

# 火力发电机组灵活性改造技术研究

郭佳玉

(国电电力大连庄河发电有限责任公司, 辽宁 大连 116400)

**摘要** 随着火电在能源供给中的角色从基础性、常规性能源向调峰、备用能源转变, 辅助服务收入在火电企业收入中占比不断提高, 灵活性改造成为当前火电企业面临的重要课题。本文主要以某电厂600兆瓦的纯凝机组为例, 介绍了“灵活性”改造方案, 并详细介绍了省煤器烟气旁路改造和省煤器水旁路改造的技术措施, 最终达到30%深度调峰的要求, 总结出相关注意事项, 对即将进行灵活性改造的机组具有一定的参考意义。

**关键词** 灵活性改造 省煤器烟气旁路 给水旁路

**中图分类号:** TM61

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1007-0745(2022)10-0010-03

截至目前, 我国已成为全球风电装机容量最大的国家, 并且装机逐年上升。由于风能源的不确定性, 导致我国大部分区域电网调峰难度增大。火电机组按照以前上报的最小出力为额定容量的50%, 考虑到安全原因和经济性的原因, 大多数机组都不愿意将负荷降至50%以下。安全性因素体现在低负荷时, 锅炉燃烧不好, 容易灭火; 经济性因素体现在负荷减得越低, 供电煤耗就越大, 所以没有哪个电厂愿意干这“傻事”。以前为了保证电网安全, “弃风”现象经常发生, 但随着人们生活水平的日益提高, 现在人们越来越重视环保, 对低碳要求也越来越高。为了最大限度地消纳新能源电力, 我国必须进行火电机组的灵活性改造, 使得绝大部分火电机组都具有深度调峰的能力, 在电网低谷的时候负荷能压得下来, 给风电留出空间。根据新能源占比较高国家的经验, 开展火电灵活性、提升电源调峰能力, 可有效破解风电消纳问题。

火电灵活性改造要怎么改? 是否有成熟的、经济的技术? 当然, 安全可靠是第一位的。灵活性改造肯定会涉及锅炉、汽轮机、控制系统等方面的改造, 正所谓牵一发而动全身, 不能盲目地去改造, 需要先做评估, 然后再制定具体方案。当前国内比较常见的改造方案有以下四种: (1) 低负荷稳燃技术。等离子燃烧器改造、油枪改为小油枪等, 涉及制粉系统的改造, 比如动态分离器的应用等; (2) 低负荷脱硝技术。基本上有以下四种可行的方案: 一是分割布置省煤器方案; 二是弹性回热技术方案(回热抽汽补充给水加热技术); 三是省煤器烟气旁路方案; 四是省煤器水侧旁路方案。这些方案各有特点, 不能说谁比谁好, 只能是结合各火电厂的实际情况选择适应的改造方案<sup>[1]</sup>;

(3) 热电解耦技术。在东北地区, 有很多热供机组可以通过实现热电解耦的方法来达到灵活性改造的目的;

(4) 汽机改造技术。深度调峰对汽轮机的影响最大的就是低压缸末级叶片在低负荷下的安全问题, 低负荷下, 末级叶片蒸汽湿度增大, 汽轮机低压缸末级叶片有可能发生水蚀<sup>[2]</sup>。

由于某电厂为非供热纯凝机组, 不适合采用热电解耦技术, 结合实际情况, 主要采用了低负荷稳燃技术和低负荷脱硝技术相结合的技术路线, 对机组实施灵活性改造。

## 1 设备概况

某公司装机规模为2×600MW超临界燃煤发电机组, 两台机组分别于2007年8月6日和11月5日投入商业运行, 三大主机皆为哈电集团制造。

锅炉型号HG-1950/25.4-YM3, 为一次中间再热、变压运行, 带内置式循环泵启动系统, 固态排渣、单炉膛平衡通风、Π型布置、全钢构架悬吊结构、尾部双烟道(前烟道布置低再和省煤器; 后烟道布置低过和省煤器)、全封闭布置锅炉。省煤器出口灰斗后水平烟道上布置有过、再热器烟气温度电动调整挡板。在脱硝入口和锅炉一二级低过烟道之间加装了高温烟气旁路。脱硝催化剂为蜂窝状, 2+1布置, 采用尿素水解工艺。制粉系统配置6台ZGM113G型中速磨煤机, 2014年完成了2台炉引增风机合并, 改为汽动驱动。空预器后布置为四电场干式静电除尘, 在吸收塔出口布置有5个电场的极管湿式电除尘器。原设计煤种为双鸭山烟煤, 现煤源为烟煤和褐煤混烧。

汽轮机型号CLN600-24.2/566/566, 为哈尔滨汽轮机有限责任公司制造的超临界、一次中间再热、单轴、

三缸、四排汽、反动凝汽式汽轮机。采用定-滑-定压运行方式时,滑压运行范围为30-90%BMC。设有八段非调整抽汽,对由三台高压加热器、一台除氧器、四台低压加热器组成的回热系统及小汽机等供汽。

## 2 省煤器烟气旁路系统改造

在锅炉尾部后部一二级低过(烟气方向)侧包墙上开孔,引接高温烟气,至省煤器调温挡板后。烟道规格为5000\*800,分为左右两支,每支上加装了1套调整挡板门。在机组负荷逐渐下降时,通过调整旁路挡板,使旁路挡板逐渐开大,最终达到全开,使部分高温烟气不经过省煤器换热,直接进入脱硝系统,相当于抽取的高温烟气与前后烟道的烟气进行混合后提高脱硝入口的烟气温度。主要流程比较简单,即从后烟道转向室外抽取高温烟气,在脱硝入口烟道进行混合,提高低负荷脱硝入口的烟气温度。旁路烟道上需要加装膨胀节、关闭挡板、调节挡板进行烟气流量的调节。烟气旁路的运行主要是在低负荷工况下运行,通过尾部调温挡板增加适当的烟气阻力,调节旁路烟道上装设的烟气调节挡板控制混合后的烟气温度。高负荷运行时关闭旁路烟道关闭挡板即可。

为了节约燃料成本,由原来的设计煤种双鸭山烟煤改为大量掺烧劣质褐煤,导致相同负荷下,燃料量大幅增加,以现在煤种计算,机组带额定负荷时燃料量为330t/h左右,而在燃用设计煤种时,机组带额定负荷时燃料量仅为220t/h。多出来的100t/h的煤量必然导致炉膛内灰分的大幅增加,烟气旁路挡板安装后,就必须考虑烟道内部堵灰及挡板门卡涩问题。作为调节挡板,必然存在一定的漏风率。在机组高负荷运行时,烟气流速,流量都很大,长时间运行,再加上烟气和挡板的摩擦作用,必然导致调节挡板内漏,这将大大地影响锅炉效率。为此,结合实际运行情况,要求施工单位在设计时必须设计多加装一道关断挡板,必须保证质量,因为挡板在尾部烟道里,一旦挡板出现问题,将无法在线处理,只能停炉处理。每台关断挡板门均设置2组电动驱动装置,并且在挡板门后设计烟温测点。

由于锅炉钢构架荷载未考虑烟气旁路荷载,所以需对原构架进行改造或补强。要求施工方必须要请有设计资质的单位来设计锅炉钢构架改造方案,对于设计出来的钢架补强改造方案,还必须提交哈尔滨锅炉厂审核。在原设计单位审核通过以后,才能开工改造。

尾部烟道旁路尽量增大炉左炉右方向的长度,保证烟气在进入SCR入口烟道时能混合均匀。整个烟道吊装在梁上,通过限位装置限制烟道的膨胀方向,最

终用非金属膨胀节吸收热位移量。增加旁路烟道关闭挡板和调节挡板电动执行机构操作平台,并安装人口门,方便检修。

改造后,机组负荷220MW及以上时,通过开大脱硝入口烟气旁路挡板,基本能够满足脱硝入口烟气温度 $>300^{\circ}\text{C}$ 。在300MW工况下全开烟气旁路挡板,能够使脱硝入口烟温提升 $30^{\circ}\text{C}$ 左右,同时,改造后通过对锅炉效率影响不大。对于高加退出的情况来说,在高加退出以后,全开脱硝入口烟气旁路挡板,机组负荷在300MW以上时,脱硝入口烟气温度能够达到要求,期间维持中上排磨煤机运行,提高火焰中心,配合脱硝烟气旁路的投运,确保脱硝入口烟气温度保持在 $305^{\circ}\text{C}$ 以上,脱硝系统连续运行。机组220MW负荷运行期间,四台磨煤机全烧褐煤,总煤量约为145t/h,由于热负荷均匀,因此未使用等离子或油枪进行稳燃。锅炉始终维持直流运行状态,给水流量约为550t/h,水冷壁及过热器也未出现超温等异常,机组运行平稳。

此次改造后,在机组低负荷时开启此挡板,脱硝反应器入口烟气温度提高 $15^{\circ}\text{C}$ (设计300MW时,空预器入口烟气温度 $305^{\circ}\text{C}$ ,实际能达到 $310^{\circ}\text{C}$ ),基本上保证了脱硝系统在低负荷时能够投入运行。

## 3 省煤器水旁路系统改造方案

由于公司已完成省煤器烟气旁路改造,因此在深度调峰至180MW的目标前提下,仅需要在此前基础上将烟气温度再提高 $8-15^{\circ}\text{C}$ 即可确保满足投运条件,由于水旁路改造具有改造时间相对短,因此首先实施加装省煤器简单水旁路改造。

本次省煤器给水旁路系统流程自给水管路上接出旁路管道,将此旁路管道接入省煤器出口连接管,同时旁路管道上配有控制阀、截止阀等阀门用来控制省煤器旁路水量从而控制通过旁路的给水流量。由于旁路工质不经过炉内烟气换热,故可以使省煤器换热量减小,从而提高省煤器出口烟温。而且旁路水量设有调节阀,可以控制通过旁路的工作流量,故可以在变负荷工况下,通过调节旁路水量来调节省煤器出口烟温。

具体方案如下:在省煤器入口给水母管和省煤器出口下降管之间增加旁路联通管线,旁路上设置2台电动闸阀、1台电动调整阀、1台逆止阀,流量计等测量装置,在主给水管路接口位置加装1台电动憋压阀(此阀门在机组低负荷时关闭,目的是增加旁路的流量)。在机组深度调峰时将此旁路电动门和调阀打开,将近40%的给水不经过省煤器,减少了省煤器的吸热量,达到提高脱硝入口烟气温度(即省煤器出口烟气温度)

的目的。初步分析计算温度约提高8-10℃,配合原烟气侧小旁路烟道,在180MW工况时脱硝入口烟气温度为304℃,基本能满足机组180MW负荷时投运脱硝烟温条件。

水旁路系统设置手动和自动模式两种控制方式,当满足条件时,运行人员即可通过DCS控制画面打开省煤器旁路调门前后的电动闸阀。当省煤器旁路调门前后电动闸阀在全开位置后,将省煤器旁路调门缓慢打开至25%(调试时确定)左右,手动或系统设自动打开憋压阀,手动或系统投自动调节控制阀。省煤器旁路调门控制(自动)如下:系统通过省煤器出口温度设定值与省煤器出口温度平均值的偏差来控制省煤器旁路调节阀的开度,进而控制省煤器给水旁路流量,达到控制SCR入口烟温的目的,运行人员可为设定值加一定的偏置。

#### 4 调试情况

负荷应稳定运行在180MW-220MW之间,调试期间(约2-4h)应避免负荷变动。燃料、系统主要参数满足设计要求;省煤器旁路系统各阀门无故障且可远程操作;旁路系统差压变送器,省煤器出口水温、烟温测量仪表校准且读数正常。

开启省煤器旁路调门前后电动闸阀,开启省煤器旁路调门,调节过程中,要求省煤器旁路调门每次调节开度变化不大于5%,观察5-10分钟后,待系统稳定且无异常工况后方可进行下步操作。调门开启过程中应注意观察SCR入口烟温、省煤器旁路流量、省煤器出口压力、省煤器出口温度。观察旁路管路,如出现管路振动或汽化倾向,应立即停止阀门开启并关小阀门。

若省煤器旁路调门打开至20%开度时SCR入口烟温仍未达到预定值,维持旁路调门开度不变,关省煤器进口憋压阀。憋压阀关闭过程中,应观察给水流量、水冷壁出口过热度、SCR入口烟温、省煤器旁路流量、省煤器出口压力、省煤器出口温度等参数。如上述参数出现剧烈波动,则须打开憋压阀,排除原因后,方可重新投入憋压阀。如憋压阀正常关闭,则继续开启省煤器旁路调门。

当SCR入口烟温达到预定值,或省煤器出口压力/水温达到预警值,停止开启调节门,试验结束。

调试时其他注意事项:(1)调试过程中注意当前烟气旁路的开度,试验前后要求烟气旁路的开度一致;(2)调试过程中注意省煤器进口压力或主汽压力,不小于技术协议要求值;(3)调试过程中注意低过与低

再侧烟气挡板开度,若一侧省煤器出口水温偏高,需关小此侧烟气挡板开度。

## 5 其他改造

### 5.1 提高低负荷燃烧安全及稳定性

通常提高低负荷下燃烧稳定性的技术路线通常有:加装等离子层,微油点火稳燃等技术。经分析,在目前不投入较大改造资金且能保证稳燃效果前提下,考虑将油枪更换为小流量雾化片方案,提高油枪雾化效果,减小热负荷冲击,节约用油。目前现役的油枪出力为1300kg/h.支,通过更换雾化片,将油枪出力控制为300kg/h.支。经讨论将中间2层C层F层燃烧器油枪更换为小流量雾化片,其余三层油枪依然保留大流量雾化片(目的是一旦有单台磨组跳闸时,能够及时投入油枪保证一定热负荷,维持锅炉安全运行)。

### 5.2 水冷壁垂直管和螺旋管增加壁温测点

机组在低负荷运行时,由于流量偏低,个别管束有可能超温和炉水汽化,影响锅炉水动力安全,为此在水冷壁垂直管上增加管壁温度测点,监督是否超温;在省煤器悬吊管出口加装壁温测点,监督省煤器给水流量减少后其运行工况。所以要对水冷壁垂直管和省煤器悬吊管增加管壁温度测点。

### 5.3 控制系统完善

机组在180MW时保持锅炉干态运行,给水流量接近保护定值,由热工人员组织进行协调系统优化,将机组协调控制下的压力曲线、给水曲线等控制逻辑延伸至180MW,满足机组协调方式下的自动调整。省煤器出口水温在DCS画面上添加饱和温度点。

## 6 结语

本文结合某公司机组的改造实际方案,介绍了省煤器烟气旁路和省煤器水旁路的改造情况,实现了深度调峰至180MW的目标,通过灵活性改造也取得了很好的社会效益和经济效益,对即将做灵活性改造的电厂起到了一定的参考作用。

## 参考文献:

- [1] 谢俊,白兴忠,甘德强.水电/火电机组调峰能力的评估与激励[J].浙江大学学报,2009,43(11):2079-2084.
- [2] 王晓峰.东北电网消纳风电能力研究[D].北京:华北电力大学(北京),2011.