

DB51

四川省地方标准

DB51/ XXXX—XXXX

成都市锅炉大气污染物排放标准

Emission standard of air pollutants for boilers in Chengdu

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

2019 - 01 - 01

四川省环境保护厅
四川省质量技术监督局 发布

目 次

1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	4
4 污染物排放控制要求	5
5 污染物监测要求	6
6 实施与监督	7
附录 A（规范性附录）一氧化碳的测定 定电位电解法	6

前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国大气污染防治法》，加强锅炉大气污染物的排放控制，促进行业技术进步和可持续发展，改善环境空气质量，保障公众健康，制定本标准。

本标准规定了成都市锅炉大气污染物浓度排放限值、监测和监控要求，锅炉排放的水污染物、环境噪声适用相应的国家和四川省污染物排放标准，产生固体废物的鉴别、处理和处置适用国家和四川省固体废物污染控制标准。

本标准由成都市环境保护局提出。

本标准起草单位：四川省环境监测总站、四川大学、成都市特种设备检验院。

本标准由四川省人民政府2018年 月 日批准，XXXX年XX月XX日实施。

本标准由成都市环境保护局解释。

成都市锅炉大气污染物排放标准

1 范围

本标准规定了成都市锅炉烟气中颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、汞及其化合物、一氧化碳的最高允许排放浓度限值和烟气黑度限值。

本标准适用于燃煤、燃油、燃气和燃生物质燃料的单台出力65t/h及以下蒸汽锅炉、各种容量的热水锅炉、汽水两用锅炉、热风炉及有机热载体锅炉等；各种容量的层燃炉、抛煤机炉。

使用型煤、水煤浆、煤矸石、石油焦、油页岩等的锅炉，参照本标准中燃煤锅炉排放控制要求执行。使用重油、渣油、轻柴油等其他液体燃料的锅炉，参照本标准中燃油锅炉排放控制要求执行。使用高炉煤气、焦炉煤气、醇醚燃料（如甲醇、乙醇、二甲醚等）及其他气体燃料的锅炉，参照本标准中燃气锅炉排放控制要求执行。

本标准不适用于以生活垃圾、污泥、危险废物为燃料的锅炉。

本标准不适用于70KW及以下的水热水锅炉。

本标准适用于成都市在用锅炉大气污染物排放管理，以及锅炉建设项目环境影响评价、环境保护设施设计、竣工环境保护验收及其投产后的大气污染物排放管理。

本标准适用于法律允许的污染物排放行为。新设立污染源的选址和特殊保护区域内现有污染源的管理，按照《中华人民共和国大气污染防治法》、《中华人民共和国环境影响评价法》等法律、法规和规章的相关规定执行。

2 规范性引用文件

本标准内容引用了下列文件或其中的条款。凡是不注明日期的引用文件，其有效版本适用于本标准。使用本标准的各方应使用最新版本（包括标准的修改单）。

GB 5468	锅炉烟尘测试方法
GB 13271	锅炉大气污染物排放标准
GB/T 16157	固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法
HJ/T 42	固定污染源排气中氮氧化物的测定 紫外分光光度法
HJ/T 43	固定污染源排气中氮氧化物的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法
HJ/T 44	固定污染源废气中一氧化碳的测定 非色散红外吸收法
HJ/T 56	固定污染源排气中二氧化硫的测定 碘量法
HJ/T 57	固定污染源排气中二氧化硫的测定 定电位电解法
HJ/T 373	固定污染源监测质量保证与质量控制技术规范（试行）
HJ/T 397	固定源废气监测技术规范
HJ/T 398	固定污染源排放烟气黑度的测定 林格曼烟气黑度图法
HJ 543	固定污染源废气 汞的测定 冷原子吸收分光光度法（暂行）
HJ 629	固定污染源废气 二氧化硫的测定 非分散红外吸收法
HJ 692	固定污染源废气中氮氧化物的测定 非分散红外吸收法
HJ 693	固定污染源废气中氮氧化物的测定 定电位电解法
《污染源自动监控管理办法》（原国家环境保护总局令 第28号）	

《环境监测管理办法》（原国家环境保护总局令 第39号）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

锅炉 boiler

锅炉是利用燃料燃烧释放的热能或其他热能加热热水或其他工质，以生产规定参数（温度，压力）和品质的蒸汽、热水或其他工质的设备。

3.2

在用锅炉 in-use boiler

指本标准实施之日前，已建成投产或环境影响评价文件已通过审批的锅炉。

3.3

新建锅炉 new boiler

本标准实施之日起，环境影响评价文件通过审批的新建、改建和扩建的锅炉建设项目。

3.4

生物质燃料 biomass fuel

生物质燃料原料须为农林剩余物，包括农作物秸秆（玉米秆、水稻秆、小麦秆、棉花秆、油料作物秸秆等）、农产品加工剩余物（花生壳、稻谷壳、果壳、甘蔗渣、糠醛渣、去除塑料包装物的菌袋等）及林业“三剩物”（抚育剩余物、采伐剩余物、加工剩余物）。

3.5

生物质燃料锅炉 biomass fuel boiler

燃用生物质燃料并配有专用燃烧器的锅炉。

3.6

有机热载体锅炉 organic fluid boiler

以液体有机质作为载体工质的固定式锅炉。

3.7

标准状态 standard state

温度为 273.15K、压力为 101325Pa 时的状态。本标准规定的大气污染物排放浓度限值均以标准状态下的干气体为基准。

3.8

烟囱高度 stack height

指从烟囱（或锅炉房）所在的地平面至烟囱出口的高度，单位 m。

3.9

氧含量 O₂ content

燃料燃烧后，烟气中含有的多余的自由氧，通常以干基容积百分数来表示。

3.10

高污染燃料禁燃区 high-polluted fuel forbidden area

成都市人民政府及各区县人民政府划定的禁止销售、使用高污染燃料的区域。

4 污染物排放控制要求

4.1 排气筒大气污染物排放控制要求

4.1.1 自2019年1月1日起，在用锅炉执行表1规定的排气筒大气污染物排放限值，自2020年1月1日起，在用锅炉执行表2规定的排气筒大气污染物排放限值。

4.1.2 自2019年1月1日起，新建锅炉执行表2规定的排气筒大气污染物排放限值。

表1 在用锅炉大气污染物排放浓度限值

单位：mg/m³

污染物项目	高污染燃料 禁燃区内	高污染燃料禁燃区外				污染物排放监控位置
		燃煤锅炉	燃油锅炉	燃气锅炉	生物质燃料锅炉	
颗粒物	10	30	30	20	30	烟囱或烟道
二氧化硫	10	200	100	50	50	
氮氧化物	30	200	200	150	200	
汞及其化合物	-	0.05	-	-	-	
一氧化碳	100	100	100	100	100	
烟气黑度 (林格曼黑度，级)	≤1	≤1				烟囱排放口

表2 新建锅炉大气污染物排放浓度限值

单位：mg/m³

污染物项目	高污染燃料 禁燃区内	高污染燃料禁燃区外				污染物排放监控位置
		燃煤锅炉	燃油锅炉	燃气锅炉	生物质燃料锅炉	
颗粒物	10	禁排	20	10	20	烟囱或烟道
二氧化硫	10	禁排	20	10	30	
氮氧化物	30	禁排	100	60	150	
一氧化碳	100	禁排	100	100	100	
烟气黑度 (林格曼黑度，级)	≤1	≤1				烟囱排放口

4.2 现有燃煤及生物质燃料锅炉房烟囱高度应根据锅炉房装机总容量，按表3规定执行。燃油、燃气锅炉烟囱高度不低于8米。同时，新建锅炉房的烟囱周围半径200米距离内有建筑物时，其烟囱应高出最高建筑物3米以上。

表3 燃煤及生物质燃料锅炉房烟囱最低允许高度

锅炉房装机总容量	MW	0.7~<1.4	1.4~<2.8	2.8~<7	7~<14	≥14
	t/h		1~<2	2~<4	4~<10	10~<20

烟囱最低允许高度	米	25	30	35	40	45
----------	---	----	----	----	----	----

4.3 锅炉烟囱高度达不到4.2的规定时，其颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、汞及其化合物、一氧化碳最高允许排放浓度，应按相应排放标准限值的50%执行。

4.4 不同时段建设的锅炉，若采用混合方式排放烟气，且选择的监控位置只能监测混合烟气中的大气污染物浓度，应执行各个时段值中最严格的排放限值。

5 污染物监测要求

5.1 污染物采样与监测要求

5.1.1 锅炉使用企业应按照有关法律和《环境监测管理办法》等规定，建立企业监测制度，制定监测方案，对污染物排放状况及其对周边环境质量的影响开展自行监测，保存原始监测记录，并公布监测结果。

5.1.2 锅炉使用企业应按照环境监测管理规定和技术规范的要求，设计、建设、维护永久性采样口、采样测试平台和排污口标志。

5.1.3 对锅炉排放废气的采样，应根据监测污染物的种类，在规定的污染物排放监控位置进行，有废气处理设施的，应在该设施后监测。排气筒中大气污染物的监测采样按GB5468、GB/T16157或HJ/T397规定执行。

5.1.4 10t/h及以上蒸汽锅炉、7MW及以上热水锅炉、生物质燃料锅炉应按《污染源自动监控管理办法》的规定安装大气污染物连续监测系统，与环保部门联网，并保证设备正常运行。其他锅炉自动监控设备安装按环保部门有关规定执行。

5.1.5 对大气污染物连续监测系统的安装、调试、验收及管理，应按HJ/T75、HJ/T76有关规定执行。

5.1.6 对大气污染物的监测，应按照HJ/T373的要求进行监测质量保证和质量控制。

5.1.7 对大气污染物的排放浓度的测定采用表4所列的方法标准。

表4 大气污染物浓度测定方法标准

序号	污染物项目	方法标准名称	标准编号
1	颗粒物	锅炉烟尘测试方法	GB 5468
		固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法	GB/T 16157
2	二氧化硫	固定污染源排气中二氧化硫的测定 碘量法	HJ/T 56
		固定污染源排气中二氧化硫的测定 定电位电解法	HJ/T 57
		固定污染源废气 二氧化硫的测定 非分散红外吸收法	HJ 629
3	氮氧化物	固定污染源排气中氮氧化物的测定 紫外分光光度法	HJ/T 42
		固定污染源排气中氮氧化物的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法	HJ/T 43
		固定污染源废气中氮氧化物的测定 非分散红外吸收法	HJ 692
		固定污染源废气中氮氧化物的测定 定电位电解法	HJ 693
4	一氧化碳	固定污染源废气中一氧化碳的测定 非色散红外吸收法	HJ/T 44
		一氧化碳的测定 定电位电解法	附录A
5	汞及其化合物	固定污染源废气 汞的测定 冷原子吸收分光光度法（暂行）	HJ 543
6	烟气黑度	固定污染源排放烟气黑度的测定 林格曼烟气黑度图法	HJ/T 398

5.2 大气污染物基准含氧量排放浓度折算方法

实测的锅炉颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、汞及其化合物的排放浓度，应执行GB5468或GB/T16157规定，按公式（1）折算为基准氧含量排放浓度。各类燃烧设备的基准氧含量按表5的规定执行。

表5 基准含氧量

锅炉类型	基准氧含量 (O ₂) /%
燃煤锅炉、生物质燃料锅炉	9
燃油、燃气锅炉	3.5

$$\rho = \rho' \times \frac{21 - \varphi(O_2)}{21 - \varphi'(O_2)} \quad (1)$$

公式（1）中：

ρ ——大气污染物基准氧含量排放浓度，mg/m³；

ρ' ——实测的大气污染物排放浓度，mg/m³；

$\varphi(O_2)$ ——实测的含氧量；

$\varphi(O_2)$ ——基准含氧量。

5.3 气态污染物浓度单位换算

本标准中氮氧化物质量浓度以二氧化氮计，1 μ mol/mol氮氧化物相当于2.05mg/m³质量浓度，1 μ mol/mol二氧化硫相当于2.86mg/m³质量浓度，1 μ mol/mol一氧化碳相当于1.25mg/m³质量浓度。

6 实施与监督

6.1 本标准由县级以上人民政府环境保护行政主管部门负责监督实施。

6.2 在任何情况下，锅炉使用单位均应遵守本标准规定的大气污染物排放控制要求，采取必要措施保证污染防治设施正常运行。各级环保部门在对企业进行监督性检查时，可以现场即时采样或监测的结果，作为判定排污行为是否符合排放标准以及实施相关环境保护管理措施的依据。

6.3 本标准实施后，新制定或新修订的国家或四川省污染物排放标准严于本标准的，按照从严要求的原则，按其适用范围执行相应的污染物排放标准。

附录 A
(规范性附录)
一氧化碳的测定 定电位电解法

A.1 原理

定电位电解传感器主要由电解槽、电解液和电极组成，传感器的三个电极分别称为敏感电极（sensing electrode）、参比电极（reference electrode）和对电极（counter electrode），简称S、R、C。传感器的测量过程为：被测气体由进气孔通过渗透膜扩散到敏感电极表面，在敏感电极、电解液、对电极之间进行氧化反应，参比电极在传感器中不暴露在被分析气体之中，用来为电解液中的工作电极提供恒定的电化学电位。被测气体通过渗透膜进入电解槽，传感器电解液中扩散吸收的一氧化碳发生以下氧化反应：



与此同时产生对应的极限扩散电流*i*，在一定范围内其大小与一氧化碳浓度成正比，即：

$$i = \frac{Z \cdot F \cdot S \cdot D}{\delta} \times C$$

式中：Z——电子转移数；
F——法拉第常数；
S——气体扩散面积；
D——扩散常数；
 δ ——扩散层厚度；
C——一氧化碳浓度。

在一定工作条件下，Z、F、S、D、 δ 均为常数。因此，电化学反应中流向工作电极的极限扩散电流*i*与被测的一氧化碳浓度C成正比。被测气体中的尘和水分容易在渗透膜表面凝结，影响其透气性。在使用本方法时应应对被测气体中的尘和水分进行预处理。

本方法测定分辨下限：1.25mg/m³；测定范围：1.25~5000mg/m³。

A.2 仪器和设备

A.2.1 定电位电解法一氧化碳测试仪

测量量程上限：500mg/m³；1250mg/m³；2500mg/m³；5000mg/m³。

测量分辨下限：1.25mg/m³。

稳定度（3h）：零点漂移≤±0.2%F.S.；量程漂移≤±2%F.S.。

示值误差：≤±5%。

重复性：≤±2%。

响应时间：≤60s。

回复时间：≤60s。

负载误差：≤5%。

A.2.2 采样管及样气预处理器

A.2.3 不同浓度一氧化碳标准气体或一氧化碳配气系统

A.3 试剂

一氧化碳标准气体，浓度为仪器量程的50%左右。

A.4 采样准备

A.4.1 仪器标定

①检查并清洁采样预处理器的烟尘过滤器、气水分离器及输气管路。

②按使用说明书连接采样预处理器与定电位电解法一氧化碳测试仪的气路和电路，确认无误后，按规定顺序接通电源。

③用一氧化碳标准气将气袋清洗三次，然后将标准气注入气袋备用。

④将流量计与一氧化碳测试仪连接（带有流量自动控制的仪器可不接流量计），在环境空气中启动仪器，调节流量计流量，使其达到仪器说明书规定流量，当仪器完成倒计时自检校准零点后，操作仪器进入标定状态。

⑤将装有标准气的气袋与流量计进气口连接，执行仪器标定操作。标定操作结束后，取下气袋，使仪器抽入空气，清洗传感器。当仪器显示值达到 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下时，关闭仪器。

A.4.2 仪器的校准

①~④与（1）仪器标定①~④相同。

⑤将装有标准气的气袋与流量计进气口连接，执行仪器测试操作，同时开始用秒表计时。当仪器读数达到标准气浓度的90%时（即 t_{90} ），读取秒表时间。当仪器示值稳定后，读取并记录测试值，取下气袋，使仪器抽入空气，清洗传感器。计算示值误差和重复性误差。

⑥将阻力调节阀、U型压力计与一氧化碳测试仪连接，U型压力计的一端与大气相通。仪器开机进入测试功能后，调节阻力调节阀至U型压力计水柱压差为 10kPa 条件下，通入上述标准气，待仪器示值稳定后，读取并记录测试值，计算负载误差。当仪器显示值达到 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下时，关闭仪器。

A.5 测试步骤

①按使用说明书连接采样预处理器与一氧化碳测试仪的气路和电路，确认无误后，按规定顺序接通电源。

②在环境空气中开机自检校准零点，当仪器进入测试功能后，将采样枪放进采样孔并用棉布塞紧使之不漏气（有条件时应监测并调节仪器抽气流量，使其与标定流量一致）。

③当仪器测试显示浓度值变化趋于稳定后，记录（打印）测试数据。

④读数完毕将采样枪取出，置于环境空气中，清洗传感器至仪器读数在 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下时，将采样管放进采样孔进行第二次测试。

⑤重复②~④步骤，直至测试完毕。

⑥关闭仪器，切断电源。

A.6 计算和结果表示

A.6.1 示值误差：

$$\delta_i = \frac{\overline{C_a} - C_s}{C_s} \times 100\%$$

式中： $\overline{C_a}$ ——测量标准气体浓度平均值；

C_s ——标准气体浓度值；

i——第i浓度的标准气体。

A. 6. 2 重复性误差：

$$S_a = \frac{1}{\overline{C_a}} \times \left[\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \overline{C_a})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}} \times 100\%$$

式中： C_i ——第i次测量标准气体浓度值；

n——重复测量次。

A. 6. 3 负载误差：

$$L_e = \frac{\overline{C_1} - \overline{C_n}}{\overline{C_n}} \times 100\%$$

式中： $\overline{C_1}$ ——施加阻力时测量标准气体浓度平均值；

$\overline{C_n}$ ——空载时测量标准气体浓度平均值。

A. 6. 4 结果表示

仪器对一氧化碳测定的结果，应以质量浓度表示。如果仪器显示一氧化碳值以ppm表示浓度时，应按下式换算为标准状态下的质量浓度：

$$\text{一氧化碳 (CO, mg/m}^3\text{)} = 1.25C$$

式中：C——仪器指示值，ppm；

1.25——换算系数。

A. 7 注意事项

①在校准过程中，若 t_{90} 大于60s时，应检查仪器气路是否漏气或传感器灵敏度是否降低，若传感器灵敏度降低，应更换仪器传感器。

②在测试过程中，仪器应该一次开机直至测试完毕，中途不能关机重新启动，以免仪器零点变化，影响测试准确性。

③在测试过程中，仪器采样流量应与标定校准流量一致，采样流量的变化将影响测试准确性。

④对烟道一氧化碳的测试，应选择抗负压能力大于烟道负压的仪器，否则会使仪器采样流量减小，测试浓度值将低于烟道一氧化碳实际浓度值。

⑤进入传感器的烟气温度不得大于40℃。

成都市锅炉大气污染物排放标准

编制说明

(征求意见稿)

《成都市锅炉大气污染物排放标准》编制组
二〇一八年三月

目 录

1 项目背景.....	4
1.1 任务来源	4
1.2 工作过程	4
2 标准编制的必要性分析.....	5
2.1 锅炉大气污染控制面临新的形势	5
2.2 越来越严格的相关政策要求	5
2.3 锅炉生产及污染控制技术迅猛发展	7
2.4 燃气锅炉氮氧化物排放急需严格控制	7
2.5 生物质燃料锅炉大气污染排放要求亟待完善	8
2.6 地方排放标准分析	8
2.6.1 北京市.....	9
2.6.2 天津市.....	10
2.6.3 重庆市.....	10
2.6.3 上海市.....	11
2.7 国外燃气锅炉排放标准分析	12
2.7.1 美国加州燃气锅炉.....	12
2.7.3 欧盟燃气工业锅炉.....	13
3 标准编制的依据、原则和方法思路.....	14
3.1 编制依据	14
3.2 制订原则	15
3.3 编制方法和思路	15
4 成都市工业锅炉使用及排放现状.....	17
4.1 使用现状	17
4.1.1 燃料类型分布.....	17
4.1.2 规模分布.....	18
4.1.3 区域分布.....	19
4.2 排放及达标现状	19
4.2.1 燃煤锅炉.....	19
4.2.2 燃气、燃油锅炉.....	20
4.2.3 生物质燃料锅炉.....	20
5 污染防治技术分析.....	21
5.1 燃气锅炉低氮燃烧技术	21
5.1.1 分级燃烧技术.....	21

5.1.2	烟气再循环技术.....	22
5.1.3	贫燃预混燃烧技术.....	23
5.1.4	低氮燃烧器.....	23
5.2	工业锅炉末端治理技术	23
5.2.1	颗粒物控制技术.....	23
5.2.2	烟气脱硫技术.....	24
5.2.3	烟气脱硝技术.....	26
5.3	生物质锅炉燃烧特性与污染控制技术	26
5.3.1	生物质燃料.....	26
5.3.2	生物质燃料燃烧特性.....	27
5.3.2	污染控制技术.....	28
5.4	汞及其化合物控制技术	29
6	标准主要技术内容.....	30
6.1	标准内容框架	30
6.2	主要编制内容	30
6.3	适用范围	30
6.4	适用范围	31
6.5	标准执行时段	31
6.5.1	在用锅炉.....	31
6.5.2	新建锅炉.....	31
6.6	污染物项目	32
6.7	污染物排放限值	32
6.7.1	高污染燃料禁燃区内.....	32
6.7.2	高污染燃料禁燃区外.....	32
6.8	污染物监测要求	33
7	标准比较及实测数据对比.....	34
7.1	相关标准比较	34
7.2	低氮燃气锅炉实测数据对比	36
8	经济成本与环境效益分析.....	37
8.1	经济成本分析	37
8.2	环境效益分析	38

1 项目背景

1.1 任务来源

随着经济社会的持续快速发展，工业化、城市化进程不断加快，能源消耗及机动车数量快速增长，区域大气复合污染、高频发的灰霾污染和日趋严重的臭氧污染已经成为成都面临的主要环境问题之一。为深入贯彻落实国务院《大气污染防治行动计划》、《四川省灰霾污染防治办法》（省政府令第 288 号）及成都市第十三次党代会提出的把创造优良人居环境作为城市工作中心目标的要求，适应成都市更加严格的大气环境管理需要，亟需制定成都市锅炉大气污染物排放标准，从严控制锅炉大气污染物排放，推动锅炉生产、运行和污染治理的技术进步和升级，提升锅炉大气污染防治水平，改善空气质量，为污染物总量减排、清洁能源替代等工作提供推力。2017 年 5 月，由成都市环境保护局委托四川省环境监测总站负责对成都市锅炉大气污染物排放标准进行制订研究，成都市特种设备检验院、四川大学参加研究的部分工作。

1.2 工作过程

任务下达后，四川省环境监测总站与成都市特种设备检验院、四川大学共同成立了标准编制组，按照《国家环境保护标准制修订工作管理办法》要求，拟定工作计划并开展标准编制工作。

（1）2017 年 5~6 月，对国内外锅炉排放标准、锅炉大气污染防治技术、燃气锅炉低氮燃烧技术、生物质燃料专用锅炉燃烧技术及行业相关政策进行调研；同时对成都市锅炉在用情况和排放情况开展调研和监测，重点掌握锅炉数量及容量分布、燃料使用、大气污染物排放状况和治理现状。

（2）2017 年 7~9 月，确定标准制订技术路线；开展锅炉生产、安装企业及使用企业座谈交流，分析燃气锅炉低氮燃烧技术应用情况及其 NO_x 排放水平。

（3）2017 年 10~11 月，对调研和监测结果进行整理、分析及对比，完成标准及编制说明草案。

（4）2017 年 11 月，咨询专家、管理部门、锅炉生产企业意见；根据反馈意见再修订、定稿。

2 标准编制的必要性分析

2.1 锅炉大气污染控制面临新的形势

当前成都市大气污染防治和空气质量改善已经进入攻坚期，在传统煤烟型污染尚未得到完全控制的情况下，以细颗粒物（PM_{2.5}）和臭氧为特征的区域性复合型大气污染日益突出，严重制约社会经济的可持续发展，威胁人民群众身体健康，影响了城市形象。

2016 年成都市空气质量略有好转，但改善幅度不及大多数省会城市，有 4 项污染物超标，PM_{2.5} 浓度 62.7 微克/立方米，超标 0.8 倍；NO₂ 平均浓度 53.9 微克/立方米，超标 0.3 倍；PM₁₀ 浓度 104.9 微克/立方米，超标 0.5 倍；臭氧浓度 168.5 微克/立方米，超标 0.05 倍。优良天数率为 58.5%。

据相关研究初步核算，在成都市 14.8 万吨的 NO_x 排放总量中，工业排放量为 3.4 万吨，占 23%，其中工业锅炉 NO_x 排放量为 1.2 万吨，占工业排放的 35%，占总排放的 8%。成都市 6.0 万吨的 SO₂ 排放总量中，工业排放量为 5.5 万吨，占 92%，其中工业锅炉 SO₂ 排放量为 0.7 万吨，占工业排放的 13%，占总排放的 12%。锅炉作为成都市大气污染排放的重要贡献源之一，其现有的大气污染排放标准要求已经难以满足大气环境质量的迫切改善需求和日益加严的环境管理要求。

2.2 越来越严格的相关政策要求

为了有效应对日益严峻的复合型大气污染，国家、四川省乃至成都市出台了一系列政策性要求，对锅炉大气污染物的排放控制提出了严格的要求。

（1）2013 年 9 月国务院印发《大气污染防治行动计划》，明确提出“加快推进集中供热、“煤改气”、“煤改电”工程建设，到 2017 年，除必要保留的以外，地级及以上城市建成区基本淘汰每小时 10 蒸吨及以下的燃煤锅炉，禁止新建每小时 20 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。在供热供气管网不能覆盖的地区，改用电、新能源或洁净煤，推广应用高效节能环保型锅炉。”

（2）2014 年 6 月国务院办公厅印发《能源发展战略行动计划（2014-2020 年）》，提出“控制重点用煤领域煤炭消费。以经济发达地区和大中城市为重点，有序推进重点用煤领域“煤改气”工程，加强余热、余压利用，加快淘汰分散燃煤小锅炉，到 2017 年，基本完成重点地区燃煤锅炉、工业窑炉等天然气替代改造任务。结合城中村、城乡结合部、棚户区改造，扩大城市无煤区范围，逐步由城

市建成区扩展到近郊，大幅减少城市煤炭分散使用。到 2020 年，天然气在一次能源消费中的比重提高到 10% 以上。新增天然气应优先保障居民生活和替代分散燃煤，组织实施城镇居民用能清洁化计划，到 2020 年，城镇居民基本用上天然气。”

(3) 2015 年出台的《四川省灰霾污染防治办法》要求：“市（州）人民政府应当依法划定高污染燃料禁燃区，公布禁燃区范围和高污染燃料种类。现有燃用高污染燃料的单位和个人，应当在市（州）人民政府规定的期限内停止使用或者改用清洁能源。”、“省人民政府确定的大气污染防治重点控制区内不得新建、扩建高污染燃料燃用设施设备。对现役燃煤的电厂、自备电站、供热锅炉、炼化企业锅炉、工业园区锅炉和工业炉窑等高污染燃料燃用设施设备逐步淘汰。”

(4) 2016 年 9 月成都市环境保护局印发了《关于进一步加强锅炉环保监督管理的通知》，要求全面执行锅炉大气污染物排放标准：新、改、扩建燃煤、生物质成型燃料锅炉大气污染物排放中颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、汞及其化合物、烟气黑度执行特别排放限值；在用燃煤、生物质成型燃料锅炉要严格按照环保部《关于执行特别排放限值的公告》（2013 年 14 号）和《关于执行大气污染物特别排放限值有关问题的复函》（环办大气函[2016]1087 号）的规定执行。

(5) 2016 年 12 月四川省省委办公厅印发《关于印发四川省环境污染防治三大战役实施方案的通知》，要求淘汰每小时 10 蒸吨及以下燃煤锅炉，禁止新建城市建成区每小时 20 蒸吨以下燃煤锅炉，完成每小时 20 蒸吨及以上的燃煤锅炉脱硫设施建设。扩大高污染燃料禁燃区范围，在县级及以上城市建成区全面实施煤改气、煤改电，逐步实现工业园区集中供热，到 2020 年全省煤炭消费总量削减到 7700 万吨以内，比 2015 年下降 14%。

(6) 2017 年 2 月四川省人民政府印发了《四川省“十三五”环境空气质量和主要大气污染物总量减排指标目标任务分解计划》，成都市到 2020 年 PM_{2.5} 年均浓度基本目标为下降 22.9%，优良天数提高 11.7%，二氧化硫、氮氧化物重点工程减排量不得少于 0.83 万吨、0.59 万吨。

(7) 2017 年 3 月成都市人民政府办公厅印发了《成都市大气污染防治行动方案 2017 年度重点任务》，要求大力推进在用燃煤及生物质（成型生物质除外）锅炉淘汰，全市高污染燃料禁燃区内所有燃煤、木材及生物质锅炉“清零”，加快高污染燃料禁燃区外 10 蒸吨及以下燃煤锅炉淘汰，全市燃煤锅炉淘汰 50% 以上。同时全市范围内不再新建燃煤、木材、生物质锅炉。重点任务还包括制定补助政策，推进高污染燃料禁燃区内燃气锅炉低氮燃烧技术改造，氮氧化物浓度控制在 30mg/m³ 以下；全市新建燃气锅炉必须加装低氮燃烧装置，氮氧化物浓度控制在 30mg/m³ 以下。

(8) 2017年5月四川省政府办公厅印发《四川省大气污染防治行动计划实施细则2017年度计划》中要求“完成燃煤小锅炉淘汰”，并“依法划定高污染燃料禁燃区，加大执法检查力度，禁燃区内禁止燃烧各类高污染燃料”。

(9) 2017年6月成都市正式出台了《实施“成都治霾十条”推进铁腕治霾工作方案》，围绕源头治理，成都将从“加快淘汰落后产能，全面清理整治‘小散乱污’企业”“强化露天焚烧常态化管控，中心城区烧烤店实施‘炭改电’”“全面推进燃煤锅炉、燃油发电清洁能源替代，高污染燃料禁燃区内所有燃煤锅炉‘清零’”三个方面进行治理。“2017年起全市范围内不再新建燃煤锅炉和生物质锅炉（成型生物质锅炉除外）。”“同时推进高污染燃料禁燃区内燃气锅炉低氮燃烧技术改造，引导新建燃气锅炉加装低氮燃烧装置。”

上述一系列政策性文件表明成都市已在全市范围禁止新建燃煤等高污染燃料锅炉；全部淘汰高污染燃料禁燃区内燃煤锅炉，在淘汰高污染燃料禁燃区外10蒸吨及以下燃煤锅炉的基础上在全市范围内逐步淘汰全部燃煤锅炉；同时将严格控制燃气锅炉氮氧化物排放。因此亟待制定成都市锅炉大气污染物排放标准，为能源结构调整、清洁能源替代及污染物总量减排等工作提供有力推手。

2.3 锅炉生产及污染控制技术迅猛发展

随着我国制造业的不断发展壮大，锅炉制造也取得了长足的进步，目前已可以生产多种不同压力等级和容量的锅炉，成为当今世界锅炉生产和使用最多的国家。随着节能减排、可再生能源利用等政策的推行，国家推出了一系列的节能减排政策和措施，鼓励研发高效率、低能耗、低排放的产品，锅炉生产逐步向着专业化、大容量、余热余能利用等方向发展。工业锅炉的产品结构、燃烧方式发生了不同程度的变化，流化床锅炉、生物质锅炉、余热锅炉等得到了较快的发展。

在锅炉生产技术不断提高的同时，现行严格的环境管理政策使得锅炉大气污染控制技术也在不断进步。除尘设施已不局限于单筒、多管等机械式除尘器或湿式除尘器，热电联产及大型燃煤工业锅炉多采用除尘效率更高的静电或布袋除尘器，甚至是采用电袋复合除尘达到超低排放要求。氮氧化物作为一次污染物及生成臭氧的重要前体物，在目前以及未来一段时期都是大气环境管理和污染源排放控制的重点污染物。锅炉氮氧化物控制也已提上了环境管理工作的日程。低氮燃烧技术、SCR及SNCR等末端治理技术逐步开始在燃煤锅炉氮氧化物控制中使用，作为清洁能源的燃气、燃油锅炉也开始应用分级燃烧、预混燃烧等低氮燃烧技术优化燃烧方式，以满足越来越严格的环境管理要求。

2.4 燃气锅炉氮氧化物排放急需严格控制

根据《成都市大气污染防治行动方案（2014-2017年）》、《成都市锅炉大气污染物排放专项整治工作方案（2014-2017）》的要求，全市优化能源消费结构，实施燃煤消费总量控制，逐步扩大禁煤区域，加快推进电力及天然气基础设施建设。截至2016年底全市累计淘汰燃煤锅炉1100多台，并逐步推进清洁能源替代。目前全市共有工业锅炉（不包括电站锅炉及生活锅炉）约3300台，其中燃气/油锅炉约2330台，占全市锅炉总台数的70%以上；其总出力7100蒸吨，占全市锅炉总出力的60%。2016年全市天然气用量约近60亿立方米，其中工业用气量约30亿立方米，随着能源结构调整，未来天然气能源比重还将增加。

全面开展清洁能源替代工作有力地支撑了成都市环境空气质量改善。较2013年，2016年全市PM_{2.5}、SO₂年平均浓度分别下降35%和56%，但NO_x年平均浓度下降幅度偏小，为14%，2016年NO_x还出现了同比上升趋势，上升了2%。天然气等清洁能源消费量显著增加是造成NO_x不降反升的原因之一。因此必须及早谋划，进一步加严燃气锅炉排放标准，有效控制NO_x排放总量增长。

2.5 生物质燃料锅炉大气污染排放要求亟待完善

近年来，随着我国大气质量的日趋恶化，在中小型工业锅炉上限制使用高污染燃料并改用清洁燃料，已经成为政府和民间的社会共识。部分区域划定了“高污染燃料禁燃区”并详细规定了高污染燃料的种类。在禁燃区内，以常规的清洁燃料（例如天然气）替代常规的高污染燃料（例如煤炭），不仅意味着燃料成本的大幅上升、降低企业竞争力同时对燃气供应也提出了更高的要求。在此背景下，生物质燃料锅炉得到了部分企业的青睐。然而，生物质燃料锅炉的发展也遇到了一些困扰，比如相关的法律法规不健全、市场上生物质燃料及生物质燃料锅炉质量良莠不齐。同时，由于生物质燃料中干燥无灰基挥发分高及其特殊的燃烧过程，用燃煤工业锅炉排放标准衡量生物质燃料锅炉是否恰当也受到了人们的关注。因此亟待完善生物质燃料锅炉的大气污染排放要求，使其环境管理工作有法可依。

2.6 地方排放标准分析

为了进一步防治锅炉大气污染物排放造成的污染，推进治污减排，改善环境质量，我国多个省市相继制订了锅炉大气污染物排放的地方标准。2014年《锅炉大气污染物排放标准》（GB13271-2014）修订后，北京市、上海市、天津市、广东省等省市根据地方环境管理需求也陆续对其地方标准进行了修订，修订内容主要有：进一步收严了大气污染物排放限值，特别是氮氧化物排放限值；按高污染燃料禁燃区内、外给定了在用锅炉的大气污染物排放限值；增加了汞及其化合物等污染控制项目；明确了燃用生物质锅炉大气污染物排放限值等，对锅炉大气

污染物的控制提出了更高要求。

表2-1 各省市锅炉大气污染物制修订情况

省(市)	标准名称	发布及修订情况
北京市	锅炉大气污染物排放标准 DB11/139	2002年首次发布, 2007、2015年进行两次修订
天津市	锅炉大气污染物排放标准 DB12/151	1999年首次发布, 2003、2016年进行两次修订
重庆市	锅炉大气污染物排放标准 DB50/658	2016年首次发布
广东省	锅炉大气污染物排放标准 DB44/765	2010年首次发布, 2017年修订稿正在征求意见
上海市	锅炉大气污染物排放标准 DB31/387	2007年首次发布, 2014年第一次修订, 2017年第二次修订稿正在征求意见
河北省	燃煤锅炉氮氧化物排放标准 DB13/2170	2015年首次发布

2.6.1 北京市

北京市《锅炉大气污染物排放标准》(DB11/139-2015)于2015年5月发布,自2015年7月1日开始实施。北京市排放标准的修订是基于全市能源结构调整、全市范围内禁止新建燃煤锅炉、严控新建及在用燃气锅炉氮氧化物排放的原则。

表2-2 新建锅炉大气污染物排放浓度限值

污染物项目	2017年3月31日前的新建锅炉	2017年4月1日起的新建锅炉
颗粒物 (mg/m^3)	5	10
二氧化硫 (mg/m^3)	10	10
氮氧化物 (mg/m^3)	80	30
汞及其化合物 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.5	0.5
烟气黑度(林格曼,级)	1级	1级

表2-3 在用锅炉大气污染物排放浓度限值

污染物项目	高污染燃料禁燃区内	高污染燃料禁燃区外
	2017年4月1日后	标准实施之日起
颗粒物 (mg/m^3)	5	10
二氧化硫 (mg/m^3)	10	20
氮氧化物 (mg/m^3)	80	150
汞及其化合物 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.5	30
烟气黑度(林格曼,级)	1级	1级

2.6.2 天津市

天津市《锅炉大气污染物排放标准》(DB12/151-2016)于2016年7月发布,2016年8月1日开始实施。天津市标准中明确要求燃煤锅炉在高污染燃料禁燃区内“禁排”,针对在用锅炉的颗粒物、二氧化硫在国标特别排放限值的基础上进行了一定程度的收严;对新建锅炉尤其是燃油、燃气锅炉的氮氧化物限值进行了收严。

表2-4 在用锅炉大气污染物排放浓度限值

单位: mg/Nm³

污染物项目		高污染燃料禁燃区内		高污染燃料禁燃区外	
		17年12月31日前	18年1月1日起	17年12月31日前	18年1月1日起
燃煤锅炉	颗粒物	30	禁排	30	30
	二氧化硫	200	禁排	200	100
	氮氧化物	400	禁排	400	200
	汞及其化合物	0.05	禁排	0.05	0.05
燃油锅炉	颗粒物	30		30	
	二氧化硫	50		50	
	氮氧化物	300		300	
燃气锅炉	颗粒物	10		10	
	二氧化硫	20		20	
	氮氧化物	150		150	
烟气黑度(林格曼,级)		≤1			

表2-5 新建锅炉大气污染物排放浓度限值

单位: mg/Nm³

污染物项目	燃油、燃气锅炉	燃煤锅炉
颗粒物	10	20
二氧化硫	20	50
氮氧化物	80	150
汞及其化合物	-	0.05
烟气黑度(林格曼,级)	≤1	

2.6.3 重庆市

重庆市《锅炉大气污染物排放标准》(DB50/658-2016)于2016年1月发布,自2016年2月1日开始实施。重庆市标准考虑至市域面积大、范围广,将标准适用区域分为主城区、影响区及其他区域,其主城区标准执行限值基本与国标特别排放限值一致,影响区及其他区域基本与国标新建锅炉排放限值一致。

表2-6 在用锅炉大气污染物排放浓度限值

单位：mg/m³

污染物项目	适用区域	污染物排放限值		
		燃煤锅炉	燃油锅炉	燃气锅炉
颗粒物	主城区	30	30	30
	影响区	50	60	30
	其他区域	80		
二氧化硫	主城区	200	200	50
	影响区	400	300	100
	其他区域	550		
氮氧化物	主城区	200	300	400
	影响区	400	400	400
	其他区域			
汞及其化合物		0.05	-	-
烟气黑度（林格曼黑度，级）		≤1		

表2-7 新建锅炉大气污染物排放浓度限值

单位：mg/m³

污染物项目	适用区域	污染物排放限值		
		燃煤锅炉	燃油锅炉	燃气锅炉
颗粒物	主城区	30	30	20
	影响区	30	30	20
	其他区域	50		
二氧化硫	主城区	50	100	50
	影响区	200	200	50
	其他区域	300		
氮氧化物	主城区	200	200	200
	影响区	200	250	200
	其他区域	300		
汞及其化合物		0.05	-	-
烟气黑度（林格曼黑度，级）		≤1		

2.6.3 上海市

2017年上海市启动了该标准的二次修订工作，目前正在征求意见中。此次标准修订基于上海市的能源结构定位与调整方向，结合环境需求，以氮氧化物控制为重点，设定了严格的大气污染物排放限，同时对燃生物质锅炉的标准限值提出了明确要求。

表2-8 在用锅炉大气污染物排放限值（单位：mg/Nm³）

锅炉类别	烟尘	二氧化硫	氮氧化物 (以 NO ₂ 计)	汞及其化合物 (以 Hg 计)	烟气黑度 (林格曼, 级)	监控位置
燃煤锅炉	20	100	150	0.03	1	烟道或烟囱
燃油锅炉		100		-		
燃气锅炉		20		-		

表2-9 新建锅炉大气污染物排放限值（单位：mg/Nm³）

锅炉类别	烟尘	二氧化硫	氮氧化物 (以 NO ₂ 计)	汞及其化合物 (以 Hg 计)	烟气黑度 (林格曼, 级)	监控位置
燃煤锅炉	禁排				1	烟道或烟囱
燃油锅炉	10	20	50 ⁽¹⁾	-		
燃气锅炉			80 ⁽²⁾			
燃气锅炉		10	50	-		

注：（1）位于本市外环线区域内的燃油锅炉执行该标准
（2）位于本市外环线区域外的燃油锅炉执行该标准

表2-10 燃生物质锅炉大气污染物排放限值（单位：mg/Nm³）

锅炉类别	烟尘	二氧化硫	氮氧化物 (以 NO ₂ 计)	汞及其化合物 (以 Hg 计)	一氧化碳	烟气黑度(林格曼, 级)	监控位置
燃生物质锅炉	20 10 ⁽¹⁾	20	150	0.03	100	1	烟道或烟囱

注：（1）新建燃生物质锅炉自实施之日起执行该限值，在用燃生物质锅炉自 2020 年 1 月 1 日起执行该限值。

2.7 国外燃气锅炉排放标准分析

2.7.1 美国加州燃气锅炉

美国加利福尼亚州的锅炉排放法规最为复杂和严苛。加州空气质量管理局将全州划分为 35 个地方空气污染控制区 (APCD's) 和空气质量管理区 (AQMD's)，每个控制区或管理区均颁布实施各自的污染物排放控制标准及控制计划。其中以加州南海岸空气质量管理区和圣华金河谷空气质量管理区的标准限值最为严格。

（1）加州南海岸空气质量管理区

以加州南海岸空气质量管理区 (AQMD) 为例，其制定的法规 1146 规定了工业和商业锅炉的 NO_x 排放浓度限值，法规 1146.1 管理来自小型工业和商业锅炉的 NO_x 排放浓度限值。

加州南海岸空气质量管理区分别于 1989、2000、2008、2013 年修订了辖区内燃气工业和商业锅炉的 NO_x 排放限值，表 2-11 列出了排放限值及达标时间。

表 2-11 加州南海岸空气质量管理区燃气锅炉 NO_x 排放限值

分类	排放限值 (mg/m ³)	执行时间
所有燃气锅炉	60	2008 年 9 月 5 日
≥22MW	10	2013 年 1 月 1 日
6≤P<22	18	2014 年 1 月 1 日
	10	2016 年 1 月 1 日
1.5<P<6	18	2015 年 1 月 1 日
0.6<P<1.5	24	2015 年 1 月 1 日

(2) 圣华金河谷空气质量管理区

圣华金河谷空气质量管理区分别于 2003、2005、2008、2011、2016 年修订了辖区内燃气工业锅炉的排放限值，除了 NO_x 还对 CO 提出了控制要求，表 2-12 列出了排放限值及达标时间。

表 2-12 圣华金河谷空气质量管理区燃气锅炉排放限值

额定功率 (MW)	NO _x 排放限值 (mg/m ³)	CO 排放限值 (mg/m ³)	执行时间
1.5<P≤6	30	500	2007 年 6 月 1 日
P>6	18	500	2007 年 6 月 1 日
P≤1.5 (在用)	60	500	2009 年 7 月 1 日
P≤1.5 (新、改建)	24	500	2009 年 7 月 1 日
1.5<P≤6	18	500	2012 年 7 月 1 日
1.5<P≤6	12	500	2014 年 1 月 1 日
P>6	14	500	2010 年 7 月 1 日
P>6	10	500	2014 年 1 月 1 日

2.7.3 欧盟燃气工业锅炉

欧盟在《气体燃料用自动强制送风燃烧器》(BS EN676-2008) 中对 NO_x 的排放水平分了三个等级，该 NO_x 分类等级自 2000 年版《气体燃料用自动强制送风燃烧器》一直沿用至今，见表 2-13。

表 2-13 《气体燃料用自动强制送风燃烧器》中 NO_x 排放限值

等级	NO _x 排放限值 (mg/m ³)
1	171
2	120
3	80

3 标准编制的依据、原则和方法思路

3.1 编制依据

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》
- (2) 《中华人民共和国大气污染防治法》
- (3) 《四川省灰霾污染防治办法》，四川省人民政府令第 288 号
- (4) 《加强国家污染物排放标准制修订工作的指导意见》，国家环境保护总局公告 2007 年第 17 号
- (5) 《国家环境保护标准制修订工作管理办法》，国家环境保护部公告 国环规科技[2017]1 号
- (6) 《地方环境质量和污染物排放标准备案管理办法》，国家环境保护部令 2010 年第 9 号
- (7) 《关于加强国家环境保护标准技术管理工作的通知》，环科函〔2007〕31 号
- (8) 《国务院关于印发大气污染防治行动计划的通知》，国务院办公厅国发[2013]37 号
- (9) 《重点区域大气污染防治“十二五”规划》四川省实施方案，四川省人民政府川府函〔2013〕181 号
- (10) 《关于执行大气污染物特别排放限值的公告》，环境保护部 2013 年第 14 号
- (11) 《关于印发成都市大气污染防治行动方案（2014-2017 年）的通知》，成都市人民政府成府发[2014]8 号
- (12) 《成都市锅炉大气污染物排放专项整治工作方案（2014-2017）》
- (13) 《关于执行大气污染物特别排放限值有关问题的复函》，环境保护部环办大气函[2016]1087 号
- (14) 成都市环境保护局、成都市经济和信息化委员会、成都市城市管理局、成都市质量技术监督局、成都市商务局、成都市工商行政管理局、成都市旅游局联合发布《关于划定高污染燃料禁燃区的通告》
- (15) 《四川省污染防治“三大战役”实施方案》，中共四川省委办公厅川委厅[2016]92 号
- (16) 《关于进一步加强锅炉环保监督管理的通知》，成都市环境保护局成环气[2016]263 号
- (17) 《四川省“十三五”环境空气质量和主要大气污染物总量减排指标目标

任务分解计划》，四川省人民政府办公厅川办发[2017]18号

(18)《关于印发成都市大气污染防治行动方案 2017 年度重点任务的通知》，成都市人民政府办公厅成办函[2017]47号

(19)《四川省人民政府关于印发四川省大气污染防治行动计划实施细则 2017 年度计划》，四川省人民政府川办函[2017]102号

(20)《实施“成都治霾十条”推进铁腕治霾工作方案》

(21)《中共四川省委关于推进绿色发展建设美丽四川的决定》

3.2 制订原则

(1) 以科学发展观为指导，结合“推进绿色发展建设美丽四川”战略目标，以生态文明建设为统领，以加快经济发展方式转变为主线，以实现经济社会可持续发展为目标，以国家和地方环境保护相关法律、法规、政策和规划为依据，通过制订和实施标准，优化能源结构，促进清洁能源改造，控制成都市锅炉大气污染物排放，改善环境空气质量。

(2) 与我国现行的有关环境保护法律法规《环境空气质量标准》(GB3095)、《锅炉大气污染物排放标准》(GB13271)相衔接，与环境保护的方针政策相一致，结合成都市实际情况和经济技术可行性，依照环境标准修订工作规范进行制订，体现本次制订的科学性、系统性、协调性。

(3) 标准具有管理可操作性与技术可行性，能够适应成都市经济社会发展和环境保护管理的需要，促进锅炉生产、运行和污染治理的技术升级和进步，带动环保产业发展。

(4) 充分分析燃气锅炉的低氮燃烧控制技术和改造中可能出现的问题，严格控制氮氧化物排放。

3.3 编制方法和思路

主要采用调研、实地监测及数据统计相结合的方法，具体思路如下：

(1) 调研环境管理要求及国内、外锅炉大气污染物排放标准。

(2) 调研成都市锅炉在用情况、燃气锅炉低氮燃烧技术及行业相关政策；

(3) 监测成都市锅炉排放情况，尤其是低氮燃烧改造后的燃气锅炉和生物质燃料锅炉；

(4) 开展全市锅炉生产、安装和使用企业座谈交流，分析燃气工业锅炉低氮燃烧技术应用情况及其 NO_x 排放水平，分析改造成本及可能出现的问题。

(5) 整理、分析、比较调研资料和实测数据，初步确定排放限值。

(6) 编写标准和编制说明草案。

(7) 咨询相关行业专家和管理部门意见，根据反馈意见，对标准草案和编制说明修订，定稿。

4 成都市工业锅炉使用及排放现状

4.1 使用现状

根据《成都市大气污染防治行动方案（2014-2017年）》、《成都市锅炉大气污染物排放专项整治工作方案（2014-2017）》的要求，截止2016年底成都市累计淘汰燃煤锅炉1100多台，目前现有工业锅炉（不包括电站锅炉及生活锅炉）约3300台，额定负荷约12000蒸吨。

4.1.1 燃料类型分布

成都市在用工业锅炉中有燃煤锅炉750余台，额定负荷约2800蒸吨，年燃用原煤（由用户统计或估算）约111万吨；燃气、燃油锅炉约2330台，额定负荷约7100蒸吨，年燃用天然气（由用户统计或估算）约11亿立方米（占全市工业用气量的37%左右、用气总量的19%左右，折算标煤约134万吨）；生物质锅炉近100台，额定负荷810蒸吨，年燃用生物质（由用户统计或估算）约50万吨（其中生物质成型燃料约20万吨）；电加热锅炉约40台，额定负荷30蒸吨；其它燃料锅炉60余台，额定负荷980蒸吨。

从燃料类型上看，全市燃煤小锅炉淘汰成效显著，燃煤锅炉数量明显减少，仅占全市锅炉数量的22.9%，额定负荷占总负荷的23.9%；燃气锅炉比重较大，达到锅炉总数的70.8%，额定负荷占总负荷的60.5%。

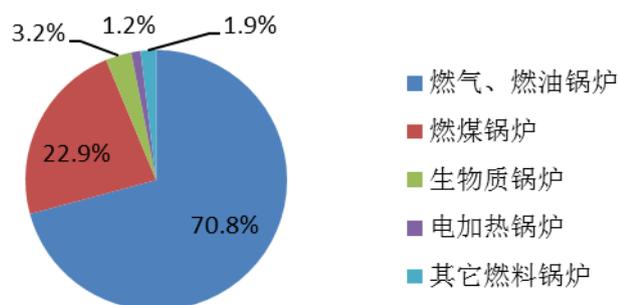


图 4-1 成都市工业锅炉燃料分布

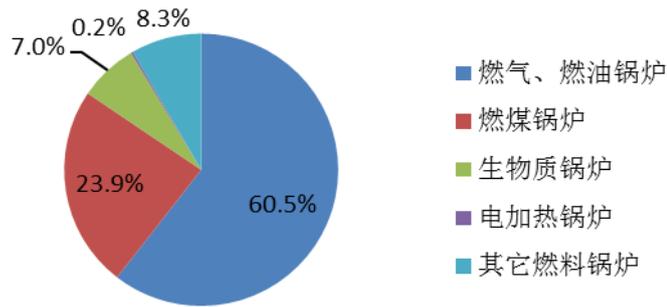


图 4-2 成都市各种燃料类型锅炉额定负荷分布

4.1.2 规模分布

从规模分布上看，全市锅炉规模主要以 4t/h 以下的小锅炉为主，占锅炉总数的 80%以上，额定负荷占总负荷的 45%。10t/h 以上规模较大的锅炉数量仅占锅炉总数的 7.5%，额定负荷占总负荷的 9.3%。燃气锅炉平均额定功率为 3.1 蒸吨。

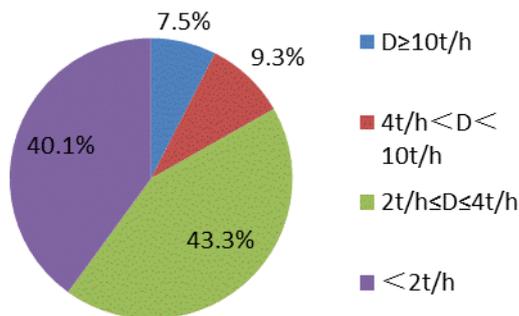


图 4-3 成都市工业锅炉规模分布

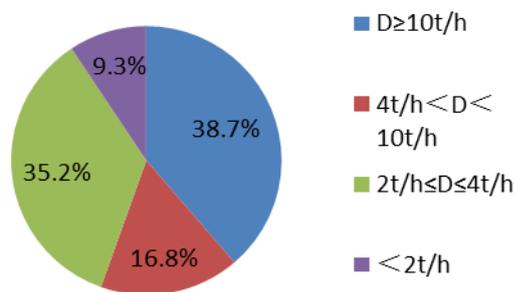


图 4-4 成都各种规模工业锅炉额定负荷分布

4.1.3 区域分布

从区域分布上看，成都市工业锅炉主要分布在中心五城区以外的区县，其中新都区、崇州、双流锅炉数量较多。

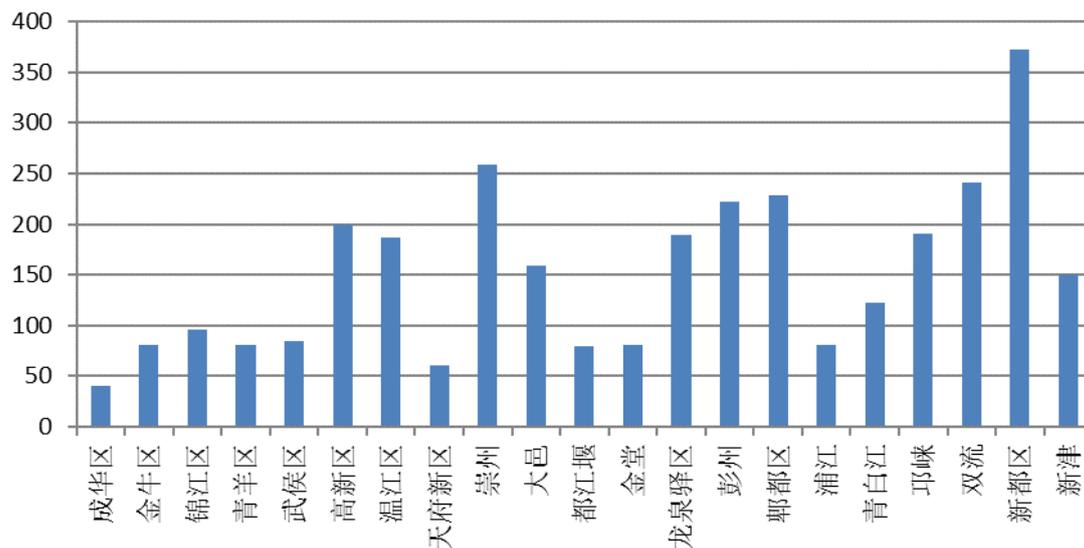


图 4-5 成都市工业锅炉区域分布

4.2 排放及达标现状

工业锅炉大气污染物排放水平与锅炉容量、燃料类型及污染物控制设施运行情况有很大关系，课题组统计了 2015 年至 2017 年上半年以来全市 2094 台工业锅炉的监测数据及污染治理情况，以此对成都市锅炉排放及治理现状进行分析。

4.2.1 燃煤锅炉

参与统计的燃煤锅炉共计 808 台，颗粒物、二氧化硫及氮氧化物平均排放浓度分别为 $421\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $709\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $245\text{mg}/\text{m}^3$ ，达标率（达到国标特别排放限值要求）分别为 8%、28%、33%。造成颗粒物及二氧化硫排放浓度较高的主要原因是污染治理设施不到位，参与统计的锅炉中 80% 以上没有采取任何除尘措施或者仅采用除尘效果较差的机械除尘方式，80% 以上的锅炉没有采取任何脱硫措施。

燃煤锅炉氮氧化物治理措施主要包括低氮燃烧技术及末端治理措施。由于燃料分级技术、空气分级技术、烟气再循环技术（FGR）、低氮燃烧器等低氮燃烧技术对锅炉运行水平要求较高，但成都市燃煤工业锅炉普遍运行粗放、缺乏计量仪器仪表、自动控制水平低，实施低氮燃烧技术难度较高，因此目前尚无企业实施燃煤工业锅炉低氮燃烧（循环流化床低温燃烧除外）。同时，由于 SCR、SNCR 等末端治理措施运行成本较高，且治理效果随着负荷及煤种变动较大，统计的锅

炉中也仅有 27 台进行了氮氧化物末端治理，仅占 3%。

4.2.2 燃气、燃油锅炉

截至 2017 年 7 月前，参与统计的燃气锅炉共计 1048 台，燃油锅炉 133 台。燃气、燃油锅炉因燃用清洁能源，颗粒物平均排放浓度仅为 $6\text{mg}/\text{m}^3$ ，二氧化硫排放浓度也较低，在合理组织燃烧的情况下均可达标排放。氮氧化物平均排放浓度为 $113\text{mg}/\text{m}^3$ ，排放浓度低于 $150\text{mg}/\text{m}^3$ 的占 93%，低于 $80\text{mg}/\text{m}^3$ 的占 18%。

2017 年 6 月成都市出台《实施“成都治霾十条”推进铁腕治霾工作方案》后，全市已新建 75 台低氮燃烧燃气锅炉，同时完成了 2 台旧锅炉的低氮改造，锅炉额定负荷 1 至 15t/h 不等。上述 77 台锅炉均通过了低氮改造验收监测，氮氧化物排放浓度在运行工况下的监测值基本可达到 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 。

4.2.3 生物质燃料锅炉

成都市生物质燃料锅炉发展较为混乱，过去多以散烧生物质锅炉为主，且烟气基本未采取治理措施。近年来在燃煤小锅炉淘汰的同时，对生物质锅炉也采取整顿措施，部分散烧生物质锅炉也随之关停淘汰。目前成都市燃用生物质燃料的锅炉有近 100 台。经统计，生物质燃料锅炉烟气未经末端治理的情况下，二氧化硫可达到现行标准要求。60%的生物质燃料锅炉采用了布袋除尘器除尘，其中约 50%可达到 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 限值要求。氮氧化物平均排放浓度为 $434\text{mg}/\text{m}^3$ ，其低氮措施主要采用低氮燃烧或尾部烟气处理，约有 30 台采用了低氮燃烧技术，12 台采用尾部烟气脱硝措施，低于 $200\text{mg}/\text{m}^3$ 的占 21%，低于 $150\text{mg}/\text{m}^3$ 的仅有 12%。

从以上成都市工业锅炉排放及达标现状分析来看，目前成都市锅炉大气污染物排放及达标现状不容乐观，主要存在以下问题：

（1）尽管淘汰燃煤小锅炉力度较大，但剩余规模较大的燃煤锅炉仍存在治理水平低、排放浓度高等问题。

（2）随着能源结构的调整，燃气锅炉规模及数量逐年攀升，但由于未采用低氮燃烧技术，锅炉首要污染物已开始转变为氮氧化物。

（3）生物质燃料锅炉发展混乱，低氮燃烧技术应用不到位，末端治理水平低，监管效果差，亟待完善标准及相关政策要求，引导其健康发展。

5 污染防治技术分析

5.1 燃气锅炉低氮燃烧技术

燃烧理论将 NO_x 的生成分为热力型 NO_x 、快速型 NO_x 和燃料型 NO_x ，燃气锅炉生成的氮氧化物中 95% 属于热力型氮。燃气锅炉低氮燃烧技术是根据燃烧过程中 NO_x 的生成机理，通过改进燃烧技术来降低燃烧过程 NO_x 的生成与排放，主要途径有：①降低燃料周围的氧浓度，减小炉内过剩空气系数，降低炉内空气总量，或减小一次风量及挥发分燃尽前燃料与二次风的混和，降低着火区段的氧浓度；②在氧浓度较低条件下，维持足够的停留时间，抑制燃料中的氮生成 NO_x ，同时还原分解已生成的 NO_x ；③在空气过剩的条件下，降低燃烧温度，减少热力型 NO_x 的生成。低氮燃烧技术一般可使 NO_x 的排放量降低 30%~60%。目前国内外应用较广泛的主要包括分级燃烧技术、烟气再循环技术、贫燃预混燃烧技术以及综合运用上述技术的低氮燃烧器。

5.1.1 分级燃烧技术

燃气工业锅炉低氮改造中，分级燃烧技术可分为空气分级与燃料分级两种。

空气分级燃烧技术的基本原理是将燃料的燃烧过程分阶段完成。根据这一原理，为降低 NO_x 的生成，将燃烧用风分为一、二次风，减少燃烧区域的一次风量，使得在燃烧器出口附近的着火区形成一个贫氧富燃料区域，由于燃烧速度和温度峰值降低，减少热力型 NO_x 。其余空气以二次或三次风形式送入，使燃料进入空气过剩区域（燃尽区），燃尽风迅速与燃烧产物混合，保证燃尽。虽然这时空气量多，但由于火焰温度较低，在二次燃烧区内不会产生较多的 NO_x ，因而总的 NO_x 生成量得以控制。空气分级燃烧可分为炉膛内的空气分级和单个燃烧器的空气分级燃烧。燃烧器实现分级燃烧，是通过推迟混合、分级送入二次风或三次风控制燃烧过程。由于推迟二次风，形成还原区，在火焰中将已生成的 NO_x 还原，其原理如图 5-1。

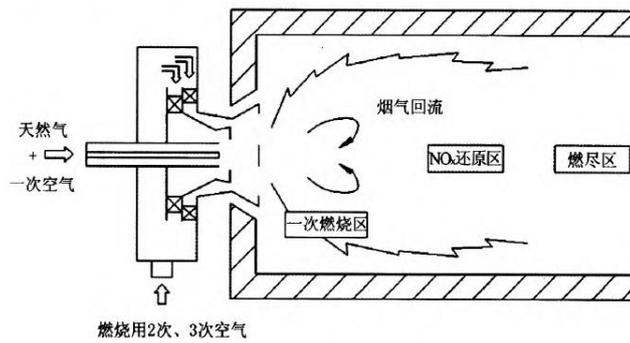


图5-1 空气分级燃烧技术降低NO_x原理图

燃料分级燃烧技术又称为三级燃烧技术或再燃烧技术，空气和燃料都分级送入炉膛，形成主燃区、再燃区和燃尽区，其原理如图 5-2。主燃区是氧化性或弱还原性气氛；在再燃区内，将二次燃料送入炉内，使其呈还原性气氛，在高温和还原气氛下，生成碳氢原子团，该原子团与主燃区生成的 NO_x 反应，还原生成 N₂；为保证燃料完全燃烧，需在再燃区下游喷入二次风（燃尽风）形成燃尽区，促进 CO 和未燃尽的碳氢化合物（UHC）的燃烧。该技术的应用中燃料比例是关键控制因素之一。

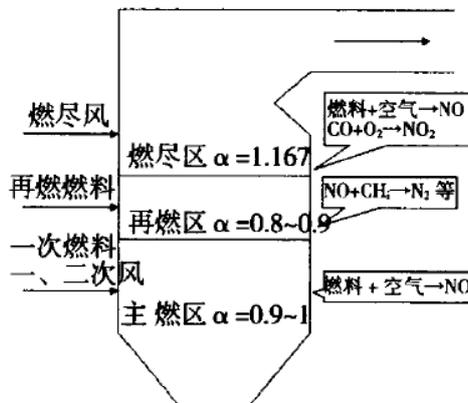


图5-2 燃料分级燃烧技术降低NO_x原理图

5.1.2 烟气再循环技术

烟气再循环技术是把一部分炉膛尾气返回配风系统，从而降低燃烧温度和氧的浓度，达到降低 NO_x 生成量的目的。将烟气的燃烧产物加入到燃烧区域内，不仅降低了燃烧温度，减少了 NO_x 生成；同时加入的烟气降低了氧气的分压，这将减弱氧气与氮气生成热力型 NO_x 的过程，从而减少 NO_x 的生成。根据应用原理的不同，烟气再循环有两种应用方式，分别为烟气外循环与烟气内循环。

烟气外循环一般是从锅炉尾部节能器烟气出口抽取烟气，加入到二次风或一次风内，再通过燃烧风机或再循环风机送入炉膛。烟气内循环是通过燃烧器的锥形喉口、燃烧头、燃烧风喷嘴、二次风分级等诸多设计，在炉膛内形成回流区，

实现烟气内循环。烟气再循环的效果与再循环烟气量有关,但再循环量不能太大,否则炉温降低太多,燃烧不稳定,一般再循环率为 10%~20%。

5.1.3 贫燃预混燃烧技术

贫燃预混燃烧是指在混合物点燃之前燃料与氧化剂在分子层面上完全混合。对于控制 NO_x 的生成,这项技术的优点是可以通过当量比的完全控制实现对燃烧温度的控制,从而降低热力型 NO_x 生成速率,在有些情况下,预混燃烧和部分预混可比非预混燃烧减少 85%—90%的 NO_x 生成。另外,完全预混还可以减少因过量空气系数不均匀性所导致对 NO_x 生成控制的降低。但是,预混燃烧技术在安全性控制上仍存在未解决的技术难点:一是预混气体由于其高度可燃性可能会导致回火;二是过高的过量空气系数会导致排烟损失的增加,降低了锅炉热效率。

5.1.4 低氮燃烧器

低氮燃烧器是通过特殊设计的燃烧器结构,改变燃烧器的空燃比,使在燃烧器内部或出口射流的空气分级,以控制燃烧器中燃料与空气的混合过程,尽可能降低着火区的温度,降低着火区的氧浓度,在保证燃料着火和燃烧的同时能有效地抑制 NO_x 的生成。并在富燃料燃烧条件下,选择合适的停留时间和温度使“N”最大限度的转化成“N₂”,以达到减少 NO_x 排放的目的。由于采用低氮燃烧技术,燃烧器的火焰长度和直径较传统增大,炉膛尺寸也必须作相应的调整。低 NO 燃烧器将一个燃烧区改变为三个区,即主燃区、还原区、燃尽区。低氮燃烧火焰长度加长,对于卧式结构锅炉,炉膛长度必须与火焰长度匹配进行加长;另外,由于空气分级、燃料分级,燃烧器布风口和布气嘴的面板直径增大,燃烧火焰直径也加大。因此更换低氮燃烧器的前提是锅炉燃烧室尺寸与新燃烧器火焰匹配。

5.2 工业锅炉末端治理技术

5.2.1 颗粒物控制技术

目前锅炉烟气除尘方法主要有机械式除尘器、袋式除尘器、静电除尘器及电袋复合除尘技术。机械除尘器虽具有结构简单、易于维护等特点,但除尘效率仅为 40%~50%,单一使用已不能满足环境管理要求。为进一步提高除尘技术指标,锅炉烟气除尘应更多地选择袋式除尘器、静电除尘器等先进技术。

(1) 袋式除尘器

燃煤锅炉应用袋式除尘器已是一项成熟技术,特别是非织物的聚合物滤材和金属丝织物混合物滤材的发展,使其应用日益广泛。脉冲喷吹式布袋除尘器由于

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除尘装置。一般来说,袋式除尘器不受尘的比电阻、浓度、粒度等性质的影响,特别对静电除尘器不易捕集的高比电阻尘粒很有效;适应的质量浓度范围大,对烟气流速的变化也具有一定的稳定性;袋式除尘器的投资和运行费低于静电除尘器;除尘效率可达 99.5%。

(2) 静电除尘器

静电除尘器是利用高压电场使颗粒荷电,在库伦力作用下使颗粒与气流分离沉降的装置。其优点是工作容量大;除尘效率高,可达 99% 以上;可处理高温、高压的含尘气流。

静电除尘设备占地面积大,一次性投资费用高,运行维护费用多,且没有脱硫功能。锅炉工况和负荷的变化等影响其净化效率,导致排放浓度不稳定;对煤种变化较敏感,除尘效率受飞灰电阻影响大(最适宜比电阻为 $10^4 \sim 5 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ 的粉尘粒子);制造、安装及运行管理水平要求高。

(3) 电袋复合除尘

电除尘器和袋式除尘器是工业锅炉烟尘治理的两种主要传统设备。电除尘器具有处理烟气量大,运行阻力低等优点,但其除尘效率容易受烟气粉尘特性的影响而发生波动;袋式除尘器排放浓度低,不受粉尘特性影响,但存在系统阻力大、能耗高、运行维护工作量大等缺点。

电袋复合除尘器有机结合了静电除尘和过滤除尘两种原理,首先应用静电除尘原理使粉尘预荷电并收集下大部分粉尘,荷电粉尘改变了粉尘的过滤特性,然后应用静电除尘原理,在保持前级电场收尘性能的前提下,利用前级电场的荷电,减少滤袋尘负荷,提高滤袋过滤风速,降低滤袋阻力,延长滤袋寿命,实现稳定的低浓度排放。

表 5-1 颗粒物污染治理技术与效率

末端治理技术	除尘效率 (%)	平均值 (%)
静电除尘法(管式)	80~85	82
静电除尘法(卧式)	96~98	97
布袋除尘法	99	99
布袋除尘法/(静电除尘法+布袋除尘法)	99	99

5.2.2 烟气脱硫技术

烟气二氧化硫末端治理是我国目前减少燃煤产生二氧化硫的主要方法。按脱硫产物的干湿形态,烟气脱硫可分为湿法、半干法和干法工艺。目前工业锅炉采用较多的是湿法与半干法脱硫技术。

(1) 湿法脱硫技术

在众多的锅炉烟气脱硫技术中，湿法脱硫工艺一直占据主导地位。在世界上已建成的脱硫装置中，湿法脱硫装置占 85% 左右。湿法脱硫包括石灰石—石膏法、双碱法、氧化镁法和氨法等。目前，技术成熟、运行稳定的石灰石—石膏法是主流；氧化镁法是在近年来随着烟气脱硫技术不断发展和完善的过程中出现的一种新型烟气脱硫工艺；氨法脱硫由于具有资源回收利用的优势，在工业锅炉行业也有应用。

(2) 半干法脱硫技术

半干法脱硫技术包括旋转喷雾干燥法和循环流化床脱硫技术，其中以后者为半干法的代表技术。循环流化床烟气脱硫技术的原理是在流化床中通过控制通入烟气的速度，使喷入的吸收剂-石灰颗粒流化，在床中形成稠密颗粒悬浮区，然后再喷入适量的雾化水，充分进行反应。再利用高温烟气的热量使多余的水分蒸发，以形成干硫产物。其优点是可以通过喷水将床温控制在最佳反应温度下，达到最好的气固间紊流混合并使石灰新表面不断的暴露出来，参与反应，而且通过固体物料的多次循环使脱硫剂石灰在流化床内具有较长的停留时间，大大提高了脱硫效率及钙利用率。

表 5-2 工业锅炉常用烟气末端脱硫技术比较

脱硫技术	工艺原理	脱硫率	优势	不足
石灰石-石膏法	采用石灰石作为脱硫剂，制成浆液后与烟气接触混合，烟气中二氧化硫与浆液中的碳酸钙发生氧化反应，最终形成石膏。	> 95%	脱硫效率高，技术成熟，运行可靠性好；另外石灰石储量丰富，价格便宜。	占地面积较大、投资及运行费用高；副产物石膏再利用困难，堆存严重。
双碱法	可溶性的碱在塔内与二氧化硫反应生成可溶性的盐，在塔外添加钙基脱硫剂进行再生，并经过絮凝、沉淀、除渣等操作后将清液返回吸收塔重新吸收 SO ₂ 。	> 90%	脱硫效率高，塔外再生不易结垢、可靠性高、低液气比等。	系统比较复杂，占地面积较大，脱硫渣沉淀难度较大，副产品石膏难以再利用。
氧化镁法	用氧化镁熟化后生成的乳液作为吸收剂吸收 SO ₂ 。	> 90%	装置小型化，建设费用低；脱硫效率高，运行费用低；安全性能好，可靠性高。适合中小型锅炉脱硫。	镁资源缺乏的地区不适宜应用。
氨洗涤法	采用氨做吸收剂去除 SO ₂ 。	> 90%	脱硫效率高、无废渣排放、低液气比、低能耗，适合于高硫煤。	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。
循环流化床法	在流化床中喷入吸收剂-石灰颗粒流化，再喷入雾化水，吸收去除烟气中 SO ₂ 。	> 80%	技术成熟、工艺流程简单、运行费用低、副产品可利用。	脱硫效率相对湿法较低；对锅炉负荷变化适应性差；脱硫和除尘相互影响，脱硫系统之后必须再除尘。

5.2.3 烟气脱硝技术

目前最常见的烟气脱硝技术是选择性催化还原法和选择性非催化还原法。

(1) 选择性催化还原法 (SCR)

SCR 的基本原理是利用还原性气体 NH_3 在一定的温度和催化剂作用下, 有选择的把烟气中的 NO_x 还原为 N_2 和 H_2O 。由于 SCR 技术的成熟和高的脱硝率 (一般可达 70%~90%或以上), SCR 方法为国际上烟气脱硝的主流技术。但设备价格昂贵, 投资成本较高。尤其是催化剂, 在整个系统初期投资中占 30%~60%。而且后续催化剂磨损和中毒所引起的更换资金更多。由于加装 SCR 装置, 沿程、局部和催化剂本身引起的阻力增大, 引风机电耗增大。负压上升, 磨损也相应增加, 并且散热损失上升, 整体效率有所下降。因此昂贵的成本以及占地较大的 SCR 反应器限值了 SCR 技术在燃煤工业锅炉上的应用。

(2) 选择性非催化还原法 (SNCR)

SNCR 是把氨或尿素等含氨基的还原剂喷入炉膛温度在 900~1100℃ 的区。还原剂迅速分解成 NH_3 , 可选择性地把烟气中的 NO 还原为 N_2 和 H_2O , 基本上不与烟气中的氧气作用。SNCR 脱除效率中等, 不需要催化剂, 改造方便, 但是对温度和流动的要求比较苛刻。燃煤工业锅炉的尺寸比较小, 混合相对比较容易, 工业锅炉的炉膛温度恰好处于 SNCR 的反应窗口内, 因而在燃煤工业锅炉脱氮改造上具有独特优势。

表5-3 烟气脱硝技术的比较

技术名称	还原剂	控制原理	催化剂及反应温度	反应位置
SNCR	NH_3 或者尿素	还原 NO_x 为 N_2	无催化剂, 900~1100℃	炉膛上部
SCR	NH_3 或者尿素	还原 NO_x 为 N_2	钛催化剂, 300~400℃	烟道空预器前

5.3 生物质锅炉燃烧特性与污染控制技术

5.3.1 生物质燃料

具有清洁、可再生、分布广泛的生物质能源是人类最早使用的能源, 只是在石油化工、煤化工兴起后被逐步取代。如今化石能源局限性暴露, 以及环境污染愈来愈严重, 生物质能源重新获得关注。据前瞻产业研究院发布的《中国生物质成型燃料 (BMF) 行业市场前瞻与投资战略规划分析报告》数据显示, 在全球能源消耗中, 生物质能源比重达到 14%。据预计, 到 2050 年, 生物质发电及高品位能源利用比重将达 40%。根据我国规划目标, 到 2020 年, 生物质成型燃料的利用将由目前不足 50 万吨/年提高至 2000 万吨/年。

根据国家能源局、环境保护部 2014 年下发的《关于加强生物质成型燃料锅

炉供热示范项目建设管理工作有关要求的通知》要求：生物质原料须为农林剩余物，包括农作物秸秆（玉米秆、水稻秆、小麦秆、棉花秆、油料作物秸秆等）、农产品加工剩余物（花生壳、稻谷壳、果壳、甘蔗渣、糠醛渣、去除塑料包装物的菌袋等）及林业“三剩物”（抚育剩余物、采伐剩余物、加工剩余物）。与煤相比，生物质燃料主要具有以下特点：水分较多（与生物质原料品种有关，且差别较大）、灰分较少、挥发分较高、含硫量低、固定碳含量较低、高位发热量较低。

5.3.2 生物质燃料燃烧特性

生物质燃料燃烧属于静态渗透式扩散燃烧。该燃料在锅炉中的燃烧可分为五个阶段：

①生物质燃料表面可燃挥发物燃烧，进行可燃气体和氧气的放热化学反应，形成火焰；

②除生物质燃料表面可燃挥发物燃烧外，成型燃料表层部分的炭处于过渡燃烧区，形成较长火焰；

③生物质燃料表面仍有较少的挥发分燃烧，并且逐渐向成型燃料更深层渗透。焦炭燃烧产生的 CO_2 、 CO 及其它气体向外扩散， CO 不断与 O_2 结合生成 CO_2 ，成型燃料表层生成薄灰壳包围着火焰；

④生物质燃料进一步向更深层燃烧，且主要是进行碳燃烧（即 $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ ），在其表面则进行一氧化碳的燃烧（即 $\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ ），形成了较厚的灰壳，由于生物质的燃尽和热膨胀，灰层中呈现微孔组织或空隙通道甚至裂缝，还有较少的短火焰包围着成型块；

⑤燃烬壳不断加厚，可燃物基本燃尽，在没有强烈干扰的情况下，形成整体的灰球，灰球表面几乎看不出火焰，灰球变暗红色，至此完成整个燃烧过程。

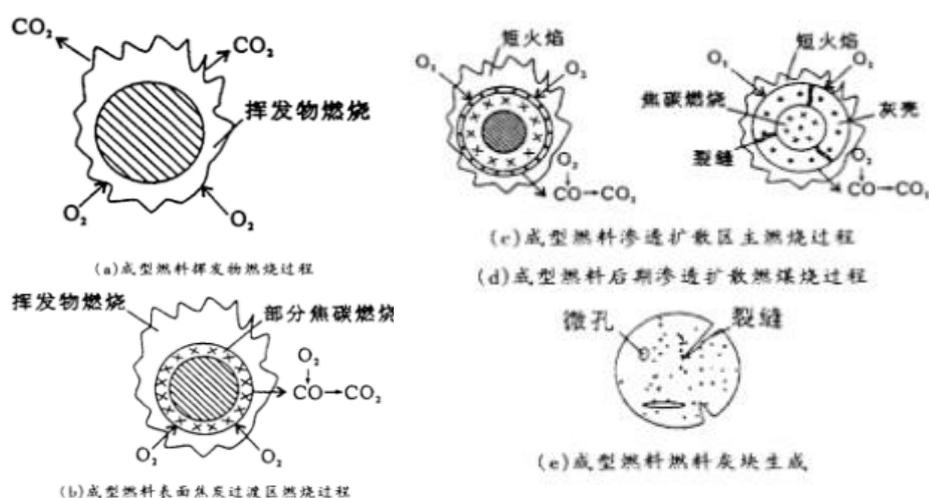


图5-3 生物质燃料燃烧过程图

5.3.2 污染控制技术

与化石燃料相比，生物质燃料减排 CO₂ 和硫的效果十分明显，且具有飞灰少、排渣少、NO_x 排放低等特性。但燃煤锅炉不适合直接燃用生物质燃料，必须实质性地进行全面技术升级，使燃烧过程成为一个可控的、可调的精细化燃烧过程，并采用高效低氮燃烧方式，配套布袋除尘等污染控制设备，才能使得生物质燃料在真正意义上成为可以替代煤炭的清洁燃料。

(1) 颗粒物控制技术

燃生物质锅炉排放的烟尘其组成大部分为直径在 1 微米以下的黑色微粒炭黑和煤焦油（也含有少量大颗粒的飞灰），这些物质颗粒小且多为增水性。有关研究表明与燃煤锅炉相比，燃木质及秸秆的生物质锅炉排放烟尘中 PM_{2.5} 所占比例更高。因此燃生物质锅炉颗粒物控制以袋式除尘技术为主，根据燃生物质燃料的具体类型及烟气特性，选择合适的袋式除尘器类型及滤料，还可与旋风除尘或简易湿式脱硫除尘器联用，达到稳定排放要求。

(2) 二氧化硫控制技术

生物质燃料锅炉二氧化硫排放与燃烧原料种类密切相关，与燃煤锅炉相比其排放浓度低，但燃烧有些原料仍需配套简易的干法或湿法脱硫装置，才能达到环境管理的要求。因此，在选择生物质锅炉燃料时，应对所选燃料进行化验分析，尽量选择含硫量和含氮量较低的原料作为生物质锅炉的燃料，或者使用混合燃料。这样在实际生产运用中既充分利用了资源，又减少了对大气的污染，也符合可持续发展的需要。

(3) 氮氧化物控制技术

生物质燃料锅炉高效清洁燃烧的核心要求是在低氮燃烧模式下实现高效燃烧。无论是何种燃烧方式（气化燃烧、炭化燃烧、半气化燃烧、直接燃烧），生物质燃料都是依次经历预热、干燥、热解（析出挥发份）等过程，之后才进入燃烧阶段，热解产物是气相的挥发份和固相的固定碳，挥发份和固定碳分别进行均相燃烧和多相燃烧过程，两者具有完全不同的燃烧速率和燃尽性能，所以生物质燃料的燃烧过程，天然的具有燃料分级的燃烧特征。燃用生物质燃料时，入炉空气采用三路送入，由底风、二次风、燃尽风组成的三级配风系统，构建出了一个简单而完整的“空气分级叠加燃料分级”的低氮燃烧系统，该系统所形成的燃烧气氛具有最佳的低氮特征。“三级配风准则”是低氮型生物质燃烧设备的通用设计准则，可以在各类生物质燃料燃烧设备上使用。

另外，在改进燃烧方式的同时，生物质锅炉还可以采用选择性非催化还原（SNCR）和选择性催化还原（SCR）等末端控制技术保证达标排放。

5.4 汞及其化合物控制技术

汞在环境中是一种痕量重金属污染物，具有易挥发性、持久性和生物积累性。燃煤烟气中汞的形态通常有 3 种：气态元素汞、气态二价汞、颗粒态汞。目前对于燃煤工业锅炉烟气中汞的排放，主要利用其成熟的除尘、脱硫等技术进行协同减排控制。颗粒态汞易被颗粒捕集设施如静电除尘器、布袋除尘器等捕获。气态二价汞的化合物是水溶性的，在湿法烟气脱硫系统中可被脱除。一般而言，静电除尘可脱除 30% 的汞，布袋除尘可脱除 70% 的汞，湿法脱硫可脱除 90% 的汞。还可以选用吸附脱汞和氧化脱汞技术，达到更高的脱除效率。

6 标准主要技术内容

6.1 标准内容框架

按照《国家环境保护标准制修订工作管理办法》等要求，本标准主要包括适用范围、规范性引用文件、术语与定义、污染物排放控制要求、污染物监测要求、标准实施与监督，共6个章节。

6.2 主要编制内容

确定标准适用范围；
明确污染源界定和时段划分；
确定污染物控制项目；
确定排放标准限值；
确定污染物的监测分析方法；
标准的实施与监督规定。

6.3 适用范围

本标准规定了成都市锅炉烟气中颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、汞及其化合物、一氧化碳的最高允许排放浓度限值和烟气黑度限值。

本标准适用于燃煤、燃油、燃气和燃生物质燃料的单台出力65t/h及以下蒸汽锅炉、各种容量的热水锅炉、汽水两用锅炉、热风炉及有机热载体锅炉等；各种容量的层燃炉、抛煤机炉。

使用型煤、水煤浆、煤矸石、石油焦、油页岩等的锅炉，参照本标准中燃煤锅炉排放控制要求执行。使用重油、渣油、轻柴油等其他液体燃料的锅炉，参照本标准中燃油锅炉排放控制要求执行。使用高炉煤气、焦炉煤气、醇醚燃料（如甲醇、乙醇、二甲醚等）及其他气体燃料的锅炉，参照本标准中燃气锅炉排放控制要求执行。

本标准不适用于以生活垃圾、污泥、危险废物为燃料的锅炉。

本标准不适用于70KW及以下热水锅炉。

本标准适用于成都市在用锅炉大气污染物排放管理，以及锅炉建设项目环境影响评价、环境保护设施设计、竣工环境保护验收及其投产后的大气污染物排放管理。

本标准适用于法律允许的污染物排放行为。新设立污染源的选址和特殊保护区

域内现有污染源的管理，按照《中华人民共和国大气污染防治法》、《中华人民共和国环境影响评价法》等法律、法规和规章的相关规定执行。

6.4 适用范围

标准规定了成都市锅炉烟气中颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、汞及其化合物、一氧化碳的最高允许排放浓度限值和烟气黑度限值。

6.5 标准执行时段

标准将锅炉划分为在用锅炉和新建锅炉，分不同时段执行不同的标准限值。

6.5.1 在用锅炉

自 2019 年 01 月 01 日起，在用锅炉执行表 6-1 规定的大气污染物排放限值，自 2020 年 01 月 01 日起，在用锅炉执行表 6-2 规定的大气污染物排放限值。

表 6-1 在用锅炉大气污染物排放浓度限值

单位：mg/m³

污染物项目	高污染燃料 禁燃区内	高污染燃料禁燃区外				污染物排放监 控位置
		燃煤锅炉	燃油锅炉	燃气锅炉	生物质燃料锅炉	
颗粒物	10	30	30	20	30	烟囱或烟道
二氧化硫	10	200	100	50	50	
氮氧化物	30	200	200	150	200	
汞及其化合物	-	0.05	-	-	-	
一氧化碳	100	100	100	100	100	
烟气黑度 (林格曼黑度, 级)	≤1	≤1				烟囱排放口

6.5.2 新建锅炉

自 2019 年 01 月 01 日起，新建锅炉执行表 6-2 规定的大气污染物排放限值。

表 6-2 新建锅炉大气污染物排放浓度限值

单位：mg/m³

污染物项目	高污染燃料 禁燃区	高污染燃料禁燃区外				污染物排放监 控位置
		燃煤锅炉	燃油锅炉	燃气锅炉	生物质燃料锅炉	
颗粒物	10	禁排	20	10	20	烟囱或烟道
二氧化硫	10	禁排	20	10	30	
氮氧化物	30	禁排	100	60	150	
一氧化碳	100	禁排	100	100	100	
烟气黑度 (林格曼黑度, 级)	≤1	≤1				烟囱排放口

6.6 污染物项目

标准控制的污染物项目与《锅炉大气污染物排放标准》（GB13271-2014）一致，为烟尘、二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、汞及其化合物和烟气黑度6项。特别增加了一氧化碳控制项目，是基于不完全燃烧产生的污染物远远多于完全燃烧产生的污染物，因此对所有燃料类型锅炉增加了一氧化碳排放限值，通过控制一氧化碳排放的方式保证锅炉完全燃烧，以达到减少不完全燃烧所产生的各种有毒有害污染物的目的。

6.7 污染物排放限值

从成都市空气质量达标战略要求出发，结合成都市锅炉保有状况、锅炉烟气治理水平及排放现状，按照高污染燃料禁燃区内、外分别控制，从严制定标准限值，最终达到全市禁煤且控制燃气锅炉氮氧化物排放的目标。

6.7.1 高污染燃料禁燃区内

根据《成都市大气污染防治行动方案2017年度重点任务》、《实施“成都治霾十条”推进铁腕治霾工作方案》的要求，成都市大力推进在用燃煤锅炉淘汰，全市高污染燃料禁燃区内所有燃煤、木材及生物质锅炉“清零”，自2017年起全市范围内不再新建燃煤锅炉。因此，全市高污染燃料禁燃区内在用及新建工业锅炉应主要采用电力、天然气等清洁能源作为燃料。高污染燃料禁燃区内在用及新建锅炉一律执行燃气锅炉标准，同时一步到位按照低氮燃烧要求严格控制氮氧化物。根据天然气低硫、低尘清洁燃料的特性，颗粒物排放浓度限值确定为 $10\text{mg}/\text{m}^3$ ，二氧化硫排放浓度限值确定为 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。根据成都市空气质量环境管理的迫切要求及燃气锅炉低氮燃烧技术发展水平，本标准借鉴北京目前使用的 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 做为成都市高污染燃料禁燃区内燃气锅炉的低氮控制要求。

6.7.2 高污染燃料禁燃区外

高污染燃料禁燃区外按燃料类型进行分类，基于目前成都市锅炉达标水平低的现状，对在用的燃煤、燃油和燃气锅炉均按《锅炉大气污染物排放标准》（GB13271-2014）的特别排放限值进行要求，生物质燃料锅炉参照燃煤锅炉的特别排放限值，根据燃料特点对二氧化硫收严要求，为下一步全市范围内禁煤以及燃气锅炉的低氮燃烧推广留下伏笔。对于新建锅炉，基于空气质量的达标要求提出成都市全域范围内不再新建燃煤锅炉；结合成都市经济发展水平及小锅炉居多的特点，借鉴美国加州南海岸空气质量管理局在2008年提出的 $60\text{mg}/\text{m}^3$ 的排放

浓度限值做为成都市燃气锅炉的低氮控制要求；同时对燃油、生物质成型燃料锅炉按其行业现状和排放特点适度收严标准限值。

6.8 污染物监测要求

锅炉使用企业应按照有关法律和《环境监测管理办法》等规定，建立企业监测制度，制定监测方案，对污染物排放状况及其对周边环境质量的影响开展自行监测，保存原始监测记录，并公布监测结果。

锅炉使用企业应按照环境监测管理规定和技术规范的要求，设计、建设、维护永久性采样口、采样测试平台和排污口标志。

对锅炉排放废气的采样，应根据监测污染物的种类，在规定的污染物排放监控位置进行，有废气处理设施的，应在该设施后监测。排气筒中大气污染物的监测采样按GB5468、GB/T16157或HJ/T397规定执行，见表6-3。

特别提出了10t/h及以上蒸汽锅炉、7MW及以上热水锅炉、生物质燃料锅炉应按《污染源自动监控管理办法》的规定安装大气污染物连续监测系统，与环保部门联网，并保证设备正常运行。其他锅炉自动监控设备安装按环保部门有关规定执行。

表6-3 大气污染物浓度测定方法标准

序号	污染物项目	方法标准名称	标准编号
1	颗粒物	锅炉烟尘测试方法	GB 5468
		固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法	GB/T 16157
2	二氧化硫	固定污染源排气中二氧化硫的测定 碘量法	HJ/T 56
		固定污染源排气中二氧化硫的测定 定电位电解法	HJ/T 57
		固定污染源废气 二氧化硫的测定 非分散红外吸收法	HJ 629
3	氮氧化物	固定污染源排气中氮氧化物的测定 紫外分光光度法	HJ/T 42
		固定污染源排气中氮氧化物的测定 盐酸萘乙二胺分光光度法	HJ/T 43
		固定污染源废气中氮氧化物的测定 非分散红外吸收法	HJ 692
		固定污染源废气中氮氧化物的测定 定电位电解法	HJ 693
4	一氧化碳	固定污染源废气中一氧化碳的测定 非色散红外吸收法	HJ/T 44
		一氧化碳的测定 定电位电解法	附录A
5	汞及其化合物	固定污染源废气 汞的测定 冷原子吸收分光光度法（暂行）	HJ 543
6	烟气黑度	固定污染源排放烟气黑度的测定 林格曼烟气黑度图法	HJ/T 398

7 标准比较及实测数据对比

7.1 相关标准比较

颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放限值比较见表 7-1、7-2、7-3。

本标准高污染燃料禁燃区内在用及新建锅炉一律执行燃气锅炉标准，且在用及新建锅炉的排放浓度限值均一致，颗粒物、二氧化硫和氮氧化物排放浓度均严于国家标准。与国内其它地省市的地方标准相比，颗粒物排放浓度限值严于天津、广东（征求意见稿）和重庆的在用和新建锅炉标准，与上海（征求意见稿）标准基本持平，略高于北京标准；二氧化硫排放浓度限值与北京及上海（征求意见稿）的在用及新建锅炉标准基本一致，严于天津、广东（征求意见稿）和重庆的在用和新建锅炉标准；氮氧化物排放浓度限值与北京新建锅炉标准一致，严于北京和上海的在用锅炉以及天津、广东和重庆的在用和新建锅炉标准。

本标准高污染燃料禁燃区外的在用燃煤和燃油锅炉标准分两个阶段执行，第一阶段执行国标特别排放限值，燃煤和燃油锅炉的各污染物排放浓度限值高于北京、天津和上海的标准，严于广东和重庆的标准；第二阶段成都市全市范围内实施锅炉禁煤工作，这与上海和北京的标准要求一致；第二阶段的燃油锅炉颗粒物排放浓度限值高于天津、上海，严于广东、重庆；二氧化硫排放浓度限值与天津、上海一致，严于广东、重庆；氮氧化物排放浓度限值高于上海，严于天津、广东、重庆。

本标准生物质成型燃料锅炉第一阶段在参照国标要求的燃煤锅炉特别排放限值基础上根据燃料特性加严了二氧化硫排放浓度限值，第二阶段对颗粒物、二氧化硫和氮氧化物均进行了收严。国内仅有上海、广东、河北规定了生物质成型燃料锅炉的排放浓度限值，与 3 省市比较，本标准在两个阶段上均高于上海的要求、与广东的要求一致，第一阶段高于河北的要求，第二阶段要求与河北一致。

表 7-1 颗粒物排放限值比较 (mg/m³)

标准	在用/新建	燃煤锅炉	燃油锅炉	燃气锅炉	燃生物质锅炉	
国标	特别排放限值	30	30	20	30 (参照燃煤)	
北京	在用	5(高污染燃料禁燃区内)/10(高污染燃料禁燃区外)				
	新建	5				
天津	在用	禁排(高污染燃料禁燃区内)/ 30(高污染燃料禁燃区外)	30	10	/	
	新建	20	10	10	/	
上海 (2017年征求意见稿)	在用 (2019.12.31前)	20	20	20	20	
	在用(2020.1.1起)/ 新建	禁排	10	10	10	
广东-珠三角 (2017年征求意见稿)	在用	30	30	20	30	
	新建	30	30	20	20	
重庆-主城区	在用	30	30	30	30	
	新建	30	30	20	30	
本标准	在用 (2020.1.1前)	高污染燃料禁燃区内	10			
		高污染燃料禁燃区外	30	30	20	30
	在用 (2020.1.1起)/ 新建	高污染燃料禁燃区内	10			
		高污染燃料禁燃区外	禁排	20	10	20

表 7-2 二氧化硫排放限值比较 (mg/m³)

标准	在用/新建	燃煤锅炉	燃油锅炉	燃气锅炉	燃生物质锅炉	
国标	特别排放限值	200	100	50	200 (参照燃煤)	
北京	在用	10(高污染燃料禁燃区内)/20(高污染燃料禁燃区外)				
	新建	10				
天津	在用	禁排(高污染燃料禁燃区内)/ 100(高污染燃料禁燃区外)	50	20	/	
	新建	50	20	20	/	
上海 (2017年征求意见稿)	在用 (2019.12.31前)	100	100	20	20	
	在用(2020.1.1起)/ 新建	禁排	20	10	20	
广东-珠三角 (2017年征求意见稿)	在用	200	200	50	50	
	新建	200	200	50	30	
重庆-主城区	在用	200	200	50	200	
	新建	50	100	50	50	
本标准	在用 (2020.1.1前)	高污染燃料禁燃区内	10			
		高污染燃料禁燃区外	200	100	50	50
	在用 (2020.1.1起)	高污染燃料禁燃区内	10			
		高污染燃料禁燃区外	禁排	20	10	30

	起)/新建	禁燃区外				
--	-------	------	--	--	--	--

表 7-3 氮氧化物排放限值比较 (mg/m³)

标准	在用/新建	燃煤锅炉	燃油锅炉	燃气锅炉	燃生物质锅炉	
国标	特别排放限值	200	200	150	200 (参照燃煤)	
北京	在用	80(高污染燃料禁燃区内)/150(高污染燃料禁燃区外)				
	新建	30				
天津	在用	禁排(高污染燃料禁燃区内)/200(高污染燃料禁燃区外)	300	150	/	
	新建	150	80	80	/	
上海 (2017年征求意见稿)	在用 (2019.12.31前)	150	150	150	150	
	在用(2020.1.1起)/新建	禁排	50(外环线区域内)/80(外环线区域外)	50	150	
广东-珠三角 (2017年征求意见稿)	在用	200	250	200	200	
	新建	200	200	150	150	
重庆-主城区	在用	200	300	400	200	
	新建	200	200	200	200	
本标准	在用 (2020.1.1前)	高污染燃料禁燃区内	30			
		高污染燃料禁燃区外	200	200	150	200
	在用 (2020.1.1起)/新建	高污染燃料禁燃区内	30			
		高污染燃料禁燃区外	禁排	100	60	150

7.2 低氮燃气锅炉实测数据对比

2017年6月成都市出台《实施“成都治霾十条”推进铁腕治霾工作方案》后，全市已新建75台低氮燃烧燃气锅炉，同时完成了2台旧燃气锅炉的低氮改造，锅炉额定负荷1至15t/h不等，额定负荷统计见表7-4、图7-1，90%锅炉的额定负荷小于4t/h。新建及改造锅炉应用的低氮燃烧技术主要是分级燃烧加烟气再循环技术和表面燃烧技术，其中采用分级燃烧加烟气再循环技术的锅炉占90%。课题组收集统计了上述77台锅炉监测数据，与本标准进行了对比分析，详见表7-5、表7-6。从对比数据可以看出，除了1台新建的采用FGR低氮燃烧技术锅炉氮氧化物排放浓度略超过30mg/m³的标准限值、二氧化硫排放浓度略超过10mg/m³的标准限值和3台采用FGR低氮燃烧技术锅炉颗粒物排放浓度超过10mg/m³的标准限值外，上述两种采取分级燃烧加烟气再循环技术和表面燃烧技术的燃气锅炉的颗粒物、二氧化硫及氮氧化物排放基本可以达到本标准高污染燃料禁燃区内燃气锅炉排放标准要求。

表 7-4 新建及改造低氮锅炉额定负荷统计

锅炉	T≤1t	1t<T≤2t	2t<T≤3t	3t<T≤4t	4t<T≤5t	5t<T<6t	≥6t
新建锅炉(台)	20	28	6	15	/	1	5
改造锅炉(台)	/	/	/	1	/	/	1

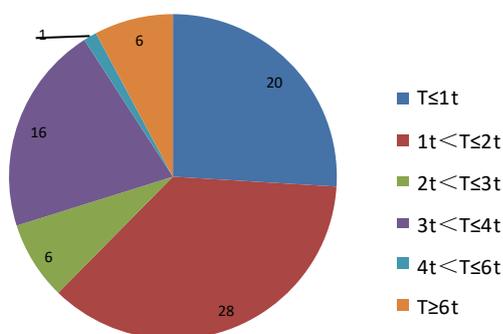


图 7-1 新建及改造低氮燃烧锅炉额定负荷统计

表 7-4 新建 75 台低氮燃烧燃气锅炉实测数据对比

低氮燃烧技术	样本数(台)	颗粒物			二氧化硫			氮氧化物		
		浓度范围(mg/m ³)	平均浓度(mg/m ³)	达标率	浓度范围(mg/m ³)	平均浓度(mg/m ³)	达标率	浓度范围(mg/m ³)	平均浓度(mg/m ³)	达标率
分级燃烧+FGR	67	1~15	4	96%	1~14	3	99%	10~31	22	99%
表面燃烧	8	/	3	100%	1-9	5	100%	13-25	17	100%
本标准标准限值		10			10			30		

表 7-5 改造 2 台低氮燃烧燃气锅炉实测数据对比

低氮燃烧技术	样本数(台)	氮氧化物	
		平均浓度(mg/m ³)	达标率
分级燃烧+FGR	1	31	100%
表面燃烧	1	16	100%
本标准标准限值		60	

8 经济成本与环境效益分析

8.1 经济成本分析

本标准实施后的主要经济成本为燃煤锅炉改造为低氮燃气锅炉以及燃气锅炉低氮燃烧改造和后续的运行成本差异。

课题组走访调查了 7 家燃气锅炉和燃烧器生产厂家，分 1、2、4、10、20 t/h 的锅炉额定负荷进行了统计，低氮燃烧改造最主要的费用来自于低氮燃烧器更换，低氮燃气锅炉改造所需要的燃烧器更换费用约为相应新建低氮燃气锅炉的

40%左右。不管是改造也好新建也罢，应用 FGR 技术均比采用表面燃烧技术的价格略高一些，大概高出 18%左右。锅炉额定负荷越大，其燃烧器更换或新建低氮燃气锅炉的单位负荷所需费用越低，20t/h 锅炉是 1t/h 锅炉单位负荷费用的 35%左右。低氮改造锅炉的单位负荷燃烧器更换费用平均为 7 万元，新建低氮燃气锅炉的单位负荷费用平均为 19 万元。

表 8-1 燃气锅炉改造燃烧器更换及新建低氮燃气锅炉费用统计

锅炉规模 (t/h)	低氮燃烧方式	燃烧器更换费用 (万元)	新建低氮燃气锅炉费用 (万元)
1	分级燃烧+FGR	12	27
2	分级燃烧+FGR	16	35
4	分级燃烧+FGR	23	54
10	分级燃烧+FGR	45	126
20	分级燃烧+FGR	80	220
1	表面燃烧	10	38
2	表面燃烧	14	50
4	表面燃烧	27	65
10	表面燃烧	49	140
平均值 (t/h)		7	19

按成都市目前保有的 2800 蒸吨燃煤锅炉需要淘汰并新建为低氮燃气锅炉计算，需要投入大约 5 亿元。7100 蒸吨燃气锅炉需要改造为低氮燃气锅炉，其更换燃烧器的费用为 5 亿元。执行本标准后锅炉的改造及建设费用合计共需要 10 亿元。按成都市每年 8% 的 GDP 增幅计算，每年新增低氮燃气锅炉还需要投入 1.5 亿元。

通过对燃煤和燃气这两种不同燃料的工业锅炉运行分析比较可以看出，影响锅炉运行成本的主要因素是锅炉房建设费用、锅炉折旧费用、燃料费用、水电费用和人工工资等。燃气锅炉较燃煤锅炉燃料费用虽然较高，但在锅炉房建设费用、锅炉折旧费用、人工工资、水耗、电耗、废渣灰费、检修费、环保费等方面相较燃煤炉都有明显的费用减少。综合来看，燃气锅炉的综合运行成本仅比燃煤锅炉高出 10%左右。

8.2 环境效益分析

按成都市目前保有的 2800 蒸吨燃煤锅炉淘汰并新建为低氮燃气锅炉计算，二氧化硫排放总量可从目前的 0.7 万吨/年减排至 40 吨/年，削减比例占全市二氧化硫排放总量的 10%、工业二氧化硫排放总量的 13%。执行本标准后，0.7 万吨的二氧化硫减排总量可占成都十三五减排 1.2 万吨目标的 58%。

按成都市目前保有的 2800 蒸吨燃煤锅炉淘汰并新建为低氮燃气锅炉和 7100 蒸吨燃气锅炉改造为低氮燃气锅炉计算，氮氧化物排放总量可从目前的 1.2 万吨/年减排至 0.3 万吨/年，实现减排 0.9 万吨/年（其中燃煤锅炉淘汰为低氮燃气锅炉和低氮燃气锅炉改造各贡献一半），削减比例占全市氮氧化物排放总量的 6%、工业氮氧化物排放总量的 26%。执行本标准后，0.9 万吨的氮氧化物减排总量可占成都十三五减排 1.0 万吨目标的 90

附件 3

锅炉大气污染物排放标准征求意见稿

2018 年 6 月 13 日-2018 年 6 月 22 日

名称	单位（个人）		电话	
	地址		法人代表	
对锅炉大气污染物排放标准意见建议				
日期：	单位盖章（个人签名）：			