

燃煤电厂环保岛烟气超低排放技术

王凯亮, 李善龙, 汪洋, 陶爱平
(中国华电科工集团有限公司, 北京 100160)

摘要:为保证燃煤电厂烟气超低排放指标,在考虑环保设施现状的基础上,从协同治理、主要设备应用条件、优化措施等方面提出环保岛综合治理的技术路线,对环保岛内设施进行智能一体化控制,实现优化运行、节能降耗,为新建或环保技改机组环保设施的设计提出了建议。

关键词:燃煤电厂;烟气;超低排放;环保岛;智能一体化控制

中图分类号:X 701.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-1951(2016)09-0004-04

0 引言

近年来,我国频繁发生大面积区域性雾霾,对人民的身体健康和生活环境造成了严重影响,环保形势十分严峻。为进一步加强火电厂大气污染物排放控制,在执行 GB 13223—2011《火电厂大气污染物排放标准》^[1]的基础上,国家、地方和电力集团均加大了节能减排政策的执行力度,出台一系列行政法规,提出了更严格的排放标准。燃煤机组排放达到或基本达到燃气轮机发电机组排放限值被称为超低排放,即烟尘、SO₂、NO_x 排放质量浓度分别不超过 5,35,50 mg/m³(标态)。为使燃煤机组达到超低排放技术指标,各电力集团、环保公司提出了各种技术路线。本文针对目前环保设施现状,提出环保岛综合治理的技术路线。

1 常规烟气治理技术及弊端

GB 13223—2011《火电厂大气污染物排放标准》是国家强制性标准。从不断升级的标准可以看出,我国燃煤电厂烟气治理经历了除尘、除尘脱硫、除尘脱硫脱硝、除尘脱硫脱硝脱汞等阶段,由于环保标准不断提高,燃煤电厂的环保设施也不断增加、改造。由于历史原因,环保设施除尘、脱硫、脱硝都是单独考虑,没有进行整体规划,常规烟气治理技术路线存在以下问题。

- (1)没有充分利用各设备间的协同工作效应。
- (2)在达到相同处理效率的情况下,投资大、占地面积大、运行费用高、可靠性差。
- (3)各系统的布置缺乏整体统筹,烟气流场设计不合理,导致综合能耗偏高。
- (4)各系统之间相互留裕量,接口限制条件多,

造成上下游系统和装置设计不合理,处理难度大;机组运行条件变化时,各个系统分包商之间扯皮多,找不到责任人。

(5)除尘、脱硝、脱硫分别控制,运行人员各管一段,做不到最优化运行。

2 环保岛烟气超低排放综合治理工艺流程

环保岛包括从锅炉省煤器出口至烟囱之间所有污染物减排设施,包括除尘、脱硫、脱硝以及后续的 SO₃ 脱除、脱汞等。将炉后烟气治理整体考虑,除尘、脱硫、脱硝综合设计,统一建设,综合管理。

烟气中的单一污染物需要多个设备协同治理,所有污染物的治理需要统一考虑。在确定烟气治理系统的构成时,要考虑烟气特性及设计条件,以保证系统内各装置相互协调且可靠性高^[2]。

按照不同的污染物排放标准及原环保设备配置,考虑投资、施工周期、运行费用等因素,提出明确的烟气综合治理工艺路线。

(1)对于基建项目的煤粉炉,可采用以下 2 种技术路线。

技术路线 1 是以低低温电除尘器为核心的前端烟气治理和以脱硫装置为核心的终端烟气治理技术路线,流程为:锅炉低氮燃烧 + 选择性催化还原(SCR)脱硝 + 低低温电除尘器(含低低温烟气换热器) + 引风机 + 湿法脱硫 + 烟气再热器(可选) + 烟囱,如图 1 所示。

技术路线 2 是以电袋(袋式)除尘器为核心的前端烟气治理和以脱硫装置为核心的终端烟气治理技术路线,流程为:锅炉低氮燃烧 + SCR 脱硝 + 高效电袋(袋式)除尘器 + 引风机 + 低低温换热器(可选) + 湿法脱硫 + 烟气再热器(可选) + 烟囱,如图 2 所示。

(2)对于环保技改项目,可采用以上 2 类

技术方案,或同时对电除尘器进行改造,达到超低排放技术指标。

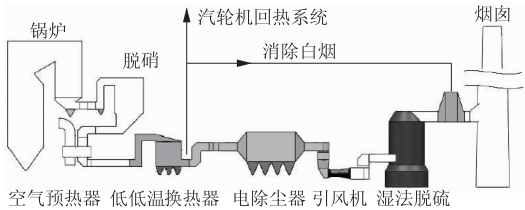


图 1 技术路线 1

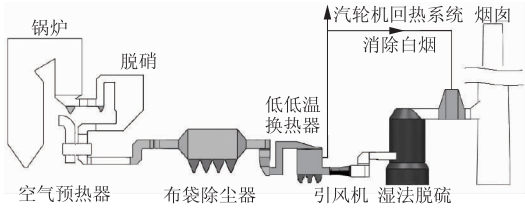


图 2 技术路线 2

(3)对于老厂改造项目,如果由于燃用煤种、除尘器本体空间的限制而改造困难的项目,或环评批复要求上湿式电除尘器的项目,或对 SO₃ 脱除有要求的项目,可设置湿式电除尘器。这就是以湿式电除尘器作为终端烟尘控制设备的技术路线 3。湿式电除尘器布置方式灵活,可与吸收塔一体布置,也可分开布置。

3 烟尘协同治理技术路线

环保岛烟气综合治理系统中,烟尘的处理必须统筹考虑。适应超低排放的除尘技术主要包括前端本体除尘技术和终端除尘技术,其中前端本体除尘技术包括干式静电除尘技术(或旋转电极)和电袋/袋式除尘技术,终端除尘技术包括湿式电除尘技术和湿法脱硫装置协同除尘技术。

影响烟囱入口烟尘质量浓度的主要因素有:(1)干式除尘器:包括煤种、入口烟温、入口烟尘质量浓度、除尘方式等;(2)湿法脱硫:包括入口烟尘的除尘效果以及出口液滴携带的石膏固体物等;(3)湿式电除尘:包括出、入口烟尘指标。

对于基建项目,采用高效电除尘器(含低低温换热器+低低温电除尘器、高效电源电除尘器等),可将烟尘排放质量浓度控制在 15 ~ 20 mg/m³(标态),经过湿法脱硫装置的协同处理,最终烟尘排放满足质量浓度低于 5 mg/m³(标态)的要求,此技术路线已经在多个项目上得到应用。也可采用电袋(布袋)除尘器,将出口烟尘排放质量浓度控制在 10 ~ 15 mg/m³(标态),经过湿法脱硫装置协同处理,最终烟尘排放满足质量浓度低于 5 mg/m³(标态)的要求。

对于改造项目,改造后的高效除尘器(含低低

温电除尘器、增加电场、高效电源、分区供电、振打优化、流场优化、增加旋转电极,改为电袋/布袋除尘器等)可将烟尘排放质量浓度降至 10 ~ 20 mg/m³(标态),经过湿法脱硫装置协同处理,最终烟尘排放满足质量浓度低于 5 mg/m³(标态)的要求。

目前,电厂电除尘的配置多为双室 4 电场,布置紧凑,空间有限。改造时遵循先电后袋的原则,优先考虑电除尘器的提效改造,原除尘器运行状态较好的机组优先考虑高效电源和分区供电改造,在高效电除尘器改造空间受限或投资过高时,可采用袋式除尘器改造方案。有条件的项目可采用低低温除尘技术。

针对具体改造项目,当除尘设备或脱硫设备改造难度大、工程费用高、难以保证系统可靠性且现场有布置条件时,可以考虑设置湿式电除尘器。

需要指出的是,如果以上技术方案采用湿式电除尘器,可通过湿式电除尘器和湿式脱硫装置的除尘参数来计算脱硫装置入口允许的烟尘质量浓度,适当提高此数值,可尽可能减少原电除尘器本体的改造范围,体现协同除尘的效果。

3.1 前端除尘关键设备:低低温电除尘器

低低温除尘技术包含了 2 种设备,即无泄漏管式加热器和低低温电除尘器,其优势是实现烟尘高效脱除的同时,可实现 SO₃ 的协同脱除。低低温除尘技术的技术特点和优势如下:(1)由于改变飞灰比电阻和降低烟气流速,能提高除尘效率;(2)协同脱除 SO₃,电除尘器烟气温度降至酸露点以下,气态的 SO₃ 将转化为液态的硫酸雾,附着到粉尘中;(3)出口粉尘颗粒凝并变大,为提高湿法脱硫装置除尘性能创造条件;(4)节能降耗。

低低温除尘技术存在的缺点:燃用含硫量过高的煤种时需考虑燃煤灰硫比,保证腐蚀裕量。技术路线 1 中,低低温电除尘器在中高硫煤机组应用有局限性,国外应用的最高含硫量为 1.1%,国内应用的最高含硫量为 1.7%。当煤质含硫量高时,除尘器及下游设备存在腐蚀风险,因此对 SO₂ 含量有一定限制。

3.2 前端除尘关键设备:高效电袋除尘器

超低电袋(布袋)除尘器优点:不受煤、飞灰、粉尘质量浓度及粉尘比电阻的影响,出口粉尘排放质量浓度低且稳定,能保证实现烟尘质量浓度小于 10 mg/m³(标态)的排放目标。

电袋(布袋)器除尘核心部件为滤袋,滤料材质和工艺可以做相应提升,做好滤袋材料的选型。滤袋的过滤精度直接影响电袋(布袋)除尘器出口烟尘排放值,而滤袋的核心是滤料,滤料过滤精度越高,实现超低排放就越可靠,适应工况变化能力也越强,而且中长期运行更平稳、阻力更低。

烟尘排放质量浓度可长期稳定在 10 mg/m^3 (标态) 以下, 设备运行阻力小于 1000 Pa , 滤袋使用寿命高于 5 年。与其他超低工艺技术路线相比, 2 台百万千瓦级机组可节约一次投资近亿元, 减少占地面积 1000 m^2 以上。电袋复合除尘技术在一次投资和能耗上具有优势。

3.3 终端除尘关键设备: 高效脱硫除尘吸收塔

对于环保岛烟气综合治理不设置湿式电除尘器的工艺, 湿法脱硫装置作为终端 SO_2 、烟尘控制设施, 其除尘性能尤为关键。根据一些项目的测试数据, 常规脱硫装置稳定可靠的除尘效率在 50% 左右, 不能满足超低排放的要求。

吸收塔采取设置 DL 板(增效环)、均流板, 优化气液固三相流场, 强化气液传质反应等措施, 提高脱硫效率(达 99% 以上), 增强除尘性能(综合除尘效率达 70% 以上), 主要优势技术如下。

3.3.1 DL 板

突破单纯喷淋空塔的脱硫极限, 采用 DL 板专利技术(专利号: CN201420120928.9), 减少沿塔壁的烟气逃逸量, 提高脱硫效率, 在满足相同脱硫效率的同时降低液气比, 起到节能的作用。

3.3.2 吸收塔均流板

塔内设置全截面均流板, 烟气进入喷淋区前对其整流, 保障烟气的均匀性, 提高传质效率; 在均流板上形成气-液两相泡沫层, 增大传质面积的同时, 对烟气中的微细粉尘进行有效捕集, 提高脱硫除尘效率。根据除尘效率的需要和计算流体动力学(CFD)软件模拟结果, 可设置双层均流板。

3.3.3 优化喷嘴选型, 提高喷淋覆盖率

为了进一步提升喷淋塔的除尘、脱硫效率, 依据吸收塔流场特性, 在不同区域不同喷淋层设置不同形式不同规格的喷嘴(单向双头空心锥、双向空心锥和单向实心锥喷嘴)。

3.3.4 增大各区域间高度

在吸收塔设计中, 底层喷淋层中心至烟气入口顶部的距离不小于 3.0 m , 顶层循环喷淋层中心线至一级除雾器底部距离不小于 3.0 m , 顶级除雾器顶部至吸收塔出口烟道底部的距离不小于 $3.5 \text{ m}^{[3]}$ 。通过优化流场, 降低出口液滴和固体物含量。

3.3.5 高效除雾器技术

采用高性能第 5 代三级屋脊式除雾器, 出口液滴质量浓度不超过 20 mg/m^3 (标态)。在一级除雾器和二级除雾器之间增加翅片管式冷凝器, 在二级除雾器和三级除雾器间增加雾化系统, 根据冷凝和喷雾凝并的原理, 将烟尘捕捉到液滴中, 增强吸收塔除尘性能。

3.4 终端除尘关键设备: 湿式电除尘器

湿式电除尘器与湿法脱硫装置配套使用, 布置在湿法脱硫吸收塔顶部或出口烟道后, 作为精细化除尘除雾设备, 其主要功能是脱除烟气中的 SO_3 、 NH_3 、铵盐、微细粉尘($\text{PM}_{2.5}$)、细小浆滴等, 可达到其他除尘设备难以达到的极低排放值。

4 SO_2 控制技术路线

目前, 燃煤电厂脱硫装置基本采用石灰石-石膏湿法脱硫工艺。按烟气脱硫(FGD)装置出口 SO_2 质量浓度为 35 mg/m^3 (标态) 考虑, 可采取高效单塔、单塔双循环或双塔双循环等技术。

需要指出的是, 评价及选择脱硫技术并不能单纯看单塔脱硫效率一个指标, 需要针对项目实际情况, 对投资、占地面积、机组停机时间、施工工期、运行能耗等进行综合评判。

对于改造现场布置受限的情况, 可采用塔外浆池技术, 将新增浆池布置在吸收塔入口烟道下方或附近。此技术已经在多个项目中得到成功应用。

当 FGD 入口 SO_2 质量浓度较高, 单个吸收塔采用以上增效优化措施仍不能满足高脱硫要求时, 可采用双塔双循环技术。双塔双循环脱硫技术是利用脱硫、氧化的不同属性, 采用双塔、双 pH 值、双循环结构, 一级塔与二级塔运行不同性质的浆液, 更加精细地控制反应过程。一级塔低 pH 值运行, 可使吸收剂几乎完全溶解并生成高品质石膏; 二级塔高 pH 值运行, 可在较低的液气比和电耗下保证较高的脱硫效率。这种技术特别适用于不能较长时间停产机组的改造, 在原脱硫塔侧进行新脱硫塔的建设, 原塔继续运行, 利用短暂停机时间完成烟道转接, 大幅缩短改造时间。

多个项目的反馈经验表明, 双塔双循环与单塔技术相比, 采用同样数量的喷淋层时, 双塔配置可以达到更好的脱硫效果; 在相同脱硫效果的情况下, 双塔配置可减少一层喷淋层, 起到很好的节能效果。

5 NO_x 控制技术路线

针对燃用烟煤、褐煤、贫煤的机组, 通过低氮燃烧器改造, 将 NO_x 质量浓度控制在 $250 \sim 400 \text{ mg/m}^3$; 同时, 通过控制煤质、优化配煤等, 减少 NO_x 波动, 再利用高效的 SCR 装置(催化剂采用“2+1”的布置方案), 将 NO_x 质量浓度降至 50 mg/m^3 以下。

针对燃用无烟煤的机组或 W 火焰型机组, 通过低 NO_x 燃烧器改造, 将 NO_x 质量浓度控制到 700 mg/m^3 以下; 同时, 通过控制煤质、优化配煤等, 减少 NO_x 波动, 再利用高效的 SCR 装置(催化剂采用“3+1”布

置方案),将 NO_x 质量浓度控制在 50 ~ 100 mg/m³。

目前,SCR 脱硝装置存在的问题是:因脱硝效率要求提高,对流场均匀性和喷氨混合均匀性要求更高,现有脱硝装置简单加装备用催化剂层,可能导致氨逃逸量超标,需对整体进行流场模拟,并控制总的 SO₂/SO₃ 转化率。

6 SO₃ 控制技术路线

在工艺路线 1 中,低低温电除尘器能有效去除 SO₃。相关研究表明,低低温电除尘器对 SO₃ 脱除率达到 80%。另外,湿式电除尘器能有效收集亚微米颗粒和酸雾,捕集从洗涤塔逃逸的细小硫酸雾滴,对 SO₃ 的脱除率可达 90%,烟羽的浊度几乎为 0。

7 环保岛全流程 CFD 优化

环保岛各系统之间是有机整体,因此,采用 CFD 软件对环保岛各设备的流量、温度、浓度场进行模拟优化,是十分重要且必要的。CFD 流场建模应涵盖锅炉出口至烟囱之间的主要设备,包括 SCR、前端除尘器、湿法脱硫装置、湿式电除尘器以及连接烟道等。

8 环保岛智能一体化控制

在环保岛各污染物处理系统监控方面,形成一套完善的环保岛监控方案,即各污染物处理系统采用智能一体化控制方案。设置环保集控岛,对多污染物处理系统进行集中监控,使整个工艺系统形成炉、机、电、环(智能一体化环保控制系统)、辅网 5 大板块。

智能一体化控制的环保岛,可实现系统整体以自动启/停控制(APS)方式运行、就地无人值守以及一体化监控平台(包括各污染物的协同处理、优化节能、报表智能分析、故障处理等)。

传统环保设施由于工艺特点和功能不同,在脱除特定污染物时,对其他协同去除的污染物没有进行整体考量和计算,各系统较为独立,各系统的能耗、污染物脱除效果、设备及消耗品的消耗等均为独立核算。

采用智能一体化环保岛控制方案后,在脱除常规污染物的同时,还能根据各系统的脱除特性,将各系统联系起来,形成“耦合”效果。如低低温电除尘器温度降低可以增加烟尘和 SO₃ 脱除效果,吸收塔在脱除 SO₂ 的同时兼有除尘的效果,机组负荷变化会影响湿电除尘器电源电压及浆液循环泵的投入数量等。

9 环保岛优势

在统一设计、综合治理、智能控制、一体管理的理念下,环保岛具有明显的优势。

(1) 整体设计:优化布置,节约场地。某 2 ×

1 000 MW 新建机组通过环保岛优化,将循环泵房及氧化风机房布置在湿式电除尘器下方,循环泵房、氧化风机房与湿式电除尘器支架采用联合构筑物,统一布置、设计,减少工程量,腾出空间设置脱水综合楼。与招标文件相比,减少占地面积 800 m²。

(2) 协同脱除:控制裕量,提高脱除效果。根据前文描述,突出环保岛系统综合脱除的理念,整体上节约成本。

(3) 高效运行:装置最佳运行,灵活应对煤种、负荷变化。采用低低温换热器和低低温静电除尘器作为前端除尘装置,运行时针对煤质和锅炉负荷变化,自动调整供电方式及振打频率,控制出口烟尘指标,达到稳定运行和节约电耗的目的。后端除尘控制以烟囱入口烟尘和 SO₂ 质量浓度为最终控制指标,结合脱硫装置或湿式电除尘器的运行情况,在保证达标排放的同时,调整静电除尘器运行电压、循环泵运行台数以及湿式电除尘器的供电方式,达到降低电耗的目的。根据环保岛能流规律和能耗特点等进行环保岛的效能优化,使之更为节能减排。

环保岛采用一体化分散控制系统,系统设备运行管理由专门的环保运营人员负责,使得监控及问题处理更专业、更快捷。在各污染物处理系统的各个环节均设置监控测点,系统经济运行分析以及故障分析更方便。结合各污染物处理系统以及污染物总排放的技术指标,协同控制各污染物处理系统的效能,总排放合格的同时还能兼顾节能。

10 结束语

目前,燃煤电厂烟气超低排放技术改造项目及新建项目很多,在工程实践中经常将脱硫、脱硝、除尘项目分开对待,不利于污染物的综合协同治理。本文从环保岛角度出发,提出明确的技术路线,环保岛内实现智能一体化控制,优化运行,节能降耗,具有显著的优势。

参考文献:

[1] 火电厂大气污染物排放标准:GB 13223—2011[S].
[2] 排烟处理设备指南:JEAG 3603—2012[S].
[3] 郦建国,郦祝海,何毓忠,等. 低低温电除尘技术的研究及应用[J]. 中国环保产业,2014(3):28—34.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

王凯亮(1975—),男,河南许昌人,高级工程师,工学硕士,从事大气污染物控制、燃煤电厂脱硫脱硝除尘技术研究和工程设计方面的工作(E-mail:wangkl@chec.com.cn)。