

火电机组锅炉的实时控制与节能技术研究

陈孝连

国家电投集团吉林能源投资有限公司白山分公司, 吉林 白山 134300

DOI:10.61369/ERA.2026020013

摘 要 : 火力发电厂长期以来作为我国主要能源设备, 在现阶段的发展与生产中受到大家重视与关注, 在整个我国的能源消耗占比中火力发电厂占据重要的占比。为此, 在火力发电厂的发展与建设中应重视其设备的控制与节能工作, 从而确保其能够符合我国的基本建设理念, 这有利于我国的进一步发展, 并为后续的发展奠定良好的基础。本文首先分析火电机组锅炉的实时控制, 随后提出火电机组锅炉的节能技术。

关 键 词 : 火电机组; 实时控制; 节能技术

Real-Time Control and Energy-Saving Technology Research of Thermal Power Unit Boiler

Chen Xiaolian

State Power Investment Group Jilin Energy Investment Co., Ltd. Baishan Branch, Baishan, Jilin 134300

Abstract : Fossil power plants have long been the main energy equipment in China, and in the current stage of development and production, they are valued concerned by everyone. In the entire energy consumption of our country, fossil power plants occupy an important proportion. For this reason, the control and energy-saving work of its equipment should emphasized in the development and construction of fossil power plants, so as to ensure that it can meet the basic construction concept of our country, which is conducive to the further development our country and lays a good foundation for subsequent development. This paper firstly analyzes the real-time control of the boiler of the thermal power unit, and then proposes the energy-saving technology of the boiler of the thermal power unit.

Keywords : thermal power unit; real-time control; energy-saving technology

引言

火电机组是当前我国电能供应的主要来源, 但是由于其技术和材料等因素的影响其能源的使用效率并不理想。在近几年中火电机组锅炉的实时控制和节能技术逐步提高, 从而使得其得到较为广泛的应用。其中实时控制是指对火电机组锅炉的运行情况进行实时观察, 从而有利于更好地应对一些问题。为此, 相关人员需要做好火电机组锅炉的实时控制工作, 并尽可能地做好节能技术的研究。

一、火电机组锅炉的实时控制

(一) 实时监测与数据采集

现阶段通过精准的监测与数据采集, 能够保障锅炉运转的高效性, 锅炉的关键值是指, 燃料流量、空气流量和烟气成分构成等, 相关人员要通过高精度的传感器开展实时测量, 先进的传感器技术可在恶劣工况下给予稳定的数据支撑, 保证所采集的参数能体现锅炉的实际运行状况。数据采集系统借助高频次的采样, 可在短时间内捕捉到锅炉运转中的动态变化, 为后续的分析与决策提供精准依据, 为达成全面性的实时监管, 数据采集系统不仅要配备高精度的硬件设施, 还得拥有强大的数据处理能力, 通过对各类传感器

所采集的全景式运行数据, 这些数据可被传输到中央控制系统, 供操作人员实时查看并调节, 随着工业互联网技术的变化, 锅炉实时监测系统还可形成远程监控与故障预警, 提早识别潜藏的安全隐患, 进而为机组的平稳运行给予关键保障^[1]。

(二) 实时控制策略

实时控制策略的关键是根据锅炉运行状况的变动, 实时调节各项操作参数, 以保障锅炉达到最佳运行状态, 针对锅炉的关键控制指标, 采用闭环式控制策略, 相关人员通过实时监测系统所采集的运行数据, 控制系统可自动算出和设定值的偏差, 还通过调整燃料流量和风机转速等手段, 调整锅炉的运转状态, 以此保证各项参数维持在安全区间内^[2]。随着燃煤品质因素的改变, 锅

炉运转时的参数或许会产生较大的变化,相关人员需要按照锅炉的实际工况采取动态调控策略,当负荷处于较低水平时,锅炉或许会面临烟气温度过高的状况,此时可通过调控燃料与空气的配比,改进燃烧流程,而当负荷处于较高水平时,应提升燃料供给量,同时借助提升蒸汽压强来达成发电要求,这种精确的动态调节体系能够明显提高锅炉的热效能,减少燃料的使用,同时降低污染物的排放^[3]。

(三) 实时控制方法

常见的实时控制手段主要包括 PID 控制、模糊控制、模型预测控制以及基于人工智能的自适应控制等,这些技术各有特性,能够符合不同的锅炉运行要求,最为传统且普遍运用的 PID 控制方法借助对锅炉关键参数开展闭环反馈控制,以保障这些参数在设定范围内稳定波动^[4]。PID 控制算法实现起来简便容易,不过在处理复杂非线性系统或者大幅度波动时,其响应速率和精准度或许存在欠缺,为了突破 PID 控制的局限,模糊控制方法顺势诞生,模糊控制借助对控制系统输入与输出的关系开展模糊化操作,可应对锅炉运行中的不确定性与非线性因素,特别是在锅炉负荷变动较大、燃料质量不稳定等复杂工作情形下,具备良好的适应能力,与传统控制方式相比,模糊控制可更灵活地调节锅炉运行参数,进而增强系统的稳定性与响应能力,火电机组锅炉控制中也已应用了模型预测控制^[5]。

二、火电机组锅炉的节能技术

(一) 低氮燃烧技术

当火力发电锅炉在燃烧时,空气中的氮气与氧气在高温情形下进行反应,产生氮氧化物,NO_x的生成量主要由燃烧温度、燃烧空气分布状态和燃烧器的设计状况所左右,燃烧温度每提升100° C,NO_x的生成数量大约会增长5%—10%。低氮燃烧技术的要点是把控燃烧区的温度分布情形和氧气供应模式,以此降低NO_x的生成,具体手段涵盖分级燃烧、燃料调配优化、一次风与二次风的恰当配比等,以分级燃烧为例,相关人员在燃烧器中布置多级喷嘴,使燃烧进程划分为多个阶段,在不同阶段把控空气与燃料的混合比率,降低局部高温区域的形成,由此有效抑制NO_x的生成^[6]。在该操作过程中,可以将锅炉燃烧区的温度把控在1200° C左右,避免超出1300° C的高温情形,大幅降低了NO_x的生成,在实际运用时,低氮燃烧技术时常搭配烟气再循环系统和富氧燃烧技术,利用烟气再循环手段,能够将一部分烟气引入到燃烧器当中,降低燃烧区域的氧气浓度,进而降低NO_x的生成。一台装机容量达300MW的大型燃煤火电机组应用低氮燃烧技术之后,其锅炉的NO_x排放浓度从原先的1200mg/Nm³降到了600mg/Nm³,这不但符合环保法规的要求,而且降低了氮氧化物造成的热能损失,该技术得以应用之后,机组的燃料耗用可降低大约5—7g/kWh,由此有效节约了燃料开支并增进了经济效益^[7]。

(二) 超高效燃烧技术

相较于传统燃烧方法,超高效燃烧技术通过精准把控燃烧条件,使燃烧得以在更低的温度和更高的效能下开展,进而实现最

大限度的节能成效,超高效燃烧技术一般能够有效提升氧气利用率。超高效燃烧技术可形成更高的燃烧热度与更均衡的燃烧进程,在达成高效燃烧的情形下,锅炉当中的燃烧温度可稳定在1350° C附近,相较于传统的1200° C而言提升了燃烧效率,这不仅有益于燃料的充分燃烧起来,又减少由燃烧不完全所导致的污染物生成,尤其是未燃尽的碳颗粒。通常一台300MW机组,采用超高效燃烧技术以后,锅炉的燃烧效率从原先的88%提升到了92%,每小时可降低约3—4吨的燃料消耗量,超高效燃烧技术着重燃料与空气的合理配比,精准把控一次风和二次风的供给,保证燃料在燃烧器中充分与空气交融,增强氧气利用率^[8]。通过调节一次风与二次风的配比,可将锅炉内部氧气的浓度调控在6%—7%的区间内,这能防止过量的氧气进入炉膛,减少热能的损耗,同时减少NO_x和CO的生成量,利用细化燃料喷嘴与旋流燃烧手段,能够保证燃料颗粒的直径一致,一般维持在50μm以下,这让燃料在燃烧器中可以均匀散布,并在锅炉中快速点燃,实现理想的热效率。

(三) 热电联产技术

和传统单独生产电力与热能的方法相比,热电联产把锅炉产生的热能直接投入发电环节,与此同时把剩余的热量应用于工业加热或供热体系,形成能源的“就地消耗”和“梯级利用”,最大限度减少能源的浪费,通过此种途径,热电联产技术可切实提高火电机组的总体热效率,降低燃料用量并降低污染物排放量。在实际应用场景中,热电联产系统往往通过高效的燃气—蒸汽联合循环技术,通常300MW热电联产机组,系统设置了燃气轮机与蒸汽轮机的联合循环装置,燃气轮机产生的废气借助热交换器实现余热回收后,提供给锅炉来产生蒸汽,蒸汽进而带动蒸汽轮机实现发电。这种组合形式可将热效率提升到55%—60%,高于传统火力发电机组热效率的37%—40%,在火电机组进行热电联产的过程中,锅炉系统的蒸汽压力和温度为关键参数,300MW机组中,主蒸汽温度稳定在540° C,蒸汽压力达到22MPa,在该工况时能够切实提升锅炉的热效率,并给蒸汽轮机提供质量更优的热能输出^[9]。

(四) 锅炉负荷调节与优化

锅炉负荷调节指的是根据电网负荷需求的变动,通过对锅炉的参数加以调整,保证锅炉在不同负荷情形下高效稳定地运行,在实际操控环节中,锅炉负荷调节需要多个变量达成精确协作,而且需要开展实时监测与修正,才能够保障锅炉运行具备最优性能。在火力发电设备中,锅炉负荷根据电网负荷与市场需求的变动加以调节,随着负荷的增长,锅炉得提供更多的蒸汽用以驱动蒸汽轮机开展发电工作,进而加大燃料燃烧量,在负荷调节进程中,锅炉的输送数量等均需开展精准调校,在不同的负荷条件下,锅炉的燃烧功效和热功效也会出现改变,适宜的负荷调整能够让锅炉的运行效率实现最大化,减少能源的无谓消耗,以下是某机组在不同负荷情况下的主要运行参数。

表1 在不同负荷情况下的主要运行参数

荷 (MW)	蒸汽压力 (MPa)	蒸汽温度 (° C)	燃料流量 (kg/s)	一次风量 (m ³ /h)	二次风量 (m ³ /h)
300	18	540	85	90,000	55,000
240	17	525	70	75,000	50,000
180	15	510	55	60,000	40,000
120	13	490	40	45,000	30,000

上述表格展示了在不同负荷条件下,怎样对锅炉的主要运行参数进行调整以达成高效运行,通过对这些参数的优化处理,锅炉可在不同负荷状况下实现稳定运行,同时降低因负荷变动所产生的能量损耗,300MW为最大负荷,负荷变化可能是从300MW降至180MW,燃料流量从85降到55,降低30kg/s,燃料消耗量明显减少。

三、火电机组锅炉实时控制与节能技术的未来发展趋势

(一) 智能化与自动化控制

随着人工智能、物联网、大数据和云计算等技术的快速发展,火电机组锅炉的控制系统将不再单纯依靠传统的手动调节,而是通过高度自动化、智能化的系统开展优化治理,从而形成锅炉运行的最大效率和最低排污率,智能化与自动化控制技术的关键通过实时监控和精确调节,保障锅炉在各类工况下均能平稳、高效地运转。智能控制系统借助众多传感器与物联网技术,实时获取锅炉的关键参数,全部数据都通过无线网络传输到中央控制室,通过大数据平台开展分析与处理,借助机器学习与人工智能算法,系统可自动判定锅炉的运行走向和潜在问题,进而提出优化意见或直接作出调整。通过锅炉的负载需求与燃料种类,系统可自动调整燃烧器的开度大小、一次风和二次风的配比情况,改善燃烧效率,降低氮氧化物等有毒物质的排放,智能化与自动化控制依旧能够实现精准的负荷调控^[10]。

(二) 绿色低碳技术的应用

火电机组作为传统能源消耗的主要根源,其二氧化碳排放连

同其他污染物排放对环境造成巨大压力,促进绿色低碳技术的推广运用,不但有利于提升火电机组的能源利用效率,还可有效削减碳排放,推动达成全球碳中和目标,火电机组锅炉的绿色低碳技术将涉及诸多方面。在燃烧技术的使用中,低碳燃烧技术会获得广泛普及,传统燃煤锅炉在燃烧期间极易生成大量诸如二氧化碳和氮氧化物之类的污染物,通过改进燃烧器设计、采用低氮燃烧举措以及引入富氧燃烧等,能够减少污染物的形成,在实际应用场景中,火电机组已然开始采用富氧燃烧技术,通过提升炉膛内的氧气含量,使燃料在较低的温度下实现充分燃烧,由此降低了碳排放以及氮氧化物的排放。低氮燃烧技术可在燃烧进程中切实降低NO_x的产生,在保障锅炉热效率的条件下,最大程度地降低了污染物的排放,随着碳排放约束政策的不断出现,二氧化碳捕集技术的应用前景十分宽广,CCUS技术依靠在锅炉烟气当中捕获二氧化碳,将其自烟气中分离出来后进行压缩,随后实施储存或者转化成有价值的化学品或燃料,火电机组已着手在烟气中装设二氧化碳捕集装置,此装置借助吸附剂吸附烟气中的二氧化碳,进而将其压缩保存,降低了排入大气的二氧化碳量。

四、结束语

综上所述,随着当前社会的不断发展,我国自然环境受到诸多方面的影响,在具体的开展中相关人员需要采取有效的方法做好调整,从而减少火电机组锅炉造成的影响。另外,火电厂发电作为我国发电的重要形式,应进一步对其展开研究,加强各项技术的融入,从而使得其节能能力进一步提升。

参考文献

- [1] 齐伟光. 1000MW 超超临界火电机组锅炉燃烧优化与低氮燃烧技术研究 [J]. 电力设备管理, 2025, (07): 62-64.
- [2] 李勇, 李宗耀, 魏向国. 600MW 火电机组锅炉吹灰系统节能综合改造 [J]. 仪器仪表用户, 2023, 30(12): 88-91+12.
- [3] 刘洪军, 洪小江, 刘焕, 等. 国内火电机组锅炉给水加氧处理技术的应用 [J]. 全面腐蚀控制, 2023, 37(10): 9-16.
- [4] 岳增武, 金树生, 邵明星, 等. 火电机组锅炉高温集箱的寿命评估 [J]. 山东电力技术, 2023, 50(05): 77-82.
- [5] 安宝宏. 火电机组锅炉受热面泄漏原因及预防措施 [J]. 化学工程与装备, 2022, (10): 199-200+183.
- [6] 岑斌, 陈炳森, 周涛, 等. 田东火电厂机组辅助设备高压电动机的变频节能改造 [J]. 装备制造技术, 2017, (07): 149-152.
- [7] 于洋. 浅析火电机组锅炉的实时控制与节能技术 [J]. 科技展望, 2016, 26(17): 110.
- [8] 杨财业. 试论小型火电机组锅炉的优化节能技术 [J]. 化工管理, 2014, (27): 174-175.
- [9] 王振明. 浅析火电机组锅炉的实时控制与优化节能技术 [J]. 机电信息, 2013, (27): 126-127.
- [10] 谭志宣. 能源、环保文献消息 (国内部分) [J]. 能源工程, 1999, (02): 59-61.