

热电有限公司  
2x75T 锅炉增设余热回收器深度回收烟气余热

# 技 术 方 案

www.got-sun.com

泰安高熵热能科技有限公司

2014 年 7 月 15 日



# 目录

摘 要.....	
一. 工程背景.....	
二、设计方案分析.....	错误! 未定义书签。
2.1、工程特点.....	错误! 未定义书签。
2.2、基本设计思想.....	错误! 未定义书签。
2.3、方案分析.....	错误! 未定义书签。
三.设计方案介绍.....	错误! 未定义书签。
3.1、系统简介.....	错误! 未定义书签。
3.2、主要设计参数.....	错误! 未定义书签。
3.2.1 煤质数据.....	错误! 未定义书签。
3.2.2 热力计算数据汇总.....	错误! 未定义书签。
3.2.3 换热面基本结构尺寸.....	错误! 未定义书签。
3.3、若干设计说明.....	错误! 未定义书签。
3.3.1 防止磨损采取的技术措施.....	错误! 未定义书签。
3.3.2 防止低温腐蚀采取的技术措施.....	错误! 未定义书签。
3.3.3 防止积灰采取的技术措施.....	错误! 未定义书签。
3.3.4 对风机出力的影响.....	
四、经济性分析.....	
五、投资与效益.....	
六、本工程中采用余热回收器方案的独特优点.....	



七、结论.....

附图 1 余热回收器热系统示意图.....

附图 2 余热回收器布置示意图.....

www.got-sun.com



## 摘 要

锅炉空气预热器后排烟温度为 155℃，仍蕴含着巨大的余热资源。本方案提供了深度降低排烟温度以及上述余热利用的解决方法。经计算，增设余热回收器后排烟温度可以降低至 90℃左右，全年可节省可观数量标煤，并且对于锅炉的正常运行不产生任何负面影响。

www.got-sun.com



# 技术方案

## 一、工程背景

目前，国内一些电厂锅炉排烟温度偏高，造成锅炉运行效率降低，机组标准煤耗增加；此外，电厂若上脱硫系统，亦需要较大幅度降低排烟温度。从电厂技术改造角度，有多种方案可达到降低排烟温度的目的，在电厂的热系统中增设余热回收器即是其中之一，已有国内几十家电厂的上百台机组上安装了这种余热回收器的系统，目前电站锅炉深度降低排烟温度正成为一种趋势。

循环流化床锅炉采取炉外加装余热回收器，以期达到深度回收烟气余热、节省脱硫水耗、保护烟囱的目的，可将空气预热器出口温度 155℃，降低到 90℃左右。

## 二、设计方案分析

### 2.1 工程特点

(1) 本工程是作为降低排烟温度改造的工程而提出的。按照热力节能原理，降低排烟温度的重点必须放在炉内，这里回收烟气预热的节能量最大，只有炉内措施已无可能，才应该考虑炉外加装余热回收器、继续降低烟气温度。因此，本工程的特点是回收热量的能级较低、传热温差较小，以尽可能在不利的条件下取得最大的节能效果。

(2) 考虑到实际的排烟温度较低，本工程遇到防止低温腐蚀、减轻受热管磨损、降低烟道压降等一系列问题，必须慎重应对。

(3) 在技术经济比较的基础上，合理降低设计烟温的。如果过度降低烟气

温度，除风机压头裕量的限制之外，单位烟温降的节能量将迅速下降，投资回收期亦将大大延长。

## 2.2 基本设计思想

- (1) 可靠性原则。所有设计参数的选定必须首先考虑机组运行可靠。
- (2) 经济性原则。在运行可靠的前提下，尽可能增大换热温差，减少换热面的体积和重量，减少设备投资。
- (3) 优化原则。争取回收热量的能级最高，优化余热回收器取水、回水点的位置。
- (4) 安全原则。合理控制受热面金属壁温，避开烟气露点。这是保证受热面不泄漏的前提条件，所有方案必须首先满足这一条件。

## 2.3. 节能分析

国际上，50年代就开始对H型鳍片管余热回收器进行了研究，60年代工业性应用于电站锅炉上。英国某公司自1963年以来，已向世界各地的数百座电站锅炉（特别是大型电站锅炉）提供了H型（及双H型）鳍片管余热回收器产品。

在世界上总装机容量超过70000MW燃煤锅炉中安装了此种余热回收器，在MB、IHI、BHK等主要外国公司的锅炉上都在使用，国外有25年以上的运行经验，国内在大连/丹东/福州/岳阳350MW、常熟600MW超临界、开封125MW等机组上使用。

我国H型鳍片管余热回收器发展比较晚，真正使用大约有10年左右的时间，还不被多数电厂所熟悉。但H型鳍片管余热回收器以其优越的性能正在成为我国大力推行的产品。



### 三、设计方案介绍

#### 3.1. 系统简介

余热回收器安装于锅炉空气预热器出口至电除尘入口之间，余热回收器管内其进水取自热水循环泵，设计特定的进水方式与电调阀配合，可实现余热回收器进水的切换与调整，从而增加运行机动性（排烟温度可调、金属壁温可控）。

循环水经余热回收器入口集箱进入余热回收器，流经蛇形管排吸收烟气热量，由于实现了介质、烟气的逆向流动，一方面可大大提高余热回收器的传热系数，解决布置危机；另一方面，可使排烟温度的降低不受介质出口水温的限制，最大限度地降低排烟温度。

1、采用H型鳍片管作为换热元件，传热效率高，结构紧凑，积灰少，防磨性能好、整体钢性好强等特点，排除余热回收效果好。

2、烟气进口采用导流板，进烟均匀，有效减少磨损。

3、与烟气接触部件低温段采用耐硫酸腐蚀钢制造，进烟均匀，有效减小磨损。

4、高温段和低温段之间留有检修和维护间隙（一般800-900mm），为检修提供便利；

5、模块化设计方法，安装方便可靠，操作简单，效率高；上述结构与尺寸的组合，经长期设计实践及运行业绩表明，具有较高的总传热系数和防止磨损、堵灰及抵抗腐蚀的综合性能。同时，在烟气流阻限制较严格的情况下，可使烟气侧流阻控制在允许值之内。



### 3.2. 主要设计数据（以 75 吨锅炉设计为例）

#### 3.2.1 煤质数据

表 3-1 余热回收器设计煤质数据

煤质	单位	数值
收到基低位发热量 $Q_{net, ar}$	kcal/kg	5136.44
空干基挥发分	%	29.86
收到基水分	%	11.12
空干基硫	%	0.64
空干基灰分	%	21.87

注：煤质数据由电厂提供。

#### 3.2.2 热力计算数据汇总

表 3-2 热力计算数据汇总

项目	单位	数值	备注
锅炉型号		UG-75/5.3-M12	
进口烟温	℃	155	
出口烟温	℃	90	
低省传热功率	kW	2514	
进水温度	℃	65	
烟气流阻	pa	300	
给水侧流阻	MPa	0.0556	
漏风系数	—	0.005	

#### 3.2.3 换热面基本结构尺寸：

表 3-3 受热面主要结构数据

项目	单位	数值	备注
传热管形式	—	H 型翅片管/ND 钢	
烟道宽（外边）	m		
烟道高（外边）	m		
螺旋肋片管直径	mm		



壁厚	mm		
管排数	排		
管道规格	mm		

### 3.3.若干设计说明

#### 3.3.1 防止磨损采取的技术措施

余热回收器的磨损问题是国内外各电厂锅炉普遍存在的问题，也是本次改造要考虑的技术要点之一。

● 余热回收器磨损：磨损主要是灰粒对管子的冲击和切削作用，在管子周围与水平线成  $30^\circ$  部位磨损最厉害， $S1/d=S2/d=z$  时，此处磨损量为平均值的 3 倍；错列布置由于气流方向改变，第二排磨损最厉害， $S1/d=S2/d=z$  时第二排是第一排磨损量的 2 倍，以后各排磨损量比第一排一般高 30%–40%；顺列布置第一排与错列布置第一排相同，以后各排由于气流冲击不到管子磨损较轻。在其它条件相同情况下，顺列管束的最大磨损量比错列管束少 3–4 倍；管子磨损速度与烟气速度不均系数  $KV3.33$  成正比，与飞灰浓度不均系数  $Ku$  成正比。

● H 型鳍片管余热回收器采用顺列布置，H 型鳍片与管子垂直（不象螺旋鳍片管有一定的角度），把空间分成若干小的区域，对气流有均流作用，与采用错列布置的光管余热回收器、螺旋肋片余热回收器、纵向鳍片余热回收器相比，在其它条件相同情况下，磨损寿命高 3–4 倍。

● 在前排迎风面设计安装防磨设施，采用 sus304 防磨片。

#### 3.3.2 防止低温腐蚀采取的技术措施

本设计方案考虑到本厂燃煤的硫分，运行煤种平均达到 0.64%，收到基全水分达到 11.12%，设计过程中应慎重考虑受热面的结露腐蚀问



题。

(1) 本次设计的余热回收器的热力系统，采用了低加出水温度、流量可调的并联供水方式，设计进水温度为 60℃，管子壁温处于 64.5℃ 以上。这个范围，可保证绝大部分管排温度高于烟气露点，不会发生受热面的低温腐蚀。

(2) 为提高进口管排的最低壁温，将进水管排设计在烟气入口段材质均采用耐腐蚀的 ND 钢、避免产生低温腐蚀。

### 3.2.3 防止积灰采取的技术措施

关于防止受热面积灰，也是本设计重点考虑的因素。

● H 型鳍片具有良好不积灰的鳍片间距,积灰形成发生在管子背向面和迎风面。管子错列布置容易冲刷管子,背面积灰较少。

● H 型鳍片由于鳍片焊在管子不易积灰的两侧，而气流笔直地流动，气流方向不改变，鳍片不易积灰。

● H 型鳍片中间留有 4-15 mm 间隙，可引导气流吹扫管子鳍片积灰。

● 螺旋片由于肋片螺旋角引导气流改变方向，肋片管积灰比较严重，对于不形成松散性积灰的余热回收器，不能采用。现场运行实践表明：H 型鳍片管不积灰，而螺旋片鳍片积灰严重。

● 纵向鳍片管由于鳍片焊在积灰迎风面和背面，由于气流沿鳍片流动，气流到管子处改变方向形成漩涡。部分区域易形成积灰。

● H 型鳍片由于两边形成笔直通道，可取得最好的吹灰效果。

● 同时安装声波清灰器，PLC 自动控制吹灰频率。



### 3.3.4 对风机出力的影响

本次改造安装后，常态工况下新增烟气总流阻 320Pa。额定工况下最大流阻 350Pa, 但是由于进入增压风机烟气温度降低, 烟气体积流量减少, 可以抵消部分烟气阻力。烟气体积流量的减少也会在后面的脱硫装置内回收部分功率。目前机组在常态工况下运行尚有功率余量, 在额定工况下运行可再调用增压风机余量。因此增加受热面后不会影响引风机和锅炉的正常出力。

### 3.3.5 对脱硫系统的影响:

增设余热回收器系统后，进入脱硫塔烟气温度降低，余热回收器出口烟气温度仍高于脱硫绝热饱和温度（FHT），不会对脱硫效率有任何影响。

### 3.3.6 空间紧凑，更高幅度地降低排烟温度

H 型鳍片管余热回收器的扩展受热面可以根据需要进行灵活设计，在有效的锅炉空间可以设计更多的受热面，进而更大幅的降低排烟温度；或者在一定的排烟温降的前提下，将余热回收器设计更紧凑。

### 3.3.6 各种余热回收器对比如下表

性能	光管余热回收器	膜式余热回收器	纵向鳍片余热回收器	螺旋鳍片余热回收器	H 型鳍片余热回收器
优点	制作工艺简单, 成本稍低	耐磨性能较好, 烟气阻力小	耐磨性能较好, 但比膜式差, 烟气阻力小。	耐磨性能比光管的好, 但比其他三种形式的耐磨性能差。结构紧凑, 体积小。制造简单, 成本较低,	耐磨性能好, 积灰少, 体积小（和螺旋的相当）, 空气阻力小, 成本和膜式相当, 综合性能最好的新型余热回收器。



缺点	磨损严重，整体体积大，烟阻大。	制造工艺要求严格，焊接中改变了管材的原有成分，同时，焊缝容易形成咬边，都成为爆管的诱因。整体焊接容易形成焊接应力，运行中容易引起变形、开裂等问题。易形成些许积灰	制造工艺要求严格（但比膜式的宽松一些），焊接中改变了管材的原有成分，同时，焊缝容易形成咬边，都成为爆管的诱因。存在焊接应力但比膜式的小。易形成些许积灰	耐磨性能不好，容易形成积灰（由于螺旋鳍片的原因），烟气阻力大	要用专用的焊接设备生产。
----	-----------------	--	---	--------------------------------	--------------

#### 四、计算结果与经济性分析

实施本方案，可为热电厂带来如下经济、环境效益：

- (1) 利用了排烟余热，可以提高循环热效率，降低煤耗率；
- (2) 创造了锅炉脱硫系统长期连续安全运行的烟气温度条件；在节水的同时降低了净烟气中的含湿量,保护烟囱。
- (3) 节省燃煤的同时，减少了粉尘，CO<sub>2</sub>和SO<sub>2</sub>,NO<sub>x</sub>等污染物的排放，环保效益显著。

#### 五、投资与效益

##### 5.1 投资

本项目总投资需 万元，分项见表 5-1。

表 5-1 投资费用计算表

序号	设备、材料	规格、型号	数量	单位	单价, 万元/单位	总价, 万元	合计, 万元
1	余热回收器本体	Φ51H 型翅片 ND		吨			
2	进回水管	325x10, 20 钢		吨			
3	烟道	钢板、型钢		吨			
4	管道、烟道保温	硅酸铝/岩棉		立方			
5	钢架、横梁、基础	型钢、柱桩		吨			

6	电调阀	DN250, PN4.0		个			
7	调节阀	DN250, PN4.0		个			
8	测温仪表、DCS 电缆、卡件等	PT100, DJYPVP, 2*2*1.0		宗			
9	设计费	—		—			
10	拆除、安装费	—		—			
11	总价						
12							

## 六、本工程中采用余热回收器方案的独特优点

余热回收器及扩展表面强化换热技术用于锅炉尾部受热面改造是成熟技术，目前已成功应用于国内几十家电厂上百台锅炉的节能改造，在理论上也已发展到结构系统最优化的阶段。

余热回收器在继续回收烟气余热的同时，还具有以下独特的优点：

(1) 余热回收器的受热面给水跨过若干级低压加热器，实现了排烟余热的梯级利用。

(2) 可以实现排烟温度的大幅度降低。

(3) 对于锅炉燃烧和传热不会产生任何不利影响。由于余热回收器布置于锅炉的最后一级受热面（下级空预器）的后面，因此，它的传热行为对于锅炉的一切受热面的传热均不发生影响。因此不会降低入炉热风温度而影响锅炉燃烧。

(4) 具有良好的煤种和季节适应性。锅炉的余热回收器的出口烟气温度可以根据季节和煤质进行调节，以实现节约煤耗和防止低温腐蚀的综合要求。

(5) 具有较高的可靠性，余热回收器可以单独切除，即使发生故障锅炉仍可正常运行。



(6) 可以充分利用锅炉本体以外的场地空间，布置所需的受热面，并留有足够的检修空间，检修方便。

## 八、结论

- 1、采用增设余热回收器受热面方案是实现降低排烟温度的最佳方案；
- 2、的现场条件能满足余热回收器系统安装运行的要求，可以实施增设余热回收器系统；
- 3、在设计排烟温度下，改造后锅炉排烟温度降低至 90℃。

www.got-sun.com

