

煤化工厂电站循环流化床锅炉运行调整

及节能减排经济性分析

吕 涛 (中煤陕西能源化工集团有限公司, 陕西 榆林 719000)

摘要: 本文主要介绍煤化工厂电站采用的循环流化床锅炉的基本原理、主要系统流程、生产运行调整方法、节能减排措施。结合中煤陕西能源化工集团有限公司榆横煤化工项目一期由东方锅炉厂生产的4台480t/h高温高压循环流化床锅炉, 分析了锅炉设备在生产过程中的调整策略, 对整个煤化工厂系统运行中可实施的节能减排措施进行分析探讨, 对煤化工厂蒸汽平衡、余热回收、湿煤泥掺烧综合利用, 以及循环流化床CFB锅炉的安全、稳定、经济运行具有一定的指导意义。

关键词: 循环流化床锅炉; 运行调整; 节能减排

1 前言

煤化工行业作为煤炭资源深度利用的重要途径, 近年来在全球能源结构调整和环保要求提高的背景下, 面临着转型升级的压力。煤制油、煤制气、煤制化学品等技术的不断发展, 旨在提高煤炭资源的附加值和能源效率, 减少环境污染。在未来的经济发展进程中, 煤化工行业将更加注重清洁化和循环经济。清洁化方面, 通过碳捕捉、利用与封存(CCUS)、高效煤化工技术, 减少温室气体排放, 提高能源转化效率。循环经济方面, 推动煤化工与农业、化工、建材等产业的耦合发展, 实现资源的循环利用和产业链的延伸。

煤化工厂通常需要大量的蒸汽热源, 一部分用来加热, 例如在反应器中加热化学物料, 或者在蒸馏和干燥等单元操作中提供热量; 另一部分蒸汽被用来驱动机械设备, 以提供动力, 如电站汽轮发电机, 甲醇装置压缩机等。蒸汽锅炉就是把水加热到一定参数并生产高温、高压蒸汽的工业锅炉。随着煤化工行业的快速发展, 结合安全、环保、生产工艺的要求, 对燃煤蒸汽锅炉的选型越来越重要, 循环流化床锅炉是近二十年发展起来的一种高效、低污染清洁燃烧技术, 其具有燃烧效率高、煤种适应性广、负荷调整范围大、灰渣可综合利用等优点, 因此, 在国内煤化工企业中达到广泛应用。

2 循环流化床锅炉的概况

2.1 循环流化床锅炉的基本原理

循环流化床(CFB)锅炉是将燃料煤通过输煤皮带送入锅炉炉膛后, 与炉膛内原有的大量高温物料充分混合, 迅速着火燃烧。同时, 从风管道携带送入脱

硫剂(石灰石), 脱硫剂在炉内发生脱硫反应, 并在高速上升的烟气流作用下向炉膛上部运动, 此时整个高温烟气对炉膛水冷壁和炉内布置的其他换热面放热, 产生高温蒸汽。锅炉炉膛内没有完全烧尽的煤颗粒、石灰石颗粒等气固混合物进入高温旋风分离器, 被分离出来的颗粒再次回送至炉膛, 进行循环脱硫燃烧。没有被分离出来的细小颗粒随烟气一起进入尾部竖井烟道, 对布置在尾部竖井烟道内的蒸汽换热面、空气预热器等放热冷却, 经布置在锅炉烟道后面的布袋除尘系统后, 经过引风机抽引送入烟囱排入环境。

2.2 循环流化床锅炉的主要流程介绍

2.2.1 风烟系统流程

循环流化床锅炉内物料的循环是靠送风机和引风机提供的动能来启动和维持的。从一次风机出来经空气预热器加热后的热风进入炉膛底部的水冷风室, 通过布置在布风板上的风帽进入炉膛使床料流化。炉膛内床料在一次风的快速流化作用下较粗颗粒在炉内形成内循环, 烟气及其携带的较细颗粒进入旋风分离器, 在分离器里大部分物料颗粒被分离出来, 返回炉膛再燃烧。剩余细颗粒随烟气通过分离器中心筒引出, 经尾部竖井烟道, 将热量传递给受热面, 将粉尘分离收集后的烟气排向环境大气。

2.2.2 汽水系统流程

锅炉汽水系统回路包括尾部省煤器、汽包、水冷系统、旋风分离器进口烟道、旋风分离器、包覆墙过热器、低温过热器、中温过热器、高温过热器及连接管道。

2.2.3 给料系统流程

锅炉给料系统采用前墙集中布置, 炉前布置有六

个给煤口，在炉前#1、#2、#5、#6下二次风管接有四个石灰石给料口，通过此口可将粉沫状石灰石注入燃烧室，石灰石流量根据燃煤量和锅炉尾部SO₂含量大小通过调节旋转给料机转速来实现。

2.2.4 排渣系统流程

锅炉燃料煤燃烧后的炉渣颗粒，可通过炉膛下部后墙设有的四个排渣口排出，运行中通过控制滚筒冷渣器的转速来控制排渣量的大小，使锅炉床层压降维持在合理范围以内，以保证锅炉良好的运行状态。

2.2.5 脱硫除尘系统流程

从锅炉的空气预热器出来的烟气温度一般为120~140℃左右，从底部进入脱硫岛吸收塔，然后烟气通过吸收塔底部的文丘里管加速，进入循环流化床体，气固两相物料由于气流的作用，产生激烈的湍动与混合，充分接触实现烟气脱硫。

3 运行调整优化

3.1 锅炉控制系统

①锅炉主控系统：锅炉主控设计为控制锅炉主蒸汽压力，锅炉主控的输出作为燃料控制的设定值。

②燃料控制系统：锅炉主控系统输出信号即为总燃料指令，燃料控制器接受该总燃料指令和总燃料量的偏差，调节给煤量来满足锅炉燃烧的要求。

③风量控制系统：总燃料量和总燃料量指令取大值后经函数转换后作为总风量指令。总风量指令再经过函数转换后分别得到一次风量和二次风量指令。其中，一次风量保证物料流化，二次风系统以控制氧量为主要目标。一次、二次风量调节系统均可通过风机变频调速装置或者风机入口挡板来实现风量的变化。

④给水控制系统：通过锅炉给水调节阀，以及给水泵液耦勺管来进行汽包水位调节。

⑤主蒸汽温度调节系统：采用两级控制回路，一级减温水控制中温过热器出口蒸汽温度，二级减温水控制高温过热器出口集箱蒸汽温度。

⑥锅炉床压控制系统：通过控制锅炉冷渣器变频调速装置来保证床压在要求值。

⑦石灰石流量控制系统：通过控制石灰石调频给料机转速来调整脱硫剂（石灰石）的投入量。

3.2 锅炉负荷的调整

在正常的生产运行中，锅炉负荷的调节主要是通过给煤量的增减，再调整与之相适应的风量，调整过程中，一般控制床温在850℃~910℃左右。当需要增加负荷时，应先增加风量、再增加给煤量，按少量

多次的方式交替进行调整，以避免锅炉床温产生大幅度波动。同时，应适当减少排渣量，以提高床压进而提高锅炉蓄热量，根据运行经验，我厂料层差压一般应控制在7~9kPa左右，锅炉水冷风室压力控制在12.5~13.5kPa较为合适。其次，监视锅炉主蒸汽温度的变化，及时调整减温水量，使主蒸汽温度在要求范围之内。随着锅炉负荷的增加，排放的二氧化硫、氮氧化物也随之增多，此时应根据排放量的变化，适当增加进入炉膛的脱硫剂量和脱硝剂量。锅炉降负荷时，与之相反。

3.3 锅炉床层温度的调整控制

①额定负荷时锅炉床层温度的设计值为890℃，考虑负荷的变化及其他方面的要求，应将床层温度控制在850~910℃之间，若床温超过该范围，必须及时进行调整。

②床温高至990℃，延时60秒触发MFT保护动作。床温低于500℃，如果没有启动油枪投入时，触发MFT动作，防止造成高温结焦或低温结焦。

③改变一、二次风量的比率可以调节锅炉床层温度。

④增加床料量或石灰石量，以提高物料的循环量，可降低床温。增大排渣量，床压下降，

物料量减小，将使床温升高。

⑤床料平均粒度过大，相对而言，能够参与锅炉内循环和外循环的“可用”物料减小，将会使锅炉在较高的床温下运行。增大排渣量，排除较大粒径的床料，通过加料系统加入合格的床料，或通过石灰石系统加入符合设计要求的石灰石以替换原来粒度不合格床料，使床温恢复正常。

⑥改变密相区的燃烧份额可以达到控制床温的目的。

⑦经常监视炉膛内部温度以及炉膛出口烟温，对床温的监控能起到辅助作用。

3.4 锅炉主蒸汽温度的调整

①锅炉过热器出口温度正常维持在530~538℃。注意压力变化对汽温的影响，给水压力对减温水量的影响，掌握其规律，做到有预见性的调整。

②主汽温度主要采用减温水进行调整，一级减温水应经常投入并用于粗调，改变汽温较大的扰动，二级减温水主要用于细调，改变汽温较小的波动。

③调节汽温时，两级减温水应配合使用，并尽量投入“自动”控制运行，经常检查其调节灵敏度，手

动调节时，喷水量要均匀，不宜猛开猛关，防止汽温变化过大造成蒸汽带水。

④全面分析引起汽温变化的原因，综合进行汽温的调整，除依靠喷水减温器调整汽温外，还可通过改变床料量、调节一、二次风比率、调节氧量及受热面吹灰次数等调节汽温。

⑤汽温调整过程中，应严格控制过热器各管段壁温在允许范围内。

⑥运行调整中，应监视减温水量及减温器前、后的蒸汽温度，确保减温后的汽温要高于汽包压力下的饱和温度10℃。出现异常情况汽温波动较大时，应及时解除减温水自动控制，手动调节减温水，防止自动调节迟缓大，造成主汽温大幅度波动。

4 节能减排经济性分析

节能减排是我国当前的一项基本国策，煤化工企业不仅消耗大量的煤炭资源，还给环境造成较大的污染。因此，节能减排是生产过程必须坚持的一项原则，要求各能源企业在生产过程中不断改革创新，加强用能管理，采取技术上可行、经济上合理以及安全环保的措施，从能源生产到消费的各个环节，节约能源、降低能源消耗、减少污染物排放。

4.1 全厂蒸汽平衡，合理利用各压力等级蒸汽

煤化工厂区的蒸汽系统是一个庞大的系统管网，蒸汽压力等级有9.8MPa、4.1MPa、1.73MPa、1.1MPa、0.48MPa，合理统筹利用各等级蒸汽，对优化蒸汽平衡，节能降耗具有较大意义，因此，我厂经过周密部署安排，全面统计各等级蒸汽用户用量大小，采取不同时段、不同工况，灵活调整，优化使用蒸汽方式，减少能耗。将化工甲醇装置合成塔副产的1.73MPa蒸汽引入电站汽轮机装置的#3高压加热器，用来加热锅炉给水温度，正常工况下回收蒸汽大约30t/h，提高给水温度约5℃左右，减少了原煤的消耗量。经测算，锅炉给水增加焓值21.8KJ/Kg，按我厂某日工况1370t/h蒸汽流量，原煤价格按500元/吨、除盐水按11.52元/吨，标准煤发热量29307KJ/Kg计算，每月节约标煤成本36.69万元（ $21.8 \times 1370 \div 29307 \times 24 \times 30 \times 500 = 36.69$ 万）；节约除盐水成本约24.88万元（ $30t/h \times 24h \times 30 \times 11.52 = 24.88$ 万）。

将化工甲醇装置净化变换装置副产的1.1MPa蒸汽引入电站汽轮机装置的除氧器，用来加热除氧水温度，提高水温约10℃左右，既提高了水温，减少了原煤的消耗量，又保证了凝结水的除氧效果，为

锅炉受热面及给水管道避免氧腐蚀奠定坚实基础。经测算，凝结水增加焓值119.66KJ/Kg，按我厂某日工况110t/h回收蒸汽流量计算，每月节约标准煤成本16.17万元（ $119.66 \times 110 \div 29307 \times 24 \times 30 \times 500 = 16.17$ 万）；节约除盐水成本约91.24万元（ $110t/h \times 24h \times 30 \times 11.52 = 91.24$ 万）。



4.2 余热回收，减少热源损失

由于能源价格的不断上涨，公司产品市场利润空间紧缩，节能降耗、降低企业生产成本成为公司最为紧迫的任务。

我厂电站锅炉汽水系统配备的排污扩容器，在生产过程中产生大量的低压蒸汽向大气环境排放，造成很大的能源损失和浪费。冬季时，排出的蒸汽在排汽口附近冷凝，水滴在厂房外壁上形成冰挂，增加了外墙保温层的承重力，冰挂掉落伤人也是一种很大的安全隐患。因此，将汽轮机装置的凝结水接入新增的乏汽回收装置作为冷却水，定排扩容器排汽管排出的低压蒸汽引入乏汽回收装置中，并与冷却水充分混合凝结，达到乏汽回收的效果，被加热的热水引至凝结水箱，作为锅炉给水循环利用。改造后经过试运行，各参数满足设计要求，既达到了回收热源的效果，又消除了冬季挂冰的安全隐患。按我厂某日最低工况排汽压力0.4MPa，温度113℃，焓值474.19KJ/Kg，排汽量1.0t/h测算，每月节约成本合计1.412万元，半年收回投资成本。

4.3 锅炉掺烧湿煤泥，节约能源，改善环境

循环流化床锅炉具有燃料适应性广的特点，因此掺烧湿煤泥具有显著的技术优势，流程可分为煤泥制备系统、给料系统、其他附属设备及管道。煤化工厂区甲醇气化装置制煤浆过程中产生的煤黑水，通过输送泵、管道送至电站湿煤泥装置，再经过3台真空带式过滤机，实现固液分离，最终产生含水率50%~60%的湿煤泥，通过煤泥膏体泵压缩升压，输送到锅炉炉膛参与燃烧放热。黑水过滤后产生的水通过排液罐，水泵回送至气化研磨水池。

锅炉掺烧气化湿煤泥的技术改造，不仅回收了黑

水中携带的煤含量，避免了能源浪费，同时也解决了之前湿煤泥的大量堆积的问题，节约了固废处理成本，减少了环境污染，改善了生产厂区环境。锅炉掺烧湿煤泥后，各参数均符合技术规程要求，而且，湿煤泥的掺烧还可以降低锅炉床层温度和分离器料腿温度，有利于锅炉高负荷运行。该技术值得各煤化工企业推广使用。经统计，2024年我厂平均每月掺烧湿煤泥13000t，平均发热量2933kJ/kg，折算每月节约标准煤1301t（ $2933 \times 13000 \div 29307 = 1301$ ）。当地工业废渣处理费及运输费约57.6元/吨，合计每月节约成本139.93万元（ $1301 \times 500 + 13000 \times 57.6 = 139.93$ 万）。

5 结论

循环流化床锅炉的运行调整是一个精细化的操作过程。从运行管理方面，加强生产工艺纪律管理，严格控制入炉煤粒径，加上适当的一、二次风配比，不断总结经验，优化运行工况，控制合适的炉膛床层压力，对快速调整锅炉负荷具有重要意义。同时，加强

蒸汽品质的监控，使压力、温度符合技术规程要求，为设备长周期、安全、稳定运行打好基础。

我公司按照东方锅炉厂提供的循环流化床MCS说明书的要求，采用某公司最新的DCS控制系统，对锅炉、汽机主要热力系统、设备进行闭环控制，结合多年来的运行经验，进行了余热回收装置的改造、锅炉掺烧湿煤泥，既保证了运行参数的稳定，满足机组的调节控制要求，又实现了安全环保、节能减排、经济运行的目标。

参考文献：

- [1] 东方锅炉厂 (480t/h)CFB 锅炉运行说明书 [Z]. 东方锅炉制造厂, 2012.
- [2] 党黎军. 循环流化床锅炉的启动调试与安全运行 [M]. 中国电力出版社, 2002.
- [3] 苏建民. 燃烧劣质无烟煤 300MW 循环流化床锅炉节能减排特性的研究 [J]. 动力工程学报, 2010(9):5.



广告