

# Research on Waste Heat Utilization of Flue Gas in 660MW Ultra-supercritical Lignite Unit and Economic Analysis

Weibin Zhang

Shenhua Shengli Power Plant, Xilinhot, Inner Mongolia, 026000, China

## Abstract

In order to improve the thermal economy of thermal power units, a 2×660MW ultra-supercritical unit burning lignite was taken as an example to analyze the energy consumption before and after the flue gas waste heat utilization device was increased and the arrangement mode of flue gas waste heat utilization was different. Two flue gas waste heat utilization device reduces energy consumption and improving the efficiency of the unit is different, the two different arrangement of uniting feature is the rational utilization of tail exhaust heat boiler, exhaust heat loss is the loss of the boiler, the largest proportion of the smoke temperature, the method of matching system to cascade utilization of low temperature flue gas heat, exhaust smoke temperature decreases, the exhaust heat loss is reduced, improving the efficiency of the boiler. The results show that compared with the original unit, after adopting the flue gas waste heat utilization system, the layout plan 1 can increase the boiler efficiency by 0.14%, reduce the coal consumption of power generation by 5.82g/(kW.h), reduce the coal consumption of power supply by 5.34g/(kW.h), and save the cost of 6.0211 million yuan. Layout plan 2 can increase boiler efficiency by 0.18%, reduce coal consumption of power generation by 6g/(kW.h), reduce coal consumption of power supply by 5.84g/(kW.h), and save cost of 6.207 million yuan. It can be seen that the flue gas waste heat utilization system has great availability in engineering.

## Keywords

waste heat utilization of flue gas; step utilization; position; exhaust heat loss; boiler efficiency

# 660MW 燃褐煤超超临界机组烟气余热利用布置方案对比及经济性分析

张卫彬

神华胜利发电厂, 中国·内蒙古 锡林浩特 026000

## 摘 要

为了提高火电机组的热经济性, 以某燃褐煤 2×660MW 超超临界机组为例, 对比增加两种布置烟气余热利用装置前后以及增加烟气余热利用布置方式不同进行能耗分析。两种烟气余热利用装置降低能耗值和提高的机组效率是不同的, 两种不同布置方式的共同点在于合理利用锅炉尾部排烟热量, 排烟热损失是锅炉损失中所占比例最大, 采用烟温匹配系统的方法对低温烟气热量进行梯级利用, 排烟温度会降低, 致使排烟热损失降低, 提高锅炉效率。结果表明, 相较原机组, 采用烟气余热利用系统后, 布置方案 1 可以使锅炉效率提高 0.14%, 发电煤耗降低 5.82g/(kW.h), 供电煤耗降低 5.34g/(kW.h), 节约成本 602.11 万元。布置方案 2 可以使锅炉效率提高 0.18%, 发电煤耗降低 6g/(kW.h), 供电煤耗降低 5.84g/(kW.h), 节约成本 620.7 万元。可见, 烟气余热利用系统在工程上具有极大的可用性。

## 关键词

烟气余热利用; 梯级利用; 布置位置; 排烟热损失; 锅炉效率

## 1 引言

作为资源消耗大户, 中国目前主要燃料供应仍然以煤炭为主, 煤炭资源丰富, 价格相对便宜以及安全性高, 作为火电机组锅炉燃料的主要来源。在锅炉损失中, 锅炉排烟热损失是锅炉损失中最大的一项, 提高煤炭的使用效率, 对于中国节能降耗具有非常重要的意义<sup>[1-9]</sup>。

随着中国火电机组整体水平的提高, 目前中国火电机组烟气余热利用包括加热部分凝结水、加热部分锅炉给水、加热空预器入口风温, 100% 分级省煤器等加热方式。不同的机组, 烟气余热利用系统的布置方式是不同的, 但目的基本相同, 即降低锅炉排烟温度, 降低煤耗, 提高锅炉效率, 同时会减少回热系统热量损失, 提高回热系统效率, 但是排烟温度的降低面临着锅炉尾部受热面的低温腐蚀。因此不同的机组, 烟气余热利用的方式有所不同。

论文以某 660MW 超超临界机组为例, 对比不同的烟气余热利用布置方式, 分别进行热力计算和热经济性分析,

【作者简介】张卫彬 (1982-), 男, 中国河北秦皇岛人, 硕士, 高级工程师, 从事节能降耗、集控运行研究。

为不同机组提供更多的设计指导。

## 2 机组概况

以某  $2 \times 660\text{MW}$  超超临界燃褐煤机组为例。锅炉主蒸汽流量为  $2145\text{t/h}$ ，主蒸汽压力为  $29.3\text{MPa}$ ，主蒸汽温度为  $605^\circ\text{C}$ ，再热压力为  $6.088\text{MPa}$ ，再热蒸汽温度为  $623^\circ\text{C}$ ，再热蒸汽流量为  $1716.8\text{t/h}$ 。

## 3 烟气余热利用方案

烟气余热回收装置视其设置位置的不同，有不同布置方案 [10-12]。

### 3.1 方案 1

如图 1 所示，烟气余热利用装置布置在空气预热器出口和静电除尘器之间的烟道上。凝结水系统从 7 号低压加热器出口和入口分别引出一部分凝结水至烟气余热利用装置，烟气与水通过间接换热的方式达到降低烟温的目的，该技术可以在一定程度上降低排烟温度，但是考虑到锅炉尾部受热面低温腐蚀的温度，余热利用效果有限。

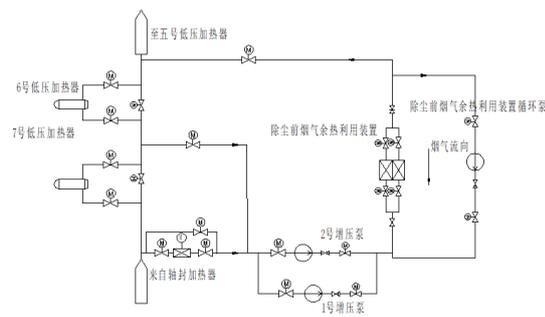


图 1 方案 1

### 3.2 方案 2

如图 2 所示，凝结水系统从 7 号低压加热器出口引出一部分凝结水至烟气余热利用装置，烟气与水通过两级烟气余热利用装置以间接换热的方式达到降低烟温的目的，该技术与方案 1 不同在于取水点和烟气余热利用装置的布置方式。

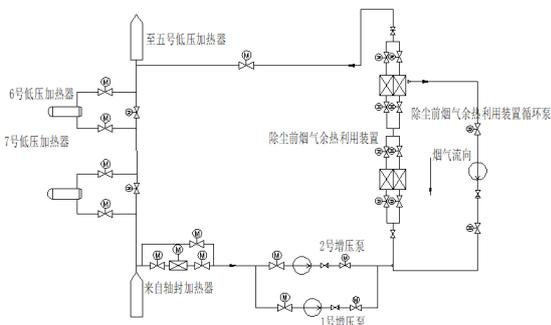


图 2 方案 2

### 3.3 方案 3

如图 3 所示，从 3 号高压加热器入口引出一部分给水用于常规省煤器出口的烟气余热利用装置，系统回收了省煤器出口的高温烟气热量，其品位远远高于方案 1 余热利用系统的烟气热量。该方案可以加热较高温度的锅炉给水，排挤汽轮机较高品位的抽汽。

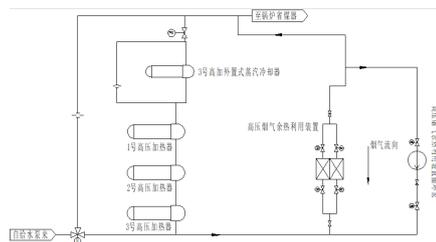


图 3 方案 3

### 3.4 方案 4

如图 4 所示，从 1 号高压加热器出口以 100% 给水用于 SCR 出口的分级省煤器中，系统在保证防止低温腐蚀的情况下以最大热量回收了 SCR 出口的高温烟气热量，其品位也远远高于方案 1 余热利用系统的烟气热量。该方案可以加热较高温度的锅炉给水，减少了常规省煤器中的温升，降低了煤耗的同时，还可以减少常规省煤器的布置面积，同时减少了常规省煤器的给水出入口温差，使省煤器工作环境有优化。

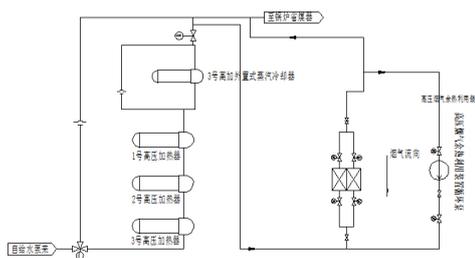


图 4 方案 4

### 3.5 方案 5

如图 5、图 6 所示，烟气换热器布置在 2 台引风机出口烟道汇合之后，脱硫塔入口之间。烟气换热器用于冷却脱硫塔入口烟气的水来自除盐水，水经过烟气加热后再进入水煤暖风器，用于加热冷二次风，释放热量的水再返回脱硫入口的烟气换热器继续吸收烟气热量，如此循环。这种布置方式有两个优点：一是系统简单，运行调整量少，和方案 1 比较不需要调节水量和水温；二是换热效率高，因为烟气经过除尘器后，粉尘浓度大大降低，对换热器来说基本不存在磨损和堵灰的问题，因此换热器内可以使用翅片管式或板式换热器以提高传热系数。这种布置方式只需考虑对烟气换热器的低温段材料和烟换热器与吸收塔之间的烟道进行防腐。

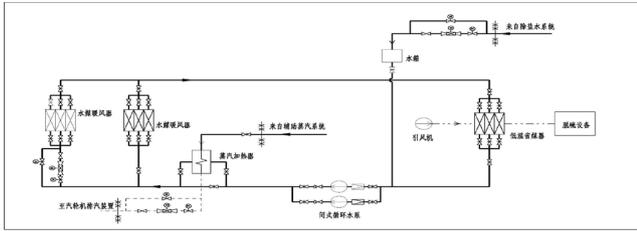


图5 方案5

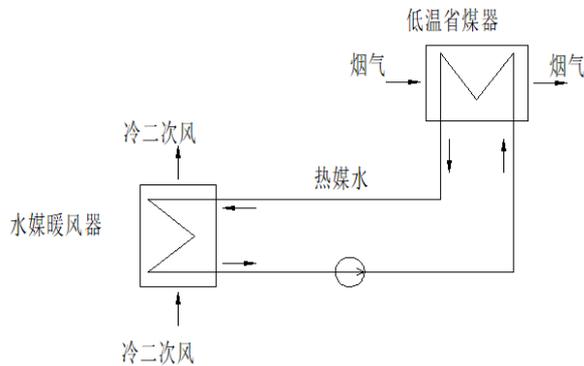


图6 方案6

### 4 烟气余热利用组合布置方案

某2×660MW超超临界燃煤机组，通过改造，分别采用了如下的两种布置方式（图7、图8所示）。

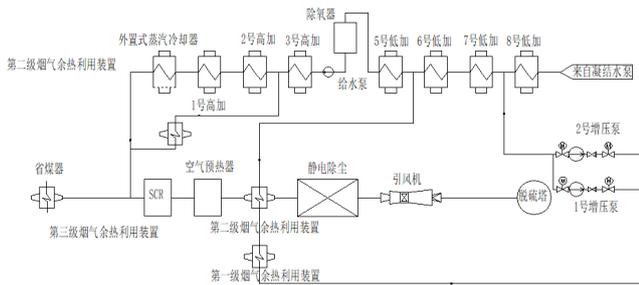


图7

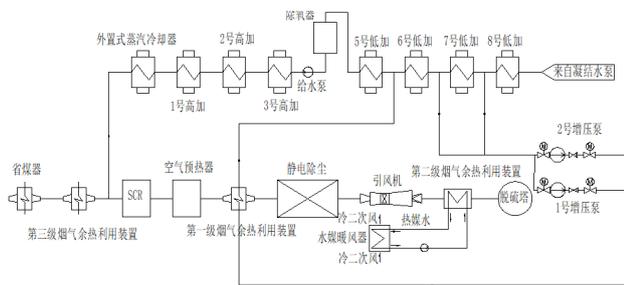


图8

### 5 热力计算及方案对比分析

为了保证方案对比的可行性，三种布置方案要采用同样要求同样工况下进行，即THA工况下继续，验收试验期间，要维持工况稳定4h，实验期间不允许吹灰，保持煤质稳定，燃烧稳定。某厂2×660MW超超临界机组经过两种方案改造后，针对烟气换热器前后的温度变化，得出热耗、锅炉效率、发电煤耗、供电煤耗等影响，结果如表1所示。

表1 两种布置方案相同工况数据汇总表

项目	第一种布置方案	第二种布置方案
发电功率 (MW)	660	660
第一级烟气余热利用换热量 (MW)	26.1	42.38
第二级烟气余热利用换热量 (MW)	21.75	20.12
第三级烟气余热利用换热量 (MW)	33.5	21
锅炉效率 /%	93.14	93.18
锅炉效率变化量 /%	0.14	0.18
热耗率 /kJ/(kW.h)	7338.1	7336.4
热耗率变化量 /kJ/(kW.h)	145.8	147.5
厂用电率 /%	6.55	6.45
厂用电变化量 /%	0.28	0.18
发电煤耗 /g/(kW.h)	271.89	271.71
发电煤耗变化量 /g/(kW.h)	5.82	6
供电煤耗 /g/(kW.h)	290.94	290.44
供电煤耗变化量 /g/(kW.h)	5.34	5.84

### 6 数据对比分析

通过表1可知，布置方案1中，第1级烟气换热器回收热量26.1MW，第2级烟气换热器回收热量21.75MW，第3级烟气换热器回收热量33.5MW，三级烟气余热利用共降低热耗145.8kJ/(kW.h)，锅炉效率提高0.14%，厂用电率提高0.28%，发电煤耗降低5.82g/(kW.h)，供电煤耗降低5.34g/(kW.h)。

布置方案2中，第1级烟气换热器回收热量42.38MW，第2级烟气换热器回收热量20.12MW，第3级烟气换热器回收热量21MW，三级烟气余热利用共降低热耗147.5kJ/(kW.h)。锅炉效率提高0.18%，厂用电率提高0.18%，发电煤耗降低6g/(kW.h)，供电煤耗降低5.84g/(kW.h)。

通过表1可以看出，布置烟气余热利用系统的效果还是比较明显的。

对比3号高加入口引出一部分给水用于烟气余热利用和100%分级省煤器布置方式。对于部分给水进入烟气余热利用系统,系统的沿程阻力损失是降低的,可以节省电耗,但是由于并联方案中只能引出部分给水吸收烟气余热,因此换热热量较低,传热温差较小,100%分级省煤器布置方案比原系统需要克服更多的沿程阻力损失,此部分损失则需要根据凝结水泵或给水泵提供更多的动力,需要会增加电耗。但是100%分级省煤器由于本身换热热量增加,传热温差增大,其换热效果更好,可回收热量更多。

脱硫前增加烟气余热利用系统充分利用了低品质烟气,其热量通过水媒暖风器传递给二次风,根据GB/T 10184—2015《电站锅炉性能试验规程》,锅炉热力性能计算边界设定在空预器入口,该系统可以提高二次风温约50℃,大大提高了边界风温,可以提高锅炉效率,同时避免了由于烟气余热利用系统造成排烟温度降低进而造成低温腐蚀的情况。

表1中,两种不同的布置方案,回收的热量、降耗的效果相差不大,说明烟气余热利用系统布置方案不是固定,应根据机组的不同更改布置方案,只要在安全可控的情况下,布置烟气余热利用系统还是非常有效果的。

## 7 效益对比

采用布置方案1,发电煤耗降低5.82g/(kW.h),按年利用小时数5500h,每年可以节约成本602.11万元。采用布置方案2,发电煤耗降低6g/(kW.h)每年可节约成本620.7万元。由此可以看出火电机组增加烟气余热利用系统的经济效益是非常可观的。虽然采用烟气余热利用使系统结构更加复杂,设备总投资增加,但在电厂生命周期内所获得的收益将远大于投资成本。经济效益对比见表2。

表2 经济效益对比表

项目	第一种布置方案	第二种布置方案
发电煤耗变化量 /g/(kW.h)	5.82	6
电厂吨煤单价 /元 /吨	285	285
年利用小时数 /h	5500	5500
发电额定功率 MW	660	660
年节约成本 /万元	602.11	620.7

## 8 结论

①相较原机组,采用烟气余热利用系统后,布置方案2可以使锅炉效率提高0.14%,5.82g/(kW.h),供电煤耗降低5.34g/(kW.h)。布置方案可以使锅炉效率提高0.18%,发电煤耗降低6g/(kW.h),供电煤耗降低5.84g/(kW.h)。

②经过效益对比表面,采用烟气余热利用系统,可以在电厂20年生命周期内节约成本近602.11/620.7万元。可见,烟气余热利用系统在工程上具有极大的可用性。

③100%分级省煤器的使用可使换热量增大到最大,具有较好的换热效果。

④烟气换热器和水媒暖风器的结合使用,可使锅炉效率提高,同时可以降低尾部受热面发生低温腐蚀的风险。

## 参考文献

- [1] 郑体宽.热力发电厂[M].北京:中国电力出版社,2008.
- [2] 樊泉桂.锅炉原理[M].北京:中国电力出版社,2008.
- [3] 苏萍.开封火电厂3号锅炉综合性能技术改造研究[J].锅炉技术,2002,33(9):22-25.
- [4] 黄新元.龙口电厂1号炉低压省煤器优化设计[J].锅炉技术,1998(3):22-25.
- [5] 冯伟忠.1000MW超超临界机组的综合优化和技术创新[J].上海电力,2007(5):441-446.
- [6] 刘光铎,张凯,曹玉民,等.热管换热器回收锅炉排烟余热系统及其热力分析[J].热力发电,1993(4):17-21.
- [7] 黄新元,史月涛,孙奉仲,等.670t/h锅炉增设低压省煤器降低排烟温度的实践[J].中国电力,2008,41(6):55-58.
- [8] 黄圣伟,徐钢,杨勇平,等.电站锅炉烟气余热利用的热力学分析与优化设计原则[J].现代电力,2013,30(1):75-80.
- [9] 李旭,黄冬梅.热管式低压省煤器的特点与节能效果[J].节能,2003(2):34-36.
- [10] 叶勇健,申松林.欧洲高效燃煤电厂的特点及启示[J].电力建设,2011,32(1):54-58.
- [11] 邓建玲,黄圣伟,徐钢,等.电站锅炉高效烟气余热回收系统[J].华东电力,2013,41(1):200-204.
- [12] 陆万鹏,孙凤仲,史月涛.电站锅炉排烟余热能级提升系统火用分析[J].中国电机工程学报,2012,32(23):9-14.