

大规模调峰场景下槽式光热储能电站的 设计理念 and 方案



常州龙腾光热科技股份有限公司
卢智恒 博士
2023年2月 敦煌

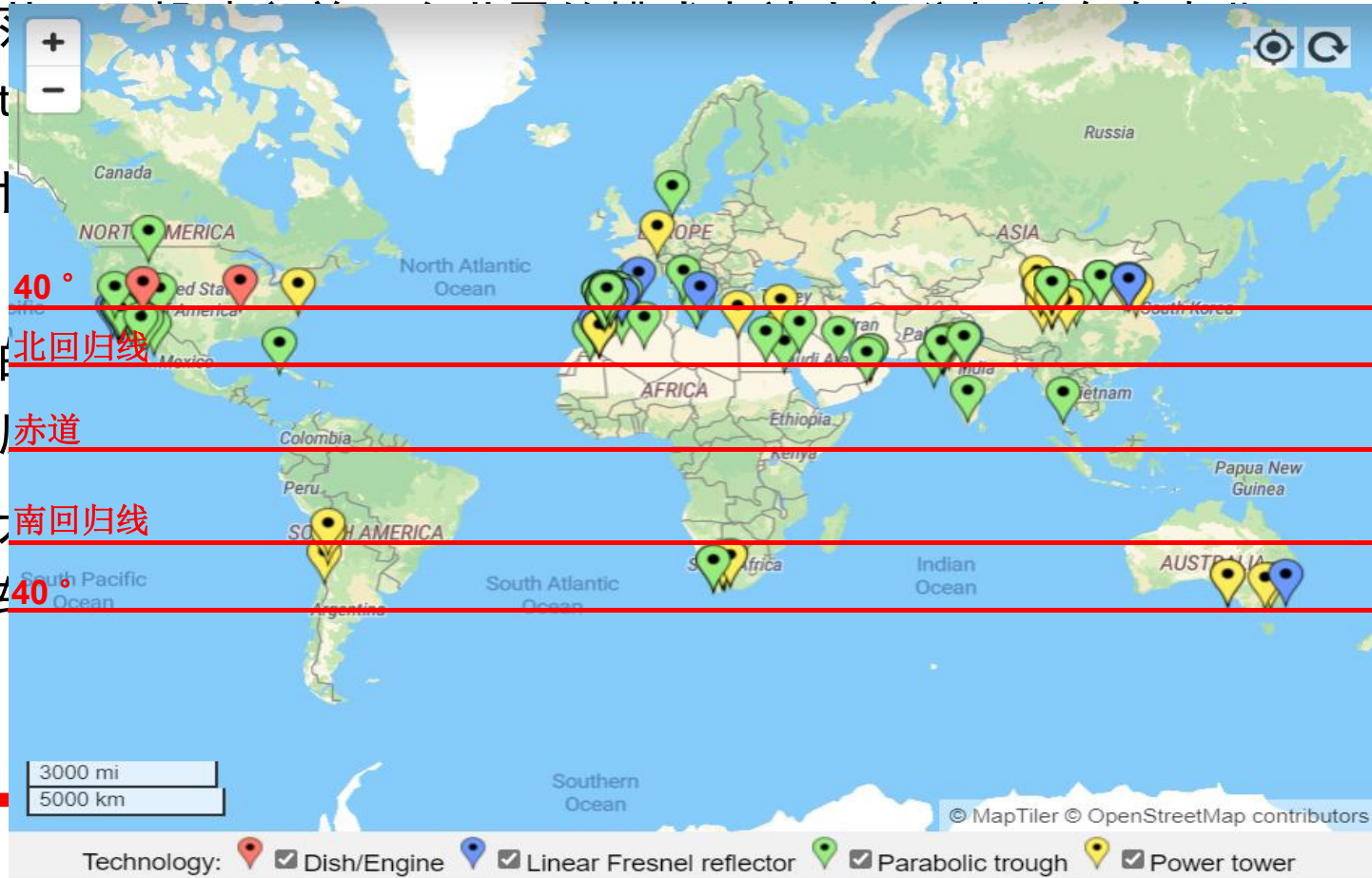
- 1. 问题的提出**
- 2. 重返问题的根源**
- 3. 具体计算示例及结果**
- 4. 超大单体槽式电站**
- 5. 公司及项目业绩介绍**



问题的提出

- 在中国的第一批光热示范电站位于北回归线之间的“Sun Belt”地区。
- 当中国示范项目加入到全球光热电站分布图中时，发现全球光热电站的分布并不均匀。
- 我国适合建设光热项目的地区主要处于 $35\sim 50^\circ$ 的较高纬度地区。
- 槽式技术是一维跟踪技术，集热器南北向布置，集热器绕南北轴旋转。
- 那么问题来了：

集热器一维跟踪技术



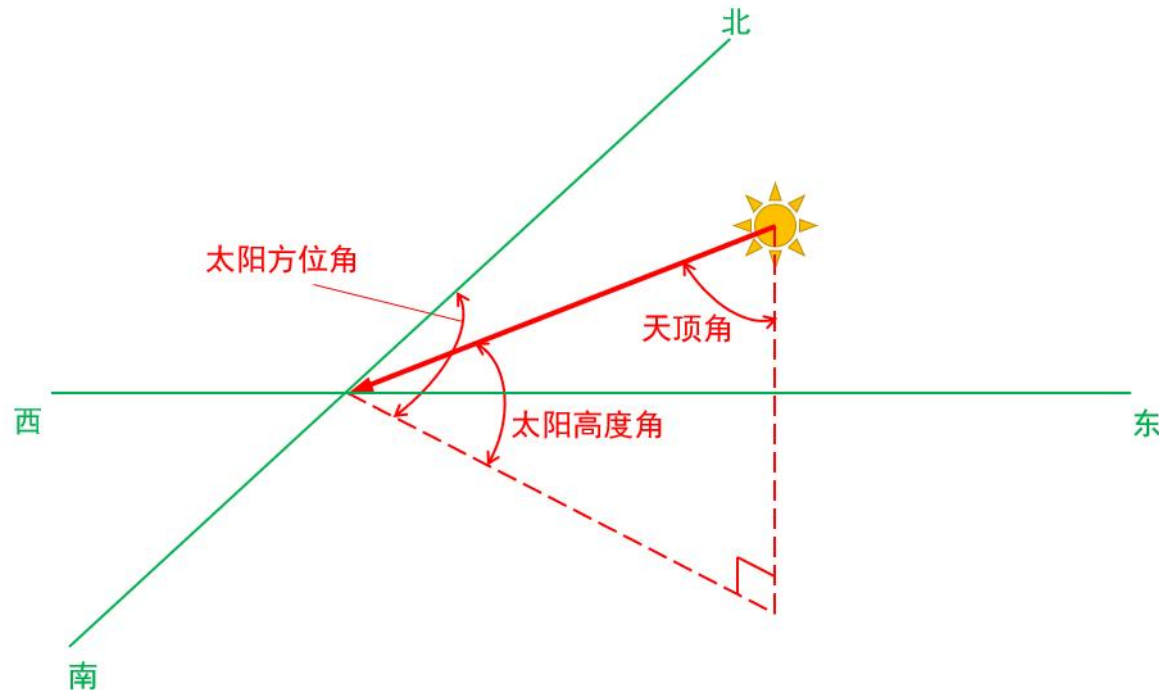
全球光热电站分布图(<https://www.solarpaces.org>)

1. 问题的提出
- 2. 重返问题的根源**
3. 具体计算示例及结果
4. 超大单体槽式电站
5. 公司及项目业绩介绍



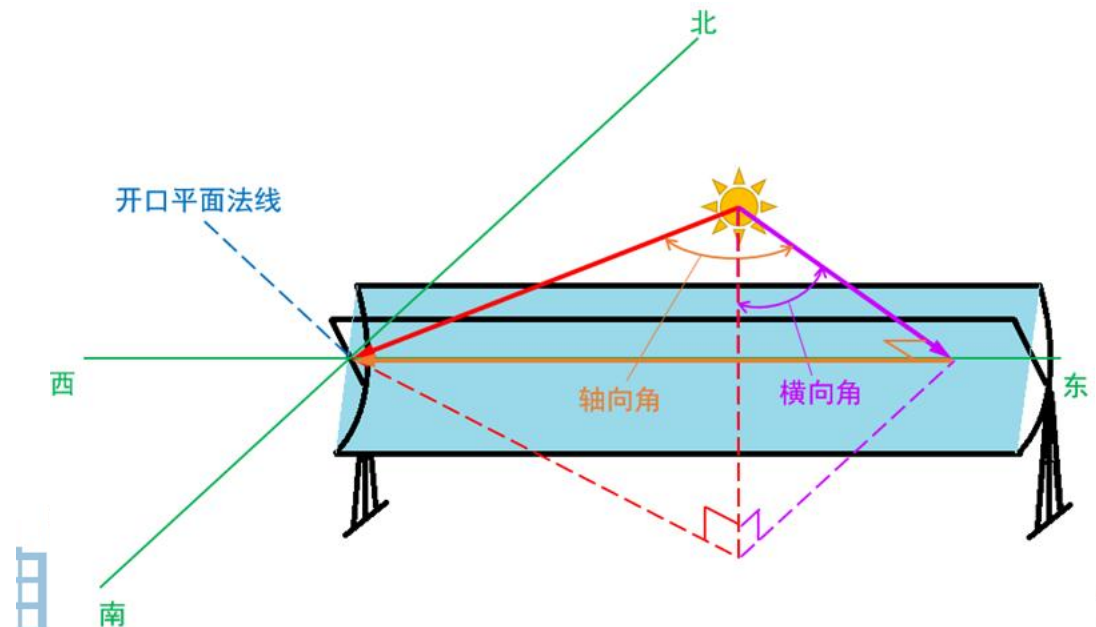
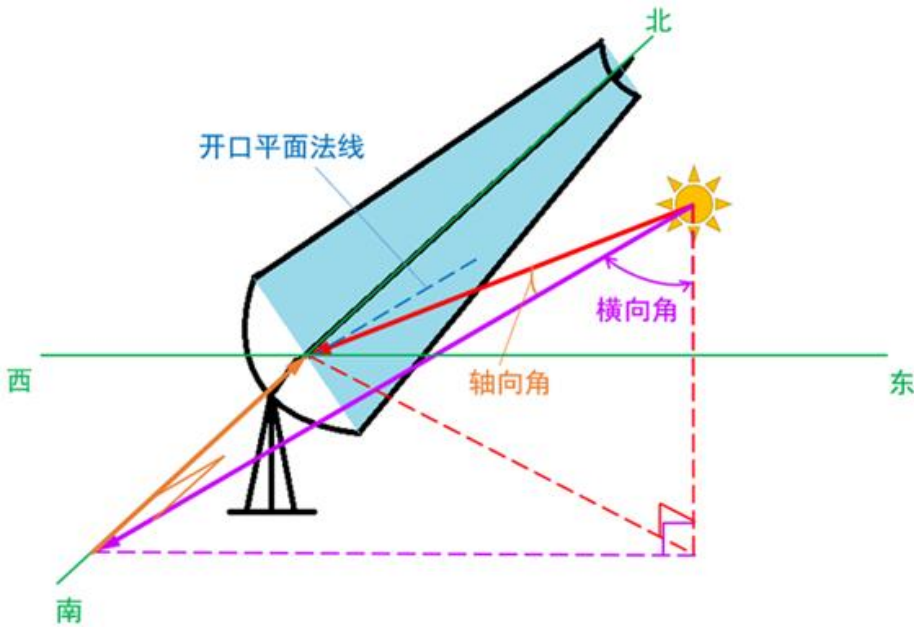
重返问题的根源：太阳角度

- 在地表上观察到的太阳位置，可用“方位角-天顶角”或“方位角-高度角”表示
- 方位角为 $0\sim 360^\circ$ ，正北为 0 ，顺时针方向增加。天顶角为 $0\sim 180^\circ$ ，白天时段为 $0\sim 90^\circ$ ，夜晚时段为 $90\sim 180^\circ$



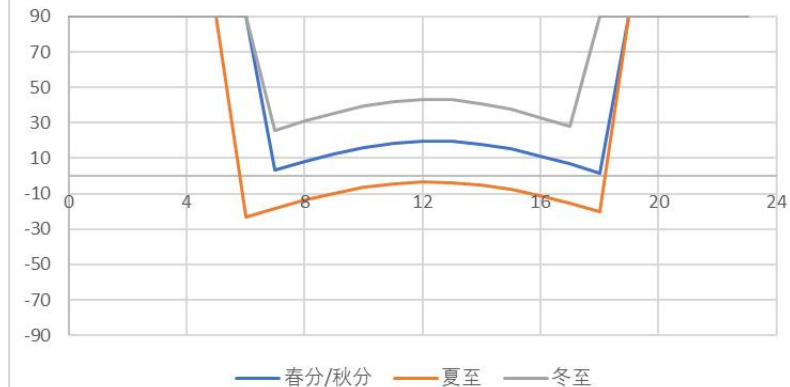
重返问题的根源：太阳角度的分解

- 当采用槽式集热器时，太阳角度可以分解为沿开口平面法线的方向（紫色矢量）和沿集热器轴线的方向（橙色矢量），前者称**横向角**，后者称**轴向角**。
- 由于集热器开口平面始终绕轴转动跟踪太阳，所以横向角不产生余弦效应，只有轴向角产生余弦效应，**轴向角即为入射角**。入射角的绝对值越大，余弦损失越大，反之亦然。

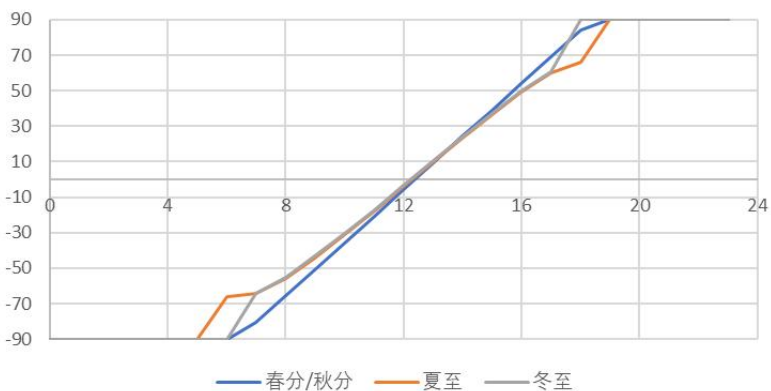


重返问题的根源：入射角的变化

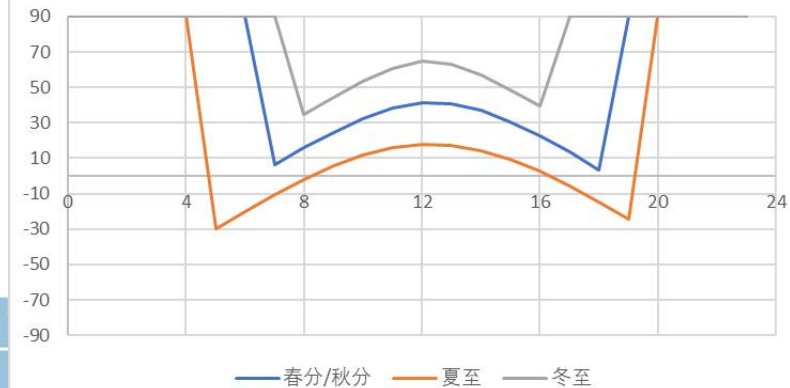
南北向, 纬度=20°



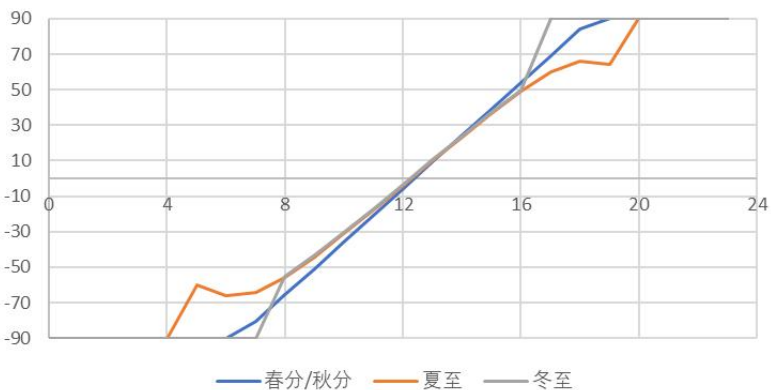
东西向, 纬度=20°



南北向, 纬度=41.5°

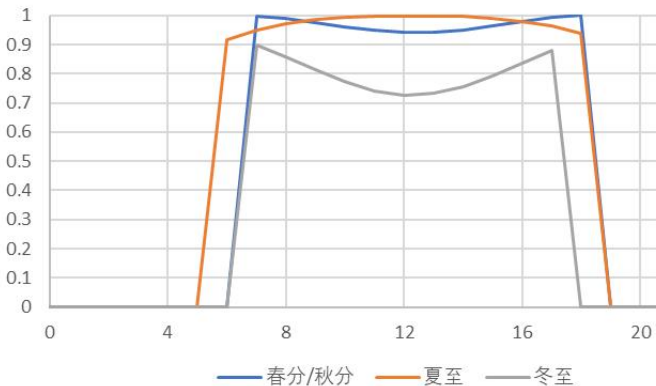


东西向, 纬度=41.5°

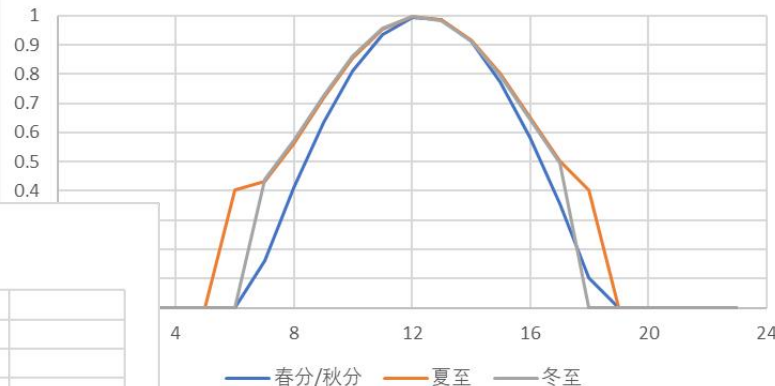


重返问题的根源：入射角余弦值的变化

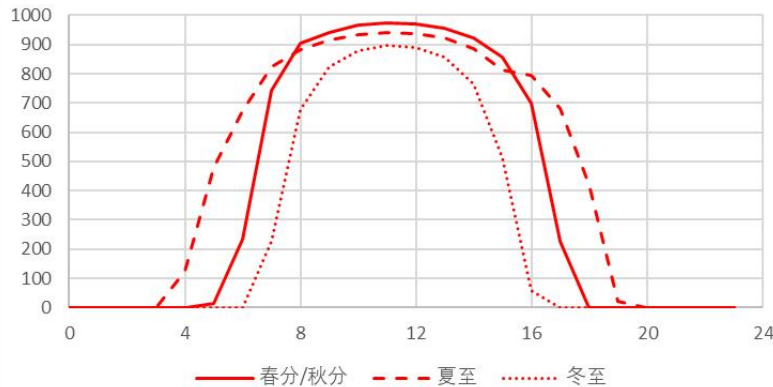
南北向, 纬度=20°



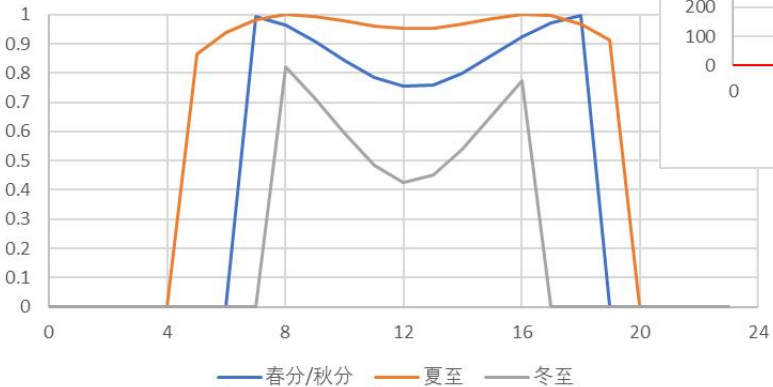
东西向, 纬度=20°



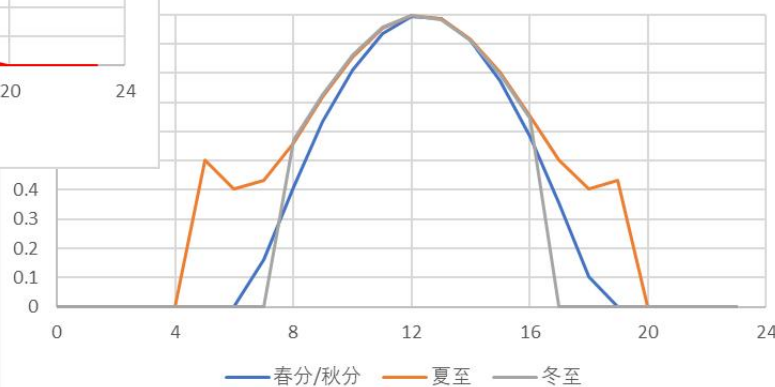
晴天DNI典型分布



南北向, 纬度=41.5°

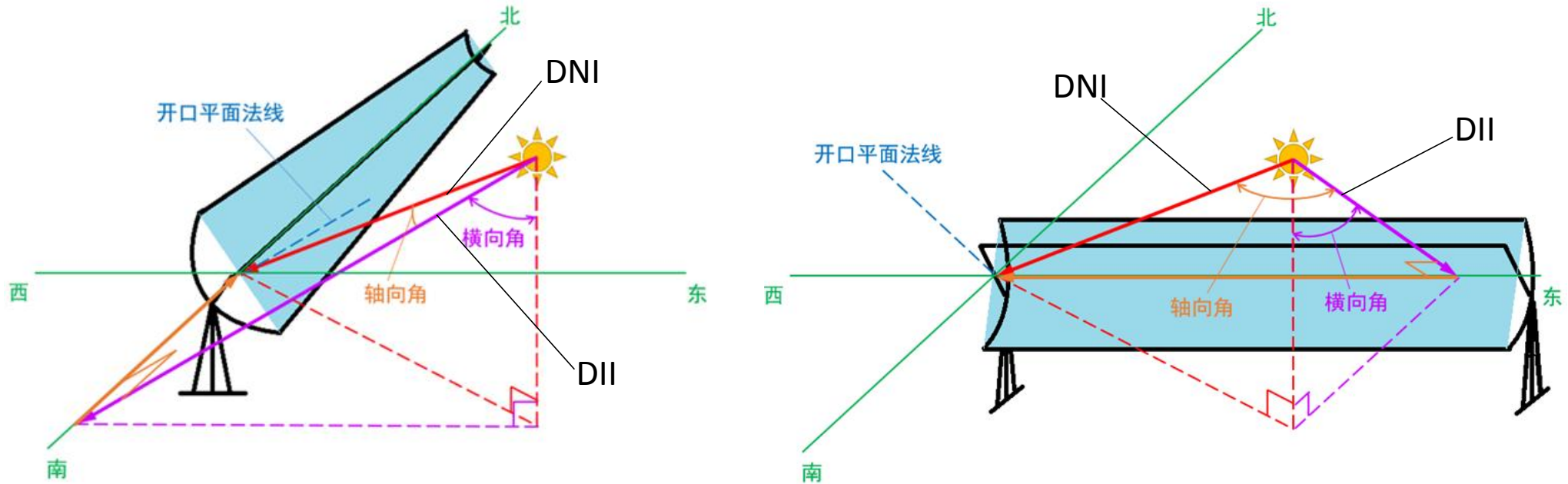


东西向, 纬度=41.5°



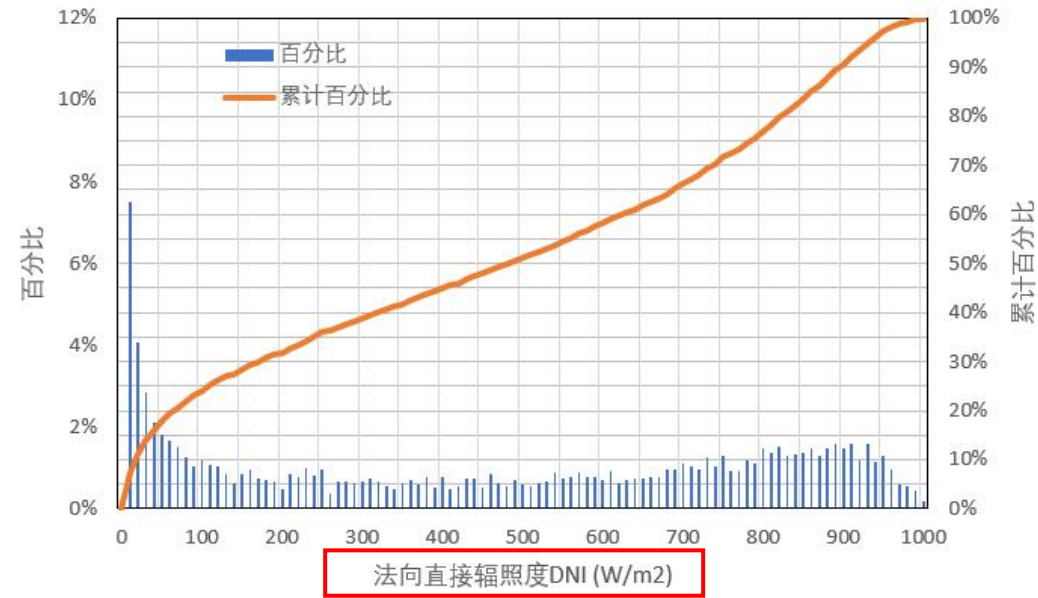
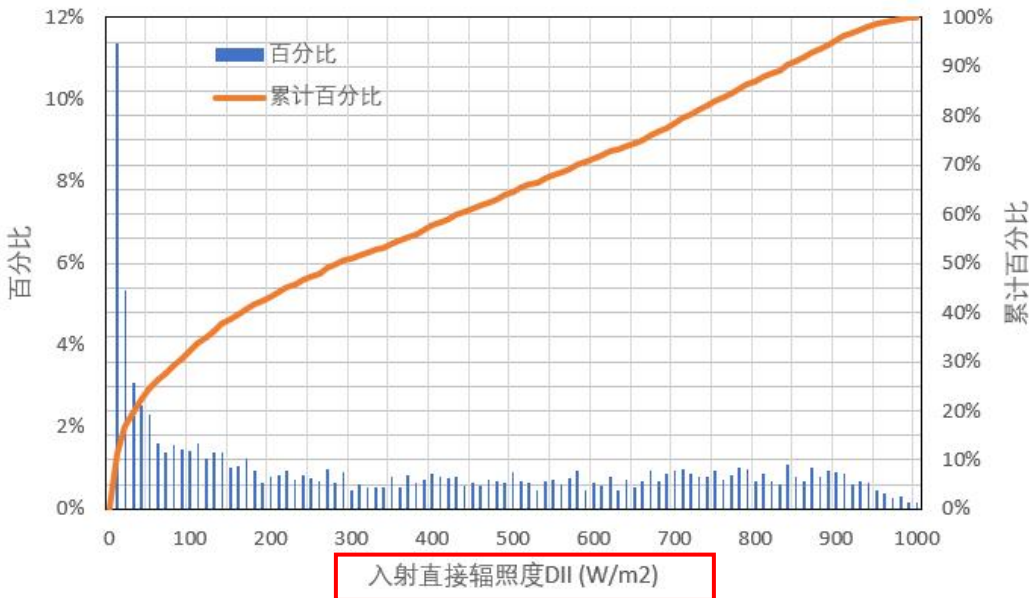
槽式电站新的设计参数：DII

- DII (Direct Incident Irradiance)，入射直接辐照度，是指法向直接辐照度DNI在垂直于跟踪太阳工作的槽式集热器开口平面方向上的分量，即下图中紫色线的分量。



槽式电站新的设计参数: DII

- 与DNI相比, DII能够更准确地描述出可以被槽式集热器有效利用的太阳能部分, 从而更直观地得出不同场址、不同集热器布置方向的太阳能资源优劣, 所以建议代替DNI作为槽式电站的设计分析参数。



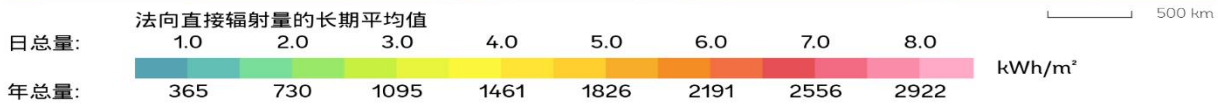
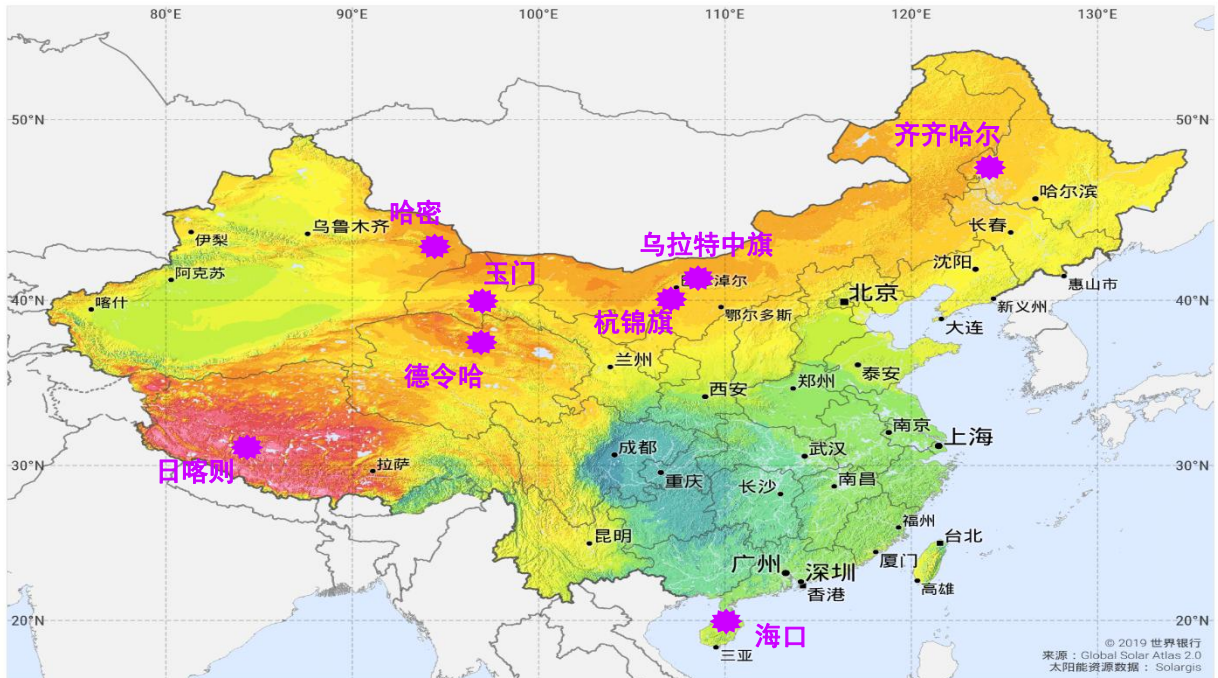
1. 问题的提出
2. 重返问题的根源
- 3. 具体计算示例及结果**
4. 超大单体槽式电站
5. 公司及项目业绩介绍



具体计算示例

太阳能资源地图

法向直接辐射量 中国



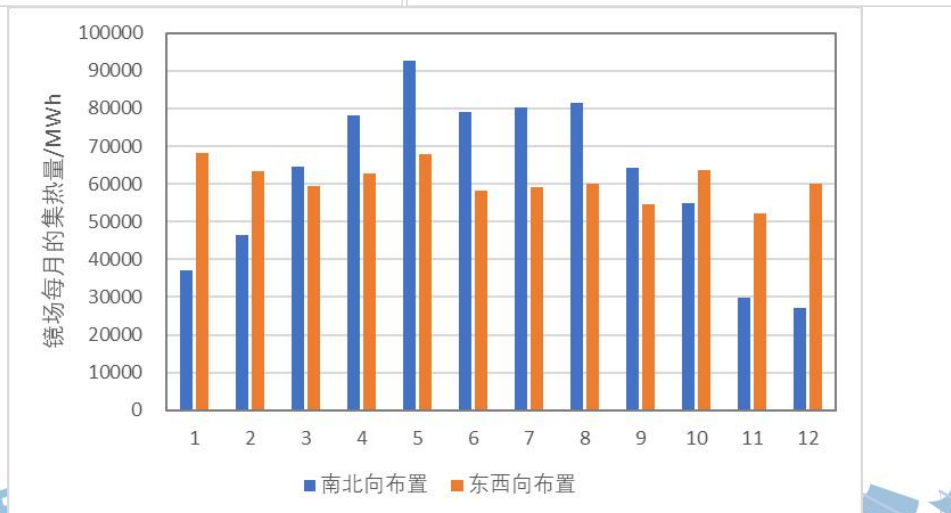
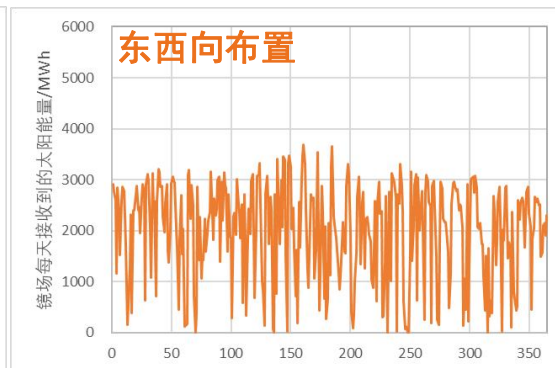
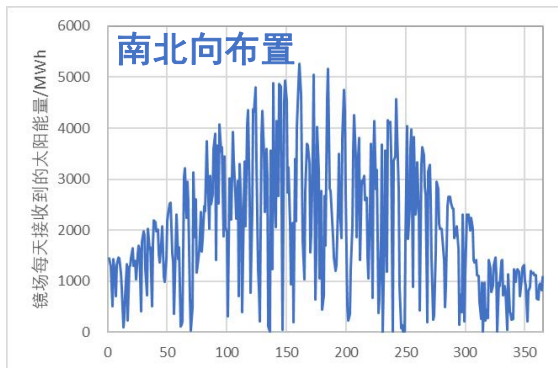
此地图由世界银行集团出版, 由ESMAP资助, 由Solargis制作。有关更多信息和使用条款, 请访问 <http://globalsolaratlas.info>。

地点	纬度	经度
海口	20.0° N	110.2° E
日喀则	31.3° N	84.1° E
德令哈	37.4° N	97.3° E
玉门	39.8° N	97.8° E
杭锦旗	40.3° N	107.0° E
乌拉特中旗	41.5° N	108.6° E
哈密	43.7° N	95.0° E
齐齐哈尔	47.4° N	124.1° E

计算结果——集热量的变化

- 纬度越低，南北向布置的年集热量优势越明显；纬度越高，东西向布置的年集热量优势越明显
- 东西向布置的集热量在全年各月分布更均匀

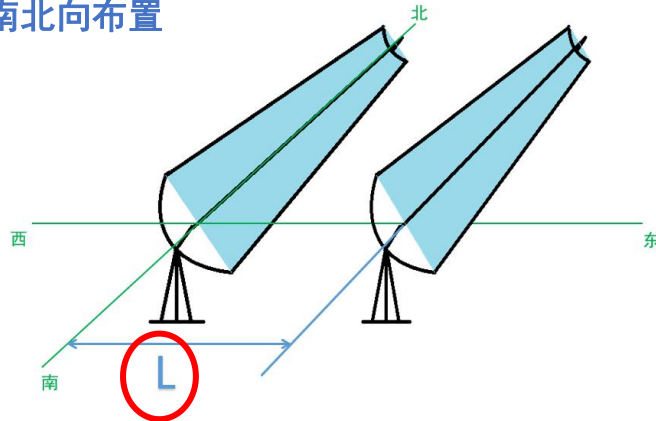
地点	纬度	南北向 年集热量 /GWh	东西向 年集热量 /GWh	与南北 向相比
海口	20.0° N	536	427	-20.3%
日喀则	31.3° N	950	830	-12.7%
德令哈	37.4° N	774	706	-8.8%
玉门	39.8° N	708	660	-6.9%
杭锦旗	40.3° N	704	680	-3.3%
乌拉特中旗	41.5° N	736	730	-0.8%
哈密	43.7° N	653	684	+4.8%
齐齐哈尔	47.4° N	590	627	+6.3%



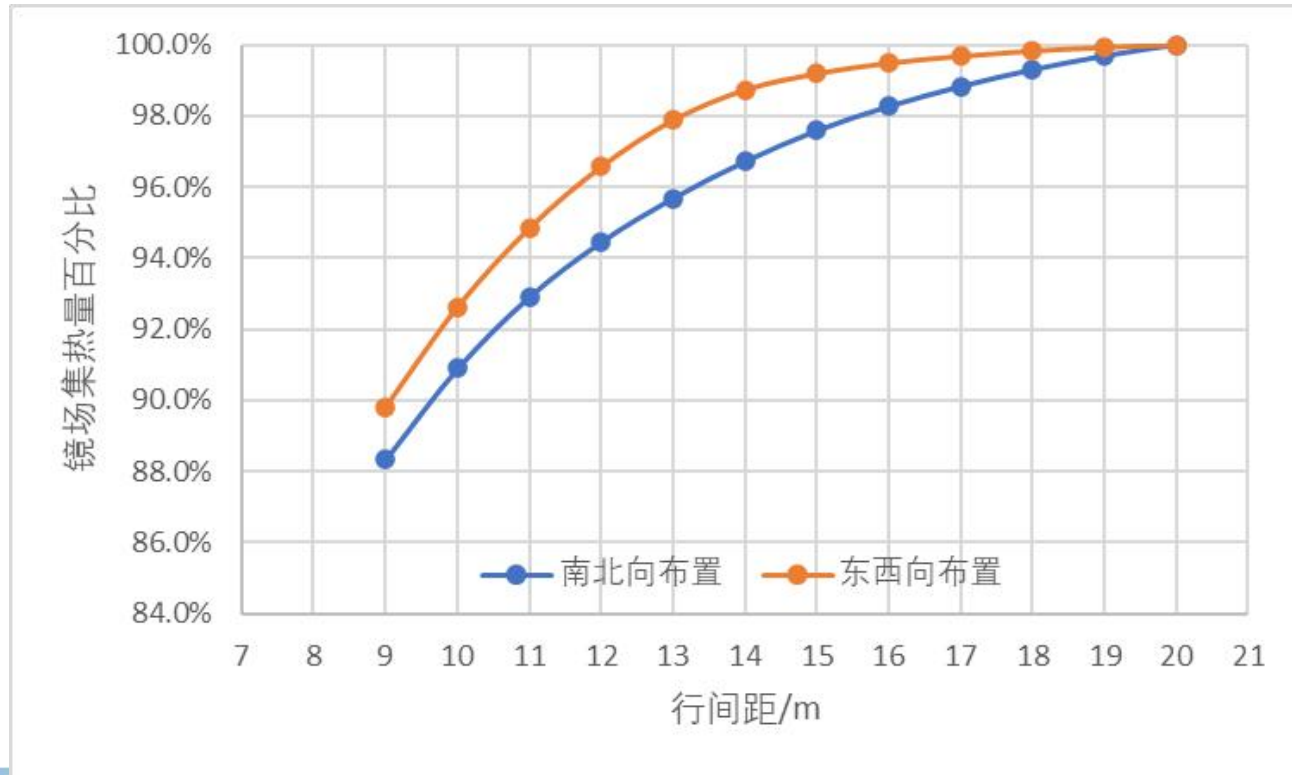
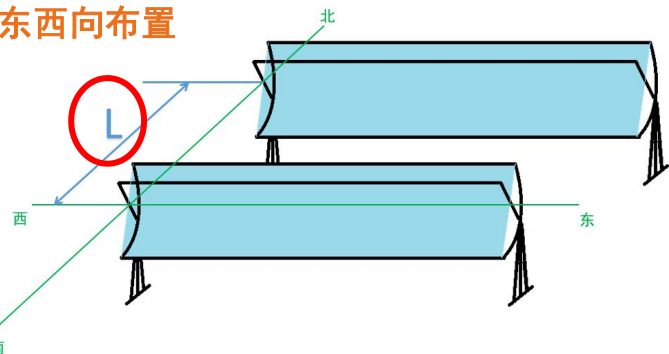
计算结果——行间距对集热量的影响

- 集热器沿东西向布置，行间距对镜场年集热量的影响，比南北向布置的变化更加平缓，意味着东西向布置的行间距有更灵活的调整空间，有利于节省占地，缩短管道长度

南北向布置

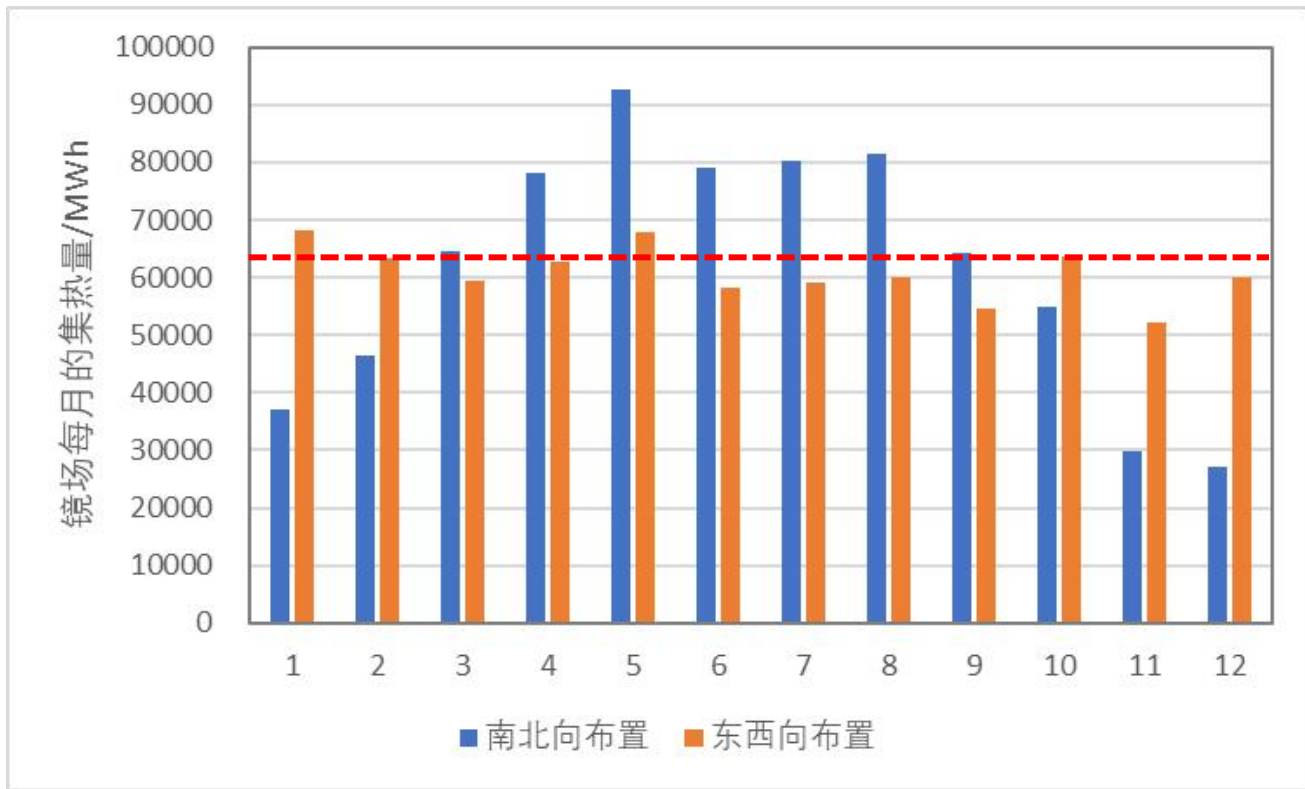
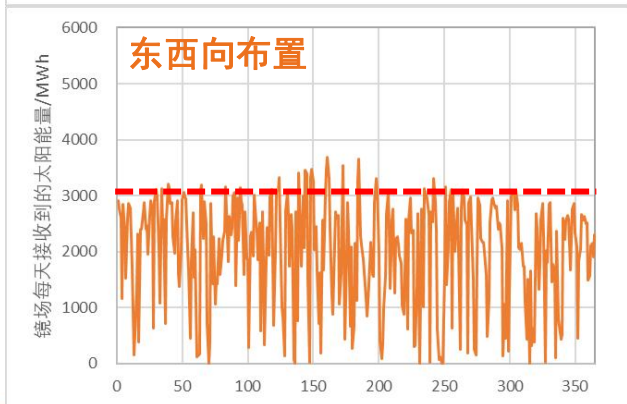
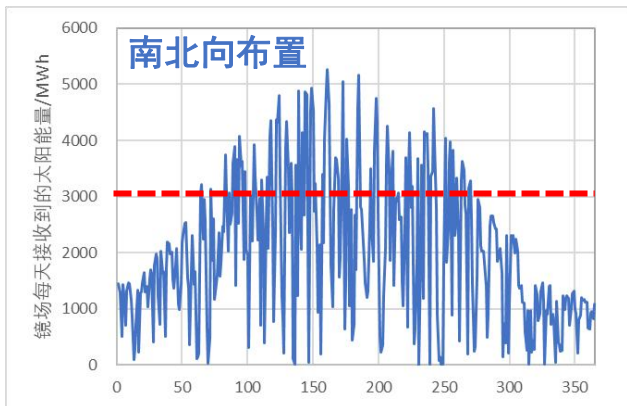


东西向布置



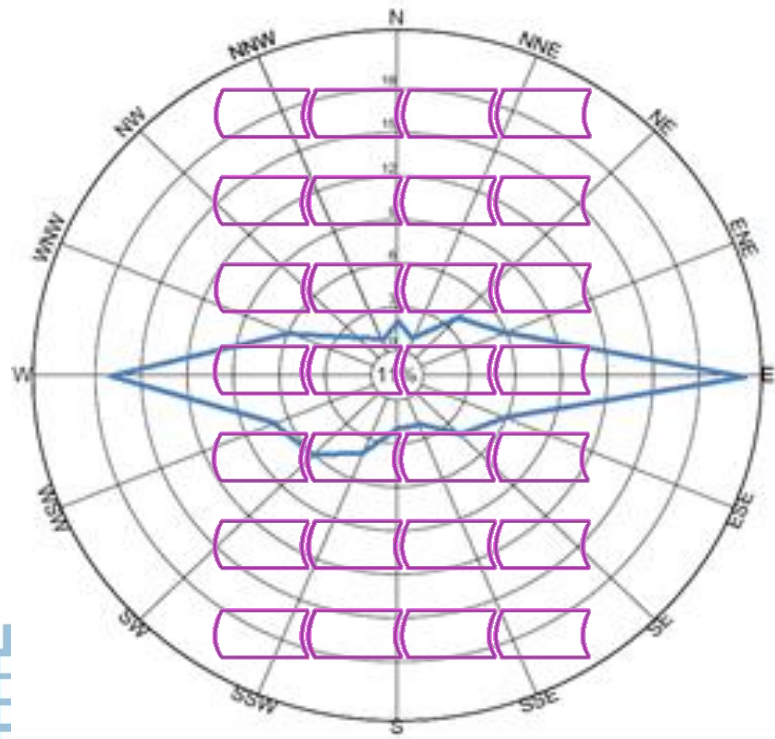
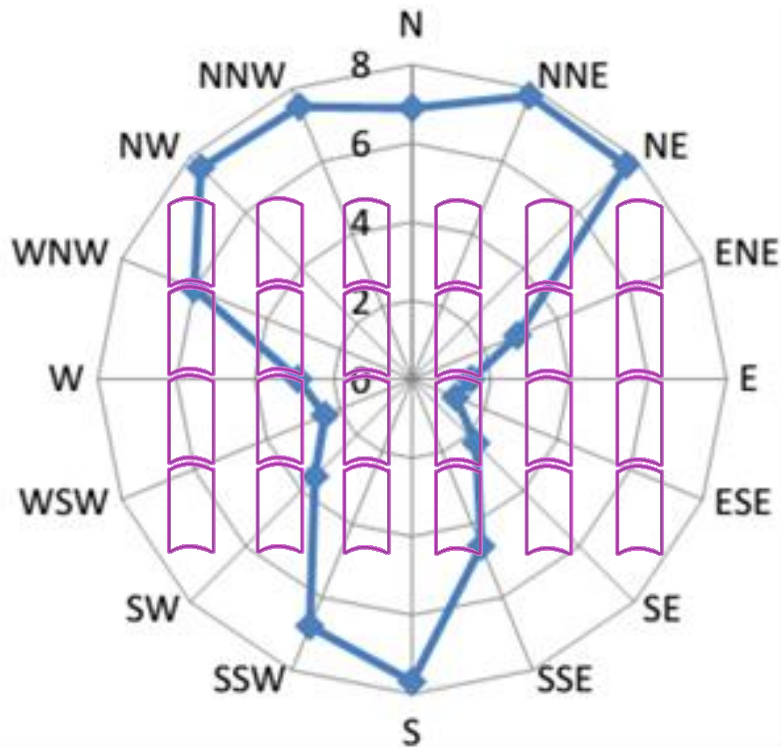
更深入的思考：电站设备利用率

- 东西向布置的集热量在全年各季节分布更均匀，除了减少季节性差异，平稳全年各月出力以外，还有利于提高设备在全年各月的利用率，减少弃光，提高全年发电量



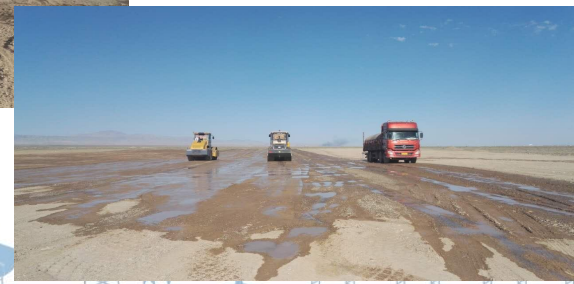
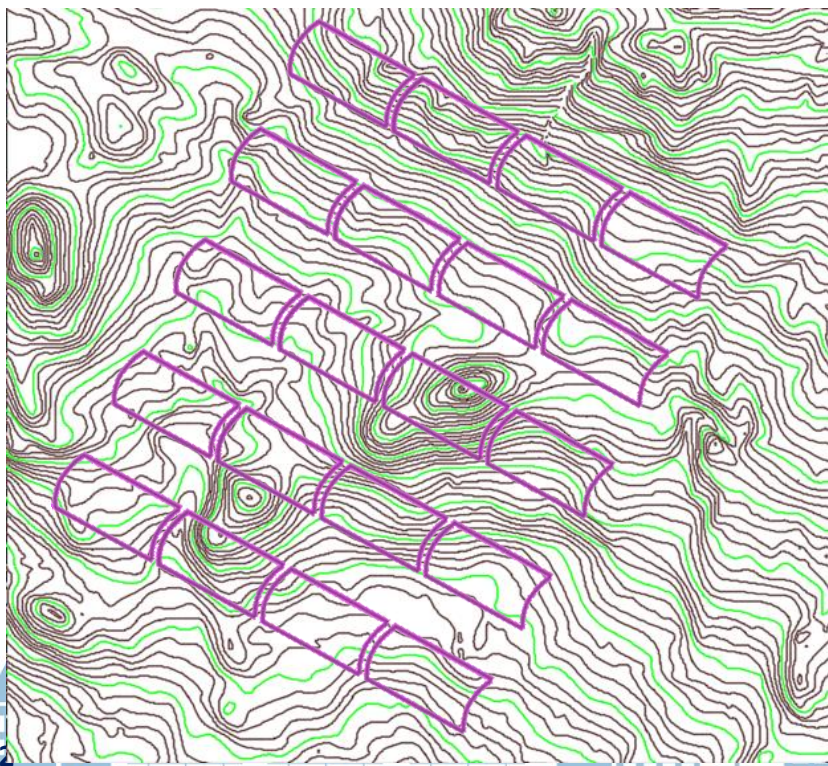
更深入的思考：与风玫瑰图的结合

- 风荷载是槽式集热器强度和刚度设计的主要影响因素，直接决定了集热器的钢材用量
- 将集热器的布置方向与项目场址的风玫瑰图综合考虑，分析全年主导风向和最大风速风向，有利于合理选取集热器上的设计风荷载，减少集热器的钢材用量，降低项目初投资



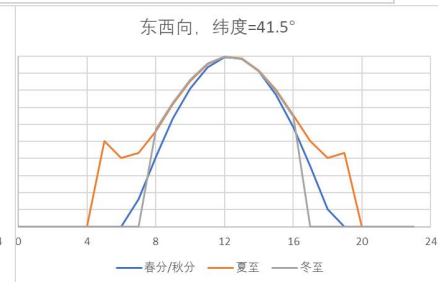
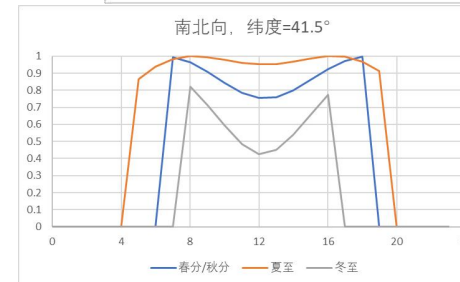
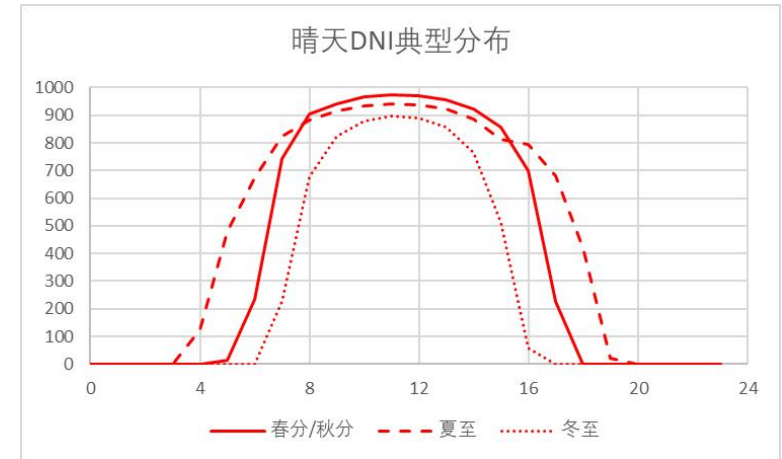
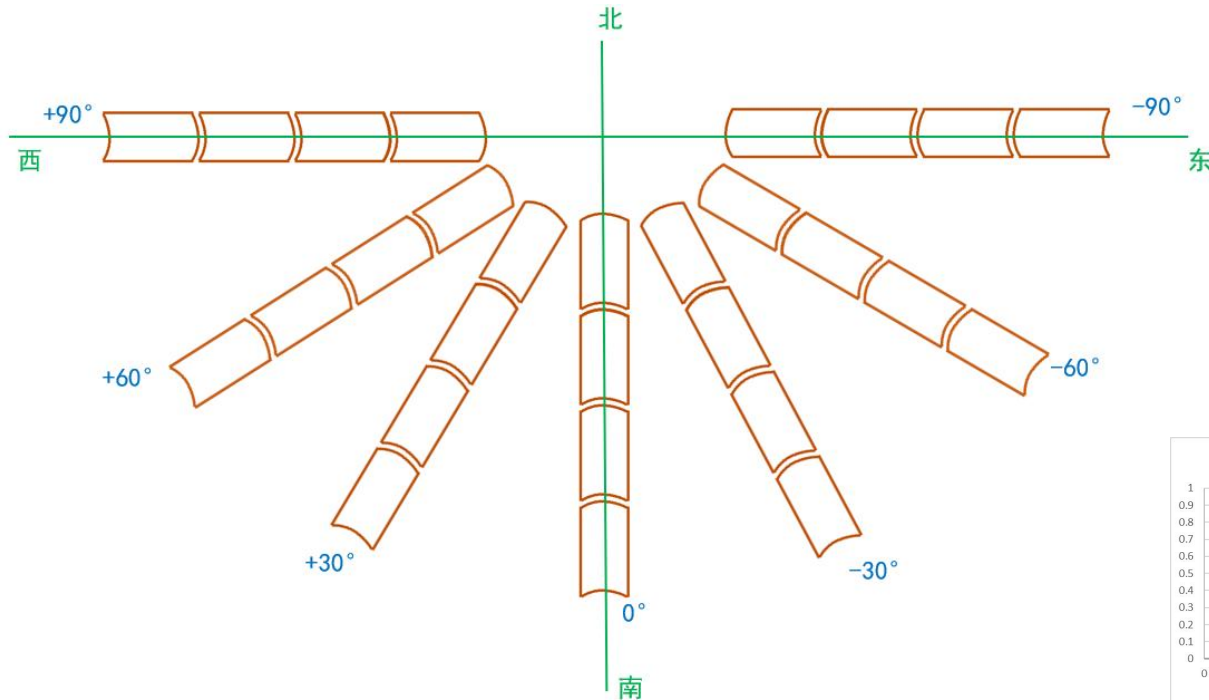
更深入的思考：与自然地形的结合

- 槽式技术对集热器轴线方向上的场地坡度有严格要求（约 $1-2^\circ$ ），而在垂直于轴线方向上的容忍度较高，可跟随自然地形坡度。将集热器的布置方向与项目场址的自然地形综合考虑，合理选取集热器轴线的走向，有利于减少场地平整时的土石方工程量，降低项目初投资



更深入的思考：任意布置角度

- 事实上并不限制集热器必须只能沿东西向、南北向布置，集热器实际上可以沿任意角度布置。但前提是，必须有该项目场址可靠的TMY数据序列。沿某一角度布置的集热器，按照角度关系将得到DII后，即进行统计分析，得到电站的设计辐照度和全年集热量/发电量结果



更深入的思考：任意布置角度

地点	纬度	+/-90° 东西向	-80°	-60°	-40°	-20°	0° 南北向	+20°	+40°	+60°	+80°
海口	20.0 ° N	-20.3%	-20.0%	-15.4%	-8.1%	-2.4%	-	-1.4%	-6.4%	-13.9%	-19.3%
日喀则	31.3 ° N	-12.7%	-11.4%	-7.7%	-3.2%	-0.3%	-	-2.9%	-7.8%	-12.2%	-13.3%
德令哈	37.4 ° N	-8.8%	-8.5%	-6.6%	-3.1%	-0.2%	-	-1.3%	-4.4%	-7.6%	-8.9%
玉门	39.8 ° N	-6.9%	-6.6%	-5.1%	-3.0%	-0.9%	-	-0.6%	-3.0%	-5.5%	-6.7%
杭锦旗	40.3 ° N	-3.3%	-3.5%	-3.4%	-2.3%	-0.6%	-	-0.7%	-2.2%	-3.2%	-3.2%
乌拉特中旗	41.5 ° N	-0.8%	-0.8%	-1.1%	-0.6%	+0.2%	-	-0.6%	-1.6%	-1.8%	-1.2%
哈密	43.7 ° N	+4.8%	+6.0%	+6.5%	+5.1%	+2.6%	-	-1.9%	-2.4%	-0.4%	+3.5%
齐齐哈尔	47.4 ° N	+6.3%	+6.0%	+3.9%	+1.6%	+0.1%	-	+0.3%	+1.1%	+3.5%	+6.2%

1. 问题的提出
2. 重返问题的根源
3. 具体计算示例及结果
- 4. 超大单体槽式电站**
5. 公司及项目业绩介绍



超大单体槽式电站

- 细数目前全球已投运的大型槽式电站：

- ✓ 全球最大槽式电站Solana，装机规模280MW，储热时长6小时，镜场面积220万平米，采用5.75m开口的E2集热器，由两台140MW汽轮机并联运行组成，调度方式为全时段能发尽发；
- ✓ 摩洛哥Noor2槽式电站，装机规模200MW，储热时长7小时，镜场面积178万平米，采用6.87m开口的SenerTrough2集热器，单台200MW汽轮机组，调度方式为全时段能发尽发；
- ✓ 迪拜Noor Energy一号槽式电站PT1，装机规模200MW，储热时长12小时，镜场面积250万平米，采用8.2m开口的SpaceTube集热器，单台200MW汽轮机组，调度方式为全时段能发尽发

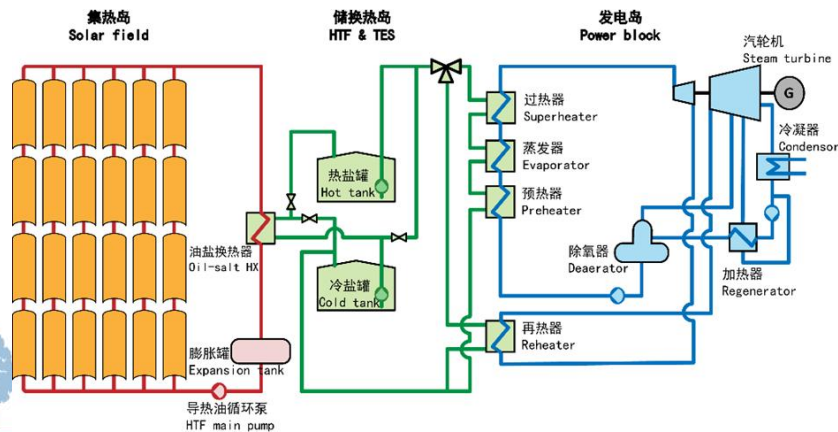
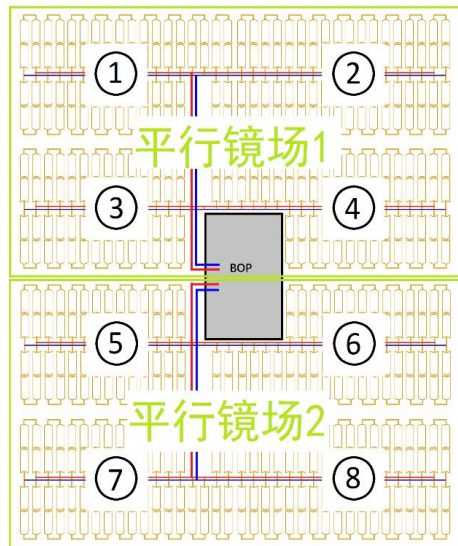
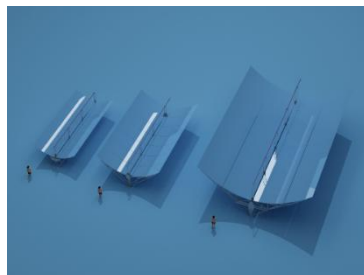
- 那么问题又来了：

单个槽式电站最大可以做到多大？



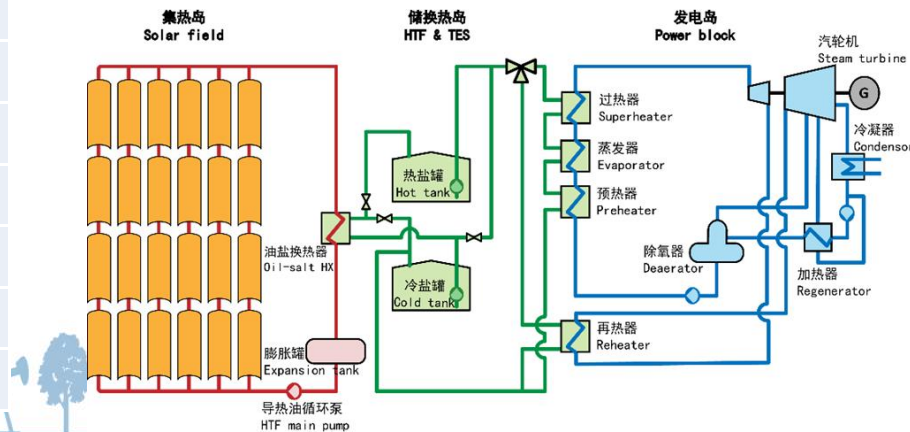
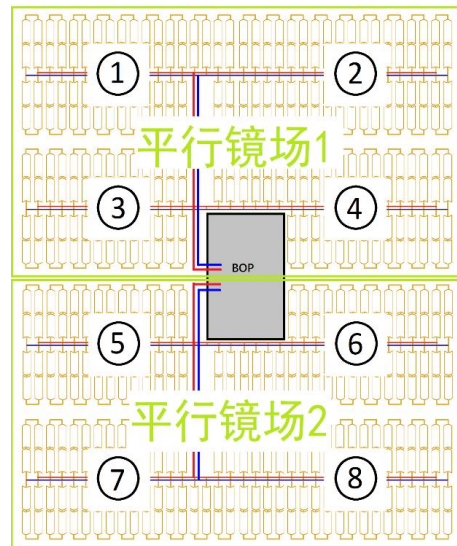
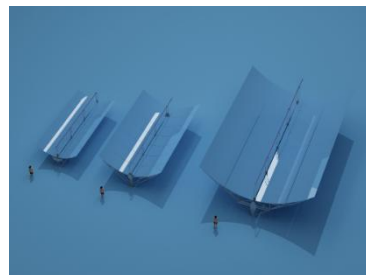
超大单体槽式调峰电站的设计理念

- 电站定位：在光热与光伏、风电互补的新能源大基地，光热机组主要用于替代火电支撑晚高峰
- 调度方式：覆盖晚高峰。典型的运行流程为：白天光热电站只储热，不出力，让峰光伏。下午约4点启动光热机组迅速达到满负荷，一直连续运行6-7个小时，直至晚上约11点。之后机组负荷逐步降至零，脱网不出力，保持旋转备用状态，直到次日下午，如此反复
- 采用8.6m大开口槽式集热器，东西向布置，尽可能消除镜场出力的季节性差异；采用新一代宽温硅油作为传热工质，避免防凝需求；采用槽式解耦流程工艺，满足“白天集热、晚间发电”的灵活调度要求
- 采用“平行镜场”设计理念，规避现有加工技术中已知的尺寸限制
- 以乌拉特中旗气象数据作为设计输入气象数据



600MW单体槽式调峰电站的设计方案

场址	内蒙乌拉特中旗海流图
经纬度	41.511°N/108.584°E
年法向直接辐照量/kWh/m ²	2062
单体电站装机规模	600 MW
集热器	大槽/开口8.6m
集热器轴线布置方向	东西向
集热器间距/m	19
镜场峰值光学效率	79.10%
集热面积/m ²	385万
占地面积/亩	15000
传热介质	新一代宽温硅基导热油
运行温度/°C	290/425
储热容量/MWh	12000
储热时长/h	8
覆盖晚高峰调度方式下的年利用小时数/h	1703
全年晚高峰（按6.5小时/天计）覆盖率	72%



- 南北向布置并非是槽式电站的唯一布置方式，设计时应比选不同布置角度的方案。
- DNI能够更准确地描述被槽式集热器有效利用的太阳能部分，建议代替DNI作为槽式电站的设计分析参数。
- 对于高纬度地区，应优先考虑采用东西向布置方案，除了增加年集热总量以外，还可以减少电站的季节性出力差异，提高设备利用率。
- 通过改变槽式电站集热器的布置方向，还可以在缩减行间距以减少占地、结合场地风玫瑰图减少集热器用钢量、考虑自然地形以减少土石方量等方面，对槽式电站的设计进行深入优化。
- 考虑当前技术的可行性，通过采用大开口集热器、东西向布置、新一代宽温硅油、解耦流程工艺、平行镜场等新型设计理念，定位为替代火电支撑晚高峰的槽式调峰光热电站，单体规模目前最大可以达到600 MW。

1. 问题的提出
2. 重返问题的根源
3. 具体计算示例及结果
4. 超大单体槽式电站
- 5. 公司及项目业绩介绍**



● 企业文化

➤ 使命

通过不断技术创新实现光热发电降本增效，推动光热技术的商业化应用与产业发展，为全球节能环保创造更多价值。

➤ 愿景

依托持续的技术创新与核心装备产业优势，成为拥有全球竞争力的光热发电整体解决方案提供商。

➤ 价值观

专注研发 追求卓越
服务客户 创造价值

➤ 主营业务



真空集热管



槽式集热器



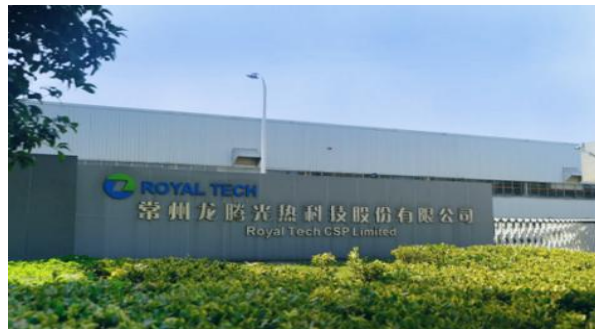
分布式光热

● 公司概况

常州龙腾光热科技股份有限公司成立于2009年，专业致力于太阳能光热发电技术与装备的研发应用，业务涵盖高温真空集热管的生产与销售，聚光集热系统集成，及分布式太阳能冷热电联供系统的解决方案。

龙腾光热作为国内最早进入光热领域的行业开拓者之一，自成立以来始终坚持集热管和集热系统的核心技术的研发与产业化。不仅实现了国产集热管再海外商业电站的首次应用，也凭借一系列的核心技术具备了在全球大规模部署聚光集热系统的能力。

龙腾光热还将通过持续不断地研发、创新和产业化，推动光热发电项目与分布式热利用项目的降本增效，将可靠、稳定、低成本的清洁能源输往全球，助力实现“2030碳达峰2060碳中和”的目标。



● 企业资质&获奖荣誉



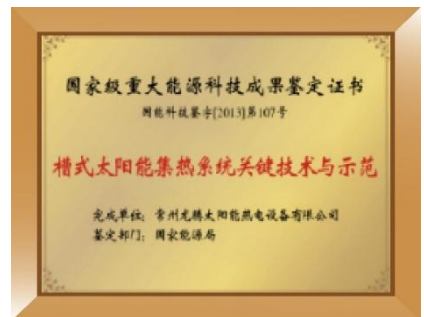
江苏省科技型中小企业



江苏省太阳能光热发电工程中心



江苏省研究生工作站



2013年，获得国家能源局颁发
“国家级重大能源科技成果”



2014年获得国家科技部颁发“国家火炬计划产业化示范项目”



2019年荣获“苏南国家自主创新示范区潜在独角兽企业”

公司介绍



● 企业资质&获奖荣誉



2016年两个电站项目入选国家首批光热电站项目



江苏省高新技术企业证书



2017年荣获“SolarPACES 2017”技术创新奖



公司介绍

● 研发体系

28 项发明专利

30 实用新型专利



德国宇航中心DLR

全球最权威的集热管
检测实验室QUARZ

德国



德国SBP

光热行业全球业绩领先的结
构设计公司

西班牙



德国 Fraunhofer ISE

全球权威的涂层
光学检测实验室



西班牙CIEMAT&PSA

全球领先的光热技术
示范与检测机构



巴彦淖尔光热储能科创

内蒙古光热发电装备制造集群



乌拉特100MW光热电站

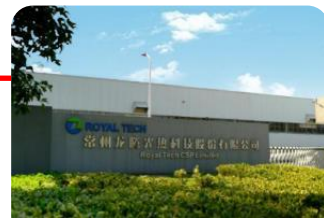
槽式导热油光热电站项目

中国



中科院电工所 IEECAS

新能源技术及新型电力技术
专业研究所先进涂层研发中心



江苏常州制造中

心集热管生产基地

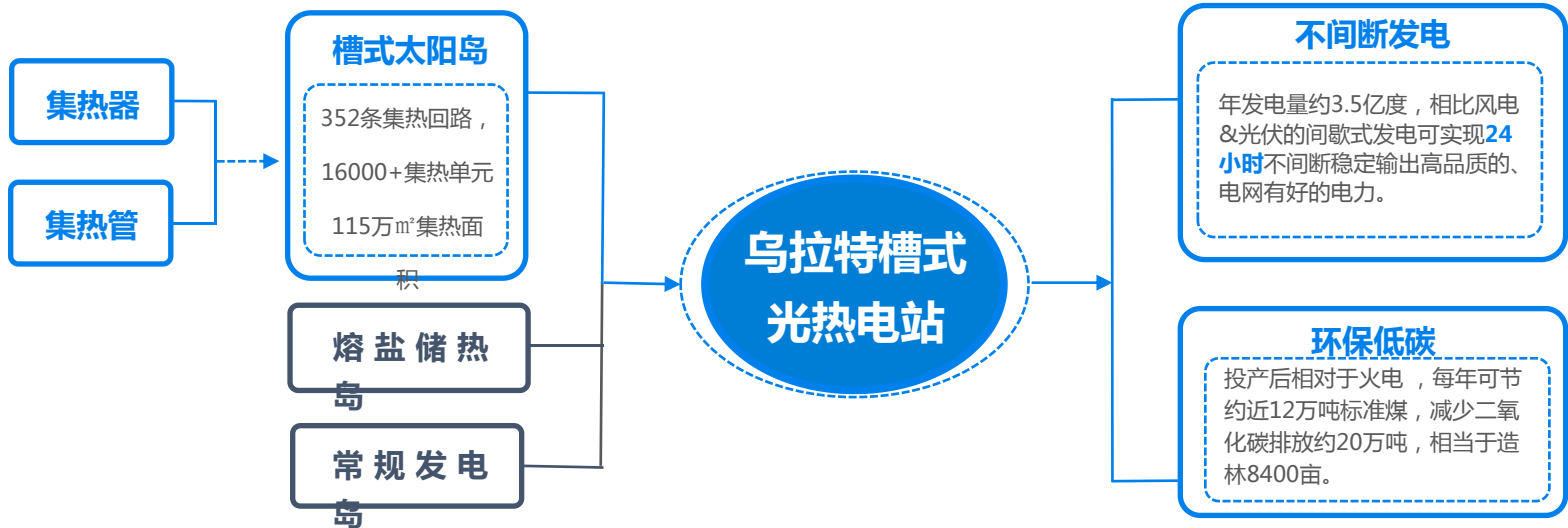


中科院宁波材料研究所

共建先进涂层研发中心

项目介绍-乌拉特100MW槽式光热项目

● 项目规模



该项目采用龙腾光热核心技术和装备，实现了中国槽式光热电站领域的首次国产化替代，性能指标达到国际先进水平，也成为国内同纬度下第一个满负荷发电的光热项目。圆满完成了国家主管部门的示范目标。

项目介绍-乌拉特100MW槽式光热项目

● 项目大事件

2018年6月，
项目正式破土动工。

2018

2019年12月31
日，汽轮机一次
冲转成功。

2019

11月，拦截率（最关键光学指标）经欧洲第三方权威实验室检测，达到98%（目前国际水平为97%）。

2019

2020

2020年1月8日，
首次实现并网发电。

2020年12月16日，
该项目实现满负荷
发电。

2020

目前

持续商业运行中.....



项目介绍-乌拉特100MW槽式光热项目

● 项目发电情况

- 截至2023年1月底，已累计发电约**5.5亿度**；
2022年2月至2023年1月连续12个月内，电站累计发电量3.2亿度；
- 2022年6月4日-15日，在6天多云的情况下，实现纯光热连续发电（无中间停机）12天，在这12天连续运行期间，共发电**2232万度**，最高发电功率达**105.54MW**；
- 2022年6月5日，机组达到单日最高发电量**219.2万度**，全天平均负荷**91.72MW**；
- 12天内连续240小时运行最高发电量达到1946.4万千瓦时，平均每天发电量高达**194.6万度**。

日期	天气	发电量
6.4	晴	1544
6.5	晴	2192
6.6	多云~晴	1928
6.7	晴~多云	2056
6.8	多云~晴	1752
6.9	多云~晴	2088
6.10	多云	1928
6.11	晴	1920
6.12	晴	1784
6.13	晴	1736
6.14	晴	2080
6.15	多云~晴	1312

专注研发 追求卓越
成就员工 创造价值



感谢聆听！

常州龙腾光热科技股份有限公司
Royal Tech CSP Limited

地址：江苏省常州市武进区牛塘镇虹光路12号
NO.12 Hongguang Road, Wujin District,
Changzhou City, Jiangsu Province, China

<http://www.royalcsp.com>

Tel:0519-69695673



光热利用方案咨询 胡先生
邮箱: joey.hu@royalcsp.com



真空集热管 徐先生
邮箱: xujunjie@royalcsp.com



供应链 霍先生
邮箱: lisen.huo@royalcsp.com