

燃煤烟气污染物超低排放技术及经济分析

李新

内蒙古蒙东能源有限公司鄂温克电厂

[摘要]燃煤烟气污染物超低排放技术的应用是火电厂发展的必然趋势,是一个循序渐进的过程。在实现超低排放技术效果的同时,继续提高经济性,推动燃煤烟气污染物超低排放技术有序发展。

[关键词]燃煤;烟气;超低排放;经济

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-6261.2021.09.854

目前,我国大气污染形势严峻,“三区十群”等重点区域雾霾频发且愈演愈烈,究其原因,不仅与社会经济发展方式、能源结构和利用方式等有关,而且与大气污染物的控制技术与管理强度不能适应经济发展要求有关。燃煤电站大气污染物的高效脱除与协同控制是国际能源与环境领域的战略前沿课题之一,也是一个热难点研究课题。

一、燃煤发电污染物组成及主要污染环节

煤炭由C、H、O、S、N等成分组成,还含有微量的有毒有害元素,如砷、汞等,煤炭燃烧会产生废气、烟尘和灰渣等,同时释放SO_x、CO₂、NO_x及多环芳烃等物质,这些物质也是燃煤发电产生的主要污染物。

根据通用的燃煤发电运营工艺流程分析,燃煤发电中的主要污染物产生环节包括储煤、运煤、燃煤、发电等部分。储煤、运煤中产生的扬尘会影响环境,通过向煤场、输煤栈桥洒水冲洗能减少扬尘产生,这一过程产生的输煤废水也会影响环境;燃煤环节是污染物产生的主要环节,燃煤发电时煤炭燃烧产生的污染物均在该过程中产生,燃煤环节的污染物治理是燃煤电厂环境治理的最主要组成部分;此外,发电中各种机械设备(如水泵、空压机)产生的噪声,冷却塔产生污水及主厂房内的冲洗产生的冲洗废水也会对环境产生影响。综合来看,燃煤电厂产生的污染物主要包括废气、废水、废渣等,在这些污染物中烟尘、SO_x、CO₂、NO_x是燃煤电厂的首要污染物。烟尘、SO_x、CO₂、NO_x也是造成空气环境质量恶化的最重要因素。

二、超低排放的概念

超低排放是指燃煤火力发电机组烟气污染物排放浓度应达到或低于规定限值,即在基准氧含量为6%时,烟(粉)尘≤5mg/m³,二氧化硫≤35mg/m³,氮氧化物≤50mg/m³。

三、燃煤烟气污染物超低排放技术发展现状

由于工业发展晚,我国初期燃煤电厂采用的脱硫、脱硝、除尘等烟气净化手段基本上以国外引进为主,由于缺乏本地化设计,使烟气净化技术功能单一、系统协调性差、烟气处理效果不明显,同时在运行中由于烟气处理系统的整合系统不兼容造成了烟气处理设备的运行与衔接频繁故障,在加重设备运行负担时,为电厂造成了重大的经济损失。随着燃煤技术水平的提高,我国火电行业积极总结、实践,结合我国电厂运行、燃煤烟气及处理技术特点,建立了适用于我国燃煤烟气处理和净化技术系统,实现烟尘、二氧化硫和氮氧化物等多种污染物超低排放的技术工艺数据库。

1、烟尘的超低排放技术。燃煤烟尘的处理采用在脱硫前进行干式除尘和脱硫后湿式除尘,通过两种除尘方法的有效衔接,实现燃煤烟气除尘效果。

1) 干式除尘技术。它包括静电除尘、袋式除尘、电袋复合除尘技术。其中,静电除尘技术具有处理烟气量大、除尘效率高、设备阻力低、适应烟温范围宽、使用简单可靠等优点,已应用在我国80%以上的燃煤机组。针对电除尘的增效技术包括:低低温电除尘、旋转电极式电除尘、微颗粒捕集增效、新型高压电源技术等。通过增效的干式除尘技术,辅以湿法脱硫的协同除尘,在适宜煤质条件下,能实现烟囱出口烟尘排放浓度低于10mg/m³。

2) 湿式除尘技术。它通常用于燃煤电厂湿法脱硫后饱和湿烟气中颗粒物的脱除。要实现烟尘浓度低于5mg/m³的超低排放,一般情况下需配套湿式静电除尘技术。其工作原理是:烟气被金属放电线的直流高压作用电离,荷电后的粉尘被电场力驱动到集尘极,被集尘极的冲洗水除去。与电除尘器的振打清灰相比,湿式静电除尘器是通过集尘极上形成连续的水膜高效清灰,不受粉尘比电阻影响,无反电晕及二次扬尘问题;且放电电极在高湿环境中使电场中存在大量带电雾滴,增加了亚微米粒子碰撞带电概率,具有较高的除尘效率。它突破了传统干式除尘器技术局限,对酸雾、细微颗粒物、超细雾滴、汞等重金属均具有良好的脱除效果。

2、二氧化硫的超低排放技术。燃煤烟气的脱硫技术是燃煤烟气处理的重要环节。目前通常采用的脱硫提效手段有:托盘塔技术、双塔串脱硫、单塔双循环等。

1) 托盘塔技术。通过利用喷淋塔使烟气在喷淋塔界面上实现与脱硫浆液,在托盘界面形成泡沫层充分混合反应,保证了烟气中二氧化硫得以充分反应吸收,以实现高效脱硫。但同时,由于加装托盘导致脱硫阻力上升,增加脱硫功耗。

2) 双塔串联技术。其是利用两级石灰石-石膏湿法喷淋空塔串联运行,烟气经一级塔,先脱掉烟气中SO₂的一部分,再经二级塔,两次叠加,从而达到总脱硫效率大于98%的要求。脱硫系统采用串联吸收塔运行方式出力高,对锅炉负荷波动适应性强,有效保证了SO₂超低排放要求。适用于脱硫系统的增效改造,优点有:原脱硫系统设备无需做任何改动,改造期间不影响原系统的运行。同时也存在一些问题:①初投资过高,跟单塔比较,新增了一座吸收塔和连接烟道;②脱硫系统增加的阻力大,引风机或脱硫增压风机运行能耗高;③两级吸收塔必须配置除雾器,否则连接烟道内会大量

积浆；④场地占用面积大；⑤石膏脱水需从两座吸收塔浆池排石膏，系统复杂。

3) 单塔双循环技术。它是对双塔串联工艺流程的进一步优化，该工艺中烟气通过1台吸收塔实现2次SO₂脱除过程，经过2级浆液循环：一级循环功能是保证亚硫酸钙氧化效果和石灰石充分溶解，以及充足的石膏结晶时间；二级循环保证高脱硫效率，无需考虑亚硫酸钙的氧化和石灰石溶解的彻底性，以及石膏结晶大小问题。其特点是：烟气分两级脱硫，一级循环pH值控制在4.5~5.3，有利于石灰石的溶解和石膏的结晶，能得到品质很高的石膏；二级循环pH值控制在5.8~6.4，能在较低液气比工况下得到较高脱硫效率，从而降低能耗。因此单塔双循环技术更适用于高硫煤的高效脱硫，能较好地适应工况的波动。此外，单塔双循环特殊的烟气流场分布，更有利于浆液对颗粒物的捕集，能辅助实现烟尘的超低排放。

3、NO_x超低排放技术、目前国内外能实际应用于电厂燃煤锅炉的NO_x减排技术包括低氮燃烧技术和选择性催化还原(SCR)脱硝技术。低氮燃烧技术因其投资少、运行费用低、无二次污染等优点，我国将其作为首选技术，但当前的低氮燃烧技术水平仍难以达到最新的《火电厂大气污染物排放标准》关于NO_x的排放指标及超低排放要求，因此仍需在尾部烟道加SCR，目前低氮燃烧技术+SCR已成为我国NO_x减排控制的大趋势。

1) 低氮燃烧技术。其主要思路是抑制燃烧中NO_x的生成反应速率，或使已生成的NO_x被部分还原。要实现NO_x超低排放，降低脱硝成本，则需对低氮燃烧技术进行深入研究，以降低锅炉出口NO_x的排放浓度，以减轻SCR负担。

双尺度低氮燃烧技术是近年来较常用的一种新技术，通过炉内射流组合使在空间尺度上中心区和近壁区温度场、速度场、颗粒浓度场特性差异化，在过程尺度上相关节点区段对一次风射流特殊组合，从而在2个尺度上形成低氮、防渣、稳燃功能的特性。

2) SCR脱硝技术。SCR脱硝工艺由美国Englehard公司开发，目前商业应用最为广泛。它是通过在一定条件下，利用催化剂实现还原剂与氮氧化物的反应，生成氮气和水，以此实现脱硝作用，其脱硝能力高。目前主要采取加装催化剂的方法提高脱硝效率，降低氮氧化物排放浓度，但由于催化剂价格仍较高，在一定程度上增加了脱硝成本。

四、典型超低排放技术路线

1、配置湿式电除尘器的技术路线

1) SCR+低低温电除尘技术+单塔单循环脱硫技术+湿式电除尘技术。该技术路线主要强调粉尘超低排放达标要求，而在脱硫方面并未做太大提效改动。一般来说，该技术路线脱硝效率最高可达90%，脱硫效率最高可达97.9%，电除尘效率可达99.91%，湿式电除尘效率可达80%。

2) SCR+干式电除尘技术+双塔双循环脱硫技术+湿式电除尘技术。该技术路线采用双塔双循环脱硫系统，尤其针对含

硫量较高的工况。一般来说，该技术路线的脱硝效率最高可达90%，脱硫效率最高可达99.50%，电除尘效率可达99.85%，湿式电除尘效率可达80%。

3) SCR+低低温电除尘技术+双托盘脱硫技术+湿式电除尘技术。一般来说，该技术路线的脱硝效率最高可达90%，脱硫效率最高可达98.80%，电除尘效率可达99.91%，湿式电除尘效率可达80%。

4) SCR+电袋复合除尘技术+双塔双循环脱硫技术+湿式电除尘技术。该技术路线采用电袋复合除尘器替代干式电除尘器，一般来说，脱硝效率最高可达90%，脱硫效率最高可达99.50%，电袋复合除尘器出口粉尘浓度在5mg/m³~15mg/m³之间，湿式电除尘效率可达80%。

2、不配置湿式电除尘器的技术路线

1) SCR+低低温电除尘技术+单托盘/双托盘脱硫技术+高效除雾技术。该技术路线充分利用脱硫吸收塔的协同除尘作用及高效除雾器对液滴的高脱除率，保证脱硫吸收塔出口处的液滴浓度较低，从而使雾滴含固量较低。一般来说，该技术路线脱硝效率最高可达90%，脱硫效率最高可达98.80%，电除尘效率可达99.91%，脱硫吸收塔的协同除尘效率最高可达80%左右。

2) SCR+干式电除尘技术+旋汇耦合脱硫技术+灌输式除雾技术。该技术路线利用管束式除尘除雾一体化装置代替除雾器，置于脱硫塔顶部，起到协同除尘除雾效果。一般来说，该技术路线的脱硝效率最高可达90%，脱硫效率最高可达98.80%，电除尘效率可达99.85%，管束式除尘除雾一体化装置的除尘效率可达到80%。

五、燃煤烟气污染物超低排放经济分析

1、投资分析。以某2*600MW机组电厂为例，其采取常规低氮燃烧-SCR脱硝-低低温电除尘-湿法单循环脱硫的方法，综合投资约1.5亿元。如果增加湿式电除尘器，其综合投资将近2亿元。

2、成本分析。由于不同装机容量，其发电量投资不同，其经济性也不同。一般来说，容量越大投资越低，其经济性也越显著。以某几个电厂的实际进行分析，采用300MW机组时，其电价成本增加0.0187元/kW*h；采用600MW机组时，其电价成本增加0.0143元/kW*h；采用1000MW机组时，其电价成本增加0.0096元/kW*h。

总之，燃煤电厂在满足社会电力需求时，释放了大量粉尘和有毒有害气体，严重破坏了生态环境，造成了严重的气候事件等，从而影响社会的健康发展。因此，研究燃煤烟气污染物超低排放技术具有重要意义。

参考文献

- [1]舒英钢.燃煤电厂电除尘技术综述[J].中国环保产业, 2015(12): 7-12.
- [2]张东辉.燃煤烟气污染物超低排放技术及经济分析[J].电力建设, 2015(05): 125-130.