

附件 2

《工业锅炉烟气治理工程技术规范
(征求意见稿) 》编制说明

《工业锅炉烟气治理工程技术规范》编制组

二〇二〇年四月

项 目 名 称：工业锅炉烟气治理工程技术规范

项目统一编号：2016-56

承担单位：中国环境保护产业协会、浙江天蓝环保技术股份有限公司、
生态环境部华南环境科学研究所、浙江大学环境技术研究所、北京市
劳动保护科学研究所、北京利德衡环保工程有限公司、福建永恒能源
管理有限公司

编制组主要成员：吴忠标、刘媛、李福才、井鹏、岳涛、卢佳楠

陈雄波、张秦丽

生态环境部标准所技术管理负责人：姚芝茂

生态环境部科技与财务司投资处项目经办人：吕奔、岳子明

目 次

1	任务来源.....	1
2	标准编制的必要性.....	1
2.1	我国各地对锅炉大气污染物排放限值的要求趋严.....	1
2.2	锅炉烟气污染防治技术进步的要求.....	2
2.3	工程技术规范完善与环境管理的要求.....	3
3	主要工作过程.....	4
3.1	编制组成立.....	4
3.2	开题论证.....	4
3.3	调研过程及成果.....	4
4	国内外有关情况和的发展趋势.....	5
4.1	我国工业锅炉大气污染管理要求.....	5
4.2	国内排放标准变化趋势.....	5
4.3	国外工业锅炉排放限值.....	6
4.4	国内外工业锅炉烟气污染防治技术.....	6
4.5	我国的环境工程设计规程和规范现状.....	7
5	工业锅炉烟气治理已有主要技术的调研.....	7
5.1	NO _x 控制技术.....	7
5.2	颗粒物控制技术.....	8
5.3	SO ₂ 控制技术.....	9
5.4	工业锅炉烟气治理控制技术比较.....	11
5.5	工业锅炉烟气治理设计参数调查.....	13
5.6	工业锅炉烟气治理设施运行情况调查.....	13
5.7	典型工程案例.....	14
6	主要技术内容及说明.....	15
6.1	标准适用范围.....	16
6.2	规范性引用文件的说明.....	16
6.3	术语与定义.....	16
6.4	污染物与污染物负荷.....	16
6.5	总体要求.....	17
6.6	工艺设计.....	17
6.7	主要工艺设备和材料.....	20
6.8	检测与过程控制.....	20
6.9	主要辅助工程.....	20
6.10	劳动安全与职业卫生.....	20
6.11	工程施工与验收.....	20
6.12	运行与维护.....	21
6.13	附录.....	21

《工业锅炉烟气治理工程技术规范》编制说明

1 任务来源

根据国家原环境保护部《关于开展 2016 年度国家环境保护标准项目实施工作的通知》（环办科技函〔2016〕633 号）的要求，由中国环境保护产业协会、浙江天蓝环保技术股份有限公司、生态环境部华南环境科学研究所、北京利德衡环保工程有限公司作为项目承担单位，承担《工业锅炉及炉窑湿法烟气脱硫工程技术规范（HJ 462-2009）》（项目统一编号：2016-56）标准项目的修订工作。

根据生态环境部的统一安排，2017 年 9 月 6 日在北京召开了项目的开题报告论证会，根据开题报告论证会专家组的意见，将该标准名称更改为：《工业锅炉烟气治理工程技术规范》。

由于标准内容调整，标准涉及面扩大，工作量增大，增加协作单位三家：浙江大学环境技术研究所、北京市劳动保护科学研究所、福建永恒能源管理有限公司。

2 标准编制的必要性

2.1 我国各地对锅炉大气污染物排放限值的要求趋严

随着近年来大中城市“雾霾”状况频发，对改善大气环境的呼声日益高涨，一系列旨在改善大气环境质量的法规和文件密集修订与发布。这些标准与文件的发布与实施，对锅炉烟气治理工程提出了更高的要求，有必要对锅炉烟气治理工程制订相应技术规范。工业锅炉烟气中的主要污染因子：二氧化硫（SO₂）、氮氧化物（NO_x）和颗粒物等，是影响大气环境的主要因素之一，烟气中 SO₂、NO_x 和颗粒物不能稳定达标排放的工业锅炉，均应改建或新建配套的脱硫、脱硝、除尘设施。

《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）中对烟气污染物的排放限值与 GB 13271-2001 排放限值相比更加严格，特别是 2014 版排放标准中还增加了锅炉烟气 NO_x 允许排放浓度限值这一指标，主要排放浓度限值见表 1，同时我国也发布了部分地方锅炉大气污染物排放限值标准，各标准的燃煤、燃油、燃气锅炉烟气排放限值对比见表 2、表 3 和表 4。因此，原来基于 GB13271-2001 版排放标准制订的工程技术规范均宜作相应的调整。

表 1 《锅炉大气污染物排放标准》（GB13271-2014）主要排放限值

实施日期	适用范围	排放浓度限值，mg/m ³		
		SO ₂	NO _x	颗粒物
2014 年 7 月 1 日	新建燃煤锅炉	300	300	50
2014 年 7 月 1 日	新建燃油锅炉	200	250	30
2014 年 7 月 1 日	新建燃气锅炉	50	200	20
2016 年 7 月 1 日	在用燃煤锅炉	400	400	80
2016 年 7 月 1 日	在用燃油锅炉	300	400	60
2016 年 7 月 1 日	在用燃气锅炉	100	400	30
2016 年 7 月 1 日	燃煤锅炉特别排放限值	200	200	30
2016 年 7 月 1 日	燃油锅炉特别排放限值	100	200	30
2016 年 7 月 1 日	燃气锅炉特别排放限值	50	150	20

表 2 燃煤锅炉主要大气污染物排放浓度限值对比

标准号	标准类别	排放浓度限值, mg/m ³		
		SO ₂	NO _x	颗粒物
GB 13271-2014	国家	200~550	300~400	30~200
DB 37/2374-2018	山东	35~200	50~300	5~20
DB 31/387-2018	上海	10~20	50~150	10~20
DB 11/139-2015	北京	50~200	150~400	20~30
DB 12/151-2016	天津	100~200	200~400	30
DB 44/765-2019	广东	200~300	200~300	30~50
DB 61/1226-2018	陕西	35~100	50~200	10~30
DB 37/2374-2018	山东	35~200	50~300	5~20

表 3 燃油锅炉主要大气污染物排放浓度限值对比

标准号	标准类别	排放浓度限值, mg/m ³		
		SO ₂	NO _x	颗粒物
GB 13271-2014	国家	100~300	200~400	30~60
DB 37/2374-2018	山东	35~100	50~200	5~20
DB 31/387-2018	上海	10~20	50~150	10~20
DB 11/139-2015	北京	10~20	30~150	5~10
DB 12/151-2016	天津	20	80~150	10
DB 44/765-2019	广东	100~200	200~250	20~30
DB 61/1226-2018	陕西	20	50~150	5~10
DB 37/2374-2018	山东	35~100	50~250	5~20

表 4 燃气锅炉主要大气污染物排放浓度限值对比

标准号	标准类别	排放浓度限值, mg/m ³		
		SO ₂	NO _x	颗粒物
GB 13271-2014	国家	50~100	150~400	20~30
DB 37/2374-2018	山东	35~50	50~200	5~10
DB 31/387-2018	上海	10~20	50~150	10~20
DB 11/139-2015	北京	10~20	30~150	5~10
DB 12/151-2016	天津	20	80~150	10
DB 44/765-2019	广东	50	150~200	20
DB 61/1226-2018	陕西	20	50~80	5~10
DB 37/2374-2018	山东	35~50	50~200	5~10

2.2 锅炉烟气污染防治技术进步的要求

根据 2015 年北京市的调查结果,北京市中小型燃煤锅炉大多采用简易湿法脱硫除尘一体化技术,除尘效率 90%左右、脱硫效率约 50% (全部使用低硫燃料)、脱硝效率不足 10%,在运行状况良好的情况下可基本满足颗粒物 $\leq 30\text{mg}/\text{m}^3$ 、SO₂ $\leq 50\text{mg}/\text{m}^3$ 的排放要求,而在脱硝

方面，北京市中小型燃煤锅炉几乎都未安装脱硝装置，NO_x以直排为主。北京市大型燃煤锅炉的烟气净化技术以袋式除尘、钠碱法/钙法脱硫、选择性催化还原法脱硝（SCR）等为主。袋式除尘器除尘效率高，达 99.8% 以上；脱硫装置自动投加脱硫剂，脱硫效率达到 90% 以上；SCR 脱硝装置投运时脱硝效率在 50% 以上，但由于催化剂的温度窗口问题，无法保证较高的投运率。北京市大型燃煤锅炉的颗粒物及 SO₂ 排放浓度能够达到北京市锅炉大气污染物排放标准的要求，少数安装 SCR 脱硝装置且经改造的，其 NO_x 排放浓度能够达标，NO_x 的排放尚需进一步加强治理。

根据广东省环保部门 2015 年的调查结论，广东省有颗粒物治理措施的工业锅炉颗粒物平均治理效率为 61%，其颗粒物排放量占全省锅炉烟气颗粒物排放总量的 7%；有 SO₂ 治理措施的工业锅炉其平均脱硫效率为 53%，其 SO₂ 排放量占全省锅炉烟气 SO₂ 排放总量的 4%；有 NO_x 治理措施的工业锅炉其平均脱硝效率为 67%，其 NO_x 排放量占全省锅炉烟气 NO_x 排放总量的 58%。广东省仍有 70% 的燃煤工业锅炉颗粒物排放浓度高于 80mg/m³，40% 的燃煤工业锅炉治理后的 SO₂ 排放浓度高于 300mg/m³，约 30% 的燃煤工业锅炉 NO_x 排放浓度高于 300mg/m³。燃油与燃气工业锅炉的烟气排放指标比较理想，基本上都能达到《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）的要求。

从调研情况来看工业锅炉种类和数量繁多，但平均容量小，烟气排放口高度低，燃料品质和种类差异大、烟气污染治理效率较低，工业锅炉在钢铁、化工、造纸、制药、纺织、冶炼、供暖等生产生活过程中都有使用，管理难度大。工业锅炉烟气污染物的初始排放浓度差别大，相对应的防治技术种类众多、治理与实际运行状况参差不齐，总体来说防治技术相对比较薄弱，实际的污染物排放浓度也有较大的差异，工业锅炉烟气治理工程的技术还需进一步规范。

2.3 工程技术规范完善与环境管理的要求

2.3.1 现行的《工业锅炉及炉窑湿法烟气脱硫工程技术规范》（HJ 462-2009），自 2009 年发布实施以来，相关的环保政策、技术内容和编制依据等都发生了较大的变化，该标准与当前的环境管理要求有所冲突，主要表现为：

- a) 《工业锅炉及炉窑湿法烟气脱硫工程技术规范》（HJ 462-2009）是基于 GB 13271-2001 版排放标准制订的，随着《锅炉大气污染物排放标准》（GB13271-2014）版的发布并实施以及钢铁、水泥等行业的炉窑大气污染物排放标准也相继发布并实施，HJ 462-2009 中的部分内容已不能满足这些新的排放标准要求；
- b) 《工业锅炉及炉窑湿法烟气脱硫工程技术规范》（HJ 462-2009）只针对 SO₂ 一个污染因子，且只针对部分的湿法烟气脱硫技术，应用范围受到了限制；
- c) 按《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）版的要求，对工业锅炉烟气污染物中除了 SO₂ 需控制外，还需同步控制烟气中的 NO_x 与颗粒物的排放浓度，且目前尚无有关工业锅炉烟气中的 SO₂、NO_x 和颗粒物等多污染物治理的工程技术规范。

2.3.2 《工业锅炉及炉窑湿法烟气脱硫工程技术规范》（HJ 462-2009）适用的锅炉容量范围与《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）和《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223-2011）两个标准对锅炉容量的划分不一致。HJ 462 自 2009 年发布并实施后，国家又相继发布了一些工程技术规范，如《电除尘工程通用技术规范》（HJ 2028-2013）、《袋式除尘工程通用技术规范》（HJ 2020-2012）、《烟气循环流化床法脱硫工程通用技术规范》（HJ 178-2018）、《石灰石/石灰-石膏法烟气脱硫工程通用技术规范》（HJ 179-2018）、《氨法烟气脱硫工程通用技术规范》（HJ 2001-2018）、《火电厂烟气脱硝工程技术规范 选择性催化还原法》（HJ 562-2010）和《火电厂烟气脱硝工程技术规范 选择性非催化还原法》（HJ 563-2010）等，这些技术规范的适用范围部分与 HJ 462-2009 存在交叉重叠情况。

2.3.3 按照《国家环境保护标准制修订工作管理办法》（国环规科技[2017]1号）的有关要求，以及《国家环境保护标准项目任务书》的总体任务要求，在国家可持续发展战略指导下制定本标准，对工业锅炉烟气治理工程在技术上加以规范，可作为工业锅炉烟气治理工程建设项目的的设计、施工、验收和运行维护的技术依据，促使工业锅炉烟气治理工程长期、高效、稳定地运行，为大气环境的持续改善提供技术支持。本标准的编制可作为引导、约束、协调经济社会行为主体的行为准则和调控手段之一。

3 主要工作过程

3.1 编制组成立

2016年4月中国环境保护产业协会会同浙江天蓝环保技术股份有限公司、生态环境部华南环境科学研究所、北京利德衡环保工程有限公司与中国环境科学研究院签订了《工业锅炉及炉窑湿法烟气脱硫工程技术规范》（HJ 462-2009）修订编制合同，成立了编制组，填报了计划任务书，签订了任务合同书。

3.2 开题论证

2016年10月编制组初步编制完成了《工业锅炉及炉窑湿法烟气脱硫工程技术规范》（HJ 462-2009）修订的开题报告。但随着生态环境部（原环境保护部）科技标准司对标准系列界限的调整，要求将本次待修订的标准调整为污染源类的工程技术规范。标准编制组按此要求再次展开前期数据的调研，并重新编制开题报告。2017年9月6日生态环境部（原环境保护部）科技标准司组织召开了《工业锅炉及炉窑湿法烟气脱硫工程技术规范》（HJ 462-2009）修订开题报告专家论证会，与会专家充分听取了标准编制组关于标准修订的必要性、适用范围、重点修订内容等的汇报，经专家质询与讨论，形成如下意见：

- a) 将该标准名称更改为：《工业锅炉烟气治理工程技术规范》；
- b) 强化不同燃料工业锅炉排放特征和控制技术的分析。

3.3 调研过程及成果

3.3.1 2016年5月到9月各编制单位分头对主要环保治理单位的湿法烟气脱硫工艺进行了调研，收集到了2015年的部分环境公报数据，2016年10月完成了第一稿开题报告。

3.3.2 2016年年底原环境保护部科技标准司较大幅度的调整了标准界限，将本标准调整为污染源类工程技术规范，由于标准覆盖范围大幅增加，原有编制单位力量不足，经请示新增了三家编制单位。

3.3.3 2017年3月到6月，各编制单位对新增的各污染防治技术进行了工程案例和适用范围等的调查，于2017年9月形成了第二稿开题报告，交由专家评审。

3.3.4 2017年10月起根据开题报告评审会的专家意见，编制组对不同燃料锅炉的特征、分类与污染控制技术的相关数据进行调研，期间主要收集到了以下资料：

- a) 2015年北京市工业锅炉分布、烟气治理工程的运行效果与所采用的主要技术；
- b) 2015年广东省工业锅炉烟气治理工程的运行情况与脱除效率等数据；
- c) 2015年我国工业锅炉总量调查与各类工业锅炉的分布情况，工业锅炉污染排放量所占比例情况；

- d) 2017年山东省、北京市工业锅炉分布情况及污染治理设施运行情况数据；
- e) 我国在用工业锅炉烟气各类污染治理技术的应用情况；
- f) 2010年到2018年期间安装和运行的部分工业锅炉烟气治理工程的案例，突出运行与设计参数；
- g) 2018年最新发布的相关通用工程技术规范。

3.3.5 通过对收集资料的分析与对比整理，原则上确定了本次标准应涉及的烟气治理技术，各编制单位根据自身的特长分头编制若干个烟气治理技术规范，经汇总讨论于2018年年底形成了第一稿征求意见稿。

3.3.6 2019年5月31日在杭州召开了本标准征求意见稿的专家校审会，对征求意见稿进行了专家校审，根据专家的意见对征求意见稿进行了第一次修订补充，增加了本标准对已发布技术标准的引用幅度。根据专家组的意见建议将标准名称调整为《工业锅炉烟气污染物治理工程技术规范》。

3.3.7 2020年1月在北京召开了本标准征求意见稿的技术审查会，审查会一致同意将标准名称恢复为《工业锅炉烟气治理工程技术规范》，与会专家对标准征求意见稿提出许多中肯的建议与意见，要求再次完善标准技术内容，进一步规范标准文本格式、语言表达方式，增加编制说明中案例的覆盖面。

3.3.8 2020年4月，编制组根据专家意见再次对征求意见稿进行了补充完善，形成《工业锅炉烟气治理工程技术规范（征求意见稿）》及其编制说明。

4 国内外有关情况和发展趋势

4.1 我国工业锅炉大气污染管理要求

根据原山东省环保厅在2018年4月（鲁环函〔2018〕199号文件）公布的数据，全省已完成了建成区和县城10蒸吨/小时及以下燃煤锅炉的淘汰工作。

从2017年北京市的调查结果看，工业锅炉主要用于冬季供暖以及工业生产，在用工业锅炉数量达1.55万台，锅炉容量为6.78万t/h，其中燃气锅炉台数及容量分别为1.51万台及6.57万t/h。燃油锅炉则主要为单台容量为1t/h左右的小锅炉，合计有391台，主要分布于市政热网暂时无法覆盖或无通气条件的用热单位。

2018年6月，国务院印发《打赢蓝天保卫战三年行动计划》，提出开展燃煤锅炉综合整治，具体要求如下：“加大燃煤小锅炉淘汰力度。县级及以上城市建成区基本淘汰每小时10蒸吨及以下燃煤锅炉及茶水炉、经营性炉灶、储粮烘干设备等燃煤设施，原则上不再新建每小时35蒸吨以下的燃煤锅炉，其他地区原则上不再新建每小时10蒸吨以下的燃煤锅炉。环境空气质量未达标城市应进一步加大淘汰力度。”

根据《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）标准编制时的调研与测算，全面执行该排放标准后，我国可减排SO₂为314万吨、颗粒物66万吨，NO_x排放量基本维持原状。

4.2 国内排放标准变化趋势

我国为防治大气污染、保护环境、促进大气污染治理技术的进步，相继在燃煤发电、工业锅炉、钢铁烧结（球团）、水泥等行业颁布了大气污染物排放控制标准。国家发布的与工

业锅炉烟气相关的排放标准与文件有：《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）、《关于执行大气污染物特别排放限值的公告》（公告 2013 年第 14 号）、《大气污染防治行动计划》（2013 年 9 月 10 日国务院发布）等。山东、上海、北京、天津、广东、陕西等省市先后发布了严于 GB 13271-2014 的地方锅炉大气污染物排放标准：DB 37/2374—2018、DB 31/387-2018、DB 11/139-2015、DB 12/151-2016、DB 44/765-2019、DB 61/1226-2018，这些标准或文件对锅炉烟气中污染物的排放浓度限值提出了更严格的要求。

随着环境质量改善需求的不断加强，生态环境部在 2018 年印发了《关于京津冀大气污染传输通道城市执行大气污染物特别排放限值的公告》，近年来，要求实施《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）中的特别排放限值的区域范围不断扩大。

4.3 国外工业锅炉排放限值

根据文献调研，我国《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）中锅炉烟气中主要污染物的排放限值均优于国外主要国家的排放限值，国外锅炉烟气主要污染物排放限值对本标准的编制基本无参考价值。

4.4 国内外工业锅炉烟气污染防治技术

根据 2015 年环境统计数据，10t/h 以上燃煤工业锅炉采用的除尘设施类型包括：湿法除尘、布袋除尘、静电除尘和湿式电除尘等。湿法除尘工艺的安装比例最高，占锅炉总数的 20.3%，总容量的 9.9%；10t/h 以上燃煤工业锅炉脱硫设施以氧化镁法、石灰石-石膏法、氨法等技术为主；10 t/h 以上燃煤工业锅炉的脱硝设施以 SNCR、SCR、SCR-SNCR、低氮燃烧+SNCR 等技术为主，所有脱硝设施安装数量合计占比不足 1%，但容量占比达到了 7.2%。

工业锅炉烟气的 NO_x 排放浓度限值是 GB 13271-2014 标准中新提出的要求。美国、欧盟、日本等发达国家或地区针对燃煤工业锅炉 NO_x 排放问题，常采用烟气再循环、空气分级燃烧、低 NO_x 燃烧器等方式控制 NO_x 的初始产生量。由于我国工业锅炉的种类众多，不同炉型与不同燃料的锅炉烟气初始 NO_x 排放浓度相差较大，结合 GB 13271-2014 的排放限值要求，对初始 NO_x 浓度已达标的可不必设置脱硝装置。目前在用的工业锅炉烟气脱硝治理技术主要有：低氮燃烧、选择性催化还原（SCR）、选择性非催化还原（SNCR）、SNCR-SCR 联合和氧化法脱硝。

从国内外主要锅炉颗粒物防治技术应用情况来看，工业锅炉原来普遍采用的机械式除尘或湿式水膜、文丘里除尘技术已很难适应新的排放限值要求，只少量用作预除尘。新建或改造的工业锅炉烟气颗粒物防治基本上以袋式除尘和电除尘技术为主，或采用湿法除尘脱硫后配置高效除雾器的组合式技术使颗粒物达标排放；燃油、燃气和生物质工业锅炉，由于燃料本身灰份低，通过良好的燃烧工艺设计和精细化的运行管理，这类锅炉的初始颗粒物排放浓度值比较低，某些排放不达标的锅炉加装袋式除尘器即可比较容易地实现达标排放。大型的燃煤流化床锅炉也有采用电袋复合除尘技术进行颗粒物控制的。

工业锅炉 SO_2 治理技术目前仍存在多种多样的局面，燃烧前脱硫、燃烧中脱硫与燃烧后烟气脱硫技术均有应用。目前工业锅炉较多采用燃烧后的烟气湿法脱硫和半干法脱硫技术。传统的脱硫装置其治理效果与运行稳定性还存在较多问题，大型燃煤锅炉（烟气量大于 $100000\text{m}^3/\text{h}$ ）开始采用类似于石灰石-石膏法的湿法脱硫工艺，该技术将是今后燃煤工业锅炉 SO_2 治理的首选技术，但对已存在的氧化镁法、钠碱法、废碱法等脱硫技术，有加以标准与提高的需求；燃油、燃气工业锅炉 SO_2 的初始排放量，主要取决于燃料的硫含量，现有技术及管理措施已经能够比较经济地降低燃料中的含硫量，进而实现低 SO_2 排放。燃油、燃气和生物质成型燃料本身硫含量很低，烟气中初始 SO_2 排放浓度低，不作特别处理常可达标排放。

4.5 我国的环境工程设计标准现状

2009年发布的《工业锅炉及炉窑湿法烟气脱硫工程技术规范》（HJ 462-2009）对工业锅炉及炉窑烟气中的SO₂湿法脱除技术进行了规范，对于锅炉与炉窑的适用范围、工艺、设备材料的选用等方面进行规范，对常用湿法烟气脱硫工程的设计、施工、验收、运行和维护等方面发挥了较好的指导作用。

《工业锅炉节能技术规范》（DB 13/T 1459-2011），对涉及工业锅炉节能的七个方面（选型、水处理、余热回收、运行维护、利用外热、管理、评价与监督等）规定了其基本要求和规范性作业方法，对工业锅炉的排烟温度与烟气中的含氧量进行了明确的规定；

《电除尘工程通用技术规范》（HJ 2028-2013），规范了电除尘工程建设和运行管理，控制颗粒物的排放，改善环境质量，促进电除尘行业技术进步，规定了电除尘工程设计、安装、调试、验收与运行维护的通用技术要求；

《袋式除尘工程通用技术规范》（HJ 2020-2012），规范了袋式除尘工程建设和运行管理，控制颗粒物的排放，改善环境质量，促进袋式除尘行业技术进步，规定了袋式除尘工程设计、施工与安装、调试与验收、运行与维护管理的通用技术要求；

《电袋复合除尘器》（GB/T 27869-2011）和《环境保护产品技术要求 电袋复合除尘器》（HJ 2529-2012）对电袋复合除尘器的产品分类、技术要求、检验方法、设计、生产、制造、安装和验收等进行了规范；

《烟气循环流化床法脱硫工程通用技术规范》（HJ 178-2018）、《石灰石/石灰—石膏法烟气脱硫工程通用技术规范》（HJ 179-2018）、《氨法烟气脱硫工程通用技术规范》（HJ 2001-2018）对相应的烟气脱硫工程的通用技术进行了规范；

《火电厂烟气脱硝工程技术规范 选择性催化还原法》（HJ 562-2010）和《火电厂烟气脱硝工程技术规范 选择性非催化还原法》（HJ 563-2010）对工业锅炉烟气的脱硝工程也有较大的借鉴作用；

《锅炉房设计规范》（GB 50041-2008）对工业锅炉烟气环保设施的设计作了规定；

《大气污染防治工程技术导则》（HJ 2000-2010），规定了大气污染防治工程在设计、施工、验收和运行维护中的通用技术要求。对于已有相应的工艺技术规范或重点污染源技术规范的工程，应同时执行该标准和相应的工艺技术规范或重点污染源技术规范。对于没有工艺技术规范或重点污染源技术规范的工程按该标准执行。

国家能源局、生态环境部、工业和信息化部还发布了一系列火电锅炉的工程技术规范和设备制造、施工技术规范，这些规范可作为本标准的参考或加以引用。

5 工业锅炉烟气治理已有主要技术的调研

5.1 NO_x控制技术

5.1.1 低氮燃烧技术

通过调节炉膛温度、氧气浓度分布、空气-燃料混合比、配风合理性等措施实现低氮燃烧。常见的低氮燃烧控制技术主要由烟气再循环、空气分级燃烧、燃料分级、低NO_x燃烧器、烟气回流还原分段式燃烧等若干技术的组合来实现的，通过抑制燃烧过程中NO_x的产生或使已生成的NO_x部分还原来实现低NO_x的目的，一般可使NO_x的初始排放量减少20%以上，属预防性脱硝技术。

5.1.2 SNCR 技术

SNCR工艺通过在锅炉炉膛适当位置喷入含氮的还原剂，将烟气中的NO_x还原为N₂的一

种工艺。SNCR 脱硝反应的最佳窗口温度在 850℃~1150℃ 间，由于锅炉炉膛内的温度分布受负荷、煤种、炉型等多种因素影响，温度窗口位置随着负荷和煤种而变动，而含氮还原剂的喷入位置基本固定，增加了调试与操作的技术难度。炉膛反应区窗口温度合适的 SNCR 工艺，其脱硝效率在 50%~60%，某些条件下能达到 80% 的脱硝效率。该技术不需要催化剂，运行和改造费用较低，但当锅炉负荷变化时有可能引起温度窗口位置变动，会使脱硝效率降低，造成氨逃逸。该工艺较多地应用于循环流化床锅炉。

5.1.3 SCR 技术

SCR 技术是指在烟气温度 $\leq 420^{\circ}\text{C}$ 的区间内加装合适的催化剂，并喷入还原剂，使烟气中的 NO_x 在催化剂表面与 NH_3 发生氧化还原反应，生成 N_2 和 H_2O 。SCR 技术应重视催化剂的中毒、氨的逃逸问题。目前使用的 SCR 催化剂以活性温度区间在 300°C ~ 420°C 的高温型催化剂为主，脱硝效率可达 80%~90%。目前活性温度在 200°C 左右的催化剂也有应用。SCR 工艺由于需要加装催化剂，需占用一定的空间，失活后的催化剂是一种危险固废，需妥善处置。

5.1.4 SNCR-SCR 联合技术

SNCR-SCR 联合工艺是将 SNCR 技术与 SCR 技术联合应用。将还原剂（尿素溶液或氨水）精确分配到每个喷枪，喷入炉膛 SNCR 反应区内，实现 NO_x 的脱除，在炉膛内来不及发生反应而脱离 SNCR 反应区的氨和 NO_x 随烟气进入 SCR 催化剂（催化剂用量明显低于单独采用 SCR 时的催化剂量）床层，再次发生化学反应，进一步脱硝并降低氨的逃逸。

5.1.5 氧化法脱硝技术

氧化法脱硝工艺：在烟气中加入强氧化性物质将不溶性 NO_x 强制氧化成可溶于水的 N_2O_5 、 NO_2 等高价态 NO_x ，联合湿法吸收工艺使高价态 NO_x 与 SO_2 、 HCl 、 HF 等可溶性酸性气体一同被除去。常见的强氧化剂有臭氧 (O_3)、次氯酸钠 (NaClO)、亚氯酸钠 (NaClO_2)、双氧水 (H_2O_2)、高锰酸钾 (KMnO_4) 等。该工艺脱硝效率可超过 50%，属于炉后烟气脱硝工艺，可广泛应用于无 SNCR、SCR 反应温度窗口的脱硝工程，可根据负荷、初始 NO_x 含量进行灵活调节，对锅炉燃烧系统基本无影响。但氧化剂和废水处理的成本均较高，工业化应用时间较短，本标准暂不涉及。

根据工业锅炉的特点，目前比较适合的、成熟的脱硝工艺主要有：低氮燃烧、SNCR 工艺、SCR 工艺和 SNCR-SCR 联合工艺。

5.2 颗粒物控制技术

5.2.1 袋式除尘

锅炉烟气采用袋式除尘技术已成熟，由于袋式除尘效率高、性能好、操作维护容易，适合于不同类型的锅炉烟气。脉冲喷吹式袋式除尘器由于脉冲喷吹强度和频率可进行调节，清灰效果好，是目前应用最为广泛的袋式除尘器。一般来说，袋式除尘器不受颗粒物的比电阻、浓度、粒度、性质等的影响，适用范围大，除尘效率可达 99.9% 以上。但袋式除尘器的滤袋需定期更换，从而增加了运行维护费用，更换滤袋时劳动条件也差。部分锅炉（主要是层燃锅炉）烟气在进入袋式除尘器前常需设置机械预除尘器，减少滤袋的着火风险。

5.2.2 电袋复合除尘

电袋复合式除尘器是电除尘和袋式除尘的组合，含尘烟气首先在静电力作用下使颗粒物预荷电，使大部分颗粒物在静电段被除去，然后烟气经滤袋过滤后排放，由于颗粒物的荷电改善了颗粒物的过滤特性，且已利用前级静电去除了大部分颗粒物，滤袋的负荷大大降低，延长了滤袋寿命，滤袋的过滤风速可提高。系统最终排放浓度不受前级电除尘器振打清灰等的影响。从调查的情况来看，工业锅炉烟气的颗粒治理工程较少采用电袋复合除尘器（常用在大型的燃煤流化床锅炉的烟气治理工程中）。

5.2.3 干式电除尘

电除尘器技术成熟、除尘效率较高，已被广泛应用于工业锅炉烟气的除尘中，电除尘器是利用高压电场使颗粒物荷电，在库仑力作用下使颗粒物从气流中分离沉降去除的装置。电除尘器可以捕集的粒径范围在 $0.01\ \mu\text{m}\sim 100\ \mu\text{m}$ 。电除尘器阻力很小，除尘器本体烟气阻力在 $100\text{Pa}\sim 200\text{Pa}$ ，可处理高温、高湿烟气。但当锅炉工况、负荷变化或清灰时会影响其净化效率，导致排放浓度不稳定。对煤种变化较敏感，除尘效率受颗粒物的比电阻影响大(最适宜比电阻为 $10^{4\sim 5}\ \Omega\cdot\text{cm}\times 10^{10}\ \Omega\cdot\text{cm}$)。

5.2.4 湿式电除尘

湿式电除尘适合于烟气湿饱和或烟气中含有较多雾滴的工况，常与湿法烟气脱硫工艺配套使用。湿式电除尘能进一步降低湿烟气的雾滴含量，稳定实现颗粒物的“超低排放”，还能同步脱除烟气中的 SO_3 。湿式电除尘不受颗粒物比电阻的影响，清灰时出口烟气中颗粒物的排放浓度基本不受影响。

5.2.5 其它除尘

水膜除尘、文丘里除尘、旋风除尘、喷淋洗涤、湿法烟气脱硫等装置也可实现除尘，但由于其除尘效率不高，目前在工业锅炉烟气颗粒物的治理中常与袋式或电除尘器组合使用。湿法烟气脱硫中的除雾器或高效除雾器作为湿法烟气脱硫装置的组成部分，也具有较好的降低颗粒物排放量和排放浓度的作用。

对于工业锅炉出于安全、稳定、达标运行的考虑，新建、改建、扩建的燃煤工业锅炉烟气除尘宜采用袋式除尘器或电除尘器或电袋复合除尘器。

5.3 SO_2 控制技术

5.3.1 燃烧前脱硫

原煤在投入使用前，用物理、化学及微生物等方法，降低入炉燃煤中的硫含量。如采用洗煤又称选煤的方法就是通过除去煤中的含硫矿物质来降低燃煤硫含量的一种主要方法。煤炭经洗选后，可使原煤中的含硫量降低 $40\%\sim 90\%$ ，灰分降低 $50\%\sim 80\%$ 。燃油、燃气中的硫分控制已有可靠且成熟的技术。燃烧前脱硫通常属于燃料的处理范畴，本标准不涉及此工艺。

5.3.2 燃烧中脱硫

5.3.2.1 固硫型煤

固硫型煤是指向煤粉中加入粘结剂和固硫剂，压制成具有一定形状的块状燃料，固硫率可达 $40\%\sim 60\%$ ，颗粒物初始排放量可减少 60% ，在 6t/h 以下燃煤锅炉中有应用。固硫型煤的技术难度较小，本标准中不涉及。

5.3.2.2 炉内喷钙脱硫

炉内喷钙脱硫主要用于循环流化床锅炉的炉内脱硫，可作为预脱硫使用，脱硫效率一般能达到 $50\%\sim 70\%$ ，但可能会影响锅炉的效率及稳定性，该工艺在其他炉型上应用较少。

燃烧中脱硫工艺比较成熟，单一使用该技术时往往难以实现烟气中 SO_2 的达标排放，目前一般只作为预脱硫使用，本标准不涉及此类工艺。

5.3.3 燃烧后脱硫(烟气脱硫)

5.3.3.1 石灰石/石灰-石膏法

石灰石/石灰-石膏法工艺脱硫效率高，技术成熟，运行可靠性高，另外石灰石储量丰富，分布广，价格便宜，比较容易获得，采用得比较多。但系统占地面积较大，一次性建设投资大，该工艺要求运行时循环液的 pH 值控制在 5.5 左右，对自控系统要求严格，为控制循环浆液中 Cl 的含量，要外排处理一定量的废水并补充新水。

5.3.3.2 电石渣/白泥-石膏法

湿式电石渣/白泥-石膏法烟气脱硫工艺，主要工艺过程与石灰石/石灰-石膏法类似。该工艺中的电石渣是电石法乙炔工艺中产生的固体废料。而白泥为造纸碱回收过程中产生的固体废料。由于这些固废本身价值低、杂质或杂物含量高，在脱硫剂浆液制备时需作必要的预处理，脱硫系统需处理的废水量也会略高于石灰石/石灰-石膏法。该工艺脱硫效率可达 95% 以上，产生的脱硫石膏可作为水泥、石膏板的生产原料，也可作为盐碱地的土壤改良剂。本标准中将其与石灰石/石灰-石膏法合并叙述。

5.3.3.3 氧化镁法、钠碱法、废碱法

氧化镁经熟化后配制成一定浓度的 $Mg(OH)_2$ 浆液可用于烟气脱硫。工业锅炉烟气采用氧化镁法脱硫工艺时，一般不回收镁盐，脱硫产物经氧化和去除固体杂物后以可溶性盐的形式随废水排放或回用。

钠碱法、废碱法工艺是利用 $NaOH$ 、 Na_2CO_3 、 Na_2SO_3 等可溶性碱溶液能快速吸收烟气中 SO_2 等酸性污染物的特性而实现高效率脱硫。实际运行中为避免烟气中的 CO_2 被吸收，通常将循环液的 pH 值控制在酸性范围内。该脱硫工艺系统简单、流程短、能耗低、效率高、运行稳定。由于可溶性碱的价格较高，其使用场合受到制约。

5.3.3.4 双碱法

双碱法工艺中，吸收液在脱硫吸收塔内与 SO_2 反应后 pH 值下降，脱硫能力下降，需将部分或全部液体排出吸收塔进行再生。在塔外再生时常添加钙基脱硫剂，经过絮凝、沉淀、除渣等操作恢复为具有脱硫活性的清液，返回吸收塔。脱硫渣抛弃或经氧化后生成二水石膏。脱硫过程除消耗钙基脱硫剂外，还需补充损耗掉的可溶性碱。双碱法系统比较复杂，占地面积较大，再生不彻底，脱硫渣的处理难度较高。当脱硫效率较高时有出现结垢的风险，长周期稳定运行较为困难，本标准不涉及此工艺。

5.3.3.5 氨法

氨法脱硫是采用氨作为脱硫剂吸收烟气中的 SO_2 ，该方法脱硫效率高、液气比低、能耗低，但是工艺复杂、技术难度大，氨的运输和储存比较困难，氨的散逸问题较难解决，副产物回收工艺的技术要求较高。如有废氨水可利用则该技术的应用优势较大，废水处理的难度较大，小型燃煤工业锅炉烟气脱硫时一般较少采用该工艺。本标准中不涉及此工艺。

5.3.3.6 粉煤灰湿法脱硫

粉煤灰湿法脱硫的脱硫剂为粉煤灰中的浸取物，经除尘器收集的粉煤灰（锅炉除尘灰）送到制浆罐中与锅炉排污水、工艺水配制成碱性浆液，经絮凝、沉淀后，上清液作为脱硫剂送入吸收塔内与烟气中的 SO_2 发生反应，脱硫后的烟气经除雾后通过烟囱排放。沉淀分离出来的浓浆液与脱硫产物一起送入脱水系统进行脱水，滤液返回脱硫系统。适用于初始 SO_2 浓度较低的烟气，且粉煤灰中碱性物质含量较高的场合，但该工艺对粉煤灰的综合利用有影响，本标准不涉及此工艺。

5.3.3.7 半干法脱硫

半干法脱硫又可分为旋转喷雾干燥法、炉内喷钙尾部增湿活化法、烟气循环流化床法等，半干法烟气脱硫工艺中，粉状消石灰作为脱硫剂与部分循环灰一起被喷入到烟气中，通过控制喷入的雾化水量来调节烟气的温度和湿度，吸收剂与烟气间形成强烈的传质，实现较高的脱硫效率。其优点是耗水量较低、排烟温度高于 $70^\circ C$ 、脱硫后烟道及烟囱可不作额外的防腐处理，缺点是脱硫效率的进一步提高难度较大，所需的 Ca/S 比高，锅炉负荷变化对脱硫效率的影响较大，脱硫产物中除含有较多的未完全反应的脱硫剂外，还含有较多的不稳定化合物，利用难度较大。本标准只涉及烟气循环流化床法脱硫工艺。

5.3.3.8 活性焦干法脱硫

经除尘后的锅炉烟气均匀地穿过活性焦吸附层，烟气中的 SO₂ 等污染物被吸附截流在活性焦内，被吸附后的烟气排出系统。吸附 SO₂ 接近饱和的活性焦切换到再生状态；再生后的活性焦重新使用。再生过程中破损的活性焦被分离出来送入锅炉燃烧或加工成其他产品。再生回收的高浓度 SO₂ 混合气体送入硫回收系统作为生产浓硫酸的原料。该技术为新开发工艺，目前在工业锅炉中应用较少，本标准不涉及此工艺。

5.3.4 高效除雾器

湿法烟气脱硫均需设置除雾器，当要求湿法脱硫后烟气中雾滴含量较低或要求排放的颗粒物浓度低时，可设置高效除雾器。设置高效除尘器后排放烟气中的雾滴含量应低于 50mg/m³。本标准中不涉及。

5.3.5 排烟温度控制

为了控制排放烟气的含湿量或减少视角污染，可采取对排放前的烟气进行降温和/或升温等办法，使排放的烟气温度、湿度符合相应的合同指标要求。本标准不涉及此工艺。

5.4 工业锅炉烟气治理控制技术比较

5.4.1 烟气脱硝技术比较

表 5 主要烟气脱硝技术比较表

序号	治理技术	脱除效率范围	适用条件	工程投资/运行费用	管理要求及存在的问题	技术发展现状和发展趋势	对锅炉的影响
1	低氮燃烧	20%~40%	反应区温度高，热力型 NO _x 比例高	运行费用最低	严控燃烧区的温度、含氧量和燃烧区的停留时间。	根据不同的炉型采取有针对性的办法，降低 NO _x 的初始排放浓度	设计的脱硝效率过高时会影响锅炉的热效率
2	SNCR	20%~70%	850℃~1150℃区域	投资低，运行费用低	严控还原剂喷入量，防止氨逃逸	在工业锅炉领域应用较为广泛	会产生飞灰、铵盐沉积，造成空预器堵塞、腐蚀。
3	SCR	50%~90%	常规温度窗口为 300℃~420℃	投资高	催化剂积灰、磨损及再生的处理。	脱硝效率要求高的工业锅炉	部分 SO ₂ 会被氧化为 SO ₃ ，易发生腐蚀、积灰，堵塞空预器。
4	联合脱硝	50%~88%	同 2、3	总体投资与运行费用中等	注意反应温度窗口的变化	应用广泛	对锅炉影响较小
5	氧化法脱硝	50%以上	需配套吸收系统	投资较高	NO _x 减排量高时运行费用高	可用于各种类型的锅炉，目前产物回收成本较高	对锅炉无影响

5.4.2 颗粒物治理技术比较

表 6 主要颗粒物治理技术比较表

序号	治理技术	脱除效率范围	适用条件	工程投资/运行费用	管理要求及存在的问题	技术现状和发展趋势	对锅炉的影响
----	------	--------	------	-----------	------------	-----------	--------

1	袋式除尘	99.5%~99.99%	烟气温度决定滤袋材质	投资较高	起、停炉和超温时对滤袋的保护	应用最广泛	除尘系统会产生1200Pa左右的阻力
2	电袋复合除尘	99.5%以上	工业锅炉较少采用	投资与运行费用中等	管理较复杂,清灰容易	应用较少	比袋式除尘器略低
3	干式电除尘	99.2%~99.85%	工业锅炉基本全适用	投资较高,运行费用较低	定期振打,保证电场的运行电压。	应用广泛	基本无影响
4	湿式电除尘器	60%~80%	通常安装于湿法脱硫后。	投资费用较高,运行成本低	对前一级除尘设施有较高的要求	在要求超低排放的情况下配用	基本无影响

5.4.3 烟气脱硫技术比较

表7 主要烟气脱硫技术比较表

序号	治理技术	脱除效率范围	适用条件	工程投资/运行费用	管理要求及存在的问题	技术现状和发展趋势	对锅炉的影响
1	石灰石/石灰-石膏法	可达99%以上	目前工业锅炉采用较多。	投资较高	严控pH值、石膏浆液密度	应用最广泛	阻力1200Pa左右
2	电石渣/白泥-石膏法	可达99%以上	附近有这种脱硫剂时采用	投资与运行费用低	控制较低的pH值和较长的氧化停留时间	应用广泛	系统阻力约1200Pa
3	氧化镁法	可达99%	适用于镁资源来源稳定的地区	投资高,运行费用中	注意脱硫产物的资源化	应用较多	系统阻力约1200Pa
4	钠碱法、废碱法、双碱法	95%以上	适用于低硫煤	运行费用高	注意pH值的控制,避免石膏结垢	原应用较广泛,现逐步被取代	系统阻力约1000Pa
5	氨法脱硫	98%以上	适用于中高硫煤	投资与运行费用高	铵盐的腐蚀较大,工业卫生要求较高	工业锅炉中应用较少	系统阻力约1200Pa
6	半干法脱硫	85%~95%	适用于低硫煤	脱硫产物处置费用高	控制烟气温度高于露点10℃以上	高脱硫效率时应用少	脱硫系统会产生2000Pa以上的阻力

5.4.4 排放烟气温湿度控制技术比较

表8 主要高效除尘与排放技术比较表

序号	治理技术	脱除效率范围	适用条件	工程投资/运行费用	管理要求及存在的问题	技术现状和发展趋势	对锅炉的影响
1	高效除雾器	雾滴含量 $\leq 50\text{mg}/\text{m}^3$	应用在湿法脱硫后	投资与运行费用较	需定时冲洗	在要求超低排放的情况	阻力在600Pa以上

				低		下	
2	烟气降温减湿	通常降温大于 5℃	湿烟气降温除湿	投资一般	注意冷凝水的收集管理	可分为直接冷却与间接冷却	影响较小
3	烟气再热	一般温升大于 25℃	消白烟	较高	管理要求较高, 注意防堵防腐	GGH、MGGH 或蒸汽加热	阻力较大

5.5 工业锅炉烟气治理设计参数调查

表 9 工业锅炉烟气治理设施设计参数调查表

序号	锅炉规格	采用工艺技术路线	设计排放指标	运行时间
1	5×90t/h	脱硝: SNCR+氧化法 除尘: 袋式+脱硫后深度除尘 脱硫: 氧化镁法	NO _x : 80mg/m ³ 颗粒物: 5mg/m ³ SO ₂ : 10mg/m ³	2017 年
2	2×29MW	脱硝: SNCR 脱硝 除尘: 袋式除尘 脱硫: 石灰-石膏法	NO _x : 200mg/m ³ 颗粒物: 30mg/m ³ SO ₂ : 200mg/m ³	2016 年
3	2×130t/h	脱硝: SNCR-SCR 脱硝 除尘: 袋式除尘 脱硫: 石灰-石膏法	NO _x : 50mg/m ³ 颗粒物: 10mg/m ³ SO ₂ : 35mg/m ³	2016 年
4	4×116MW	脱硝: SNCR 脱硝 除尘: 袋式除尘 脱硫: 石灰-石膏法	NO _x : 50mg/m ³ 颗粒物: 10mg/m ³ SO ₂ : 35mg/m ³	2016 年
5	2×116MW	脱硝: SCR 脱硝 除尘: 湿电除尘 脱硫: 石灰-石膏法	NO _x : 50mg/m ³ 颗粒物: 10mg/m ³ SO ₂ : 35mg/m ³	2015 年
6	5×35t/h	脱硝: 氧化法脱硝 除尘: 袋式除尘 脱硫: 石灰-石膏法	NO _x : 150mg/m ³ 颗粒物: 25mg/m ³ SO ₂ : 100mg/m ³	2015 年
7	3×35t/h	脱硝: SNCR-SCR 除尘: 电除尘 脱硫: 石灰石-石膏法	NO _x : 44mg/m ³ 颗粒物: 10mg/m ³ SO ₂ : 29mg/m ³	2018 年

5.6 工业锅炉烟气治理设施运行情况调查

表 10 工业锅炉烟气治理设施运行情况调查表 (2010 年后投运)

序号	锅炉容量	锅炉炉型	初始浓度 (mg/m ³)			烟气治理工艺			处理后浓度 (mg/m ³)		
			颗粒物	SO ₂	NO _x	除尘	脱硫	脱硝	颗粒物	SO ₂	NO _x
1	46MW	链条炉	4782	408	272	袋式除尘	双碱法	低氮燃烧+SNCR	10	50	200
2	70MW	链条炉	5000	336	230	袋式除	双碱法	低氮燃烧	10	50	200

						尘		+SNCR			
3	35MW	层燃炉	8000	1000	500	袋式除尘	石灰-石膏法	SNCR+氧化法	30	100	200
4	35MW	层燃炉	8000	1000	500	袋式除尘	石灰-石膏法	SNCR+氧化法	30	100	200
5	240t/h	硫化床	25000	1000	240	电除尘	氨法脱硫	SNCR-SCR	5	25	50
6	20t/h	流化床	28000	1200	350	袋式除尘+湿式电除尘	石灰石-石膏法	SNCR-SCR	5	35	50

5.7 典型工程案例

5.7.1 工程案例 1

太原市某热源厂 7 台 64MW 燃煤热水锅炉脱硫除尘系统改造项目，烟气除尘采用袋式除尘器，烟气脱硫采用石灰石-石膏法工艺，工程分二期实施。每台锅炉小时燃煤量为 13t/h，每台锅炉设计烟气量为 200000m³/h，烟气初始颗粒物浓度 2000mg/m³，初始 SO₂浓度 1800mg/m³，实际运行时颗粒物排放浓度 ≤30mg/m³，SO₂ ≤50mg/m³。

5.7.2 工程案例 2

浙江某生物化学股份有限公司 5 台 20t/h 链条炉+2 台 35t/h 循环流化床锅炉烟气脱硫、脱硝改造工程。烟气脱硫采用钠碱法工艺，按 7 台锅炉烟气共用一个吸收塔设计，处理烟气量为 300000m³/h，锅炉燃煤含硫量为 0.6%，脱硫剂为 NaOH，要求处理后 SO₂ 排放浓度 ≤200mg/m³。烟气脱硝采用 SNCR 工艺，还原剂为氨水，初始 NO_x 浓度 ≤400mg/m³，要求处理后的烟气 NO_x 排放浓度 ≤200mg/m³。实际运行烟气排放指标均低于设计值，出口 SO₂ 浓度 ≤50mg/m³，出口 NO_x 浓度 100mg/m³~200mg/m³。

5.7.3 工程案例 3

浙江海宁某热电有限公司 2 台 20t/h 链条炉+1 台 35t/h 循环流化床锅炉烟气脱硫、脱硝、除尘改造工程。烟气脱硫采用石灰石-石膏法工艺，配套湿式电除尘器，要求处理后颗粒物浓度 ≤5mg/m³，按 3 台锅炉烟气共用一个吸收塔设计，处理烟气量为 160000m³/h，锅炉燃煤含硫量为 0.6%，要求处理后 SO₂ 排放浓度 ≤35mg/m³。烟气脱硝采用 SNCR-SCR 联合工艺，还原剂为氨水，初始 NO_x 浓度 ≤200mg/m³，要求处理后 NO_x 排放浓度 ≤50mg/m³。实际运行烟气排放指标均低于设计值，出口 SO₂ 浓度 ≤20mg/m³，出口 NO_x 浓度 ≤30mg/m³，颗粒物浓度 ≤5mg/m³。

5.7.4 工程案例 4

西安某供热公司 8 台 75t/h 链条式蒸汽锅炉，年耗煤量约 11 万吨，单台锅炉最大烟气量为 17 万 m³/h，锅炉的运行负荷通常在 50%到 85%波动。入炉煤的平均含硫量为 0.32%，灰份含量为 11%，挥发份 29%，燃料发热量 6000kCal/kg。执行的排放指标为颗粒物 ≤20mg/m³，SO₂ ≤100mg/m³，NO_x ≤200mg/m³。锅炉烟气颗粒物治理采用袋式除尘器，设计除尘效率 99.9%，实际运行中颗粒物排放浓度为 8mg/m³~12mg/m³。采用石灰石-石膏湿法烟气脱硫工艺，设计脱硫效率 ≥93%，实际运行中 SO₂ 排放浓度在 20mg/m³~40mg/m³；采用 SNCR 脱硝工艺，设计脱硝效率 42%，实际运行中 NO_x 的排放浓度在 100mg/m³~150mg/m³，年尿素用量约 400 吨，年运行费用约 300 万元。

5.7.5 工程案例 5

额尔古纳市某热力有限公司 3×35t/h 链条炉, 烟气处理系统采用袋式除尘+湿法臭氧氧化脱硝+石灰石-石膏湿法脱硫组合技术, 锅炉型号: XG-35/3.82-M, 设计烟气量为 94000m³/h×3。实际运行时锅炉出口初始颗粒物浓度在 30g/m³~35g/m³、NO_x浓度为 400mg/m³~500mg/m³、SO₂浓度为 300mg/m³~450mg/m³, 经烟气处理系统后, 实际颗粒物排放浓度为 30mg/m³~35mg/m³, NO_x排放浓度为 60mg/m³~90mg/m³, SO₂排放浓度约 55mg/m³~70mg/m³, 设有废水处理系统, 废水处理量 1t/h, 系统整体平均电耗约为 900kWh/h~1200kWh/h。采用的除尘器技术性能参见表 12。采用的臭氧氧化法烟气脱硝工艺由液氧存储系统、臭氧发生系统、布气系统、吸收系统(与吸收塔共用)、电气及控制系统等组成。三台炉设一套臭氧发生装置, 用液氧作为氧源, 液氧耗量约 0.4t/h, 臭氧浓度 148mg/L (10wt%), 臭氧产量约为 50kg/h。脱硫采用石灰石-石膏法工艺, 采用空塔喷淋+托盘通用湿法脱硫技术, 3 炉 1 塔, 单塔处理烟气量 180406m³/h, 吸收塔兼作臭氧氧化产物的吸收塔, 脱硫产物石膏回收, 设有废水处理系统去除吸收塔产生的可溶性盐及重金属等。

表 11 离线清灰低压脉冲袋式除尘器的技术性能表

序号	项目	单位	参数
1	每台炉配置的除尘器数目	套	1
2	最大处理风量	m ³ /h	95000
3	仓室数	个	4
4	滤袋数量	条	480
5	过滤面积	m ²	1564
6	滤袋规格	mm	φ 160×6500
7	滤袋材质		PPS+PTFE 浸渍
8	滤袋滤料单位重量	g/m ²	550
9	滤袋滤料厚度	mm	1.8
10	滤袋允许连续正常使用温度	°C	160
11	滤袋瞬时最高工作温度	°C	170 (瞬时, 每次不超过 15min)
12	除尘器的气布比	m/min	1.0
13	脉冲阀规格		DMF-Y-76S
14	脉冲阀数量	只	32
15	喷吹气源压力	MPa	0.25~0.7
16	每台除尘器灰斗数	个	2

6 主要技术内容及说明

本次标准主要修订内容有:

- 修改了标准名称, 名称变更为《工业锅炉烟气治理工程技术规范》;
- 对标准的适用锅炉容量及炉型调整为与《锅炉大气污染物排放标准》(GB 13271-2014)的规定基本一致, 但蒸发量≤10t/h 的锅炉除外, 工业炉窑改为可参照执行;
- 增加了工业锅炉烟气的脱硝(低氮燃烧、SNCR、SCR、SNCR-SCR 联合工艺脱硝)与

除尘（袋式除尘、电袋复合除尘、干式电除尘、湿式电除尘）等内容：

- d) 整合了原来的湿法烟气脱硫工艺，将石灰法与石灰石法脱硫变更为石灰石/石灰-石膏法工艺，增加了钠碱法烟气脱硫工艺和烟气循环流化床法脱硫工艺，取消了双碱法工艺；
- e) 涉及到的污染治理技术已发布过相关工程技术规范的，不作详细描述，以引用为主；
- f) 增加烟气治理工程所需原始参数的范围；
- g) 检测与过程控制、主要辅助工程、劳动安全与职业卫生、工程施工与验收、运行与维护章节内容作了较大的增补。

6.1 标准适用范围

本标准所指的工业锅炉是指《锅炉大气污染物排放标准》（GB13271-2014）中的所述的锅炉。但由于 10t/h 及以下的燃煤锅炉在我国大部分地区都属于限制新建的范围，而对已建的 10t/h 及以下的燃煤锅炉各地已在或正在进行煤改气或煤改电等方式进行改造，如四川省在 2017 年 7 月底前就已完成了对约 1200 台 10t/h 及以下的燃煤锅炉的淘汰或升级改造，在 2017 年底四川省地级及以上城市建成区基本淘汰 10t/h 及以下的燃煤锅炉。又如从山东省公布的数据看，截至 2017 年底，济南、淄博、聊城、烟台、潍坊、济宁、泰安、莱芜、德州、滨州、菏泽等 11 市已完成了 10t/h 及以下燃煤锅炉的淘汰，青岛、枣庄、东营、威海、日照、临沂等 6 市行政区域内的 938 台蒸发量 \leq 10t/h 的燃煤锅炉全部在 2018 年 6 月底前淘汰。2018 年 6 月，国务院印发《打赢蓝天保卫战三年行动计划》中要求“县级及以上城市建成区基本淘汰每小时 10 蒸吨及以下燃煤锅炉，原则上不再新建每小时 35 蒸吨以下的燃煤锅炉，其他地区原则上不再新建每小时 10 蒸吨以下的燃煤锅炉”。预计今后不符合 GB13271-2014 排放限值的燃煤小锅炉（ \leq 10t/h）将逐渐退出市场，其烟气治理工程也将不再是重点，故将单台锅炉蒸发量 \leq 10t/h 的锅炉烟气治理项目排除在外。

燃油、燃气、生物质、生活垃圾锅炉和工业炉窑烟气中的 SO_2 、 NO_x 和颗粒物的烟气治理工程可参照执行，但以危险废物为燃料的工业锅炉，由于其特殊性不适用于本标准。

6.2 规范性引用文件的说明

本标准引用部分国家和行业标准、规程、规范、条例等，引用文件的管理规定和技术要求视为本标准的一部分。工业锅炉烟气治理工程中所涉及的设备、仪表、原材料等方面的规定主要引用现行国家及行业标准，工程涉及的辅助工程和工程建设、施工、安装、调试、验收等引用生态环境部、工业和信息化部、国家能源局等行业的相关标准、规程、规范。

6.3 术语与定义

术语与定义以脱硫与脱硝烟气治理工程为主，除尘方面的技术比较成熟，基本不再作特别说明。液气比的定义作了适当的更改，基本与 HJ 179-2018 一致。由于不同的燃煤工业锅炉其烟气的温度、压力等状态参数差别较大，本节增加了“标准状态”。

6.4 污染物与污染物负荷

燃煤工业锅炉烟气中的主要污染物为 SO_2 、 NO_x 、颗粒物三类，污染物初始排放浓度的理论计算可参考 HJ 2053，在设计与计算前除了需收集通用参数外，还需要收集采用不同的污染治理技术所对应的参数。SCR、SNCR、低氮燃烧工程中需要收集锅炉本体的详细参数及锅炉炉膛温度分布，必要时还需收集 CFD 计算机流场模拟所需的数据。颗粒物参数主要与除

尘器的设计选型有关，湿法烟气脱硫工程中对循环液的某些可溶性离子比较敏感，故对湿法烟气脱硫工艺还需收集烟气、工艺水和脱硫剂的组分数据。

6.5 总体要求

该章节是根据工业锅炉烟气治理工程的通用要求、工程构成、总图和交通运输等做了一般性规定，对于其他标准及规范中已经明确的要求，本标准也同样遵守。

本节规定了烟气治理工程出口 SO_2 、 NO_x 、颗粒物的实际排放浓度应满足国家或地方排放标准要求和环境影响评价报告中对总量控制的要求。对烟气治理工程产生的“三废”、副产物、噪声、振动提出控制要求。烟气排放自动连续监测系统（CEMS）的设置与运行维护应满足 HJ 75、HJ 76 的要求。

说明了烟气治理工程中各污染物治理工程的组成，工程各系统、管线的布置作出通用性要求，规定了烟气脱硫工程总体设计的常规要求。其目的是使烟气治理工程布局的合理，交通、运输、检修、维护方便。

6.6 工艺设计

6.6.1 一般规定

本节规定了烟气治理工艺的选择应综合考虑的原则，规定当烟气治理工程中涉及到锅炉本体时应执行《锅炉安全技术监察规程》（TSG G0001）。

燃煤工业锅炉烟气治理工程针对的主要污染物为 SO_2 、 NO_x 、颗粒物等。通常需要若干种烟气污染物控制技术联合工作，才能满足 GB 13271-2014 排放标准的要求。不同类型的锅炉所采用的具体治理工艺会不一样，提出了几类锅炉烟气治理的典型工艺流程。

6.6.2 低氮燃烧

本节提出了低氮燃烧在烟气治理工程中地位与设计注意事项，对不同锅炉采用低氮燃烧技术的治理效果提出了要求。低氮燃烧的 NO_x 减排效果与锅炉的炉型关系较大，经调研与咨询确定了煤粉锅炉和循环流化床锅炉实施低氮燃烧后其烟气的 NO_x 初始排放浓度最低要求，层燃炉目前低氮燃烧的实施效果尚无定论，本标准不提及。

6.6.3 SNCR 脱硝

- a) SNCR 脱硝工艺可参考 HJ 563 执行；
- b) SNCR 还原剂在烟气中的分布及喷入点的温度窗口对 SNCR 脱硝效率的影响很大，宜通过对锅炉常用的运行工况进行 CFD 模拟，优选出最佳的还原剂喷射位置和喷射模式；
- c) HJ 563 中规定“尿素 SNCR 是在锅炉炉膛高温区域（ $850^\circ\text{C}\sim 1250^\circ\text{C}$ ）喷入尿素溶液”，未对氨水的喷入点温度作出规定，HJ 2053 中规定了循环流化床 SNCR 的尿素和氨水的喷入点温度分别为 $900^\circ\text{C}\sim 1150^\circ\text{C}$ 和 $850^\circ\text{C}\sim 1050^\circ\text{C}$ 。根据调研情况将两者的喷射点温度窗口作了细化，可使脱硝效果更佳，本次规定“还原剂选用尿素时，其喷射点应设在温度为 $950^\circ\text{C}\sim 1150^\circ\text{C}$ 的区间内，还原剂如选用氨水时，其喷射点应设在温度为 $850^\circ\text{C}\sim 1050^\circ\text{C}$ 的区间内”；
- d) SNCR 脱硝对 CFB 锅炉的脱硝效率一般会有 50% 以上，在某些情况下甚至能达到 75% 以上的效率，HJ 2053 中规定的脱硝效率为 60%~80%，对其他炉型效率较低。结合工业锅炉负荷易波动的特性，将循环流化床锅炉 SNCR 的脱硝效率定为 40%~70% 是可行的。

6.6.4 SCR 脱硝

- a) 目前工业锅炉在用的催化剂可分为活性温度窗口在 300℃~420℃的高温型催化剂和活性温度窗口在 200℃~300℃的中低温型催化剂。以高温型催化剂的使用最为广泛、成熟。HJ 2053 中将 SCR 的运行温度定在 300℃~420℃, 根据工业锅炉的实际稍作优化, 更有利于催化反应的高效进行;
- b) 当催化反应器内的烟气温度低于催化剂的活性温度时, 应对烟气采取合适的升温措施;
- c) SCR 脱硝还原剂常选用尿素或氨水, 人口密度高、安全要求高的地区宜优先选用尿素;
- d) 应根据数值模拟和/或物模结论指导喷氨格栅、反应器入口导流板、反应器出口等设备或部件的设计。

6.6.5 SNCR-SCR 联合脱硝

- a) 给出了 SNCR-SCR 联合脱硝的典型工艺流程图;
- b) 利用两个不同工艺的特点, 充分发挥各自工艺的长处, 实现互补。尿素作为还原剂时, 在炉膛温度窗口合适时, 可不设尿素制氨系统;
- c) 通过 SNCR 先脱除了部分 NO_x , 后续 SCR 的催化剂用量减少, SCR 反应器及系统阻力均较低;
- d) 前置的 SNCR 中逃逸的氨可作为 SCR 还原剂。

6.6.6 除尘

- a) 袋式除尘的工程施工设计参照《袋式除尘工程通用技术规范》(HJ 2020) 执行;
- b) 干式电除尘的工程施工设计参照《电除尘工程通用技术规范》(HJ 2028) 执行;
- c) 电袋复合除尘参照《电袋复合除尘器》(GB/T 27869)、《环境保护产品技术要求电袋复合除尘器》(HJ 2529) 执行;
- d) 对袋式除尘器和电袋复合除尘器运行温度和滤袋的使用作了规定;
- e) 层燃炉选用袋式除尘时, 宜前置机械预除尘器, 减少滤袋的着火风险;
- f) 湿式电除尘器的设计、施工、调试、验收、运行等参照 DL/T 1589 和 JB/T 11638 执行;
- g) 湿式电除尘器入口烟气温度应小于 60℃, 且烟气需为湿饱和烟气(与 HJ 2053 的要求一致);
- h) 湿式电除尘器的阳极板要采用耐脱硫后高湿度烟气腐蚀的合金材质或导电玻璃钢材质;
- i) 对湿式电除尘的防腐、安全和灰水的利用作了说明。

6.6.7 石灰石/石灰-石膏法

- a) 采用石灰石/石灰-石膏法烟气脱硫时, 大部分内容可参照 HJ 179《石灰石/石灰-

石膏法烟气脱硫工程通用技术规范》；

- b) 电石渣/白泥的性质与石灰石/石灰的性质相近，可代替石灰石/石灰作为脱硫剂；
- c) 由于锅炉烟气中的烟尘会影响副产品的品质，将进入脱硫吸收塔前的烟气颗粒物浓度规定为 $\leq 50\text{mg}/\text{m}^3$ ，工业锅炉烟气系统设置的除尘器一般均能实现 $\leq 50\text{mg}/\text{m}^3$ 的颗粒物排放指标；
- d) 脱硫吸收塔入口烟温及钙硫比的规定与原标准一致；
- e) 增加了副产物的回收和废水处理系统的说明。

6.6.8 氧化镁法脱硫

- a) 为提高氧化系统的处理效率，减少脱硫渣的量，将吸收塔入口烟气颗粒物含量修改为“宜低于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ ”，与HJ 179一致；
- b) 作为脱硫剂的氧化镁法宜选用轻烧氧化镁。将氧化镁中酸不溶物的含量由3%变更为6%（与YB/T 5206《轻烧氧化镁》中牌号为CBM85的要求一致）；
- c) 氧化镁用热水熟化后生成的 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 乳液比氧化镁直接在常温下配制的浆液活性高，有利于反应的快速进行，可提高脱硫剂的利用率。氧化镁宜设熟化工序，熟化温度宜不低于 70°C ，熟化时间不小于2h；
- d) 随着脱硫效率的提高，且脱硫吸收塔塔型较多地变更为空塔喷淋，将原HJ 462-2009规定的液气比 $>2\text{L}/\text{m}^3$ 调整为大于 $5\text{L}/\text{m}^3$ ，其它参数基本不作调整。

6.6.9 钠碱法脱硫

- a) 钠碱（废碱）法烟气脱硫反应活性较强，不易结垢，所需的液气比较低；
- b) 钠碱法生成的可溶性亚硫酸盐自然氧化速度较快，烟气含氧量较高时，一般不设氧化系统。但如外排废水的 COD_{Cr} 达不到排放要求时，可设必要的曝气氧化系统；
- c) pH值一般控制在5.0~7.0（与原标准中的氧化镁法与石灰法一致），需回收脱硫副产物亚硫酸钠（ Na_2SO_3 ）时，pH值宜高些（低于7.0时溶液中会含有较多的 NaHSO_3 ），循环吸收系统宜添加合适的阻氧剂，减缓硫酸钠（ Na_2SO_4 ）的生成。

6.6.10 烟气循环流化床法脱硫

- a) 烟气循环流化床法脱硫工程应参照HJ 178执行，对脱硫剂制备、吸收系统与灰循环系统内容作了补充说明；
- b) 部分锅炉的运行负荷变动较大，需采取措施确保流化床反应器内床层的平稳，系统宜设置净烟气再循环系统。

6.6.11 二次污染控制措

- a) 增加了二次污染防治一节内容；
- b) 因涉及多污染物的治理，二次污染的种类增加；
- c) 原料贮运加工环节、副产品的贮运环节均要采取相应的防范措施；
- d) 外排的废水要符合相关的排放标准；

e) 废催化剂、废滤袋等固废应妥善处理，避免造成二次污染。

6.7 主要工艺设备和材料

- a) 增加了脱硝、除尘工艺中相关主要设备和材料的要求；
- b) 对湿式电除尘的导电玻璃钢材料提出要求。

6.8 检测与过程控制

- a) 增加了过程检测、控制系统、CEMS和分析检测四部分内容；
- b) 检测与过程控制系统均采用自动化系统，关键仪表应有冗余，确保系统能实现安全稳定可靠地自动控制与调节；
- c) 烟气治理的各控制系统宜统一考虑并与锅炉数据共享；
- d) CEMS的安装参照HJ 75执行，CEMS的技术要求及检测方法按HJ 76的要求执行；
- e) 污染源自动监控CEMS应与生态环境部门联网；
- f) 增加烟气治理工程的主要检测项目及检测周期表（附录A）。

6.9 主要辅助工程

- a) 新增章节，主要分为电气系统、建筑与结构、给排水与消防系统、暖通、道路与绿化等内容；
- b) 辅助工程以参照执行相关国家标准为主；
- c) 为确保系统内的计算机、CEMS、监测仪表、调节装置、火灾报警装置等重要负荷的用电可靠性应设一套交流不间断电源（UPS）；
- d) 脱硫、脱硝和湿法除尘系统的工艺用水有可能会与化学物料接触，设计时应使其与生活用水隔离；
- e) 对可能存在有害气体散发的场所规定其事故通风强度为12次/h。

6.10 劳动安全与职业卫生

- a) 液氨、烧碱等危险化学品，要执行相关的强制性条款，生产环境条件应符合职业卫生标准的规定，生产过程中应执行GB/T 12801中的有关规定；
- b) 氨的存储和氨水的制备应符合GB/T 536、《危险化学品安全管理条例》《危险化学品建设项目安全许可实施办法》和GB 18218的有关规定；
- c) 工程的防火、防爆应符合GB 50016、GB 50222和GB 50229等有关标准的规定；
- d) 在使用液氨、氨水、烧碱等有害介质的建筑物中，每层应设置足够数量的洗眼器、事故淋浴器。

6.11 工程施工与验收

- a) 工程施工应执行各烟气治理单体工程的相关工程技术规范；
- b) 工程验收应按《建设项目（工程）竣工验收办法》、相应专业现行验收规范的有关规定进行；

c) 增加脱硝工程、除尘工程技术性能试验的主要参数。

6.12 运行与维护

a) 工业锅炉烟气治理工程属于锅炉的辅机,烟气治理工程的运行维护与锅炉主体的要求相同;

b) 脱硝、除尘等工程在锅炉开车启动阶段要做相应的防护措施;

c) 系统停运时间较长时,应采取有效措施避免脱硫剂、尿素、副产物等的板结或失效;

d) 因烟气治理设施故障等原因有可能出现烟气排放小时均值超标时,锅炉应降负荷运行或停机,待故障修复后才能正常投运;

e) 运行操作人员上岗前应接受专业培训;

f) 增加应急处理预案内容。

6.13 附录

新增内容:日常分析检测项目及检测周期、电气系统故障应急预案、检测控制系统故障应急预案、氨泄漏应急预案
