



汇闵



上海交通大学
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

燃煤电站锅炉烟气余热回收节能项目方案

• 节能 Energy Conservation • 减排 Emission Reduction



上海汇闵能源科技有限公司

www.huimin-energy.com

燃煤电站锅炉暖风器项目方案

一、项目概况

燃煤电站锅炉冷空气直接进入锅炉尾部的空气预热器，在环境温度较低的情况下，往往会造成空气预热器低温腐蚀，在我国北方部分地区冬季气温往往低至 $-20^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ ，因此这种现象在北方电厂尤为明显。为了解决这个问题，可以在一、二次风机与空预器之间的风道上增加暖风器，利用汽轮机的低压抽汽预热空预器前一、二次进风，提高空预器进口空气温度，使空预器壁面温度升高，以避免空预器出现低温腐蚀的情况，同时提高空预器出口空气温度。在避免低温腐蚀问题的同时，回收利用的低压蒸汽部分热量被一、二次风重新送入锅炉炉膛内，这部分热量再传递给高压蒸汽，可减少燃煤的消耗，因此还会起到节能降耗的作用。

二、技术优势

01

预防低温腐蚀
的优化设计

02

换热器阻力优化
设计，不影响炉
膛负压运行

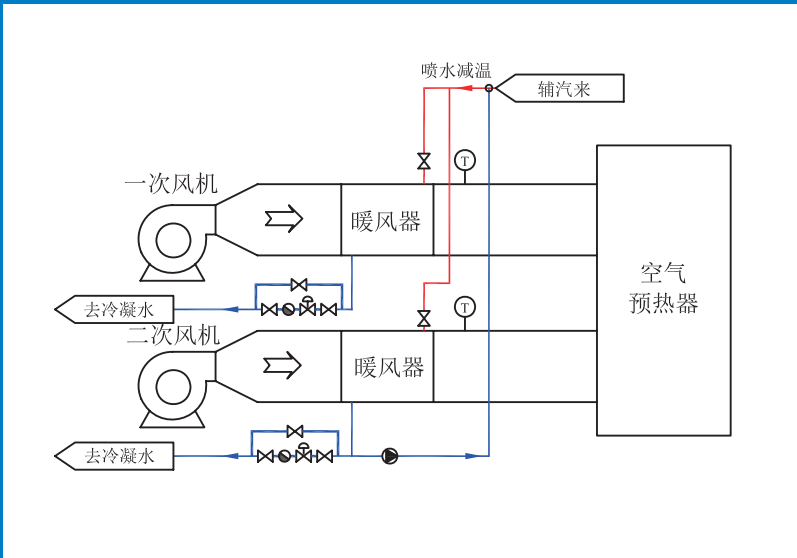
03

定制化方案，现
场测量数据，优
化配置系统

04

节能率高，投资
回收期短，一般
1~2年回收成本

三、系统流程示意图



设计说明：

- （1）暖风器采用的汽轮机低压抽汽，如果有较大的过热度，设计时考虑到换热能力的差异，建议可将抽汽喷水减温至微过热状态；
- （2）为适应锅炉负荷、环境温度变化等各种工况，控制系统采用无人值守的自动调节系统；
- （3）为提高热能利用率，增加余热回收功率调节装置，装置采用疏水侧流量调节方式，以控制蒸汽进汽量；
- （4）暖风器的疏水进入电厂凝结水系统。

图1 燃煤电站锅炉暖风器流程示意图

四、节能效益计算

根据某电厂1台1000MW机组的电站锅炉参数对暖风器进行了热力计算，按冬季进风温度-20℃，对比BMCR，75%BMCR，50%BMCR和30%BMCR负荷下节能量的计算结果如下：

表1 节能效益计算结果

序号	名称	单位	BMCR	75%BMCR	50%BMCR	30%BMCR
1	进入炉膛空气量	kg/s	861.60	773.80	628.10	402.00
2	耗煤量	kg/s	101.03	80.44	56.33	34.50
3	烟气量	kg/s	1023.23	897.74	713.53	453.5
4	烟气比热	kJ/(kg℃)	1.11	1.11	1.11	1.11
5	空气比热	kJ/(kg℃)	1.005	1.005	1.005	1.005
6	冬天进风温度	℃	-20	-20	-20	-20
7	暖风器出口温度	℃	25	25	25	25
8	需吸收热量	kW	38965.86	34995.105	28405.8225	18180.45
9	散热量	%	5	5	5	5
10	煤粉发热量	kJ/kg	23470	23470	23470	23470
11	节约燃煤量	kg/s	1.66	1.49	1.21	0.77
12	0.7MPa300℃蒸汽焓	kJ/kg	3056.92	3056.92	3056.92	3056.92
13	0.7MPa 饱和水焓	kJ/kg	721.02	721.02	721.02	721.02
14	0.7MPa 蒸汽耗用量	t/h	60.05	53.93	43.78	28.02
15	汽轮机低压缸排汽焓	kJ/kg	2566.67	2566.67	2566.67	2566.67
16	抽气发电量	kWh	8014.54	7197.83	5842.54	3739.37
17	发电效率	%	42%	42%	42%	42%
18	多耗燃煤量	kg/s	0.81	0.73	0.59	0.38
19	总节约燃煤量	kg/s	0.85	0.76	0.62	0.40
20	煤价	元 /t	500	500	500	500
21	每小时节约燃料费	元	423.60	380.43	308.80	197.64
22	年运行小时数	h	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00
23	年节约燃料费	万元	84.72	76.09	61.76	39.53
24	年节约标煤	t	4884.81	4387.03	3560.99	2279.13

五、方案主要设备及流程

根据换热流体的特点和制造、安装的便捷，该空气－蒸汽换热器比较优化的型式是采用高效换热元件——翅片管。空气在管外冲刷受热面，管内蒸汽冷凝换热，为满足最大负荷需要，按照锅炉额定出力计算（低负荷时更加可以满足要求），设计参数如下：

表2 暖风器设计参数表

换热器类型	风道式气-汽换热器
换热管材料	20g（GB3087）
设计压力	1.6MPa
设计温度	380℃
出水温度	<160℃
水流量	60 t/h
进口风温	-20℃
出口风温	25℃
空气流动阻力	<400 Pa
换热器受热元件型式	翅片管
冷凝水处理	疏水阀
换热器尺寸	按现场需求设计

从系统设计出发，需考虑以下几点：

- （1）更换换热器后空气侧阻力会小幅增加，设计中，气体流速控制在8m/s左右，确保阻力在400Pa之内；
- （2）系统温度调节为全自动无人值守控制。

六、风险分析

针对以上的方案，对新增系统带来的风险进行分析：

- （1）系统安全性：新增系统汽源来自蒸汽母管，不会发生超压危险，保证系统安全运行；
- （2）空气阻力的增加：系统中增加换热器势必会增加送风管道的阻力，但是由于换热器压阻小于400Pa，送风机压头满足要求；
- （3）暖风器泄露：水平安装时设备配有疏水口及水封；竖直安装时，在设备下部管道最低处安装疏水口及水封；
- （4）暖风器腐蚀：管外空气被加热，不会产生冷凝水，不会发生腐蚀现象；
- （5）积灰：暖风器管外为洁净空气，不会发生积灰现象。

低温省煤器-暖风器余热回收系统项目方案

一、项目概况

排烟热损失是电站锅炉各项热损失中最大的一项，一般在5%~8%，占锅炉总热损失的80%或更高。影响排烟热损失的主要因素是锅炉排烟温度，一般情况下，排烟温度每升高15℃，锅炉热损失约增加1.0%。我国现役火电机组中锅炉排烟温度一般在120℃~160℃左右，实际排烟温度高于设计值是普遍存在的现象。降低锅炉排烟温度，减小锅炉排烟损失是提高发电效率的重要途径，依靠传统的空气预热器无法将锅炉烟气温度有较大幅度的下降，需要耗去大量的冷却水。低温省煤器-暖风器余热回收系统，满足大幅度降低排烟温度的需要，同时为空气预热器前的暖风器提供循环热量，明显提高电厂的热经济性，并可部分替代GGH设备，回收的热能直接为发电工质利用，符合国家节能减排的要求。

公司与上海交通大学共同研制开发了高效节能的低温省煤器-暖风器余热回收系统，在锅炉尾部烟道余热回收技术方面处于国内领先地位。低温省煤器可以最大程度地降低烟气温度，使烟气温度再降低30℃~50℃或更多。低温省煤器所吸收的热量可以用来加热凝结水，或通过暖风器加热一二次风提高助燃空气温度。电站锅炉采用低温省煤器，降低煤耗1.0g/kWh~4.0g/kWh，机组效率提高0.3%~1.2%。低温省煤器在充分回收利用排烟余热的同时，又使烟温达到最佳脱硫效率状态，大大减少脱硫塔为降低烟温而进行的喷水冷却水耗。正常情况下，电厂2~3年即可收回增加低温省煤器及其系统设备的投资，经济效益非常显著。

二、技术优势

01

预防低温腐蚀的优化设计

02

换热器阻力优化设计，不影响炉膛负压运行

03

定制化方案，现场测量数据，优化配置系统

04

旁路设计，不影响原工艺过程，安全可靠高

05

节能率高，投资回收期短，一般2~3年收回成本

三、余热回收系统技术特点

(1) 设备布置方案

低温省煤器的布置一般有几种选择：如果全部布置在空预器-电除尘之间，比较容易堵灰；如果全部布置在脱硫塔前，只加热冷凝水则调节性比较差；如果分两级布置，第一级在电除尘前，第二级在脱硫塔前，那么系统比较复杂。根据场地实际情况，推荐在脱硫塔前分2-3级布置，分别加热冷凝水和暖风器水，和某级低加并联，系统简单、不易堵灰且不存在低温省煤器故障停机风险。

(2) 余热回收系统图

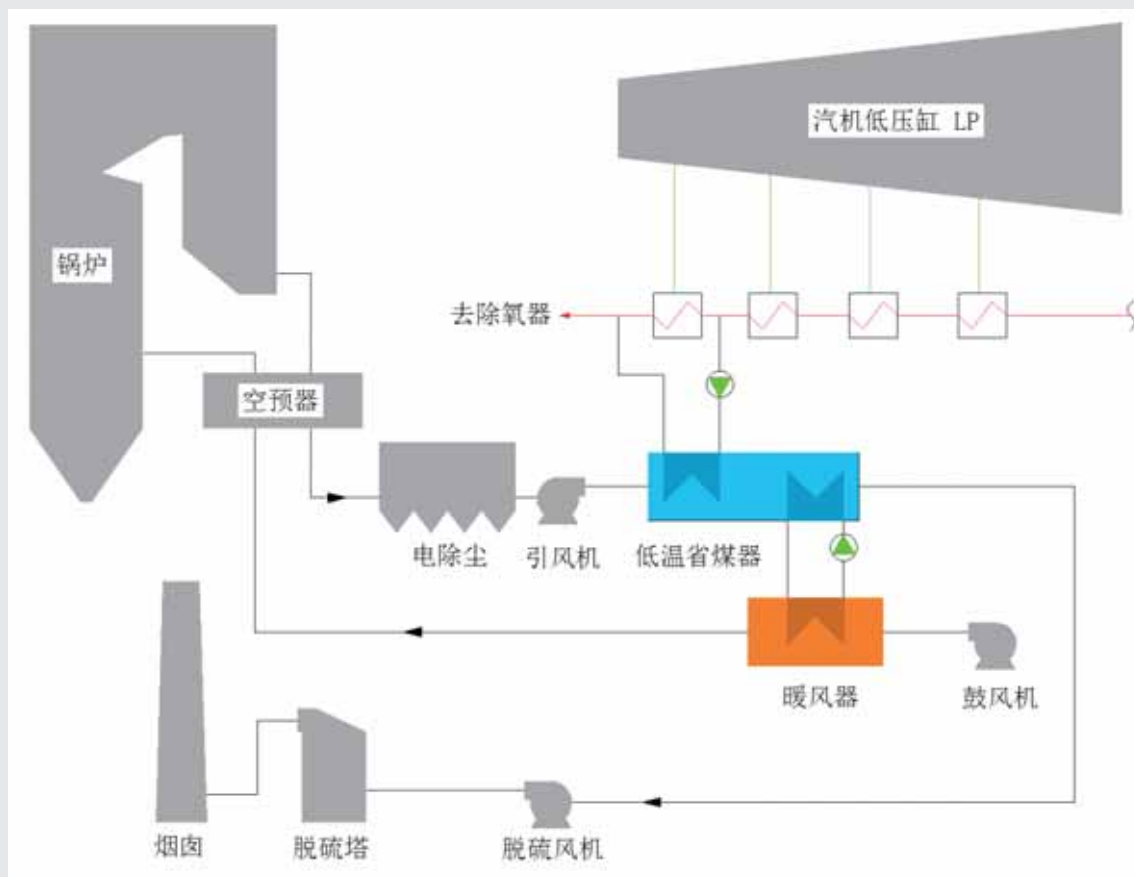


图2 燃煤电站锅炉低温省煤器-暖风器系统示意图

四、节能效益计算

01 收益部分

- 1) 回收余热，减少汽机抽汽量；
- 2) 替代暖风器热源，提高热经济性；
- 3) 减少脱硫系统水耗；
- 4) 如果取代GGH，可以降低运行耗功。

02 支出部分

- 1) 增加了冷凝水的输送功；
- 2) 增加了低温省煤器烟气阻力耗功；
- 3) 增加了暖风器内循环水输送功。

03 节能效益计算

根据某电厂1台600MW机组的电站锅炉参数进行了热力计算，对比THA输出功率100%THA、75%THA和50%THA不同负荷下节能量的计算结果如下：

表3 节能效益计算基本数据

序号	名称	单位	THA	75%THA	50%THA	备注
1	输出功率	MW	600	450	300	
2	通过烟气量	kg/s	595.25	484.36	368.64	
3	烟气进出口温度	℃	148.0/80	138.2 /80	131.2/80	
4	通过水量	kg/s	150.4	99.5	70.2	汽机热平衡图来
5	水进出口温度	℃	97/137	88/128	80/116	
6	烟气阻力	kPa	1	1	1	保证值
7	水流动阻力	MPa	0.2	0.2	0.2	保证值
8	标煤低位发热量	kcal/kg	7000	7000	7000	
9	标准煤煤价	元 / 吨	600	600	600	
10	输送冷凝水管路散热率	%	5	5	5	
11	暖风器管路增加散热率	%	5	5	5	
12	年发电时间	小时	8000	8000	8000	
13	电厂效率	%	42%	42%	42%	
14	锅炉效率	%	94%	94%	94%	

表4 节能效益计算结果

序号	名称	单位	THA	75%THA	50%THA	备注
1	凝结水吸热量	kW	25152.71	16643.05	10562.94	
2	暖风器置换热源节约热量	kW	1951.36	1281.18	835.35	
3	烟气阻力耗功	kW	1170	473	112	
4	每年节约煤量（标准煤）	万吨 / 年	1.3	0.91	0.56	标准煤
5	节约供电煤耗	g/kWh	2.8	2.5	2.3	标准煤
6	年节约燃料费用	万元 / 年	800	539	338	
7	投资总费用	万元	1600	1600	1600	估算值
8	最长投资回收年限	年	2.0	3.0	4.7	

五、方案主要设备设计参数

(1) 关键参数范围

序 号	名 称	单 位	取值范围	备 注
1	烟气入口温度	℃	100-180	
2	烟气出口温度	℃	80-100	因煤种而异
3	水入口温度	℃	45-100	
4	水出口温度	℃	60-140	
5	烟气阻力	kPa	<1.0	(设计值 <0.8)
6	水流动阻力	MPa	<0.25	换热器部分
7	暖风器工质阻力	MPa	<0.25	

(2) 换热元件材料

排烟温度	材料选择
露点上方 10℃以上	20g
露点 ± 10℃	09CrCuSb (ND 钢管 +Corten 翅片)

(3) 吹灰方式

蒸汽吹灰器 (伸缩 – 旋转式)

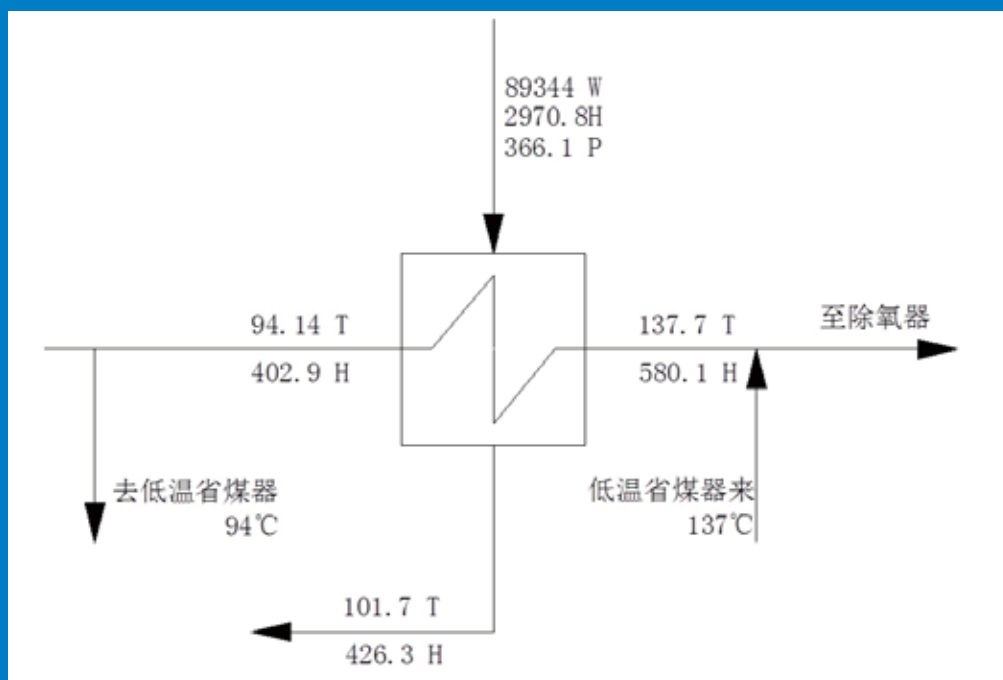
(4) 控制方式

纯低温省煤器模式：采用和相近温度的低加并联，控制换热器出口的排烟温度，手段是控制进入换热器的水量；

同时投用暖风器模式：低温省煤器的第1,2级供加热冷凝水，第3级供加热暖风器内水；如设计需要暖风器出力较大时，可以用第1级加热凝结水，2,3级作为暖风器热源，控制方式为切换第3级换热器的进出水阀，暖风器回路吸热量通过调节其循环泵的转速或管道阀门开度控制；依靠调节流入的凝结水量来控制最终排烟温度；

被并联的低加：通过控制进入低加的蒸汽进气门，加热未经过低温省煤器的剩余凝结水，以低加出口水温为控制参数。

六、汽机热平衡引入引出点



七、技术保障

针对以上的方案，采用以下技术保障以规避增加系统可能带来的风险：

- (1) 堵灰风险：布置在电除尘以后，灰来源少，没有粘度很强的物质（如石膏浆液）；布置采用顺列排放，吹灰通透性良好；一般不出现堵灰现象。
- (2) 腐蚀风险：末级换热器工作温度在露点上方工作，腐蚀危害较小。抗腐蚀对策：提高材料等级，采用较厚的管子，采用肋化比较高的管束，提高换热表面壁温及光管区域尽量不接触烟气。
- (3) 投资回收期很短，没有复杂的运行设备，设备运行维护工作量主要是监测腐蚀严重的管子。

八、对脱硫系统的影响

减少入口喷水；降低脱硫塔入口烟气流速，有利于提高脱硫效率；可以避免脱硫塔内防腐内衬过热，利于提高除雾效率；可以缩小新建脱硫塔的直径。

九、总结

- (1) 低温省煤器可以产生巨大的经济效益，是完全符合当前发展绿色煤电产业政策的产品，具有良好的市场前景；
- (2) 低温腐蚀问题通过采用适当的设计对策是完全能够解决的，性能计算手段成熟；
- (3) 投资回收期很短，没有复杂的运行设备，设备运行维护工作量主要是更换部分被严重腐蚀的管子。

公司简介

上海汇闵能源科技有限公司是一家专注于节能减排领域的专业能源服务、技术研发与应用的科技型企业，公司主要开展工业余热回收利用（燃煤/燃油/燃气/蒸汽）等综合节能减排技术方面的研发与技术推广应用相关业务。公司与上海交通大学紧密合作，依托上海交通大学在工业锅炉和电站锅炉等领域的长期研究积累为公司提供强有力的研发支持和技术保障。公司定位立足于能源服务领域，以工业用能单位为客户，承接各类余热锅炉、省煤器、暖风机、烘箱余热回收、纸机湿空气余热回收、闪蒸汽回收等非标节能工程的设计与安装，为工业用户提供技术咨询、能效评估、方案设计和系统改造等一站式的交钥匙节能服务，降低企业生产单位能耗，实现节能减排和工业用能系统的优化改进。

余热资源回收利用

余热资源是指在生产过程中由各种热能转换设备、用能设备和化学反应设备中产生而未被利用的热能，包括锅炉排烟余热、烘箱排烟余热、纸机湿空气排烟余热、供热机组低压抽汽及排汽余热、冷却介质余热、废汽废水余热、闪蒸汽余热等。各行业的余热总资源约占其燃料消耗总量的17%~67%，可回收利用的余热资源约为总资源的60%。政府把“余热余压”利用工程列为“十大重点节能工程”之一，节能减排已成为整个社会的共同责任。

应用领域

纺织、钢铁、建材、造纸、汽车、能源
食品、化工、制药、生物、印刷、涂层
工业园区、医院、星级酒店等



技术优势

- * 节能率高（排烟每降低15℃ 锅炉效率提高1%）
- * 燃气/燃油锅炉排烟降至60℃以内
- * 燃煤锅炉排烟降至100℃以内
- * 智能循环吹灰系统
- * 防低温腐蚀优化设计
- * 换热器阻力优化设计，不影响烟气排放背压
- * 定制化方案，现场测量数据，优化配置系统
- * 旁路设计，不影响原工艺过程，安全可靠性强
- * 投资回收期短，一般1~2年收回成本

产品分类

余热锅炉/省煤器/空预器

对于排烟温度高于250℃的余热资源可以用于产生饱和蒸汽。采用泛热管换热器技术设计的余热锅炉配备省煤器，排烟温度可以从300℃-350℃降低至100℃，产生1.0MPa饱和蒸汽。同时系统设计根据烟气结露的特点对管壁温度进行控制，使管壁温度高于露点温度，从而可以有效抑制低温腐蚀的发生，在确保设备安全的前提下最大限度地回收烟气余热。



燃煤/燃油/燃气锅炉深度余热回收系统

蒸汽锅炉排烟温度一般小于250℃，烟气余热可以用于加热软水、助燃空气或其它工艺用冷源。锅炉烟气余热回收系统将排烟热量通过强化传热换热器加以回收，同时保证原排烟系统正常运行。系统投入运行后可以将锅炉排烟温度从150℃-250℃降至100℃以下（其中燃气锅炉可降至60℃以下），一般锅炉效率可以提高4%以上，节约燃料率约5%。



烘箱、涂布机、窑炉余热回收系统

在建材制造、食品加工、纺织、包装等行业，生产工艺中需要广泛应用各种烘箱、涂布机、窑炉设备对产品进行加热、烘干。在满足生产及工艺需求后，大量的热烟气往往没有合理利用直接排放，存在巨大的浪费。根据生产工艺特点，高温烟气可以通过余热回收系统用于加热软水、预热空气或其它工艺用冷源，有效降低燃料消耗。



纸机湿空气余热回收系统

在造纸行业，生产工艺中需要应用蒸汽和高温烟气将原料纸浆烘干后制成成品纸，烘干后的高温烟气含大量水分，湿度较高。在满足生产及工艺需求后，大量的热烟气往往没有合理利用直接排放，存在巨大的浪费。根据生产工艺特点，高温烟气可以通过余热回收系统产生蒸汽同时加热助燃空气，有效降低燃料费用消耗，蒸汽系统节能率可达20%。

闪蒸汽回收

蒸汽作为工作流体和热传导的介质被广泛应用于各种工业生产及工艺过程，但在满足生产及工艺的需求后，存在部分闪蒸汽被直接排放的浪费现象。针对闪蒸汽回收利用开发了闪蒸汽回收换热器系列产品，闪蒸汽回收换热器利用闪蒸蒸汽的热量预热补水或工艺水，回收可用能量并减少排汽。标准产品为全不锈钢结构，实现对闪蒸汽的回收利用，提高能量利用效率，减少水蒸汽“白龙”。

部分用户 案例

江苏常熟浦发电能源有限公司垃圾焚烧蒸汽锅炉余热回收项目

江苏常熟浦发电能源有限公司有2台23.8t/h燃垃圾蒸汽锅炉，配1台12MW汽轮发电机组，每天处理垃圾900吨。锅炉排烟温度设计值为200℃，由于受热面粘污，运行温度经常达到270℃左右。现通过加装换热器将烟气温度降低，同时将一次风加热。方案根据系统特点，使用排烟余热加热130℃的循环水，再送至一次风道加热一次风，降低了排烟温度，增加一次风温度，减小了暖风器用汽量，不增加燃料消耗的情况下增加了发电量。每台锅炉节约的蒸汽年多发电87万kWh（按6000小时计），2台多发电174万kWh，项目投资回收期不到1年。

上海焦化有限公司130t/h燃煤锅炉暖风器余热回收项目

上海焦化有限公司锅炉房配有3台130t/h燃煤循环流化床锅炉，为确保空预器不发生低温腐蚀，同时尽可能多回收利用0.5MPa富余的饱和蒸汽（放空部分），设计了蒸汽暖风器系统。为适应锅炉负荷、环境温度发生变化等各种情况，系统设计有自动调节功能，可将排烟温度始终控制在155℃。空预器出口空气温度大于120℃，为提高热能利用率，增加余热回收装置的调节范围，装置采用疏水侧调节方式，项目投资回收期不到1年。

江苏淮安元明粉有限公司75t/h燃煤锅炉低温省煤器余热回收项目

江苏淮安元明粉有限公司配有1台75t/h燃煤蒸汽循环流化床锅炉，每小时燃煤约10吨，排烟温度约135℃，现加装换热器将烟气温度降低，同时将锅炉给水加热。方案根据系统特点，将135℃排烟余热加热软水箱的补给水，降低排烟温度，增加补给水温度，减小除氧器用汽量，达到节能的效果。增加低温省煤器后，锅炉年节约燃料1985吨，年节约燃料费约150万元，项目投资回收期不到1年。

地址：上海市剑川路955号我享我家大厦509室

邮编：200240

电话：021-60905103

邮箱：support@huimin-energy.com

网址：www.huimin-energy.com