



EPTCHINA.CN
中国电力科技网



中国华电
CHD

第三届热电联产远距离低能耗集中供热技术研讨会



余小兵

西安热工研究院供热技术研究所副所长，工学硕士，国际电工委员会（IEC）热电联产工作组专家，高级工程师。长期从事火电机组高效热电联产及智能供热相关研究，主持完成了国内大量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、供热改造工程总包、供热运行优化及智能供热等相关工作，现场经验丰富。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》。

大型火电机组供热改造技术及供热运行优化

主办单位：中国电力科技网

协办单位：华电宁夏灵武发电有限公司 宁夏华电供热有限公司

2020年1月8-10日 中国·银川



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

EPTCHINA.CN

中国电力科技网



主要内容

1. 改造背景
2. 采暖供热技术方案
3. 工业供汽技术方案
4. 案例分析
5. 供热运行优化及智能供热



EPTCHINA.CN

中国电力科技网

一、改造背景

1. 国家政策

◆ 国家一系列支持、鼓励政策及要求：

➤ 《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）；

➤ 《“十三五”节能减排综合工作方案》。

◆ “2+26”城市（京津冀大气污染传输通道）：

➤ 环保部制定《京津冀及周边地区2017年大气污染防治工作方案》。

➤ 确保完成《大气污染防治行动计划》。

➤ “2+26”城市实现煤炭消费总量负增长。

一、改造背景

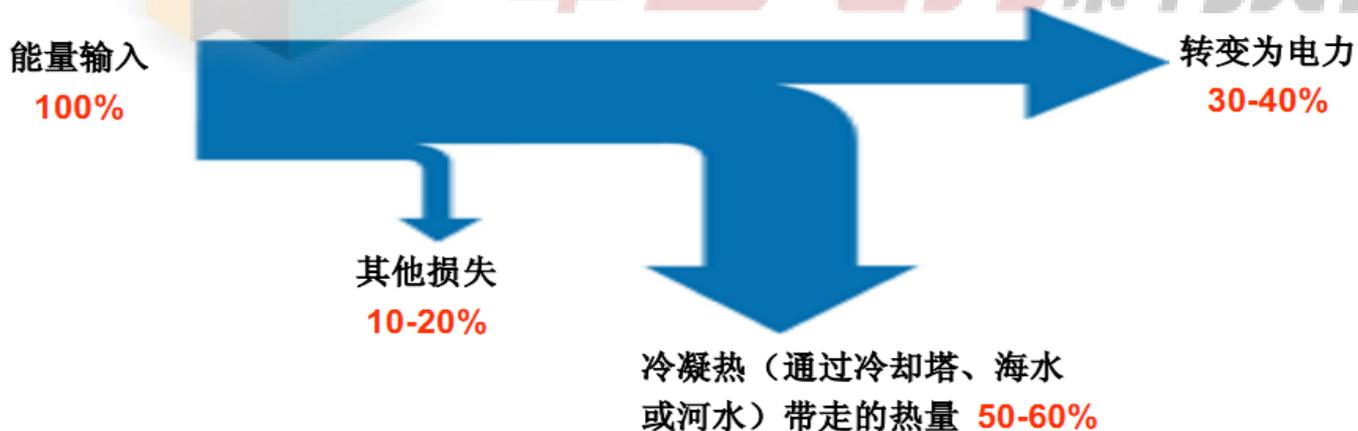
2. 节能降耗的需要

◆ 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. 热电联产集中供热需求增长

◆ 集中供热、供汽，有利于改善环境、节约成本

➤ 分散燃煤小锅炉供热的效率低、污染大；

➤ 大规模热电联产可实现节能减排、降低成本；

➤ 城市发展带来的采暖供热缺口；

➤ 新兴工业园区对高温蒸汽的需求；

➤ 供热长输能力大幅提升带来的新用户。

EPTCHINA.CN

中国电力科技网

一、改造背景

4. 发展机遇

◆ 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。

◆ 长输能力显著提升：

➤ 极大增加了火电机组集中供热覆盖区域；

➤ 温降、压损的管控；

➤ 集中供热/供汽理念的发展；

➤ 管网建设成本及运行可靠性。

EPTCHINA.CN

中国电力科技网

一、改造背景

5. 面临的问题

◆ 热电联产机组深度调峰的需要

- 现有供热机组普遍不具备深度调峰能力；
- 冬季寒冷天气为保证供热能力导致超发、罚款问题；
- 部分工业供汽机组低负荷运行时供汽压力及供汽能力难以保证。

注：开展的工作

- ✓ 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》，西安热工院负责“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”。
- ✓ 停机不停炉供热、旁路供热等应急供热技术研究。
- ✓ 甘肃省热电解耦总体规划专题研究。

一、改造背景

◆ 改造技术种类繁多，需合理决策，统筹优化

➤ 改造技术路线繁多，投资差别大，需结合具体情况“一厂一策”；

➤ 改造后设备的寿命和维护成本差别大，需参考同类改造经验；

➤ 改造后系统更趋负杂，如何保障高效、可靠运行？需进行统筹优化。

注：开展的工作-专项研究课题《热电联产电厂厂级供热统筹优化及供热成本研究》

✓ 各种采暖供热改造方案、工业供汽改造方案适用范围研究；

✓ 厂级供热统筹优化及智能供热技术；

✓ 热电联产供热成本研究。

一、改造背景

◆ 供热经济性问题

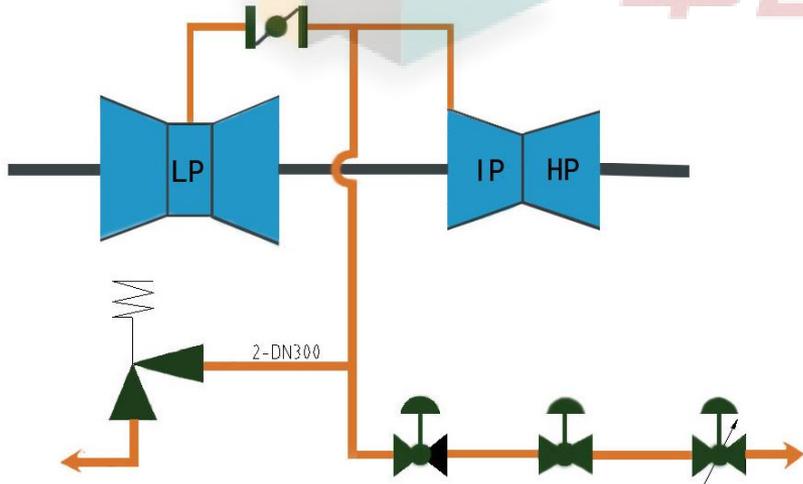
- 部分纯凝机组中低压分缸压力偏高，改抽凝机组后，中低压连通管抽汽压力偏高，节流损失大；
- 部分工业抽汽存在大幅减温减压或高位低用问题；
- 新型供热模式下，机组主、辅机运行工况与原抽凝运行差别较大，电厂缺少有效的应对措施；
- 对低真空/高背压供热机组的运行背压、凝汽器端差管控与运行经济性；
- 热泵、压力匹配器等设备的参数优选与变工况性能；
- 多机组、多元化供热电厂的运行优化难度大；
- 热源-热网的耦合运行优化的意义。

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、逆止阀、安全阀等）；
- 凝结水回水温度与回水方案。



二、采暖供热技术方案

2. 低真空/高背压供热

◆ 供热改造方案：

➤ 适当提高机组排汽背压（主、辅机适配性方案）；

➤ 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；

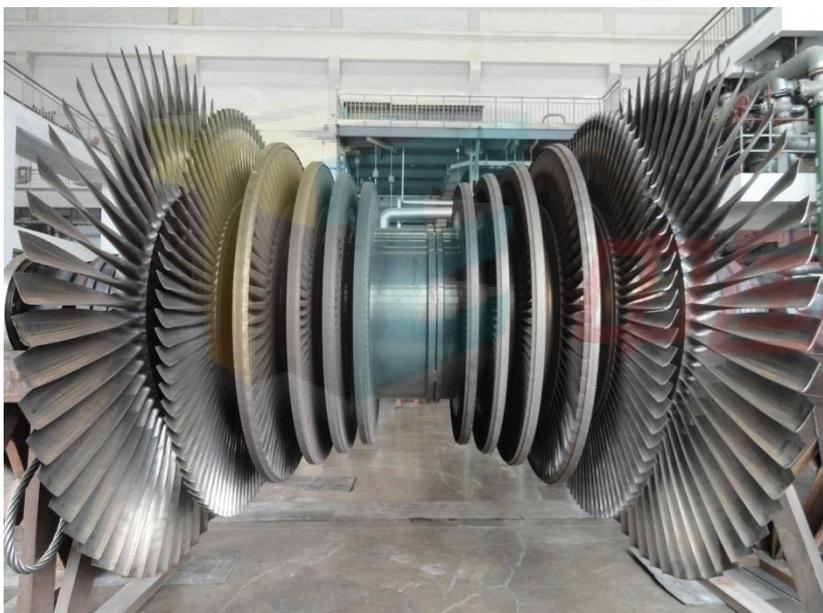
➤ 对安全可靠性的影响（汽轮机、凝汽器、轴系振动）；

➤ 对热网循环水量的要求。

EPTCHINA.CN

中国电力科技网

二、采暖供热技术方案



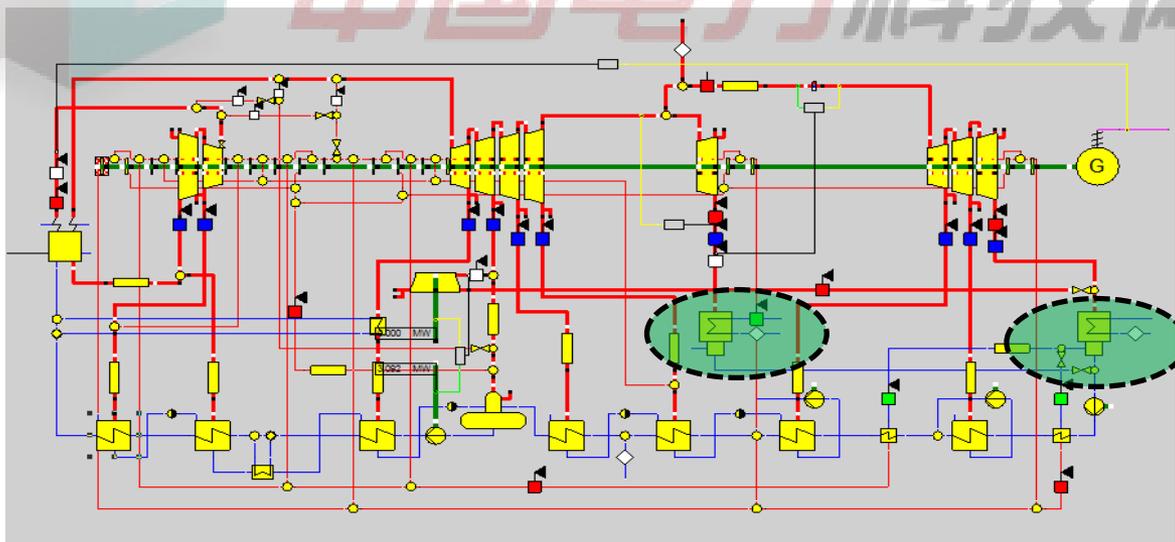
高背压供热转子

二、采暖供热技术方案

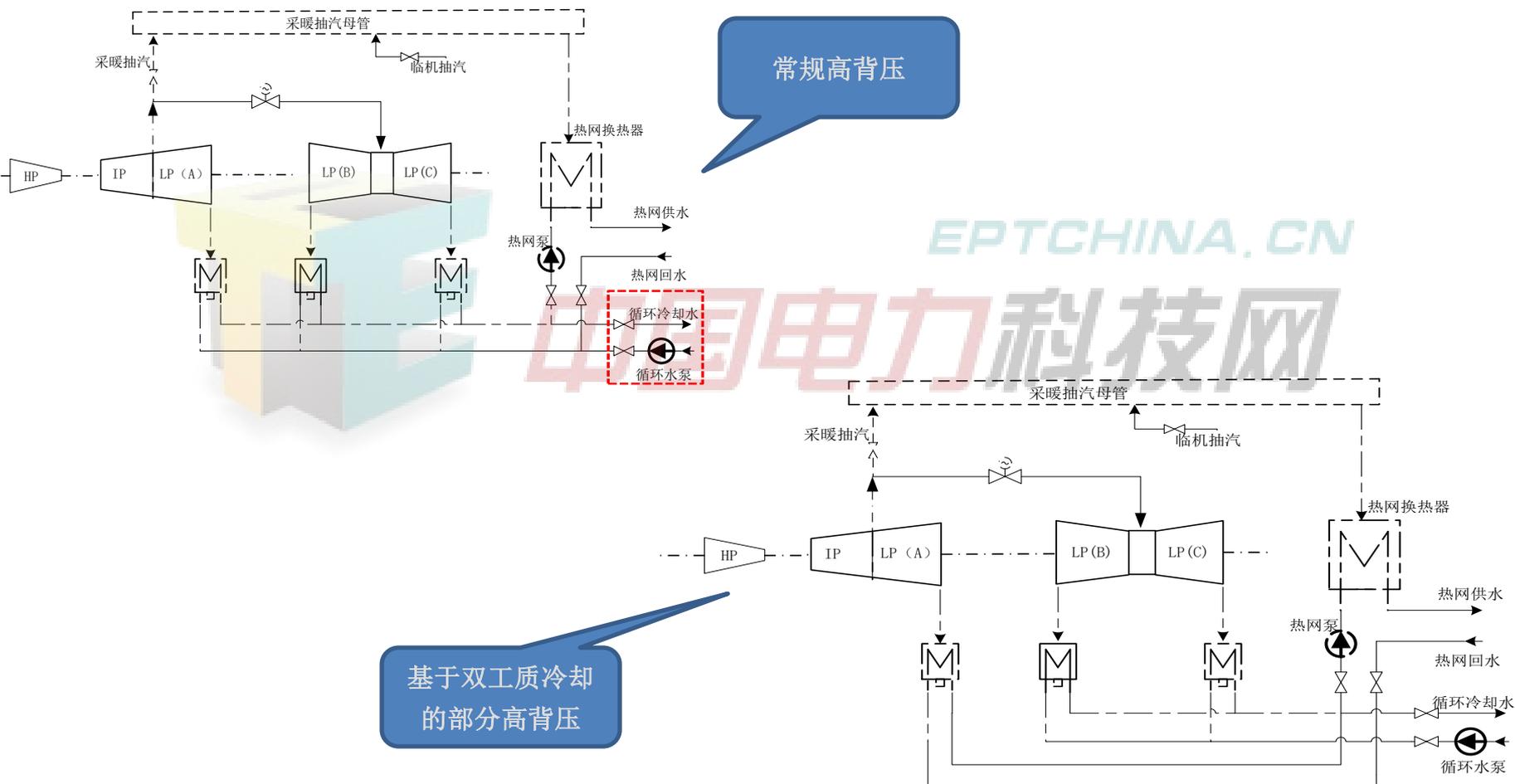
3. 基于双工质冷却的部分高背压供热

◆ 技术特点：

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



二、采暖供热技术方案



二、采暖供热技术方案

4. 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：

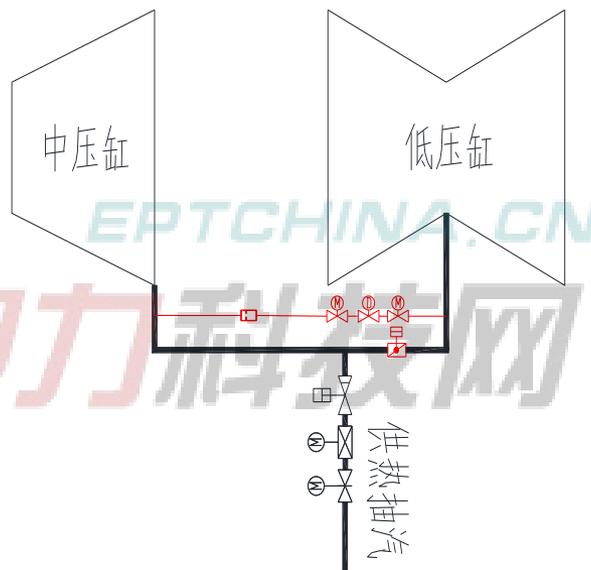
- 适用类型（分缸压力；供热面积）；
- 低压缸冷却；
- 电负荷受影响较大（电热比较低）；
- 类似的有低压缸零出力供热。

二、采暖供热技术方案

5. 低压缸零出力供热技术

◆ 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

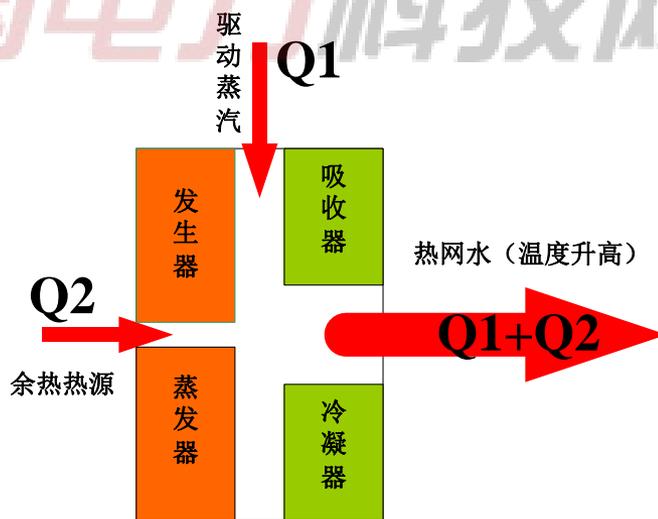
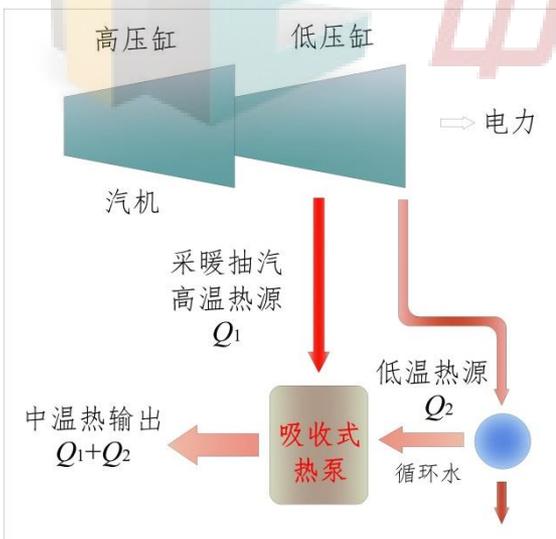
一种切除低压缸进汽的供热系统及方法

二、采暖供热技术方案

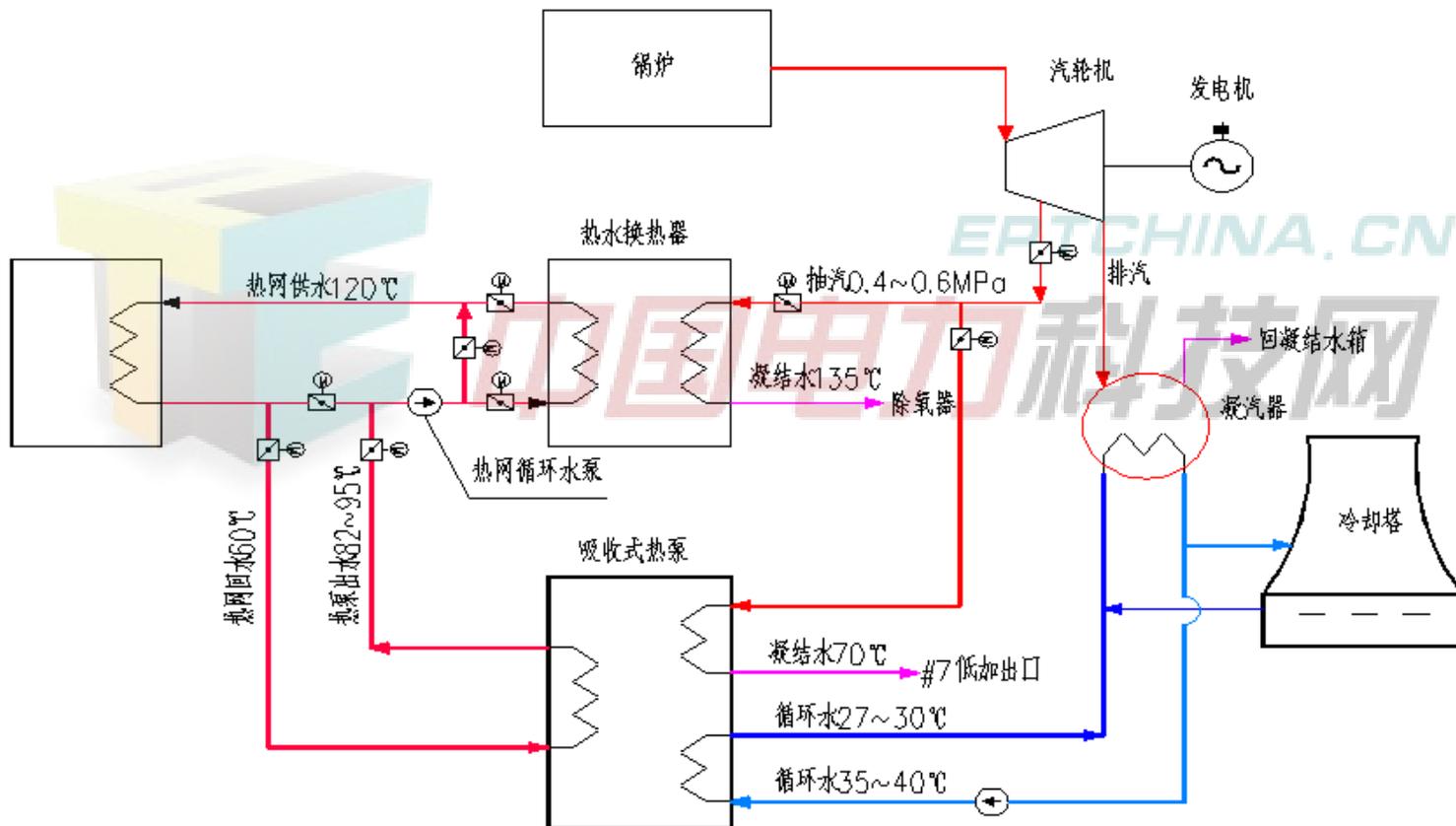
6. 吸收式热泵供热

◆ 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（热源参数，流量要求）；
- 低位热源（空冷机组/湿冷机组）。



二、采暖供热技术方案

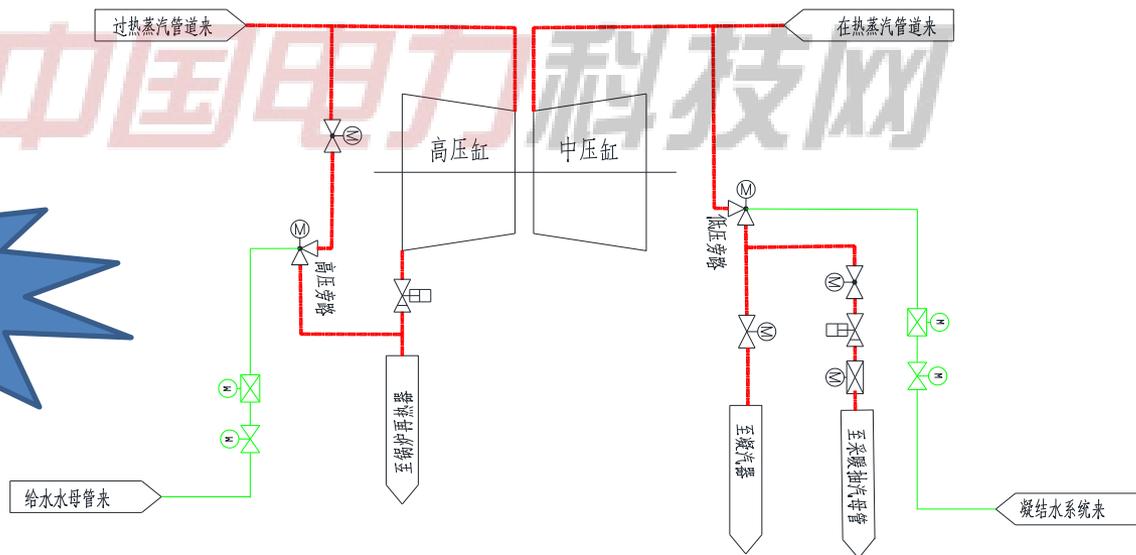


二、采暖供热技术方案

7. 汽轮机旁路供热技术

◆ 技术特点

- 提升机组供热能力；
- 供热机组深度调峰下的供热可靠性；
- 实现停机不停炉供热。

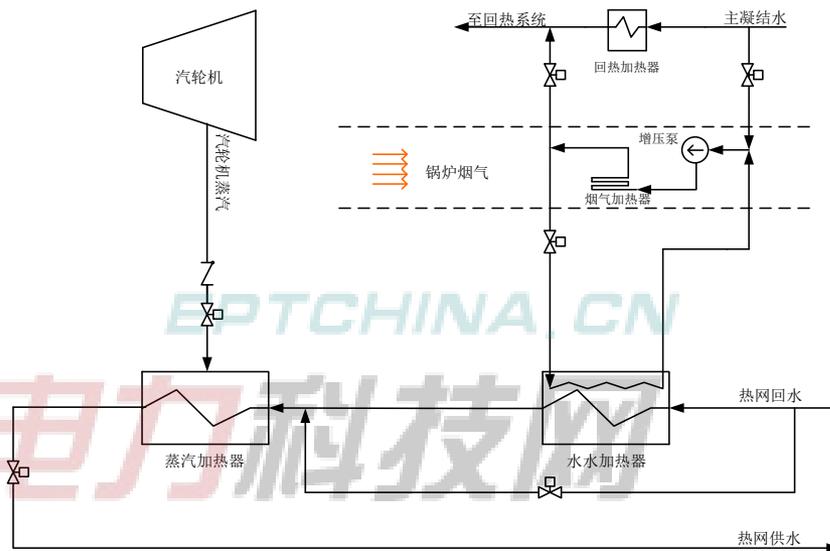


二、采暖供热技术方案

8. 烟气余热供热技术

◆ 技术特点

- 可回收烟气余热；
- 提高烟气余热回收利用能级；
- 提高热电联产机组热利用效率。



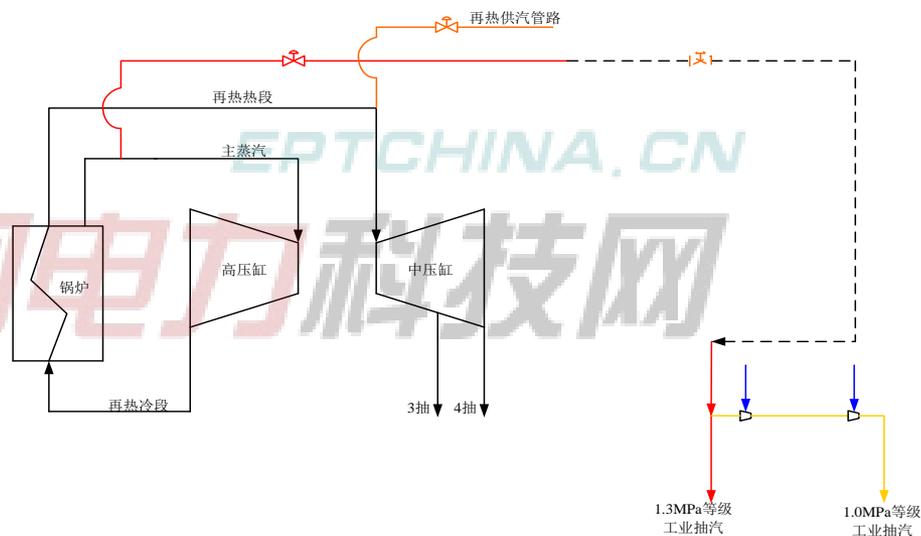
机组类型	排烟温度 (°C)	烟气余热量 (MW)	供热面积 (万m ²)	年供热量 (5个月) 万GJ	热价 (元/GJ)	供热收益 (万元)
600MW机组	130~90	35	70	34	35	1190
350MW机组	130~90	20	40	20	35	700
300MW机组	130~90	18	36	17	35	595

三、工业供热技术方案

1. 冷再/热再等抽汽供热（最常见）

◆ 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；
- 常配套减温减压装置。



◆ 安全可靠

- 高压末两级叶片安全性（抽汽压力限制）；
- 机组轴向推力。

冷再、热再抽汽

三、工业供热技术方案

2. 中联门参调改造方案

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

EPTCHINA.CN

中国电力科技网

三、工业供热技术方案

3. 旋转隔板抽汽供热

◆ 技术特点

➤ 抽汽经济性好；

➤ 抽汽能力强；

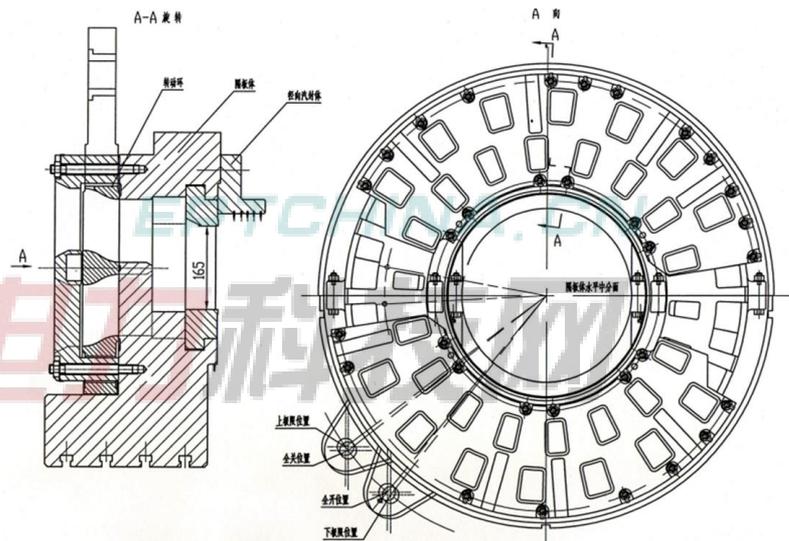
➤ 新机/改造

◆ 安全可靠

➤ 对流场的扰动（叶片安全可靠）；

➤ 旋转隔板本身可靠性（卡涩）；

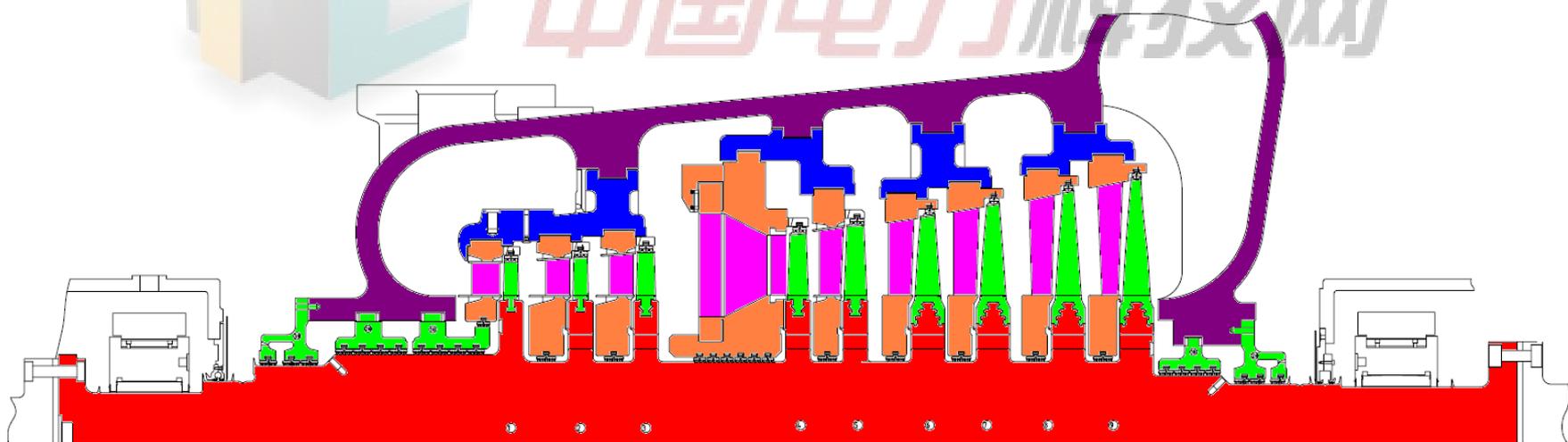
➤ 平衡腔室



三、工业供热技术方案

◆ 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

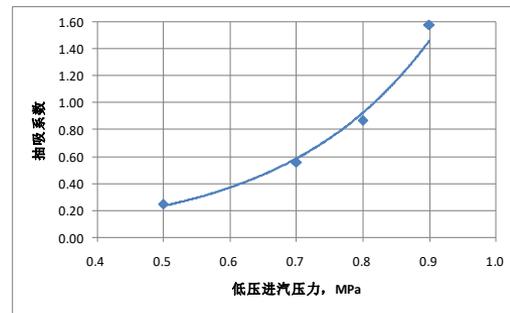
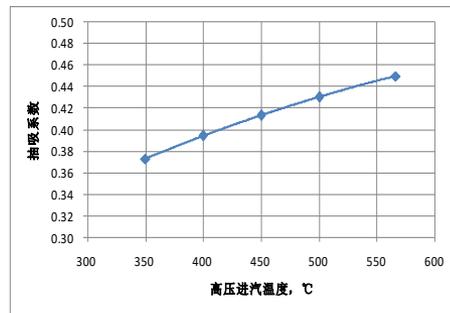
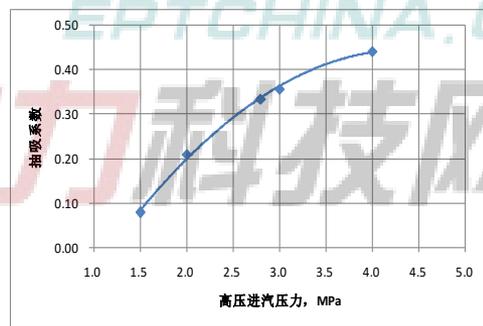
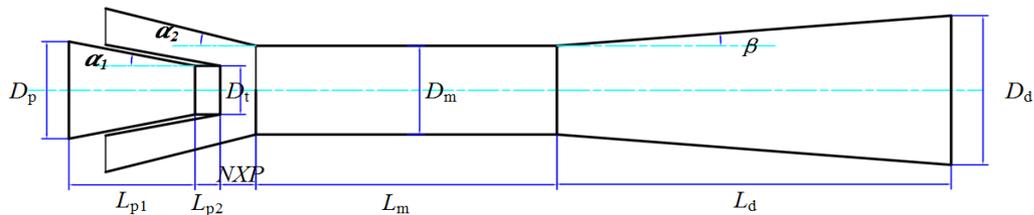
4. 压力匹配器/热压机

◆ 技术特点

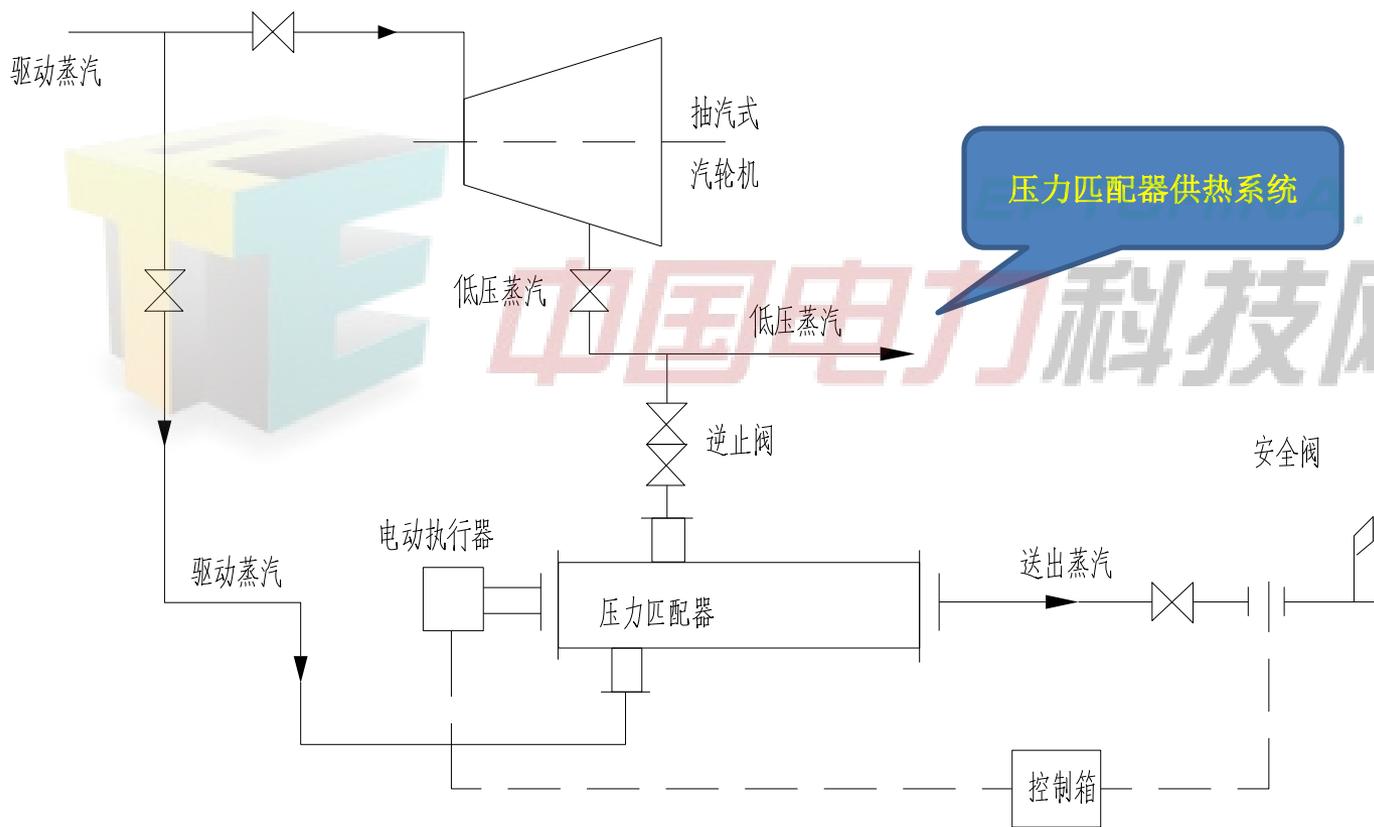
- 经济性优于减温减压；
- 高压汽源、低压汽源；
- 引射比（变工况性能）；
- 噪声

◆ 应用场合

- 宽负荷供汽可靠性；
- 供热节能（如：低压乏汽回收）



三、工业供热技术方案



三、工业供热技术方案

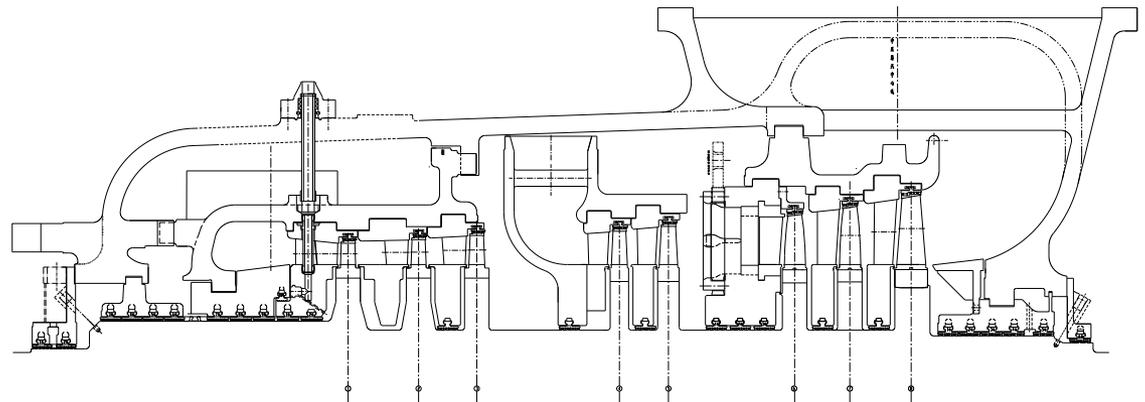
5. 座缸阀调节抽汽

◆ 技术特点

- 抽汽能力强；
- 主要用于新机

◆ 方案实施

- 不推荐改造（更换整个缸体）
- 安全可靠性强
- 对中压缸效率影响大



三、工业供热技术方案

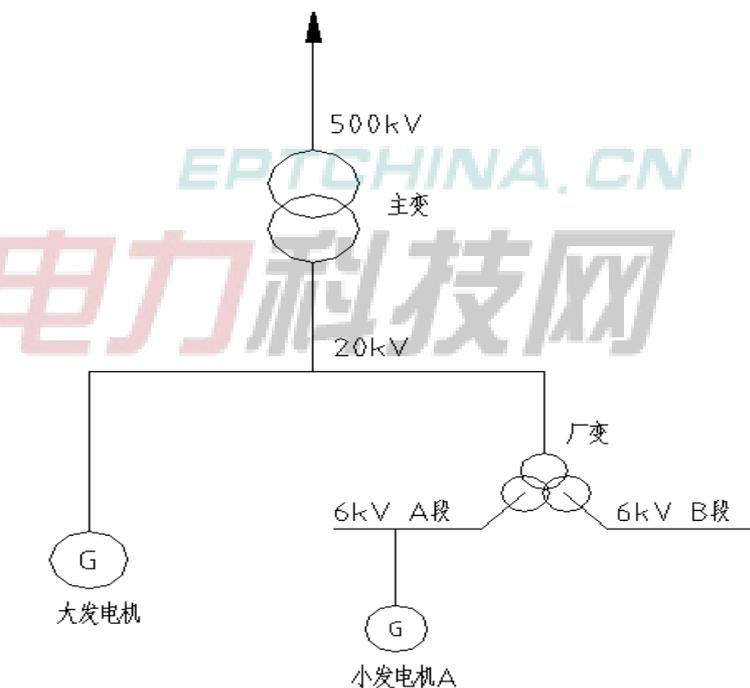
6. 背压机供热方案-能量梯级利用

◆ 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



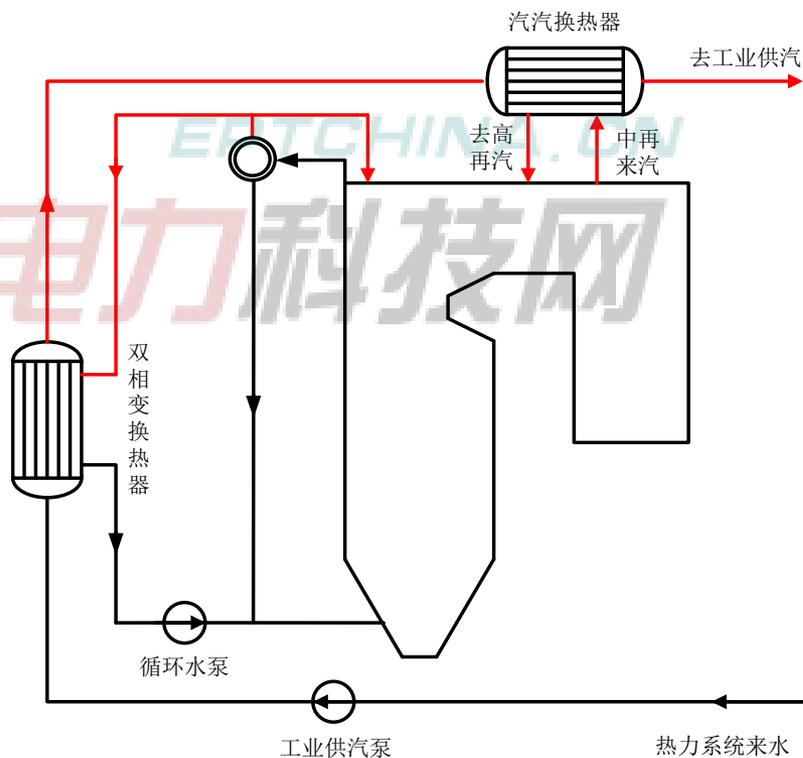
三、工业供热技术方案

7. 一种适用于高参数工业供汽的技术方案

◆ 技术特点（已申请不同配置方案的多项专利）

➤ 供汽压力范围为3.0MPa~10.0MPa；

➤ 供汽温度可达380℃~400℃。



四、案例分析

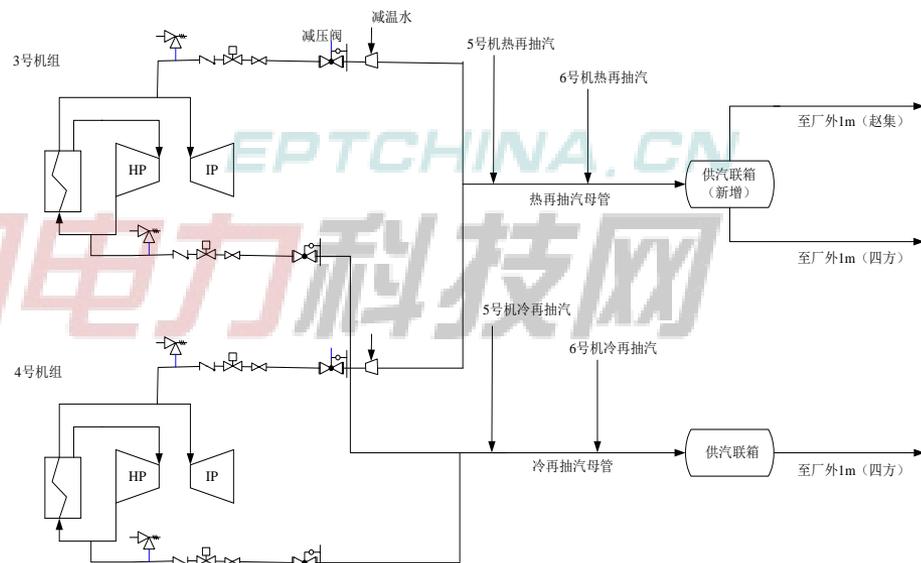
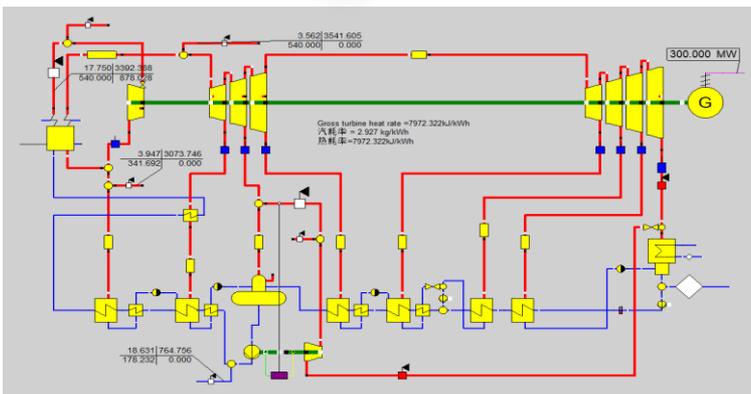
1. A电厂

◆ 供汽需求

- 出厂1.64MPa, 280℃;
- 当前200t/h, 未来500t/h。

◆ 供汽方案 (4 × 300MW)

- 冷再+热再抽汽;
- 中联门参调。



四、案例分析

2. B电厂

◆ 供汽需求

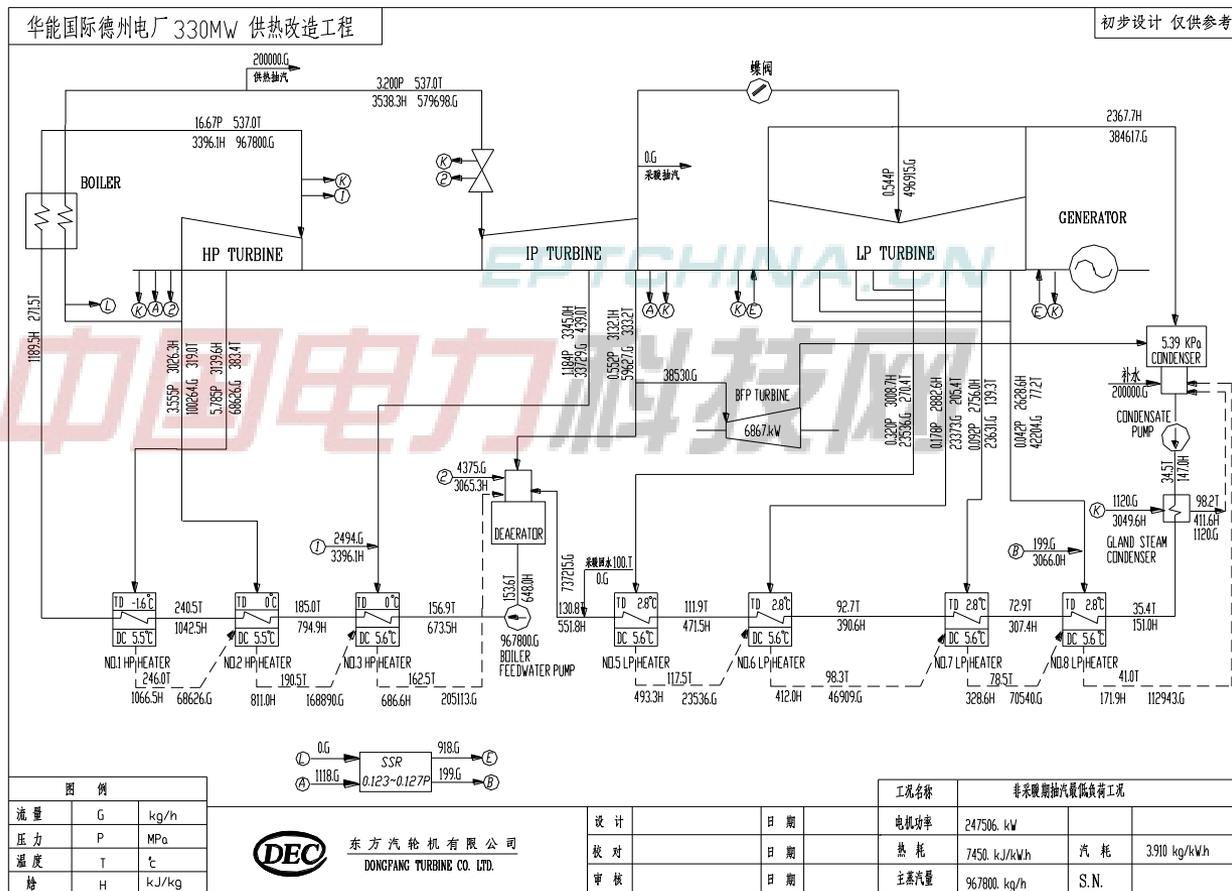
- 出厂2.6MPa, 320℃;
- 当前500t/h;
- 需求达1000t/h以上。

◆ 供汽方案

- 冷再+热再抽汽;
- 中联门参调。

◆ 供汽能力

- 330MW机达200t/h;
- 700MW机达360t/h。



四、案例分析

3. C电厂

◆ 供汽需求

➤ 4.25MPa, 475°C;

➤ 需求1000t/h。

◆ 一期机组（630MW超临界）供汽方案

➤ 高中压通流+中联门参调改造;

➤ 热再抽汽;

➤ 单机减温减压后供出600t/h。

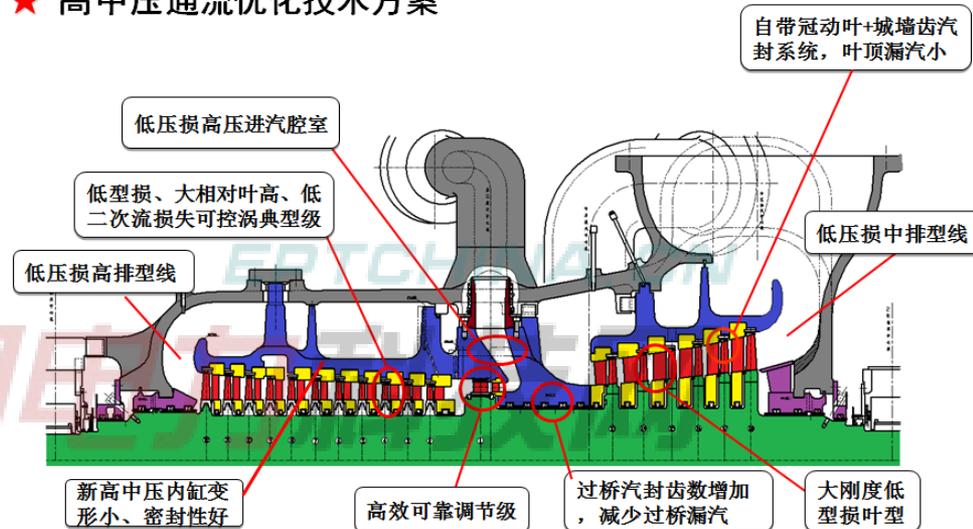
◆ 二期机组（1000MW超超临界）供汽方案

➤ 中联门参调改造;

➤ 热再抽汽;

➤ 单机减温减压后供出330t/h。

★ 高中压通流优化技术方案



四、案例分析

4. D电厂

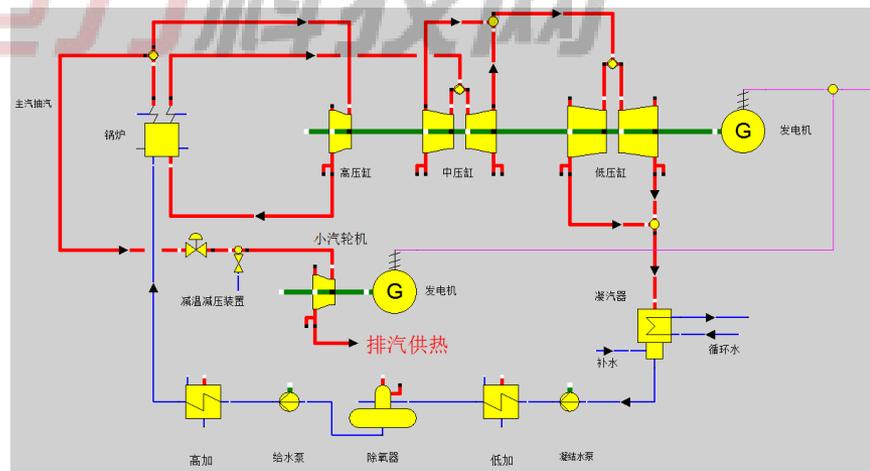
◆ 供汽需求

- 高压4.4MPa, 320℃;
- 中压3MPa, 290℃。

◆ 机组 (1000MW超超临界) 供汽方案

- 主汽、补汽阀、一抽、再热;
- 高参数背压机: 13.5MPa/535℃;
- 排汽5MPa, 6~7级, 效率71%;
- 排汽3.2MPa, 11~12级, 效率78%。

工况	0抽	1抽	2抽 (冷段)
90%	不允许投入	80t/h	100t/h
80%	不允许投入	90t/h	100t/h
75%	不允许投入	100t/h	100t/h
70%	100t/h	90t/h	参数不符合
50%	100t/h	80t/h	参数不符合
40%	100t/h	70t/h	参数不符合



四、案例分析

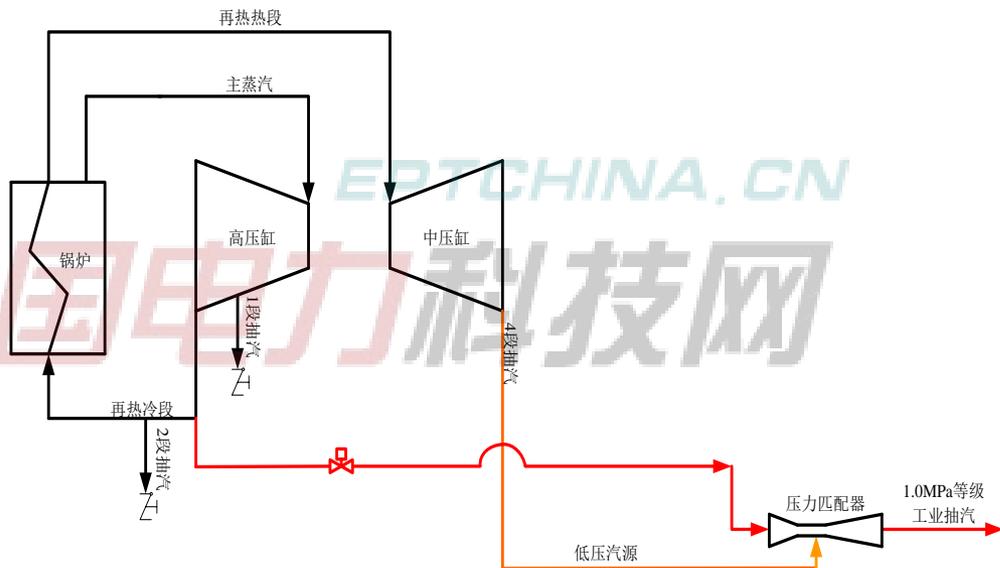
5. E电厂

◆ 供汽需求

- 高压4MPa, 320°C;
- 中压2.5MPa, 290°C;
- 低压1MPa。

◆ 机组 (700MW亚临界) 供汽方案

- 不同参数采用不同抽汽方案;
- 主汽非调整抽汽, 其余调整抽汽;
- 需考虑锅炉再热器超温问题。



四、案例分析

6. F电厂

◆ 供汽需求

- 3.7MPa, 400°C;
- 现供170t/h, 新增355t/h。

◆ 机组 (4 × 350MW超临界) 供汽方案

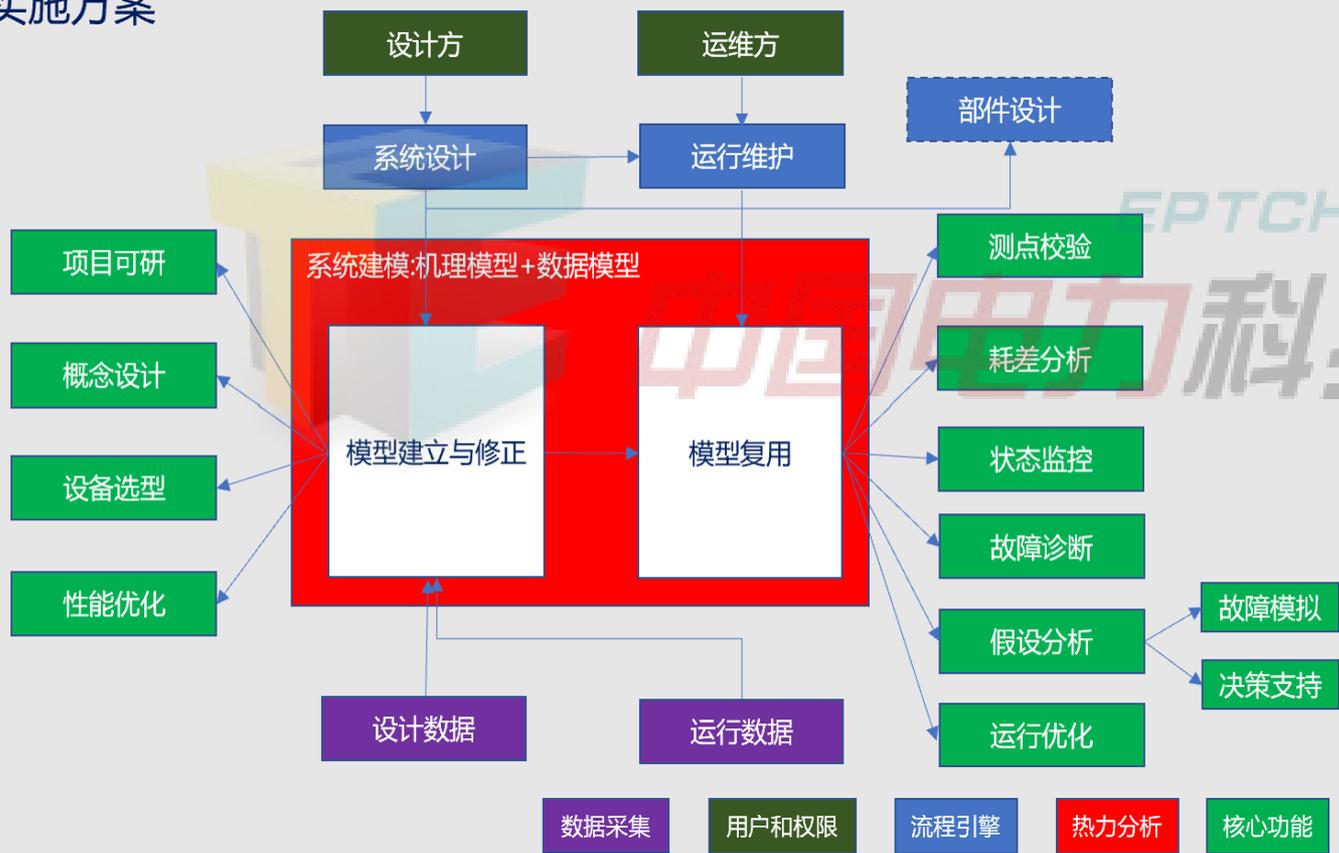
- 热压机方案, 主汽引射热再;
- 再热压力压力不低于3.0MPa;
- 主汽抽汽能力, 引射比。



项目	校核工况1	设计工况	校核工况2
主蒸汽抽汽量 (t/h)	70	70	70
主汽温度 (°C)	566	566	566
主汽压力 (Mpa (a))	24	19	17
热再抽汽量 (t/h)	98.71	91.69	80.56
热再压力 (Mpa (a))	3.0	3.0	3.0
热再温度 (°C)	566	566	566
热压机出口流量 (t/h)	168.71	161.69	150.56
出口压力 (Mpa (a))	3.9	3.9	3.9

五、供热运行优化及智能供热

实施方案



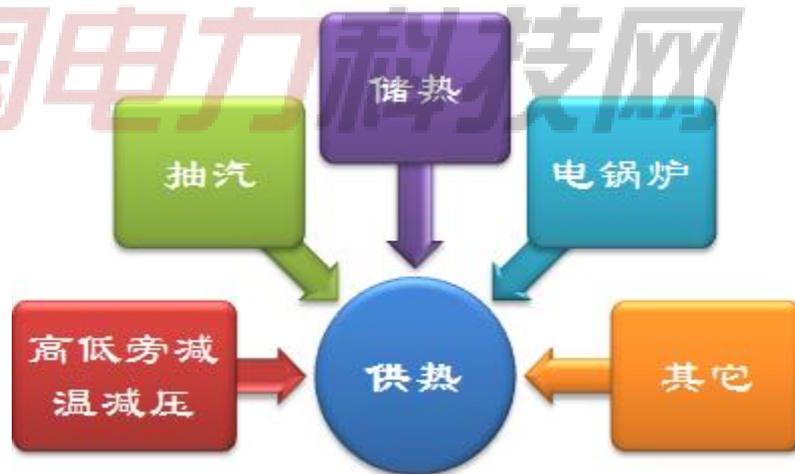
用户价值

- 打通了设计和运维, 连接了人与设备, 提升设计水平, 降低设计余量
- 帮助运维方了解电厂设备的健康状况, 进行实时的状态监测与故障诊断
- 帮助运维方提升运行水平, 提升盈利能力
- 实现了人员、数据以及知识的共享, 降低公司运营成本

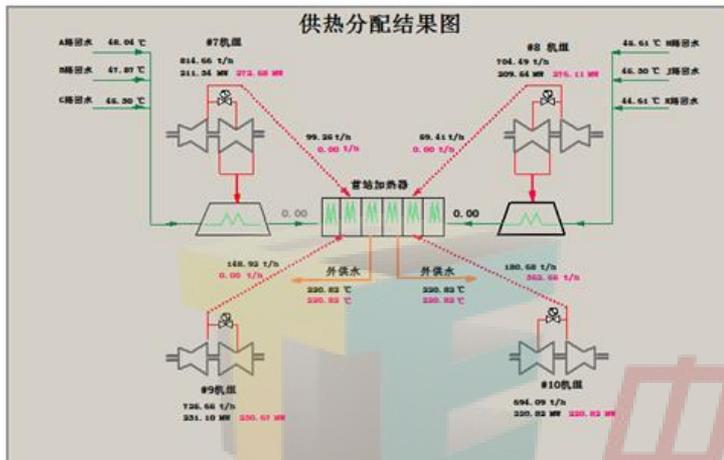
五、供热运行优化及智能供热

◆ 多源（元）化厂级供热优化

- 多热源统筹协调，供热负荷优化分配；
- 兼容多元化供热技术；
- 兼顾电负荷调度要求与全厂供热负荷需求；
- 供热及发电综合效益为目标函数；
- 工况预测试算及报表输出。



五、供热运行优化及智能供热



▼ 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

计算 负荷录入

预测日期: 2017-12-13

#7机: 参与分配 不参与分配 供热面积: 168.87 万㎡

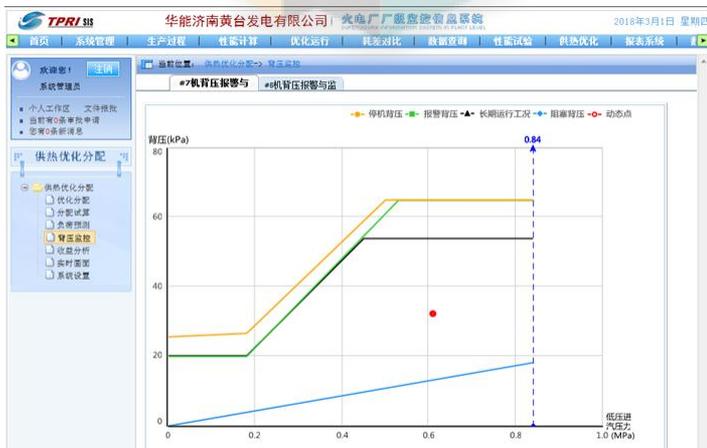
#8机: 参与分配 不参与分配 不含税电价: 41.03 元/MWh

#9机: 参与分配 不参与分配 切缸运行 不含税热价: 41.03 元/GJ

#10机: 参与分配 不参与分配 切缸运行 入炉煤价: 41.03 元/t

参数名	单位	#7	#8
凝汽器入口水量	t/h	11500	12500
凝汽器入口水温	°C	51	54
排汽背压	kPa	54	54

时间	00:15	00:30	00:45	01:00	01:15	01:30	01:45	02:00	02:15	02:30	02:45	03:00	03:15	03:30	23:45	查看趋势
室外环境温度	-4	-4	-4	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	3	
#7机功率	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	
#8机功率	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	
#9机功率	275.71	273.12	272.31	272.31	272.31	272.31	272.31	272.31	272.31	272.31	272.31	272.31	272.31	272.31	272.31	
#10机功率	275.71	270.18	269.59	269.59	267.13	267.13	267.13	267.13	267.13	267.13	267.13	267.13	267.13	267.13	267.13	
#7机供热抽汽量	52	51.5	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	
#8机供热抽汽量	260	259	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	
#9机供热抽汽量	52	51.5	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	
#10机供热抽汽量	260	259	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	
#7机抽汽供热负荷	31	30.5	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	
#8机抽汽供热负荷	31	30.5	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	
#9机抽汽供热负荷	291.67	285.23	291.67	291.67	291.67	291.67	291.67	291.67	291.67	291.67	291.67	291.67	291.67	291.67	291.67	
#10机抽汽供热负荷	145.8	143.3	145.8	145.8	145.8	145.8	145.8	145.8	145.8	145.8	145.8	145.8	145.8	145.8	145.8	
#7机乏汽供热负荷	366.93	366.93	366.93	366.93	366.93	366.93	366.93	366.93	366.93	366.93	366.93	366.93	366.93	366.93	366.93	



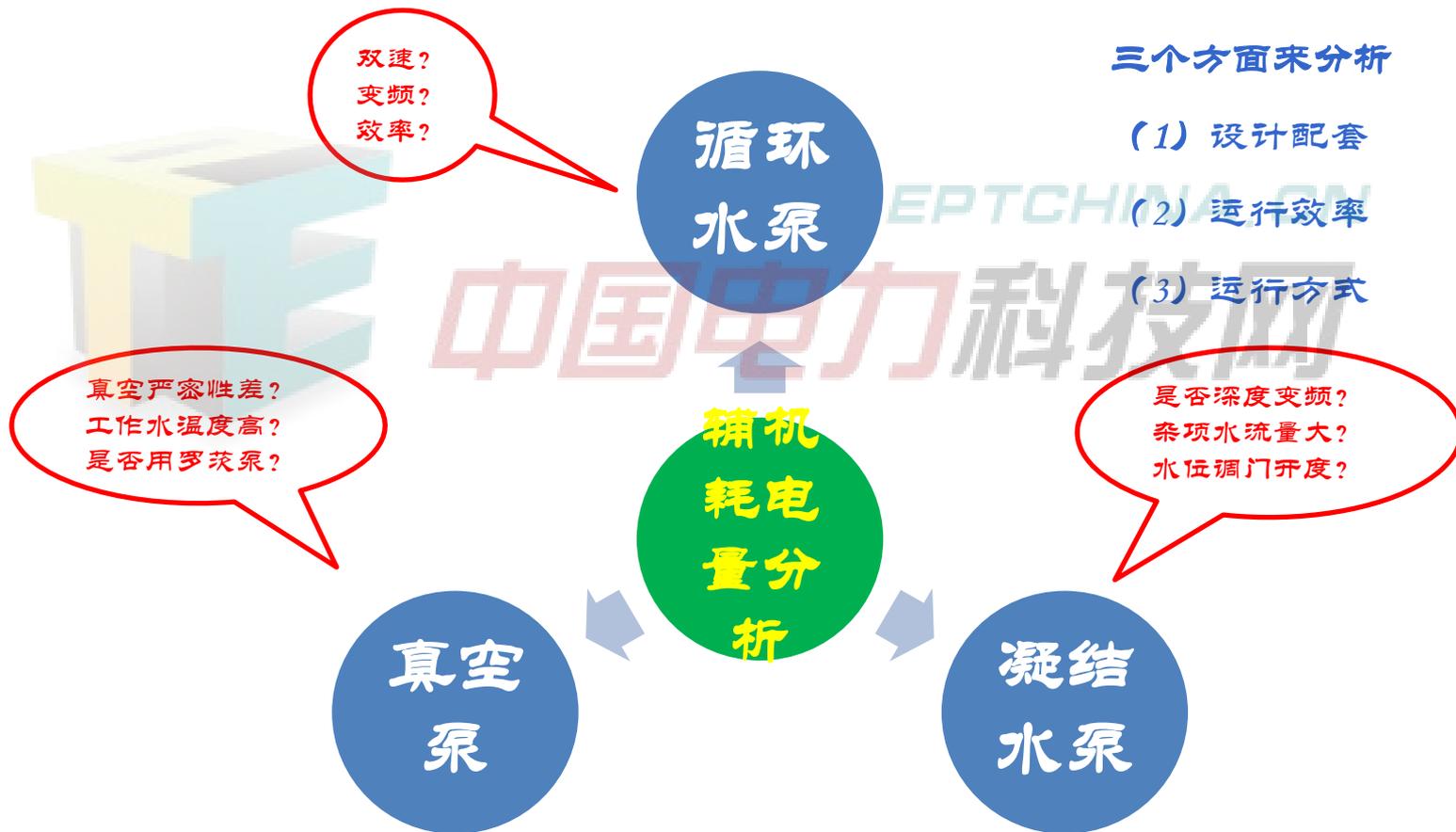
五、供热运行优化及智能供热

◆ 辅机运行优化—在热电厂的应用价值

衡量指标：耗电量

三个方面来分析

- (1) 设计配套
- (2) 运行效率
- (3) 运行方式



五、供热运行优化及智能供热

◆ 装置功能模块

➤ 冷端性能监测模块

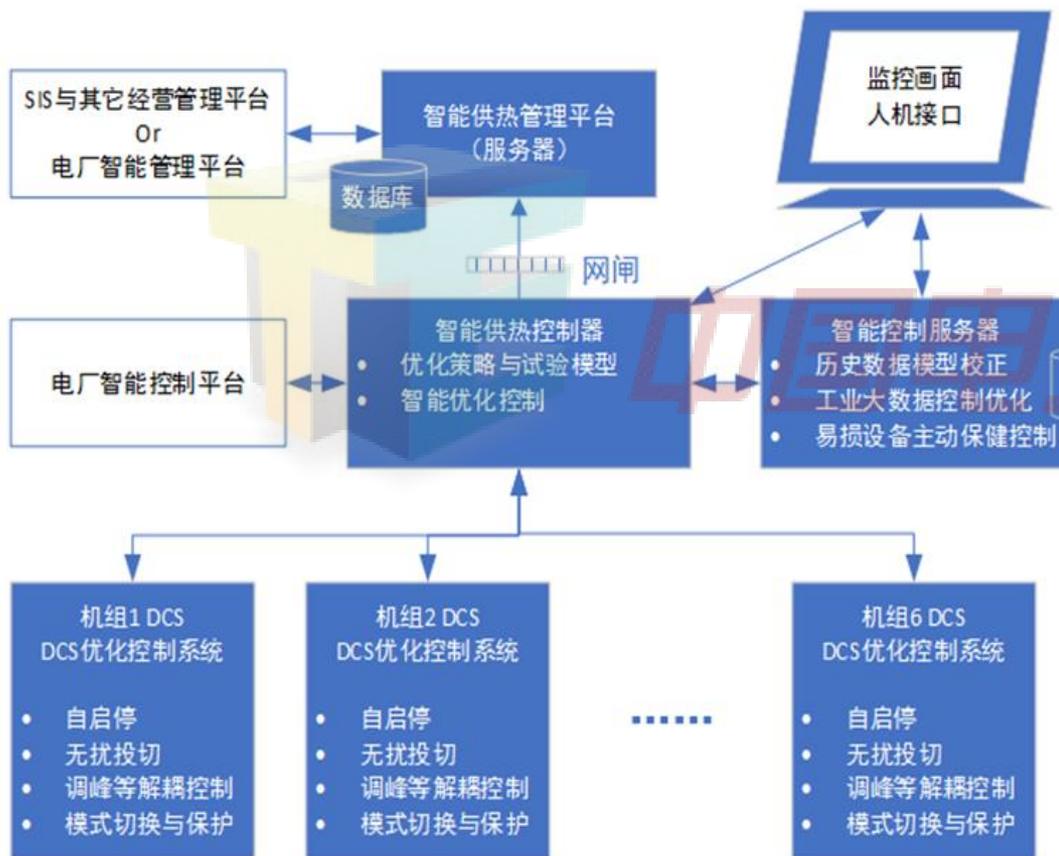
➤ 冷端性能诊断模块

➤ 冷端运行优化模块

➤ 冷端性能试验模块



五、供热运行优化及智能供热



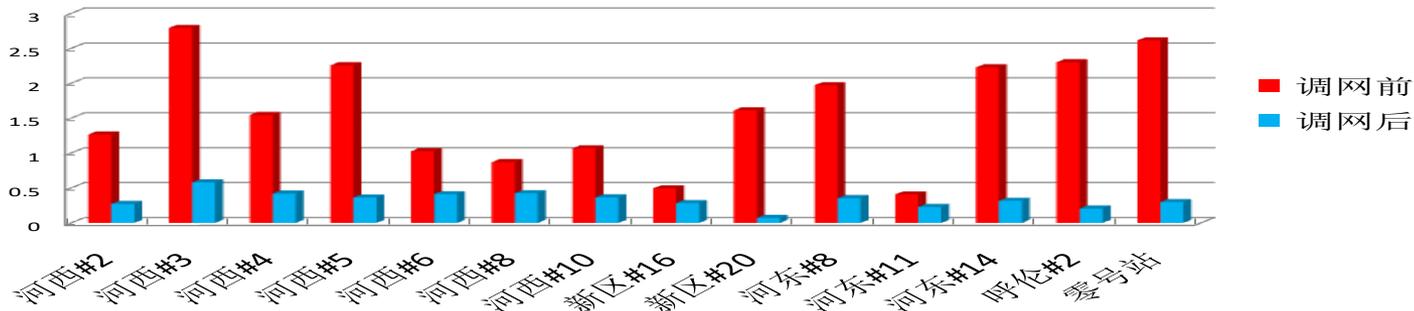
构建智能供热控制与管理平台，与各机组控制系统及上层信息管理系统进行交互，在满足信息安全的前提下，使供热系统具备较高的自动化水平及一定的智能化水平，可根据机组经济性、外部热负荷、全厂供热经营利润、调峰指标、供热管损等多方面的需要实现综合智能优化控制；智能供热管控平台与MIS系统和供热管理平台融合，数据交互共享，实现供热负荷预测，供热经济分析和管理的。

五、供热运行优化及智能供热

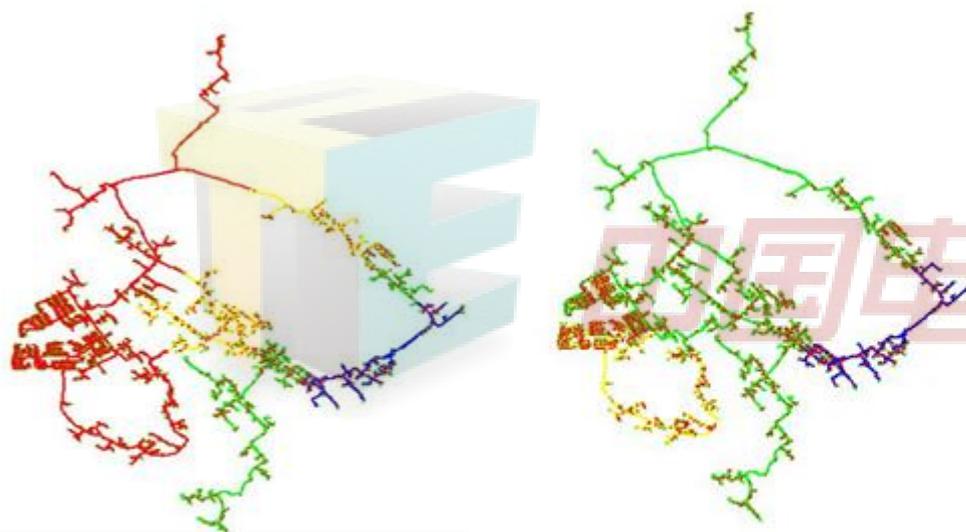
解决方法



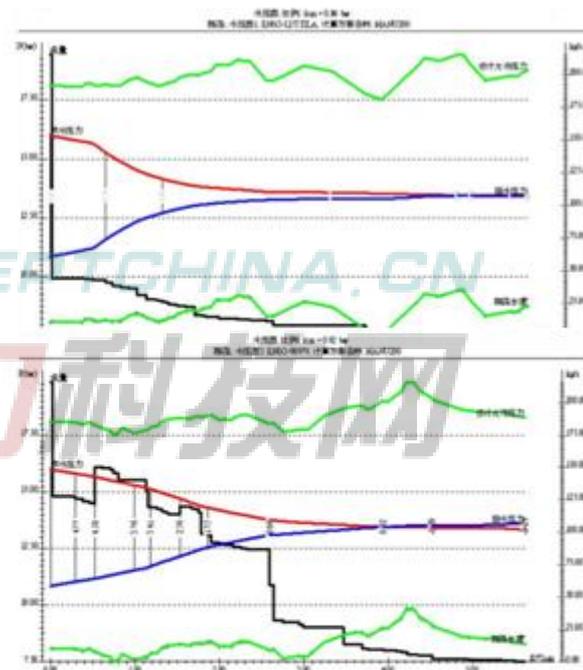
各换热站单元内热力站回水温度偏差



五、供热运行优化及智能供热



优化后的全网压差分布



热源到热用户的水压图



典型案例

五、供热运行优化及智能供热

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。



参数名称	MW	Y%	T/h
1. 1#炉	100.00	100.00	100.00
2. 2#炉	100.00	100.00	100.00
3. 3#炉	100.00	100.00	100.00
4. 4#炉	100.00	100.00	100.00
5. 5#炉	100.00	100.00	100.00
6. 6#炉	100.00	100.00	100.00
7. 7#炉	100.00	100.00	100.00
8. 8#炉	100.00	100.00	100.00
9. 9#炉	100.00	100.00	100.00
10. 10#炉	100.00	100.00	100.00
11. 11#炉	100.00	100.00	100.00
12. 12#炉	100.00	100.00	100.00
13. 13#炉	100.00	100.00	100.00
14. 14#炉	100.00	100.00	100.00
15. 15#炉	100.00	100.00	100.00
16. 16#炉	100.00	100.00	100.00
17. 17#炉	100.00	100.00	100.00
18. 18#炉	100.00	100.00	100.00
19. 19#炉	100.00	100.00	100.00
20. 20#炉	100.00	100.00	100.00



冠承包项目案例

Thank you very much for your attention!

追 求 卓 越
求 实 创 新
规 范 诚 信
以 人 为 本

CHINA.CN
中国电力科技网

谢谢!