

300MW 亚临界火电机组运行性能优化与节能改造研究

刘 鹏

华能山东发电有限公司白杨河发电厂, 山东 淄博 255200

[摘要]300MW 亚临界火电机组的运行性能提升与节能改造是文章研究内容,通过分析其运行现状和能效瓶颈并结合节能环保政策以及技术进展提出多项改进措施,如锅炉系统优化、汽轮机参数调整、辅助系统节能等,文章采用技术诊断和现场测试相结合的方法系统地探讨节能潜力、技术可行性和经济性,最终得出可推广的节能改造路径,研究显示优化后的机组在保证安全运行的情况下热效率大幅提升、煤耗降低且应用价值和推广前景都不错。

[关键词]亚临界机组; 火电节能; 运行优化; 热效率提升; 技术改造

DOI: 10.33142/hst.v8i8.17359

中图分类号: TM621

文献标识码: A

Research on Performance Optimization and Energy saving Transformation of 300MW Subcritical Thermal Power Unit

LIU Peng

Baiyanghe Power Plant, Huaneng Shandong Power Generation Co., Ltd., Zibo, Shandong, 255200, China

Abstract: The improvement of operational performance and energy-saving transformation of 300MW subcritical thermal power units is the research content of this article. By analyzing its operating status and energy efficiency bottlenecks, and combining with energy-saving and environmental protection policies and technological progress, multiple improvement measures are proposed, such as boiler system optimization, turbine parameter adjustment, auxiliary system energy-saving, etc. The article uses a combination of technical diagnosis and on-site testing to systematically explore the energy-saving potential, technical feasibility, and economy. Finally, a scalable energy-saving transformation path is obtained. The research shows that the optimized unit significantly improves thermal efficiency, reduces coal consumption, and has good application value and promotion prospects while ensuring safe operation.

Keywords: subcritical unit; thermal power energy conservation; operational optimization; improved thermal efficiency; technical transformation

引言

“双碳”战略不断深入推进,使得火电机组节能减排任务越发迫切,我国火电主力机型为各大电厂广泛配备的300MW 亚临界机组,其整体能效水平直接受运行效率和能耗水平影响,由于该机组设计标准低且设备老化严重,需要进行系统性优化改造来提升运行水平,本文深入探讨其运行性能提升和节能改造路径,为同类型机组提供可行性参考。

1 300MW 亚临界火电机组运行现状分析

1.1 主要系统结构与运行特征

300MW 亚临界火电机组主要由锅炉系统、汽轮机系统、发电机、凝结系统和各类辅助设备组成,其锅炉的炉膛结构采用自然循环或者强制循环,以煤为主要燃料且具备一次风、二次风、烟气再循环等功能,燃烧调节方式多样;汽轮机为单轴多级结构,包含高压、中压与低压缸,热力流程紧凑且具有一定热经济性;电厂普遍采用闭式循环水冷却系统和集中控制模式,设备运行有 DCS 自动控制系统支持,由于投产年代较早,大多设计参数为16.7MPa/538°C/538°C,没有超临界机组的高参数优势,在长期运行时设备逐渐老化、热力系统效率逐渐下降、电

气系统响应开始滞后,机组整体运行性能和能效水平受这些问题影响。

1.2 存在的能效瓶颈问题

当前 300MW 亚临界机组运行时能效瓶颈众多,其中锅炉燃烧效率低是首要问题,由于燃煤品质波动大且不少机组燃烧器结构老化、配风不合理,使得燃烧不完全、飞灰损失增加、煤耗上升,并且部分锅炉没有高效烟气余热回收装置,空预器漏风率高导致排烟温度高、热量流失严重;汽轮机通流部件积灰、腐蚀、泄漏影响膨胀效率,部分低压缸真空度不够使汽轮机背压增大、出力降低,冷端系统换热性能下降造成循环水系统能耗高;厂用电率一直很高且辅助设备运行效率低,阻碍了整体热效率提升,系统级联的能效瓶颈限制着机组节能潜力释放,需全面诊断、系统优化才能突破。

1.3 常见运行缺陷与能耗表现

300MW 亚临界机组长期运行常见不少运行缺陷,锅炉结焦厉害、燃烧器火焰不稳、煤粉分布不均等会使燃烧室里温场分布不均且传热效果变差,蒸汽参数波动大导致汽轮机热效率波动明显,尤其在负荷频繁变动的调峰工况下出力效率低,部分辅机设备启停频繁且变频改造不到位

使得启停能耗和维保成本增加,运行管理方面有些机组没有精准的能效监测与诊断系统而运行参数调节滞后、运行比较“粗放”,其煤耗水平比同容量超临界机组普遍高大概 10g/kWh 到 15g/kWh 且厂用电率一般在 6% 而节能降耗目标难以达成,全面分析现有运行缺陷和能耗情况是制定优化改造策略的基础。

2 锅炉系统节能优化策略

2.1 燃烧调节与配风优化技术

锅炉热效率的核心在于燃烧系统,燃料完全燃烧与热能高效利用直接受其调节与配风策略的影响,300MW 亚临界机组中原始燃烧器的布置和风道设计大多是定型结构,运行时火焰容易偏斜、偏烧且死角区域也易出现燃烧不充分等状况,要提升燃烧效率得在线测量和调整炉膛各风道的风量以保证一次风、二次风、三次风按合理比例配比,防止因氧量过剩或不足造成热损,引进先进的智能燃烧控制系统(像燃烧优化控制 BOC 系统),依据炉膛实时温度场、氧含量和烟气成分的变化动态调整燃烧器角度和风煤配比以增强燃烧的稳定性,有些电厂还能进行燃烧器改型并增添低氮燃烧装置,这样既能提升燃烧效率又能减少 NO_x 排放从而达成节能和环保兼顾的目的。

2.2 空预器与省煤器换热效率提升

锅炉尾部烟道中的空气预热器和省煤器是重要的余热回收设备,锅炉系统综合热效率直接受其换热效率影响,空预器运行久了堵灰、漏风等问题常有发生,这会降低进风温度、增加风机负荷从而使热力系统效率下降,如何解决这一问题?要加强空预器定期检修维护以清除积灰,并且选用高密封性的转子密封结构或者改造成高效板式空预器,这样就能提升密封性能和热回收率,通过在线检测系统对漏风率和压差变化进行监测可实现故障预警和早期维护。省煤器存在管壁结垢、磨损和水垢沉积的情况,这会使其换热效率大幅下降,怎么办?将低压化学清洗和防腐涂层技术结合起来使用才能维持良好的换热面清洁性,运行时调节给水温度和蒸汽参数可使省煤器处在最佳换热区间,从而最大限度利用低位余热,部分电厂也可考虑引入烟气冷凝回收技术以进一步挖掘烟气中的潜热资源,进而提高整体余热利用水平。

2.3 燃料种类适配性与燃烧效率提升

锅炉系统燃烧效率受燃料特性影响显著,传统 300MW 亚临界机组大多以中低挥发分烟煤为主要燃料,近年来煤源多样化趋势愈发明显且不同煤种混烧成为常见情况,这使得锅炉燃烧波动、灰渣特性改变、热负荷分布不均匀等问题产生,有这种情况就得开展煤种适配性实验分析,建立不同煤种的热值、灰熔点、挥发分等参数数据库,并用燃料掺配优化模型对配煤策略加以指导,以保证混煤燃烧的均衡性与稳定性。在燃料前处理上,采用干燥、筛分、均化等措施就能有效提高煤粉燃烧活性,有些

锅炉引进煤泥、生物质等辅助燃料也可以,但得配套调整燃烧器结构与风道布置以保证混合燃料稳定燃烧,要结合在线炉膛燃烧监测系统,实时反馈不同燃料燃烧特征,动态调整配风策略与燃烧区域负荷,从而实现多燃料协同优化。

3 汽轮机系统运行优化措施

3.1 汽轮机通流部分结构改造

热能转化为机械能时汽轮机通流部分是关键区域,机组整体热经济性由其结构效率直接决定,300MW 亚临界机组因设计年代久远设备老化通流区域常出问题,像叶片积灰、腐蚀磨损、缝隙增大之类,这会使蒸汽流动阻力变大、泄漏率升高、膨胀效率降低,结构改造时可换上高效耐蚀型叶片且优化叶栅角度与密封结构以提升通流截面利用率和流体导向性能,也可使用精密装配技术来减少缝隙泄漏并提高阶段压降效率,还能引入三维激光扫描和流场仿真技术对实际通流状况精细建模、优化设计以保证蒸汽流动路径平稳又高效,改造完通流效率能提升 2%~4%,从而为汽轮机运行经济性提升奠定坚实基础。

3.2 汽封系统热损降低与回收

主要是防止高压蒸汽从汽轮机轴封部位泄漏要靠汽封系统,且蒸汽资源损失程度直接与其密封效果有关。传统汽封结构大多为迷宫式密封,该密封加工精度不高、密封间隙大且运行时磨损厉害,会使泄漏蒸汽大量跑掉,热损明显。优化的办法是换上高性能浮环式或者干气密封结构,靠压差自调节功能提高密封可靠性,并且改进冷却系统和排汽通道设计,减少无用的蒸汽抽排以提高热能利用率。在回收系统方面,要建立汽封泄漏蒸汽回收和利用的完善路径,用来加热低压缸抽汽再热系统或者供给低压热网,从而提高系统整体热利用效率。抓好技术改造和热能回收这两方面,汽封系统热损能降 30%。

3.3 排汽系统阻力控制与真空优化

汽轮机低压缸出口至凝汽器之间的排汽系统是决定排汽背压与真空稳定性的关键,若系统管道布局不合理、换热器效率降低或者冷却水流量不够,则背压会升高,汽轮机做功能力会下降,想降低系统阻力就需对排汽管道进行流线型改造、减少弯头和局部阻力并优化支架布局以防止热胀冷缩变形使流道变形,凝汽器应提高换热管排布密度和材料导热性来保持真空度在设计值之上,冷却塔和循环水泵采用变频控制方式使冷却水流量和温度处于最佳运行区间,如此一系列措施可使排汽真空度提高 5kPa,让低压缸出力更稳定且机组发电效率有明显改进。

4 电厂在运行调整节能优化措施

节电双碳战略下,以风光为代表的新能源发电占比快速提升,新能源大规模并网带来火电负荷率低日趋突出。负荷率低带来就是能耗高,在此形势下,节能迫在眉睫。

(1) 机房屋顶风机启停运行规定:

机组停运时,视机房环境温度停运屋顶风机。若因系

统漏汽或设备出现冒烟等原因引起机房湿度大、烟气大时,根据情况适当开启屋顶风机。

(2) 机房照明、循环水泵房照明、工业水泵房等照明根据环境亮度及时投停。

(3) 调整除氧器排氧门微量冒汽。机房顶部各安全阀排空管应无冒汽现象。

(4) 投运的蒸汽管道疏水门、热网小机疏水门及时关闭。设置有疏水器的蒸汽管道,疏水器手动门保留一圈即可。

(5) 加强胶球泵运行维护和运行监督,正常每日投入胶球运行,保证收球率。

(6) 控制高、低加水位 0 位左右,降低高、低加上、下端差。

(7) 严格执行循环水水质和水塔水位控制规定。杜绝水塔溢流。根据循环水水质的化验结果,及时调整水塔排污门的开度,减少不必要的排污量。

(8) 运行机组,严格执行滑压运行曲线。机组深调、供热期切缸,汽机阀位保持顺序阀方式运行,以提高轮机效率。

(9) 执行好阀门内漏、保温超温定期检测台账,减少系统热损失。

每次开机并列恢复参数后对汽水系统各疏放水、有关管道、设备进行全面测量并列机组所有疏放水系统阀门温度,检查有无内漏情况,气动门内漏的关闭手动门,手动门超温的应手动关紧。检查各高、低加旁路门温度,危急疏水门温度,给水泵、凝结泵再循环温度,发现有不严密情况立即联系检修消除;机组计划检修停机前,对机组汽水系统各疏放水、有关管道、设备保温进行全面测温,以便检修期间进行处理。

(10) 锅炉再热流温以-烟气挡板调整为丰,减温水调整为辅的控制原则。

(12) 优化锅炉本体及空预器吹灰方式,按照炉本体吹灰—SCR 吹灰—空预器吹灰顺序进行,减少空预器蓄热部件积灰,降低空预器烟气压差。

(13) 锅炉炉膛看火孔、人孔门,关闭严密,锅炉制粉系统、烟道防爆门完整,减少漏风量,降低风机电耗。

(14) 锅炉合理进行吹灰,减少补水量,优化短吹、长吹疏水电动门开关逻辑,根据温度合理设置;根据炉内结焦、整体汽温和减温水用量,合理调整吹灰频磨煤机正常运行期间,合理控制出口风温,减少冷风调节门开度,减少冷风进入炉膛,降低排烟温度。

(15) 合理使用脱硫增效剂,降低脱硫厂用电率。

(16) 通过回收料一、二级浆液循环泵房内设备冷却水至制浆区制浆,充分利用水资源。

5 电厂辅助系统节能改造技术

5.1 给水系统变频与智能控制应用

锅炉供热循环里,给水系统是重要部分且其在辅助系

统能耗中占比很大。传统 300MW 亚临界机组的供水方式多为定速泵,这存在水压调节滞后、泵老启停、系统负荷适应性差等毛病,从而导致不必要的能量浪费。要提高运行效率就得把变频调速技术用于给水泵改造,使其能根据负荷变化自动调转速并按需供水,这样机械能浪费就能有效减少,并且建立一个完善的给水系统智能控制平台,将压力、温度、水位等实时数据相结合,依靠优化控制算法进行闭环调节,让系统始终保持最优运行状态。多台并列运行的泵组需要协调控制以避免“大马拉小车”的情况,进而提升整体供水效率。要把系统动态模型和专家系统相结合来对运行工况进行预测分析,使运行模式能自适应切换,从而提高响应速度和控制精度,进一步降低运行能耗。

5.2 引风送风机运行效率优化

锅炉空气供给与烟气排放的关键设备是引风与送风机,燃烧效率与厂用电水平和它们的运行效率直接相关,传统控制方式下定速驱动多用于风机,依赖进口挡板或出口风门调节风量,不但让系统阻力损失增加,而且使电机运行于非最优区间、耗电量较高,应将风机变频改造纳入优化措施,用高效节能的变频器控制电机转速、按需求供风以减少系统节流损耗,升级风机本体的技术,选用高效率叶轮结构,提升风压稳定性与运行流量,还可以引入风机并联或多级调配运行策略,依据负荷变化动态调节风机运行台数来降低空载损耗,要完善风机性能监测与故障诊断系统,实时采集轴承振动、电流、电压和温升参数,提前发现异常运行状态,延长设备使用寿命、提高运行可靠性,通过系统化技术改造与优化运行策略风机系统整体能耗能够下降 8%~15%。

5.3 化学水处理及循环水系统节能改造

机组安全高效运行靠化学水处理系统和循环冷却水系统保障,可长期运行下来这俩系统能耗高、管理粗。在化学水处理方面,传统手动加药和周期性化验反应慢、药用量大、水质老波动,不但影响热交换效率还加大设备结垢风险,而节能改造可安装自动加药装置和在线水质分析系统,实时监测水的 pH、电导率、硬度等参数并按参数自动调加药比例,投加精准且少浪费,并且要优化树脂再生流程和设备能耗分配以降低再生频次和耗水量。循环水系统方面,循环水泵采用变频控制能按冷却负荷实时调流量从而提高热交换效率,冷却塔风机根据环境温湿度和冷却水回水温度动态调整运行策略可防止过冷以降低无效能耗。

6 运行优化与节能改造效果评估

6.1 热效率变化趋势分析

热效率是火电机组节能改造效果最直观且重要的衡量指标,实施综合措施,如锅炉燃烧优化、空预器及省煤器换热效率提升、辅助系统节能改造之后,机组整体热效率明显上升,300MW 亚临界机组改造前存在燃烧不完全、

排烟热损高、风机负荷大等问题,使锅炉系统热效率处于84%~86%之间,采用燃烧系统风煤比优化、炉膛负压精准控制、尾部烟气余热回收等手段改进后,锅炉热效率大多提升到88%,汽轮机系统里通流结构改善、背压降低、抽汽系统调整等措施实施后,热能转化效率提高了大概2%,综合改造完毕,整机热效率平均提升3%~5%,负荷变动频繁或者中低负荷运行阶段,效率波动范围大幅减小且运行稳定性增强,热效率持续提升不仅意味着燃料利用率提高,也为单位发电成本降低和环保目标达成提供有力支撑。

6.2 单位发电能耗与碳排放降低情况

单位发电标准煤耗是节能改造成果的核心衡量指标之一,没改造时300MW亚临界机组单位电量煤耗大多在312g/kWh往上,有些设备老化厉害的机组甚至能到320g/kWh,而完成燃烧系统优化、配风结构调整、辅助设备运行效率提升后,煤耗水平降到298g/kWh至304g/kWh,节煤效果达到约10g/kWh,若按年发电量50亿kWh来算,每年能节约标准煤大概5万t往上,并且煤耗降低了烟气里CO₂、NO_x、SO₂这些污染物排放量也跟着减少,拿二氧化碳来说,每吨标准煤差不多能产生2.6t CO₂,煤耗每千瓦时减少10g,每年就能减排CO₂约13万t,减排效果很明显,改造后燃烧更稳定了,飞灰含碳量下降,这有助于减少炉渣含碳量和灰渣处理成本,让环保综合效益进一步提高。

6.3 经济性评估与投资回收期测算

实施可持续技术路径,节能改造工作的经济性是重要前提,燃烧系统调节装置更换、空预器密封改造、风机变频器配置、给水泵系统智能控制平台建设等项目是改造投资的主要集中之处,单台机组投资总额在800万元到1200万元这个范围,按照节能收益来算,单位电量煤耗降低10g/kWh,每年标准煤能节约5万t,依照当前1000元/t的煤价,年直接节能收益大概是5000万元,并且风机和泵类设备变频之后,电耗平均减少8%~12%,要是按年

节电量3000万kWh、工业电价0.6元/kWh计算,年节电收益约为1800万元,将节煤和节电效益综合起来,改造后的年总节能收益能够达到6000万元,考虑设备折旧和维护成本,投资回收期一般在2~2.5年之间,这可比一般固定资产项目5年的回收周期标准低得多,节能改造让运营成本下降,这不但提升了机组盈利能力,还为后续升级和智能化改造积攒了不错的经济基础。

7 结语

300MW亚临界火电机组经系统性运行优化和节能改造后,机组热效率显著提升且单位发电能耗与碳排放降低、辅助系统能效水平得到优化,长期运行中的能效瓶颈和结构性缺陷被改造解决且实现了良好的经济回报和环保效益,实践显示这种机组节能潜力大、技术改造空间广、有推广价值,以后要结合智能化运维和数字化技术不断深化节能管理以推动火电机组朝着高效、清洁、低碳方向发展。

[参考文献]

- [1]沈磊,谢斌,朱明君,等.300MW亚临界火电机组节能降耗的工程应用[J].中国新技术新产品,2024(14):62-64.
- [2]张洪福.循环流化床机组负荷响应特性与灵活运行控制研究[D].北京:华北电力大学(北京),2023.
- [3]葛浩.300MW亚临界机组协调系统全工况建模及控制策略研究[D].江苏:东南大学,2022.
- [4]史鹏飞,康朝斌,张华锋,等.某300MW亚临界CFB机组深度调峰运行热经济性研究[J].电力科技与环保,2022,38(4):258-264.
- [5]魏海姣.基于储热的燃煤机组深度调峰系统构建及其规模化消纳风力发电模式研究[D].北京:北京工业大学,2022.

作者简介:刘鹏(1991.11—),男,毕业于哈尔滨工业大学,本科学历,计算机科学与技术专业,现就职于华能山东发电有限公司白杨河发电厂,职务:值长,工作年限1年,目前职称:工程师。