

Engineering Application of Flue Gas Ultra-Low Emission Technical Routes in Coal-Fired Power Plant

Jianguo Yuan, Hao Zhou, Jianguo Li, Hanxiao Liu*

Zhejiang Feida Environmental Science & Technology Co. Ltd., Zhuji Zhejiang
Email: *gutounan@163.com

Received: Jun. 1st, 2016; accepted: Jun. 27th, 2016; published: Jun. 30th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The atmospheric pollution situation in China is still serious. Flue gas emission policies are stricter and new technique is asked for market demand. In accordance with this present situation and to meet the requirement of flue gas ultra-low emission in Chinese coal-fired power plant, flue gas co-governance route with low-low temperature ESP technology as core task and WESP technical route could be used respectively. These two technical routes were described briefly. Typical cases from aspects of technical route, design requirement, technical proposal, operation effect and so on were introduced. Comparison of technical characteristics of two technical routes was conducted in this paper, and noteworthy problems and suggestions for flue gas ultra-low emission technical were pointed out. This paper could provide some reference for the selection of flue gas ultra-low emission technical routes and engineering promotion.

Keywords

Coal-Fired Power Plant, Ultra-Low Emission, Technical Route, Low-Low Temperature ESP Technology, WESP Technology, Engineering Application

燃煤电厂烟气超低排放技术路线的工程应用

袁建国, 周 号, 郦建国, 刘含笑*

浙江菲达环保科技股份有限公司, 浙江 诸暨

*通讯作者。

Email: *gutounan@163.com

收稿日期: 2016年6月1日; 录用日期: 2016年6月27日; 发布日期: 2016年6月30日

摘要

中国大气污染形势依旧严峻, 燃煤电厂烟气排放政策愈加严格, 市场需求更加迫切, 针对这一现状, 同时借鉴国外先进技术, 为实现燃煤电厂烟气超低排放, 可分别采用“以低低温电除尘技术为核心的烟气协同治理技术路线”或“湿式电除尘技术路线”, 本文对该两条技术路线进行了简述, 并从技术路线及设计要求、技术方案、投运效果等方面介绍了其典型案例, 对两条路线的技术特点作了比较, 提出了烟气超低排放技术存在的问题及建议。本文可为超低排放技术路线的选择及工程推广提供一定参考。

关键词

燃煤电厂, 超低排放, 技术路线, 低低温电除尘技术, 湿式电除尘技术, 工程应用

1. 引言

2014年9月, 国家发展和改革委员会、中国环境保护部和国家能源局联合颁发了《煤电节能减排升级与改造行动计划(2014~2020年)》, 要求东部地区新建燃煤机组在基准氧含量6%条件下, 烟尘、SO₂、NO_x排放浓度分别不高于10 mg/m³、35 mg/m³、50 mg/m³, 对中部和西部地区及现役机组也提出了要求[1]。2015年12月, 中国环境保护部、国家发展和改革委员会和国家能源局联合发布的《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》要求: 将东部地区超低排放改造任务提前至2017年, 并将东部地区改造要求扩展到全国有条件地区。全面实施超低排放已势在必行。

我国燃煤电厂烟气治理经历了从“除尘”到“除尘 + 脱硫”、再到如今的“除尘 + 脱硫 + 脱硝”的演变。而传统烟气治理技术路线在实施过程中注重的是单一设备脱除单一污染物, 未充分考虑各设备间协同效应, 若要达到相同效率, 系统投资和运行成本较大, 而且较难达到超低排放的要求[2]。

针对我国国情及借鉴国外的先进技术, 为实现燃煤电厂烟气超低排放, 改善燃煤电厂烟气治理现状, 可采用“以低低温电除尘技术为核心的烟气协同治理技术路线”或“湿式电除尘技术路线”。

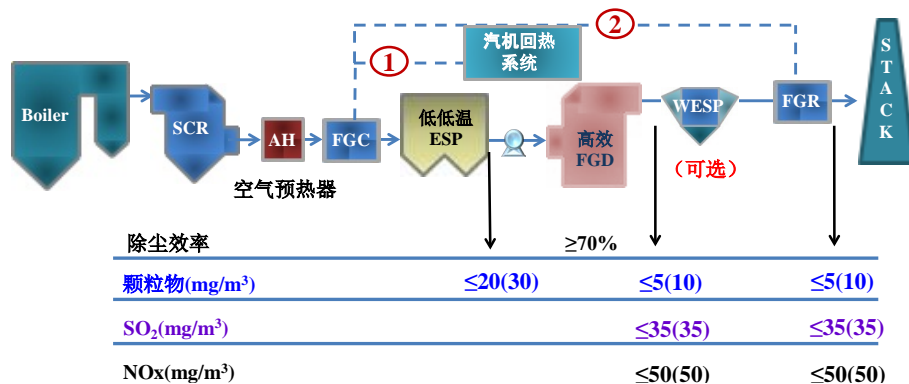
2. 烟气协同治理技术路线及其应用

2.1. 烟气协同治理技术路线简介

以低低温电除尘技术为核心的烟气协同治理路线充分考虑了燃煤电厂现有烟气污染物脱除设备性能(或进行适当的升级和改造), 并引入了“协同治理”的理念, 其技术优势表现为综合考虑脱硝系统、除尘系统和脱硫装置之间的协同关系, 在每个装置脱除其主要目标污染物的同时能协同脱除其它污染物, 或为其它设备脱除污染物创造条件[3][4]。

以低低温电除尘技术为核心的烟气协同治理技术路线为: SCR 脱硝装置→烟气冷却器(FGC)→低低温电除尘器(低低温 ESP)→高效湿法烟气脱硫装置(高效 FGD)→湿式电除尘器(WESP, 可选择安装)→烟气再热器(FGR, 可选择安装) [5][6]。如图1所示。

技术路线可达到的性能指标: 湿法脱硫系统的协同除尘效率 ≥ 70%, 颗粒物排放可达到 10 mg/m³ 甚至 5 mg/m³ 以下; SO₂ 排放 ≤ 35 mg/m³; NO_x 排放 ≤ 50 mg/m³; SO₃ 的脱除率 ≥ 80%, 最高可达 95% 以上。



注：当不设置烟气再热器时，烟气冷却器处的换热量按上图①所示回收至汽机回热系统；当设置烟气再热器时，烟气冷却器处的换热量按上图②所示至烟气再热器。

Figure 1. Roadmap of flue gas co-governance route with low-low temperature ESP technology as core task

图 1. 以低低温电除尘技术为核心的烟气协同治理技术路线图

其中低低温电除尘器为 SO₃ 脱除率最高的烟气处理设备。

技术路线适用条件：灰硫比大于 100；灰分较低的煤种，且燃用煤种稳定。

国内环保企业从 2009 年开始加大对该技术路线的研究，并取得一定突破，目前该技术路线已成为燃煤电厂烟气超低排放的主流技术路线之一。据不完全统计，截至 2015 年 12 月，已签订的低低温电除尘器超 150 台套，总装机容量约 95,000 MW，其中投运约 70 台套，装机容量超 40,000 MW，已有单机 1000 MW 机组投运业绩。

2.2. 烟气协同治理技术路线典型案例

华能长兴电厂 1 号、2 号机(2×660 MW)新建工程，是国内首次采用以低低温电除尘技术为核心的烟气协同治理技术路线，未采用湿式电除尘器实现超低排放的新建项目，该项目低低温电除尘器获省内首台(套)产品。

1) 工程概况

华能长兴电厂位于浙江省长兴县雒城镇，始建于 1959 年，现总装机容量为 26 万千瓦，为新建 2×660 MW 超超临界燃煤发电机组，同步建设烟气脱硫、脱硝装置，并留有扩建条件。机组按带基本负荷设计，并具有一定的调峰性能。

2) 技术路线及设计要求

华能长兴电厂 2×660 MW 机组采用以低低温电除尘技术为核心的烟气协同治理技术路线，系统中不设置 WESP，采用的技术路线为：SCR 脱硝装置 + 烟气冷却器(FGC) + 低低温电除尘器(低低温 ESP) + 高效湿法烟气脱硫装置(高效 FGD)，如图 2 所示。低低温电除尘器能有效降低电除尘器出口烟尘浓度，湿法脱硫装置则不但可高效脱硫，同时具有较高的协同除尘效率。

本技术路线采用的低低温电除尘器为双室五电场，设计烟气温度为 90℃，出口烟尘浓度设计值为 15 mg/m³，要求经湿法脱硫系统后，颗粒物排放浓度≤5 mg/m³，已于 2014 年 12 月中旬投入使用。

3) 技术方案

采用前苏联公式，对酸露点进行了计算，确定低低温电除尘器入口烟气温度为 90℃；设计煤种、校核煤种 1 的含硫量分别为 0.57%、0.67%，入口烟尘浓度分别为 9.17 g/m³、24.82 g/m³，经计算，设计煤种灰硫比为 218，校核煤种 1 灰硫比值为 484，可以认为不存在低温腐蚀风险，适合采用低低温电除尘技

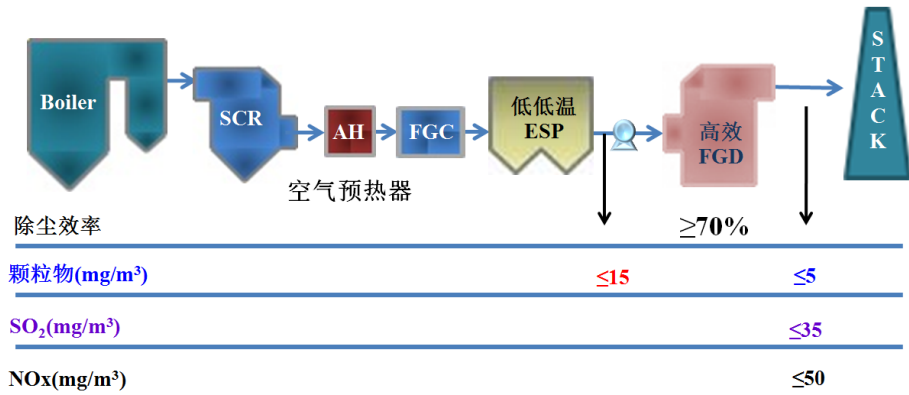


Figure 2. Roadmap of 2 × 660MW units in Changxin power plant
图 2. 华能长兴电厂 2 × 660 MW 机组技术路线图

术。此外，合理选择了灰斗和人孔门材料，以防止腐蚀；绝缘子设加热装置及热风吹扫系统；设置了合理的电场数量，制定了合理的振打制度和振打逻辑，以防治二次扬尘[7]。

4) 投运效果

2014 年 12 月 16 日~18 日，经浙江省环境监测中心测试：满负荷工况，1 号机组出口颗粒物、SO₂、NO_x 排放分别为 3.64 mg/m³、2.91 mg/m³、13.6 mg/m³；2 号机组出口颗粒物、SO₂、NO_x 排放分别为 3.32 mg/m³、5.91 mg/m³、15.8 mg/m³。1 号机组电除尘器出口颗粒物浓度值约为 12 mg/m³，湿法脱硫装置的协同除尘效率约为 70%。

5) 稳定性分析

收集了机组改造后 2015 年 10 月至 2015 年 12 月三个月稳定运行的 CEMS 数据，进行烟尘超低排放稳定性分析。分析期间，低低温电除尘器出口烟尘排放浓度平均值为 12.8 mg/m³，低于 15 mg/m³ 的小时排放浓度保证率为 85.6%，低于 30 mg/m³ 的小时排放浓度保证率为 100%。SO₂、NO_x 排放浓度也满足超低排放要求。

3. 湿式电除尘技术路线及其应用

3.1. 湿式电除尘技术路线简介

湿式电除尘技术路线是指在脱硝系统、除尘系统和脱硫装置末端设置 WESP，如图 3 所示。WESP 可有效去除颗粒物，包括湿法脱硫后的衍生物、PM_{2.5} 等，可达到超低排放要求，同时兼备汞、SO₃ 的协同脱除作用，是治理火电厂大气污染物排放的精处理环保装备。

技术路线可达到的性能指标：出口颗粒物排放浓度可达 5 mg/m³ 以下，颗粒物去除效率为 70%~85%；SO₂ 排放 ≤ 35 mg/m³；NO_x 排放 ≤ 50 mg/m³；SO₃ 的脱除率 ≥ 70%，最高可达 95% 以上。

技术路线适用条件：WESP 进口需为饱和烟气；进口颗粒物浓度一般 ≤ 60，最高不大于 100 mg/m³，否则较难经济实现超低排放或外排水量大幅增加。

国内投运 WESP 已超过其他国家投运数量的总和。据不完全统计，截至 2015 年 12 月，已签订的 WESP 超 400 台套，总装机容量约 190,000 MW，投运超 180 台套，装机容量超 90,000 MW，且有多套 1000 MW 机组投入运行。

3.2. 湿式电除尘技术路线典型案例

神华国华舟山电厂二期(350 MW) 4 号机组新建工程，由于其极低的颗粒物、SO₂ 和 NO_x 排放浓度，

获得国内首台(套)产品荣誉。

1) 工程概况

神华国华舟山电厂位于舟山本岛定海区白泉镇外山嘴, 4号 350 MW 超临界机组为国内首台(套)采用湿式电除尘技术实现超低排放的应用项目, 本项目的干式 ESP 和 WESP 采用 EPC 总承包方式, 于 2012 年 11 月 28 日开工建设, 同步配套建设烟气海水脱硫装置和一套 SCR 脱硝装置。

2) 技术路线及设计要求

本项目采用湿式电除尘技术路线: 低氮燃烧 + SCR 脱硝装置+ESP(末电场采用移动电极技术) + 海水脱硫装置+湿式电除尘器(WESP) [8], 如图 4 所示。WESP 入口烟气参数及性能要求为: 入口烟气流(标态) 1,288,680 m³/h, 入口含尘浓度 ≤ 16.5 mg/m³, 烟气温度 16℃~45℃。

3) 技术方案

本项目 WESP 采用金属极板水平烟气流湿式电除尘技术, 根据 WESP 入口烟气参数及所要求达到的性能指标, 最终确定舟山电厂所采用的 WESP 为单电场。

4) 投运效果

机组于 2014 年 6 月 18 日带满负荷 168 小时试运行, 6 月 20 日浙江省环境监测中心对其进行测试, 电除尘器出口烟尘浓度为 16.53 mg/m³, 脱硫出口颗粒物浓度为 10.76 mg/m³, WESP 出口颗粒物、SO₂、NO_x 排放浓度分别为 2.55 mg/m³、2.86 mg/m³、20.5 mg/m³。

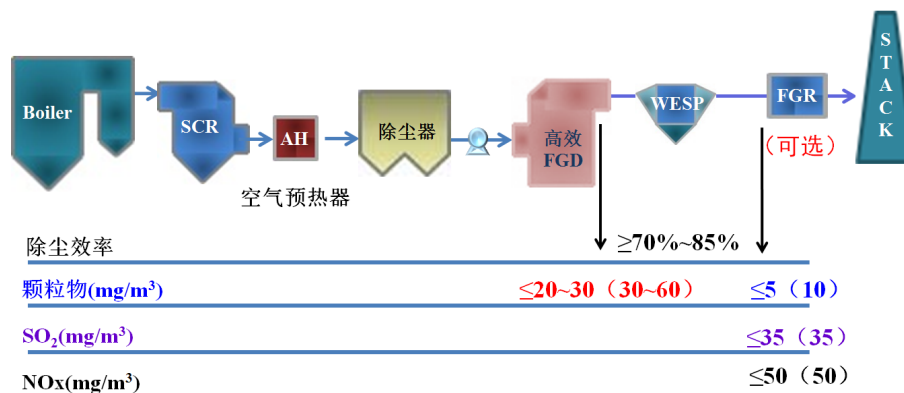


Figure 3. Roadmap of WESP technical route

图 3. 湿式电除尘技术路线图

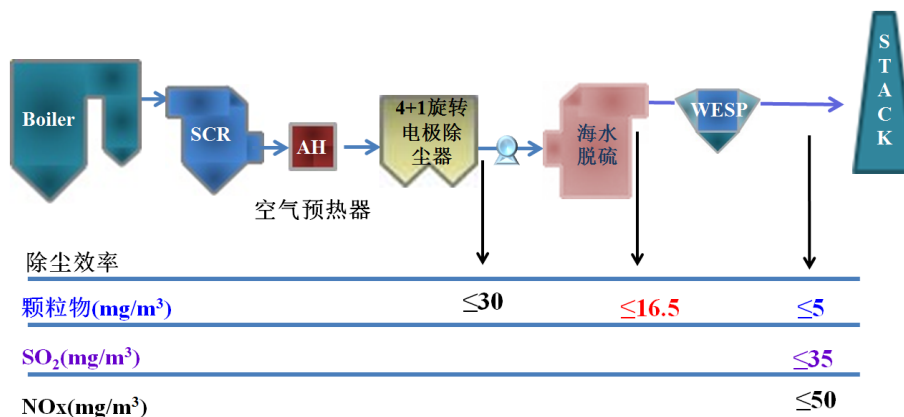


Figure 4. Roadmap of 350 MW unit in Zhoushan power plant

图 4. 神华国华舟山电厂 4 号机 350 MW 机组技术路线图

Table 1. Comparison of technical characteristics of two ultra-low emission technical routes**表 1.** 两条超低排放技术路线的技术特点对比

类别	优点	缺点
以低低温电除尘技术为核心的烟气协同治理技术路线	1) SO ₃ 脱除率最高; 2) 出口粉尘粒径增大, 大幅提高湿法脱硫系统协同除尘效果; 3) 经济性好, 节能效果明显; 4) 无新增二次污染。	1) 二次扬尘有所增加; 2) 对煤种要求较高。
湿式电除尘技术路线	1) 可达到极低的颗粒物排放浓度; 2) 长期稳定运行的可靠性更好; 3) 煤种影响相对较小。	1) 投资成本高; 2) 外排水需考虑脱硫水平衡。

5) 稳定性分析

2014 年 11 月 25 日至 29 日, 环保部环境工程评估中心在对舟山电厂 4 号机进行稳定性评估时, 委托浙江省环境监测中心、浙江大学能源工程设计研究院等单位对其进行现场测试。机组颗粒物排放浓度监测值为 0.60 mg/m³~0.68 mg/m³, SO₂ 排放浓度的监测值小于 3 mg/m³, NO_x 排放浓度的监测值为 32 mg/m³~35 mg/m³, 均满足超低排放要求。

收集了机组新建后 2014 年 7 月~2014 年 9 月三个月稳定运行的 CEMS 数据, 进行超低排放稳定性分析。统计数据表明, NO_x 排放浓度达到超低排放水平的小时数占统计时数的 99.18%; 出口 SO₂ 浓度 0.71 mg/m³~27.74 mg/m³ (平均值为 2.19 mg/m³), 小时浓度达标率为 100%; 机组总排口颗粒物排放浓度在 0.18 mg/m³~3.62 mg/m³, 平均值为 2.12 mg/m³, 颗粒物排放浓度达到超低排放水平的小时数占统计时数的 100%。

4. 超低排放技术路线的技术特点对比

以低低温电除尘技术为核心的烟气协同治理技术路线和湿式电除尘技术路线具有各自的技术优势及缺点, 两条路线技术特点的对比情况如表 1 所示。

基于以上技术特点对比, 建议煤质好且稳定时, 优先选用以低低温电除尘技术为核心的烟气协同治理技术路线; 对于除尘设备及湿法脱硫设备改造难度大或费用很高的超低排放改造工程, 湿式电除尘技术路线则有更佳的适用性。

5. 超低排放技术路线存在问题及建议

5.1. 存在问题

1) 以低低温电除尘技术为核心的烟气协同治理技术路线和湿式电除尘技术路线在我国应用不足三年, 机组投运时间较短, 运行和维护经验相对不足, 长期运行的稳定性有待更长时间的检验。需结合我国燃煤电厂实际情况, 进行持续跟踪、分析、评估与改进。

2) 国内 WESP 市场技术流派较多, 企业技术水平参差不齐, 超低价中标现象较为普遍, 此不利于企业、行业的发展; 金属电极 WESP 外排水作为脱硫补水, 其水平衡问题应引起注意; 导电玻璃钢 WESP 阳极管导电层质量难以保证, 且当不采用恒流电源时, 其阳极管易发生闪络击穿; 导电玻璃钢 WESP 废旧阳极管处置不当, 将造成二次污染。

5.2. 建议

1) 建议提高环保市场准入门槛, 同时加强环保执法, 建立成套设备评价标准, 并通过制定市场指导价、最低价等方式规范市场环境, 杜绝恶性竞争。

2) 建议加强对已投运超低排放项目的跟踪、调研, 分析典型成功案例的技术优势, 总结经验; 剖析

典型问题案例的问题根源，防微杜渐。建议出台超低排放机组验收规范、装置稳定性评估指南等。

3) 建议超低排放技术应用应“因地制宜、因煤制宜、因炉制宜”，必要时可采取“一炉一策”，同时应统筹考虑各污染控制设备之间的协同作用；建议煤质好且稳定时，优先选用烟气协同治理技术路线，尤其是颗粒物浓度要求为 10 mg/m^3 时，并加大该技术路线的推广力度；因金属极板 WESP 技术成熟度高，为国外燃煤电厂的主流技术，建议优先考虑金属极板 WESP，尤为 600 MW 及以上机组。

参考文献 (References)

- [1] 中国环境保护产业协会电除尘委员会. 超低排放进一步促进煤电绿色发展[N]. 中国环境报, 2015-1-15(10、11).
- [2] 中国环境保护产业协会电除尘委员会. 燃煤电厂烟气超低排放技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- [3] 酆建国, 酆祝海, 李卫东, 等. 燃煤电厂烟气协同治理技术路线研究[J]. 中国环保产业. 2015(5): 52-56.
- [4] Li, J.G., Yao, Y.P., Li, W.D., *et al.* (2014) The Research on Co-Benefit Control Technical Route of Flue Gas “Ultra-Clean Emission” for Coal-Fired Power Plants. *8th i-CIPEC*, Hangzhou, 15-18 October 2014.
- [5] 崔占忠, 龙辉, 龙正伟, 等. 低低温高效烟气处理技术特点及其在中国的应用前景[J]. 动力工程学报, 2012, 32(2): 152-158.
- [6] 酆建国, 酆祝海, 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.
- [7] 何毓忠, 何海涛, 胡露钧, 等. 低低温电除尘技术的工程应用[J]. 中国环保产业, 2016(4): 22-24.
- [8] 张华东, 周宇翔, 龙辉. 湿式电除尘器在燃煤电厂的应用条件分析[J]. 中国电力, 2015, 48(7): 38-42.

再次投稿您将享受以下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>