

超超临界机组邻炉蒸汽加热系统优化研究

邹罗明

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 文章以江西大唐抚州电厂 $2 \times 1\,000$ MW 工程为例, 对超超临界锅炉设置邻炉蒸汽加热系统进行了研究。针对本工程的热态清洗温度, 推荐采用一级邻炉蒸汽加热系统, 即在除氧器中利用邻炉蒸汽直接将给水加热到锅炉热态清洗温度, 实现本台炉不点火的情况下完成锅炉本体的热态清洗。该系统可节约锅炉启动过程中的燃料量, 具有较大的节能效果及经济效益。设置邻炉蒸汽加热系统后, 两台机组 20 年折现综合收益为 1 404 万元。

关键词: 超超临界锅炉; 直流炉; 邻炉加热; 优化研究

中图分类号: TM621

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)02-0127-04

Optimization Research on Adjacent Boiler Heating System of Ultra Supercritical Unit

ZOU Luoming

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: In this paper adjacent boiler heating system of Jiangxi Datang Fuzhou $2 \times 1\,000$ MW ultra supercritical unit has been studied. In consideration of the hot washing temperature of the project, one stage adjacent boiler heating system was adopted. Boiler feed-water was directly heated to hot washing temperature in deaerator by adjacent boiler auxiliary steam. In the whole process of hot washing of boiler, the boiler was not ignited. It can save a mount of fuel in the boiler startup process, with great energy savings and economic benefits. After adopting one stage adjacent boiler heating system, two units' discount comprehensive income of 20 years can reach up to 14.04 million yuan.

Key words: ultra supercritical boiler; once-through boiler; adjacent boiler heating system; optimization study

江西大唐抚州工程建设 $2 \times 1\,000$ MW 超超临界机组, 三大主机都采用东方电气集团产品。锅炉为超超临界、一次再热、直流 II 型锅炉。BMCR 工况下出口参数为 $27.46 \text{ MPa (g)}/600^\circ\text{C}/600^\circ\text{C}$ 。锅炉启动系统为带再循环泵的启动系统。

由于超超临界直流锅炉对汽水的品质要求较高, 首次点火或停运较长时间的机组启动时需要将锅炉本体水系统换热面进行冷、热态清洗, 目的是将沉积在给水管道系统和换热面上附着的氧化皮等杂质清洗干净, 保证锅炉受热面内表面清洁。

在锅炉冷、热态清洗过程中, 锅炉清洗对水温有一定的要求, 特别是锅炉热态清洗时, 需要锅炉点火启动加热清洗水, 由于该过程持续时间较长, 需耗费大量燃油和燃煤。为节约锅炉启动点火燃油消耗, 目前国内很多工程已经考虑采用等离子点火、微油点火等点火方式降低燃油耗量, 即便如此, 由于等离子点火或微油点火阶段煤粉燃燃度较低, 燃煤耗量也不少, 因此启动阶段仍需消耗不少的燃油和燃煤。

为了最大程度节约锅炉冷、热态清洗过程中的燃油和燃煤, 有必要设置新型的锅炉冷、热态清洗系统, 即邻炉蒸汽加热系统。

邻炉蒸汽加热系统实质上是利用邻炉的蒸汽(包括辅助蒸汽、抽汽, 冷再热蒸汽等)来加热本机的给水, 使本机的给水温度达到一定值, 对本机锅

收稿日期: 2015-04-07

作者简介: 邹罗明(1985), 男, 江西临川人, 高级工程师, 硕士, 主要从事大型火力发电厂热机设计(e-mail) zouluoming@gedi.com.cn。

炉进行冷、热态清洗,从而可实现本台锅炉在不点火的情况下可完成锅炉的冷热态清洗。这样可减少本台锅炉启动时燃油和燃煤的消耗量,也可减少锅炉主要辅机的耗电量,降低锅炉启动成本。邻炉蒸汽加热系统早年较多运用在小容量机组中^[1-4],特别是亚临界机组,往往在锅炉底部设置加热集箱系统,汽源来自邻炉的汽包或辅汽系统,而对于超(超)临界机组,由于炉水循环泵运行安全性的考虑,往往未设计有底部集箱蒸汽加热系统。

近年来在超超临界大型机组中邻炉蒸汽加热系统也越来越受关注^[5-9],与亚临界机组不同的是,超超临界机组的邻炉加热系统往往都是在外部系统(除氧器或高压加热器)中实现的,而不是在锅炉底部加热集箱系统中实现。

1 锅炉冷热态清洗技术比较

从上面论述可以看出,锅炉冷、热态清洗时,既可通过本台炉点火来加热给水,清洗锅炉本体,也可利用邻炉蒸汽加热系统来完成,邻炉蒸汽加热系统可在除氧器、高加或者锅炉底部集箱中完成,表1为几种锅炉冷、热态清洗方式优缺点比较。

从表1中可以看出,对于超超临界机组,锅炉冷热态清洗可通过本台锅炉点火直接加热实现,也可通过邻炉蒸汽加热系统实现。相对于本台锅炉点火方式,邻炉蒸汽加热系统可减少本台锅炉启动时燃料消耗量,也可减少本台锅炉辅机的耗电量,但是会增加系统投资及邻机的厂用蒸汽消耗,因此,对于超超临界机组,是否设置邻炉蒸汽加热系统、设置何种邻炉蒸汽加热系统应该根据工程特点、综合经济技术比较后确定。

2 邻炉蒸汽加热系统分类

锅炉热态清洗时,为保证锅炉沉积物浓度最大,达到最好的清洗效果,对省煤器入口或水冷壁

出口的给水温度(锅炉热态清洗温度)都有具体的要求。对于大多数超超临界锅炉,锅炉热态清洗温度要求在180~190℃之间,也有一些锅炉(如外高桥三期)要求的热态清洗温度较高,达到280℃^[10]。锅炉热态清洗温度要求不同时,邻炉蒸汽加热系统设置方式也不同。一般来说,根据锅炉热态清洗温度不同要求,邻炉蒸汽加热系统可分为一级邻炉蒸汽加热系统和二级邻炉蒸汽加热系统。

2.1 一级邻炉蒸汽加热系统

如果锅炉热态清洗温度要求较低,低于除氧器设计压力下对应的饱和温度。此时,可利用邻机的加热蒸汽在本机除氧器内直接将给水加热到热态清洗温度,即一级邻炉蒸汽加热系统,如图1所示。

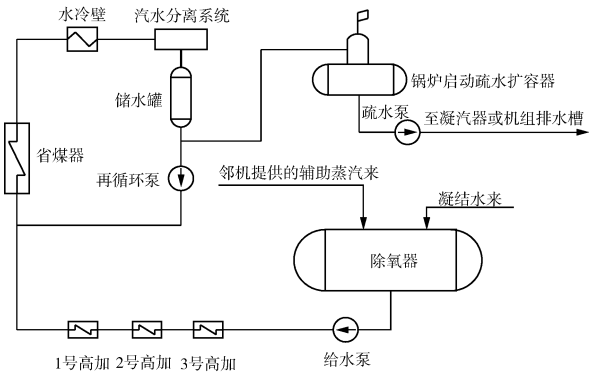


图1 一级邻炉蒸汽加热系统图

Fig. 1 One Stage Adjacent Boiler Heating System

2.2 二级邻炉蒸汽加热系统

如果锅炉热态清洗温度要求较高,受除氧器加热水温能力限制,需高压加热器参与系统加热,才能满足锅炉热态清洗要求。即给水先在除氧器中利用邻炉的辅助蒸汽进行一级加热,再利用邻炉的再热冷段蒸汽在高压加热器系统进行二级加热继续提升温度,达到锅炉热态清洗温度,此系统为二级邻炉蒸汽加热系统。二级邻炉蒸汽加热系统不但需设计邻炉辅助蒸汽加热除氧器的系统,而且需要增设

表1 锅炉冷热态清洗技术比较

Table 1 Comparison of Cold and Hot Wash Means

方法	适用机组	来源	加热范围	本台锅炉辅机耗电量	加热温度	节能水平
本台锅炉点火直接加热	超临界、亚临界	本台炉	范围较广,可包括炉膛、水冷壁等	需要	较高	一般
锅炉底部集箱加热	亚临界	邻炉蒸汽	范围有局限性,仅包括炉膛	无需	较高	较好
高压加热器加热	超临界、亚临界	邻炉蒸汽	范围较广,可包括炉膛、水冷壁等,	无需	较高	较好
除氧器中加热	超临界、亚临界	邻炉蒸汽	范围较广,可包括炉膛、水冷壁等	无需	受限	较好

邻炉再热冷段蒸汽加热高压加热器的系统,如图2所示。

一级邻炉蒸汽加热系统可以利用原有的辅汽母管进行设计,系统改造相对较小,投资也较少,但是由于除氧器的设计压力限制,给水在除氧器中加热的温度有限。二级邻炉蒸汽加热系统相对较复杂,且对原有系统改造很大,并且在启动初期高压加热器中给水与疏水温差相差较大,对高压加热器设计、制造及运行提出了更高的要求,但是二级邻炉蒸汽加热系统能够把给水加热到较高温度,满足部分锅炉热态清洗的特殊要求。具体工程设置何种邻炉蒸汽加热系统,主要根据锅炉热态清洗温度、邻机提供的辅助蒸汽能力等因素而定。

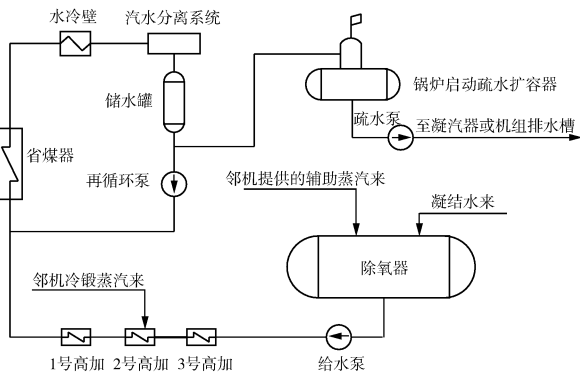


图2 二级邻炉蒸汽加热系统图

Fig. 2 Two Stage Adjacent Boiler Heating System

3 抚州工程邻炉蒸汽加热方案及核算

3.1 抚州工程邻炉蒸汽加热系统方案选择

抚州工程锅炉厂要求的热态清洗水温约 $180 \sim 190 \text{ }^{\circ}\text{C}$,按 $190 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 考虑,对应温度的饱和压力为 1.255 MPa ,低于本工程除氧器设计压力 1.47 MPa (g)。因此,可采用一级邻炉蒸汽加热系统,但需对邻炉提供的辅助蒸汽量能力进行核算。

3.2 邻炉提供的辅助蒸汽能力核算

热态清洗时,通过省煤器和炉膛水冷壁的流量要求 $25\% \text{ BMCR}$,其中再循环泵流量维持在 $20\% \text{ BMCR}$ 左右,从除氧器至省煤器入口补水量保持在 $5\% \text{ BMCR}$ 左右,考虑适度裕量后,从除氧器至省煤器入口最大补水量按 $8\% \text{ BMCR}$ 考虑。

因此,在除氧器内需要将 $8\% \text{ BMCR}$ (212 t/h)流量的给水由常温 $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 加热到 $180 \sim 190 \text{ }^{\circ}\text{C}$,此时需要邻机提供的加热蒸汽量如下:

1)如由邻机四抽供汽时,THA工况下四抽蒸汽参数为 1.035 MPa , $396.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$,考虑管道的压降及温降后(按 10% 压降, $3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 温降考虑),此时所需蒸汽量 72 t/h 。

2)如由邻机冷段经辅汽系统供汽时,冷段蒸汽经调节阀后的参数为 1.255 MPa , $309 \text{ }^{\circ}\text{C}$,考虑管道的压降及温降后(按 10% 压降, $3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 温降考虑),此时所需蒸汽量 78 t/h 。

因此本工程邻炉蒸汽加热系统需要邻机提供的最大蒸汽量为 78 t/h ,再加上启动时小机用汽和轴封系统等必需蒸汽量,启动期间需要从邻机来汽总量不超过 100 t/h 。

经过与汽轮机厂核实,邻机汽轮机在满发的前提下,能提供的最大抽汽量为 100 t/h ,具备提供邻炉加热所用蒸汽的抽汽能力。

综上所述,经过核算,本工程可采用一级邻炉蒸汽加热系统。

4 邻炉蒸汽加热系统经济性分析

根据上面的论述,理论上可采用一级邻炉蒸汽加热系统来实现本工程的锅炉热态清洗,但是设置邻炉蒸汽加热系统后,需对现有辅助蒸汽系统进行改造,会增加相应的投资,因此是否设置邻炉蒸汽加热系统,应综合经济性比较后确定。

4.1 初投资比较

一级邻炉蒸汽加热系统可以利用已有的辅助蒸汽和除氧器启动加热蒸汽系统进行设计,不过设置邻炉蒸汽加热系统后,辅汽母管及辅汽至除氧器的加热蒸汽量增大,原有管径需放大,相应的管道及阀门投资增加,增加的投资见下表(两台机组):

表2 邻炉蒸汽加热系统初投资增加情况

Table 2 Investment Comparison

系统	部件	原规格 /mm	现规格 /mm	投资差 额/万元	备注
管道 部分	辅汽联 络母管	OD426x10	OD480x12	+5.5	按220 m 长度
	辅汽至除 氧器管	OD325x7.5	OD457x11	+3.5	按80 m 长度
阀门 部分	进口阀门	2xDN300	2xDN450	+30	调节阀

注:原规格为不设置邻炉蒸汽加热系统时规格,现规格为设置邻炉蒸汽加热系统后规格。

从表2可以看出,相对于原系统,设置一级邻

炉蒸汽加热系统后, 两台机组的初投资增加约 39 万元。

4.2 运行费用比较

4.2.1 不设置邻炉蒸汽加热系统时

不设置邻炉蒸汽加热系统时, 由于辅助蒸汽量的限制, 除氧器无法将给水加热到热态清洗温度, 因此锅炉热态清洗时本炉需要点火启动, 通过控制燃料量, 加热给水, 使水冷壁出口的给水温度达到热态清洗温度。

本工程锅炉采用等离子点火技术, 启动点火到 30% BMCR 负荷期间的平均耗煤量约 63.95 t/h, 热态清洗过程中煤耗稍低, 可按 35 t/h 考虑, 热态清洗时间为 16.5 h, 则热态清洗期间设计煤种耗量约 577.5 t, 设计煤种低位发热量为 20.153 MJ/kg, 折合标准煤为 397 t, 标煤价按 1 150 元/t 计算, 则热态清洗期间产生的燃料费为: $(397 \text{ t} \times 0.115 \text{ 万元/t}) = 45.7 \text{ 万元}$ 。

此外, 锅炉点火前, 三大风机均已投用, 锅炉点火时等离子装置投用, 启动期间辅机总功率按 5 000 kW 考虑, 假设提前 1 h 开始投入使用, 估算从锅炉启动点火至热态清洗完毕过程中辅机总耗电量为: $5\,000 \text{ kW} \times 17.5 \text{ h} = 87\,500 \text{ kWh}$ 。

本工程发电成本按 0.307 元/kWh 考虑, 则辅机总耗电费用为: $0.307 \text{ 元/kWh} \times 87\,500 \text{ kWh} / 10\,000 = 2.7 \text{ 万元}$ 。

综上, 不设置邻炉蒸汽加热系统时, 每台锅炉每次热态清洗产生的运行费用为: $45.7 \text{ 万元} + 2.7 \text{ 万元} = 48.4 \text{ 万元}$ 。

4.2.2 设置邻炉蒸汽加热系统时

设置邻炉蒸汽加热系统后, 热态清洗期间本台锅炉不点火, 不需要消耗燃料, 且锅炉辅机也不需要开启, 辅机不需耗费电量, 但是需要从邻机提供一定量的加热蒸汽, 加热蒸汽消耗总量约 1 287 t。折算为供热量约为 3 943 GJ, 相当于约 135 t 的标准煤。热态清洗间蒸汽费用: $135 \text{ t} \times 0.115 \text{ 万/t} = 15.5 \text{ 万元}$ 。

4.2.3 设置邻炉蒸汽加热系统的运行费用差别

热态清洗过程中, 设置邻炉蒸汽加热系统后, 锅炉每启动一次, 运行费用相差如下: $48.4 \text{ 万元} - 15.5 \text{ 万元} = 32.9 \text{ 万元}$ 。

4.3 经济性比较

综合考虑初投资及运行费用后, 设置一级邻炉

蒸汽加热系统与不设置邻炉蒸汽加热系统总费用比较如表 3。

从表 3 可以看出, 设置一级邻炉蒸汽加热系统后, 两台机组初投资增加约 39 万, 但是每台锅炉每启动一次节约启动费用 32.9 万元, 若按每年每台锅炉启动 2 次计算, 两台机组每年可节约启动费用 131.6 万, 回收时间短, 20 年经济运行期间两台机组折现综合收益为 1 404 万元。

表 3 邻炉蒸汽加热系统经济性比较

Table 3 Comprehensive Comparison /万元			
比较项目	方案一	方案二	备注
初投资	基数	+39	两台机组
单次启动费用	基数	-32.9	每台锅炉启动 1 次
年运行费用差别	基数	-131.6	每年每台锅炉启动 2 次
20 年折现收益	基数	+1 404	两台机组

注: (1) 方案一为不设置邻炉蒸汽加热系统方案; 方案二为设置邻炉蒸汽加热系统方案; (2) 20 年折现系数按 10.97。

5 结论

对于江西大唐抚州电厂 $2 \times 1\,000 \text{ MW}$ 工程, 锅炉热态清洗温度要求较低, 可采用一级邻炉蒸汽加热系统, 一级邻炉蒸汽加热系统仅需对原辅汽系统进行较小的设计改动, 即可实现在本台炉不点火的情况下, 完成锅炉的冷、热态清洗。据测算, 设置一级邻炉蒸汽加热系统后, 两台机组初投资增加约 39 万, 但是两台机组每年可节约启动费用约 131.6 万, 20 年两台机组折现综合收益为 1 404 万元, 经济效益好。

参考文献:

- [1] 孟建国. 亚临界控制循环锅炉邻炉底部蒸汽加热改造方案的研究与实施 [J]. 华北电力技术, 2012, 12(6): 48-51.
MENG Jianguo. Investigation and Execution of Modification of Adjacent Boiler Bottom Heating System of Sub-critical Controlled Circulation Boiler [J]. North China Electric Power, 2012, 12(6): 48-51.
- [2] 徐雪峰, 李旭喆, 王宝全. 邻炉热风加热与下联箱加热对比分析 [J]. 黑龙江电力, 2003, 25(2): 132-135.
XU Xuefeng, LI Xuzhe, WANG Baoquan. Comparative Analysis of Heating by Hot Air from Neighbouring Boiler and Heating by Lower Luterconnecting Box Heating System [J]. Heilongjiang Electric Power, 2003, 25(2): 132-135.

(上转第 20 页 Continued on Page 20)

施减弱噪声对环境的影响,也可采取隔声、吸声、消声等噪声控制措施。对运行时产生振动的电气设备和大型通风设备宜设置减振技术措施。

3 结论

鉴于国内城市户内变电站大量的建设,根据国家能源局要求,北京电力经济技术研究院主编、上海电力设计院有限公司和广东省电力设计研究院参编制订了《35 kV~110 kV 户内变电站设计规程》(DL/T 5495—2015)、《220 kV~500 kV 户内变电站设计规程》(DL/T 5496—2015),总结了国内户内变电站的设计经验,并借鉴国外的实践,提出了建设户内变电站在站址选择、站区布置、电气接线、土建设计、节能与环境保护等方面的技术特点及发展趋势。

城市户内变电站在设备户内化的基础上,采用户内小型化、组合型设备,立体化布置设计,进出线采用地下电缆,做到智能化、空间化、绿色化、协调型,解决了城市节地与环境协调问题,减少了输变电设施对城市土地的占用,提高了土地资源利用率,必将在城市的建设和发展中发挥越来越重要的作用。

参考文献:

- [1] DL/T 5495—2015, 35 kV~110 kV 户内变电站设计规程[S].
- [2] DL/T 5496—2015, 220 kV~500 kV 户内变电站设计规程[S].
- [3] 刘振亚. 国家电网公司输变电典型设计—220 kV 变电站分册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [4] XIA Quan, ZHANG Anlin. Review on the Construction of Underground Substation in China [C]. The 5th International Conference on Power Transmission and Distribution Technology, Beijing, 2005: 892-896.
- [5] XIA Quan. New Practice of Beijing Transmission & Substation Design [C]. The 6th International Conference on Power Transmission and Distribution Technology, Guangzhou, 2007.
- [6] 刘振亚. 国家电网公司输变电典型设计—110 kV 变电站分册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [7] 夏泉, 李树恩. 《35~220 kV 地下变电站设计规定》主要技术特点[J]. 电气应用, 2009, 28(29): 34-37.
- [8] 蓝毓俊. 现代城市电网规划设计与建设改造[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [9] 住房与城乡建设部. 关于印发《绿色工业建筑评价导则》的通知[L]. 建科[2010]131号.

(责任编辑 林希平)

(下接第 130 页 Continued from Page 130)

- [3] 胡兰还, 杨宝林. 锅炉炉底部加热系统改造[J]. 河北电力技术, 2004, 23(2): 16-18.
HU LanHuan, YANG Baolin. Modification of Adjacent Boiler Bottom Heating System [J]. Hebei Electric Power, 2004, 23(2): 16-18.
- [4] 韩志成, 陈丽, 杨凯. 锅炉底部加热系统改造与应用[J]. 电力建设, 2009, 30(6): 32-18.
HAN Zhicheng, CHEN Li, YANG Kai. Modification and Execution of Boiler Bottom Heating System [J]. Electric Power Construction, 2009, 30(6): 32-18.
- [5] 夏静. 600 MW 超临界机组邻机加热启动技术[J]. 电力安全技术, 2014, 16(7): 15-17.
XIA Jing. Adjacent Boiler Heating System of 600 MW Supercritical Unit [J]. Electric Power Safe Technology, 2014, 16(7): 15-17.
- [6] 焦体华. 邻机蒸汽加热系统在 1 000 MW 锅炉应用的可行性[J]. 城市建设理论研究, 2012, 10(29): 100-102.
JIAO Tihua. Feasibility Study of Adjacent Boiler Heating System on 1 000 MW Type Bolier [J]. Urban Construction Theory Research, 2012, 10(29): 100-102.
- [7] 郝云冯, 廖晶杰. 邻机加热系统改造[J]. 热电技术, 2014,

9(1): 36-38.

- HAO Yunfeng, LIAO Jingjie. Modification of Adjacent Boiler Heating System [J]. Heat and Electric Power Technology, 2014, 9(1): 36-38.
- [8] 郑文广, 司顺勇, 朱良松, 等. 1 000 MW 机组启停节油技术研究[J]. 中国电力, 2014, 47(4): 38-42.
ZHENG Wenguang, SI Shun Yong, ZHU Liangsong, et al. Investigation of Saving Oil Measure of 1 000 MW Units' Start up [J]. Electric Power, 2014, 47(4): 38-42.
- [9] 邢希东, 马成伟, 吴宝忠. 大容量火电机组启停过程中节能措施[J]. 热电技术, 2011, 13(1): 21-25.
XING Xidong, MA Chengwei, WU Baozhong. Saving Energy Measurers in the Process of Large Capacity Thermal Power Units [J]. Heat and Electric Power Technology, 2011, 13(1): 21-25.
- [10] 冯伟忠. 外高桥三期工程 1 000 MW 超超临界机组调试期的节能减排与技术创新[J]. 华东电力, 2008, 36(6): 1-5.
FENG Weizhong. Technical Innovation of Energy-Saving and Emission-Reducing during Debugging of 1 000 MW Ultra-supercritical Units of Waigaoqiao III-stage Engineering Project [J]. East China Electric Power, 2008, 36(6): 1-5.

(责任编辑 郑文棠)