

附件：

**《国家鼓励发展的重大环保技术装备目录  
(2020 年版)》供需对接指南之三  
脱硫技术装备典型案例**

## 目 录

案例一：天津水泥工业设计研究院有限公司水泥工业烟气石灰石-石膏湿法脱硫装备.....	1
案例二：西安西矿环保科技有限公司水泥窑尾烟气高效脱硫系统.....	4
案例三：湖北陆盛环保工程有限公司低浓度二氧化硫烟气一转两吸脱硫制酸装置.....	7
案例四：镇海石化工程股份有限公司硫磺回收装置钠法脱硫技术装备.....	10

## 案例一：

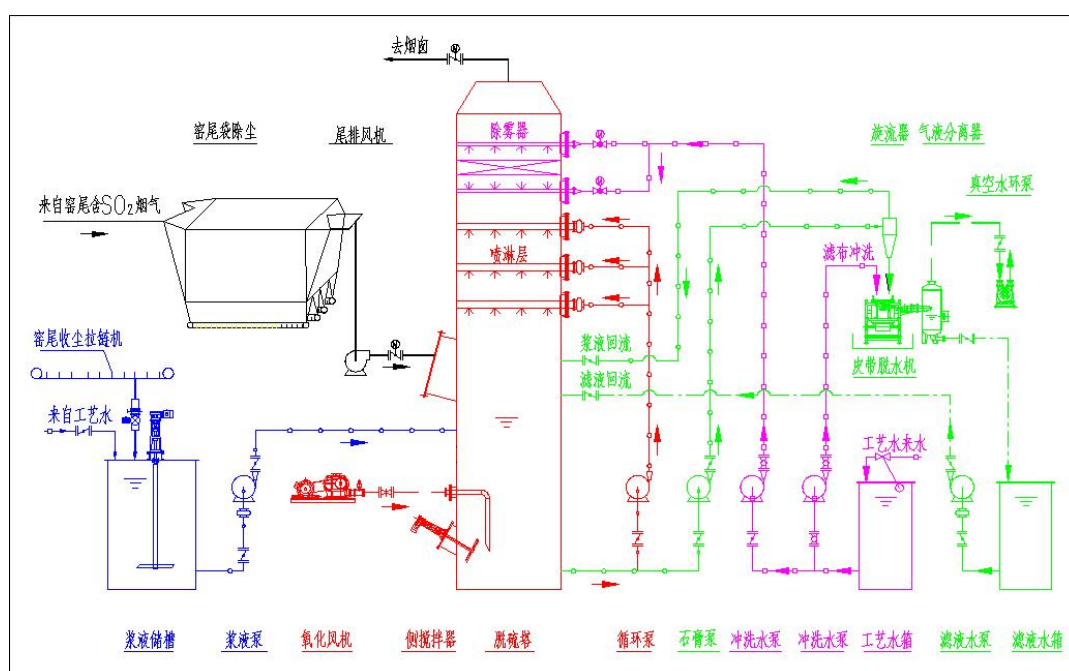
# 天津水泥工业设计研究院有限公司水泥工业烟气石灰石-石膏湿法脱硫装备

## 一、技术适用范围

水泥窑窑尾烟气处理。

## 二、技术原理及工艺

利用水泥窑尾回灰作为脱硫剂，可以灵活地从窑尾除尘器或余热发电回灰系统提取脱硫剂。窑尾尾排风机正压将窑尾烟气送入吸收塔，烟气与喷淋层喷出的石灰-石膏浆液逆向接触，吸收烟气中的  $\text{SO}_2$  生产亚硫酸钙浆液，通过鼓入空气，对落入吸收塔浆池的反应物进行强制氧化反应，使吸收塔浆池内的亚硫酸钙充分氧化为硫酸钙，得到脱硫副产品石膏。



技术路线图

### 三、技术指标

吨熟料烟气量：80Nm<sup>3</sup> ~ 120Nm<sup>3</sup>；进口 SO<sub>2</sub> 浓度 < 5000mg/Nm<sup>3</sup>；出口 SO<sub>2</sub> 浓度 ≤ 35mg/Nm<sup>3</sup>；出口含尘浓度 ≤ 5mg/Nm<sup>3</sup>；出口雾滴浓度 ≤ 20mg/Nm<sup>3</sup>。

### 四、技术特点及先进性

该装备获中国建材“中建材粉体杯”技术革新奖一等奖。

（一）采用自主研发的高效除雾器，避免石膏雨，可以实现超低排放。

（二）采用有效的气流均布装置，实现高效脱硫。为了避免烟气在脱硫塔内出现分风不均的现象，系统严格按照 CFD 分析结果配置进口导流、托盘装置及增效环等结构，充分保证了烟气在塔体内的均匀分布，增加了传质效率。

（三）合理布置喷淋层及喷头，提高喷淋覆盖率。水泥窑尾石灰石粉作为脱硫剂，杂质相对较多，为确保脱硫效率，该技术装备采用专有程序设计各喷淋层以及各层的喷头，确保塔体内的喷淋覆盖率和均匀性，并设计合理的喷淋覆盖率，提高脱硫效率。

（四）采用特制脱水皮带机和旋流器，有效改善石膏脱水性能。水泥窑尾脱硫剂会使石膏浆液存在大量的铁离子和铝离子，铁铝离子易与氯离子形成胶体化合物，胶体浓度越大粘性越大。这些粘性大、粒径小的胶体存在于石膏中，会影响石膏的脱水性能，较细颗粒的粉尘会堵塞滤布。该技术装备采用自主研发的脱水皮带机和特制滤布，确保颗粒不堵塞，有效提高石膏脱水能力，确保石膏含水率在 15% 以下。

## 五、应用案例

项目名称：槐坎南方水泥有限公司 3#生产线窑尾烟气脱硫工程

项目概况：项目以新型干法二代生产线的标准建设，位于湖州市长兴县槐坎乡，环保指标均达到国际领先水平。依据建材联合会第二代新型干法水泥技术装备验收最新相关技术标准，打造出的“集约、绿色、高端、智能”的现代化熟料生产基地。项目可实现窑尾废气排放  $\text{SO}_2 \leq 35\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，粉尘  $\leq 5\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，解决了高硫石灰石的硫排放问题，达到水泥窑烟气  $\text{SO}_2$ 、粉尘的超低排放指标。投资成本约 2000 万元人民币，脱硫塔入口  $\text{SO}_2$  浓度平均  $2000\text{mg}/\text{Nm}^3$  时，运行电耗  $\leq 2.0\text{kW} \cdot \text{h}/\text{t} \cdot \text{cl}$ 。

## 六、推广前景

随着石灰石地域的限制和品位的降低，石灰石中含硫量越来越高，水泥窑窑尾烟气中  $\text{SO}_2$  含量随之提高，而国家标准和地方标准  $\text{SO}_2$  排放限值越来越严格，所以先进的  $\text{SO}_2$  超低排放技术在水泥工业应用更加迫切。湿法脱硫产生的废水可以在篦冷机末段或者原料磨内完全消耗，产生的副产物石膏可以作为缓凝剂加入水泥磨内完全消耗，湿法脱硫的脱硫剂完全来自窑尾回灰，所以湿法脱硫装备在水泥工业内应用可实现“零外购”、“零排放”的状态，已成为水泥工业烟气超低排放技术的重要发展方向。

## 案例二：

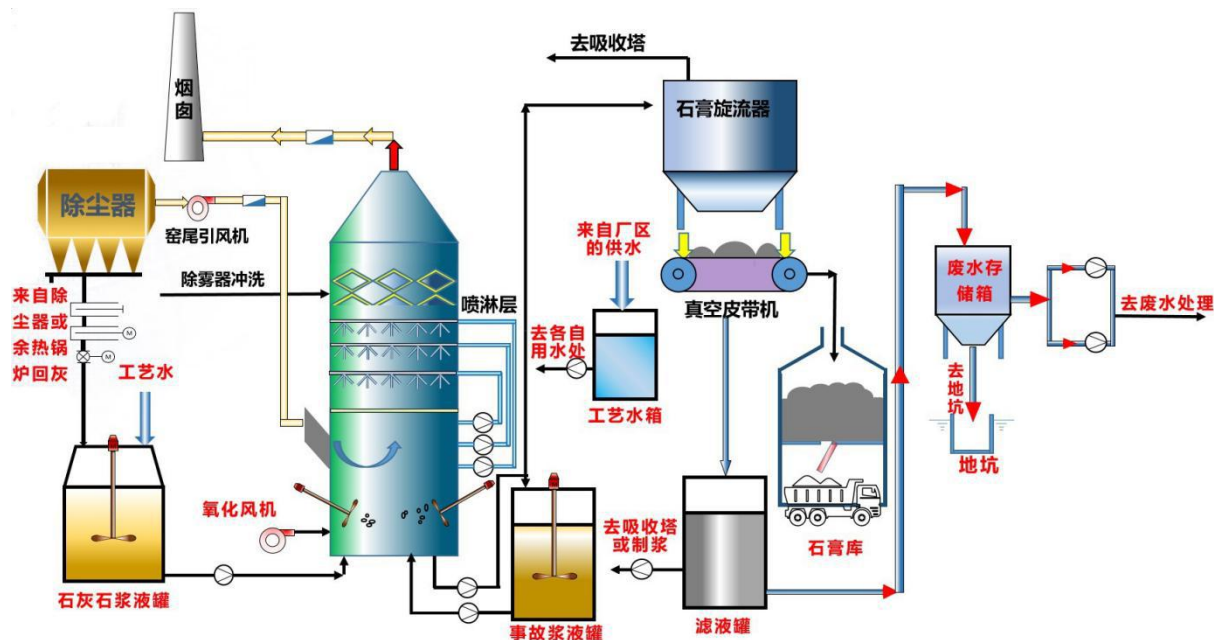
# 西安西矿环保科技有限公司水泥窑尾烟气高效脱硫系统

## 一、技术适用范围

适用于水泥行业、工业锅炉烟气处理。

## 二、技术原理及工艺

以双气旋气液耦合器和多级气旋高效除尘除雾器为核心，利用空气动力学原理，通过叶片，改变烟气在脱硫塔中运行路径，加强气液传质，达到分离并去除烟气中液滴、粉尘的目的，具有无额外能耗等优点。烟气在吸收塔内脱硫净化后，经除尘除雾装置除去水雾粉尘，后经烟囱达标排放。脱硫废水喷入篦冷机出口段蒸发处理。



工艺流程图

## 三、技术指标

进口参数： $\text{SO}_2$  浓度  $\leq 2500\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，粉尘浓度  $\leq 50\text{mg}/\text{Nm}^3$ ；

出口参数：SO<sub>2</sub>浓度 < 35mg/Nm<sup>3</sup>，粉尘浓度 < 10mg/Nm<sup>3</sup>；脱硫塔进出口压差：1000Pa。

#### 四、技术特点及先进性

（一）节约空间、投资少、改造工期短、运维简单、能耗低，适用于不同工况，系统运行稳定，系统可靠性高。

（二）用水泥生料作为脱硫剂，脱硫产物石膏可作为水泥调凝剂使用，物料循环利用。

（三）避免改造除尘器，节约投资成本。

（四）利用篦冷机的高温，将废水进行蒸发处理，不会产生废水排放。

#### 五、应用案例

项目名称：阳春海螺水泥有限责任公司 12000t/d 窑尾烟气石灰石-石膏湿法脱硫工程

项目概况：项目改造前水泥窑的二氧化硫排放浓度为 1000 ~ 1500mg/Nm<sup>3</sup>，高于 2015 年 7 月 1 日环保政策要求的 200mg/Nm<sup>3</sup>。项目改造投运后，经实际检测，SO<sub>2</sub>排放浓度为 31.2mg/Nm<sup>3</sup>；粉尘排放浓度为 4.5mg/Nm<sup>3</sup>；烟气雾滴含量 11.7mg/Nm<sup>3</sup>；石膏含水率 14%，均达到排放标准。SO<sub>2</sub>年排放总量减少 11216 吨，节约吸收剂费用约 1284 万元/年（一年 330 天，外购吸收剂 200 元/吨），节约购买石膏费用约 643 万元（一年 330 天，外购脱硫石膏 60 元/吨），具有十分明显的经济和社会效益。

#### 六、推广前景

按 100 条 5000t/d 的高硫排放的水泥窑生产线计算，脱

硫工程每年最大可减排  $\text{SO}_2$  约 89.4 万吨，粉尘可减排 1.8 万吨（一年运行 330 天），具有良好的经济社会效益。



### 案例三：

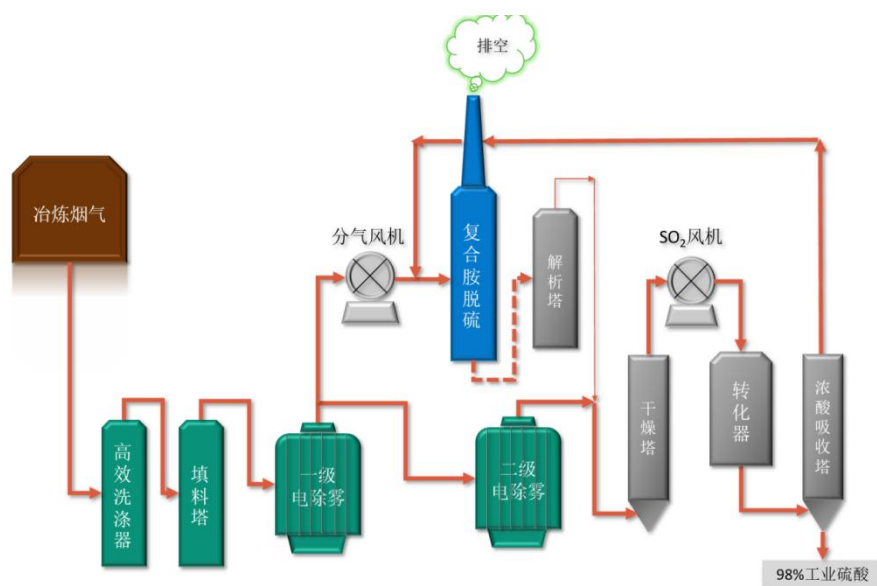
## 湖北陆盛环保工程有限公司低浓度二氧化硫烟气一转两吸脱硫制酸装置

### 一、技术适用范围

适用于有色冶炼、石化等行业烟气处理。

### 二、技术原理及工艺

采用一转两吸制酸技术，对低浓度  $\text{SO}_2$  冶炼烟气进行处理并制取 98% 浓硫酸或分析纯。具体工艺为：低浓度烟气经净化工段除尘除杂、降温除酸雾后，净烟气分为二路：一路净烟气进入一转一吸制酸系统，制取 98% 浓硫酸，制酸后的尾气引入到脱硫工段的脱硫塔；另一路净烟气直接分气到脱硫工段，采用复合胺  $\text{SO}_2$  捕集技术在吸收塔对  $\text{SO}_2$  进行吸收，达标排放（可达  $35\text{mg}/\text{m}^3$  以下）。



工艺流程图

### 三、技术指标

进口  $\text{SO}_2$  浓度：0.1% ~ 5%；副产品：98 酸、分析纯； $\text{SO}_2$  排放浓度  $< 35\text{mg}/\text{m}^3$ ；满足各个标准对  $\text{SO}_2$  尾排要求；分别满足工业酸国标 (GB/T 534-2014) 及分析纯国标 (GB/T 625-2007)。

### 四、技术特点及先进性

回收硫资源的同时使尾气中的  $\text{SO}_2$  达到超低排放标准，无大量废弃物，副产物产生，实现了经济收益有效循环。

### 五、应用案例

项目名称：浙江天能 30 万吨/年废铅酸蓄电池清洁化再生技术改造项目

项目概况：项目将来自冶炼系统的高温烟气（烟气气量  $18000\text{Nm}^3/\text{h}$ ， $\text{SO}_2$  含量 4.5%； $\text{SO}_3$  含量 0.275%； $\text{O}_2$  含量 17.2%； $\text{N}_2$  含量 64.555%； $\text{CO}_2$  含量 1.69%； $\text{H}_2\text{O}$  含量 12.28%。），依次通过净化工段后，使净烟气分为二路：一路净烟气进入一转一吸制酸系统，转化工段、干吸工段，干吸工段制取 98% 浓硫酸，制酸后的尾气引入到脱硫工段的脱硫塔；另一路净烟气直接分气到脱硫工段，采用复合胺  $\text{SO}_2$  捕集技术在吸收塔对  $\text{SO}_2$  进行吸收，经复合胺吸收脱硫系统后送业主烟囱排空，吸收  $\text{SO}_2$  的胺液经解析后得的解析气送入制酸干燥塔进口，混合原一路的净烟气后  $\text{SO}_2$  气浓可提升到 5% 以上，满足制酸的水平衡、热平衡的气浓要求。干吸工段生成的硫酸经蒸馏得分析纯。

冶炼烟气经该技术装备制酸脱硫装置后，不需要经过其

他碱法脱硫,减少碱法脱硫产生的石膏 59968t/a ( $100\%CaSO_4$ ) , 减少  $SO_2$  排放 28220t/a。

项目总投资 2330 万元,每生产 1t 硫酸需要成本 101.36 元。每年生产 43213t 硫酸,成本为 4380069 元。

## 六、推广前景

由于冶炼行业涉重金属,如果尾气采用石灰石膏法、双碱法脱硫等,脱硫副产物会被列为固废或危废,不可填埋处理。如果烟气中含硫量高,脱硫副产物的量是个严重负担。而采用我们的一转两吸制酸技术,没有废料产生,产的浓硫酸是个商品酸,可以外销。

## 案例四：

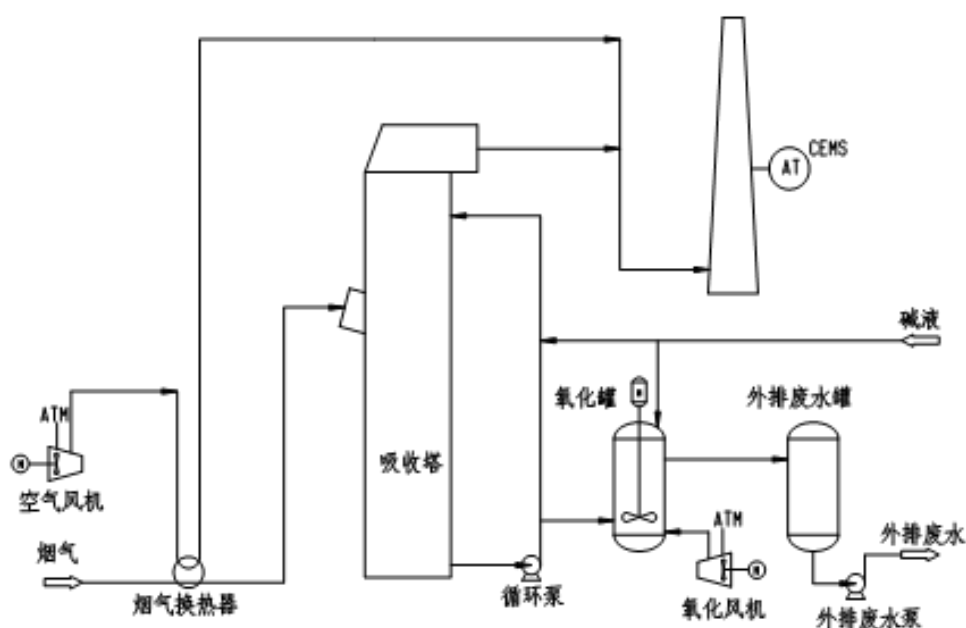
# 镇海石化工程股份有限公司硫磺回收装置钠法脱硫技术装备

## 一、技术适用范围

适用于石油炼制行业、煤化工行业的硫磺回收装置尾气处理。

## 二、技术原理及工艺

使热烟气与空气换热后进入脱硫塔，在塔内与吸收液逆向接触脱除  $\text{SO}_2$ ，净化后的烟气与热空气混合后经烟囱排放，以氢氧化钠（ $\text{NaOH}$ ）水溶液为脱硫剂，产生少量含  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  废水，脱硫废水经氧化稳定后外排。相较于氨法脱硫、钙法脱硫，该工艺脱硫率高、可靠性高、工艺流程简单，适合硫磺回收装置的烟气脱硫。



工艺流程图

### 三、技术指标

进口参数： $\text{SO}_2$  浓度： $400\text{mg}/\text{Nm}^3 \sim 960\text{mg}/\text{Nm}^3$ ；出口参数： $\text{SO}_2$  浓度  $\leq 10\text{mg}/\text{Nm}^3$ ；脱硫效率  $> 99.5\%$ ；运行时间  $\geq 8400\text{h}/\text{a}$ 。

### 四、技术特点及先进性

脱硫效率高，运行稳定，操作简洁，设备维护工作量小，可靠性高。硫磺回收装置烟气中的二氧化硫排放浓度不大于  $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，接近“零排放”，远优于现行的国家标准。

### 五、应用案例

项目名称：中国石油化工股份有限公司镇海炼化分公司硫磺回收装置尾气提标改造

项目概况：该炼化企业地处沿海重化工区，环境容量日趋紧张，其IV、V、VII硫磺回收装置硫磺加工规模24万吨/年，硫磺尾气总处理量： $121071\text{kg}/\text{h}$ ，现有三套硫磺装置改造投资分别为IV套硫磺2360万元，V套硫磺1935万元，VII套硫磺1960万元。建成投运后日常生产数据显示，排放烟气中 $\text{SO}_2$ 浓度在 $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以内，自2017年7月1日投运以来，未发生排放超标现象。按年运行小时数8400h测算，每年可减少二氧化硫排放472t，极大改善了当地空气质量。

### 六、推广前景

硫磺回收装置钠法脱硫技术主要应用于石油化工及煤化工企业硫磺回收装置烟气处理，目前已经有9家企业投用了13套该技术装备，烟气处理总量 $622446\text{kg}/\text{h}$ ，每年减排二氧化硫2419t，预计3年后在行业内普及率达到66%，改造所需总投入约4亿元，每年减排二氧化硫总量约8000t。