

第九届大机组供热改造与优化运行技术2017年会



陶湘云

660MW超超临界机组供热改造

华电望亭发电厂工程部高级工程师，望亭发电厂技术带头人、改建工程处技术顾问、三期供热项目生产准备组负责人。中国华电集团高级技师，已有四十多年汽轮机运行工作经验，练就了一身较硬的汽轮机运行技术水平，特别是对汽轮机运行的工况分析、事故诊断和处理。2016年获华电集团公司管理创新成果二等奖。



660MW超超临界机组供热改造

项目背景

- 根据无锡市委、市政府大力建设“生态城、旅游与现代服务城、高科技产业城、宜居城”和“十二五”期间的节能减排要求，确保并加快实施《无锡市区热电行业整合整治3年(2010-2012年)行动计划》中关于2012年内市区燃煤热电厂数量减少2家以上的主要目标任务。无锡市政府主要职能部门进行热力规划，无锡国联环保能源集团有限公司为主要执行和实施单位。望亭发电厂供热改造一期工程已实施向无锡国联环保能源集团有限公司供热，最大负荷为355吨/小时。
- 伴随着无锡市城市建设的发展以及热网整合的推进，电厂周边热用户不断增加，无锡供热管网需进行二次整合优化，此项工作由无锡国联环保负责实施。



热负荷增加及优化概况



01

无锡市区望亭#1线已申请和签署供热协议的新增热负荷为141t/h，主要为采暖用户，其中一期供热范围内有26t/h热负荷，剩余115t/h热负荷纳入本期供热范围，现按申请量的30%计列，约35t/h，故望亭#1新增热负荷为35t/h，但考虑到望亭#1线现有管径及出口参数的限制，故考虑望亭#1线新增负荷最大为20t/h，平均为15t/h，即望亭#1线二期最大负荷预计达到200t/h。

热负荷增加及优化概况

02

无锡新区新增负荷70.5t/h，主要为工业用汽，部分为采暖用户，现按申请量的70%计列，约50t/h；但无锡新区此新增负荷处于望亭#2线及友联的供热范围内，并结合望亭#2线现有管径及出口参数，故考虑望亭#2线新增最大为30t/h，平均为25t/h，即望亭#2线二期最大负荷预计达到205t/h。

热负荷增加及优化概况

03

无锡空港产业园将新增现状热负荷89t/h，主要为工业用汽，计划新建#3线以满足以上新增负荷，同时考虑远期预测负荷，故#3线共考虑负荷在120~150t/h左右，供热参数为0.8MPa(g)，300℃，至2015年初预计产量最大为80t/h，平均为60 t/h。

热负荷增加及优化概况

04

友联供热区域供热参数为0.6MPa, 300℃, 热负荷最大60t/h, 平均40t/h, 计划由望亭发电厂替代, 另外望亭周边地区低压热负荷最大为5t/h, 平均为3 t/h, 故新建#4线以满足替代友联和望亭低压供热, 4#线供热最大65t/h, 平均43 t/h。

望亭周边区域高压供热参数为1.2MPa(g), 350℃, 热负荷高峰35 t/h, 平均25 t/h。

- 综上所述，望亭发电厂新增热负荷最大合计270t/h，平均167 t/h，最小70 t/h。年增加供热量120万吨，其中无锡区域100万吨，望亭周边20万吨。

机组改造概况

- 1、上海华电望亭发电厂 $2 \times 660\text{MW}$ 机组锅炉采用上海电气集团(上海锅炉厂有限责任公司)生产的锅炉为超超临界参数变压运行螺旋管圈直流炉，单炉膛、一次中间再热、平衡通风、固态排渣、全钢悬吊结构II型锅炉、半露天布置燃煤锅炉。锅炉BMCR工况过热器出口压力 26.15 MPa(g) ，锅炉最大连续出力 2024t/h ；再热蒸汽出口压力 5.92 MPa(g) ，流量为 1680t/h 。
- 2、上海华电望亭发电厂 $2 \times 660\text{MW}$ 机组汽轮机采用上海汽轮机有限公司根据Siemens技术设计制造的超超临界参数、单轴、一次中间再热、四缸四排汽、纯凝式汽轮机，主蒸汽进口参数：压力 25MPa(a) ，温度 600°C ；再热蒸汽出口温度 600°C ，汽轮机保证热耗率为 7315 kJ/kW.h 。汽轮机回热系统由高压加热器、除氧器、低压加热器组成，高压加热器3台100%容量卧式加热器，每台机组配置4台100%容量低压加热器和1台疏水冷却器。



机组改造概况

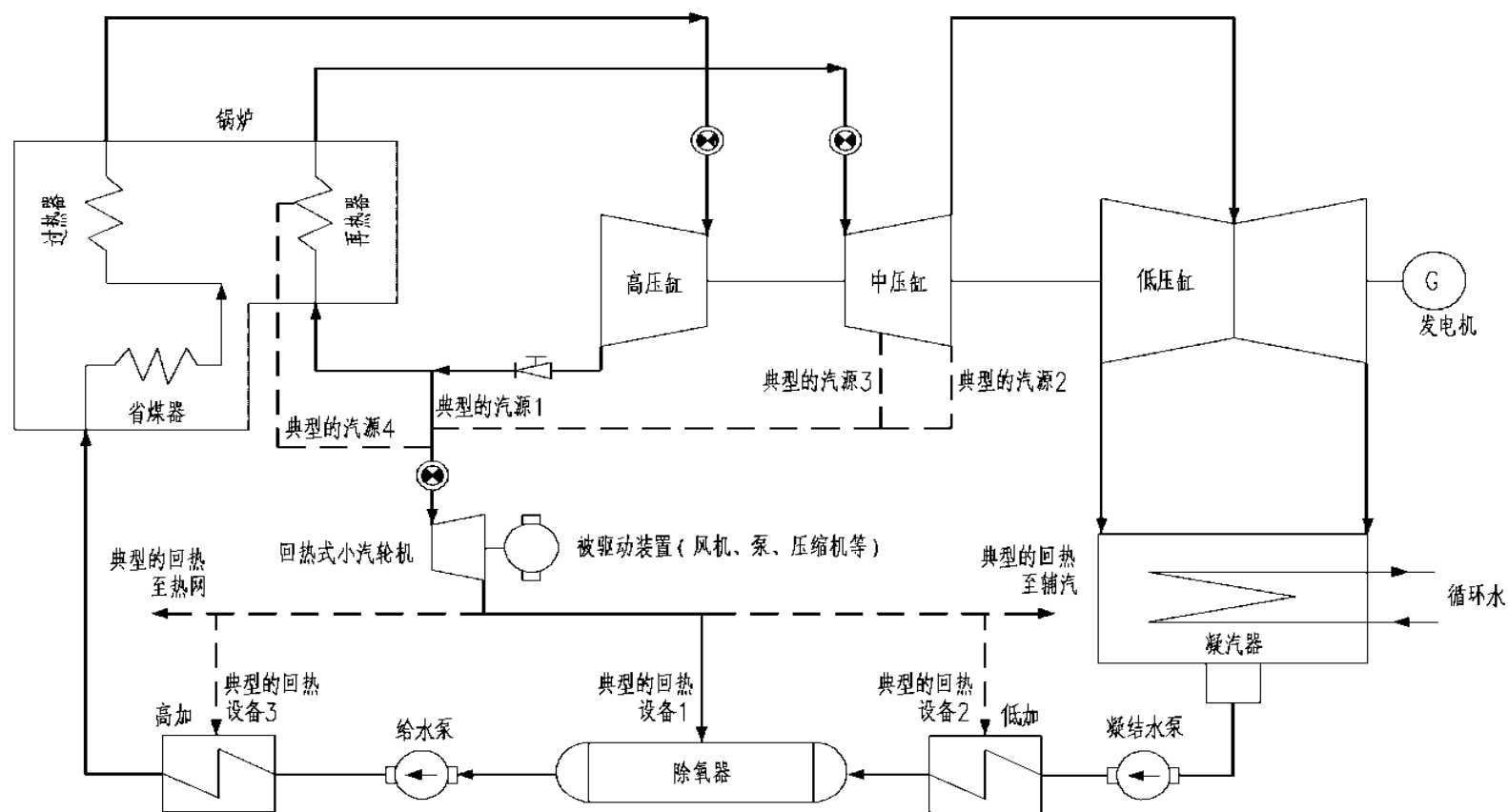
- 3、本项目将对3、4号机的引风机和增压风机进行合并设置，将原有脱硫增压风机拆除，同时对烟道进行相应的调整。经引风机厂家对引增合并后的风机选型计算，对现有引风机进行改造不能满足实际运行需求，需对现有引风机进行整体更换。引风机改为小汽机驱动后，启动气源采用老厂供汽。
- 4、为保证锅炉化学清洗过程中的点火煮炉、机组正常的冷态启动，引风机应能及时投用。为此，要保证机组除盐水系统、循环水系统、闭冷水系统、凝水系统、除氧器、辅汽母管、大小机轴封和真空系统、高压给水系统等能提前投用，一台汽动给水泵组能向锅炉进水，大机盘车能投运。而对于老厂改造，如能采用老厂辅助蒸汽作为汽动风机的启动汽源，将对电厂其他系统的影响减少到最小，风机的运行相对独立稳定。经核算望亭电厂能够提供备用汽源作为背压式小汽轮机的启动蒸汽。由于原引风机采用纵向布置，引风机区域布置较为紧凑，因场地受限本次改造不设启动风机。



机组改造概况

- 5、望亭3、4号机组汽动引风机选型的烟气流量按照原引风机选型数据。汽动引风机BMCR工况的压头按照原电动引风机与增压风机技术协议BMCR工况叠加，即 $5787+3220=9007\text{Pa}$ 。根据实际运行，锅炉引风机侧最大阻力 4000Pa （考虑了空预器堵灰情况），脱硫增压风机侧的阻力为 4000Pa （考虑了GGH堵灰情况），脱硝预留 200Pa ，除尘器改造预留 800Pa ，共计需 9000Pa 。故汽动引风机BMCR工况按照 9007Pa 选型可以满足脱硝、除尘改造后运行需要。





发电厂回热式小汽轮机系统的典型流程图（华东电力设计院专利技术）



机组改造概况

参 数	单位	TB	BMCR	100%THA	75%THA	50%THA	30%BMCR	RB
轴功率	kW	6097	4484	3649	2138	1260	910	~3000
风机转速	r/min	1080	1063	990	825	690	760	850
小机转速	r/min	6480	6378	5940	4950	4140	4560	5100
进汽压力	MPa. a	5. 4	5. 4	5. 4	4. 0	2. 7	2. 9~3. 0	4. 0
进汽温度	℃	481	481	481	480	468. 5	295~300	480
进汽流量	t/h	69. 0	54. 3	46. 8	36. 0	23. 5	29. 0	43. 4
排汽压力	MPa. a	1. 3	1. 3	1. 3	1. 3	1. 3	1. 18	1. 18
排汽温度	℃	304. 9	314. 2	321. 7	358. 2	401. 0	216. 0	341. 5
排汽流量	t/h	69. 0	54. 3	46. 8	36. 0	23. 5	29. 0	43. 4

- 从上表可以看出，在引风机TB点锅炉抽汽量为138t/h左右，BMCR工况下抽汽量约为110t/h，100%THA工况下抽汽量约为94t/h。经锅炉厂核算，锅炉一级再热器进口最大抽汽量基本可以满足引风机汽轮机的正常运行。



供热系统设计

3#、4#机中低压联通管抽汽（参数为：压力0.6MPa,温度360℃），通过减温装置（减温水来自给水泵中间抽头出口：压力10MPa，温度180℃），减温至压力0.6MPa,温度300℃，对4#线供热和做为压力匹配器的低压蒸汽。

3#、4#机引风机背压式小汽轮机排汽（75%THA参数为：压力1.2MPa，温度358.2℃），通过减温装置（减温水来自给水泵中间抽头出口：压力10MPa，温度180℃），减温至压力1.2MPa,温度315℃，做为压力匹配器的驱动蒸汽、1#线的补充汽源及望亭周边区域的高压汽源。

3#、4#机引风机背压式小汽轮机排汽（75%THA参数为：压力1.2MPa，温度358.2℃）经减温后作为驱动蒸汽；3#、4#机中低压联通管抽汽（参数为：压力0.6MPa,温度360℃）经减温后作为低压蒸汽。两种蒸汽通过压力匹配器混合后,输出参数为压力0.8MPa,温度300℃的蒸汽，对3#线供热和做为2#线的补充汽源。

正常情况下供热方式

考虑望亭1#线、2#线在非冬季工况下运行、3#线处于80t/h近期负荷及全厂所有供热机组正常运行时为正常情况下的供热方式，3#、4#机不同工况时的供汽分配方案如下：



1、TB工况

3#、4#机中排抽汽经减温后对4#线供出65t/h低压蒸汽（压力0.6MPa,温度300℃）；3#、4#机引风机背压式小汽轮机排汽共276t/h，其中138t/h供1#线及望亭周边区域的高压蒸汽，另外138t/h引风机背压式小汽轮机排汽与3#、4#机中排抽汽69t/h经压力匹配器混合后对3#线供80t/h低压蒸汽（压力0.8MPa,温度300℃）及2#线127t/h低压蒸汽（压力0.8MPa,温度300℃）；望亭1#、2#线负荷不足部分由原一期工程11#、14#机补充供热。

2、100%THA工况

3#、4#机中排抽汽经减温后对4#线供出65t/h低压蒸汽（压力0.6MPa,温度300℃）；3#、4#机引风机背压式小汽轮机排汽共187.2t/h，其中93.6t/h供1#线及望亭周边区域的高压蒸汽，另外93.6t/h引风机背压式小汽轮机排汽与3#、4#机中排抽汽46.8t/h经压力匹配器混合后对3#线供80t/h低压蒸汽（压力0.8MPa,温度300℃）及2#线60.4t/h低压蒸汽（压力0.8MPa,温度300℃）；望亭1#、2#线负荷不足部分由原一期工程11#、14#机补充供热。

3、75%THA工况

3#、4#机中排抽汽经减温后对4#线供出65t/h低压蒸汽（压力0.6MPa,温度300℃）；3#、4#机引风机背压式小汽轮机排汽共144t/h，其中72t/h供1#线及望亭周边区域的高压蒸汽，另外72t/h引风机背压式小汽轮机排汽与3#、4#机中排抽汽36t/h经压力匹配器混合后对3#线供80t/h低压蒸汽（压力0.8MPa,温度300℃）及2#线28t/h低压蒸汽（压力0.8MPa,温度300℃）；望亭1#、2#线负荷不足部分由原一期工程11#、14#机补充供热。

4、50%THA工况

3#、4#机中排抽汽经减温后对4#线供出65t/h低压蒸汽（压力0.6MPa,温度300℃）；3#、4#机引风机背压式小汽轮机排汽共94t/h，其中35t/h供望亭周边区域的高压蒸汽，另外59t/h引风机背压式小汽轮机排汽与3#、4#机中排抽汽29.5t/h经压力匹配器混合后对3#线供80t/h低压蒸汽（压力0.8MPa,温度300℃）及2#线8.5t/h低压蒸汽（压力0.8MPa,温度300℃）；望亭2#线负荷不足部分由原一期工程11#、14#机补充供热，望亭1#线仍由原一期工程11#、14#机供热。

供热系统设计

3#、4#机组低于50%THA工况时不考虑引风机背压式小汽轮机排汽供热，此时列为全厂应急供热方式，但仅考虑一台机低于50%THA工况。



机组应急供热方式

本设计应急供热方式建立于正常情况供热方式的基础上，仅考虑全厂1台供热机组故障或停机检修，不考虑2台以上供热机组故障或停机检修此种恶劣工况。机组应急供热方式时考虑3#、4#机组处于100%THA工况运行。



1、 #11机故障或停机检修时:

1#线:

3#、4#机引风机背压式小汽轮机排汽56.6t/h供应1#线, 14#机热再抽汽50t/h经一期压力匹配器旁路减温减压后供应1#线。

2#线:

3#、4#机引风机背压式小汽轮机排汽93.6t/h与3#、4#机中排抽汽46.8t/h经压力匹配器混合后对3#线供80t/h低压蒸汽(压力0.8MPa,温度300℃) 及2#线60.4t/h低压蒸汽(压力0.8MPa,温度300℃); 14#机停1至2台高加, 14#机冷再抽汽50t/h经减压后供应2#线。

3#线:

3#、4#机引风机背压式小汽轮机排汽93.6t/h与3#、4#机中排抽汽46.8t/h经压力匹配器混合后对3#线供80t/h低压蒸汽(压力0.8MPa,温度300℃)。

4#线:

3#、4#机中排抽汽经减温后对4#线供出65t/h低压蒸汽(压力0.6MPa,温度300℃)。高压望亭线: 3#、4#机引风机背压式小汽轮机排汽直供35t/h。

若#11机事故状态时, 1#、2#线供热能力降低, 3#线满足近期80t/h负荷, 4#线、高压望亭线不受影响。



2、 #14机故障或停机检修时：

1#线：3#、4#机引风机背压式小汽轮机排汽58.6t/h供1#线，11#机热再抽汽经减温后与11#机中排抽汽经压力匹配器混合后对1#线供热，一期压力匹配器最大出力为100t/h。

2#线：3#、4#机引风机背压式小汽轮机排汽93.6t/h与3#、4#机中排抽汽46.8t/h经压力匹配器混合后对3#线供80t/h低压蒸汽（压力0.8MPa,温度300℃）及2#线供60.4t/h低压蒸汽（压力0.8MPa,温度300℃），2#线负荷不足部分由原一期工程11#机中排抽汽补充供热。

3#线：3#、4#机引风机背压式小汽轮机排汽93.6t/h与3#、4#机中排抽汽46.8t/h经压力匹配器混合后对3#线供80t/h低压蒸汽（压力0.8MPa,温度300℃）。

4#线：3#、4#机中排抽汽经减温后对4#线供出65t/h低压蒸汽（压力0.6MPa,温度300℃）。

高压望亭线：3#、4#机引风机背压式小汽轮机排汽直供35t/h。

若#14机事故状态时，1#线供热能力降低，2#线供热不受影响，3#线满足近期80t/h负荷，4#线、高压望亭线不受影响。



3、3#、4#其中一台机组故障、停机检修或低于50%THA工况时:

1#线:

利用11#、14#机热再抽汽经减温后与11#机中排抽汽经压力匹配器混合后对1#线供热,一期两台压力匹配器最大出力共计为200t/h。

2#线:

3#、4#机引风机背压式小汽轮机排汽58.6t/h与3#、4#机中排抽汽29.3t/h经压力匹配器混合后对3#线供80t/h低压蒸汽(压力0.8MPa,温度300℃)及2#线供7.9t/h低压蒸汽(压力0.8MPa,温度300℃),2#线负荷不足部分由原一期工程11#机中排抽汽补充供热。

3#线:

3#、4#机引风机背压式小汽轮机排汽58.6t/h与3#、4#机中排抽汽29.3t/h经压力匹配器混合后对3#线供80t/h低压蒸汽(压力0.8MPa,温度300℃)。

4#线:

3#、4#机中排抽汽经减温后对4#线供出65t/h低压蒸汽(压力0.6MPa,温度300℃)。

高压望亭线: 3#、4#机引风机背压式小汽轮机排汽直供35t/h。

若3#、4#其中一台机组故障、停机检修或低于50%THA工况时,1#、2#线供热不受影响,3#线满足近期80t/h负荷,4#线、高压望亭线不受影响。