中国能建 ENERGY CHINA | cpecc 中电工程

太阳能热发电系统集成设计技术

汇报人：赵晓辉

时　间：2017.11.23

地　点：南宁

中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司
NORTHWEST ELECTRIC POWER DESIGN INSTITUTE CO., LTD.OF CHINA POWER ENGINEERING CONSULTING GROUP

第一部分 太阳能热发电概述

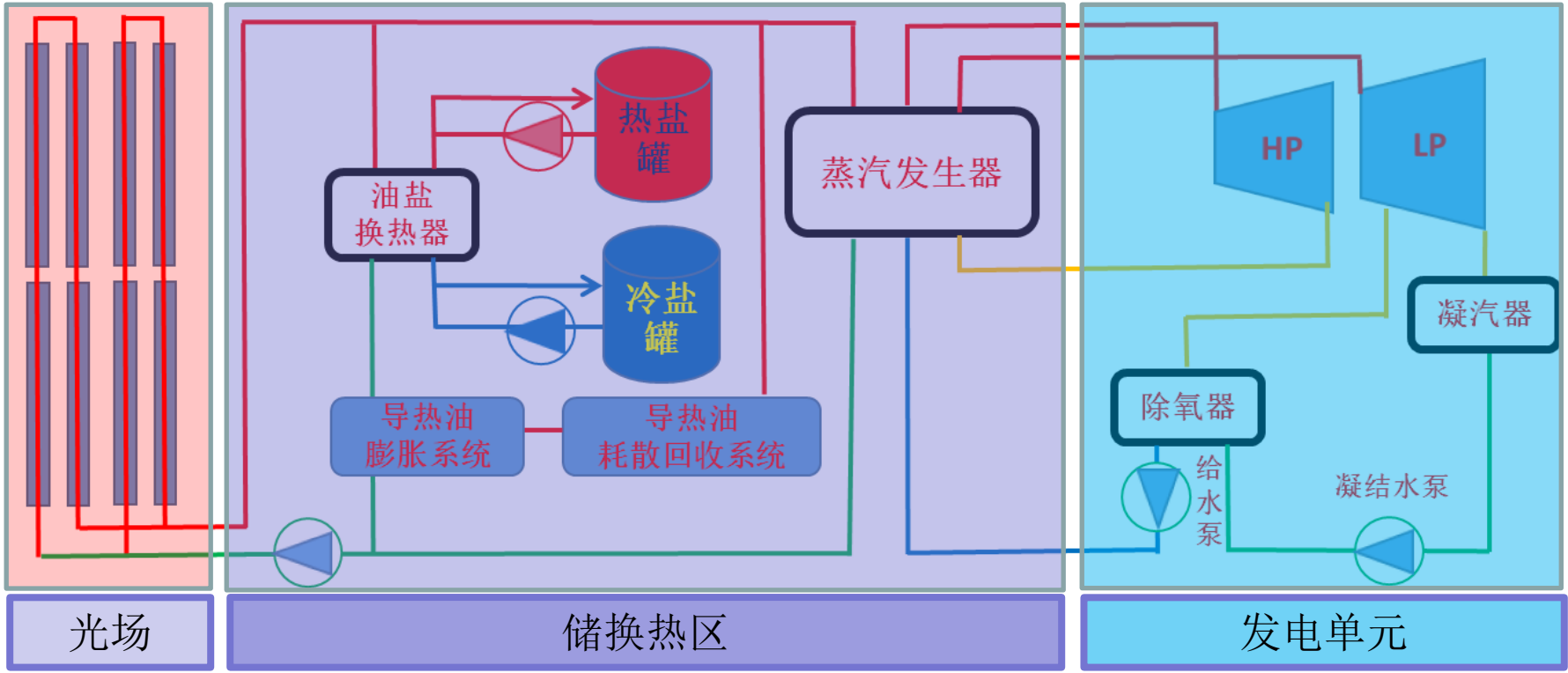
第二部分 全厂系统集成设计

第三部分 聚光集热系统设备

第四部分 中电工程西北院介绍

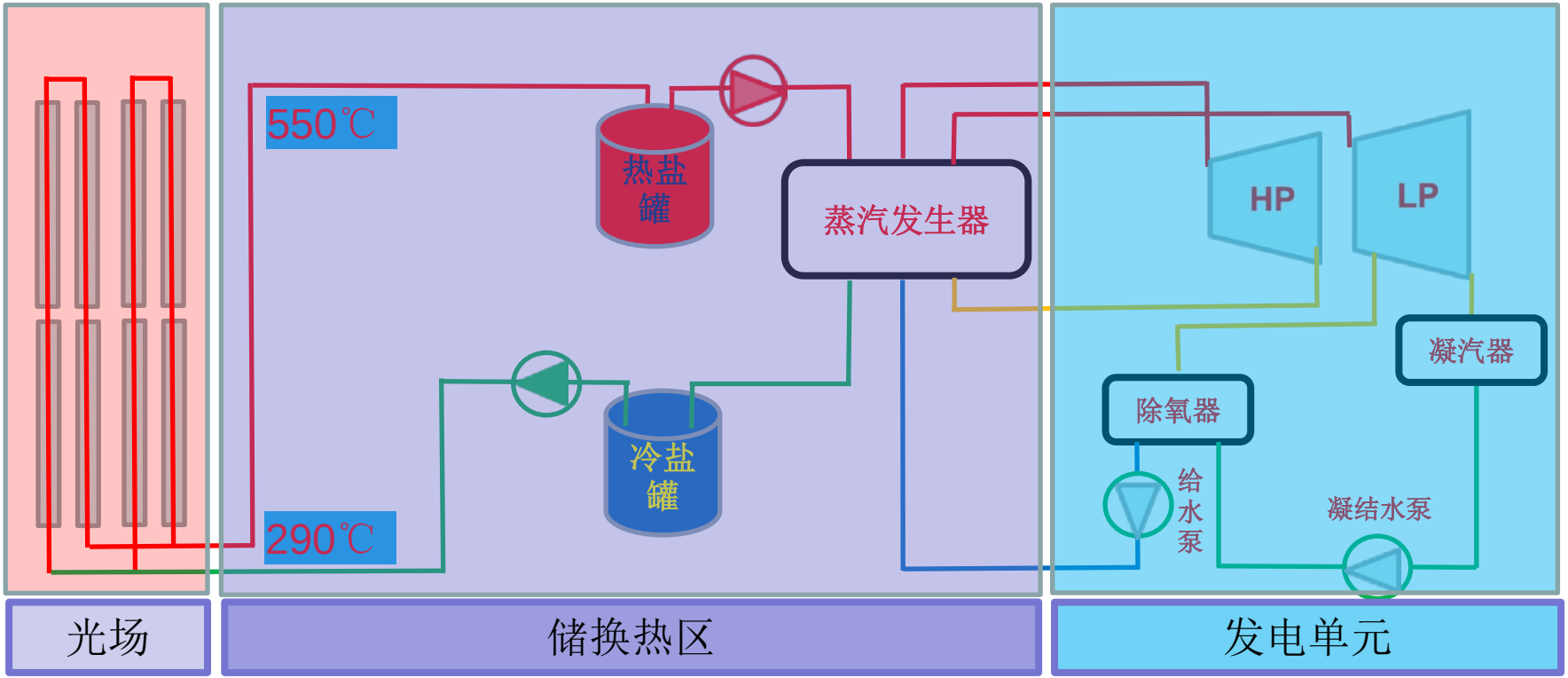
第一部分 太阳能热发电概述

槽式导热油



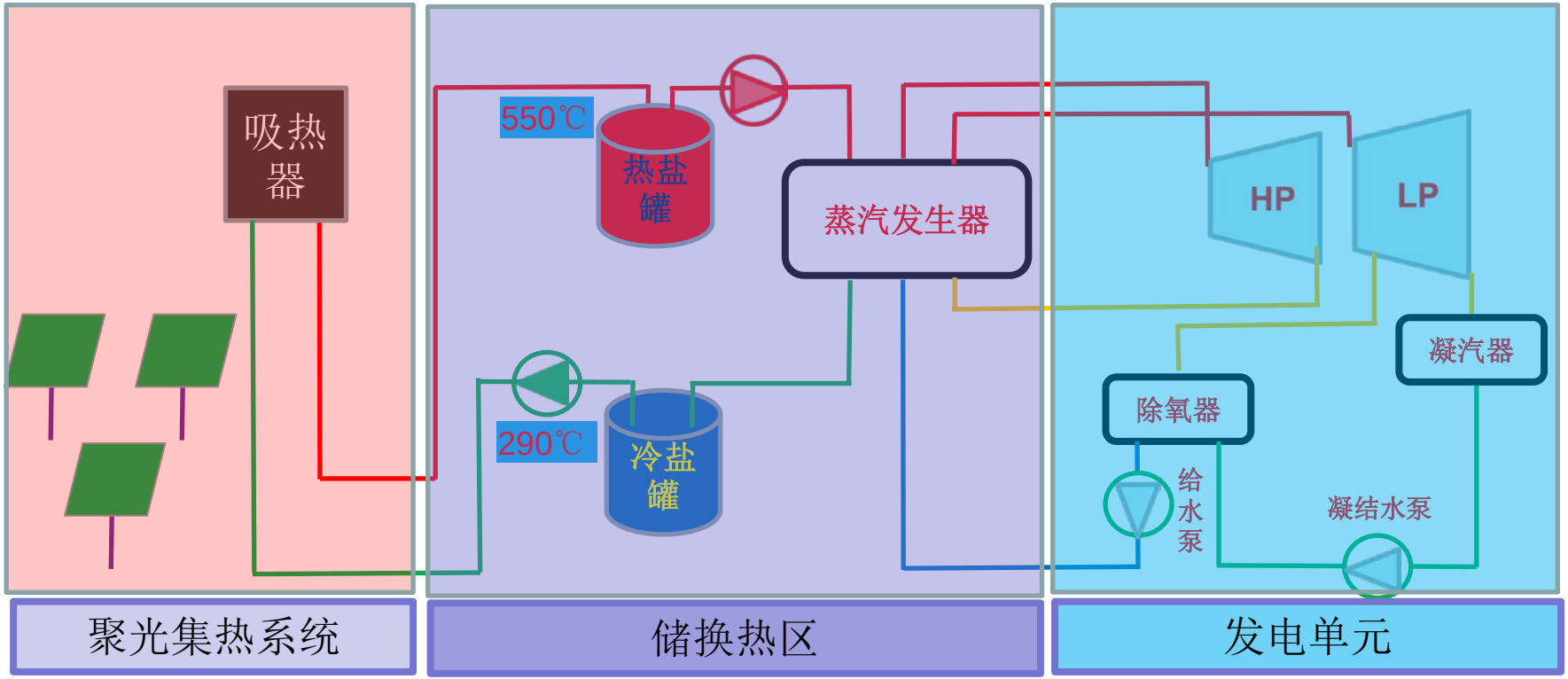
第一部分 太阳能热发电概述

槽式熔盐

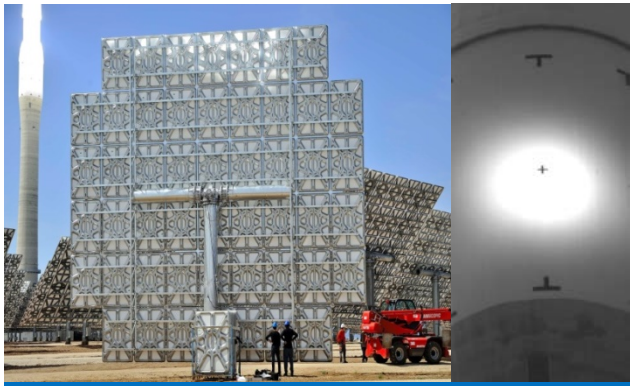


第一部分 太阳能热发电概述

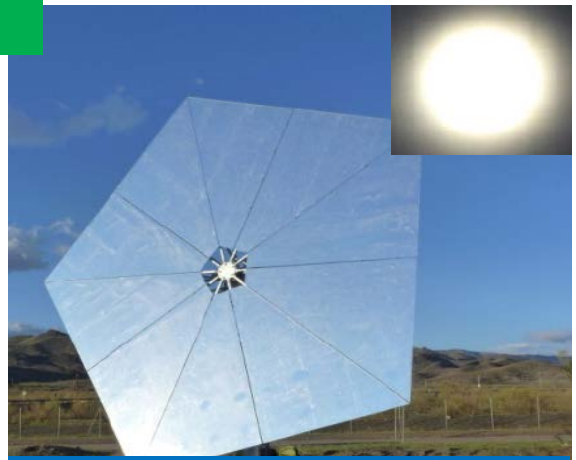
塔式熔盐



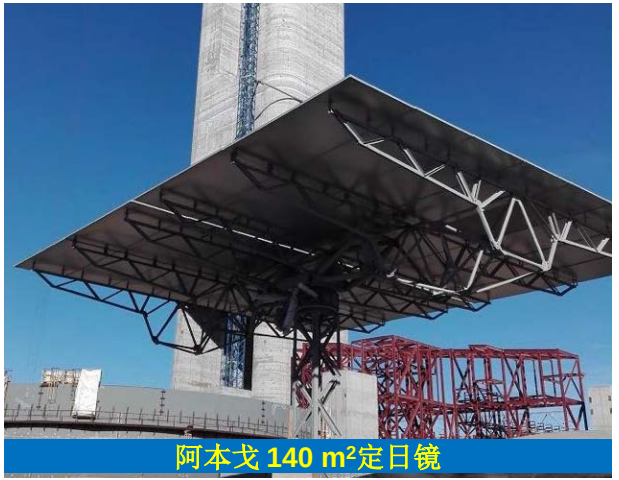
第一部分 太阳能热发电概述



SENER GEMASOLAR定日镜



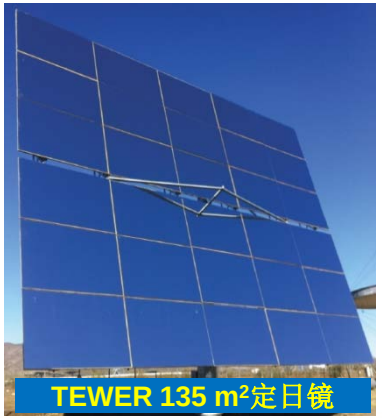
SBP Stellio 48m²定日镜



阿本戈 140 m²定日镜

IMDEA 定日镜

CSIRO 定日镜

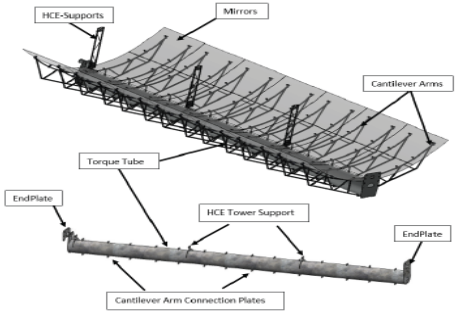


TEWER 135 m²定日镜

Brightsource 14m²定日镜

第一部分 太阳能热发电概述

槽式太阳能回路Loop、集热器阵列SCA、集热单元SCE



ET150
SENER
ABENGOA
SKYFUEL
ACHIMEDIA

第一部分 太阳能热发电概述

聚光集热优化 Flagsol helio trough

扭矩管设计；

反重力设计（重心在镜面之下）；

液压驱动；

开口尺寸6.77m(+20%)；

HCE 89.9mm（+27%）；

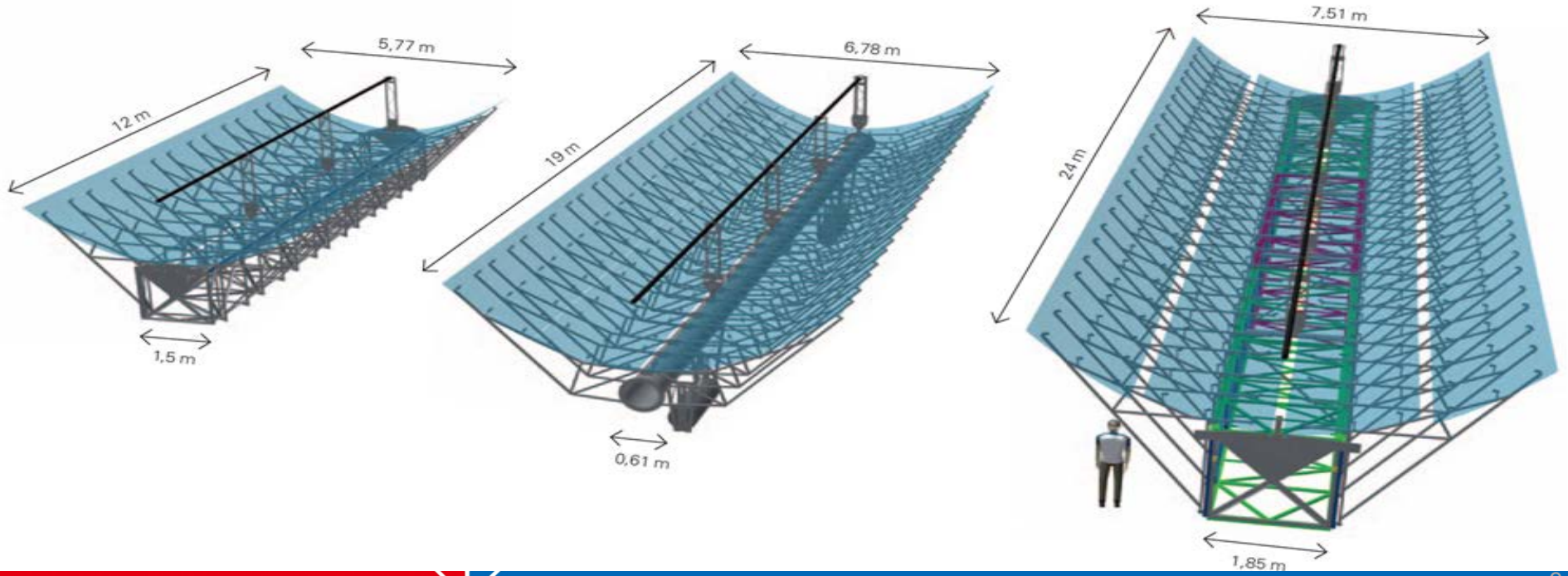
HCE长4.7m（+18%）；

一个SCE长度 19.1（+16%）

每个集热器10个SCE（总长191m）

第一部分 太阳能热发电概述

集热设备优化Flabeg 终极槽7.5m开口



第一部分 太阳能热发电概述

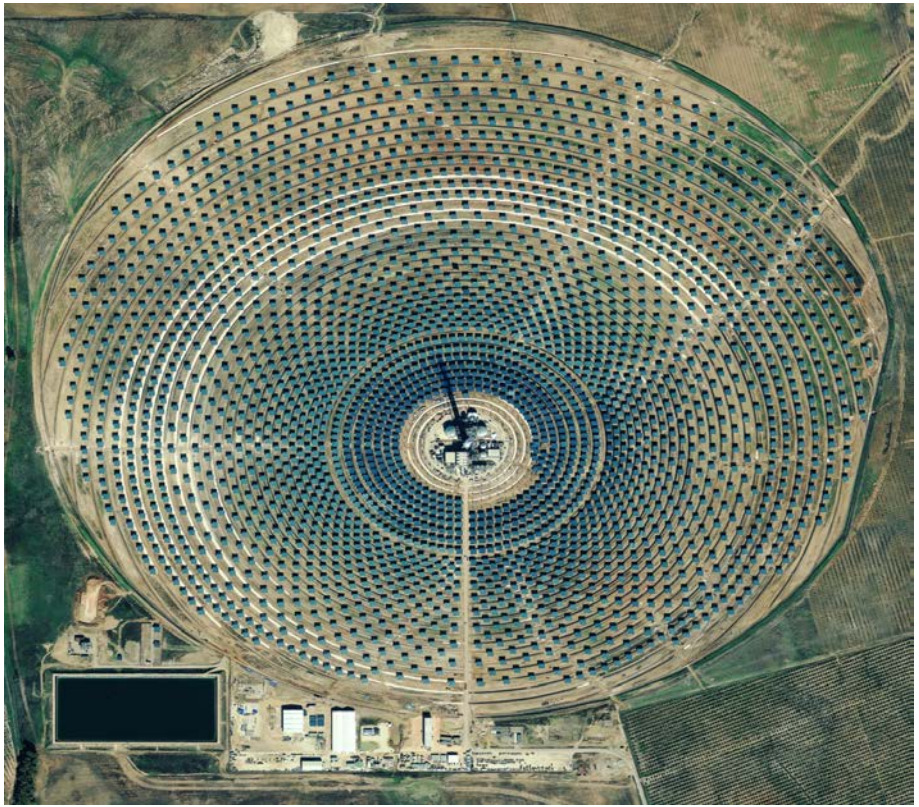
- 最大的水工质塔式光热发电 Brightsource美国Ivanpah 3台130MW等级水工质，过热蒸汽。

第一部分 太阳能热发电概述

水工质最大储热容量的电站 阿本戈khi solar one，50MW。

第一部分 太阳能热发电概述

最早的塔式熔盐商业电站 GEMASOLAR 19.9MW塔式熔盐



第一部分 太阳能热发电概述

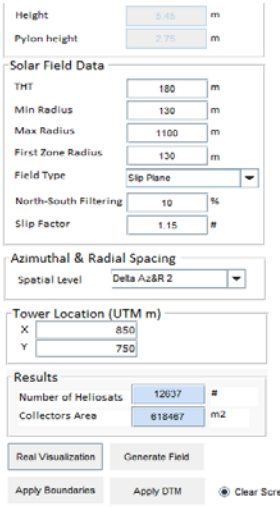
第二部分 全厂系统集成设计

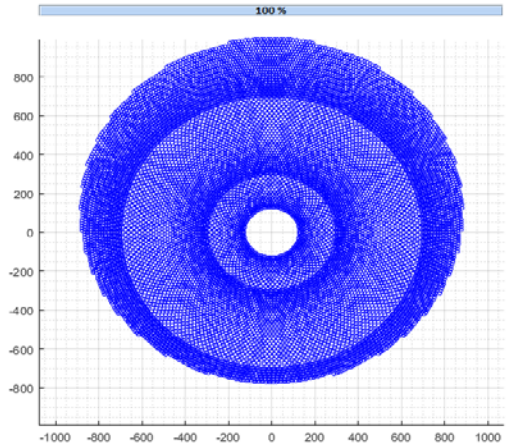
第三部分 聚光集热系统设备

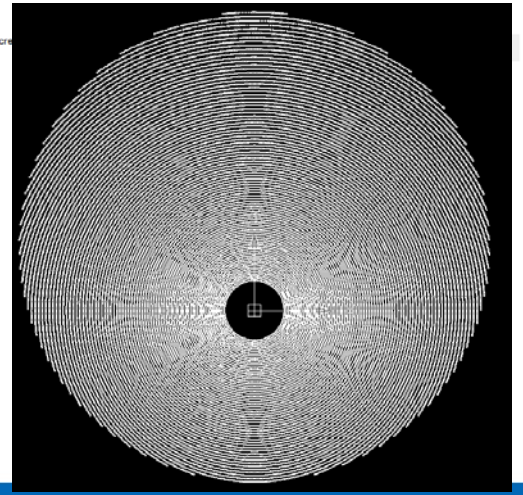
第四部分 中电工程西北院介绍

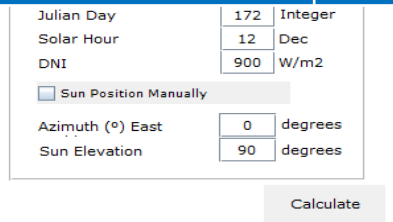
第二部分 全厂系统集成设计

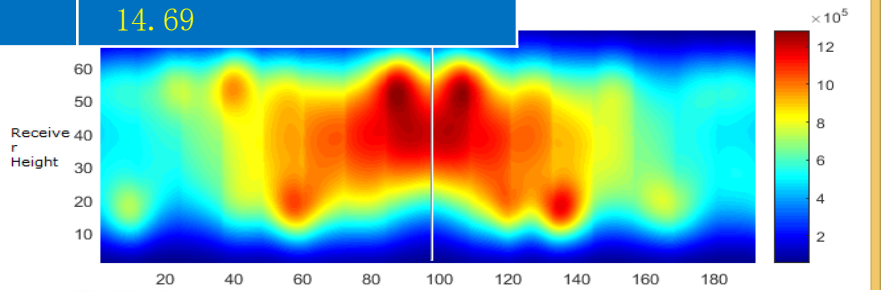
项目	单位	数值
镜面可接收辐射	kWh	2.70E+09
吸热器年输出	kWh	1.19E+09
发电单元年接收	kWh	1.14E+09
年发电量	kWh	3.97E+08
年均光热效率	%	44.03
管道与储热效率	%	96.0
年均热电发电效率	%	36.54
综合系统可靠率	%	95.1
光电转换效率	%	14.69





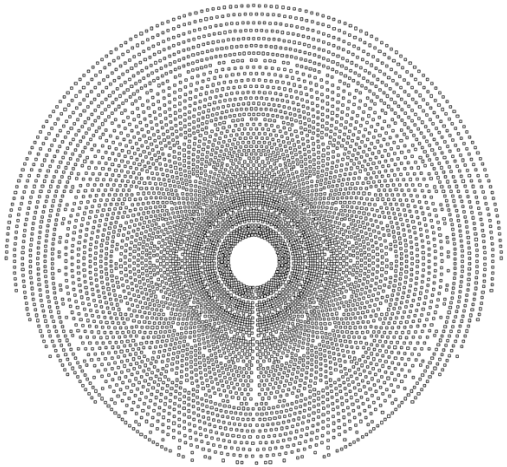


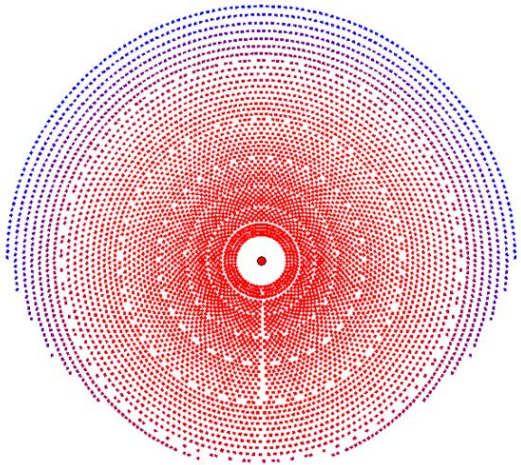


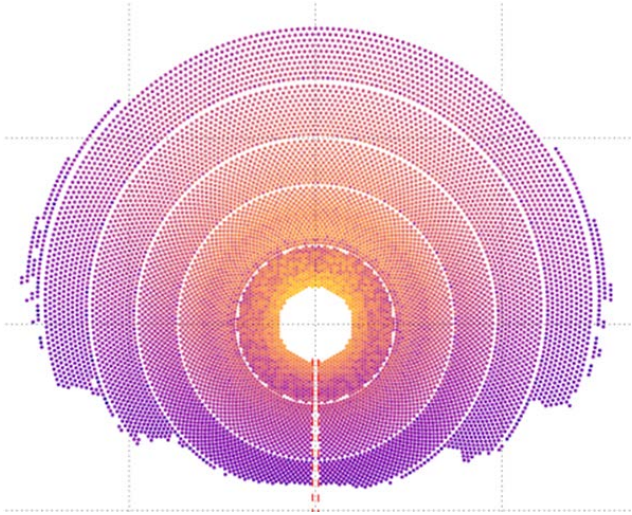


第二部分 全厂系统集成设计

- 定日镜选型：驱动形式、耐风性能、运维方便性、定日镜面型（Canting method）、各环节效率；
- 镜场布置：不同的算法，年均效率差异，基于年DNI优化布置，获得最有年均效率；
- 吸热器：吸热器与镜场容量匹配、不同部位材料选择；吸热器伴热防凝、事故压缩空气、UPS、事故电源、散焦策略等评估





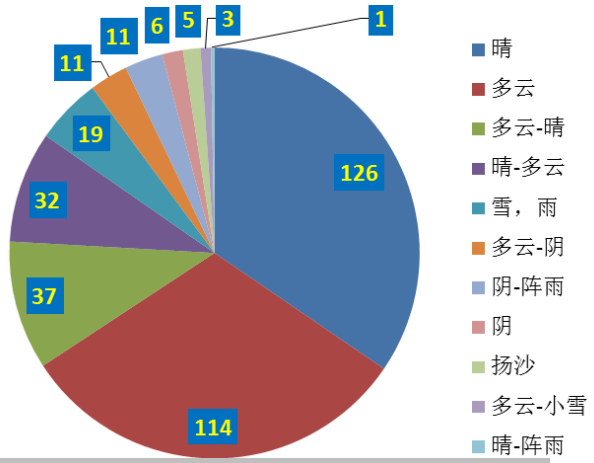


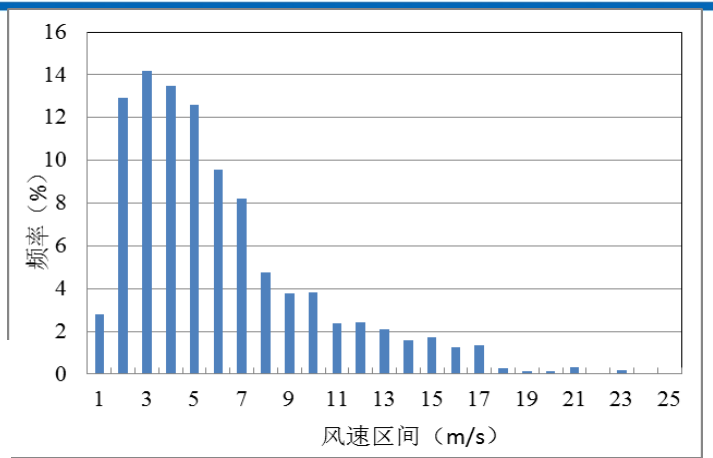
第二部分 全厂系统集成设计

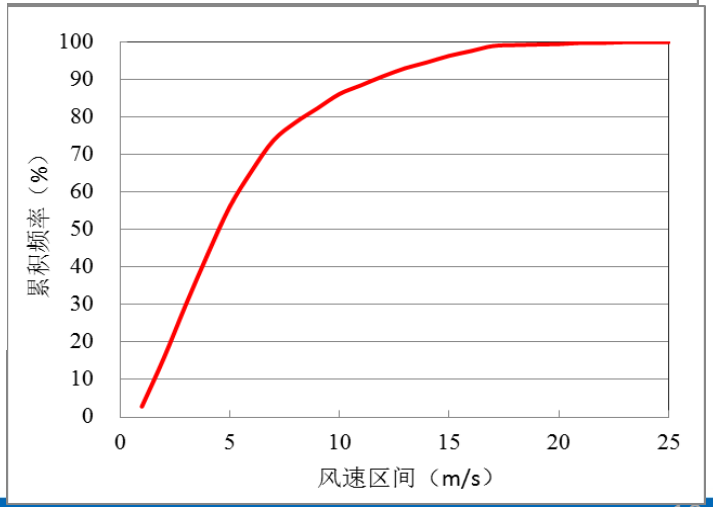
■ 需要关注的厂址处关键因素：风，尘，云。

- 多云，在气象学上是指天空中云覆盖面占天空40%至80%；
- 阴天，指云覆盖面占天空的80%以上。

要素	单位	数值
大风日子数	天	83
大风白天数	天	50
大风时刻数	小时	480
大风白天时刻数	小时	206
白天时刻数	小时	3333



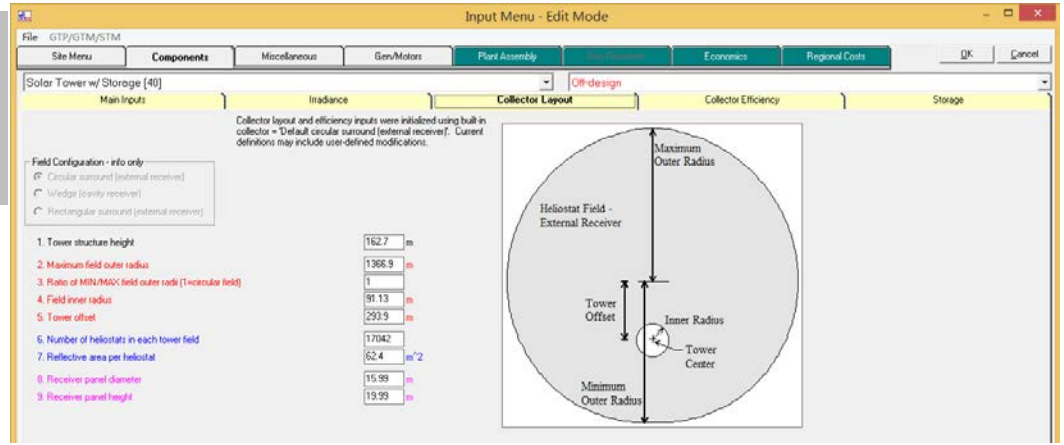


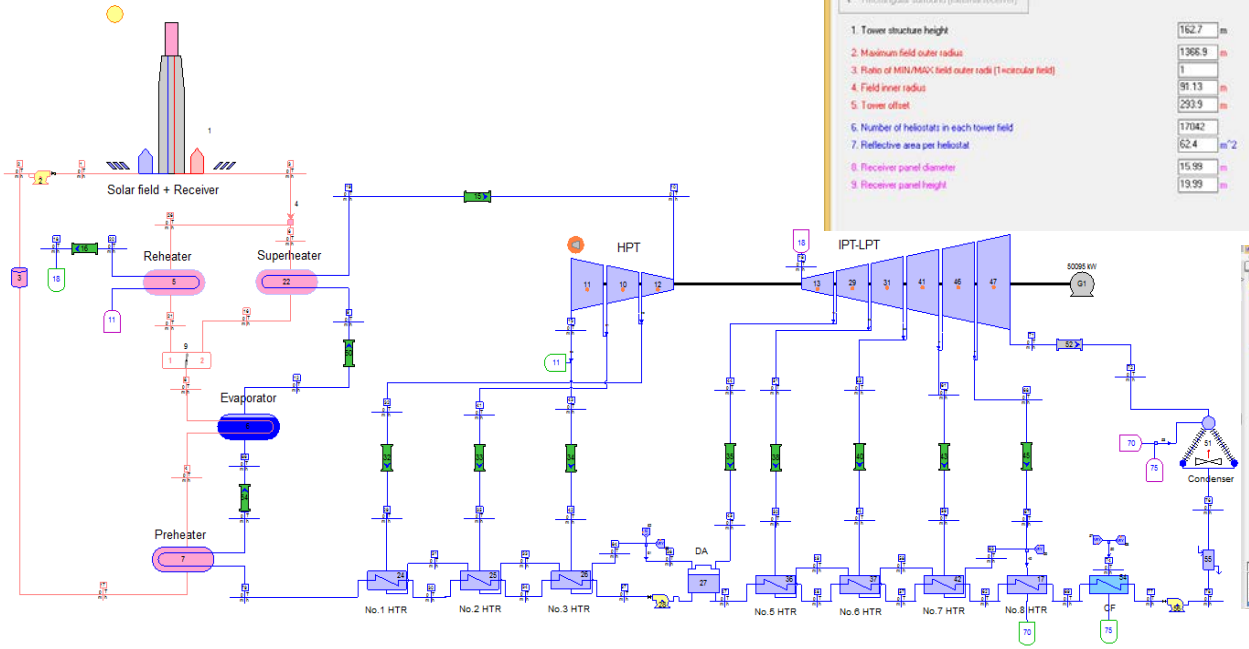


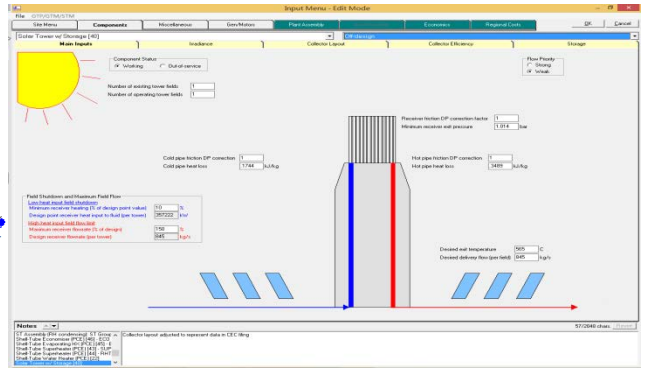
- 重视清洗策略，确保平均清洁度；
- 重视运行策略，应对云、风的变化。

第二部分 全厂系统集成设计

- 全场热质平衡及全场工艺流程设计是顶层设计；
- Ebsilon， Gatecycle ， Thermflow

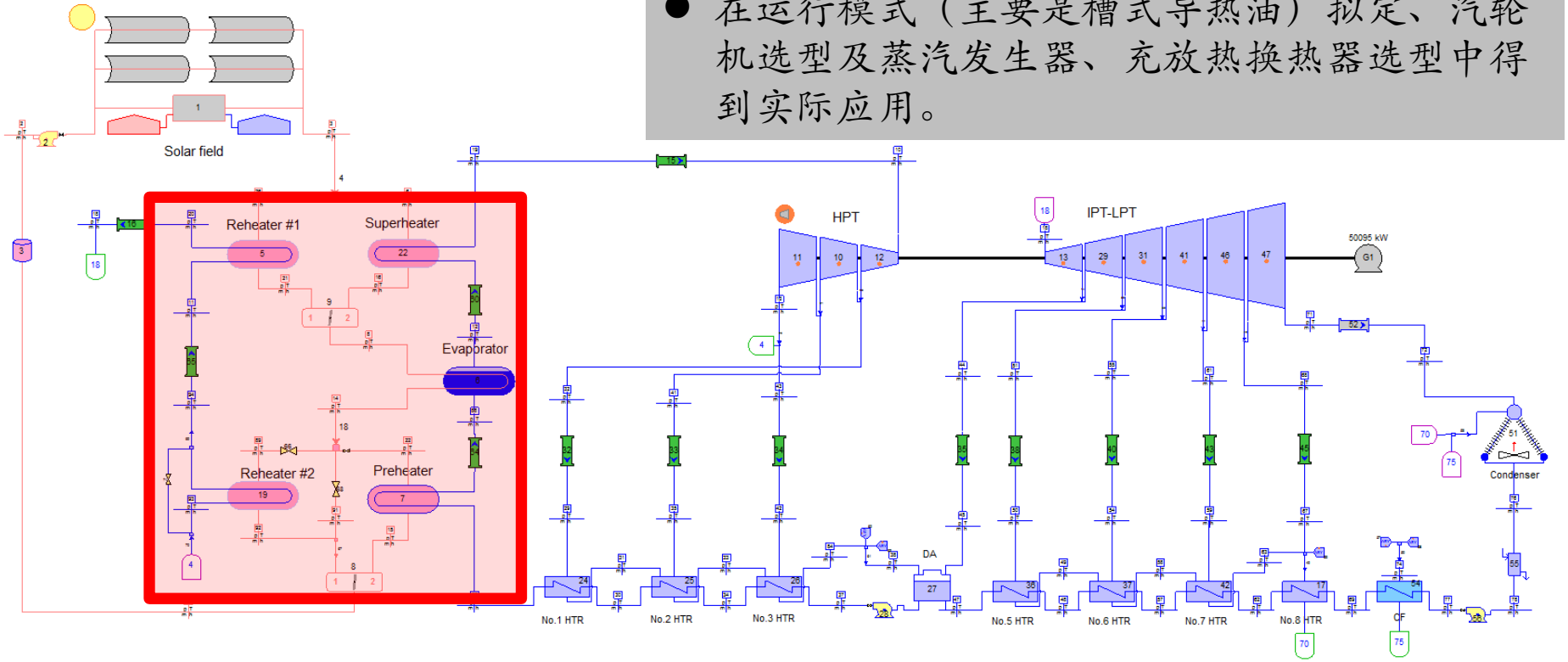






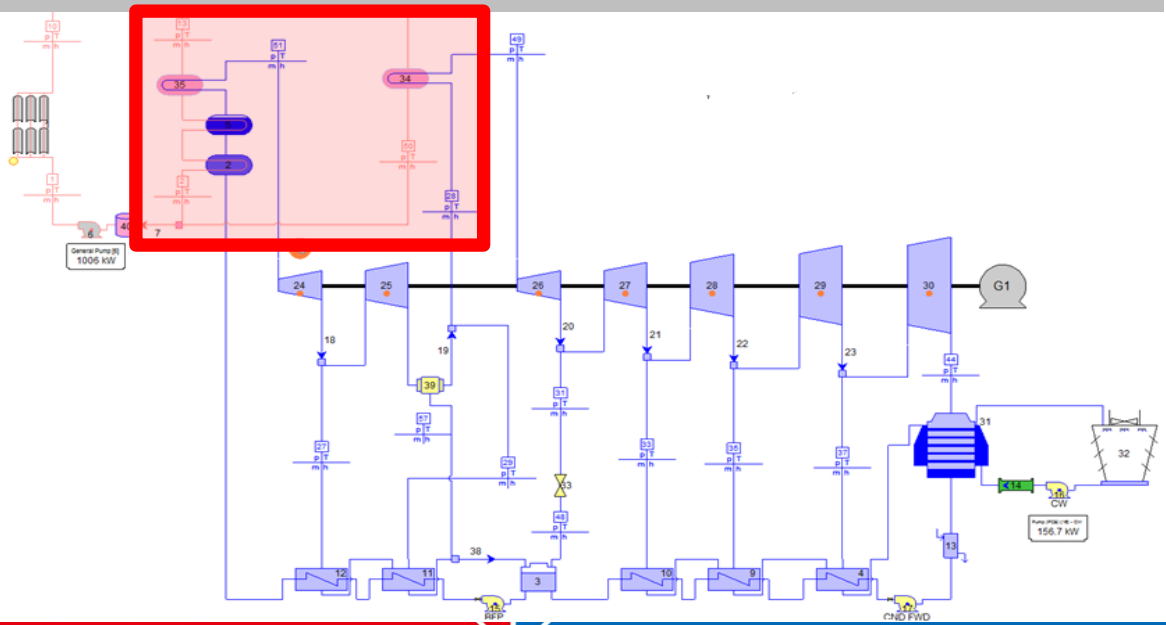
第二部分 全厂系统集成设计

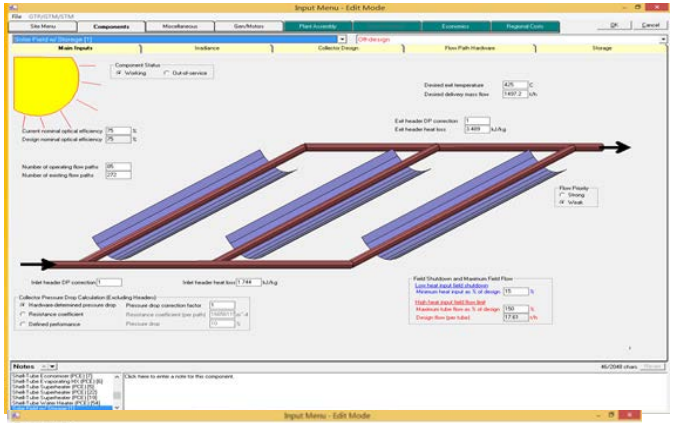
- 在运行模式（主要是槽式导热油）拟定、汽轮机选型及蒸汽发生器、充放热换热器选型中得到实际应用。

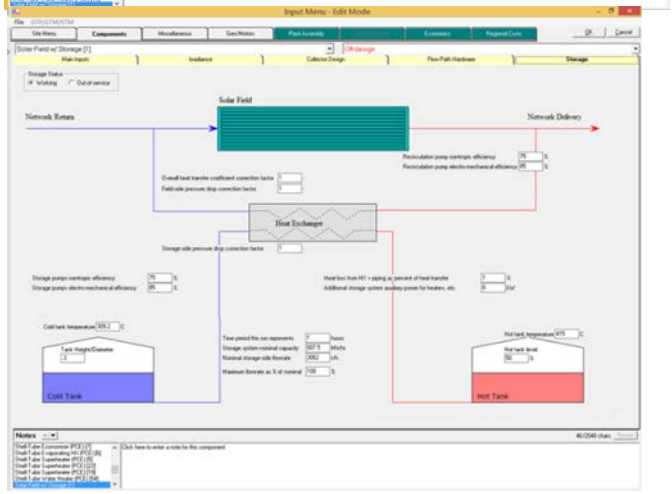


第二部分 全厂系统集成设计

- 在初步设计前期及主要设备招标阶段，用于比选不同的设备性能及变工况分析。
- 部分结论部分反映在DL/T《太阳能热发电厂换热系统设计规范》行业标准中，以指导工程设计。



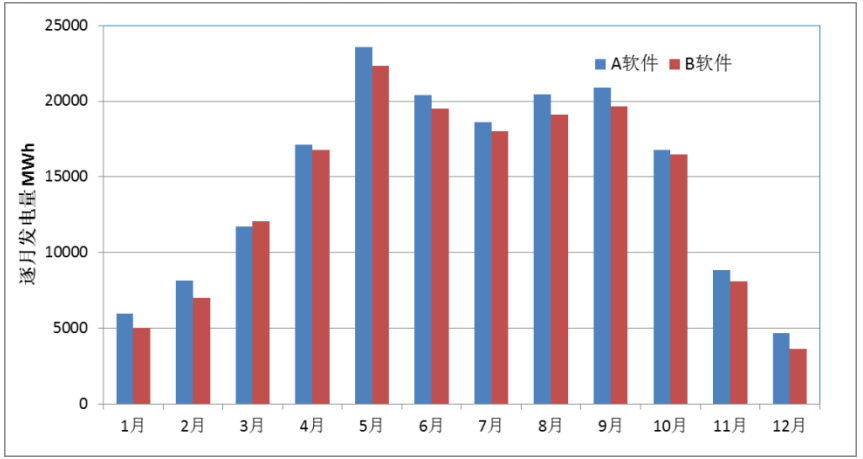




第二部分 全厂系统集成设计

■ 年发电量计算

	汽机热平衡图	软件计算结果	差异
电功率（kW）	50001	49969	99.94%
循环效率（%）	40.2	40.21	100.02%
热耗（kJ/kWh）	8954	8953	99.99%



- 在前期可行性研究阶段，可采用大于两种评估手段对发电量做估算；
- 两个软件的计算结果偏差在5%以内；以玉门某导热油槽式为例，同样的边界条件，国外某工程公司计算的发电量介于A、B软件计算结果之间。
- 热质平衡计算建立的发电单元模型与供货方技术协议提供的热平衡循环效率差异在0.02个百分点，模型可靠，变工况分析数据可靠。
- 具体项目中需要引入供货方镜场的性能模型，为项目提供EPC性能担保。

第一部分 太阳能热发电概述

第二部分 全厂系统集成设计

第三部分 聚光集热系统设备

第四部分 中电工程西北院介绍

第三部分 关键工艺系统设备

熔盐，导热油蒸汽发生器工艺流程

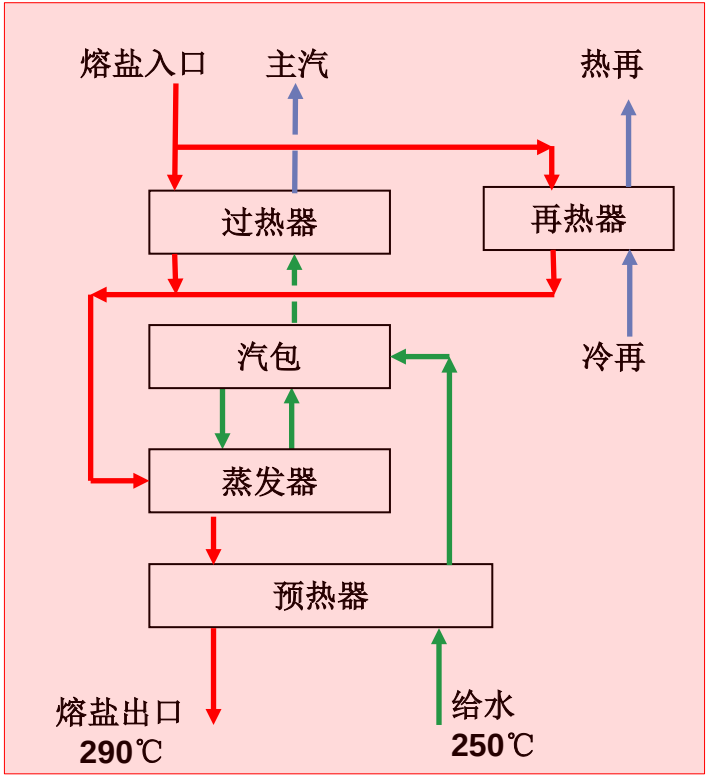
① 拟定初步流程

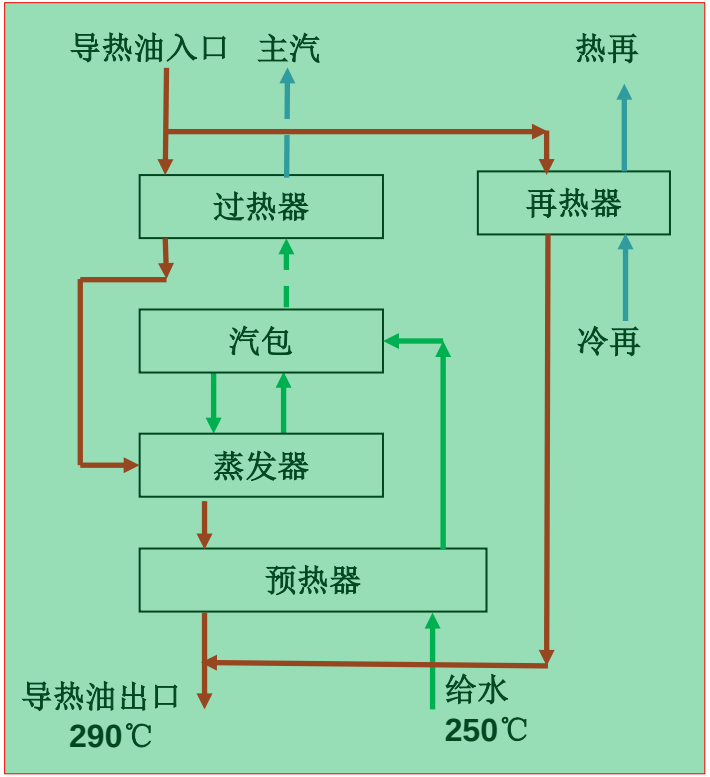
② 比较工艺流程

③ 确定工艺流程

④ 确定设备结构

⑤ 确定设备规范

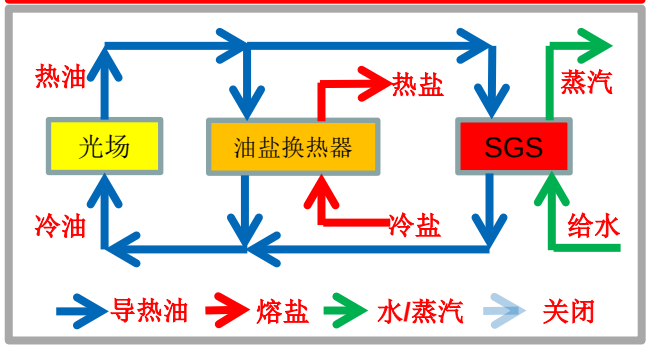


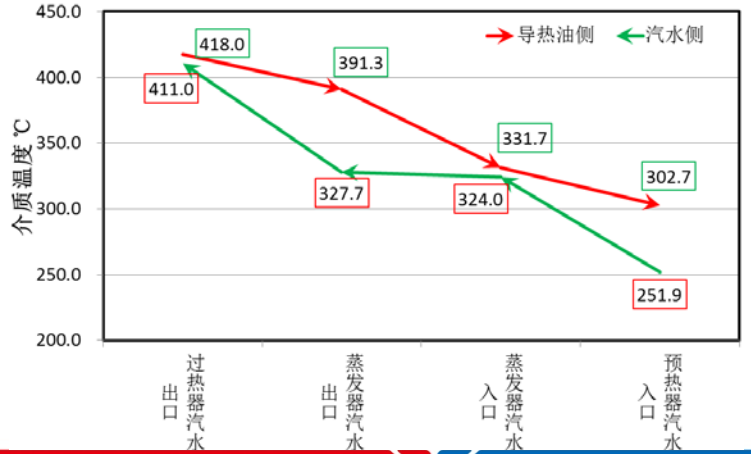


第三部分 关键工艺系统设备

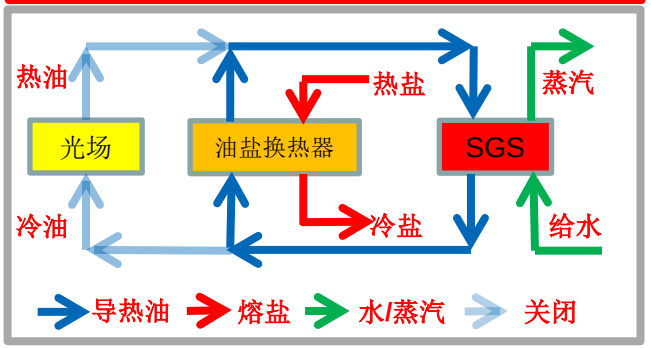
槽式导热油油盐换热器 衔接集热与发电的设备

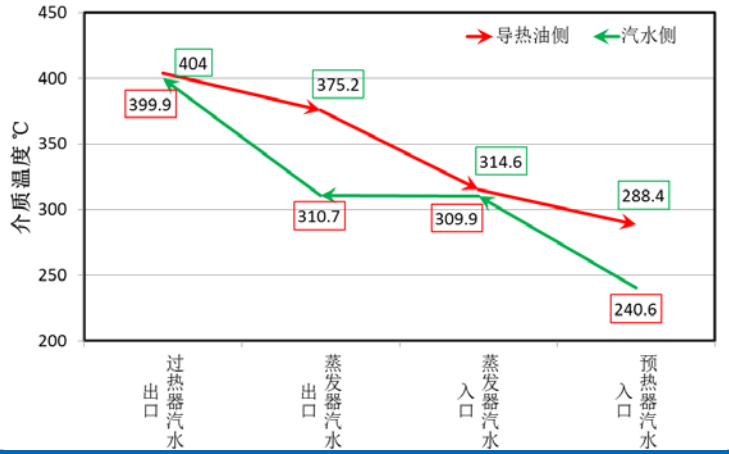
光场集热+充热+发电





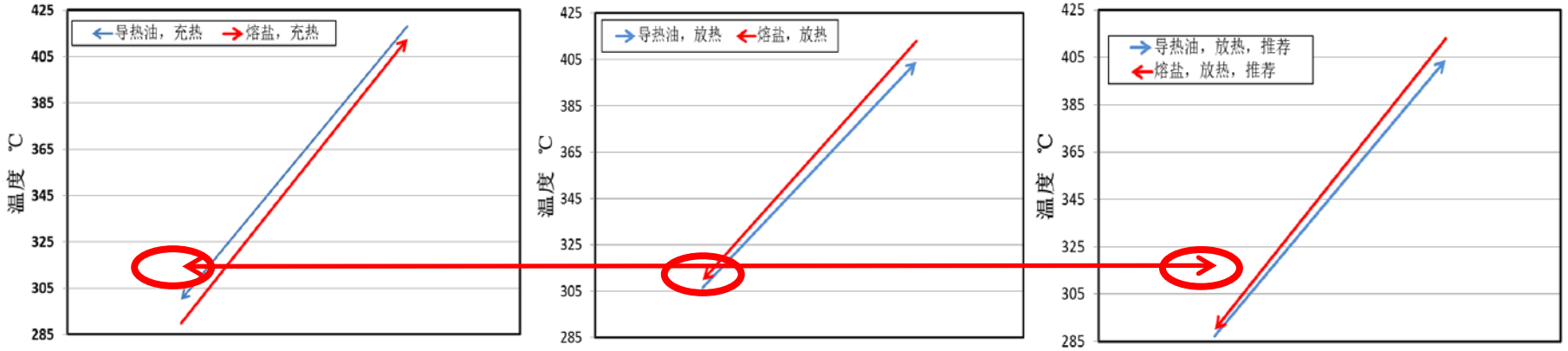
光场关闭+放热+发电





第三部分 关键工艺系统设备

槽式导热油油盐换热器



管壳式换热器，运行业绩多，可靠性较好；
板式换热器结构紧凑，换热系数高，但运行业绩较少（两台机组，3台套设备，solana电站，阿法拉伐）；
储热工况汽轮机不宜发额定或较高功率，具体应由变负荷分析确定汽轮机出力。

第三部分 关键工艺系统设备

■ 蒸汽发生系统流程及配置

① 熔盐蒸汽发生器，各级旁路，混温，运行模式；

② 导热油蒸汽发生器，导热油侧流程，方便运维，节省投资；

③ 熔盐蒸汽发生器采用单列，简化系统，运行可靠性提高；

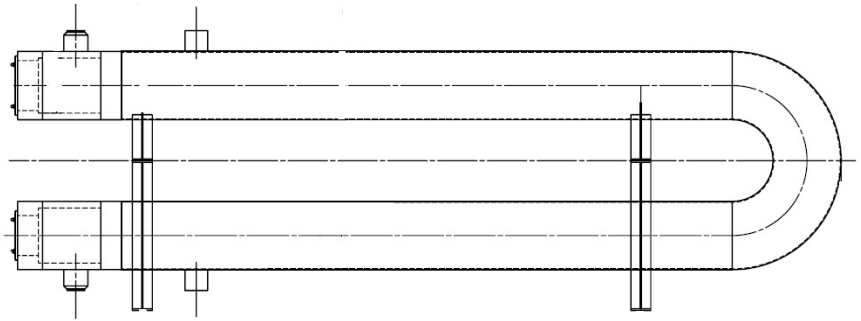
④ 自然循环具有足够可靠性；

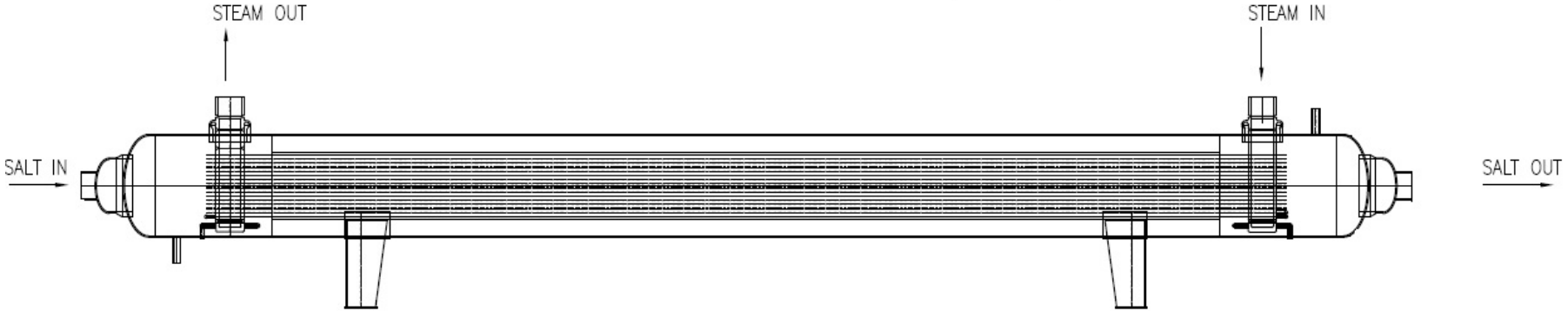
⑤ 注意熔盐侧的凝固风险控制，从系统设计及风险应对角度考虑。

第三部分 关键工艺系统设备

■ 过热器

- 过热器多采用发卡式换热器（API663）；
- 也有采用集管式蛇形管；
- 介质温度变化大，有单级、多级、串联和并联。

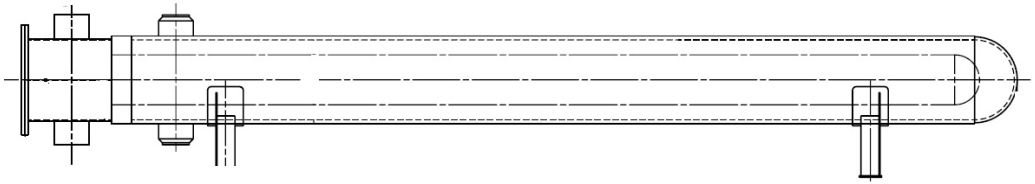


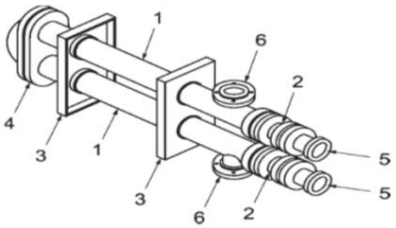


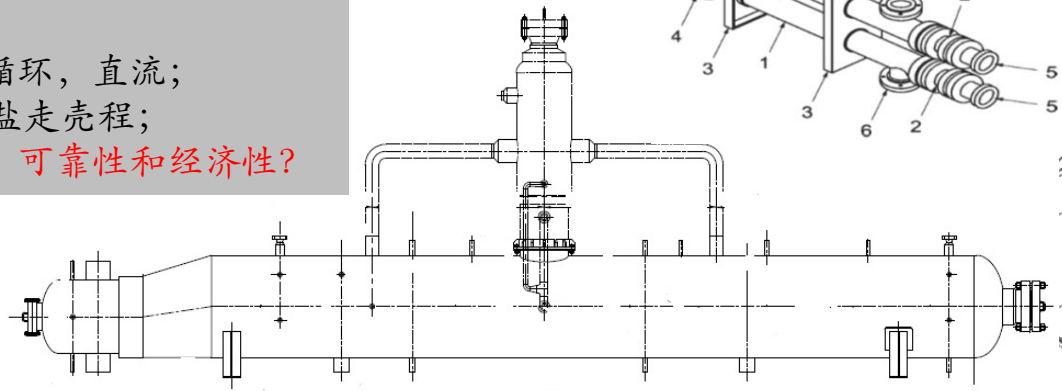
第三部分 关键工艺系统设备

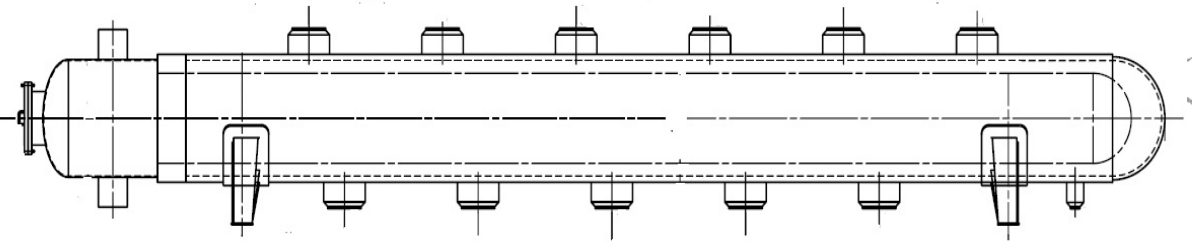
■ 蒸发器

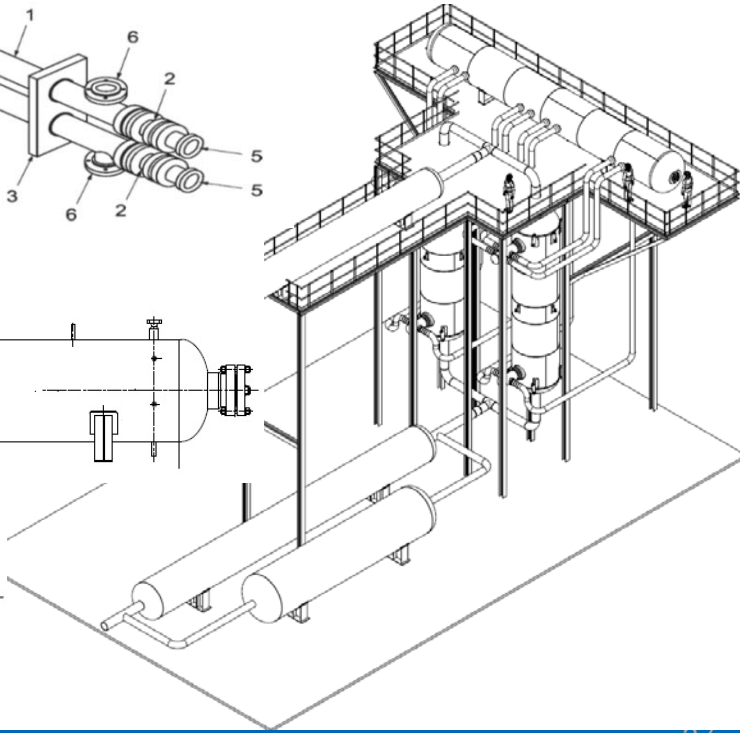
① 蒸发器设备是SGS最关键的设备
② 釜式、U管直壳、U管U壳，蛇形管等。
③ 需综合考虑成本、系统流程、容量、参数确定。
④ 自然循环，强制循环，直流；
⑤ 熔盐走管程VS熔盐走壳程；
⑥ 如何平衡安全性，可靠性和经济性？







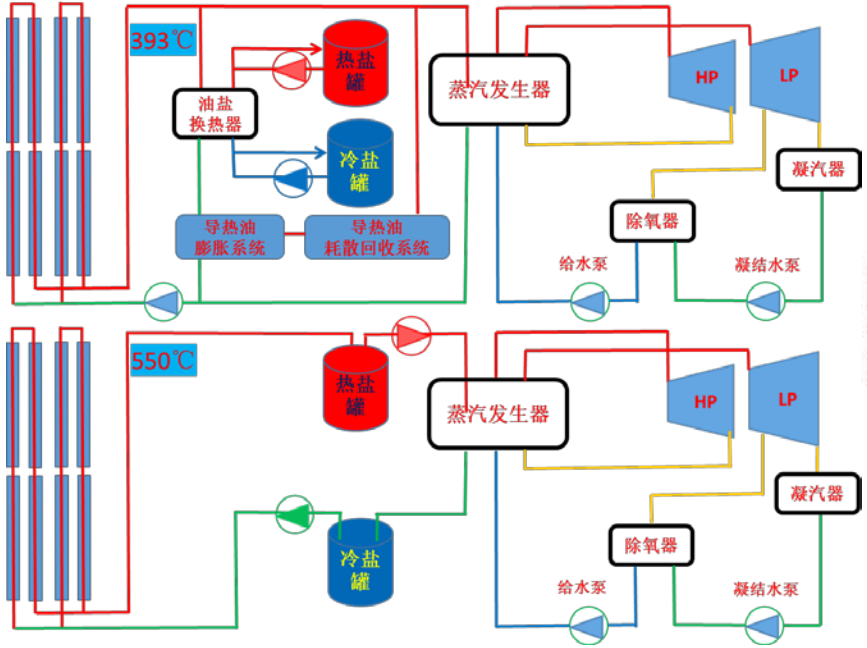




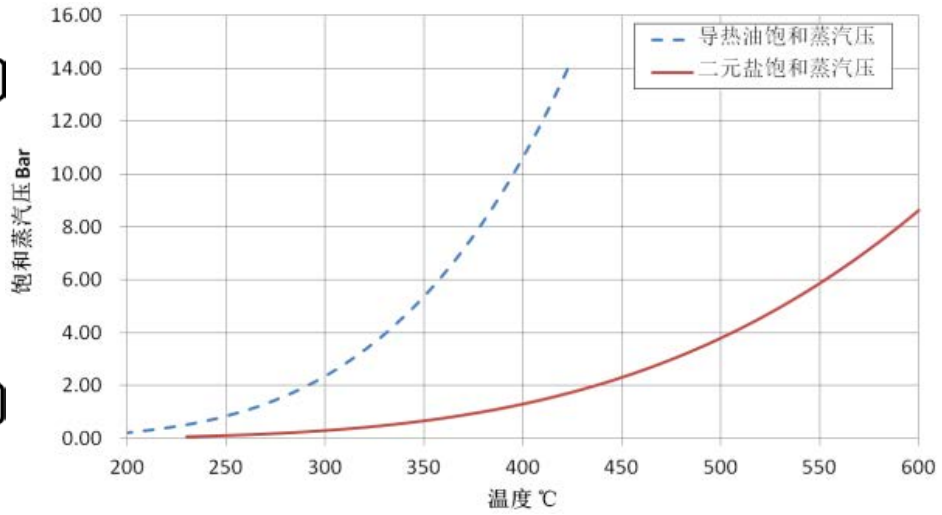
第三部分 关键工艺系统设备

传热流体：采用熔盐作为传热流体，简化工艺系统，提高热经济性

。



二元熔盐和导热油饱和蒸汽压随温度变化



第三部分 关键工艺系统设备

■ 太阳盐和低熔点盐关键物性对比

介质	组分	熔点℃	最高温度℃
导热油	联苯；联苯醚	12	400
Hitec XL	硝酸钠；硝酸钾；硝酸钙	120	500
Hitec	硝酸钠；硝酸钾；亚硝酸钠	142	538
Hitec 太阳盐	硝酸钠；硝酸钾	238	593
低熔点盐	硝酸钠；硝酸钾；其他	115	580

■ 采用哪种熔盐作为线聚焦集热技术的传热介质，其使用温度上限在很大程度上是由集热管高温吸热和散热特性决定，因为在高温下辐射散热机理引起的散热损失非常可观，确定两种熔盐的工作温度上限均为550℃。采用低熔点盐对以下系统或参数产生较大影响：

（1）用于管路系统及回路本体的防凝电力消耗会降低。

（2）单个回路传热流体流量及镜场熔盐循环泵的电耗降低。

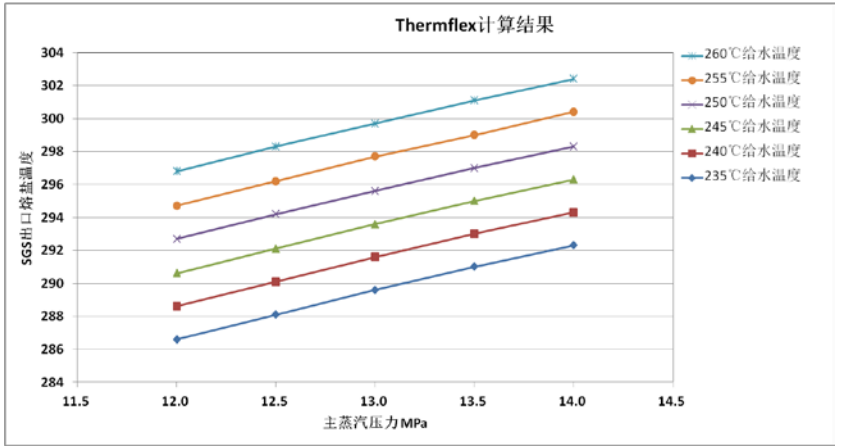
（3）储热系统初投资。

低熔点盐是“好东西”；
采用低熔点熔盐的经济性和可靠性？！

第三部分 关键工艺系统设备

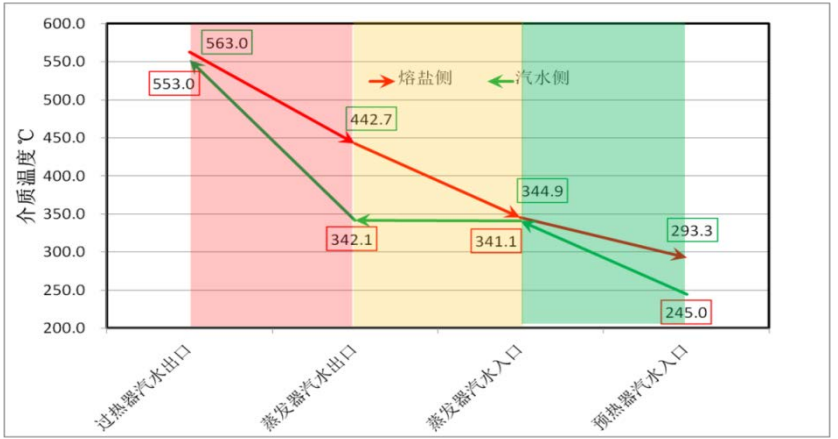
发电单元效率提升1个百分点，年收益增大2%以上！
重视发电单元设备选型及系统设计！

- ✓ 汽机进汽压力和温度受上游吸热系统影响；
- ✓ 过高的压力会影响预热器出口熔盐温度；
- ✓ 结合上游传热流体温度和SGS设备统筹考虑



多方协同 全局优化 系统集成

- 在供货方的配合下，从全厂系统优化角度考虑如下问题：新蒸汽参数、再热压比、再热系统压损、回热抽汽系统、加热器疏水系统、冷端优化等。
- 部分结论部分反映在DL/T《太阳能热发电厂汽轮机及辅助系统设计规范》行业标准中，以指导工程设计。



第三部分 关键工艺系统设备

■ 集热及储换热系统

① 重视镜场清洗（车），清晰策略以确保年均清洁度；
② 熔盐泵；导热油泵，镜场低速循环泵；
③ 储罐，重视施工工艺，储罐的配置。
④ 熔盐阀门，截止阀和蝶阀，重视阀盖伴热设计

■ 重视发电单元系统辅机设备选型

① 给水泵、凝结水泵配置及调速
② 高低加回热系统及除氧器、疏水泵
③ 空冷凝汽器

发电单元相对聚光集热、储换热而言，子系统最多最复杂但最成熟。容易被轻视。

第一部分 太阳能热发电概述

第二部分 全厂系统集成设计

第三部分 聚光集热系统设备

第四部分 中电工程西北院介绍

第四部分　西北电力设计院光热业务介绍

- 2008年，中国电力工程顾问集团公司和中科院电工所合作亚洲首座兆瓦级（电功率1.5MW）塔式太阳能热发电电站的总体设计，西北电力设计院有限公司作为设计院，完成相关工程设计。
- 2010年10月，参与中控太阳能德令哈塔式光热发电工程设计。2014年7月10MW成功并网发电；2016年8月熔盐改造完成。该项目是亚洲首座光热发电商业电站。
- 2015年，西北院参与摩洛哥NOOR3期电站工程设计。该项目是目前单机容量最大的塔式熔盐电站。由山东电建三公司和SENER组成的联合体EPC。
- 2015年，西北院参与中广核德令哈槽式发电单元EPC；
- 2016年，西北院负责滨海光热阿克塞50MW槽式熔盐项目光场及发电单元工程设计，及总体设计院；
- 前期项目若干……

第四部分 中电工程西北院介绍

中国电力顾问集团有限公司太阳能热发电技术中心设在西北院，中心主要负责开展太阳能热发电行业的重大与关键技术的研究与开发，研究提出集团公司太阳能热发电发展规划和技术升级方向等。目前正编制多项国家标准和行业标准。

随着中国电力工程顾问集团公司光热发电技术中心的成立及各光热项目初设、施工图的开展，我公司成立了院总工程师带队，各专业骨干力量组成的光热项目攻关小组。攻关小组成员：享受国务院政府特殊津贴专家1人，中国电力规划设计协会资深专家1人，热机专业、土建结构专业、热工自动化专业博士6人，以及各专业资深工程师共23人。

序号	项目名称及编号	承担单位
行业标准		
1	塔式太阳能热发电集热系统设计规范	西北院（主编）
2	太阳能热发电厂总图运输设计规范	西北院（主编）
3	太阳能热发电厂发电量及厂用电率计算导则	西北院（主编）
4	太阳能热发电厂换热系统设计规范	西北院（主编）
5	太阳能热发电厂汽轮机及其辅助系统设计规范	西北院（主编）
6	太阳能热发电厂热工自动化设计规范	西北院（主编）
国家标准		
1	槽式太阳能光热发电站设计规范	西北院（参编）
2	塔式太阳能光热发电站设计规范	西北院（参编）

热烈欢迎各位同仁莅临检查指导

西北电力设计院有限公司
新能源开发分公司
赵晓辉 博士，zhaoxiaohui@nwepdi.com；
2017年11月　南宁

中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司
NORTHWEST ELECTRIC POWER DESIGN INSTITUTE CO., LTD.OF CHINA POWER ENGINEERING CONSULTING GROUP