

现役燃煤机组全工况脱硝技术比较

陈华桂, 何育生, 戴兴干

(江苏方天电力技术有限公司, 江苏 南京 211102)

摘要:燃煤机组低负荷调峰运行时,从省煤器出口进入SCR(selective catalytic reduction)脱硝装置的烟气温度偏低,偏离了脱硝催化剂的温度窗口,造成脱硝效率低,甚至脱硝系统无法正常投入,导致氮氧化物排放浓度超标,成了制约机组的深度调峰能力主要因素。文中介绍了几种实现燃煤机组NO_x全工况达标排放的SCR入口烟气温度提升技术,包括省煤器烟气旁路、省煤器分级、省煤器水侧旁路、弹性回热、热水再循环、省煤器分隔烟道、烟气补燃等,并就各自的技术特点进行了对比分析,为电厂开展全工况脱硝改造提供参考。

关键词:燃煤机组;烟气脱硝;选择性催化还原;低负荷;烟温

中图分类号:TK223

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2017)05-0160-05

0 引言

江苏省内135 MW以上的主力燃煤机组在2014年全部完成了烟气脱硝技术改造,绝大多数机组都选用效率较高、适用性较广的SCR(selective catalytic reduction)技术^[1],SCR技术是将氨作为还原剂喷入烟气中,利用催化剂将烟气中的NO_x转化为N₂和H₂O^[2]。SCR催化剂也会将烟气中的SO₂氧化成SO₃,当反应温度较低时,SO₃与逃逸的氨发生副反应,不但消耗NH₃,末级催化剂表面和空气预热器还会被副反应生成的铵盐附着、堵塞,降低催化剂活性^[3],甚至堵塞空预器,影响锅炉安全运行^[4]。在SCR系统控制保护程序中需对反应温度进行限制,当烟气温度低于限定值时,自动切断喷氨系统^[5]。对于不同的催化剂,该温度略有不同,一般催化剂的最低喷氨温度为300℃。机组在电力调度管辖的基本调峰范围内运行时,即额定负荷50%~100%,SCR入口烟气温度基本都能满足要求。

1 全工况脱硝的背景

为加快能源技术创新,挖掘燃煤机组调峰潜力,提升火电运行灵活性,全面提高系统调峰和新能源消纳能力,政府相关部门出台政策,鼓励省内燃煤发电机组超过基本调峰范围进行深度调峰。并组织技术支持单位对部分机组进行了深度调峰试验。试验时,机组负荷降至40%额定负荷以下不投油稳定运行8 h。深度调峰试验期间,虽然采取了提高炉膛火焰中心,适当提高氧量,燃烧器摆角和SOFA风摆角上摆等烟温调节手段来提升省煤器出口烟温^[6]。但从试验情况看,随着负荷的降低,锅

炉省煤器出口(SCR入口)烟气温度偏低,如图1所示。脱硝喷氨装置不能可靠投入,引起锅炉烟气氮氧化物排放超标是燃煤机组深度调峰运行的主要制约因素^[7]。

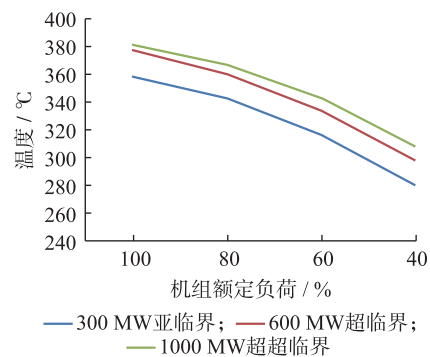


图1 省煤器出口烟温和机组负荷的对应关系
Fig.1 The relation between economizer outlet flue gas temperature and unit load

国家环境保护部环函[2015]143号,明确了火电厂在任何负荷时,都必须达标排放。脱硝系统无法运行导致的氮氧化物排放浓度高于排放限值要求,认定为超标排放,并依法予以处罚。在环保要求持续提高的新形势下,要提升燃煤机组的深度调峰能力,进行全工况脱硝改造尤为必要,以实现燃煤机组最低技术出力以上全工况稳定达标排放。

2 全工况脱硝的技术方向

2.1 采用低温催化剂

低温脱硝催化剂的研究方向是拓宽催化剂温度窗口,使得其在低烟气温度条件下保证脱硝效率,燃煤电站锅炉低温SCR催化剂技术多处于研制阶段^[8],脱硝效率尚难以满足超低排放标准要求,目前暂无工程应用。

2.2 提升 SCR 入口烟气温度

提升低负荷时的 SCR 入口烟气温度成了当前全工况脱硝的主要方向。绝大多数现役机组锅炉出口通过连接烟道与脱硝装置入口相连, 省煤器作为锅炉的末级受热面, 其出口烟温对脱硝装置入口烟温有显著影响, 而且对于大部分锅炉类型, 脱硝装置入口烟温即为锅炉省煤器出口烟温。

3 提升 SCR 入口烟气温度的技术改造方案

省煤器作为换热装置, 流经省煤器外部的高温烟气为放热介质, 流经省煤器内部的低温给水为吸热介质, 在其他条件一定的情况下, 省煤器出口处的烟气温度受省煤器换热量大小影响明显。

3.1 省煤器烟气旁路

从锅炉省煤器前或低温过(再)热器前引出高温烟气, 通过旁路烟道、调节挡板送入 SCR 系统入口烟道与反应器的烟气混合来调节 SCR 入口烟温, 高负荷时关闭挡板门, 低负荷时调节挡板门开度, 以达到机组低负荷运行时脱硝设施投运的温度条件^[9]。带省煤器烟气旁路的 SCR 系统如图 2 所示。

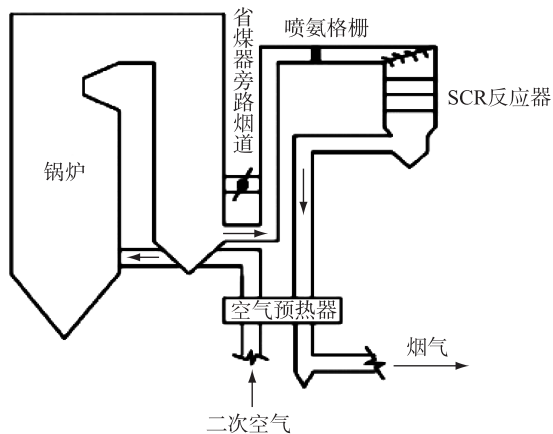


图 2 带省煤器烟气旁路的 SCR 系统

Fig.2 SCR system with flue gas bypass of economizer

省煤器旁路烟道改造要求进入 SCR 反应器第 1 层催化剂前的高温烟气与低温烟气要混合均匀。在空间允许的情况下, 高温烟气接入点应尽量远离催化剂层, 尽可能布置在喷氨格栅和静态混合器的上游, 通过喷氨格栅和静态混合器增加扰动, 促进冷热烟气的混合。

旁路开启后, 排烟温度升高, 影响机组经济性, 若配置低温省煤器, 回收部分排烟余热后, 经济性影响要小一些。如果长期不在低负荷运行, 挡板门处于常闭状态, 可能会导致积灰、卡涩。该方案投资成本相对较低, 且运行操作简单。对经常参与深度调峰的机组建议使用。

3.2 分级省煤器

将原有省煤器靠近烟气下游的部分拆除, 在 SCR 反应器后增设一定的省煤器受热面。给水直接引至位于 SCR 反应器后面的省煤器, 然后通过连接管道再引至位于 SCR 反应器前的省煤器。减少 SCR 反应器前省煤器的吸热量, 从而提高 SCR 入口烟气温度^[10]。这种布置基本上不改变水汽系统和风烟系统的流程, 不影响锅炉的运行操作, 对锅炉效率影响较小。对于排烟温度偏高的锅炉, 还可考虑适当地增加 SCR 反应器后的省煤器面积, 以降低排烟温度, 提高锅炉效率。分级省煤器示意图如图 3 所示。

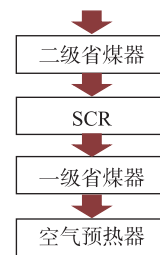


图 3 分级省煤器示意图

Fig.3 Sketch diagram of classifying coal economizer

该方案优点在于不影响锅炉整体效率的前提下提高了 SCR 入口烟气温度。缺点是改造工作量较大, 投资费用也高。同时, 该方案使机组在全负荷范围内提高了反应器进口烟温, 必须考虑在高负荷时进口烟温是否存在过高的问题, 尤其是在夏季机组高负荷运行时, SCR 进口烟气温度可能接近甚至超过催化剂的允许的最高温度, 造成催化剂烧结。此外, 实施脱硝改造工程时还应考虑 SCR 反应器下部有无安装省煤器空间及钢结构荷载不足的问题^[11]。

3.3 省煤器水侧旁路

省煤器水侧旁路是将给水从省煤器进口集箱通过连接管引至省煤器出口集箱, 旁路连接管上装设调节阀, 在低负荷时通过开启旁路调节阀增加旁路给水流量, 使流经省煤器的水量减少来降低省煤器的吸热, 从而提高省煤器的出口烟温^[12]。省煤器水侧旁路示意图如图 4 所示。

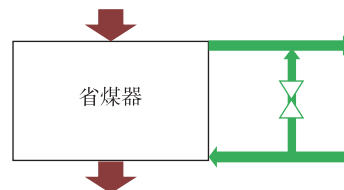


图 4 省煤器水侧旁路示意图

Fig.4 Sketch diagram of water bypass of economizer

该方案改造设备少,投资费用也低。由于水侧换热系数比烟气侧换热系数大几个数量级,水量减少时,省煤器换热量基本不变,出口烟温变化较小,只是提高了省煤器出口水温。容易出现省煤器出口水欠焓降低,严重时会对水动力产生影响。对低负荷需要调节烟温升高幅度较低的锅炉,或不经常参与深度调峰的机组可采取本方案。

3.4 弹性回热

弹性回热技术是在回热系统的1号高加前增设1台0号高压给水加热器,见图5。其抽汽来自一段抽汽上游。额定工况时,该段抽汽的阀门关闭,0号高加不加热给水。低负荷时,阀门开启,投入0号高加加热给水,提升给水温度,降低省煤器换热量,进而提高省煤器出口烟温。0号高加会降低汽机热耗,但系统较复杂,需要现场具有相应的布置空间,且存在排烟温度升高造成锅炉效率降低的问题。机组煤耗降低较小,配置低温省煤器,回收部分排烟余热后,节能效果要略微好一些^[13]。

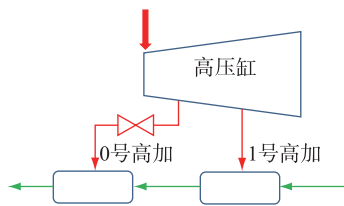


图5 弹性回热示意图

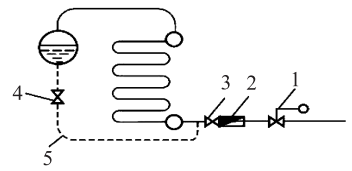
Fig.5 Flexible regenerative heating

3.5 热水再循环

该技术主要用于亚临界汽包锅炉,对现有的锅炉水系统进行改造,利用炉水循环泵将部分高温饱和水输送至省煤器水侧进口联箱与给水混合,以提高进入省煤器的给水温度,减少给水在省煤器中的吸热量,进而提高锅炉省煤器出口烟气温度,使之温度达到SCR脱硝的适用温度,这一改造温度提升的效果主要受制于炉水循环泵的扬程,适合炉水泵扬程裕量较大的情况。为此做了部分改进,将部分炉水掺入给水的同时将部分给水旁路进入下降管,可以在不增加省煤器流量的条件下更大地提高省煤器入口水的温度,从而获得烟气温度更大提升的效果。最大烟温提升可达20℃。该系统方案有效解决了SCR因入口温度低脱硝系统停止运行的问题,而且较水侧的其他方法具有提升烟气温度幅度大,系统简单,改造投资少,对其他工况的影响小等特点。热水再循环示意图如图6所示。

3.6 省煤器分隔烟道

该技术将省煤器的管片进行分隔,分成几个烟道,在分隔烟道上再增设挡板,控制分流每个烟道



1—调节阀; 2—逆止阀; 3—截止阀;
4—再循环阀; 5—再循环管

图6 热水再循环示意图

Fig.6 Schematic diagram of hot water recycling

的烟气流量^[14],使得省煤器与烟气的换热面积和流量可进行无级变化,从而达到省煤器出口烟温控制在315℃以上^[15],确保SCR在锅炉低负荷下能正常喷氨运行,降低氮氧化物排放量,符合国家环保要求^[14]。省煤器分隔烟道示意图如图7所示。

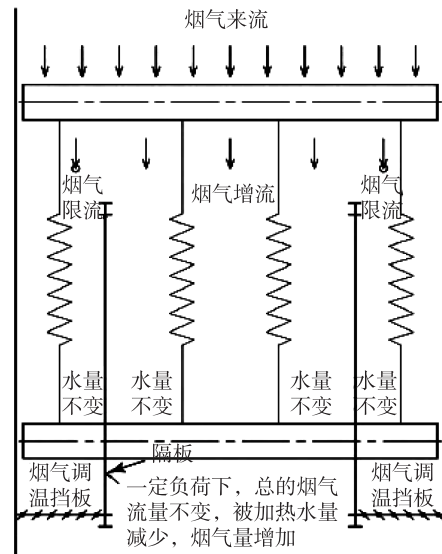


图7 省煤器分隔烟道示意图

Fig.7 Schematic diagram of separated economizer flue

3.7 烟气补燃技术

烟气补燃技术包括燃油方案及燃气方案,在锅炉从点火到最低稳燃工况之间的非稳燃工况下,满足SCR脱硝的烟气温度要求,以实现最大负荷范围的SCR投运。燃油方案采用外置燃油点火风道,通过引出炉膛尾部的低温烟气进入点火风道助燃,再将产生的高温烟气与烟道内低温烟气混合均匀后进入反应器,达到SCR烟气脱硝要求;燃气方案是在脱硝反应器之前增加一段烟道,布置燃气燃烧器,通过低温烟气助燃、燃烧使得烟道内烟气温度提高,从而满足SCR烟气脱硝。油燃烧器点火初期油燃烧不完全,产生的烟气中会携带部分未燃尽的油滴附着在反应器上面,玷污催化剂。从结构的复杂性以及整个设施的投资而言,燃气方案较燃油方案经济性更高一些,更适合采用在实际的工程当中^[16]。烟气补燃示意图如图8所示。

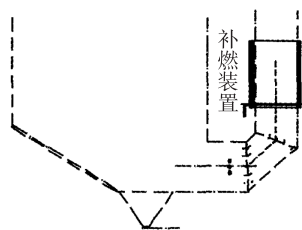


图8 烟气补燃示意图

Fig.8 Schematic diagram of flue gas afterburning

4 全工况脱硝技术比较

分级省煤器技术投资成本高、施工难度大、改造工期长,对机组控制方式没有影响,对锅炉效率基本没有影响,低负荷脱硝入口烟温提升幅度较大,运行中无需调节。省煤器烟气旁路技术与分级省煤器技术相比改造投资成本相对较低,改造工期相对较短,控制简单,但占用空间大,锅炉效率会有所降低,脱硝入口烟温提升幅度较大,运行中需要调节,长期不用时,积灰会造成挡板卡涩。省煤器水侧旁路技术改造投资较小,工期短,低负荷脱硝入口烟温提升幅度较低,旁路水量过大时,省煤器存在沸腾风险,锅炉效率有所降低。

弹性回热技术系统较为复杂,改造投资较大,工期较长,需增加一台高压加热器,汽轮机需要有抽汽口,脱硝入口烟温提升幅度一般,这一技术可降低低负荷工况下的汽轮机热耗,同时也因排烟温度升高使得锅炉效率有所下降,但综合起来机组总热效率仍有所提高,满足环保要求的同时还可以提升机组的经济性。

热水再循环、尤其适用于亚临界汽包锅炉,改造工期短,施工简单,脱硝入口烟气温度提升有限,锅炉效率有所降低。省煤器分隔烟道技术改造工程量相对较少,控制简单,但挡板门存在积灰卡涩可能,低负荷运行时,流场恶化,烟气流速加快,存在省煤器磨损风险,锅炉效率有所下降^[17]。烟气补燃技术,适用于从锅炉点火到最低稳燃工况之间,满足 SCR 脱硝的烟气温度要求。

5 结论

现役燃煤机组实施全工况脱硝改造是新的环保政策要求,也是机组调峰能力进一步提升的关键所在。通过合理的途径提高 SCR 入口烟气温度,以达到脱硝正常运行需要是可以解决目前的低负荷脱硝问题,而排烟温度提高所带来的热效率降低问题也是可以通过增加尾部受热面来加以解决。

目前可以采用全工况脱硝改造方案较多,改造

要求、改造效果、工程造价各不相同。电厂应结合自身设备的实际运行情况、现场空间状况,通过综合考虑改造效果、实施难度、经济性来选择合适的改造方案,实现全工况脱硝,从而提高机组的调峰能力,增强运行灵活性。

参考文献:

- [1] 彭祖辉. 江苏省燃煤机组脱硝装置运行现状分析[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(6):77-80.
- [2] 西安热工研究院. 火电厂 SCR 烟气脱硝技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
- [3] 武纪原. 燃煤发电机组脱硝系统稳定运行影响因素分析[J]. 江苏电机工程, 2016, 35(4):95-97.
- [4] 金其森, 殷志龙. 630 MW 机组脱硝改造后空预器差压大问题[J]. 江苏电机工程, 2015, 34(1):78-80.
- [5] DL/T 335—2010 火电厂烟气脱硝(SCR)系统运行技术规范[S]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
- [6] 章义发, 陆明智, 彭万生, 等. 哈尔滨 600 MW 超临界锅炉低负荷期间脱硝运行研究[J]. 发电技术, 2014(4):36-38.
- [7] 董志军, 施跃. 火电厂选择性催化还原法脱硝效益与安全[J]. 江苏电机工程, 2014, 33(5):76-79.
- [8] 郭凤, 余剑, 牟洋, 等. 宽工作温度烟气脱硝催化剂制备及反应机理研究[J]. 燃料化学学报, 2014, 42(1):101-109.
- [9] 魏刚, 蔡继东. 烟气旁路实现百万等级超超临界锅炉宽负荷脱硝的应用[J]. 锅炉技术, 2016, 47(2):43-45.

- WEI Gang, CAI Jidong. Application of flue gas bypass to realize wide load denitrification of a multi class ultra supercritical boiler [J]. Boiler Technology, 2016, 47(2): 43-45.
- [10] 曹 慰, 王憧北. 应用分级省煤器技术实现宽负荷脱硝 [J]. 锅炉技术, 2015, 46(6): 21-24.
CAO Wei, WANG Dongbei. Application of economizer technology to achieve a wide load denitration [J]. Boiler Technology, 2015, 46(6): 21-24.
- [11] 徐 昶, 徐 良, 胡 杰, 等. 国内首台火电机组省煤器分级改造提高 SCR 入口烟温实践 [J]. 锅炉制造, 2014(6): 42-43.
XU Chang, XU Liang, HU Jie, et al. Practice of economizer classification and reconstruction in the first domestic thermal power plant to enhance SCR inlet gas temperature, [J]. Boiler Manufacture, 2014(6): 42-43.
- [12] 王 洁, 滕 农, 张文杰, 等. 机组负荷对 SCR 系统运行影响研究 [J]. 电力科技与环保, 2011, 27(3): 16-18.
WANG Jie, TENG Nong, ZHANG Wenjie, et al. Study on the effect of unit load on the operation of SCR system [J]. Power Technology and Environmental Protection, 2011, 27(3): 16-18.
- [13] 乔加飞, 刘颖华, 郝 卫, 等. 考虑低温省煤器的宽负荷高效回热技术研究 [J]. 节能技术, 2016, 34(2): 103-106.
QIAO Jiafei, LIU Yinghua, HAO Wei, et al. Study on wide load and high efficiency heat recovery technology of low temperature economizer [J]. Energy Saving Technology, 2016, 34(2): 103-106.
- [14] 李 峰, 朱宰基. 宽负荷脱硝改造的探索和实践 [J]. 发电设备, 2016, 30(2): 116-119.
- LI Feng, ZHU Zaiji. Exploration and practice of wide load denitrification. [J]. Power Generation Equipment, 2016, 30(2): 116-119.
- [15] 张南放. 1000 MW 机组电厂宽负荷脱硝研究与应用 [J]. 上海节能, 2016(12): 662-666.
ZHANG Nanfang. 1000 MW power plant wide load denitrification research and application [J]. Shanghai Energy, 2016(12): 662-666.
- [16] 李曼丽, 杨志忠, 张山鹰, 等. 非稳燃工况脱硝的烟气温升装置 [J]. 东方锅炉, 2016(1): 26-28.
LI Manli, YANG Zhizhong, ZHANG Shanying, et al. Flue gas temperature rising device under non steady combustion conditions [J]. Dongfang Boiler, 2016(1): 26-28.
- [17] 杨青山, 廖永进. 降低 SCR 脱硝装置最低投运负荷的策略研究 [J]. 中国电力, 2014, 47(9): 153-155.
YANG Qingshan, LIAO Yongjin. Study on the strategy of reducing the minimum operation load of SCR denitrification unit [J]. China Electric Power, 2014, 47(9): 153-155.

作者简介:



陈华桂

陈华桂(1978—),男,江苏姜堰人,高级工程师,从事发电机组节能降耗与污染物减排方面的工作 (E-mail: chenhuagui2000@sina.com);

何育生(1960—),男,安徽巢湖人,高级工程师,从事火电机组热工自动化试验研究工作 (E-mail: heyusheng@126.com);

戴兴干(1977—),男,江苏兴化人,工程师,从事火电机组的性能测试和优化方面的工作 (E-mail: daixg@126.com)。

Comparison of Denitrification Technology for In-service Coal-fired Unit in All Conditions

CHEN Huagui, HE Yusheng, DAI Xinggan

(Jiangsu Frontier Electric Technologies Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: Low load peak operation of coal-fired unit the flue gas temperature from the economizer outlet enters the SCR denitrification device is low, deviated from the temperature window of the denitrification catalyst, resulting in low efficiency of denitrification, even the denitrification system is not normal put into operation, resulting in the concentration of nitrogen oxides emission exceeded, has become the main factors restricting the unit's depth peak capacity. This paper introduces several SCR inlet flue gas temperature upgrading technology for realizing the emission of NO_x of coal-fired unit, and compares the technical characteristics of each other, and provides reference for the power plant to carry out the whole working condition denitrification Reformation.

Key words: coal fired unit; flue gas denitration; SCR; low load; flue gas temperature

(编辑 徐林菊)