



节能减排技术丛书

J I E N E N G J I A N P A I



燃煤电厂烟气脱硝设备 运行维护与改造

章明富 韩祥 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

节能减排技术丛书

燃煤电厂烟气脱硝设备 运行维护与改造

主 编 章明富 韩 祥
副主编 姜艳华 程昆峰 张宝强
参 编 马 骁 范 珂 雷建平 周荣栓
 韩 丽 杨义波 朱保飞
主 审 郭正华 刘俊伟



机械工业出版社

随着烟气脱硝设备在火电厂燃煤锅炉上的普遍应用,脱硝技术已成为火力发电技术的一个重要组成部分。本书作为普及性的读物,重点介绍了燃煤电厂燃煤锅炉烟气脱硝设备的运行维护、改造和调试等技术,全书共分八章,主要内容包括:脱硝技术概述、脱硝工艺、SCR 系统设备和参数、控制系统、工程改造技术、调试及验收、运行和事故处理、维护检修等。此外,为方便学习参考,本书附录还收录了有代表性的运行和检修规程、氨区管理制度和氨泄漏处置方案,以及应急预案等内容。

本书可供燃煤电厂运行和维护人员、技术管理人员阅读,可用作相关人员的培训教材,也可作为学校相关专业师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

燃煤电厂烟气脱硝设备运行维护与改造/章明富,韩祥主编. —北京:机械工业出版社,2016.11

(节能减排技术丛书)

ISBN 978-7-111-55217-8

I. ①燃… II. ①章… ②韩… III. ①燃煤发电厂—烟气—脱硝—设备—运行 ②燃煤发电厂—烟气—脱硝—设备—维修 ③燃煤发电厂—烟气—脱硝—设备—改造 IV. ①X701.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 255614 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张秀恩 责任编辑:张秀恩

责任校对:张薇 封面设计:陈沛

责任印制:常天培

北京中兴印刷有限公司印刷

2017 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·11.75 印张·233 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-55217-8

定价:49.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:(010)88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:(010)68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

(010)88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

序

PROLOGUE

根据《电力发展十三五规划》，到 2020 年我国非化石能源消费比重应达到 15%，届时非化石能源发电装机将达到 7.7 亿千瓦左右，比 2015 年增加 2.5 亿千瓦左右，占比约 39%，提高 4 个百分点，发电量占比提高到 31%，气电装机增加 5000 万千瓦，达到 1.1 亿千瓦以上，占比超过 5%，煤电装机力争控制在 11 亿千瓦以内，占比降至约 55%。

从上述数据可以看出，在今后较长的时间内，煤电装机依然是我国发电行业的主力，火电厂煤炭的清洁燃烧仍然是控制大气污染的重点工作。《电力发展十三五规划》要求，五年内火电机组二氧化硫和氮氧化物排放总量均力争下降 50% 以上，30 万千瓦级以上具备条件的燃煤机组全部实现烟气超低排放。

《燃煤电厂烟气脱硝设备运行维护与改造》一书，针对火电厂脱硝设备运行中遇到的问题，结合运行、调试、改造和维护各个环节，从现场实际出发，进行了多方探讨。相信该书的出版，能够对电厂脱硝相关技术人员的培训工作，起到积极的效果。

本书由郑州裕中能源有限责任公司章明富和国网河南省电力公司技能培训中心韩祥联合主编。章明富同志具有多年的专业课程教学经历，并参与过几部专业技术类书籍的编审工作，更有着十余年的电厂实际工作经验；韩祥同志同样具有学校教学经历和企业实践经验。更重要的是，这个编审群体有着令人钦佩的忘我工作精神，他们不惜牺牲大量的业余时间，为的是将更多的知识、经验和技能与广大读者共享。

作为中国能源研究会节能减排中心的负责人，谨代表节能减排中心和我本人，向全体编审人员表示敬意。并希望广大读者能够从这本书中获得所需要的知识，为燃煤电厂节能减排，为我国的节能环保事业，做出更大的贡献。

路漫漫其修远兮，吾将上下而求索！

中国能源研究会愿与致力于我国节能减排事业的有志之士携手同行！

中国能源研究会节能减排中心主任



2016 年 11 月 15 日于北京

前言

P R E F A C E

GB 13223—2011 被称为“史上最严”的中国《火电厂大气污染物排放标准》，从颁布之初这一标准即被火电企业称为“九级地震加海啸”。其中，《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223—2011)中对火电厂三大最重要的排放指标：氮氧化物、二氧化硫和烟尘的排放规定，都已达到甚至超过发达国家和地区的排放要求。当前全国在役火电厂燃煤锅炉基本完成了脱硝改造，为我国降低大气中氮氧化物的排放作出了重要贡献。

新的《锅炉大气污染物排放标准》(GB 13271—2014)已对各类工业锅炉的氮氧化物排放标准提出了更高的要求 and 具体的执行时间表。这预示着工业锅炉的脱硝改造工作也将全面铺开。

2014年9月12日，国家发展和改革委员会、环境保护部和国家能源局又联合下发了《煤电节能减排升级与改造行动计划》(2014—2020年)，其中要求：“稳步推进东部地区现役30万kW及以上公用燃煤发电机组和有条件的30万kW以下公用燃煤发电机组，实施大气污染物排放浓度基本达到燃气轮机组排放限值的环保改造。鼓励其他地区现役燃煤发电机组实施大气污染物排放浓度达到或接近燃气轮机组排放限值的环保改造。”

针对当前形势，作者组织编写了本书。本书作为一本宣传火电厂脱硝技术的普及性读物，对火电厂烟气脱硝设备的运行、维护、改造和调试等技术进行了介绍，以期在燃煤火电机组普遍装设了脱硝设施之后，为火电厂的运行、检修人员和各级技术管理人员提供参考，同时也能用作火电厂锅炉进行改造时的参考资料。

本书由郑州裕中能源有限责任公司章明富和国网河南省电力公司技能培训中心韩祥主编，国信扬州第二发电有限责任公司姜艳华、郑州裕中能源有限责任公司程昆峰、张宝强任副主编，参加编写工作的有郑州裕中能源有限责任公司马骁、范珂，国投钦州发电有限公司雷建平，河南第二火电建设公司周荣栓，国网河南省电力公司郑州供电公司韩丽，国网河南省电力公司技能培训中心杨义波、朱保飞等。

担任本书主要审稿工作的是华兴电力股份公司郭正华和郑州裕中能源有限责任公司刘俊伟，郑州裕中能源有限责任公司戴改明、何中吉、胡广伟、冯林、尚建荣、付伟和胡顺兴等参加了部分内容的审稿工作。在本书的编写过程中还得到了宁波建

工股份有限公司黄永凯和江苏溧阳建设集团有限公司朱云波的指导和帮助。

本书在编写过程中参考和引用了较多的文献资料，感谢所有文献的作者（有些参考内容已无法找到出处，对此类文章的原作者表示歉意并致以真诚的谢意），同时感谢郑州裕中能源有限责任公司的领导、同事以及编审人员的朋友和家人给予的大力支持。此外，我们将以本书纪念曾经的合作者、好朋友、已故的环保专家、原东南大学能源与环境学院孙克勤教授。

由于编者水平所限，加之时间仓促书中难免有不足之处，敬请广大读者批评指正。

编者

目录

CONTENTS

序

前言

第一章 火电厂脱硝技术概述	1
第一节 氮氧化物(NO_x)的危害	1
一、对环境和人体的危害	1
二、形成光化学烟雾产生的危害	1
三、产生酸雨对环境的危害	2
四、自然排放对环境的危害	2
第二节 氮氧化物的生成	2
一、热力型	2
二、瞬时反应型(快速型 NO_x)	3
三、燃料型 NO_x	3
第三节 氮氧化物的控制	3
一、脱硝技术	3
二、低氮燃烧技术	4
三、烟气处理法脱硝技术	5
第四节 烟气处理法脱硝技术分类	5
一、湿法烟气脱硝技术	5
二、干法烟气脱硝技术	6
三、协同脱除二氧化硫(SO_2)和氮氧化物(NO_x)技术	6
四、其他脱硝技术	7
第二章 选择性催化还原脱硝技术	11
第一节 催化剂	11
一、催化剂的作用原理	11
二、催化剂常见的分类方法	14
三、常用固体催化剂	15
四、固体催化剂的组成	16
五、固体催化剂的性能	18
第二节 SCR 脱硝工艺原理	24
一、选择性催化还原(SCR)脱硝原理	24

二、选择性非催化氧化还原 (SNCR) 脱硝原理	25
第三节 SCR 脱硝工艺布置方式	26
一、高尘区 SCR (HD-SCR) 工艺流程	27
二、低尘区 SCR (LD-SCR) 工艺流程	28
三、尾部区 SCR (TE-SCR) 工艺流程	29
四、氨和空气喷雾系统	32
五、尿素水解法制氨工艺流程	32
六、氨水为还原剂的 SCR 脱硝工艺流程	33
七、还原剂的选择	34
第三章 SCR 的系统、工艺参数与设备	36
第一节 SCR 系统	36
一、供氨、注氨系统	36
二、催化反应系统	36
三、检测与控制系统	36
四、辅助系统	36
第二节 SCR 系统工艺参数	38
一、入口的 NO_x 浓度	38
二、脱硝效率	38
三、空间速率	39
四、反应温度	39
五、反应时间	40
六、 NH_3/NO_x 摩尔比	40
七、转化率	40
八、 NH_3 逃逸率	40
九、反应器运行压降	41
第三节 供氨系统	41
一、还原剂	41
二、供氨设备	42
三、尿素热解制氨系统	46
第四节 注氨设备	47
一、稀释风机	47
二、供氨母管/集管	48
三、注氨格栅	48
第五节 催化反应器	52
一、反应器及各个组成部分	52
二、旁路部分	58

三、灰斗	59
第六节 吹灰器	59
一、结构及工作原理	59
二、分类	59
第四章 SCR 烟气脱硝控制系统	61
第一节 控制原理与控制方案	61
一、SCR 烟气脱硝装置的控制系统一般应采取的控制方案	61
二、SCR-DCS 分散控制系统	62
三、脱硝系统主要控制回路的控制策略	62
第二节 典型控制系统的工程设计要求	63
一、控制系统要求	63
二、就地设备要求	64
三、温度测量装置要求	65
四、压力/压差测量要求	65
五、流量测量要求	66
六、料位测量要求	66
七、分析仪表要求	67
八、电气量与电气参数要求	67
九、执行机构要求	67
第三节 SCR 脱硝控制系统对控制软件的要求	68
一、一般要求	68
二、人机接口	69
三、数据通讯系统	69
第四节 模拟量控制系统 (MCS)	70
一、基本要求	70
二、具体功能	71
三、顺序控制系统 (SCS)	72
第五章 SCR 系统的工程改造技术	74
第一节 现役机组安装 SCR 系统概况	74
一、国家环保部对氮氧化物防治的技术路线提议	74
二、我国锅炉系统改造的现状	74
第二节 低氮燃烧系统的改造	75
一、氮氧化物生成的四区理论	75
二、煤粉锅炉的 NO_x 排放控制技术	76
三、低氮控制措施	76
四、防结焦技术措施	77

五、低氮燃烧改造原则	79
第三节 空气预热器的改造	79
一、SCR 系统中空气预热器的配置特点	79
二、SCR 系统中空气预热器的设计配套原则	80
第四节 风机系统的改造	83
一、在运机组脱硝改造对锅炉引风机的影响	83
二、脱硝改造后引风机运行参数的确定	83
三、改造方案确定原则	83
四、风机类型的选择与局部改造	84
五、引风机与增压风机合并改造	84
第五节 SCR 系统改造中的优化	85
一、SCR 流体模型与优化调整	85
二、SCR 反应器流动场、温度场和反应物浓度分布均匀性的优化	85
三、喷氨系统调整	86
四、催化反应器相连管道中流动性的调整	87
五、催化反应器相连管道中温度的调整	87
六、SCR 催化剂的优化	87
七、某电厂优化实例	88
第六章 SCR 脱硝设备调试与竣工验收	90
第一节 SCR 脱硝设备的调试	90
一、脱硝设备的调试项目	90
二、主要调试程序	90
三、脱硝设备调试前的主要准备工作	91
四、电动机单体运行	92
五、冷态调试	92
六、热态调试	94
七、调试过程优化	95
八、SCR 与锅炉间的热态扰动试验	95
九、变负荷运行试验	95
十、最大负荷运行试验	95
十一、最小负荷运行试验	96
十二、168h 试运行	96
十三、试运后消缺	96
十四、脱硝设备调试中的常见问题	96
第二节 SCR 脱硝设备验收移交	98
一、一般性要求	98

二、竣工验收程序	98
三、竣工验收组织	98
四、竣工验收内容	98
五、竣工环保验收	99
第三节 SCR 脱硝设备性能验收试验	99
一、前提条件与试验准备工作	99
二、性能考核指标	100
三、测试内容与方法	100
第七章 SCR 脱硝设备运行和事故处理	104
第一节 SCR 设备运行的一般规定和日常维护要求	104
一、一般规定	104
二、日常维护要求	105
第二节 SCR 脱硝系统的运行	105
一、SCR 反应器的运行	105
二、氨站系统的运行	106
三、吹灰系统的运行	106
四、控制系统的运行	107
五、影响 SCR 脱硝效率的主要因素	107
六、延长催化剂使用寿命的措施	109
第三节 事故处理原则与紧急停机	110
一、事故处理原则	110
二、紧急停机	110
第四节 脱硝设备运行异常与事故处理	111
一、异常情况处理	111
二、事故处理	114
第八章 SCR 脱硝设备维护和检修	117
第一节 SCR 脱硝系统的检查内容	117
第二节 SCR 脱硝主要设备常见故障与排除	118
一、氨区、SCR 区转机设备安装通病与预防措施	118
二、声波吹灰器常见故障与排除方法	118
三、蒸汽吹灰器常见故障与排除方法	119
四、氨供应气动隔绝门故障与排除方法	121
五、液氨蒸发系统故障与排除方法	121
六、稀释风机故障与排除方法	121
第三节 SCR 辅助设备检修与维护	122
一、离心泵检修	122

二、风机检修	124
三、空气压缩机维护检修	125
四、烟道挡板维护检修	129
第四节 催化剂的检修与维护	129
一、催化剂部分容易出现的问题	129
二、催化剂维护的主要工作	130
三、催化剂管理	130
第五节 检修维护工作注意事项	131
一、定期检修	131
二、常见维护方案	131
附录	133
附录 A 某 1000MW 机组脱硝运行规程 (摘录, 供参考)	133
第一部分 脱硝系统	133
一、系统概述	133
二、系统联锁保护与试验	135
第二部分 脱硝氨区	138
一、系统概述	138
二、主要设备技术参数	138
三、工艺流程简述	140
四、主要工艺控制指标	140
五、氨区系统联锁与保护	141
六、投运前准备	141
七、系统操作	141
八、操作注意事项	144
九、系统停运	144
附录 B 某 600MW 机组脱硝检修规程 (摘录)	145
第一部分 设备技术规范	145
第二部分 稀释风机检修工艺规程	148
一、设备技术参数	148
二、设备概况	149
三、检修工艺与质量标准	149
四、安全、健康、环保要求	152
第三部分 声波吹灰器检修工艺规程	153
一、设备概况	153
二、设备技术规范	153
三、检修工艺与质量标准	154

四、常见故障分析与排除方法	155
五、安全、健康、环保要求	156
第四部分 催化剂检修工艺规程	156
一、催化剂概述	156
二、设备技术参数	156
三、检修工艺与质量标准	157
四、可能降低催化剂性能的机理	157
附录 C 某 600MW 机组脱硝氨区管理制度 (摘录)	158
一、主题内容与适用范围	158
二、管理内容	158
附录 D 600MW 机组氨泄漏事故专项应急预案	160
一、总则	160
二、氨区设备概述	162
三、氨的危险性分析及事故类型	162
四、组织机构及其职责	165
五、预防与预警	166
六、信息报告程序	168
七、应急响应	168
八、后期处理	172
九、培训与演练	172
十、责任追究	172
十一、附则	173
十二、附件	173
附录 E 相关国家法规和技术标准名称	173
参考文献	175

第一章

火电厂脱硝技术概述

第一节 氮氧化物 (NO_x) 的危害

一、对环境和人体的危害

NO_x 与 SO_2 一样, 在大气中会通过干沉降和湿沉降两种方式降落到地面, 与空气中的水结合最终转化成硝酸盐或硝酸。硝酸型酸雨的危害程度比硫酸型酸雨更强, 因为它对水体的酸化、对土壤的淋溶贫化、对农作物和森林的灼伤毁坏、对建筑物和文物的腐蚀损伤等方面丝毫不逊于硫酸型酸雨。所不同的是, 它给土壤带来一定有益的氮分, 但这种“利”远小于其“弊”, 因为它可能带来地表水富营养化, 并对水生和陆地的生态系统造成破坏。大气中的 NO_x 有一部分会进入同温层对臭氧层造成破坏, 使臭氧层减薄甚至形成空洞, 给人类生活带来不利影响; 同时 NO_x 中的 N_2O 也是引起全球气候变暖的因素之一, 虽然其数量极少, 但其温室效应的能力是 CO_2 的 200~300 倍。 NO 吸入过量能使人中枢神经麻痹并导致窒息死亡。 NO_2 吸入过量会使人患上哮喘和肺气肿, 破坏人的心、肝、肺、肾并使造血组织功能丧失, 其毒性比 NO 更强。无论是 NO 、 NO_2 或 N_2O_4 , 还是 N_2O , 在空气中的最高允许浓度均为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ (以 NO_2 计)。

各种污染源产生的氮氧化物中, 绝大部分为 NO , 其毒性相对不是很大, 但是 NO 在大气中可以氧化生成 NO_2 , NO_2 比较稳定, 其毒性是 NO 的 4~5 倍。空气中 NO_2 的含量在 3.5×10^{-6} (体积分数) 持续 1 小时, 就开始对人体有影响; 含量为 $(20 \sim 50) \times 10^{-6}$ (体积分数) 时, 对人眼有刺激作用; 当含量达到 150×10^{-6} (体积分数) 时, 对人体器官产生强烈刺激作用。此外, NO_x 还参与光化学烟雾和酸雨的形成, 对人体和环境的危害更大。

二、形成光化学烟雾产生的危害

大气中 NO_x 和挥发性有机物 VOC 达到一定浓度后, 在太阳光照射下经过一系列复杂的光化学反应, 就会产生以高浓度 O_3 和细颗粒物为特征的光化学烟雾, 形成了夏季城市天空经常出现的蓝色烟雾。由于我国大气中挥发性有机物 VOC 浓度较高, 光化学烟雾的产生主要受 NO_x 制约, 大气 NO_x 浓度的微小增量都会加重光化

学烟雾的污染。光化学烟雾是一种二次污染，污染区主要位于污染源下风向 30~50km，由于 O_3 和细颗粒物可以做长距离传输，这样会造成区域性的氧化剂和细颗粒物污染，使区域空气质量退化，减少太阳辐射，气候发生变化，对生态系统造成损害，农作物减产。太阳辐射减少对产量的影响更大。光化学烟雾会使大气能见度降低，对人的眼睛、喉咙有强烈的刺激作用，并会使人产生头痛、患呼吸道疾病恶化，严重的会造成死亡。

三、产生酸雨对环境的危害

由于大气的氧化性， NO_x 在大气中可形成硝酸 (HNO_3) 和硝酸盐细颗粒物，同硫酸 (H_2SO_4) 它们一起进行远距离传输，从而加速了区域性酸雨的恶化。而 HNO_3 对酸雨的贡献呈增长之势，降水中 NO_3^-/SO_4^{2-} 比值在全国范围内逐渐增加。由于 NO_x 排放量的剧增，使我国城市大气中的 NO_x 污染程度加重。

四、自然排放对环境的危害

自然排放的 NO_x ，主要来自土壤和海洋中有机物的分解，属于自然界的氮循环过程。人为活动排放的 NO_x ，大部分来自化石燃料的燃烧过程，如汽车、飞机、内燃机和锅炉等的燃烧过程；也有的来自生产、使用硝酸的过程，如氮肥厂、有色、黑色金属冶炼厂等。

在高温燃烧条件下， NO_x 主要以 NO 的形式存在，最初排放的 NO_x 中 NO 约占 95%。但是 NO 在大气中极易与空气中的氧发生反应，生成 NO_2 ，故大气中 NO_x 普遍以 NO_2 的形式存在。空气中的 NO 和 NO_2 通过光化学反应，相互转化而达到平衡。在湿度较大或有云雾存在时， NO_2 进一步与水分子作用形成酸雨中的第二重要酸分——硝酸 (HNO_3)。在有催化剂存在时，如加上合适的气象条件， NO_2 转变成硝酸的速度加快。特别是当 NO_2 与 SO_2 同时存在时，可以相互催化，形成硝酸的速度更快。

此外， NO_x 还可以因飞行器在平流层中排放废气，逐渐积累，而使其浓度增大。 NO_x 再与平流层内的 O_3 发生反应生成 NO 与 O_2 ， NO 与 O_3 进一步反应生成 NO_2 和 O_2 ，从而打破 O_3 平衡，使 O_3 浓度降低，导致 O_3 层的耗损。

第二节 氮氧化物的生成

在氮氧化物中， NO 占有 90% 以上， NO_2 占 5%~10%，产生机理一般分为热力型、瞬时反应型（快速型 NO_x ）、燃料型 NO_x 三种情况。

一、热力型

燃烧时，空气中氮在高温下氧化产生，其中的生成过程是一个不分支连锁反应。

其生成机理可用捷里多维奇 (Zeldovich) 反应式表示。随着反应温度 T 的升高, 其反应速率按指数规律增加。当 $T < 1500^{\circ}\text{C}$ 时, NO 的生成量很少, 而当 $T > 1500^{\circ}\text{C}$ 时, T 每增加 100°C , 反应速率增大 $6 \sim 7$ 倍。

热力型氮氧化物生成机理:



在高温下生成:



二、瞬时反应型 (快速型 NO_x)

快速型 NO_x 是 1971 年 Fenimore 通过实验发现的。当碳氢化合物燃料燃烧区燃料过浓时, 在反应区附近会快速生成 NO_x 。由于燃料挥发物中碳氢化合物高温分解生成的 CH 自由基可以和空气中氮气反应生成 HCN 和 N , 再进一步与氧气作用以极快的速度生成, 其形成时间只需要 60ms , 所生成量与炉膛压力 0.5 次方成正比, 与温度的关系不大。

上述两种氮氧化物都不占 NO_x 的主要部分, 不是主要来源。

三、燃料型 NO_x

燃料型 NO_x 是由燃料中氮化合物在燃烧中氧化而成的。由于燃料中氮的热分解温度低于煤粉燃烧温度, 在 $600 \sim 800^{\circ}\text{C}$ 时就会生成燃料型 NO_x , 它在煤粉燃烧 NO_x 产物中占 $60\% \sim 80\%$ 。

在生成燃料型 NO_x 过程中, 首先是含有氮的有机化合物热裂解产生 N 、 CN 、 HCN 和等中间产物基团, 然后再氧化成 NO_x 。由于煤的燃烧过程由挥发分燃烧和焦炭燃烧两个阶段组成, 故燃料型的形成也由气相氮的氧化 (挥发分) 和焦炭中剩余氮的氧化 (焦炭) 两部分组成。

第三节 氮氧化物的控制

一、脱硝技术

1. 燃烧前 NO_x 控制技术 (燃料脱硝)

燃烧前控制 NO_x 的产生, 就是处理燃料, 降低煤中的含氮量, 煤中的氮多以有机物喹啉 ($\text{C}_9\text{H}_7\text{N}$)、吡啶 ($\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$) 等形式存在, 其含氮量通常为 $0.5\% \sim 2.5\%$, 通过降低煤中的含氮比率, 控制 NO_x 的排放。

2. 燃烧中 NO_x 控制技术 (低氮燃烧技术)

燃烧中 NO_x 控制技术,即改进燃烧方式和生产工艺。如采用低氮燃烧器、空气分级燃烧、燃料分级燃烧、烟气再循环等技术进行控制。

3. 燃烧后 NO_x 控制技术 (烟气脱硝)

燃烧后 NO_x 控制技术,即把已生成的 NO_x 还原为 N_2 从而脱除烟气中的 NO_x 。

二、低氮燃烧技术

煤在燃烧过程中所产生的氮氧化物主要为 NO 和 NO_2 ,通常把这两种氮的氧化物通称为氮氧化物 NO_x 。大量实验结果表明,燃烧装置排放的氮氧化物主要为 NO ,平均约占 95%,而 NO_2 仅占 5%左右。

1. 降低 NO_x 的燃烧技术

NO_x 是由燃烧产生的,而燃烧方法和燃烧条件对 NO_x 的生成有较大影响,因此可以通过改进燃烧技术来降低 NO_x ,其主要途径如下。

通过降低空气过剩系数来降低燃料周围氧的浓度。在过剩空气少的情况下,降低温度峰值以减少热力反应生成的 NO 。在氧浓度较低情况下,增加可燃物在火焰前峰和反应区中停留的时间。

减少 NO_x 的形成和排放通常运用的具体方法有:分级燃烧、再燃烧、低氧燃烧、浓淡偏差燃烧和烟气再循环等。

2. 常用低氮氧化物燃烧器

燃烧器是锅炉的重要组成部分,它保证燃料稳定燃烧和燃料的完全燃烧,因此,要抑制 NO_x 的生成量就必须从燃烧器入手,即采用低 NO_x 燃烧器。低 NO_x 燃烧器是指采用燃料燃烧过程中 NO_x 排放量低的燃烧器。

低氮氧化物燃烧器大致分为以下几类。

(1) 阶段燃烧器 根据分级燃烧原理设计的阶段燃烧器,使燃料与空气分段混合燃烧,由于燃烧偏离理论当量比,故可降低 NO_x 的生成。

(2) 自身再循环燃烧器 一种是利用助燃空气的压头,把部分燃烧烟气吸回,进入燃烧器,与空气混合燃烧,由于烟气再循环,燃烧烟气的热容量大,燃烧温度降低, NO_x 减少;另一种自身再循环燃烧器是把部分烟气直接在燃烧器内进入再循环,并加入燃烧过程,此种燃烧器有抑制氧化氮和节能的双重效果。

(3) 浓淡型燃烧器 其原理是使一部分燃料作过浓燃烧,另一部分燃料作过淡燃烧,但整体上空气量保持不变。由于两部分都在偏离化学当量比下燃烧,因而 NO_x 都很低,这种燃烧又称为偏离燃烧或非化学当量燃烧。

(4) 分割火焰型燃烧器 其原理是把一个火焰分成数个小火焰,由于小火焰散热面积大,火焰温度较低,使“热力反应生成的 NO ”有所下降。此外,火焰小缩短了氧、氮等气体在火焰中的停留时间,对“热力反应生成的 NO ”和“燃料中的 NO ”都有明显的抑制作用。