

热电联产远距离低能耗集中供热技术研讨会



余小兵

西安热工研究院节能中心汽机所所长助理、供热小组组长，高级工程师。长期从事汽轮机节能提效及热电联产相关研究，主持完成了国内数十台机组供热改造技术方案论证、供热机组性能诊断、供热成本核算、供热运行优化、供热深度节能相关技术服务工作，涵盖了各种类型各种参数等级的工业供热，积累了丰富的经验。主持或参与多项热电联产相关的科研课题，其中包括国家重点研发计划项目《常规/供热机组调节能力提升与电热综合协调调度技术》课题2——提升供热机组电出力调节能力的蒸汽系统流程改造。

热电联产机组节能技术及运行优化



CEEC 中国能建



华源泰盟
HYTM

2018年3月20-22日 中国·太原

大型火电机组供热改造技术及供热运行优化

报告人：余小兵

西安热工研究院有限公司

二〇一八年三月



主要内容

1. 国家政策要求
2. 常见采暖供热技术
3. 常见工业供汽技术
4. 常见的问题
5. 供热机组性能诊断及供热节能技术
6. 厂级供热优化
7. 技术服务及业绩

一、改造背景

1. 国家政策要求

◆ 国家能源节约与资源综合利用规划：

- 《“十三五”节能减排综合工作方案》；
- 《国家能源节约与资源综合利用规划》；
- 《煤电节能减排升级与改造行动计划（2014—2020年）》；
- 《热电联产管理办法》（发改能源[2016]617）。

一、改造背景

2. 节能减排的需要

- ◆ 火电厂的节能一直是工业节能的重点：
 - 重点发展热电联产、集中供热及热能梯级利用技术；
 - 火电机组冷源损失是其最大能量损失；
 - 火电机组供热可显著减小冷源损失。

一、改造背景

3. 改善环境质量的需要

◆ 集中供热、供汽，改善城市环境质量的需要

- 环境质量问题；
- 分散燃煤小锅炉供热的效率低、污染大；
- 城市发展带来的供热缺口；
- 新兴工业园区对高温蒸汽的需求；
- 挖掘机组供热潜力。

一、改造背景

4. 提升企业盈利能力的需要

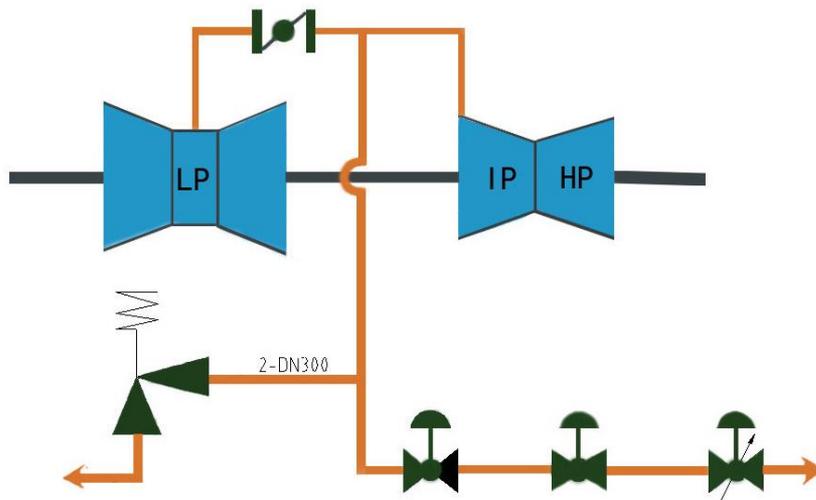
- ◆ 采暖供热及工业供汽，成为火电企业增加收入的重要手段
- 设备年发电利用小时数持续下降；
- 火电机组处于低收入、高成本的经营模式；
- 供热有利于提升火电企业经济效益。

二、采暖供热技术方案

1. 中低压连通管采暖抽汽

◆ 供热改造方案：

- 中低压连通管改造（蝶阀安装位置，最小开度）；
- 抽汽管道阀门布置（快关阀、止回阀、安全阀）；
- 凝结水回水。



二、采暖供热技术方案

◆ 技术特点：

- 最大抽汽能力；
- 连通管振动问题；
- 蝶阀最小开度；
- 对机组电负荷的要求；
- 抽汽量对叶片安全可靠、低压末级叶片选型的影响；
- 仍存在较大冷源损失。

二、采暖供热技术方案

2. 低真空供热

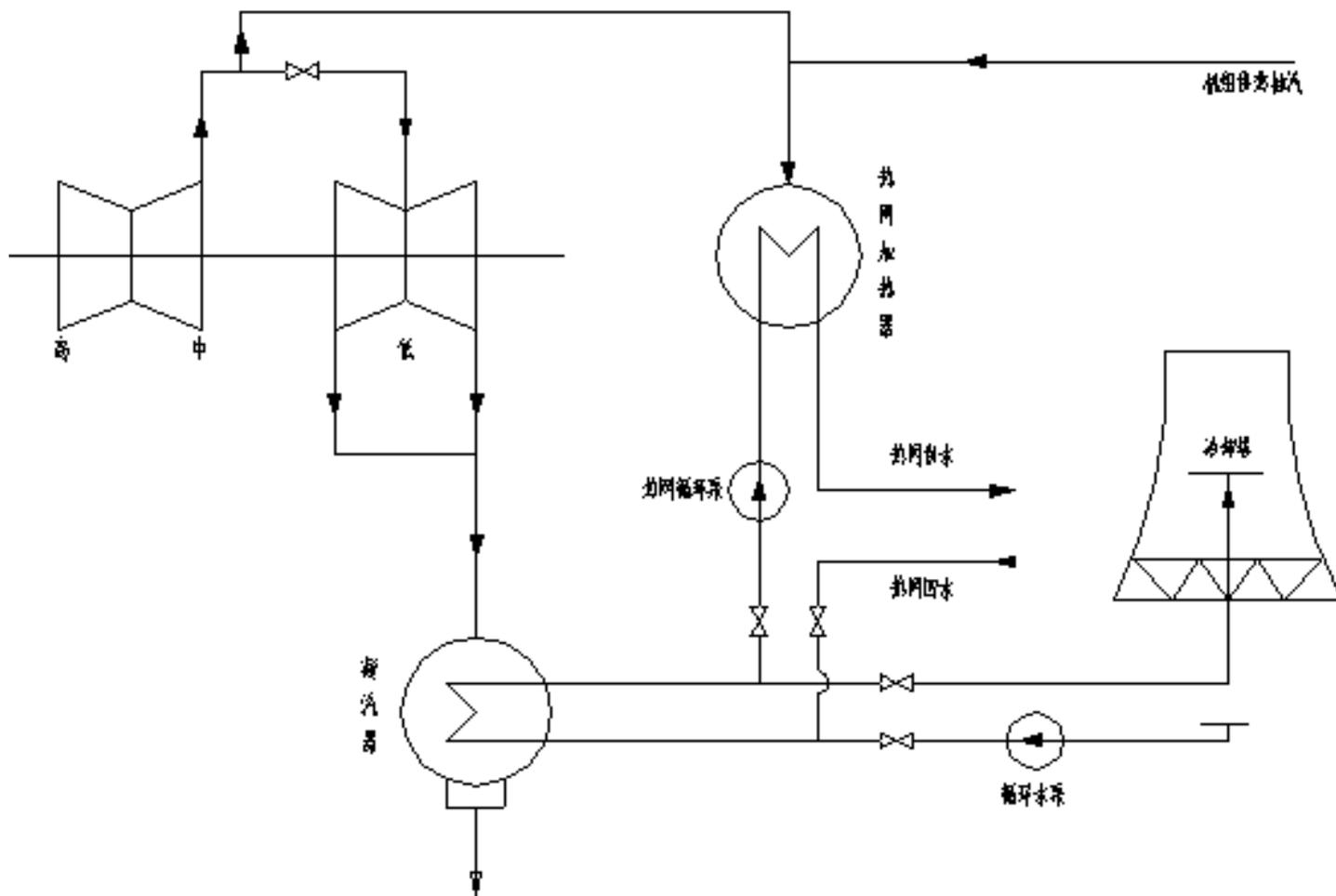
◆ 供热改造方案：

- 适当提高机组排汽背压（一次性改造、纯凝期的影响）；
- 管网适配性改造；
- 热网水回收乏汽余热。

◆ 技术特点：

- 背压选择；
- 冷源损失降低至零；
- 对安全可靠性的影响（汽轮机、凝汽器、轴系振动）；
- 对热网循环水量的要求。

二、采暖供热技术方案



二、采暖供热技术方案

3. 高背压供热

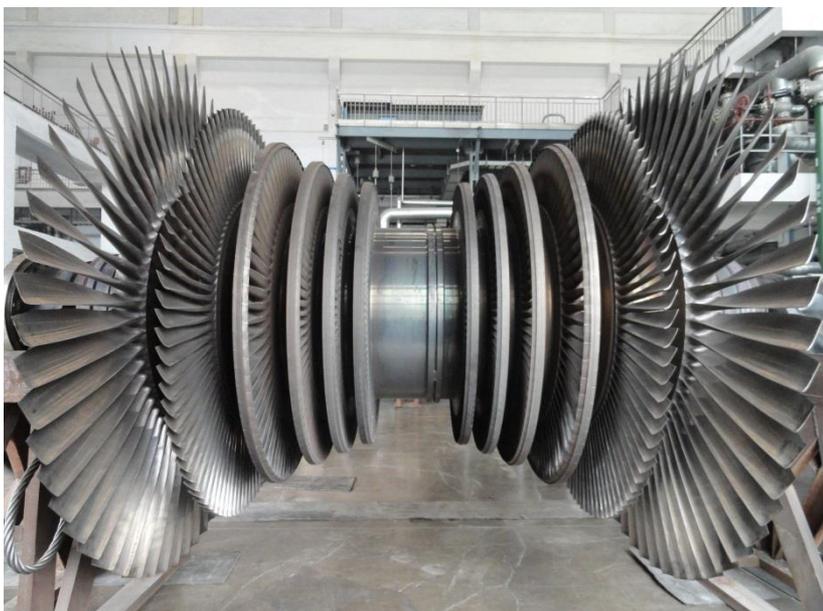
◆ 供热改造方案：

- 叶片拆除与重装/双转子互换（工期、风险、纯凝期的影响）；
- 其他设备及系统适配性改造；
- 热网水回收排汽余热。

◆ 技术特点：

- 设计背压；
- 对热网循环水量的要求；
- 全部回收乏汽余热；
- 原有循环冷却水系统退出运行。

二、采暖供热技术方案



二、采暖供热技术方案

◆ 其他系统及设备适配性改造

- 凝汽器（强度、结垢、热膨胀）
- 给水泵汽轮机
- 凝结水精处理系统
- 开式冷却水系统
- 轴封冷却器
- 抽真空系统
- 管网
- 首站设备（热网泵：汽泵、电泵）

二、采暖供热技术方案

4. 基于双工质冷却的部分高背压供热（湿冷机组全国首例，曲阜）

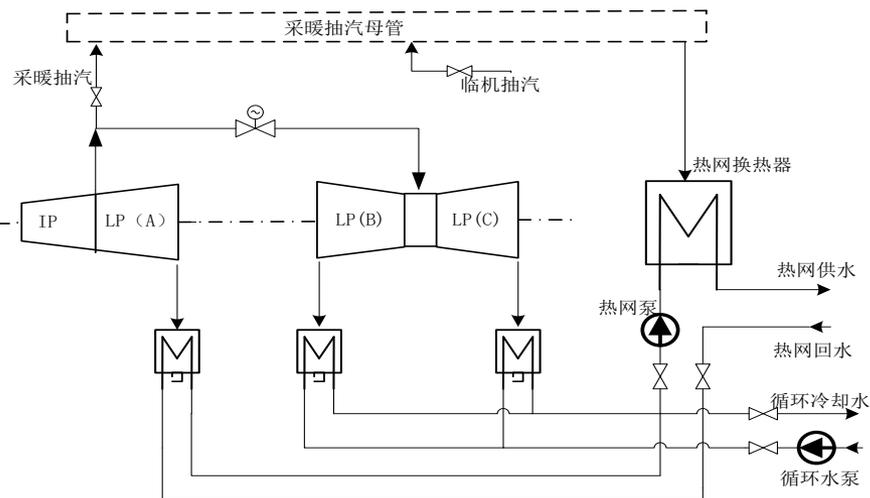
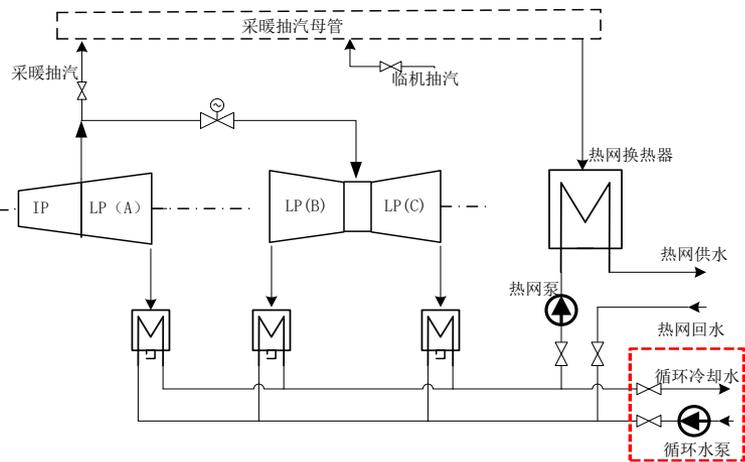
◆ 技术特点：

- 对热网循环水量要求降低30%~60%；
- 两种冷却工质；
- 回收部分排汽余热。

◆ 专利（申请中）及文章：

- 双工质冷却供热运行机组凝结水系统解决方案；
- 一种高背压供热机组抽真空系统节能装置；
- 一种适用于三排汽型汽轮机组的双工质冷却高效供热系统。

二、采暖供热技术方案



二、采暖供热技术方案

5. 低压光轴供热

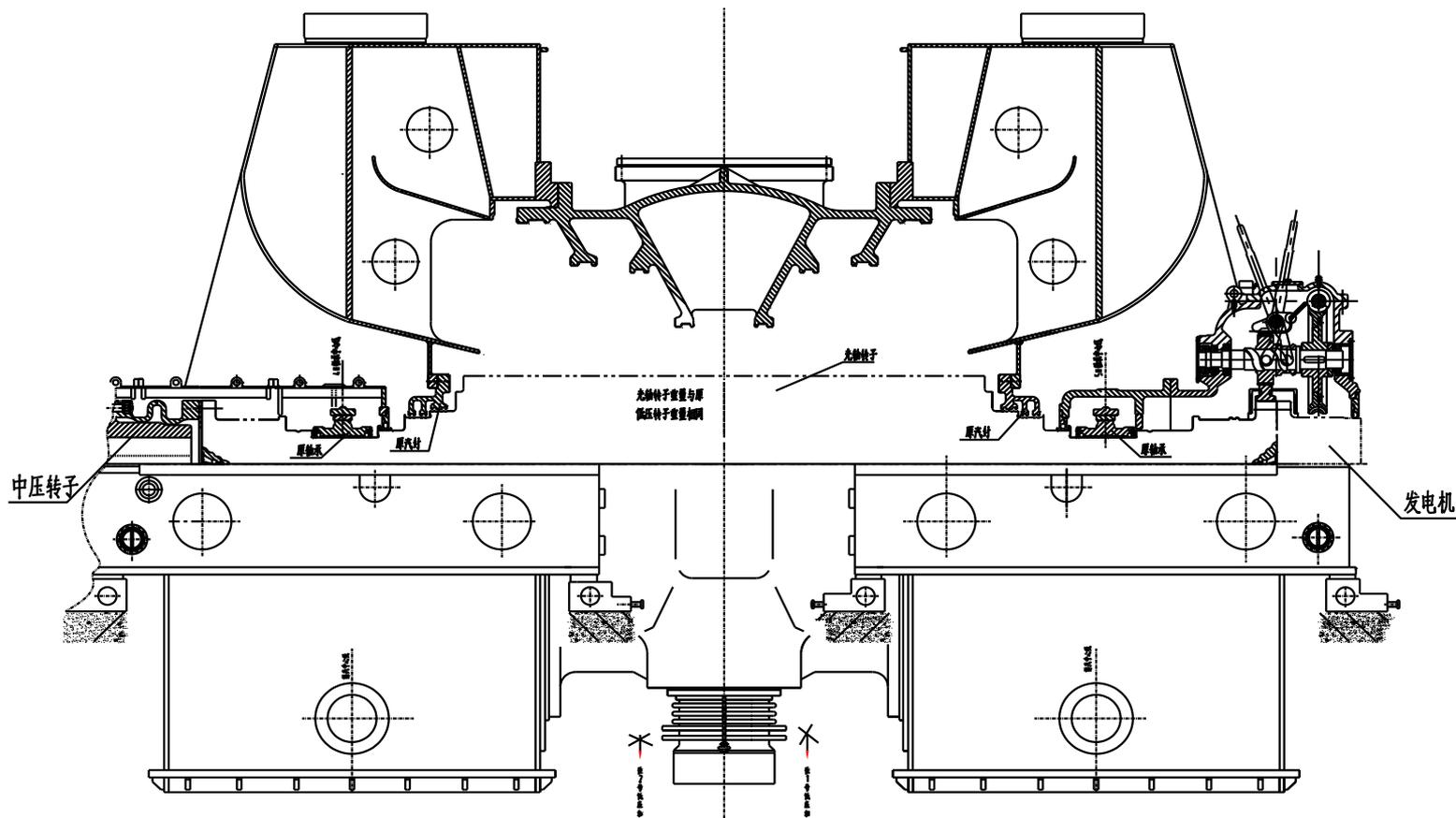
◆ 供热改造方案：

- 供热期低压转子换成光轴，对轮标准化处理；
- 中低压连通管改造；
- 中压排汽用于供热，供热管道上加设逆止阀、快关调节阀、安全阀等。

◆ 技术特点：

- 适用类型（分缸压力；供热面积）；
- 低压缸冷却；
- 电负荷受影响较大（电热比较低）；
- 类似的有低压缸零出力供热。

二、采暖供热技术方案

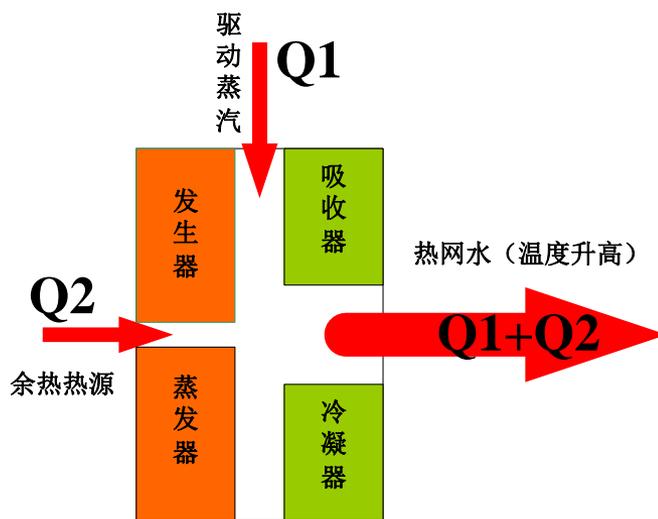
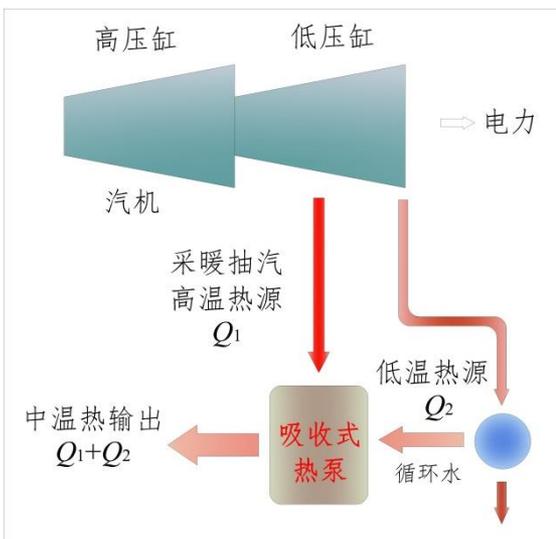


二、采暖供热技术方案

6. 吸收式热泵供热

◆ 供热改造方案：

- 增加吸收式热泵泵组（泵组费用、泵房及其他）；
- 驱动热源；
- 低位热源（空冷机组/湿冷机组）。

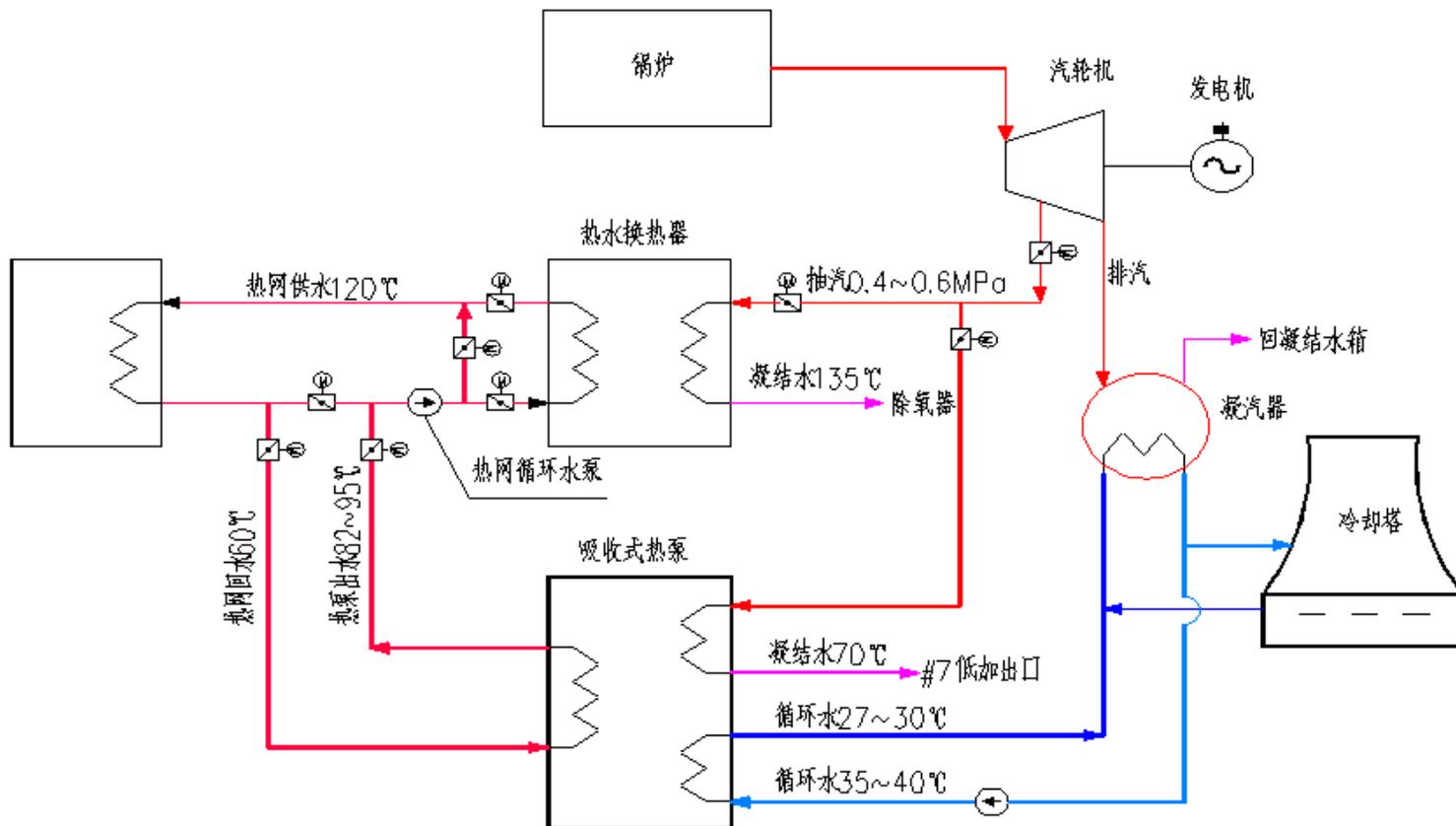


二、采暖供热技术方案

◆ 技术特点

- COP值（变工况性能）
- 驱动热源（抽汽量，抽汽参数）
- 可靠性及寿命
- 出口温度
- 单机容量
- 厂用电

二、采暖供热技术方案

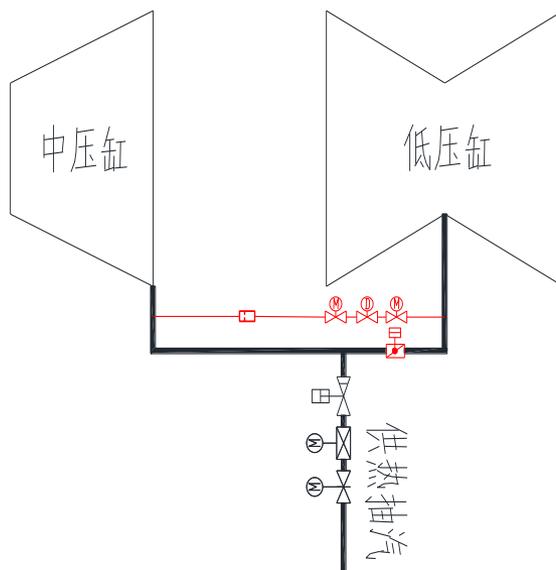


二、采暖供热技术方案

7. 切除低压缸进汽供热技术（临河、延吉、东方、杨柳青、黄台）

◆ 技术特点

- 中低压连通管改造；
- 加装低压缸温度测点；
- 低压末级叶片安全可靠核算；
- 在线切缸试验。



ZL2017103869563

一种切除低压缸进汽的供热系统及方法

三、工业供热技术方案

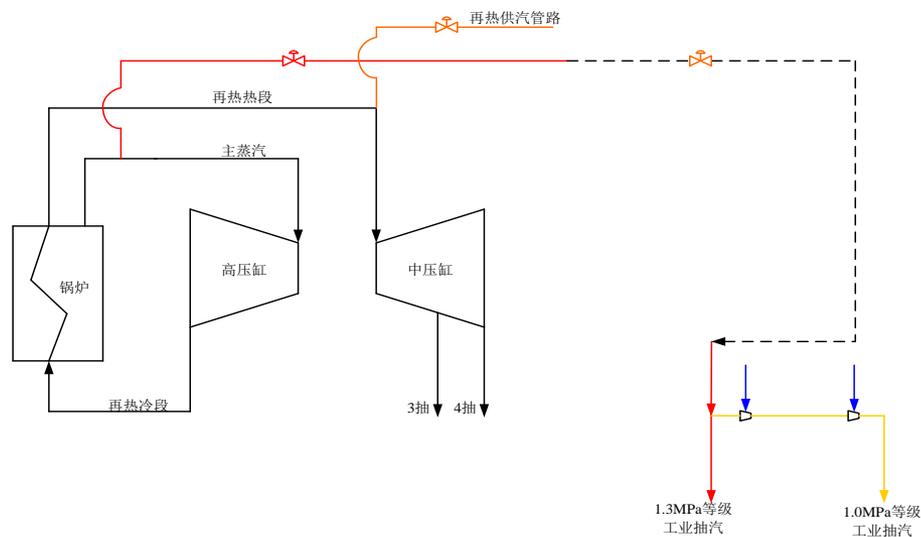
1. 冷再/热再等抽汽供热（德州、太仓）

◆ 抽汽能力

- 冷再抽汽需考虑再热器超温限制；
- 热再抽汽能力相对更大；
- 冷再抽汽经济性一般更好；

◆ 安全可靠

- 高压末三级叶片安全性；
- 机组轴向推力。

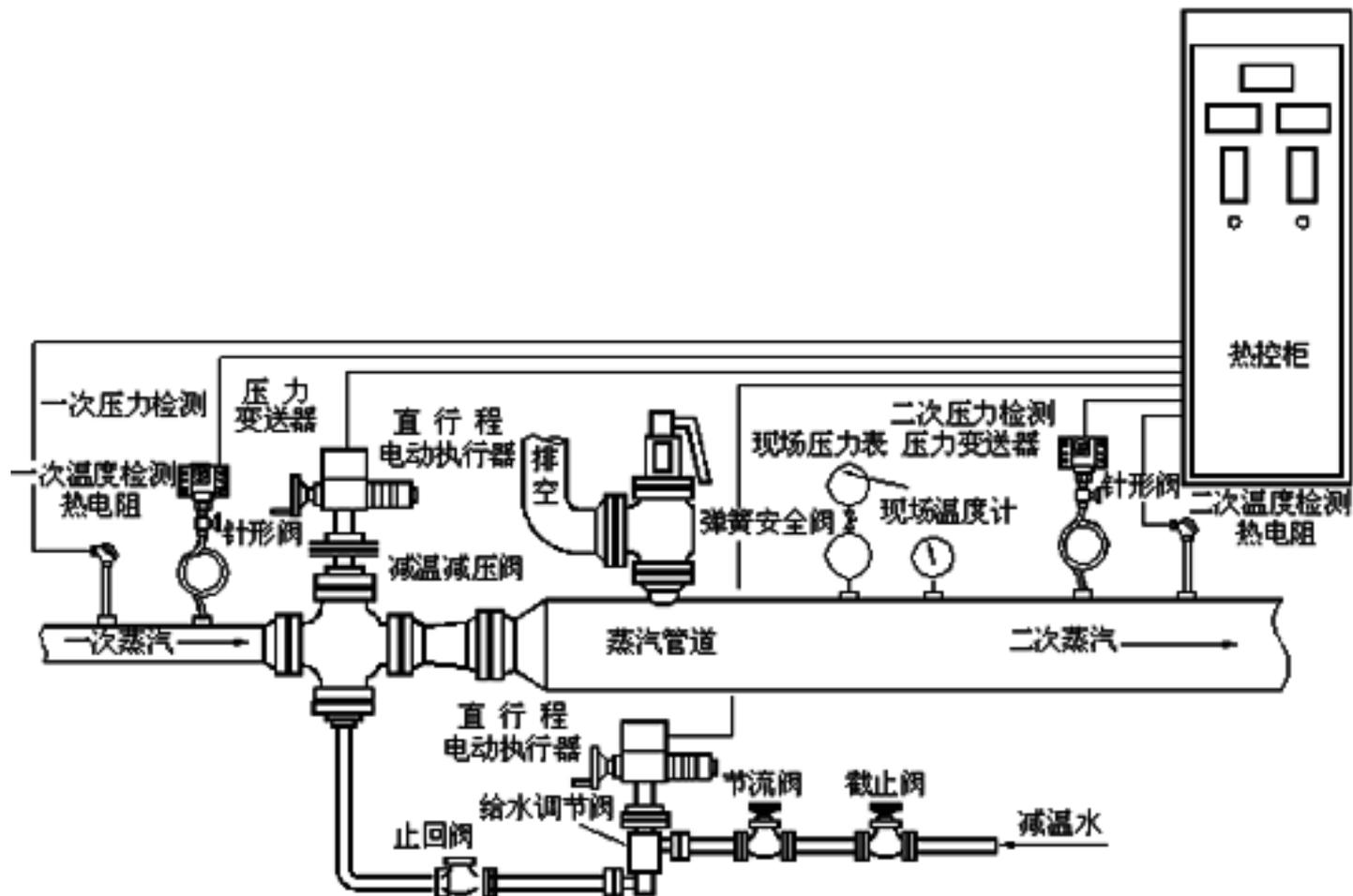


三、工业供热技术方案

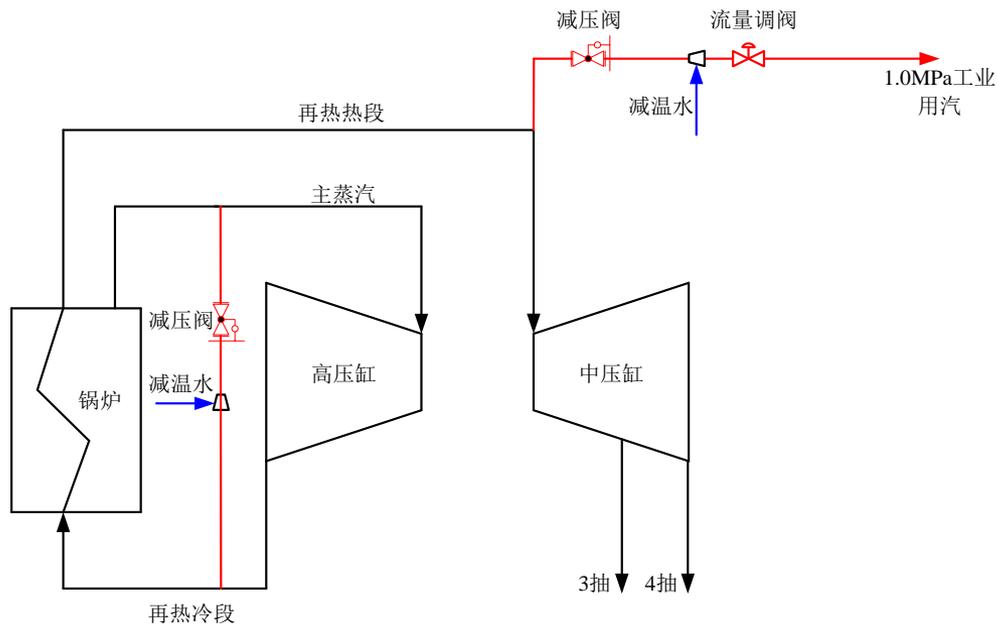
◆ 建设范围

- 主机改造；
- 供热管网建设；
- 制水系统扩能改造；
- 其他配套改造。

三、工业供热技术方案



三、工业供热技术方案



三、工业供热技术方案

2. 中联门参调改造方案(德州、青山)

- 中联门改造（优化调节特性）；
- 控制逻辑改造；
- 高排压力控制；
- 轴向推力核算。

三、工业供热技术方案

3. 旋转隔板抽汽供热（南京、西固）

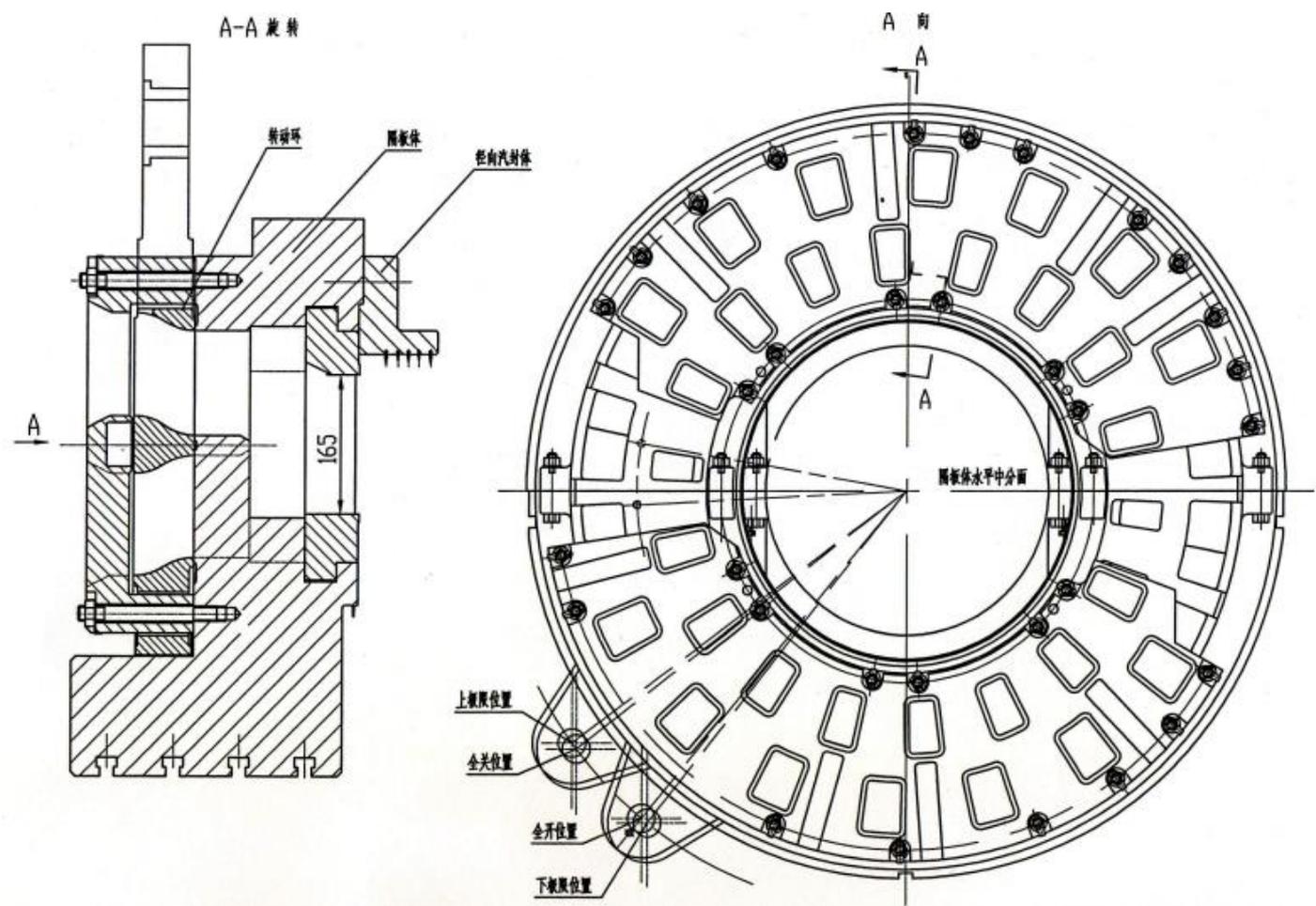
◆ 技术特点

- 抽汽经济性好；
- 抽汽能力强；
- 新机/改造

◆ 安全可靠

- 对上、下游流场的扰动（叶片安全可靠）；
- 旋转隔板本身可靠性（卡涩）；
- 平衡腔室

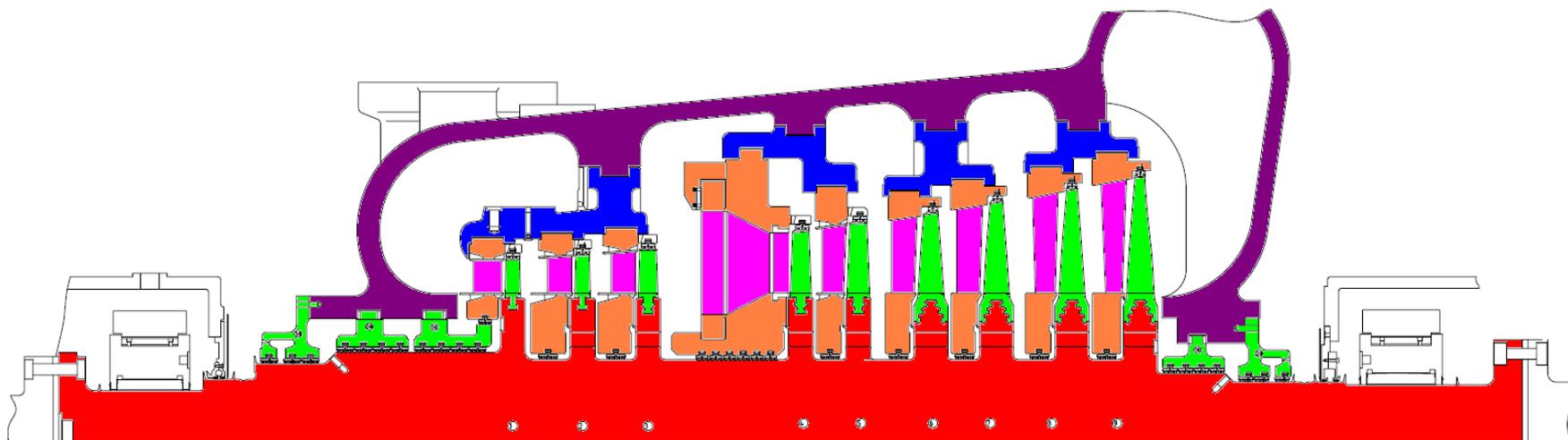
三、工业供热技术方案



三、工业供热技术方案

◆ 旋转隔板改造方案

- 增设旋转隔板，更换转子，调整通流级数；
- 更换外缸，增设油动机；
- 轴向推力核算。



三、工业供热技术方案

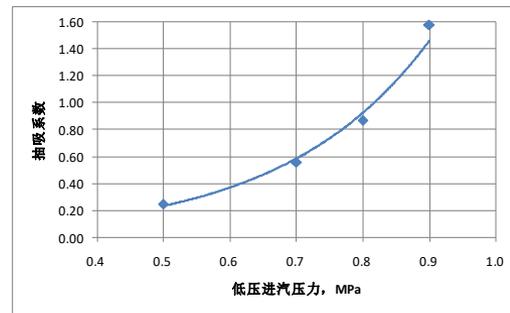
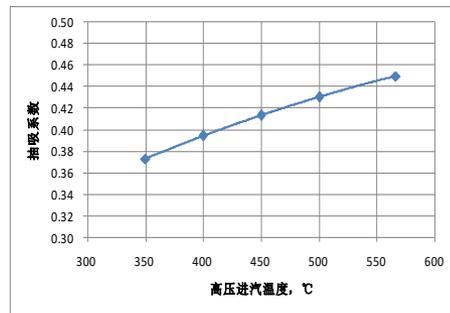
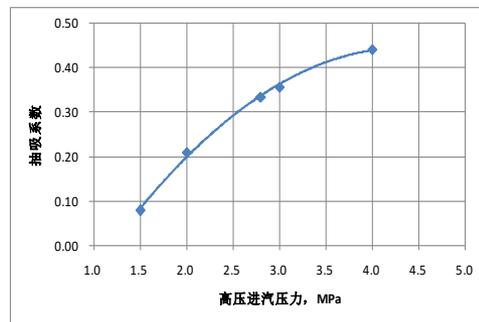
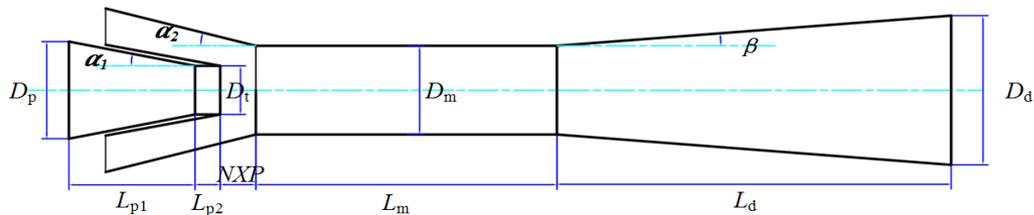
4. 压力匹配器 (望亭、费县)

◆ 技术特点

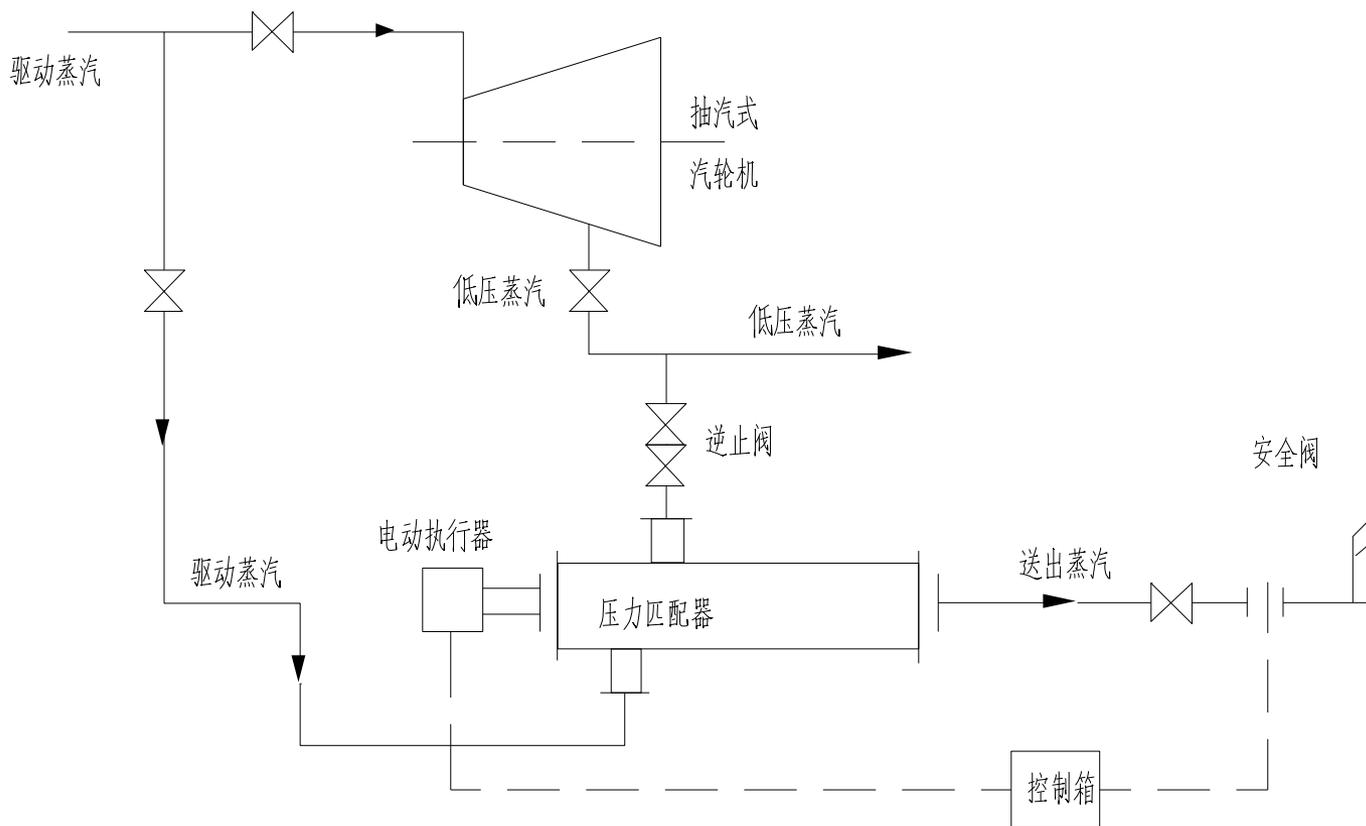
- 经济性优于减温减压;
- 高压汽源、低压汽源;
- 引射比 (变工况性能);
- 噪声

◆ 安全可靠

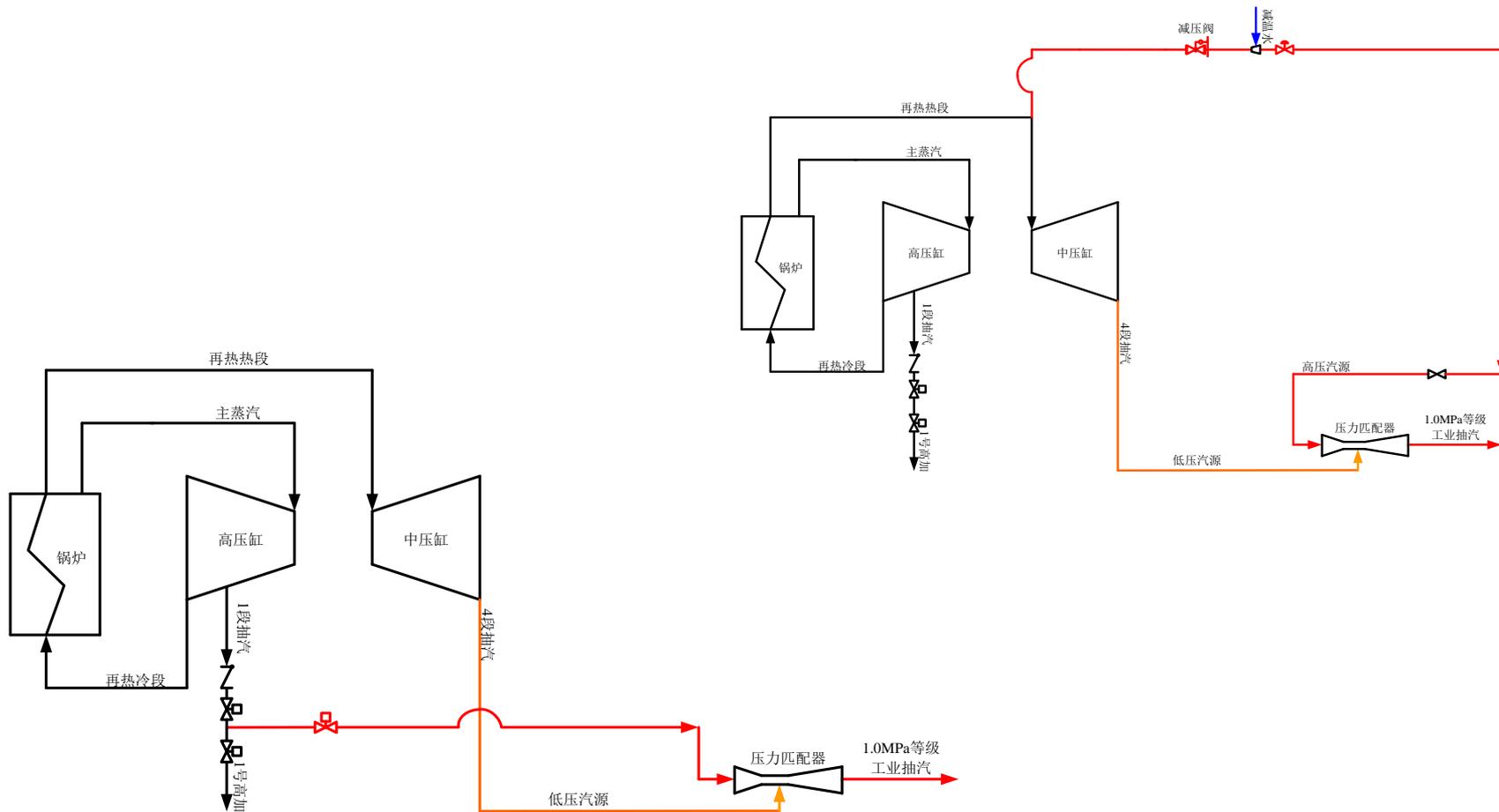
- 对通流部分安全性影响相对较小;
- 系统简单、可靠



三、工业供热技术方案



三、工业供热技术方案



三、工业供热技术方案

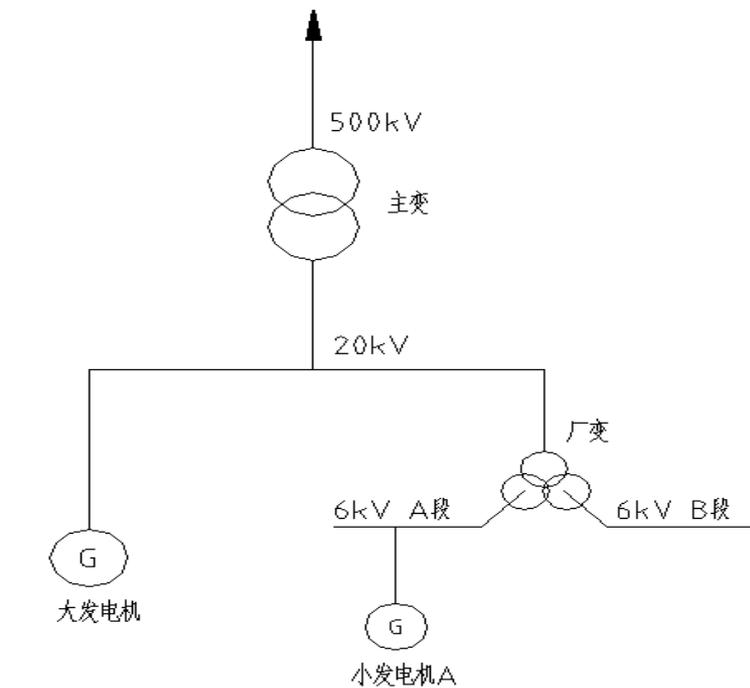
5. 背压机供热方案-能量梯级利用（铜川、大坝、衡水、秦热等）

◆ 技术特点

- 供汽量较稳定的情形；
- 高压汽源；
- 排汽压力；
- 接发电机（对于采暖可驱动热网泵）

◆ 方案实施

- 增设背压发电机组
- 接入厂用电系统
- 安全可靠

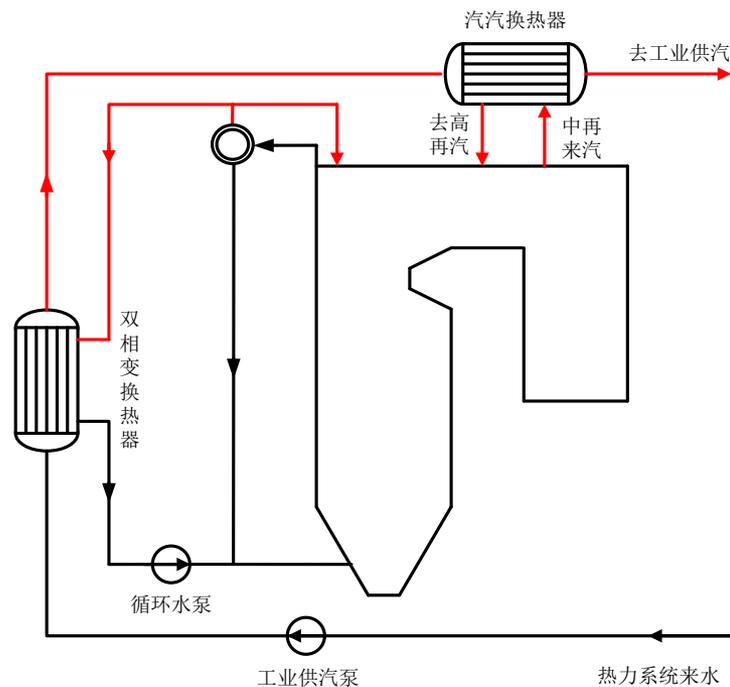


三、工业供热技术方案

6. 一种适用于高参数工业供汽的技术方案

◆ 技术特点

- 供汽压力范围为3.0MPa~10.0MPa；
- 供汽温度可达380℃~400℃。



四、常见的问题

◆ 抽汽对机组的影响

- 冷再、低再联箱抽汽对锅炉的影响；
- 抽汽压力高时对缸体、螺栓的影响；
- 抽汽压力低时对上游叶片安全性的影响；
- 供热对冷源损失的影响（效益分析）；
- 连通管大量抽汽对低压缸的影响；
- 供热抽汽投用的最低负荷限制；
- 甩负荷时抽汽倒灌的影响；
- 阀门的布置；
- 疏水点的布置。

四、常见的问题

◆ 高背压（低真空）供热

- 排汽背压限值的设计；
- 排汽缸超温问题；
- 机组振动问题；
- 通流部件轴向间隙；
- 喷水减温问题；
- 低压叶片安全性；
- 双转子方案的通用性、互换性问题；
- 高背压供热优化（发电比，煤价，调度方式）。

四、常见的问题

◆ 低压转子光轴供热/低压缸零出力供热

- 低压缸进汽量问题；
- 供热期冷端系统、热力系统的运行方式；
- 连通管的设计；
- 低压转子与光轴的互换（液压螺栓，标准化处理）——光轴；
- 轴瓦的通用性——光轴；
- 低压末三级叶片安全性校核——低压缸零出力。

四、常见的问题

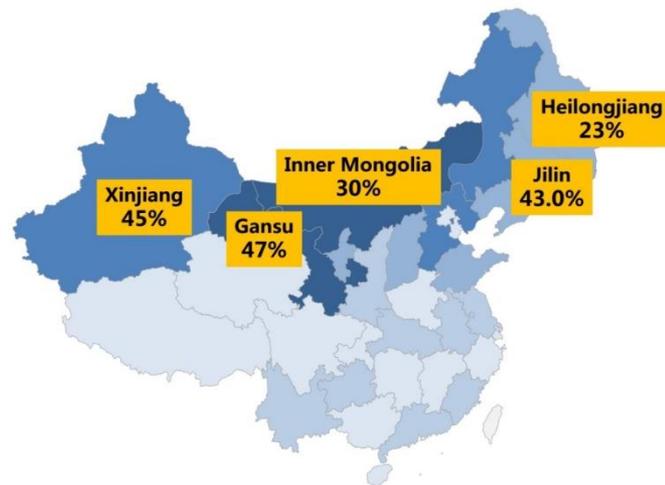
◆ 热泵供热

- 空冷机组/湿冷机组的低位热源提取方式；
- 驱动汽源的选择；
- 变工况特性；
- 对机组运行方式的影响；
- 设备质量问题；
- 工程造价；
- 运行维护成本。

四、常见的问题

◆ 热电耦合特性及供热机组深度调峰问题

- 东北地区弃风问题及调峰补贴（两个细则）
- 南方地区夏季水电的影响
- 未来火电机组深度调峰能力对生存能力的影响
- 低负荷工况机组工业抽汽参数及抽汽能力急剧下降
- 低负荷工况机组连通管采暖抽汽能力急剧下降



◆ 国家重点研发计划项目《常规/供热机组调节能力提升与电热综合协调调度技术》课题2——提升供热机组电出力调节能力的蒸汽系统流程改造

四、常见的问题

◆ 工业供热机组深度调峰问题

- 中联门参调供热；
- 基于梯级利用的高位汽源供热；
- 高参数备用汽源减温减压供热。

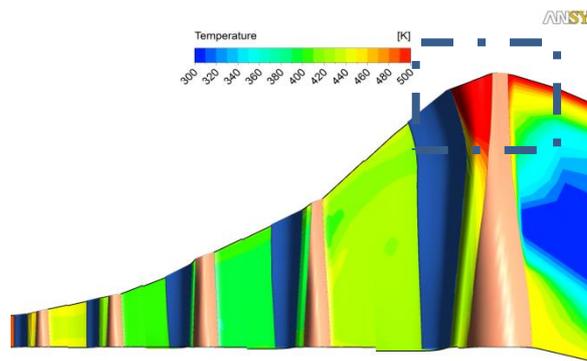
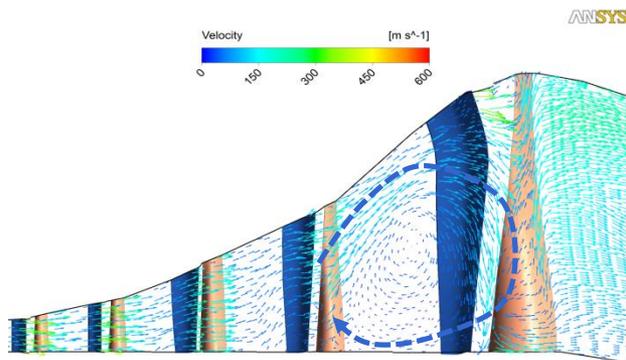
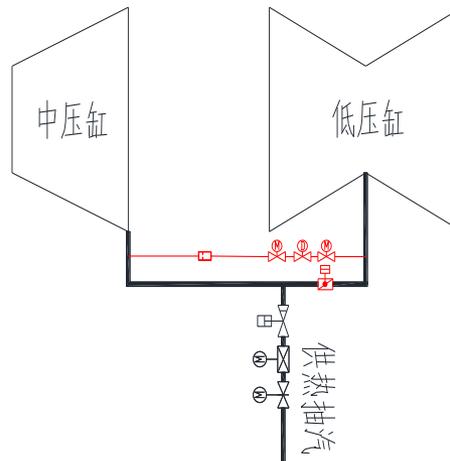
◆ 采暖供热机组深度调峰问题

- 低压缸零出力供热；
- 汽轮机旁路供热；
- 热水罐储热供热；
- 电锅炉供热。

四、常见的问题

◆ 低压缸零出力供热技术

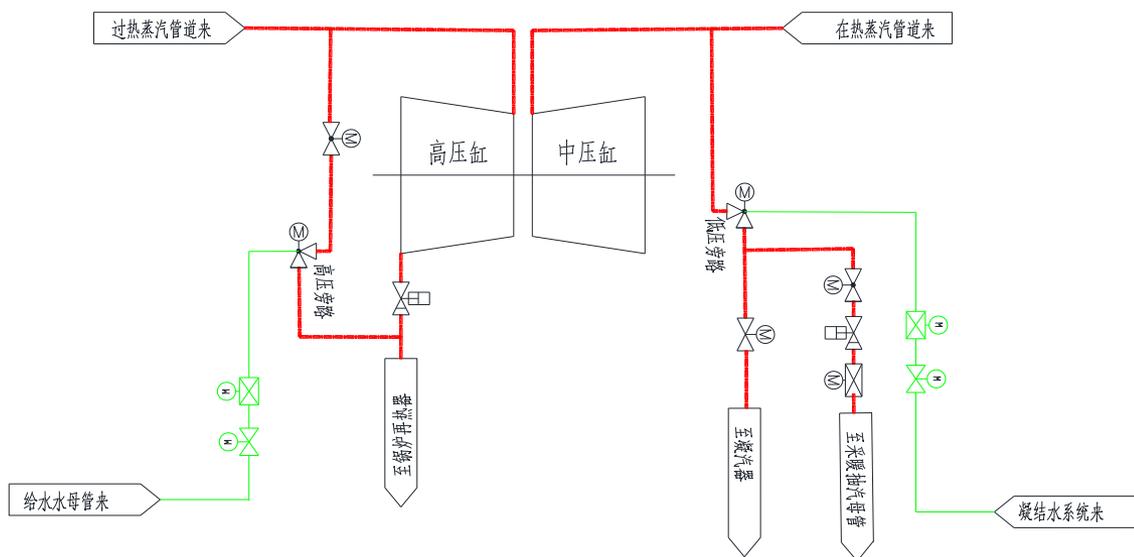
- 中低压连通管改造；
- 机组测点完善；
- 机组喷水减温系统校核；
- 低压末级叶片安全可靠核算；
- 在线切缸（临河、延吉、东方、杨柳青、黄台）。



四、常见的问题

◆ 汽轮机旁路供热技术

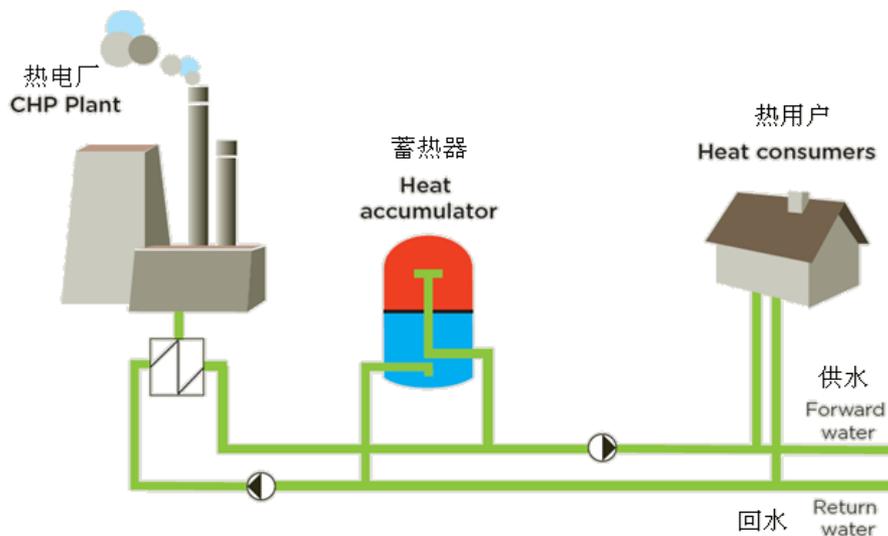
- 将部分主蒸汽旁路至高压缸排汽；
- 避免出现锅炉再热器超温、汽轮机轴向推力超限等问题。



四、常见的问题

◆ 热水储热供热技术

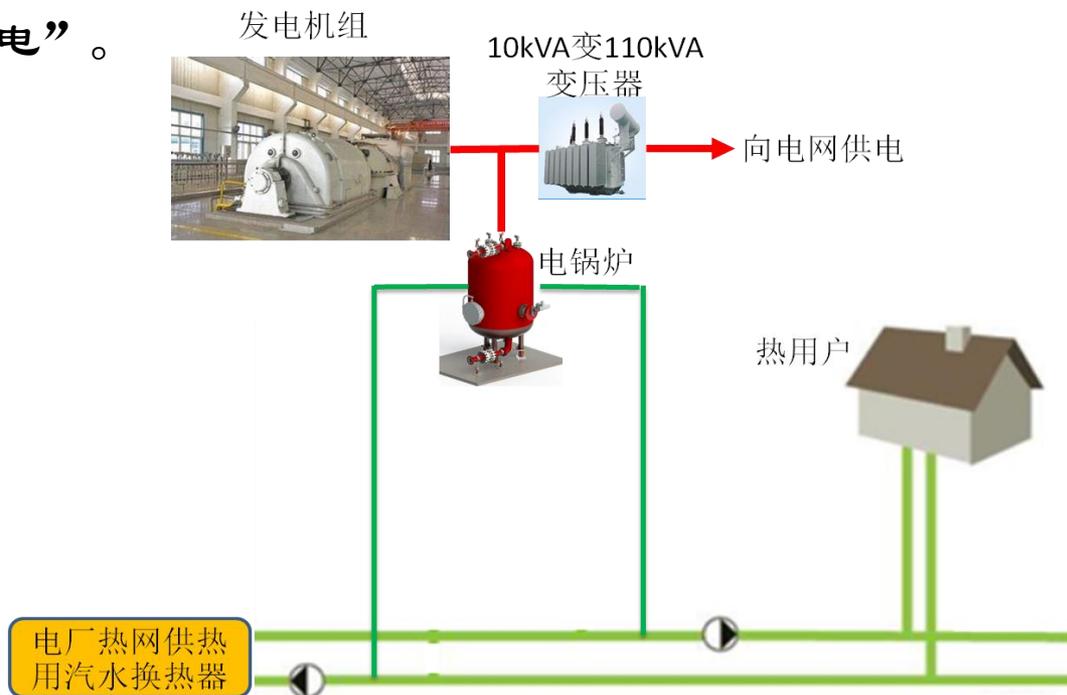
- 设置热水储热罐；
- 电网负荷高峰时储热，电网低谷时利用储热对外供热；
- 理想的运行方式是一个昼夜完成一次储热和放热过程；
- 储热和放热的周期一般不超过一周。



四、常见的问题

◆ 电极锅炉

- 设置电极热水或蒸汽锅炉；
- 以消耗部分汽轮机发电机组功率的电极锅炉补充机组对外供热；
- 理想情况是消耗电网“垃圾电”。



四、常见的问题

◆ 大型热电联产电厂供热可靠性问题

- 大型热源点供热互联互备；
- 切除高加进汽、汽泵的应急供热技术；
- 停机不停炉供热技术：
 - ✓ 锅炉稳燃
 - ✓ 锅炉排放达标方案（低负荷脱硝）
 - ✓ 机组旁路供热方案
 - ✓ 汽轮机防进水、进汽措施
 - ✓ 高排逆止门安全运行
 - ✓ 锅炉汽温控制范围及方法
 - ✓ 锅炉上水加热、除氧解决方案
 - ✓ 停机不停炉时的辅机运行方式

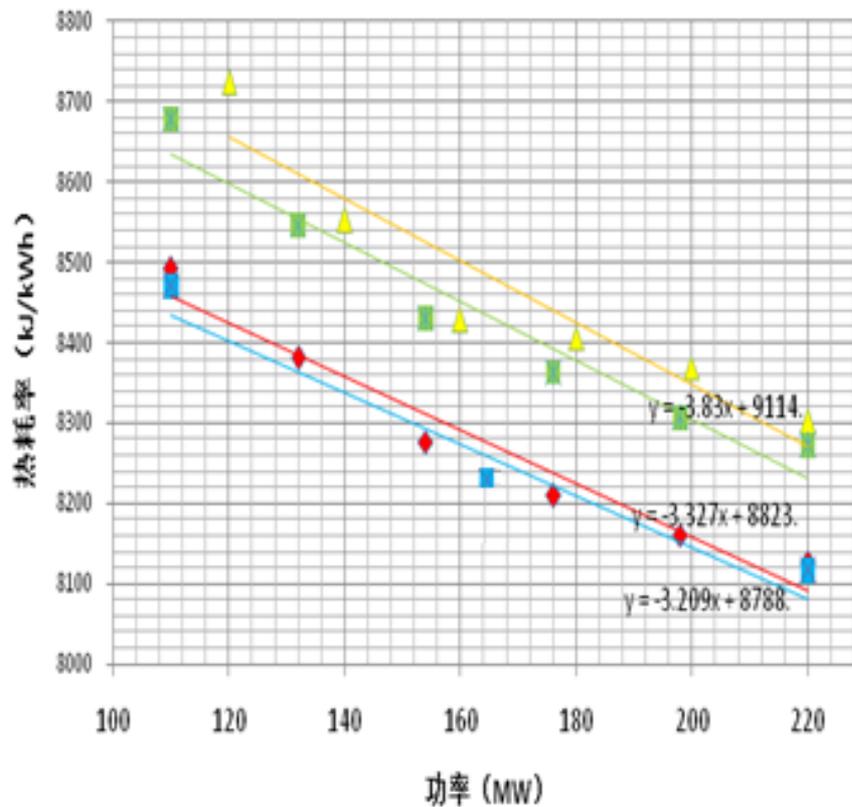
四、常见的问题

◆ 供热成本及热价议定

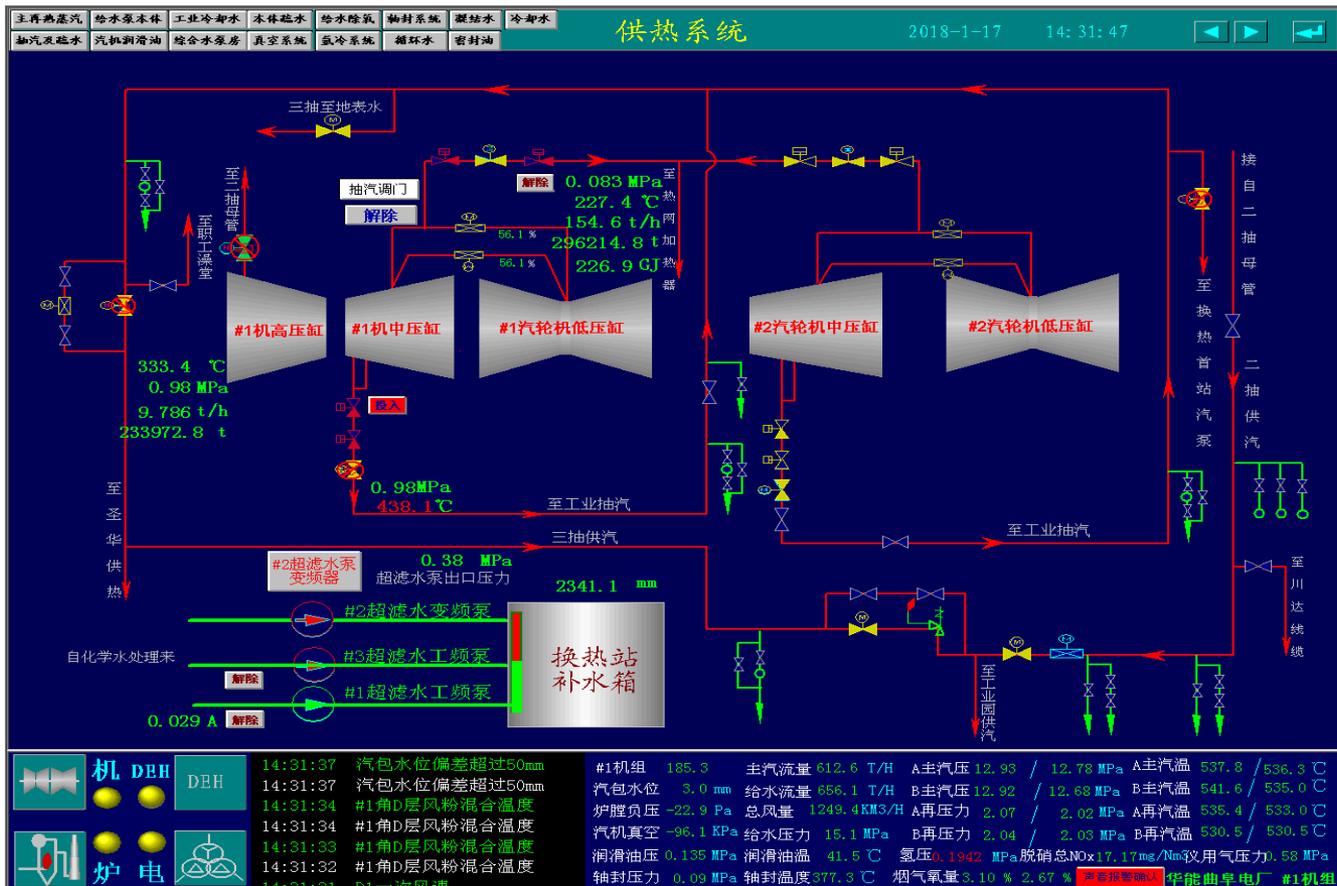
- 余热回收项目的供热成本分析；
- 电、煤、水在热电联产中的成本分摊；
- 供热成本分析对项目决策的意义；
- 供热成本分析对热价议定的意义。

五、供热机组性能诊断及供热节能技术

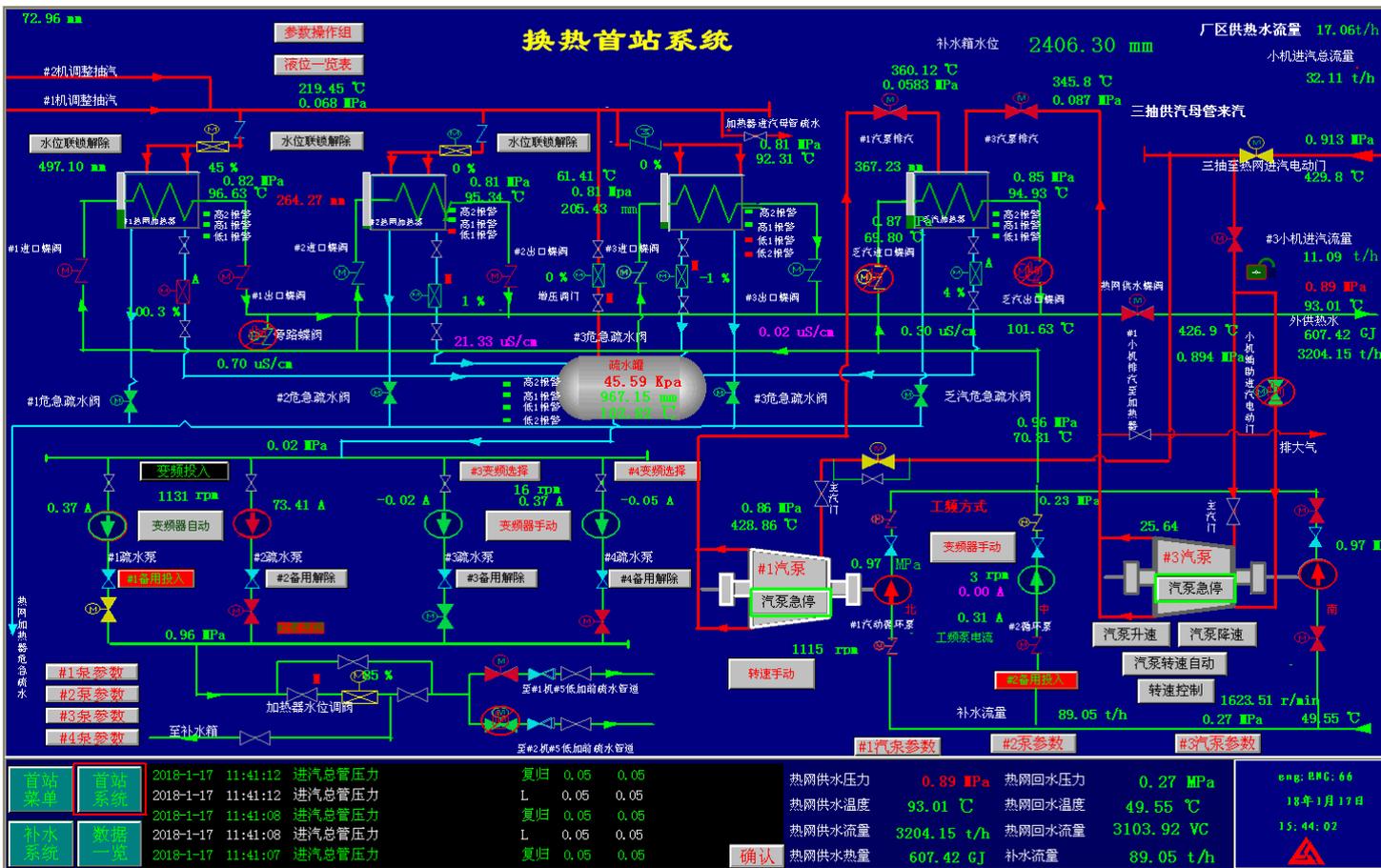
- ◆ 性能诊断试验
- ◆ EBSILON变工况模拟分析
- ◆ 供热节能潜力分析
- ◆ 供热节能技术措施



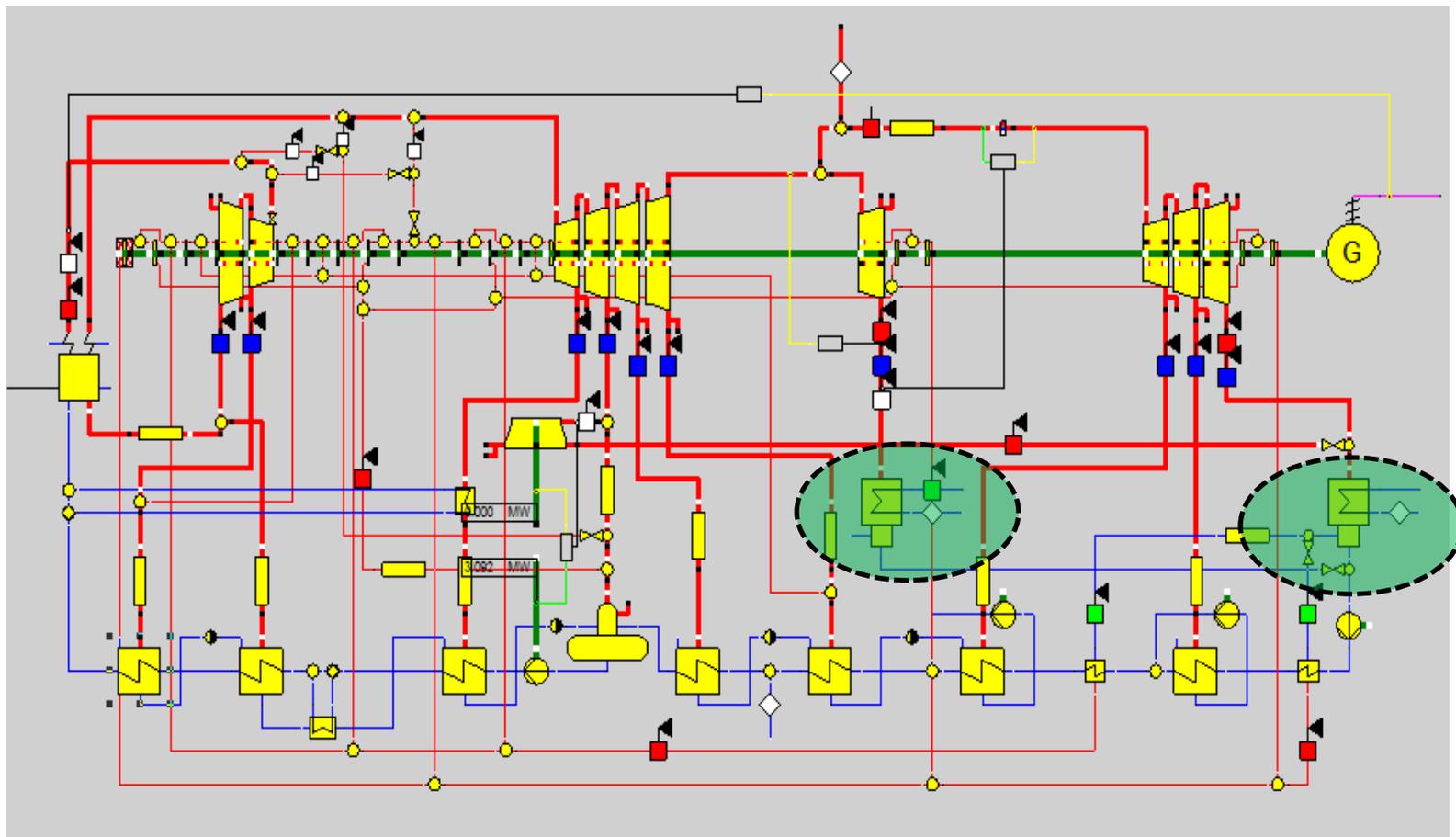
五、供热机组性能诊断及供热节能技术



五、供热机组性能诊断及供热节能技术

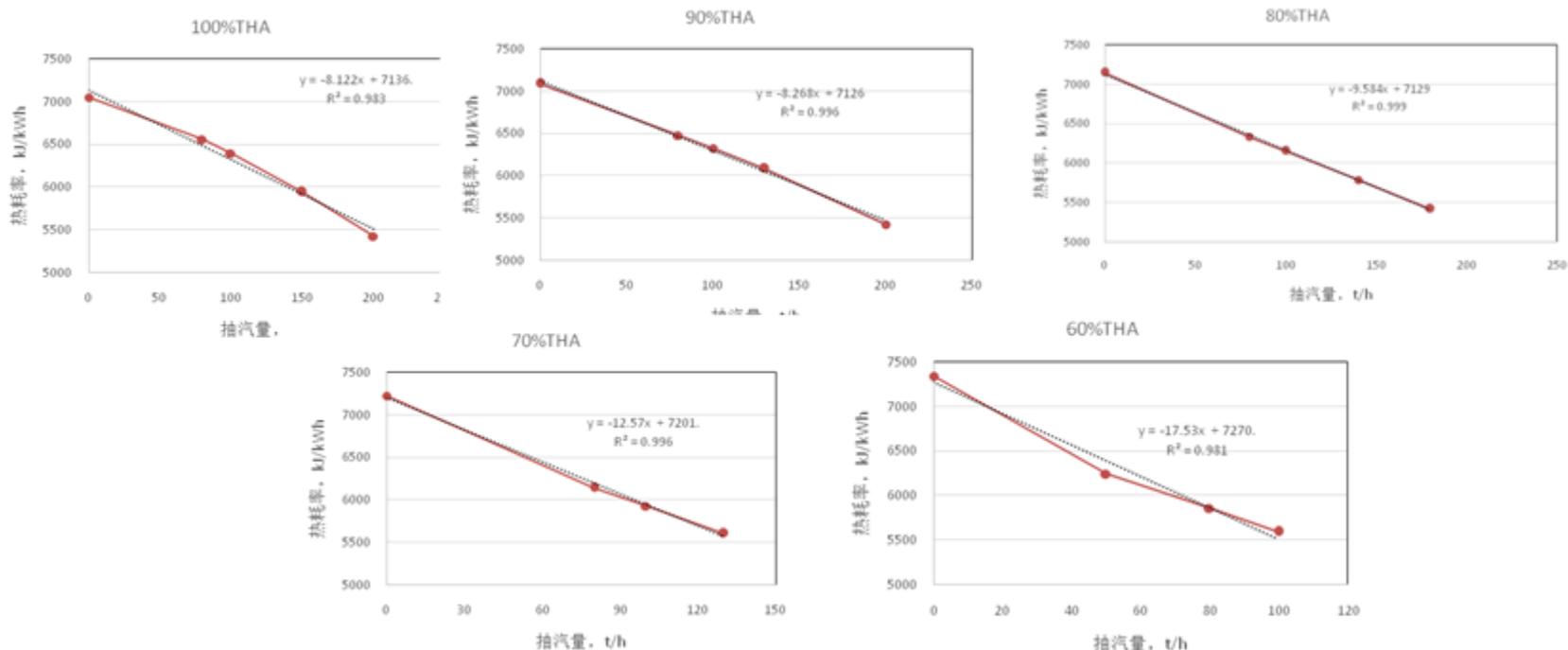


五、供热机组性能诊断及供热节能技术



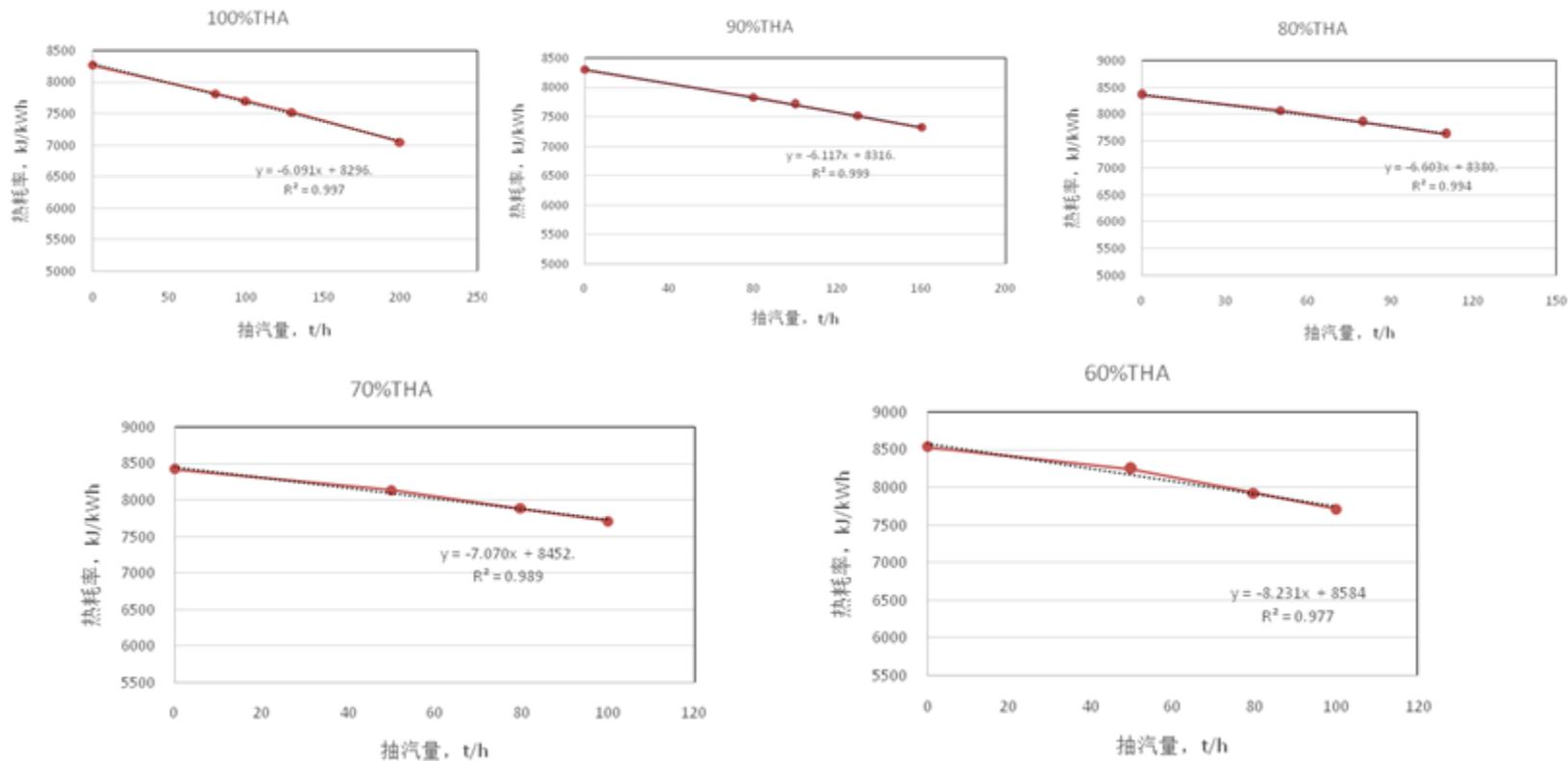
五、供热机组性能诊断及供热节能技术

1号机组高背压运行工况—汽泵运行

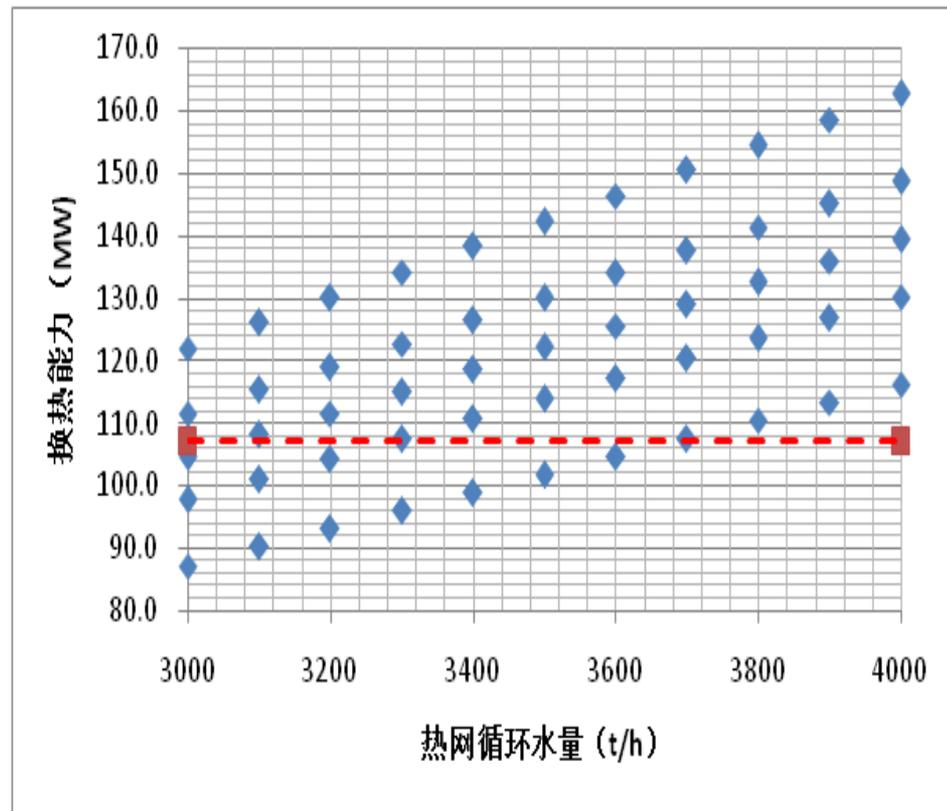
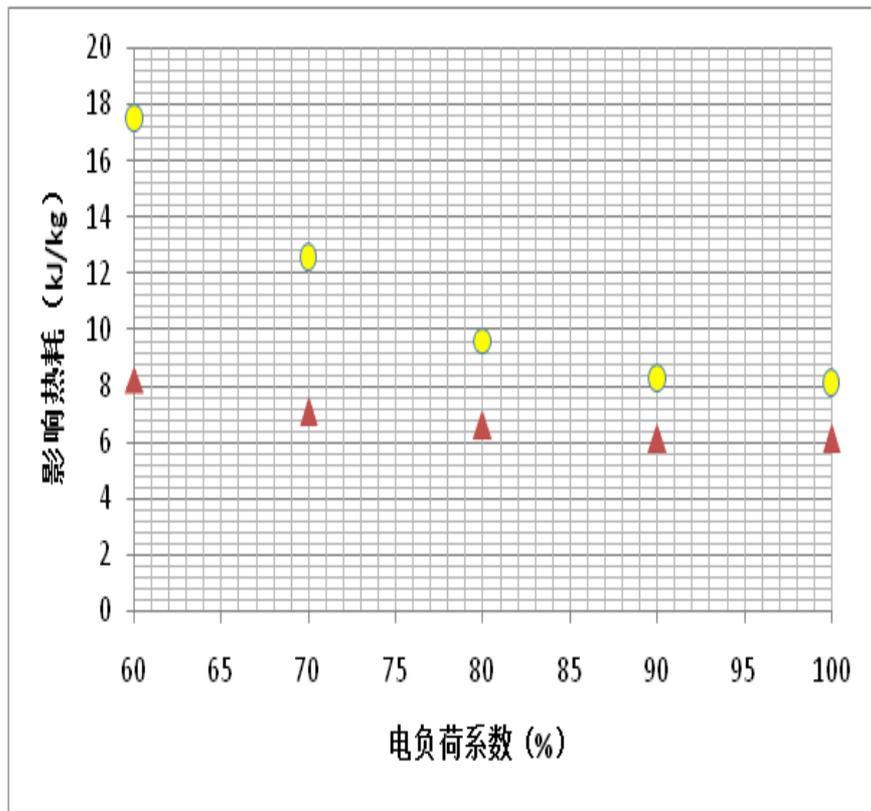


五、供热机组性能诊断及供热节能技术

2号机组供热运行工况—汽泵运行



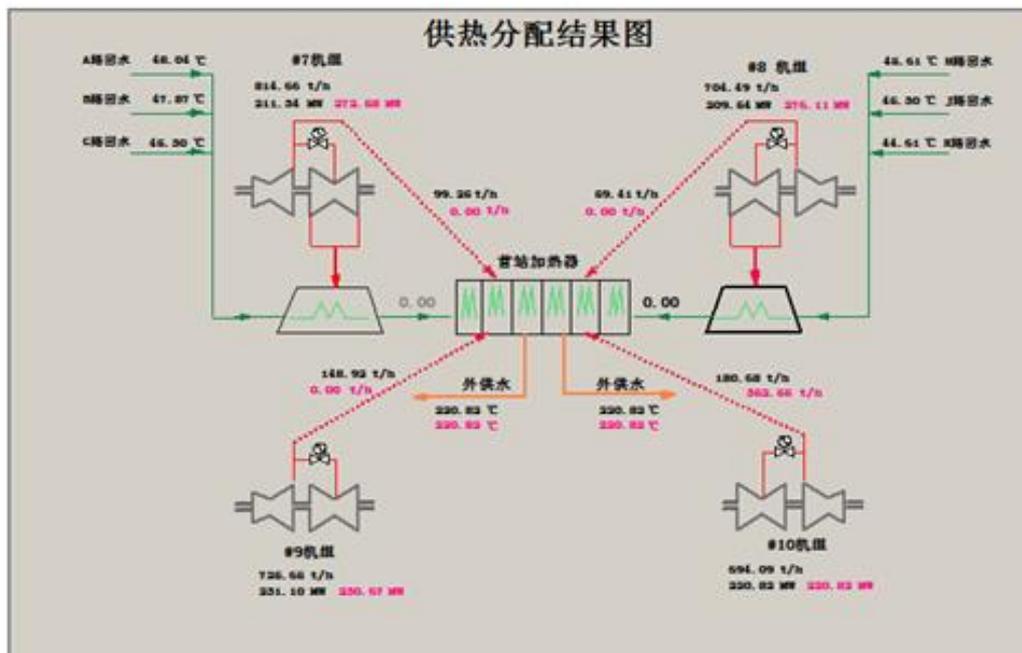
五、供热机组性能诊断及供热节能技术



六、厂级供热优化

◆ 多元化供热运行优化

- 多元化供热机组统筹协调管理；
- 实时供热负荷预测；
- 供热负荷优化分配；
- 高背压机组运行背压监控；
- 关键监测数据统计；
- 机组电负荷预测；
- 报表输出。



六、厂级供热优化



华能济南黄台发电有限公司 | 火电厂厂级监控信息系统
SUPERVISORY INFORMATION SYSTEM IN PLANT LEVEL

2018年3月1日 星期四

◀ 首页
| 系统管理
| 生产过程
| 性能计算
| 优化运行
| 耗差对比
| 数据查询
| 性能试验
| 供热优化
| 报表系统
▶



欢迎您! 注销

系统管理员

- 个人工作区 文件报批
- 当前有0条审批申请
- 您有0条新消息

供热优化分配

- ☐ 供热优化分配
 - ☐ 优化分配
 - ☐ 分配试算
 - ☑ 负荷预测
 - ☐ 背压监控
 - ☐ 收益分析
 - ☐ 实时画面
 - ☐ 系统设置

当前位置: 供热优化分配-> 负荷预测

计算
负荷录入
导出

预测日期:

#7机: 参与分配 不参与分配

#8机: 参与分配 不参与分配

#9机: 参与分配 不参与分配 切缸运行

#10机: 参与分配 不参与分配 切缸运行

供热面积: 万m²

不含税电价: 元/MWh

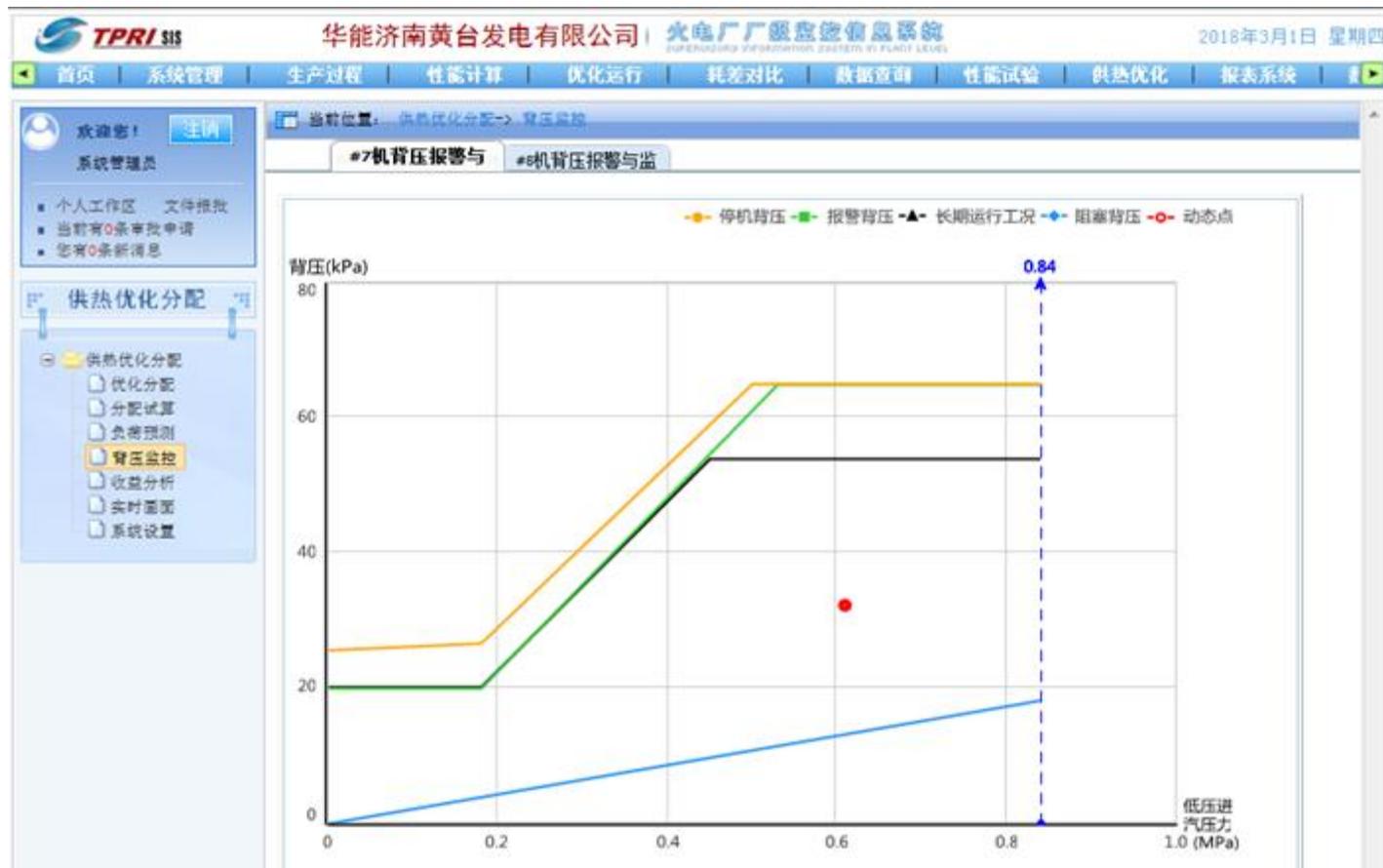
不含税热价: 元/GJ

入炉煤价: 元/t

参数名	单位	#7机	#8机
凝汽器入口水量	t/h	11969.17	12805.77
凝汽器入口水温	℃	46.68	45.33
背压	kPa	32.17	25.58

请先录入各个机组负荷及温度数值!

六、厂级供热优化



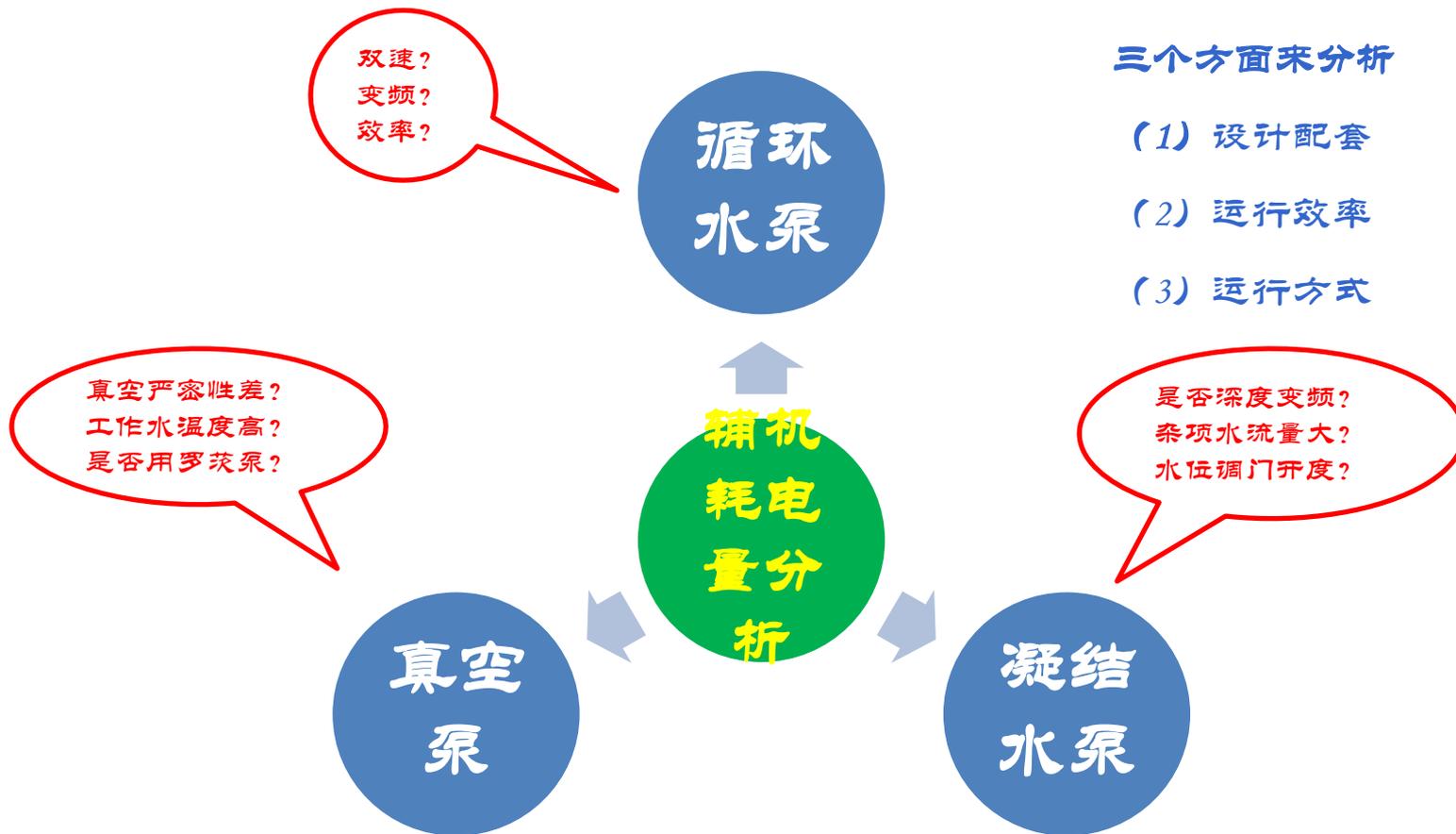
六、厂级供热优化

◆ 低压缸零出力供热运行优化

- 供热负荷及电负荷预测；
- 供热经济性估算（两个细则，节煤效益，电量损失）；
- 供热方式优化；
- 供热负荷优化分配；
- 辅机运行优化；
- 报表输出。

六、厂级供热优化

◆ 辅机运行优化—在热电厂的应用价值



六、厂级供热优化

◆ 辅机运行优化



六、厂级供热优化

◆ 装置功能模块

➤ 冷端性能监测模块

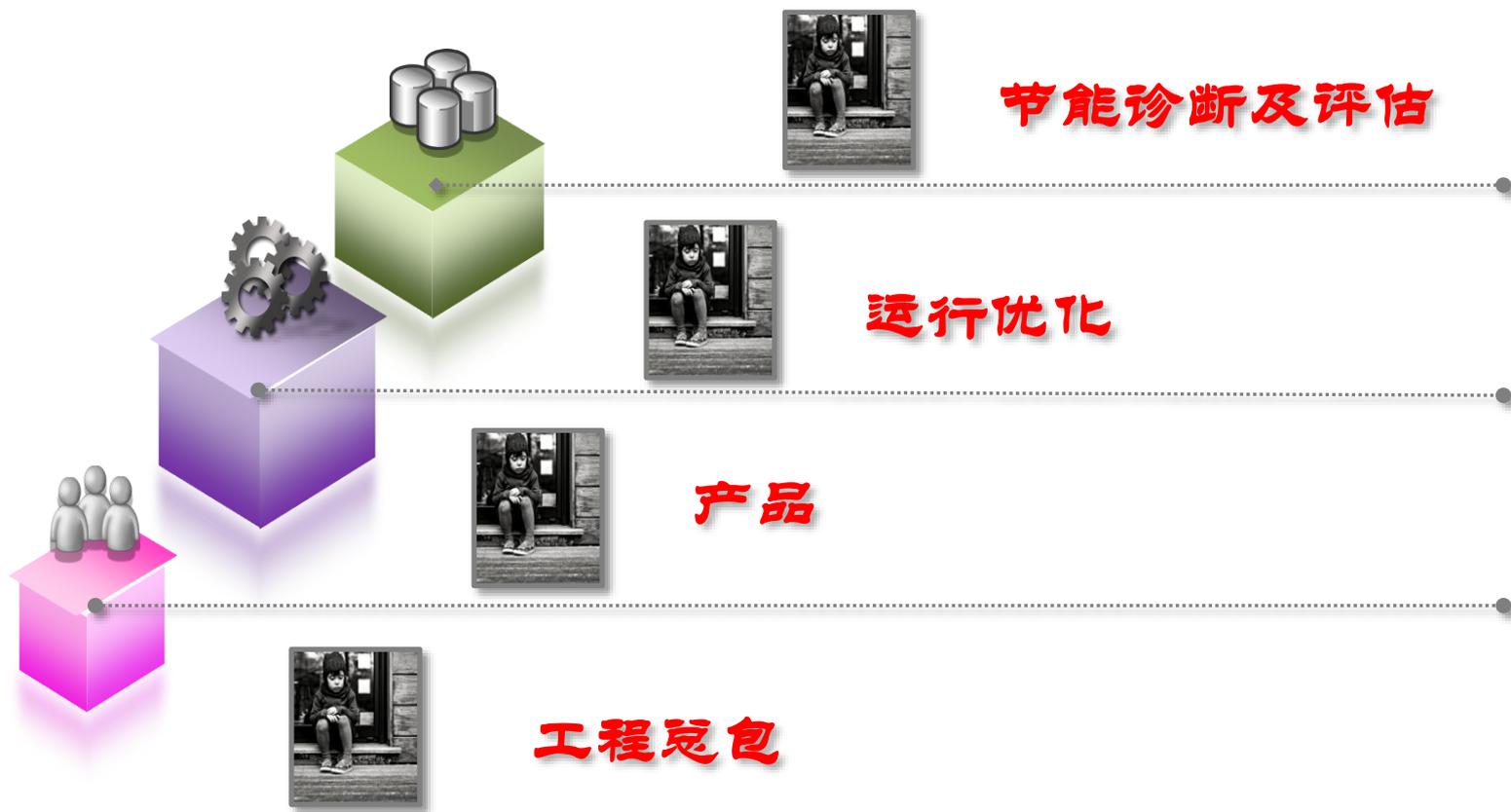
➤ 冷端性能诊断模块

➤ 冷端运行优化模块

➤ 冷端性能试验模块



七、供热管网节能技术及运行优化



七、供热管网节能技术及运行优化



七、供热管网节能技术及运行优化

管网水力平衡优化

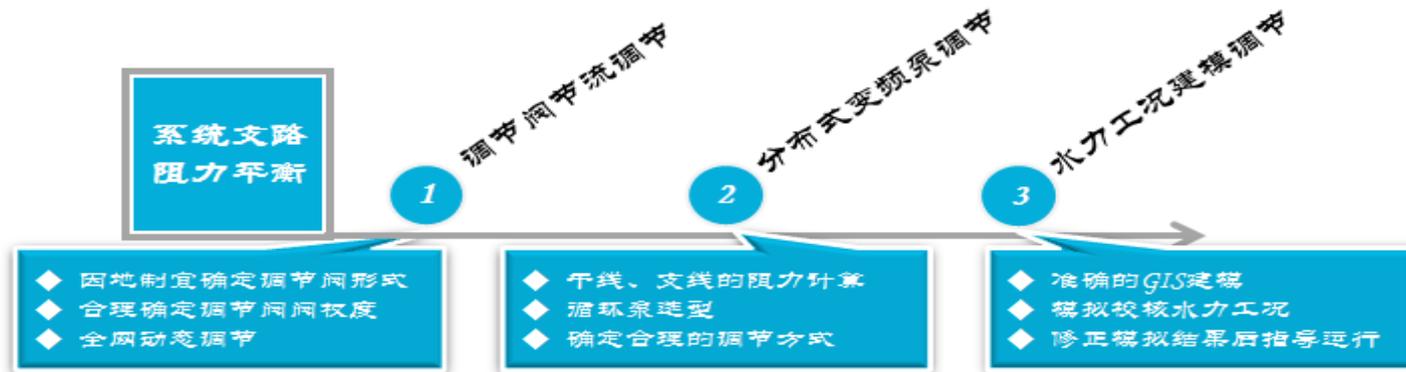
大型热网初调节

运行调节优化

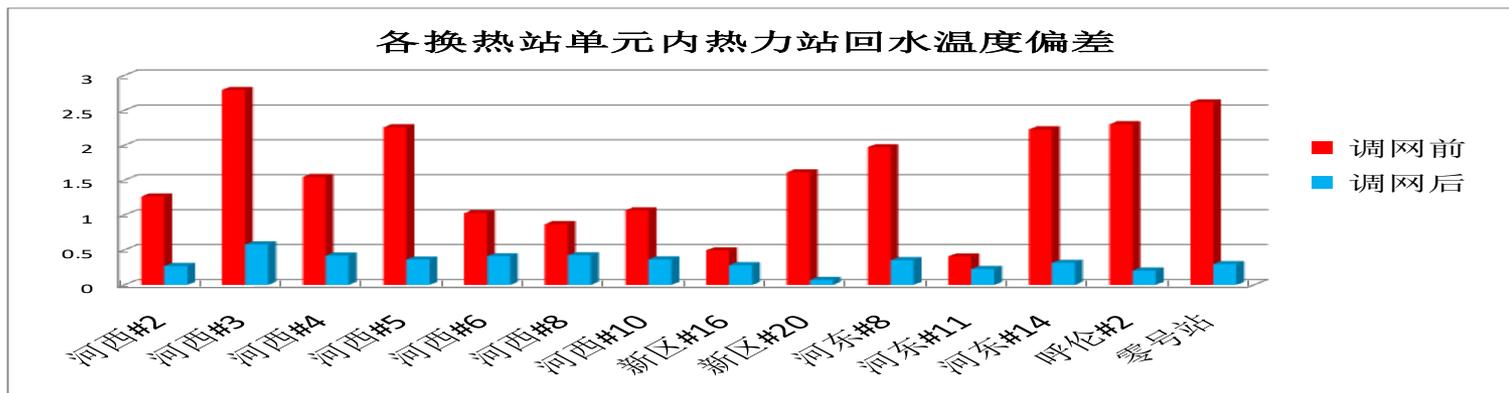


七、供热管网节能技术及运行优化

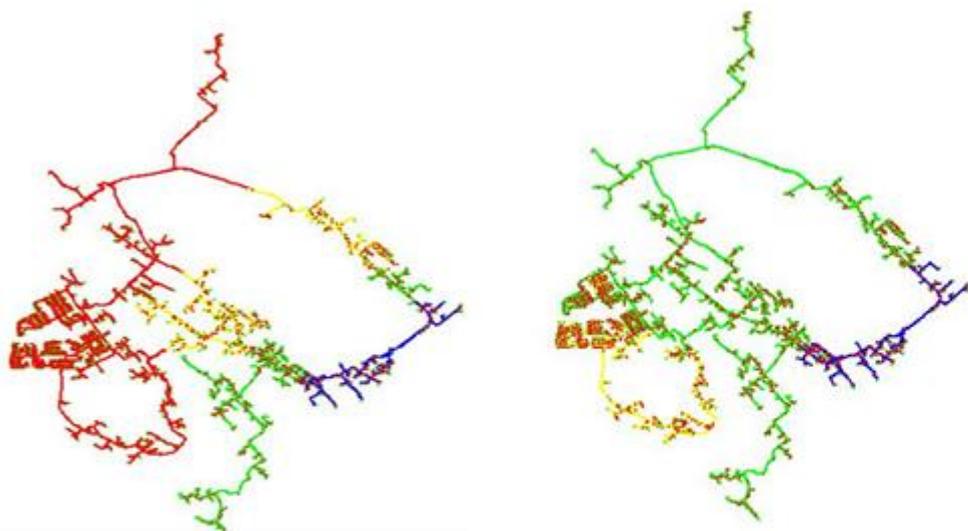
解决方法



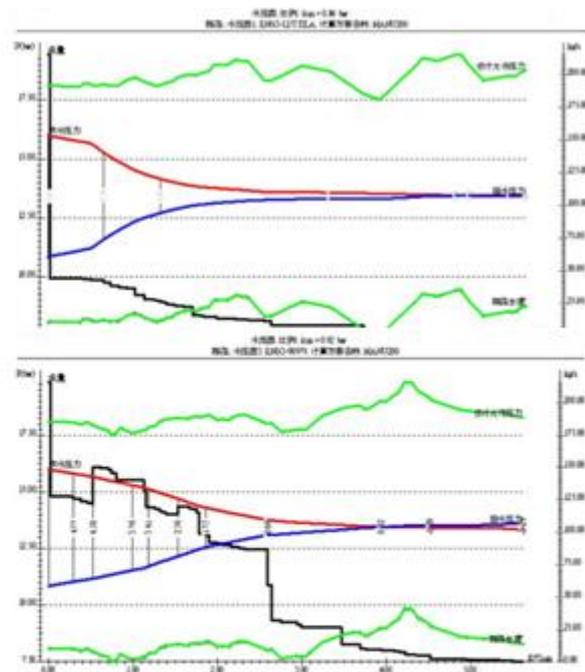
运行优化——管网水力平衡优化



七、供热管网节能技术及运行优化



优化后的全网压差分布



热源到热用户的水压图



典型案例

七、供热管网节能技术及运行优化

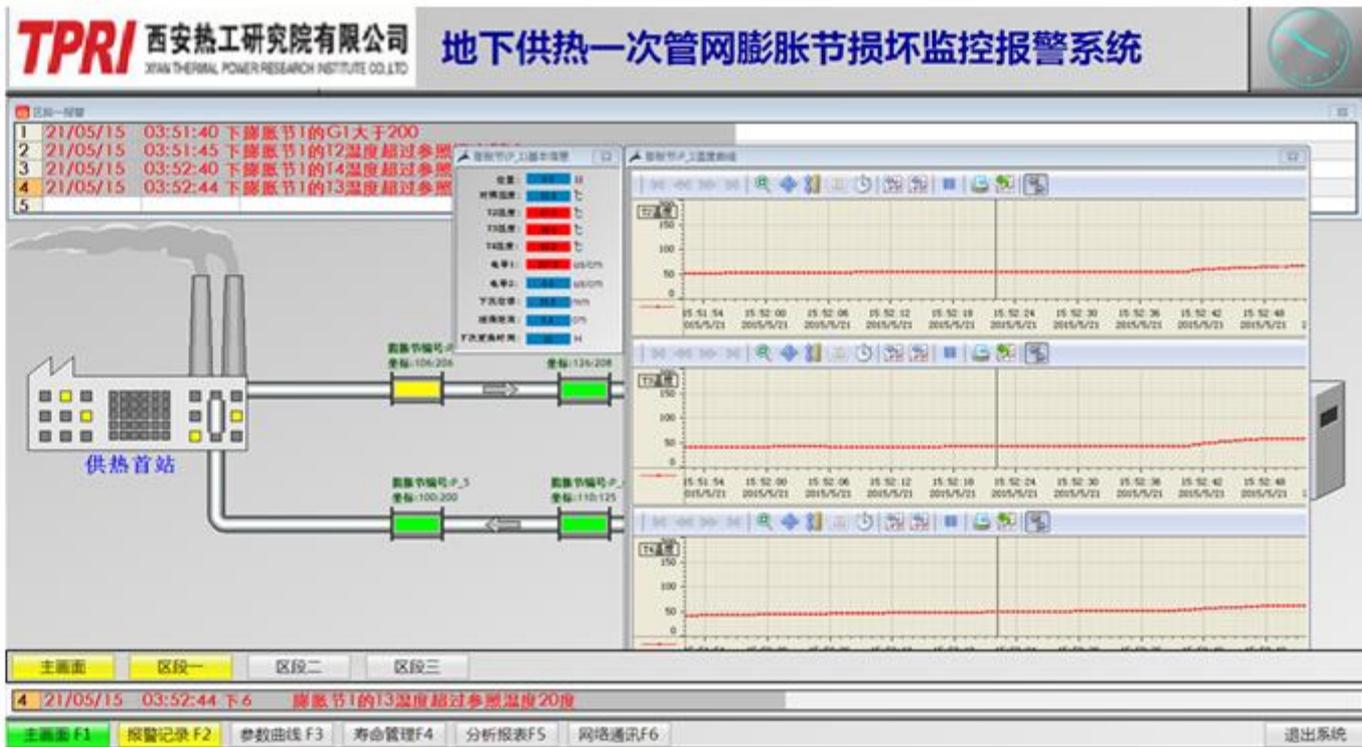
一级模块	气候模型	热源数据	运行监控	运行指导	运行分析	运行调度	报警记录
二级模块	天气显示	热源显示	实时数据	一网曲线	全网分步	巡站统计	报警记录
	天气报表	热源报表	数据配置	运行参数计算	经济模型	调度会议	事件记录
	温度曲线	热源曲线	实时曲线	指导修正	热量达标分布	调度日志	报警配置
	室外温度分析	热源视图	历史数据	二网曲线	换热站单耗	缺陷处理	
	历史温度环比	热源组信息	历史曲线	水温排序	综合视图	检修流程	
	历史温度分步	热源组历史报表	分站报表	机组运行参数计算	综合报表	来访记录	
	室外温度对比	历史分析	二供温度计算控制	机组指导运行	综合环比		
	气象基础数据	综合分析	二供温度计算配置	控制回归	换热站排行		



产品——热网运行节能管控平台

七、供热管网节能技术及运行优化

◆ 膨胀节检漏系统



产品——供热管网状态监测系统及装置

七、供热管网节能技术及运行优化

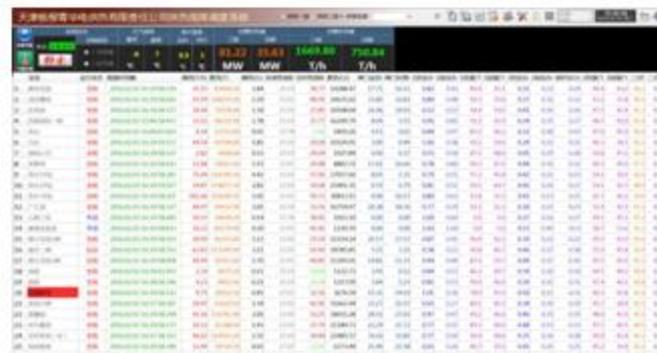
杨柳青热网节能改造项目

◆ 改造内容

1. 通过换热站节能管理系统进行改造，对热网运行参数及工况实时监测，并且保障换热站具备独立运行控制功能。

2. 通过对一次管网及二次管网典型位置增加数据采集测点，实现管网温度、压力分布的实时监测。

3. 建设热网监控中心，实现热网自动控制调节，节能降耗。



站名	流量	温度	压力	功率	效率	其他参数
1#	1000	120	1.0	1000	0.9	...
2#	1000	120	1.0	1000	0.9	...
3#	1000	120	1.0	1000	0.9	...
4#	1000	120	1.0	1000	0.9	...
5#	1000	120	1.0	1000	0.9	...
6#	1000	120	1.0	1000	0.9	...
7#	1000	120	1.0	1000	0.9	...
8#	1000	120	1.0	1000	0.9	...
9#	1000	120	1.0	1000	0.9	...
10#	1000	120	1.0	1000	0.9	...



冠承包项目案例

八、技术服务及业绩

◆ 主要技术服务包括：

- 供热规划编制
- 供热方案可行性论证
- 供热改造全过程技术支持与咨询
- 供热机组性能评估试验
- 供热系统性能诊断分析
- 供热机组安全性分析
- 供热可靠性措施分析
- 供热运行优化措施制定

八、技术服务及业绩

- 供热机组热电耦合特性及深度调峰技术措施分析
- 供热运行优化软件编制
- 供热改造项目EPC或合同能源管理
- 供热管网节能诊断、评估
- 供热管网运行优化
- 供热管网节能改造项目EPC或合同能源管理
- 产品 —— 热网运行节能管控平台
- 产品 —— 供热管网状态监测系统及装置

八、技术服务及业绩

◆ 可研、规划类

编号	项目内容
GB1052016	华能济南黄台发电有限公司8号机组高背压供热改造项目可行性研究
GB1652016	华能曲阜热电有限公司1号机组高背压供热改造可行性研究
ZC0092016	华能大连电厂3号机组供热抽汽扩能及1号机组背压改造可研编制
ZC0092017	珠海金湾发电公司3、4号机组汽轮机通流改造及供热改造技术咨询及可行性研究
ZC0132015	华能丰镇电厂吸收式热泵供热改造可行性研究
ZC0162015	靖远二厂#7、#8机组集中供热改造厂内部可行性研究
ZC0512015	华能营口热电厂#1机高背压供热改造可研项目
ZC0532016	华能淄博白杨河发电有限公司5号机组高背压供热改造可行性研究
ZC0822016	华能临沂发电有限公司6号机组高背压供热改造及5号机组低压转子改造可行性研究
ZC0832016	华能临沂发电有限公司1、2号机组供热首站改造可行性研究
ZC1052017	华能汕头电厂机组供热改造可研编制技术服务合同
ZC1102017	山西临汾热电有限公司供热增容蒸汽梯级利用项目可行性研究技术服务合同
ZC1172017	华能济宁运河发电有限公司2号机组高背压供热改造可行性研究
ZC1242016	华能福州电厂一期、三期机组工业供热改造可行性研究
ZC1432017	河北西柏坡发电有限责任公司提高供热能力技术改造可行性研究
ZC1552016	华能营口电厂3、4号机组高背压小汽轮机供热改造可行性研究
ZC1922017	华能德州电厂工业供热改造可行性研究
ZC2052016	山东华能聊城热电有限公司6号机组高背压循环水供热改造可行性研究
ZC2442015	华能平凉发电有限责任公司#1-#4机组供热蒸汽热能梯级利用可行性研究
ZC2322017	天津杨柳青数据中心集中制冷汽源保障项目可行性研究

八、技术服务及业绩

◆ 性能诊断及运行优化类

编号	项目内容
GB0162017	华能济南黄台发电有限公司8号机组高背压改造供热性能试验
GB0182017	华能烟台电厂多元化供热运行优化
GB0582016	华能济南黄台发电有限公司7号机组供热性能试验
GB0732017	灞桥热电厂供热期供热质量评估项目合同
GB1062016	大唐灞桥热电厂热联产机组运行方式论证
ZC0522017	华能曲阜热电有限公司#1机组高背压改造后供热优化
ZC0602016	山西兴能发电有限责任公司2汽轮机组供热改造性能试验
ZC0642016	包头第二热电厂3、4号机组供热性能试验
ZC0682017	东海拉尔发电厂热网直供网直连混水供热技术研究
ZC1512017	330MW机组电厂高背压供热运行优化
ZC2512015	海拉尔热电厂1号汽轮机组供热改造后性能试验
GB0042017	华能曲阜热电有限公司1号机组汽轮机热力性能试验

八、技术服务及业绩

◆ EPC总包/合同能源管理类

序号	项目内容
1	辽宁东方发电有限公司1号机组低压缸零出力灵活性改造EPC总承包
2	华能杨柳青电厂7号机组低压缸零出力改造技术服务
3	国电龙华延吉热电有限公司2号机供热节能改造工程
4	大唐贵州野马寨发电有限公司工业供热改造（2号机）技改项目
5	临河热电厂#1机组低压缸零出力灵活性改造技术服务
6	杨柳青热网节能管理
7	新疆天河热电低压缸零出力灵活性改造EPC总承包
....

Thank you very much for your attention!

追
求
卓
越

求
实
创
新

规
范
诚
信

以
人
为
本

谢谢!