HJ

中华人民共和国国家环境保护标准

HJ 2053-2018

燃煤电厂超低排放烟气治理工程技术规范

Technical specifications for flue gas ultra-low emission engineering of coal-fired power plant

本电子版为发布稿。请以中国环境科学出版社出版的正式标准文本为准。

2018-04-08 发布　　2018-06-01 实施

生 态 环 境 部　发布

目　次

前　言

为贯彻《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》《大气污染防治行动计划》等法律法规，防治环境污染，改善环境质量，规范燃煤电厂超低排放烟气治理工程建设及运行，制定本标准。

本标准规定了燃煤电厂超低排放烟气治理工程的术语和定义、污染物与污染负荷、总体要求、工艺设计、主要工艺设备和材料、检测与过程控制、主要辅助工程、劳动安全与职业卫生、工程施工与验收、运行与维护等相关要求。

本标准为首次发布。

本标准由生态环境部科技标准司组织制订。

本标准起草单位：环境保护部环境工程评估中心、中国神华能源股份有限公司、国电环境保护研究院、中南电力设计院、东北电力设计院、浙江大学、浙江菲达环保科技股份有限公司、福建龙净环保股份有限公司、北京清新环境技术有限公司、北京国电龙源环保工程有限公司、浙江天地环保科技有限公司、江苏新世纪江南环保股份有限公司。

本标准生态环境部2018年04月08日批准。

本标准自2018年06月01日起实施。

本标准由生态环境部解释。

燃煤电厂超低排放烟气治理工程技术规范

1 适用范围

本标准规定了燃煤电厂超低排放烟气治理工程的术语和定义、污染物与污染负荷、总体要求、工艺设计、主要工艺设备和材料、检测与过程控制、主要辅助工程、劳动安全与职业卫生、工程施工与验收、运行与维护等技术要求。

本标准适用于 100 MW 及以上燃煤发电机组（含热电）配套锅炉（不含 W 火焰炉）的超低排放烟气治理工程，可作为燃煤电厂新建、改建、扩建工程环境影响评价，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、排污许可审批的技术依据。

100 MW 以下燃煤发电机组配套锅炉的超低排放烟气治理工程可参照执行。

2 规范性引用文件

本标准内容引用了下列文件中的条款。凡是不注日期的引用文件，其有效版本适用于本标准。

GB 2893	安全色
GB 2894	安全标志及其使用导则
GB 3087	低中压锅炉用无缝钢管
GB 5310	高压锅炉用无缝钢管
GB/T 6719	袋式除尘器技术要求
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 13931	电除尘器性能测试方法
GB 18218	重大危险源辨识
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 19229.3	燃煤烟气脱硫设备 第3部分：燃煤烟气海水脱硫设备
GB/T 22395	锅炉钢结构设计规范
GB 26164.1	电业安全工作规程 第1部分：热力和机械
GB/T 27869	电袋复合除尘器
GB/T 31584	平板式烟气脱硝催化剂
GB 50016	建筑设计防火规范
GB 50040	动力机器基础设计规范
GB/T 50087	工业企业噪声控制设计规范
GB 50160	石油化工企业防火设计规范

GB 50217	电力工程电缆设计规范
GB 50222	建筑内部装修设计防火规范
GB 50229	火力发电厂与变电站设计防火规范
GB 50660	大中型火力发电厂设计规范
GB 50895	烟气脱硫机械设备工程安装及验收规范
GBZ 1	工业企业设计卫生标准
GBZ 2.1	工作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	工作场所有害因素职业接触限值第2部分：物理因素
GBZ 158	工作场所职业病危害警示标识
DL/T 260	燃煤电厂烟气脱硝系统性能验收试验规范
DL/T 362	燃煤电厂环保设施运行状况评价技术规范
DL/T 461	燃煤电厂电除尘器运行维护导则
DL/T 692	电力行业紧急救护技术规范
DL/T 869	火力发电厂焊接技术规程
DL/T 998	石灰石-石膏湿法烟气脱硫系统性能验收试验规范
DL/T 1050	电力环境保护技术监督导则
DL/T 1051	电力技术监督导则
DL/T 1149	火电厂石灰石/石灰—石膏湿法烟气脱硫系统运行导则
DL/T 1150	火电厂烟气脱硫系统验收技术规范
DL/T 1286	火电厂烟气脱硝催化剂检测技术规范
DL/T 1371	火电厂袋式除尘器运行维护导则
DL/T 1493	燃煤电厂超净电袋复合除尘器
DL/T 1589	湿式电除尘技术规范
DL 5009.1	电力建设安全工作规程 第1部分：火力发电
DL/T 5035	发电厂供暖通风与空气调节设计规范
DL 5053	火力发电厂职业安全卫生设计规程
DL/T 5054	火力发电厂汽水管道设计规范
DL/T 5072	火力发电厂保温油漆设计规程
DL/T 5121	火力发电厂烟风煤粉管道设计技术规程
DL/T 5136	火力发电厂、变电所二次接线设计技术规程
DL/T 5153	火力发电厂厂用电设计技术规定
DL/T 5175	火力发电厂热工控制系统设计技术规定
DL/T 5182	火力发电厂热工自动化就地安装、管路、电缆设计技术规定
DL 5190	电力建设施工技术规范
DL/T 5240	火力发电厂燃烧系统设计计算技术规程

DL/T 5257	火电厂烟气脱硝工程施工验收技术规程
DL/T 5417	火电厂烟气脱硫工程施工质量验收及评定规程
DL/T 5418	火电厂烟气脱硫吸收塔施工及验收规程
DL/T 5480	火力发电厂烟气脱硝设计技术规程
HJ/T 75	固定污染源烟气（SO_2、NO_X、颗粒物）排放连续监测技术规范
HJ/T 76	固定污染源烟气（SO_2、NO_X、颗粒物）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-石膏湿法烟气脱硫工程通用技术规范
HJ/T 323	环境保护产品技术要求　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 562	火电厂烟气脱硝工程技术规范 选择性催化还原法
HJ 563	火电厂烟气脱硝工程技术规范 选择性非催化还原法
HJ 2001	氨法烟气脱硫工程通用技术规范
HJ 2039	火电厂除尘工程技术规范
HJ 2040	火电厂烟气治理设施运行管理技术规范
HJ 2046	火电厂烟气脱硫工程技术规范 海水法
JB/T 1615	锅炉油漆和包装技术条件
JB/T 4194	锅炉直流式煤粉燃烧器 制造技术条件
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 8536	电除尘器　机械安装技术条件
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 10440	大型煤粉锅炉炉膛及燃烧器性能设计规范
JB/T 10921	燃煤锅炉烟气袋式除尘器

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 11647	火电厂无旁路湿法烟气脱硫系统设计技术导则
JB/T 11829	燃煤电厂用电袋复合除尘器
JB/T 12113	电凝聚器
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 12123	电袋复合除尘器电气控制装置
JB/T 12126	电袋复合除尘器高压绝缘子瓷件技术条件
JB/T 12129	燃煤烟气脱硝失活催化剂再生及处理方法
JB/T 12131	燃煤烟气净化 SCR 脱硝流场模拟试验技术规范
JB/T 12533	电袋复合除尘器用高压电源
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
TSG R0003	简单压力容器安全技术监察规程

《危险化学品安全管理条例》（中华人民共和国国务院令 第 591 号）

《危险化学品重大危险源监督管理暂行规定》（国家安全生产监督管理总局令 第 79 号）

《燃煤发电厂液氨罐区安全管理规定》（国家能源局 国能安全[2014]328 号）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1 燃煤电厂烟气超低排放 flue gas ultra-low emissions of coal-fired power plant

在基准氧含量 6%条件下，燃煤电厂标态干烟气中颗粒物、SO_2、NO_X 排放质量浓度分别不高于 10 mg/m^3、35 mg/m^3、50 mg/m^3，简称超低排放。

3.2 超低排放技术路线 ultra-low emission technicalology route

在锅炉燃烧和尾部烟气治理等过程中，为使颗粒物、SO_2、NO_X 达到超低排放要求，组合采用多种烟气污染物高效脱除技术而形成的工艺流程。

3.3 协同治理 collaborative treatment

在同一治理设施内实现两种及以上烟气污染物的同时脱除，或为下一流程治理设施脱除烟气污染物创造有利条件，以及某种烟气污染物在多个治理设施间联合脱除。

3.4 宽负荷脱硝 wide load denitrification

机组启动正常发电上网并达到 50%锅炉额定负荷后，至机组出力降低到 50%锅炉额定

负荷退出运行的所有时段内所有负荷条件下烟气脱硝系统全部投运。

3.5　湿法脱硫协同高效除尘　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，在实现高效脱除烟气 SO_2 的基础上，使得湿法脱硫系统综合除尘效率不小于 70%且出口净烟气颗粒物浓度不大于 10 mg/m³。

4　污染物与污染负荷

4.1　污染物来源与特征

燃煤电厂烟气污染物来源于锅炉燃烧生成及烟气治理过程次生，包括颗粒物和气态污染物。其中，颗粒物主要包括烟尘、未溶硫酸盐、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 H_2SO_4、HCl 等可凝结颗粒物，以及溶于雾滴中的硫酸盐等溶解性固形物；气态污染物则包括 SO_2、SO_3、NO_X、NH_3、CO、Hg 及其化合物等重金属。本标准主要对颗粒物、SO_2、NO_X 的污染控制提出技术要求。

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）燃煤性质，包括煤质工业分析、元素分析、灰熔融性等。

b）飞灰成分，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。

c）飞灰比电阻，包括实验室比电阻和工况比电阻。

d）飞灰粒度、真密度、堆积密度、粘附性、安息角等。

e）湿法脱硫系统出口雾滴浓度。

f）烟气露点温度、烟气含湿量。

g）水、电、蒸汽等消耗品的介质参数。

h）烟道布置图以及厂区总平图。

4.2.2　NO_X 控制系统污染负荷

4.2.2.1　脱硝系统设计应采用锅炉最大连续工况（BMCR）、燃用设计煤种和校核煤种时的烟气量、烟气温度。宽负荷脱硝设计还应取得锅炉部分负荷工况时的烟气参数。烟气量计算方法应按 DL/T 5240 执行。

4.2.2.2　脱硝系统设计应采用锅炉厂提供的锅炉炉膛出口 NO_X 浓度，具体可参考附录 A。

4.2.2.3　脱硝系统入口烟尘量可按公式（1）计算，循环流化床锅炉炉内脱硫时还应考虑脱硫剂产生的烟尘量，其计算方法应按 DL/T 5240 执行。

$$M_{1(PM)} = B_g \times \left(\frac{A_{ar}}{100} + \frac{Q_{net,ar} q_4}{4.1816 \times 8100 \times 100}\right) \times \alpha_{fh} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（1）}$$

式中：

$M_{1(PM)}$ — 脱硝系统入口烟尘量，t/h。

B_g— 锅炉燃煤量，t/h。

A_{ar}— 燃煤收到基灰分，%。

$Q_{net,ar}$— 燃煤收到基低位发热量，kJ/kg。

q_4— 锅炉机械未完全燃烧损失（锅炉厂提供），%。

α_{fh}— 锅炉排烟带出的飞灰份额（锅炉厂提供）。

4.2.2.4　脱硝系统入口 SO_2 量可按公式（2）计算，循环流化床锅炉炉内脱硫时还应考虑炉内 SO_2 脱除量。

$$M_{1(SO_2)} = 2 \times k_1 \times B_g \times (1 - \frac{q_4}{100}) \times \frac{S_{ar}}{100} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（2）}$$

式中：

$M_{1(SO_2)}$—脱硝系统入口 SO_2 量，t/h。

k_1— 燃煤收到基硫转化为 SO_2 的转化率（煤粉炉取 0.9，循环流化床锅炉取 0.85）。

S_{ar}— 燃煤收到基硫分，%。

4.2.3　颗粒物控制系统污染负荷

4.2.3.1　除尘器设计应采用锅炉最大连续工况（BMCR）、燃用设计煤种和校核煤种时的烟气量、烟气温度；对于设计煤种，烟气量另加 10%裕量，烟气温度另加 10℃~15℃。烟气量计算方法应按 DL/T 5240 执行。

4.2.3.2　除尘器入口烟尘量可按公式（1）计算，高效烟气循环流化床工艺的除尘器入口烟尘量应采用脱硫供货商提供的数据。

4.2.3.3　湿法脱硫系统入口烟尘浓度应采用除尘器出口浓度保证值。

4.2.3.4　湿式电除尘器入口颗粒物浓度应采用脱硫出口浓度保证值。

4.2.4　SO_2 控制系统污染负荷

4.2.4.1　脱硫系统设计宜采用锅炉最大连续工况（BMCR）、燃用设计煤种和校核煤种时的烟气量、烟气温度；对于设计煤种，烟气温度宜另加 15℃。烟气量计算方法应按 DL/T 5240 执行。

4.2.4.2　脱硫系统入口 SO_2 量可按公式（2）计算。

4.2.5　烟气中 SO_3 量可按附录 B 中的方法进行估算，其他污染物成分的设计参数可依据燃料分析数据计算确定。

4.2.6　对于改造工程，各系统污染物负荷应在理论计算的基础上，结合燃煤煤质波动、锅炉运行情况及实测值等条件综合确定。

5　总体要求

5.1　一般规定

5.1.1　超低排放工程建设应满足国家及地方环保相关政策及标准，确保大气污染物排放指标及能效水平符合国家和地方有关要求。

5.1.2　超低排放工程建设应按国家及地方工程项目建设程序规定，完成有关文件报批或备案手续。

5.1.3　新建、改建、扩建超低排放工程应和主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用，能够满足主体工程的生产需要。

5.1.4　超低排放工程规划、设计和建设应本着源头控制、协同减排、末端治理的优先级原则，通过燃料预处理、抑制燃烧污染物生成、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　超低排放技术路线的选择应因煤制宜、因炉制宜、因地制宜、统筹协同、兼顾发展，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　超低排放工程设计和建设应统筹考虑、合理布局，符合电厂总体规划和生产工艺流程，满足环境影响评价批复要求。

5.1.7　超低排放工程所需的水、电、气、汽等辅助介质应尽量由电厂主体工程提供。吸收剂和副产品宜设有计量装置，也可与电厂主体工程共用。

5.1.8　超低排放工程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，投运率不低于 99%，当烟气流量及浓度在 10%裕度范围内应能正常运行。

5.1.9　超低排放工程应配有相应的监测、检测设备，烟囱或排放烟道上应设置烟气连续在线监测系统（CEMS），并预留监测孔、监测平台等人工监测条件。

5.1.10　超低排放工程运行管理应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。

5.1.11　超低排放工程除执行本标准外，还须满足国家有关工程质量、安全、卫生、消防、环保等方面的强制性标准要求。

5.2　源头控制

5.2.1　超低排放工程规划、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、工艺设备选择、运行控制及生产管理等各个环节。

5.2.2　电厂应优先选择清洁高效煤种和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锅炉及燃烧技术。

5.2.3　电厂应加强燃料管理与配比，建立精准高效的运行管理机制，尽可能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

超低排放工程建设规模应与机组规模相匹配，应以锅炉烟气量、烟气成分、燃煤和锅炉运行工况预期变化情况为依据。

5.4　工程构成

5.4.1　超低排放工程由 NO_X、颗粒物、SO_2 控制系统的主体工程及其配套辅助工程构成。

5.4.2　NO_X 控制系统分为锅炉低氮燃烧系统和脱硝系统，后者主体工程包括还原剂系统、反

应系统、公用系统等。

5.4.3　颗粒物控制系统主体工程包括烟道、除尘器、卸输灰系统等，其中低低温电除尘系统还包括烟气冷却器。

5.4.4　SO_2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、工艺水系统、副产物处理（输送）系统、压缩空气系统等，其中石灰石-石膏湿法脱硫工艺还包括浆液排放和回收系统、脱硫废水处理系统；高效烟气循环流化床脱硫工艺还包括袋式除尘器、灰循环系统等。

5.4.5　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、给排水及消防系统等。

5.5　总平面布置

5.5.1　一般规定

5.5.1.1　超低排放工程总平面布置应遵循工艺合理、流程顺畅、烟道短捷、方便运行、利于维护、经济合理的原则。

5.5.1.2　超低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　超低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　超低排放工程总平面布置应符合 GB 50660、GBZ 1 等规定。

5.5.2.2　脱硝系统总平面布置应符合 HJ 562、HJ 563 等规定。

5.5.2.3　干式电除尘、袋式除尘、电袋复合除尘系统的总平面布置应符合 HJ 2039，低低温电除尘系统烟气冷却器布置于锅炉空预器出口至电除尘器前的水平、垂直烟道或进口封头处，烟气换热器布置于烟囱前水平或垂直烟道，布置位置应综合考虑换热效果、气流均布和烟道支架等因素；湿式电除尘器单独布置在脱硫与烟囱之间应符合 DL/T 1589、JB/T 12593，其他相关设施应符合有关标准规定。

5.5.2.4　脱硫系统总平面布置应符合 HJ/T 179、HJ/T 178、HJ 2001 等规定。

5.5.3　管线布置

超低排放工程管线布置应符合 GB 50660、DL/T 1589、HJ/T 179 、HJ/T 178、HJ 2001、HJ 2039 等规定。

5.5.4　其他

超低排放工程如涉及采用其他技术，应符合有关标准的规定。

6　工艺设计

6.1　一般规定

6.1.1　超低排放工艺设计应根据烟气中 NO_X、颗粒物、SO_2及其他烟气污染物的排放要求、锅炉炉型、煤种煤质特性、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　超低排放工艺设计应发挥各类烟气污染物治理设施的协同作用，经济稳定实现超低排放。

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　超低排放技术路线选择

6.2.1　一般工艺流程

6.2.1.1　超低排放工艺流程应优先选择经济合理、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，并应将烟气污染物协同治理作为拟定工艺流程的重要因素。

6.2.1.2　切向燃烧、墙式燃烧方式煤粉锅炉的超低排放一般工艺流程如图 1。

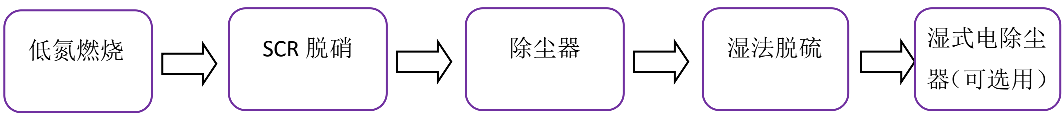

图 1　超低排放工艺流程 1（切向燃烧、墙式燃烧方式煤粉锅炉）

6.2.1.3　循环流化床锅炉的超低排放一般工艺流程如图 2~图 3。

图 2　超低排放工艺流程 2（循环流化床锅炉）

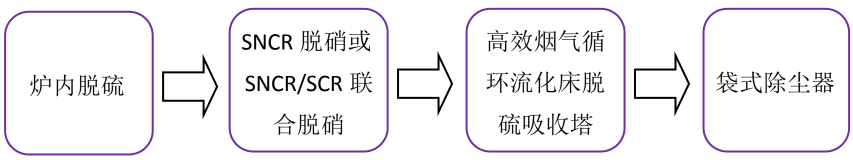

图 3　超低排放工艺流程 3（循环流化床锅炉）

6.2.1.4　W 火焰燃烧方式煤粉锅炉的超低排放工艺流程应根据技术发展水平、工程实际情况综合确定。

6.2.2　NO_X 超低排放技术路线

6.2.2.1　切向燃烧、墙式燃烧方式的煤粉锅炉应采用锅炉低氮燃烧与 SCR 脱硝相结合的工艺，并满足以下要求：

a）应采用低氮燃烧技术降低 NO_X 生成，锅炉炉膛出口 NO_X 浓度控制指标应根据锅炉燃烧方式、煤质特性及锅炉效率等综合确定，具体可参考附录 A。

b）应根据锅炉炉膛出口 NO_X 浓度确定 SCR 脱硝系统的脱硝效率和反应器催化剂层数，具体可参考表 1。

表 1　SCR 脱硝工艺设计原则

锅炉炉膛出口 NO_X 浓度（mg/m^3）	SCR 脱硝效率（%）	SCR 反应器催化剂层数
≤200	80	可按 2+1 层装设
200～350	80～86	可按 3+1 层装设
350～550	86～91	可按 3+1 层装设
注：（1）催化剂层数中 1 代表预留备用催化剂层安装空间。 （2）也可结合安装空间条件等因素确定催化剂层数。		

6.2.2.2　循环流化床锅炉可选用 SNCR 脱硝工艺或 SNCR/SCR 联合脱硝工艺，并满足以下要求：

a）锅炉炉膛出口 NO_X 浓度控制指标应结合煤质特性、锅炉运行情况及锅炉效率等综合确定，具体可参考附录 A。

b）宜优先采用 SNCR 脱硝工艺，必要时可采用 SNCR/SCR 联合脱硝工艺，脱硝效率为 60%~80%，具体可根据锅炉炉膛出口 NO_X 浓度等条件确定。

c）采用 SNCR/SCR 联合脱硝工艺时，SCR 反应器催化剂可按 1+1 层装设，改造工程也可结合安装空间条件确定催化剂层数。

6.2.3　**颗粒物超低排放技术路线**

6.2.3.1　采用湿法脱硫工艺时，应选用一次除尘（除尘器）+二次除尘（湿法脱硫协同除尘、湿式电除尘器）相结合的协同除尘技术满足颗粒物超低排放要求。一次除尘和二次除尘设备出口颗粒物控制指标应结合煤质特性、各除尘设备的特点及适用性、能耗、经济性等综合确定，并满足以下要求：

a）一次除尘出口烟尘浓度宜按不大于 30 mg/m^3、不大于 20 mg/m^3 或不大于 10 mg/m^3 进行设计。对于受工程条件限制的机组，一次除尘出口烟尘浓度也可按不大于 50 mg/m^3 设计。

b）按不大于 50 mg/m^3 设计时，二次除尘宜采用湿式电除尘器。

c）按不大于 30 mg/m^3 设计时，二次除尘可采用湿法脱硫协同高效除尘，也可采用湿式电除尘器。

d）按不大于 20 mg/m^3 设计时，二次除尘宜采用湿法脱硫协同高效除尘，也可采用湿式电除尘器。

e）按不大于 10 mg/m^3 设计时，宜采用湿法脱硫协同除尘保证颗粒物浓度不增加。

6.2.3.2　采用高效烟气循环流化床脱硫工艺时，宜选用袋式除尘器满足颗粒物超低排放要求。

6.2.3.3　一次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工艺等，干式电除尘器提效技术和提效工艺的技术特点和适用范围参见附录 C。

6.2.3.4　一次除尘技术选择应根据煤种除尘难易性和出口烟尘浓度控制指标确定，具体可参

考表 2。

表 2　一次除尘技术选择原则

一次除尘器出口烟尘浓度控制要求（mg/m^3）	电除尘器对煤种的除尘难易性	一次除尘技术选择
≤50	较易或一般	宜选用干式电除尘器、干式电除尘器辅以提效技术或提效工艺
	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工艺
≤30	较易或一般	宜选用干式电除尘器、干式电除尘器辅以提效技术或提效工艺
	较难	可选用电袋复合除尘器、袋式除尘器、低低温电除尘
≤20	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工艺
	一般	可选用低低温电除尘、电袋复合除尘器、袋式除尘器
	较难	可选用电袋复合除尘器、袋式除尘器、低低温电除尘
≤10	-	宜选用超净电袋复合除尘器、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 D		

6.2.3.5　湿法脱硫系统宜具有一定的协同除尘性能。湿法脱硫协同高效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 10 mg/m^3。

6.2.3.6　湿法脱硫系统出口颗粒物浓度大于 10 mg/m^3 时，应设置湿式电除尘器，可采用板式、管式等型式。湿式电除尘器出口颗粒物浓度应不大于 10 mg/m^3。

6.2.4　SO_2 超低排放技术路线

6.2.4.1　煤粉锅炉宜采用湿法脱硫工艺，并满足以下要求：

a）石灰石-石膏湿法脱硫工艺适用于各类燃煤电厂，分为空塔提效、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-石膏湿法脱硫工艺技术选择原则

脱硫系统入口 SO_2 浓度（mg/m^3）	脱硫效率（%）	石灰石-石膏湿法脱硫工艺适用技术
≤1000	≤97	可选用空塔提效、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
≤6000	≤99.5	可选用 pH 值分区技术、复合塔技术中的湍流器持液技术
≤10000	≤99.7	可选用 pH 值分区技术中的 pH 值物理分区双循环技术、复合塔技术中的湍流器持液技术
注：为实现稳定超低排放，脱硫效率按脱硫塔出口 SO_2 浓度为 30mg/m^3 计算。		

b）氨法脱硫工艺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燃煤电厂，入口 SO_2 浓度宜不大于 10000 mg/m^3。

c）海水脱硫工艺适用于海水碱度满足工艺要求，海水扩散条件较好，并符合近岸海域

环境功能区划要求的滨海燃煤电厂，入口 SO_2 浓度宜不大于 2000 mg/m^3。

6.2.4.2 循环流化床锅炉可采用炉内喷钙脱硫（可选用）与炉后湿法脱硫相结合的工艺，也可采用炉内喷钙脱硫与炉后高效烟气循环流化床脱硫相结合的工艺。工艺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 典型超低排放技术路线

6.2.5.1 超低排放技术路线的选择应以 NO_X、颗粒物、SO_2 三种主要烟气污染物满足超低排放要求为基础，并应符合 6.2.2~6.2.4 的规定。

6.2.5.2 煤粉锅炉或炉后采用了湿法脱硫工艺的循环流化床锅炉，超低排放技术路线的选择应以除尘器、湿法脱硫和湿式电除尘器等工艺设备对颗粒物的脱除能力和适应性为首要条件，可分为以湿式电除尘器作为二次除尘、以湿法脱硫协同高效除尘作为二次除尘、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技术路线。循环流化床锅炉也可采用炉内脱硫和炉后高效烟气循环流化床脱硫工艺相结合的典型技术路线。各典型超低排放技术路线参见附录 E。

6.3 NO_X 超低排放控制系统

6.3.1 一般规定

6.3.1.1 煤粉炉应采用低氮燃烧技术，主要包括低氮燃烧器、空气分级、燃料分级或低氮燃烧联用等技术。

6.3.1.2 脱硝系统宜与锅炉负荷变化相匹配，应能满足机组宽负荷脱硝运行的要求。

6.3.1.3 脱硝系统装置运行寿命应与主机保持一致，检修维护周期应与主机一致。

6.3.1.4 现役机组进行脱硝改造时，应考虑对空预器、引风机、除尘器等其他附属设备的影响。

6.3.1.5 本标准中SNCR脱硝和SNCR/SCR联合脱硝工艺设计要求仅适用于循环流化床锅炉。

6.3.1.6 脱硝系统有关工艺参数宜满足表4要求。

表 4 脱硝系统有关工艺参数要求

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	≤2.5	≤8	≤3.8
氨氮摩尔比	—	≤1.05，一般取 0.8~0.85	1.2~1.5	1.2~1.8
锅炉热效率降低	%	—	≤0.3	≤0.3

6.3.1.7 其他要求应符合 HJ 562、HJ 563 的规定。

6.3.2　工艺流程

6.3.2.1　SCR 脱硝系统工艺流程参照 HJ 562。

6.3.2.2　SNCR 脱硝系统工艺流程参照 HJ 563。

6.3.2.3　SCR/SNCR 联合脱硝

典型循环流化床锅炉SNCR/SCR联合脱硝系统工艺流程见图4。

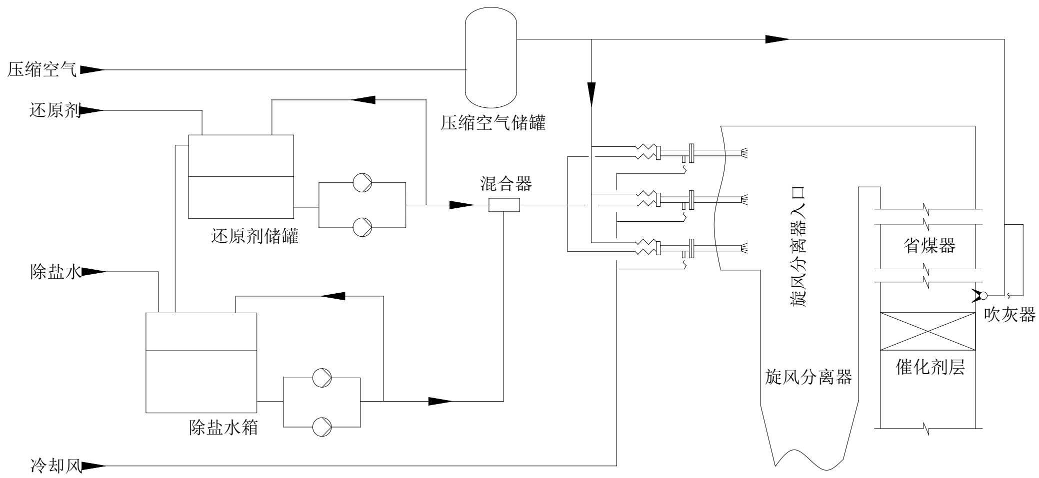

图4 典型循环流化床锅炉SNCR/SCR联合脱硝工艺流程

6.3.3　低氮燃烧

6.3.3.1　锅炉采用低氮燃烧技术时，炉膛出口 NO_X 浓度宜不高于附录 A 中推荐值。

6.3.3.2　燃烧系统设计和布置应采取必要措施保证锅炉安全经济运行，如保证炉膛空气动力场良好、炉膛出口烟气温度场均匀、受热面不受高温腐蚀、火焰不直接冲刷水冷壁等。

6.3.3.3　锅炉低氮改造应不降低锅炉出力和煤种适应性，不升高锅炉最低稳燃负荷，额定工况下锅炉热效率下降宜不大于 0.5%。

6.3.3.4　燃烧系统性能设计应符合 JB/T 10440、 DL/T 5240 等的规定。

6.3.4　SCR 脱硝

6.3.4.1　烟气反应系统

6.3.4.1.1　反应器及烟道流场设计应满足以下要求：

a）首层催化剂单元上游 500 mm 处，流场参数宜符合表 5 的规定。

表 5 首层催化剂单元上游 500 mm 处流场参数要求

项目	单位	数值
截面各处流速的相对标准偏差率绝对值	%	≤10
截面各处 NH_3/NO_X 的摩尔比率相对标准偏差率绝对值	%	≤5
截面速度偏离铅垂线的最大角度绝对值	°	≤10
截面温度绝对偏差绝对值	℃	≤10

b）脱硝反应器内构件的设计布置宜通过数值模拟和物理模型试验进行验证，使还原剂

与烟气充分混合，优化烟气速度场分布，降低压损。

c）流场模拟中数值模拟模型与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。

6.3.4.1.2　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/m^3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。

6.3.4.1.3　其他要求应符合 HJ 562、DL/T 5480 的规定。

6.3.4.2　**催化剂**

6.3.4.2.1　选择催化剂时应考虑其协同脱除Hg等重金属作用。

6.3.4.2.2　高灰分煤种应选择耐磨损及耐冲刷性能催化剂。

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

6.3.4.2.4　燃煤硫分≥2.5%时，SO_2/SO_3转化率宜低于0.75%；燃煤硫分＜2.5%时，SO_2/SO_3转化率宜低于1%。

6.3.4.2.5　失效或废弃催化剂处理应符合JB/T 12129的规定。

6.3.4.2.6　其他要求应符合HJ 562、DL/T 1286、GB/T 31584的规定。

6.3.4.3　**其他系统**

还原剂储存及制备系统、公用系统等工艺设计应符合HJ 562、DL/T 5480的规定。

6.3.4.4　**宽负荷脱硝设计**

6.3.4.4.1　应采用提升SCR入口烟温或宽温度窗口催化剂等技术，实现机组低负荷时SCR脱硝系统安全高效运行。

6.3.4.4.2　烟温提升技术包括省煤器分级布置、设置省煤器水旁路、设置省煤器烟气旁路和提高给水温度等措施，应满足以下要求：

a）满足催化剂最低连续喷氨温度要求。

b）机组安全经济性运行且改动最小、操作方便。

c）确保脱硝系统流场和温度场分布均匀性。

6.3.4.4.3　宽温度窗口催化剂最低连续喷氨温度应不高于机组宽负荷脱硝时的 SCR 入口最低烟温。

6.3.5　**SNCR 脱硝**

6.3.5.1　**还原剂制备与储存系统**

6.3.5.1.1　还原剂采用尿素时，喷射前质量浓度宜为10%~15%；采用氨水时，喷射前质量浓度宜为5%~10%；采用液氨时，喷射前体积浓度宜不大于5%（以NH_3计）。

6.3.5.1.2　其他要求应符合HJ 563、DL/T 5480的规定。

6.3.5.2 还原剂喷射系统

6.3.5.2.1 喷射器宜布置于循环流化床锅炉旋风分离器入口处，并避免对旋风分离器内部件碰撞，新建工程应在锅炉设计时预留开孔位置。

6.3.5.2.2 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。

6.3.5.2.3 喷射装置应选用耐高温、耐腐蚀、耐磨蚀材料。

6.3.5.2.4 喷射器设计参数如喷枪开口位置、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），应结合旋风分离器结构进行温度场和流场等参数模拟计算确定。

6.3.5.2.5 其他要求应符合HJ 563、DL/T 5480的规定。

6.3.5.3 其他系统

还原剂计量系统、还原剂分配系统工艺设计应符合HJ 563、DL/T 5480的规定。

6.3.6 SNCR/SCR 联合脱硝

6.3.6.1 SNCR 脱硝段

应符合 6.3.5 的规定。

6.3.6.2 SCR 脱硝段

6.3.6.2.1 反应器系统

a）不宜设置喷氨格栅和烟气混合器，应根据催化剂对进口烟气流速偏差、烟气流向偏差、烟气温度偏差的要求设置导流装置。

b）烟气压降宜不大于600 Pa。

c）其他要求应符合6.3.4.1的规定。

6.3.6.2.2 催化剂

a）催化剂宜布置于循环流化床锅炉尾部烟道内的高、中省煤器之间。

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6.3.4.2的规定。

6.3.6.2.3 其他系统

还原剂储存及制备系统、公用系统等工艺设计应符合HJ 562、DL/T 5480的规定。

6.3.7 二次污染控制措施

二次污染控制措施应符合 HJ 562、HJ 563 的规定。

6.4 颗粒物超低排放控制系统

6.4.1 一般规定

6.4.1.1 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 HJ 2039 的规定，湿式电除尘器的一般要求应符合 DL/T 1589、JB/T 12593 的规定。

6.4.1.2 电除尘器及其系统、袋式除尘器及电袋复合除尘器的运行寿命应与主机保持一致，检修维护周期应与主机一致。

6.4.1.3 采用低低温电除尘技术时，灰硫比宜大于 100，计算方法见附录 F。低低温电除尘

器入口烟气温度应低于烟气酸露点，一般为 90 ℃±5 ℃，最低温度应不小于 85 ℃。

6.4.1.4 湿式电除尘器按阳极板的结构特征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导电玻璃钢管式湿式电除尘器及柔性极板管式湿式电除尘器。

6.4.1.5 湿式电除尘器入口烟气温度应小于 60 ℃，且烟气需为饱和烟气。

6.4.1.6 袋式除尘器及电袋复合除尘器不宜设置旁路系统。

6.4.2 电除尘器及其系统

6.4.2.1 干式电除尘器及其系统

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

6.4.2.1.2 干式电除尘器电场烟气流速宜为 0.7 m/s~1.2 m/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 m/s。

6.4.2.1.3 同极间距宜为 300 mm~500 mm。

6.4.2.1.4 阳极板应符合 JB/T 5906 的规定。

6.4.2.1.5 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。

6.4.2.1.6 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。

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

6.4.2.1.8 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。

6.4.2.1.9 瓷绝缘子应符合 JB/T 5909 的规定，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。绝缘子箱应有电加热和保温措施。

6.4.2.1.10 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连接 DCS 系统，与高压供电电源、电气控制装置通信，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保效节能。

6.4.2.1.11 干式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。采用低低温电除尘技术时，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。

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

6.4.2.1.13 烟气冷却器前应设置烟气、飞灰均匀装置，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。

6.4.2.1.14 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 DL/T 5121 的规定。

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

6.4.2.1.16　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，翅片厚度宜不小于 2 mm。

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

6.4.2.1.18　换热介质宜采用水媒介，水媒介宜采用机组除盐水，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 0.5 m/s，流速上限应符合 DL/T 5054 的规定。

6.4.2.1.19　烟气冷却器应采取适当的调节手段，保证在机组启停及低负荷运行时，其进口或出口水温满足设计要求。

6.4.2.1.20　烟气冷却器宜设置在线检测装置，以及时发现换热元件可能发生的泄漏。应配置合理的放水系统，在其发生故障或机组非停时可以实现紧急放水。

6.4.2.1.21　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。

6.4.2.1.22　其他要求应符合 HJ 2039 的规定。

6.4.2.2　湿式电除尘器

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

6.4.2.2.2　湿式电除尘器同极间距宜为250 mm~450 mm。

6.4.2.2.3　金属板式湿式电除尘器出口封头（烟箱）内宜设置除雾装置。

6.4.2.2.4　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 5 mm。

6.4.2.2.5　导电玻璃钢管式湿式电除尘器阳极管截面宜采用内切圆为 φ300 mm~φ400 mm 的正六边形。单侧厚度不小于 3 mm，柔性极板管式湿式电除尘器阳极管截面宜采用边长为 350 mm~450 mm 的正方形，极板厚度宜不小于 1.0 mm。

6.4.2.2.6　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/T 5913 的规定。

6.4.2.2.7　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 45 kV~72 kV 电压。

b）板电流密度宜设置为 0.6 mA/m^2~1.0 mA/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 mA/m ~1.0 mA/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。

d）导电玻璃钢管式湿式电除尘器宜采用恒流电源。

6.4.2.2.8　绝缘子应符合JB/T 5909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 ℃。

6.4.2.2.9　接地系统电阻值应小于 2 Ω。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截面积不小于 50 mm^2 铜芯接地电缆相连。

6.4.2.2.10　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。喷嘴喷淋覆盖率应不小于 120%，喷嘴应便于检查和更换。

b）金属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连续水膜。

c）管式湿式电除尘器喷淋系统可采用定期间断冲洗方式。导电玻璃钢管式湿式电除尘器宜每天冲洗一次，每次冲洗时间宜为 5 min~20 min；柔性极板管式湿式电除尘器宜每周冲洗一次，每次冲洗时间宜为 20 min~30 min。实际运行可根据锅炉负荷、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关闭电场。

6.4.2.2.11　补给水水质要求应符合JB/T 12593的规定。

6.4.2.2.12　水系统工艺流程配置合理，要求运行安全可靠、简单易行；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便利性。喷嘴的布置要合理，不存在冲洗死角。

6.4.2.2.13　灰斗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 5 mm。

6.4.2.2.14　其他要求应符合 JB/T 12593 的规定。

6.4.3　袋式除尘器

6.4.3.1　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 10921、JB/T 8533 的规定。

6.4.3.2　滤料和滤袋应满足以下要求：

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小于 99.98%。

c）滤袋缝制过程应减小缝线处的针孔泄漏，缝制完成后应检测其泄漏程度，确保满足要求。

d）滤袋应能长期稳定使用，使用寿命宜不低于 4 年或 3 万 h。

6.4.3.3　滤袋框架应符合 JB/T 5917 的规定。

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

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

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

6.4.3.7　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。

6.4.3.8　行喷式脉冲清灰系统分气箱的设计、制造和检验应符合 TSG R0003 及 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。

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

6.4.3.10　回转式脉冲清灰装置的回转机构驱动电机功率应不小于 0.37 kW，电机与减速箱应合理匹配，回转轴密封性应良好。

6.4.3.11　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。

6.4.3.12　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 烟气量时，预涂灰后除尘器的阻力增加宜大于 300 Pa。

6.4.3.13　其他要求应符合 HJ 2039 的规定。

6.4.4　电袋复合除尘器

6.4.4.1　电袋复合除尘器电区的同极间距、阳极板、阴极线等的工艺设计要求同 6.4.2.1。

6.4.4.2　袋区的花板、滤料和滤袋、滤袋框架、脉冲阀等的工艺设计要求同 6.4.3。

6.4.4.3　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。

6.4.4.4　电袋复合除尘器高压供电装置应符合 JB/T 12533 的规定，电气控制装置应符合 JB/T 12123 的规定，绝缘子应符合 JB/T 12126 和 JB/T 5909 的规定。

6.4.4.5 滤料材质及克重的选定应符合 DL/T 1493 的规定。

6.4.5　二次污染控制措施

6.4.5.1　湿式电除尘器喷淋系统产生的废水宜适当预处理后作为湿法脱硫工艺补水回用。

6.4.5.2　废旧滤袋应采用机械破碎、回炉熔化拉丝、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。

6.4.5.3　管式湿式电除尘器阳极管应采取资源化利用的措施。

6.4.5.4　其他二次污染控制措施应符合 HJ 2039 的规定。

6.5　SO_2超低排放控制系统

6.5.1　一般规定

6.5.1.1　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。

6.5.1.2　脱硫系统应能适应机组负荷、烟气量、烟气参数正常波动变化，考虑有低负荷时的经济运行调节手段。

6.5.1.3　湿法脱硫原烟气温度宜低于 140 ℃，一般控制在 85 ℃~120 ℃，入口烟尘浓度根据技术路线统筹确定，宜不高于 30 mg/m^3，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。高效烟气循环流化床脱硫原烟气温度宜不低于 100 ºC。

6.5.1.4 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，控制雾滴携带，减少脱硫系统对颗粒物排放的贡献。

6.5.1.5 脱硫系统应与生产工艺设备同步运转，装置运行寿命、检修维护周期应与主机一致。脱硫系统不应设置烟气旁路。

6.5.1.6 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。

6.5.1.7 其他要求应符合 HJ/T 179、HJ/T 178 和 HJ 2001 的规定。

6.5.1.8 海水脱硫系统工艺设计按 GB/T 19229.3、HJ 2046 执行。

6.5.2 工艺流程

6.5.2.1 采用空塔提效技术的石灰石-石膏湿法脱硫工艺流程参照 HJ/T 179，采用 pH 值分区、复合塔技术的典型石灰石-石膏湿法脱硫主要工艺流程详见附录 G。

6.5.2.2 高效烟气循环流化床脱硫工艺流程参照 HJ/T 178。

6.5.2.3 氨法脱硫工艺流程参照 HJ 2001。

6.5.3 石灰石-石膏湿法脱硫

6.5.3.1 烟气系统

6.5.3.1.1 烟道布置合理，尽可能减少沿程阻力，必要时可设置烟气导流板。

6.5.3.1.2 若设置烟气换热器，不宜采用回转式气气换热器。

6.5.3.1.3 其他要求应符合 HJ/T 179 的规定。

6.5.3.2 吸收塔系统

6.5.3.2.1 通用要求

a) 吸收塔喷淋区空塔烟气流速宜为 3.5 m/s~3.6 m/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 3.8 m/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 2.5 m。

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 1.8 m。

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 1 mm~2 mm。

e) 浆液氧化宜采用强制氧化工艺，氧化空气流量宜不小于理论需求量的 2.5 倍。

f) 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沉淀风险，射流泵扰动系统应注意避免喷射扰动死区。

g) 浆液池（箱）的氧化与搅拌工艺应联合设计。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。

h) 其他要求应符合 HJ/T 179 的规定。

6.5.3.2.2　pH 值物理分区双循环技术

a) pH 值物理分区双循环技术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 4.5 min；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 3.5 min~4.5 min。

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。

6.5.3.2.3　pH 值自然分区技术

a) pH 值自然分区技术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) 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。

c) 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。

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

e) 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 5.5~6.2。

f) 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留原有搅拌装置。

g) 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。

h) 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 150 m^3/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。

6.5.3.2.4　pH 值物理分区技术

a) pH 值物理分区技术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 5 m。

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部循环泵停留时间不低于1 min。

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，并配备冲洗系统。

h) 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。

i) 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。

6.5.3.2.5 **湍流器持液技术**

a) 湍流器持液技术吸收塔系统由浆液循环吸收系统、氧化系统、管束式除雾器等组成。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为1 m~1.5 m。湍流器顶部与最下层喷淋层的间距宜为2.5 m~3.5 m，应不小于1.5 m。

c) 湍流器尺寸、叶片角度、排布方式宜辅以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。

d) 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1.5 m。

e) 管束式除雾器顶面、底面分别设置上下封闭板，实现过流烟气的隔离，保证过流烟气100%经除雾器内部通过。

f) 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洗装置，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小于0.2 MPa。

6.5.3.2.6 **均流筛板持液技术**

a) 均流筛板持液技术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1.5 mm~3 mm，孔径应为25 mm~35 mm。

c) 均流筛板与吸收塔入口烟道接口最高点的间距不小于0.8 m，均流筛板与最下层喷淋层的间距宜不小于1.8 m；当采取两层均流筛板时，上下层均流筛板间距宜不小于1.5 m。

d) 均流筛板表面应平整均匀，设计荷载应不小于2 kN/m^2。

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。

6.5.3.3 **其他**

6.5.3.3.1 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工艺

设计应符合 HJ/T 179、GB/T 19229.1 和 JB/T 11647 的规定。

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

6.5.3.4 **湿法脱硫协同高效除尘**

6.5.3.4.1 应采用合适的烟气均布措施，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。

6.5.3.4.2 应采用出口烟气携带雾滴浓度不大于 25 mg/m^3 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。

6.5.3.4.3 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 20 min 无形变。

6.5.3.4.4 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 500 Pa。

6.5.4 **高效烟气循环流化床脱硫**

6.5.4.1 **吸收塔系统**

6.5.4.1.1 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。

6.5.4.1.2 吸收塔床层压降宜不小于 1300 Pa，床层波动宜不大于±150 Pa。

6.5.4.1.3 烟气在吸收塔内的停留时间宜不小于 5 s，物料在吸收塔内的平均停留时间宜不小于 1 min。

6.5.4.1.4 吸收塔的吸收剂和循环灰加入点宜设置在文丘里之前的高温段。

6.5.4.1.5 吸收塔的降温喷水应采用超细雾化喷水，工艺水喷枪应采用超细雾化回流式喷枪，工艺水系统应满足稳定控制吸收塔反应温度波动不大于±1 ℃的要求。

6.5.4.1.6 石灰消化器宜采用三级长程式干式消化器，吸收剂加入吸收塔的通道应按两路以上进行设计。

6.5.4.2 **除尘器**

6.5.4.2.1 除尘器宜采用袋式除尘器，袋区过滤风速应不大于 0.7 m/min，袋区压差宜控制在 1.3 kPa~1.6 kPa。

6.5.4.2.2 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 g/m^2，并进行防油防水处理。

6.5.4.3 **其他**

其他工艺设计应符合 GB/T 19229.2、HJ/T 178 的规定。

6.5.5 **氨法脱硫**

6.5.5.1 **吸收塔系统**

6.5.5.1.1 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、颗粒物及氨逃逸控制区等，不同功能区间用塔盘分隔。

6.5.5.1.2 喷淋层应不少于 5 层，其中 SO_2 吸收区不应少于 3 层。每个喷淋层至少设置一台独立的泵。

6.5.5.1.3 吸收区空塔工况烟气流速宜不高于 3.5 m/s。

6.5.5.1.4　吸收塔本体进出口压力降宜不大于 1800 Pa。

6.5.5.1.5　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。

6.5.5.1.6　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，出口烟气携带雾滴浓度应不大于 20 mg/m^3。

6.5.5.1.7　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。

6.5.5.1.8　当采用多炉 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。

6.5.5.2　**吸收剂供应系统**

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

6.5.5.2.2　采用废氨水为原料时，应对废氨水进行精制，以保证硫化物、有机物等有害杂质含量符合 HJ 2001 的规定。

6.5.5.3　**其他**

6.5.5.3.1　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。

6.5.5.3.2　其他工艺设计应符合 HJ 2001 的规定。

6.5.6　**二次污染控制措施**

6.5.6.1　脱硫副产物宜优先综合利用。

6.5.6.2　其他二次污染控制措施应符合 HJ/T 179、HJ/T 178、HJ 2001 的规定。

7　主要工艺设备和材料

7.1　一般规定

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

7.1.2　主要工艺设备的选择和性能要求见本标准第6章。

7.1.3　通用材料应在燃煤电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能够长期稳定地粘结在基材上。

7.2　NO_X 超低排放控制系统

7.2.1　**主要设备选型原则**

7.2.1.1　燃烧器应选择污染物产生少、锅炉热效率损失小的设备。

7.2.1.2　脱硝系统主要设备的选型应符合 HJ 562、HJ 563 的规定。

7.2.2　**主要部件材料选择**

7.2.2.1　**一般规定**

7.2.2.1.1　设备和部件包装油漆应符合 JB/T 1615 的规定。

7.2.2.1.2　电缆选择应符合 GB 50217 的规定。

7.2.2.1.3 保温油漆设计应符合 DL/T 5072 的规定。

7.2.2.1.4 还原剂氨区应严格禁铜。

7.2.2.1.5 空预器冷段受热面应采取抗腐蚀和防堵塞措施。

7.2.2.2 低氮燃烧

7.2.2.2.1 燃烧器进口弯管处应采用内贴陶瓷片的耐磨材料。

7.2.2.2.2 燃烧器本体应采用耐高温耐磨蚀材料或耐磨技术。

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

7.2.2.3 脱硝系统

主要材料应与燃煤锅炉常用材料一致，并符合 HJ 562、HJ 563 的规定。

7.2.3 性能要求

7.2.3.1 低氮燃烧器的性能要求应符合 JB/T 4194 的规定。

7.2.3.2 脱硝系统主要设备和材料的性能要求应符合 HJ 562、HJ 563 的规定。

7.3 颗粒物超低排放控制系统

7.3.1 主要设备选型原则

7.3.1.1 干式电除尘器及其系统

7.3.1.1.1 出口烟尘浓度限值为 50 mg/m^3 时，干式电除尘器的比集尘面积见表 6。

表 6 出口烟尘浓度限值为 50 mg/m^3 时干式电除尘器比集尘面积参数

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	≥100	≥90	≥80
一般	≥120	≥110	≥90
较难	≥140	≥120	≥100
注 1：电除尘器对煤种的除尘难易性评价方法参见附录 D； 注 2：表中比集尘面积为电除尘器入口烟尘浓度不大于 30 g/m^3 时的数值，当大于 30 g/m^3，表中比集尘面积酌情分别增加 5 m^2/（m^3·s^{-1}）～15 m^2/（m^3·s^{-1}）。			

7.3.1.1.2 出口烟尘浓度限值为 30 mg/m^3 时，干式电除尘器的比集尘面积见表 7。

表 7 出口烟尘浓度限值为 30 mg/m^3 时干式电除尘器比集尘面积参数

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：电除尘器对煤种的除尘难易性评价方法参见附录 D； 注 2：表中比集尘面积为电除尘器入口烟尘浓度不大于 30 g/m^3 时的数值，当大于 30 g/m^3，表中比集尘面积酌情分别增加 5 m^2/（m^3·s^{-1}）～15 m^2/（m^3·s^{-1}）。			

7.3.1.1.3 出口烟尘浓度限值为 20 mg/m^3 时，干式电除尘器的比集尘面积见表 8。

表 8 出口烟尘浓度限值为 20 mg/m^3 时干式电除尘器比集尘面积参数

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	≥130	≥120	≥110
一般	—	—	≥120
较难	—	—	≥130
注 1：电除尘器对煤种的除尘难易性评价方法参见附录 D； 注 2：表中比集尘面积为电除尘器入口烟尘浓度不大于 30 g/m^3 时的数值，当大于 30 g/m^3，表中比集尘面积酌情分别增加 5 m^2/（$m^3\cdot s^{-1}$）～15 m^2/（$m^3\cdot s^{-1}$）。			

7.3.1.1.4 烟气冷却器的选型基础参数应包括煤质分析及飞灰分析资料，锅炉、汽机及主要辅机的相关参数，当地的环境条件及工程所在地的工程地质条件等。煤质分析除常规分析外，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。

7.3.1.2 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）单台锅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 $m^2/(m^3/s)$~20 $m^2/(m^3/s)$，其中 1 个电场的比集尘面积宜为 7 $m^2/(m^3/s)$~10 $m^2/(m^3/s)$。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 $m^2/(m^3/s)$~25 $m^2/(m^3/s)$。除尘效率为 70%~90%。

7.3.1.3 袋式除尘器

袋式除尘器关键技术选型参数见表 9。

表 9 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≤30 mg/m^3	出口烟尘浓度≤20 mg/m^3	出口烟尘浓度≤10 mg/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 0.7 m/min。					

7.3.1.4 电袋复合除尘器

电袋复合除尘器关键技术选型参数见表 10。

表 10 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≤20 mg/m^3	出口烟尘浓度≤10 mg/m^3

			参数	
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/T 1493 的要求。
4	流量分配极限偏差	%	宜满足 JB/T 11829 的要求。	宜满足 DL/T 1493 的要求。
5	气流分布均匀性相对均方根差	—	≤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 40 m^2/（m^3/s），袋区的过滤风速宜不大于 0.9 m/min。				

7.3.2　主要部件材料选择

7.3.2.1　干式电除尘器及其系统

7.3.2.1.1　干式电除尘器主要部件材料应符合 HJ 2039 的规定。

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

7.3.2.1.3　低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（09CrCuSb）或内衬不锈钢。人孔门宜采用双层结构，与烟气接触的人孔门内门宜采用 ND 钢或不锈钢。人孔门及阳极振打孔周围约 1 m 范围内的壳体钢板宜采用 ND 钢或内衬不锈钢。

7.3.2.1.4　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，高温段的换热元件宜选用 ND 钢（09CrCuSb）或 20G 钢。

7.3.2.2　湿式电除尘器

7.3.2.2.1　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。

7.3.2.2.2　金属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。

7.3.2.2.3　导电玻璃钢管式湿式电除尘器阳极管基体材料选用环氧乙烯基酯树脂，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。

7.3.2.2.4　柔性极板管式湿式电除尘器阳极管主材选用有机合成纤维，四周设张紧装置，张紧装置材质宜采用合金钢或非金属防腐材质，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。

7.3.2.2.5　金属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。

7.3.2.2.6　导电玻璃钢管式湿式电除尘器阴极线、阴极框架宜采用 SS2205 及以上防腐等级不锈钢或其他导电、防腐材质。

7.3.2.2.7　柔性极板管式湿式电除尘器阴极线、阴极框架宜采用 SS2205 及以上防腐等级不锈钢或其他导电、防腐材质。

7.3.2.2.8　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。

7.3.2.2.9　其他零部件技术要求应符合 DL/T 1589、JB/T 12593、HJ/T 323 的规定。

7.3.2.3　**袋式除尘器**

7.3.2.3.1　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，涂层厚度宜大于 80μm，耐温不低于 180℃。整体光滑平整，无毛刺和尖锐突出。

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

7.3.2.3.3　其他零部件技术要求应符合 GB/T 6719 的规定。

7.3.2.4　**电袋复合除尘器**

7.3.2.4.1　滤袋框架及滤料材质部分的规定同 7.3.2.3.1~7.3.2.3.2。

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

7.3.3　**性能要求**

7.3.3.1　**干式电除尘器及其系统**

7.3.3.1.1　**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 11。

表 11　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，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

7.3.3.1.2　**低低温电除尘系统**

低低温电除尘系统性能要求见表 12。

表 12　低低温电除尘系统性能要求

项　目	单　位	要　求

项 目	单 位	要 求
低低温电除尘器除尘效率	%	99.2～99.9 以上
低低温电除尘器出口烟尘浓度	mg/m^3	≤30，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
低低温电除尘器本体漏风率		≤2 （配套机组大于 300 MW 级） ≤3 （配套机组 300 MW 级及以下）
烟气冷却器气流分布均匀性相对均方根差	—	≤0.2
低低温电除尘器气流分布均匀性相对均方根差		≤0.25
低低温电除尘器流量分配极限偏差	%	±5

7.3.3.2 **湿式电除尘器**

湿式电除尘器性能要求见表13。

表 13 湿式电除尘器性能要求

项目	单位	板式湿式电除尘器	管式湿式电除尘器
除尘效率	%	70～90	70～90
出口颗粒物浓度	mg/m^3	≤10，可达5以下	≤10，可达5以下
本体压力降（不含除雾器及烟道）	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

7.3.3.3 **袋式除尘器**

袋式除尘器性能要求见表 14。

表 14 袋式除尘器性能要求

序号	项目	单位	出口烟尘浓度≤30 mg/m^3	出口烟尘浓度≤20 mg/m^3	出口烟尘浓度≤10 mg/m^3
			参数		
1	压力降	Pa	≤1500	≤1500	≤1400
2	滤袋整体使用寿命	年	≥4		
3	漏风率	%	≤2		

7.3.3.4 **电袋复合除尘器**

电袋复合除尘器性能要求见表 15。

表 15 电袋复合除尘器的性能要求

<table>
<tr><td rowspan="2">序号</td><td rowspan="2">项目</td><td rowspan="2">单位</td><td>出口烟尘浓度≤20 mg/m³</td><td>出口烟尘浓度≤10 mg/m³</td></tr>
<tr><td colspan="2">参数</td></tr>
<tr><td>1</td><td>压力降</td><td>Pa</td><td>≤1200</td><td>≤1100</td></tr>
<tr><td>2</td><td>滤袋整体使用寿命</td><td>年</td><td>≥4</td><td>≥5</td></tr>
<tr><td>3</td><td>漏风率</td><td>%</td><td colspan="2">≤2</td></tr>
</table>

7.4 SO_2超低排放控制系统

7.4.1 主要设备选型原则

7.4.1.1 石灰石-石膏湿法脱硫

7.4.1.1.1 循环泵应选用离心泵，采用电动机直联或减速驱动，泵的轴承密封型式为机械密封，泵应选用节能高效设备。

7.4.1.1.2 其他设备选型应符合 HJ/T 179、HJ/T 323 的规定。

7.4.1.2 高效烟气循环流化床脱硫

应符合 HJ/T 178 的规定。

7.4.1.3 氨法脱硫

应符合 HJ 2001 的规定。

7.4.2 主要部件材料选择

7.4.2.1 石灰石-石膏湿法脱硫

7.4.2.1.1 通用规定

a) 部件与材料的选择应本着经济适用、满足脱硫工艺要求的原则，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) 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，需能承受pH 4~9和氯离子浓度40000 mg/L的腐蚀。氧化风机的转子、轴承材质不低于QT500。

c) 其他部件材质要求应符合HJ/T 179的规定。

7.4.2.1.2 pH 值物理分区双循环技术

a) 吸收塔塔外及液面以上空气管道材质可采用碳钢；液面以下管道宜采用纤维增强复合塑料（FRP）或2205合金或碳钢衬胶，管道壁厚不小于3 mm。

b) 吸收塔入口烟道与塔壁接触部位宜贴衬2 mmC276，上部的塔内浆液收集装置材质宜采用C276，板材厚度按照强度设计选取。

c) 二级循环浆液箱材质宜采用碳钢，内壁应进行防腐处理。

7.4.2.1.3 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) 均流筛板和氧化空气管网材质宜采用 SS32205。

d) 射流搅拌管架应采用碳钢衬胶或其他耐腐蚀合金钢。

e) 入口烟道预除尘水喷雾系统喷嘴及管道材质应采用 SS32205。

7.4.2.1.4 pH 值物理分区技术

a) 塔外浆液箱材质宜采用碳钢。

b) 塔外浆液箱内壁应采用耐磨丁基橡胶或鳞片树脂。

7.4.2.1.5 湍流器持液技术

a) 烟气湍流器材质宜采用 316L 及以上等级耐腐蚀合金钢。

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材质，支承格栅材质宜选用 316L 及以上等级耐腐蚀合金钢。

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。

7.4.2.1.6 均流筛板持液技术

a) 均流筛板宜采用 SS32205。

b) 均流筛板及喷淋层的支撑梁均宜采用碳钢，表面应采用耐磨丁基橡胶或鳞片树脂。

7.4.2.2 高效烟气循环流化床脱硫

应符合 HJ/T 178 的规定。

7.4.2.3 氨法脱硫

应符合 HJ 2001 的规定。

7.4.3 性能要求

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

7.4.3.2 高效烟气循环流化床脱硫工艺的主要设备和材料的性能要求应符合 HJ/T 178 的规定。

7.4.3.3 氨法脱硫工艺的主要设备和材料的性能要求应符合 HJ 2001 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超低排放工艺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 控制系统应采用分散控制系统（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）、顺序控制（SCS）及连锁保护、厂用电源系统监控等。

8.1.3 超低排放设施的启、停及运行原则上应与机组同步，确保设施排放满足超低要求，事故处理及其他极端情况，为确保不能影响机组正常安全运行，相关保护需要解列应报环保部门备案。

8.1.4 超低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　超低排放设施配套的监测仪表和终端排口 CEMS 应满足各自工况条件要求，结合污染物浓度、烟气湿度等合理配置检测仪表。

8.2　NO_X 超低排放控制系统

8.2.1　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。

8.2.2　脱硝系统的热工自动化水平宜与机组的自动化控制水平相一致。

8.2.3　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。

8.2.4　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 PLC 或者 DCS 控制系统，也可配置与机组 DCS 一致的远程控制站接入机组公用 DCS。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。

8.2.5　低氮燃烧系统新增的仪控设备控制点应纳入机组控制系统，应方便运行人员在单元集控室内监控和操作。

8.2.6　其他要求应符合 HJ 562、HJ 563、DL/T 5175 和 DL/T 5182 的规定。

8.3　颗粒物超低排放控制系统

8.3.1　干式电除尘器及其系统

8.3.1.1　干式电除尘器的检测与过程控制要求应符合 HJ 2039 的规定。

8.3.1.2　低低温电除尘系统应配套烟温控制系统，该系统应能对温度、压力、流量、电除尘器的运行参数等主要参数进行在线检测和自动调节控制。

8.3.1.3　烟气冷却器检测

8.3.1.3.1　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）。

8.3.1.3.2　烟气冷却器烟气侧温度、差压监测仪表测点应设在烟冷器进、出口直管段。

8.3.1.3.3　烟气冷却器泄漏检测探头应设在烟气冷却器前后烟道上。

8.3.1.4　烟气冷却器过程控制

8.3.1.4.1　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℃。

8.3.1.4.2　烟气冷却器的控制方式应根据生产工艺的技术水平和要求、运行条件、管理水平

综合确定，宜采用 DCS 控制系统（机组）。

8.3.1.4.3　运行人员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。

8.3.1.4.4　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。

8.3.2　湿式电除尘器

8.3.2.1　湿式电除尘器检测

8.3.2.1.1　金属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 HJ 2039。

8.3.2.1.2　导电玻璃钢管式湿式电除尘器以及柔性极板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 HJ 2039。

8.3.2.1.3　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。

8.3.2.2　湿式电除尘器过程控制

8.3.2.2.1　金属板式湿式电除尘器过程控制内容包括：

a）循环水或废水 pH 值控制：宜以灰斗外排水的 pH 值（宜为 4~6）或废水外排水 pH 值（宜为 5~7）为控制对象，且必须同时满足循环水 pH 值不高于 10。

b）废水流量控制：宜根据锅炉负荷（BMCR），在悬浮物浓度不大于 2000 mg/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平衡的要求液位，液位裕度系数宜不小于 10%。

f）备用泵应能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）。

8.3.2.2.2 导电玻璃钢管式湿式电除尘器以及柔性极板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。

e）绝缘子电加热系统自动控制。

8.3.2.2.3 湿式电除尘器的控制方式应根据生产工艺的技术水平和要求、运行条件、管理水平综合确定。

8.3.2.2.4 湿式电除尘器的启停过程应自动进行，无需运行人员干预。

8.3.2.2.5 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。

8.3.3 袋式除尘器

8.3.3.1 袋式除尘器控制系统应满足工艺控制要求，具有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。

8.3.3.2 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。

8.3.3.3 其他要求应符合 HJ 2039 的规定。

8.3.4 电袋复合除尘器

8.3.4.1 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。

8.3.4.2 清灰控制及荧光检漏试验要求同 8.3.3.1、8.3.3.2。

8.3.4.3 其他要求应符合 HJ 2039 的规定。

8.4 SO_2超低排放控制系统

8.4.1 石灰石-石膏湿法脱硫

8.4.1.1 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。

8.4.1.2 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的循环泵房、氧化风机房、旋流器等区域，应纳入脱硫岛工业电视监视系统（CCTV）。

8.4.1.3 其他要求应符合 HJ/T 179 的规定。

8.4.2 高效烟气循环流化床脱硫

应符合 HJ/T 178 的规定。

8.4.3　氨法脱硫

8.4.3.1　应采用自动加氨控制系统。

8.4.3.2　其他要求应符合 HJ 2001 的规定。

9　主要辅助工程

9.1　一般规定

9.1.1　超低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电厂主体工程情况进行统筹规划和设计，并应符合 GB 50660 的规定。

9.1.2　超低排放工程的建筑结构设计应贯彻节约、集约用地的原则，宜根据工艺流程、功能要求、工艺设备布置情况采用多层建筑和联合建筑。

9.1.3　超低排放工程所需的水、电、气、汽等辅助设施应纳入电厂主体工程统一考虑。

9.2　NO_X 超低排放控制系统

9.2.1　电气系统配置应满足以下要求：

a）供电系统应符合 DL/T 5153 的规定。

b）直流系统应符合 HJ 562 的规定。

c）交流保安电源和不间断电源、二次线应符合 DL/T 5136、DL/T 5153 的规定。

9.2.2　建筑及结构应符合 DL/T 5480 的规定。

9.2.3　暖通及消防系统配置应满足以下要求：

a）脱硝系统内应有采暖通风与空气调节系统，并符合 DL/T 5035 等的规定。

b）脱硝系统内应有完整的消防给水系统，还应按消防对象的具体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。

9.2.4　其他辅助系统要求应符合 HJ 562、HJ 563 的规定。

9.3　颗粒物超低排放控制系统

9.3.1　干式电除尘器、袋式除尘器、电袋复合除尘器

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，均随工艺系统配套，应符合 HJ 2039 的规定。

9.3.2　烟气冷却器

9.3.2.1　供配电

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

9.3.2.1.2　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。

9.3.2.2　给排水

9.3.2.2.1　烟气冷却器根据不同的工艺系统应取自凝结水系统、热网水管网等。

9.3.2.2.2　烟气冷却器水系统放水宜回收到排污扩容系统。

9.3.2.3　防腐及露天防护

9.3.2.3.1　所有设备、平台扶梯应根据工艺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燃煤电厂设计有关要求涂刷油漆。

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

9.3.3　湿式电除尘器

9.3.3.1　供配电

9.3.3.1.1　工艺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（380 V）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，交叉供电方式供电。

9.3.3.1.2　在湿式电除尘器箱罐区域、除尘器侧部人孔门、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。

9.3.3.2　给排水

9.3.3.2.1　湿式电除尘器的喷淋水应根据水质要求取自厂区的工艺水管网。

9.3.3.2.2　湿式电除尘器喷淋系统产生的废水宜适当预处理后作为湿法脱硫工艺补水回用。

9.3.3.3　防腐及露天防护

9.3.3.3.1　所有设备、管道工具根据工艺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电站设计有关要求涂刷油漆。

9.3.3.3.2　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。

9.4　SO_2超低排放控制系统

9.4.1　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，核对设备布置空间、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。

9.4.2　其他土建结构、电气、采暖通风、给排水及消防系统，均随工艺系统配套，应符合HJ/T 179、HJ/T 178、HJ 2001 的规定。

10　劳动安全与职业卫生

10.1　一般规定

10.1.1　超低排放工程的建设及运行应遵循“安全第一，预防为主”的方针，以不影响火电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　电厂应建立健全超低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　超低排放工程应按照安全性评定等要求，定期进行安健环专项评估和检查，形成评定、整改的闭环管理。

10.1.4　超低排放工程建成运行时，配套安全和卫生设施应同时建成投运，并制定相应的操

作规程。

10.1.5　超低排放工程建设及运行过程中，安全卫生应符合 GB/T 12801、GBZ 2.1 及 GBZ 2.2 的规定，具体要求参照 DL 5053 执行。

10.2　劳动安全

10.2.1　超低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 等国家及地方相关要求，液氨管理应满足《燃煤发电厂液氨罐区安全管理规定》，确保超低排放设施事故预防和应急预案处于受控状态。

10.2.2　超低排放工程建设、运行、检修、维护和管理过程中基本的安全工作要求应参照 DL 5009.1 和 GB 26164.1 执行，如遇到紧急救护情况应参照 DL/T 692 执行。

10.2.3　超低排放工程的防火、防爆设计应符合 GB 50016、GB 50222、GB 50229 的规定。

10.2.4　超低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　职业卫生

10.3.1　应在具有危险因素和职业病危害的场所设置醒目的安全标志、安全色、警示标志，具体内容应符合 GB 2893、GB 2894、GBZ 158 的规定。

10.3.2　超低排放工程的防尘、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、DL 5053 的规定。

11　工程施工与验收

11.1　工程施工

11.1.1　超低排放工程施工单位应具有国家相应的工程施工资质，遵守国家部门颁布的劳动安全卫生、消防等国家强制性标准及相关的施工技术规范。

11.1.2　超低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　超低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　干式电除尘器安装应符合 JB/T 8536、JB/T 11267、JB/T 11311、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 JB/T 8471 的规定。

11.1.7　电袋复合除尘器安装应符合 GB/T 27869 的规定。

11.1.8　吸收塔施工及验收应符合 DL5190、DL/T 5418 的规定。

11.1.9　脱硫系统设备安装及验收应符合 GB 50895 的规定。

11.1.10　施工焊接应符合 DL/T 869 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DL 5190、HJ 562、HJ 563的规定。

11.2　验收

11.2.1　建设单位应组织施工单位、供货商、工程设计单位、监理单位等结合系统调试对超低排放工程进行验收，对环保指标、性能指标、安全性、可靠性等运行状况进行考核。

11.2.2　超低排放工程验收应按有关专业验收规范和本标准的有关规定进行。

11.2.3　超低排放工程安装、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。

11.2.4　通过超低排放设施整体调试，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。

11.2.5　在整体启动试运行连续试运 168 h 后，对整体启动试运行中出现的问题应及时消除，以保证超低排放工程运行稳定可靠。

11.2.6　脱硝系统验收应符合 DL/T 260、DL/T 5257、HJ 562、HJ 563 的规定。

11.2.7　低低温电除尘器验收应符合 JB/T 12591 的规定，低低温高效燃煤烟气处理系统的工程验收应符合 JB/T 12592 的规定。

11.2.8　湿式电除尘器验收应符合 DL/T 1589、JB/T 12593 的规定。

11.2.9　袋式除尘器验收应符合 JB/T 8471、HJ 2039 的规定。

11.2.10　电袋复合除尘器验收应符合 GB/T 27869、HJ 2039 的规定。

11.2.11　脱硫系统验收应符合 GB/T 19229.1、GB/T 19229.2、DL/T 998、DL/T 1150、DL/T 5417、DL/T 5418、HJ/T 179、HJ/T 178、HJ 2001 的规定。

11.2.12　超低排放工程配套建设的 CEMS 应在工程竣工验收前开展环保比对试验，并满足 HJ 75、HJ 76 的有关要求。

12　运行与维护

12.1　一般规定

12.1　超低排放工程投运后，电厂排放的烟气污染物浓度应满足超低排放限值要求，排放量还应满足排污许可证中的许可排放量。

12.2　超低排放设施是火电厂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，避免和减小主机及各治理设施之间产生不利影响。

12.3　电厂应从输入条件、设备配置、运行管理、检修维护、达标排放、副产物处置、环境影响、应急预案等角度，建立健全保障超低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、技术管理以及考核办法等。

12.4　电厂应在确保超低排放设施可靠运行和污染物排放浓度稳定达标的前提下，持续优化运行方式，注重挖掘和完善多污染物联合脱除、协同减排的能力，实现机组节能经济运行。

12.5　超低排放设施可由电厂自主运行，鼓励委托具有运营资质的专业单位运行。

12.6　电厂应建立和加强超低排放设施竣工资料、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。

12.7　电厂应按照DL/T 1050、DL/T 1051 的要求，加强超低排放设施的技术监督和管理，定期对烟气治理设施的运行状况进行评价，形成评价、改进、监督、再评价、持续改进的闭环管理。

12.2　NO_X 超低排放控制系统

12.2.1　一般规定

12.2.1.1　脱硝设施安全管理应符合 GB 12801 的规定。

12.2.1.2　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。

12.2.1.3　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。

12.2.1.4　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。

12.2.2　运行

12.2.2.1　应从燃煤品质把控、制粉调整、合理配风给料等方面优化低氮燃烧，保证锅炉安全经济环保运行。

12.2.2.2　脱硝设施运行应符合 HJ 562、HJ 563、HJ 2040、DL/T 362 的规定。

12.2.2　维护

12.2.2.1　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。

12.2.2.2　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。

12.2.2.3　运行维护人员应做好维护保养台档，定期检查记录情况。

12.2.2.4　其他要求应符合 HJ 562、HJ 563 的规定。

12.3　颗粒物超低排放控制系统

12.3.1　干式电除尘器及其系统

12.3.1.1　一般规定

12.3.1.1.1　干式电除尘器的运行、维护和检修等一般要求应符合 HJ 2040 的规定并实行专业化管理。

12.3.1.1.2　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 CEMS。

12.3.1.1.3　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检测装置。

12.3.1.2　运行

12.3.1.2.1　干式电除尘器的运行应符合 DL/T 461、JB/T 6407 的规定。

12.3.1.2.2 烟气冷却器与机组凝结水、热网水或其他冷却水系统相连，投运前应做好充分的投运组织方案。

12.3.1.2.3 烟气中易燃、易爆物质浓度、烟气温度、运行压力应满足设计要求，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。

12.3.1.2.4 烟气冷却器的启动，应满足以下要求：

a）投运前，必须进行水压试验，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清洁，取样化验合格。

12.3.1.2.5 烟气冷却器投运时应满足需要的安全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 ℃。

12.3.1.2.6 烟气冷却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。

12.3.1.2.7 运行中发现以下情况之一时，应立即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。

12.3.1.2.8 运行中发现以下情况之一时，应酌情停止烟气冷却器的运行：

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。

12.3.1.2.9 烟气冷却器运行中应记录以下数据：

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、出口压差。

d）泄漏检测记录。

e）水泵运行频率及电流信号。

f）电动阀门开关位置信号及阀门开度。

12.3.1.3 维护

12.3.1.3.1 干式电除尘器的维护应符合 DL/T 461、JB/T 6407 的规定。

12.3.1.3.2 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、更换损坏防磨元件、导流板等。

12.3.1.3.3 烟气冷却器宜定期进行常规检查。

12.3.1.3.4 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。

12.3.1.3.5　当设备停运时，必须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。

12.3.2　**湿式电除尘器**

12.3.2.1　**一般规定**

12.3.2.1.1　湿式电除尘器的运行、维护和检修等一般要求应符合 HJ 2040 的规定。

12.3.2.1.2　湿式电除尘器的二次电压和电流、颗粒物仪值、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。

12.3.2.2　**运行**

12.3.2.2.1　湿式电除尘器电场启动时，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，必须先停运高压系统。

12.3.2.2.2　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。

12.3.2.2.3　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 HJ 2040 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 HJ 2040 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）锅炉投油燃烧或因主设备原因造成较长时间投油燃烧且油煤混烧比例超过规定值，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。

12.3.2.2.5　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、出口温度。

f）喷淋压力。

e）各箱罐液位。

g）电动阀门开关位置信号及阀门开度。

12.3.2.3　**维护**

12.3.2.3.1　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。

12.3.2.3.2　湿式电除尘器宜定期进行常规检查。

12.3.2.3.3　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，若喷嘴磨损严重，应立即更换。

12.3.3　**袋式除尘器、电袋复合除尘器**

12.3.3.1　**一般规定**

12.3.3.1.1　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 HJ 2040 的规定。

12.3.3.1.2　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。

12.3.3.2　**运行、维护**

12.3.3.2.1　袋式除尘器的运行应符合 DL/T 1371 的规定；电袋复合除尘器的运行应符合 HJ 2039、JB/T 11644 的规定。

12.3.3.2.2　袋式除尘器、电袋复合除尘器的启动和停运应符合 HJ 2040、JB/T 11644 的规定。

12.3.3.2.3　袋式除尘器、电袋复合除尘器的维护应符合 HJ 2039、JB/T 11644 的规定。

12.4　**SO_2超低排放控制系统**

12.4.1　**一般规定**

12.4.1.1　脱硫设施的启动、运行调整、维护及运行管理制度应符合 HJ 2040、HJ/T 179、HJ/T 178、HJ 2001、DL/T 1149 的规定。

12.4.1.2　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。

12.4.1.3　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。

12.4.2　**运行**

12.4.2.1　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。

12.4.2.2　脱硫设施运行应在满足设计工况的条件下进行，并根据工艺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。

12.4.2.3　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，锅炉负荷变化时应通过调节保证正常运行和达标排放。

12.4.2.4　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。

12.4.3　**维护**

12.4.3.1　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。

12.4.3.2　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。

12.4.3.3　在设施检修维护时应做好安全防护工作。

附录 A
（资料性附录）
低氮燃烧锅炉炉膛出口 NO_X 推荐控制值

表 A.1　低氮燃烧锅炉炉膛出口 NO_X 推荐控制值

燃烧方式	煤种		容量（MW）	NOx 推荐控制值（mg/m^3）
切向燃烧	无烟煤		/	950
	贫煤		/	900
	烟煤	$20\% \le V_{daf} \le 28\%$	≤100	400
			200	370
			300	320
			≥600	310
		$28\% \le V_{daf} \le 37\%$	≤100	320
			200	310
			300	260
			≥600	220
		$37\% < V_{daf}$	≤100	310
			200	260
			300	220
			≥600	220
	褐煤		≤100	320
			200	280
			300	220
			≥600	220
墙式燃烧	贫煤		所有容量	670
	烟煤	$20\% \le V_{daf} \le 28\%$		470
		$28\% \le V_{daf} \le 37\%$		400
		$37\% < V_{daf}$		280
	褐煤			280
W 火焰燃烧	无烟煤			1000
	贫煤			850
CFB	烟煤、褐煤			200
	无烟煤、贫煤			150

附录 B
（资料性附录）
燃煤电厂烟气中 SO_3 量的估算方法

B.1　脱硝系统入口 SO_3 量的估算可按公式（B.1）进行，循环流化床锅炉炉内脱硫时还应考虑炉内 SO_3 脱除量。

$$M_{1(SO_3)}=\frac{80}{32}\times k_1\times k_2\times B_g\times(1-\frac{q_4}{100})\times\frac{S_{ar}}{100} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (B.1)$$

式中：

$M_{1(SO_3)}$— 脱硝系统入口 SO_3 量，t/h；

k_1— 燃煤中收到基硫转化为 SO_2 的转化率（煤粉炉取 0.9，循环流化床锅炉取 0.85)；

k_2— 锅炉燃烧中 SO_2 转化为 SO_3 的转化率（煤粉炉可取 0.5%~2%）；

B_g— 锅炉燃煤量，t/h；

S_{ar}— 燃煤收到基硫分，%；

q_4— 锅炉机械未完全燃烧损失（在灰硫比估算时可取 0)，%。

B.2　除尘系统入口 SO_3 量的估算可按公式（B.2）进行，高效烟气循环流化床法脱硫工艺的除尘器入口 SO_3 量应采用脱硫供货商提供的数据。

$$M_{2(SO_3)}=\frac{80}{32}\times k_1\times k_3\times B_g\times(1-\frac{q_4}{100})\times\frac{S_{ar}}{100} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (B.2)$$

式中：

$M_{2(SO_3)}$— 除尘系统入口 SO_3 量，t/h；

k_3 — SO_2 转化为 SO_3 的转化率（包括锅炉燃烧中的氧化和 SCR 脱硝催化氧化，一般取 1.5%~3%，煤的含硫量高时取下限，含硫量低时取上限）。

B.3　脱硫系统入口 SO_3 量的估算可按公式（B.3）进行。

$$M_{3(SO_3)}=M_{2(SO_3)}\times\left(1-\frac{\eta_{SO_3}}{100}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (B.3)$$

式中：

$M_{3(SO_3)}$— 脱硫系统入口 SO_3 量，t/h；

η_{SO_3}— 脱硫系统前级设备对 SO_3 的设计脱除率，%。

附录 C

（资料性附录）

电除尘提效技术和提效工艺的技术特点和适用范围

表 C.1　电除尘提效技术和提效工艺的技术特点和适用范围

<table>
<tr><th colspan="2">项目名称</th><th>技术特点</th><th>适用范围</th></tr>
<tr><td rowspan="3">新型高压电源及控制技术</td><td>高频高压电源</td><td>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，高于常规工频电源；
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，5 ms~15 ms 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。</td><td rowspan="3">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。</td></tr>
<tr><td>三相高压直流电源</td><td>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。</td></tr>
<tr><td>脉冲高压电源</td><td>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。</td></tr>
<tr><td colspan="2">低低温电除尘技术</td><td>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；
6） 布置灵活，烟气冷却器可组合在电除尘器进口封头内，也可独立布置在电除尘器的前置烟道上。</td><td>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 ℃。</td></tr>
<tr><td colspan="2">移动电极技术</td><td>1） 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；
2） 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、粘性粉尘；</td><td>适用于场地受限的机组改造工程，部分项目只需将末电场改成移动电极电场。</td></tr>
</table>

项目名称	技术特点	适用范围
	3） 可使电除尘器小型化，占地少； 4） 对设备的设计、制造、安装工艺要求高。	
机电多复式双区电除尘技术	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； 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。	1） 适用于高比电阻粉尘工况采用； 2） 可与高频电源、断电振打等技术合并应用。
烟气调质技术	1） 降低粉尘比电阻； 2） 基本不占用场地； 3） 如采用 SO_3 烟气调质，需严格控制 SO_3 注入量，避免逃逸。	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； 2） 适用于改造无扩容空间场合。
粉尘凝聚技术	1） 一定程度改善除尘效果； 2） 压力损失<250 Pa； 3） 提效受除尘器出口烟尘浓度和粉尘粒径等影响； 4） 提效范围有限。	1） 布置在烟道直管段（5 m 左右）或进口封头内； 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； 3） 粉尘凝聚技术目前应用案例少。

附录 D
（资料性附录）
电除尘器对煤种的除尘难易性评价方法

电除尘器对煤种的除尘难易性评价按表 D.1 的评价方法进行。

表 D.1　电除尘器对煤种的除尘难易性评价方法

除尘难易性	煤、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）Na_2O＞0.3%，且 S_{ar}≥1%，且（Al_2O_3+SiO_2）≤80%，同时 Al_2O_3≤40%； b）Na_2O＞1%，且 S_{ar}＞0.3%，且（Al_2O_3+SiO_2）≤80%，同时 Al_2O_3≤40%； c）Na_2O＞0.4%，且 S_{ar}＞0.4%，且（Al_2O_3+SiO_2）≤80%，同时 Al_2O_3≤40%； d）Na_2O≥0.4%，且 S_{ar}＞1%，且（Al_2O_3+SiO_2）≤90%，同时 Al_2O_3≤40%； e）Na_2O＞1%，且 S_{ar}＞0.4%，且（Al_2O_3+SiO_2）≤90%，同时 Al_2O_3≤40%。
一般	a）Na_2O≥1%，且 S_{ar}≤0.45%，且 85%≤（Al_2O_3+SiO_2）≤90%，同时 Al_2O_3≤40%； b）0.1%＜Na_2O＜0.4%，且 S_{ar}≥1%，且 85%≤（Al_2O_3+SiO_2）≤90%，同时 Al_2O_3≤40%； c）0.4%＜Na_2O＜0.8%，且 0.45%＜S_{ar}＜0.9%，且 80%≤（Al_2O_3+SiO_2）≤90%，同时 Al_2O_3≤40%； d）0.3%＜Na_2O＜0.7%，且 0.1%＜S_{ar}＜0.3%，且 80%≤（Al_2O_3+SiO_2）≤90%，同时 Al_2O_3≤40%。
较难	a）Na_2O≤0.2%，且 S_{ar}≤1.4%，同时（Al_2O_3+SiO_2）≥75%； b）Na_2O≤0.4%，且 S_{ar}≤1%，同时（Al_2O_3+SiO_2）≥90%； c) Na_2O＜0.4%，且 S_{ar}＜0.6%，同时（Al_2O_3+SiO_2）≥80%。

附录 E
（资料性附录）
典型超低排放技术路线

对于煤粉锅炉或炉后采用了湿法脱硫工艺的循环流化床锅炉，E.1～E.3 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超低排放技术路线，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一次除尘和二次除尘技术进行组合。一次除尘和二次除尘设备出口的颗粒物控制指标宜符合 6.2.3.1 的规定。

对于循环流化床锅炉，条件适宜时也可采用 E.4 所示的炉内脱硫和炉后高效烟气循环流化床脱硫工艺相结合的典型超低排放技术路线。

E.1　以湿式电除尘器作为二次除尘的典型超低排放技术路线

E.1.1　组成及总体要求

a）技术路线示例见图 E.1，采用湿式电除尘器（终端把关）及石灰石-石膏湿法脱硫协同除尘（不依赖）作为二次除尘。本示例主要包括煤粉锅炉（低氮燃烧）、SCR 脱硝系统、烟气冷却器、除尘器、石灰石-石膏湿法脱硫系统、湿式电除尘器、烟气换热器、烟囱等，其中烟气冷却器、烟气换热器可选择安装。

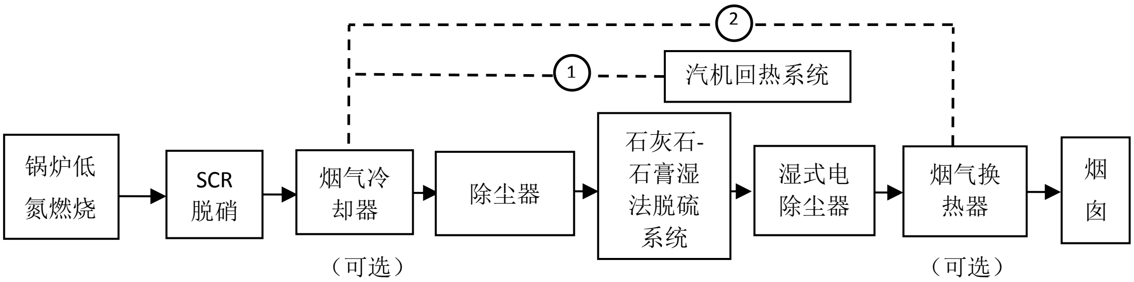

图 E.1 以湿式电除尘器作为二次除尘的典型超低排放技术路线

b）除尘器出口烟尘浓度宜按不大于 30 mg/m^3 设计，对于受工程条件限制的机组，除尘器出口烟尘浓度也可按不大于 50 mg/m^3 设计；湿式电除尘器出口颗粒物浓度应不大于 10 mg/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。

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）该技术路线各设施对烟气污染物协同治理的影响如表 E.1 所示。

表 E.1 各设施与烟气污染物协同治理的关系

污染物	低氮燃烧	SCR 脱硝系统	除尘器	石灰石-石膏湿法脱硫系统	湿式电除尘器
颗粒物	o	o	√	●	√

污染物	低氮燃烧	SCR 脱硝系统	除尘器	石灰石-石膏湿法脱硫系统	湿式电除尘器
SO_2	o	o	o	√	o
NO_X	√	√	o	o	o
SO_3	o	■	●(电袋或袋式除尘器，低低温电除尘） o（其他干式电除尘器）	●	●
Hg	o	▲	●	●	●
注：√-直接作用，●-直接协同作用，▲-间接协同作用，o-基本无作用或无作用，■-负作用					

e）不设置烟气换热器时，烟气冷却器处的换热量按上图①所示回收至汽机回热系统；设置烟气换热器时，烟气冷却器处的换热量按上图②所示至烟气换热器。

f）条件适宜时，脱硫系统也可采用海水或氨法脱硫工艺。

E.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 10 mg/m^3 以下，颗粒物去除率应不小于 70%。

b）SO_2 排放浓度不高于 35 mg/m^3。

c）NO_X 排放浓度不高于 50 mg/m^3。

E.1.3　适用条件

a）受煤质、负荷波动或其他因素影响，除尘器出口烟尘浓度不能（稳定）达到 30 mg/m^3 以下或脱硫系统出口颗粒物浓度高于 10 mg/m^3。

b）湿式电除尘器进口颗粒物浓度宜不高于 50 mg/m^3。

c）要求颗粒物排放浓度远小于 10 mg/m^3 或对 SO_3、细颗粒物排放等有严格控制需求。

d）技术经济合理的，且场地空间条件允许。

E.2　以湿法脱硫协同高效除尘作为二次除尘的典型超低排放技术路线

E.2.1　组成及总体要求

a）技术路线示例见图 E.2，采用湿法脱硫协同高效除尘作为二次除尘。本示例主要包括煤粉锅炉（低氮燃烧）、SCR 脱硝系统、烟气冷却器、除尘器、石灰石-石膏湿法脱硫系统、烟气换热器、烟囱，其中烟气冷却器、烟气换热器可选择安装。

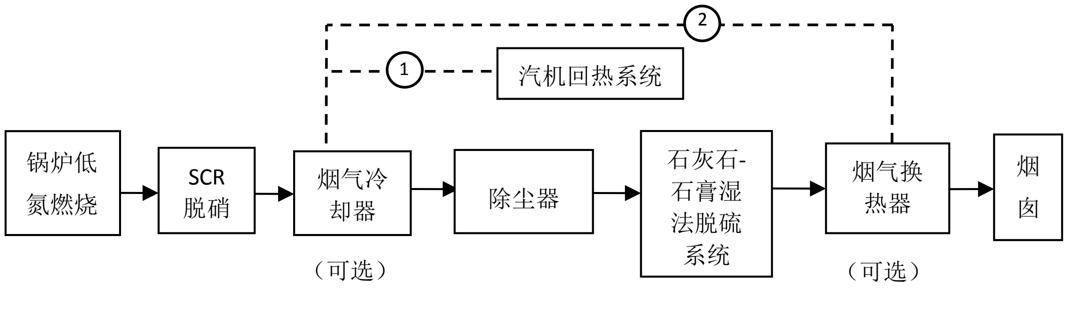

图 E.2 以湿法脱硫协同高效除尘作为二次除尘的典型超低排放技术路线

b）除尘器出口烟尘浓度宜按不大于 20 mg/m^3 或 30 mg/m^3 设计，石灰石-石膏湿法脱硫系统应具备协同高效除尘的性能且出口颗粒物浓度应不大于 10 mg/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。

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）该技术路线各设施与烟气污染物协同治理的关系如表 E.2 所示。

表 E.2 各设施与烟气污染物协同治理的关系

污染物	低氮燃烧	SCR 脱硝系统	除尘器	石灰石-石膏湿法脱硫系统
颗粒物	o	O	√	●
SO_2	o	O	o	√
NO_X	√	√	o	o
SO_3	o	■	●(电袋或袋式除尘器，低低温电除尘） o（其他干式电除尘器）	●
Hg	o	▲	●	●
注：√-直接作用，●-直接协同作用，▲-间接协同作用，o-基本无作用或无作用，■-负作用				

e）当不设置烟气换热器时，烟气冷却器处换热量按上图①所示回收至汽机回热系统；当设置烟气换热器时，烟气冷却器处换热量按上图②所示至烟气换热器。

f）条件适宜时，脱硫系统也可采用海水或氨法脱硫工艺。

E.2.2 可达到的性能指标

a）湿法脱硫系统出口颗粒物排放浓度可达 10 mg/m^3 以下，综合除尘效率不小于 70%。

b）SO_2 排放浓度不高于 35 mg/m^3。

c）NO_X 排放浓度不高于 50 mg/m^3。

E.2.3 适用条件

a）不易受煤质、负荷波动等因素影响，除尘器出口烟尘浓度能稳定达到 30 mg/m^3 以下。

b）没有颗粒物排放远小于 10 mg/m^3 的环保需求。

c）注重技术经济性的，特别适于场地空间条件较紧张的。

E.3 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超低排放技术路线

E.3.1 组成及总体要求

a）技术路线示例见图 E.3，采用超净电袋复合除尘器作为一次除尘、且不依赖湿式电除尘器等二次除尘。本示例主要包括煤粉锅炉（低氮燃烧）、SCR 脱硝系统、超净电袋复合除尘器、烟气冷却器、石灰石-石膏湿法脱硫系统、烟气换热器、烟囱。其中，烟气冷却器、

烟气换热器可选择安装。

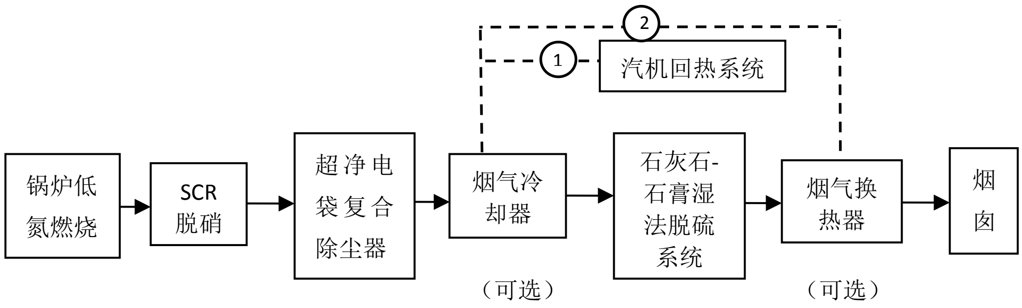

图 E.3 以超净电袋复合除尘器作为一次除尘且不依赖二次除尘的典型超低排放技术路线

b）超净电袋复合除尘器出口烟尘浓度宜不大于 10 mg/m^3，湿法脱硫系统出口颗粒物浓度应不大于 10 mg/m^3。

c）该技术路线各设施对烟气污染物协同治理的影响如表 E.3 所示。

表 E.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	超净电袋复合除尘器	石灰石-石膏湿法脱硫系统
颗粒物	o	o	√	●
SO_2	o	o	o	√
NO_X	√	√	o	o
SO_3	o	■	●	●
Hg	o	▲	●	●
注：√-直接作用，●-直接协同作用，▲-间接协同作用，o-基本无作用或无作用，■-负作用				

d）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）当不设置烟气换热器时，烟气冷却器处的换热量按上图①所示回收至汽机回热系统；当设置烟气换热器时，烟气冷却器处的换热量按上图②所示至烟气换热器。

f）条件适宜时，脱硫系统也可采用海水或氨法脱硫工艺，超净电袋复合除尘器也可为袋式除尘器。

E.3.2 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 10 mg/m^3 以下。

b）SO_2 排放浓度不高于 35 mg/m^3。

c）NO_X 排放浓度不高于 50 mg/m^3。

E.3.3 适用条件

a）煤质、烟气工况适应性好，特别适合灰分较大、收尘特性较难的煤种。

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。

E.4　以高效烟气循环流化床作为炉后脱硫工艺的循环流化床锅炉典型超低排放技术路线

E.4.1　组成及总体要求

a）技术路线示例见图 E.4，主要包括循环流化床锅炉（炉内脱硫）、SNCR 脱硝系统、高效烟气循环流化床脱硫吸收塔、除尘器、烟囱。

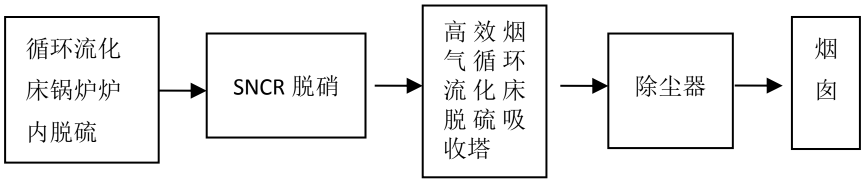

图 E.4 以高效烟气循环流化床作为炉后脱硫工艺的循环流化床锅炉典型超低排放技术路线

b）循环流化床锅炉宜在炉内喷钙脱硫，部分脱硫时锅炉出口 SO_2 浓度宜不大于 1500 mg/m^3，除尘器出口 SO_2 浓度应不大于 35 mg/m^3。

c）除尘器宜采用袋式除尘器，出口颗粒物浓度应不大于 10 mg/m^3。

d）脱硝工艺应结合工程具体情况确定（SNCR 脱硝或 SNCR/SCR 联合脱硝）。

e）该技术路线各设施对烟气污染物协同治理的影响如表 E.4 所示。

表 E.4 各设施与烟气污染物协同治理的关系

污染物	低氮燃烧	炉内脱硫	SNCR 脱硝或 SNCR/SCR 联合脱硝	高效烟气循环流化床脱硫吸收塔	袋式除尘器
颗粒物	o	■	o	■	√
SO_2	o	√	o	√	o
NO_X	√	o	√	o	o
SO_3	o	●	o（SNCR） ■（SNCR/SCR）	●	●
Hg	o	●	o（SNCR） ▲（SNCR/SCR）	●	●
注：√-直接作用，●-直接协同作用，▲-间接协同作用，o-基本无作用或无作用，■-负作用					

E.4.2　可达到的性能指标

a）除尘器出口颗粒物排放浓度可达 10 mg/m^3 以下。

b）除尘器出口 SO_2 排放浓度可达 35 mg/m^3 以下。

c）NO_X 排放浓度不高于 50 mg/m^3。

E.4.3　适用条件

a）设有炉内脱硫的循环流化床锅炉。

b）脱硫副产品综合利用较好的地区，特别适合缺水地区。

c）注重技术经济性的，特别适于场地空间较紧张的。

附录 F
（资料性附录）
燃煤电厂烟气灰硫比估算方法

F.1 燃煤电厂除尘系统前烟气灰硫比的估算按公式（F.1）进行，SO_3浓度的估算按式 F.2 进行。

$$C_{D/S}=\frac{C_D}{C_{SO_3}} \quad \text{（F.1）}$$

$$C_{SO_3}=\frac{M_{2(SO_3)}\times 10^9}{Q} \quad \text{（F.2）}$$

式中：

$C_{D/S}$— 灰硫比值；

C_D— 除尘系统入口粉尘浓度，mg/m^3；

C_{SO3}— 除尘系统入口 SO_3浓度，mg/m^3；

$M_{2（SO3）}$— 除尘系统入口 SO_3量，t/h；

Q — 除尘系统入口烟气流量，m^3/h。

注：烟气中的 SO_3浓度数据宜由锅炉制造厂、脱硝供货商提供或测试得到，当缺乏制造厂提供的数据且没有测试数据时，SO_3浓度可按公式（F.2）及公式（B.2）进行估算。

附录 G
（资料性附录）
典型石灰石-石膏湿法脱硫超低排放技术主要工艺流程

G.1 pH 值物理分区双循环技术

典型石灰石-石膏湿法 pH 值物理分区双循环脱硫主要工艺流程见图 G.1。

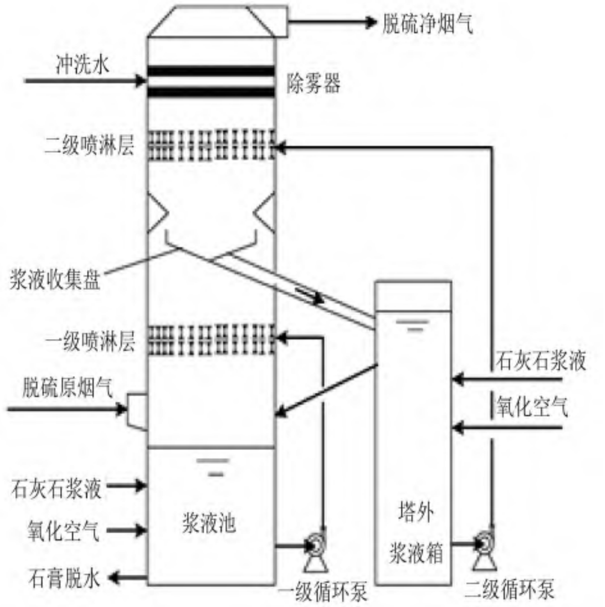

图 G.1 典型石灰石-石膏湿法 pH 值物理分区双循环脱硫工艺流程

石灰石-石膏湿法单塔双循环工艺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。

G.2 pH 值自然分区技术

典型石灰石-石膏湿法 pH 值自然分区脱硫主要工艺流程见图 G.2。

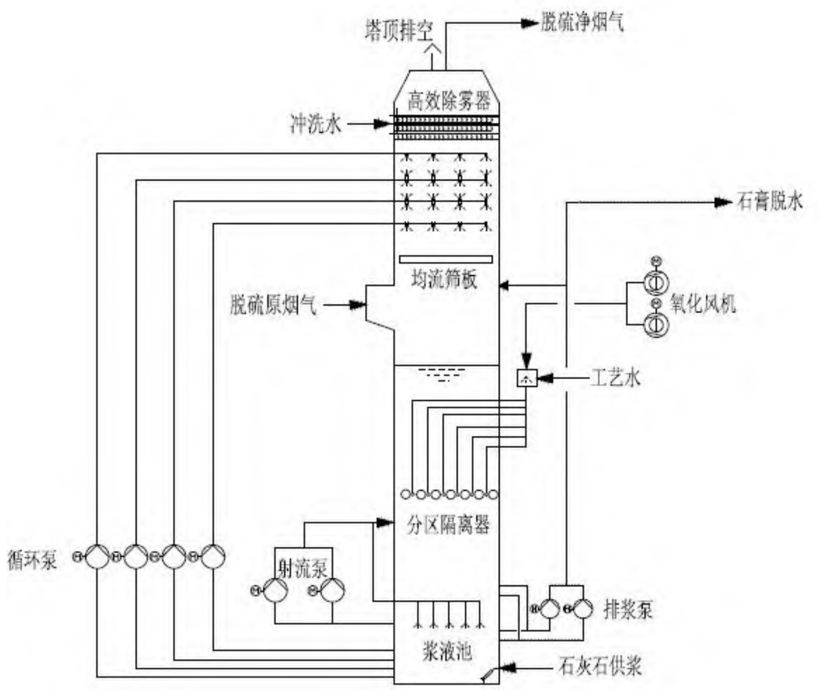

图 G.2 典型石灰石-石膏湿法脱硫 pH 值自然分区脱硫工艺流程

石灰石-石膏湿法单塔双区工艺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 5.5~6.2。喷淋区加装提效环、均流筛板以强化气液传质及烟气均布。

G.3 pH 值物理分区技术

典型石灰石-石膏湿法 pH 值物理分区脱硫主要工艺流程见图 G.3。

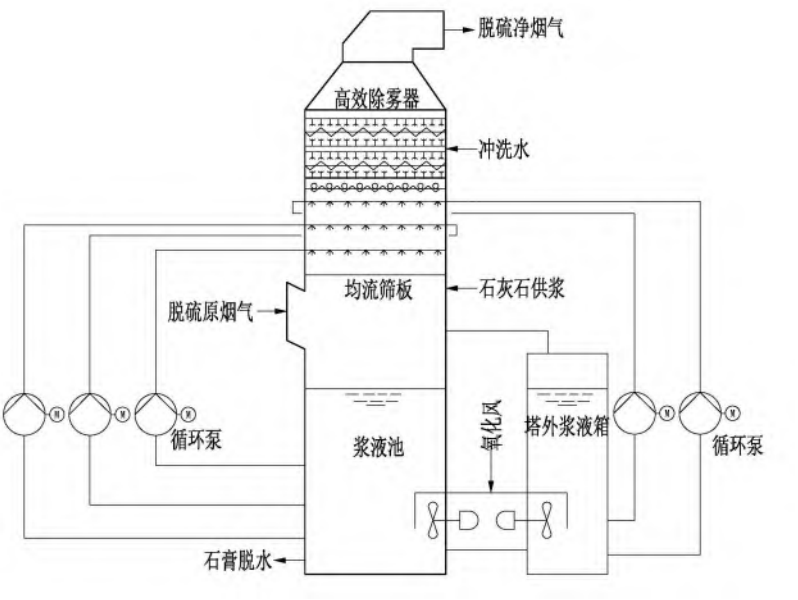

图 G.3 典型 pH 值物理分区脱硫工艺流程

石灰石-石膏湿法塔外浆液箱pH值分区工艺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。

G.4　湍流器持液技术

典型石灰石-石膏湿法湍流器持液脱硫主要工艺流程见图 G.4。

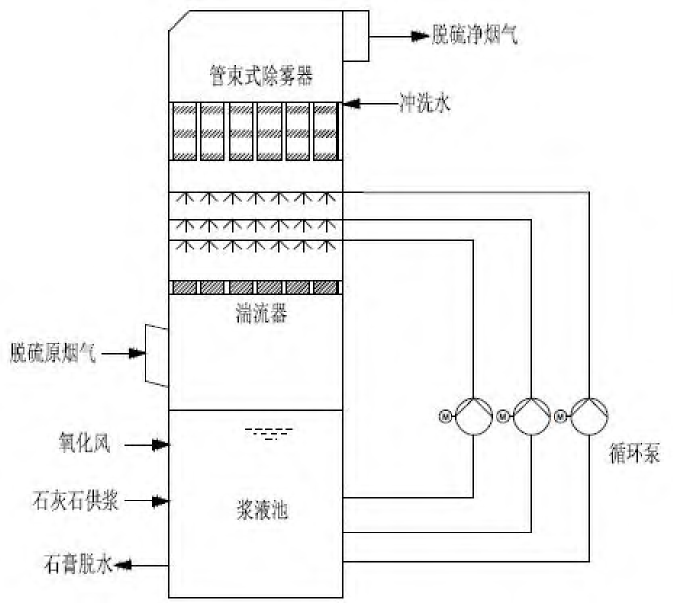

图 G.4 典型石灰石-石膏湿法湍流器持液脱硫工艺流程

石灰石-石膏湿法旋汇耦合工艺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SO_2脱除，吸收塔顶部采用管束式除雾器。

G.5　均流筛板持液技术

典型均流筛板持液脱硫主要工艺流程见图 G.5。

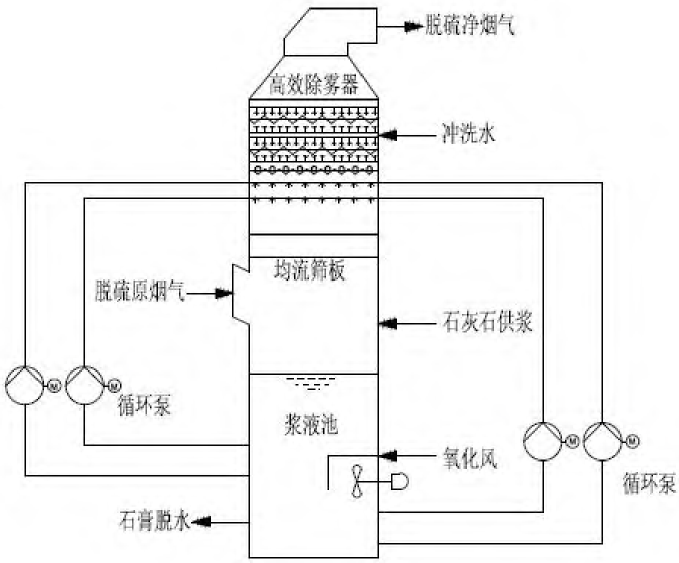

图 G.5 典型石灰石-石膏湿法均流筛板持液脱硫工艺流程

石灰石-石膏湿法双托盘工艺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。