

吉林省地方标准

《小型燃煤锅炉大气污染治理技术指南》

编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

为完善吉林省 65 t/h 以下燃煤锅炉在大气污染末端治理过程中有关技术的选取依据，同时为环境管理和环境科研以及相关行业审查类似项目的可行性提供必要的参考，2018 年 5 月，吉林省质量技术监督局立项，项目号 DBXM100-2018，由吉林省环境科学研究院承担《小型燃煤锅炉大气污染治理技术指南》的制定工作。

（二）起草单位

由吉林省环境科学研究院负责起草。

二、制（修）订标准的必要性和目的

为贯彻落实《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国大气污染防治法》和 2013 年国务院发布的《大气污染防治行动计划》等法律法规，完善吉林省燃煤锅炉在大气污染治理过程中有关技术的选取依据，同时为环境管理和环境科研以及相关行业审查类似项目的可行性提供必要的参考，制定本标准。

我国是煤炭消费大国，煤炭消耗量约为 40 亿 t/a。众所周知，燃煤是大气污染的主要贡献源之一。2013 年国务院发布了《大气污染防治行动计划》，提出了十条具体措施，目前我国空气质量改善效果初显，但“达标”任务依然艰巨。因此，充分考虑我省燃煤锅炉大气污染治理的实际情况，通过技术经济和处理工艺的具体要求等方面的遴选，制定吉林省地方标准《小型燃煤锅炉大气污染治理技术指南》，势在必行。

三、主要起草过程

（一）研究阶段

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准规定了燃煤锅炉大气污染治理技术指南的术语和定义、燃煤锅炉大气污染物排放的基本要求，给出了燃煤锅炉脱硫、脱硝、除尘技术的经济比较和技术比较。本标准适用于 65t/h 以下燃煤锅炉大气污染末端治理。

项目各阶段任务分解		起止日期
1. 起草阶段	1.1 起草并完成标准（包括文本、编制说明）草稿	2018年4月至2018年4月
	1.2 组织调研、试验验证	2018年4月至2018年5月
	1.3 召开专家研讨会，研究形成标准（包括文本、编制说明）征求意见稿及相关材料，报省行业主管部门	2018年5月至2018年6月
2. 征求意见阶段	2.1 省行业主管部门初审后，报省质监局	2018年6月至2018年7月
	2.2 省质监局同意后，主要起草单位向有关各方征求意见（原则上不超过2个月）	2018年7月至2018年8月
	2.3 起草单位研究处理反馈的意见或建议，完成标准送审稿，报省行业主管部门	2018年8月至2018年9月
3. 审查、报批阶段	3.1 省行业主管部门初审后，报省质监局	2018年8月至2018年9月
	3.2 省质监局审核后，组织审查	2018年9月至2018年10月
	3.3 起草单位根据审查意见，完成标准报批稿及相关材料，报省质监局	2018年9月至2018年10月
	3.4 起草单位完成标准宣贯解读资料，报省行业主管部门和省质监局	2018年10月至2018年11月

制定《小型燃煤锅炉大气污染治理技术指南》主要分为四个阶段，即：准备阶段、起草阶段、征求意见阶段、审查和发布阶段。首先成立标准制定工作组，明确工作组成员的相应分工。从我省用煤现状分析入手，在全面了解吉林省煤炭消耗现状的基础上，将火电、集中供热、水泥、钢铁冶炼和其他行业燃煤锅炉使用现状、大气污染现状及治理现状进行对比分析。同时将我省燃煤锅炉主要环境问题尤其是对其中影响较大而且最为直接的二氧化硫

（SO₂）、氮氧化物（NO_x）、颗粒物的主要处理工艺和方法进行遴选；充分考虑我省燃煤锅炉大气污染治理的实际情况，通过技术经济和处理工艺的具体要求等方面的遴选，起草标准制定草案稿及编制说明，经专家论证并进行修改后，形成标准征求意见稿和编制说明。标准征求意见稿在征集企业、科研机构、质检机构、化工院校等建议并进行汇总意见及修改完善后，形成标准送审稿和编制说明。再通过技术审查、格式审查形成报批稿，报请吉林省质量技术监督局组织审批颁布。制定《小型燃煤锅炉大气污染治理技术指南》的具体过程见图3-1。

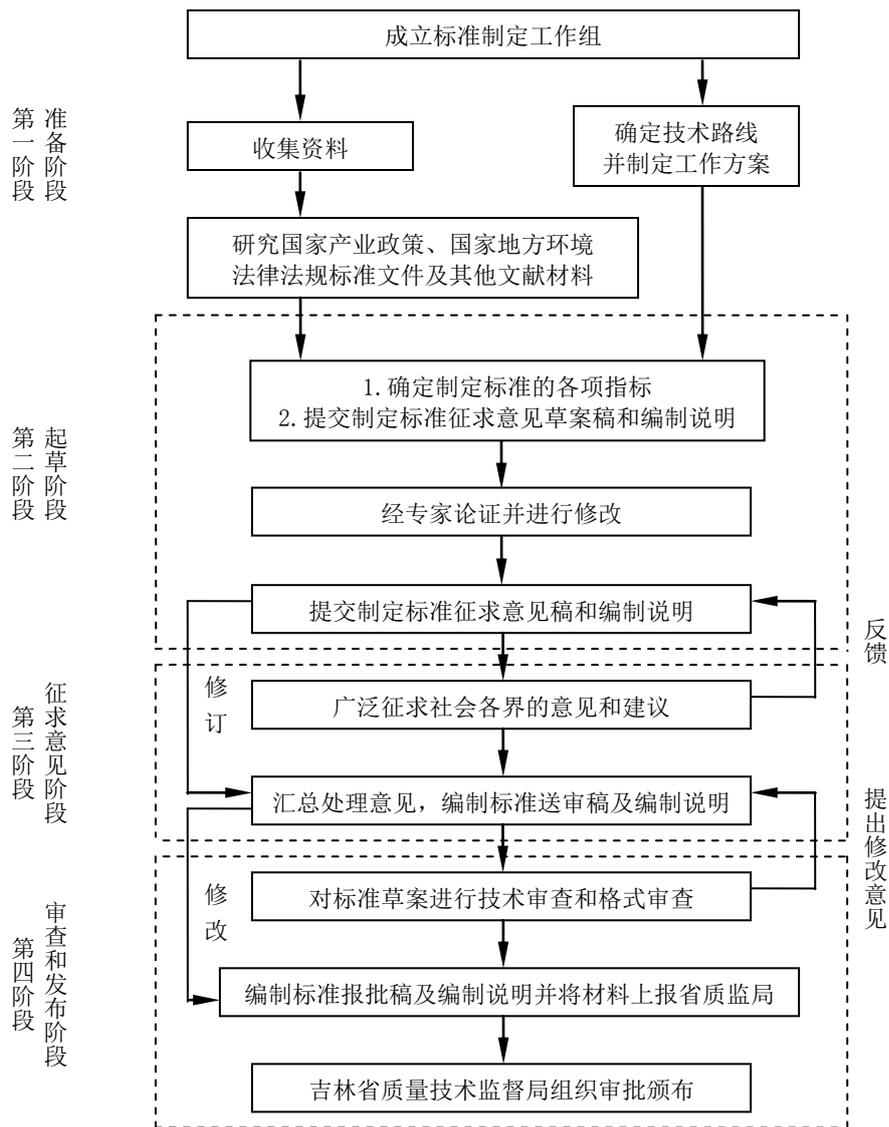


图 3-1 制定标准的具体过程

(二) 专家咨询会

2018年7月12日，吉林省环境保护厅在长春市主持召开了《小型燃煤锅炉大气污染治理技术指南》咨询会，会议组成了专家组（名单附后）。与会专家听取了项目承担单位对标准草案、编制说明的汇报，审阅了相关材料，经过认真讨论和质询，形成如下咨询意见：

- 1、标准制定过程符合地方标准制定工作程序的要求。
- 2、标准的编写符合 GB/T 1.1-2009 的有关规定。
- 3、该标准的制定将为吉林省燃煤锅炉 10~45t/h 大气污染末端治理技术的选取提供依据，为环境管理提供必要的参考。
- 4、修改建议：

- (1) 将名称改为“燃煤锅炉 10~45t/h 大气污染治理技术指南”；
- (2) 将经济比较的内容放入资料性附录；
- (3) 指导性意见融入技术比较表中；
- (4) 调整标准结构，删除第 5 章。

5、标准起草工作组应根据咨询会议提出的修改意见，对标准草案作进一步修改和完善，尽快形成征求意见稿，报吉林省质量技术监督局进行网上公示。

(三) 起草阶段

姓名	分工	职务/职称	专业	所在单位	本项目中的分工
王玉	组长	正高级工程师	环境科学	吉林省环科院	负责总体工作安排、实地考察、资料收集工作以及数据整理分析。开题报告、标准文本和编制说明的编写
毕庆生	副组长	正高级工程师	能源动力	长春工程学院	负责实地考察、资料收集工作及数据整理分析，标准文本的编写
田忠宝	组员	高级工程师	环境科学	辽源市辐射固体废物管理站	负责实地考察、资料收集工作以及数据整理分析
徐春妮	组员	高级工程师	环境科学	辽源市环境保护宣传教育中心	负责实地考察、资料收集工作以及数据整理分析
高婷婷	组员	工程师	环境科学	中国科学院长春应用化学研究所	负责实地考察、资料收集工作以及数据整理分析
李延莉	组员	高级工程师	环境科学	吉林省环境信息中心	负责实地考察、资料收集工作以及数据整理分析
段丽杰	组员	高级工程师	环境科学	吉林省环科院	负责资料收集工作
刘德敏	组员	高级工程师	环境科学	吉林省环科院	负责资料收集工作
刘继莉	组员	高级工程师	环境科学	吉林省环科院	负责资料收集工作
陈文英	组员	高级工程师	环境科学	吉林省环科院	负责资料收集工作
李东秋	组员	会计师	财务	吉林省环科院	财务审计

(四) 征求意见阶段

吉林省地方标准《小型燃煤锅炉大气污染治理技术指南》征求意见稿于 2018 年 7 月 26 日至 2018 年 8 月 25 日在吉林省环境保护厅网站进行了公示（见图 3-2），公示期间共收到征求意见反馈表 10 份，建议或意见 18 项，并全部采纳，无重大分歧意见。

参与征求意见的单位有：吉林省环境监测中心站、长春工程学院能源动力工程学院、长春市环境监测中心站、吉林省中实环保工程开发有限公司、吉林省晨达环境技术服务有限公司、吉林省龙桥辐射环境工程有限公司、长春清朗环境工程有限公司吉林省东成环保工程有限公司、吉林省诚信锅炉辅机制造有限公司和长春凯希环保有限责任公司。



图 3-2 省环保厅网站公示

（五）审查阶段

2018年9月19日，吉林省环境保护厅、吉林省质量技术监督局共同组织召开了《小型燃煤锅炉大气污染治理技术指南》送审稿审查会，来自吉林大学、长春理工大学、吉林省标准研究院、吉林省环境监测中心站和吉林省环境工程评估中心等单位的专家出席会议，并组成标准审查专家组。

标准审查专家组听取了标准起草工作组关于标准制定情况及有关说明的汇报，审阅了标准制定单位提交的《小型燃煤锅炉大气污染治理技术指南》送审稿的标准文本、编制说明、征求意见汇总表等文件资料。与会专家对文本进行了逐章逐条地审查，并提出了修改意见。经充分讨论，标准审查专家组一致认为，该标准的制定，可为吉林省 65 t/h 以下燃煤锅炉在大气污染治理技术的选取提供依据，为环境管理提供必要的参考，对推进吉林省燃煤锅炉大气污染防治工作具有重要意义。标准审查专家组一致同意通过《小型燃煤锅炉大气污染治理技术指南》的审定。

四、制（修）订标准的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系

目前我国还没有出台 65t/h 以下燃煤锅炉大气污染治理技术指南，吉林省地方标准《小型燃煤锅炉大气污染治理技术指南》由吉林省环境保护厅提出并归口，符合地方标准范围要求，并在吉林省范围内有普遍性，制定该标准符合国家和吉林省科技、产业和民生等政策。

五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、试验验证的论述

（一）主要技术指标

1. 技术分类

分为脱硫技术、脱硝技术和除尘技术三类。

脱硫技术、脱硝技术和除尘技术的选取具有技术成熟性和代表性，能适用于“火电”“集中供热”“水泥”和“钢铁冶炼”等行业。

2. 比较方法

分为技术比较和经济比较两类。

技术比较应根据相关脱除在设备运行过程中的主要技术参数作为比较对象，能够为燃煤锅炉在大气污染末端治理过程中有关技术的选取提供重要依据。

经济比较应根据相关脱除在设备运行过程中财务方面的核算作为比较对象，能够为环境管理和环境科研以及相关行业审查类似项目的可行性提供必要的参考。

（二）技术说明

1. 脱硫技术

目前，烟气脱硫工艺按吸收剂不同，可分为钙法、钠法、氨法、镁法和海水法；按脱硫产物是否可用，可分为回收法和抛弃法；也可为湿法、干法和半干法。选用何种脱硫工艺需结合当地及企业的实际情况而定。

根据调查，石灰/石灰石—石膏法、氧化镁法、氨法、循环流化床法技术成熟，在我国65t/h以下燃煤锅炉烟气脱硫方面，市场占有率分别为：5%、90%、2%、3%（注：目前市场上其他新方案工艺不在本次比对之内），具体脱硫工艺简介如下：

1.1 石灰/石灰石—石膏法

石灰/石灰石—石膏法脱硫工艺系统主要有：烟气系统、吸收氧化系统、浆液制备系统、石膏脱水系统、排放系统组成。其基本工艺流程如下：

锅炉烟气经电除尘器除尘后，通过增压风机、GGH(可选)降温后进入吸收塔。在吸收塔内烟气向上活动且被向下活动的循环浆液以逆流方式洗涤。循环浆液则通过喷浆层内设置的喷嘴喷射到吸收塔中，以便脱除SO₂、SO₃、氯化氢(HCL)和氟(HF)，与此同时在“强制氧化工艺”的处理下反应的副产物被导进的空气氧化为石膏(CaSO₄•2H₂O)，并消耗作为吸

收剂的石灰石。循环浆液通过浆液循环泵向上输送到喷淋层中，通过喷嘴进行雾化，可使气体和液体得以充分接触。每个泵通常与其各自的喷淋层相连接，即通常采用单元制。

在吸收塔中，石灰石与二氧化硫反应产生石膏，这部分石膏浆液通过石膏浆液泵排出，进入石膏脱水系统。脱水系统主要包括石膏水力旋流器（作为一级脱水设备）、浆液分配器和真空皮带脱水机。经过净化处理的烟气流经两级除雾器除雾，在此处将清洁烟气中所携带的浆液雾滴去除。同时按特定程序不时地用工艺水对除雾器进行冲洗。进行除雾器冲洗有两个目的，一是防止除雾器堵塞，二是冲洗水同时作为补充水，稳定吸收塔液位。

在吸收塔出口，烟气一般被冷却到 46~55℃ 左右，且为水蒸气所饱和。通过 GGH 将烟气加热到 80℃ 以上，以进步烟气的抬升高度和扩散能力。最后，洁净的烟气通过烟道进入烟囱排向大气。石灰/石灰石—石膏法工艺流程见图 5-1。

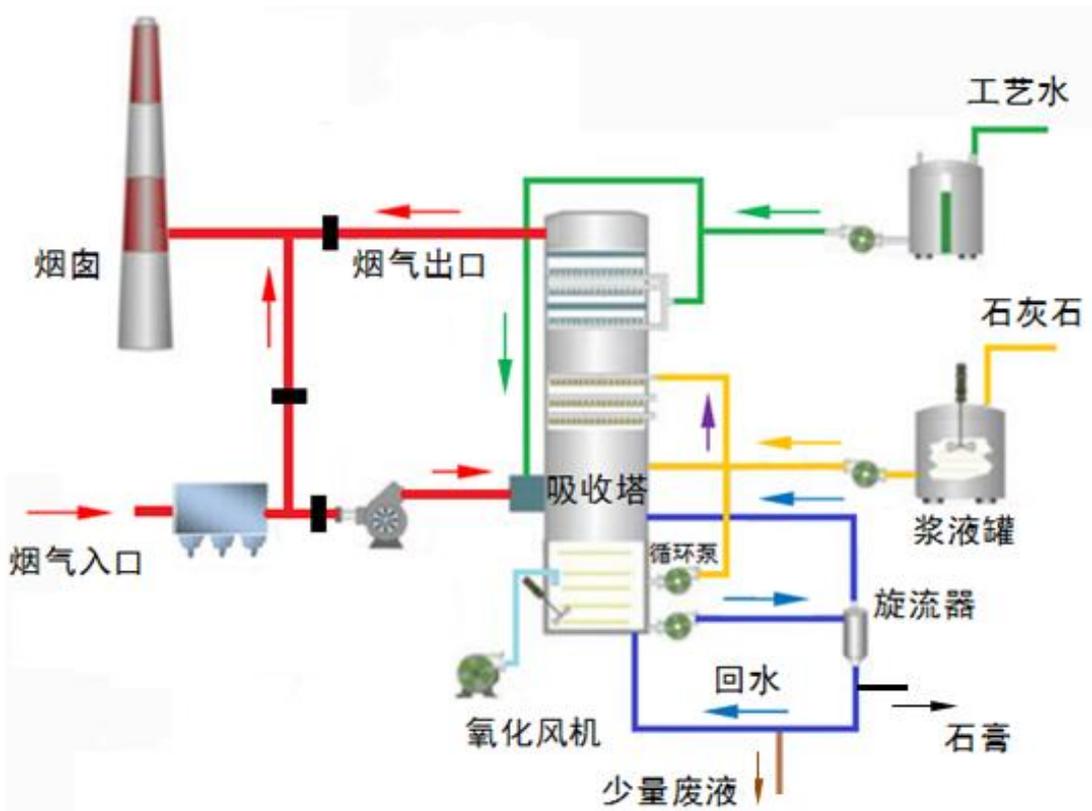


图 5-1 石灰/石灰石—石膏法工艺流程

1.2 镁法

氧化镁湿法烟气脱硫工艺简单，适应性好，近年来在国内得到较为广泛的应用。工艺原理：氧化镁经过熟化反应生成氢氧化镁，制成一定浓度的氢氧化镁浆液，在吸收塔内氢氧化镁和二氧化硫反应生成亚硫酸镁，亚硫酸镁经强制氧化生成硫酸镁，分离干燥后就是固体硫酸镁。基本工艺流程如下：

烟气经除尘器后进入吸收塔，经氢氧化镁浆液逆流洗涤，并吸收 SO_2 。反应后生成的 MgSO_3 浆液经过稠化器、脱水装置得到含结晶水的 MgSO_3 ，在干燥器中进行干燥，除去结晶水，得到固体 MgSO_3 ，进入 MgSO_3 储罐，然后送至再生装置。 MgSO_3 集尘器中含有杂质的 SO_2 气体送至 SO_2 洗涤器。在工艺流程中，经除尘器后的部分洗涤液由洗涤液储罐送废水处理系统，经脱水装置后的液体进入浆液储罐。镁法工艺流程见图 5-2。

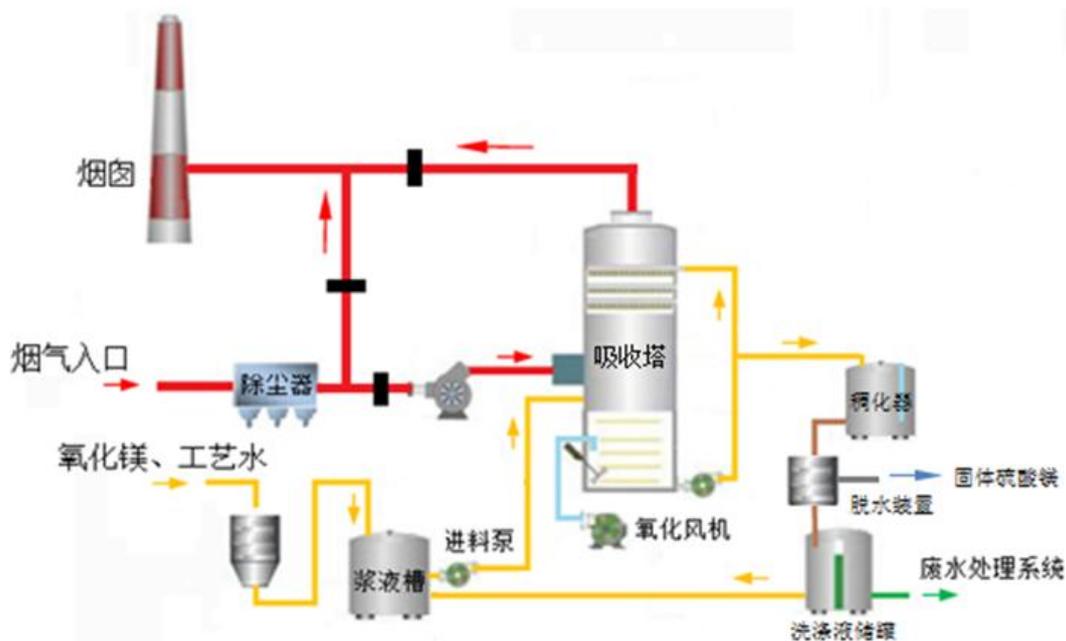


图 5-2 镁法工艺流程

1.3 氨法

氨-硫氨湿法脱硫工艺目前已经比较成熟，主要特点是可与 SCR 等脱硝工艺共用氨供应系统。但氨法脱硫由于脱硫剂氨水来源不方便，适合在有氨水副产品的化工焦化企业使用。工艺原理如下：

氨或硫酸铵在吸收塔内吸收烟气中的二氧化硫三氧化硫，生成亚硫酸铵或硫酸铵，其中亚硫酸铵经氧化生成硫酸铵，经过脱水干燥后就得到固体硫酸铵。氨法脱硫工艺流程见图 5-3。

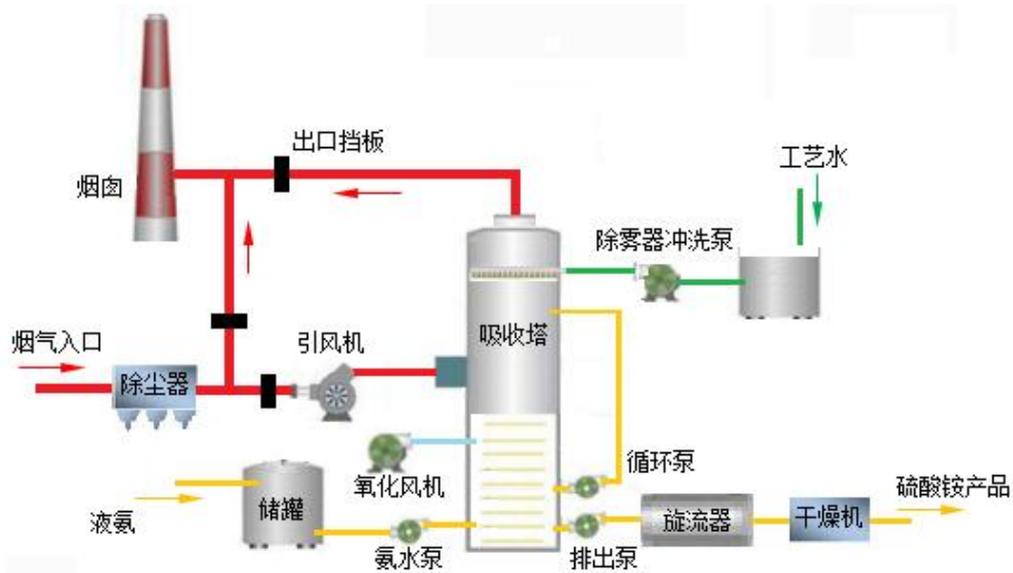


图 5-3 氨法工艺流程

1.4 循环流化床法

循环流化床半干法（氧化钙）是在循环流化床反应器内，以钙基物质或其它碱性物质作为吸收剂和循环床料脱除二氧化硫的方法。循环流化床烟气脱硫系统采用的是半干法脱硫，主要由以下系统组成：石灰进料系统、循环流化床脱硫净化系统、监测控制系统、电气系统、烟道系统。基本工艺流程如下：

从锅炉尾部排出的含硫烟气被引入循环流化床反应器喉部，在这里与水、脱硫剂和还具有反应活性的循环干燥副产物相混合，石灰以较大的表面积散布，并且在烟气的作用下贯穿整个反应器。然后进入上部筒体，烟气中的飞灰和脱硫剂不断进行翻滚、掺混，一部分生石灰则在烟气的夹带下进入旋风分离器，分离捕捉下来的颗粒则通过返料器又被送回循环流化床内，生石灰通过输送装置进入反应塔中。由于接触面积非常大，石灰和烟气中的 SO_2 能够充分接触，在反应器中的干燥过程中， SO_2 被吸收中和。循环流化床法工艺流程见图 5-4。

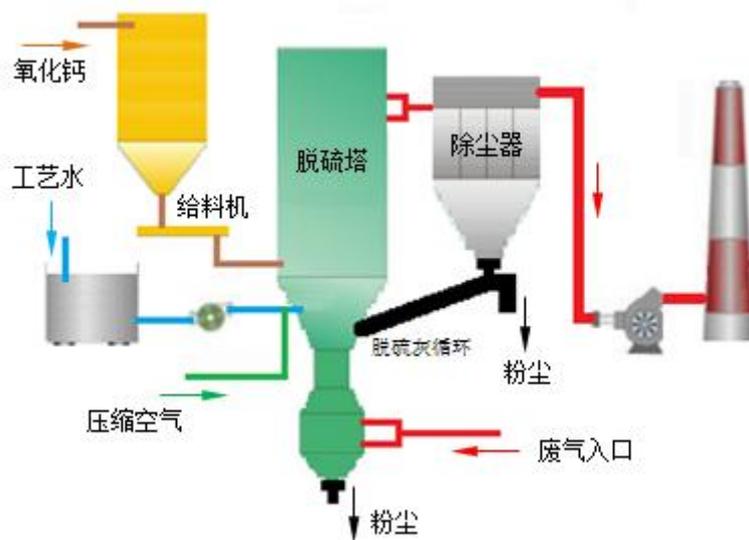


图 5-4 循环流化床法工艺流程

1.5 技术比较

脱硫工艺的技术比较，见表5-1。

表5-1 脱硫工艺的技术比较

脱硫工艺技术分类	石灰/石灰石-石膏法（湿法）	镁法（湿法）	氨法（湿法）	循环流化床（半干法）
市场占有率（%）	~5	~90	~2	~3
脱硫剂	石灰石粉 CaCO_3 或石灰粉 CaO	氧化镁粉 MgO 或氢氧化镁粉 $\text{Mg}(\text{OH})_2$	氨水	石灰粉 CaO 或熟石灰粉 $\text{Ca}(\text{OH})_2$
脱硫剂来源	各地大量存在	镁矿集中在辽宁、河北、山东	氨肥厂或化肥厂	各地大量存在
流程复杂性	复杂	很复杂	复杂	简单
操作稳定性	好	好	好	一般
能耗	能耗较大	能耗较小	能耗居中	能耗大
水耗	水蒸发量大，水耗大	水蒸发量大，水耗大	水耗一般	水耗较小
脱硫效率（%）	$\geq 95 \sim 99$	$\geq 95 \sim 99$	$\geq 95 \sim 98$	$\geq 75 \sim 90$
除尘效率（%）	对 PM_{10} 以上颗粒物， ≥ 50	对 PM_{10} 以上颗粒物， ≥ 50	对 PM_{10} 以上颗粒物， ≥ 30	无除尘能力
系统阻力	系统阻力中等	系统阻力小	系统阻力小	系统阻力大
副产品处理	石膏可作为装饰板材料外销	硫酸镁可作为肥料外销	硫酸铵可作为肥料外销	不易利用
优点	脱硫效率高；脱硫剂来源广、价格低；适用于发电厂	脱硫效率高；初期投资及运行成本低；系统不易结垢和堵塞；适应燃料含硫量变化	燃料含硫量越高，副产品经济效益越好；适合在有氨水副产品的企业使用	综合运行成本低；设施占地面积小；适用于对脱硫率要求较低的企业
缺点	初期投资较高；设备磨损较严重；设	工艺流程复杂；脱硫剂来源有局限	化学腐蚀严重；脱硫剂价格贵；氨与	系统运行阻力大；操作稳定性较差；

	施占地面积大；综合运行成本高	性；硫酸镁如抛弃会产生二次污染	二氧化硫会产生气溶胶	易导致粉尘排放超标
--	----------------	-----------------	------------	-----------

1.6 经济比较

在对各种脱硫工艺经济比较的过程中，投资、运行费用估算以 35 t/h 锅炉为基础，运行时间为 7000 h/a，电价按 0.5 元/kWh，水价按 2.5 元/t 计，其投资费用根据脱硫厂家方案估算。在对各种脱硫工艺经济比较的过程中，投资、运行费用估算以 35 t/h 锅炉为基础，运行时间为 7000 h/a，电价按 0.5 元/kWh，水价按 2.5 元/t 计，其投资费用根据脱硫厂家方案估算。脱硫剂、水、电消耗来自脱硫厂家设计方案，没有考虑人工、维修和折旧等费用，也没有考虑副产品的收益差别。因工艺 1、2、3 脱硫装置阻力基本一致，故认为其导致的引风机电耗增加相同，并以工艺 1 为基准，计算工艺 4 相对工艺 1 所增加的电耗。脱硫工艺的经济比较，见表 5-2。

表 5-2 脱硫工艺的经济比较

脱硫工艺技术分类	石灰/石灰石-石膏法（湿法）	镁法（湿法）	氨法（湿法）	循环流化床（半干法）
总投估算(万元)	130~175	110~155	125~165	120~160
脱硫剂耗量 (t/h)	0.23	0.06	0.17	0.35
脱硫剂耗费 (万元/a)	40.25	42	142.8	61.2
电费 (万元/a)	85.5	44.5	24.5	4.9
水费 (万元/a)	1.8	1.6	1.7	1.3
引风机、压风机、除尘增加电耗 (万元/a)	0	0	0	17.5
占地(m ²)	~220	~180	~180	~90
运行费合计 (万元/a)	127.6	88.1	169	84.9

1.6 指导意见

从投资及运行费用看，石灰石-石膏（湿法）初期投资较高，脱硫剂来源广、价格低，但脱硫剂消耗量较大，且电耗较高，与其他脱硫方式比较综合运行成本很高（发电厂除外）；镁法脱硫使用的脱硫剂来源具有一定的局限性，但初期投资低，运行成本低，系统不易结垢和堵塞，因此该脱硫技术在小型锅炉市场占有率较高；氨法脱硫适合在有氨水副产品的化工焦化等企业使用；循环流化床（半干法）系统阻力大，导致除尘器负荷增大，极易造成粉尘超标排放，同时还经常出现脱硫塔进口堵塞问题，因此该方法在应用方面并不广泛。

2. 脱硝技术

脱硝是指燃烧烟气中去除氮氧化物的过程，这种防止环境污染的重要性，已作为世界范围的问题而被尖锐地提了出来。世界上比较主流的工艺分为 SCR 和 SNCR。这两种工艺除了

由于 SCR 使用催化剂导致反应温度比 SNCR 低外，其他并无太大区别。脱硝又分为燃烧前脱硝、燃烧过程脱硝、燃烧后脱硝。

2.1 选择性催化还原法（SCR 法）

SCR 法脱硝技术最为成熟，系统具有较高安全性，脱硝效率显著（通常在 80%~90%之间），并且有效反应温度范围较低。当对 NO_x 脱除效率要求较高时，采用 SCR 工艺最经济，可提供一次到位的脱硝方式。但此脱硝系统包括较多子系统如电气控制系统、还原剂制备系统、脱硝反应器以及烟气系统等，一次性投入较高。工作原理为：采用尿素或液氨还原剂在钛基等催化剂作用下，在 280~400℃ 烟气温度的与烟气中的 NO_x 有选择的发生反应生产水和氮气，降低 NO_x 的排放。选择性催化还原法（SCR 法）工艺流程见图 5-5。

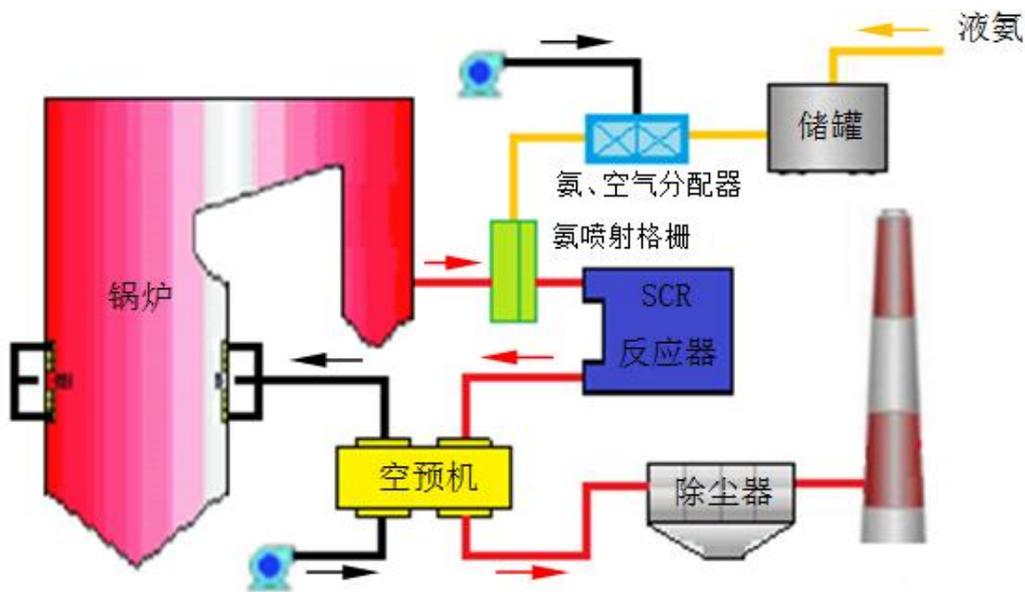


图 5-5 选择性催化还原法（SCR 法）工艺流程

2.2 选择性非催化还原法（SNCR 法）

SNCR 技术主要包括：锅炉内喷射反应系统，以及还原剂存储、稀释供给系统。具有占地面积较小，无需增加催化剂反应器，成本较低的特点。但由于炉膛是该技术的主要反应器，炉膛温度要保持在 800~1150℃，脱硝效率受锅炉设计、锅炉负荷等因素的影响较大，脱硝效率较低，通常在 30%~60%之间，因此多用于低 NO_x 燃烧器的辅助工程。

工作原理为：将尿素、液氨等还原剂喷入温度为 800~1150℃ 范围的炉中，尿素受热分解与燃气中的 NO_x 发生反应，生产水与氮气，实现脱硝的目的。该脱硝方法系统包括锅炉内喷射反应系统，以及还原剂存储、稀释供给系统。工艺流程见图 5-6。

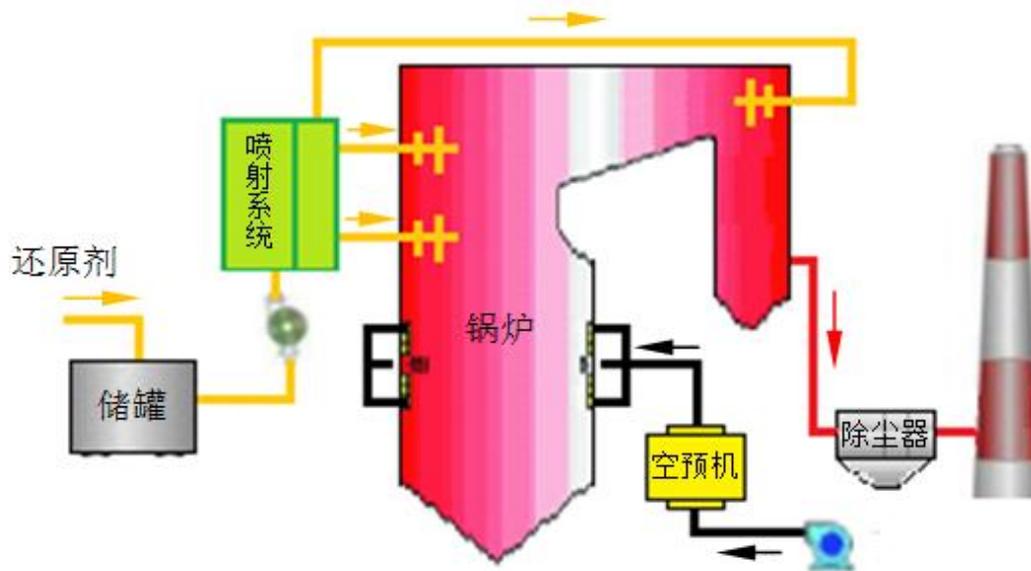


图 5-6 选择性非催化还原法（SNCR 法）工艺流程

2.3 SNCR/SCR 混合法

SNCR/SCR 混合法结合了 SCR 技术高效和 SNCR 技术低成本的特点，但这种技术具有比较复杂的运行系统，实际应用较少。

SNCR/SCR 混合法工艺具有两个反应区，通过布置在锅炉炉墙上的喷射系统，首先将还原剂喷入第一个反应区锅炉炉膛，在高温下尿素溶液与烟气中 NO 发生非催化还原反应，实现初步脱氮；并且在锅炉高温下产生的逃逸氨与锅炉烟气混合，进入第二个反应区 SCR 反应器，在催化剂的作用下，氨气和 NO_x 进行化学还原反应，生成无害的氮气和水。

目前，还有一种新开发的 SNCR/SCR 混合脱硝技术则是在传统的混合法工艺基础上，采用特殊的尿素喷射布置设计和流场混合技术，能更好地控制 SNCR 段尿素喷射方式，改善 SNCR 逃逸氨的分布，降低还原剂的消耗量，对 NO_x 终端排放值的检测与控制也更加灵敏，可以有效消除传统混合法经常出现左右两侧烟气 NO_x 排放的不平衡的现象，达到脱硝过程高效低耗的目的。SNCR/SCR 混合法工艺流程见图 5-7。

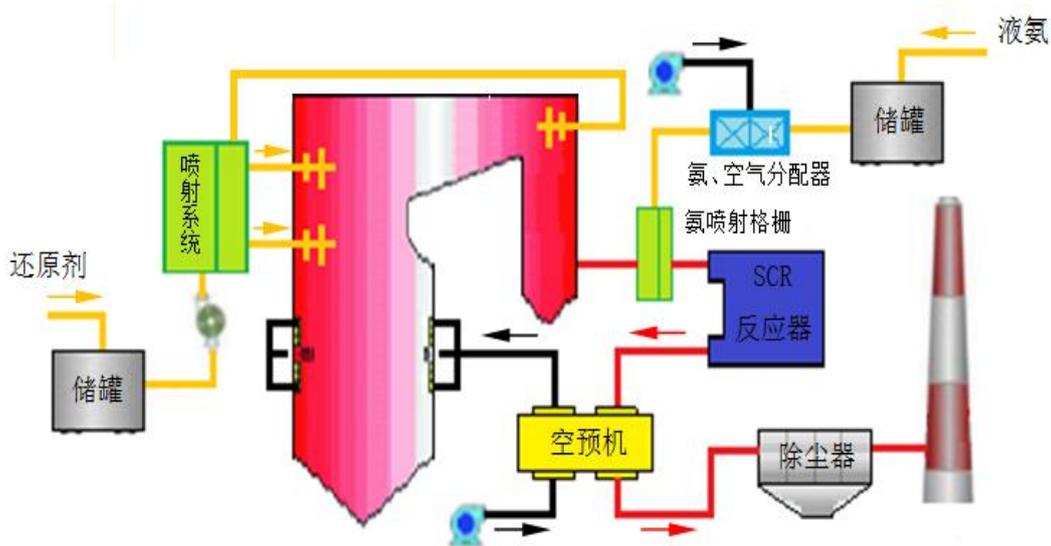


图 5-7 SCR/SNCR 混合法工艺流程

2.4 技术比较

脱硝工艺的技术比较，见表5-3。

表5-3 脱硝工艺的技术比较

脱硝工艺技术分类	SCR 法	SNCR 法	SNCR/SCR 混合法
还原剂	液氨 NH ₃ 或尿素	尿素或液氨 NH ₃	尿素或液氨 NH ₃
反应温度 (°C)	280~400	800~1150	前段 800~1150， 后段 280~400
催化剂	使用	不使用	后段使用少量
脱硝效率 (%)	80~90	30~60	40~90
O ₂ /O ₃ 氧化	O ₂ /O ₃ 氧化率较高	不导致 O ₂ /O ₃ 氧化	O ₂ /O ₃ 氧化较 SCR 法低
NH ₃ 逃逸 (μ L/L)	3~5	5~10	3~5
对空气预热器影响	易造成堵塞或腐蚀	不易造成堵塞或腐蚀	介于 SCR 和 SNCR 二者之间
系统压力损失	系统压力损失 > 980 Pa	可忽略不计	系统压力损失 < 600 Pa
燃料对工艺的影响	高灰分燃料磨耗催化剂， 碱金属氧化物使催化剂钝化	可忽略不计	高灰分燃料磨耗催化剂， 碱金属氧化物使催化剂钝化
锅炉对工艺的影响	受省煤器出口烟气温度的影响	受炉膛内烟气流速、温度 及 NO _x 分布的影响	受炉膛内烟气流速、温度 及 NO _x 分布的影响
优点	运行可靠、便于维护；运行成本较低；适用于对脱除率要求较高的企业	初期投资低；设备布置较灵活；运行过程中无须投放催化剂	SNCR/SCR 混合法结合了两种工艺的特点，脱硝率较高
缺点	初期投资高；运行过程中须要投放催化剂；整体设备不可分割	运行成本较高；脱除效率低，适用于对脱除率要求不高的企业	该技术运行系统比较复杂，实际应用较少

2.5 经济比较

在对各种脱硝工艺经济比较的过程中，投资、运行费用估算以 35 t/h 锅炉为基础，运行时间为 7000 h/a，电价按 0.5 元/kWh，水价按 2.5 元/t 计，投资费用根据脱硝厂家方案估算。脱硝工艺的经济比较，见表 5-4。

表 5-4 脱硝工艺的经济比较

脱硝工艺技术分类	SCR 法	SNCR 法	SNCR/SCR 混合法
总投估算(万元)	120~145	65~85	95~115
还原剂	液氨 NH ₃	尿素	尿素
还原剂消耗(万元/a)	32.4	40.7	35
了催化剂(万元/a)	3.5	无	1.2
水费(万元/a)	无	0.8	0.75
电费(万元/a)	2.25	1.75	1.75
占地(m ²)	15(整体设备不可分割)	30(根据现场灵活布置)	40
运行费合计(万元/a)	38.15	43.25	38.75

2.6 指导意见

SCR 法初期投资较高，但技术成熟、运行可靠、便于维护，当对 NO_x 脱除率要求较高或新建时，采用 SCR 工艺最经济；SNCR 法初期投资较低，设备布置较灵活，无需增加催化剂反应器，运行成本较低，比较适用于对 NO_x 脱除率要求不高的企业；SNCR/SCR 混合法结合了两种工艺的特点，但这种技术具有比较复杂的运行系统，实际应用较少。

3. 除尘技术

目前我国电除尘器的生产规模和使用数量均居世界首位，电除尘技术接近世界先进水平。布袋除尘器的技术核心在于滤料，随着材料科技的不断进步，袋式除尘技术得到广泛应用。电袋复合除尘技术是基于静电除尘和袋式除尘两种成熟的除尘理论，由我国自行研发提出的新型除尘技术，近几年已在多家电厂成功应用。

3.1 静电除尘技术(ESP)

静电除尘器(ESP)的主要工作原理是：在电晕极和收尘极之间通上高压直流电，所产生的强电场使气体电离、粉尘荷电，带有正、负离子的粉尘颗粒分别向电晕极和收尘极运动而沉积在极板上，使积灰通过振打装置落进灰斗。

由于静电除尘器基于荷电收尘机理，静电除尘器对飞灰性质(成分、粒径、密度、比电阻、黏附性等)十分敏感，特别对高比电阻、细微颗粒物捕集困难，运行工况变化对除尘效率也有较大影响。另外其不能捕集有害气体，对制造、安装和操作水平要求较高。

对现有静电除尘器提效改造技术有三种可行方向:改进静电除尘器(包括静电除尘器扩容、采用电除尘新技术及多种新技术的集成)、电袋复合除尘技术、湿式电除尘技术。

3.2 袋式除尘技术

袋式除尘器的主要工作原理包含过滤和清灰两部分。过滤是指含尘气体中颗粒物的惯性碰撞、重力沉降、扩散、拦截和静电效应等作用结果。布袋过滤捕集颗粒物是利用滤料进行表面过滤和内部深层过滤。清灰是指当滤袋表面的粉尘积聚达到阻力设定值时，清灰机构将清除滤袋表面烟尘，使除尘器保持过滤与清灰连续工作。

袋式除尘器最大缺点是受滤袋材料的限制，在高温、高湿度、高腐蚀性气体环境中，除尘时适应性较差。运行阻力较大，平均运行阻力在 1500Pa 左右，有的袋式除尘器运行不久阻力便超过 2500Pa。另外，滤袋易破损、脱落，旧袋难以有效回收利用。

3.3 电袋复合除尘技术

电袋复合式除尘器的工作过程是，含尘烟气进入除尘器后，70~80%的烟尘在电场内荷电被收集下来，剩余 20-30%的细烟尘被滤袋过滤收集。电袋复合式除尘器兼容了静电除尘器和袋式除尘器的优点，较好的弥补了两者的不足，除尘机理科学合理。

电袋复合式除尘器主要有臭氧腐蚀、运行阻力较高、投资大、占地面积大等缺点，滤袋寿命短及换袋成本高仍是其重要问题。

3.4 湿式电除尘技术

湿式电除尘器是一种用来处理含微量粉尘和微颗粒的新除尘设备，主要用来除去含湿气体中的尘、酸雾、水滴、气溶胶、臭味、Pm2.5 等有害物质，是治理大气粉尘污染的理想设备。

湿式电除尘器有几种结构形式，一种是使用耐腐蚀导电材料做集尘极，一种是用通过喷水或溢流水形成导电水膜不导电的非金属材料做集尘极。湿式电除尘器还可分为横流式(卧式)和竖流式(立式)，横流式多为板式结构，气体流向为水平方向进出，结构类似干式电除尘器；竖流式多为管式机构，气体流向为垂直方向进出。一般来讲，同等通气截面积情况下竖流式湿式电除尘器效率为横流式的 2 倍。

沉集在极板上的粉尘可以通过水将其冲洗下来。湿式清灰可以避免已捕集粉尘的再飞扬，达到很高的除尘效率。因无振打装置，运行也较可靠。采用喷水或溢流水等方式使集尘极表面形成导电膜的装置存在着腐蚀、污泥和污水的处理问题，仅在气体含尘浓度较低、要求含尘效率较高时才采用；使用耐腐蚀导电材料做集尘极的湿式电除尘器不需要长期喷水或溢流水，只根据系统运行状况定期进行冲洗，仅消耗极少量的水，该部分水可回收循环利用，收尘系统基本无二次污染。

3.5 技术比较

除尘工艺的技术比较，见表5-5。

表5-5 除尘工艺的技术比较

除尘工艺技术分类	静电除尘(ESP)	袋式除尘	电袋复合除尘	湿式电除尘(WESP)
市场占有率(%)	~10	~70	~15	~5
除尘效率(%)	~99	≥99.9	≥99.9	~99.9
维护、操作	操作维护简便，检修工作量小，可以长期连续稳定运行	对维护、操作要求水平较高	对维护、操作要求水平较高	操作维护简便，无运动部件，可以长期连续稳定运行
煤质要求	无要求	有要求，钙元素易黏附在滤料上，而且易被腐蚀	有要求，钙元素易黏附在滤料上，而且易被腐蚀	无要求
负荷变化的适应性	较差	好	好	较好
烟气温度要求	适应能力强	温度过低结露后颗粒物易黏附，过高易损坏滤料	温度过低结露后颗粒物易黏附，过高易损坏滤料	适应能力强
烟气湿度要求	要求较低	不适于在高湿度环境下运行	不适于在高湿度环境下运行	无要求
优点	维护、操作简单；运行费用低	除尘效率极高	除尘效率极高	除尘效率较高
缺点	初期投资较高；占地面积大；对高比电阻、细微颗粒物捕集困难	在高温、高湿度、高腐蚀性气体环境中，滤袋易破损、脱落；长期停运时需做好滤袋的保护工作	在高温、高湿度、高腐蚀性气体环境中，滤袋易破损、脱落；长期停运时需做好滤袋的保护工作	初期投资高；适合在入口颗粒物浓度较低的情况下应用

3.6 经济比较

不同除尘技术的投资与运行费用受各种参数的影响而变化较大。在对各种除尘工艺经济比较的过程中，投资、运行费用估算以35t/h锅炉为基础。假定：(1)静电除尘器(ESP)4个电场、比收尘面积约为 $86\text{m}^2/(\text{m}^3/\text{s})$ 。(2)袋式除尘器过滤速度为 $1.0\text{m}/\text{min}$ 。(3)电袋复合除尘器的电除尘器为1个电场，其袋式除尘器的过滤速度为 $1.2\text{m}/\text{min}$ 。(4)湿式电除尘器(WESP)为1个电场的静电除尘器，比收尘面积约为 $21.5\text{m}^2/(\text{m}^3/\text{s})$ 。运行时间为 $7000\text{h}/\text{a}$ ，电价按 $0.5\text{元}/\text{kWh}$ ，水价按 $2.5\text{元}/\text{t}$ 计，电除尘器设计寿命按30年计，易损件极板、极线、轴承、锤头、瓷套、瓷轴等寿命按10年计，每10年的更换费用按电除尘器设备费用的15%计，袋式除尘器及电袋复合除尘器中的滤袋寿命按4年，笼骨、脉冲阀寿命按8年计。除尘工艺的经济比较，见表5-6。

表5-6 除尘工艺的经济比较

除尘工艺技术分类	静电除尘(ESP)	袋式除尘	电袋复合除尘	湿式电除尘(WESP)
总投资估算(万元)	130~160	100~120	135~155	140~175

易损件更换(万元/a)	3.5	0	0.85	2.65(含水费)
滤袋、笼骨(万元/a)	0	7.5	6.5	0
电耗费用(万元/a)	4.5	5.25	6.3	1.5
占地(m ²)	~140	布袋长度和形式不同占地面积不同 30~70	布袋长度和形式不同占地面积不同 60~95	~35
运行费合计(万元/a)	8	12.75	13.65	4.15

3.7 指导意见

由于静电除尘技术(ESP)的本体投资高于袋式除尘和电袋复合除尘技术,维护、操作简单、运行费用低,但该技术对高比电阻、细微颗粒物捕集困难,对除尘效率有较大影响,因此在小吨位锅炉中应用较少;袋式除尘技术,除尘效率极高,但受滤袋材料的限制,在高温、高湿度、高腐蚀性气体环境中,滤袋易破损、脱落,导致运行费用较高;电袋复合除尘技术,除尘效率极高,但受滤袋材料的限制,在高温、高湿度、高腐蚀性气体环境中,滤袋易破损、脱落,导致运行费用较高;湿式电除尘技术(WESP)除尘效率较高,但由于一次性投入高,适合在入口颗粒物浓度较低的情况下应用。

六、重大分歧意见的处理依据和结果

该标准在征求意见过程中无重大分歧意见。

七、采用国际标准或国外先进标准的,说明采标程度,以及国内外同类标准水平的对比情况

无。

八、贯彻标准的措施建议

(一) 技术措施

1. 摸清污染底数,同时强化环境监测数据管理,严查数据造假行为。
2. 强化科技支撑。应积极引导优势技术团队以服务于环境管理需求为导向,创新科研立项和绩效考核评估方法,加大支持力度,稳定2~3个与环境管理密切联系的高素质科研团队。
3. 加大环保先进适用技术的示范与推广。注重发挥政府在污染防治先进技术示范与推广中的推动作用,借着排污费使用管理办法修订之机,确定每年拿出一定经费支持减排效果明显、经济效益高的先进环保适用技术进行示范和推广,积极引导环保产业技术进步,实现我省环境科技水平的整体发展。

(二) 管理措施

加强对生产企业的环境监管，对涉及的各项控制要求须定期进行监测、检查。督促企业做好除尘、脱硫和脱硝等设施、设备的检修工作，增加对污染防治设施运行的检查频次，加大对偷排企业的行政处罚力度，确保生产企业稳定达标排放。

（三）实施方案

1. 企业应对自身排污情况进行核查，保证环保设施、监测设施正常运行，并能够达到标准要求。

2. 相关部门和人员负责摸清存在问题及不稳定因素，逐一研究对策，制定整改措施，限期整改。与生产企业签订企业稳定达标排放承诺书，落实责任及减排措施，确保各项管控措施落到实处。

3. 建立奖惩制度，对积极配合实施的企业进行表扬，给予一定的优惠政策，对无视标准、超标排污的企业，向社会通报，视情节予以处罚。

九、预期效益分析

该标准的制定，能够为吉林省燃煤锅炉在大气污染末端治理过程中有关技术的选取提供依据，同时为环境管理和环境科研以及相关行业审查类似项目的可行性提供必要的参考。适用于 65t/h 以下燃煤锅炉大气污染末端治理。

《小型燃煤锅炉大气污染治理技术指南》标准制定小组

2018年9月19日