

某2×12MW生物质电站烟气脱硝系统改造技术分析

彭丹，李玉娜，杜雅琴

(郑州电力高等专科学校，郑州450002)

摘要：某2×12MW生物质电站烟气脱硝标准不达标，对其进行系统改造分析，设计改造为差速流化床锅炉，SNCR脱硝系统可不做更换，大大降低投资费用。同时在引风机出口增加1套臭氧脱硝装置或NaClO₂/NaClO脱硝装置。对2种脱硝方案的工艺流程及改造经济性等进行对比后，本次脱硝改造推荐采用NaClO₂/NaClO脱硝方案。

引言

我国生物质资源丰富，用于供热、发电等方面的生物质锅炉已具有很大规模，而且容量较小、形式多样。但由于生物质中所含氮元素相对较高，在燃烧过程中燃料氮会转化为氮氧化物(NO_x)造成雾霾、酸雨等严重的环境污染，目前，生物质锅炉主要通过烟气脱硝的方式减少NO_x排放。为改善大气环境质量，保护生态环境，建设可持续发展经济，某生物质发电厂拟对2台机组进行脱硝系统减排改造，改造后烟气排放要达到NO_x排放质量浓度不高于100mg/Nm³[1]。

1 现有锅炉及脱硝系统

1.1 锅炉及脱硝系统基本参数

锅炉为济南锅炉厂的75t/h中温中压自然循环联合炉排锅炉，锅炉采用单炉膛、室外布置、固态排渣、全钢结构、底部支撑、上部悬挂结构锅炉。一、二次风量各占空气量的60%和40%，一次风为炉排间隙通风，炉排下部是风室。锅炉主要燃料是农作物秸秆，另外可掺烧木片、树枝等。锅炉及燃料主要特征参数如表1和表2所示。

表1 锅炉主要设计性能参数

额定蒸发量/(t·h ⁻¹)	过热器出口		给水温度/℃	热风温度/℃	排烟温度/℃	燃料消耗量/(kg·h ⁻¹)	锅炉效率/%
	压力/MPa	温度/℃					
75	3.82	450	150	150	140	18 782.91	84.95

表2 燃料成分及特征参数

收到基水分 ω(Wad)/%	收到基灰分 ω(Aad)/%	收到基挥发分 ω(Vad)/%	收到基低位发热量 Q _{w,ad} /(kJ·kg ⁻¹)	收到基含碳量 ω(Cad)/%	收到基含氢量 ω(Had)/%	收到基含氮量 ω(Nad)/%	收到基含氧量 ω(Oad)/%	收到基含硫量 ω(Sad)/%
35.00	15.00	66.70	8 820	37.62	3.83	0.29	31.14	0.02

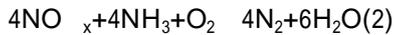
1.2 现有脱硝系统方案

脱硝系统设计选用选择性非催化还原(SNCR)烟气脱硝工艺[2]

，采用炉内喷氨方式将质量分数为20%氨水喷入炉膛。脱硝装置入口烟气NO_x含量按200mg/Nm³设计，设计脱硝效率逸50%，NO_x排放质量浓度不超过100mg/Nm³。

电厂现有脱硝还原剂为质量分数10%的氨水，在氨水储存与制备系统中作为还原剂的氨水，经过计量分配装置的精确计量分配、输送到炉前SNCR喷枪处，氨水在输送泵的压力作用下，通过喷枪经过空气雾化后，以雾状喷入炉内，与烟气中的NO_x发生氧化还原反应生成氮气，从而达到去除NO_x脱硝目的。

SNCR装置通过布置在锅炉炉墙上的喷射系统，先将还原剂喷入第1个反应区（锅炉炉膛为反应器），在850～1250高温下，还原剂与烟气中NO_x发生还原反应，将烟气中NO_x还原成N₂和H₂O，从而实现脱氮。主要反应如下：



另外，燃烧过程中影响NO_x生成的主要因素包括炉膛温度、氧气浓度和停留时间，过量空气系数越大，则生成的NO_x就越多。

1.3 现有脱硝系统效率

通过热力试验分析该锅炉SNCR脱硝分别采用氨水和尿素作为脱硝还原剂时在不同温度下效率如表3所示。

表 3 75 t/h 生物质锅炉炉膛温度（出口）与脱硝效率

炉膛温度 /℃	脱硝效率 /%	
	氨水	尿素
>1 050	20±5	30±5
1 000～1 050	30±5	45±5
950～1 000	45±5	55±5
900～950	55±5	65±5
850～900	65±5	75±5
800～850	75±5	65±5
750～800	65±5	55±5
700～750	45±5	40±5
650～700	30±5	<30
<600	—	—

以上只考虑单层喷枪的温度与效率关系，在实际脱硝方案中会在炉膛布置多层喷枪（一般为2层），喷枪层可以根据炉膛温度的变化进行切换或者调整，通过每层枪的还原剂的流量来适应锅炉负荷与温度变化，保证锅炉负荷在60%～110%之间变动时，脱硝效果满足排放要求。

由

表3可知，
SNCR脱硝效率在850

以上可达到60%，在900 达到最大值
。而温度低于750 时，锅炉初始NO_x排放又会低于120mg/Nm³
，在正常条件下，锅炉的NO_x在采用SNCR脱硝时均能满足NO_x排放不高于100mg/Nm³
。但现在脱硝装置入口烟气中NO_x质量浓度最高达到220 ~ 230mg/Nm³，NO_x
最高排放质量浓度达到110 ~ 140mg/Nm³
，同时除尘器腐蚀严重，漏风较多，烟囱入口
氧含量超过10%，使NO_x浓度值过高，达不到排放要求（ 100mg/Nm³），因此需要改造。

2脱硝改造方案

2.1脱硝改造分析

电厂锅炉主要的低氮
燃烧技术如表4所示。本次锅炉改造充分利用现
有成熟的低氮燃烧技术^[3-4]
，并对锅炉及除尘器做好密封，降低漏风，同时合理配风。在锅炉本体改造时根据电厂燃料进行优化，降低飞灰可燃
物含量及烟气含氧量，同时控制复合炉排锅炉炉膛温度稳定在最佳反应温度内（850 ~ 950 ）等方法，提高脱硝效率
，满足烟气NO_x排放不超过100mg/Nm³。

表 4 电厂锅炉主要的低氮燃烧技术

技术名称	控制 NO _x 原理	优点	缺点
低过量空气技术	降低燃烧区氧浓度	投资少,有运行经验	飞灰可燃物增加,降低燃烧效率
燃料分级技术	形成低氧环境,还原已生成的 NO _x	适用于新建锅炉和锅炉改装,投资中等	运行控制要求高
空气分级技术	降低燃烧区氧浓度和燃烧温度	能改善混合燃烧,中等投资	存在炉膛结渣和腐蚀可能,降低燃烧效率
低氮燃烧器	通过改变空气与燃料混合情况,降低 NO _x 生成	适用于新建锅炉或改装锅炉	结构复杂,降低燃烧效率,可能引起锅炉结焦和腐蚀

本次改造拟采用差速流化床锅炉或循环流化床锅炉方案^[5]
，由于循环流化床锅炉烟气NO_x生成量较低，现有锅炉NO_x
排放均可保证不高于150mg/Nm³，从源头减少了脱硝压力。

根据电厂已有的SNCR脱硝系统，如果改造为差速流化床锅炉，SNCR脱硝系统可不做更换，更换循环流化床锅炉
时，只需要拆掉原有的锅炉脱硝喷枪等脱硝系统设备，并重新安装在循环流化床锅炉即可，可大大降低了脱硝的投资
费用。

2.2改造方案对比

当前，对现役机组进行超低排放改造势在必行，超低排放改造技术路线成熟，可供选择方案较多。本次改造考虑在
引风机出口增加1套臭氧脱硝装置或者NaClO₂/NaClO脱硝装置，下面2种方案进行对比。

2.2.1臭氧氧化法脱硝^[6-8]

臭氧脱硝旨在脱除烟气中的NO_x，臭氧烟气脱硝的原理是用氧化剂将NO_x氧化成NO₂，生成的NO₂
再用水或碱性溶液吸收，从而实现脱硝。

烟气中NO_x的主要组成部分是NO_x
，臭氧的高级氧化作用可以达到脱除效果，而且烟气中的其他有害气体也可以脱除。臭氧作为一种强氧化剂，可以将
烟气中不易溶于水的NO氧化成NO₂或更高价的NO_x
，然后以
相应的吸收液（水
、碱溶液、酸溶液或金属络合物溶液

等)对烟气进行喷淋洗涤,使气相中的NO_x转移到液相中,实现烟气的脱硝处理。脱硝工艺流程如图1所示。

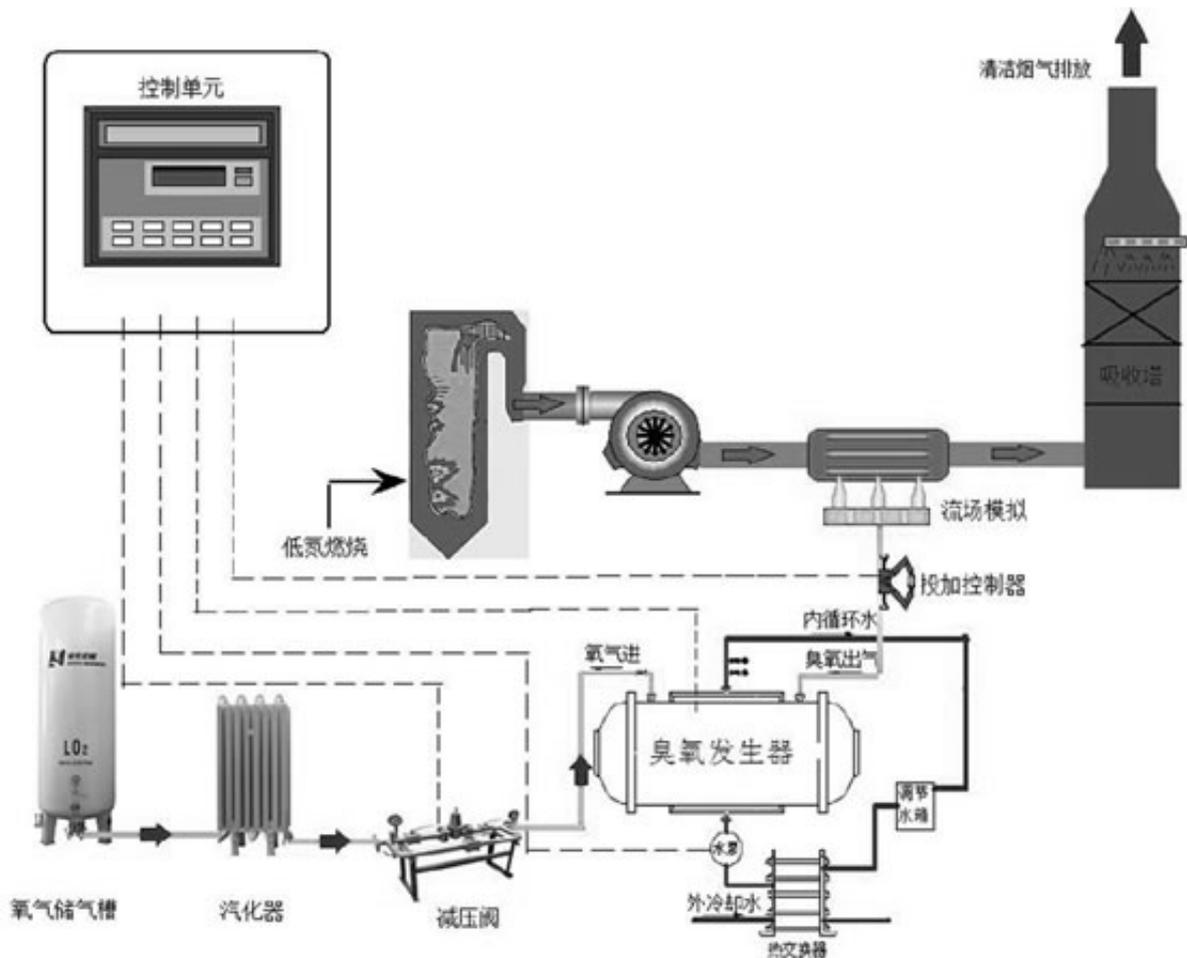
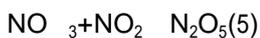
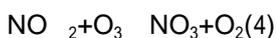


图 1 臭氧脱硝工艺流程图

臭氧脱硝过程中NO的氧化机理比较复杂。在实际试验中,可根据低温条件下臭氧与NO的关键反应进行研究。

低温条件下, O₃与NO之间的关键反应如下:



在典型烟气温度的下,臭氧对NO的氧化效率可达84%以上,臭氧法氧化生成的高价态N₂O₅极易溶于水而生成HNO₃,需要进一步地吸收,常见的吸收液有Ca(OH)₂、NaOH等碱液,反应生成NaNO₃、Mg(NO₃)₂等无机盐。有研究一种臭氧低温氧化脱硝工艺及系统,通过臭氧分布器将臭氧发生器中产生的臭氧喷入烟道中,烟道出口与洗涤塔连接,使烟道中的臭氧和烟气混合气体进入洗涤塔中,被臭氧氧化的NO_x在洗涤塔中被水或碱性溶液吸收形成无机酸或无机盐。也有试验利用吸收液将高价NO_x还原成N₂

后直接排入大气中，如采用Na₂S和NaOH溶液作为吸收剂，NO_x的去除率高达95%，但存在吸收液消耗量大的问题。

采用臭氧氧化法脱硝法，需要增加的主要设备如表5所示。

表 5 臭氧氧化法脱硝工艺主要设备表

设备及部件名称	性能参数	数量
臭氧成套设备	制臭氧量 20 kg/h, 200 kW	1
VPSA 制氧系统	制氧量 150 Nm ³ /h	1
粉尘过滤器	G015UR/HR-M-HT	1
内循环系统	板换配套	1
浓度检测及泄漏报警装置	配套	1
布投加混合装置	配套	1
吸收塔系统	配套	1

2.2.2 NaClO₂/NaClO氧化脱硝^[9]

NaClO₂

/NaClO氧化脱硝在国内多家电厂已经投运，排放均能满足环保要求。烟气系统由原烟道、脱硝塔、除雾器、净烟道及其辅助设备组成。从锅炉引风机出口引出的烟气，通过原烟道进入脱硝塔。在脱硝塔内净化，经除雾器除去水雾后，通过净烟道通过烟囱排入大气。

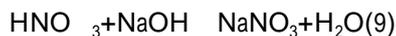
反应过程如下：

1) 氧化反应：烟气与喷嘴喷出的循环浆液，在吸收塔内有效接触，循环浆液氧化NO_x，反应如下：



2) 中和反应：氧化产生的SO₂、NO₂

在吸收塔内，被烟气中的碱性吸收剂浆液所吸收（以碱性吸收剂采用NaOH为例）：



NaClO₂/NaClO脱硝工艺系统的具体配备设备清单如表6所示。

表 6 NaClO₂/NaClO 氧化脱硝主要设备清单

设备材料名称	规格型号	数量	
吸收塔	喷淋塔 Φ6 m×H 26.8 m; 材质: 碳钢涂磷	1 台	
脱硝浆液循环泵	离心式; Q=650 m ³ /h; H=20.4/22.2 m; 电机功率: 75/90 kW	2 台	
吸收塔系统	事故喷淋系统	喷嘴材料: 316L	1 套
	氧化喷淋层	Φ6 m; 材质: FRP	2 套
	氧化喷淋层喷嘴	每层喷嘴数 20 个, 材质: SiC; 流量: 12.5 m ³ /h	40 个
	洗涤喷淋层	Φ6 m; 材质: FRP	2 套
	洗涤喷淋层喷嘴	每层喷嘴数 28 个, 材质: SiC; 流量: 23 m ³ /h	56 个
吸收塔除雾器	三级高效屋脊式; Φ6 m; 材质: PP	1 套	
脱硝氧化剂制备系统	配套	1 台	

2.3 方案选取

根据本项目原有脱硝系统运行情况及脱硝场地情况，本着尽量减少建设投资及运行费用，综合考虑造价水平和改造经济效益，对比2种脱硝系统工艺的优缺点综合评价。在典型烟气温度下，臭氧对NO的氧化效率可达84%以上，在利用

水吸

收尾气时

，NO的脱除效率

达86.27%。但臭氧脱硝工艺会有较

多的氧气生成，造成烟气排放氧含量增高，NO_x

排放浓度值也会相应增高。同时电厂烟囱后侧位置狭小，在本厂臭氧发生器需要新建1座房子，位置受限。同时吸收过程产生的酸性废液难以处理、对设备要求高等问题难以避免。

NaClO₂/NaClO脱硝方案^[10]

吸收效率高，装置可靠性高；喷雾粒径小，吸收浆液表面积大；液气比小，装置省电，循环泵直径少，线速度低，使用寿命长；碱性吸收剂加入到循环浆液箱，进行双pH值运行，保证了深度净化的目标；同时能适应锅炉40%BMCR和110%BMCR工况之间的任何负荷；另外本湿法吸收装置无需重新改造，在保证供应脱硝氧化剂的情况下，具有脱硝效率可任意调节的功能。鉴于此，本改造推荐采用NaClO₂/NaClO脱硝方案。

3 结论

随着国家对污染物排放标准越来越严格，燃煤电厂烟气脱硝改造势在必行。脱硝技术改造对于不同电厂应因地制宜，本文结合该厂现有的SNCR脱硝现状和基础上分析目前存在的问题，并提出2种改造方案，通过技术、经济对比分析后，选择NaClO₂/NaClO脱硝方案。该方案优点如下：

- 1) 脱硝效率高，吸收剂成本低；
- 2) 操作易于自动化控制，负荷适应能力强；
- 3) 综合成本低，初投资少。

参考文献

[1]环境保护部,国家质量监督检验检疫总局.火电厂大气污染物排放标准:GB13223—2011[S].北京:中国环境科学出版社,2011.

[2]周建强,高攀,董长青,等.生物质锅炉脱硝技术及工程应用[J].热力发电,2018,47(10):1-5.

- [3]苗强.脱硝技术的现状及展望[J].洁净煤技术,2017,23(2):12-19.
- [4]郑志坤.燃煤电厂NO_x控制技术探究[J].能源研究与管理,2017,27(2):107-109,113.
- [5]许超.基于CPFD方法的140t/h循环流化床锅炉低氮燃烧研究[D].武汉:华中科技大学,2019.
- [6]罗香奎,刘全辉.邹新生物质锅炉臭氧脱硝技术的应用[J].环境与发展,2019,31(3):80-81.
- [7]张建平,万凯迪,王荣涛,等.生物质循环流化床锅炉臭氧脱硝试验研究[J].环境工程技术学报,2019,9(1):8-13.
- [8]张利波,刘佩希,张椰,等.220t/h煤粉锅炉臭氧氧化NO_x超低排放试验研究[J].洁净煤技术,2019,25(3):105-109.
- [9]胡月琪,郭建辉,孔川,等.NaClO₂湿法氧化脱硝污染物排放特征与监测方法研究[J].生态环境学报,2018,27(9):1706-1715.
- [10]赵辽宁.NaClO/NaClO₂复合溶液烟气脱硫脱硝一体化实验研究[D].青岛:青岛大学,2017.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/162754.html>