

定日镜设计制造及质量控制技术研究

东方电气集团东方锅炉股份有限公司

2024.09

目 录
CONTENT

01

定日镜设计综述

02

定日镜制造技术

03

定日镜的质量控制技术

04

东方锅炉光热产业概况

1

定日镜设计综述

定日镜的功能需求

镜场集热量跟定日镜的各项性能参数相关

Requirement

$$P_{th} = DNI \cdot \eta_{het} \cdot A_{hel} \cdot \eta_{field} \cdot \eta_{general} \cdot \eta_{additional}$$

$$\eta_{general} = \eta_{reflectivity} \cdot \eta_{field\ availability} \cdot \eta_{cleanliness} \cdot \eta_{mirror\ area\ ratio: net/gross}$$

$$\eta_{field, optical} = \eta_{cosine} \cdot \eta_{shading} \cdot \eta_{tower\ shading} \cdot \eta_{blocking} \cdot \eta_{atmospheric\ attenuation} \cdot \eta_{spillage}$$

$$\eta_{additional} = \eta_{range\ of\ motion} \cdot \eta_{wind} \cdot \eta_{flux} \cdot \eta_{load}$$

反射镜需要在可见光波段有着高反射率


反射


聚光

面型精度高，一般要求面型精度优于1.7mrad，运行风速下优于3.6mrad

跟踪精度高，经过校正后要优于2mrad


跟踪


抗风

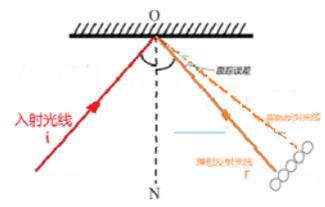
抗风性能好，刚度高，疲劳强度合格

全生命周期内维护工作量低

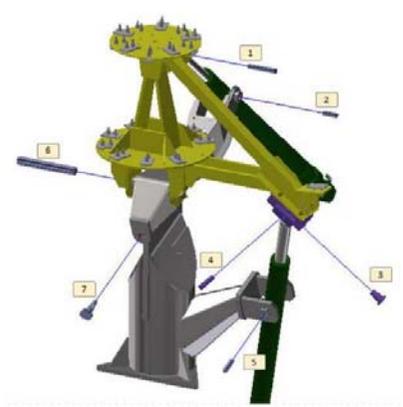

运维


经济

经济耐用，结构钢材耗量少

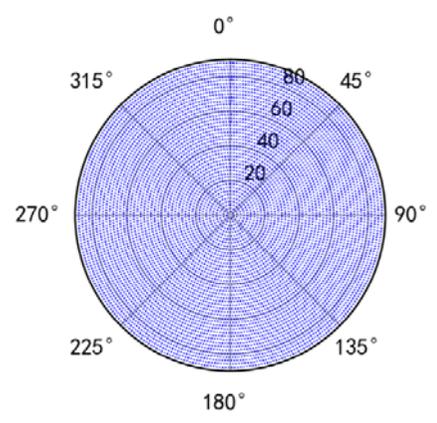


定日镜机构运动学

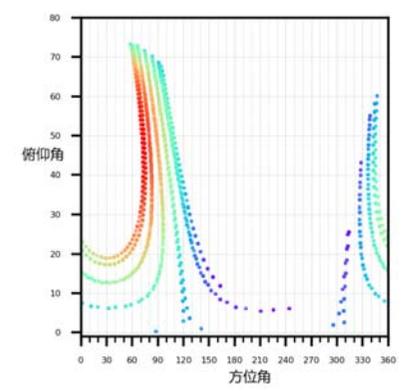
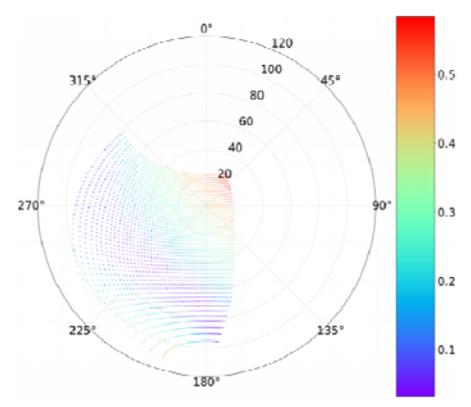


镜场不同位置定日镜的姿态集合

方位-俯仰的运动设计

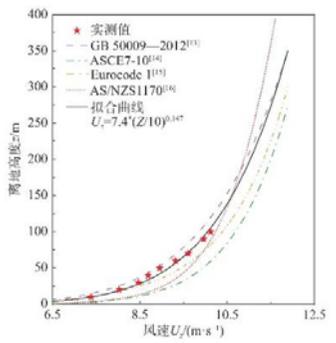


斜轴跟踪的运动设计



某定日镜镜面法线变化
(每10min一个点)

定日镜结构风工程



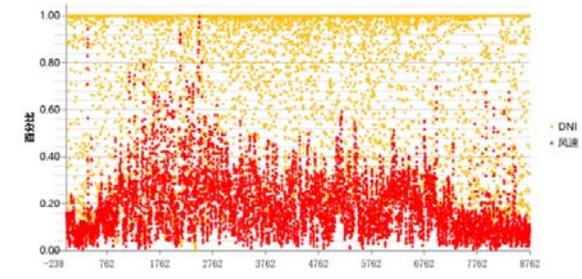
B类地貌风剖面

- ✓ 确定风速剖面和湍流强度



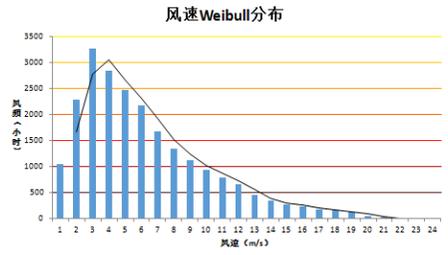
风速与DNI散布图

- ✓ 舍弃高风速与低DNI



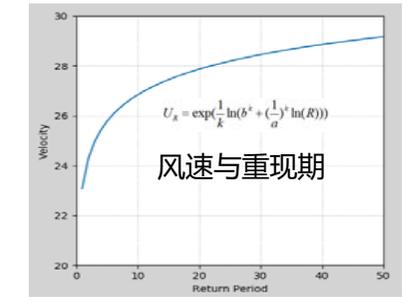
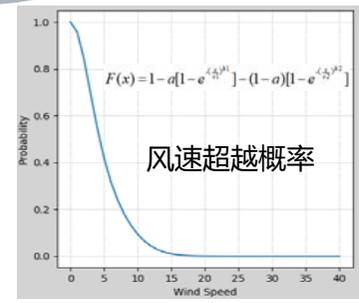
TMY数据分析

- ✓ 全年风速概率分布

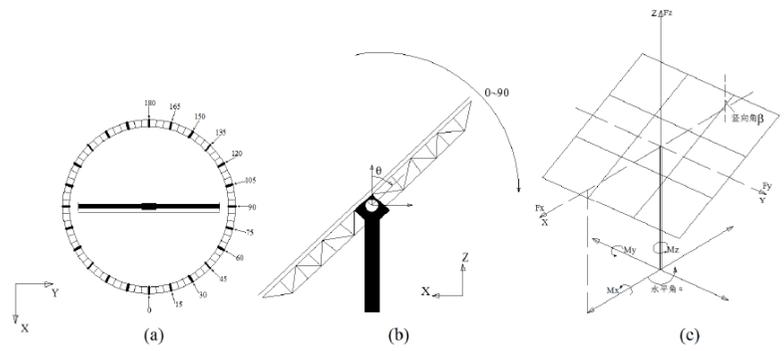


生存/运行风速定值

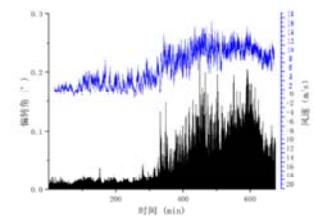
- ✓ 安全性校核, 提升运行小时数



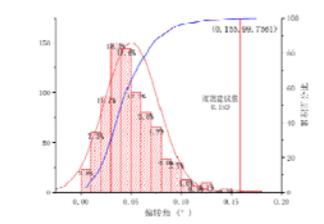
定日镜结构风工程



(a) 水平风向角 α , (b) 竖向角 β



中心盘偏转角随风速变化图



7级风速时段镜面偏转的置信水平

➤ **通过风洞实验来获得定日镜在不同姿态下的表面风压分布：**
 东方锅炉通过对多种类型定日镜进行了风洞试验的测试，得出了不同类型定日镜在多种姿态下的阻力、升力、扭转、倾覆体型系数，为受力分析提供科学依据。

⑩ **通过现场全尺寸真实抗风试验来验证定日镜结构稳定性：**
 东方锅炉在现役高风速项目上开展现场模态、风振等试验，获得了定日镜真实结构的自振频率、各关键部件的应力应变、重点部位的偏转角度，为大风条件下的运行精度提供试验依据。

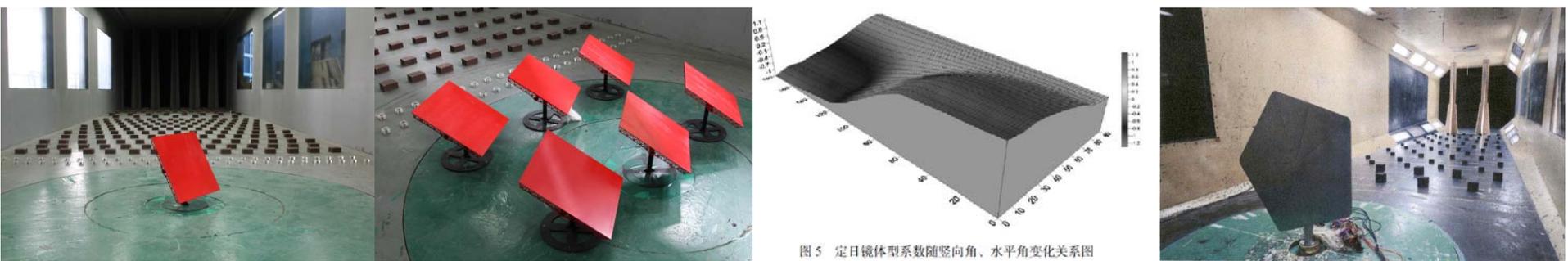
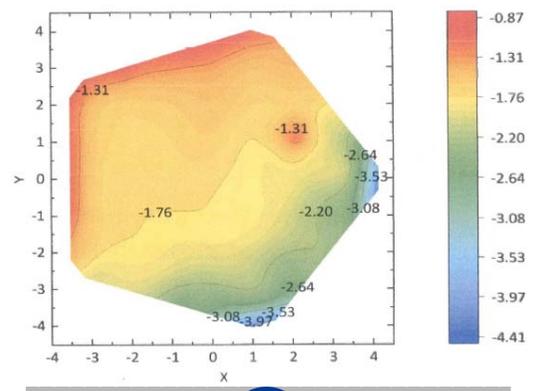


图5 定日镜体型系数随竖向角、水平角变化关系图

定日镜结构风工程

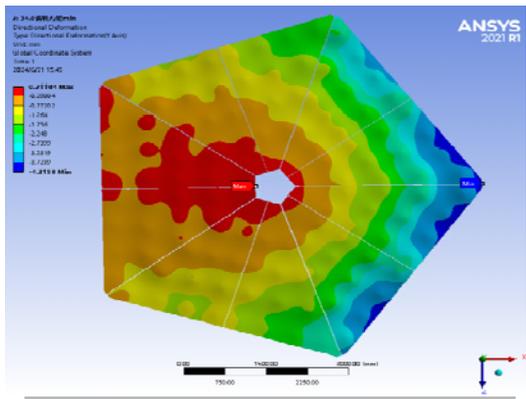
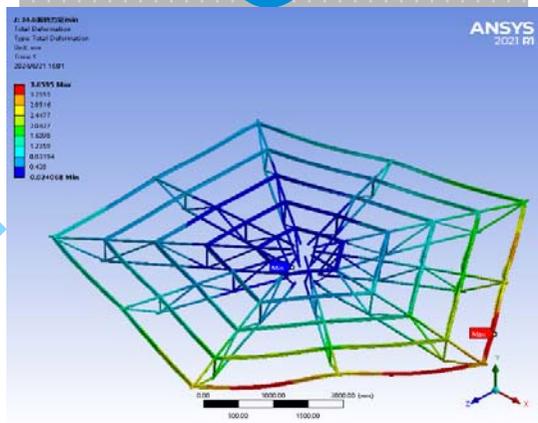
在受风载时，镜面会产生更大的变形，同时镜面背部支撑也会发生形变，造成镜面的面型变化，会带来更大的溢出损失。所以镜面的支撑刚度直接影响着定日镜的运行风速。



镜面风压系数

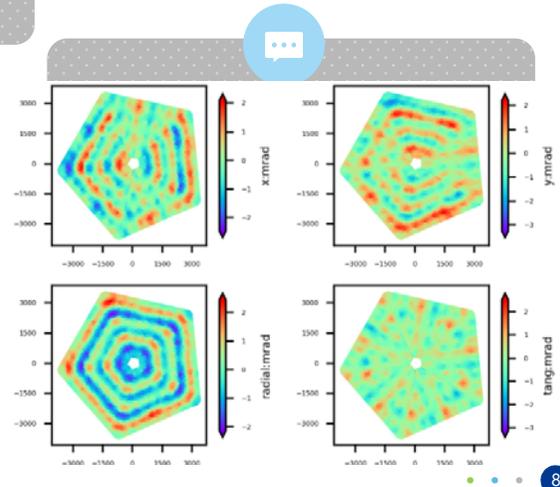
$V_1 = 18\text{m/s}$
 $V_2 = 42\text{m/s}$

支架强度及刚度校核



镜面变形计算

镜面面型评估



定日镜控制器可靠性设计

定日镜控制器布置于户外，需要长期承受极端环境，电子元器件按照严苛工业标准选取，工作温度范围： $-40^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 。

定日镜数量庞大，为提高用户维护效率，定日镜控制器应具备故障自诊断功能，方便故障准确定位。



控制器CE认证



第三方可靠性试验报告



自主研发定日镜控制器

定日镜控制器智能化设计



高效校准技术

- 定日镜的控制精度直接影响光热电站的集热效率和安全性；东方锅炉自主研发多层靶同时校正技术
- 单日可完成3000面（约14.5万平方米）定日镜校正



多层靶同时校正技术



误差补偿技术

- 控制器内嵌误差分析模型和定日镜校正模型，可有效降低定日镜跟踪的静态误差和动态误差；
- 首轮校正跟踪精度 $100\% \leq 2.0\text{mrad}$, $85\% \leq 1.0\text{mrad}$;




安全路径规划

- 大量定日镜移动时，光斑将带来高温灼烧以及光污染等潜在风险，
- 通过对定日镜光斑路径进行规划，可以避免光斑照射到非安全区域；



大风智能回位



智能避风功能

- 根据定日镜风洞试验数据结合定日镜受力特性，定日镜将根据自身姿态、风速风向等智能选择是否回平，
- 可最大限度利用太阳能，对年平均风速较高的项目发电量提升显著。

2

定日镜制造技术

支撑构件的生产制造

大批量一致性
问题

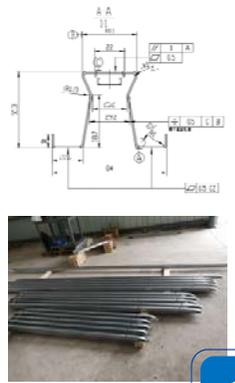
➢ 檩条一体化成型技术



➢ 支臂自动激光对接焊



➢ 构件自动CO2气保焊



精度
问题

自动化

➢ 精密测量的广泛应用，制造精度的不断迭代



➢ 测量方法的标准化



用于单孔精度测量的内径千分尺和对孔同轴度测量的全形塞规

No	几何要素/评价项目	构造方法
B01	面 1-面 6	在主轴、副轴、耳轴端面取测点构造平面，测点不少于 6
B02	圆柱 1-圆柱 3	分别在主轴、副轴、耳轴两轴孔中取测点，每轴测点不少于 4，构造圆柱
B03	圆 1-圆 6	面 1 与圆柱 1 形成圆 1；面 2 与圆柱 1 形成圆 2； 面 3 与圆柱 2 形成圆 3；面 4 与圆柱 2 形成圆 4； 面 5 与圆柱 3 形成圆 5；面 6 与圆柱 3 形成圆 6；
B04	直线 1	圆 1 与圆 2 圆心的连线
B05	直线 2	圆 3 与圆 4 圆心的连线
B06	直线(垂线)T	直线 1 与直线 2 的公垂线
B07	点 O	直线 T 在直线 1 上的垂点
T01	坐标系 O	以点 O 为原点，以直线 2 为 Y 轴方向，以垂线 T 为 Z 轴方向
T02	221±0.5	圆 1 与圆 2 圆心的距离
T03	419±1	点 O 至圆 4 圆心的距离
T04	120 ^{±0.1}	圆 5 与圆 6 圆心的距离
T05	602±1.5	圆 3 与圆 4 圆心的距离

对于复杂的几何尺寸，明确了基于精密测量的测量规程，从而避免因测量方法不同造成的质量评判偏差

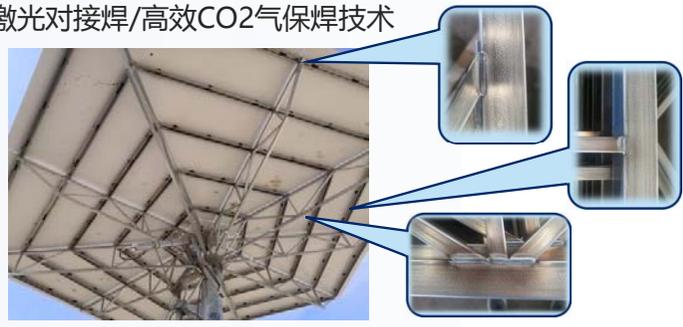
支撑构件的生产制造

- 严格的焊接工艺要求
 - 1、基于预生产的焊接工艺评定；
 - 2、在正式批量生产前，采用无损检测进行焊接质量进行控制；
 - 3、批量生产时，对焊缝进行无损检测（重要对接焊缝30%UT，其他10% MT或PT）；
 - 4、对所有焊缝进行焊接质量检查，测量模板进行了规范化。

焊缝号		数量	类型及说明	位置	检测结果	缺陷说明
1	1	1	对接焊缝	24	24 1 24 1	可 1 不可 1
2	2	2	搭接角焊缝	24	24 2 24 2	可 2 不可 2
3	2	2	搭接角焊缝 (包括厚度方向)	24	24 2 24 2	可 2 不可 2
4	2	2	搭接角焊缝 (包括厚度方向) 以及再件之间的连接	24	24 2 24 2	可 2 不可 2
5	2	2	搭接角焊缝	24	24 2 24 2	可 2 不可 2
6	1	1	对接焊缝	24	24 1 24 1	可 1 不可 1
7	2	2	搭接角焊缝	24	24 2 24 2	可 2 不可 2
8	2	2	搭接角焊缝	24	24 2 24 2	可 2 不可 2

焊接工艺

- 激光对接焊/高效CO2气保焊技术



防腐工艺

- 表面防腐工艺：冷喷锌 VS. 热浸锌



需要具备的技术条件：

- 1、良好的耐腐蚀性能
- 2、良好的耐候性能
- 3、良好的耐磨性能
- 4、良好的覆涂性能
- 5、良好的抗滑移特性

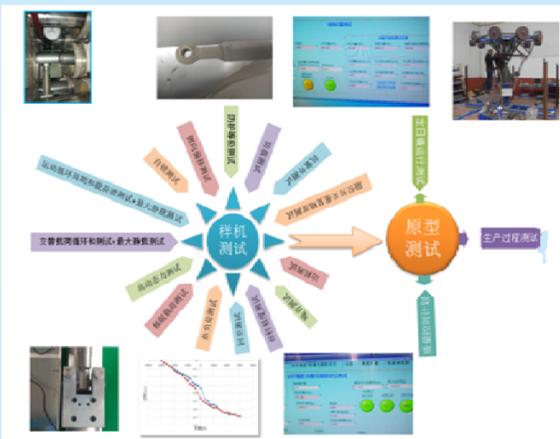
配套件测试及整机总装

驱动部件设计验证

- ◆ 设计论证

驱动作为定日镜的核心关键部件，每个部位的设计都需要经过仔细的推敲论证，重点是要模拟运行工况对产品进行各种严苛的测试。
- ◆ 严苛测试

制定了约18个项次的测试，并且增加了高低温的维度，从样机测试到原型机测试，再到长期测试。



其他零件选型测试

- ◆ 结构件防腐测试
- ◆ 轴承防腐测试
- ◆ 滑动轴承磨损测试

滑动轴承的磨损试验条件如下

Step	Cycle	95%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
1	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
2	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
3	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
4	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
5	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
6	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
7	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
8	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
9	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
10	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

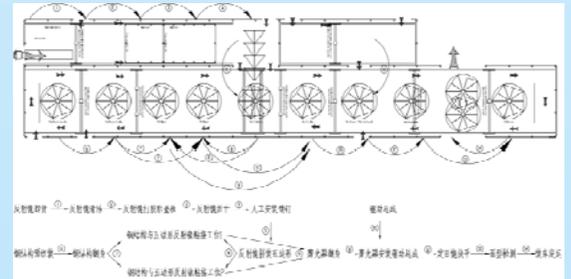
流水线总装技术

- ◆ 定日镜组装

包括钢结构组装、反射镜与钢结构的组合、测试和检测等。
重要核心工位全部采用自动化组装，保障组装质量的稳定性



◆ 组装工艺流程



批量组装生产能力



中电工程哈密 
3000平米/天



国投甘肃阿克塞 
4000平米/天



中电建共和 
5000平米/天

- ✓ 从哈密项目到阿克塞项目，再到共和项目，东方锅炉单条产线的日均产能达到5000平米；
- ✓ 总装技术的提升，实现提前完成项目定日镜整机交付！

3

定日镜的质量控制技术



批量产品的质量控制计划

01

明确具体目标

批量产品制造前应首先明确产品要实现的具体质量目标，罗列出来后围绕该目标开展后续工作。

02

制定控制计划

实施工艺验证及样品首检。建立详尽的作业指导书、工艺文件、过程检验计划、样本计划。将流程做到标准化。

03

实施来料检验

对原材料实施检验来保证最终产品是合格的，过程做完整记录，做到可追溯。

04

控制生产过程

对关键的工序投入更多的精力保障质量，通常的做法是实现自动化，排除人的不稳定因素，这个部分包括制造自动化和检验自动化。

05

进行检验测试

做到每一步均有检验，并对产线、人员、操作进行定期检查。

06

实施质量改进

发现质量问题及时分析，查找产生问题的关键因素，总结经验，并对前述流程进行改进。其中可以用到排列图、直方图等质量统计分析方法。

坚持预防为主的原则

驱动部件的在线检测、组装品质管控



驱动部件的在线检测：
在量产过程中制定完整的在线测试项目，
确保驱动装置100%检测后出厂。



明确质量目标

制定控制策划

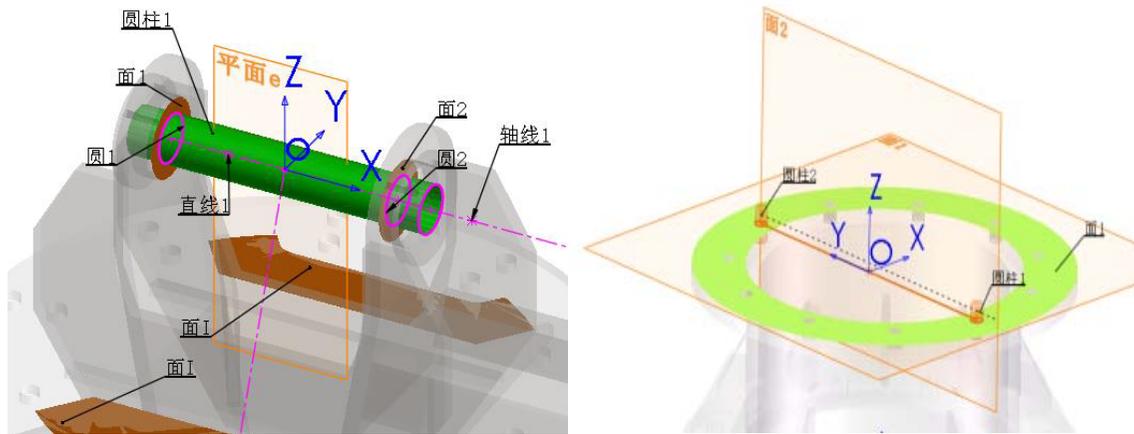
进行检验测试

工位:	上月	1月
1. 检查驱动装置外观		
2. 检查驱动装置内部		
3. 检查驱动装置接线		
4. 检查驱动装置运行		
5. 检查驱动装置温度		
6. 检查驱动装置噪音		
7. 检查驱动装置振动		
8. 检查驱动装置寿命		
9. 检查驱动装置安全		
10. 检查驱动装置维护		

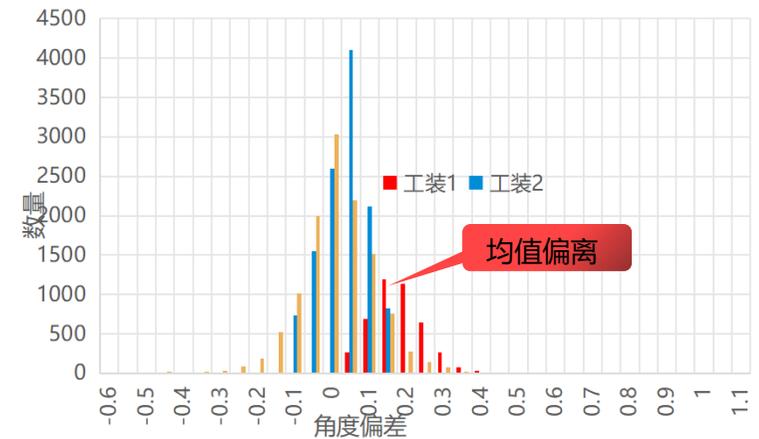
组装是定日镜产品生产的最后一个环节，东方锅炉打造自己的光热项目组装团队，对每台出厂的定日镜认真履行品控职责。

我们建立了从性能要求到品控策划再到工位操作检查卡的三级质量控制文件，并设立专门的质量工程师驻场，履行日常巡检、抽检以及专检的职责。

加工精度的保障



销轴与底面平行度要求

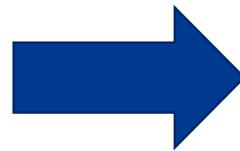


制造数据统计分析

零部件质量精准控制

跟踪制造过程数据

实时分析统计数据



保障总装定日镜精度

得出数据分布曲线

识别问题根源，及时纠正

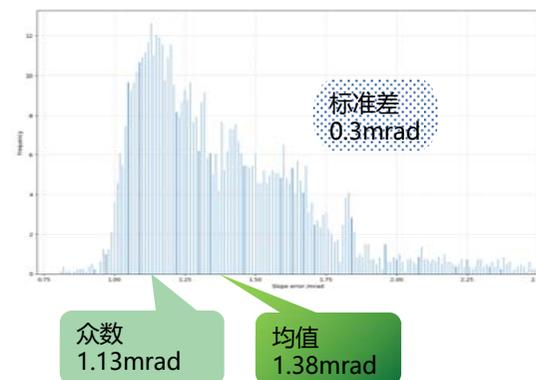
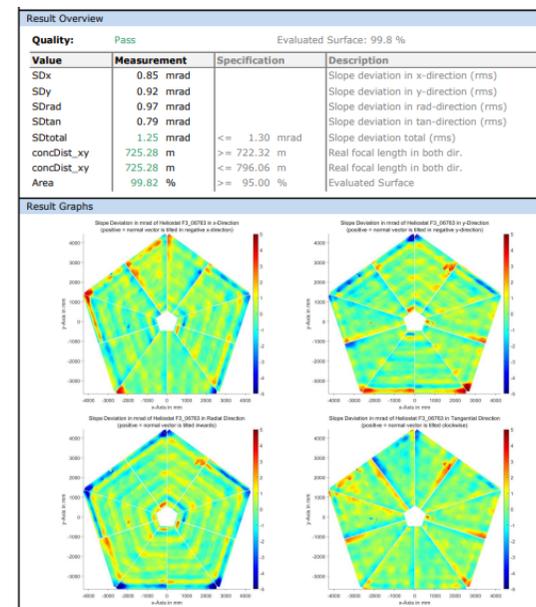
光学精度的监测



在线集成光学精度监测

制造工装保障面型

自动化生产保障质量稳定性



4

东方锅炉光热产业概况



东方锅炉简介

- 中央确定的涉及国家安全和国民经济命脉的国有重要骨干企业、国资委监管企业
- 东方电气集团下属核心企业
- 火力发电设备、核电站设备、化工容器、煤气化等设备的供货商和节能环保、氢能制储运用、太阳能发电等工程服务的提供商

1966年

四川省自贡市

自贡、成都、德阳、嘉兴、焦作

职工数量

3300+员工

服务精神

24小时服务

3000万+

生产能力

年产电站锅炉3000万千瓦、各类压力容器20000吨

经营模式

装备制造与服务
系统集成+工程总包
项目投资-运营

产业板块

七业协同：锅炉、环保、服务、高端装备、光热、氢能、新能源

100亿+

工业产值超百亿元

国内一流

国家级科技进步奖：
10余项

省部级科技进步奖：
200+项

有效专利：800+项

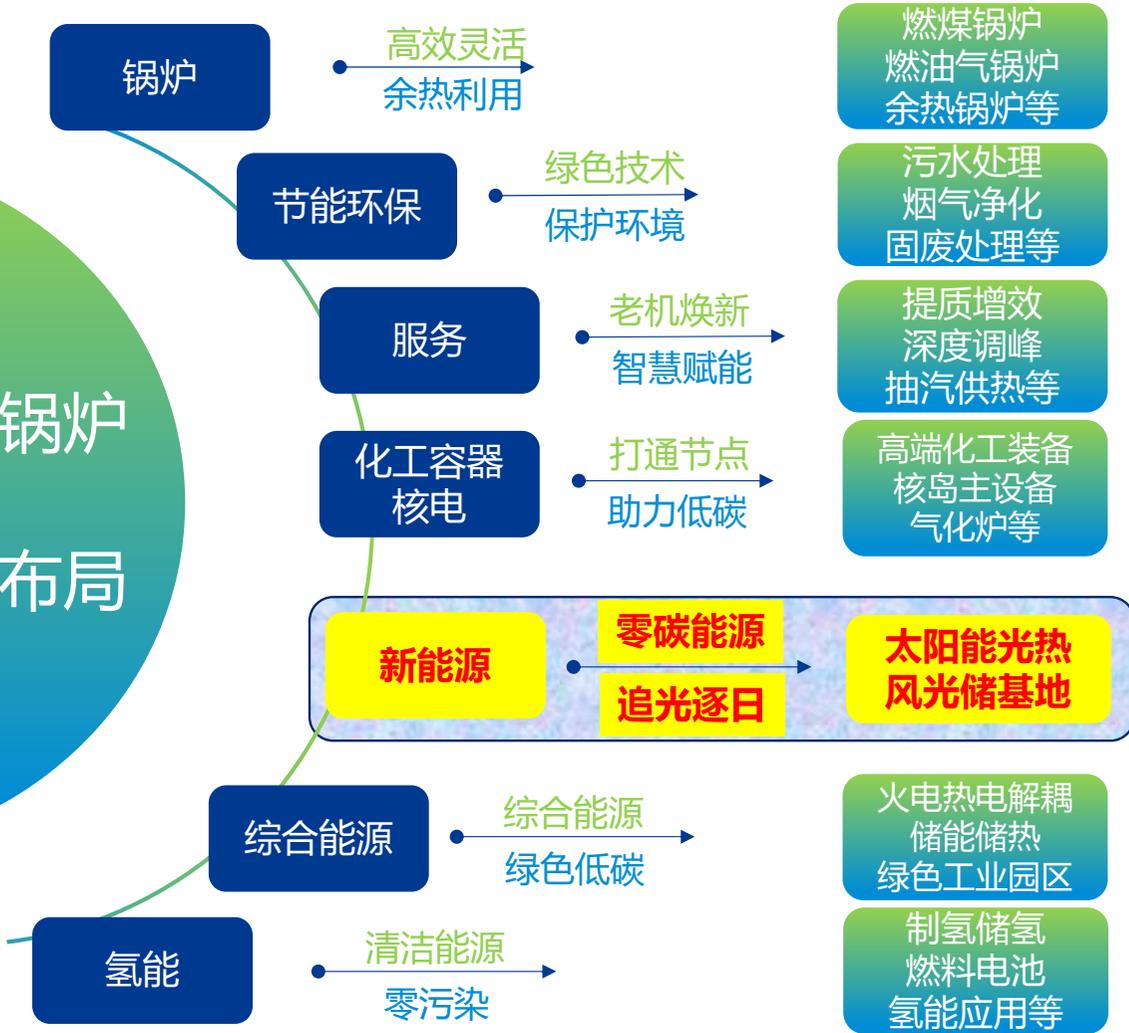
企业能力

具备各种压力等级锅炉、不同规格压力容器制造能力

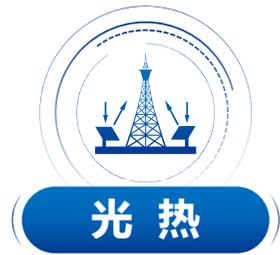
48.35万M²
自贡基地
占地面积

40.55万M²
德阳基地
占地面积

东方锅炉七大产业



东方锅炉光热产业概况



发展历程



业务能力

具备塔式聚光集热系统成套技术和定日镜、吸热器、蒸汽发生器设备设计制造和供货能力。

核心产品



共创价值 共享成功

THANKS 