

空预器改造协同送风机调节的煤电机组锅炉灵活性运行实践研究

马世荣

大唐阳城发电有限责任公司, 中国·山西 晋城 048100

摘要: 随着我国能源结构的调整以及“双碳”战略目标的逐步推进, 煤电机组于电力系统之中正逐渐从基础负荷电源转变成调峰电源, 这便对机组的灵活性运行提出了更为严苛的要求, 锅炉身为煤电机组的核心设备, 其运行性能直接对机组的灵活性以及经济性起到决定性作用, 空气预热器, 也就是空预器, 在锅炉里承担着提升燃烧效率以及降低排烟温度的关键功能, 然而在长期运行期间, 受到煤种变化、低氮燃烧、SCR 脱硝以及超低排放改造等诸多因素的影响, 空预器大多时候会出现堵塞、差压过高以及蓄热元件损坏等一系列问题, 这严重限制了锅炉的灵活运行能力。为了化解上述这些问题, 本文结合某电厂的实际运行状况, 提出借助空预器改造与送风机调节协同优化的方式来提升锅炉的灵活性运行水平, 文章先是剖析了空预器堵塞的机理以及运行方面的瓶颈, 接着阐述了空预器蓄热元件改造以及送风机运行调节的具体举措, 最后依靠运行实践证实了该方案在降低差压、改善换热以及提升机组调峰能力等方面所取得的明显成效。研究显示, 空预器改造与送风机调节协同运用可切实提高煤电机组在复杂运行工况下的适应性, 为煤电机组的灵活性改造以及运行优化提供了一条可行的途径。

关键词: 煤电机组; 空气预热器; 送风机调节; 灵活性运行; 技术改造

Practical Study on Flexible Operation of Coal Power Unit Boilers with Air Preheater Retrofit and Coordinated Fan Adjustment

Ma Shirong

Datang Yangcheng Power Generation Co., Ltd., China Shanxi Jincheng 048100

Abstract: With the adjustment of China's energy structure and the gradual advancement of the "dual carbon" strategic goals, coal-fired power units are gradually shifting from base load power sources to peak-shaving power sources in the power system, which imposes stricter requirements on the flexible operation of the units. As the core equipment of a coal-fired unit, the boiler's operational performance directly determines the unit's flexibility and economic efficiency. The air preheater, also known as the APH, plays a key role in improving combustion efficiency and reducing flue gas temperature. However, over long-term operation, factors such as changes in coal type, low-NO_x combustion, SCR denitrification, and ultra-low emission retrofits often cause the APH to experience blockage, excessive differential pressure, and damage to the heat storage elements, severely limiting the boiler's flexible operation. To address these issues, this paper, based on the actual operating conditions of a certain power plant, proposes a method to enhance the boiler's operational flexibility through coordinated optimisation of APH modifications and blower adjustments. The article first analyses the mechanisms of APH blockage and operational bottlenecks, then elaborates on specific measures for modifying the APH heat storage elements and adjusting blower operation, and finally demonstrates through operational practice the significant effectiveness of the scheme in reducing differential pressure, improving heat exchange, and enhancing unit peak-shaving capability. The study shows that coordinated implementation of APH modifications and blower adjustments can effectively improve the adaptability of coal-fired units under complex operating conditions, providing a feasible approach for the flexible retrofitting and operational optimisation of coal-fired units.

Keywords: Coal-fired power units; Air preheater; Forced draft fan adjustment; Flexible operation; Technological transformation

0 引言

近些年来,我国电力系统里面可再生能源所占的比例一直在持续升高,风电以及光伏的间歇性跟波动性明显增大,这就给火电机组的灵活调节能力给予了新的难题,传统的煤电机组大多是以基荷运行为主要方式,在设计的时候没有充分考虑深度调峰以及快速启停这些工况的要求,结果在当前的能源格局下机组运行出现了响应滞后、能效降低以及环保压力变大等情况。其中锅炉受热面和空气预热器作为关键的部分,它们的运行状态对机组灵活性有着直接的影响,空气预热器在长时间运行过程中,因为ABS沉积、煤种改变以及吹灰频繁等因素,出现了蓄热元件堵塞以及差压升高这样的问题,限制了机组带负荷的能力,甚至还引发了安全方面的隐患。为了应对上面所说的这些挑战,本文以某电厂7号炉的改造实践当作例子,探讨空预器改造和送风机调节的协同运用,借助技术和运行手段的结合,提高锅炉灵活性运行的水平,给类似机组的改造提供一些参考。

1 煤电机组灵活性运行的需求与挑战

1.1 灵活性运行的现实需求

在“双碳”战略这一背景之下,我国当前的能源结构正处于一个深度转型的阶段,其中风电、光伏等新能源的装机比例呈现出持续上升的态势,鉴于这些新能源有间歇性以及波动性的特点,大规模接入的情况给电力系统的稳定运行给予了一定的挑战,传统的煤电机组已然从“主力电源”转变为“调节电源”,开始承担起调峰、调频以及备用支撑等任务。这样的角色转变使得煤电机组不再仅仅单纯地追求经济性以及高负荷率,而是要有灵活性运行的能力,以此来适应新能源消纳的需求,灵活性运行要求机组可在较为宽的负荷区间之内实现稳定运行,同时还要求在深调峰以及快速启停的过程中保持燃烧稳定、排放达标以及安全可靠,锅炉系统当中的空预器和送风机是空气动力与热交换的关键环节,它们的运行状态直接决定了机组的灵活性,研究这二者的运行问题有关键的工程价值。

1.2 空预器运行问题对灵活性的制约

空气预热器有利用烟气余热来加热进入锅炉的空气中的功能,以此提升燃烧效率并且减少排烟损失,然而在低氮燃烧以及SCR脱硝装置被广泛运用的状况下,氨逃逸量有所增加,氨和硫氧化物所生成的硫酸氢铵也就是ABS会沉积在冷端元件的表面,造成堵塞现象,其直接引发的结果是进出口差压升高、风机出力受到限制、排烟温度上升以及效率下降。在深调峰工况当中,烟气温度更低,冷端结

露会使堵塞情况加剧,严重的时候甚至会迫使机组降低负荷或者进行停机检修,机组的灵活性受到较大限制。

长期运行过程中蓄热元件有可能出现磨损、腐蚀以及损坏的情况,在高湿、低温环境下,硫酸露点腐蚀会加速元件失效,致使换热性能降低,机组效率与安全性也会受到影响,空预器堵塞与损坏已然成为制约灵活性运行的关键问题,需要借助设计改进、运行优化以及维护强化来解决。

1.3 送风机运行对锅炉灵活性的影响

送风机作为锅炉燃烧空气供应的关键设备,其运行状态直接对燃烧空气量以及分布产生决定性作用,在传统模式当中,送风机主要借助导叶或者变频来实现风量调节,不过一旦空预器出现堵塞致使通风阻力增大,送风机就算处于满负荷运行状态,也依旧很难提供充足的风量,电流会出现大幅度波动,能耗也会加重。在深度调峰以及快速变负荷的过程里,这种出力不足的情况会引发燃烧不稳定、含氧量异常以及排放波动等问题,限制负荷调节的速度,增加运行风险。

有一部分老旧机组的送风机在设计时所预留的余量不够,以至于很难契合频繁启停以及快速响应的要求,就算是经过了变频改造,设备也有可能因为效率降低、振动加剧等状况,致使其长时间处于亚稳状态,存在故障方面的隐患,由此可看出,送风机调节能力欠缺与空预器运行问题相互叠加,一同成为了制约锅炉灵活性运行的瓶颈。

2 空预器改造的实施与效果

2.1 空预器改造的必要性

以某电厂7号炉作为实例,此炉型属于空预器布置在省煤器出口烟道后的II型锅炉,近些年来,因为煤质含硫量升高以及低氮燃烧、SCR脱硝改造等因素的影响,机组空预器堵塞的问题变得越发严重,氨逃逸与硫氧化物生成的硫酸氢铵也就是ABS在冷端发生沉积,使得通道截面变小、阻力增大以及冷端出现腐蚀现象。在运行过程中,空预器进出口的差压最高可达到3300Pa,远远超过了设计数值,致使送风机的出力受到限制,通风情况不佳,对机组负荷调节形成了制约,在深调峰的时候,低烟温会加剧结露以及堵塞的情况,使得灵活性与稳定性都有很大程度的下降,为了维持运行,运行人员会频繁地进行吹灰操作,然而长期高频吹灰导致蓄热元件出现磨损、变形甚至脱落的情况,支撑框架也因为受力不均衡而出现裂纹,存在卡涩方面的隐患。空预器已然成为制约机组灵活高效运行的一个薄弱环节,急需进行系统改造。

2.2 空预器改造的主要措施

蓄热元件的优化工作如下：依据运行校核所得到的结果，冷端选用 HC 波型元件，以此来提高其抗堵塞的性能，而热端则更换为耐高温且耐磨的材质，提升其使用寿命以及运行效率。

结构加固方面所采取的措施为，将磨损程度较为严重的仓格隔板以及出现焊缝开裂的部位给予更换，同时在容易受损的区域加装耐磨钢板，并且对焊接工艺进行优化，以此来提高整体的强度。

密封系统修复工作主要包括以下几个方面：对径向密封片以及轴向密封片进行检查，将失效的密封片给予更换，之后对密封间隙加以调整，以此降低漏风率，提升换热效率。

高压水冲洗这一操作，是借助高压水来对蓄热元件表面的积灰以及沉积物展开全面清理，让通风截面得以恢复，以此减少二次损伤情况的发生。

运行维护方面的优化举措：借助精确控制氨喷射量的方式来降低氨逃逸现象，同时对吹灰程序加以优化，以此兼顾清灰效果以及设备保护工作。

2.3 改造效果分析

经过改造之后，空气预热器进出口的差压从 3300Pa 降低至 1800Pa 以下，通风阻力有了明显降低，送风机的出力余量有所增加，机组调峰的灵活性得到提高，排烟温度下降，热效率有所提升，燃煤耗量减少，经济性得到改善，吹灰频次降低了大约 30%，蓄热元件的寿命得以延长，检修和维护成本下降。密封修复使得漏风率降低了 5 个百分点，提高了锅炉效率。

在深调峰的工况条件之下，机组可稳定地运行在大约 35% 的负荷水平，相较于改造之前的 45% 负荷有了较为十分突出的下降，这使得机组在低负荷状态下的适应性得到了提高，借助结构加固的方式有效地消除了支撑框架可能出现的卡涩风险，利用高压水冲洗使得压差波动有所减小，让运行的安全性以及可靠性都得到了大幅度的提升。从整体的情况来看，此次改造解决了堵塞以及损坏等问题，使得换热与通风性能得以恢复，同时还为机组可灵活运行奠定了相应的基础。

3 送风机调节策略的优化应用

3.1 送风机运行特性分析

送风机作为锅炉燃烧系统里的关键设备，它的运行特性主要呈现在流量、压力以及功率之间的动态匹配关系上，在传统运行状况下，因为空预器阻力比较高，送风机大多

时候处于高负荷运行状态，电流波动较为明显，调节余量有限，致使在深调峰或者快速变负荷工况时难以维持燃烧稳定。经过空预器改造后，通风阻力下降了不少，送风机的运行点向下移动，运行效率区间得以拓宽，在这样的条件下，送风机借助导叶调节与变频控制相结合的方式，可在低负荷时维持适宜的风量，还可以在高负荷或者快速升负荷阶段及时供应充足的空气量，达成精细化送风与燃烧调控，其运行特性体现为功率消耗降低、压力波动减小以及调节范围扩大，这为机组灵活性运行奠定了稳固基础。

3.2 协同调节策略

要想挖掘送风机的潜能，就得构建与锅炉燃烧工况高度适配的协同调节策略，在低负荷运行阶段，应当适度降低送风量，防止过量空气致使炉膛热效率降低，要维持合理的氧量水平，避免出现不完全燃烧的情况，在快速升负荷进程中，送风机需及时提高出力，保证炉膛内有充足的空气供应，以此维持火焰稳定且燃烧充分，防止烟气黑度和排放超出标准。

除了依据负荷进行风量调节之外，还需要留意多参数之间的协调配合，展开来说，可以将炉膛压力、烟气含氧量以及排烟温度等关键运行参数结合起来，动态地调整送风机运行状态与空预器阻力变化之间的匹配关系，以此保证燃烧过程始终处于高效且环保的区间之内，比如说，当排烟温度出现异常升高的情况时，可以适度加大送风量并且配合吹灰措施，避免积灰导致效率降低。

在智能化控制领域，可借助 DCS 系统对控制逻辑给予优化，达成送风机与空预器的深度耦合调节，借助实时采集负荷、阻力以及氧量等数据，系统可自动对送风机导叶角度或者变频转速进行调整，让风机出力与锅炉燃烧需求精确匹配，借助模型预测控制等先进算法，可提高系统对负荷波动的响应速度以及稳定性，降低人工干预，达成真正意义上的智能化运行。

3.3 运行实践验证

在改造之后投入实际运行的过程中，送风机调节的灵活性有了较为十分突出的提高，试运行所得到的结果显示，在深度调峰的工况之下，机组可在相对短的时间之内完成从 100% 到 30% 的负荷调整，并且燃烧过程处于稳定状态，没有出现火焰熄灭或者严重波动的情况，在低负荷运行的时候，送风机可保持较低的电流消耗以及合理的空气系数，防止了因为过量空气而导致的能效损失。在快速升负荷的阶段，送风机响应速度较快，保证了燃烧可及时获得空气补充，烟气成分维持在环保排放标准范围之内。

更关键的是,借助空预器与送风机的协同优化,机组于30%至100%的负荷区间内都可维持较高的燃烧效率以及环保达标率,实践验证显示,空预器阻力下降释出送风机的调节空间,智能化控制策略充分发挥了送风机的响应潜力,二者形成良性互动,让锅炉在灵活性运行需求下拥有更高的适应性与可靠性。这契合了新能源大规模接入背景下电网对灵活调节电源的需求,又为后续同类型机组的改造与优化提供了有益经验。

4 空预器改造与送风机调节协同应用的意义

4.1 提升机组深度调峰能力

借助空预器与送风机的协同改造工作,锅炉通风阻力出现明显下降情况,送风机出力余量得以增加,燃烧空气分配变得更为合理,机组的最小稳燃负荷较大降低,改造之前机组最低仅能稳定运行在约45%负荷,改造之后最低可降至约30%,并且燃烧稳定性以及排放水平都维持在可控范围。此项改进让机组拥有了更强深度调峰能力,于新能源出力高峰时段可主动降低负荷,腾出消纳空间,当新能源出力下降时,又可快速提升负荷,发挥电力系统调节与支撑作用,这提高了机组灵活性,又提高了电网对新能源波动的适应能力。

4.2 改善经济性与环保水平

改造完成之后,空预器的换热效率得以恢复,排烟的温度有所下降,锅炉整体的热效率实现了提高,因为在同等出力的情况下热损失有所减少,机组的燃煤耗量出现了下降,运行的经济性得到了改善,通风条件得到优化,使得燃烧更为完全,炉膛内的温度场以及氧量分布变得更加均匀,避免了局部出现缺氧或者过量空气的问题。如此一来,锅炉运行的稳定性得到提升,氮氧化物、粉尘等污染物的排放也得到了有效控制,实践证明,改造后的机组在深调峰运行的条件下依旧可维持环保达标水平,达成了经济性与环保性的双重提升,这对于达成节能降耗目标、推动煤电机组清洁高效转型以及支撑“双碳”战略目标有着

积极的意义。

5 结语

空预器堵塞以及送风机运行受到限制,这两个方面是制约煤电机组实现灵活性运行的关键所在,在本文当中,以某电厂的7号炉作为具体实例,提出了一条技术路径,也就是将空预器改造和送风机调节进行协同优化,实践所得到的结果显示,这样的方案可切实降低空预器的差压,并且提升送风机的调节范围,对锅炉灵活性运行的性能起到改善作用。在未来,需要把智能化控制与大数据分析结合起来,针对空预器的运行状态展开实时监测以及预测,达成从设备层面的改造提升朝着系统层面的优化运行的转变,为煤电机组在“双碳”战略背景下的灵活性改造以及可持续发展提供更为坚实的技术支撑。

参考文献:

- [1] 单元太. 双碳背景下燃煤锅炉能耗评价研究[J]. 天津职业院校联合学报, 2024,26(10):24-30.
- [2] 王宇, 程翔. 某350MW煤电机组锅炉水冷壁失效原因分析[J]. 安徽电气工程职业技术学院学报, 2024,29(02):43-49.
- [3] 仇中柱, 倪鹏, 潘卫国等. 700℃煤电机组锅炉炉内烟气侧热偏差的抑制[J]. 热科学与技术, 2024,23(02):142-149. DOI:10.13738/j.issn.1671-8097.021266.
- [4] 赵震, 冀润景, 张俊峰. 某超临界火电机组锅炉启动分离器质量问题处理[J]. 设备监理, 2023,(03):25-27+31. DOI:10.19919/j.issn.2095-2465.2023.06.007.
- [5] 陈国庆. 专栏执行主编寄语双碳背景下煤电机组锅炉灵活低碳技术研究与应用[J]. 电力科技与环保, 2021,37(06):2.
- [6] 张崇洋, 王建勇, 许文法. 浅析现代煤电机组锅炉大灰斗烟道安装工艺创新技术[J]. 安装, 2021,(11):45-47+57.