

# Analysis of the Comprehensive Treatment of Low-temperature Economizer in Thermal Power Unit

Lanjun Xie

National Energy Ningxia Shizuishan Power Generation Co., Ltd., Shizuishan, Ningxia, 753000, China

## Abstract

The exhaust temperature of coal-fired thermal power unit boiler is the main performance index of the boiler, the boiler thermal efficiency, tail flue low temperature corrosion, dust collector efficiency, and flue gas condensation will cause the tail shaft heating surface coke blocking ash, flue gas resistance and fan power consumption, etc., involves the economy and safety of boiler operation. Considering the energy saving and consumption reduction of equipment, reducing the exhaust temperature is the main path of energy saving and consumption reduction of coal-fired thermal power units. In recent years, in the transformation of boiler, more low temperature economizer and connected with the thermal system of low temperature economizer system, the use of boiler exhaust waste heat of condensate heating in thermal system, the transformation with energy saving effect and the characteristics of short period of investment, the commonly used technical solutions has pure low temperature economizer scheme, low temperature economizer and heater combined circulation, add air preheater bypass economizer, low temperature economizer and heater system scheme.

## Keywords

thermal power unit; boiler; low temperature economizer; warm air heater

# 火电机组低温省煤器综合治理浅析

谢兰军

国能宁夏石嘴山发电有限责任公司, 中国·宁夏 石嘴山 753000

## 摘要

燃煤火电机组锅炉的排烟温度是锅炉主要的性能指标, 对锅炉热效率、尾部烟道低温腐蚀, 除尘器效率, 以及烟气结露引起的尾部竖井受热面结焦堵灰、烟气阻力增大和风机电耗增加等, 涉及锅炉运行的经济性和安全性。考虑设备节能降耗和经济性, 降低排烟温度是燃煤火电机组锅炉节能降耗的主要路径。近几年, 在改造锅炉时, 多加装低温省煤器并与热力系统连接组成低温省煤器系统, 利用锅炉的排烟余热对热力系统中的凝结水加热, 该改造具有节能效果显著和投资回收年限短的特点, 目前常用的技术方案有纯低温省煤器方案、低温省煤器与暖风器联合循环、增设空预器旁路省煤器, 低温省煤器和暖风器系统方案。

## 关键词

火电机组; 锅炉; 低温省煤器; 暖风器

## 1 引言

目前多数电厂采用烟气余热利用来降低排烟温度, 提高电厂经济性。汽机热力系统中的凝结水在通过布置在尾部烟道的省煤器换热管内吸收排烟热量, 降低排烟温度, 管内介质被加热、升高温度后再返回汽机加热器系统, 替代部分低压加热器的作用, 是汽机热力系统的分支部分。低温省煤器将节省部分汽轮机的回热抽汽, 在汽轮发电机进汽量一定的情况下, 节省的抽汽返回汽轮机继续膨胀做功, 因此, 在发电量不变的情况下, 可降低机组的热耗。

【作者简介】谢兰军(1994-), 男, 中国宁夏固原人, 本科, 助理工程师, 从事锅炉研究。

## 2 技术路线的选择

现有常规技术路线方案有三种, 分别为纯低温省煤器系统、低温省煤器与暖风器联合循环方案、增设空预器旁路省煤器和低温省煤器加暖风器系统方案。详细的技术特点分析如下。

### 2.1 纯低温省煤器方案

在空预器出口(除尘器前)水平烟道上布置低温省煤器, 空预器出口排烟温度一般在 $120^{\circ}\text{C}$ ~ $130^{\circ}\text{C}$ 左右, 低温省煤器加热从汽机回热系统抽出的冷凝水, 加热后返回汽机回热系统, 汽机回热系统可以减少低加的抽汽增加输出功率, 降低汽机热耗, 经过低温省煤器后, 排烟温度降至 $90^{\circ}\text{C}$ 进入除尘器。

### 2.2 低温省煤器与暖风器联合循环方案

该方案为在低温省煤器的基础上, 增设暖风器, 汽机

凝结水被低温省煤器加热后部分送到暖风器加热冷空气，剩余部分和从暖风器返回的水混合后送回汽机余热系统。

### 2.3 增设空预器旁路省煤器和低温省煤器加暖风器系统方案

该方案通常为新建机组采用。在上一方案的基础上增设空预器烟气旁路，高负荷时部分烟气从旁路通过，加热布置于其中的中温凝结水（从除氧器入口抽出）和少量锅炉给水，该系统结构复杂，需改动锅炉尾部布置和增设烟气通道，投资大<sup>[1]</sup>。

旁路能增加返回汽机回热系统热量，但旁路烟气增加了锅炉的排烟损失（此时从旁路进口和空预器出口的烟气热焓均需计为排烟损失），空预器热风温度降低，锅炉效率下降，一般利用40℃烟气温降得到的余热可以降低发电煤耗2.0~2.8g/kwh。

## 3 换热器型式的选择

目前低温省煤器主流的换热管型式主要有传统翅片管、真空热管、工程塑料管以及氟塑料管等。

### 3.1 传统翅片管式

翅片管在烟气中的换热环境与在空气中的换热环境相比有很大的差别，他面对的是烟气的磨损、腐蚀和积灰，因此，与烟气换热的翅片管在材质的选择、结构和形式上必须针对不同项目进行计算、设计、选择。

燃气余热利用管排大多采用翅片管，如高频焊型螺旋翅片管、整体型螺旋翅片管、H型翅片管组、开齿形翅片管组、钉头型翅片管和纵向型翅片管。

①螺旋翅片管。螺旋翅片管是最早应用于化工类烟气余热回收类的换热器，一般要求锅炉烟气含尘量较小，换热管不易发生积灰堵灰。换热管和翅片一般可以为碳钢、合金钢或不锈钢材质。翅片与基管之间采用机械缠绕产生接触压力，并利用高频电流，流经两者接触面产生的电阻热使翅片和基管之间熔合<sup>[2]</sup>。

②整体型钢质螺旋翅片管。整体轧制型螺旋翅片管是将厚壁无缝钢管（坯管）在中频连续加热炉后，通过挤压使管子轧制成形。整体轧制螺旋翅片管翅片是与基管整体轧制而成，避免了翅片与基管的焊接热阻，翅片R圆角过渡，在传热效果和自清灰方面相较于H型翅片管和螺旋翅片管有一定提升。但其翅片需要厚壁管轧制，受限于管壁厚度和加工刀具的限制，其翅片高度有限，扩展受热面受限，相同的受热面积，其所需要的管子数量大大增加，荷载增加较大，所需空间更大。整体轧制螺旋翅片管翅片是靠厚壁管的管壁延展堆砌而成，其加工过程中基管的厚度难以精确保证，且基管经中频加热延展后，其管子原本的韧性、延展性、强度等物理性质均会发生变化，基管质量有可能发生变化。整体轧制螺旋翅片管换热器布置在烟道内，磨损同样不可避免，一旦穿孔发生泄漏，则凝结水会不断渗入烟道造成进一步的腐蚀及积灰。

③H型翅片管。H型翅片管是应用于锅炉空气预热器后的烟气余热回收类的换热管型。换热管和翅片一般可以为碳钢、合金钢或不锈钢材质。翅片与基管之间采用接触式高频电阻焊，利用高频电流，流经两者接触面产生的电阻热使翅片和基管之间熔合。

④开齿型翅片管。开齿型翅片管是高频焊螺旋翅片管的一种特殊形式。将作翅片的带钢在高频焊接之前，按一定的高度和深度开口，在基管上缠绕并焊接的过程中，就会形成开齿型翅片管。

⑤钉头翅片管。钉头翅片管是将圆柱状的“钉头”按螺旋线排列，密集地焊接在基管外表面上而形成的翅片管。

⑥纵向翅片管。纵向翅片管的翅片长度方向与基管的轴线平行，属于直翅片的一种，这种直翅片可以在基管外表面呈辐射状排列，也可以只有两支直翅片，对称地排列在基管两侧。经过理论设计和工程实际使用的筛选，目前，使用较多的换热管主要为H型翅片管和螺旋翅片管，烟气余热换热器采用H型翅片管，其优势为：H型翅片管在加工过程中，使用的是中频逆变电阻焊技术，焊缝融合率高，抗拉强度大，具有良好的传热导性能，焊接区域机械强度高、热阻低（相对螺旋翅片管），且不需增强传热的镀层，使用寿命较长<sup>[3]</sup>。

### 3.2 真空式热管

典型的真空式热管如下图所示，在封闭严密的管内通过抽取形成一定的负压，在负压（真空）状态下充入定量工质。在真空式热管的下端吸热，工质吸收热量汽化成为蒸汽，因压差作用，上升到真空式热管上端换热，并向外界释放出热量，工质凝结为液体。冷凝液在重力的作用下，沿热管内壁返回到吸热段，循环往复吸放热，已达到烟气回收作用。

由于是相变传热，因此热管内热阻很小，所以能以较小的温差获得较大的传热功率，且结构简单，具有单向导热的特点，特别是由于热管的特有机理，使冷热流体间的热交换均在管外进行，并可以方便地进行强化传热。

热管这种传热元件，可以单根使用，也可以组合使用，根据用户现场的条件，配以相应的流通结构组合成各种形式换热器，热管换热设备具有传热效率高、阻力损失小、结构紧凑、工作可靠和维护费用少等多种优点。

由于热管内部一般抽成真空，工质极易沸腾与蒸发，热管启动非常迅速，因此其具有很高的导热能力，具有如下明显的优点：①良好的导热性能：热管通过管内工作介质的蒸发与冷凝来传递热量，其导热系数是相同尺寸纯铜的近千倍。②优良的等温性：由于热管内腔的工作介质处于汽、液相共存，而蒸汽沿流动方向产生的温降很小，因而热管沿轴向具有优良的等温性。③热流密度的可变性：由于热管的受热段与放热段可根据需要来调整，因而可根据需要通过改变受热段与放热段的传热面积比来控制热管的传热量及管壁温度。④良好的环境适应性：热管形状可随热流体、冷流体

和现场条件的变化而做成圆管状、板状、针状及分离式热管元件等，适用于多种场合<sup>[4]</sup>。

## 4 低温省煤器综合效果比较

低温省煤器综合效果比较见表1。

表1 低温省煤器综合效果比较

序号	项目	真空热管低温省煤器	传统低温省煤器
1	工作原理	“烟气—换热介质”“换热介质—冷却水”两级换热	烟气—冷却水，对流换热
2	结构特点	若干相互独立的真空热管垂直伸入烟道内，热管位于烟道内的部分称为蒸发段，热管位于烟道外的部分称为冷凝段，蒸发段与冷凝段通过烟道隔板进行隔离，冷凝段外套水套管，冷却水从热管冷凝段与水套管之间的夹层中通过，换热时烟气先与换热介质换热，换热介质受热蒸发上升至冷凝段，之后换热介质与冷却水换热冷凝成液体，随重力落回到蒸发段，循环往复	若干翅片管放置于烟道内，组成换热模块，数个换热模块组成低温省煤器，换热管通过两端弯头连接组成蛇形回路，冷却水通入换热管内，与高温烟气换热
3	防积灰	热管的蒸发段可采用光管或者螺旋开齿翅片，不易积灰	翅片与烟气流动方向一致，有着均匀流场的作用，在高负荷下可随着烟气流速的增大将松散性积灰带走，具有自清灰功能
4	典型特征	换热器的蒸发段和冷凝段被绝热段一分为二，仅蒸发段布置在烟道内部。冷却水只在烟道外的冷凝段侧流动。烟气侧的热管即使被烟尘颗粒冲刷磨损后也无冷却水泄漏问题	换热器整体布置在烟气通道内部。换热管容易被烟尘颗粒冲刷磨损，造成换热管内流动的冷却水源源不断地泄漏到烟道内部，并导致积灰板结、堵塞等严重问题
5	扩展受热面	U型开齿翅片为主	H型翅片/螺旋翅片为主
6	耐磨性能	创新应用U型开齿翅片扩展受热面，实现烟气微扰流和整流功效，增强换热的同时可减轻对换热管的磨损影响	一般
7	耐腐蚀性能	对于处于不同烟温区域的烟气侧换热管壁温可通过调整冷凝段换热面积实现灵活调整	控制壁温灵活性差
8	抗积灰性能	换热管可铅垂或倾斜布置，配置U型开齿翅片，不易积灰板结，也不存在冷却水泄漏、积灰板结堵塞问题	另外存在换热管磨损后冷却水泄漏导致积灰、板结、堵塞等问题
9	防泄漏性能	真空热管磨损后，仅有热管内的少量换热介质泄漏至烟道中，冷凝段的冷却水因为有烟道隔板、水套管等结构的隔离，不会泄漏至烟道内，单根热管泄漏后，不影响其他热管的正常工作，也无需进行模块隔离或是管排封堵	可增加换热管壁厚，延长使用寿命。但泄漏后冷却水会源源不断泄漏至烟道中，造成板结性积灰，必须通过封堵泄漏管排、隔离换热模块的方式进行处理，停炉后需用高压水清洗管排的板结性积灰，后期检修费时费力
10	生产周期	较长	基准
11	安装检修难度	立式布置，每个模块可实现独立拆、装，便于安装检修	卧式布置，换热模块之间相互叠置，安装检修难度大
12	运行水温	具有两级换热的特点，入口水温可低于70℃，不存在粘性积灰、低温腐蚀的风险，建议入口水温可在40℃~60℃	入口水温一般不低于70℃，以减少粘性积灰、腐蚀的风险
13	运行可靠性	冷却水不泄漏，设备运行阻力稳定，可靠性高	泄漏后引发堵塞及烟气流阻上升等问题，影响机组安全可靠运行
14	可维护性	每个模块可实现独立拆、装，便于安装检修，而且每根热管工质相互不串漏，维护量小	后期需频繁进行换热管排封堵、清灰等工作，检修维护工作量大，维护费用高
15	使用寿命	冷却水不泄漏，使用寿命大大增加，正常可达10年以上	正常运行工况下约3年即出现冷却水较大面积的泄漏，并引发积灰板结、堵塞等严重问题
16	设备体积及重量	设备具有冷凝段，冷凝段须有框架进行固定，且为两级换热，设备体积大，钢材用量大，重量大	冷却水与烟气直接换热，设备体积较小，钢材用量小，重量轻
17	安全运行年限	无泄漏问题，运行年限长	换热面易因磨损、腐蚀而泄漏，运行年限较短
18	设备荷载	略大	基准

## 5 结论

火电机组低温省煤器综合治理对于提升机组运行效率和经济性具有重要意义。通过采取合理的技术改造，不仅可以解决当前存在的问题，还可以为机组的长期稳定运行提供有力保障。

### 参考文献

[1] 李勇,张骏,陆寅冰,等.超超临界机组低温省煤器系统经济性分析

[J].安徽电气工程职业技术学院学报,2024,29(3):64-70.

[2] 陈曙,燕武.超超临界火电机组低低温省煤器的优化改造[J].电力与能源,2023,44(1):65-67+84.

[3] 刘炜.热管式低温省煤器在锅炉节能减排方面的应用[J].能源与节能,2022(8):60-62+78.

[4] 郭文军,胡琼,杨安志.浅析大型火电机组增设低温省煤器的经济性[J].内蒙古科技与经济,2021(22):107-109.