

DOI: 10.12096/j.2096-4528.pgt.18240

电站锅炉烟气余热利用技术方案研究

王秀红^{1,2}, 盛伟¹, 刘金山²

(1. 河南理工大学机械与动力工程学院, 河南省 焦作市 454000;

2. 国家电投河南电力有限公司, 河南省 郑州市 450016)

Study on Technical Scheme of Flue Gas Waste Heat Utilization in Utility Boiler

WANG Xiuhong^{1,2}, SHENG Wei¹, LIU Quanshan²

(1. School of Mechanical and Power Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, Henan Province, China;

2. National Power Investment Group Henan Branch, Zhengzhou 450016, Henan Province, China)

摘要: 超临界电站锅炉排烟热损失量很大,对锅炉尾部烟气余热进行回收利用可以有效提高电厂的热经济性,减少煤耗,降低环境污染。目前火电厂最广泛提高烟气余热利用效率的方式是加装低温省煤器装置。对某超临界机组锅炉余热利用技术进行研究,分析不同低温省煤器布置方案,提出采用双级低温省煤器回收电站锅炉余热利用技术方案,即采用低温烟气与低加凝结水换热技术、前置式空气预热器与低温省煤器组合的能源梯级利用方式,实现最优节能及最佳投资收益。

关键词: 超临界机组; 烟气余热; 锅炉; 低温省煤器; 前置式空气预热器

ABSTRACT: The exhaust heat loss of supercritical power station boilers is very large. Recovery and utilization of waste heat from boiler can effectively improve the thermal economy of power plants, and reduce coal consumption and environmental pollution. At present, the way most widely used to improve the utilization efficiency of flue gas waste heat in thermal power plants is to install low temperature economizer. The waste heat utilization technology of a supercritical unit boiler was studied, different low-temperature economizer layout schemes were analyzed, and a technical scheme for recovery of waste heat from power plant boiler by using dual-stage low-temperature economizer was proposed, i.e., the combination of low-temperature flue gas and low-condensation water heat exchange technology, the energy of front air pre-heater and low-temperature economizer. The source cascade utilization mode can achieve optimal energy saving and optimal investment return.

KEY WORDS: supercritical unit; flue gas waste heat;

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2015BAA03B01)。

Project Supported by the National Science and Technology Support Project (2015BAA03B01).

boiler; low temperature economizer; prepositioned air pre-heater

0 引言

电站锅炉排烟携带的热量是锅炉热损失中最重要的一项,约占锅炉总热损失的60%~70%^[1-4]。近年来,国家节能减排政策对火电机组超低排放提出了更高的要求,超临界电站锅炉余热利用正成为研究热点^[5-8]。

目前国内外燃煤机组多采用低温省煤器来降低锅炉排烟温度,在锅炉的尾部烟道加装换热器回收烟气余热,用于供暖、供热、发电以及加热凝结水和空气预热器暖风使用^[9-12];国外烟气余热利用技术较国内起步早,工程实施技术以前苏联、日本、德国和美国为领先代表,烟气余热利用方式基本都是采用在空气预热器之后加装低温换热器的方式^[13-15],余热使用方式也多种多样。国内也在多家大型火力发电企业开展了锅炉余热利用技术,并已有一些成功案例。

综上所述,采用低温省煤器回收火力发电机组锅炉余热,从技术上并不难实现,但是不同类型的火力发电机组采用烟气余热回收利用的技术方案存在差别,增加烟气余热回收利用装置,会引起低温腐蚀、传热能效下降,对整个火力发电厂的热经济性产生一定影响。同时由于设备初投资增加,需考虑降低烟气温度所产生的经济成本。

本文以某超临界火力发电机组锅炉余热利用技术为例,分析了不同低温省煤器布置方案,提

出采用双级低温省煤器回收电站锅炉余热利用技术方案,从设备运行的全寿命周期角度寻求技术与收益的平衡点,为烟气余热利用系统设计提供理论指导。

1 机组参数及设计要求

某火力发电厂异地扩建上大压小工程为 $2\times 1\,000\text{ MW}$ 超超临界间冷燃煤机组,采用高效超超临界参数变压运行直流煤粉锅炉,单炉膛对冲燃烧、一次中间再热、平衡通风、固态排渣、露天岛式布置、全钢构架悬吊 Π 型结构,同步加装烟气脱硝装置。锅炉设计参数为:过热蒸汽BMCR工况最大连续蒸发量 $3\,064\text{ t/h}$,额定蒸汽出口压力 29.3 MPa ,额定蒸汽温度 $605\text{ }^\circ\text{C}$,再热蒸汽BMCR工况蒸汽流量 $2\,502\text{ t/h}$,BMCR工况下进口/出口蒸汽压力 $6.291/6.091\text{ MPa}$,进口/出口蒸汽温度 $366.5/613\text{ }^\circ\text{C}$,给水温度 $307.3\text{ }^\circ\text{C}$,锅炉热效率大于 93.95% 。

采用的设计煤种硫含量 $S_{t,ar}=1.29\%(S_{t,d}=1.42\%)$,属中硫份燃煤;额定出力工况(THA工况)空预器出口修正后的排烟温度约为 $119\text{ }^\circ\text{C}$ (设计煤种)。2项条件均适宜装设低温省煤器以回收排烟热损失。考虑国家最新节能减排要求,最大限度的利用锅炉排烟余热,达到节能降耗、环保多重收益,对锅炉尾部烟气余热利用系统与锅炉本体烟风系统、汽轮机热力系统、除尘器、风机和脱硫装置进行集成综合优化,而不是仅仅着眼于回收部分烟气余热。

实际运行中,根据其他类似 $1\,000\text{ MW}$ 机组项目经验,锅炉实际排烟温度会比设计值偏高(有的工程甚至会偏高 $10\text{ }^\circ\text{C}$ 以上),低温省煤器的设计应考虑有能力吸收排烟温度增加后的热量。考虑到凝结水的流量参数变化会影响烟气换热器的回收热量,以及不同运行负荷下低温省煤器回收热量的差异,为保证机组安全高效运行,低温省煤器的换热面积增加 10% 的裕量。

2 不同锅炉烟气余热利用方案分析

2.1 设置单级低温省煤器

锅炉在设计煤种下空气预热器出口烟气温度

为 $132\text{ }^\circ\text{C}$ 左右,烟气的酸露点温度设计为 $106.26\text{ }^\circ\text{C}$ 。若低温省煤器布置在电除尘器前,设计中要考虑到除尘器以及后边的设备等不发生烟气低温腐蚀,需要采取措施保证除尘器等设备入口的流动烟气温度不得低于酸露点温度。在锅炉实际运行条件下低温省煤器出口温度需保证 $115\text{ }^\circ\text{C}$ 左右,温降只有 $8\text{ }^\circ\text{C}$ 。

低温省煤器布置在脱硫塔入口之前的烟道上,布置2台,如图1所示。从#9低加出口引出凝结水,低温省煤器换热后汇入#7低加入口,系统设有热水再循环,控制二级低温省煤器入口水温为 $65\text{ }^\circ\text{C}$ (可调)。主路上设有增压泵,以克服整个系统增加的水侧阻力。此布置方案,将烟气温度降低,低温省煤器回收的热量作为有效吸热量计入汽机热耗,降低煤耗,脱硫塔入口烟气温度降低,大大减少脱硫塔喷雾降温水耗。低温省煤器布置在脱硫塔入口之前的烟道上,布置2台。烟温将由 $132\text{ }^\circ\text{C}$ 降至 $85\text{ }^\circ\text{C}$ (为现有材质可承受的最低烟温),节煤效果约为 $2.5\text{ g/(kW}\cdot\text{h)}$ 。

2.2 设置双级低温省煤器。

第1级省煤器布置在2台引风机出口烟道汇合之后,脱硫塔入口之前,将烟温由 $140\text{ }^\circ\text{C}$ 降至 $103\text{ }^\circ\text{C}$ (THA工况);第2级串联布置于第1级之后,脱硫塔入口之前,此级布置方案与德国Mehrum电厂锅炉低温省煤器和暖风器设置方案相同,布置方案及系统流程如图2所示。

第1级低温省煤器将脱硫吸收塔入口烟温由 $140\text{ }^\circ\text{C}$ 降至 $103\text{ }^\circ\text{C}$,将来自#8低加出口凝结水由 $84.3\text{ }^\circ\text{C}$ 加热至 $130\text{ }^\circ\text{C}$,加热后热水汇入#7低加入口;第2级低温省煤器采用抗低温腐蚀换热材质,将烟气温度由 $103\text{ }^\circ\text{C}$ 降至 $75\text{ }^\circ\text{C}$,采用来自凝结水泵出口凝结水作为媒介,烟气将凝结水由 $60\text{ }^\circ\text{C}$ (采用再循环)加热至 $70\text{ }^\circ\text{C}$,将加热后凝结水用于加热空预器入口冷二次风,将冷二次风风温提高至 $76\text{ }^\circ\text{C}$,凝结水系统增设升水泵和再循环泵。

此布置方案,将空预器出口温度提高较大,能够在各种工况下把锅炉空气预热器进风温度控制在恒定值,例如 $(50\pm 5)\text{ }^\circ\text{C}$,锅炉排烟温度控制在恒定值 $(155\pm 5)\text{ }^\circ\text{C}$,用#8段抽汽低品质蒸汽代替#7

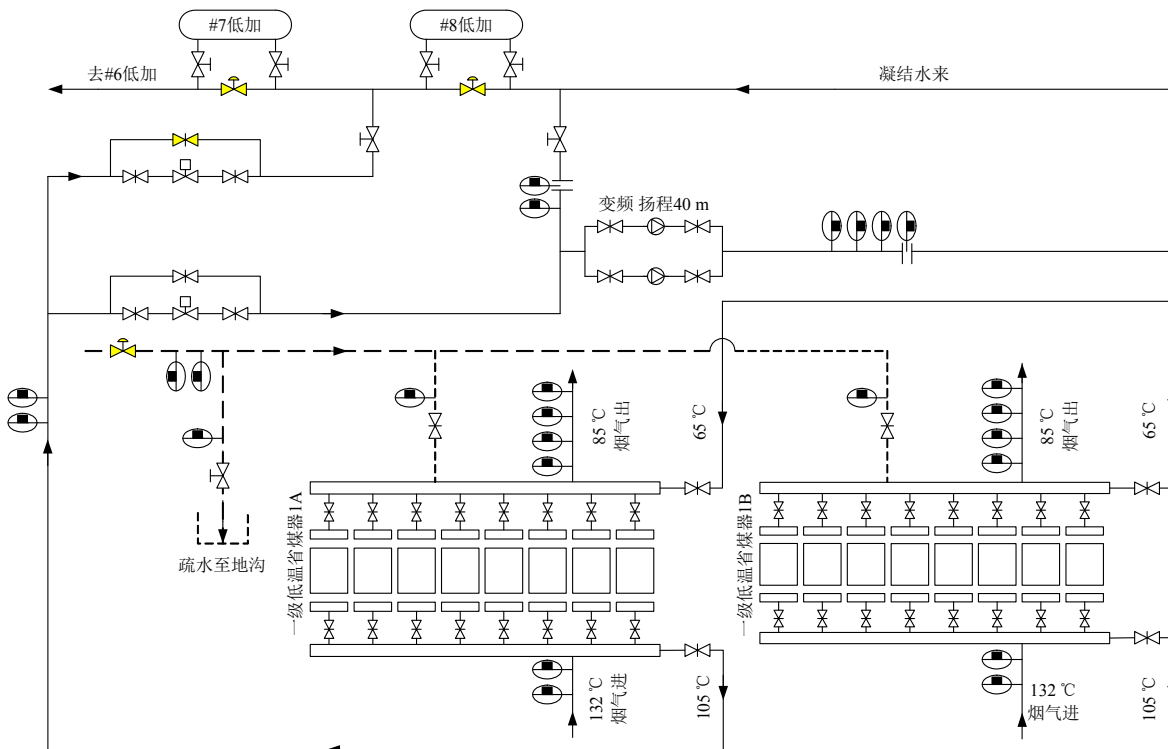


图1 单级低温省煤器系统

Fig. 1 Single stage low temperature economizer system

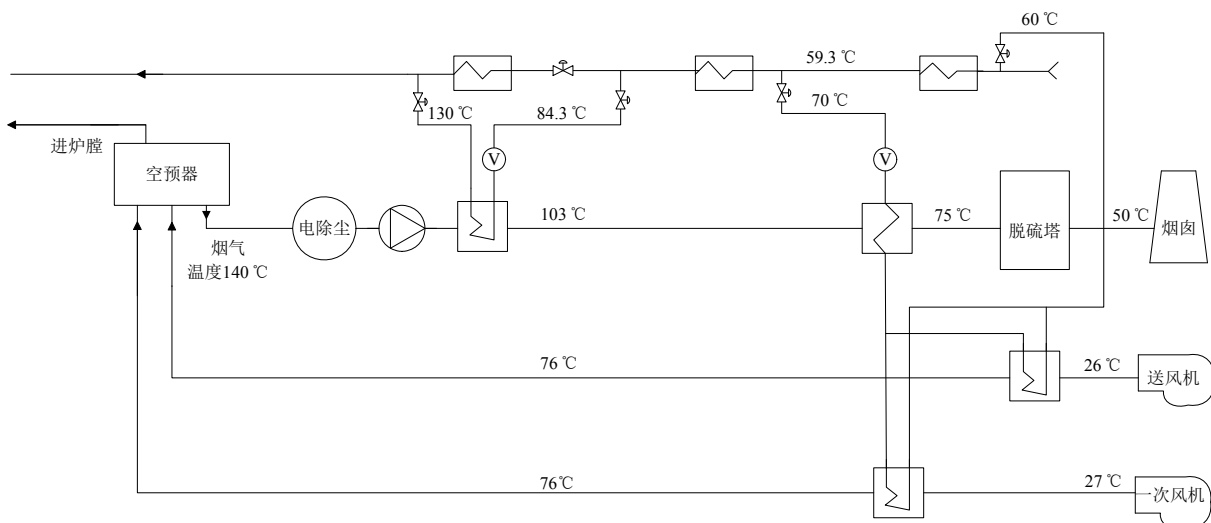


图2 双级低温省煤器系统

Fig. 2 Double stage low temperature economizer system

段抽汽高品质蒸汽，实现锅炉排烟的深度冷却和空气预热器温度的恒温自动控制，防止低温腐蚀，保证全年运行工况下，特别是冬季低温省煤器的连续运行，实现低能级余热的高能级利用，提高机组运行效率。

2.3 设置多级低温省煤器方案

设置多级低温省煤器方案设计的核心思路是前置暖风器采用锅炉烟气余热加热冷一、二次风，

使空预器换热量减小，热风温度升高，排烟温度升高，通过设置烟气旁路，减少通过空预器的烟气量，使空预器出口烟温维持至原排烟温度水平，将旁路烟气热量用于凝结水和给水，烟温也降至原排烟温度。由于旁路流出的这部分烟气远比传统意义的排烟温度高，所以其加热的凝结水与给水的出口温度就会得到大幅度提高，可以越过高加直接进入省煤器。这就是将低能级热量通过能

级提升,使得烟气余热在高效级下得到了深度利用。旁路烟气换热系统流程及低温段低温省煤器和暖风器系统流程见图 3、图 4。此方案相当于设置了 3 级低温省煤器,还增设了空预器烟气旁路系

统,由于系统较复杂和增加的锅炉受热面大,增加的设备初投资远比前 2 种方案高。另一方面,设置烟气旁路后,需布置高压与低压省煤器,钢架荷载需加大。

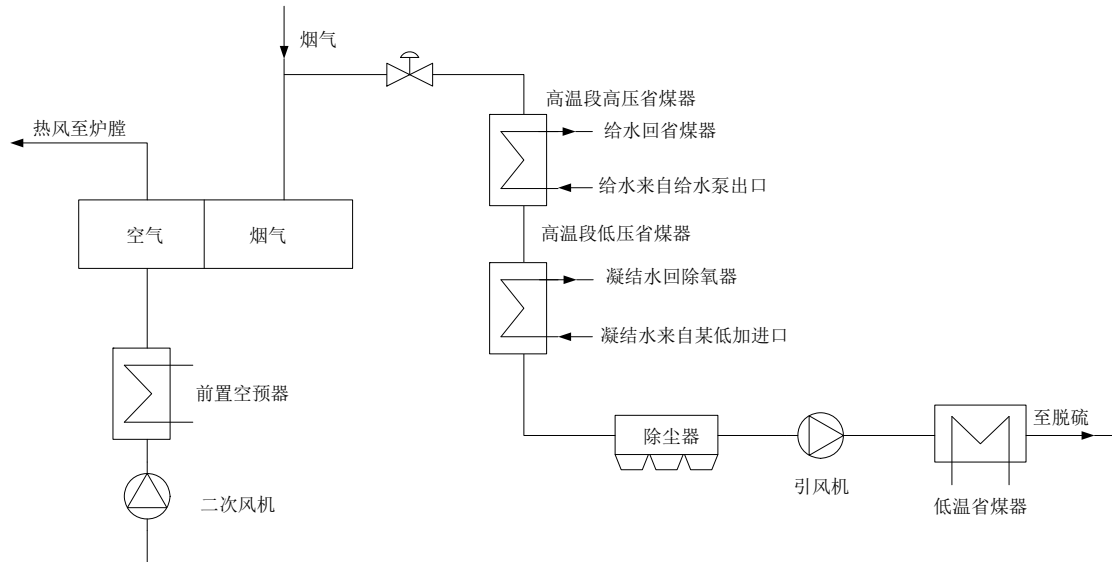


图 3 旁路烟气换热系统

Fig. 3 Bypass flue gas heat exchange system

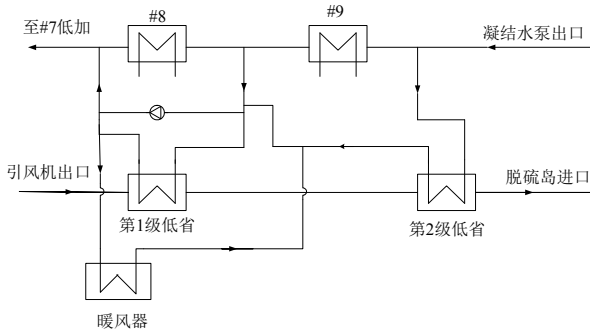


图 4 低温段低温省煤器和暖风器系统

Fig. 4 Low temperature economizer and air pre-heater system

3 综合比较与分析

通过比较 3 种设置方案对相关系统及设备(锅炉本体、汽轮机、送引风机、空气器预热器,一次风机、电除尘等)的主要影响,采用热力平衡及等效焓降法对热力系统进行能效分析,综合考虑投资成本及后期运营费用,采用设置 2 级低温省煤器方案。工程设计煤种含硫量和含灰量较高,且燃煤灰成分中 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 的含量较高,属磨损性严重的煤种。除尘是烟气处理中不可缺少的环节,一旦除尘器因堵灰、结焦、进水以及腐蚀严重需要检修就可能影响整个机组的运行,严重危及

电力系统的安全可靠运行,从安全角度推荐前置低温省煤器在电除尘后方案,见图 2。

4 结论

由于我国燃煤种类较多,煤质的稳定性较差,对于需要进行尾部烟气余热回收的现役机组,可以采用低温省煤器、低温烟气处理技术或前置式空预器与低温省煤器的组合系统对烟气余热进行回收,但必须综合考虑总体布置、燃煤质量、机组运行水平、改造工程量、投资及收益等因素。对于新建机组,则可采用低温烟气处理技术、前置式空预器与低温省煤器的组合系统或新型电站锅炉余热利用综合优化系统。机组的设计阶段,应综合考虑燃煤条件、机组运行参数、投资与收益等因素,在实现烟气余热回收的同时,提高机组的热效率,减少粉尘、 SO_x 等污染物的排放。

参考文献

- [1] 王学栋, 仲昭伟, 董洋, 等. 多变量因素下的锅炉低压省煤器节能效果测试与分析[J]. 发电技术, 2018, 39(2): 140-145.
- [2] 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(1): 75-80.
- [3] Jung H C, Krumdieck S, Vranjes T. Feasibility assessment of refinery waste heat-to-power conversion using an organic Rankine cycle[J]. Energy Conversion and Management, 2014, 77: 396-407.
- [4] 刘传玲, 柳明辉, 陈振江, 等. 投运低压省煤器后汽轮机背压变化分析[J]. 发电技术, 2018, 39(4): 378-381.
- [5] 孙飞, 刘焯, 魏高升, 等. 火电厂螺杆式空压机余热利用方案及经济性分析[J]. 发电技术, 2018, 39(3): 240-243.
- [6] 龙辉, 黄晶晶. “十三五”燃煤发电设计技术发展方向分析[J]. 发电技术, 2018, 39(1): 13-17.
- [7] 潘雷彬, 周振峰, 陈燕珍等. 汽水热交换器用于低温烟气热回收的节能性研究[J]. 发电与空调, 2015, 36(4): 56-60.
- [8] Hung T C, Shai T Y, Wang S K. A review of organic rankine cycles (ORCs) for the recovery of low-grade waste heat[J]. Energy, 1997, 22 (7): 661-667.
- [9] 陈大为, 吴红峰. 两种余热利用系统性能对比分析[J]. 发电与空调, 2015, 36(6): 14-18.
- [10] 罗晴. 燃煤电厂烟气低温余热回收利用研究[J]. 热能动力工程, 2017, 32(8): 1-4.
- [11] 刘彤, 李君, 徐钢, 等. 锅炉前置式空气预热器综合分析 with 优选[J]. 华东电力, 2013, 41(8): 1755-1759.
- [12] 安恩科, 马健越. 加装低压省煤器对汽轮机相对内效率的影响[J]. 同济大学学报, 2010, 38(10): 1492-1500.
- [13] 刘传玲, 柳明辉, 陈振江等. 投运低压省煤器后汽轮机背压变化分析[J]. 发电技术, 2018, 39(4): 378-381.
- [14] 张俊锋. 煤矿烟气余热回收利用技术研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2012.
- [15] 朱建国. 新疆某电厂#1 机组排烟余热回收系统的设计与运行[J]. 发电与空调, 2014, 35(4): 14-17.

收稿日期: 2018-11-18。

作者简介:



王秀红

王秀红(1976), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为热力系统优化与节能, weisean@163.com。

(责任编辑 车德竞)