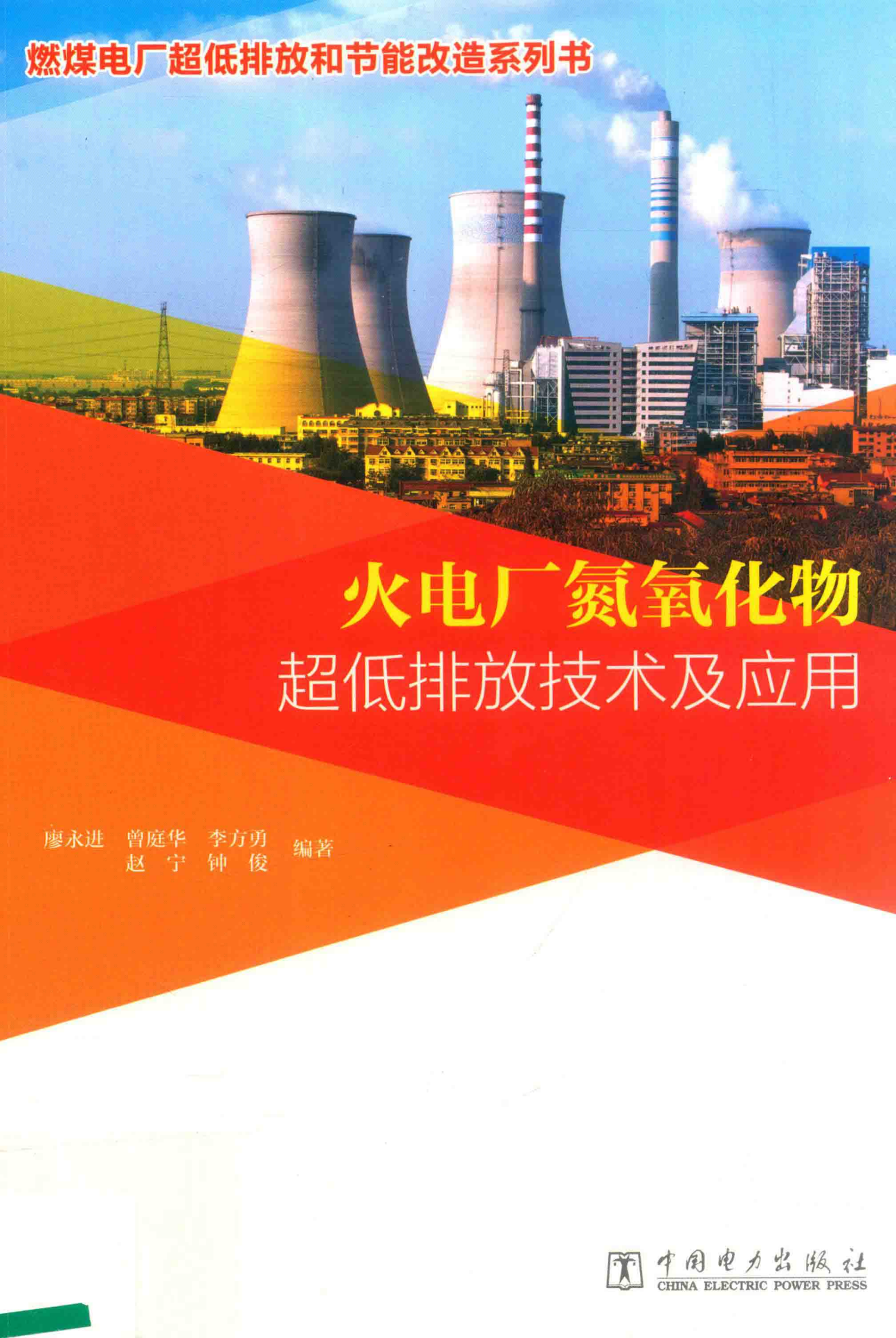


燃煤电厂超低排放和节能改造系列书



火电厂氮氧化物 超低排放技术及应用

廖永进 曾庭华 李方勇 编著
赵 宁 钟 俊



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

燃煤电厂超低排放和节能改造系列书

火电厂氮氧化物 超低排放技术及应用

广东电科院能源技术有限责任公司 编著
廖永进 曾庭华 李方勇 赵 宁 钟 俊



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是一部关于火力发电厂大气污染物之一的氮氧化物超低排放方面的专著。在介绍火力发电厂超低排放政策的基础上,对低氮燃烧技术、SNCR 脱硝技术和 SCR 脱硝技术进行了详细分析,并介绍了工程实例。其中重点介绍了适应超低排放的 SCR 技术的优化,包括 SCR 系统的设计优化、设备优化、运行优化以及催化剂的管理优化。同时对 SCR 系统拓宽负荷适应性的问题进行了理论分析和技术介绍。

本书适合从事火力发电厂超低排放脱硝系统的设计、管理和运行的人员阅读,对火力发电厂从事环保工作的各类人员有很好的参考价值,也可作为高等院校有关专业的教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

火电厂氮氧化物超低排放技术及应用 / 廖永进等编著. —北京:中国电力出版社, 2018.6

(燃煤电厂超低排放和节能改造系列书)

ISBN 978-7-5198-1702-2

I. ①火… II. ①廖… III. ①火电厂—氮氧化物—污染控制②火电厂—氧化物—污染控制
IV. ①X773

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 013910 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 赵鸣志 (010-63412385) 董艳荣

责任校对: 闫秀英

装帧设计: 王红柳 赵姗姗

责任印制: 蔺义舟

印 刷: 三河市万龙印装有限公司

版 次: 2018 年 6 月第一版

印 次: 2018 年 6 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 16 开本

印 张: 12

字 数: 300 千字

印 数: 0001—2000 册

定 价: 65.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换



前言

2011年7月,我国环境保护部发布了GB 13223—2011《火电厂大气污染物排放标准》,对火力发电厂 SO_2 、 NO_x 及烟尘排放浓度提出了世界上最为严格的要求,现有火力发电锅炉自2014年7月1日起执行。但在2014年9月12日,国家发展和改革委员会、环境保护部、国家能源局印发了《煤电节能减排升级与改造行动计划(2014—2020年)》的通知,其行动目标是:“全国新建燃煤发电机组平均供电煤耗低于 300g/kWh (标准煤);东部地区新建燃煤发电机组大气污染物排放浓度基本达到燃气轮机组排放限值(烟尘 $\leq 10\text{mg/m}^3$ 、 $\text{SO}_2 \leq 35\text{mg/m}^3$ 、 $\text{NO}_x \leq 50\text{mg/m}^3$ 、…)”;2015年12月11日,环境保护部、国家发展和改革委员会、国家能源局又颁布了“关于印发《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》的通知”(环发〔2015〕164号),将超低排放时间大大提前,主要目标是“到2020年,全国所有具备改造条件的燃煤电厂力争实现超低排放。全国有条件的新建燃煤发电机组达到超低排放水平。加快现役燃煤发电机组超低排放改造步伐,将东部地区原计划2020年前完成的超低排放改造任务提前至2017年前总体完成;将对东部地区的要求逐步扩展至全国有条件地区,其中,中部地区力争在2018年前基本完成,西部地区在2020年前完成……”,全国各电厂开始了轰轰烈烈的脱硫、脱硝和除尘改造。本书在此背景下,及时总结了近年来火力发电厂 NO_x 的超低排放技术及其应用情况。

本书共分七章,第一章简要介绍了火力发电厂超低排放政策及 NO_x 的排放状况和控制技术等。第二章介绍了低氮燃烧技术,包括低氮控制的机理、各类低氮燃烧系统及不同类型机组的应用实例。第三章介绍了SNCR脱硝技术,包括技术原理、系统组成及其在流化床锅炉超低排放中的应用。第四章介绍SCR脱硝技术,重点介绍了SCR脱硝及超低排放面临的各种问题。第五章介绍了适应超低排放的SCR技术的优化,包括SCR的设计优化、设备优化、运行优化以及催化剂的管理优化。第六章对SCR拓宽负荷适应性的问题进行了理论分析和技术介绍。第七章对 NO_x 超低排放的工程实例进行了介绍。全书理论较少,主要介绍了广东电科院能源技术有限责任公司十余年来在脱硝技术服务方面的应用总结,实用性较强,对目前火力发电厂安全、可靠地实施 NO_x 的超低排放具有很好的参考价值。

限于经验和水平,书中不妥之处在所难免,敬请各位专家和读者批评指正。

作者

2018年2月



目 录

前言

第一章	火电厂 NO_x 超低排放概述	1
第二章	低氮燃烧技术	6
第一节	煤粉在炉内燃烧时 NO_x 的生产机理	6
第二节	低 NO_x 燃烧技术	7
第三节	工程实例	12
第三章	SNCR 脱硝技术	23
第一节	SNCR 脱硝技术原理	23
第二节	SNCR 系统流程和组成	23
第三节	影响 SNCR 脱硝效率的因素	26
第四节	SNCR 脱硝技术在循环流化床锅炉超低排放中的应用	28
第四章	SCR 脱硝技术	33
第一节	SCR 烟气脱硝原理	33
第二节	SCR 烟气脱硝系统组成	34
第三节	SCR 脱硝及超低排放问题	41
第五章	SCR 超低排放优化	48
第一节	催化剂的增加	48
第二节	SCR 的设计优化	49
第三节	SCR 设备的优化	61
第四节	SCR 运行的优化	79
第五节	催化剂管理优化	97
第六章	SCR 拓宽负荷适应性	133
第一节	硫酸氢铵生成机理的研究	133

第二节	机组运行对 SCR 烟气温度的影响	137
第三节	提高 SCR 烟气温度的设备改造	144
第四节	中低温催化剂的研发	151
第七章	NO_x 超低排放的实践	158
第一节	某 600MW 超临界机组超低排放实例	158
第二节	某 660MW 亚临界机组超低排放实例	176
参考文献		185



火电厂NO_x超低排放概述

一、NO_x 超低排放政策

2011年7月,我国环境保护部发布了GB 13223—2011《火电厂大气污染物排放标准》(代替GB 13223—2003),对火力发电厂SO₂、NO_x及烟尘排放浓度提出了世界上最为严格的要求,其中重点地区燃煤锅炉NO_x(以NO₂计)浓度为100mg/m³,发达国家如美国、日本、德国等的标准均低于我国,图1-1所示为世界主要燃煤国家煤电大气污染物排放标准中NO_x最严标准限值的比较。

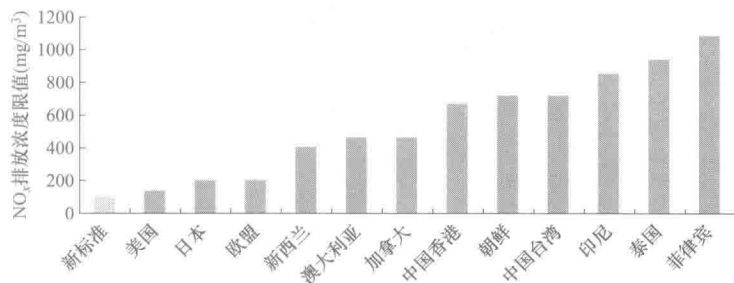


图1-1 煤电NO_x最严标准限值的比较

2014年7月1日,GB 13223—2011正式实施,因此,各电厂纷纷进行现有机组的脱硫、脱硝和除尘改造。但近年来,一些地方又对火力发电厂烟气污染物排放限值进一步趋严,要求特殊地区电厂烟气污染物排放达到“现行燃气轮机发电机组排放水平”,特别是2014年9月12日,国家发展和改革委员会、环境保护部、国家能源局印发了《煤电节能减排升级与改造行动计划(2014—2020年)》的通知(发改能源〔2014〕2093号),其行动目标是:“全国新建燃煤发电机组平均供电标准煤耗低于300g/kWh;东部地区新建燃煤发电机组大气污染物排放浓度基本达到燃气轮机组排放限值(烟尘≤10mg/m³、SO₂≤35mg/m³、NO_x≤50mg/m³、…),中部地区新建机组原则上接近或达到燃气轮机组排放限值,鼓励西部地区新建机组接近或达到燃气轮机组排放限值。到2020年,现役燃煤发电机组改造后平均供电煤耗低于310g/kWh,其中现役60万kW及以上机组(除空冷机组外)改造后平均供电煤耗低于300g/kWh。东部地区现役30万kW及以上公用燃煤发电机组、10万kW及以上自备燃煤发电机组以及其他有条件的燃煤发电机组,改造后大气污染物排放浓度基本达到燃气轮机组排放限值。”

2015年12月11日,环境保护部、国家发展和改革委员会、国家能源局颁布了“关于印发《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》的通知(环发〔2015〕164号)”,明确

和统一了“超低排放”的概念，将超低排放定义为在基准氧含量 6% 条件下，烟尘、二氧化硫、氮氧化物排放浓度分别不高于 10、35、50mg/m³。主要目标是“到 2020 年，全国所有具备改造条件的燃煤电厂力争实现超低排放。全国有条件的新建燃煤发电机组达到超低排放水平。加快现役燃煤发电机组超低排放改造步伐，将东部地区原计划 2020 年前完成的超低排放改造任务提前至 2017 年前总体完成；将对东部地区的要求逐步扩展至全国有条件地区，其中，中部地区力争在 2018 年前基本完成，西部地区在 2020 年前完成。……”这里将超低排放时间大大提前，为此全国各电厂纷纷进行脱硫、脱硝和除尘超低排放的改造。

二、NO_x 控制技术概述

有关 NO_x 的治理方法很多，大体上可以分为两大类：一级污染防治（primary pollution prevention）措施和二级污染防治（secondary pollution prevention）措施，如图 1-2 所示。

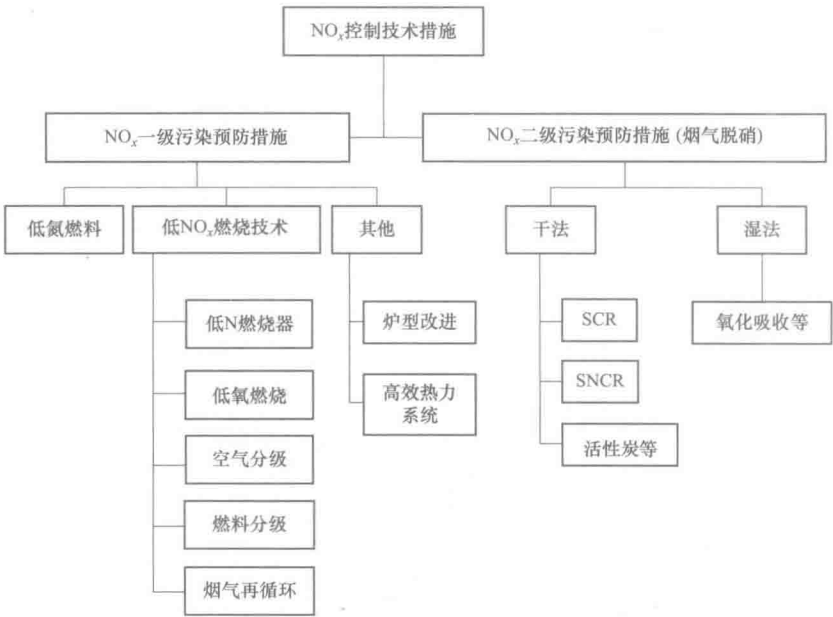


图 1-2 NO_x 控制技术措施

1. 一级污染防治措施

一级污染防治措施是指在 NO_x 生成前的所有控制措施，主要是通过改进燃烧方式减少 NO_x 的生成量，即采用低 NO_x 燃烧技术。基于 NO_x 的形成受温度的影响极大这一规律，可以通过改进燃烧方式避开使 NO_x 大量生成的温度区间，从而实现 NO_x 的减排。主要有：

- (1) 低氮燃烧器。
- (2) 低氧燃烧或低过量空气系数。
- (3) 空气分级。
- (4) 燃料分级。
- (5) 烟气再循环等。

燃烧方式的改进通常是一种相对简便易行的减少 NO_x 排放的措施，但这种措施可能会带来燃烧效率的降低，不完全燃烧损失增加，而且 NO_x 的脱除率也不够高，因此，随着环保要求的不断提高，燃烧的后处理越来越成为必然。

2. 二级污染防治措施

二级污染防治措施是指在 NO_x 生成后的控制措施, 即对燃烧后产生的含 NO_x 的烟气(尾气)进行脱氮处理, 又称为烟气脱硝(flue gas deNO_x)或废气脱硝(waste gas deNO_x, 简称为 deNO_x)。

deNO_x 工艺可以分为两大类——湿法和干法, 湿法是指反应剂为液态的工艺方法, 干法是指反应剂为气态的工艺方法。无论是干法还是湿法, 依据脱硝反应的化学机理, 又可以分为还原(reduction)法、分解(decomposition)法、吸附(absorption)法、等离子体活化(plasma activation)法和生化(biochemical)法等。

湿法有气相氧化液相吸收法和液相氧化吸收法等; 干法有选择性催化还原法(SCR)、选择性非催化还原法(SNCR)等, 是目前世界上使用最广泛的方法。

三、我国火力发电厂 NO_x 排放与控制现状

据中国电力企业联合会(中电联)统计, 2014 年全国氮氧化物排放 2078.0 万 t, 比 2013 年下降 6.7%; 电力氮氧化物排放 620 万 t, 比 2013 年下降 25.7%; 电力氮氧化物排放量约占全国氮氧化物排放量的 29.8%。2014 年, 每千瓦时火电发电量氮氧化物排放量为 1.47g, 比 2013 年下降 0.51g, 下降 25.8%。2005—2014 年全国及电力氮氧化物排放情况如图 1-3 所示。

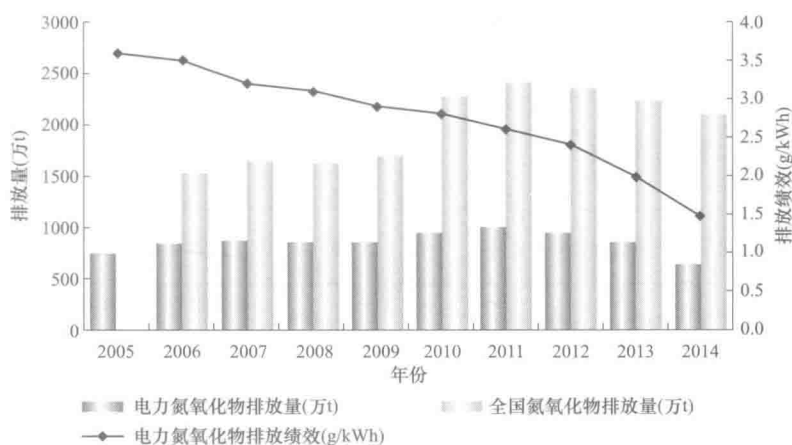


图 1-3 2005—2014 年全国及电力氮氧化物排放情况^①

2014 年投运火力发电厂烟气脱硝机组容量约为 2.57 亿 kW; 截至 2014 年底, 已投运火力发电厂烟气脱硝机组容量约为 6.87 亿 kW, 占全国火电机组容量的 74.4%, 占全国煤电机组容量的 82.7%, 2005—2014 年全国火力发电厂烟气脱硝机组投运情况如图 1-4 所示。2015 年投运火力发电厂烟气脱硝机组容量约为 1.6 亿 kW; 截至 2015 年底, 已投运火力发电厂烟气脱硝机组容量约为 8.5 亿 kW, 占全国火电机组容量的 85.9%, 占全国煤电机组容量的 95.0%。截至 2015 年底, 累计投运的火力发电厂烟气脱硝机组容量情况见表 1-1。

截至 2015 年底, 已签订火力发电厂烟气脱硝特许经营合同的机组容量为 0.66 亿 kW,

^① 全国氮氧化物排放量来源于全国环境状况公报; 电力氮氧化物排放量来源于电力行业统计分析, 统计范围为全国装机容量 6000kW 及以上火力发电厂。



其中，0.44 亿 kW 机组已按特许经营模式运营。

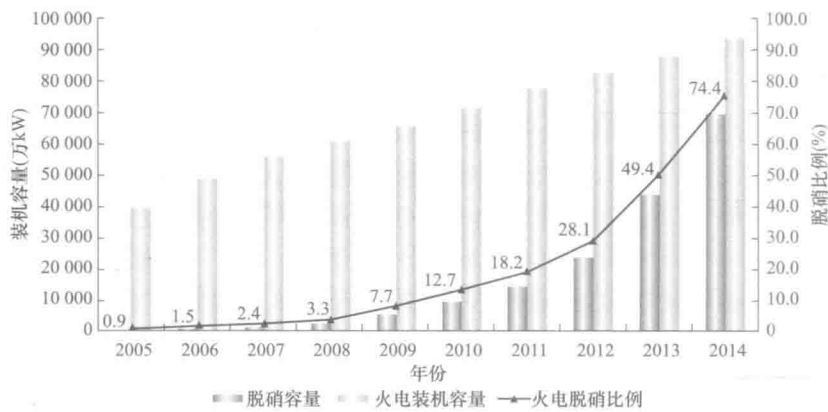


图 1-4 2005—2014 年全国火力发电厂烟气脱硝机组投运情况

表 1-1 2015 年底累计投运的火力发电厂烟气脱硝机组容量情况
(按 2015 年底累计投运的烟气脱硝机组容量大小排序)

序号	脱硝公司名称	投运容量 (MW)	采用的脱硝方法及所占比例 (%)
1	北京国电龙源环保工程有限公司	97697	SCR: 95.36 SNCR: 4.33 SNCR+SCR: 0.31
2	中国华电科工集团有限公司	64077	SCR: 95.53 SNCR: 3.21 SNCR+SCR: 1.26
3	大唐环境产业集团股份有限公司	53770	SCR: 95.26 SNCR: 4.74
4	中电投远达环保(集团)股份有限公司	43050	SCR: 97.51 SNCR: 2.49
5	浙江天地环保工程有限公司	40315	SCR: 100
6	东方电气集团东方锅炉股份有限公司	30198	SCR: 98.01 SNCR: 1.99
7	江苏科行环保科技有限公司	22135	SCR: 86.17 SNCR: 3.05 SNCR+SCR: 10.78
8	福建龙净环保股份有限公司	25015	SCR: 100
9	同方环境股份有限公司	19756	SCR: 95.60 SNCR: 4.28 SNCR+SCR: 0.12
10	西安西热锅炉环保工程有限公司	15800	SCR: 90.19 SNCR: 2.22 SNCR+SCR: 7.59
11	北京博奇电力科技有限公司	12520	SCR: 100
12	浙江德创环保科技股份有限公司	10270	SCR: 100
13	山东三融环保工程有限公司	9330	SCR: 100

续表

序号	脱硝公司名称	投运容量 (MW)	采用的脱硝方法及所占比例 (%)
14	浙江浙大网新机电工程有限公司	7725	SCR: 100
15	浙江蓝天求是环保股份有限公司	6975	SCR: 96.42 SNCR: 3.58
16	浙江菲达环保科技股份有限公司	3837	SCR: 90.83 SNCR: 9.17
17	北京国能中电节能环保技术有限责任公司	3655	SCR: 98.50 SNCR: 0.82 SNCR+SCR: 0.68
18	北京清新环境技术股份有限公司	3300	SCR: 69.70 SNCR: 30.30
19	浙江天蓝环保技术股份有限公司	2674	SCR: 98.99 SNCR: 0.56 SNCR+SCR: 0.45
20	北京龙电宏泰环保科技有限公司	1280	SCR: 49.22 SNCR: 46.88 SNCR+SCR: 3.9
21	江苏峰业科技环保集团股份有限公司	1360	SCR: 100
22	广州市天赐三和环保工程有限公司	1105	SCR: 90.95 SNCR+SCR: 9.05
23	中钢集团天澄环保科技股份有限公司	640	SCR: 100
24	武汉凯迪电力环保有限公司	600	SCR: 100
25	永清环保股份有限公司	600	SCR: 100
26	江苏新世纪江南环保股份有限公司	345	SCR: 52.17 SNCR: 47.83
27	湖南麓南脱硫脱硝科技有限公司	250	SNCR: 100
28	江苏新中环保股份有限公司	200	SNCR: 100



低氮燃烧技术

目前,低 NO_x 燃烧技术作为煤粉炉内燃烧的 NO_x 减排控制技术已经在国内的燃煤锅炉上得到了很好的应用,实现了煤粉在炉内燃烧时大幅降低 NO_x 排放的目的,降低了烟气中 NO_x 减排的成本。本章将结合工程实例,对低 NO_x 燃烧技术进行介绍和分析。

第一节 煤粉在炉内燃烧时 NO_x 的生产机理

燃煤电站锅炉中煤粉燃烧所产生的 NO_x 主要包括 NO 和 NO_2 , 其中 NO 占 90%~95%, 而 NO_2 是由 NO 被 O_2 在低温下氧化而生成的, 仅占 5%~10%, N_2O 的含量则更低。通常燃料中的有机氮是以碳氮三键和单键存在, 高温受热时氮容易释放。由于各种氮的结合键能不同及与氮进行反应的介质成分的不同, 一般将 NO_x 根据其生成方式分为三种类型: 热力型 NO_x 、燃料型 NO_x 和快速型 NO_x 。

一、热力型 NO_x

热力型 NO_x 由燃烧气体中的氮在高温下与氧反应而产生, 其生成机理是由苏联科学家捷里道维奇提出的。

在影响空气中的氮气转化为 NO_x 的各种因素中, 温度的影响尤为显著, 当温度小于 1800K 时, 热力型 NO_x 生成量极少。降低烟气温度、缩短烟气在高温区域的停留时间以及降低高温区域局部氧气浓度可有效地降低热力型 NO_x 的生成。

二、燃料型 NO_x

燃料型 NO_x 是由燃料本身固有氮化合物在燃烧时转化而成的, 主要在燃料燃烧的初始阶段生成。燃料氮是燃煤过程中 NO_x 的主要来源, 原因是在煤粉燃烧的温度水平下, 由于燃料中的 N-C 或 N-H 键比氮分子中的 $\text{N}\equiv\text{N}$ 键更弱, 更易于氧化断裂生成 NO_x , 燃料型 NO_x 比热力型 NO_x 更易于形成。研究表明, 燃料氮形成的 NO_x 要占锅炉 NO_x 排放总量的 60%~80%。另外, 燃料氮分布于挥发分和焦炭中。根据煤种的不同, 挥发分氮生成的 NO_x 占燃料氮总 NO_x 的 60%~80%, 焦炭氮生成的占 20%~40%。

燃料型 NO_x 生成动力学较复杂, 它的反应机理还未被完全掌握。这是因为燃料型 NO_x 的生成和破坏过程不仅与煤种特性, 煤的结构, 燃料中的氮受热分解后在挥发分和焦炭中的比例、成分和分布有关, 而且大量的反应过程还与燃烧条件如温度和氧及各种成分的浓度等有密切关系。燃料型 NO_x 的生成机理大致如下: 在一般的燃烧条件下, 燃料中的杂环氮化物受热分解, 并在脱挥发分过程中大量的气相燃料氮随挥发分释放出来, 而被氧化成 NO 。研究表明, 气相燃料氮的一系列反应是从燃料中的氮化物迅速而大量地转化为 HCN 和 NH_3 开始的。

三、快速型 NO_x

快速型 NO_x 是燃烧时燃料中碳氢化合物分解生成的 CH 和 C 等原子团，与空气中 N_2 进行反应生成氰化物，氰化物与火焰中大量的 O 与 OH 等原子团反应生成的 NO_x 。

瞬时反应型 NO_x 的生成量与三个因素有关，分别是：

- (1) CH 原子团的浓度大小。
- (2) N_2 分子生成氮化物的速率。
- (3) 氮化物之间的相互转换率。

第二节 低 NO_x 燃烧技术

一、低 NO_x 燃烧器

燃烧器是燃煤锅炉的关键设备，风、粉通过燃烧器送入炉膛发生燃烧。一方面，煤粉的着火、燃烧及燃尽等方面的好坏很大程度上取决于燃烧器的性能；另一方面，从 NO_x 的生成机理看，绝大部分的燃料型 NO_x 是在煤粉着火阶段生成的。因此，通过特殊设计的燃烧器结构，在不影响煤粉着火、燃烧及燃尽的前提下，改变燃烧器内的风煤比，在燃烧器着火区形成空气分级、燃料分级或烟气再循环的环境，尽可能降低着火区的温度和氧浓度，以最大限度地抑制 NO_x 的生成。

根据风粉在燃烧器内的流动状态，低 NO_x 燃烧器可分为直流低 NO_x 燃烧器和旋流低 NO_x 燃烧器。

(一) 直流低 NO_x 燃烧器

PM (pollutant minimum) 型燃烧器是一种典型的直流低 NO_x 燃烧器，是三菱重工 20 世纪 80 年代初研制的。PM 型燃烧器通常将分级燃烧法和浓淡燃烧法相结合以实现 NO_x 的炉内减排。典型的 PM 型低 NO_x 燃烧器布置如图 2-1 所示。PM 型燃烧器的关键部件是煤粉分配器，是由一次风管弯头、浓煤粉喷口和淡煤粉喷口组成，一次风粉气流流经弯头时在离心力的作用下进行惯性分离，浓粉气流进入上喷口，淡粉气流进入下喷口，从而实现浓淡偏差燃烧。PM 型低 NO_x 燃烧器还包括了再循环烟气和燃尽风喷口，是集烟气再循环、分级燃烧和浓淡燃烧为一体的燃烧装置。

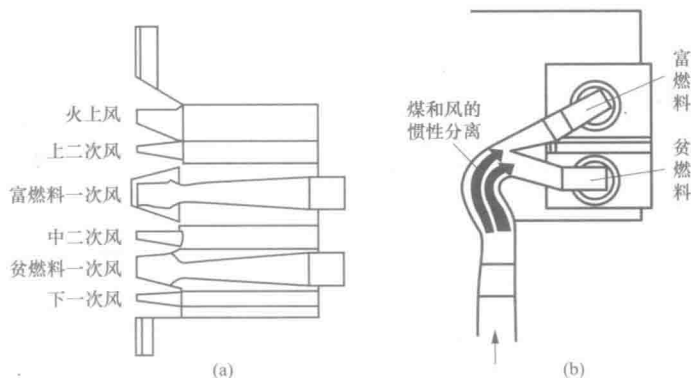


图 2-1 三菱 PM 型燃烧器示意图

(a) 燃烧器横截面；(b) 燃烧器正视视图

PM 燃烧器的技术特点包括:

(1) 燃烧器将煤粉气流分为浓、淡两侧,浓、淡侧的煤粉偏差比可达 9:1, NO_x 生成量比常规燃烧器减少了 60%, NO_x 减排效果良好。

(2) 具有明显的低负荷稳燃性能,能在 40% 负荷不投油稳定燃烧。

(3) 常与中速磨煤直吹式制粉系统联用,适于燃用可燃基挥发分 $V_r > 24\%$ 的烟煤。

通过采用取消烟气再循环、改进分配器结构等技术措施后,PM 型低 NO_x 燃烧器也可较好地燃用劣质烟煤、贫煤等。

针对 PM 型低 NO_x 燃烧器,西安交通大学进行了改进研究,提出了浓煤粉气流布置在向火侧、淡煤粉气流布置在背火侧的燃烧器改进方案,取得了明显的煤粉稳燃效果。

哈尔滨工业大学研制了水平浓缩燃烧器(如图 2-2 所示),通过安装在送粉管道上的煤粉浓缩器将一次风粉分为浓、淡两股,两股风粉气流以一定的夹角喷入炉膛,浓煤粉在向火侧喷入,形成假想内切圆;淡煤粉在背火侧喷入,形成假想外切圆。PM 型低 NO_x 燃烧器具有稳燃、防结渣、低 NO_x 的技术特点。

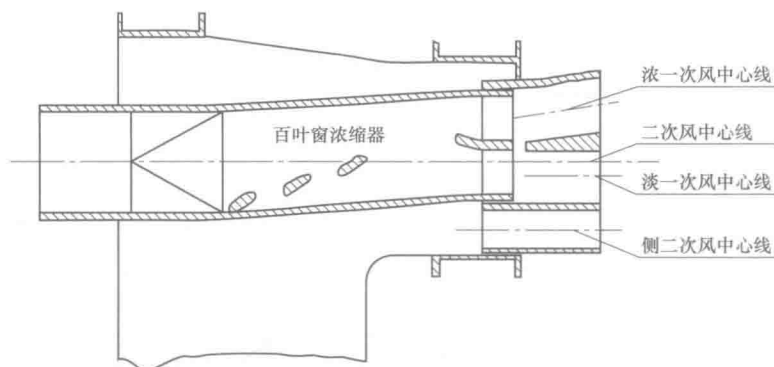


图 2-2 水平浓淡燃烧器结构图

(二) 旋流低 NO_x 燃烧器

旋流低 NO_x 燃烧器是在分级旋流燃烧器的基础上,在一次风管道中加装气固分离装置,实现煤粉的浓淡分离。典型的旋流低 NO_x 燃烧器主要分为日本、美国、英国、德国以及我国自主研发的产品。

(1) HT-NR 旋流低 NO_x 燃烧器。其是由日本 Babcock Hitachi 公司研制的,其后又研制了 HT-NR2、HT-NR3 型旋流低 NO_x 燃烧器。东方锅炉厂将其引进并应用在粤电靖海电厂、粤电红海湾电厂以及华润海丰电厂等工程中。其中,HT-NR3 型旋流低 NO_x 燃烧器的特点为直流一次风顺序经一次风弯头组件、锥形煤粉浓缩器进入炉膛,油枪布置在中心,点火油枪布置在外二次风道,内二次风为直流风,外二次风为切向旋流风。该燃烧器运行中技术性能可靠, NO_x 排放量低,燃烧效率及低负荷稳燃都很好。

(2) IHI-WR (IHI-wide range) 型旋流低 NO_x 燃烧器。其是由日本石川岛播磨重工株式会社 (IHI) 研制的,燃烧器最初使用 DF 双调风燃烧器,其后升级为 IHI-FW-WR 卧式分离燃烧器,并最终发展成了 IHI 内部分离 WR 燃烧器。

IHI 内部分离 WR 燃烧器特点:一次风切向旋转经燃烧器喷嘴内部的浓缩调节结构分成浓、淡两股气流分别喷入炉膛,浓煤粉气流从三重喷嘴外圈喷出,淡煤粉气流从中层喷出,

燃烧火焰在燃烧器出口形成“内部分级燃烧”。

(3) DRB 型旋流低 NO_x 燃烧器。其是由美国巴威公司研制的，后由北京巴威公司引进，一次风为直流，风粉混合物经颗粒导向器和圆锥形扩散体被惯性分离分成了外浓内淡两股气流，DRB 系列旋流低 NO_x 燃烧器的内二次风道为轴向旋转结构，外二次风为轴向或切向旋转结构。通过调节内、外二次风的比例和叶片角度来改变气流的旋转强度，从而调节一、二次风的最终混合效果。在我国实际应用中出现侧墙水冷壁极易发生严重高温腐蚀的现象。

DRB 型旋流低 NO_x 燃烧器经历了几次改进，具有代表性的为 EI-DRB 强化着火旋流燃烧器和 DRB-XCL 轴向控制低 NO_x 燃烧器。后来，美国巴威公司又研发了第三代旋流低 NO_x 燃烧器，即 DRB-4Z 旋流燃烧器，该燃烧器的特点是在一次风和内二次风之间增加一层直流二次风将火焰区外侧的可燃气体引向火焰中心，这样就可以减少火焰外侧富氧区域 NO_x 的生成，从而降低 NO_x 的排放。

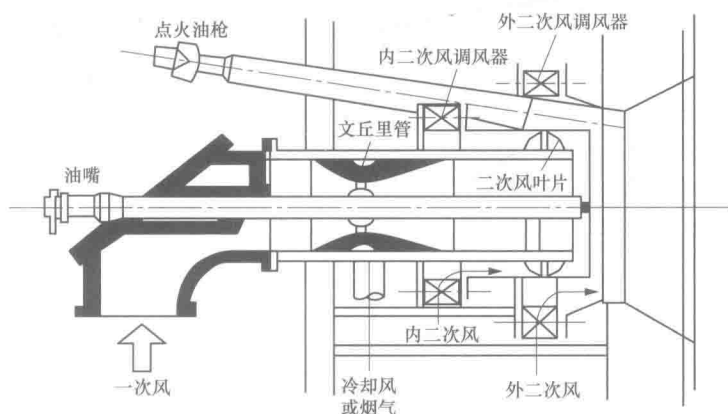


图 2-3 DRB 型旋流低 NO_x 燃烧器示意图

(4) FW 型旋流低 NO_x 燃烧器。其是由美国福斯特惠勒公司研发的，通过采用旋风分离式旋流燃烧器来实现煤粉浓淡燃烧。FW 型旋流低 NO_x 燃烧器主要用于 W 形火焰煤粉锅炉。FW 型旋流低 NO_x 燃烧器采用 CF/SF 喷嘴，一次风锅壳旋流，并设有中心大油枪，内、外二次风为可调切向旋流。一次风粉气流经过分配器后分为两股进入两个并列的旋风分离器，因离心力的分离作用而形成高浓度的气粉流和低浓度的气粉流。高浓度气粉流经过旋流叶片后形成旋流，低速向下喷入炉膛；低浓度气粉流从旋风分离器上部引出，由乏气喷口喷入炉膛。低浓度气粉流靠高浓度火焰点燃并维持燃烧，下部火焰有助于 W 形火焰的形成，防止高浓度火焰熄灭。FW 型旋流低 NO_x 燃烧器示意图如图 2-4 所示。

(5) OPTI-FLOW 型旋流低 NO_x 燃烧器（梅花形燃烧器）。其是由美国 ABT 公司生产的，包括燃料喷嘴和 OPTI-FLOW 双调风器。该燃烧器的燃料喷嘴为梅花状，采用燃料内分级设计，中心煤粉管道横截面从进口的圆形逐渐连续变化到出口的梅花状。煤粉通过喷嘴后形成浓缩的煤粉气流，有利于煤粉着火和稳定燃烧。

OPTI-FLOW 双调风器的组成如下：

1) 套筒挡板。用以控制二次风量。

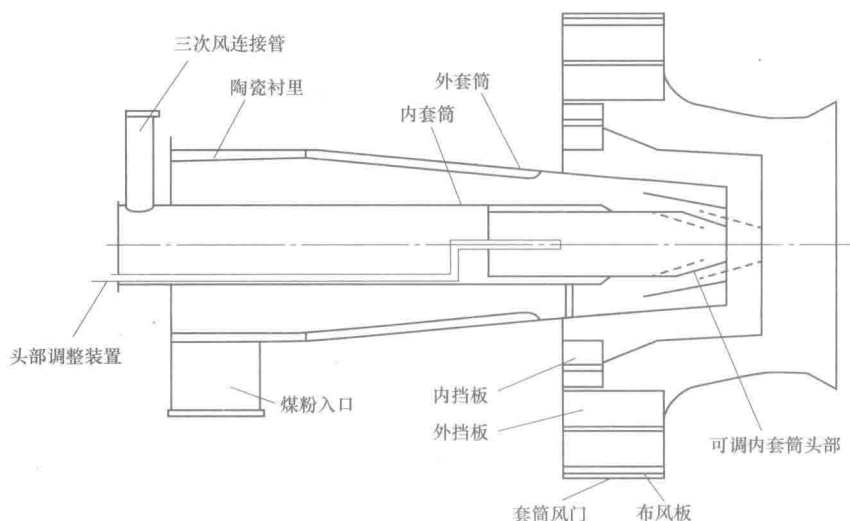


图 2-4 FW 型旋流低 NO_x 燃烧器示意图

- 2) 内二次风量分流器。可调节内二次风和外二次风的比例。
- 3) 外部通道旋流叶片。可从燃烧器前端手动调节，优化外二次风的旋流数。
- 4) 内部二次风通道旋流叶片。角度固定。
- 5) 侧面点火装置。安装在煤粉喷嘴的外部，外二次风调风器内。OPTI-FLOW 型旋流低 NO_x 燃烧器的特点是采用低 NO_x 燃烧器降低 NO_x 生成而不影响锅炉性能。

ABT 公司的梅花形旋流低 NO_x 燃烧器如图 2-5 所示。

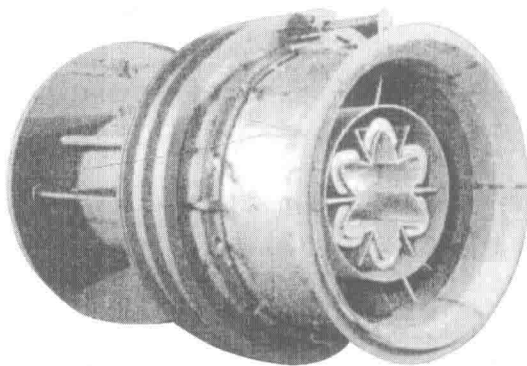


图 2-5 ABT 公司的梅花形旋流低 NO_x 燃烧器

(6) LNASB 型旋流低 NO_x 燃烧器。其是由英国三井巴布科克公司开发的，哈尔滨锅炉厂引进国内，在泉州电厂、崇信电厂等进行应用。特点是一次风通过锅壳切向进入一次风管并产生旋转，旋转产生的离心力将煤粉浓缩至一次风管内表面的四个煤粉收集器附近，实现煤粉周向浓淡分布，一次风出口的稳焰环对煤粉浓度分布作合理的调整，将煤粉挡至一次风出口段的内圆周侧，实现径向浓淡，二次风和三次风通道内布置有各自独立的旋流装置，可实现双调风。

(7) 中心给粉低 NO_x 旋流燃烧器。哈尔滨工业大学基于径向浓淡煤粉燃烧器设计出中心给粉低 NO_x 旋流燃烧器, 该燃烧器用锥形分离器代替径向浓淡旋流燃烧器的煤粉浓缩器, 同时各个风管出口安装扩口, 外二次风通道内加装径向旋流叶片, 燃烧时煤粉集中在燃烧器中心区域, 可以迅速着火和稳燃, 同时延长了煤粉在还原区停留时间, 有效抑制 NO_x 的生成。另外, 内、外二次风旋转强度可调节能增强燃料的适应性。中心给粉旋流燃烧器已应用于多个机组燃烧器的改造中并取得了良好的效果。西柏坡电厂、邯郸热电厂、宁夏大坝发电厂将原来的 EI-DRB 双调风旋流燃烧器改为中心给粉的旋流燃烧器, NO_x 减排率可提高 15% 以上。

(8) OPCC 型低 NO_x 旋流燃烧器。东方锅炉厂结合英国三井巴布科克和日立的双调风旋流燃烧器的特点, 研发了 OPCC 型低 NO_x 旋流燃烧器, 燃烧器设有中心风管, 布置油枪、高能点火器, 运行时通过调节中心风量可以调整火焰的位置, 一次风管道中装有高效煤粉浓缩器, 利用惯性分离煤粉, 煤粉浓缩效果明显且阻力很低, 出口处装有稳燃齿环, 一、二次风设置导向锥和夹心筒, 二次风采用轴向可调叶片机构, 三次风采用切向可调旋流叶片, 可灵活调整气流的湍流强度和二、三次风量的配比, 增强煤种适应性。

OPCC 型低 NO_x 旋流燃烧器的主要技术特点是燃烧器出口处形成的环形回流区可以延迟一、二次风的混合, 同时煤粉浓缩器将煤粉形成外浓内淡的分布形式, 在出口回流区形成高煤粉浓度、高湍流度、低氧区, 可以最大程度地降低 NO_x 的生成, 同时有利于煤粉的稳燃。

OPCC 型旋流低 NO_x 燃烧器应用在华润贺州电厂 1000MW 机组、河南天翼超临界 600MW 机组, NO_x 生成均低于 $300\text{mg}/\text{m}^3$, 最低稳燃负荷低于 30%BMCR。

二、空气分级燃烧技术

空气分级燃烧是燃料在主燃烧器区域缺氧条件下燃烧时燃烧速度和燃烧温度较低, 热力 NO_x 减少, 同时降低燃料中释放的含氮中间产物 HCN 和 NH_3 等向 NO_x 的转化, 抑制燃料 NO_x 的生成。到了燃尽区, 燃料在富氧条件下燃尽, 不可避免地有一部分残留的氮会氧化成 NO_x 。但由于火焰温度较低, NO_x 生成有限, 总的生成量降低。空气分级燃烧既可以在燃烧器内实现 (燃烧器分级), 也可以在炉膛内实现 (炉内分级)。随着国家超低排放改造政策的出台, NO_x 的减排压力也随之加大。由于烟气脱硝技术成本较高, 应该优先采用低氮燃烧技术, 最大程度地减少进入烟气脱硝装置烟气中的 NO_x 含量, 以降低投资和运行成本。空气分级燃烧技术已成为最有效和应用最广泛的低氮燃烧技术。

(一) 轴向空气分级燃烧

在燃烧器上方一定位置处开设一层或多层燃尽风喷口, 将助燃空气沿炉膛轴向 (即烟气流动方向) 分级送入炉内, 使燃料的燃烧过程沿炉膛轴向分级分阶段进行。在第一阶段, 将从燃烧器供入炉膛的空气量减少到总燃烧空气量的 70%~75%, 相当于理论空气量的 80% 左右, 燃料先在贫氧条件下燃烧。此时, 第一燃烧区内过量空气系数 $a < 1$, 降低了燃烧区内的燃烧速度和温度水平, 这不但延迟了燃烧过程, 使燃料中的 N 在还原性气氛中转化成 NO_x 的量减少, 而且将已生成的 NO_x 部分还原, 使 NO_x 排放量减少。在燃尽风喷口附近的第二燃烧区内, 喷入的空气与第一燃烧区内生成的烟气混合, 剩余燃料在 $a > 1$ 的富氧条件下完成燃烧过程。

轴向空气分级燃烧技术示意图如图 2-6 所示。