电加热管年产能共 35 000 t
	中纲不锈钢管业科技山西有限公司	高温熔盐管道、高温导油管年产能分别为 10 000 t
	上海飞挺管业制造有限公司	年产各种材料管件 12 000 t、焊管 10 000 t、法兰 7 200 t、堆焊 230 t,以及工厂化管道预制 5 000 t
	河北科倍特管道科技有限公司	全品类管道产品 10 万 t 级库存保障能力
减速机	恒丰泰精密机械股份有限公司	20 万台/年
	科恩卓(江苏)传动有限公司	60 万台/年
熔盐电加热器	杭州华源前线能源设备有限公司	2 000 MW/年
	浙江绿储科技有限公司	2 000 MW/年
	西安慧金科技有限公司	2 000 MW/年
熔盐流量计	塔浦(上海)自动化仪表有限公司	500 台/年
	重庆川仪自动化股份有限公司流量仪表分公司	600 台/年
统计制表:太阳能光热产业技术创新战略联盟		

表 15 太阳能热发电技术相关国家重点研发计划项目信息

序号	项目名称	重点专项	牵头单位	项目首席	参与单位
1	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	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
2	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	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
3	光热发电用耐高温熔融盐特种合金研制与应用	先进结构与复合材料	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
4	宽液体温域高温熔融盐储热技术	储能与智能电网	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

续表 15

序号	项目名称	重点专项	牵头单位	项目首席	参与单位
5	太阳能高倍柔性聚光制备水泥熟料与陶瓷关键基础问题研究	可再生能源技术	中国科学院电工研究所	雷东强	武汉理工大学、北京工业大学、天津水泥工业设计院有限公司、北京建筑材料科学研究总院有限公司、鑫晨光热(上海)新能源有限公司
6	煤与光热耦合发电技术研究与工业验证	可再生能源技术	华北电力大学	杨勇平	西安交通大学、清华大学、中国科学院电工研究所
7	多能耦合稠油热采低碳能源系统设计理论与方法	工程科学与综合交叉	中国科学院工程热物理研究所	隋军	中国科学技术大学、西安交通大学、中国石油大学(北京)、中国石油集团科学技术研究院、东莞新能源研究院
8	面向稠油热采的多能耦合热化学转化及电/热/汽联产系统一体化设计理论与方法	工程科学与综合交叉	中国科学院大学	王宏圣	南京师范大学、中国石油大学(北京)
9	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	众擎光热(上海)新能源有限公司	谢文韬	上海交通大学、Alia Energy Consulting S. L.
10	太阳能热发电用高温熔融盐储罐力学研究及寿命预测	政府间国际科技创新合作	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(NREL)
11	塔式太阳能定日镜结构风荷载脉动特性及其风致振动特性研究	政府间国际科技创新合作	长安大学	邢国华	中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司、国际工程公司、西班牙易安国际公司
12	基于内燃机与太阳能热发电的低碳多能互补系统关键技术	政府间国际科技创新合作	山东电力工程咨询院有限公司	刘义达	天津大学、中国科学院电工研究所、山东大学、通榆吉电新能源有限公司、芬兰瓦锡兰公司
13	太阳能与生物质能耦合的可再生分布式能源系统设计理论和调控方法	“工程科学与综合交叉”青年科学家项目	重庆大学	夏昇	中国科学院电工研究所、东方电气集团东方锅炉股份有限公司

围绕平面超表面太阳能聚光器规模化制备的核心需求,针对高精度、大幅面微纳结构制备中存在的模具制备复杂、图形转移困难两大关键难题,系统开展了从模板制备、压印工艺到图形刻蚀及器件集成的全链条技术攻关,成功打通了米级超表面聚光器从设计到制备的全工艺路径。实现了从厘米级母模到大于等于 600 mm×1 000 mm 大尺寸工作模板的高效、低成本复制。成功设计并优化了集匀胶、压印、固化、脱模于一体的卷对面纳米压印系统,建立了米级幅面超表面结构的规模化制备技术,实现了 1 001.6 mm×1 502.6 mm 的超大幅面压印,速度达 2.998 m/min,压印精度优于 50 nm。发展了超大幅面高保真图形刻蚀制备技术,成功实现了 700 mm×1 100 mm 超大幅面干法刻蚀,刻蚀精度优于 50 nm,亚微米结构刻蚀深度均匀性优于 5%。构建了从“模板制备-图形压印-结构刻蚀-器件集成”的完整工艺链与技术平台,形成了米级超表面聚光器批量化制备能力。所制备的大尺寸平面超表面聚光器幅面≥600 mm×1 000 mm、聚光频段覆盖 400~3 000 nm、入射角范围达 170°、聚光比≥70。

根据线聚焦集热系统在高温工况下真空集热管吸热器辐射热损失显著、传统吸热器难以同时兼顾高出口温度与高热效率的瓶颈,提出了一种渐进自适应偏心双涂层吸热管回路,显著降低高温段辐射散热并提升全回路集热效率。基于 60 cm×100 cm 平面超表面聚光器和双截止波长涂层吸热管,以二元硝酸熔盐(40%硝酸钾 60%硝酸钠混合物)为传热流体和储热材料,设计制备了一套太阳能聚光集热示范系统,实现了对太阳能的免跟踪聚光集热。参照相关国家标准制定了性能测试方法,第三方机

构浙江省太阳能产品质量检验中心于2025年11月15日至2025年11月16日间开展了实证系统多工况测试,出口温度高于400 ℃连续输出时间160 min;进口温度高于300 ℃,进出口温差大于10 ℃,连续时间361 min;热功率大于5 kW连续输出时间286 min。

5.1.2 高通量聚光太阳能热化学转化储能理论与方法

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,开发颗粒载能体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。

2025年研究取得了多项重要进展。基于共掺杂碳酸钙颗粒优化光学测应变实验,构建了"光-热-力"多物理场耦合模型,预测误差降至4.29%,系统揭示了颗粒物性对光热-热应力演化的影响规律。进一步建立"光-热-力-流-化"耦合模型,阐明$Ca_{100}Mn_3Fe_3Mg_{10}$掺杂对导热、比热及反应动力学的增强作用,明确了煅烧与碳酸化的控制机理与反应层推进特征。基于声场耦合计算流体力学(Computational Fluid Dynamic, CFD)与离散元(Discrete Element Method, DEM)模型揭示了声场打散团聚的机制,并通过双流体模型优化多腔室结构,使平均停留时间提升14.5%。构建的多循环模型明确最佳运行条件,并开发降阶算法,将计算效率提升约10^6。在高稳定性载能体方面,采用自燃烧法制备Mn/Al共掺杂材料,确认掺杂诱导的晶格畸变与耐热相形成机制,实现2 000次循环后储能密度仅下降20.37%。系统表征与离散傅立叶变换(Discrete Fourier Transform, DFT)分析揭示了$Ca_3Al_2O_6$和$Ca_2Al_{1.34}Mn_{0.66}O_5$对CaO团簇的锚定效应,显著抑制烧结。针对长期循环中积碳导致的失活问题,提出原位除焦策略,使Al/Mn/Ce共掺杂材料在800 ℃下完成1 000次循环后仍保持1 039 kJ/kg储能密度。围绕核-壳结构材料,构建$CaCO_3$(M)@XO_2体系并实现对ZrO_2壳层厚度的可控调节,验证其优越的高温结构稳定性。建立的长效循环评价平台形成了2 000次循环的指标体系并通过专家评审。在反应器与系统集成方面,完成移动式颗粒吸热器实验与二维瞬态模型构建,可准确描述光场波动下的吸热过程。搭建内置埋管流化床放热系统,实现反应温度大于700 ℃、转化率大于90%。构建1 MWt反应器动态模型并与再压缩sCO_2循环耦合,系统热效率达32.2%。建立光学模型与能流测量体系,优化匀光策略,显著提升光斑均匀性与能流质量。

5.1.3 光热发电用耐高温熔融盐特种合金研制与应用

下一代太阳能集热技术对结构材料提出极大挑战,要求材料在高温、强腐蚀环境下长期服役。项目通过开展高温合金和不锈钢组织性能调控、高温熔盐环境下特种合金腐蚀机制、耐温吸热涂层设计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,并实现在光热发电系统中的示范应用。

目前项目取得的主要研究结果:研制出GH3539合金和新型原位析出氧化物强化不锈钢材料,制备出涂覆新型陶瓷金属基吸热涂层的高温合金和不锈钢集热管,在甘肃光热阿克赛实验平台上进行了600 ℃高温熔盐集热示范应用;制备出GH3539高温合金罐体和新型不锈钢罐体,可用于开展材料在800 ℃氯化物熔盐中耐久性试验。

5.1.4 宽液体温域高温熔融盐储热技术

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10 MW·h高温熔盐储热系统工程验证和工程示范。

2025年度,项目建立了耦合高温熔盐储热的火电调峰、光热发电和热泵储电系统的动态仿真模型,揭示了熔盐流量、材料热物性等对系统性能的影响机理。对优选三元硝酸碳酸熔盐+纳米二氧化硅及三元硝酸碳酸熔盐+纳米氧化铝两种纳米流体进行了1 000 h的650 ℃恒高温稳定性实验和1 000次的室温650 ℃高低温热冲击稳定性实验,获得了复合储热材料热性能参数随恒高温时间和高低温循环次数的变化机理。对直管式电加热元件的高电压熔盐电加热器、电热器引出棒以及U型翅片电加热管

电加热器进行了多场协同分析,揭示了内部的传热机理。完成了兆瓦级高电压熔盐电加热器样机的优化设计和样机研制。形成了多壳程螺旋盘管熔盐-水/蒸汽换热器的设计方案,完成了多壳程螺旋盘管熔盐-水/蒸汽换热器样机的研制与工作压力测试。形成了翼型通道印刷电路板熔盐-超临界 CO_2 换热器原理性样机设计方案,建立了熔盐-超临界 CO_2 换热器性能测试试验平台。10 MW·h、650 ℃工程验证平台已完成高温熔盐储热工程验证系统建造和调试;华能海门电厂熔盐储热耦合火电机组提升灵活性示范工程已建成投运12个月,熔盐储热示范系统被高频率调运,示范工程运行稳定可靠,实现了预定的调峰调频目标。

5.1.5 太阳能高倍柔性聚光制备水泥熟料与陶瓷关键基础问题研究

项目在2025年的主要进展:突破多次反射高倍聚光技术,提出聚光太阳能直接快速烧制水泥与陶瓷技术方案,解决光-热-反应耦合调控难题,率先研制出百千瓦级光功率的太阳能窑炉系统,实现温度超过1 500 ℃、2 h快速聚光直接烧制技术,对建材制备或其他高温工业能源绿色替代及流程再造具有重要意义。

5.1.6 煤与光热耦合发电技术研究与工业验证

项目在2025年主要进展:提出九种光热-燃煤-储热耦合方案,优选“抽再热蒸汽+电加热”“三罐储热+主蒸汽抽汽”两种,多目标优化确定最佳储热时长与抽汽量、经济性与调峰潜力,建成熔盐-蒸汽发生系统中试平台及太阳能驱动生物质气化-燃煤调峰系统;测试了新型低熔点熔盐高温稳定性与热循环特性,明确劣化抑制方法,优化熔盐换热器结构,揭示参数传热流动影响规律,完成熔盐储罐建模,明晰温度应力分布与结构薄弱点;聚焦光煤互补系统灵活性提升,搭建了660 MW协同仿真模型,明确再热汽温超温为核心制约。提出两种控制策略:内部蓄热优化使汽温偏差由10.4 ℃降至8.5 ℃;储热罐协同控制降至6.2 ℃,变负荷达4.5%P_e/min(P_e为峰值发电功率)。结合抽汽与凝结水节流,增强负荷响应,实现太阳能高效利用与电网稳定;围绕光煤互补发电系统开展灵活性提升研究,通过锅炉低负荷稳燃、汽轮机调峰能力增强及光热耦合等技术,实现了机组宽负荷高效运行与快速调频,为提升电力系统调节能力、促进可再生能源消纳提供了有效技术方案;基于切缸改造前后机组热网结构分析,构建全厂热电可行域并建立以最小煤耗为目标的优化模型,采用理想蒸汽循环评价方法量化太阳能与燃煤的独立做功能力,揭示其贡献度差异。

5.1.7 多能耦合稠油热采低碳能源系统设计理论与方法

项目面向我国油气行业稠油开采节能降碳的战略需求,从多能耦合高效低碳转化和可再生能源就地柔性消纳两端发力,变革燃料燃烧与蒸汽驱油的传统方法,建立多能互补热化学转化的能质耦合理论,构建适合稠油热采的碳氢燃料源头脱碳与低碳燃料电热汽联产方法,形成井下用能与地面供能系统柔性互动的电汽协同稠油热采技术。建立兆瓦级多能互补源头脱碳的稠油热采验证系统,供能系统弃光率小于1%,能源综合利用率高于85%。打造多能互补稠油热采新范式,促进油气开发与新能源融合发展,助力油气行业节能降碳。项目针对稠油热采多能耦合低碳能源系统面临的关键科学和技术难题,以多能互补热化学转化的能质耦合、源头脱碳的电汽协同与井地柔性互动为主线开展研究。研究内容包括:聚光太阳能、生物质能等与天然气热化学耦合转化理论;天然气原位脱碳制低碳燃料与电热汽联产系统设计方法;井下用能与地面供能系统柔性互动的电汽协同稠油热采技术;源头脱碳的稠油热采低碳能源系统设计与技术验证。

2025年度进展:从太阳能热利用过程的能“质”转化出发,建立太阳能燃料能质转化模型,揭示太阳能与燃料化学能热化学互补中热流㶲与化学㶲耦合对反应温度的影响规律。对太阳能线聚光系统中的槽式聚光热系统的光谱-空间辐射特性进行了深入研究与分析,形成了聚光倍率1 500倍以上,热流密度≥100 W/cm^2,热面温度>1 300 ℃,冷源温度>600 ℃的新型高温大热流集热技术。构建中温太阳能-燃料热化学互补氢电联产系统,在直接法向辐照度(Direct Normal Irradiance, DNI)为800 W/m^{2}时,系统电-氢比可在1.52~4.26 kW·h/(N·m^3)之间灵活调控,为太阳能与天然气的高效耦合利用、节能增效和源头脱碳提供系统性解决方案。

5.1.8 面向稠油热采的多能耦合热化学转化及电/热/汽联产系统一体化设计理论与方法

项目针对常规稠油热采高碳排、高能耗及太阳能利用稳定性不足的瓶颈问题,开展了高通量聚光太阳能协同碳氢燃料的热化学转化与储能一体化技术研究。目前已在多能耦合能势匹配理论、热化学

转化反应调控、系统架构设计与集成测试等方面,取得了一系列创新成果和关键技术,具体如下:

建立了聚光太阳能、生物质能、天然气多能耦合的能质-能势表征理论与数理模型,基于普朗克黑体辐射定律推导包含光子波长的单色光品位公式,构建了生物质能量及㶲与组分的函数关系,明确了温度对甲烷、氢气及各类生物质等能源能量品位的调控规律;构建了基于膜分离的聚光热化学甲烷湿重整反应试验体系,综合甲烷转化率、氢气分离率及热能损失确立额定反应温度 550 ℃,建立了甲烷投入量与聚光热能的协同匹配关系,在优选气汽比范围内反应转化率维持 98%以上;开发了多能耦合制氢系统优化策略,明确原料比、水碳比及气化温度对制氢效率与积碳量的影响规律,确定最优水碳比区间,最大制氢效率达 73.68%;建成了聚光热化学协同碳氢燃料驱动稠油热采系统架构,整合塔式聚光集热、多介质蒸汽发生、储氢及利用、碳氢燃料补燃等子系统,实现弃光率为 0;搭建了多能耦合系统动态仿真与全流程性能测试平台,建立了注入端-采出端全流程能耗与碳排放评价方法,明确了电-汽-CO_2 协同热采的注汽强度、气汽比等关键参数界限,系统综合能源利用率达 87.56%,清洁能源占比 66.11%,累计产油量较参比系统提升 4.10%,为稠油低碳化热采提供了核心技术支撑。

5.1.9 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

项目通过开发新型二次反射塔式聚光集热技术及吸-储-换热一体化关键部件,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。项目完成了新型定日镜组件,镜场闭环控制系统,吸-储-换热一体化部件等的设计、开发和实验测试等工作,开展了多种系统配置下超临界 CO_2 动力循环的运行特性与储-放热特性最优匹配的理论分析工作,并共同研究了超临界 CO_2 动力循环效率提升以及光热-光伏联合电站的光伏出力和光热出力耦合特性、容量配置优化方法和控制策略与并网调度特性,以实现太阳能电力的低成本稳定输出与清洁电力并网。项目单位组织了中西双方的多次交流互访和线上会议,发表论文 10 篇,其中 SCI 论文 6 篇,申请发明专利 5 项。

5.1.10 太阳能热发电用高温熔融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漏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仿真设计软件,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。

项目团队在 2025 年度主要完成了如下研究任务:①基于 100 MW 塔式光热电站高温熔盐储罐,开展了高温应力测试工作,研究了高温应变传感器在熔盐储罐力学特性研究中的应用可行性;②开发了具有寿命预测功能的熔盐储罐结构设计仿真软件,完成了第三方相关机构的测试鉴证;③搭建了高温熔盐储罐热交变循环实验平台,为熔盐储罐热疲劳实验研究提供了科研支撑;④在国际学术交流方面,美国国家可再生能源实验室(National Renewable Energy Laboratory, NREL)在 SolarPACESTASK III: Solar Technology and Advanced Applications(任务 3:太阳能技术和先进应用)会议上分享了《Failure Analysis in Molten Salt Thermal Energy Storage Tanks》研究成果,中方在 SolarPACES 国际会议上做的题为《Mechanical Performance and Fatigue Life of Molten Salt Storage Tank in a CSP Plant》的口头报告,获评会议亮点成果之一。

5.1.11 塔式太阳能定日镜结构风荷载脉动特性及其风致振动特性研究

2025 年,项目在定日镜风荷载脉动机理建模以及风致振动-光学性能耦合分析方面取得了阶段性进展。针对现有风压谱模型难以反映定日镜不同姿态和运行工况差异的问题,结合风洞试验与粒子图像测速(Particle Image Velocimetry, PIV)流场可视化技术,系统研究了不同仰角、风向角条件下定日镜表面脉动风荷载的频域特征及其形成机理。通过引入气动导纳函数,建立了考虑姿态影响的统一风压谱建模框架。进一步构建了集成气动、结构与光学分析的多物理场数值模拟方法体系,结合典型场址气象条件与定日镜运行姿态变化规律,系统评估了风致变形对聚光效率时变特性的影响,明确了风荷载作用下定日镜结构响应与光学性能退化之间的内在关联,为定日镜轻量化结构抗风设计、性能评估及运行优化提供了技术支撑。

开展了定日镜阵列风荷载干扰特性与极端荷载评估研究。分析了径向串联和径向交错排列定日镜

阵列在不同运行姿态和间距条件下的风荷载干扰效应,明确了两种排列方式下的干扰机制,基于雷诺平均假设和干扰机制,通过加入干扰项对标准湍流动能输运方程进行了修正。揭示了干扰引起的非高斯特性与极端荷载放大效应,提出考虑非高斯特性和自动阈值选择的改进超阈值峰值法(Peak Over Threshold,POT)极值估计方法,准确预测了极端荷载较孤立工况放大的现象。厘清了定日镜气动干扰对平均与脉动荷载的影响机理,为定日镜抗风设计中准确考虑非高斯极值荷载提供了重要依据,为结构安全设计与镜场布局优化提供了理论支撑。

5.1.12 基于内燃机与太阳能热发电的低碳多能互补系统关键技术

项目通过国际合作理清两国科研人员对内燃机低负荷排烟温度特性的不同认知,明确内燃机设计和排气特性之间的依变特性,进而开展并网型固定式甲醇内燃发电机组的产品研究,形成团体标准。建立带甲醇内燃机的“光热+”多能互补构型的仿真模型,并搭建实验系统进行验证。研究多品种耦合电力市场下多元灵活资源协同的可再生能源大基地交易决策特性及其容量规划方法,进而形成光热发电与风电光伏一体化工程配套内燃发电机组的工程方案和投资决策技术。研究一体化项目燃料价格与电力价格的依存关系与敏感性分析,依托中国国内实际的光热发电与风电光伏一体化工程项目,完成其扩展建设内燃发电机组的预可行性研究报告。2025年11月27日,项目已顺利召开启动暨实施方案论证会。

5.1.13 太阳能与生物质能耦合的可再生分布式能源系统设计理论和调控方法

2025年,项目在聚光太阳能与碳氢燃料耦合机理与协同转化、热电汽综合能源系统变工况耦合原理与动态设计、高比例光伏-光热分布式能源系统源网储荷主动调控、分布式能源系统集成与应用验证方面开展研究,取得以下主要成果:

(1)在聚光太阳能与碳氢燃料耦合机理与协同转化方面,提出了菲涅耳镜场聚光性能计算方法、生物碳氢燃料制备及燃烧机理高效简化方法。针对聚光太阳能驱动生物质水热反应系统,构建了菲涅耳镜场聚光性能计算方法,明确了集热管及光伏电池的布置方案和选型依据,探索了生物质催化水热水解特性。针对可再生电力间歇性和波动性的特点,开展了电驱动策略对厌氧电发酵性能影响特性研究,揭示了连续流厌氧电发酵的底物降解及燃气生成规律,提出具有快充缓释性能的高效厌氧发酵电极制备方法。针对生物碳氢燃料品质多变的特点,提出基于数据驱动的化学反应机理简化方法,为系统设计与运维提供高效的燃烧动力学模型支撑。

(2)在热电汽综合能源系统变工况耦合原理与动态设计方面,完成了系统动态特性仿真分析平台的开发。为了揭示分布式能源系统的动态特性,以功能设备为基本单元,构建了具有标准接口的设备模型库,并开发了分布式能源系统可视化建模仿真平台,分析了典型分布式能源系统的动态响应,获得影响系统性能的关键参数。针对分布式能源系统负荷变化频繁、传统静态设计方法难以考虑过渡过程性能的问题,提出基于动态模型的系统优化设计方法,为高比例可再生能源分布式能源系统设计提供了方法和工具支撑。分析了系统内关键设备的动态响应特性。针对某园区冷热电负荷进行了模拟,并采用主客观综合评价方法对典型供能方案的综合性能指标进行了分析。针对分布式能源系统负荷变化频繁、传统静态设计方法难以考虑过渡过程系统性能的问题,显著提升了系统动态运行的综合性能,为热电汽综合能源系统变工况模拟仿真提供前期基础。

(3)在分布式能源系统源网储荷主动调控方面,构建了面向系统运维在线优化的生物质与太阳能耦合的分布式能源系统数字孪生体。针对分布式能源系统性能多变的特点,为了及时精确掌握系统的性能,提出了机理与数据融合的数字孪生模型构建及自演进方法,为主动调控提供了模型支撑。为了应对源荷的快速大幅扰动,提出了基于模型预测、多能协同的主动调控策略,并针对性开发了高比例可再生能源分布式应用系统的数字孪生体,为系统主动调控提供技术支撑。

(4)在分布式能源系统集成与应用验证方面,深入四川、安徽、宁夏等典型区域开展市场调研,系统梳理了国家及地方政策环境、太阳能与生物质资源匹配度及全生命周期经济性指标,通过企业负荷曲线分析与减排目标评估,验证了本技术在降低用能成本与环保合规方面的市场潜力。推动意向工业园区开展省级零碳试点申报以及项目规划设计工作,为后续关键技术攻关与示范工程推进提供了坚实支撑。

5.2 太阳能热发电标准

5.2.1 国家标准

我国光热发电相关国家标准主要归口在两个技术委员会:TC565全国太阳能光热发电标准化技术委

员会和 TC402 全国太阳能标准化技术委员会。其中,全国太阳能光热发电标准化技术委员会(TC565),由中国电力企业联合会筹建及进行业务指导,负责专业范围为太阳能光热发电技术和设备,秘书处承担单位为中国大唐集团科学技术研究总院有限公司。全国太阳能标准化技术委员会(TC402),由中国标准化研究院筹建,由国家标准委进行业务指导;负责专业范围为太阳能热水系统、太阳房、太阳灶、太阳能产品、太阳能集热器、元件等太阳能热利用等。

根据太阳能光热产业技术创新战略联盟查询统计,截至 2025 年底,我国现行光热发电国家标准约 37 项,见表 16(分类为作者自行划分,以便查阅;如有疏漏,敬请指出)。2025 年,发布光热发电相关国家标准 6 项,处于起草阶段的国家标准 5 项,见表 17。

表 16　现行太阳能热发电相关国家标准

分类	标准号	标准中文名称	实施日期
通用	GB/T 26972—2011	聚光型太阳能热发电术语	2012-8-1
	GB/T 30984.3—2016	太阳能用玻璃第 3 部分:玻璃反射镜	2017-11-1
	GB/T 33235—2016	光热发电玻璃反射镜抗冰雹冲击试验方法	2017-11-1
	GB/T 33234—2016	光热发电玻璃反射镜反射比测试方法	2017-11-1
	GB/T 33698—2017	太阳能资源测量直接辐射	2017-12-1
	GB/T 34334—2017	光热玻璃反射镜面形测试方法	2018-9-1
	GB/T 51307—2018	塔式太阳能光热发电站设计标准	2018-12-1
	GB/T 51396—2019	槽式太阳能光热发电站设计标准	2020-6-1
	GB/T 40099—2021	太阳能光热发电站 代表年太阳辐射数据集的生成方法	2021-12-1
	GB/T 40104—2021	太阳能光热发电站术语	2021-12-1
	GB/T 40866—2021	太阳能光热发电站设备命名规则	2022-5-1
	GB/T 40614—2021	光热发电性能评估技术要求	2022-5-1
	GB/Z 4014.103—2023	太阳能光热电站第 1-3 部分:通用 气象数据集数据格式	2024-6-1
	GB/T 51467—2024	菲涅耳式太阳能光热发电站技术标准	2025-4-1
	GB/T 45427—2025	太阳能光热发电站 太阳能资源测量与评估规范	2025-6-1
	GB/T 45310—2025	塔式太阳能光热发电站控制系统技术条件	2025-9-1
聚光器	GB/T 44140—2024	塔式太阳能光热发电站定日镜技术要求	2025-1-1
	GB/Z 45115—2024	太阳能光热发电站直驱与间接式主动跟踪系统特性	2025-7-1
吸热器	GB/T 41303—2022	塔式太阳能热发电站吸热器技术要求	2022-10-1
	GB/T 41307—2022	塔式太阳能热发电站吸热器检测方法	2022-10-1
	GB/T 46248—2025	槽式太阳能集热管热损系数测试方法	2026-3-1
集热系统	GB/T 40858—2021	太阳能光热发电集热装置通用要求与测试方法	2022-5-1
	GB/T 44222—2024	塔式太阳能光热发电站集热系统技术要求	2025-2-1
	GB/T 45263.2—2025	太阳能光热电站第 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	2025-8-1
储换热系统	GB/T 40821—2021	太阳能热发电储热系统检测规范	2022-5-1
	GB/T 41087—2021	太阳能热发电换热系统技术要求	2022-7-1
	GB/T 41308—2022	太阳能热发电储热系统性能评价导则	2022-10-1
	GB/T 44800—2024	太阳能光热发电站储热传热工作介质技术要求 熔融盐	2024-10-26
	GB/Z 45115—2024	太阳能光热发电站 直接与间接式主动显热储热系统特性	2025-7-1
	GB/T 45313—2025	太阳能光热发电站熔盐储热系统技术要求	2025-9-1
	GB/T 46193—2025	立式圆筒形熔盐储罐技术要求	2026-5-1
并网运行	GB/T 40102—2021	太阳能热发电站接入电力系统检测规程	2021-12-1
	GB/T 40103—2021	太阳能热发电站接入电力系统技术规定	2021-12-1
	GB/T 40866—2021	太阳能光热发电站 调度命名规则	2022-5-1
	GB/T 41992—2022	太阳能热发电运行指标评价导则	2023-5-1
	GB/T 44079—2024	塔式太阳能光热发电站运行规程	2024-5-28
	GB/T 44789—2024	太阳能光热发电站并网调度运行技术要求	2025-5-1

表 17 正在起草的太阳能热发电相关国家标准

计划号	项目名称	下达日期
20251268-T-524	槽式太阳能光热发电站运行规程	2025-4-30
20251126-T-524	太阳能光热发电站第 5-2 部分:系统与部件-大规模线性菲涅耳式集热管通用要求与测试方法	2025-4-30
20241801-T-524	塔式太阳能光热发电站镜场控制系统技术规范	2024-5-31
20251968-T-524	太阳能光热发电站熔融盐电加热系统技术规范	2025-7-1
—	太阳能热发电站接入电力系统技术规定《第 1 号修改单》	—

5.2.2 行业标准

据中国可再生能源学会太阳能热发电专业委员会粗略统计,截至 2025 年,我国已发布及制修订的太阳能热发电相关行业标准 57 项。根据国家能源局综合司下达的《2025 年能源领域行业标准制订计划》,太阳能热发电相关行业标准共计 24 项,完成期限为 2027 年,具体见表 18。2025 年 9 月 28 日,《太阳能光热发电工程监理规范》行业标准发布(2026 年 3 月 28 日起实施)。

表 18 2025 年能源领域行业标准制定计划中的太阳能热发电相关标准

序号	标准项目名称	适用范围和主要技术内容
1	槽式太阳能光热发电站反射镜技术规范	适用于槽式太阳能光热发电站反射镜;规定结构、材料、性能、耐腐蚀、试验检测及包装运输要求。
2	电站金属材料高温熔盐腐蚀电化学试验方法	适用于火电厂和多能互补一体化电站中熔盐储能装备金属材料;规定高温熔盐腐蚀电化学测试方法(动电位极化、电化学阻抗谱)。
3	电站熔盐阀技术条件	适用于电站熔盐储热系统用熔盐阀(截止阀、止回阀等);规定公称尺寸 DN15~DN600、公称压力 PN16~PN250 的熔盐阀订货及验收要求。
4	火力发电厂耦合熔盐储热系统设计规范	适用于火力发电厂耦合熔盐蓄热系统设计(不含设备本体);包括系统参数匹配、容量选择、设备配置、模块化布置等内容。
5	火力发电厂耦合熔盐储热系统设计规范	适用于火力发电厂耦合熔盐蓄热系统设计(不含设备本体);涵盖系统参数匹配、容量选择、设备配置、模块化布置等内容。
6	煤基费托合成相变储热材料	适用于以煤基费托合成精制蜡为原料的相变储热材料;规定产品分类、技术要求、试验方法、检验规则等。
7	热电厂蓄热装置技术条件第 2 部分:固体蓄热装置	适用于提高热电联产机组运行灵活性的固体蓄热装置;规定结构要求、材料要求、技术参数等核心内容。
8	塔式太阳能光热发电站定日镜检修规程	适用于塔式光热发电站定日镜日常检修、状态检修及故障检修;包括反射镜、支架、驱动装置等检修项目与质量要求。
9	塔式太阳能光热发电站集热系统施工规范	适用于塔式太阳能光热发电站集热系统施工安装、调试及验收;涵盖聚光系统、吸热系统施工、安全文明施工等。
10	塔式太阳能光热发电站集热系统验收规范	适用于 50 MW 及以上新建、改建、扩建塔式太阳能热发电站集热系统验收;包括设备进场检验、安装验收、试运行验收等。
11	塔式太阳能吸热器管材热疲劳试验方法	适用于塔式太阳能吸热器管材(含水工质、熔盐吸热器管材);规定试验方法、设备、工况、步骤及结果整理。
12	太阳能光热发电站储热系统施工规范	适用于太阳能光热发电站双罐显热储热系统;包括储罐施工、检测试验、验收等技术要求,适用于建设、施工、监理等单位。
13	太阳能光热发电站水工设计规范	适用于塔式、槽式太阳能热发电站水工系统设计,其他类型可参考;涵盖水源管理、补给水系统、冷却系统、污废水处理等内容。
14	太阳能光热发电站站用电设计规范	适用于 50 MW 级及以上塔式、槽式及线性菲涅耳太阳能光热发电站;包括站用电接线、设备选型、短路电流计算、继电保护等内容。

续表 18

序号	标准项目名称	适用范围和主要技术内容
15	太阳能热发电厂土建结构设计技术规程	适用于新建和改扩建太阳能光热电站土建结构设计;涵盖荷载与作用、吸热塔、储换热区域建构筑物、地基与基础等内容。
16	太阳能热发电工程施工图设计文件内容深度规定第 10 部分:采暖通风与空气调节	适用于太阳能热发电工程施工图设计;涵盖采暖、空调、通风、室外管网、加热站/制冷站等内容。
17	太阳能热发电工程施工图设计文件内容深度规定第 5 部分:热机	适用于太阳能热发电工程施工图设计;包括主厂房布置、系统图、设备安装图、管道安装图等内容。
18	太阳能热发电工程施工图设计文件内容深度规定第 6 部分:电厂化学	适用于太阳能热发电工程施工图设计;涵盖设备布置图、系统设计说明、管道安装图、设备制造及安装图等。
19	太阳能热发电工程施工图设计文件内容深度规定第 7 部分:电气	适用于太阳能热发电工程施工图设计;包括电气总图、高压配电装置、镜场供电系统、防雷接地、电缆敷设等内容。
20	太阳能热发电工程施工图设计文件内容深度规定第 8 部分:仪表与控制	适用于太阳能热发电工程施工图设计;涵盖热控布置总图、系统图、电缆敷设、保温油漆等内容。
21	太阳能热发电工程施工图设计文件内容深度规定第 9 部分:建筑结构	适用于太阳能热发电工程施工图设计;包括主厂房建筑、地基与基础、钢结构、特种结构等内容。
22	压缩空气储能地下洞室密封材料试验导则	适用于压缩空气储能工程地下洞室密封材料(含储热相关密封材料);涵盖室内/现场试验方法、成果分析等。
23	电加热型炭基高温储热装置	本标准规定了电加热型炭基高温储热装置的分类与标记、一般要求、热工性能要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输和贮存等内容。本标准适用于以电为加热源,采用炭基材料进行高温蓄热,并以热能作为输出形式,且额定工作电压等级在 380 V、标称蓄热电功率 5 kW 及以上的电加热型炭基高温储热装置。本标准建议为推荐性标准。
24	线性菲涅耳太阳能光热电站集热系统运行规程	适用于熔盐线性菲涅耳太阳能光热发电站集热系统运行维护;包括运行监视、操作、巡视检查、故障处理等。

5.2.3 团体标准

据太阳能光热产业技术创新战略联盟统计,截至 2025 年底,我国相关行业团体累计发布约 36 项光热发电相关标准,见表 19。

5.2.4 联盟标准

在 2025 年 10 月 15 日召开的以“强化标准引领保障作用,以标准升级促进经济高质量发展”为主题的国务院第十六次专题学习会,李强总理指出:“支持企业、产业联盟等市场力量在标准研制上发挥更大作用”[19]。作为科技部试点联盟以及 A 类联盟,太阳能光热产业技术创新战略联盟积极组织相关企业、大学和科研机构等围绕光热产业技术创新的关键问题,开展技术合作,形成重要的产业技术标准[20]。截至 2025 年底,太阳能光热产业技术创新战略联盟共发布联盟标准 22 项,其中光热发电相关联盟标准 14 项,见表 20。

表 19 太阳能热发电相关团体标准

分类	团体标准名称
定日镜相关	塔式太阳能热发电厂镜场配电设计规范
	太阳能光热发电用双导程蜗轮蜗杆式回转减速机技术要求及试验方法
集热系统相关	空间太阳能电站验证系统聚光收集性能测试方法
	太阳能聚光集热土壤储热系统
	熔盐塔式光热电站聚光集热系统技术要求
集热管相关	太阳能光热发电真空集热管
	光热发电系统真空集热管用不锈钢无缝钢管
	槽式太阳能光热发电站集热管监造导则

续表 19

分类	团体标准名称
吸热器相关	大容量高参数塔式光热熔盐吸热器
熔盐相关	熔盐储能系统技术规范 光热发电熔盐储能系统技术规范 火电机组高温熔盐储热系统运行导则　电加热法 高温熔盐储能技术导则 高低温双罐熔盐储能系统技术要求 火电机组熔盐储热系统技术规范 火电机组耦合熔盐储热调峰系统技术要求 陶粒型熔融盐储热罐基础建造技术及验收规程 熔盐储罐技术要求 熔盐截止阀技术要求 熔盐调节阀技术要求 熔盐电加热器 熔盐用颗粒硝酸钾
储热相关(非熔盐类)	固体化合物的热化学储热温度和储能密度测量方法 新型热化学储能系统第 2 部分:系统技术要求 相变式储热装置储热性能衰减试验规程 相变蓄热供暖工程技术标准 相变储能蓄热技术规范 电蓄热用高温固体储热砖 大容量储热系统技术规范 热水储热罐调试技术导则
并网相关	规模化太阳能热发电厂并网技术规范 大型电热储能设备接入电网技术规范
电站运行相关	塔式太阳能光热发电站运行规程 太阳能热发电机组投产运行验收技术条件
材料相关	熔盐塔式光热电站用镍基合金圆管坯
碳足迹相关	温室气体　产品碳足迹量化方法与要求　光热发电

表 20　太阳能光热产业技术创新战略联盟发布的太阳能热发电相关标准

标准名称	主要起草单位	适用范围	发布日期
《定日镜质量试验方法》	中国科学院电工研究所、皇明太阳能股份有限公司、中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、中国标准化研究院	该标准适用于对定日镜整机及其核心部件的质量检测。	2014-08-21
《太阳定日镜跟踪准确度测量方法》	中国科学院电工研究所、皇明太阳能股份有限公司、中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、中国标准化研究院	该标准适用于将太阳法向直射辐射反射聚集到固定位置的不同尺寸和传动方式的定日镜。	2014-08-21

续表 20

标准名称	主要起草单位	适用范围	发布日期
《太阳能聚光器面形性能测量方法》	中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、中国标准化研究院、中国科学院电工研究所、北京清华阳光能源开发有限责任公司、东莞市康达机电工程有限公司、广东五星太阳能股份有限公司、湖北贵族真空科技股份有限公司、皇明太阳能集团有限公司、江苏省产品质量监督检验研究院、太阳雨集团有限公司、南京工业大学、山东力诺新材料有限公司、上海交通大学、西安交通大学、云南师范大学	该标准适用于太阳能聚光器面形性能的测量。	2015-01-12
《抛物面槽式太阳能集热器热性能动态测试方法》	中国科学院电工研究所、首航节能光热技术股份有限公司、中国电力工程顾问集团公司、北京有色金属研究总院、北京市太阳能研究所有限公司、中海阳能源集团股份有限公司、江苏太阳宝新能源有限公司、武汉圣普太阳能科技有限公司、常州龙腾太阳能热电设备有限公司、康达新能源设备股份有限公司、成都禅德太阳能电力有限公司、山西利虎玻璃(集团)有限公司、旭硝子特种玻璃(大连)有限公司、北京天瑞星光热技术有限公司、国家电投中央研究院、北京清华阳光能源开发有限责任公司、北京市太阳能热发电工程技术研究中心、中国科学院太阳能利用与光伏系统重点实验室	该标准适用于利用单轴跟踪的抛物面槽式聚光器,传热介质为导热油、水和熔融盐等在吸热过程中无相变液体介质的太阳能集热器,并且几何聚光比大于 7,包括由多台抛物面槽式聚光器组成的集热器阵列。	2016-03-25
《抛物面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、北京市太阳能研究所有限公司、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、兰州大成科技股份有限公司、山东汇银新能源科技有限公司、皇明太阳能股份有限公司、中海阳能源集团股份有限公司、康达新能源设备股份有限公司、中国电力工程顾问集团有限公司	该标准适用于太阳能热发电系统中使用的抛物面槽式太阳能集热管,其他玻璃-金属内管结构的太阳能集热管可参照执行。	2016-06-23
《太阳能热发电有机热载体联苯-联苯醚混合物》	江苏中能化学科技股份有限公司、中国锅炉水处理协会、中国科学院电工研究所、中广核太阳能开发有限公司、山东天一化学股份有限公司、北京天瑞星光热技术有限公司、苏州首诺导热油有限公司、中海阳能源集团股份有限公司、中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司、中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司、深圳市爱能森科技有限公司、华电新能源技术开发公司、成都博昱新能源有限公司	该标准适用于以联苯和联苯醚制备的用于太阳能热发电有机热载体产品。本产品适用于闭式传热系统。	2017-04-25
《定日镜支架质量和性能检验方法》	中国科学院电工研究所、浙江中控太阳能技术有限公司、青岛星跃铁塔有限公司、成都博昱新能源有限公司	该标准适用于定日镜金属结构支架的质量与性能检验。	2019-10-14
《塔式太阳能液体介质吸热器单元热性能测试方法》	浙江大学、中国能源建设集团有限公司工程研究院、中国科学院电工研究所、西安交通大学、北京工业大学、天津大学、中国电力工程顾问集团西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、中国科学院上海应用物理研究所、浙江中光新能源科技有限公司、浙江中控太阳能技术有限公司、杭州锅炉集团股份有限公司、北京首航艾启威节能技术股份有限公司、中国能源建设集团浙江省电力设计院有限公司、衢州市特种设备检验中心、中国特种设备检测研究院材料研究所、山东电力工程咨询院有限公司	该标准适用于采用液体传热介质的塔式太阳能吸热器单元,规定了吸热器单元热性能测试方法,适合塔式太阳能液体介质吸热器单元的测试和评价。	2020-01-06

续表 20

标准名称	主要起草单位	适用范围	发布日期
《抛物面槽式吸热管光学效率检测方法》	有研工程技术研究院有限公司、中国科学院电工研究所、山东力诺瑞特新能源有限公司、常州龙腾光热科技股份有限公司	该标准适用于太阳能热发电系统中应用的吸热管，其他玻璃-金属封接结构的吸热管可参照执行。该标准不适用于全玻璃真空太阳集热管。	2020-08-21
《太阳能热发电硝酸熔盐技术规范》	中国科学院上海应用物理研究所、中山大学、北京工业大学、中国科学院电工研究所、浙江大学、中国特种设备检测研究院、中国科学院青海盐湖研究所、交城县并盛化工有限公司、北京建筑大学	该标准适用于太阳能热发电硝酸熔盐的技术规范、质量检测与评价。	2021-03-11
《固体金属氧化物热化学储能温度和储能密度测量方法》	浙江大学、中国能源建设集团有限公司工程研究院、西安交通大学、中国科学院电工研究所、中国科学院上海应用物理研究所	该标准适用于在100～1 500 ℃的温度范围内测量固体金属氧化物的热化学储能温度和储能密度。	2021-04-21
《太阳能热发电熔盐腐蚀性测试与评估方法》	中国科学院上海应用物理研究所、中山大学、北京工业大学、中盐金坛盐化有限责任公司、山西沃锦新能源股份有限公司、中国科学院电工研究所、浙江大学、中国特种设备检测研究院、中国科学院青海盐湖研究所	该标准适用于太阳能热发电熔盐对金属材料的腐蚀性测试和腐蚀性评价。	2021-05-25
《定日镜场聚光能流密度测试方法》	中国科学院电工研究所、兰州理工大学	该标准规定了定日镜场在吸热器采光口平面上聚光能流密度的测试方法。该文件适用于定日镜场在吸热器采光口平面上聚光能流密度的测试。	2024-05-28
《塔式光热电站硝基熔盐吸热器用GH3625镍基合金焊管》	常州市神能金属制品有限公司、大冶特殊钢有限公司、中国电建集团西北勘测设计研究院、东方电气集团东方锅炉股份有限公司、蓝星(北京)化工机械有限公司、首航高科能源技术股份有限公司、浙江西子新能源工程技术有限公司、中南大学、宝钛集团有限公司、中航上大高温合金材料股份有限公司	该标准规定了塔式光热电站硝酸熔盐吸热器用GH3625镍基合金焊管的尺寸、外形、技术要求、试验方法、检验规则、包装、标志和质量证明书。	2025-02-24

5.2.5 IEC/TC 117 国际标准

国际电工委员会太阳能光热发电厂技术委员会(IEC/TC 117,Solar Thermal Electric Plants)于2014年3月设立,负责组织制定太阳能光热发电站及其所有子系统与部件的IEC国际标准。其标准体系覆盖太阳能光热发电领域各类技术系统,包括:抛物面槽式系统、塔式系统、线性菲涅耳式系统、碟式系统、储热系统,主要规定不同类型光热发电系统的术语及通用规范、设计与安装要求、性能测试技术与检测方法、安全性要求、电能质量、并网与控制要求,以及环保要求等。

为统筹国内国际标准化工作,根据国家标准化管理委员会文件,IEC/TC 117国内第一技术对口单位为全国太阳能光热发电标准化技术委员会秘书处承担单位——中国大唐集团科学技术研究总院有限公司,中国电器工业协会为第二对口单位。

表 21 IEC/TC 117 标准体系框架

标准号	标准类别
62862-1-	通用标准:术语、资源评估、隔热……
62862-2-	储热系统
62862-3-	抛物面槽式
62862-4-	塔式
62862-5-	线性菲涅耳式
62862-6-	抛物面碟式
62862-7-	光热发电站关键设备、部件

据中国可再生能源学会太阳能热发电专业委员会统计,截至2025年底,IEC/TC 117共发布太阳能光热发电标准11项,具体见表22。

表 22 IEC/TC 117 已发布太阳能光热发电标准(截至 2025 年)

序号	标准号及标准名称	发布时间
1	IEC TS 62862-1-1: 2018 Solar thermal electric plants-Part 1-1: Terminology 太阳能光热发电站第 1-1 部分:术语	2018-02
2	IEC TS 62862-1-2: 2017 Solar thermal electric plants-Part 1-2: Creation of annual solar radiation data set for solar thermal electric (STE) plant simulation 太阳能光热发电站第 1-2 部分:代表年太阳辐射数据集生成方法	2017-11
3	IEC TS 62862-1-3: 2017 Solar thermal electric plants-Part 1-3: Data format for meteorological data sets 太阳能光热发电站第 1-3 部分:气象数据集的数据格式	2017-11
4	IEC 62862-1-5: 2024 Solar thermal electric plants-Part 1-5: Performance test code for solar thermal electric plants 太阳能光热发电站第 1-5 部分:太阳能光热发电厂性能测试规范	2024-04
5	IEC 62862-1-6: 2024 Solar thermal electric plants-Part 1-6: Silicone-based heat transfer fluids for use in line-focus concentrated solar power applications 太阳能光热发电站第 1-6 部分:用于线聚焦太阳能热发电的硅基传热流体	2024-05
6	IEC TS 62862-2-1: 2021 Solar thermal electric plants-Part 2-1: Thermal energy storage systems—Characterization of active, sensible systems for direct and indirect configurations 太阳能光热发电站第 2-1 部分:储热系统 直接和间接配置的显热储热系统特性	2021-02
7	IEC 62862-3-1: 2022 Solar thermal electric plants-Part 3-1: General requirements for the design of parabolic-trough solar thermal power plants 太阳能光热发电站第 3-1 部分:抛物线槽式太阳能光热发电厂设计总体要求	2022-01
8	IEC 62862-3-2: 2018 Solar thermal electric plants-Part 3-2: Systems and components—General requirements and test methods for large-size parabolic-trough collectors 太阳能光热发电站第 3-2 部分:系统和部件 大尺寸槽式集热器通用要求和测试方法	2018-07
9	IEC TS 62862-3-3: 2020 Solar thermal electric plants-Part 3-3: Systems and components—General requirements and test methods for solar receivers 太阳能光热发电站第 3-3 部分:系统和部件 太阳能集热管通用要求与测试方法	2020-02
10	IEC 62862-4-1: 2022 Solar thermal electric plants-Part 4-1: General requirements for the design of solar power tower plants 太阳能光热发电站第 4-1 部分:塔式太阳能光热发电厂设计总体要求	2022-09
11	IEC 62862-5-2: 2022 Solar thermal electric plants-Part 5-2: Systems and components—General requirements and test methods for large-size linear Fresnel collectors 太阳能光热发电站第 5-2 部分:系统和部件 大规模菲涅耳式集热管通用要求和测试方法	2022-05

5.3 2025 年获奖及获得认定的太阳能热发电相关成果

2025 年,部分太阳能热发电相关技术成果参与了相关评奖或入选了国家相关部门的认定认可,获奖或获得认定的数量相较于 2024 年增加了约 71%,名单见表 23(排名不分先后,如有统计遗漏,敬请谅解)。

表 23 太阳能热发电相关技术获奖项目名单

项目名称	完成单位/个人	奖项
规模化熔盐储能技术	案例:青海德令哈塔式熔盐 50 MW 光热电站项目、绍兴绿电熔盐储能项目	入选国家发展改革委、科技部、工业和信息化部、自然资源部、生态环境部、住房和城乡建设部、国务院国资委、国家能源局发布的《绿色技术推广目录(2024 年版)》(2025 年 1 月发布)
多塔一机塔式光热电站聚光集热系统	三峡恒基能脉(酒泉)新能源发电有限公司、恒基能脉新能源科技有限公司	入选国家能源局第四批能源领域首台(套)重大技术装备清单
塔式光热聚光场控制与校准系统	山东电力建设第三工程有限公司、中电建新能源集团股份有限公司	国家能源局第四批能源领域首台(套)重大技术装备
100 MW 级超高温二氧化碳热泵储能系统	首航高科能源技术股份有限公司、北京前沿动力科技有限公司	国家能源局第四批能源领域首台(套)重大技术装备
300 MW 熔盐槽式光热发电示范	中广核太阳能德令哈有限公司	入选国家发展改革委《绿色低碳先进技术示范项目清单(第二批)》
弃电热转换光伏光热发电一体化示范项目	中国大唐集团新能源股份有限公司	国家发展改革委《绿色低碳先进技术示范项目清单(第二批)》
塔式熔盐储能光热发电技术	浙江可胜技术股份有限公司	《国家工业和信息化领域节能降碳技术装备推荐目录(2025 年版)》
熔盐线性菲涅耳式光热储能电站	兰州大成科技股份有限公司	入选科技部与国家自然科学基金委员会《“一带一路”国家可持续发展技术清单(2025)》
塔式光热发电高熵太阳能吸收材料及吸热器国产化制造关键技术	中国科学院兰州化学物理研究所、东方电气集团东方锅炉股份有限公司、首航高科能源技术股份有限公司、哈尔滨锅炉厂有限责任公司 高祥虎、刘刚、董猛、高峰、何成玉、丁路、刘宝华、刘福国、谢逍原、王硕、耿庆芬、马鹏军、汪增强、赵士杰、鲁种伟	甘肃省科技进步奖一等奖
面向新型电力系统的超临界二氧化碳发电技术及应用	西安热工研究院有限公司、西安交通大学、华陆工程科技有限责任公司 李红智、李明佳、张一帆、王海军、杨玉、李涛	陕西省技术发明奖一等奖
一种储热电锅炉系统及其充热运行方法	上海电气集团股份有限公司	第五届上海知识产权创新奖(专利二等奖)
上海京崾 1.1 MW/11 MW · h 多元热储绿色蒸汽项目	上海电气集团股份有限公司中央研究院	上海市绿色低碳先进技术示范工程清单(2025 年版)
熔盐储热耦合高温热泵绿色蒸汽供应技术	上海电气集团股份有限公司中央研究院	上海市绿色低碳先进技术目录(2025 年版)
青海中控德令哈 50 MW 塔式熔盐储能光热发电项目	浙江可胜技术股份有限公司(牵头)	SolarPACES2025 技术应用奖(国际)
以“热海绿沙氢”战略擘画产业融合新图景——探索多维度跨界融合的绿色发展实践	中国广核集团	2025 年中央企业绿色可持续发展优秀十佳实践案例(国务院国资委指导举办的“中国角”——“‘双碳’目标下央企绿色低碳行动实践”主题边会)
全球可再生能源储量评估、前景分析与规划平台(海博平台)	水电水利规划设计总院	入选国家能源局、国际可再生能源署和江苏省人民政府共同主办的 2025 国际能源变革论坛“60 个最具代表性的中国能源好物”
全球首创双排联动平行驱动跟踪系统“天双”	江苏中信博新能源科技股份有限公司	入选国家能源局、国际可再生能源署和江苏省人民政府共同主办的 2025 国际能源变革论坛“60 个最具代表性的中国能源好物”

续表 23

项目名称	完成单位/个人	奖项
塔式光热聚光场控制与校准系统	山东电力建设第三工程有限公司	入选国家能源局、国际可再生能源署和江苏省人民政府共同主办的 2025 国际能源变革论坛“60 个最具代表性的中国能源好物”
塔式太阳能热利用山东省工程研究中心	山东电力建设第三工程有限公司	山东省工程研究中心
金属紧固件	奥展实业股份有限公司	首批浙江省制造业单项冠军企业
太阳能光热玻璃高透高强度关键技术的研究与应用	河南安彩光热科技有限责任公司	2025 年度河南省重点研发专项
新一代超高温熔盐储热系统关键技术研发	江苏飞跃泵业股份有限公司	2025 年江苏省前沿技术研发计划项目
LC-HP 双效清洁化盐系统	江苏联储能源科技有限公司	2025 年苏锡常首台(套)重大装备名单
大型曲面高精度智能组装产线研发及其在光热领域的应用	东方电气集团东方锅炉股份有限公司	中国机械工业联合会和中国机械工程学会“机械工业科学技术”三等奖
敦煌大成聚光热电有限公司敦煌一期 50 MW 熔盐线性菲涅耳式光热发电项目	中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司、中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司 1. 曾勇 2. 黎建锋 3. 刘才 4. 徐灿君 5. 肖钦 6. 周敏 7. 王佳明 8. 戎刚 9. 梁甜 10. 胡隽璇 11. 周均德 12. 罗晓梅 13. 孙磊 14. 郝劢 15. 刘新龙 16. 刘建兵 17. 杜吉克 18. 谭汝雅 19. 廖锷 20. 杨温	中国勘察设计协会 2025 年度全国优秀工程勘察设计奖一等奖
太阳能热发电技术	王志峰	2025 年度中国可再生能源学会科学技术成就奖
熔盐储热耦合燃煤机组灵活性提升关键技术及应用	西安热工研究院有限公司、西安交通大学、中国华能集团有限公司、华北电力大学、江苏国信靖江发电有限公司、北方魏家峁煤电有限责任公司、华能(广东)能源开发有限公司海门电厂、济宁华源热电有限公司、华能国际电力股份有限公司德州电厂、镇江东方电热有限公司 苏立新、种道彤、王伟、居文平、周科、杜鸣、王洋、马汀山、兀鹏越、钱勇武、杨月明、石秀刚、冯庭有、马东升、王珠	中国电机工程学会 2025 年度电力科学技术进步奖一等奖
基于熔盐储能的光热发电工程安装关键技术及应用	甘肃省安装建设集团有限公司	甘肃省电工技术学会 2025 年度科学技术奖二等奖
三峡哈密 1 GW“光热+光伏”一体化项目	三峡集团	全球能源互联网大会“十大引领工程”
科幻感十足这套设备在戈壁滩上“追光逐日”	山东电力建设第三工程有限公司	科技日报—我最心动的“十四五”硬核成果征集展示活动
中温储热 300 MW 级压缩空气储能电站关键技术研发及工程示范	杭州华源前线能源设备有限公司、浙江大学	中国能建 2025 年度科学技术奖特等奖
多场景复杂工况大功率电极锅炉研发与应用	杭州华源前线能源设备有限公司	中国能建 2025 年度科学技术奖二等奖
大规模塔式太阳能光热发电聚光集热系统与设备关键技术研发及应用	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第九届科技创新大会科技进步奖一等奖
逐日计划——基于太阳能光热捕捉的发电-并网-储能系统	哈尔滨理工大学	第十九届“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛

太阳能光热产业技术创新战略联盟理事长、中国科学院电工研究所研究员王志峰博士荣获 2025 年度中国可再生能源学会科学技术成就奖(唯一)。

6 太阳能热发电技术经济性

6.1 太阳能热发电项目投资经济性

自 2016 年国家启动首批光热发电示范项目到 2024 年青海省启动单机容量 350 MW 独立光热发电项目,光热电站的上网电价虽已下降约 52%,但由于规模化发展时间短、项目数量少,现阶段单位千瓦投资和度电成本仍相对较高,光热发电仍不具备平价上网的条件。然而,自 2021 年起,新建光热发电项目基本执行平价上网,光热发电项目投资经济性不足。光热发电作为“绿色低碳调节性电源”的价值在电力市场中缺乏明确的价格和补偿机制。

在光热发电不再享受中央财政补贴,以及国家加快推进大型风电、光伏发电基地建设的新形势下,“十四五”期间,光热发电以风光一体化项目形式建设。光热电站往往成为获取风电、光伏传统新能源建设指标的附属品,鉴于其度电成本远高于光伏和风电,因此“十四五”期间,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,往往以降低项目初投资为目标来“优化”光热电站的系统配置。

6.1.1 太阳能光热发电并网的综合效益评估方法

清华大学方宇晨、杜尔顺等人[21]对太阳能光热发电对于高比例可再生能源电力系统的价值进行了研究,通过定量分析光热电站提供可再生能源发电的能量效益、促进高比例可再生能源消纳的灵活性效益、提供系统惯量支撑的惯量效益和降低碳排放量的减排效益,提出了太阳能光热发电综合效益评估方法。其中提出的太阳能光热发电并网成本效益分析与影响机理如图 25 所示。

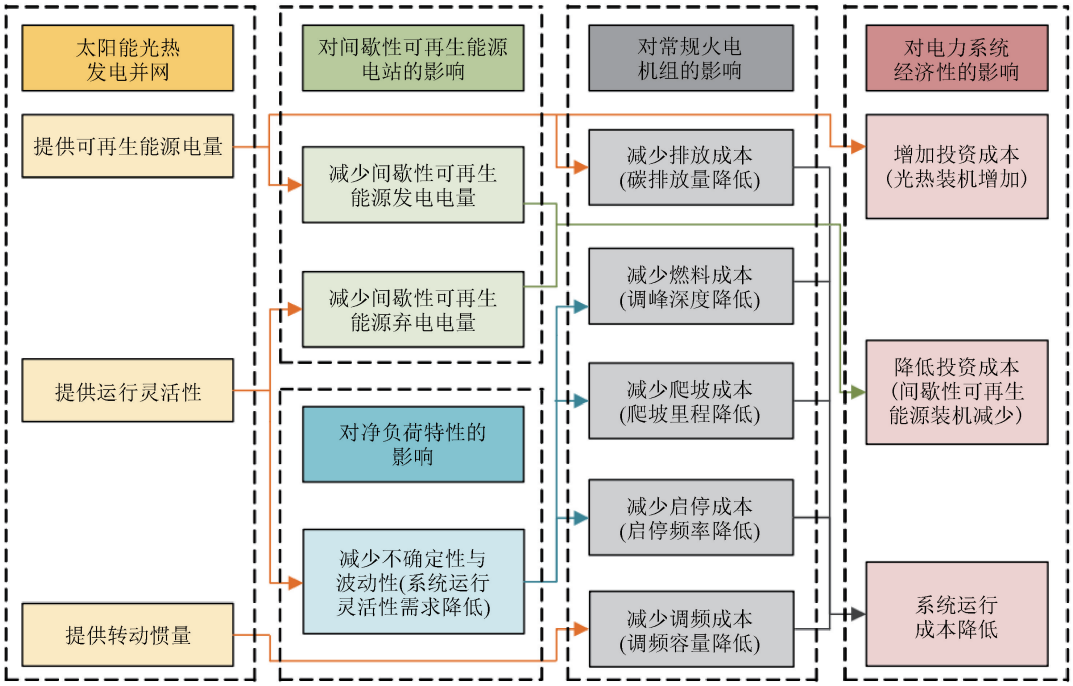


图 25 太阳能光热发电并网成本效益分析与影响机理

研究采用光热发电电量代替具有间歇特性的可再生能源发电电量,对比有光热电站和无光热电站两种调度方案的运行结果。研究提出,从光热发电的角度看:光热发电提供可再生能源电量不仅能减少对间歇性可再生能源发电量的需求,还可以降低常规火电机组的碳排放量,但增加光热电站装机容量会增加电力系统的投资成本。此外,光热发电还为系统提供灵活性供给,从而减少间歇性可再生能源的弃电量和减弱净负荷曲线的不确定性与波动性。更重要的是,光热电站还为系统提供可靠的转动惯量,降低火电机组所提供的调频容量。算例结果表明:

(1)在保证可再生能源发电量占比相同的情况下,将部分间歇性可再生能源电量替换为光热发电电量可以显著降低可再生能源的弃电率。

(2)光热代替间歇性可再生能源可以降低常规火电机组的燃料成本、爬坡成本和启停成本,此外还对减少火电机组的碳排放量有明显效果。

(3)当光伏与储能配比为 1∶0.1 时,相较于光伏+电储能的运行方案,光热发电具有较高的经济

收益,投资光热电站总收益高于其投资成本。

(4)相比于仅考虑能量效益,综合效益提高了41.27%,其中灵活性效益占34.25%,惯量效益占30.57%,碳减排效益占10.37%。

6.1.2 吐鲁番市托克逊县乌斯通1 GW“光热+光伏”一体化项目

该项目由中国电建新能源集团有限公司投资建设,总装机容量1 GW,其中光伏装机容量为900 MW,光热装机容量100 MW。光伏发电和光热发电采用互补性协同运行模式,融合光伏高峰发电能力与光热全天候发电及调峰能力。中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司牵头的联合体为100 MW光热发电项目总承包建设单位。100 MW光热电站采用塔式技术,集热面积为440 400 m^2,储热时长为8 h,采用超高压、一次中间再热、8级回热、下排汽、直接空冷凝汽式汽轮机,汽轮机额定容量为100 MW。

如表24所示,本项目中,光伏光热联合系统总动态投资为421 126万元,单位千瓦动态投资为4 211.26元/kW。光热发电静态投资为142 190万元,单位千瓦静态投资14 219元/kW;动态投资为146 224万元,单位千瓦动态投资为14 622元/kW。

表24 吐鲁番市托克逊县乌斯通1 GW“光热+光伏”一体化项目投资数据

技术参数	光伏发电部分	光热发电部分
装机容量/MW	900	100
静态投资/万元	267 322	142 190
单位千瓦静态投资/(元/kW)	2 970	14 219
动态投资/万元	274 902	146 224
单位千瓦动态投资/(元/kW)	2 749	14 622

6.1.3 青海德令哈350 MW“四塔一机”塔式光热发电项目经济性测算

浙江可胜技术股份有限公司首席科学家、中国可再生能源学会太阳能热发电专委会副主任委员金建祥在”2025中国太阳能热发电大会“上,分享了光热电站度电成本的主要影响因素(见表25),以及两座光热电站的技术经济性对比分析[22](见表26、表27)。通过测算发现,同站址下(德令哈),按照“应发尽发”的理想模式运行,现阶段350 MW“四塔一机”塔式光热发电项目的度电成本较首批50 MW塔式光热发电示范项目的上网电价下降约60%。

表25 光热电站度电成本主要影响因素

因素	类别
资本金内部收益率	一般可按企业要求的最低收益率考虑
投资成本	造价 土地成本 贷款额度、利率、年限 折旧比例及年限
运维成本	人员工资 修理费、材料费 水费、电费
发电量	太阳法向直射辐射(DNI) 电站设计 运行策略 电站效率 电站运营期 (国外电站实际运行超过30年, 迪拜光热发电项目为35年购电协议)

表26 首批50 MW塔式示范项目与现阶段350 MW塔式光热项目(应发尽发)技术参数

序号	类别	50 MW	350 MW
1	配置类型	单塔单机	四塔一机
2	镜场总采光面积/万 m^2	54.27	500
3	占地面积/km^2	2.47	21.6
4	吸热器中心高度/m	200	240
5	吸热器功率/MWt	230	620×4
6	储热时长/h	7	14
7	熔盐用量/t	10 093	108 760
8	主蒸汽参数/(MPa/℃)	13.2/540	17/540
9	汽轮发电机组额定效率(%)	43.1	46.2

表27 50 MW首批塔式示范项目与现阶段350 MW塔式光热项目经济参数对比

序号	类别	50 MW(单塔单机)	350 MW(四塔一机)	对比
1	发电量/亿(kW·h)	1.46	15.31	—
2	静态投资/万元	108 800	663 202	—
3	利用小时数/h	2 920	4 374	49.8% ↑
4	单位发电量投资/[元/(kW·h)]	7.45	4.33	41.9% ↓
5	贷款利率(%)	4.9	3	38.8% ↓
6	资本金IRR(%)	12.83	6.5	49.3% ↓
7	增值税率(%)	17	13	23.5% ↓
8	电价/[元/(kW·h)]	1.15	0.456 4	60.3% ↓

以可胜技术承建的塔式光热电站为例,通过实

践和测算,首批光热发电示范至今,降本贡献前四位的为:资本金内部收益率(Internal Rate of Return,IRR)下降(24.62%)、镜场造价下降(22.14%)、贷款利率下降(15.27%)、单机规模扩大(11.10%),见表28。

表28 塔式光热电站降本因素影响比重

影响因素		贡献比重(%)
财务成本降低(43.85%)	贷款利率:4.9%→3%	15.27
	资本金IRR:12.83%→6.5%	24.62
	增值税率:17%→13%	3.96
行业规模化降本(27.39%)	镜场造价下降约40%	22.14
	吸热系统造价下降约15%	1.74
	储换热系统造价下降约10%	1.67
	常规岛造价下降约8%	1.84
技术创新与优化(28.76%)	配置优化(储能时长提升至14 h)	4.93
	单机规模扩大	11.10
	镜场效率提升	3.59
	其他技术创新与优化	9.14

6.1.4 青海海西州350 MW熔盐线菲式光热发电项目经济性测算

兰州大成股份有限公司在"2023中国太阳能热发电大会"上提出了单机大规模熔盐线菲式光热电站方案设想;在"2025中国太阳能热发电大会"上,分享了350 MW熔盐线菲式光热发电项目的成本优化方案。

以青海海西州某厂址作为估算边界,单机规模350 MW、具备11 h储能能力、发电小时数约2 400 h,该熔盐线菲式光热发电项目的单位投资成本可在13 500元/kW以内,度电成本约为0.532 3元/(kW·h)。见表29。

表29 青海海西州350 MW熔盐线菲式光热电站经济性测算

装机规模/MW	350	350
储热时长/h	11	14
发电小时数/h	2 400	3 500
投资成本/(元/kW)	13 500	15 800
度电成本/[元/(kW·h)]	0.532 3	0.470 2

在同规模项目中,若项目所发电力可以实现全部上网,则采用更大的集热场面积、更长时间的储能系统、更高发电量的设计思路,虽然项目单位造价有所上升,但由于规模化效应更加明显,并且通过定制化的集热场布置、优化的管路和储能系统布置、自动化程度更高的运维和电量全部上网的运行策略等提升,项目度电成本可以有进一步的显著下降。

经测算,同厂址下,14 h储能能力的350 MW熔盐线菲式光热电站,发电小时数可提高至3 500 h,项目单位千瓦投资将在15 800元/kW以内,度电成本可以进一步下降至0.470 2元/(kW·h)。

6.1.5 青海海西州350 MW熔盐槽式光热发电项目经济性测算

常州龙腾光热科技股份有限公司俞科、卢智恒[23,24]在"2025中国太阳能热发电大会"上,发布了青海省海西州某场址350 MW熔盐槽式光热电站的设计方案。该方案围绕集热器规格与集热面积两大核心参数,设置了三类场景:一是基于现阶段开口弦长8.6 m大槽集热器、配套330万m^2集热面积的基准方案;二是采用下一阶段开口弦长14 m超大槽集热器、对应同等集热面积的升级方案;三是沿用开口弦长8.6 m大槽集热器,将集热面积扩容至500万m^2扩容方案。三种方案的相关技术参数见表30。

表30 350 MW熔盐槽式光热发电项目(应发尽发)技术参数

序号	参数	现阶段8.6 m大槽 330万m^2	现阶段8.6 m大槽 500万m^2	下一阶段 14 m超大槽
1	装机规模/MW	350	350	350
2	回路数量/个	556	556	168
3	回路布置方向	南北向	南北向	南北向
4	回路行间距/m	21	26	34
5	集热面积/m^2	330万	500万	330万
6	占地面积/km^2	9.50	17.93	8.74
7	传储热一体化介质	二元太阳盐	二元太阳盐	二元太阳盐
8	回路设计进出口温度/℃	290/550	290/550	290/550
9	储热时长/h	14	14	14
10	熔盐用量/万t	12.80	13.70	12.80
11	主蒸汽参数(暂定)	17 MPa/535 ℃	17 MPa/535 ℃	17 MPa/535 ℃

如表31所示,在集热面积为330万 m^2 的条件下,采用现阶段8.6 m熔盐大槽集热器技术时,熔盐槽式光热电站的单位工程造价可控制在15 000元/kW以内,度电成本为0.523元/(kW·h)。

表31 350 MW熔盐槽式光热发电项目(应发尽发)经济参数

序号	类别	现阶段8.6 m大槽 330万 m^2	现阶段8.6 m大槽 500万 m^2	下一阶段 14 m超大槽
1	发电量/亿 kW·h	10.52	15.35	11.74
2	利用小时数/h	3 006	4 386	3 354
3	静态投资/万元	518 420	650 492	487 935
4	单位工程造价/(元/kW)	14 812	18 585	13 941
5	单位发电量投资/[元/(kW·h)]	4.93	4.24	4.16
6	度电成本/[元/(kW·h)]	0.523	0.464	0.426

若保持开口弦长8.6 m熔盐大槽技术不变,将集热面积扩增至500万 m^2,尽管电站单位工程造价会上升至18 500元/kW,但度电成本可降至0.464元/(kW·h),相较于首批光热示范项目,成本实现显著下降。

当下一阶段开口弦长14 m熔盐超大槽集热器技术投入应用时,即便集热面积仍为330万 m^2,电站单位工程造价有望进一步下探至14 000元/kW以内,度电成本同步降至0.426元/(kW·h)。与同等集热面积下8.6 m开口大槽技术相比,单位工程造价降幅达5.9%,度电成本降幅更是达到18.6%。

经工程实践验证及测算分析表明,技术迭代升级仍是驱动槽式光热发电技术降本增效的核心路径。新技术、新材料与创新设计方案的集成应用,既能提升镜场单位面积的集热效率,有效增加系统全年等效利用小时数;又能优化项目建设成本结构,降低单位工程造价。在双重效应的协同作用下,槽式光热发电的度电成本将实现显著下降。

此外,对于采用同一规格集热器技术的项目而言,适度扩大镜场集热面积规模,尽管会带来单位工程造价的小幅上升,但度电成本将呈现明显下降趋势,因此这也是一条切实可行的降本路径。

需要特别说明的是,本次测算尚未纳入两类关键降本因素:其一为规模化效应,即进一步扩大装机规模所衍生的产业链稳定量产、工程集中化实施等带来的成本优化空间;其二为前沿技术突破,例如600 ℃以上高温熔盐工质的研发应用、高效布雷顿循环系统的集成创新等技术升级所驱动的降本潜力。

6.2 成本发展目标及降本措施

国家发展改革委、国家能源局联合发布的《关于促进光热发电规模化发展的若干意见》(发改能源〔2025〕1645号)提出:到2030年,光热发电度电成本与煤电基本相当,成为新能源领域具有国际竞争优势的新产业。

光热发电项目的盈利水平直接决定产业能否实现规模化扩张与可持续发展。光热电站度电成本仍较高,现阶段不具备平价上网条件。而且,光热发电作为绿色低碳支撑电源的价值没有得到价格体现和补偿,光热发电项目投资经济性明显不足。需要多措并举提高光热电站经济效益。为此,《意见》也提出了一系列降本措施[25]。

一是通过规模效应带动快速降本。《意见》提出在大型能源基地按需合理配置光热发电、建设一批以光热发电为主的支撑调节型新能源电站、探索构建以光热发电为基础电源的源网荷储一体化系统等培育发展空间措施,将推动光热发电年均近3 000 MW的增速,通过规模化发展带动产业链成熟和规模效应释放,实现快速降本。

二是加快技术水平提升进一步降本增效。《意见》提出要逐步推动高参数大容量技术推广、稳步推进30万kW等级大型光热电站建设,加快关键技术材料与装备研发、全面提升核心技术自主化和关键装备国产化水平,推动光热产业高质量发展、通过产业集聚和协同发展促进光热产业降本增效。

三是充分发挥支撑调节价值提高收益。《意见》提出要推动光热发电在系统支撑方面的价值转化,支持配置电加热系统的光热电站通过电力系统发挥长时储能功能获得收益,推动在运光热项目开展调度响应和参与辅助服务市场探索,多措并举提高电站经济效益。

四是加强政策保障实现降本增收。《意见》提出支持符合条件的光热发电项目通过发行基础设施领域不动产投资信托基金(Real Estate Investment Trusts,REITs)、资产支持证券等方式盘活存量资产,鼓励相关省区制定支持光热发电发展的新能源参与

电力市场实施细则,明确符合条件的光热发电容量可按可靠容量给予补偿,提高电站包括绿证、国家核证自愿减排量(Chinese Certified Emission Reduction,CCER)等在内的绿色收益,加强土地等要素保障,通过综合政策支持促进降本增收。

6.3 太阳能热发电发展的核心和场景

《意见》第一条提出的光热发电总体目标为:“积极推进光热发电项目建设,不断拓展光热发电开发利用新场景,保障光热发电规模化发展。到2030年,光热发电总装机规模力争达到1 500万kW左右,度电成本与煤电基本相当;技术实现国际领先并完全自主可控,行业实现自主市场化、产业化发展,成为新能源领域具有国际竞争优势的新产业。”《意见》提出了我国今后太阳能热发电发展的“一个核心,三个场景。”

6.3.1 核心定位

《意见》在开头明确:“光热发电兼具调峰电源和长时储能的双重功能,能够实现用新能源调节支撑新能源,能够为电力系统提供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,是实现新能源安全可靠替代传统能源的有效手段,是加快构建新型电力系统的有效支撑。”这一界定背后是对其技术特性的深刻认知和高度认可。

在新型电力系统构建进程中,电网对具备灵活上网能力的电源需求呈刚性增长态势。光热发电系统内置长时储能模块,无需额外配置大规模储能装置即可实现跨时段能量调度;其兼具15%~100%的宽幅出力调节范围、高达10%额定负荷/min的快速爬坡速率,以及频繁启停无损耗的技术优势,能够同时承担电力系统基荷供电与调峰调频的双重功能,为系统安全稳定运行提供有力支撑。

6.3.2 三类场景

《意见》第六条明确了太阳能光热发电的三类核心应用场景:

一是大型能源基地中的支撑调节电源。支持具备技术经济条件的“沙戈荒”大型外送新能源基地、水风光外送基地、各类自用型基地等新能源基地,开展光热电站项目建设。科学确定基地中光热发电装机规模,优化提升基地调节能力,增加基地绿色电量占比,降低基地平均度电碳排放量,加强新能源稳定送出,积极探索技术经济可行的光热电站在大基地中作为支撑调节电源发挥作用。

二是以光热发电为主的支撑调节型新能源电站。结合区域资源禀赋、建设要素、用能需求和消纳能力等内外部条件,根据新型电力系统建设需求,以有效填补地区电力缺口、缓解电力保障压力、提供绿色支撑调节能力为目标,贯彻电热耦合与源网协同理念,建设一批在本地消纳的大容量光热电站或光热与风电、光伏发电一体化调度运营项目,提升区域电网的调峰能力和稳定性,增强电力供应的安全性和灵活性。

三是以光热发电为基础电源的源网荷储一体化系统。积极推动具有绿色溯源需求的产业,结合产业调整与转移需求,在光热资源富集区域构建以光热电站为基础,联合其他新能源电源、新型储能等电力设施的源网荷储一体化系统,在具备条件的地区,进一步探索覆盖附近区域用电、用汽与用热需求。加强源网荷储一体化系统管理和运营,建立健全运行机制和安全保障体系。鼓励在具备条件的电网末端,探索构建以光热发电为基础支撑的系统弱连接型或独立型源网荷储一体化系统,提高供电保障水平。

在技术层面,太阳能光热电站配置储能系统,通过一条低容量联络线与大电网实现松耦合运行;日常以光热发电结合储能为主,满足负荷昼夜连续稳定供电,减少对大电网的依赖,充分发挥光热发电在调频、调压、黑启动和惯量支撑等方面的作用,以及长时储能电站功能,以网内自我平衡为主,故障或短缺时微秒级切换获取外部支撑,提高供电安全。

《意见》明确的三大应用场景,勾勒出光热技术发展的全景蓝图。光热发电凭借“稳定出力+长时储能”的双重核心优势,通过与其他可再生能源协同耦合,可构建起适配多元应用场景、兼顾多重发展目标的源网荷储一体化生态体系。上述“一个核心定位、三类重点场景”的战略布局,精准破解了全球能源低碳转型与低碳产业发展进程中的突出矛盾,不仅为我国光热发电产业指明了清晰的发展方向,更为全球光热发电技术的规模化应用提供了重要路径参考。

7 太阳能热发电的碳减排

7.1 光热发电碳足迹因子

据《关于发布2024年电力碳足迹因子数据的公告》[26],光热发电碳足迹因子为0.031 2 $kgCO_2e/(kW\cdot h)$,仅次于核能发电和水力发电,见表32。

表 32　2024 年全国电力碳足迹因子

类型	碳足迹因子/[$kgCO_2e$/(kW·h)]	类型	碳足迹因子/[$kgCO_2e$/(kW·h)]
燃煤发电	0.924 0	风力发电	0.032 4
燃气发电	0.450 3	光伏发电	0.052 0
水力发电	0.014 1	光热发电	0.031 2
核能发电	0.006 5	生物质发电	0.040 4

7.2　全国温室气体自愿减排交易

全国温室气体自愿减排交易市场(简称“自愿碳市场”)是我国利用市场机制控制和减少温室气体排放的重要政策工具。符合条件的温室气体自愿减排项目,经第三方机构审定与核查、注册登记机构审核后,可将减排量登记为核证自愿减排量,通过全国统一的温室气体自愿减排交易平台开展交易,获得减排收益[27]。

2025 年 3 月 6 日首批核证自愿减排量(CCER)完成登记,并于 3 月 7 日开始交易。2025 年,市场成交项目所属行业均为能源产业类(可再生/不可再生资源),项目类型包括并网光热发电项目和并网海上风电项目,交易方式为挂牌协议交易。2025 年全国温室气体自愿减排交易市场总体情况和 CCER 成交均价如图 26、图 27 所示[28]。

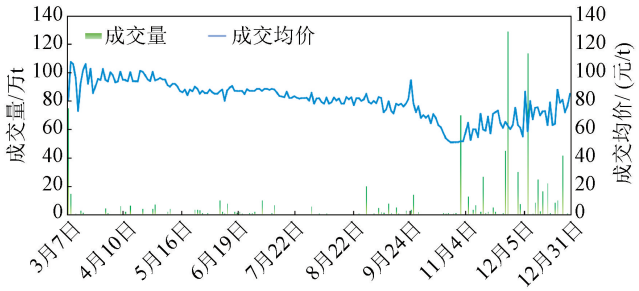


图 26　2025 年全国温室气体自愿减排交易市场总体情况

2025 年 3 月 7 日~12 月 31 日,自愿碳市场 CCER 成交量为 884.41 万 t,累计成交均价为 70.76 元/t,日最高成交均价为 107.36 元/t,日最低成交均价为 50.84 元/t。其中,并网光热发电项目 CCER 成交量 106.92 万 t,成交额 0.87 亿元,成交均价为 81.58 元/t(并网海上风电项目成交均价为 69.27 元/t)[28]。首批 CCER 交易包括 7 个海上风电项目和 2 个光热发电项目;2 个光热发电项目为首航节能敦煌 100 MW 和 10 MW 塔式光热发电项目,CCER 量为 502 790 t[29]。

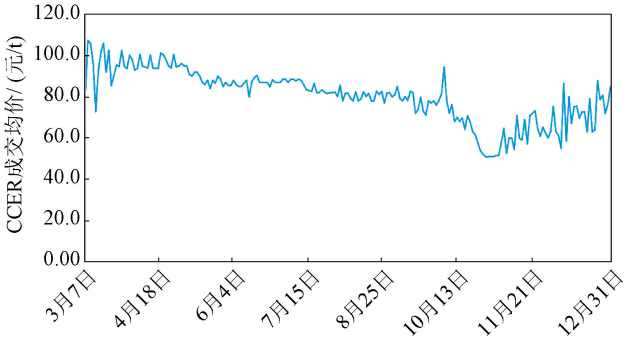


图 27　2025 年全国温室气体自愿减排交易市场 CCER 成交均价

全国温室气体自愿减排注册登记系统及信息平台显示,2025 年底,已登记光热发电项目共有 7 个(见表 33);其中,4 个项目已登记减排,分别为:中电哈密 50 MW 熔盐塔式光热独立发电项目、青海鲁能格尔木多能互补工程 50 MW 塔式光热发电项目、敦煌首航节能新能源有限公司敦煌 10 MW 熔盐塔式光热发电项目、敦煌首航节能新能源有限公司敦煌 100 MW 熔盐塔式光热发电项目。1 个项目处于公示中减排阶段,为中广核太阳能德令哈一期 50 MW 光热独立发电项目。2 个项目处于申请登记中,见表 34。

7.2.1　中电哈密 50 MW 熔盐塔式光热独立发电项目

项目计入期为 2023 年 8 月 1 日~2033 年 7 月 31 日。第一核算期起止时间为 2023 年 8 月 1 日~2024 年 7 月 31 日,核算期产生的减排量为 59 982 t。

表 33　全国温室气体自愿减排注册登记系统完成登记的光热发电项目

项目名称	项目业主
中广核太阳能德令哈一期 50 MW 光热独立发电项目	中广核太阳能德令哈有限公司
内蒙古中核龙腾新能源有限公司乌拉特中旗 100 MW 槽式光热发电项目	中船(内蒙古)乌拉特新能源有限公司
共和西北水电光热发电有限公司青海共和 50 MW 光热独立发电项目	共和西北水电光热发电有限公司
敦煌首航节能新能源有限公司敦煌 100 MW 熔盐塔式光热发电项目	敦煌首航节能新能源有限公司
青海鲁能格尔木多能互补工程 50 MW 塔式光热发电项目	青海格尔木鲁能新能源有限公司
敦煌首航节能新能源有限公司敦煌 10 MW 熔盐塔式光热发电项目	敦煌首航节能新能源有限公司
中电哈密 50 MW 熔盐塔式光热独立发电项目	中能建(北京)能源研究院有限公司

表34 全国温室气体自愿减排注册登记系统申请登记中的光热发电项目

项目名称	项目业主
国家电投集团河南电力有限公司“光热+”一体化发电项目	国电投车师新能源(吐鲁番)有限公司
玉门新奥新能源有限公司玉门100 MW“光热+”一体化发电项目	玉门新奥新能源有限公司

其中,2023年、2024年减排量为18 499 t,41 223 t。

7.2.2 青海鲁能格尔木多能互补工程50 MW塔式光热发电项目

本项目于2025年1月26日完成登记,登记的项目计入期为2020年9月23日~2030年9月22日(含首尾两天)。第一核算期起止时间为2020年9月23日~2024年12月31日(含首尾两天),核算期内减排量为136 354 t,见表35。

表35 青海鲁能格尔木多能互补工程50 MW塔式光热发电项目核算期产生的减排量

年份	减排量/t	年份	减排量/t
2020	0	2021	21 196
2022	35 711	2023	38 020
2024	41 427		

7.2.3 敦煌首航节能新能源有限公司敦煌10 MW熔盐塔式光热发电项目

本项目计入期为2021年1月1日~2030年12月31日。第一个核算期为2021年1月1日~2024年12月31(包含首末两天),核算期内减排量为30 925 t,见表36。

表36 敦煌首航10 MW熔盐塔式光热发电项目核算期产生的减排量

年份	减排量/t	年份	减排量/t
2021	5 460	2022	3 916
2023	11 657	2024	9 892

7.2.4 敦煌首航节能新能源有限公司敦煌100 MW熔盐塔式光热发电项目

本项目于2025年1月26日在全国温室气体自愿减排注册登记系统成功完成项目登记。项目计入期开始时间为2021年1月1日,2030年12月31日结束。第一个核算期为2021年1月1日~2024年12月31日,核算期内减排量为471 865 t,见表37。

表37 敦煌首航100 MW熔盐塔式光热发电项目核算期产生的减排量

年份	减排量/t	年份	减排量/t
2021	107 749	2022	107 538
2023	127 972	2024	128 606

7.2.5 中广核太阳能德令哈一期50 MW槽式光热独立发电项目减排量

本项目计入期为10年,2022年2月1日~2032年1月31日(含首尾两天)。项目于2025年8月28日获得登记,第一核算期起止时间为2022年2月1日至2025年2月28日(含首尾两日),本核算期内产生的温室气体减排量为169 735 t,见表38。

表38 中广核太阳能德令哈一期50 MW槽式光热独立发电项目核算期产生的减排量

年份	减排量/t
2022(2月1日~12月31日)	48 898
2023	47 428
2024	67 244
2025(1月1日~2月28日)	6 165

8 太阳能热发电发展建议

8.1 存在问题和面临挑战

光热发电具有大规模、低成本和高安全长时储能电站功能,后端采用汽轮发电机组发电,能够发挥煤电机组对电网的支撑调节作用,具备作为绿色低碳基础保供电源的潜力,是实现新能源安全可靠替代传统能源的有效手段,是增强电力供应的安全性和灵活性的有效支撑。经过长期运行验证,光热电站调峰速率最高达到10%/min;已有工程实现连续运行230天,年等效满负荷发电小时数达到3 300 h。近年来,我国光热发电取得显著成绩。但在发展过程中还存在一些问题,影响了光热发电更大规模发展和更高质量开发利用。

8.1.1 光热发电成本依然很高

当前新建35万kW独立光热电站度电成本为0.55~0.6元/(kW·h),“光热+”项目度电成本更高一些,仍不具备平价上网的条件。光热发电作为“绿色低碳调节性电源”的价值在电力市场中缺乏明确的价格和补偿机制。

8.1.2 光热发电技术复杂度高

光热发电涉及热力学、传热学、光学、材料学、自动化控制等多学科,系统固有复杂程度高。从首批示范项目建设运行看,部分项目实际运行与设计值差距较大,这既与光热刚起步、国内团队运行经验不

足有关,也存在镜场控制难度大、系统运行要求高等技术因素。

8.1.3 光热发电项目重建设轻运行现象明显

“十四五”期间风光基地配套的光热项目,大多只考虑初投资成本,并未从全生命周期成本以及运行最优的角度去选择技术类型和参数配置。由于各场址环境差异大,各技术类型均有各自适宜的应用场景,若无法做到因地制宜,只通过初投资成本来选择技术类型,大概率存在实际效果不及预期的风险。

8.1.4 对系统调峰支撑能力不足

“十四五”期间大部分风光与光热一体化项目的光热配比较低,光热低配比使光热本身难以为风光调峰和电网调节提供有效支撑。同时,部分企业为降低成本,镜场面积配置也普遍较低,单位千瓦配置面积通常在5万~8万 m^2,导致发电小时数也降至1 500~2 000 h,限制了光热发电的调峰能力。

8.2 发展建议

为推动光热发电规模化发展,充分发挥光热发电对新型电力系统的支撑调节作用,提出以下建议。

8.2.1 尽快研究出台光热发电作为支撑性电源的补偿机制

建议尽快推动落实光热发电相关的电价机制、辅助服务细则等各项保障措施,尽快研究制定支持光热发电发展的新能源参与电力市场实施细则,因地制宜出台既能适应市场竞争、又能保障稳定运营的可持续发展价格结算机制。尽快研究出台光热电站容量补偿机制。

8.2.2 加强顶层设计和规划引导

建议国家和省级能源主管部门积极推动光热发电发展,抓紧组织开展省级光热发电资源普查、布局规划等工作,提前做好要素保障和场址保护,分阶段、分区域提出光热发电重点项目布局,为项目建设奠定良好基础。

8.2.3 充分总结评估光热光伏一体化项目建设和运行经验

建议国家能源主管部门委托第三方机构系统评估新能源基地和源网荷储配套光热发电运行状况、调峰效果和系统支撑能力等,建立基于评估结果的项目激励机制。综合考虑环境因素对实际运行影响、不同技术类型的全生命周期经济性评价等,强化系统运行控制策略优化研究,推动不同应用场景与不同技术类型合理匹配和良性互动。

8.2.4 分类推动光热规模化多元化发展

光热发电作为沙戈荒大基地配套支撑电源,逐步替代煤电机组,提升外送绿电比例。光热发电出力特性与火电基本一致,利用小时数有望达4 000 h,沙漠、戈壁、荒漠大型风光基地中持续安排一定容量的独立光热发电项目,实现光热、风电、光伏等协同互补就地消纳或清洁外送,降低电力用户对煤电的依赖,满足新形势下新型负荷对100% 绿电的需求。

基于不同地区资源要素和电力系统需求,将光热与风光、储热、储能等多种技术结合,打造100%绿电直供新业态,支撑外向型新兴产业发展或高耗能产业向西部清洁能源资源富集地区转移。

在西藏、青海等地探索以光热技术为基础电源组成独立电网,在对热力、电力需求较高且电网薄弱地区,通过光热热电联供方式为当地提供基础能源保障。

8.2.5 加快推动光热发电技术与产业创新

对于高参数大容量光热电站的技术创新与工程应用,建议给予补贴支持。逐步提升光热电站技术先进性和系统支撑调节作用,有效改善新能源安全可靠替代能力。

支持光热发电头部企业与科研机构组建研发联合体,开发适用于大容量高参数光热电站的高焦比聚光器,包括新型大开口槽式集热器、高精度定日镜,开发低成本长寿命储热材料、新型透平等国产化关键装备。大力支持光热领域应用基础研究,突破高参数“光-热-电”转换及高效热能存储等科学理论,鼓励颠覆性技术创新。

致谢:中国太阳能热发电行业蓝皮书(2025)由以下专家及单位联合完成,谨此致谢。

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

续表

主笔: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
参编人员	董清风、方嘉宾、范玉磊、官建国、化宜森、洪松、侯宏娟、黄文博、金建祥、寇建玉、雷东强、刘才、刘义达、刘福国、卢智恒、祁万年、沈航、盛涛、隋军、孙登科、唐宏芬、唐永录、王宏圣、王志峰、魏进家、吴玉庭、邢国华、夏寡、谢文韬、尹航、臧春城、张军、赵晓辉、钟财富、朱胜国 (按姓氏拼音排序,以上署名已经作者本人书面同意)
校核	杜凤丽、王志峰、董清风
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	全体联盟理事单位、太阳能热发电示范项目业主单位

参考文献(References):

[1] 聚光型太阳能热发电术语: GB/T 26972—2011 [S]. 2011.

[2] 国家发展和改革委员会. 关于促进光热发电规模化发展的若干意见 [EB/OL]. (2025-12-23). https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202512/t20251223_1402541.html.

[3] 国家能源局. 未来 10 年中国需每年新增 2 亿千瓦左右风光装机 [EB/OL]. (2025-10-31). https://www.chinanews.com.cn/cj/2025/10-31/10507985.shtml.

[4] 国家能源局西北监管局. 三峡能源青豫直流二期 100 MW 光热工程投运发电 [EB/OL]. (2025-05-08). https://xbj.nea.gov.cn/dtyw/hyxx/202505/t20250508_280710.html.

[5] 中国能源建设股份有限公司. 中国能建西北院总承包的青海格尔木 100 兆瓦光热项目全系统投运发电[EB/OL]. (2025-05-18). https://www.ceec.net.cn/art/2025/5/18/art_11019_2535360.html.

[6] 中国能源建设股份有限公司. 中国能建投资建设的新疆吐鲁番 1 吉瓦“光热+光伏”一体化项目全容量并网[EB/OL]. (2025-06-06). https://www.ceec.net.cn/art/2025/6/6/art_11019_2535601.html.

[7] 中国日报中文网. 中国绿发金塔多能互补基地项目并网发电 (2025-05-29). https://caijing.chinadaily.com.cn/a/202505/29/WS683811cca310205377035b0e.html.

[8] 中国电力建设. 国家电投集团河南公司新疆一期光热+光伏一体化项目全容量并网[EB/OL]. (2025-06-19). https://mp.weixin.qq.com/s/D3w-SwUcllNKoeU55uY-OQ.

[9] 中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司. 中国能建中电工程西北院总承包的新疆吐鲁番唐山海泰 100 兆瓦塔式光热项目全系统满负荷发电[EB/OL]. (2025-09-10). http://www.nwepdi.ceec.net.cn/art/2025/9/10/art_12337_2515743.html.

[10] 央视网. 新疆哈密百万千瓦“光热+光伏”项目全容量并网[EB/OL]. (2025-09-19). https://energy.cctv.com/2025/09/19/ARTIw1od9C5M1UCZELJnTM5u250919.shtml.

[11] 央视网. 甘肃酒泉: 全球首个“双塔一机”光热电站全系统试运行[EB/OL]. (2025-10-10). https://news.cctv.com/2025/10/03/ARTIjrLmm8Hss NfBgrzGQK932 51003.shtml.

[12] 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司. 国能青豫直流二期 10 万千瓦光热项目并网发电[EB/OL]. (2025-12-29). https://www.nwh.cn/col/col10756/art/2025/art_ce28a4517b12473daf84d2adc0928e6e.html.

[13] 央视新闻. 全球单机规模最大光热发电项目在青海格尔木开工建设[EB/OL]. (2025-10-16). https://news.cctv.com/2025/10/16/ARTI19xUTyBTDE6MNX w4qQRI 251016.shtml.

[14] 青海省人民政府. 青海众控德令哈 35 万千瓦光热发电示范 (试点) 项目开工[EB/OL]. (2026-01-02). http://www.qinghai.gov.cn/zwgk/system/2026/01/02/030089640.shtml.

[15] 国家重点研发计划青年科学家项目“太阳能与生物质能耦合的可再生分布式能源系统设计理论和调控方法”项目启动会顺利举行[EB/OL]. (2025-04-14). https://mp.weixin.qq.com/s/YldztufuCeZW9 Rs EFRazdw?scene=1&click_id=23.

[16] 中国科学院工程热物理研究所. 国家重点研发计划“多能耦合稠油热采低碳能源系统设计理论与方法”项目启动会顺利召开[EB/OL]. (2025-04-21). https://www.iet.cas.cn/news/zh/202504/t20250421_7604985.html.

[17] 中国科学院大学工程科学学院. 国家重点研发计划“面向稠油热采的多能耦合热化学转化及电/热/汽联产系统一体化设计理论与方法”项目启动会暨实施方案论证会顺利召开[EB/OL]. (2025-04-25). https://eng.ucas.ac.cn/index.php/zh-CN/2016-03-07-06-09-20/2678-2025-04-25-02-53-21.

[18] 国家电投工程公司 (山东院). 中芬携手, 多能互补! 公司牵头的首个国际科技合作重点项目启动[EB/

OL]. (2025-12-2). https://mp. weixin. qq. com/s/lN-PqGxkJVaFa7ycZ3ycztw.

[19] 中国质量新闻网. 以“强化标准引领保障作用, 以标准升级促进经济高质量发展”为主题 李强主持国务院第十六次专题学习[EB/OL]. (2025-10-16). https://www. cqn. com. cn/zgzlb/content/2025-10/16/content_9127215. htm.

[20] 科技部. 关于推动产业技术创新战略联盟构建的指导意见[EB/OL]. (2009-02-24). https://www. most. gov. cn/xxgk/xinxifenlei/fdzdgknr/fgzc/gfxwj/gfxwj2010before/201712/t20171219_136917. html.

[21] 方宇晨, 杜尔顺, 余扬昊, 等. 太阳能光热发电并网的综合效益量化评估方法 [J]. 中国电机工程学报, 2024, 44 (13): 5135-5147.
FANG Yuchen, DU Ershun, YU Yanghao, et al. Comprehensive benefit analytical evaluation of gird-connected concentrating solar power [J]. Proceedings of the CSEE, 2024, 44 (13): 5135-5147.

[22] 金建祥. 深度解密: 光热发电成本下降的关键因素剖析 [R]. 2025 中国太阳能热发电大会, 8 月, 西安.

[23] 俞科. 第三代熔盐大槽光热技术的产业化与下一代技术展望 [R]. 2025 中国太阳能热发电大会, 8 月, 西安.

[24] 卢智恒. 第三代槽式光热的技术特点与 350 MW 方案分析 [R]. 2025 中国太阳能热发电大会, 8 月, 西安.

[25] 国家能源局有关负责同志就《关于促进光热发电规模化发展的若干意见》答记者问[EB/OL]. (2025-12-23). https://www. nea. gov. cn/20251223/967388be198f422cb92b86a81e7e5ef9/c. html.

[26] 生态环境部. 关于发布 2024 年电力碳足迹因子数据的公告[EB/OL]. (2025-10-23). https://www. mee. gov. cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202510/t 20251024 _1130734. html.

[27] 生态环境部. 全国温室气体自愿减排交易市场首批核证自愿减排量完成登记[EB/OL]. (2025-03-06). https://www. mee. gov. cn/ywgz/ydqhbh/wsqtkz/202503/t20250306_1103521. shtml.

[28] 全国温室气体自愿减排交易系统. 2025 年全国温室气体自愿减排交易市场运行情况一览[EB/OL]. (2025-12-31). https://www. ccer. com. cn/wcm/ccer/html/2408scdt1/20260101/090126227. shtml.

[29] 财经杂志. 首笔交易 80 元/吨, 新签发的自愿减排量入市[EB/OL]. (2025-03-07). https://mp. weixin. qq. com/s/JG-bye9yUIq9uAzMp62DCQ.

Blue book of China's concentrating solar power industry

China Solar Thermal Alliance, Concentrating Solar Power Committee of Chinese Renewable Energy Society

Abstract: Concentrating solar power (CSP) is endowed with the capabilities of large-scale deployment, cost-effectiveness, and high-safety long-duration thermal energy storage, and generates electricity through steam turbine generator. It can replicate the grid support and regulation functions of coal-fired power plants, demonstrating significant potential as a green, low-carbon base load power source. As an effective approach to achieve the safe and reliable replacement of traditional energy with renewable energy, CSP serves as a robust underpinning for enhancing the security and flexibility of power supply. To provide a comprehensive overview of CSP technologies and the current status of the industry, and to further advance the development of the CSP sector in China, this paper summarizes the progress of China's CSP industry in 2025. The key aspects covered include: an overview of CSP technologies, market development status, operational performance of CSP demonstration projects, industrial chain layout, R&D advancements in CSP technologies, economic viability of CSP technologies, and carbon emission reduction benefits of CSP. Finally, targeted recommendations for the future development of the CSP industry are proposed.

Key words: CSP; industry status; solar tower; parabolic trough; Linear Fresnel; economy; development suggestions

九、附录

9.1 我国地方政府 2025 年发布的光热发电相关政策文件

表 35 地方政府 2025 年发布的光热发电相关政策文件

发文部门	文件名称	相关内容
甘肃省发展和改革委员会、甘肃省工业和信息化厅、甘肃省能源局、国家能源局甘肃监管办公室	《关于建立发电侧可靠容量补偿机制的通知（试行）》（甘发改价格规〔2025〕4 号）	对电力系统确有需要并在全年系统顶峰时段能持续稳定供电的机组，建立发电侧可靠容量补偿机制，根据其可靠容量进行补偿。其中包括光伏（含光热）可靠容量。
甘肃省发展和改革委员会、甘肃省工业和信息化厅、甘肃省能源局、国家能源局甘肃监管办公室	《甘肃省深化新能源上网电价市场化改革促进新能源高质量发展实施方案》甘发改价格〔2025〕516 号）	1.光热发电等所有新能源项目上网电量原则上全部进入电力市场，上网电价通过市场交易形成。2.新能源项目以核准（备案）容量全部建成并网时间作为投产时间。其中：集中式光伏、集中式风电、光热发电项目以电力业务许可证明确的并网日期作为投产时间。
青海省发展和改革委员会	关于开展青海电力现货市场连续结算试运行工作的通知（青发改能源〔2025〕695 号）	青海省内参与中长期交易的统调燃煤火电机组、新能源场站（直流配套电源除外），扶贫、特许经营权、光热发电项目、分布式/分散式项目、光伏应用领跑者、金太阳等新能源项目在新能源上网电价市场化改革实施方案在省内执行后参与现货电能量市场出清与结算。
青海省能源局	关于印发《青海省新能源项目开发建设管理办法》的通知（青能新能〔2025〕158 号）	光伏、光热和新型储能项目实行备案制。光伏、光热和新型储能项目在方案印发后 6 个月内完成备案。
青海省发展和改革委员会、国家能源局西北监管局、青海省能源局	《青海省深化新能源上网电价市场化改革实施方案》	对于光热发电项目，存量项目机制电量：2025 年 5 月 31 日前并网且不带新能源补贴的光热项目，纳入机制电量的年利用小时数 1520 小时；已纳入 2021、2022 年全省新能源开发建设方案本地消纳的光热项目、已纳入 2024 年至 2028 年底全省年度光热发电示范开发计划的光热项目，纳入机制电量的年利用小时数根据设计储热时长及单位储热时长年利用小时数确定，单位储热时长年利用小时数为 190 小时。
		机制电价：光热项目按照现行价格政策执行。

		执行期限：光热项目执行期按投产满 25 年确定。执行期限到期后，新能源项目对应的机制电量规模自动从全省机制电量规模移出。
青海省发展和改革委员会、青海省商务厅、西宁海关、青海省能源局	青海省发挥绿电优势推动产业外向型发展实施方案（青发改运行〔2025〕569 号）	要提升储能调峰能力：持续优化储能发展政策与市场环境，推动哇让、南山口、同德等抽蓄和光热项目加快建设。
青海省科技厅	《关于印发青海省 2026 年度省级科技计划项目申报指南的通知》	开展新型光伏发电、光热发电、风电、电池储能、新能源与储能一体化等领域核心技术、关键装备、智能运维、应用示范研究及试验基地建设。
山东省发展和改革委员会、山东省工业和信息化厅、山东省能源局、山东省发展和改革委员会	《山东省零碳园区建设方案》（鲁发改环资〔2025〕512 号）	强化园区与周边光伏、光热、风电、生物质能等发电资源匹配对接，积极有序推进园区及周边新能源发电项目建设。支持园区充分利用闲置资源、空间，因地制宜发展核能供热、光热、地热、生物质能等热能资源，推动建立可再生能源与传统能源协同互补、梯级综合利用的供热体系。
内蒙古鄂尔多斯市能源局	《内蒙古枢纽节点库布齐沙漠清洁能源基地项目投资开发牵头企业优选方案》	库布齐沙漠 600 万千瓦清洁能源基地可采用光热发电形式，鼓励光热与风光互补开发，提升基地调节能力。

9.2 2025 年度太阳能热发电相关热点新闻

回首充满机遇与挑战的 2025 年，太阳能热发电行业写下了精彩而富有成效的篇章。太阳能光热产业技术创新战略联盟联合中国可再生能源学会太阳能热发电专委会致力于推动光热行业持续健康发展，在建言献策、提供决策支撑、搭建行业交流、促进人才培养等工作基础上，通过“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。2025 年共发布（含转载）行业资讯 1647 篇。其中，阅读量排名前 30 的热点新闻整理如下，以供参考。

表 36 2025 年度热点新闻（太阳能光热联盟微信号发布）

序号	新闻标题	发布时间
1	内蒙古兴安盟委书记苏和一行到恒基能脉访问交流	2025/2/11
2	新疆/西藏/青海/甘肃等光热项目新进展；青海 136 号文明确光热项目机制电价及执行年限；2025 太阳能热发电文学作品大赛启事……	2025/10/12

序号	新闻标题	发布时间
3	国家发展改革委郑栅洁：到“十五五”末，新增用电需求绝大部分由新增清洁能源发电量满足	2025/10/25
4	山东电建三公司董事长赵启明与东方电气副总经理王军举行会谈	2025/3/21
5	中国电建西北院张俊峰：熔盐储热设计及运维关键技术	2025/11/18
6	喜讯！中国能建西北院赵晓辉、中国电建西北院陈康当选为“陕西省中青年科技创新领军人才”	2025/12/19
7	国家重点研发计划项目“宽液体温域高温熔盐储热技术”中期现场检查及年度进展交流会在广东汕头召开	2025/1/2
8	中国电建西北院：大容量熔盐储热技术研究及工程应用	2025/1/16
9	浙江大学高温热化学储热技术新突破——浙江省科技计划示范项目鉴定会在杭圆满落幕	2025/1/1
10	上海交通大学王如竹：热泵+储热实现灵活低碳供热	2025/3/18
11	何雅玲院士新年寄语光热行业	2025/1/26
12	国家能源集团：正快速进入光热发电领域	2025/2/24
13	李强总理：扎实推进未来 5 年新增“千万千瓦光伏”和“千万千瓦风电”项目	2025/11/20
14	上海交大王如竹教授领衔 ITEWA 牵头，联合爱摩威尔破解全球缺水困局，从空气里“榨出”饮用水！	2025/11/29
15	金红光、郭烈锦、宣益民、姜培学、关永刚：“双碳”目标下能源转化与利用科学问题	2025/7/31
16	新华网：东方锅炉熔盐储能技术引领煤电转型新范式	2025/10/31
17	刘吉臻院士等｜支撑我国能源转型的灵活燃煤发电新技术：燃煤耦合储能系统及智能控制系统	2025/1/7
18	1500 万千瓦！光热发电可按可靠容量给予补偿，两部委印发《促进光热发电规模化发展的若干意见》	2025/12/23
19	上海锅炉厂中标华能古雷 2×660MW 热电联产项目锅炉设备采购	2025/12/3
20	总投资 55.67 亿元，14h 熔盐储能！青海众控德令哈 35 万千瓦光热发电示范（试点）项目正式开工	2025/12/28
21	配 14 小时储能的 350MW 众控德令哈光热项目可研通过审查；华电（格尔木）启动 100MW 光热项目；联盟组织走访水电总院、前沿动力…	2025/3/23
22	“十五五”煤电将告别“基础电源”身份，熔盐储热迎政策红利	2025/10/30
23	四川省阿坝县 20 万千瓦光热+180 万千瓦光伏项目启动竞争优选	2025/1/17
24	中国能建西北院总承包，三峡能源格尔木 100MW 光热项目召开“复工全体员工大会”	2025/3/1

序号	新闻标题	发布时间
25	凯盛大明光热光伏玻璃生产忙	2025/8/7
26	光热逐梦人｜王志峰研究员数十年坚守，点亮全球能源革命之光	2025/12/6
27	国家电网首席科学家王伟胜：从新型电力系统角度看光热发电的发展机遇	2025/8/6
28	陶文铨院士新年寄语光热行业	2025/1/28
29	中国能建周小能与内蒙院寇建玉会谈，将在光热、储能、外送大基地等领域深度合作	2025/11/5
30	央视总台记者探访迪拜 950MW 光热光伏混合项目	2025/9/1

9.3 太阳能光热联盟 2025-2026 年度理事单位及其光热业务标签

表 37 太阳能光热联盟 2025-2026 年度理事单位及其光热业务标签

单位名称（按拼音排序）	光热领域主要业务标签
北京市	
北京工业大学	传热储热及储冷、热力电池、氢能与燃料电池、可再生能源热利用及热发电、热泵制冷、压缩机及膨胀机、余热余压利用
北京佳洁能新节能技术有限公司	提供熔盐系统下塔大压差调节阀、熔盐调节阀、熔盐截止阀、熔盐蝶阀、熔盐止回阀等产品及技术服务、改造、维护等服务
北京天瑞星光热技术有限公司	线聚焦式光热技术、高温太阳能集热管、太阳能中低温供热
北京前沿动力科技有限公司	超临界二氧化碳动力装置、压缩二氧化碳熔盐储能装置、余热余压发电装备、温差能发电装置和空气布雷顿循环装置等高技术产品
北京兆阳光热技术有限公司	创新型菲涅尔聚光集热技术、大型耐高温固态混凝土储热技术，主要应用领域包括太阳能热发电、低成本太阳能清洁供热。
电力规划设计总院	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
核工业工程研究设计有限公司	光热电站、熔盐储能、超临界二氧化碳发电等工程的咨询、设计、供货及总承包建设服务以及配套的关键技术研发、加热设备研发供货

单位名称（按拼音排序）	光热领域主要业务标签
恒基能脉新能源科技有限公司	双塔一机及多塔一机的新型光热技术，技术开发、装备研制、工程应用、多能互补，独立共享熔盐储能电站、零碳园区开发建设，提供项目开发、投资、建设和运维等
蓝星（北京）化工机械有限公司	新型熔盐热储能成套技术、电解成套技术、生物质资源综合利用成套技术和特种阀门
水电水利规划设计总院	政策研究、发展规划、设计审查、咨询评估、安全鉴定、工程验收、质量监督、技术标准、信息数据服务等
中国船舶重工集团新能源有限责任公司	核心工艺设计、电站工程总包、电站调试与运维、集热系统总包及核心装备研发与制造等
中国电力工程顾问集团有限公司	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
中国广核新能源控股有限公司	风电、光伏、光热、抽蓄、储能、氢能、水电、燃气、热电联产等
中国科学院电工研究所	太阳能热发电、中低温利用研究，太阳能热发电设备检测，太阳能热发电系统集成技术、全场控制技术、高精度低成本定日镜技术、高可靠性吸热 - 传热 - 蓄热等关键技术研究及太阳能高温工业热工程
天津市	
天津大学机械工程学院	以太阳能为主的中低温热能高效利用，工质优选、热力过程增效减熵和实际热力循环构建
河北省	
河北津东科技集团有限公司	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
河北科倍特管道科技有限公司	生产各种材质：管件、法兰、工厂化预制、管道支吊架、电厂配件 销售：钢管、钢材等
山西省	
山西沃锦新材料股份有限公司	专业二元熔盐、三元熔盐、熔盐级硝酸钾、硝酸钠；工业级硝酸钾、硝酸钠等制造；提供熔盐化盐服务；同时创新探索开展熔盐折（半）价回收资源化综合循环利用服务等
内蒙古自治区	

单位名称（按拼音排序）	光热领域主要业务标签
内蒙古百川光热科技有限公司	光热发电聚光反射镜、太阳能热利用等
内蒙古电力勘测设计院有限责任公司	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
内蒙古绿能新能源有限责任公司	清洁能源项目前期咨询、工程设计及全过程技术服务，涵盖评审评估、可研编制、规划报告、测绘勘测等
内蒙古旭宸能源有限公司	槽式太阳能综合利用系统，中高温太阳能集热管，太阳能光热系统的研发、制造与销售
辽宁省	
大连耀皮玻璃有限公司	太阳能超白浮法玻璃、超白 TCO 导电玻璃
上海市	
上海飞挺管业制造有限公司	管道管件法兰制造、管道优化设计、工厂化管道预制及管道工程成套服务
上海锅炉厂有限公司	蒸汽发生系统，定日镜、吸热器、储换热设备，光热电站建设、调试和运维
上海交通大学太阳能发电与制冷教育部工程研究中心	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
上海亚核阀业成套有限公司	熔盐呼吸阀、熔盐紧急释放阀、熔盐真空破坏阀、熔盐过滤器、熔盐关断阀、熔盐调节阀等；各种汽水阀等；定制特种阀门，承接高值阀门维修、改造等业务
智矿斯凯姆（上海）化学有限公司	光热发电用硝酸盐
江苏省	
常州龙腾光热科技股份有限公司	槽式光热核心技术与关键装备的研发与产业化，拥有高温真空集热管、槽式聚光器等核心装备的自研制造能力，可提供光热储能电站、绿色蒸汽、源网荷储等整体解决方案
常州市神能金属制品有限公司	耐蚀合金管（N06600、N06625、N08800、N08825、C22、C276）、高温合金管（N06617、N06230、N07718、GH3030、GH3039、GH3625）、奥氏体不锈钢管（S30408、S30403、S31608、S31603，TP321、TP347H）、双相不锈钢（S31803、S22053、S22073）、超级奥氏体不锈钢管（S31254、904L、8367）等

单位名称（按拼音排序）	光热领域主要业务标签
江苏飞跃泵业股份有限公司	专业流程泵供应商，高温熔盐泵、导热油泵、热水循环泵等，各类高温、高压、耐磨、耐腐蚀、抗气蚀流程泵及特殊材料泵的研发和制造、化盐设备研发和制造
江苏双达泵业股份有限公司	高温熔盐泵；各类工业泵，包括各类 API610 标准化工流程泵和耐磨渣浆泵，各类复合材料管道及工厂化预制，煤气化炉用破渣机，各类耐磨管、耐磨钢等产品
江苏联储能源科技有限公司	熔盐储能系统、化盐系统及服务、特高温余热回收系统，为各类能源存储工程项目提供系统化技术支持、全体系解决方案及核心产品
江苏中信博新能源科技股份有限公司	光伏跟踪支架、塔式双轴光热跟踪系统等“跟踪+”系统解决方案，储能、移动微电网解决方案等“绿电+”一站式智慧能源解决方案
科恩卓（江苏）传动有限公司（原江阴市华方新能源高科设备有限公司）	太阳能与工程机械回转减速器
南京工业大学机械与动力工程学院	高效热利用节能技术、储能技术、新能源技术与装备、承压设备结构完整性等
浙江省	
奥展实业股份有限公司	紧固零部件及高端不锈钢线材棒材
杭州华源前线能源设备有限公司	专业生产储热系统（含压缩空气蓄热系统、水蓄热、相变蓄蒸汽、熔盐蓄热）、高效低氮燃油燃气锅炉（含电站辅助锅炉）、电锅炉（含高压电极锅炉、熔盐电极加热炉）、生物质锅炉（含生物质气化炉）、多能耦合供热系统（含电蓄热、冷热双蓄、气电储互补）等
恒丰泰精密机械股份有限公司	提供多方位传动设备整体解决方案，光热、光伏跟踪系统回转减速器
华电电力科学研究院有限公司	新型太阳能发电技术研究、新型能源低碳供热技术
西子清洁能源装备制造股份有限公司	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、机组灵活性改造等
浙江大学可持续能源研究院	高温集热、热化学与显热储热、高温工质换热、布雷顿循环、斯特林循环，以及多能互补与余热梯级利用、塔式太阳能发电、光热与储热标准化工作等
浙江芬齐涂料密封胶有限公司	太阳能反射镜涂层解决方案、特种密封材料等

单位名称（按拼音排序）	光热领域主要业务标签
浙江可胜技术股份有限公司	塔式熔盐光热发电整体解决方案（前期开发过程咨询、项目方案设计、建设全过程管理；聚光集热系统设计与设备供货、熔盐储换热系统设计与设备供货；电站调试、运行优化、运维指导） 以熔盐储能为核心的综合能源解决方案（大容量高温熔盐储能系统工艺、高温熔盐安全控制策略、系统开发与供货、熔盐储能工程实施与运维）
浙江中光新能源科技有限公司	光热电站开发、运营管理和全产业链核心技术开发、火电深度调峰零碳园区长时储能改造
中绿可胜工程技术有限公司	光热发电项目建设和运维服务、火电深度调峰改造、熔盐独立储能电站、多场景综合能源服务
安徽省	
东华工程科技股份有限公司	热传储热岛设计、电解水制氢，提供“科技+工程+实业”全过程服务
福建省	
福建瑞玻玻璃有限公司	太阳能超白光热玻璃
江西省	
中国电建集团江西省电力建设有限公司	以能源电力为核心，以生态环保、市政文旅为重点的业务架构，具有集规划设计、投融资、设备采购、工程建设及调试、运行维护等一体化集成服务能力。
山东省	
青岛华晨伟业电力科技工程有限公司	电力调试、电力试验、运维运营、优化改造、技术培训
山东爱能森新材料科技有限公司	熔盐复配生产、化盐服务、技术解决方案服务
山东奥博储能科技有限公司	太阳能熔盐、熔盐级硝酸钾、熔盐级硝酸钠及亚硝酸钠生产，化盐服务
山东电力建设第三工程有限公司	聚光集热系统、EPC/设计/工程/施工、调试运维，以及塔式光热发电技术、装备与服务
山东兆维铁塔有限公司	光热电站支架，光热钢结构制造技术；生产 500kV、220kV 电压等级的输电线路角钢塔、钢管塔、钢管杆、变电站构架、通讯塔、广播电视塔、微波塔、景观塔、测风塔等产品
山东宇影光学仪器有限公司	生产用于光热领域的菲涅尔透镜（大尺寸圆形菲涅尔透镜和线性菲涅尔透镜、阵列式菲涅尔透镜），高倍聚光

单位名称（按拼音排序）	光热领域主要业务标签
	光伏（钢化玻璃+硅胶）SOG 透镜等
河南省	
河南安彩光热科技有限责任公司	超白玻璃、光热玻璃、低辐射节能 LOW-E 玻璃
湖北省	
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
湖北云图熔盐科技有限公司	熔盐产品（硝酸钠、硝酸钾、亚硝酸钠、二元混盐、三元混盐）产品研发和营销
武汉圣普太阳能科技有限公司	光热发电用反射镜，新产品设计、产品研发、大批量生产全过程的技术支持
湖南省	
诺特（长沙）联接技术有限公司	镜场通讯链路连接解决方案（方案设计与集成、关键连接产品供应、调试与支持服务）、定制化电缆线束连接附件等
中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司	光热项目总承包，项目初步设计、项目可研、全阶段勘察设计，技术服务、投资运营、智慧化业务
中国能源建设集团华中电力试验研究院有限公司	光热发电项目系统调试，性能试验，设备运行维护，光热发电技术咨询及运行指导
四川省	
东方电气集团东方锅炉股份有限公司	光热镜场、吸热器、储换热系统设计与设备制造，运维服务
贵州省	
中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司	工程勘察、设计、咨询，工程施工总承包
云南省	
云南师范大学能源与环境科学学院（太阳能研究所）	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、太阳能温室，太阳能制冷与空调，储能材料，光伏器件材料
陕西省	
宝钛集团有限公司	钛及钛合金、镍及镍合金、锆及锆合金材料的生产与研发
陕西能源电力运营有限公司	火力、风电、水力、新能源等发电机组的日常运维、等级检修及能源科技服务，提供专业化、协同化、系统化的综合服务

单位名称（按拼音排序）	光热领域主要业务标签
西安添景环能信息科技有限公司	太阳能分布式供热系统、宜新装配式干铺地暖、槽式高热跟日机、热电联供板
中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司	集规划、咨询、勘察设计、工程总承包、投资运营、产品开发全流程服务于一体，具备光热全产业链能力，以技术服务与优质项目，赋能新能源高质量发展。
中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司	光热规划、技术研究、产品开发、咨询设计、项目投资、工程总承包
甘肃省	
甘肃凯盛大明光能科技有限公司	研发与生产光热超白浮法玻璃原片、光热反射镜、反射镜粘接等
甘肃省安装建设集团有限公司	电力、机电安装、市政、钢结构、环保、石油化工、矿冶、水利水电、民用建筑等施工承包
兰州大成科技股份有限公司	太阳能光热发电系统及工程、光热储能供热系统及工程、高温熔盐真空集热管、二次抛物面及不规则曲面高倍反射镜、以线性菲涅尔式聚光技术为基础的光热储能调峰项目开发建设及运行维护、太阳能聚光场和聚光器设计、施工及运行维护
兰州兰石换热设备有限责任公司	各类板式热交换器、新型（微通道）高效紧凑型焊接式热交换器研发、设计、制造和检验及服务，提供换热整体解决方案及集成化服务
首航高科能源技术股份有限公司	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
西班牙	
西班牙 Exera Energia 公司	光热电站专业技术咨询和运维服务，管理服务

关注国家光热联盟
微信公众号

入盟咨询

关注太阳能热发电
专委会微信公众号