

槽式太阳能热发电技术发展展望

2023年02月



目 录

一、背景情况

二、中广核槽式技术研究成果

三、槽式太阳能热发电技术展望





一、背景情况

2022年，世界百年未有之大变局深度演绎、全球百年未遇之大疫情反复冲击、中华民族复兴之百年奋斗进入了新的阶段。大争之世的能源领域，气变危机催生能源绿色低碳发展命题，俄乌战争敲响能源安全独立警钟。一年来，我们光热行业坚持在二十大精神指引和双碳目标牵引下，积极探索建设能源强国的实现路径，取得了一系列可喜可贺的进步。

一、背景情况

能源安全 双碳目标

我国能源发展总体思路是保证能源安全的前提下，持续推进能源绿色低碳转型，同时中国基于推动构建人类命运共同体的责任担当，提出3060双碳目标。

新型能源体系建设

加快建设新型能源体系，打造具备灵活调节能力的新能源发电系统。风电、光伏是新型电力系统中重要的主力能源，但它存在波动性大、不能连续稳定出力的特点，需要具备灵活调节能力的电源提升系统的灵活性。

● 2021年以来，国家已出台多项政策鼓励，支持光热发电产业发展，光热发电迎来新的发展机遇。

2021年2月25日，国家发改委、国家能源局《关于推进电力源网荷储一体化和多能互补发展的指导意见》

2021年10月24日，国务院《2030年前碳达峰行动方案》

2022年6月，九部委联合印发“十四五”可再生能源规划，将有序推进长时储热型太阳能热发电发展。

2021年3月1日，国家电网公司《“碳达峰、碳中和”行动方案》

2022年2月，国家能源局发改委《“十四五”新型储能发展实施方案》

一体化项目将成为新型电力系统发展格局下的热点。

一、背景情况

太阳能热发电具有出力灵活可调、可长时储能的优势，可有效改善新能源快速发展中出现的消纳问题，在构建以新能源为主体的新型电力系统、保障电力系统安全稳定运行等方面发挥重要作用。结合我国太阳能资源禀赋，太阳能热发电是未来新型电力系统的中坚力量，具有广阔的发展前景。

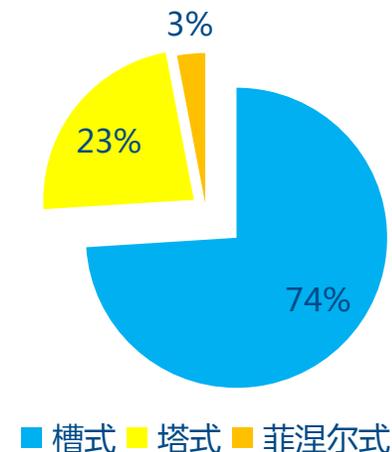
太阳能热发电技术发展

第一代太阳能热发电技术采用循环效率仅为28%-38%的蒸汽朗肯循环，其透平入口温度在240°C-440°C，系统年光电效率在9%-16%。

第二代太阳能热发电技术主要选择槽式、塔式和菲涅尔式技术，并采用循环效率为38%-44%的朗肯循环，其透平入口温度在480°C-550°C，系统年光电效率可达到10%-20%。

未来下一代太阳能热发电技术，介质工作温度将提升到700°C以上，并采用二氧化碳布雷顿循环发电系统，有望将循环发电效率提升到50%以上。

全球光热发电项目技术类型



槽式太阳能热发电技术是光热发电关键技术路线之一。全球已投运电站装机，槽式技术路线占比70%以上，是目前技术最成熟、实证效果最稳定，电网友好的光热发电技术。现阶段已建成投运的槽式光热电站绝大多数采用的第一代技术，未来通过技术升级提高系统参数，逐步向第二代技术转变。

一、背景情况

环保要求

不会产生光污染，不影响候鸟迁徙，生态环境保护

自然条件影响

光线反射路径较短，受空气洁净度影响较小，受风力影响较小

纬度影响

低纬度地区效率相对较高，高纬度地区可以通过合理的镜场布置有效降低集热损失

安全·绿色·担当



电站开发规模

具有模块化，光路短、衰减小，更适合单体大规模电站开发

选址要求

不受军管区、飞行航线等地域条件限制

辐照影响

在太阳辐照低、大幅波动工况下可稳定发电



一、背景情况

槽式太阳能热发电技术发展目标：**高参数、安全环保、大容量。**

➤ 集热器

通过更大开口弦长的集热器开发可以有效**提高系统效率**，同时**降低工程造价**。
在输入条件相同的情况下，通过初步测算：

聚光比
提升
30%

拦截因子
达到
99%

集热场面积
减少
10%

回路、驱动、管道
减少
55%

成本
降低
10%

➤ 传热介质

通过熔盐介质的研发应用，提升系统运行参数，降低电站投资造价。

运行温度
达到
550℃

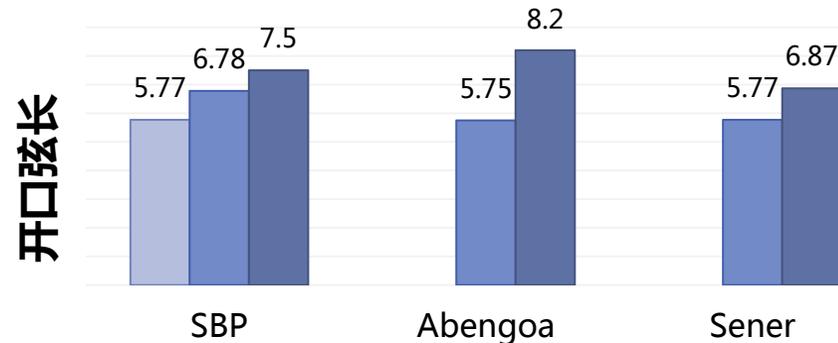
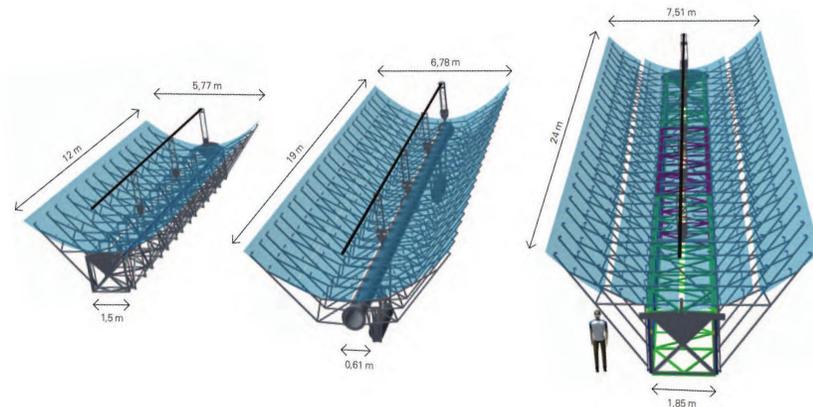
汽轮机效率
提升
10%

传热介质
减少
25%

由于集热介质和储热介质统一，换热系统得到大幅简化，更利于解耦运行。

安全·绿色·担当

针对供暖、供热等特殊应用场景或冬季严寒等极端气象条件，采用硅油作为传热介质可有效降低运维难度及成本。





二、中广核槽式技术研究成果

二、中广核槽式技术研究成果-示范项目



运行成果

- 中广核德令哈50MW示范项目并网以来，上网电量逐年提升。2022年度，德令哈光热电站累积完成上网电量**超过1.2亿kWh**。
- 2021年9月19日开始到2022年5月7日，**机组不间断稳定运行230.2天**。
- 电站在连续阴晴多变天气条件下（平均DNI200-300W/m²左右）可实现全天发电，且日发电量均在**20万kWh以上**。
- 参与无功补偿调节**获得青海电网“两个细则”奖励**。



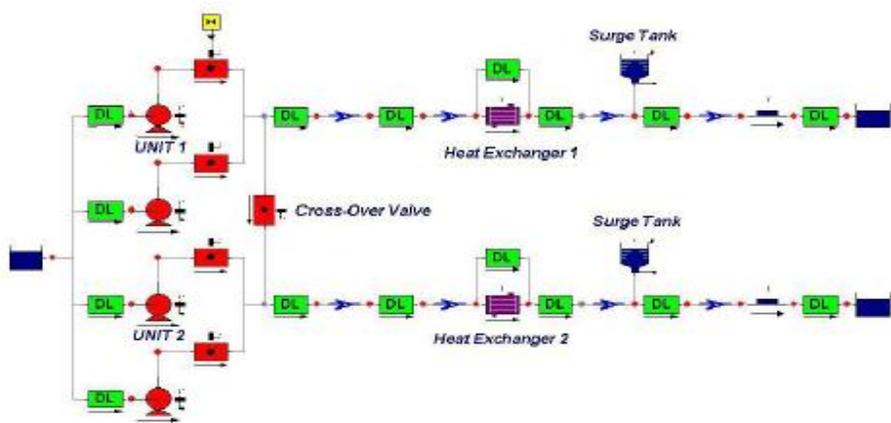
示范验证

- 在辐照强度较低且存在大幅快速波动的情况下，电站全天保障平稳发电状态。
- 充分验证了太阳能热发电站具备长周期、低负荷、变工况的运行能力，可实现灵活调节功能。
- 揭示了太阳能热发电系统具有破解“以新能源为主体的新型电力系统存在的间歇性和不确定性”等问题的能力。

二、中广核槽式技术研究成果-核心技术攻关

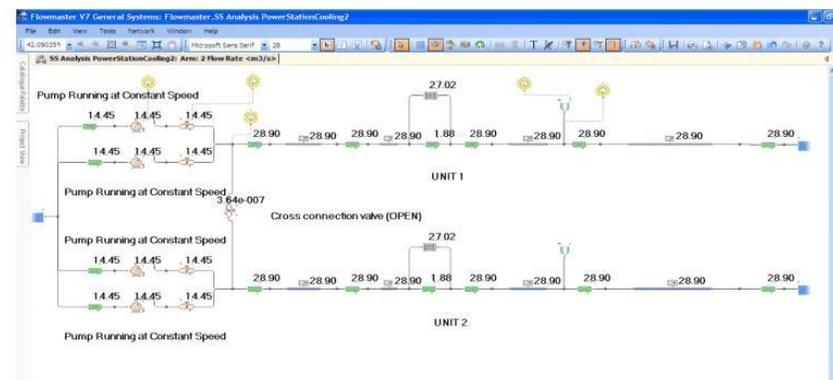
光热电站槽式太阳岛流量平衡分配技术研究

- 开展调节阀流量特性曲线研究，开发镜场流量数字模型，实现冷态调平；
- 结合集热器效率差异，开展热态调平，已实现全厂流量调平。



↑ Flowmaster流体系统仿真

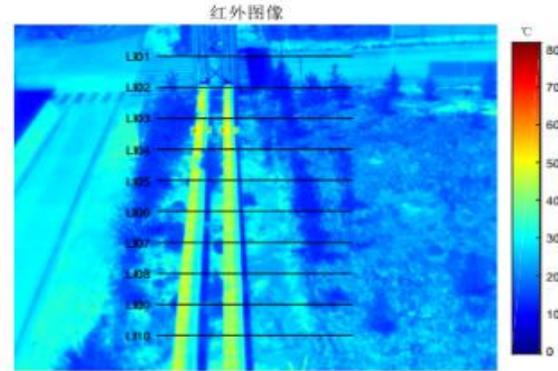
Flowmaster——系统流量分配 (m³/s)



二、中广核槽式技术研究成果-核心技术攻关

• 槽式光热电站全天候监控

➢ 基于全场红外巡检技术，快速识别集热管和反射镜损坏、导热油泄露等故障异常点，并精准定位，为运维人员提供报警，便于及时采取安全措施，防止风险扩大，保障电站运行安全，提升电站运维效率。



• 槽式集热器缺陷光学检测及评估系统研究

➢ 开发出槽式集热器无人机光学专用检测设备，对电站镜场集热回路集热管、反射镜和保温等设备、材料的工作状态开展检测和量化评估，同时搭建技经模型，有效提高槽式电站的效率和安全性。

• 槽式光热电站在线效率评估技术研究

➢ 开发关键系统和设备算法模型，建立系统效率评估方法，实时监测各系统运行效率，通过长时长大数据分析，实现系统故障原因诊断。

二、中广核槽式技术研究成果-重大装备研制

球形接头国产化替代-攻克“卡脖子”技术难题

设备研发设计参数

工作温度：393℃

工作压力：3MPa

旋转角度：-15°~182°

摆动角度：±7°



现场测试情况

试验时长：一年以上

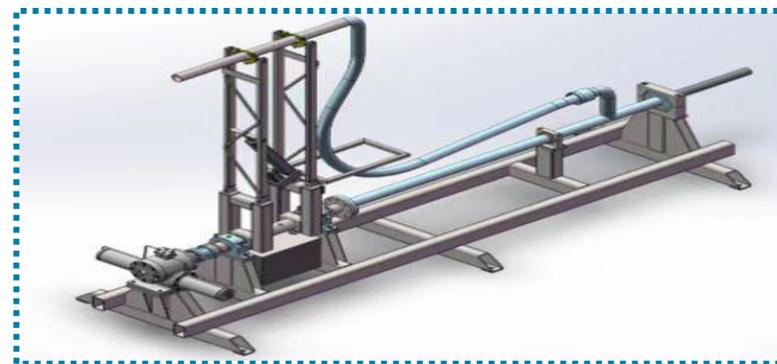
运行温度：155℃~393℃

运行压力：0.9~3.3MPa



开展第三方验证试验，产品已发往国外在运电站。

依托球型接头国产化研发成果，开展熔盐槽柔性连接组件研发。



二、中广核槽式技术研究成果-标准化工作

依托国家光热研发中心及德令哈50MW示范项目，中广核集团在太阳能热发电领域标准工作方面形成一系列科研成果。

- 太阳能热发电技术领域标准体系建设。
- 主参编国际标准、国家标准、行业标准及团体标准等各级别标准50余项。
- 标准内容涵盖太阳能热发电电站设计、施工建设、运行维护、系统验收、关键设备等全部关键环节。
- 搭建我国首个槽式光热电站运行技术标准体系，形成一套包括运行规程、检修规程、安全规程、定值清册、作业指导书、危险点预控、技术措施和应急预案等方面的运行技术标准体系。



117/130/RVN

RESULT OF VOTING ON NEW WORK ITEM PROPOSAL (RVN)

THE PROJECT IS ASSIGNED TO PROJECT TEAM/WORKING GROUP: PT 62862-3-4			
TITLE: Code of solar field performance test for parabolic trough solar thermal power plant			
TASK: To specify the instruments, tests preparation, procedure and data processing for the thermal power test and thermal efficiency test for solar field of parabolic trough solar thermal power plant			
PROJECT LEADER			
LAST NAME:	FIRST NAME:	E-MAIL:	COUNTRY:
Liu	Luping	liuluping@cgnpc.com.cn	China

主持编写国际标准1项

参与编写国际标准4项

主编参编国标、行标、团标等50余项



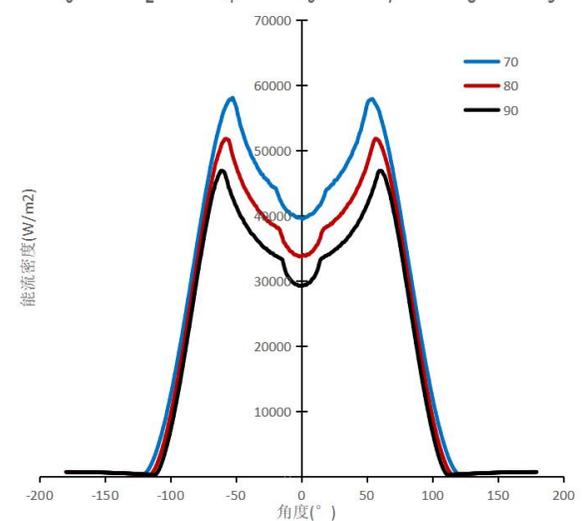
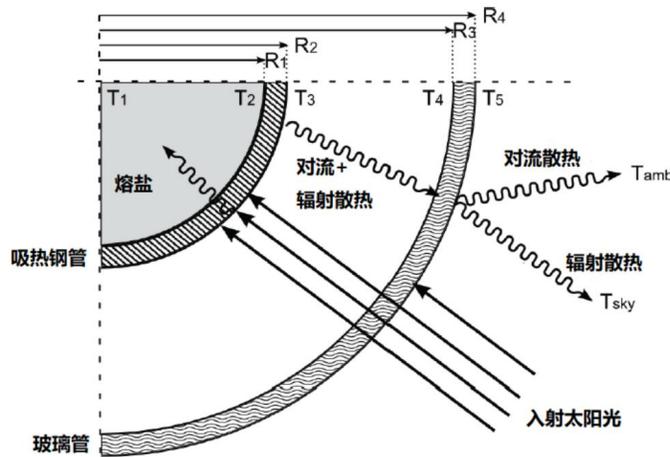
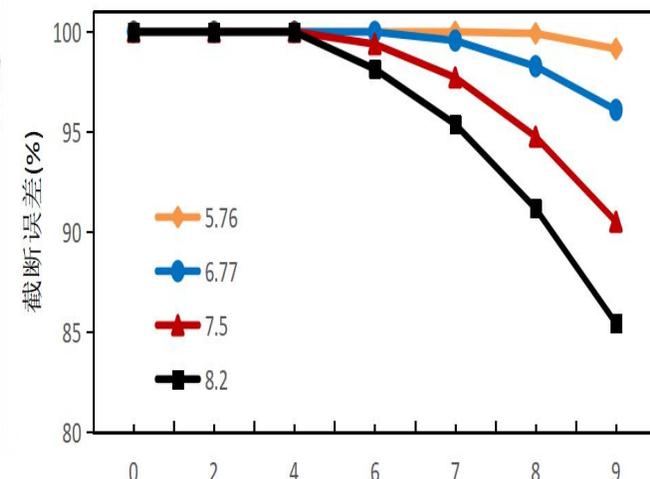
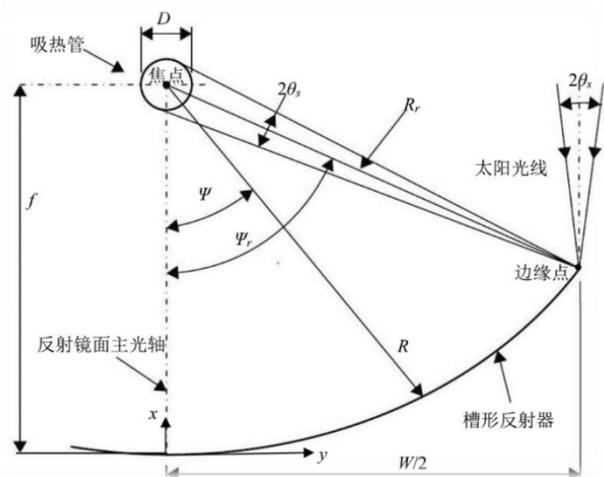
三、槽式太阳能热发电技术展望

三、槽式太阳能热发电技术展望

1. 集热器设计方面

1.1 集热器整体设计需要关注：

- 抛物线形：从聚光集热性能角度，选择合适的抛物线焦距、边缘角等参数；
- 几何参数：为了开发适用于高温段的集热器，需要相匹配集热器的几何参数，如开口尺寸、聚光比、SCA/SCE长度等；
- 热力学参数：从工程边界条件和供应链能力的角度，需要匹配集热器的功率、集热管规格、介质流量流速等参数；

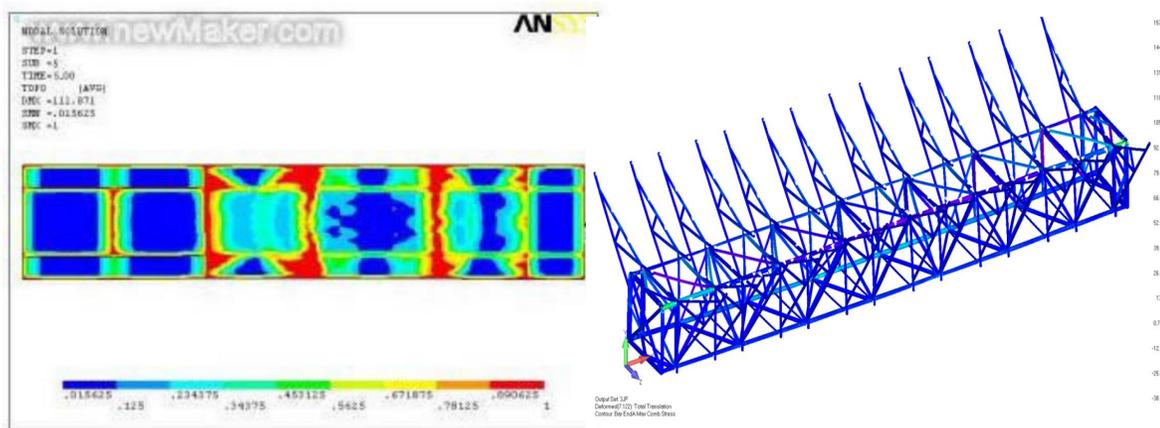
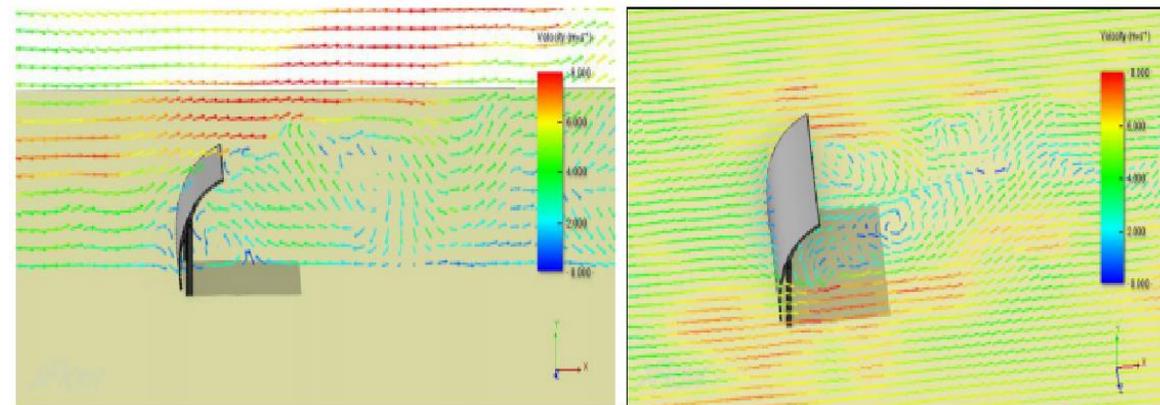


三、槽式太阳能热发电技术展望

1. 集热器设计方面

1.2 集热器结构设计需要关注：

- 结构设计：从保证集热器性能的角度，优化集热器结构设计，保证集热器聚光效率和跟踪精度；
- 防风墙设计：从经济性方面考虑，选择合适的防风墙布置形式，在保证集热器安全性的基础上降低镜场建设成本；
- 轻量化设计：从经济性方面考虑，对镜场内不同位置的集热器进行轻量化设计；
- 工程应用：设计过程中应考虑集热器主要结构部件的长距离运输成本，且能够在工装工具辅助下完成集热器的高精度生产、组装、调试工作；



三、槽式技术发展关注要点

2. 设备和系统方面

2.1 新型集热器支架开发

- 新型集热器支架：适应不同应用场景的槽式集热器设计方案；
- 结构材料防腐：低成本，符合需求的新型耐腐蚀结构材料；

2.2 关键设备定向研发

- 高温集热管：降低高温区段热损，提高系统集热效率；
- 高温柔性连接：匹配高温集热器，降低系统维护成本；
- 反射镜抗霜技术：缩短反射镜结霜时间，提高电站收益；

2.3 工艺系统研发

- 熔盐防凝系统：降低熔盐系统冻堵风险，尽可能降低场用电消耗；
- 回路进退盐工艺：降低进退盐阶段冻堵风险，降低系统维护难度；

安全·绿色·担当

3. 生产安装方面

3.1 生产安装工装自动化/半自动化

- 降低人员成本和人员劳动强度，保证生产安装质量；

3.2 专用转运、吊装、调整工具开发

- 保证生产安装质量，提高镜场安装效率；



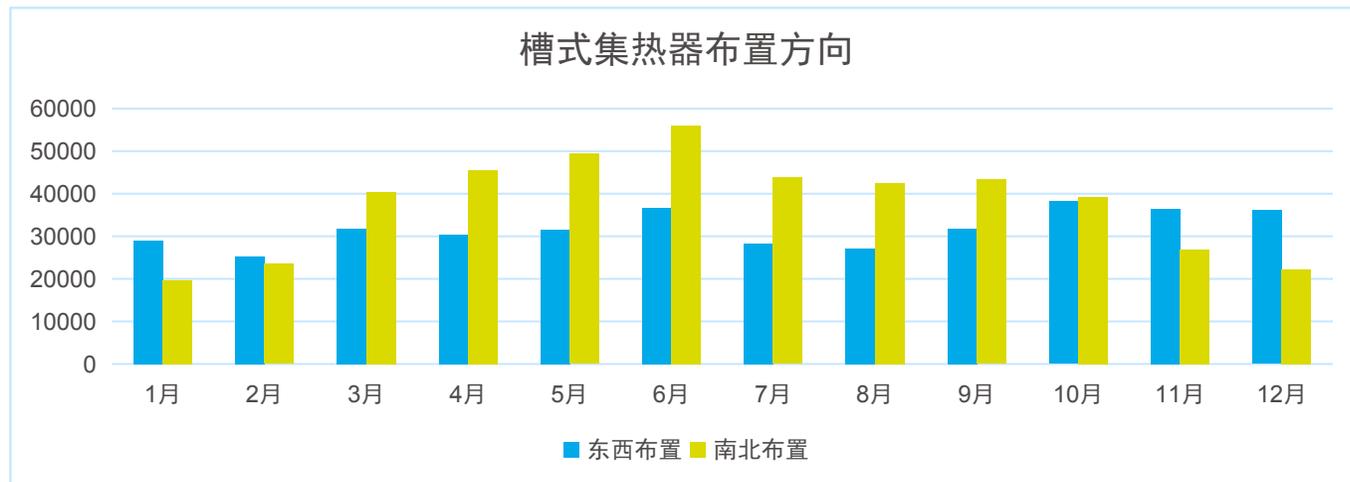
三、槽式技术发展关注要点

4. 镜场朝向布置

- 光热项目属性-电源型/多能互补
- 项目地纬度范围
- 项目地全年季风风向

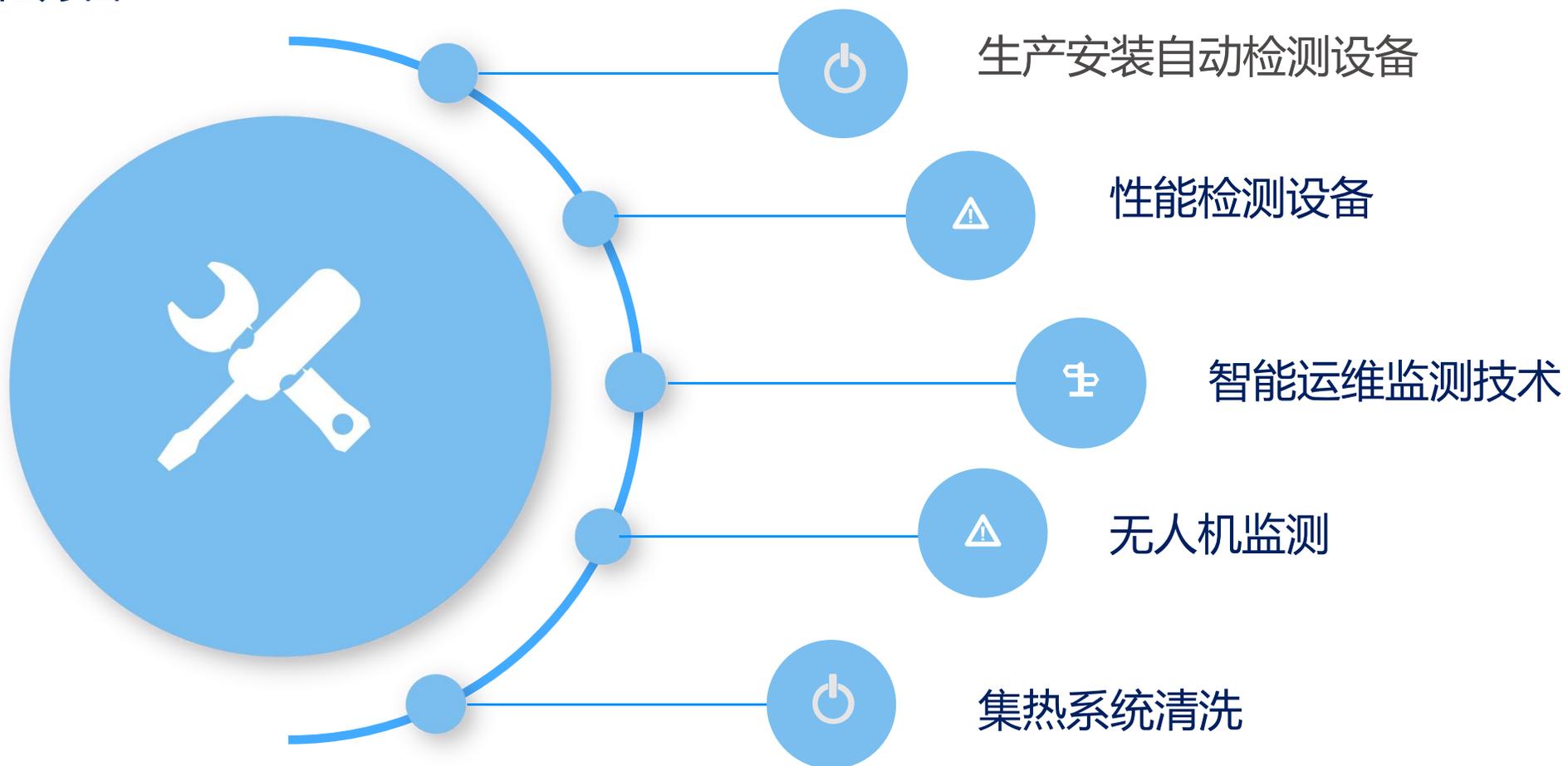
5. 全场管道布置

- 全场布置及场地占用
- 镜场性能与设备选型
- 综合运维成本与建设成本



三、槽式技术发展关注要点

6. 其他方面



谢谢

