

# SO<sub>2</sub>深度协同控制技术研究

摆玉芬

天富环保科技有限公司 石河子 832000

**摘要:** 本文基于现有湿法脱硫工艺, 重点研究SO<sub>2</sub>深度协同控制技术, 在微观上研究了pH值、脱硫剂溶出速率、残余钙含量等因素对湿法脱硫效率的影响规律, 确定了脱硫浆液组分的控制工艺; 在宏观上研究了持液高度、持液量、喷嘴雾化压力、喷嘴覆盖率、烟气流速等设计参数对SO<sub>2</sub>深度协同效果的影响, 确定了湿法脱硫过程最佳设计及设备控制参数。

**关键词:** 湿法脱硫; 工艺参数优化; 协同控制; 影响

## Research on SO<sub>2</sub> deep cooperative control technology

YuFen Bai

Tianfu Environmental Protection Technology Co., LTD., Shihezi 832000, China

**Abstract:** Based on the existing wet desulphurization process, this paper focuses on the deep collaborative control technology of SO<sub>2</sub>. The influence law of pH value, dissolution rate of desulfurizer, residual calcium content and other factors on the wet desulphurization efficiency is studied on the micro level, and the control process of desulfurization slurry components is determined. The influence of design parameters such as liquid holding height, liquid holding amount, atomizing pressure of nozzle, nozzle coverage rate and flue gas flow rate on the synergistic effect of SO<sub>2</sub> depth was studied macroscopically, and the optimal design and equipment control parameters of wet desulphurization process were determined.

**Keywords:** wet desulfurization; Process parameter optimization; Collaborative control; impact

### 引言:

随着国家及地区环保投入的不断加大, 污染物排放总量控制取得了明显效果。目前的燃煤烟气污染物排放特点已经由高浓度粗放式排放变成污染物浓度低、种类多、烟气湿度高、难扩散, 燃煤烟气污染形式呈现一种新常态。这种燃煤烟气污染形式更有利于区域性冬季雾霾的形成。本研究针对燃煤烟气多污染物深度协同控制技术的重大需求, 为进一步改善区域环境质量, 缓解新疆自治区资源与环境压力做出重要贡献, 具有重大的经济、环境及社会效益。

### 一、SO<sub>2</sub>深度协同控制基本实验方法分析

#### (1) 浆液pH值对脱硫效率的影响

通过改变浆液性质, 调整浆液pH值, pH值从5.2提高至5.8分析4种不同持液量和持液高度条件下的脱硫效率。

#### (2) 浆液有效组分溶出速率的影响

在小试试验装置中, 配置不同残余钙含量的模拟脱硫浆液, 在搅拌均匀的条件下向模拟浆液中通入SO<sub>2</sub>气体, 稳定脱硫浆液pH值在5.0, 通过测定浆液中亚硫酸根浓度计算残余钙溶出速率。

#### (3) 残余钙、pH值对脱硫效率的影响

#### (4) 喷嘴压力对雾化粒径的影响

对美国斯普瑞公司提供的普通单向空心锥喷嘴进行粒径分析, 喷嘴雾化粒径随着喷嘴入口压力的增加而减小; 控制吸收塔流速为3.2m/s, 入口二氧化硫浓度在500~600mg/Nm<sup>3</sup>, 液气比在3L/Nm<sup>3</sup>, 研究分析喷嘴压力与脱硫效率的关系。

#### (5) 喷淋层覆盖率对脱硫效率的影响

通过钢瓶配气稳定模拟烟气中SO<sub>2</sub>初始浓度在560mg/Nm<sup>3</sup>, 固定喷淋层流量和喷嘴压力, 增减喷淋层喷嘴数量, 改变喷淋层喷淋浆液张开面的重复率, 研究喷淋层覆盖率对脱硫效率的影响。

#### (6) 持液区间高度对脱硫效率的影响

**基金项目:** 2022年八师科技创新人才项目(2022TD02), 2021年兵团两区建设项目(2021BB031)

调整喷淋层高度，喷淋层持液区间高度从0.5提高至1.5m，在相同液气比条件下研究持液区间高度对脱硫效率的影响。

### (7) 持液量对脱硫效率的影响

固定喷淋持液区间高度，调整喷淋层的液气比，吸收区持液量分别控制在 $1.96\text{L}/\text{Nm}^3$ 、 $3.53\text{L}/\text{Nm}^3$ 、 $5.29\text{L}/\text{Nm}^3$ ，寻找持液量与脱硫效率的关系。

## 二、湿法脱硫工艺参数优化对于脱硫过程的影响

### 2.1 浆液pH值对脱硫效率的影响

通过实验可知，当pH值从5.2提高至5.8，脱硫效率提高并不明显；在相同pH值条件下，脱硫效率随着持液高度增加而升高，随着持液量增加而提高。结合持液高度、持液量和pH值三个因素对比分析，对脱硫效率影响程度由强到弱依次为液气比>持液高度>pH值。

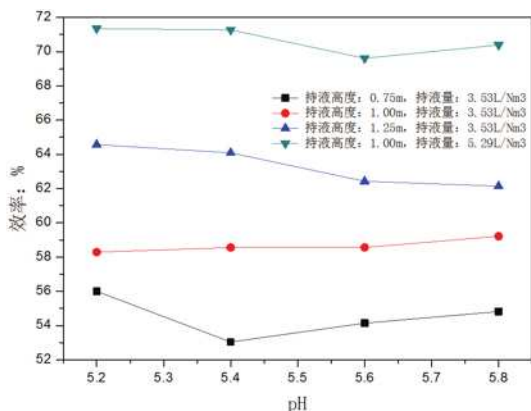
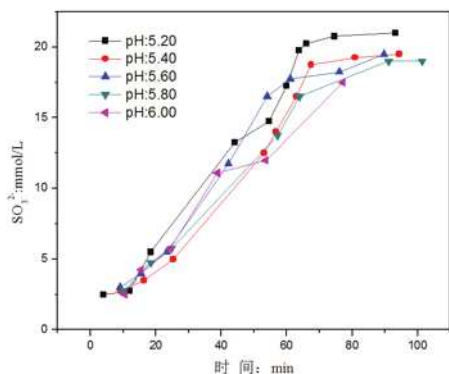


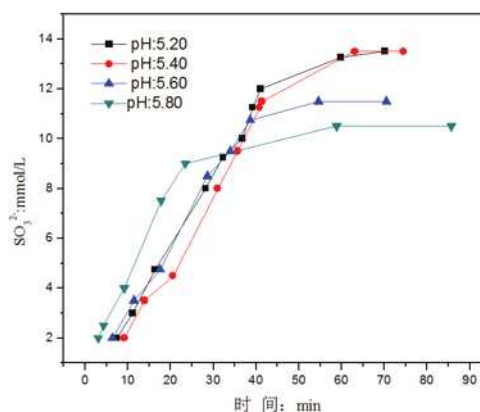
图2.1.1-1 浆液pH值与脱硫效率的关系

### 2.2 浆液有效组分溶出速率的影响

脱硫剂的溶出速率受残余钙量和pH值影响较大，脱硫浆液的残余钙量越高，其溶出速率越高；pH值越低，溶出速率越高；浆液中残余钙溶出量随着浆液停留时间的增加而增加，脱硫浆液中的 $\text{SO}_3^{2-}$ 浓度随之增加，浆液脱硫能力提高；当停留时间小于40min时，浆液中的 $\text{SO}_3^{2-}$ 浓度增加幅度大；随着停留时间继续延长，浆液中的 $\text{SO}_3^{2-}$ 浓度增加幅度减缓。



(a) 2%残余钙浆液



(b) 1%残余钙浆液

图2.1.1-2 残余钙浆液的时间— $\text{SO}_3^{2-}$ 浓度曲线

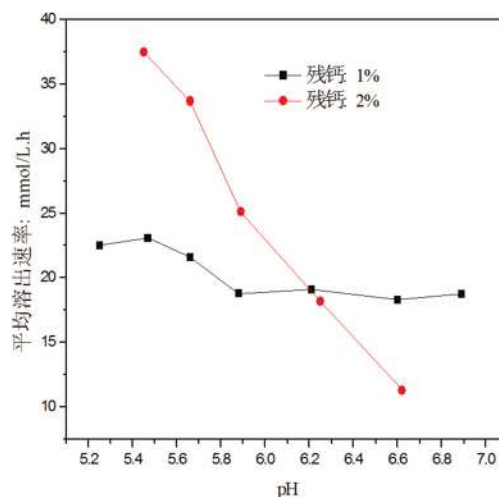


图2.1.1-3 平均溶出速率曲线

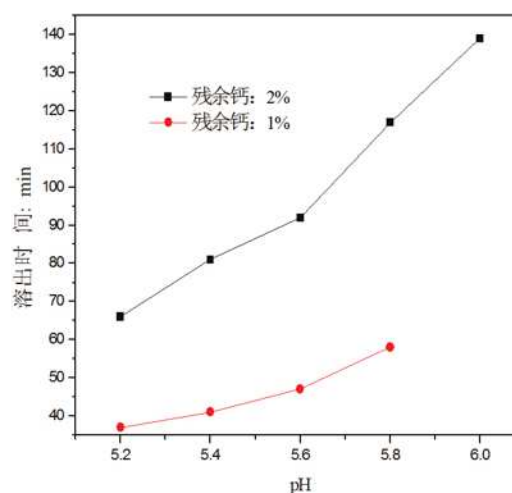


图2.1.1-4 完全溶解时间曲线

### 2.3 残余钙、pH值对脱硫效率的影响

浆液组分中残余钙的稳定时间在2-3小时，残余钙量随着烟气浓度的升高而升高，随着浆液池单位体积单位时间内需要消耗的亚硫酸根量的升高而升高。增强塔釜容积延长脱硫剂溶出时间有利于提高脱硫效率。

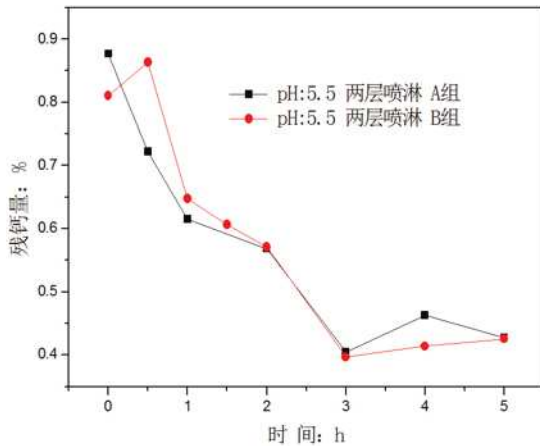


图2.1.1-5 溶出时间与残余钙量的关系

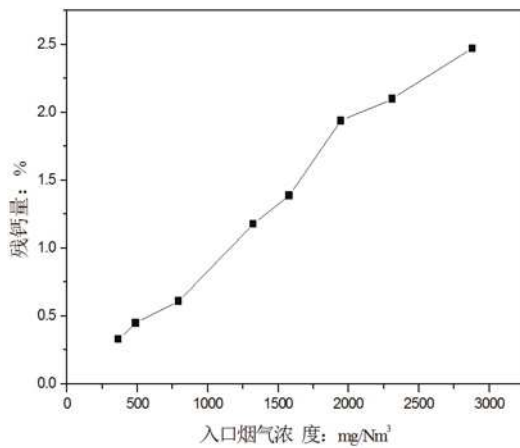
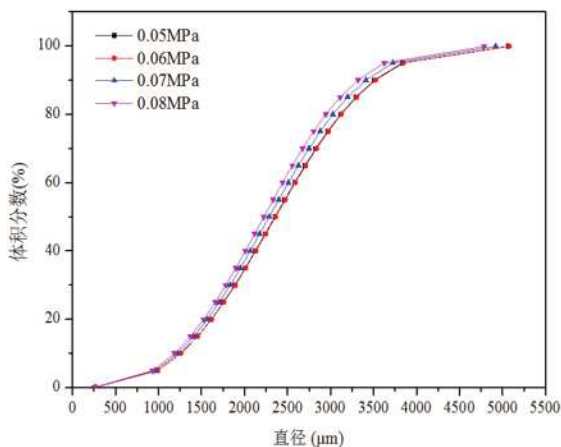


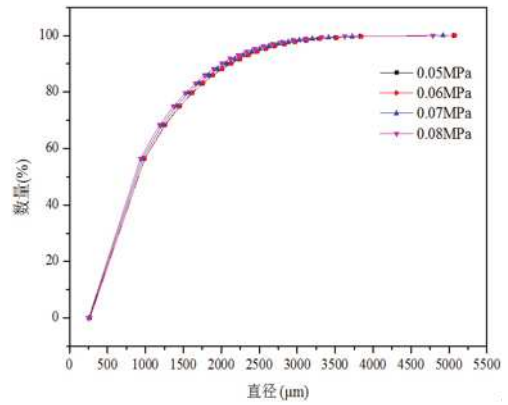
图2.1.1-6 烟气浓度与残余钙量的关系

#### 2.4 喷嘴压力对雾化粒径的影响

对美国斯普瑞公司提供的普通单向空心锥喷嘴进行粒径分析,发现喷嘴雾化粒径随着喷嘴入口压力的增加而减小;当雾化压力在0.06~0.08MPa范围内,雾化粒径变化较小;当雾化压力低于0.06MPa时,平均雾化粒径明显增大。单向空心锥喷嘴平均粒径在2000~2300um,随着压力增加,雾化粒径波动在100um以内。



(a) 雾化粒径与体积百分比分布关系



(b) 雾化粒径与质量百分比分布关系

图2.1.1-7 不同压力下雾化粒径分布

#### 2.5 喷嘴压力对脱硫效率的影响

通过实验分析我们发现,增加喷嘴压力降低浆液雾化粒径,可少量提高系统的脱硫效率。当喷嘴压力低于0.06MPa时,脱硫效率随着喷嘴入口压力的降低下降幅度相对较大;喷嘴压力高于0.06MPa时,喷嘴出口浆液雾滴随着压力的降低,雾滴粒径略有增大,气液接触面积减小,脱硫效率出现少量下降。

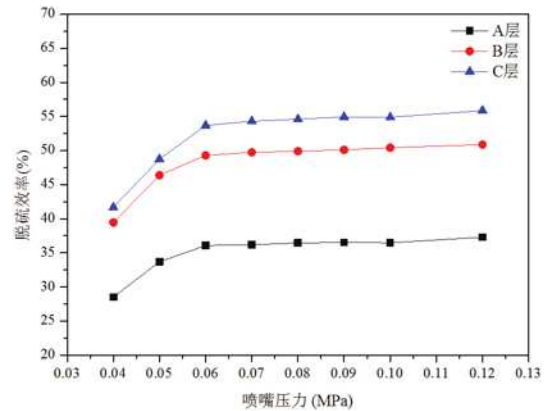


图2.1.1-8 喷嘴压力与脱硫效率的关系

#### 2.6 喷淋层覆盖率对脱硫效率的影响

在相同液气比和喷嘴背压条件下,调整喷嘴布置数量从1只调整为4只,喷淋层覆盖率从100%提高至300%,喷嘴雾冠交叉面积加大,雾滴二次雾化几率增加,脱硫效率从70.7%提升至72.3%。提高喷淋层覆盖率可提高喷淋系统的脱硫效率;喷淋层覆盖率每提高一倍,脱硫效率可提高约1.3%。



图2.1.1-9 喷淋层布置图

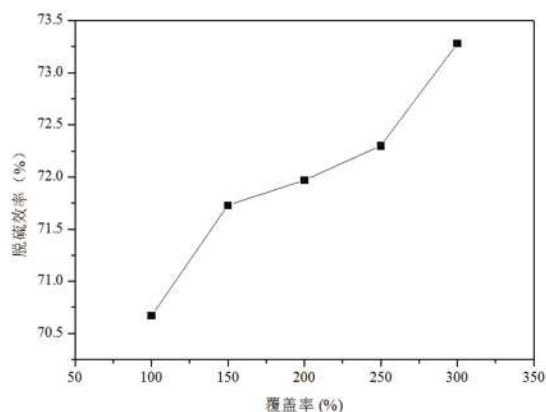


图 2.1.1-10 喷淋层覆盖率对脱硫效率的影响

### 2.7 持液区间高度对脱硫效率的影响

调整喷淋层高度，喷淋层持液区间高度从0.5提高至1.5m，相同液气比条件下脱硫效率增加10%~12%。持液区间高度增加，延长了液体在吸收段的停留时间，为气液充分接触创造了有利条件，脱硫效率随着持液区间高度的增加而显著升高。

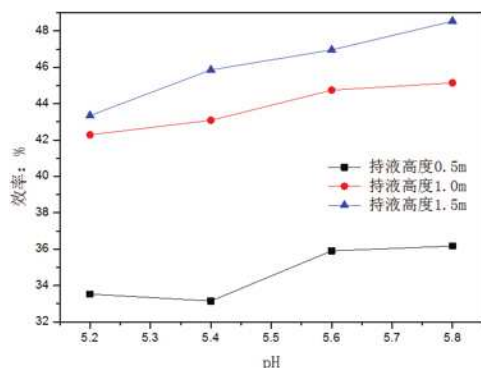


图 2.1.1-11 持液区间高度与脱硫效率的关系

### 2.8 持液量对脱硫效率的影响

固定喷淋持液区间高度，调整喷淋层的液气比，吸收区持液量分别控制在 $1.96\text{L}/\text{Nm}^3$ 、 $3.53\text{L}/\text{Nm}^3$ 、 $5.29\text{L}/\text{Nm}^3$ ，寻找持液量与脱硫效率的关系。喷淋区持液量提高2.7倍，脱硫效率从33~36%提升至70%~71%，持液量增加会快速提高装置脱硫效率。

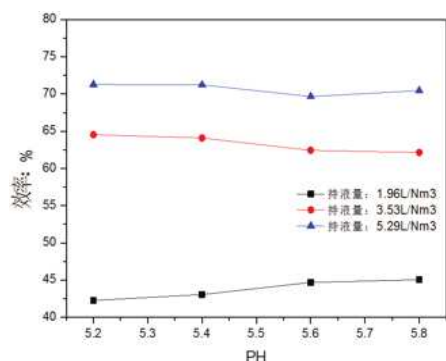


图 2.1.1-12 持液量与脱硫效率的关系

### 2.9 烟气流速对效率的影响

对于双层喷淋，脱硫效率随着塔内烟气流速的增加而下降。在相同的工况下，喷淋层脱硫效率随着烟气流速的降低而升高，烟气流速由 $4\text{m}/\text{s}$ 下降至 $2\text{m}/\text{s}$ 时，两层喷淋脱硫效率上升约15%。

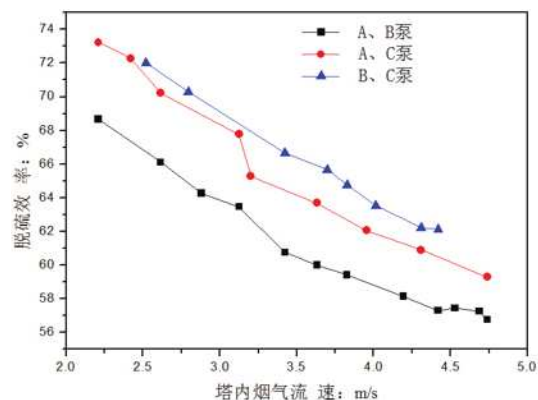


图 2.1.1-13 低浓度烟气流速与脱硫效率的关系

### 三、托盘工艺对脱硫效率的影响研究

为了进一步优化湿法脱硫系统对 $\text{SO}_2$ 的深度协同控制，本项目开展了托盘工艺增效脱硫技术。通过系统研究托盘开孔孔径、开孔率等工艺参数对湿法脱硫效率、系统阻力的影响，优化现有托盘的设计参数，具体研究结果如下：

建立设计烟量为 $500\text{m}^3/\text{h}$ 规模的试验研究装置，在试验装置脱硫吸收塔内设置托盘在内径为 $190\text{mm}$ 的吸收段内，分别放置开孔率为27%、30%、35%，开孔孔径为 $14\sim 40\text{mm}$ 的托盘，控制吸收段内过流流速为 $3.0 \pm 0.1\text{m}/\text{s}$ ，入口 $\text{SO}_2$ 浓度为 $0\sim 1060\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。通过调整托盘参数试验，考察托盘孔径及开孔率对脱硫效率和阻力的影响，找出液气比、烟气流速与脱硫效率关系，确定托盘的选型参数。

#### 3.1 开孔率、孔径对托盘阻力影响

在相同液气比下，托盘的开孔率从35%下降到27%，托盘阻力下降 $180\sim 400\text{Pa}$ ，开孔率越小，托盘阻力越大；在相同开孔率相同液气比下，开孔孔径从 $15\text{mm}$ 增加到 $25\text{mm}$ ，托盘的阻力随着孔径的增加、开孔个数的减少呈快速增加；随后孔径继续增加，托盘阻力升高趋势变缓慢。

#### 3.2 开孔率、孔径对托盘脱硫效率的影响

在相同开孔率相同液气比下，托盘的脱硫效率随着开孔孔径的增大、开孔个数的减少而升高，但是升高趋势非常微弱。托盘的脱硫效率与液气比大小成线性关系；在相同孔径相同液气比下，脱硫效率随着开孔率的增加而降低。

#### 3.3 液气比对托盘阻力的影响



相同开孔率下托盘阻力与液气比成线性关系,在相同开孔率相同液气比下,适当减小开孔孔径增加开孔个数有利于降低托盘的阻力。在相同孔径下,托盘的阻力与液气比成一次线性关系,液气比越大,阻力越大;在相同液气比下,托盘阻力与开孔率的关系为27%>30%>35%,随着液气比的增加,27%开孔率的托盘阻力增加幅度最大,35%开孔率托盘阻力增加幅度最小,增加开孔率有利于高液气比下降降低托盘阻力。

### 3.4 液气比对托盘脱硫效率的影响

固定托盘开孔率,改变托盘开孔孔径,托盘的脱硫效率与液气比成正比关系,脱硫效率随着液气比的增大而升高。改变入口初始SO<sub>2</sub>浓度,分析液气比与托盘效率的关系。托盘的脱硫效率与液气比成线性关系,液气比越大,脱硫效率越高。

### 3.5 托盘阻力对脱硫效率的影响

分析三条拟合曲线,托盘的阻力与脱硫效率成一次线性关系,阻力越大脱硫效率越高。在相同的阻力下,35%开孔率的托盘脱硫效率最高,当阻力小于500Pa时,相同阻力下脱硫效率由大到小的开孔率分别为35%、30%、27%;阻力大于500Pa时,相同阻力下脱硫效率由大到小的开孔率分别为35%、27%、30%。相同开孔率的孔板,阻力与效率成线性正比例关系。

## 四、结论

通过对上述结论进行进一步的分析研究,可以得到下述结论。

第一,湿法脱硫工艺参数优化对于脱硫过程的影响:

1) 增加喷嘴压力降低浆液雾化粒径可少量提高脱硫效率,当喷嘴压力低于0.06MPa时,脱硫效率随着喷嘴入口压力的降低下降幅度较大;

2) 脱硫剂碳酸钙的溶出速率受残余钙量和pH值和残余钙量的影响,且残余钙量越高,其溶出速率越高;pH值越低,溶解速率越高,在实际脱硫浆液中,浆液组分中残余钙的稳定时间在2-3小时,残余钙量随着烟气浓度的升高而升高,随着浆液池单位体积单位时间内需要消耗的亚硫酸根量的升高而升高。增强塔釜容积延长脱硫

剂溶出时间有利于提高脱硫效率;

3) 喷淋层脱硫效率随着烟气流速的降低而升高,烟气流速由4m/s下降至4m/s时,单层喷淋脱硫效率上升约15%,三层喷淋脱硫效率上升约25%;

4) 在相同液气比下,提高喷淋层覆盖率可提高喷淋系统的脱硫效率;喷淋层覆盖率每提高一倍,脱硫效率可提高约1.3%。

5) 提高持液区间高度,增加持液量及延长烟气停留时间,均可提高喷淋层脱硫效率。结合持液区间高度、持液量及pH值三个要素对比发现,对脱硫效率影响程度由强到弱依次为持液量>喷淋区间高度(气液接触时间)>pH值。

第二,托盘工艺对脱硫效率的影响:

1) 托盘的阻力与脱硫效率成线性关系,阻力越大脱硫效率越高;

2) 托盘孔径控制在18-40mm范围内,托盘阻力大于500Pa,相同孔径条件下,托盘效率与开孔率的关系为35%>27%>30%;

3) 增加开孔率有利于高液气比下降降低阻力;

4) 托盘的阻力与液气比成一次线性关系,液气比越大阻力越大;

5) 托盘的阻力随着孔径的增加、开孔个数的减少而升高,开孔率越大,这种升高趋势越弱;

6) 在相同开孔率相同液气比下,适当减小开孔孔径增加开孔个数有利于降低托盘的阻力;

7) 随着入口烟气SO<sub>2</sub>浓度的升高,托盘的脱硫效率逐渐降低;烟气流速越大,脱硫效率越低。

### 参考文献:

[1]赵毅.铝电解烟气SO<sub>2</sub>深度处理的研究与探讨[J].设备管理与维修.2020,(19):73-74.

[2]刘涛.循环流化床炉烟气脱硫的深度治理及优化[J].设备管理与维修.2019,(02):172-173.

[3]林梓桦,王观华.热电厂循环流化床炉外脱硫的深度治理研究及优化[J].南方能源建设.2016,3(04):73-77+101.