

中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

烧结砖瓦工业大气污染物治理设施工程 技术规范

Technical specifications for air pollutant governance facilities engineering of fired
brick and tile industry

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

发布

目 次

前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	3
4 污染物与污染负荷.....	6
5 总体要求.....	7
6 设计.....	9
7 主要设备和材料.....	30
8 检测与过程控制.....	37
9 主要辅助工程.....	40
10 安全与职业健康.....	41
11 工程施工与验收.....	42
12 运行与维护.....	43
附录A(规范性) 电除尘器对原料燃料品种的除尘难易性评价方法.....	48
附录B(资料性) 电除尘提效技术和提效装置的技术特点和适用范围.....	49
附录C(资料性) 典型治理技术路线.....	51
附录D(资料性) 不同脱硝还原剂的技术特点.....	56
附录E(资料性) 典型石灰石/石灰-石膏湿法脱硫排放技术主要流程.....	57

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规则起草。

本文件由中国建筑材料联合会提出。

本文件由全国墙体屋面及道路用材料标准化技术委员会（SAC/TC285）归口。

本文件起草单位：中国砖瓦工业协会、-----

本文件主要起草人：-----

烧结砖瓦工业大气污染治理设施工程技术规范

1 范围

本文件规定了烧结砖瓦工业大气污染治理设施排放工程的术语和定义、污染物与污染负荷、总体要求、设计、主要设备和材料、检测与过程控制、主要辅助工程、安全与卫生、工程施工与验收、运行与维护等技术要求。

本文件适用于烧结砖瓦工业大气污染治理设施排放工程,可作为烧结砖瓦企业建设项目环境影响评价、环境保护设施设计、施工、调试、验收和运行管理以及环境监理、排污许可证审批的技术依据。非烧结砖瓦企业大气污染治理设施排放工程可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 2893.1 图形符号 安全色和安全标志 第1部分安全标志和安全标记的设计原则
- GB 2894 安全标志及其使用导则
- GB/T 6719 袋式除尘器技术要求
- GB 8978 污水综合排放标准
- GB 12158 防止静电事故通用导则
- GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
- GB/T 12801 生产过程安全卫生要求总则
- GB/T 13491 涂料产品包装通则
- GB/T 13931 电除尘器性能测试方法
- 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
- GB 17681 易燃易爆罐区安全监控预警系统验收技术要求
- GB 18218 危险化学品重大危险源辨识
- GB 18599 一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准
- GB/T 19229.1 燃煤烟气脱硫设备第1部分:燃煤烟气湿法脱硫设备
- GB/T 19229.2 燃煤烟气脱硫设备第2部分:燃煤烟气干法/半干法脱硫设备
- GB/T 21508 燃煤烟气脱硫设备性能测试方法
- GB/T 21509 燃煤烟气脱硝技术装备
- GB/T 22395 锅炉钢结构设计规范
- GB/T 27869 电袋复合除尘器
- GB 29620 砖瓦工业大气污染物排放标准
- GB/T 31584 平板式烟气脱硝催化剂
- GB/T 33017.1 高效能大气污染物控制装备评价技术要求第1部分:编制通则
- GB/T 33017.2 高效能大气污染物控制装备评价技术要求第2部分:电除尘器
- GB/T 33017.3 高效能大气污染物控制装备评价技术要求第3部分:袋式除尘器

- GB/T 33017.4 高效能大气污染物控制装备评价技术要求第4部分:电袋复合除尘器
- GB 50016 建筑设计防火规范
- GB 50040 动力机器基础设计规范
- GB 50046 工业建造防腐蚀设计规范
- GB/T 50087 工业企业噪声控制设计规范
- GB 50160 石油化工企业设计防火规范
- GB 50212 建筑防腐蚀工程施工及验收规范
- GB 50217 电力工程电缆设计规范
- GB 50222 修建内部装修设计防火规范
- GB 50236 现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范
- GB 50351 储罐区防火堤设计规范
- GB/T 50528 烧结砖瓦工厂节能设计规范
- GB 50683 现场设备、工业管道焊接工程施工质量验收规范
- GB/T 50701 烧结砖瓦工厂设计规范
- GB 50895 烟气脱硫机械设备工程安装及验收规范
- GBJ 87 工业企业噪声控制设计规范
- GBZ 1 工业企业设计卫生标准
- GBZ 2.1 工业场所有害因素职业接触限值第1部分:化学有害因素
- GBZ 2.2 工作场合有害因素职业接触限值第2部分:物理因素
- DL/T 514 电除尘器
- DL/T 998 石灰石-石膏湿法烟气脱硫装置性能验收 试验规范
- DL/T 1589 湿式电除尘技术规范
- HGJ 1074 化工厂设备管道的保温油漆规定
- HG 23012 厂区设备内作业安全规程
- HJ/T 75 固定污染源烟气排放连续监测系统技术规范
- HJ/T 76 固定污染源烟气排放连续监测系统技术要求及检测方法
- HJ/T 178 烟气循环流化床法脱硫工程通用技术规范
- HJ/T 179 石灰石/石灰-石膏法脱硫工程通用技术规范
- HJ/T 323 环境维护产品技术要求电除雾器
- HJ/T 324 环境保护产品技术要求袋式除尘器用滤料
- HJ/T 326 环境保护产品技术要求袋式除尘器用覆膜滤料
- HJ/T 327 环境保护产品技术要求袋式除尘器滤袋
- HJ 462 工业锅炉及炉窑湿法烟气脱硫工程技术规范
- HJ 2001 氨法脱硫工程通用技术规范
- JB/T 5906 电除尘器阳极板
- JB/T 5909 电除尘器用瓷绝缘子
- JB/T 5910 电除尘器
- JB/T 5913 电除尘器阴极线
- JB/T 5916 袋式除尘器用电磁脉冲阀
- JB/T 5917 袋式除尘器用滤袋框架
- JB/T 6407 电除尘器设计、调试、运行、维护安全技术规范
- JB /T 8471 袋式除尘器安装技术要求与验收规范
- JB/T 8533 回转反吹类袋式除尘器

JB/T 10191	袋式除尘器安全要求脉冲喷吹类袋式除尘器用分气箱
JB/T 10340	袋式除尘器用压差式清灰控制仪
JB/T 11267	顶部电磁锤振打电除尘器
JB/T 11311	移动板式电除尘器
JB/T 11639	除尘用高频高压整流设备
JB/T 11644	电袋复合除尘器设计、调试、运行、维护安全技术规范
JB/T 11829	燃煤电厂用电袋复合除尘器
JB/T 12113	电凝集器
JB/T 12114	电袋复合除尘器气流分布模拟试验方法
JB/T 12118	电袋复合除尘器袋区技术条件
JB/T 12129	燃煤烟气脱硝失活催化剂再生及处理办法
JB/T 12131	燃煤烟气净化 SCR 脱硝流场模拟试验技术规范
JB/T 12591	低低温电除尘器
JB/T 12592	低低温高效燃煤烟气处理系统
JB/T 12593	燃煤烟气湿法脱硫后湿式电除尘器
JC/T 358.2	水泥工业用电除尘器 技术条件
TSGR 0003	简单压力容器安全技术监察规程

3 术语和定义

GB/T 19229.1、GB/T 19229.2、GB 29620和GB/T 33017界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

颗粒物 particulate matter

悬浮于排放废气、烟气中的固体和液体颗粒状物质，包括除尘器未能完全收集的烟尘废气颗粒及烟气脱硫、脱硝过程中产生的次生物。

3.2

治理技术路线 technical route of governance

在焙烧窑炉焙烧制品烟气、原料粉碎、原料处理及输送的粉尘治理等过程中，为使颗粒物、SO₂、NO_x达到排放要求，组合采用多种废气、烟气污染物高效脱除技术而形成的治理技术路线。

3.3

协同治理 collaborative treatment

在统一治理设施内实现两种及以上废气、烟气污染物的同时脱除，或为下一流程治理设施脱除废气、烟气污染物创造有利条件，以及某种废气、烟气污染物在多个治理设施间高效联合脱除。

3.4

湿法脱硫高效协同除尘 effective collaborative Control of particulate Matter By Wet flue gas desulfurization

通过改进或增设兼具有除尘功能的设备及构件，实现高效脱除烟气SO₂和颗粒物。

3.5

脱硫装置 desulfurizing unit

指脱硫塔以及配套的各类辅助设备、仪表、管路、建（构）筑物等的总称。

3.6

脱硫塔 desulfurization tower

指脱硫装置中脱除SO₂等有害物质的反应装置。

3.7

复合塔脱硫 hybrid tower desulfurization

在吸收塔内加装强化气液传质构件，以改良气-液分布、提高气-液-固三相传质速率，完成烟气SO₂的高效吸收。

3.8

pH 值分区 “pH” separation desulfurization

通过加装隔离体、浆液池等方式对浆液实现物理分区或依赖浆液本身特点(流动方向、密度等)形成天然分区，以达到对浆液pH值的分区节制，完成烟气SO₂的高效吸收。

3.9

脱硫效率 desulfurization efficiency

指烟气通过脱硫系统或装置脱除的SO₂的量与脱硫前烟气中所含SO₂量的比值。

3.10

系统或装置可用率 availability of system or device

指系统或装置每年总运行时间与炉窑每年总运行时间的百分比。

3.11

脱硫剂 desulfurizer

指烟气湿法脱硫中用于脱除二氧化硫(SO₂)等有害物质的各类反应剂。包括石灰(主要成份为CaO)、消石灰(主要成份为Ca(OH)₂)、石灰石(主要成份为CaCO₃)、氧化镁、氢氧化镁、烧碱、纯碱，以及电石渣、白泥等碱性废渣。

3.12

脱硫渣 desulphurization slag

指烟气湿法脱硫中脱硫剂与SO₂等有害物质反应后生成的副产物、未反应的脱硫剂以及被脱硫系统捕集下来的烟尘等的混合物。

3.13

液气比 liquid gas ratio

指脱硫装置处理单位体积烟气所需脱硫循环液的体积，即脱硫液循环体积流量与吸收塔入口工况烟气的体积流量的比值，单位为L/m³。

3.14

脱硫塔阻力 resistance of desulfurization tower

脱硫塔入口与出口烟气的全压差，单位为Pa。

3.15

钙(镁)硫比 Ca (Mg) S ratio

指脱硫剂的消耗量与脱硫装置脱除SO₂量的摩尔比值。

3.16

空间速度 Space Velocity

是指烟气(标准状态下的湿烟气)在催化剂容积内的停留时间尺度的指标。

4 污染物与污染负荷

4.1 污染物来源与特征

烧结砖瓦工业烟气污染和原料处理粉尘污染来源于焙烧窑炉焙烧制品燃烧生成烟气、原料粉碎、原料处理及输送的粉尘和治理过程次生，包括颗粒物和气态污染物。其中，颗粒物主要包括烟尘、原料粉尘、硫酸盐、亚硫酸盐及未反应吸收剂等可过滤颗粒物(简称颗粒物)，还含有少量硫酸盐、硝酸盐等可凝结颗粒物；气态污染物则包括SO₂、NO_x、HF等。

4.2 污染负荷

4.2.1 根据工程设计需要，需收集以下原始资料，主要包括：

a) 原料性质包括原料工业分析、元素分析、硬度、塑性指数、干敏系数和颗粒级配等。

- b) 燃料性质，包括燃料工业分析、元素分析、灰熔融性等。
- c) 燃料及原料飞灰成分，应包括 Na_2O 、 Fe_2O_3 、 K_2O 、 SO_3 、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 CaO 、 MgO 、 P_2O_5 、 Li_2O 、 TiO_2 、 MnO_2 、飞灰可燃物等。
- d) 飞灰比电阻，包括试验室比电阻和工况比电阻。
- e) 飞灰粒度、真密度、堆积密度、粘附性、安息角等。
- f) 烟气露点温度、烟气含湿量、烟气含氧量。
- h) 原料处理及成型过程中锤破、筛分、轮碾、陈化、辊式细碎（对辊）、搅拌、挤出成型及编组码窑参数。
 - i) 干燥参数。
 - j) 焙烧窑炉参数。
 - k) 水、电、蒸汽等消耗品的介质参数。
 - l) 生产装置及烟道布置图以及厂区总平面图。

4.2.2 NO_x 控制系统污染负荷

- 4.2.2.1 脱硝新建工程设计应采用焙烧窑炉焙烧制品设计最大连续工况 (BMCR) 即焙烧制品时的烟气量、烟气温度。烟气量计算方法应按GB/T 50701执行。
- 4.2.2.2 脱硝改造工程设计应根据理论计算值并结合脱硝系统入口处实测值确定烟气参数。脱硝系统入口 NO_x 浓度应按焙烧窑炉的最大连续工况 (BMCR) 数据进行设计。

4.2.3 颗粒物控制系统污染负荷

- 4.2.3.1 新建工程设计除尘器、湿式电除尘器应采用原料处理及成型、干燥、焙烧窑炉工序最大连续工况 (BMCR)、设计焙烧的烟气量、烟气温度，烟气量另加10%裕量，除尘器烟气温度另加15℃。烟气量计算方法应按GB/T 50701执行。
- 4.2.3.2 改造工程设计除尘器、湿式电除尘器应根据实践计算值并结合除尘器入口处实测值确定破碎废气、烟气参数，烟气量另加10%的裕量，除尘器烟气温度另加15℃。

4.2.4 SO_2 控制系统污染负荷

- 4.2.4.1 脱硫新建工程设计宜采用焙烧窑炉焙烧制品时最大连续工况 (BMCR) 的烟气量、烟气温度，烟气温度另加15℃。烟气量计算方法应按GB/T 50701执行。
- 4.2.4.2 脱硫改造工程设计应根据理论计算值并结合脱硫系统入口处实测值确定烟气参数。烟气温度另加15℃。

5 总体要求

5.1 一般规定

- 5.1.1 治理排放工程建设应满足国家及地方环保相关政策及标准，同时确保企业生产效能水平和大气污染物排放指标符合GB 29620及国家和地方有关要求，工程质量、安全、卫生、消防、环保等方面应满足强制性标准要求和国家有关规定。
- 5.1.2 治理排放工程建设应按国家工程项目建设程序进行，设计文件应按规定的内容和深度完成报批、批准和备案手续。
- 5.1.3 新建、改建、扩建治理工程应和主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用，能满足主体工程的生产需要。

- 5.1.4 治理排放工程规划、设计和建设应本着源头控制、无组织排放控制、清洁生产、协同减排、末端治理的优先级原则，通过原料及燃料预处理、抑制原料处理及燃烧污染物生成、专项治理及功能拓展、全流程协同控制、终端技术把关等手段匹配组合，以实现高效、稳定、经济、达标的控制目标。
- 5.1.5 治理排放技术路线的选择应因料制宜、因窑炉制宜、因地制宜、统筹协调、统筹发展，依据技术成熟、运行可靠、经济合理、能耗较低、二次污染少等原则确定。
- 5.1.6 治理排放工程设计和建设应统筹考虑、合理布局，符合烧结砖瓦企业总体规划和生产流程，满足环境影响评价文件批复要求。
- 5.1.7 治理排放工程所需的水、电、气、汽等辅助介质应尽量由烧结砖瓦企业主体工程提供。吸收剂和副产品宜设有计量装置，也可与烧结砖瓦企业主体工程共用。
- 5.1.8 治理排放工程的设计指标应满足国家及地方环保相关政策及标准，设计寿命不低于主体工程设计寿命，应能在工况条件下连续、稳定、安全工作，当废气及烟气特性及浓度在一定范围内变化时应能正常运行，可用率满足有关要求。
- 5.1.9 治理排放工程应配有相应的监测、检测设备，废气排孔、烟囱或排放烟道上应设置连续在线监测系统(CEMS)，并预留人工监测孔、永久性监测平台等人工监测条件。
- 5.1.10 治理排放工程的运行管理当充分考虑各治理设施之间的协同控制、功能匹配和分工，协同治理的同时不应对其他系统运行造成负面影响。

5.2 源头控制

- 5.2.1 治理排放工程计划、设计、建设和运行的全过程中，均应将源头控制原则贯穿到输入条件控制、技术路线确定、工程设计优化、设备选择、运行控制及生产管理等各个环节，杜绝散排、直排等无组织排放，宜采用源头燃烧及固硫脱氮技术的应用。
- 5.2.2 烧结砖瓦企业应优先选择清洁高效能源及环保经济的污染物治理用耗品，优先选用污染物产生量低的生产系统、焙烧窑炉、燃烧及固硫脱氮技术。
- 5.2.3 烧结砖瓦企业应加强燃料管理与配比，加强源头燃烧及固硫脱氮技术的应用，建立精准高效的运行管理机制，保证在设计条件下运行，做到污染物产生少、治理易、经济可行。

5.3 建设规模

治理排放工程建设规模应与烧结砖瓦企业规模相匹配，应以烧结砖瓦企业的原料处理及成型、干燥、焙烧窑炉产生的废气量、废气成分、烟气量、烟气成分、燃料和生产运行工况预期变化情况为依据。

5.4 工程构成

- 5.4.1 治理排放工程由无组织排放控制、颗粒物、SO₂、NO_x控制系统的主体工程及其配套辅助工程构成。
- 5.4.2 无组织排放控制工程包括原燃料储存、输送、破碎、原料制备、成型、干燥与焙烧以及其他过程要求的废气集中处理排放管道、防尘罩、烟道、除尘器、集气罩、卸输灰系统以及物料覆盖、喷淋系统等，不应散排直排等无组织排放。
- 5.4.3 颗粒物控制系统主体工程包括废气排放管道、烟道、除尘器、卸输灰系统等。
- 5.4.4 SO₂控制系统主体工程包括烟气系统、吸收塔系统、吸收剂制备(储存)系统、副产物处理(输送)系统等，其中石灰石/石灰-石膏等各类湿法脱硫还包括浆液排放和回收系统、脱硫废水处理系统；烟气循环流化床脱硫还包括脱硫除尘器、脱硫装置的水系统、灰循环系统等。
- 5.4.5 NO_x控制系统应采用焙烧窑炉低氮燃烧系统和脱硝系统，焙烧窑炉脱硝系统主体工程包括还原剂系统、反应系统、公用系统等。
- 5.4.6 配套辅助工程包括电气及控制系统、在线检测系统、暖通系统、给排水及消防系统、压缩空气供给系统等。

5.5 总平面布置

5.5.1 一般规定

5.5.1.1 治理排放工程总平面布置应遵守系统合理、占地面积小、流程简洁顺畅、烟道短捷、方便运行、利于维护、经济合理的原则。

5.5.1.2 治理排放工程应合理利用地形和地质条件，充分利用厂内公用设施，达到节资节地节水、工程量小、运行费用低、便于运维等目的。

5.5.1.3 治理排放工程总平面布置应满足国家和地方安全、卫生、消防、环保等要求。

5.5.2 总图布置

5.5.2.1 治理排放工程总平面布置应符合GB/T 50701、GBZ 1等规定。

5.5.2.2 静电、袋式、电袋复合除尘系统的总平面布置应符合GB/T 50701、GBZ 1、JB/T 12591、JB/T 12592等规定，电除尘系统烟气冷却器布置于电除尘器前端、垂直烟道或进口封头处，烟气再热器布置于烟囱前水平或垂直烟道，布置位置应综合斟酌换热效果、气流均布和烟道支架等因素，其他相关设施应符合有关标准规定。

5.5.2.3 脱硫系统总平面布置应符合HJ/T 178、HJ/T 179、HJ462、HJ 2001等规定，脱硫剂制备系统与脱硫塔相距较远时，宜在各脱硫塔附近设置脱硫剂中间罐；采用粉状脱硫剂时，物料装卸区的设置应考虑风向；采用碱性废渣如电石渣、白泥等作脱硫剂时，脱硫剂制备系统优先考虑布置在便于物料运输的地方。

5.5.2.4 脱硝系统总平面布置应符合GB/T 21509等规定。

5.5.3 管线布置

管线布置排放工程应符合GB/T 50701、DL/T 1589、HJ/T 178、HJ/T 179、HJ462、HJ 2001等规定。

5.5.4 其他

其他砖瓦企业大气污染物治理排放工程如涉及采用其他技术，应符合有关标准的规定。

6 设计

6.1 一般规定

6.1.1 治理排放设计应根据综合考虑废气、烟气中颗粒物、SO₂、NO_x及其他烟气污染物的排放要求和无组织排放控制要求，烧结砖瓦企业原料处理及成型、干燥、焙烧窑炉、原料、燃料特性、场地布置条件、技术成熟程度及应用水平等因素，改造工程还应结合原有污染物处理设施情况，经全面技术经济比较后确定。

6.1.2 治理排放设计应发挥各类废气、烟气污染治理设施的协同作用，实现经济稳定排放。

6.1.3 烟气污染物脱除过程中产生的二次污染应采取相应的治理措施。

6.2 治理排放技术路线选择

6.2.1 一般治理排放技术的原则

治理排放流程应优先选择经济适用、技术成熟、运行稳定、维护便捷、协同脱除效果好、应用业绩多的技术进行组合，并应将烟气污染物、废气污染物、无组织排放控制要求协同治理作为拟定流程的重要因素。

6.2.2 治理无组织排放技术路线

6.2.2.1 原燃料储存与输送

a) 粘土、页岩、煤矸石、原煤等原料、燃料应储存于封闭、半封闭料场（仓、库、棚）中，或四周设置防风抑尘网、挡风墙。采用半封闭料场措施的，料场应至少两面有围墙（围挡）及屋顶，并对物料采取覆盖、喷淋等抑尘措施；采取防风抑尘网、挡风墙措施的，防风抑尘网、挡风墙高度应不低于堆存物料高度的1.1倍，并对物料采取覆盖、喷淋等抑尘措施，出入口安装防风抑尘自动门。

b) 粉状物料应密闭储存和密闭输送；其他物料采用密闭皮带、封闭通廊或密闭车厢等方式输送，密闭皮带、封闭通廊或密闭车厢应设置检查维修通道和灰尘处理设施，在转运点等产尘点应设置集气罩并配备除尘设施，产尘点及车间不得有可见烟（粉）尘外逸。

c) 原料陈化应在封闭陈化库中进行。

d) 协同处置污泥或淤泥等具有挥发性气味的原料应储存于封闭的仓中，物料输送应同时分段设置负压抽风系统，封闭的仓和物料输送过程应全程采取负压抽风措施等防止异味外逸系统。

6.2.2.2 破碎及制备成型

a) 原料、燃料破碎及制备成型过程应在封闭厂房中进行，并配备除尘设施。

b) 页岩、煤矸石、煤等破碎筛分设备，在进、出口等产尘点应设置防尘罩、集气罩并配备除尘设施。

c) 配料、混料过程产尘点应设置防尘罩、集气罩并配备除尘设施。

d) 协同处置污泥或淤泥等具有挥发性气味的物料应在封闭厂房设置负压抽风措施等防止异味外逸系统。

6.2.2.3 干燥与焙烧

a) 干燥室和焙烧窑应密封良好，生产过程（含进出窑车）无烟气外逸，协同处置污泥或淤泥等具有挥发性气味的物料封闭厂房应设置负压抽风措施等防止异味外逸系统。

b) 窑顶外加煤应密闭贮存，不加煤时应关闭窑顶投煤孔。

6.2.2.4 其他要求

a) 产品装出产生尘点应采取喷淋等有效抑尘措施；窑车及相关产生尘及产渣区域应有除尘除渣措施；

b) 企业应建设门禁系统和视频监控系统，记录运输车辆电子台账（记录 VIN 号、发动机号、车牌号等）监控运输车辆进出厂区情况，视频监控要能够覆盖所有原材料、燃料、产品运输车辆。

b) 协同处置污泥、淤泥的负压抽风防止异味外逸系统废气应输入窑炉高温段经高温除味后随烟气经大气污染物治理设施处置后排放。

c) 除尘器应设置密闭灰仓并及时卸灰，除尘灰不得直接卸落到地面。除尘灰采用车辆运输时，装车过程中应采取加湿措施，并对运输车辆进行苫盖。

d) 企业道路应硬化。道路采取清扫、洒水、雾泡等降尘措施，保持清洁。

e) 企业应设置车轮清洗设施，或采取其他有效控制措施。

6.2.2.5 运行与记录

a) 废气收集系统、污染治理设施应与生产设备同步运行。废气收集系统或污染治理设施发生故障或检修时，对应的生产设备应停止运转，待检修完毕后同步投入使用。

b) 应记录废气收集系统、污染治理设施及其他无组织排放控制措施的主要运行信息，如污染治理设施的运行台账、在线监测数据；运行时间、废气处理量、喷淋（水或其他化学稳定剂）作业周期、用量、运行、巡检、维护、故障记录；自动监测及辅助设备运行状况、系统校准、校验记录、维护保养记录、故障维修记录、巡检日期，燃料、原辅料、氨水 / 尿素、脱硫剂等使用量，产品产量，煤质检测报告灰分、挥发分、全硫含量等信息。

c) 企业的门禁系统和视频监控系统电子台账保存一年以上，视频监控录像、车辆随车清单、行驶证复印件等信息应保存半年以上。

6.2.2.6 治理无组织排放技术改进及其他措施

企业可通过治理无组织排放的技术改进等其他措施实现等效或更优的无组织排放控制目标。因安全因素或特殊治理无组织排放的技术要求不能满足本标准规定的无组织排放控制要求，可采取其他等效污染控制措施，并向当地环境保护主管部门报告。

6.2.3 治理排放颗粒物技术路线

6.2.3.1 原料破碎及原料处理工序宜采用除尘器+协同除尘技术满足颗粒物排放要求。焙烧及干燥工序采取湿法脱硫时，根据烟气及废气状况，宜优先选用湿法脱硫协同除尘或湿式电除尘器协同除尘技术来满足颗粒物排放要求（因大部分焙烧窑炉初始颗粒浓度较低）。若初始浓度高于 $100\text{mg}/\text{m}^3$ ，宜考虑除尘器措施或除尘器+湿法脱硫协同除尘或湿式电除尘器相联合的协同除尘技术满足颗粒物排放要求。设备选用应结合烟气特性、出口颗粒物指标、各除尘装备的特色及实用性、能耗、经济性等综合指标确定，并应符合以下规定：

a) 除尘器出口烟尘浓度可按不大于 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 进行设计。

b) 采用湿法脱硫协同除尘（不依赖）+湿式电除尘器，也可采用湿法脱硫高效协同除尘。

c) 应采用湿法脱硫协同除尘保障颗粒物浓度不增加。

6.2.3.2 焙烧窑炉采用烟气循环流化床脱硫时，可选用袋式除尘器满足颗粒物排放要求，烟气湿度不满足除尘器要求时应加烟气除湿系统。

6.2.3.3 除尘技术包括干式电除尘器、袋式或电袋复合除尘器和干式电除尘器辅以提效技术或提效装置等，烟气湿度和温度不满足除尘器要求时应加烟气除湿增温系统，干式电除尘器提效技术和提效装置的技术特点和适用范围参见附录A。

6.2.3.4 除尘技术选择应根据原料及燃料收尘难易性和出口烟尘控制指标确定，具体可参考表1。

表1 一次除尘技术选择原则

电除尘器对原料及燃料的除尘难易性	一次除尘技术选择
较难	可选用电袋复合除尘器、袋式除尘器、干式电除尘器辅以提效技术或提效装置
较易	宜选用干式电除尘器、干式电除尘器辅以提效技术或提效装置
一般	可选用干式电除尘器、干式电除尘器辅以提效技术或提效装置、电袋复合除尘器、袋式除尘器

注：电除尘器对煤种的除尘难易性评价方法参见附录A。

6.2.3.5 湿法脱硫系统宜具有一定的协同除尘性能。湿法脱硫高效协同除尘系统的综合除尘效率不小于70%，且出口颗粒物浓度应不大于 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 。

6.2.3.6 湿法脱硫系统出口颗粒物浓度大于 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 时，应设置湿式电除尘器，可采用管式、板式等型式，湿式电除尘器出口颗粒物浓度应不大于 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 。

6.2.4 治理 SO_2 排放技术路线

6.2.4.1 焙烧窑炉宜采用的湿法脱硫系统，湿法脱硫系统参考湿法脱硫流程有石灰法、钠钙双碱法、氧化镁法、石灰石/石灰-石膏法等，宜优先采用石灰石/石灰-石膏法；脱硫系统应符合以下规定：

a) 湿法脱硫的主要技术指标应符合表2的要求。

表2 湿法脱硫主要技术指标

序号	脱硫效率	脱硫方法	液气比/ (l/m^3)	钙(镁)硫比	循环液 pH 值
1	≤ 90	石灰法	> 5	< 1.10	5.0~7.0
2		氧化镁法	> 2	< 1.05	5.0~7.0
3		石灰石法	> 10	< 1.05	5.0~6.0
4		双碱法	> 2	< 1.10	5.0~8.0

b) 其中石灰石/石灰-石膏湿法脱硫分为传统空塔喷淋提效、pH值分区和复合塔技术，技术选择应根据脱硫系统入口 SO_2 浓度确定，具体可参考表3。

表3 石灰石/石灰-石膏湿法脱硫技术选择原则

脱硫系统入口 SO_2 浓度/ (mg/m^3)	脱硫效率	石灰石/石灰-石膏湿法脱硫技术选择
≤ 1000	≤ 97	可选用传统空塔喷淋提效、pH值分区和复合塔技术
≤ 3000	≤ 99	可选用pH值分区技术、复合塔技术

c) 氨法脱硫适用于氨水或液氨来源稳定，运输距离短且周围环境不敏感的烧结砖瓦企业。

6.2.4.2 焙烧窑炉可采用焙烧后烟气循环流化床脱硫，烟气湿度温度不满足除尘器要求时应加烟气除湿增温系统，方案应根据吸收剂供应条件、水源情况、脱硫副产品综合利用条件等因素综合确定。

6.2.5 治理 NO_x 排放技术路线

6.2.5.1 焙烧窑炉治理 NO_x 宜采用低氮燃烧与湿式脱硫脱硝一体化技术或低氮燃烧与SCR脱硝技术。

6.2.5.2 焙烧窑炉治理 NO_x 应符合以下规定：

a) 应采用低氮原燃料降低 NO_x 生成。

b) 焙烧窑炉烟气出口 NO_x 浓度控制指标应根据焙烧窑炉烟气特性及脱硝效率等综合确定。

6.2.5.3 选用SNCR脱硝或SNCR/SCR联合脱硝，并符合以下规定：

a) 窑炉出口 NO_x 浓度一般可小于 $200\text{mg}/\text{m}^3$ ，部分原燃料可控制在 $150\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。

b) 窑炉出口 NO_x 浓度不大于 $150\text{mg}/\text{m}^3$ 时，可采用SNCR脱硝。

c) 窑炉出口 NO_x 浓度为 $150\text{mg}/\text{m}^3 \sim 200\text{mg}/\text{m}^3$ 时，可采用SNCR/SCR联合脱硝，SCR反应器催化剂可按1+1层装设。

6.2.6 典型治理排放技术路线

6.2.6.1 治理排放技术路线的选择应以颗粒物、 SO_2 、 NO_x 三种主要烟气污染物满足排放要求和无组织排放控制要求为基础，并应符合6.2.2~6.2.5的规定。

6.2.6.2 原料破碎及原料处理工序宜采用除尘器技术或除尘器+协同除尘技术满足颗粒物排放要求。废气湿度不满足除尘器要求时应加废气除湿系统或选择湿式电除尘器作为补充除尘。

6.2.6.3 焙烧及干燥工序采取湿法脱硫时，根据烟气及废气状况，宜优先选用湿法脱硫协同除尘或湿式电除尘器协同除尘技术来满足颗粒物排放要求（因大部分焙烧窑炉初始颗粒浓度较低）。若初始浓度高于 $100\text{mg}/\text{m}^3$ ，宜考虑除尘器措施或除尘器+湿法脱硫协同除尘或湿式电除尘器相联合的协同除尘技术满足颗粒物排放要求。

6.2.6.4 治理排放技术路线的选择应以湿法脱硫、湿式电除尘器和除尘器等设备对颗粒物的脱除能力和适应性为重要条件，可分为以湿式电除尘器作为补充除尘、以湿法脱硫高效协同除尘作为补充除尘、以超净电袋复合除尘器作为除尘且不依赖补充除尘的典型技术路线。也可采用烟气循环流化床脱硫相结合的典型技术路线，烟气湿度不满足除尘器要求时应加烟气除湿系统或选择湿式电除尘器作为补充除尘。

6.2.6.5 各典型排放技术路线参见附录C。

6.3 治理无组织排放和颗粒物排放控制系统设计

6.3.1 一般规定

6.3.1.1 无组织排放设置集气罩及除尘设施应与烟气污染物、废气污染物治理设施协同联合治理作为系统流程。

6.3.1.2 干式电除尘器、袋式除尘器及电袋复合除尘器的一般要求应符合 GB/T 27869、GB/T 33017.1、GB/T 33017.2、GB/T 33017.3、GB/T 33017.4 的规定。

6.3.1.3 烟气冷却器设计寿命为 15 年，湿式电除尘器设计寿命为 20 年。

6.3.1.4 湿式电除尘器按阳极板的构造特点可分为板式湿式电除尘器和管式湿式电除尘器。本标准中板式湿式电除尘器主要指金属板式湿式电除尘器，管式湿式电除尘器主要指蜂窝管式湿式电除尘器。

6.3.1.5 湿式电除尘器入口烟气温度应小于 60°C ，且烟气应为饱和烟气。

6.3.1.6 袋式除尘器及电袋复合除尘器宜设置旁路系统。

6.3.2 电除尘器及其系统设计要求

6.3.2.1 干式电除尘器及其系统

6.3.2.1.1 电除尘器应符合 JB/T 5910、JB/T 11267 的规定，采用移动电极电除尘技术时，移动电极电场应符合 JB/T 11311 的规定。

6.3.2.1.2 干式电除尘器电场烟气流速宜为 $0.8\text{m}/\text{s}\sim 1.2\text{m}/\text{s}$ ，采用离线振打技术时，关闭振打通道挡板门后，电场烟气流速宜不大于 $1.2\text{m}/\text{s}$ 。

6.3.2.1.3 同极间距宜为 $300\text{mm}\sim 500\text{mm}$ 。

6.3.2.1.4 阳极板应符合 JB/T 5906 的规定。

6.3.2.1.5 阴极线应采用不易粘附粉尘的阴极线型式，并应符合 JB/T 5913 的规定。

6.3.2.1.6 采用低低温电除尘技术时，应采取二次扬尘防治措施，应符合 JB/T 12591 的规定。

6.3.2.1.7 采用电凝聚技术时，应符合 JB/T 12113 的规定。

6.3.2.1.8 高压供电电源供电方式可按电场或分区供电。干式电除尘器第一、二电场宜采用高频高压电源供电，特殊情况下，末电场可采用脉冲高压电源供电。高频高压电源应符合 JB/T 11639 的规定。

6.3.2.1.9 瓷绝缘子应符合 JB/T5909 的规定，并采用良好的电加热和保温办法。绝缘子应有防结露的措施。采用低低温电除尘技术时，宜优先采用防露型高铝瓷绝缘子或设置热风吹扫装置。

6.3.2.1.10 振打清灰应能实现自动控制，振打间隔、振打周期、振打顺序可调。上位机控制系统应能衔接 DCS 系统，与高压供电电源、电气控制装置通讯，并实现监视、控制功能。节能优化控制系统应能采集系统负荷、浊度、烟气温度等信号，自动获取电场伏安特性曲线（族）等现场工况变化信息，并选择和调整高压设备等的运行方式和运行参数，实现干式电除尘器的高效节能。

6.3.2.1.11 电除尘器灰斗卸灰角度宜不小于 60° ，应设置可靠的保温层并采取加热措施。采用电除

尘技术时，灰斗加热高度宜超过灰斗高度的二分之一，宜采用蒸汽加热的方式。

6.3.2.1.12 电除尘系统的烟气冷却器内烟气流速宜不大于 10m/s。

6.3.2.1.13 烟气冷却器前应设置烟气流、飞灰平均装置，保证气流均匀，对于烟气冷却器入口烟尘浓度偏高的情况，应有合理的防磨措施。

6.3.2.1.14 烟气冷却器一般由进口的渐扩段、换热器本体和出口的渐缩段三段组成，渐扩段和渐缩段的设计应符合 GB/T 50528、GB/T 50701 的规定。

6.3.2.1.15 当烟气冷却器本体沿烟气流动方向的尺寸超过 2m 时，烟气冷却器本体的管束宜采用分段结构。

6.3.2.1.16 烟气冷却器的传热元件宜选取翅片管，优先选取 H 型翅片管，翅片厚度应不小于 2mm。

6.3.2.1.17 烟气冷却器、低低温电除尘器等与腐蚀介质长时间接触的、腐蚀性比较大的设备、部件都应采取防腐措施。

6.3.2.1.18 换热介质宜采用水媒介，水媒介宜采用软化水，保持水质 pH 值为 7~10。水媒介在管路系统中正常运行时的最低温度应比烟气冷却器入口烟气水露点温度高 20℃ 以上。烟气与水媒介换热冷端端差、热端端差宜大于 20℃，最低限度应大于 15℃。管路系统水介质的流速应大于 0.5m/s，流速上限应符合 GB/T 50528、GB/T 50701 的规定。

6.3.2.1.19 烟气冷却器应采取恰当的调节手段，保证在窑炉运行时，其进口或出口水温符合设计要求。

6.3.2.1.20 烟气冷却器宜设置在线监测装置，以及时发现换热元件可能的泄漏。应配置合理的放水系统，在其产生故障或机组非停时能够实现紧急放水。

6.3.2.1.21 烟气冷却器应设置吹灰系统，吹灰形式可选用声波吹灰、压缩空气吹灰、蒸汽吹灰或组合吹灰。

6.3.2.1.22 其他要求应符合 GB/T 50528、GB/T 50701 的规定。

6.3.2.2 湿式电除尘器及其系统

6.3.2.2.1 板式湿式电除尘器电场内烟气流速应不大于 3.5m/s。管式湿式电除尘器电场内烟气流速应不大于 3.0m/s。

6.3.2.2.2 湿式电除尘器同极间距宜为 250mm~400mm。

6.3.2.2.3 湿式电除尘器出口封头(烟箱)内宜设置除雾装置。

6.3.2.2.4 壳体壁板宜采用普通碳钢衬玻璃鳞片防腐，壁板母材厚度应不小于 5mm。

6.3.2.2.5 管式湿式电除尘器阳极管截面宜采用内切圆为 $\phi 300\text{mm} \sim \phi 400\text{mm}$ 的正六边形。单侧厚度不小于 3mm。

6.3.2.2.6 阴极线宜采用起晕电压低、易冲洗的极线型式，性能要求及检验应符合 JB/T5913 的规定。

6.3.2.2.7 高压供电装置设计应满足以下要求：

a) 高压供电装置宜选择 45kV~72kV 电压。

b) 板式湿式电除尘器电流密度宜设置为 $0.6\text{mA}/\text{m}^2 \sim 0.9\text{mA}/\text{m}^2$ ，电源裕度系数可为 5%。管式湿式电除尘器也可设置线电流密度为 $0.5\text{mA}/\text{m} \sim 1.0\text{mA}/\text{m}$ （极线长度）。

c) 供电装置宜选用节能控制功能型，可根据实际排放粉尘手动调整电源的输出。

6.3.2.2.8 绝缘子应符合 JB/T5909 的规定，绝缘子应有防结露的措施，宜采用防露型高铝瓷绝缘子或设置热风吹扫装置。每个绝缘子宜设置一只电加热器，加热温度最低不小于 70℃。绝缘子箱内的绝缘子加热器应选用耐热电缆，耐热温度不小于 200℃。

6.3.2.2.9 接地系统电阻值应小于 2Ω 。对于工频电源或者分体式布置的供电装置，其控制柜和电源装置二者之间接地排应使用不小于 50mm^2 铜芯接地电缆相连。

6.3.2.2.10 喷淋系统设计应满足以下要求：

a) 喷淋系统管路应根据环境温度设置保温层及伴热，电场内部应合理设置相应排水措施，防止积

液。喷嘴喷淋覆盖率应大于 120%，喷嘴应便于检查和更换。

b) 板式湿式电除尘器喷淋系统可采用单、双线两种冲洗方式。宜采用高效雾化喷嘴，应使阳极板表面产生持续水膜。

c) 管式湿式电除尘器喷淋系统可采用定期间断冲洗方式。宜天天冲洗一次，每次冲洗时间宜为 5min~20min，实际运行可根据焙烧窑炉负荷、入口浓度、脱硫运行等情况调整、优化清洗周期。喷淋时，宜自动降低电场的运行强度或封闭电场。

6.3.2.2.11 喷淋补给水质要求应符合 JB/T 12593 的规定。

6.3.2.2.12 水系统流程配置合理，要求运行安全、可靠，设备选型的计算应合理、准确、可靠。水系统平面布置应考虑运行、维修人员的操作条件的方便性。喷嘴的布置要合理，不存在冲洗死角。

6.3.2.2.13 灰斗壁板宜采用一般碳钢衬玻璃鳞片防腐，壁板母材厚度应不小于 5mm。

6.3.2.2.14 其他要求应符合 JB/T12593 的规定。

6.3.3 袋式除尘器设计要求

6.3.3.1 脉冲喷吹类袋式除尘器、回转反吹类袋式除尘器应分别符合 JB/T 8533 的规定。

6.3.3.2 滤料和滤袋应符合以下要求：

a) 滤料和滤袋应符合 GB/T 6719、HJ/T 324、HJ/T 326、HJ/T 327 的规定。

b) 滤料老化后的动态除尘效率宜不低于 99.98%。

c) 滤袋的缝制过程中，应有充分有效的措施减小缝线处的针孔泄漏。缝制完成后应有牢靠的检测手段检测其泄漏水平，确保满足排放要求。

d) 滤袋应能长期稳定应用，使用寿命宜不低于 4 年。

6.3.3.3 滤袋框架应符合 JB/T 5917 的规定。

6.3.3.4 花板的强度应满足悬挂全部滤袋、滤袋框架以及在过滤状态下每条滤袋上挂灰 5kg 的状态下无变形、扭曲的要求。

6.3.3.5 花板、滤袋及滤袋框架三者应相互匹配，应保证滤袋与花板间的密封性以防止含尘烟气泄漏。

6.3.3.6 袋式除尘器压差式清灰控制仪应符合 JB/T 10340 的规定。

6.3.3.7 脉冲阀应符合 JB/T 5916 的规定，其选型应根据喷吹一次的滤袋过滤面积、过滤风速等因素确定。

6.3.3.8 行喷式脉冲清灰系统分气箱的设计、制造和检修应符合 TSGR 0003 的规定，TSGR 0003 未规定部分按 JB/T 10191 的规定，其底部应设置排污阀，制造完成后应保证内部无焊渣等杂物。

6.3.3.9 行喷式脉冲清灰压力宜为 0.25MPa~0.35MPa，回转式脉冲清灰压力宜为 0.085MPa。

6.3.3.10 回转式脉冲清灰装置的回转机构运行应安稳，回转轴密封性应良好。回转机构驱动电机功率应不小于 0.37kW，电机与减速箱应合理匹配，长期、稳定、可靠运行。

6.3.3.11 回转式脉冲清灰装置的转动部件应置于除尘器本体保温之外，应能实现不停机保养维修。

6.3.3.12 预涂灰应符合以下要求：

a) 除尘器应设置预涂灰装置。除尘器热态运行前应进行预涂灰，预涂灰的粉剂可采用粉煤灰，在引风机风量大于 80%BMCr 烟气度时，预涂灰后除尘器的阻力增加宜大于 300Pa。

b) 除尘器首次预涂灰后，应检查涂灰效果，确保预涂灰剂平均笼罩于滤袋表面，假如未达到要求，则持续喷涂，直至满足要求。

c) 预涂灰过程中及预涂灰完成后不得清灰，直至除尘器正式投入运行（且窑炉停火），否则应重新预涂灰。

6.3.3.13 其他要求应符合 GB/T 6719、GB/T 50528、GB/T 50701 的规定。

6.3.4 电袋复合除尘器设计要求

- 6.3.4.1 电袋复合除尘器电区的同极间距、阳极板、阴极线等的设计要求同 6.3.2.1。
- 6.3.4.2 袋区的花板、滤料和滤袋、滤袋框架、脉冲阀等的设计要求同 6.3.3。
- 6.3.4.3 入口及电区与袋区结合处应采用合理的气流分布措施，其气流分布模拟试验应符合 JB/T 12114 的规定。

6.3.5 二次污染控制措施

- 6.3.5.1 湿式电除尘器喷淋系统产生的废水宜作为湿法脱硫补水回用。
- 6.3.5.2 废旧滤袋应采用机械粉碎、回炉融化拉丝、高温裂解等方法进行回收利用，或者采用焚烧、土地填埋等合理的措施进行处理。
- 6.3.5.3 管式湿式电除尘器阳极管应采取资源化利用的措施。
- 6.3.5.4 其他二次污染控制措施应符合 GB 18599、GB/T 6719、GB/T 50528、GB/T 50701 的规定。

6.4 治理 SO₂ 排放控制系统设计

6.4.1 一般规定

- 6.4.1.1 脱硫系统宜优先考虑成熟技术，对新兴技术宜通过科技示范，逐步逐级放大推广。
- 6.4.1.2 脱硫系统应能适应机组负荷、烟气量、烟气参数合理波动变化范围，应考虑脱硫塔阻力的影响，同时应考虑有低负荷时的经济运行调节手段。
- 6.4.1.3 湿法脱硫吸收塔进口烟气温度不宜超过 80℃，短期不宜超过 160℃，入口颗粒物浓度根据技术路线统筹确定，宜不高于 100mg/m³ (273K, 101.325kPa)，氨法脱硫宜配置控制氯、有机物、油灰等有害物质累积的设施。烟气循环流化床脱硫烟气温度一般控制在 100℃ 以上；脱硫渣需资源化利用时，脱硫装置的设计脱硫效率应满足相应的排放标准和总量控制的要求；装置的设计可用率不宜小于 98%。
- 6.4.1.4 脱硫系统宜布置在炉窑引风机之后，宜采用正压操作；应考虑脱硫塔阻力的影响，湿法脱硫系统设计宜考虑颗粒物、雾滴等多污染物协同控制措施，控制浆液雾滴携带，减少脱硫系统对颗粒物排放的贡献。
- 6.4.1.5 脱硫系统应与生产设备同步运转，装置运行寿命应与生产设备保持一致，检验维护周期应与生产设备一致。
- 6.4.1.6 湿法脱硫系统界区内应设置废液收集系统。
- 6.4.1.7 脱硫剂的贮运、制备系统应有控制扬尘污染的措施。
- 6.4.1.8 脱硫渣暂不具备资源化利用条件的，在采取贮存、堆放措施时，贮存场、中转库等的建设和使用应符合 GB 18599 的规定。
- 6.4.1.9 脱硫系统关键设备及管线宜考虑设置相应的备用及应急措施，以满足故障切换及检修需求。
- 6.4.1.10 脱硫系统的防火、防爆设计应符合 GB 50016、GB 50222 等有关标准的规定。
- 6.4.1.11 脱硫系统的设计，应采取有效的隔声、消声、绿化等降低噪声的措施。噪声和振动控制的设计应符合 GBJ 87 和 GB 50040 的规定，工程设计、建设和运行中的职业卫生应按 HJ/T 178、HJ/T 179、HJ462 的相关规定执行，厂界噪声应达到 GB 12348 的要求。
- 6.4.1.12 脱硫系统的工程设计、建设、运行过程中，除应符合本标准外，还应符合 GB 8978、GB 18599、GB 13223、GB 13271、GB 9078 等国家现行的环境保护法规和标准以及国家有关工程质量、安全等方面强制性标准的规定。
- 6.4.1.13 其他要求应符合 HJ/T 178、HJ/T 179、HJ462 和 HJ 2001 的规定。

6.4.2 脱硫系统参数的确定

6.4.2.1 脱硫系统参数应根据窑炉工况负荷变化、脱硫塔阻力的影响，燃料品质和变化趋势以及环境影响评价要求，经全面分析优化后确定。

6.4.2.2 新建窑炉的烟气脱硫装置入口烟气中的SO₂量可根据公式(1)估算：

$$M_{SO_2} = 2 \times K \times B_g \times \left(1 - \frac{q^4}{100}\right) \times \frac{S_{ar}}{100} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

M_{SO₂}—脱硫系统入口烟气中的SO₂质量流量，kg/h；

K—燃料燃烧中硫的转化率；

B_g—窑炉额度负荷时的燃煤量，kg/h；

q⁴—窑炉未完全燃烧的热损失，%；

S_{ar}—燃料的收到基硫份，%。

6.4.2.3 脱硫效率按公式(2)计算：

$$\text{脱硫效率} = \frac{C_1 \times Q_1 - C_2 \times Q_2}{C_1 \times Q_1} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中：

C₁—脱硫前烟气中SO₂浓度，单位为毫克每立方米(mg/m³)；

Q₁—脱硫前烟气流量，单位为立方米每小时(m³/h)；

C₂—脱硫后烟气中SO₂浓度，单位为毫克每立方米(mg/m³)；

Q₂—脱硫后烟气流量，单位为立方米每小时(m³/h)。

6.4.2.4 脱硫系统的设计装置可用率按公式(3)计算：

$$\text{可用率} = \frac{A}{B} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

式中：

A—炉窑每年的总运行时间，单位为小时(h)；

B—脱硫系统每年的总运行时间，单位为小时(h)。

6.4.2.5 脱硫系统的设计装置可用率和脱硫效率不宜小于90%。对于高硫原燃料在满足排放标准和总量控制要求的前提下，设计装置可用率和脱硫效率可适当降低，但不宜小于80%。

6.4.3 湿法脱硫流程系统

6.4.3.1 HJ462 湿法脱硫装置

HJ462 湿法脱硫装置一般由脱硫剂制备与输送系统、吸收系统、脱硫渣处理系统、烟气系统、自控和在线监测系统等组成。

6.4.3.2 湿法烟气脱硫参考流程

湿法烟气脱硫参考流程有石灰法脱硫流程(图1)、钠钙双碱法脱硫流程(图2)、氧化镁法脱硫流程(图3)、石灰石法脱硫流程(图4)和石灰石/石灰-石膏湿法脱硫流程等。

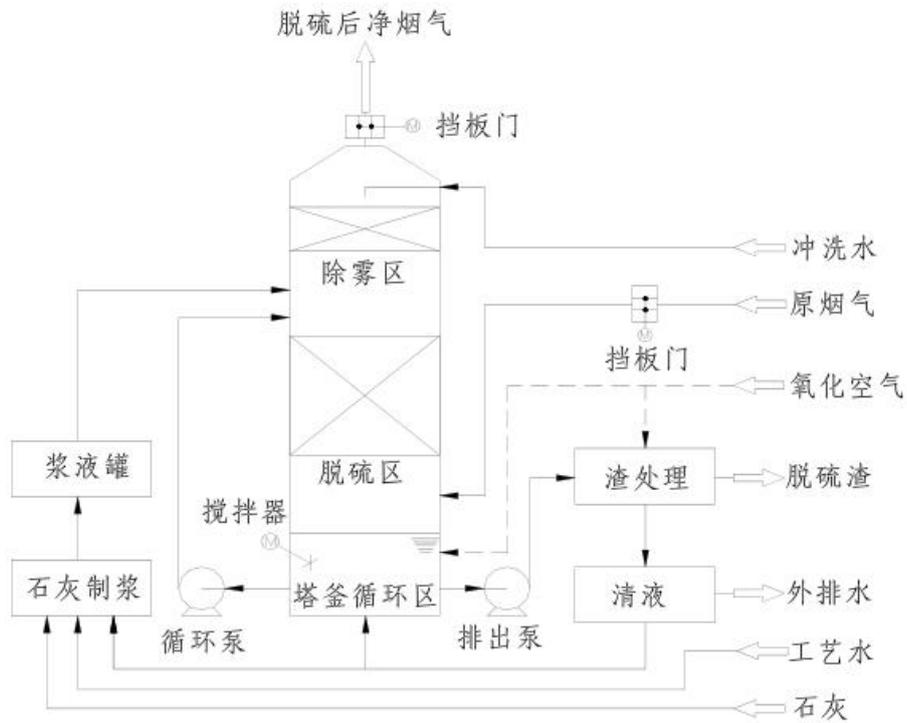


图 1 石灰法脱硫流程

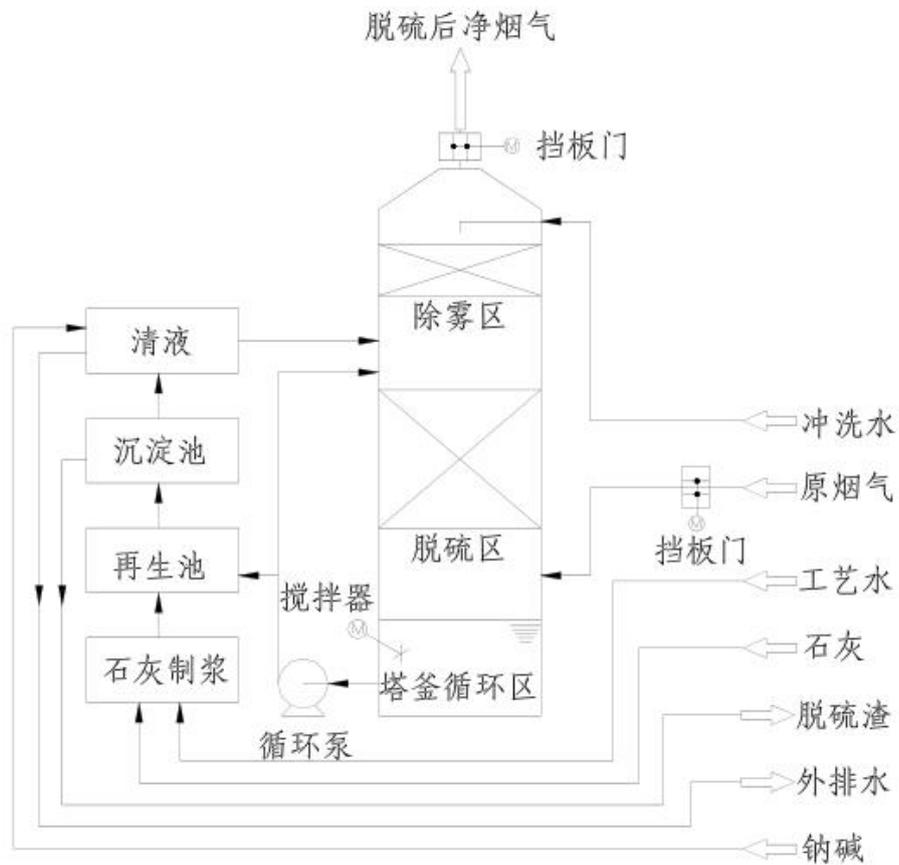


图 2 钠钙双碱法脱硫流程

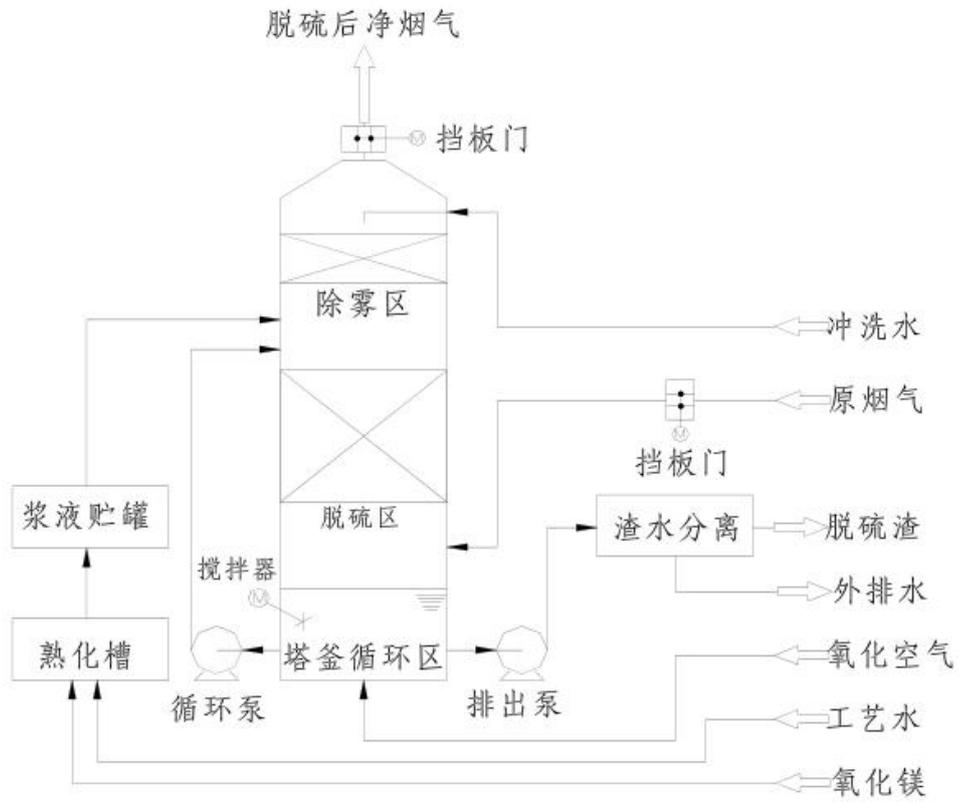


图 3 氧化镁法脱硫流程

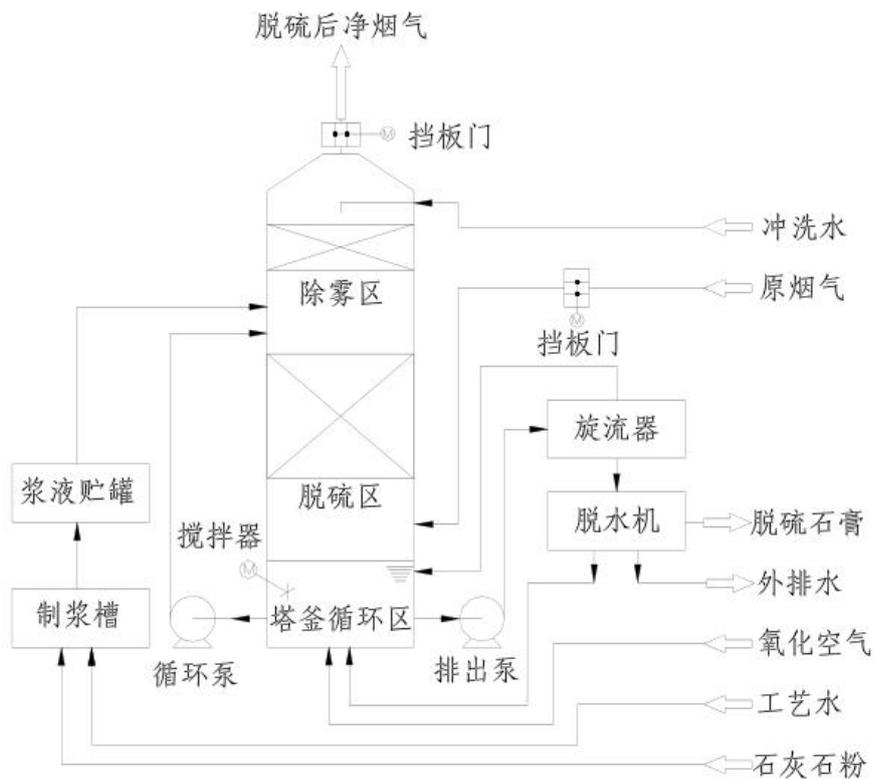


图 4 石灰石法脱硫流程

6.4.3.3 湿法脱硫脱硫剂的选择

6.4.3.3.1 湿法脱硫脱硫剂的选择应充分考虑当地可用的各种脱硫剂资源、运输条件，并结合脱硫渣的利用与处置情况、技术经济指标，经综合比选后确定。

6.4.3.3.2 当厂址附近有可靠的新鲜电石渣可利用时，宜优先选用电石渣作为脱硫剂，电石渣中氢氧化钙（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）含量宜大于 75%（干基），酸不溶物宜小于 5%（干基）。

6.4.3.3.3 选用石灰作为脱硫剂时，石灰中氧化钙（ CaO ）含量宜大于 75%，酸不溶物宜小于 5%（干基）；选用消石灰粉做脱硫剂时，消石灰粉中氢氧化钙（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）含量宜大于 90%（干基），酸不溶物宜小于 3%（干基）。

6.4.3.3.4 选用氧化镁作脱硫剂时，氧化镁（ MgO ）含量宜大于 85%，酸不溶物宜小于 3%（干基）。

6.4.3.3.5 选用石灰石粉作为脱硫剂时，石灰石粉中碳酸钙（ CaCO_3 ）的含量宜大于 90%，石灰石粉的细度应保证 250 目 90%过筛率。

6.4.3.4 脱硫剂浆液的制备

6.4.3.4.1 脱硫剂浆液制备系统应设置脱硫剂的计量装置，脱硫剂浆液的浓度应控制在允许的范围内，脱硫剂浆液的浓度与消耗量宜纳入自动控制系统。

6.4.3.4.2 石灰或氧化镁作为脱硫剂时，浆液细度应至少保证 200 目 90%的过筛率，否则应设置预处理系统。当采用电石渣等碱性废渣作脱硫剂时，应设置脱硫剂预处理系统。

6.4.3.4.3 脱硫剂浆液制备系统宜设为公用系统，宜按两套或多套脱硫装置合用一套浆液制备系统设置。

6.4.3.4.4 脱硫剂浆液制备系统的出力应按设计工况下脱硫剂消耗量的 150%设计，脱硫剂浆液贮罐的容量宜不小于设计工况下 2h 的浆液消耗量。

6.4.3.4.5 脱硫剂用量大于 3t/d 时，宜采用自动加料系统。

6.4.3.4.6 脱硫剂的贮存宜采取必要的措施防止脱硫剂吸潮、变质与板结。

6.4.3.5 脱硫剂输送系统

6.4.3.5.1 粉状脱硫剂的装卸宜采用气力输送或提升机等密闭装卸方式，粉料仓的设计容积应不少于 2d 的脱硫剂消耗量。

6.4.3.5.2 每台脱硫塔宜设置两台脱硫剂浆液供应泵，一台运行，一台备用。脱硫剂浆液供应量的控制宜通过变频调速等办法来实现，并纳入自动控制系统。

6.4.3.5.3 浆液管道设计时应根据介质特性，选择合适的材质与流速。

6.4.3.5.4 浆液管道上的开关阀门宜选用蝶阀。

6.4.3.5.5 浆液管道上应有排空和停运后的冲洗设施。

6.4.3.5.6 浆液罐/池应根据介质的特性采取可靠的防腐措施，防腐材料可按 7.3.2.1.1 的要求选取。

6.4.3.5.7 所有浆液罐/池均应装设防沉积装置，如加装浆叶式搅拌器、气力/水力搅拌装置等。

6.4.3.6 吸收系统

6.4.3.6.1 每台窑炉宜配置一台脱硫塔。

6.4.3.6.2 进入脱硫塔前的烟气温度超过 150℃时宜设置必要的烟气降温系统，进入脱硫塔前的烟气温度偶尔超过 150℃时宜设计应急降温设施。

6.4.3.6.3 脱硫后烟气应经除雾器脱水后才能进入烟囱，除雾器出口烟气中雾滴的设计浓度宜小于 $75\text{mg}/\text{m}^3$ 。

6.4.3.6.4 除雾器宜设置在脱硫塔内，装在塔内的除雾器应设置清洗装置。除雾器的形式与安装位置应充分考虑检修维护方便。

6.4.3.7 循环泵入口宜装设滤网

6.4.3.7.1 脱硫塔外应设置供检修维护的平台和扶梯，平台设计荷载不得小于 $4000\text{N}/\text{m}^2$ ，塔体及烟道应设置足够的人孔或检修孔。

6.4.3.7.2 脱硫塔及其内部结构应考虑防磨、防腐、防冲刷。

6.4.3.8 其他要求应符合 HJ462 的规定

6.4.4 石灰石/石灰-石膏湿法脱硫设计要求

采用空塔喷淋提效技术的石灰石/石灰-石膏湿法脱硫流程参照 HJ/T 179, 采用 pH 值分区、复合塔技术的典型石灰石/石灰-石膏湿法脱硫主要流程详见附录 E。

6.4.4.1 烟气系统

6.4.4.1.1 脱硫系统需设置脱硫增压风机并应考虑与排潮风机合并设置, 且为变频控制, 以克服系统阻力, 方便调节。

6.4.4.1.2 烟道布置合理, 尽可能减少沿程阻力, 应设置烟气导流板、排灰孔和操作入孔。烟气系统挡板门应采用带密封的双挡板型挡板门。吸收塔入口段应采用有利于塔内烟气流场均布的形式, 必要时可设置导流板。

6.4.4.1.3 脱硫净烟气烟道应在低位点装设自动疏放水系统。烟道低位点疏水和烟囱冷凝水疏水应通过管道或地坑返回脱硫系统重复利用, 排入地沟时应设水封系统预防烟气泄漏。

6.4.4.1.4 其他要求应符合 HJ/T 179 的规定。

6.4.4.2 吸收塔系统

6.4.4.2.1 通用要求

a) 吸收塔喷淋区空塔烟气流速宜为 2.8m/s~3.8m/s, 受现场条件限制的脱硫改造工程吸收塔喷淋区空塔烟气流速宜不大于 4m/s。

b) 吸收塔最底层喷淋层与入口烟道接口最高点的间距宜不小于 2.5m。

c) 循环泵宜按单元制设置, 每台循环泵对应一层喷淋层, 相邻两层喷淋主管宜错开布置, 喷淋层层间距宜不小于 1.7m。

d) 每层喷淋层喷淋覆盖率宜大于 250%。喷淋层喷嘴布置应保证每个喷嘴入口压力均匀, 尽量减少对吸收塔塔壁冲刷, 喷嘴雾化粒径为 1mm~2mm。

e) 浆液循环停留时间宜不低于 4min。

f) 浆液氧化应采用强制氧化, 氧化空气流量宜不低于理论需求量的 2.5 倍。

g) 浆液池(箱)应设置浆液悬浮设施防止石膏浆液固体物沉淀。机械搅拌设备应满足 1 台设备停止工作条件下石膏浆液区不发生积淀危险, 射流泵扰动系统应注意避免喷射扰动死区。

h) 浆液池(箱)的氧化与搅拌应联合设计。侧进式搅拌器宜选择氧化风搅拌器直吹方式, 射流泵扰动系统宜采用氧化风管网式布置。

i) 其他要求应符合 HJ/T 179 的规定。

6.4.4.2.2 pH 值物理强制分区双循环技术

a) pH 值物理强制分区双循环脱硫吸收塔系统由两级循环系统、除雾器等组成, 一级循环系统包括一级浆液循环吸收系统、氧化系统等; 二级循环系统包括二级浆液循环吸收系统(含塔内浆液收集盘、塔外浆液箱)、二级氧化系统、浆液旋流系统等。

b) 一级循环浆液 pH 值宜控制在 4.5~5.3, 浆液循环停留时间宜不低于 4.5min; 二级循环浆液 pH 值宜控制在 5.8~6.2, 浆液循环停留时间宜为 3.5min~4.5min。

c) 一级循环和二级循环宜分别设置 1 套氧化系统, 氧化风机考虑 1 台备用; 也可共用 1 套氧化系统, 氧化风机应不少于 2 台, 其中 1 台备用。具体方案应根据工程情况经技术经济比较后确定。

d) 二级循环的浆液旋流系统由浆液旋流给料泵和浆液旋流站组成, 二级循环浆液含固量应不超过

12%。

e) 塔外浆液箱下部应设置检修孔，检修孔尺寸应满足搅拌器叶轮或滤网最大尺寸的安装件或检修件进出要求。

f) 塔外浆液箱宜采用叶片搅拌方式，底层搅拌器应设置启动冲洗装置。

6.4.4.2.3 pH 值自然分区技术

a) pH 值自然分区脱硫吸收塔系统由浆液循环吸收系统、氧化系统、除雾器等组成。其中，吸收塔上部喷淋区包括喷淋层及均流筛板，分为均流筛板持液区和喷淋吸收区，吸收塔底部浆液池分为上部氧化结晶区和下部供浆射流区。

b) 吸收塔入口烟道可设置预除尘水喷雾系统，喷雾覆盖率应不小于 100%，每个喷嘴流量宜不大于 2L/min。

c) 喷淋区宜设置均流筛板，数量不大于 2 个，可设在所有喷淋层下方，也可设在喷淋层之间。

d) 喷淋区宜设置降低塔壁烟气偏流效应的增效环，应布置于吸收塔喷淋层下方。

f) 分区隔离器应与氧化空气管网高度一致，其隔离管的数目和管径应根据液体流动性与分区效果确定。

g) 分区隔离器上部浆液 pH 值宜控制在 4.8~5.5，下部浆液 pH 值宜控制在 5.5~6.3。

h) 射流搅拌系统由射流泵、射流搅拌管网、喷嘴、支架及管阀组成。新建工程吸收塔浆液池应采用射流搅拌系统，改造工程可根据改造条件确定是否保存原有其他类型搅拌装置。

i) 每座吸收塔宜设置两台射流泵，一用一备。射流泵应设置两个吸入口，一高一低，吸收塔启动时使用高吸入口，正常运行时使用低吸入口。

j) 射流搅拌喷嘴应均匀分布于吸收塔横截面，喷嘴流量应大于 150m³/h。射流搅拌喷嘴正对喷嘴下方的吸收塔底板区域应采取耐冲刷防磨措施。

6.4.4.2.4 pH 值物理强迫分区技术

a) pH 值物理强迫分区脱硫吸收塔系统由浆液循环吸收系统(含塔外浆液箱)、塔内和塔外的氧化系统、除雾器等组成。吸收塔上部喷淋区包括喷淋层及均流筛板，分为均流筛板持液区和喷淋吸收区，吸收塔底部浆液池与塔外浆液箱通过管道相连。

b) 塔外浆液箱与吸收塔应就近布置，其壁板间距宜不大于 5m。

c) 吸收塔浆液池浆液 pH 值宜控制在 5.2~5.8，塔外浆液箱的浆液 pH 值宜控制在 5.6~6.2。

d) 塔外浆液箱应按密闭容器设计，容积应满足所连的全体循环泵停留时间不低于 1min。

e) 塔外浆液箱内部空间分为浆液区和空气区。浆液区应与吸收塔浆液池相连，空气区应与吸收塔烟气空间相连。

f) 塔外浆液箱宜设置强制氧化系统，其宜与吸收塔内浆液池氧化系统整体考虑。

g) 塔外浆液箱浆液区宜设置侧入式搅拌器，并装备冲洗系统。

i) 塔外浆液箱配套循环泵宜不少于 2 台，对应吸收塔上部喷淋吸收区的最上部喷淋层。

h) 塔外浆液箱下部应设置检修孔，检修孔尺寸应满足搅拌器浆叶的进出要求。

6.4.4.2.5 湍流器持液技术

a) 湍流器持液脱硫吸收塔系统由浆液循环吸收系统、氧化系统、管教式除雾器等组成。吸收塔上部喷淋区包括喷淋层及湍流器，分为湍流持液区和喷淋吸收区。

b) 湍流器底面与吸收塔入口烟道接口最高点的间距宜不小于 1m。湍流器顶部与最下层喷淋层的间距宜为 2.5m，应不小于 1.5m。

c) 湍流器表面应平坦匀称，最高点与最低点的偏差不大于 20mm。

d) 湍流器尺寸、叶片角度、排布方式应结合数值模拟进行优化设计，形成“旋流”与“汇流”耦合效应，强化气液传质。

e) 管束式除雾器支承梁顶面与最上层喷淋层的间距应不小于 1.5m。支承格栅宜采用合金材质全焊接制作，单块支承格栅长度宜不大于 2m，跨距宜不大于 2.5m。支承格栅排布后整体平整度应满足最大偏差不大于 20mm，相邻格栅排布后整体平整度应满足最大偏差不大于 5mm。

f) 管束式除雾器顶面、底面分离设置上下封闭板，实现过流烟气的隔离，保证过流烟气 100%经除雾器内部通过。上封闭板顶部应预留的垂直空间高度应不小于 1m，下封闭板下部应配置定期冲洗水喷嘴。

g) 管束式除雾器应配置冲洗装置与冲洗管道。每个除雾器单元配置一个冲刷装置，多个冲洗装置通过冲洗支管相连组成一个冲洗区域。冲洗水泵扬程应满足冲洗装置出口压头不低于 0.2MPa。

6.4.4.2.6 均流筛板持液技术

a) 均流筛板持液脱硫吸收塔系统由浆液循环吸收系统、氧化系统、除雾器等组成。吸收塔上部喷淋区主要包括喷淋层及均流筛板，分为均流筛板持液区和喷淋吸收区。

b) 应根据传质强度需要确定均流筛板层数和开孔率，均流筛板层数不宜超过 2 层，开孔率宜为 28%~40%。均流筛板厚度应为 1.5mm~3mm，孔径应为 25mm~35mm。。

c) 均流筛板与吸收塔入口烟道接口最高点的间距不小于 0.8m，均流筛板与最下层喷淋层的间距宜不小于 1.8m；当采用两层均流筛板时，上下层均流筛板间距宜不小于 1.5m。

d) 均流筛板表面应平整均匀，设计荷载应不低于 2kN/m²。

e) 均流筛板宜采用模块化设计，每个模块的开孔排列方式应结合数值模拟进行优化。

f) 均流筛板模块间、模块与吸收塔壁间应密封完全，保证烟气全部通过均流筛板孔。

g) 吸收塔壁均流筛板处应设置检修孔。

h) 循环泵可按单元制设置，也可按交互式设置，两台循环泵对应一层喷淋层。

i) 循环泵和石膏排出泵的入口管道可不设置滤网。

6.4.4.3 其他

6.4.4.3.1 吸收剂制备、副产物处理系统、浆液排放和回收系统、脱硫废水处理系统等设计应符合 HJ/T 179、GB/T 19229.1 的规定。

6.4.4.3.2 脱硫废水处理系统出水应采取进一步处理或回用，不宜向外环境排放。

6.4.4.4 湿法脱硫高效协同除尘

6.4.4.4.1 应采用适合的烟气均布措施，如均流筛板或烟气湍流器等强化气液传质构件，并辅以数值模拟，必要时采用物理模型予以验证。同时可采用性能增效环或增加喷淋密度等措施，降低塔壁烟气偏流效应。

6.4.4.4.2 应采用出口烟气携带液滴浓度不大于 20mg/m³ 的高效除雾器，包括管束式除雾器、声波除雾器、高效屋脊式除雾器等。

6.4.4.4.3 吸收塔内应用的协同除尘设备及构件应具有一定的耐温性能，在通流烟气温度达到 80℃ 时，应保持 20min 无形变。

6.4.4.4.4 吸收塔内采用协同除尘设备时，造成的烟气阻力增加宜不大于 500Pa。

6.4.5 烟气循环流化床脱硫设计要求

6.4.5.1 烟气循环流化床脱硫流程

烟气循环流化床脱硫流程参照 HJ/T 178。

6.4.5.2 吸收塔系统

- 6.4.5.2.1 烟气循环流化床吸收塔为多段长程高效反应塔，吸收塔入口前应设置烟气整流装置。
- 6.4.5.2.2 吸收塔床层压降一般控制在 1300Pa 以上，床层波动宜不大于 $\pm 150\text{Pa}$ 。
- 6.4.5.2.3 烟气在吸收塔内的停留时间在 5s 以上，物料在吸收塔内的均匀停留时间在 1min 以上。
- 6.4.5.2.4 吸收塔的吸收剂和循环灰加入点宜设置在射流器之前的高温段。
- 6.4.5.2.5 吸收塔的降温喷水应采用超细雾化喷水，系统水喷枪应采用超细雾化回流式喷枪，系统水系统应满足稳定控制吸收塔反应温度波动不大于 $\pm 1^\circ\text{C}$ 的要求。

6.4.5.3 脱硫除尘器

- 6.4.5.3.1 脱硫除尘器宜采用袋式除尘器，烟气湿度不满足除尘器要求时应加烟气除湿系统或选择湿式电除尘器作为二次除尘，袋区过滤风速应不大于 $0.7\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min}$ ，袋区压差宜控制在 $1.3\text{kPa} \sim 1.6\text{kPa}$ 。
- 6.4.5.3.2 脱硫袋式除尘器宜采用低压旋转脉冲清灰方式，清灰压力一般低于 0.1MPa 。采用内大腔结构设计，不设置旁路。
- 6.4.5.3.3 脱硫袋式除尘器的滤袋笼骨应采用加强型低碳钢制造和有机硅防腐，滤料应采用超细纤维纺织，滤布克重大于 $575\text{g}/\text{m}^2$ ，并进行防油防水处置。

6.4.5.4 吸收剂制备系统

吸收剂制备系统石灰消化器宜采用三级长程式干式消化器，吸收剂加入吸收塔通道应按两路以上进行设计。

6.4.5.5 其他

其他系统设计应符合 GB/T19229.1、HJ/T178 的规定。

6.4.6 氨法脱硫设计要求

6.4.6.1 氨法脱硫流程

氨法脱硫流程参照 HJ 2001。

6.4.6.2 吸收塔系统

- 6.4.6.2.1 氨法脱硫应采用复合塔结构，塔内设置烟气洗涤降温区、 SO_2 吸收区、颗粒物氨逃逸控制区等，不同功能区间用塔盘分隔。
- 6.4.6.2.2 喷淋层应不少于 5 层，其中二氧化硫吸收区不应少于 3 层。每个喷淋层至少设置一台独立的泵。
- 6.4.6.2.3 吸收区空塔工况烟气流速宜不高于 $3.5\text{m}/\text{s}$ 。
- 6.4.6.2.4 吸收塔本体进出口压力降宜不大于 1800Pa 。
- 6.4.6.2.5 吸收区上部应设置水洗及高效除雾装置，控制颗粒物和氨逃逸。
- 6.4.6.2.6 除雾器可设置在吸收塔顶部或出口烟道上。除雾器不少于三级，出口烟气中雾滴浓度应不大于 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 。
- 6.4.6.2.7 吸收塔顶部可采用声波凝并等技术，增强颗粒物的去除效果。
- 6.4.6.2.8 当采用多个焙烧窑炉 2 塔设计(1 开 1 备)时，脱硫塔入口挡板门应采用多重密封方式保证烟气不泄露。

6.4.6.3 吸收剂供给系统

6.4.6.3.1 采用液氨为原料时，可配置成浓度不高于 20%的氨水作为吸收剂。

6.4.6.3.2 采用废氨水为原料时，应对废氨水进行精制，以消除有机物等有害杂质。

6.4.6.4 其他

6.5.6.4.1 宜设置控制浆液氯离子浓度的设施，避免氯离子富集腐蚀系统设备。

6.4.6.4.2 其他系统设计应符合 HJ2001 的规定。

6.4.7 烟气系统

6.4.7.1 热态烟气流速 $\leq 140000\text{m}^3/\text{h}$ 窑炉烟气脱硫工程不得设置烟气旁路。

6.4.7.2 热态烟气流速 $>140000\text{m}^3/\text{h}$ 的窑炉烟气脱硫工程，不宜设置烟气旁路。如确需设置烟气旁路，应保证脱硫系统进、出口和旁路烟道上的挡板门具有良好的操作和密封性能，旁路挡板门的开启时间应能满足脱硫系统故障不影响窑炉安全运行的要求。

6.4.7.3 所有烟道均应进行保温。

6.4.7.4 与脱硫后的低温湿烟气接触的烟道和烟囱均应采取必要的防腐措施，并设疏水装置。

6.4.7.5 脱硫系统入口烟道要充分考虑到烟气在此处的温度和湿度变化而可能造成的腐蚀。

6.4.7.6 脱硫系统入口和出口烟道上应按 GB/T 16157、HJ/T 75、HJ/T 76 的要求设置检测孔点，并建立永久检测采样工作平台。

6.4.7.7 烟道系统的设计应尽可能降低烟气的阻力，避免出现急弯，必要时设置导流板，烟道上应设置足够数量的膨胀节（伸缩节）。

6.4.8 自控和在线监测系统

6.4.8.1 脱硫系统应配备自动控制系统，具有完善的模拟量控制、顺序控制、联锁、保护、报警等功能，设集中和现场两种操作方式。

6.4.8.2 自控系统应对脱硫系统的脱硫剂浓度、脱硫液 pH 值、液位、系统阻力、烟气温度、循环泵电流、物料消耗等主要参数进行监控。

6.4.8.3 关键系统控制参数，如脱硫剂的浓度、脱硫液的 pH 值、液位等应进行自动调节与控制；多套脱硫系统宜合用一套控制系统进行集中控制。

6.4.8.4 脱硫系统应按照《污染源自动监控管理办法》的相关规定安装烟气连续监测系统，并与当地环保部门联网。连续监测系统的技术要求、安装部位、监测方法、数据传输等应符合 HJ/T 75 和 HJ/T 76 的规定。

6.4.9 外排水系统

6.4.9.1 脱硫系统的浆液、清液以及冷却水等应循环利用。

6.4.9.2 少量外排液应经氧化、沉淀、分离等处理，并按照国家有关规定排放。

6.4.10 供电系统

6.4.10.1 新建窑炉脱硫系统的供电系统应与窑炉同步设计、建设。

6.4.10.1 已有新建窑炉脱硫系统新建或改建脱硫装置时应充分利用已有供电系统的余量。已有的电力负荷余量不足时可按 HJ/T179、HJ/T178、HJ462、HJ2001 的相关要求重新设计独立的脱硫供电系统。

6.4.10.3 脱硫配电室应靠近脱硫系统用电负荷中心布置，宜设置独立的电度表。

6.4.11 脱硫渣处理系统及二次污染控制措施

6.4.11.1 脱硫废水宜优先作为生产用水利用，当采用钙基化合物脱硫剂时，脱硫渣应氧化，脱硫副产

物宜优先综合利用。

6.4.11.2 当采用镁基化合物脱硫剂时，应考虑亚硫酸镁、亚硫酸氢镁或硫酸镁的回收利用，脱硫产物不回收时，外排脱硫液应充分氧化。

6.4.11.3 脱硫渣处理系统宜按公用系统设置。

6.4.11.4 脱硫渣处理系统的处理能力应大于系统最大脱硫渣量的 150%。

6.4.11.5 其他二次污染控制措施应符合 GB18599、HJ/T179、HJ/T178、HJ 462、HJ2001 的规定。

6.5 治理 NO_x 排放控制系统设计

6.5.1 一般规定

6.5.1.1 焙烧窑炉宜采用低氮燃烧技术、湿式脱硫脱硝一体化技术或 SCR 技术，低氮燃烧技术主要包含低氮燃烧器、空气分级、燃料分级或低氮焚烧联用等技术。

6.5.1.2 脱硝系统宜与焙烧窑炉负荷变化相匹配，应能满足焙烧窑炉烟气脱硝运行的要求。

6.5.1.3 脱硝系统装置运行寿命应与焙烧窑炉保持一致，检修维护周期应与焙烧窑炉一致。

6.5.1.4 现役焙烧窑炉进行脱硝改造时，应考虑对干燥窑和风机等其他从属设备的影响。

6.5.1.5 采用湿法脱硫脱硝一体化技术时，应能满足脱硝效率的要求，并根据现场烟气特性，选择合适的氧化剂或吸收剂，以降低运行费用。

6.5.1.6 SNCR 脱硝和 SNCR/SCR 联合脱硝设计，应不影响窑炉焙烧工序的正常运行。

6.5.1.7 脱硝系统有关系统参数宜满足表 4 要求。

表 4 脱硝系统有关参数要求

项目	单位	SCR 脱硝	SNCR 脱硝	SNCR/SCR 联合脱硝
运行温度	℃	一般在 300~420	尿素：900~1150； 液氨/氨水：850~1050	SNCR 区域： 尿素：900~1150， 液氨/氨水：850~1050； SCR 区域：一般在 300~420
氨逃逸浓度	mg/m ³	≤3	≤3	≤3.8
氨氮摩尔比	-	由脱硝效率和氨逃逸浓度确定， 小于 1	1.2~1.5	1.2~1.8

6.5.1.8 其他要求应符合 GB/T 21509 的规定。

6.5.2 流程

SCR 脱硝系统、SNCR 脱硝系统和 SCR/SNCR 脱硝系统流程均参照 GB/T 21509、GB/T31584。

6.5.3 低氮燃烧系统设计的要求

6.5.3.1 焙烧窑炉采用低氮燃烧技术时，窑炉燃烧系统设计和布置应采取必要措施保证焙烧窑炉安全经济运行，如保证焙烧窑炉空气动力场良好、焙烧窑炉烟气温度场均匀等。

6.5.3.2 焙烧窑炉低氮改革应不下降焙烧窑炉焙烧要求和原燃料适应性，不升高焙烧窑炉最低稳燃负荷，焙烧窑炉效率不下降为原则。

6.5.3.3 焙烧窑炉燃烧器性能设计应符合 GB/T 50528、GB/T 50701 等的规定。

6.5.4 焙烧窑炉采用 SCR 脱硝设计要求

6.5.4.1 烟气反应系统

6.5.4.1.1 反应器及烟道流场设计应满足以下要求：

a) 首层催化剂上游 500mm 处，流场参数宜满足表 5 要求。

表 5 首层催化剂上游 500mm 处流场参数要求

项目	单位	数值
100%烟道截面内各处流速的相对标准偏差率	%	≤10
100%烟道截面各处 NH ₃ 浓度分布偏差系数绝对值	%	≤3
100%烟道截面各处 NH ₃ /NO _x 的摩尔比率相对标准偏差率	%	≤5
100%烟道截面速度偏离铅垂线的最大角度绝对值	°	≤10
100%烟道截面内温度绝对偏差绝对值	°C	≤10

b) 催化剂前烟道内部的设计布置宜通过数值模拟和物模试验进行验证，达到还原剂与烟气的最佳混合，优化烟气速度分布，降低压损。

c) 流场模拟中数值模拟比例模型与 SCR 脱硝系统比例应为 1:1；物理模型与 SCR 脱硝系统比例宜为 1:10~1:15。

d) 其他要求应符合 JB/T 12131 的规定。

6.5.4.1.2 吹灰系统设计应满足以下要求：

a) 每层催化剂均应设置相应的吹灰措施，可采用蒸汽吹灰、声波吹灰或声波-蒸汽联合吹灰方式。

b) 烟气含灰量在 50 g/m³ 以上或飞灰粘性较大的烟气，宜采用蒸汽吹灰或声波-蒸汽联合吹灰方式。

6.5.4.1.3 其他要求应符合 GB/T21509、GB/T31584 的规定。

6.5.4.2 催化剂系统

6.5.4.2.1 在选择催化剂时，应着重考虑以下因素对催化剂活性的影响，如催化剂成分、结构，反应温度、烟气流速、烟气特性、催化剂活性和选择性以及催化剂的运行寿命。另外，设计时还要考虑催化剂的成本。

6.5.4.2.2 催化剂选择时应考虑其协同脱除Hg等其他重金属作用。

6.5.4.2.3 催化剂形式的确定，对于蜂窝状催化剂当灰含量在 35g/m³ 以下时，选择孔数小于 20 孔（不含 20 孔），当灰含量在 35g/m³ 及以上时，可选择 20 孔或大于 20 孔。对于板式催化剂当灰含量在 35g/m³ 以下时，选择间距为 6mm 的催化剂；当灰含量 35g/m³ 及以上时，选择间距 7mm 的催化剂。对于波纹状的催化剂，当灰含量不大于 5g/m³ 时，催化剂间距选择 6mm；当灰含量在 5g/m³ ~ 15g/m³ 时催化剂间距选择 7mm；当灰含量 15g/m³ ~ 25g/m³ 时，催化剂间距选择 8mm；当灰含量 25g/m³ ~ 35g/m³ 时，催化剂间距选择 9mm；当灰含量 35g/m³ ~ 50g/m³ 时，催化剂间距选择 10mm。

6.5.4.2.4 催化剂运行的最佳温度区间在 320°C ~ 420°C 范围之内，最低温度区间在 300°C ~ 320°C 之间。

6.5.4.2.5 在选择催化剂类型和用量时，需要根据 SCR 反应器入口和出口 NO_x 浓度来综合考虑。

6.5.4.2.6 SCR 反应器，成型催化剂空间速度一般为 2500h⁻¹ ~ 3000h⁻¹。

6.5.4.2.7 高灰分煤种应选择耐磨损及耐冲刷性能催化剂。

6.5.4.2.8 燃料品种灰分 CaO > 20%、As > 10 μg/g 时，催化剂化学寿命应不低于 16000h。

6.5.4.2.9 燃料硫分 ≥ 2.5% 时，SO₂/SO₃ 转化率宜低于 0.75%；燃料硫分 < 2.5% 时，SO₂/SO₃ 转化率宜低于 1%。

6.5.4.2.10 失效或放弃催化剂处理应符合 JB/T12129 的规定，再生后催化剂活性宜高于最初性能的 90% 以上；化学寿命不低于 18000h；再生后催化剂的机械性能与再生前催化剂相比不降低；再生催化剂层压差不增加，且年递增率小于 20%。

6.5.4.2.11 其余要求应符合 GB/T31584 的规定。

6.5.4.3 其他系统

SCR 脱硝系统中还原剂贮存及制备系统、公用系统等设计应符合 GB/T 50528、GB/T50701、GB/T21509 的规定。

6.5.4.4 低温度负荷脱硝设计

6.5.4.4.1 焙烧窑炉应采用晋升 SCR 入口烟温或催化剂等技术，实现焙烧窑炉低温度负荷时 SCR 脱硝系统安全高效运行。

6.5.4.4.2 烟温提升技术包括热风炉等各类加温系统措施，应符合以下要求：

- a) 满足催化剂低负荷运行的烟温要求。
- b) SCR 脱硝系统安全经济性运行且修改最小、操作便利。
- c) 确保脱硝系统流场和温度场散布均匀性。

6.5.4.4.3 催化剂应能在 50%以上负荷范围内运行，脱硝效率和 SO_2/SO_3 转化率达到指标要求。

6.5.5 SNCR 脱硝设计要求

6.5.5.1 还原剂制备与储存系统

6.5.5.1.1 不同还原剂相关特点参见附录 D。

6.5.5.1.2 还原剂喷入焙烧窑炉内，尿素浓度应不大于 10%(质量浓度)，液氨、氨水(以氨气计)浓度应不大于 5%(体积浓度)。

6.5.5.1.3 其他要求应符合 GB/T 21509、GB/T 50528、GB/T 50701 的规定。

6.5.5.2 还原剂喷射系统

6.5.5.2.1 喷射器宜布置于焙烧窑炉烟气及热风出风处，并防止烟道内部件碰撞，新建工程应在焙烧窑炉设计时预留开孔位置。

6.5.5.2.2 喷射装置应具有防堵功能，确保喷头在高温、高浓度粉尘环境中不堵塞。

6.5.5.2.3 喷射装置应选用耐高温、耐腐蚀、耐磨蚀材料。

6.5.5.2.4 喷射器设计参数如喷枪启齿位置、喷嘴几何特征、喷射角度和速度、喷射液滴直径及还原剂的停留时间(宜不小于 0.5s)，应结合焙烧窑炉结构进行温度场和流场等参数模拟计算确定。

6.5.5.2.5 其他要求应符合 GB/T 21509、GB/T 50528、GB 50351、GB/T 50701 的规定。

6.5.5.3 其他系统还原剂计量系统、还原剂调配系统

其他系统还原剂计量系统、还原剂调配系统设计应符合 GB/T 21509、GB/T 50528、GB/T 50701 的规定。

6.5.6 SNCR/SCR 联合脱硝设计要求

6.5.6.1 SNCR 脱硝

应符合 6.5.5 的规定。

6.5.6.2 SCR 脱硝

6.5.6.2.1 烟气反应系统

a) 可不设置喷氨格栅和烟气混杂器，应依据催化剂对入口烟气流速偏差、烟气流向偏差、烟气温度的要求设置导流装置。

b) 烟气压降宜不大于 600Pa。

c) 其他要求应符合 6.5.4.1 的规定。

6.5.6.2.2 催化剂

- a) 催化剂宜安排于焙烧窑炉烟气及热风出风处及烟道之间。
- b) 宜采用板式或蜂窝式催化剂，催化剂层数宜为1~2层。
- c) 其他要求应符合6.5.4.2的规定。

6.5.6.2.3 其他系统还原剂储存及制备系统、公用系统等设计应符合GB/T 21509、GB/T 50528、GB/T 50701的规定。

6.5.7 二次污染控制措施

二次污染控制措施应符合GB 18599、GB/T 21509、GB/T 50528、GB/T 50701的规定。

7 主要设备和材料

7.1 一般规定

7.1.1 设备与材料的选择应本着经济适用、满足要求的原则，选择可靠性好、使用寿命长的设备与材料。

7.1.2 主要设备的选择和性能要求见本文件第6章。

7.1.3 通用材料应在工厂常用的材料中选取。

7.1.4 接触腐蚀性介质的部位应择优选取合适的材料，满足防腐要求。

7.1.5 当承压部件为金属材料并内衬非金属防腐材料时，应保证非金属材料与金属材料之间的粘结强度，且承压部件的自身设计应确保非金属材料可以长期稳定地粘结在基材上。

7.2 治理颗粒物排放控制系统

7.2.1 主要设备选型原则

7.2.1.1 干式电除尘器及其系统

7.2.1.1.1 出口烟尘浓度限值为30mg/m³时，干式电除尘器的比集尘面积应符合表6的规定。

表6 出口烟尘浓度限值为30mg/m³时干式电除尘器的比集尘面积参数

电除尘器对煤种的除尘 难易性	比集尘面积 [m ² / (m ³ /s)]		
	常规电除尘器	移动电极电除尘器	低低温电除尘器
较易	≥110	≥100	≥95
一般	≥140	≥130	≥105
较难	—	—	≥115

注1：电除尘器对原料和燃料品种的除尘难易性评价方法参见附录A。
注2：表中比集尘面积为电除尘器入口烟尘浓度不大于30g/m³时的数值，当大于30g/m³，表中比集尘面积酌情分别增加5m² (m³·s⁻¹) ~15m² (m³·s⁻¹)。

7.2.1.1.2 出口烟尘浓度限值为20mg/m³时，干式电除尘器的比集尘面积应符合表7的规定。

表7 出口烟尘浓度限值为20mg/m³时干式电除尘器比集尘面积参数

电除尘器对原料和燃料品种的除尘 难易性	比集尘面积 [m ² / (m ³ /s)]		
	常规电除尘器	移动电极电除尘器	低低温电除尘器
较易	≥130	≥120	≥110
一般	—	—	≥120
较难	—	—	≥130

注1：电除尘器对原料和燃料品种的除尘难易性评价方法参见附录B；
注2：表中比集尘面积为电除尘器入口烟尘浓度不大于30g/m³时的数值，当大于30g/m³，表中比集尘面积酌情分别增加5m² (m³·s⁻¹) ~15m² (m³·s⁻¹)。

7.2.1.1.3 烟气冷却器的选型基本参数应包括煤质分析及飞灰分析资料，原料处理及成型、干燥、焙烧窑炉的相关参数，当地的环境条件及工程所在地的工程地质条件等。煤质剖析除惯例分析外，还应包括氟、氯、溴、汞等元素参数。对于改造工程，应重点考虑干式电除尘器前烟道等设备的布置情况。

7.2.1.2 湿式电除尘器

湿式电除尘器的配置和结构应根据处理烟气量确定，同时考虑烟气性质、除尘效率要求、工况要求等影响，一般情况可参考以下要求配置：

a) 单条焙烧窑炉配套湿式电除尘器台数为 1~2 台。

b) 板式湿式电除尘器电场数一般为 1~2 个，比集尘面积宜为 $7\text{m}^2/(\text{m}^3/\text{s})\sim 20\text{m}^2/(\text{m}^3/\text{s})$ ，其中 1 个电场的比集尘面积宜为 $7\text{m}^2/(\text{m}^3/\text{s})\sim 10\text{m}^2/(\text{m}^3/\text{s})$ 。除尘效率为 70%~90%，除尘效率>80%时宜为 2 个电场。

c) 管式湿式电除尘器供电分区数一般为 2~6 个，比集尘面积宜为 $12\text{m}^2/(\text{m}^3/\text{s})\sim 25\text{m}^2/(\text{m}^3/\text{s})$ 。除尘效率为 70%~85%。

7.2.1.3 袋式除尘器

袋式除尘器关键技术选型参数见表 8。

表 8 袋式除尘器关键技术选型参数

序号	项目	单位	出口烟尘浓度 \leq 30mg/m ³	出口烟尘浓度 \leq 20mg/m ³	出口烟尘浓度 \leq 10mg/m ³
			参数		
1	过滤风速	m/min	≤ 1.0	≤ 0.9	≤ 0.8
2	烟气温度	℃	高于烟气酸露点 15 且 ≤ 250		
3	流量分配极限偏差	%	± 5		

注：处理干法或半干法脱硫后的高粉尘浓度烟气时，袋区的过滤风速宜不大于 0.7m/min

7.2.1.4 电袋复合除尘器

电袋复合除尘器关键技术选型参数见表 9。

表 9 电袋复合除尘器关键技术选型参数

序号	项目	单位	出口烟尘浓度 \leq 20mg/m ³	出口烟尘浓度 \leq 10mg/m ³
1	电区比集尘面积	m ² (m ³ /s)	≥ 20	≥ 25
2	过滤风速	m/min	≤ 1.2	≤ 1.0
3	滤料型式	-	不低于 JB/T 11829 的要求。	不低于 DL/T1493 的要求
4	流量分配极限偏差	%	宜符合 JB/T 11829 的要求	宜符合 DL/T1493 的要求
5	气流分布均匀性相对均方差根差	-	≤ 0.25	

注：处理干法或半干法脱硫后的高粉尘浓度烟气时，电区的比集尘面积宜不小于 40m² (m³/s)，袋区的过滤风速宜不大于 0.9m/min。

7.2.2 主要部件材料选择

7.2.2.1 干式电除尘器及其系统

7.2.2.1.1 干式电除尘器主要部件材料应符合 DL/T 514、JB/T 5910 的规定

7.2.2.1.2 移动电极电除尘器的链条材料及链条形式应满足在无光滑、多尘、有腐蚀且高温的环境下长期工作。

7.2.2.1.3 低温电除尘器阴极线采用芒刺型极线时，芒刺宜采用不锈钢材料。第一电场灰斗板材宜采用 ND 钢或内衬不锈钢。入孔门宜采用双层结构，与烟气接触的入孔门内门宜采用 ND 钢或不锈钢。人孔门及阳极振打孔周围约 1m 范围内的壳体钢板宜采用 ND 钢或内衬不锈钢。

7.2.2.1.4 烟气冷却器主要部件材料应满足以下要求：

a) 烟气冷却器传热元件的基管选材应符合 GB 3087 或 GB 5310 的规定，采用国外材料时应符合国家相关法规和标准。

b) 烟气冷却器低温段的换热元件宜选用 ND 钢 (09CrCuSb)，高温段的换热元件宜选用 ND 钢 (09CrCuSb) 或 20G 钢。

7.2.2.2 湿式电除尘器

7.2.2.2.1 外壳体材料宜以碳钢材料为主。对于接触腐蚀性介质的部位，应采用防腐材料或做防腐处理。

7.2.2.2.2 板式湿式电除尘器阳极板应采用防腐性能不低于 S31603 的不锈钢。

7.2.2.2.3 管式湿式电除尘器阳极管基体材料选阻燃型环氧乙烯基酯树脂材料，增强材料选用无碱玻纤，内表层(导电层)选用碳纤维表面毡。阳极模块每个接地端与任意一根阳极管内表面之间的电阻值应小于 100 Ω。

7.2.2.2.4 板式湿式电除尘器阴极线应采用防腐性能不低于 S31603 的不锈钢。

7.2.2.2.5 管式湿式电除尘器阴极线、阴极框架宜采用不锈钢或其他导电、防腐蚀材质。

7.2.2.2.6 本体内部冲洗管道宜采用不锈钢或非金属防腐材质，喷嘴宜采用不锈钢或非金属防腐材质。

7.2.2.2.7 其他零部件技术要求应符合 JC/T 358.2、HJ/T 323 的规定。

7.2.2.3 袋式除尘器

7.2.2.3.1 滤袋框架其材料机械强度应不低于 Q235，并进行耐高温有机硅喷涂处理，整体润滑平整，无毛刺和尖利突出。

7.2.2.3.2 滤料材质的选取应根据烟气条件确定，充分考虑燃料变化造成的影响，保证在设计条件下滤袋的长期可靠使用。

7.2.2.3.3 其他零部件技术要求应符合 GB/T 6719 的规定。

7.2.2.4 电袋复合除尘器

7.2.2.4.1 电袋复合除尘器滤袋框架及滤料材质部分的规定同 7.2.2.3.1~7.2.2.3.2。

7.2.2.4.2 其他零部件技术要求应符合 GB/T 27869 的规定。

7.2.3 性能要求

7.2.3.1 干式电除尘器及其系统

7.2.3.1.1 常规电除尘器及移动电极电除尘器

常规电除尘器及移动电极电除尘器性能要求见表 10。

表 10 常规电除尘器及移动电极电除尘器性能要求

项目	单位	要求
除尘效率	%	99.2~99.85 以上

出口烟尘浓度	mg/m ³	≤30 最低可达 20 以下
压力降	Pa	≤250
漏风率	%	≤3
流量分配极限偏差	%	±5
气流分布均匀性相对均方根差	-	≤0.25

7.2.3.1.2 低温电除尘系统

电除尘系统性能要求见表 11。

表 11 电除尘系统性能要求

项目	单位	要求
低温电除尘器除尘效率	%	99.2~99.9 以上
低温电除尘器出口烟尘浓度	mg/m ³	≤30 最低可达 20 以下
烟气冷却器烟气侧温降或温升	℃	≥30
烟气冷却器烟气侧压力降	Pa	≤450
低温电除尘器本体压力降		≤250
烟气冷却器的工质侧压力降	MPa	≤0.2
烟气冷却器漏风率	%	≤0.2
低温电除尘器本体漏风率		≤2（配套机组大于 300MW 级）； ≤3（配套机组 300MW）级及以下
烟气冷却器气流分布均匀性相对均方根差	-	≤0.2
低温电除尘器气流分布均匀性相对均方根差		≤0.25
低温电除尘器流量分配极限偏差	%	±5

7.2.3.2 湿式电除尘器

湿式电除尘器性能要求见表 12。

表 12 湿式电除尘器性能要求

项目	单位	板式湿式电除尘器要求	管式湿式电除尘器要求
除尘效率	%	70~90	70~85
出口颗粒物浓度	mg/m ³	≤20	≤20
本体压力降 (不含除尘器及烟道)	Pa	≤250 (改造项目≤350)	≤300
漏风率	%	≤1	≤2
气流分布均匀性相对均方根差	-	≤0.2	≤0.2

7.2.3.3 袋式除尘器

袋式除尘器性能要求见表 13。

表 13 袋式除尘器性能要求

序号	项目	单位	出口烟尘浓度 $\leq 20\text{mg}/\text{m}^3$	
			参数	
1	压力降	Pa	≤ 1500	
2	滤袋整体使用寿命	年	≥ 4	
3	漏风率	%	≤ 2	

7.2.3.4 电袋复合除尘器

电袋复合除尘器性能要求见表 14。

表 14 电袋复合除尘器的性能要求

序号	项目	单位	出口烟尘浓度 $\leq 20\text{mg}/\text{m}^3$	
			参数	
1	压力降	Pa	≤ 1200	≤ 1100
2	滤袋整体使用寿命	年	≥ 4	≥ 5
3	漏风率	%	≤ 2	

7.3 治理 SO₂ 排放控制系统

7.3.1 主要设备选型原则

7.3.1.1 湿法脱硫流程系统

主要设备选型应符合 HJ/T179、HJ 462 的规定。

7.3.1.2 石灰石/石灰-石膏湿法脱硫

7.3.1.1.1 吸收塔氧化风机可采用罗茨式、多级离心式和单级高速离心式。氧化风机流量应通过物料衡算所需氧化空气量，并取 10%裕量后确定，氧化风机宜按每塔一运一备或两运一备设计，氧化风机的压升应根据液位高度和氧化风管的位置进行计算选取，并取不小于 10%的裕量。

7.3.1.1.2 循环泵应选用离心泵，采用电动机直接或减速机驱动方式，泵的轴承密封型式为机械密封，泵应选用节能高效设备。

7.3.1.1.3 其他设备技术要求应符合 JC/T 358.2、HJ/T 323 的规定。

7.3.1.3 烟气循环流化床脱硫

主要设备选型应符合 HJ/T 178 的规定。

7.3.1.4 氨法脱硫

主要设备选型应符合 HJ 2001 的规定。

7.3.2 主要部件材料选择

7.3.2.1 湿法脱硫流程系统

7.3.2.1.1 材料选择

- a) 金属材料的选择参照 HJ/T179、HJ 462 的相关要求执行。
- b) 用于防腐蚀和防磨损的非金属材料性能应负荷 HJ/T179、HJ 462 的规定，其适宜的使用部位见表 15，含氟较高的烟气，防腐材料中不得含有玻璃成份。

表 15 主要非金属材料及使用部位

序号	材料名称	材料主要成分	使用部位
1	玻璃鳞片树脂	玻璃鳞片 乙烯基酯树脂 环氧树脂	脱硫后净烟气段、低温原烟气段、脱硫塔、脱硫浆液箱罐等内衬
2	花岗岩	二氧化硅	脱硫塔塔体、副塔、烟道、文丘里沉淀池、浆液池、滤液池内衬
3	塑料	聚丙烯、聚乙烯、聚氨酯、 聚氯乙烯等	脱硫液管道、除雾器、泵叶轮、泵体内衬
4	玻璃钢	玻璃纤维 乙烯基酯树脂 环氧树脂	脱硫塔喷淋层、管道、箱罐 脱硫塔出口烟道 脱硫塔塔体
5	陶瓷	碳化硅 氮化硅	脱硫喷嘴、冷却降温喷嘴
6	橡胶	氯化丁基橡胶 氯丁橡胶 丁苯橡胶	脱硫塔、管道、箱罐、水力旋流器等内衬 真空皮带机、输送皮带

7.3.2.1.2 设备选择

- a) 脱硫装置各设备的选择和配置应考虑脱硫装置长期可靠运行的要求。
- b) 常用的流体输送设备宜设置备用，浆液循环泵可按多用一备设置，涉及浆液的备用泵其进出管路也宜设置备用。
- c) 出渣设备宜设置备用。多套脱硫装置合用一套渣处理系统时，渣处理系统中的主设备宜配置 2 台设计能力均为总处理能力 75% 以上的相同设备。
- d) 当选用压滤机作脱水设备时应充分考虑其间歇运行的特点，设置不小于 4h 容量的缓冲池/罐。
- e) 循环泵的过流部件应能耐固体杂质（颗粒）磨损、耐酸腐蚀、耐高氯离子腐蚀。

7.3.2.2 石灰石/石灰-石膏湿法脱硫

7.3.2.2.1 通用规定

- a) 部件与材料的选择应本着经济适用、满足脱硫系统要求的原则，选择具有长期运行可靠性和较长使用寿命的设备与材料。
- b) 吸收塔宜采用钢结构，内部结构应根据烟气流动和防磨、防腐技术要求进行设计，宜采用双相不锈钢或高镍合金材料，同时接触烟气和浆液的螺栓/螺母材质宜采用 1.4529。
- c) 循环泵接触浆液部件应为防腐耐磨材质，可采用衬胶、衬碳化硅或全金属等材质，应能承受 pH4~9 和 Cl⁻ 浓度 40000mg/L 的腐蚀。氧化风机的转子、轴承材质不低于 QT500。
- d) 吸收塔内浆液喷淋管材质可采用 FRP、碳钢衬胶或镍基合金钢管，合金等级至少为 1.4529 或等同材料。所有喷嘴应避免倏地磨损、结垢和堵塞，喷嘴材料采用碳化硅或相当的材料制作。
- e) 接触腐蚀性介质的部位应择优选取合适的材料满足其防腐要求。
- f) 通用材料应在工厂常用的材料中选取。

g)其他部件材质要求应符合 HJ/T 179 的规定。

7.3.2.2.2 pH 值物理强制分区双循环技术

a)吸收塔塔外及液面以上空气管道可采用碳钢管道；液面以下管道宜采用 FRP 或 2205 合金管道，管道壁厚不低于 3mm。

b)吸收塔入口烟道与塔壁接触部位宜贴衬 2mm C276，上部的塔内挡浆液装置材质宜采用 C276，板材厚度按照强度设计选取。

c)二级循环浆液箱采用碳钢制作，内壁应进行防腐处理。

7.3.2.2.3 pH 值自然分区技术

a)分区隔离器及配套相关支撑结构应采用耐腐蚀耐磨材质。

b)增效环应采用双面耐腐蚀耐磨材质。

c)喷淋层主管材质宜采用碳钢双面衬胶，支管材质应采用 FRP。

d)均流筛板和氧化空气管网材质宜采用 SS32205。

e)射流搅拌管架应采用碳钢衬胶或其他耐腐蚀的合金钢。

f)入口烟道预除尘水喷雾系统喷嘴及管道材质应采用 SS32205。

7.3.2.2.4 pH 值物理强制分区技术

a)塔外浆液箱宜采用碳钢。

b)塔外浆液箱内壁应采用耐磨丁基橡胶或鳞片树脂。

7.3.2.2.5 湍流器持液技术

a)烟气湍流器材质宜采用 316L 耐腐蚀合金钢。

b)管束式除雾器本体材质应选用高强度耐高温改性高分子，支承格栅材质应选用 316L 耐腐蚀合金。

c)管束式除雾器冲洗水支管与冲洗水主管及其配套的阀门、管件等，应采用耐腐蚀、不结垢的合金材质管道或非金属管道。

7.3.2.2.6 双均流筛板持液技术

a)均流筛板宜采用 SS32205 耐腐蚀合金钢。

b)均流筛板及喷淋层的紧固件如螺栓、螺母等材质宜采用 1.4529。

c)均流筛板及喷淋层的支撑梁宜采用碳钢，表面应采用耐磨丁基橡胶或鳞片树脂。

7.3.2.3 烟气循环流化床脱硫

烟气循环流化床脱硫的主要部件材料选择应符合 HJ/T 178 的规定。

7.3.2.4 氨法脱硫

氨法脱硫的其他主要部件材料选择应符合 HJ 2001 的规定。

7.3.3 性能要求

7.3.3.1 湿法脱硫主要设备和材料的性能要求应符合 HJ/T179、HJ 462 的规定

7.3.3.2 石灰石/石灰-石膏湿法脱硫主要设备和材料的性能要求应符合 HJ/T 179 的规定。

7.3.3.3 烟气循环流化床脱硫的主要设备和材料的性能要求应符合 HJ/T 178 的规定。

7.3.3.4 氨法脱硫的主要设备和材料的性能要求应符合 HJ 2001 的规定。

7.4 治理 NO_x 排放控制设备和材料

7.4.1 主要设备选型原则和性能要求

7.4.1.1 低氮燃烧器的制造应符合低氮燃烧器、空气分级、燃料分级或低氮焚烧联用等技术的规定，

并符合 6.5.3 的相关规定。

7.4.1.2 脱硝主要设备的选择和性能应符合 GB/T 21509、GB/T 50528、GB/T 50701 的规定。

7.4.2 主要部件材料选择

7.4.2.1 一般规定

7.4.2.1.1 设备和部件包装油漆应符合 GB/T 13491 的规定。

7.4.2.1.2 电缆选择应符合 GB 50217 的规定。

7.4.2.1.3 保温油漆设计应符合 HGJ 1074 的规定。

7.4.2.1.4 还原剂氨区应严格禁铜。

7.4.2.1.5 喷射口受热面应采取抗腐蚀和防堵塞措施。

7.4.2.1.6 喷射装置应充分考虑其耐高温、耐腐蚀、耐磨蚀等要求。

7.4.2.2 低氮燃烧

7.4.2.2.1 燃烧器的进口弯管处应采用内贴陶瓷片的耐磨材料。

7.4.2.2.2 设备制造材料应采用耐高温耐磨蚀材料或耐磨技术。

7.4.2.2.3 更改的钢结构应符合 GB/T 22395 的规定，并不低于原结构强度。

7.4.2.3 SCR 脱硝主要材料应与焙烧窑炉常用材料一致，应符合相关的规定。

7.4.2.4 SNCR 脱硝主要材料应与焙烧窑炉常用材料一致，应符合相关的规定。

7.4.2.5 SCR/SNCR 联合脱硝应符合 7.4.2.3 和 7.4.2.4 的规定。

8 检测与过程控制

8.1 一般规定

8.1.1 检测设备和过程控制系统应满足治理排放系统提出的自动检测、自动调节、自动控制及保护的要求。

8.1.2 控制系统可采用集散控制系统(DCS)或可编程逻辑控制器(PLC)，其功能包括数据采集和处理(DAS)、模拟量控制(MCS)、次序控制(SCS)及连锁保护、厂用电源系统监控等

8.1.3 治理排放设施的启、停、运行原则上应与焙烧窑炉同步，确保设施排放满足标准，事故处理及其他极端情况，为确保不影响焙烧窑炉正常安全运行，相关保护措施应报环保部门备案。

8.1.4 治理排放设施宜通过加强各污染物控制设施出入口输入参数检测与实时控制，实现各设施污染物高效减排和匹配控制，实现环保设施输入条件控制、高效减排控制和经济运行控制。

8.1.5 治理排放设施配套的 CEMS 仪表和烟囱终端监测表、计应满足各自工况条件要求，各治理设施及终端排口应根据要求配备适用于低浓度、湿环境的高精度检测仪表。

8.2 治理颗粒物排放控制系统

8.2.1 干式电除尘器及其系统

8.2.1.1 干式电除尘器的检测与过程控制要求应符合 JC/T 358.2、HJ/T 323、DL/T 514、JB/T 5910 的规定。

8.2.1.2 烟气冷却器检测

8.2.1.2.1 烟气冷却器应检测的内容包括：

- a) 烟气冷却器烟气侧进、出口烟气温度。
- b) 烟气冷却器水侧进、口水温度。
- c) 烟气冷却器烟气侧进、出口压力(压差)。
- d) 烟气冷却水侧进、出口压力(压差)。

- e) 泄漏检测。
 - f) 换热面壁温检测。
 - g) 吹灰系统状态检测(吹灰介质压力、温度等)。
- 8.2.1.2.2 烟气冷却器烟气侧温度、差压监测仪表测点应设在烟冷却器进、出口直管段。
- 8.2.1.2.3 烟气冷却器泄漏检测探头应设在烟气冷却器前后烟道上。
- 8.2.1.3 烟气冷却器过程控制
- 8.2.1.3.1 烟气冷却器过程控制内容包括：
- a) 烟气冷却器水侧入口水温控制：应大于烟气水露点 20℃。
 - b) 烟气冷却器烟气侧出口烟温控制：应不低于设计烟温，设计值一般为 90℃。
- 8.2.1.3.2 烟气冷却器的控制方式应根据生产系统的技术水平和要求、运行条件、管理水平综合确定，宜采用自动控制系统。
- 8.2.1.3.3 运行人员将在控制室内可完成对烟气冷却器水侧系统进行启/停控制、正常运行的监督和调整以及异常与事故工况的处理，而无需(或仅需要少量)现场人员的操作配合。
- 8.2.1.3.4 控制系统应具备储存烟气冷却器主要运行参数的能力，烟气冷却器的主要运行参数数据应满足相关管理部门的要求。
- 8.2.2 湿式电除尘器
- 8.2.2.1 湿式电除尘器检测
- 8.2.2.1.1 板式湿式电除尘器应检测的内容包括：
- a) 绝缘子室温度显示及超限报警。
 - b) 泵出口母管压力显示及超限报警。
 - c) 循环水泵、补水泵出口母管流量。
 - d) 循环水、废水 pH 值显示及超限报警。
 - e) 泵出口压力就地显示。
 - f) 箱罐液位显示及超限报警。
 - g) 高压供电装置检测参照 JC/T 358.2、HJ/T 323。
- 8.2.2.1.2 管式湿式电除尘器系统应检测的内容包括：
- a) 除尘器入口、出口温度和压力显示及超限报警。
 - b) 绝缘子室温度显示及超限报警。
 - c) 泵出口母管压力显示及超限报警。
 - d) 泵出口压力就地显示。
 - e) 箱罐液位显示及超限报警。
 - f) 高压供电装置检测参照 JC/T 358.2、HJ/T 323。
- 8.2.2.1.3 箱罐液位宜采用磁翻板式测量、静压式测量，不宜采用超声波测量。
- 8.2.2.2 湿式电除尘器过程控制
- 8.2.2.2.1 板式湿式电除尘器过程控制内容包括：
- a) 循环水或废水的 pH 值控制：宜以灰斗外排水的 pH 值(宜为 4~6)为控制对象，或者废水外排水的 pH 值(宜为 5~7)；但同时应满足循环水的 pH 不得高于 10。
 - b) 废水流量控制：宜根据焙烧窑炉负荷(BMCR)，在满足悬浮物浓度不大于 2000mg/L 条件下设置外排水量。
 - c) 过滤器自动控制：宜采用定时清洗控制或者差压式清洗控制。
 - d) 补水自动控制：湿式电除尘器后端喷淋装置进行喷淋应实现自动控制，且能根据水平衡情况调整喷淋时间。

e) 箱罐液位自动控制：在满足对泵、搅拌器等保护液位的同时，还应能保证箱罐内有满足水均衡的要求液位，液位裕度系数宜不小于 10%。

f) 备用泵应根据泵出口母管压力可实现自动切换控制。

g) 高压供电装置控制（由高压电源装置自带控制器实现）。

8.2.2.2.2 管式湿式电除尘器过程控制内容包括：

a) 电极冲洗控制：宜采用定时间控制。

b) 箱罐液位自动控制：满足泵保护且足够冲洗一次的水量，液位裕度系数宜不小于 10%。

c) 高压供电装置控制应由高压电源装置自带控制器实现。

d) 绝缘子密封风机系统自动控制。

8.2.2.2.3 湿式电除尘器的控制方式应根据生产系统技术的水温要求、运行前提、管理水平综合确定。

8.2.2.2.4 湿式电除尘器的启停过程应自动进行，无需运行人员干涉。

8.2.2.2.5 运行人员在控制室内可完成对每台机组湿式电除尘器进行启/停控制、正常运行的监视和调整以及异常与事故工况的处理，而无需(或仅需要少量)现场人员的操作配合。

8.2.3 袋式除尘器

8.2.3.1 袋式除尘器控制系统应满足系统控制要求，具备手动及自动控制功能，自动控制应具有压差(定阻)和定时两种控制方式，可相互转换，压差检测点应分别设置在除尘器的进出口总管上。清灰程序应能对脉冲宽度、脉冲间隔进行调整。

8.2.3.2 袋式除尘器安装完成后，应进行荧光检漏试验，试验应在预涂灰完成后进行，试验方法参照 JB/T 12118 执行。

8.2.3.3 其他要求应符合 GB/T 50701、GBZ 1、JB/T 12591、JB/T 12592 的规定。

8.2.4 电袋复合除尘器

8.2.4.1 顶部振打型电袋复合除尘器应能作单点振打测试，振打高度可调，并保证振打锤不会冲顶；当振打锤故障时，应能定位故障位置。

8.2.4.2 电袋复合除尘器清灰控制及荧光检漏试验应设置烟气温度和浆液液位等重要项目热工测量仪表，同时应与紧急事故喷淋降温系统联锁。

8.2.4.3 其他要求应符合 GB/T 50701、GBZ 1、JB/T 12591、JB/T 12592 的规定。

8.3 治理 SO₂ 排放控制系统

8.3.1 湿法脱硫和石灰石/石灰-石膏湿法脱硫

8.3.1.1 脱硫新建工程控制系统可根据全厂整体控制方案，与全厂控制系统或全厂辅控系统统筹考虑。脱硫改造工程控制系统宜纳入原脱硫系统进行控制。脱硫系统新增监视点包括塔外浆液箱循环泵房、氧化风机房、旋流器等区域，应纳入脱硫装备工业电视监视系统。

8.3.1.2 吸收塔应配备自动控制系统，对吸收剂密度、浆液 pH 值、烟气流速、吸收塔液位等主要系统参数进行在线监测和自动调节控制。

8.3.1.3 宜以烟气流量和入口 SO₂ 浓度作为控制系统的前馈信号，控制进入吸收塔的石灰石浆液流量，保证塔内浆液的 pH 值稳定在设定值。

8.3.1.4 应以入口烟气参数作为浆液液位控制的前馈信号，通过调整除雾器的冲洗间隔时间，以间歇补水的方式调节进入吸收塔的补给水流量，维持浆液池的液位处在设定值。

8.3.1.5 应以石灰石浆液供应量作为前馈信号，通过把持浆液池底部浓度较高的浆液的排放量，维持吸收塔内浆液的浓度稳定在设定值。

8.3.1.6 系统检测项目包括：烟气温度、压力、浆液加入量、脱硫剂的加入量、液位、浆液密度、浆液 pH。

8.3.1.7 脱硫烟尘的烟气在线监测系统 (CEMS) 应包括用于脱硫系统实时监视、调整脱硫运行参数的 CEMS 及用于环保部门所需的固定污染源 CEMS。

8.3.1.8 其他要求应符 HJ/T179、HJ 462 的规定。

8.3.2 烟气循环流化床脱硫

烟气循环流化床脱硫的检测与过程控制应符合 HJ/T 178 的规定。

8.3.3 氨法脱硫

8.3.3.1 应设置吸收塔进出口烟气温度、浆液液位和 pH 值等重要项目热工测量仪表。

8.3.3.2 吸收塔进口烟气温度应与紧急事故喷淋降温系统联锁，防止高温烟气破坏塔内件。

8.3.3.3 应采用自动加氨控制系统，并设置氨泄露报警及自动喷淋系统。

8.3.3.4 其他要求应符合 HJ 2001 的规定。

8.4 治理 NO_x 排放控制系统

8.4.1 检测与过程控制系统设计应以保证装置安全、可靠、经济适用为原则，采用成熟可靠的设备技术，满足各种工况下脱硝系统安全、高效运行。

8.4.2 脱硝系统的热工自动化水平宜与焙烧窑炉的自动化控制水平相一致。

8.4.3 烟气反应系统应在集中控制室进行控制。还原剂储存和供应系统可在集中控制室控制，也可与位置相邻或性质相近的辅助车间合设控制室控制。

8.4.4 还原剂储存及制备系统宜配置一套独立的与辅网各控制系统一致的自动控制控制系统，接入水处理控制网络，或配置与焙烧窑炉自动控制一致的远程控制站接入公用自动控制。脱硝还原剂区的卸氨系统可设置就地控制盘，便于现场操作。

8.4.5 低氮燃烧系统对于新增燃烧系统的仪控设备控制点应纳入控制系统，应方便运行人员可在控室内对新增设备操作和参数监控。

8.4.6 其他要求应符合 JC/T 358.2、HJ/T 323 的规定。

9 主要辅助工程

9.1 一般规定

9.1.1 治理排放工程的电气系统、建筑结构、压缩空气、采暖通风和给排水等主要辅助工程应根据烧结砖瓦企业主体工程情况进行统筹规划和设计，并应符合的 GB/T 50528、GB/T 50701 规定。

9.1.2 治理排放工程的建筑结构设计应贯彻勤俭、集约用地的原则，宜根据系统流程、功能要求、设备布置情况采用多层建筑和结合建筑。

9.1.3 治理排放工程所需的水、电、气、汽等帮助设施应纳入工厂主体工程统一考虑。

9.2 治理颗粒物排放控制系统

9.2.1 一般要求

干式电除尘器、袋式除尘器、电袋复合除尘器的其他电气、建筑结构、压缩空气、采暖通风和给排水工程，均随系统配套，应符合 DL/T 514、JB/T 5910、GB/T 21509、GB/T 50528、GB/T 50701 的规定。

9.2.2 烟气冷却器

9.2.2.1 供配电

9.2.2.1.1 低压双电源宜从不同的机组备用动力中心(380V)引接,采用自动或手动双电源切换。

9.2.2.1.2 烟气冷却器区域两台烟气冷却器之间应设置检修电源箱,检修电源箱容量应能满足现场需求。

9.2.2.2 给排水

9.2.2.2.1 烟气冷却器根据不同的系统应取自凝固水系统、热网水管网等。

9.2.2.2.2 烟气冷却器水系统放水宜回收。

9.2.2.3 防腐及露天防护

9.2.2.3.1 所有设备、平台扶梯根据系统布置的要求采取相应的防腐措施,设备、箱罐、管道的外表面按常规工厂设计有关要求涂刷油漆。

9.2.2.3.2 烟气冷却器水侧露天布置的设备采取防雨、防风措施,如设置防雨、防风罩。

9.2.3 湿式电除尘器

9.2.3.1 供配电

9.2.3.1.1 设备电动机应分别连接到与其相应的高压(若有)和低压厂用母线段上,应采用双电源供电。低压双电源宜从不同的脱硫动力中心(380V)引接,采用自动或手动双电源切换。对于配两台除尘器的项目,可设置对称的动力中心,穿插供电方式供电。

9.2.3.1.2 在湿式电除尘器箱罐区域、除尘器侧部入孔门、除尘器顶部应设置检修电源箱,检修电源箱容量应能满足现场需求。湿式电除尘器顶部高压直流电源应设置检修吊机,检修吊机布置应能将供电装置起吊至零米。

9.2.3.2 采暖、通风与给排水

9.2.3.2.1 湿式电除尘器的喷淋水应根据水质要求取自厂区的水管网。

9.2.3.2.2 湿式电除尘器喷淋系统产生的废水宜作为湿法脱硫补水回用。

9.2.3.3 防腐及露天防护

9.2.3.3.1 所有设备、管道工具根据系统布置的要求采取相应的防腐措施,设备、箱罐、管道的外表面按常规工厂设计有关要求涂刷油漆。

9.2.3.3.2 湿式电除尘器露天布置的设备采取防雨、防风措施,如设置防雨、防风罩。

9.3 治理 SO₂ 排放控制系统

9.3.1 脱硫改造工程应根据用电设备增加情况校核高厂变和低压脱硫变容量,核查设备布置空间、电缆通道容量、进线开关容量、电源电缆容量等需要在原有系统之上增加的内容。

9.3.3 其他土建结构、电气、采暖透风、给排水及消防系统,均随系统配套,应符合 HJ/T 178、HJ/T179、HJ 462、HJ 2001 的规定。

9.4 治理 NO_x 排放控制系统

9.4.1 电气系统

9.4.1.1 供电系统应符合 GB/T 21509、GB/T 50528、GB/T 50701 的规定。

9.4.1.2 直流系统应符合规范 GB/T 21509、GB/T 50528、GB/T 50701 的规定。

9.4.1.3 交换保安电源和不间断电源、二次线应符合 GB/T 21509、GB/T 50528、GB/T 50701 的规定。

9.4.2 建筑及结构

建筑及结构应符合 GB/T 21509、GB/T 50528、GB/T 50701 的规定。

9.4.3 暖通及消防系统

9.4.3.1 脱硝系统内应有采暖通风与空气调节系统，并符合 GB/T 21509、GB/T 50528、GB/T 50701 等的规定。

9.4.3.2 脱硝系统内应有完整的消防给水系统，还应按消防对象的详细情况设置火灾自动报警装置和专用灭火装置，消防设计应符合 GB 50222、GB 50229 和 GB 50160 等的规定。

9.4.4 其他辅助系统

其他辅助系统要求应符合 GB/T 21509、GB/T 50528、GB/T 50701 的规定。

10 安全与职业健康

10.1 一般规定

10.1.1 治理排放工程的建设及运行应遵循“安全第一，预防为主”的方针，以不影响工厂安全生产和文明生产为原则，持续提高生产过程中安全、健康、环境的管理水平，保障建设及生产人员、生产设备的安全、健康与环境。

10.1.2 工厂应建立健全排放工程环境因素和评价体系，加强运行过程中环境因素的控制。

10.1.3 治理排放工程应按照安全性评定等要求，定期进行安全及环境专项评估和检查，形成评定、整改的闭环管理。

10.1.4 治理排放工程建成运行时，配套安全和职业健康设施应同时建成投运，并制定相应的操作规程。

10.1.5 治理排放工程建设及运行过程中，安全和职业健康应符合 GB/T 12801、GBZ 2.1 及 GBZ 2.2 的有关规定。

10.2 安全

10.2.1 治理排放工程建设及运行过程中危险品管理应满足《危险化学品安全管理条例》、《危险化学品重大危险源监督管理暂行规定》、GB 18218、HG 23012 等国家及地方相关要求，液氨管理应满足 GB 17681 要求，确保排放设施事故预防和应急预案处于受控状态。

10.2.2 治理排放工程建设、运行、检修、维护和管理过程中的安全工作要求应参照 GB 26164.1、HG 23012 执行。

10.2.3 治理排放工程的防火、防爆、防腐设计应符合 GB 50016、GB 50222、GB 50046、GB 50212、HG 23012 的规定。

10.2.4 治理排放工程应采取有效的隔声、消声、吸声、绿化等降低噪声的措施，噪声、震动应分别满足 GB/T 50087 和 GB 50040 要求，厂界噪声应满足 GB 12348 要求。

10.3 职业健康

10.3.1 应在具有危险因素和职业病危害的场所设置醒目安全标记、安全色、警示标志，具体内容应符合 GB/T 2893.1、GB 2894 的规定。

10.3.2 治理排放工程的防尘、防泄漏、防噪声与振动、防电磁辐射、防暑与防寒等要求应符合 GBZ 1、GB 12158 的规定。

11 工程施工与验收

11.1 工程施工

- 11.1.1 治理排放工程施工单位应具有国家相应的工程施工资质，遵守国家部门公布的劳动安全卫生、消防等国家强制性标准及相关的施工技术规范。
- 11.1.2 治理排放工程应按施工设计图纸、技术文件、设备图纸等组织施工，施工应符合国家和行业施工程序及管理文件的规定。工程变更应取得设计变更文件后再实施。
- 11.1.3 治理排放工程施工中使用的设备、材料、器件等应符合相关的国家标准，并取得供货商的产品合格证后方可使用。
- 11.1.4 低温电除尘器安装应符合 GB/T 33017.2、JB/T 12591 的规定。
- 11.1.5 湿式电除尘器安装应符合 JB/T 12593 的规定。
- 11.1.6 袋式除尘器安装应符合 GB/T 33017.3、JB/T 8471 的规定。
- 11.1.7 电袋复合除尘器安装应符合 GB/T 33017.4、GB/T 27869 的规定。
- 11.1.8 吸收塔施工及验收应符合 GB/T 19229.1、GB/T 19229.2、GB 50895 的规定。
- 11.1.9 脱硫系统设备安装及验收应符合 HJ/T 178、HJ/T179、HJ 462、HJ 2001、GB 50895 的规定。
- 11.1.10 施工焊接应符合 GB 50236 和 GB 50683 的规定。
- 11.1.11 氧化空气管安装时，应在各支架找平后，先均匀拧紧管夹螺栓，再拧紧薄螺母。
- 11.1.12 脱硫系统所有防腐层应做电火花检查工作，尤其是腰形孔及角钢的棱角部位。
- 11.1.13 脱硝系统工程施工应符合 GB/T 21509、GB/T 50528、GB/T 50701 的规定。

11.2 验收

11.2.1 工程验收

- 11.2.1.1 应由建设单位组织安装单位、供货商、工程设计单位结合系统调试对治理排放工程进行验收，对机械设备和控制设备的性能、安全性、可靠性等运行状况进行考核。
- 11.2.1.2 治理排放工程验收应按 GB/T 33017.1、《建设项目(工程)竣工验收措施》、相应专业验收规范和本文本的有关规定进行。
- 11.2.1.3 治理排放工程安装、施工完成后应进行调试前的启动验收，启动验收合格和对在线仪表进行校验后方可进行分项调试和整体调试。
- 11.2.1.4 通过大气污染物治理排放设施整体调试，各系统运转正常，技术指标达到设计和合同要求后，应进行启动试运行。
- 11.2.1.5 对整体启动试运行中出现的问题应及时消除。在整体启动试运行连续试运 168 小时，技术指标达到设计和合同要求后，建设单位向环保主管部门提交生产试运行申请。
- 11.2.1.6 脱硝系统工程验收应符合 GB/T 21509、GB/T 31584 的规定。
- 11.2.1.7 低温电除尘器工程验收应符合 GB/T 33017.2、JB/T 12591 的规定，低温高效烟气处理系统的工程验收应符合 JB/T 12592 的规定。
- 11.2.1.8 湿式电除尘器工程验收应符合 DL/T 1589、JB/T 12593 的规定。
- 11.2.1.9 袋式除尘器工程验收应符合 GB/T 33017.3、JB/T 8471 的规定。
- 11.2.1.10 电袋复合除尘器工程验收应符合 GB/T 27869、GB/T 33017.4 的规定。
- 11.2.1.11 脱硫系统工程验收应符合 GB/T 19229.1、GB/T 19229.2、GB/T 21508、DL/T 998、HJ/T 178、HJ/T 179、HJ 462、HJ 2001 的规定。

11.2.2 环境保护设施验收

- 11.2.2.1 治理排放工程竣工环境保护验收应符合 DL/T 514、JB/T 5910、HJ/T 178、HJ/T 179、HJ 462、HJ 2001、HJ/T 75、HJ/T 76、GB/T 21508、GB/T 21509、GB/T 50528、GB/T 50701 等的规定。
- 11.2.2.2 烧结砖瓦企业治理排放工程配套建设的烟尘的烟气在线监测系统(CEMS)应在工程竣工验收

前通过专业第三方环保比对试验。

12 运行与维护

12.1 一般规定

12.1.1 治理排放工程投运后，砖瓦企业排放的烟气污染物浓度应满足 GB 29620 排放限值的要求，排放量还应满足国家及地方的排污许可总量。

12.1.2 治理排放设施是砖瓦企业生产系统的组成部分，应按主设备要求进行运行、检修和维护管理，避免和减小生产系统及各治理设施之间产生不利影响。

12.1.3 烧结砖瓦企业应从输入条件、设备配置、运行管理、检修维护、达标排放、副产物处理、环境影响、应急预案等角度，建立健全保障治理排放设施稳定可靠运行的管理体系，包括组织机构、制度、规程、事故预防和应急预案、人员培训、技术管理以及考察方法等。

12.1.4 烧结砖瓦企业应在确保大气污染治理排放设施可靠运行和污染物排放浓度稳定达标的条件下，持续优化运行方式，注重挖掘和完善多污染物联合脱除、协同减排的功能，实现节能经济运行。

12.1.5 烧结砖瓦企业的治理排放设施应可靠运行，宜采用委托拥有运营资质的专业单位运行。

12.1.6 烧结砖瓦企业应建立和加强大气污染治理排放设施竣工资料、运营期原料采购及消耗、系统运行检修、设备维护保养、人员培训等记录和报表、其他各种资料的档案管理，建立电子档案，并根据环保要求建立规范的历史数据采集、存档、报送、备案制度，对运行数据、记录等相关资料的保留年限应满足相关环保要求。

12.1.7 烧结砖瓦企业应增强大气污染治理排放设施的技术监视和管理，按期对烟气治理设施的运行状况进行评估，形成评价、改良、监督、再评价、连续改进的闭环治理。

12.2 颗粒物治理系统的运行与维护

12.2.1 干式电除尘器及其系统

12.2.1.1 一般规定

12.2.1.1.1 干式电除尘器的运行、维护和检修等一般要求应符合 JB/T 6407 的规定。

12.2.1.1.2 干式电除尘器的运行、维护和检修应实施专业化管理。

12.2.1.1.3 应按 GB/T 13931 的规定定期考核干式电除尘器除尘效率，同时标定烟尘的烟气在线监测系统(CEMS)。

12.2.1.1.4 烟气冷却器内不应发生工质的汽化、停滞和倒流现象，水侧进、出口集箱的连接方式应最大程度减小流量偏差，烟气侧宜设置泄漏在线监测装置。

12.2.1.2 运行

12.2.1.2.1 干式电除尘器的运行应符合 JB/T 6407 的规定。

12.2.1.2.2 烟气冷却器与机组凝聚水、热网水或其他冷却水系统相连，投运前应做好充足的投运组织计划。

12.2.1.2.3 烟气中易燃、易爆物质浓度、烟气温度、运行压力应符合设计要求，当烟气条件严重偏离设计要求、危及设备及人身安全时，不得投运烟气冷却器。

12.2.1.2.4 烟气冷却器的启动，应符合以下要求：

a) 投运前，应进行水压实验，以确认系统无泄漏点。

b) 投运前，管道和设备应按照有关规程的规定，严格按照规定进水冲洗，以保证系统管道内部干净，取样化验及格。

12.2.1.2.5 烟气冷却器投运时应满足需要的平安入口烟温及入口水温，烟气温度宜大于 110℃，水侧入口温度应大于 70℃。

12.2.1.2.6 烟气冷却器正常投运后在工况及外围条件转变较大时，运行人员需作相应调整。

12.2.1.2.7 运行中发现以下情况之一时，应马上停止烟气冷却器的运行：

- a) 换热管发生泄漏。
- b) 管路系统发生泄漏。
- c) 控制系统失灵，温度、压力大幅度偏离设计值。
- d) 其他严重威胁人身与设备安全的情况。

12.2.1.2.8 运行中发现以下情况之一时，应酌情结束烟气冷却器的运行：

- a) 烟气冷却器入口水温过低。
- b) 烟气冷却器入口烟温过低，导致出口烟温低于设计值。

12.2.1.2.9 烟气冷却器运行中应记录以下数据：

- a) 烟气冷却器入口烟温。
- b) 烟气冷却器出口烟温。
- c) 烟气冷却器入口水温。
- d) 烟气冷却器出口水温。
- e) 烟气冷却器烟气侧进、出口压差。
- f) 泄漏检测记录。
- g) 水泵运行频率及电流信号。
- h) 电动阀门开关位置信号及阀门开度。

12.2.1.3 维护

12.2.1.3.1 干式电除尘器的维护应符合 JB/T 6407 的规定。

12.2.1.3.2 烟气冷却器在机组停运时，都应进行检查，检查水侧密封、烟气侧磨损腐蚀等。此外，每年应小修一次，小修内容包括清除积灰、更换损坏耐磨元件、导流板等。

12.2.1.3.3 烟气冷却器宜定期进行常规检查。

12.2.1.3.4 停炉后机务系统常规检查应包括以下内容：

- a) 积灰情况。
- b) 换热管密封情况。
- c) 各管道、水泵、法兰连接处密封情况。
- d) 换热管及翅片腐蚀及磨损情况。
- e) 人孔门及观察孔密封情况。

12.2.1.3.5 当设备停运时，应及时将烟气冷却器本体及管路系统的水放干，避免冬季换热管冻裂；长期停运时，水侧系统宜充氮保护。

12.2.2 湿式电除尘器

12.2.2.1 一般规定

12.2.2.1.1 湿式电除尘器的运行、维护和检修等一般要求应符合 DL/T 1589 的规定。

12.2.2.1.2 湿式电除尘器的二次电压和电流、烟尘仪值、电机电流、水压、水泵流量等应每小时记录一次并自动生成报表。

12.2.2.2 运行

12.2.2.2.1 湿式电除尘器电场启停时，只有在水系统投运正常后，才能投入高压系统；当设备停运时，应先停运高压系统。

12.2.2.2.2 湿式电除尘器正常投运后在工况及外围条件改变较大时，运行人员需作相应调整。

12.2.2.2.3 运行中发现以下情况之一时，应立即停止湿式电除尘器的运行：

- a) 高压直流供电设备参照 DL/T 1589 的规定。

- b) 电场发生短路。
- c) 电场内部异极距严重缩小，电场持续拉弧。
- d) 水管出现破裂或发生漏水情况。
- e) 主水泵及备用水泵同时出现故障。

12.3.2.2.4 运行中发现以下情况之一时，应酌情停止湿式电除尘器的运行：

- a) 高压直流供电设备参照 DL/T 1589 的规定。
- b) 单个水泵故障或管道水压不足。
- c) 排水系统达不到水系统更新要求。
- d) 长期停运设备会对环保及正常生产造成较大影响，需作综合考虑，宜只投入水系统而停运高压系统。

12.2.2.2.5 湿式电除尘器运行中应记录以下数据：

- a) 湿式电除尘器正常运行时一二次电压、电流及火花率。
- b) 水泵运行时电流及管道流量、压力。
- c) 循环水、排水 pH 计数值。
- d) 湿式电除尘器进口温度。
- f) 喷淋压力。
- e) 各水箱液位。
- g) 电动阀门开关位置信号及阀门开度。

12.2.2.3 维护

12.2.2.3.1 湿式电除尘器每次停机都应进行一次检查，清理电场，校正变形大的极板极线，擦洗绝缘瓷件，测量绝缘电阻，排除运行中出现的故障。此外，每年应中修一次，中修内容包括更换损坏件等，每四年左右（或根据电厂大修周期）应进行一次大修，对电场作全面清扫、调整，更换影响性能或已经损坏的各零部件等。

12.2.2.3.2 湿式电除尘器宜定期进行常规检查。

12.2.2.3.3 停炉后机务系统常规检查应包括以下内容：

- a) 积灰情况。
- b) 电场侧壁、人孔门、顶盖上绝缘子室、水箱等部位破损、漏水情况。
- c) 各管道、法兰连接处漏水情况。
- d) 阴极框架变形以及极线的弯曲情况和积灰情况。
- e) 阳极板的弯曲变形情况、积灰和腐蚀情况。
- f) 每次停机应抹擦瓷套内腔和外壁，绝缘子保温箱需密封。
- g) 喷淋系统喷嘴堵塞、磨损情况，如出现喷嘴磨损大时，应立即更换。

12.2.3 袋式除尘器、电袋复合除尘器

12.2.3.1 一般规定

12.2.3.1.1 袋式除尘器、电袋复合除尘器的运行、维护和检修等一般要求应符合 DL/T 1589 的规定。

12.2.3.1.2 袋式除尘器、电袋复合除尘器的运行、维护和检修应实行专业化管理。

12.2.3.2 运行、维护

12.2.3.2.1 袋式除尘器的运行应符合 GB/T 6719 的规定；电袋复合除尘器的运行应符合 DL/T 514、JB/T 5910、JB/T 11644 的规定。

12.2.3.2.2 袋式除尘器、电袋复合除尘器的启动和停运应符合 JB/T 11644 的规定。

12.2.3.2.3 袋式除尘器、电袋复合除尘器的维护应符合 JB/T 11644 的规定。

12.3 治理 SO₂ 排放控制系统

12.3.1 一般规定

12.3.1.1 脱硫设施的启动、运行调整、维护及运行管理制度应符合 HJ/T 178、HJ/T 179、HJ 462、HJ 2001 的规定。

12.3.1.2 脱硫运行单位应建立及健全脱硫运行管理制度，配备足够的操作、维护、检修人员及设备仪器。

12.3.1.3 脱硫设施的维护保养应纳入主机的维护保养计划之中，并制定详细的维护保养规程。

12.3.2 运行

12.3.2.1 脱硫设施投运前应全面检查运行条件，符合要求后才能按照程序启动脱硫设施各系统。

12.3.2.2 脱硫设施运行应在满足设计工况的条件下进行，并根据脱硫设施要求定期对各类设备、电气、自控仪表等进行检查维护，确保系统稳定可靠运行。

12.3.2.3 运行中应认真观察各运行参数的变化情况，保证浆池 pH 值和系统阻力等参数在指标范围内运行，焙烧窑炉负荷变化时应通过调节保证正常运行和达标排放。

12.3.2.4 定期进行仪器、仪表的校验，及时对浆液循环泵、浆液管道冲洗。系统停运时，管道、设备等及时排空并清洗。

12.3.3 维护

12.3.3.1 维护人员应熟悉维护保养规定，并根据规定定期检查、更换或维修必要部件（设备、管道、材料等），及时做好维护保养记录。

12.3.3.2 在机组小修、中修、大修期及时进行脱硫设施的检查及检修等工作。

12.3.3.3 在设施检修维护时应做好安全防护工作。

12.4 治理 NO_x 排放控制系统

12.4.1 一般规定

12.4.1.1 脱硝设施安全管理应符合 GB/T 12081 的规定。

12.4.1.2 采用液氨作为还原剂时，应根据《危险化学品安全管理条例》的规定建立本单位事故应急救援预案，配备应急救援人员和必要的应急救援器材、设备、并定期组织演练。

12.4.1.3 应建立健全与脱硝设施运行维护相关的各项管理制度，以及运行、操作和维护规程，建立脱硝设施主要设备运行状况的记录制度。

12.4.1.4 脱硝设施的运行、维护及安全管理除应执行本标准外，还应符合国家现行有关强制性标准的规定。

12.4.2 运行

12.4.2.1 应从原燃料把控、调整、合理配风给料等方面优化低氮燃烧，保证焙烧窑炉安全经济环保运行。

12.4.2.2 脱硝设施运行应符合 GB/T 21509、GB/T 50528、GB/T 50701 的规定。

12.4.3 维护

12.4.3.1 维护职员应熟习维护保养规定，并根据规定定期检讨、调换或维修必要部件（设备、管道、资料等），及时做好维护颐养记载。

- 12.4.3.2 应根据脱硝供货商提供的设备、技术、文件等资料，统筹制定维护保养规定。
- 12.4.3.3 运行维护人员应做好维护保养台档，定期检查记录情况。
- 12.4.3.4 其他要求应符合 GB/T 21509、GB/T 50528、GB/T 50701 的规定。

附录 A

(规范性)

电除尘器对原料燃料品种的除尘难易性评价方法
电除尘器对原料燃料的除尘难易性评价按表 A.1 的评价方法进行

表 A.1 电除尘器对燃料的除尘难易性评价方法

除尘难易性	对原料、燃料、飞灰主要成分重量百分比含量所满足的条件 (满足其中一条即可)
较易	a) $\text{Na}_2\text{O} > 0.3\%$, 且 $\text{Sar} \geq 1\%$, 且 $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \leq 80\%$, 同时 $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 40\%$; b) $\text{Na}_2\text{O} > 1\%$, 且 $\text{Sar} > 0.3\%$, 且 $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \leq 80\%$, 同时 $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 40\%$; c) $\text{Na}_2\text{O} > 0.4\%$, 且 $\text{Sar} > 0.4\%$, 且 $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \leq 80\%$, 同时 $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 40\%$; d) $\text{Na}_2\text{O} \geq 0.4\%$, 且 $\text{Sar} > 1\%$, 且 $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \leq 90\%$, 同时 $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 40\%$; e) $\text{Na}_2\text{O} > 1\%$, 且 $\text{Sar} > 0.4\%$, 且 $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \leq 90\%$, 同时 $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 40\%$.
一般	a) $\text{Na}_2\text{O} \geq 1\%$, 且 $\text{Sar} \leq 0.45\%$, 且 $85\% \leq (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \leq 90\%$, 同时 $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 40\%$; b) $0.1\% < \text{Na}_2\text{O} < 0.4\%$, 且 $\text{Sar} \geq 1\%$, 且 $85\% \leq (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \leq 90\%$, 同时 $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 40\%$; c) $0.4\% < \text{Na}_2\text{O} < 0.8\%$, 且 $0.45\% < \text{Sar} < 0.9\%$, 且 $80\% \leq (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \leq 90\%$, 同时 $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 40\%$; d) $0.3\% < \text{Na}_2\text{O} < 0.7\%$, 且 $0.1\% < \text{Sar} < 0.3\%$, 且 $80\% \leq (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \leq 90\%$, 同时 $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 40\%$.
较难	a) $\text{Na}_2\text{O} \leq 0.2\%$, 且 $\text{Sar} \leq 1.4\%$, 同时 $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \geq 75\%$; b) $\text{Na}_2\text{O} \leq 0.4\%$, 且 $\text{Sar} \leq 1\%$, 同时 $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \geq 90\%$; c) $\text{Na}_2\text{O} < 0.4\%$, 且 $\text{Sar} < 0.6\%$, 同时 $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \geq 80\%$.

附录 B

(资料性)

电除尘提效技术和提效装置的技术特点和适用范围

表 B.1 电除尘提效技术和提效装置的技术特点和适用范围

项目名称		技术特点	适用范围
新型高压电源及控制技术	高频高压电源	1) 在纯直流供电条件下, 供给电场内的平均电压比工频电源电压高 25%~30%; 2) 控制方式灵活, 可以根据电除尘器的具体工况提供合适的波形电压, 提高电除尘器对不同运行工况的适应性; 3) 高频电源本身效率和功率因数均可达 0.95, 高于常规电源频电源; 4) 高频电源可在几十微秒内关断输出, 在较短时间内使火花熄灭, 5ms 治理 15ms 恢复全功率供电; 5) 体积小, 重量轻, 控制柜和变压器一体化, 并直接在电除尘顶部安装, 节省电缆费用。	1) 应用于高粉尘浓度电场时, 可提高电场的工作电压和荷电电流; 2) 适用于高比电阻粉尘, 用于克服反电晕。
	三相高压直流电源	1) 输出直流电压平稳, 较常规电源波动小, 运行电压可提高 20%以上; 2) 三相供电平稳, 有利于节能; 3) 三相电源需要采用新的火花控制技术和抗干扰技术。	
	脉冲高压电源	1) 脉冲高压电源可提高除尘器运行峰值电压, 抑制反电晕发生, 使电除尘器在收集高比电阻粉尘时有更高的收尘效率; 2) 脉冲供电对电除尘器的驱进速度改善系数随粉尘比电阻的增加而增加, 对于高比电阻粉尘, 改善系数可达 2 以上, 但成本较高; 3) 能耗降低。	
低低温电除尘技术	1) 运行的烟气温度在酸露点以下; 2) SO ₃ 冷凝形成硫酸雾, 粘附在粉尘表面, 降低飞灰比电阻, 粉尘特性得到改善; 3) 烟气中的 SO ₃ 去除率一般不小于 80%, 最高可达 95%; 4) 与烟气的灰硫比 (粉尘浓度与硫酸雾浓度之比) 有关, 对燃煤的含硫量比较敏感; 5) 烟气冷却器回收的热量回收至汽机回热系统时, 可节省煤耗及厂用电消耗;	1) 灰硫比 ≥ 100; 2) 入口烟气温度应低于烟气酸露点温度, 一般为 90℃; 3) 高硫煤尚未有应用业绩; 对电除尘器的比集尘面积仍有一定的要求。	
移动电极技术	1) 布置灵活, 烟气冷却器可组合在电除尘器进口封头内, 有一定的要求。也可独立布置在电除尘器的前置烟道上。 2) 能够保持阳极板清洁, 避免反电晕, 最大限度地减少二次扬尘, 有效解决高比电阻粉尘收尘难的问题;	适用于场地受限的改造工程, 部分项目只需将末电场改成移动电极电场。	

	<p>3) 减少煤、灰成分对除尘性能影响的敏感性, 增加电除尘器对不同煤种的适应性, 特别是高比电阻粉尘、粘性粉。</p> <p>4) 可使电除尘器小型化, 占地少;</p> <p>5) 对设备的设计、制造、安装要求高。</p>	
机电多复式双区电除尘技术	<p>1) 采用由数根圆管组合的辅助电晕极与阳极板配对, 运行电压高, 场强均匀, 电晕电流小, 能有效抑制反电晕;</p> <p>2) 一般可应用于最后一个电场, 单室应用时需增加一套高压设备, 通常辅助电极比普通阴极成本高。</p>	<p>1) 适用于高比电阻粉尘工况采用;</p> <p>2) 可与高频电源、断电振打等技术合并应用。</p>
烟气调质技术	<p>1) 降低粉尘比电阻;</p> <p>2) 基本不占用场地;</p> <p>3) 如采用 SO₂ 烟气调质, 需严格控制 SO₂ 注入量, 避免逃逸。</p>	<p>1) 适用于灰成分中三氧化二铝偏高或灰呈弱碱性、整体比电阻偏高、含硫量较小、运行烟温小于 145℃ 的工况和条件;</p> <p>2) 适用于改造无扩容空间场合。</p>
粉尘凝聚技术	<p>1) 一定程度改善除尘效果;</p> <p>2) 压力损失 < 250Pa;</p> <p>3) 提效受除尘器出口烟尘浓度和粉尘粒径等影响;</p> <p>4) 提效范围有限。</p>	<p>1) 布置在烟道直管段 (5m 左右) 或进口封头内;</p> <p>2) 投资成本少, 且原电除尘器出口烟尘浓度与要求的出口烟尘浓度限值相差较小时;</p> <p>3) 粉尘凝聚技术目前应用案例少。</p>

附录 C

(资料性)

典型治理技术路线

对于焙烧窑炉及干燥后采用了湿法脱硫的技术路线，C.1~C.4 为目前国内应用较多的以颗粒物脱除为首要条件的三条典型治理技术路线，实际选择时需结合工程具体情况和污染物治理设施之间的协同作用对各种除尘和补充除尘技术进行组合。各种除尘和补充除尘设备出口的颗粒物控制指标应符合 6.2.3 的规定。

C.1 以湿式电除尘器作为补充除尘的典型治理技术路线

C.1.1 组成及总体要求

a) 技术路线示例见图 C.1，采用湿式电除尘器及石灰石/石灰-石膏等湿法脱硫协同除尘作为补充除尘。本示例主要包括焙烧窑炉（低氮燃烧）、SNCR 脱硝系统（焙烧高温脱硝）、石灰石/石灰-石膏等各类湿法脱硫系统（或湿式氧化吸收联合脱硫脱硝系统）、湿式电除尘器、烟气再热器、SCR 脱硝系统、烟气冷却器、除尘器、烟囱等，其中（低氮燃烧）、SNCR 脱硝系统（焙烧高温脱硝）、烟气再热器、SCR 脱硝系统、烟气冷却器、除尘器可选择安装，如果不需脱硝虚框内、（低氮燃烧）和 SNCR 脱硝系统可不选择安装。

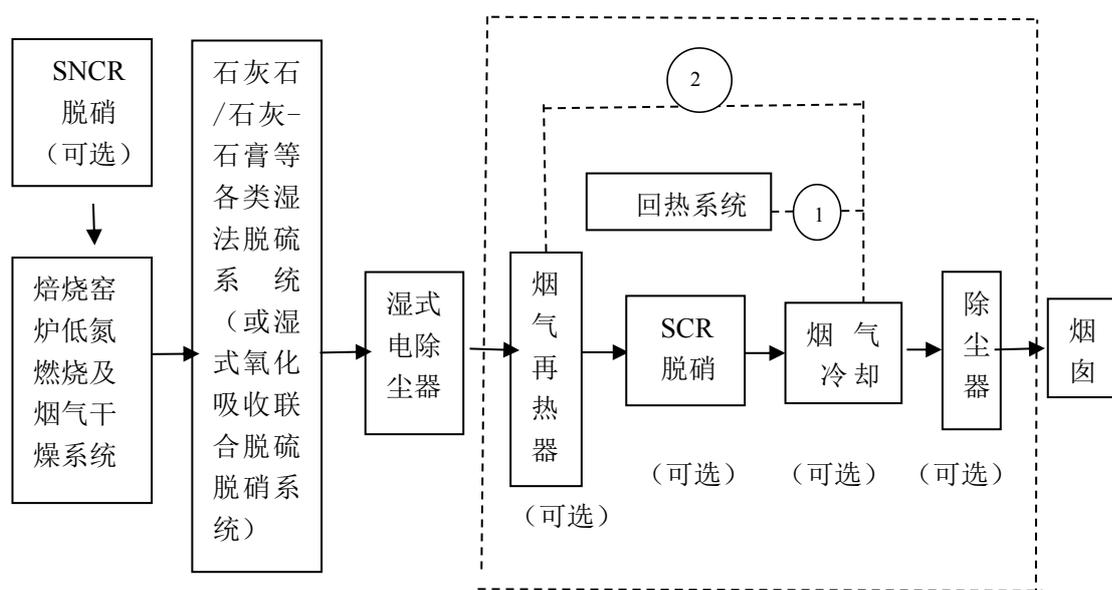


图 C.1 以湿式电除尘器作为二次除尘的典型治理技术路线

b) 除尘器出口烟尘浓度宜按不大于 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 设计，湿式电除尘器出口颗粒物浓度应不大于 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 。

c) 除尘器可采用干式电除尘器、电袋复合除尘器或袋式除尘器，烟气湿度温度不满足除尘器要求，只选择湿式电除尘器作为补充除尘。

1) 采用干式电除尘器时，宜辅以采用高频高压电源、三相工频高压直流电源或脉冲高压电源等新型高压电源及控制提效技术，也可辅以采用移动电极、机电多复式双区等提效技术。采用烟气冷却器时，

宜设置在干式电除尘器前构成低温电除尘，烟气湿度温度不满足除尘器要求时应加烟气除湿增温系统。

2) 采用电袋复合除尘器或袋式除尘器时，烟气冷却器宜设置在除尘器之后。

d) 脱硝应结合工程具体情况确定，可根据情况择优选择分别采用焙烧窑炉（低氮燃烧）、SCR 脱硝、SNCR 脱硝或 SNCR/SCR 联合脱硝等系统。

e) 该技术路线各设施对烟气污染物协同治理的影响如表 C.1 所示。

表 C.1 各设施与烟气污染物协同治理的关系

污染物	低氮燃烧	石灰石/石灰-石膏等 各类湿法脱硫系统	湿式电除尘器	SCR 脱硝 SNCR 脱硝 SNCR/SCR 联合脱硝	除尘器
颗粒物	○	●	√	○	√
SO ₂	○	√	○	○	○
NO _x	√	●	●	√	○
SO ₃	○	●	●	○ (SNCR) ■ (SCR、SNCR/SCR)	● (电袋或袋式除尘器， 低温电除尘) ○ (其他干式电除尘器)
Hg	○	●	●	○ (SNCR) ▲ (SCR、SNCR/SCR)	●

注：√-直接作用，●-直接协同作用，▲-间接协同作用，○-基本无作用或无作用，■-负作用

f) 不设置烟气再热器时，烟气冷却器处的换热量按上图①所示回收至回热系统；设置烟气再热器时，烟气冷却器处的换热量按上图②所示至烟气再热器。

g) 条件适宜时，脱硫系统也可采用氨法脱硫。

C.1.2 可达到的性能指标

a) 湿式电除尘器出口颗粒物排放浓度可达 20mg/m³ 以下，颗粒物去除率应不低于 70%。

b) SO₂ 排放浓度不高于 50mg/m³。

c) NO_x 排放浓度不高于 100mg/m³。

C.1.3 适用条件

a) 受原料、燃料品质、负荷波动或其他因素影响，烟尘浓度不能稳定，脱硫系统出口颗粒物浓度高于 50mg/m³。

b) 湿式电除尘器进口颗粒物浓度宜不高于 50mg/m³。

c) 要求颗粒物排放浓度低于 20mg/m³ 或对 SO₃、Hg、细颗粒物排放等有严格控制需求。

d) 技术经济合理，且场地空间条件允许。

C.2 以湿法脱硫协同高效除尘及脱硝一体化治理技术路线

C.2.1 组成及总体要求

a) 技术路线示例见图 C.2，采用湿法脱硫协同高效除尘及脱硝一体化治理技术路线。本示例主要包括焙烧窑炉（低氮燃烧）、SNCR 脱硝系统、除尘器、增压风机、石灰石/石灰-石膏等各类湿法脱硫、脱硝氧化剂加入系统（湿式氧化吸收联合脱硫脱硝系统）、烟气再热器和烟囱（含塔顶烟囱）。其中（低氮燃烧）、SNCR 脱硝系统、除尘器和烟气再热器可选择安装。

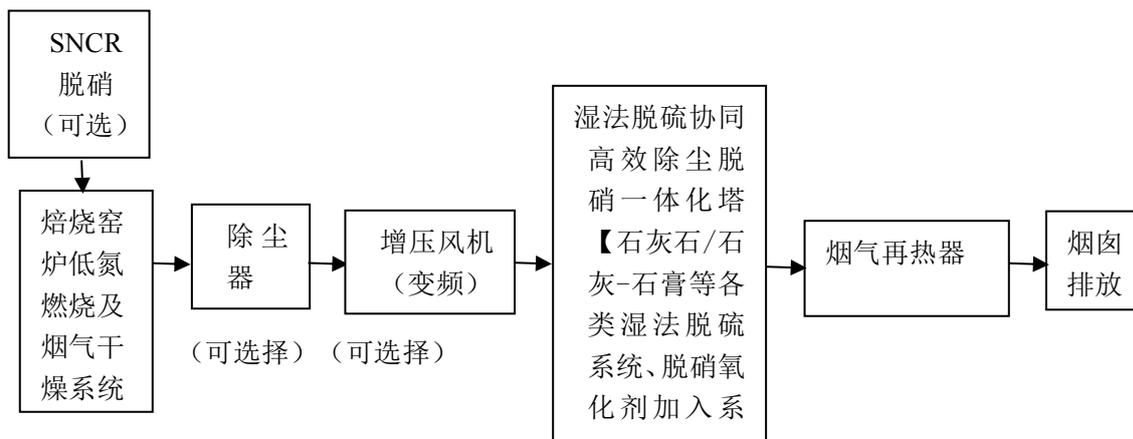


图 C.2 以湿法脱硫协同高效除尘及脱硝一体化治理技术路线

- b) 湿法脱硫系统入口的颗粒物实测浓度宜不大于 $100\text{mg}/\text{m}^3$ ，若超过 $100\text{mg}/\text{m}^3$ ，宜增加除尘器，除尘器的选用应根据烟气温度、湿度和其他特性综合确定。
- c) 湿法脱硫系统应具备高效协同除尘效率，出口颗粒物浓度应不大于 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 。
- d) 脱硝应结合工程具体情况确定，可根据情况择优选择分别采用焙烧窑炉（低氮燃烧）或 SNCR 脱硝系统。
- e) 该技术路线各设施对烟气污染物协同治理的影响如表 C.2 所示。

表 C.2 各设施与烟气污染物协同治理的关系

污染物	低氮燃烧	SNCR 脱硝	除尘器	湿法脱硫协同高效除尘脱硝一体化塔
颗粒物	○	○	√	●
SO ₂	○	○	○	√
NO _x	√	√	○	●
SO ₃	○	○	●（电袋或袋式除尘器， 低温电除尘） ○（其他干式电除尘器）	●
Hg	○	○	●	●

注：√-直接作用，●-直接协同作用，▲-间接协同作用，○-基本无作用或无作用。

- f) 湿式脱硫脱硝一体化技术中脱硝效率宜设计在 40% 以上，保证 NO_x 排放不大于 $150\text{mg}/\text{m}^3$ 。
- g) 氧化剂宜优先选用臭氧，也可选用其他氧化剂，但应避免二次污染。
- h) 增压风机应布置在除尘后，湿法脱硫前，且应变频控制。

i) 湿法脱硫设施也可采用氧化镁法、钠法或其他湿法脱硫设施。

C.2.2 可达到的排放指标

- 颗粒物排放可达 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。
- SO_2 排放不高于 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 。
- NO_x 排放不高于 $150\text{mg}/\text{m}^3$ 。

C.2.3 适用条件

- 注重技术经济性，系统相对简单。
- 不易受原料、燃料及负荷波动的影响。
- 适合现场场地空间紧张的项目

C.3 以烟气 SCR 脱硝后烟气余热进行干燥的湿法脱硫高效协同除尘作为补充除尘的典型治理技术路线

C.3.1 组成及总体要求

a) 技术路线示例见图 C.3，采用抽出烟气余热适合于 SCR 脱硝段（ $300\sim 420^\circ\text{C}$ ）烟气 SCR 脱硝后烟气余热进行干燥的湿法脱硫高效协同作为补充除尘。本示例主要包括焙烧窑炉（低氮燃烧）、SNCR 脱硝系统、SCR 脱硝系统、烟气冷却器、石灰石/石灰-石膏等各类湿法脱硫系统、湿式电除尘器、除尘器、烟气再热器、烟囱，其中焙烧窑炉（低氮燃烧）、SNCR 脱硝系统、SCR 脱硝系统、烟气冷却器、湿式电除尘器、除尘器、烟气再热器可选择安装，烟气湿度不满足除尘器要求，只选择湿式电除尘器作为补充除尘。

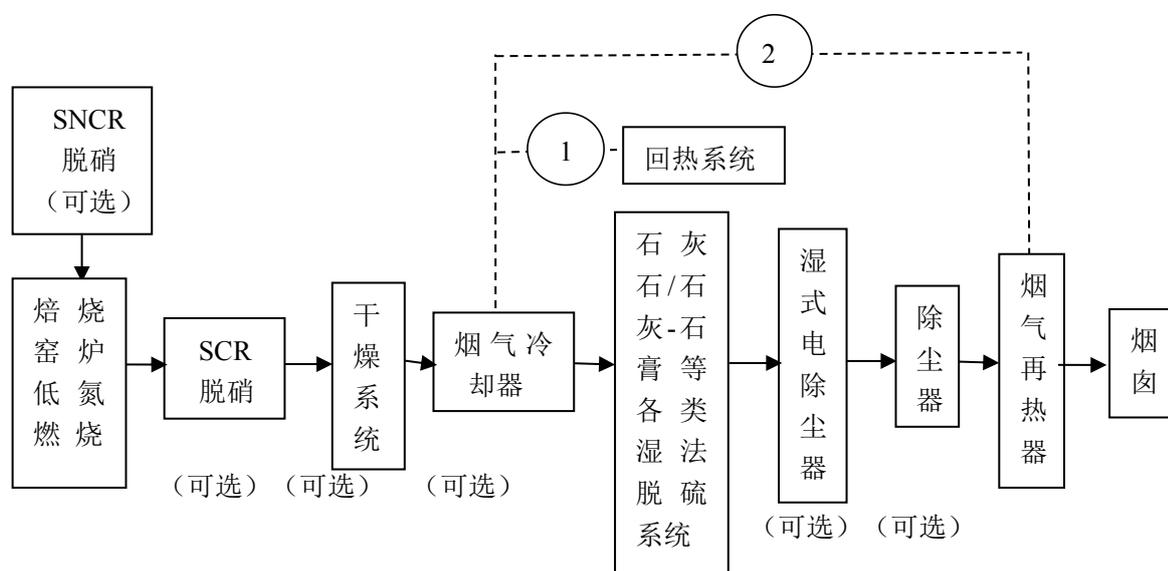


图 C.3 以烟气 SCR 脱硝后烟气余热进行干燥的湿法脱硫高效协同除尘作为补充除尘的典型治理技术路线

b) 除尘器出口烟尘浓度宜按不大于 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 或 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 设计，石灰石/石灰-石膏湿法脱硫系统应具备高效协同除尘的性能且出口颗粒物浓度应不大于 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 。

c) 除尘器可采用干式电除尘器、电袋复合除尘器或袋式除尘器，烟气湿度不满足除尘器要求，只选择湿式电除尘器作为二次除尘。

1) 采用干式电除尘器时，宜辅以采用高频高压电源、三相工频高压直流电源或脉冲高压电源等新

型高压电源及控制提效技术，也可辅以采用移动电极、机电多复式双区等提效技术。采用烟气冷却器时，宜设置在干式电除尘器前构成低低温电除尘。

2) 采用电袋复合除尘器或袋式除尘器时，烟气冷却器宜设置在除尘器之后。

d) 脱硝应结合工程具体情况确定，可根据情况择优选择分别采用焙烧窑炉（低氮燃烧）、SCR 脱硝、SNCR 脱硝或 SNCR/SCR 联合脱硝等系统。

e) 该技术路线各设施与烟气污染物协同治理的关系如表 C.3 所示。

表 C.3 各设施与烟气污染物协同治理的关系

污染物	低氮燃烧	SCR 脱硝 SNCR 脱硝 SNCR/SCR 联合脱硝	石灰石/石灰-石膏等 各类湿法脱硫系统	湿式电 除尘器	除尘器
颗粒物	○	○	●	√	√
SO ₂	○	○	√	○	○
NO _x	√	√	●	●	○
SO ₃	○	○ (SNCR) ■ (SCR、SNCR/SCR)	●	●	● (电袋或袋式除尘器， 低温电除尘) ○ (其他干式电除尘器)
Hg	○	○ (SNCR) ▲ (SCR、SNCR/SCR)	●	●	●

注：√-直接作用，●-直接协同作用，▲-间接协同作用，○-基本无作用或无作用，■-负作用

f) 当不设置烟气再热器时，烟气冷却器处换热量按上图①所示回收至回热系统；当设置烟气再热器时，烟气冷却器处换热量按上图②所示至烟气再热器。

g) 条件适宜时，脱硫系统也可采用氨法脱硫。

C.3.2 可达到的性能指标

- 湿法脱硫系统出口颗粒物排放浓度可达 20mg/m³ 以下，综合除尘效率不低于 70%。
- SO₂ 排放浓度不高于 100mg/m³
- NO_x 排放浓度不高于 150mg/m³

C.3.3 适用条件

- 不易受燃料、负荷波动等因素影响，除尘器出口烟尘浓度能稳定达到 20mg/m³ 以下。
- 颗粒物排放远低于 20mg/m³
- 注重技术经济性的，特别适于场地空间条件较紧张的。

C.4 以超净电袋复合除尘器作为主要除尘且不依赖补充除尘的典型治理技术路线

C.4.1 组成及总体要求

a) 技术路线示例见图 C.4，采用超净电袋复合除尘器作为除尘、且不依赖湿式电除尘器等补充次除尘。本示例主要包括焙烧窑炉（低氮燃烧）、SNCR 脱硝、SCR 脱硝系统、超净电袋复合除尘器、烟气冷却器、石灰石/石灰-石膏等各类湿法脱硫系统、烟气再热器、烟囱。其中，焙烧窑炉（低氮燃烧）、SNCR 脱硝、SCR 脱硝系统（不需脱硝时不安装）、烟气冷却器、烟气再热器可选择安装。

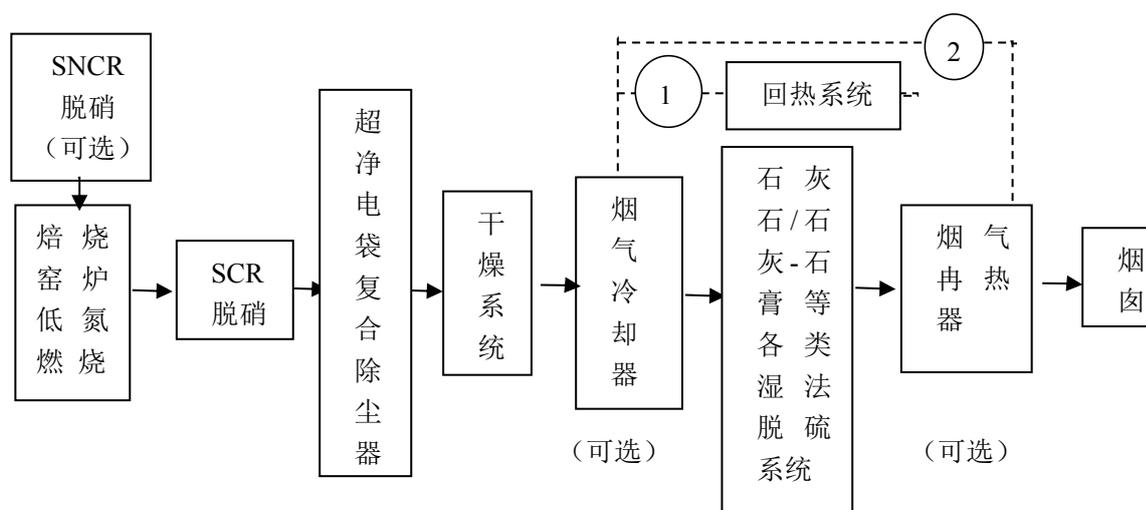


图 C.4 以超净电袋复合除尘器作为一次除尘且不依赖二次除尘的典型治理技术路线

b) 超净电袋复合除尘器出口烟尘浓度宜不大于 $20\text{mg}/\text{m}^3$ ，湿法脱硫系统出口颗粒物浓度应不大于 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 。

c) 需采用脱硝系统，可根据情况择优选择分别采用焙烧窑炉（低氮燃烧）、SCR 脱硝、SNCR 脱硝或 SNCR/SCR 联合脱硝等系统。

该技术路线各设施对烟气污染物协同治理的影响如表 C.4 所示

表 C.4 各设施与烟气污染物协同治理的关系

污染物	低氮燃烧	SCR 脱硝 SNCR 脱硝 SNCR/SCR 联合脱硝	超净电袋复合除尘器	石灰石/石灰-石膏等各类 湿法脱硫系统
颗粒物	○	○	√	●
SO ₂	○	○	○	√
NO _x	√	√	○	●
SO ₃	○	○ (SNCR) ■ (SCR、SNCR/SCR)	● (电袋或袋式除尘器，低温电除尘) ○ (其他干式电除尘器)	●
Hq	○	○ (SNCR) ▲ (SCR、SNCR/SCR)	●	●

注：√-直接作用，●-直接协同作用，▲-间接协同作用，○-基本无作用或无作用，■-负作用

d) 烟气湿度不满足超净电袋复合除尘器要求时应加烟气除湿系统，超净电袋复合除尘器电场区可辅以采用高频高压电源、三相工频高压直流电源或脉冲高压电源等新型高压电源及控制提效技术。

e) 当不设置烟气再热器时，烟气冷却器处的换热量按上图①所示回收至回热系统；当设置烟气再热器时，烟气冷却器处的换热量按上图②所示至烟气再热器。

f) 条件适宜时，脱硫系统也可采用氨法脱硫。

C.4.2 可达到的性能指标

- a) 超净电袋复合除尘器出口烟尘、脱硫系统出口颗粒物排放浓度可达 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。
- b) SO_2 排放浓度不高于 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 。
- c) NO_x 排放浓度不高于 $150\text{mg}/\text{m}^3$ 。

C.4.3 适用条件

- a) 原料燃料性质、烟气工况适应性好，特别适合灰分较大、收尘特性较难的工况。
- b) 湿法脱硫系统应保证颗粒物（包括烟尘及脱硫过程中生成的次生物）排放不增加。
- c) 技术经济合理的，特别适于场地空间条件较紧张的。

C.5 以烟气循环流化床作为脱硫的循环流化床典型治理技术路线

C.5.1 组成及总体要求

a) 技术路线示例见图 C.5，主要包括循环流化床、SCR 脱硝系统、烟气循环流化床脱硫吸收塔、脱硫除尘器、烟囱。

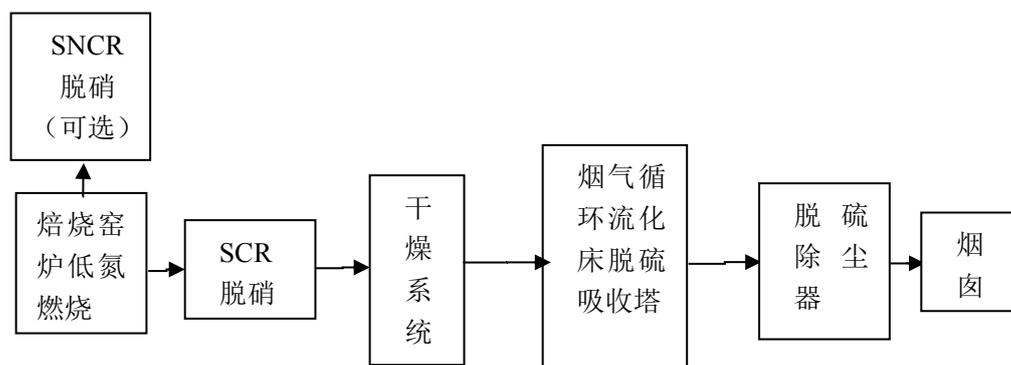


图 C.5 以烟气循环流化床作为炉后脱硫的循环流化床焙烧窑炉典型治理技术路线

- b) 循环流化床脱硫时焙烧窑炉出口 SO_2 浓度宜不大于 $1500\text{mg}/\text{m}^3$ ，脱硫除尘器出口 SO_2 浓度应不大于 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 。
- c) 烟气湿度不满足循环流化床脱硫除尘器要求时应加烟气除湿系统，脱硫除尘器宜采用袋式除尘器，出口颗粒物浓度应不大于 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 。
- d) 脱硝应结合工程具体情况确定。可根据情况择优选择分别采用焙烧窑炉（低氮燃烧）、SCR 脱硝、SNCR 脱硝或 SNCR/SCR 联合脱硝等系统。
- e) 该技术路线各设施对烟气污染物协同治理的影响如表 C.5 所示。

表 C.5 烟气污染物协同脱除与主要设备的关系

污染物	低氮燃烧	SCR 脱硝 SNCR 脱硝 SNCR/SCR 联合脱硝	烟气循环流化床脱 硫吸收塔	脱硫除尘器
颗粒物	○	○	●	√
SO_2	○	○	√	○
NO_x	√	√	○	○
SO_3	○	○ (SNCR)	●	●

		■ (SCR、SNCR/SCR)		
Hg	○	○ (SNCR) ▲ (SCR、SNCR/SCR)	●	●
注: √-直接作用, ●-直接协同作用, ▲-间接协同作用, ○-基本无作用或无作用, ■-负作用				

C.5.2 可达到的性能指标

- a) 脱硫除尘器出口颗粒物排放浓度可达 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。
- b) 脱硫除尘器出口 SO_2 排放浓度可达 $100\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。
- c) NO_x 排放浓度不高于 $150\text{mg}/\text{m}^3$ 。

C.5.3 适用条件

- a) 脱硫副产品综合利用较好的地区, 特别适合缺水地区。
- b) 注重技术经济性的, 特别适于场地空间较紧张的。

附录 D

(资料性)

不同脱硝还原剂的技术特点

表D.1 不同脱硝还原剂比较

项目	液氨	氨水	尿素
反应剂费用	便宜	较贵	最贵
运输费用	便宜	贵	便宜
安全性	有毒	有害	无害
存储条件	高压	常压	常压，干态
存储方式	液态	液态	微粒状
初始投资费用	便宜	贵	贵
运行费用	便宜	贵，需要高热量蒸发蒸馏水和氨	贵，需要高热量热解或水解尿素
设备安全要求	相关法律规定 GB 18218	需要	基本不需要

附录 E (资料性)
典型石灰石/石灰-石膏湿法脱硫排放技术主要系统流程

E.1 pH值物理强制分区双循环技术

E.1.1 典型石灰石/石灰-石膏湿法 pH值物理强制分区双循环脱硫主要系统流程见图E.1。

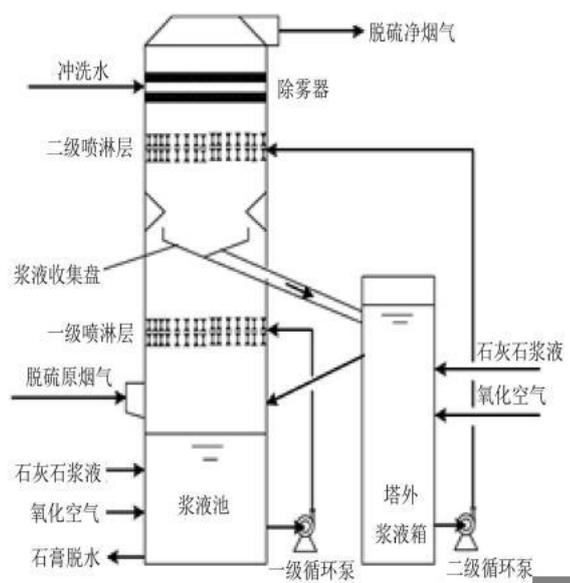


图 E.1 典型石灰石/石灰-石膏湿法pH值物理强制分区双循环脱硫系统流程

E.1.2 石灰石/石灰-石膏湿法单塔双循环是该类技术的典型代表,其特点是在吸收塔内喷淋层间加装浆液收集装置,并通过管道连接吸收塔外独立设置的循环浆液箱,实现下层喷淋一级循环浆液和上层喷淋二级循环浆液的物理隔离分区,并对上下两级循环浆液的 pH值分别控制。一级循环浆液 pH值为 4.5~5.3,二级循环浆液 pH值为 5.8~6.2。二级循环浆液经旋流系统后部分返回,部分排至吸收塔内浆液池。一、二级循环间加装烟气导流锥提高气流均布。

E.2 pH值自然分区技术

E.2.1 典型石灰石/石灰-石膏湿法 pH值自然分区脱硫主要系统流程见图 E.2。

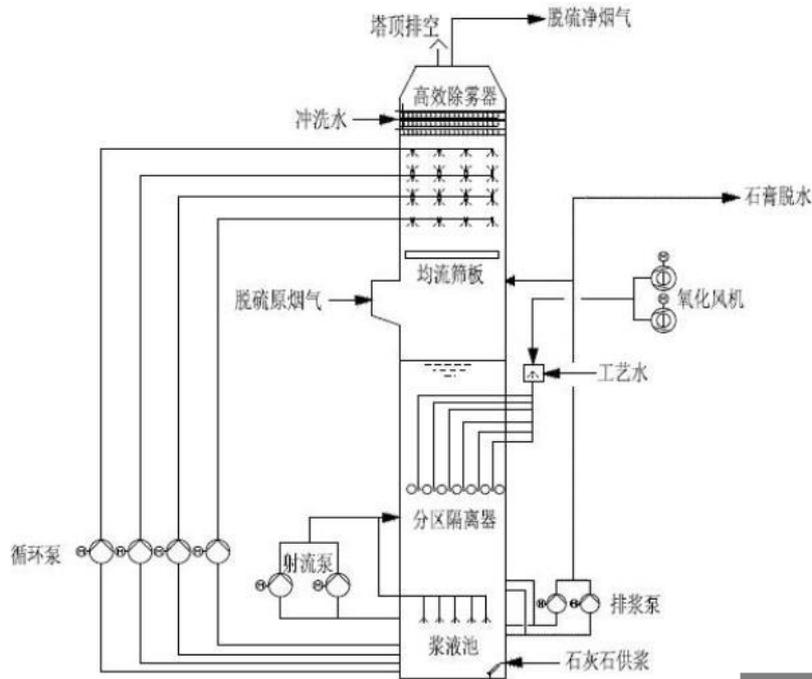
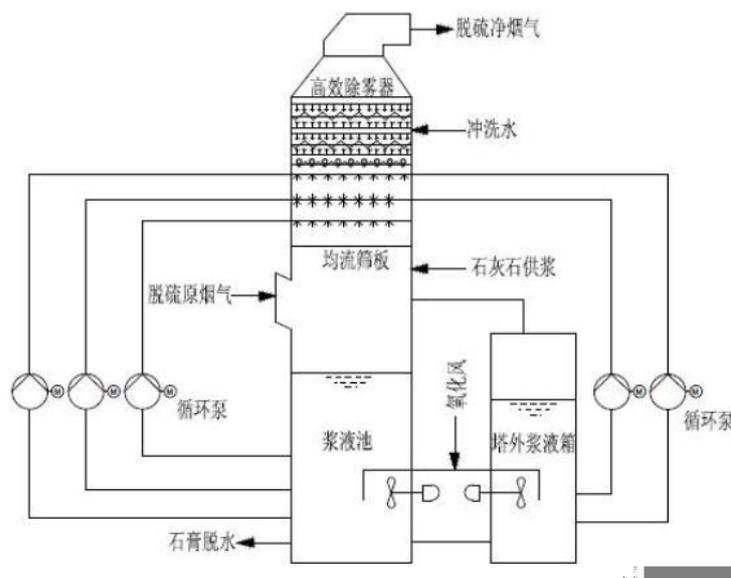


图 E.2 典型石灰石/石灰-石膏湿法脱硫pH值自然分区脱硫系统流程

E.2.2 石灰石/石灰-石膏湿法单塔双区是该类技术的典型代表，其特点是在吸收塔底部浆液池内加装分区隔离器和向下引射搅拌系统或类似装置，使密度较重的石灰石滞留在浆液池底层形成浆液 pH值自然上下分区，循环泵抽取高 pH值浆液进行喷淋吸收。吸收塔浆液池内隔离器以上浆液 pH值为 4.8~5.5，隔离器以下浆液 pH值为5.5~6.3。喷淋区加装提效环、均流筛板以强化气液传质及烟气均布。

E.3 pH值物理强制分区技术

E.3.1 典型石灰石/石灰-石膏湿法 pH值物理强制分区脱硫主要系统流程见图E.3。



图E.3 典型pH值物理强制分区脱硫系统流程

E. 3.2 石灰石/石灰-石膏湿法塔外浆液箱pH值分区是该类技术的典型代表,其特点是在吸收塔外独立设置塔外浆液箱,通过管道与吸收塔相连,塔外与塔内的浆液分别对应一级、二级喷淋,实现了下层喷淋浆液和上层喷淋浆液的pH值物理强制分区。吸收塔内浆液池的浆液pH值为5.2~5.8,塔外浆液箱的浆液pH值为5.6~6.2。喷淋区加装均流筛板以强化气液传质及烟气均布。

E. 4 湍流器持液技术

E. 4.1 典型石灰石/石灰-石膏湿法湍流器持液脱硫主要系统流程见图E. 4。

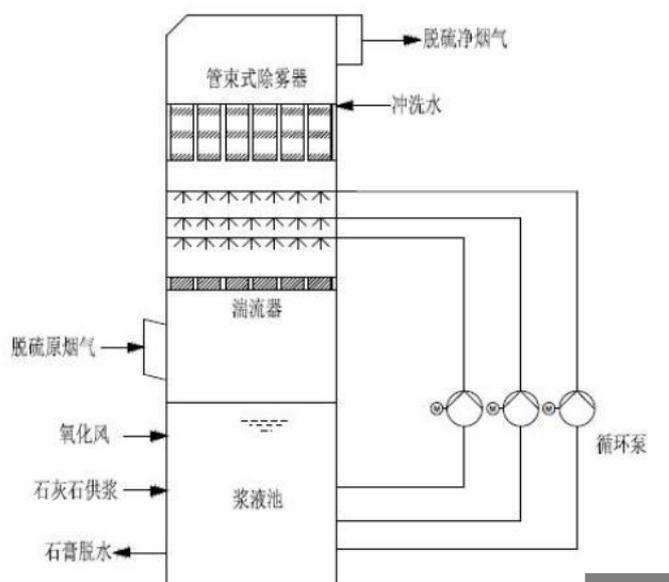


图 E. 4 典型石灰石/石灰-石膏湿法湍流器持液脱硫系统流程

E. 4.2 石灰石/石灰-石膏湿法旋汇耦合是该类技术的典型代表,其特点是在吸收塔喷淋层下方设置湍流器,烟气通过湍流器内叶片形成气液湍流、持液以充分接触及均布,随后经过高效喷淋吸收区完成SO₂脱除,吸收塔顶部采用管束式除雾器。

E. 5 均流筛板持液技术

E. 5.1 典型均流筛板持液脱硫主要系统流程见图E. 5。

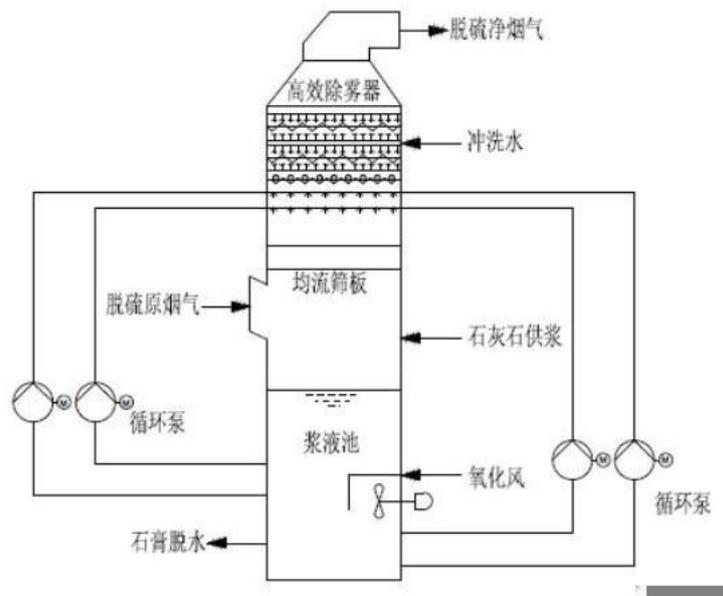


图 E.5 典型石灰石/石灰-石膏湿法均流筛板持液脱硫系统流程

E.5.2 石灰石/石灰-石膏湿法双托盘系统是这类技术的典型代表，其特点是在吸收塔喷淋层下方设置两层托盘组件，在托盘上形成二次持液层，烟气通过时气液充分接触及均布，随后经过高效喷淋吸收区完成 SO_2 脱除。