

煤炉烟气中脱氮技术浅析

Analysis of Denitrification Technology in Coal Furnace Flue Gas

张伟

Wei Zhang

重庆卡贝乐化工有限责任公司 中国·重庆 401220

Chongqing Cabelle Chemical Co., Ltd., Chongqing, 401220, China

摘要: 随着中国近年来对氮氧化物污染的重视和相关法律法规的出台及实施, 中国对氮氧化物排放的管控将日趋严格, 减少 NO_x 排放是绿色发展的必然要求。论文介绍了目前常用的 SNCR、SCR、EBA 等脱氮技术, 详细阐述了铜基催化新的脱氮技术, 综合分析了几种脱氮技术的运行成本及其优缺点, 提出了目前最适应 K 公司燃煤锅炉脱氮技术是铜基催化脱氮技术。

Abstract: With the increasing attention paid to nitrogen oxide pollution and the introduction and implementation of relevant laws and regulations in China in recent years, the control of nitrogen oxide emissions in China will become increasingly strict. Reducing NO_x emissions is an inevitable requirement for green development. This paper introduces commonly used denitrification technologies such as SNCR, SCR, EBA, etc., and elaborates in detail on new copper based catalytic denitrification technologies. It comprehensively analyzes the operating costs and advantages and disadvantages of several denitrification technologies, and proposes that the most suitable denitrification technology for K Company's coal-fired boilers is copper based catalytic denitrification technology.

关键词: 燃煤锅炉; 脱氮技术; 探讨

Keywords: coal burning boiler; denitrification technology; discuss

DOI: 10.12346/etr.v5i3.7804

1 引言

燃煤锅炉在运行过程中将产生大量氮氧化物 (NO_x), 据统计目前大气中 70%NO_x 主要来源于煤炭直接燃烧后随烟气排进来的, NO_x 排放到大气中易形成酸雨和光化学雾, 破坏臭氧层和造成温室效应, NO_x 还能使人类抵抗能力下降, 易产生呼吸系统疾病^[1]。因此, NO_x 会给自然环境和人类健康带来严重危害。随着人们环保意识的加强, 中国和其他国家对 NO_x 排放控制日趋严格, 中国和其他国家已将氮氧化物也列入节能减排的总量控制范围, 而控制氮氧化物的实质就是“脱氮”, 今后将会像强制“脱硫”一样实施强制“脱氮”。所谓“脱氮”就是把已形成的 NO_x 还原为无害的 N₂, 从而达到脱除烟气中 NO_x 目的。目前, 烟气中脱氮技术是国内外环保领域研究开发的热点, 经过近年研究, 现脱氮技术较多, 论文只对常用的, 技术较成熟的脱氮技术

进行评析, 以求获得适合 K 公司燃煤最理想脱氮技术^[2]。

2 K 公司燃煤锅炉烟气中 NO_x 现状

K 公司现有 2 台 50 吨 / 小时中温中压燃煤锅炉, 正常运行时, 采用一用一备, 运行的燃煤锅炉负荷一般在 60% 左右, 提供用户蒸汽量 30t/h 左右, 烟气中 NO_x 浓度一般在 220~280mg/m³。

3 常用脱氮技术

目前, 中国和其他国家对燃煤烟气脱氮技术进行了深入研究, 研究方向主要针对燃烧前、燃烧中、燃烧后脱氮的方法。燃烧前脱氮主要采用加氢脱氮和洗选; 燃烧中脱氮主要通过调整工艺或改造设备, 如低温燃烧法、低氧燃烧、CFB 燃烧技术、采用低 NO_x 燃烧器、煤粉浓淡分离及烟气

【作者简介】张伟 (1971-), 男, 中国重庆人, 工程师、中级注册安全工程师, 从事安全环境保护研究。

再循环技术等；燃烧后脱氮主要增加脱氮设备，如 SNCR、SCR、EBA 及活性炭吸附脱氮等。如今，脱氮技术重点还是放在现有运行设备基础上采用燃烧后脱氮技术^[3]。

3.1 选择性非催化还原技术 (SNCR)

SNCR 技术是一种不使用催化剂，在 850℃~1100℃ 温度范围内还原 NO_x 的方法。最常使用的药品为氨和尿素。一般来说，SNCR 脱氮效率在 35%~45%，由于该法受锅炉结构尺寸影响很大，多用作低氮燃烧技术的补充处理手段。

SNCR 技术的优点是适合老旧厂改造，因为所用到的面积小，布置起来也很简单，费用相对来说低很多，新厂可以根据锅炉设计配合使用。

3.2 选择性催化还原技术 (SCR)

烟气脱氮技术中最成熟和使用广泛的就是 SCR，它是一种炉后脱氮技术，是利用还原剂 (NH₃、尿素) 在金属催化剂作用下，选择性地与 NO_x 反应，生成对大气没有多少影响的 N₂ 和 H₂O，而不是被 O₂ 氧化，故称为“选择性”。

在烟气脱氮中的 SCR 催化剂可分为高温催化剂 (345℃~590℃)、中温催化剂 (260℃~380℃) 和低温催化剂 (80℃~300℃)，不同的催化剂适宜的反应温度也有所不同。脱氮效率下降的原因主要是因为催化剂的活性低，究其原因反应温度低，且如果催化剂持续在低温下运行会使催化剂发生永久性损坏；如果反应温度过高，NH₃ 容易被氧化，NO_x 生成量增加，还会引起催化剂材料的相变，使催化剂的活性退化。中国和其他国家 SCR 系统大多采用高温，反应温度区间为 315℃~400℃。

该法脱氮效率高 (可达到 90% 以上)，广泛应用在中国和其他国家工程中，成为锅炉烟气脱氮的主流技术^[4]。

但该技术投资和运行成本高，燃料中含有硫分时，燃烧过程中可生成一定量的 SO₃。添加催化剂后，在有氧条件下，SO₃ 的生成量大幅增加，并与过量的 NH₃ 生成 NH₄HSO₄。NH₄HSO₄ 具有腐蚀性和粘性，可导致尾部烟道设备损坏。虽然 SO₃ 的生成量有限，但其造成的影响不可低估。另外，催化剂中毒现象也不容忽视。

3.3 电子束脱氮 (EBA)

EBA 是国际先进的烟气处理技术之一，其原理是利用高能电子加速器产生的电子束 (500~800KV) 辐照处理烟气，将烟气中的二氧化硫和氮氧化物转化为可回收副产品硫酸铵和硝酸铵，该技术脱硫和脱氮同时进行，但此技术投资成本和能耗高，脱氮率 (70% 左右) 还有待提高。

4 烟气脱氮新技术

从目前中国和其他国家研究及应用的现状来看，以上介绍的 SCR、SNCR 及 EBA 等脱氮技术，普遍存在设备要求高、能耗大及脱氮成本高等缺点，有的还产生二次污染，针对以上现状，近期中国和其他国家开发了一系列烟气脱氮技术，如微生物法、微波法、液膜法及脉冲电晕法等，为烟气脱氮

提供了许多新途径和思路，论文暂不对以上新方法进行详细论述，重点对目前中国和其他国家还未全面推广新的“铜基催化脱氮技术”，该技术是在燃煤中加入一定比例的铜基催化剂，在燃煤燃烧过程中实现节能减排^[5]。

铜基催化技术是在锅炉燃烧室高温与光热条件下，纳米铜基燃煤催化剂会把燃烧空气和煤炭中带入的水催化分解为高活性氧 (O_α) 和高活性氢 (H_α)，高活性氧可以提高煤炭燃烧效率，降低煤炭消耗 (节煤率在 6% 左右)；高活性氧可催化燃烧黏附在锅炉换热壁上的焦垢并逐步清除掉，提高炉与锅之间的换热效率和降低煤炉结焦风险；高活性氧还可保证锅炉在相对较低炉温和较低过氧空气系数情况下，锅炉仍然具有较高燃烧效率的同时，减少 NO_x 生成；高活性氢 (H_α) 可还原煤炭燃烧产生的 NO_x 为氮气与水。由于高活性氧 (O_α) 和高活性氢 (H_α) 在炉膛中生成，在以上工况下运行的锅炉，可降低煤炭消耗的同时，NO_x 排放量将减少 40% 左右，实现综合节能与减排。

5 铜基催化技术减少 NO_x 生成可行性分析

5.1 理论可行

铜基催化剂技术能使锅炉中的水分转化为活性氧和活性氢，锅炉可在相对低氧低温工况下运行，可使炉内生成相对较低的 NO_x。生成的 NO_x 能和活性氢很快能发生氧化还原反应，使 NO_x 转化为 N₂ 和 H₂O，从而降低了 NO_x 排放。铜基催化技术降 NO_x 符合燃烧前加氢脱氮技术，也符合燃烧中低氧、低温脱氮技术，同时生成 NO_x 与活性氢还原剂反应也符合燃煤后脱氮技术。再加上 K 公司燃煤使用的 CFB 炉符合燃煤中脱氮技术^[6]。

5.2 试验证明铜基催化技术能有效脱氮

2018 年 8 月到 10 月 K 公司在 2 台 50T/h 燃煤锅炉中进行了两轮燃煤催化剂添加试验。试验结果表明，在炉膛 O₂ 含量 3.5% 左右工况下添加铜基催化剂运行，NO_x 排放浓度较试验前可降到 36.1%~40.7%。理论上，如果当时炉膛氧含量再优化到 2.5% 左右，NO_x 排放浓度应该可降到 45%~50%。

5.3 无投资风险

2018 年 8 月~10 月，K 公司燃煤锅炉试用铜基催化剂技术表明，该技术当时能降低煤耗约 6% 左右，现通过多次优化运行，煤单耗有所下降，假设节煤率只按 4%，煤价按当下 560 元/T 计算，每月用 6000 吨，每年生产 11 个月计算，每年可节约煤炭采购成本 6000×11×4%×550=145.2 万元，NO_x 减排税费 12 万元。每吨燃煤加催化剂 1 公斤，每公斤催化剂按 22 元计算，年投资催化剂成本为 22×6000×96%×11=139.39 万元，节能回收收益略大于催化剂投资成本。

5.4 操作简单见效快

铜基催化技术不需要复杂设备，只需安装一台小计量泵

和喷嘴,三天时间就可具备投运条件,投运后效益立即可见。

5.5 几种脱氮技术运行比较

为进一步了解 SnCR、SCR、EBA 及铜基催化技术,几种脱氮技术运行成本,我们从投资、折旧费、维修费、运行费用及财务费用等方面,对几种脱氮技术进行比较,详见表 1。

表 1 结果表明,SCR 脱氮运行成本最高,铜基催化技术

脱氮运行成本最低。

5.6 几种烟气脱氮技术优缺点比较

为较全面了解 SnCR、SCR、EBA 及铜基催化技术几种脱氮技术优、缺点,我们从几种脱氮技术的脱氮率、投资费用、适应范围及技术优势等方面进行比较,比较结果详见表 2。

表 1 几种脱氮技术运行比较

技术种类	投资费用(万元)	财务费用(万元)	折旧费、维修费(万元)	运行费用(万元/年)	年增加成本(万元)
SnCR	200	12	15.3	15	42.3
SCR	400	24	28	27	79
EBA	400	24	28	25	77
铜基催化技术	节煤效益与催化剂成本基本平衡	0	0	节能效益大于催化剂投资成本约 5.8 万元	-5.8

表 2 几种烟气脱氮技术优缺点比较

技术种类	脱氮率(%)	投资费用(万元)	适应范围	技术优势	缺点
SNCR	35~45	200	小型锅炉、老机组改造、低硫煤燃料	可通过旧设备改造实现,建设周期短投资及运行费用相对较低适应广,无需催化剂	脱氮效率低,氨泄漏率大,存在二次污染,设备腐蚀大
SCR	70~90	400	中大规模锅炉、新上项目,对高硫煤不适应	工艺成熟,反应温度低,脱氮效率高,氨逃逸率较 SNCR 低,应用较广	需使用催化剂,投资和运行成本高,存在氨泄漏,腐蚀设备、催化剂易中毒,废催化剂为危化品难处理
EBA	65~75	400	中大规模锅炉、新项目或老项目改造、煤料适应性强	技术成熟,同时脱硫脱氮,无二次污染物产生,产物以氮肥回收用于农业,运行费用相对较低	设备投资成本高,需辐照屏蔽及冷却装置,能量消耗高,脱氮率有待提高
铜基催化剂	35~45	节煤率 4% 与催化剂成本持平,投资费基本为零	适应各种类型燃煤锅炉,燃料适应性强	有一定脱硫、清焦效果,防锅炉结焦,降低煤耗,无投资风险,不需要对设备改造,脱氮操作简单、见效快	新技术使用单位还不很多,脱氮效率还较低

6 结语

SNCR 技术是中国和其他国家已成功工业化的脱氮技术,但 SNCR 脱氮效率低,受锅炉结构尺寸影响很大,多用作低氮燃烧技术的补充处理手段。其工程造价 200 万左右,适合老厂改造,新厂可以根据锅炉设计配合使用。

SCR 工艺是一项高起点脱氮技术,但是投资及运行成本高,不适合一般效益不好企业。国内亦在注重其关键技术如高效廉价的 SCR 催化剂的研发,力争实现关键设备和催化剂的国产化,大大降低固定投资和运行成本。

EBA 脱氮技术最大特点在脱氮的同时还具有脱硫作用,但其投资及能耗高。

应加强铜基催化等脱氮新技术的基础和工业化放大研究,并加强他们同已工业化的 SCR、SNCR 等工艺的联用技术开发,形成若干拥有我国自主知识产权、适合我国国情的脱氮新工艺、新技术,力争有所突破。

从以上所述脱氮技术来看,铜基催化脱氮新技术是目前最简单、最经济、对设备无腐蚀、无二次污染、最快见效益

的技术。建议 K 公司尽快启动铜基催化剂脱氮技术试用工作。如果通过运行优化,铜基催化剂脱氮技术达不到 DB50/658 中 NO_x 排放控制标准,那么再尽快启动投资相对较小的 SNCR 技术配合脱氮。

参考文献

- [1] 刘孜,易斌,高晓晶,等.我国火电行业氮氧化物排放现状及减排建议[J].环境保护,2008(16).
- [2] 任岷,毛本将,黄文凤.电子束氨法烟气脱硫脱硝装置的设计[J].中国电力,2005(7).
- [3] 曲虹霞,钟秦.V2O₅/TiO₂催化剂选择性催化还原脱除NO_x的研究[J].安全与环境学报,2004(2).
- [4] 朱法华,王圣,郑有飞.火电NO_x排放现状与预测及控制对策[J].能源环境保护,2004(1).
- [5] 田柳青,叶代启.以堇青石蜂窝陶瓷为载体的新型钒氧化物脱氮催化剂研究[J].环境科学,2004(1).
- [6] 魏学好,周浩.中国火力发电行业减排污染物的环境价值标准估算[J].环境科学研究,2003(1).