



















$C_{d1}$ ——脱硫除尘一体化设备进口烟气中颗粒物的浓度，单位为毫克每立方米（ $\text{mg}/\text{m}^3$ ）；

$C_{d2}$ ——脱硫除尘一体化设备出口烟气中颗粒物的浓度，单位为毫克每立方米（ $\text{mg}/\text{m}^3$ ）。

### 3.4

#### 气液强化传质装置 **gas-liquid mass transfer enhancement device**

延长气液接触时间、均匀塔内烟气流场及强化气液两相传质的装置。

注：一般加装在脱硫除尘一体化设备进口和上部喷淋层之间以及喷淋层之间。

### 3.5

#### 雾滴浓度 **dripping content**

脱硫除尘一体化设备中除雾器出口烟气所携带的大于一定粒径的浆液滴的质量浓度。

注：单位为毫克每立方米（ $\text{mg}/\text{m}^3$ ）。

### 3.6

#### 设备压力降 **device pressure loss**

脱硫除尘一体化设备进口断面和出口断面烟气平均全压之差。

注：单位为帕[斯卡]（Pa）。

### 3.7

#### 设备可用率 **device availability**

脱硫除尘一体化设备每年正常运行时间与主体工程每年总运行时间的百分比。

按下式计算。

$$Y = \frac{A-B}{A} \times 100$$

式中：

$Y$ ——设备可用率，%；

$A$ ——主体工程每年实际运行的总时间，单位为小时（h）；

$B$ ——脱硫除尘一体化设备每年因自身故障导致的停运时间，单位为小时（h）。

## 4 技术要求

### 4.1 总体要求

4.1.1 脱硫除尘一体化设备应符合本文件的要求，并按照经规定程序批准的图样及技术文件制造。

4.1.2 脱硫除尘一体化设备应设置必要的检修平台、楼梯，钢制平台、扶梯和栏杆等，并应符合 GB 4053（所有部分）的规定。

4.1.3 脱硫除尘一体化设备应设置热工检测仪表，采用集中监控方式，实现设备的启停、运行工况的监视与调整，联锁保护满足设计要求。脱硫除尘一体化设备电气系统和热工自动化系统的设计应符合 GB/T 19229.1、HJ 2046 的规定。

4.1.4 脱硫除尘一体化设备设计寿命不应低于主体工程设计寿命，应能在主体工程正常工况条件下连续、稳定和安全运行。

4.1.5 脱硫除尘一体化设备由吸收塔体、浆液（溶液）池、喷淋设备、循环泵、除雾器和氧化设备等组合构成，并可根据实际应用需求配置气液强化传质装置、分区装置、文丘里洗涤装置等。典型脱硫除

尘一体化设备工艺流程见附录 A。

4.1.6 钢制吸收塔体的设计应符合 NB/T 47041 和 HG 20652 的规定，玻璃纤维增强塑料材质吸收塔体的设计应符合 HG/T 20696 的规定。

4.1.7 吸收塔体的数量应根据进塔烟气量、进口烟气  $\text{SO}_2$  浓度<sup>1)</sup>和排放限值要求确定。

4.1.8 需要回收脱硫副产物时，应设置氧化设备。氧化风管布置应保证氧化空气均匀分布，可采用喷枪式或管网式氧化风管，氧化风管设计应符合 JB/T 11264 的规定。氧化风机可采用罗茨风机或离心风机。

4.1.9 吸收塔浆液池应采用侧进式搅拌器或悬浮脉冲扰动系统。侧进式搅拌器应符合 JB/T 10983 的规定。

4.1.10 脱硫除尘一体化设备的负荷变化速率应与主体工程负荷变化速率相适应，脱硫除尘一体化设备可用率不应小于 98%。

4.1.11 脱硫除尘一体化设备进口烟气颗粒物浓度不宜大于  $30 \text{ mg/m}^3$ 。当脱硫除尘一体化设备出口要求烟气颗粒物浓度不大于  $10 \text{ mg/m}^3$  时，进口烟气颗粒物浓度不宜大于  $20 \text{ mg/m}^3$ 。

4.1.12 海水法脱硫工艺的脱硫除尘一体化设备进口烟气  $\text{SO}_2$  浓度不应大于  $2000 \text{ mg/m}^3$ 。

## 4.2 工艺要求

### 4.2.1 石灰石/石灰—石膏湿法脱硫工艺

4.2.1.1 吸收塔体可采用喷淋塔、鼓泡塔等塔型，一般采用喷淋塔。

4.2.1.2 吸收塔喷淋区空塔工况烟气流速应取  $3.5 \text{ m/s} \sim 4.0 \text{ m/s}$ ，钙硫摩尔比不应大于 1.03。

4.2.1.3 吸收塔相邻两层喷淋主管应错开布置，每层喷淋层喷淋覆盖率应大于 250 %。喷淋层喷嘴布置应尽量减少对吸收塔塔壁和支撑梁的冲刷，每个喷嘴进口压力应均匀。吸收塔浆液池循环泵进口应设置滤网。喷淋管设计应符合 JB/T 10991 的规定，浆液喷嘴设计应符合 JB/T 10964 的规定。

4.2.1.4 采用石灰石或石灰为吸收剂时，吸收塔浆液的运行 pH 值取值见附录 B。

4.2.1.5 除雾器应根据颗粒物排放浓度设计要求选择，可采用屋脊式、平板式等除雾器，除雾器配置方案见附录 C。除雾器设计应符合 JB/T 10989 的规定。

4.2.1.6 脱硫烟气经除雾器处理后，烟气携带雾滴浓度不应大于  $50 \text{ mg/m}^3$ 。当要求吸收塔出口颗粒物浓度不大于  $10 \text{ mg/m}^3$  时，脱硫烟气经除雾器处理后，烟气携带雾滴浓度不应大于  $25 \text{ mg/m}^3$ 。

### 4.2.2 氨法脱硫工艺

4.2.2.1 吸收塔可采用喷淋塔、填料塔等塔型，一般采用多段分区喷淋塔。

4.2.2.2 吸收塔喷淋区空塔工况烟气流速不应大于  $3.5 \text{ m/s}$ ，氨硫摩尔比应取 2.02~2.10。

4.2.2.3 应合理设置吸收塔内部结构、液气比及喷淋层以保证吸收液与烟气充分接触，在保证脱硫效率的同时控制氨逃逸浓度不大于  $3 \text{ mg/m}^3$ 。

4.2.2.4 采用液氨、氨水和副产氨水等氨基物质为吸收剂时，吸收塔浆液（溶液）的运行 pH 值应取 4.5~6.5。

4.2.2.5 应采用水洗、除雾或水洗和除雾组合工艺实现颗粒物的有效控制。除雾器选择应符合 4.2.1.5

<sup>1)</sup> 本文件中所涉及的  $\text{SO}_2$  浓度、颗粒物浓度、雾滴浓度、氨逃逸浓度、烟气量等均指标准状态下干烟气，并折算到对应行业规定的基准氧含量时的数值。

的规定。脱硫烟气经除雾器处理后，烟气携带雾滴浓度不应大于  $50 \text{ mg/m}^3$ 。当要求吸收塔出口颗粒物浓度不大于  $10 \text{ mg/m}^3$  时，脱硫烟气经除雾器处理后，烟气携带雾滴浓度不应大于  $20 \text{ mg/m}^3$ 。

#### 4.2.3 镁法脱硫工艺

4.2.3.1 吸收塔体主要采用喷淋塔，吸收塔喷淋区空塔工况烟气流速应取  $2.5 \text{ m/s} \sim 4.0 \text{ m/s}$ ，吸收塔浆液的运行 pH 值应取  $5.0 \sim 7.0$ ，镁硫摩尔比不应大于 1.03，液气比应大于  $5.0 \text{ L/m}^3$ 。

4.2.3.2 除雾器选择应符合 4.2.1.5 的规定。脱硫烟气经除雾器处理后，烟气携带雾滴浓度不应大于  $50 \text{ mg/m}^3$ 。当要求吸收塔出口颗粒物浓度不大于  $10 \text{ mg/m}^3$  时，脱硫烟气经除雾器处理后，烟气携带雾滴浓度不应大于  $25 \text{ mg/m}^3$ 。

#### 4.2.4 钠碱法脱硫工艺

4.2.4.1 吸收塔体可采用喷淋塔和填料塔等塔型。

4.2.4.2 吸收塔喷淋区空塔工况烟气流速应控制在  $1.5 \text{ m/s} \sim 3.5 \text{ m/s}$ ，填料塔工况烟气流速应取  $0.8 \text{ m/s} \sim 2.5 \text{ m/s}$ 。钠硫摩尔比不应大于 2.01，液气比应大于  $4 \text{ L/m}^3$ 。

4.2.4.3 不回收脱硫副产物亚硫酸钠时，吸收塔浆液（溶液）的运行 pH 值应取  $5.5 \sim 6.5$ 。回收脱硫副产物亚硫酸钠时，吸收塔浆液（溶液）的运行 pH 值应大于 7.0。

4.2.4.4 除雾器选择应符合 4.2.1.5 的规定。脱硫烟气经除雾器处理后，烟气携带雾滴浓度不应大于  $50 \text{ mg/m}^3$ 。当要求吸收塔出口颗粒物浓度不大于  $10 \text{ mg/m}^3$  时，脱硫烟气经除雾器处理后，烟气携带雾滴浓度不应大于  $20 \text{ mg/m}^3$ 。

#### 4.2.5 海水法脱硫工艺

4.2.5.1 吸收塔体可采用喷淋塔和填料塔等塔型。

4.2.5.2 吸收塔喷淋区空塔工况烟气流速应取  $3 \text{ m/s} \sim 4 \text{ m/s}$ ，液气比的选择应综合考虑进口烟气条件、脱硫效率和喷淋覆盖率等因素，不宜小于  $10 \text{ L/m}^3$ 。填料塔工况烟气流速应取  $2 \text{ m/s} \sim 2.5 \text{ m/s}$ ，液气比不应小于  $6 \text{ L/m}^3$ 。

4.2.5.3 不同吸收塔塔型其喷淋层或填料层的配置层数应根据脱硫烟气量、进口烟气  $\text{SO}_2$  浓度、脱硫效率、海水水质及温度、季节变化和技术特点等因素设置。采用喷淋塔时，喷淋层不应少于 3 层，层间距不应小于  $1.8 \text{ m}$ ；采用填料塔时，填料层至少设置 1 层。

4.2.5.4 吸收剂海水总碱度不宜小于  $2.0 \text{ mmol/L}$ 。

4.2.5.5 除雾器选择应符合 4.2.1.5 的规定。脱硫烟气经除雾器处理后，吸收塔出口烟气携带雾滴浓度不应大于  $75 \text{ mg/m}^3$ 。当要求吸收塔出口颗粒物浓度不大于  $10 \text{ mg/m}^3$  时，脱硫烟气经除雾器处理后，烟气携带雾滴浓度不应大于  $25 \text{ mg/m}^3$ 。

### 4.3 性能要求

#### 4.3.1 考核性能要求

在设计工况条件下，吸收塔出口烟气  $\text{SO}_2$  浓度应符合国家和地方环保的要求，用户另有要求时，应满足设计要求。吸收塔出口烟尘或颗粒物浓度、雾滴浓度、脱硫效率和除尘效率应满足设计要求。

#### 4.3.2 其他性能要求

吸收塔出口氨逃逸浓度和设备压力降等应满足设计要求。

### 4.4 材料要求

脱硫除尘一体化设备材料的选择应满足脱硫工艺要求，针对不同设备不同部位的腐蚀及磨损情况，选用不同种类的金属或非金属材料，材料的选择应符合 GB/T 19229.1、HJ 2046 的规定。

#### 4.5 调试验收要求

4.5.1 脱硫除尘一体化设备钢结构在建设工地焊接安装完毕后，应按 GB 50128、GB 50205、GB 50236、DL/T 5418、JB/T 12537 和 NB/T 47003.1 进行验收。

4.5.2 吸收塔整体安装完毕后，应在防腐施工前进行充水试验和基础沉降观测，充水高度不应低于设计液位的高度。充水试验和基础沉降观测应符合 DL/T 5418 的规定。

4.5.3 脱硫除尘一体化设备的现场焊接应符合 GB 50236 的规定。

4.5.4 脱硫除尘一体化设备防腐应符合 GB 50727 的规定。

4.5.5 工程安装、施工结束后应进行调试前的分步试验验收，验收应合格。验收应符合 GB 50895 的规定。

4.5.6 脱硫除尘一体化设备的调试应符合 DL/T 5403 的规定。

4.5.7 脱硫除尘一体化设备应通过 168 h 运行，运行期间各子系统应运转正常，性能指标应达到 4.3 的要求。

### 5 试验方法

#### 5.1 材料检验

脱硫除尘一体化设备所用钢材应符合 GB/T 699、GB/T 700、GB/T 1591 和 GB/T 3077 的规定，其尺寸、外形、重量及允许偏差应符合 GB/T 709 的规定。所用非金属材料应符合 GB/T 19229.1 的规定。

#### 5.2 焊接质量检验

钢结构等焊缝质量检验应符合 GB 50205、GB 50236 和 JB/T 12537 的规定，焊缝气密性可用煤油渗透法检验，被检验密封性焊缝应按 100% 检验。

#### 5.3 吸收塔防腐检验

吸收塔玻璃鳞片衬里防腐检验应符合 HG/T 2640 的规定，其他设备、管道防腐检验应符合 HG/T 20229 的规定。

#### 5.4 充水检验和基础沉降观测

充水试验和基础沉降观测应符合 DL/T 5418 的规定。

#### 5.5 性能测试

##### 5.5.1 性能测试条件

性能测试宜在移交试生产 2 个月后、6 个月内进行，应选择有资质的测试单位进行性能试验。

##### 5.5.2 考核性能测试

性能测试试验方法应按 GB/T 21508 执行。测试项目至少包括：出口烟气 SO<sub>2</sub> 浓度、出口烟尘或颗粒物浓度、雾滴浓度和设备压力降，其中氨法脱硫工艺的脱硫除尘一体化设备性能验收项目还应包括氨逃逸浓度。

### 6 检验规则

## 6.1 检验分类

脱硫除尘一体化设备的检验分为出厂检验、安装检验和性能检验。

## 6.2 出厂检验

6.2.1 所有零部件应经制造厂质量检验部门检验合格方可交付使用。

6.2.2 检验项目见表 1。

## 6.3 安装检验

安装检验在现场进行，检验项目见表 1。

## 6.4 性能检验

每台脱硫除尘一体化设备均应做性能检验，检验项目见表 1。

表 1 脱硫除尘一体化设备检验项目及要

序号	项目名称	“要求” 的章条号	“试验方法” 的章条号	出厂 检验	安装 检验	性能 检验
1	材料	4.2	5.1	√	√	—
2	焊接质量	4.6.3	5.2	√	√	—
3	焊缝气密性	4.6.3	5.2	√	√	—
4	吸收塔防腐	4.6.4	5.3	√	√	—
5	充水试验 <sup>a</sup>	4.6.2	5.4	—	√	—
6	基础沉降观测 <sup>a</sup>	4.6.2	5.4	—	√	—
7	出口烟气 SO <sub>2</sub> 浓度	4.4	5.5	—	—	√
8	出口烟尘或颗粒物浓度	4.4	5.5	—	—	√
9	雾滴浓度	4.4	5.5	—	—	√
10	设备压力降	4.4	5.5	—	—	√
11	氨逃逸浓度	4.4	5.5	—	—	√

注：打“√”表示要检验的项目，打“—”表示不需要检验的项目。

<sup>a</sup>表示该项目为按需检验项目。

## 6.5 判定规则

性能检验项目符合要求，则脱硫除尘一体化设备判定为合格。若有不合格项时，可对其进行调整、消缺，重新做性能检验。

## 7 标牌、标志、包装、使用说明书、运输和贮存

### 7.1 标牌和标志

在合适而明显位置上固定产品标牌，其型式和尺寸应符合 GB/T 13306 的规定。在衬里设备外表面应标明严禁碰撞，严禁施焊等警告语句。主要包括以下内容：

- a) 制造单位名称；
- b) 工艺方式及塔型；

- c) 额定处理能力;
- d) 设计脱硫效率和除尘效率;
- e) 设计进口烟气 SO<sub>2</sub> 浓度和颗粒物浓度;
- f) 执行的标准编号;
- g) 产品编号。

## 7.2 包装

脱硫除尘一体化设备的包装应满足以下要求:

- a) 脱硫除尘一体化设备包装应保证在正常运输条件下不致因包装不善而损坏, 并符合 GB/T 13384 的规定;
- b) 应包括收发货标志、包装储运图示标志, 并符合 GB/T 191 和 GB/T 6388 的规定。

## 7.3 使用说明书

使用说明书的编写应符合 GB/T 9969 的要求, 主要包括以下内容:

- a) 设备总清单;
- b) 设备总图、基础图、管路图及安装图;
- c) 产品合格证;
- d) 包装清单及备品备件清单;
- e) 上述图样及技术文件清单。

## 7.4 运输和贮存

运输和贮存主要包括以下内容:

- a) 运输时应应对脱硫除尘一体化设备的接管法兰表面加以保护, 采用合理装载加固措施;
- b) 衬里的脱硫除尘一体化设备要轻装轻放, 防止剧烈震动和机械损伤;
- c) 脱硫除尘一体化设备本体可露天贮存, 电子设备及保温材料等不应露天贮存, 设备配件应装箱库存。

附录 A  
(资料性)

典型脱硫除尘一体化设备工艺流程

A.1 脱硫除尘一体化设备（配置气液强化传质装置）

在喷淋塔内设置筛板/托盘、湍流管栅/湍流器等气液强化传质装置，使塔内烟气与脱硫吸收剂充分接触，加强气-液-固三相物理化学反应，强化气液传质效果，提高脱硫性能。同时，根据雾滴携带要求，合理配置除雾器，提高颗粒物脱除性能。配置气液强化传质装置的典型脱硫除尘一体化设备工艺流程见图 A.1、图 A.2。

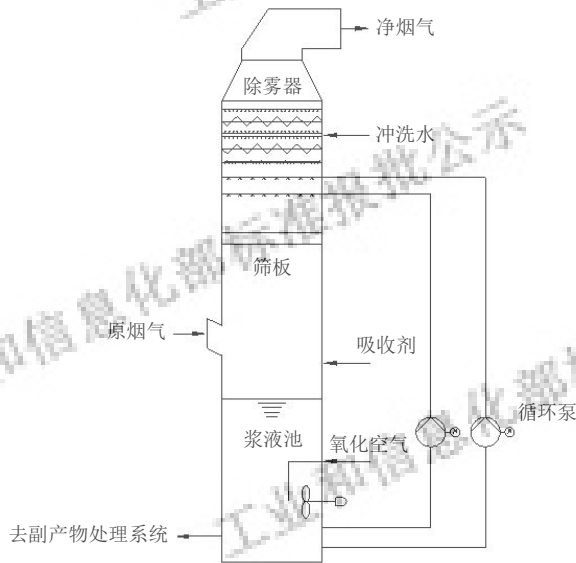


图 A.1 典型脱硫除尘一体化设备工艺流程（配置筛板）

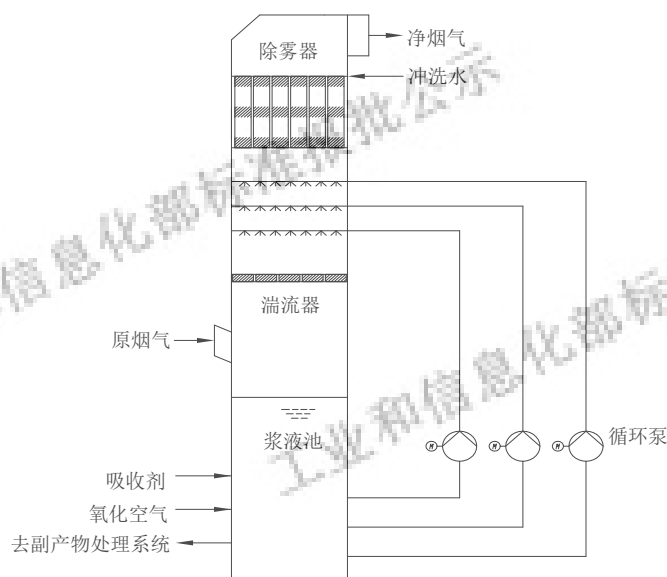


图 A.2 典型脱硫除尘一体化设备工艺流程（配置湍流器）

## A.2 脱硫除尘一体化设备（pH 值分区）

### A.2.1 配置塔外浆液箱、塔内浆液收集盘的脱硫除尘一体化设备工艺流程

塔外浆液箱和塔内浆液收集盘分区技术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 分别控制。一、二级循环间加装烟气导流锥提高气流均布。配置塔外浆液箱、塔内浆液收集盘和除雾器的典型脱硫除尘一体化设备工艺流程见图 A.3。

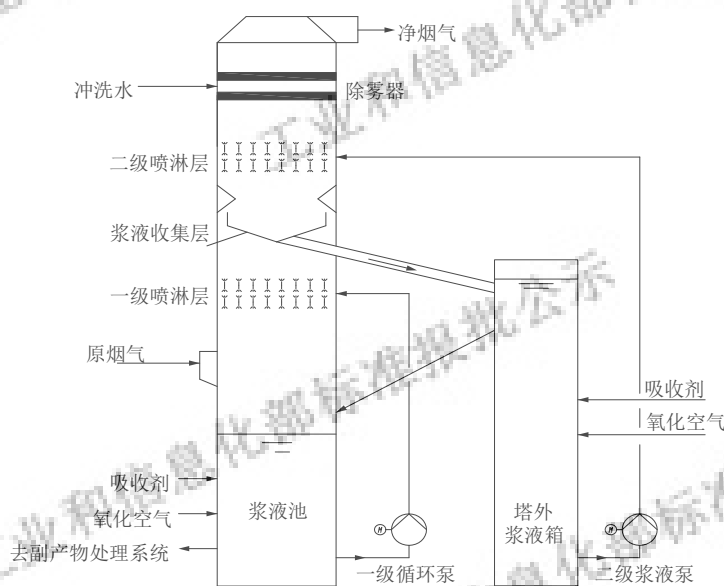


图 A.3 典型脱硫除尘一体化设备工艺流程（配置塔外浆液箱、塔内浆液收集盘）

### A.2.2 配置分区装置的脱硫除尘一体化设备工艺流程

分区装置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。喷淋区加装提效环、筛板以强化气液传质及烟气均布。配置分区装置和除雾器的典型脱硫除尘一体化设备工艺流程见图 A.4。

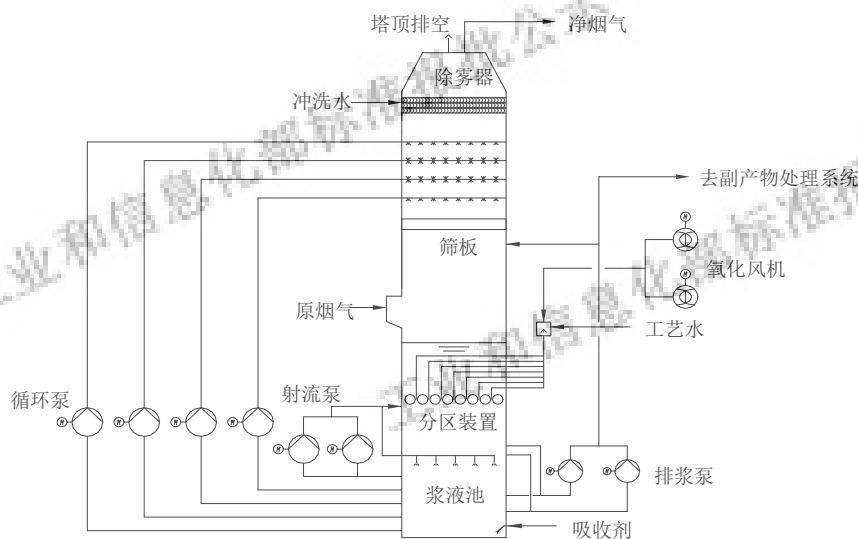


图 A.4 典型脱硫除尘一体化设备工艺流程（配置分区装置）



A. 2.3 配置塔外浆液箱的脱硫除尘一体化设备工艺流程

塔外浆液箱分区技术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。喷淋区加装筛板以强化气液传质及烟气均布。配置塔外浆液箱和除雾器的典型脱硫除尘一体化设备工艺流程见图 A.5。

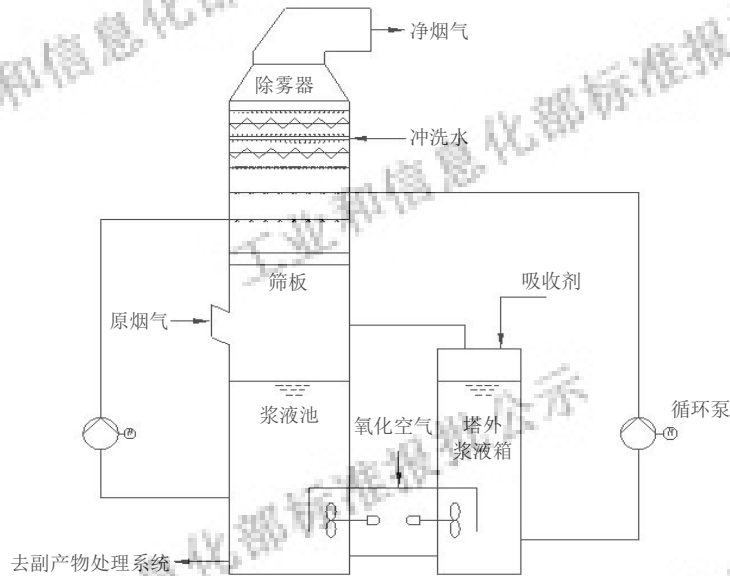


图 A.5 典型脱硫除尘一体化设备工艺流程（配置塔外浆液箱）

A. 3 脱硫除尘一体化设备（配置文丘里洗涤装置）

在吸收塔进口设有文丘里洗涤装置，实现对吸收塔进口烟气中二氧化硫和颗粒物的预脱除，并在吸收塔内设有托盘/筛板等强化传质装置和除雾器，强化吸收塔内二氧化硫和颗粒物的一体化脱除。配置文丘里洗涤装置和除雾器的典型脱硫除尘一体化设备工艺流程见图 A.6。

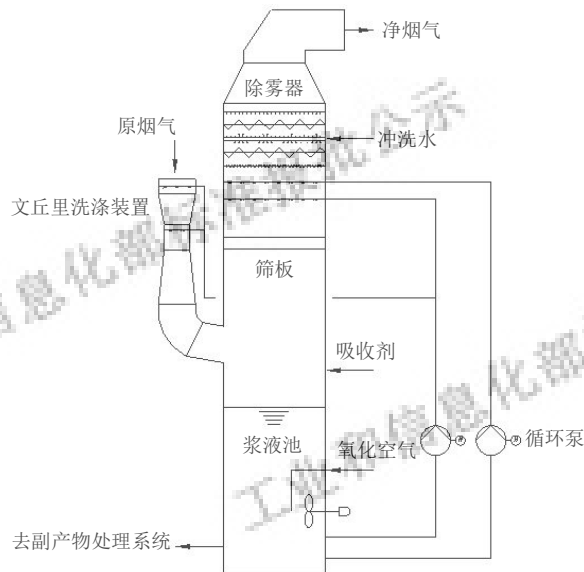


图 A.6 典型脱硫除尘一体化设备工艺流程（配置文丘里洗涤装置）

## 附录 B

(资料性)

## 石灰石/石灰-石膏湿法脱硫工艺吸收塔浆液运行 pH 值

## B.1 石灰石-石膏湿法工艺

采用石灰石为吸收剂时，吸收塔浆液的运行 pH 推荐值见表 B.1。

表 B.1 吸收剂浆液 pH 值

喷淋吸收塔体数量及结构		浆液位置	浆液 pH 值		
单塔	喷淋空塔		吸收塔浆液池	5.2~5.8	
	强化传质吸收塔	托盘、筛板、湍流管栅、湍流器等			
	pH 值分区吸收塔	塔外浆液箱+浆液收集盘		吸收塔浆液池	4.8~5.3
		分区装置		塔外浆液箱	5.8~6.2
				装置上部	4.5~5.3
		塔外浆液箱		装置下部	5.5~6.4
				吸收塔浆液池	5.2~5.8
		双塔		塔外浆液箱	5.6~6.2
一级吸收塔浆液池	4.8~5.3				
		二级吸收塔浆液池	5.8~6.2		

## B.2 石灰-石膏湿法工艺

采用石灰作吸收剂时，吸收塔浆液的运行 pH 值宜控制在 5.2~6.2。

## 附录 C

(资料性)

## 不同雾滴浓度保证值的除雾器配置方案

为保证吸收塔出口烟气携带雾滴浓度符合设计要求，对应的除雾器配置推荐方案见表 C.1。

表 C.1 不同雾滴浓度保证值的除雾器配置方案

方案类型		雾滴浓度保证值 不应大于 (mg/m <sup>3</sup> )	除雾器结构形式及可选配置方案
单塔	第一类	75	两级平板式
			两级屋脊式
			两级烟道式
	第二类	50	两级屋脊式+一级管式
			两级烟道式
	第三类	20	三级屋脊式
			三级屋脊式+一级管式
三级烟道式			
双塔	第一类	50	主吸收塔：一级屋脊式 副吸收塔：二级屋脊式
			主吸收塔：一级屋脊式 副吸收塔：三级屋脊式
	第二类	20	主吸收塔：一级屋脊式 副吸收塔：三级屋脊式+二级管式
			主吸收塔：一级屋脊式 副吸收塔：三级屋脊式+二级管式
注：当脱硫烟气经除雾器处理后，烟气携带雾滴浓度保证值要求不应大于 25 mg/m <sup>3</sup> 时，可参照表中烟气携带雾滴浓度保证值不应大于 20 mg/m <sup>3</sup> 的除雾器结构形式及可选配置方案执行。			