

EPTCHINA.CN  
中国电力科技网

SXEC 苏夏

# 第十届“大机组供热改造与优化运行技术2018年会”



杨秋辉

国电电投上海发电设备成套设计研究院高级工程师，长期从事汽轮机汽轮机及其系统性能试验，大型电站汽轮机通流与扩容改造的技术研究，电厂冷端优化，热力系统节能诊断及改造，电厂供热评估及改造研究等，先后负责参与多台30MW-1000MW机组性能试验、节能评估、节能优化改造等，取得了多项科技成果，积累了丰富的工程经验。

## 低温再热器出口供热改造可行性研究

2018年10月10-12日

中国·常熟



上海发电设备成套设计研究院有限责任公司  
SHANGHAI POWER EQUIPMENT RESEARCH INSTITUTE CO.,LTD

# 低温再热器出口 供热改造可行性研究报告

杨秋辉

[www.speri.com.cn](http://www.speri.com.cn)

## 知识产权声明

本文件的知识产权属国家电力投资集团公司及其相关产权人所有，并含有其保密信息。对本文件的使用及处置应严格遵循获取本文件的合同及约定的条件和要求。未经国家电力投资集团公司事先书面同意，不得对外披露、复制。

### *Intellectual Property Rights Statement*

*This document is the property of and contains proprietary information owned by SPIC and/or its related proprietor. You agree to treat this document in strict accordance with the terms and conditions of the agreement under which it was provided to you. No disclosure or copy of this document is permitted without the prior written permission of SPIC.*

# 目 录

- 一. 改造背景及必要性
- 二. 研究及编制依据
- 三. 研究范围
- 四. 热负荷分析
- 五. 供热方案
- 六. 工程设想
- 七. 投资及效益分析
- 八. 结论和建议

# 目 录

一. 改造背景及必要性

二. 研究及编制依据

三. 研究范围

四. 热负荷分析

五. 供热方案

六. 工程设想

七. 投资及效益分析

八. 结论和建议

# 一、改造背景及必要性

某电厂为适应当前经济形势，提高电厂经济效益，降低污染物排放，积极拓展供热市场，为满足工业园区清洁、环保的用汽需求，经协商，由该电厂向工业园区供工业用汽100t/h，供汽参数为1.5MPa，370℃，最高供汽参数为2.0MPa，400℃，最大供汽量为120t/h。

# 一、改造背景及必要性

## ● 符合国家节能产业政策

本项目体现了集中供热的节能技术思路，符合能源节约与资源综合利用技术范畴。

## ● 促进节能减排

提高能源利用率、热电联产、加强余热回收利用是节约能源、降低碳排放、保护环境的根本措施。

## ● 提高电厂经济效益

在提高当地供热安全性同时又能最大限度的节约能源减少蒸汽能级损失，对工业蒸汽的节能改造利用符合国家政策和节能减排的要求，又能提高电厂经济效益。

# 目 录

一. 改造背景及必要性

二. 研究及编制依据

三. 研究范围

四. 热负荷分析

五. 供热方案

六. 工程设想

七. 投资及效益分析

八. 结论和建议

## 二、研究及编制依据

- 《火力发电厂可行性研究报告内容深度规定》（DL/T 5375-2008）；
- 国家、行业及地方的有关法律、法规和规程、规范；
- 有关设计基础资料和支持性文件；
- 签订的《技术协议》。

# 目 录

- 一. 改造背景及必要性
- 二. 研究及编制依据
- 三. 研究范围
- 四. 热负荷分析
- 五. 供热方案
- 六. 工程设想
- 七. 投资及效益分析
- 八. 结论和建议

### 三、研究范围

本工程规划厂区供热管道，厂外管道利用已有供热蒸汽管道，蒸汽经厂外管道直接供工业园区。本可行性研究的主要工作范围包括以下内容：

- 1) 改造的必要性；
- 2) 改造的可行性；
- 3) 结合电厂深度调峰要求，进行供热方案分析论证；
- 4) 工程设想；
- 5) 环境保护和分析；
- 6) 劳动安全和职业卫生；
- 7) 投资估算及经济效益分析；
- 8) 结论和建议。

# 目 录

- 一. 改造背景及必要性
- 二. 研究及编制依据
- 三. 研究范围
- 四. 热负荷分析
- 五. 供热方案
- 六. 工程设想
- 七. 投资及效益分析
- 八. 结论和建议

## 四、热负荷分析

本工程主要生产热用户为工业供汽，热负荷稳定，按照供汽压力为1.5MPa，供汽温度为370℃，白天供汽100t/h，年供汽4000h计算，生产统计热负荷如表。

序号	名称	单位	设计值	最大值
1	蒸汽压力	MPa	1.5	2.0
2	蒸汽温度	℃	370	400
3	生产用汽量	t/h	100	120
4	年运行小时数	h	4000	4000
5	年供热量	10 <sup>4</sup> GJ	121.8	148.9

# 目 录

- 一. 改造背景及必要性
- 二. 研究及编制依据
- 三. 研究范围
- 四. 热负荷分析
- 五. 供热方案**
- 六. 工程设想
- 七. 投资及效益分析
- 八. 结论和建议

## 五、供热方案

### 1、锅炉侧抽汽方案

根据锅炉侧实际运行蒸汽参数，为了满足供汽参数为1.5MPa，370℃的供汽要求，锅炉侧供热抽汽可采用以下三个方案：

方案一：由热再热蒸汽管道抽汽，经减温减压后供工业用汽；

方案二：由低温再热器出口管道抽汽，经减温减压后供工业用汽；

方案三：由低温再热器出口蒸汽与冷再蒸汽混合后经减压，供工业用汽。

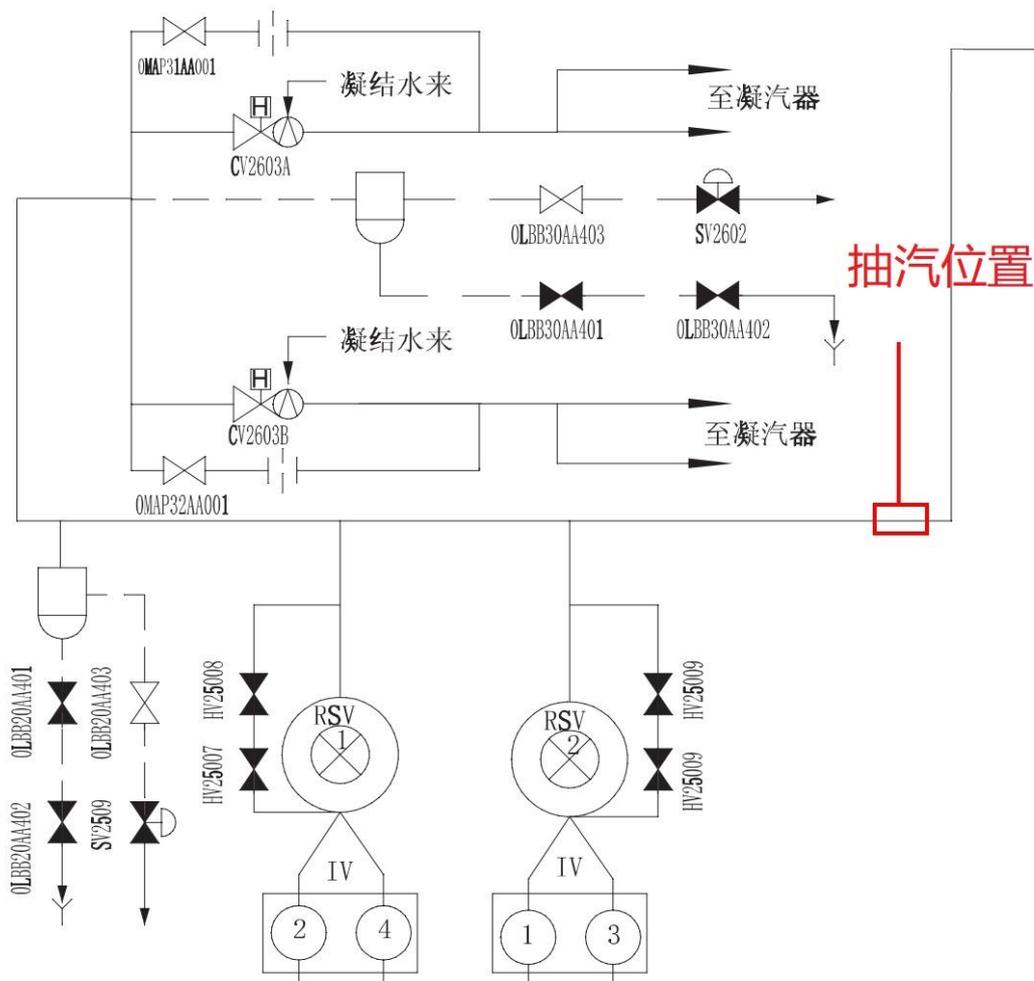
## 五、供热方案

### 1、锅炉侧抽汽方案

方案一：热再蒸汽减压减温					
参数名称	流量(t/h)	压力(Mpa)	温度(℃)	焓 (kj/kg)	过热度 (℃)
高温再热器出口	85.5	2.7	566.0	3608.4	337.9
减温水参数	14.5	12.5	172.0	734.4	-
减温减压后参数	100	1.5	370.0	3191.4	171.7
方案二：低温再热器出口减压减温					
参数名称	流量(t/h)	压力(Mpa)	温度(℃)	焓 (kj/kg)	过热度 (℃)
低温再热器出口	94.2	2.8	447.0	3341.3	217.9
减温水参数	5.8	12.5	172.0	734.4	-
减温减压后参数	100.0	1.5	370.0	3191.4	171.7
方案三：低温再热器出口和冷再抽汽混合供汽					
参数名称	流量(t/h)	压力(Mpa)	温度(℃)	焓 (kj/kg)	过热度 (℃)
低温再热器出口	56.6	2.8	447.0	3341.3	217.9
冷再抽汽	43.4	2.8	298.0	2995.5	67.9
减压后参数	100.0	1.5	370.0	3191.4	171.7

# 五、供热方案

## 1、锅炉侧抽汽方案-方案一

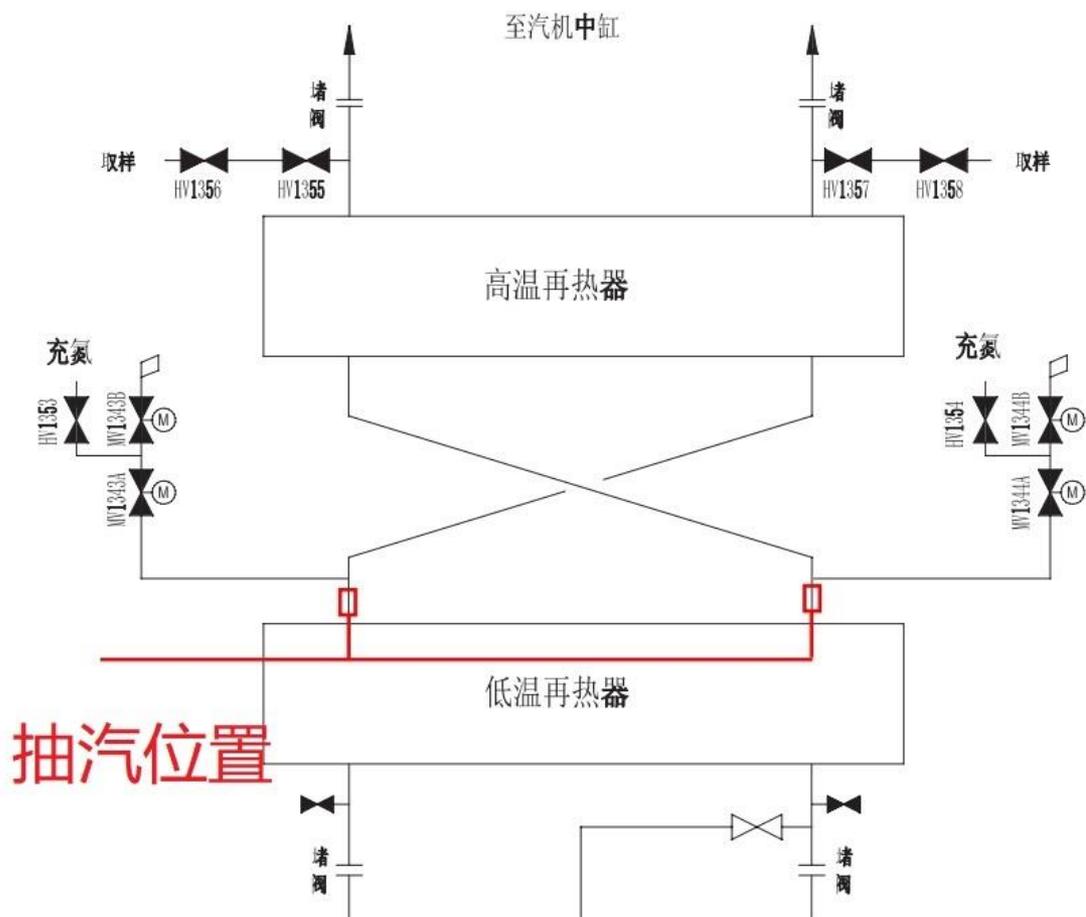


该方案的优点是用热再热蒸汽参数较高，可满足不同供汽温度的蒸汽，且相对允许锅炉较大工况变动。该方案的缺点是相对于低温再热器出口蒸汽和混合蒸汽来说，用热再热蒸汽直接供热经济性相对较差。

该方案可满足各负荷下供热1.5MPa，370℃参数要求。

# 五、供热方案

## 1、锅炉侧抽汽方案-方案二

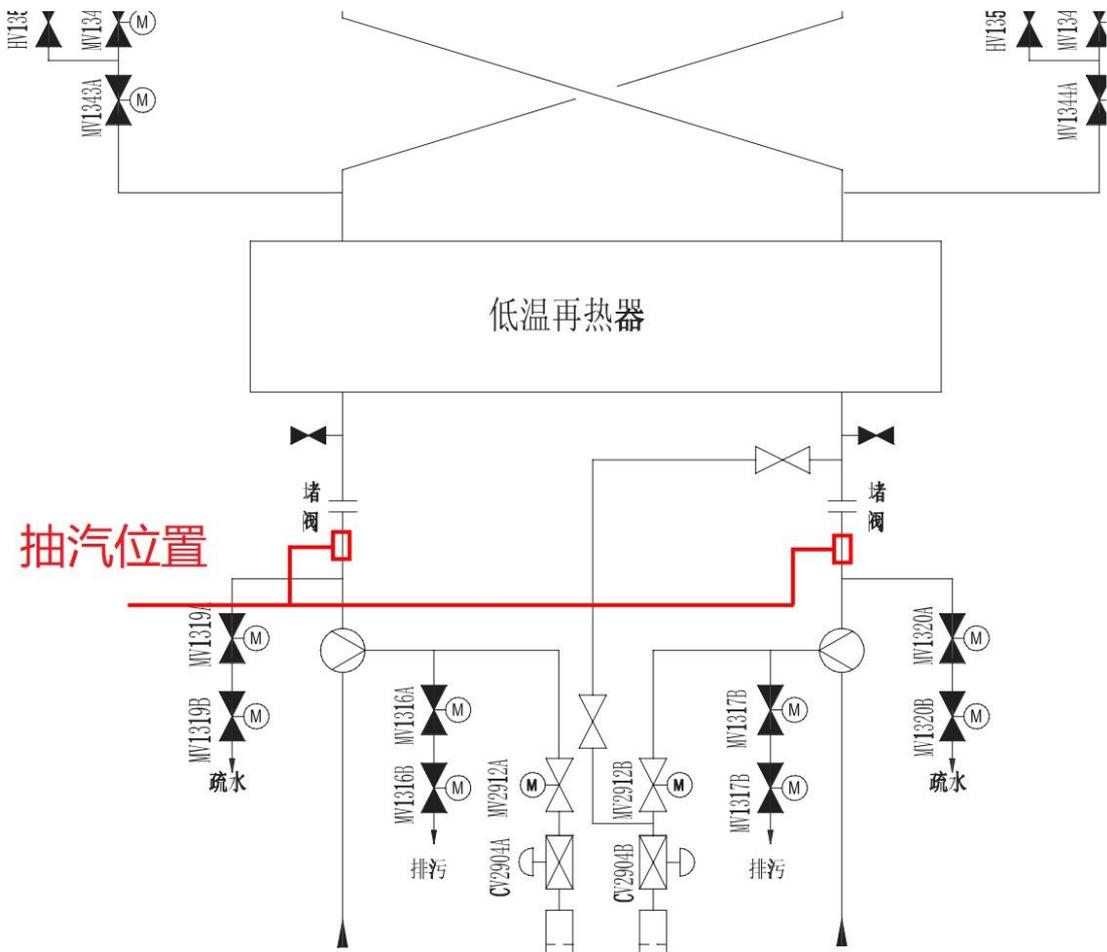


该方案的优点是低温再热器出口蒸汽经减温减压后供工业用汽经济性较好，缺点在低负荷下可能引起再热器超温，运行没有方案一灵活。

该方案在较低负荷下，当低再出口蒸汽无法满足工业用汽1.5MPa的压力要求时，可由中联门参与调节压力。

# 五、供热方案

## 1、锅炉侧抽汽方案-方案三



该方案的优点是充分利用了温度较低的冷再蒸汽，经济性较好，缺点是运行灵活性较差，系统较方案一和方案二都要复杂。

与方案一和二相同，在较低负荷下，当低再出口蒸汽无法满足工业用汽1.5MPa的压力要求时，可由中联门参与调节压力。

## 五、供热方案

### 1、锅炉侧抽汽方案

名称	方案一	方案二	方案三
	热再蒸汽抽汽	低再出口抽汽	冷再和低再混合
最大供汽量	满足最大供汽 120t/h	满足最大供汽 120t/h	满足最大供汽 120t/h
经济性	较差	较好	好
运行影响	影响较小	影响大	影响较大
管道长度	管道较短，布置 简单	管道较长，布置 简单	管道较长，布置 复杂
运行灵活性	较高	较好	较差
投资	较高	较少	较高

## 五、供热方案

### 1、锅炉侧抽汽方案

方案一：由热再热蒸汽抽汽，经减温减压后，供工业用汽，该方案对锅炉运行影响较小，但经济性较差，不符合能级匹配、温度对口的原则；

方案二：由低温再热器出口抽汽，经过减温减压后，供工业用汽。在机组负荷在30%额定负荷以上，从低温再热器出口抽汽100t/h，不会引起高温再热器超温的问题，可保证再热器安全运行；

方案三：由冷再蒸汽和低温再热器出口蒸汽混合后，供工业抽汽，经济性较优，但系统布置复杂，运行不灵活。

上述方案中方案一和方案二应用较多，例如马鞍山万能达3号、4号机组，国家电投东方1号、2号机组等都是采用方案一供汽方案。根据规划，结合供汽方案经济投资和运行灵活性，建议采用方案二从低温再热器出口抽汽，经减温减压后供工业用汽。

## 五、供热方案

### 2、汽机侧抽汽方案-方案四

从汽轮机抽汽向外供热，分可调抽汽和非可调抽汽。

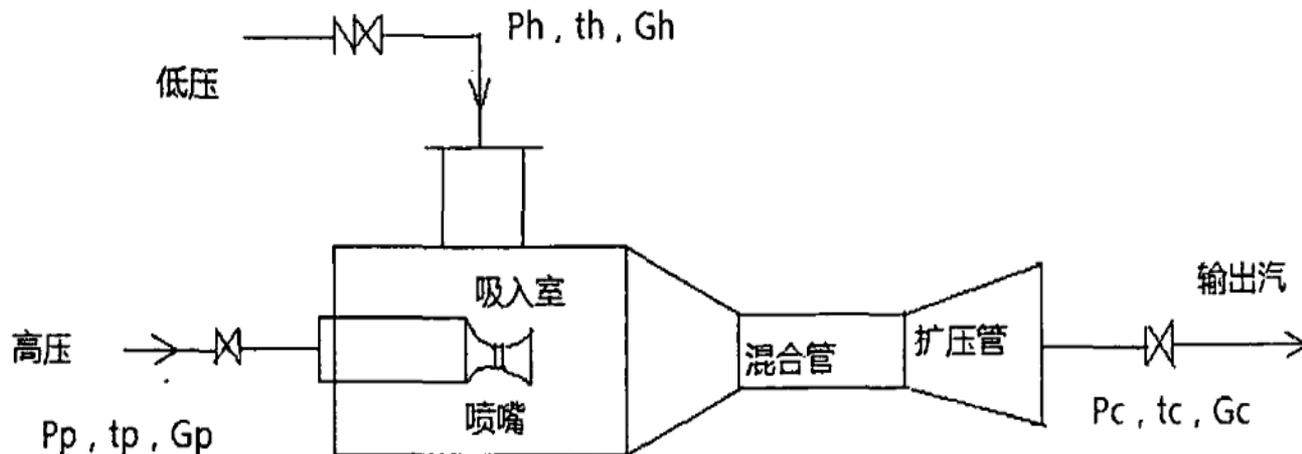
非可调抽汽的最大优点是结构简单方便，弊端是随着机组负荷的变化、抽汽量变化时，抽汽口的压力随之变动，抽汽压力变幅很大，非可调抽汽的应用局限性较大。

可调抽汽可以使机组在一定负荷下，抽汽量大幅度变化时，抽汽口的压力波动极小。在高、中压缸之间抽汽时，通常把中压调门作为调节阀，以此实现供汽压力稳定。

为满足在深度调峰30%额定负荷工况下，工业抽汽1.5MPa，370℃，100t/h供汽参数的要求，汽轮机侧可供选择的抽汽位置有热再热蒸汽和主蒸汽。由于热再热蒸汽和主蒸汽参数较高，如减温减压后供工业用汽，经济性较差，本报告不推荐汽轮机侧抽汽方案。

## 五、供热方案

### 3、压力匹配器方案-方案五



压力匹配器也称蒸汽喷射压缩器，是将高于供汽压力和低于供汽压力的两种蒸汽混合，满足供汽压力要求。该设备使高压蒸汽降压，低压蒸汽升压，因而称为压力匹配器。高压蒸汽通过喷嘴高速喷射，引射汽轮机低压抽汽或排汽使之升压，满足热用户对蒸汽的参数要求。配置方式分为进汽压力匹配、背压排汽压力匹配、抽汽压力匹配等。

## 五、供热方案

### 3、压力匹配器方案-方案五

根据计算，为满足供汽参数要求，主要的蒸汽匹配方案如下：

- 在75%额定负荷以上，蒸汽匹配方案可选择低再出口和四抽蒸汽，引射系数在0.3左右；
- 在50%额定负荷左右时，蒸汽匹配方案可选择低再出口和三抽蒸汽，引射系数在0.16左右；
- 当机组负荷低于50%THA时，由于低再压力已接近1.5MPa，压力匹配器基本无法引射蒸汽。

综合分析，汽轮机各段抽汽无法提供压力匹配器所需稳定的高压汽源和低压汽源；在低负荷下，压力匹配器引射系数和效率较低，因此本工程不推荐压力匹配器方案。此外，由于压力匹配器动力喷嘴流速高、磨损快，长时间使用后喷嘴磨损，无法达到抽吸效果，噪音大，现场工作环境恶劣等因素，也限制了压力匹配器的使用。

## 五、供热方案

### 4、（抽）背压小汽轮机方案-方案六

**背压式汽轮机：**该方案排汽压力高，通流部分的级数少，结构简单，不需要庞大的凝汽器和冷却水系统。排汽用于供热时，能量得到充分利用。背压机的功率与供热需要的蒸汽量相关，不能同时满足热负荷和电（或动力）负荷变动的需要。

**驱动泵和通风机等机械的背压式汽轮机：**需要用其他汽源调整 and 平衡热负荷。而发电用背压式汽轮机装有调压器，需根据背压变化控制进汽量，使进汽量适应生产流程中热负荷的需要，并使排汽压力控制在规定的范围内。

**抽背式汽轮机：**从汽轮机的中间级抽取部分蒸汽，供需要较高压力等级的热用户，排汽可进入机组回热系统，设计工况下的经济性较好，但是对负荷变化的适应性较差。

## 五、供热方案

### 4、（抽）背压小汽轮机方案-方案六

针对电厂超临界机组进行（抽）背压式小汽轮机供热改造的思路是：将一路主蒸汽减温减压后（蒸汽参数10.0MPa，513℃）进入小汽轮机，额定排汽参数为1.5MPa，300℃，额定进汽流量为100t/h，最大进汽流量为120t/h，发电机功率可达10MW，背压机发电进入高压厂变母线，为满足供汽温度要求，排汽需与高温蒸汽混合后供工业用汽。

对三种小汽轮机方案进行分析后，由于（抽）背压机的排汽温度较低，其排汽还需与较高温度的蒸汽混合后才能供工业用汽，极大增加了系统的复杂性和项目投资，运行灵活性也大大降低。此外，为满足稳定的供热蒸汽要求，（抽）背压机运行方式只能采用以热定电的方式运行，也限制了（抽）背压机的运用。结合电厂实际供汽情况，不推荐采用（抽）背压机供汽方案。

## 五、供热方案

### 5、方案比较

方案参数	方案一	方案二	方案三	方案四	方案五	方案六
供热需求	满足	满足	满足	不满足	不满足	不满足
经济性	较差	好	好	-	-	-
应用业绩	有	有	无	-	-	-
投资	高	低	高	-	-	-
供热系统可靠性	系统简单	系统简单	系统复杂	-	-	-
方案可行性	不推荐	推荐	推荐	-	-	-

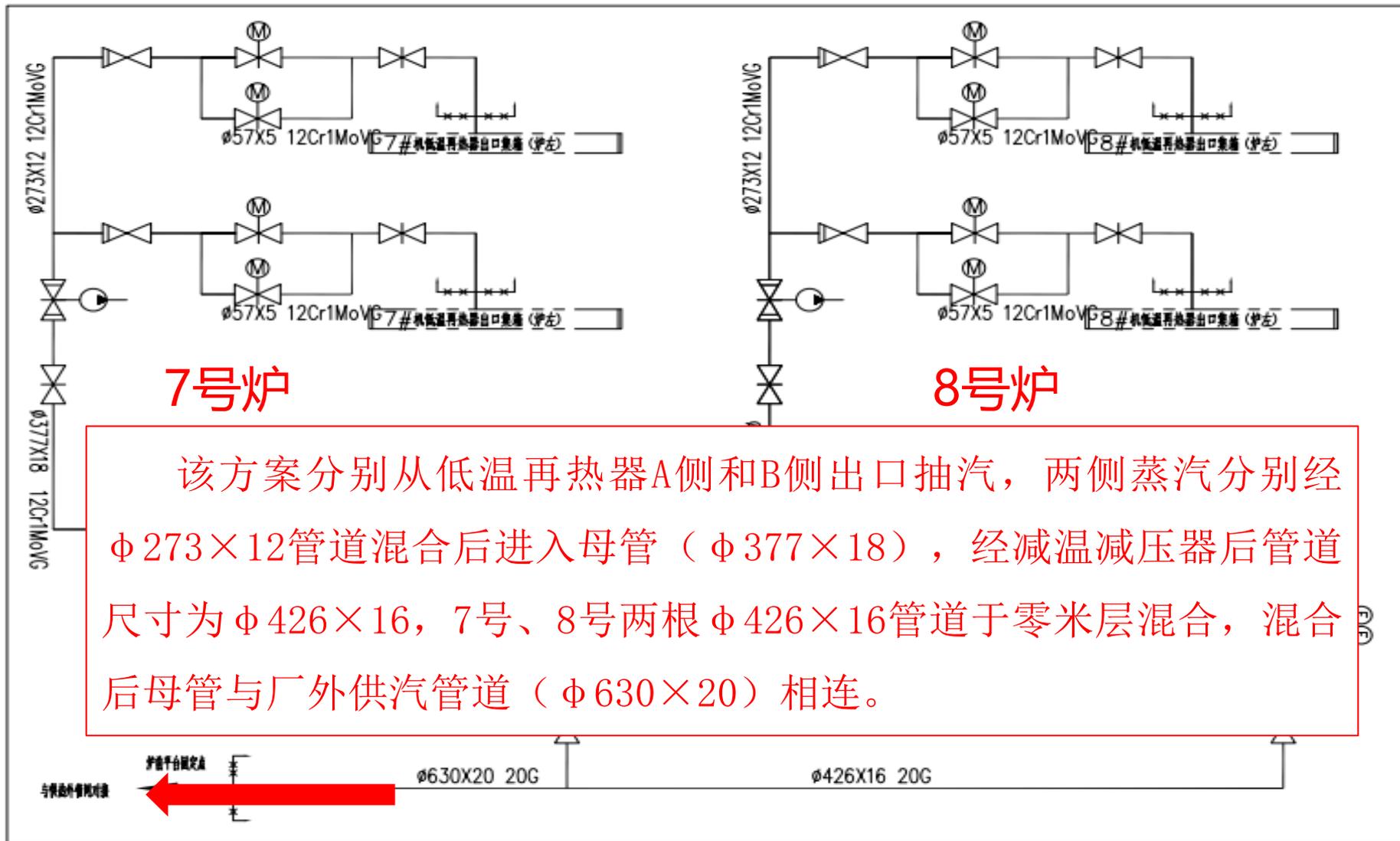
为满足供热情况要求，本工程认为方案二和方案三都可作为备选，但由于方案二相对于方案三，系统更加简单，操作更加灵活，对锅炉运行影响也比方案三小，应用业绩较多，因此本工程推荐方案二。

# 目 录

- 一. 改造背景及必要性
- 二. 研究及编制依据
- 三. 研究范围
- 四. 热负荷分析
- 五. 供热方案
- 六. 工程设想
- 七. 投资及效益分析
- 八. 结论和建议

# 六、工程设想

## 1、系统规划



## 六、工程设想

### 2、减温减压装置和减温水

减温减压装置采用减温减压分体式产品，分为减压系统、减温系统、安全保护系统等。减压系统由减压阀、网罩及节流孔板组成。

机组的汽轮机驱动主给水泵为5级泵，在2级后有一中间抽头，抽头处水作为减温器减温水，以此调整再热汽温，本工程减温水亦取自给水泵中间抽头。减温水管道按照10t/h流量选择，减水管径为 $\phi 42 \times 5$ 。

### 3、保温设计

本工程保温层结构，厚度的选择按《火力发电厂保温油漆设计规程》。其保温材料采用硅酸铝保温制品。

## 六、工程设想

### 4、补水系统

机组实施供热改造后每小时最大补水量达120t/h左右，直接补水至凝汽器热井会导致凝结水溶氧超标。本工程采用凝汽器喉部喷淋雾化装置进行补水，其补水效果好，能降低排气温度、提高机组真空，降低凝结水溶氧，是一项节能环保的化水补水装置。

喷淋补水装置在凝汽器喉部增设一套雾化式喷头，通过接触式传热，吸收部分蒸汽凝结热，从而减轻了表面式凝汽器的热负荷，提高了真空。该装置改装简单，运行无需维护，投资少，经济效益显著。

### 5、化学制水系统

供汽改造后，增加补充水120t/h，由附近电厂化学制水供该电厂，化学制水系统不需扩容。

## 六、工程设想

### 6、供热可靠性分析

根据核算，在机组负荷大于30%额定负荷时，低再出口抽汽可满足供热需求100t/h的蒸汽量要求，当负荷进一步降低时，由于抽汽压力降低，无法满足供热参数1.5MPa要求，可由中压调门参与调节高压缸排汽压力，以满足1.5MPa，370℃供汽参数要求。

单台机组低再抽汽经减温减压后即可满足100t/h，最大120t/h供汽流量要求，但为保证供热安全性，建议电厂同时对两台机组进行改造，正常工况下由8号机供汽，7号机作为备用，8号机跳机时，7号机为供汽机组。如远期供热蒸汽大于120t/h时，可由7号、8号机同时供汽。因此，本工程系统、投资等按照两台机进行布置，收益仍按照100t/h供汽量考虑。

# 目 录

- 一. 改造背景及必要性
- 二. 研究及编制依据
- 三. 研究范围
- 四. 热负荷分析
- 五. 供热方案
- 六. 工程设想
- 七. 投资及效益分析
- 八. 结论和建议

# 七、投资及效益分析

## 投资概算

序号	工程或费用名称	建筑工程费	安装工程费	设备购置费	其他费用	合计	各项占静态投资/%	单位投资/元/kW
一	主辅生产工程	264.9357	959.2444	1262.3625		2486.5425	83.37	82884.75
(一)	热力系统	264.9357	681.4090	1095.4500		2041.7947	68.46	68059.82
二	与厂址有关的单项工程							
	小计	264.9357	959.2444	1262.3625		2486.5425	83.37	82884.75
三	编制基准期价差				8.4551	8.4551	0.28	281.84
四	其他费用				408.9147	408.9147	13.71	13630.49
(二)	项目建设管理费				74.3411	74.3411	2.49	2478.04
(三)	项目建设技术服务费				307.0295	307.0295	10.29	10234.32
(五)	生产准备费				27.5441	27.5441	0.92	918.14
五	基本预备费				87.1174	87.1174	2.92	2903.91
六	特殊项目费用							
	工程静态投资	264.9357	959.2444	1262.3625	496.0320	2982.5746	100.00	99419.15
	各项占静态投资%	8.8800	32.1600	42.3200	16.64	100.0		
	各项占静态单位投资/元/KW	8831.1900	31974.8100	42078.7500	16534.4	99419.15		
七	动态费用							
	项目建设总费用(动态投资)	264.9357	959.2444	1262.3625	496.0320	2982.5746		99419.15
	其中:生产期可抵扣的增值税							
	各项占动态投资%	8.8800	32.1600	42.3200	16.6400	100.0000		
	各项占动态投资投资/元/KW	8831.1900	31974.8100	42078.7500	16534.4	99419.1500	<b>项目静态总投资</b>	
	项目计划总资金	264.9357	959.2444	1262.3625	496.0320	<b>2982.5746</b>		99419.15

# 七、投资及效益分析

## 1、投资概算

1) 定额指标：土建采用《电力建设工程预算定额(2013年版) 建筑工程》；安装采用《电力建设工程预算定额(2013年版) 热力设备安装工程》；《电力建设工程概算定额（2013年版）电气设备安装工程》。

2) 以上概算为#7、#8两台机组改造费用，主要包括建筑工程费、安装工程费、设备购置费，包括热控控制柜和锅炉钢架设备的核算费用，且部分设备采用无进口设备等；

3) 资金来源。本工程资金来源全部按内资考虑，上级单位拨款，企业自筹；

4) 本工程投资估算为两台机组改造费用，其中设备购置费总额1262.4万元，建筑工程费264.9万元，安装工程费959.2万元，其他费用496.0万元，工程静态总投资2982.6万元；

# 七、投资及效益分析

## 2、经济效益与财务评价

名称	单位	单台机组
机组额定发电功率	MW	630
年发电小时数	h	5500
厂用电率	%	4.5
全年发电量	万kWh	346500
全年上网电量	万kWh	330908
全年综合厂用电量	万kWh	15593
全年发电煤耗	g/kW.h	283.0
全年供电煤耗	g/kW.h	296.3
汽价（含税）	元/t	125
生产用汽量	t/h	100
年供热小时数	h	4000
供热后发电煤耗	g/kW.h	271.7
供热后供电煤耗	g/kW.h	284.5
热量销售总额（税前）	万元	5000
利润	万元/年	648.2
投资回收期	年	4.62
内部收益率	%	21.23

## 七、投资及效益分析

### 2、经济效益与财务评价

1) 供汽价格按125元/吨计算，年销售税金及附加按国家规定计取，经计算，供热改造工程项目静态总投资为2982.6万元，年利润为648.2万元/年，投资回收期为4.62年，内部收益率为21.23%。

2) 供热改造后年供电煤耗降低约11.8g/kW.h。

3) 从经济财务指标上可以看出，本项目经济效益明显，可在短期内收回全部投资。

### 3、社会效益分析

从环保方面考虑，供热改造后，提高机组热经济性，可减少CO<sub>2</sub>排放量约12.2万t/a；可减少NO<sub>x</sub>排放约333.6t/a；可减少SO<sub>x</sub>排放约904.5t/a；可减少烟尘排放约254.2t/a，环境效益明显。

# 目 录

- 一. 改造背景及必要性
- 二. 研究及编制依据
- 三. 研究范围
- 四. 热负荷分析
- 五. 供热方案
- 六. 工程设想
- 七. 投资及效益分析
- 八. 结论和建议

## 八、结论和建议

1) 经比较锅炉侧抽汽方案、汽轮机侧抽汽方案、压力匹配器与小汽轮机供热方案，锅炉侧低温再热器出口抽汽方案投资低，经济性较好，运行灵活性好，推荐实施此方案进行供热改造；

2) 采用低温再热器出口供汽方案，经减温减压后，蒸汽参数和抽汽流量能够满足工业供汽要求；

3) 当满足工业供汽100t/h时，需低温再热器抽汽94.2t/h，减温水5.8t/h；

4) 工业供汽100t/h工况下，需对凝汽器补水系统进行改造，以满足100t/h补水流量要求，建议采用凝汽器雾化补水技术；

5) 按照两台机组进行投资计算时，静态投资2982.6万元，预计回收年限为4.62年，内部收益率为21.23%，经济效率明显；

## 八、结论和建议

6) 从环保方面考虑，供热改造后，提高机组热经济性，可减少CO<sub>2</sub>排放量约12.2万t/a；可减少NO<sub>x</sub>排放约333.6t/a；可减少SO<sub>x</sub>排放约904.5t/a；可减少烟尘排放约254.2t/a；

7) 建议工程设计时请汽轮机制造厂进行高中压缸推力平衡和高压缸末级叶片安全性核算，以保证汽轮机在安全运行状态下稳定供热；

8) 综上所述，建议对该项目进行改造。



上海发电设备成套设计研究院有限责任公司  
SHANGHAI POWER EQUIPMENT RESEARCH INSTITUTE CO.,LTD

谢谢!  
THANK YOU !

[www.speri.com.cn](http://www.speri.com.cn)