



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXX—XXXX

含硫废气碳基催化脱硫方法

Carbon based catalytic desulfurization method for sulfur-containing waste gas

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

## 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》给出的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国石油和化学工业联合会提出。

本文件由全国废弃化学品处置标准化技术委员会（SAC/TC294）归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：。

# 含硫废气碳基催化脱硫方法

## 1 范围

本文件规定了含硫废气碳基催化脱硫方法的废气的来源及组成、碳基催化脱硫方法、脱硫装备要求、脱硫效果及环境保护。

本文件适用于含硫废气碳基催化脱硫技术的应用。采用单级脱硫方式催化脱硫处理含硫废气的浓度不大于10000 mg/m<sup>3</sup>。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 534 工业硫酸

GB/T 6003.1-2022 试验筛 技术要求和检验 第1部分：金属丝编织网试验筛

GB 50009 建筑结构荷载规范

GB 50010 混凝土结构设计规范

GB 50016 建筑设计防火规范

GB 50017 钢结构设计规范

GB/T 50046 工业建筑防腐蚀设计标准

GB 50160 石油加工企业设计防火规范

GB 50191 构筑物抗震设计规范

GB/T 50726 工业设备及管道防腐蚀工程技术标准

HG/T 20592 钢制管法兰（PN系列）

HG/T 21633 玻璃钢管和管件

JB/T 4735 钢制焊接常压容器

NB/T 47003.1 钢制焊接常压容器

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

**含硫废气** sulfur-containing waste gas

化工、钢铁、石油炼制、有色金属和建材等行业生产过程排放的含有二氧化硫和三氧化硫的废气。

### 3.2

**碳基脱硫催化剂** carbon-based desulfurization catalyst

以多孔碳为载体,经浸渍、干燥、煅烧等工序制备,可将废气中的二氧化硫和 $O_2$ 催化氧化生成 $SO_3$ ,再在水存在的条件下,生成硫酸的催化剂。

### 3.3

**再生系统** regeneration system

通过梯级浓度的硫酸对失效饱和的碳基脱硫催化剂进行循环清洗,使其得到再生的系统。

### 3.4

**硫酸精制系统** sulfuric acid purification system

对副产的稀硫酸进行过滤除杂的装置。

### 3.5

**硫容** sulfur capacity

在一个脱硫再生周期内,单位体积碳基脱硫催化剂脱除废气中二氧化硫的质量,以 $mg/cm^3$ 表示。

### 3.6

**活性组分** active species

催化剂中真正起催化作用的部分,能降低反应活化能,提高反应速率。

### 3.7

**纳米限域效应** nanoscale confinement effect

物质在纳米级空间(通常为 $1\text{ nm}\sim 100\text{ nm}$ )内受到几何限制时,其结构、动力学、热力学和反应性等性质发生改变,导致其化学行为及相关化学反应路径和速率发生改变的现象。

## 4 废气的来源及组成

### 4.1 来源

含硫废气主要来源于化工、钢铁、石油炼制、有色金属、建材等行业的生产过程,一般需经除尘装置去除烟(粉)尘。

### 4.2 组成

含硫废气的主要污染物是 $SO_2$ ,其他污染物成分包含 $SO_3$ 、 $CO_2$ 、 $CO$ 、 $NO_x$ 、 $HCl$ 、 $HF$ 等,各污染物含量与废气的来源有关。

5 碳基催化脱硫方法

5.1 原理

以多孔碳为载体负载N、S杂原子官能团活性组分（由硫脲、硫氰化铵、硫磺、尿素、三聚氰胺等前驱体经浸渍、干燥、煅烧等工序制备而成），耦合多孔碳纳米限域效应及活性组分催化作用，在低温下将废气中低浓度二氧化硫催化氧化为三氧化硫并与废气中水蒸气结合生成硫酸，储存到催化剂载体孔隙内，实现脱硫制酸。

5.2 工艺流程

5.2.1 工艺流程简述

含硫废气进入装填有碳基脱硫催化剂的脱硫制酸塔中，SO<sub>2</sub>被催化剂吸附、催化氧化为SO<sub>3</sub>，并与废气中水蒸气生成硫酸。当催化剂的脱硫容量达到设计硫容时，对催化剂床层进行再生，再生系统采用梯级循环再生方式，通过不同浓度的稀硫酸从高到低喷淋洗涤，最终将床层内的硫酸转移到再生液中，催化剂的活性得到恢复，同时获得质量浓度不低于20%的硫酸副产品。

5.2.2 工艺流程简图

含硫废气碳基催化脱硫制酸工艺简图见图1。

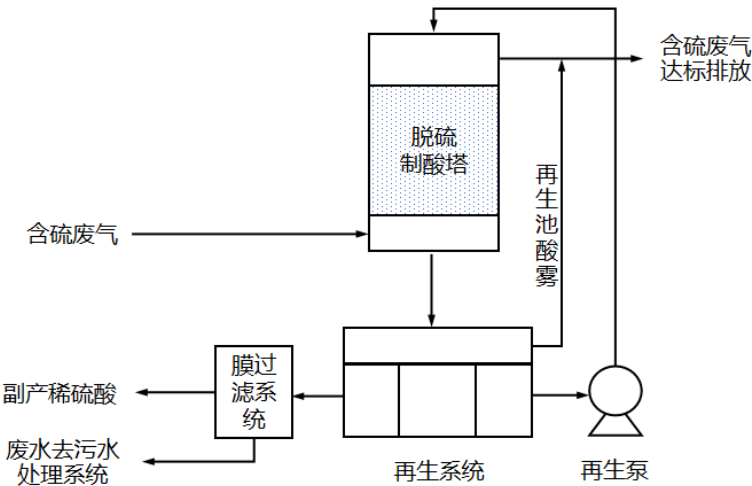


图1 含硫废气碳基催化脱硫工艺简图

5.3 含硫废气要求

进入脱硫制酸塔前的废气应满足如下要求：

- a) 废气的温度应控制在30 °C~150°C；
- b) 含湿量不小于0.5 %；
- c) 烟（粉）尘浓度不大于30 mg/Nm<sup>3</sup>；
- d) 氧的浓度不小于3 %。

#### 5.4 碳基脱硫催化剂要求

碳基脱硫催化剂应满足如下要求，相关参数的检测计算见附录A：

- a) 载体为多孔碳材料，活性组分为含N、S杂原子官能团，外形为圆柱状；
- b) 正常工作温度范围应控制在30℃~150℃；
- c) 初始强度不小于180 N/cm，耐酸强度不小于80 N/cm；
- d) 硫容应不小于30 mg/cm<sup>3</sup>；
- e) 脱硫效率应不小于95 %；
- f) 使用寿命应不低于3年。

#### 5.5 工艺控制要求

- 5.5.1 脱硫制酸塔入口SO<sub>2</sub>浓度宜不高于10000 mg/Nm<sup>3</sup>，浓度高于10000 mg/Nm<sup>3</sup>时，宜采用多级脱硫。
- 5.5.2 脱硫制酸塔入口硫酸雾浓度宜不高于400 mg/Nm<sup>3</sup>，浓度高于400 mg/Nm<sup>3</sup>时，宜采用多级脱硫。
- 5.5.3 含硫废气温度高于150℃时宜先进行降温，再进行脱硫。
- 5.5.4 单级脱硫系统压力降应不高于3000 Pa。
- 5.5.5 脱硫制酸塔内气体设计流速宜不高于0.4 m/s。
- 5.5.6 再生液喷淋密度应不低于20 m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>)。
- 5.5.7 单次再生周期应不低于6 h，再生级数不低于3级。

### 6 脱硫装备要求

#### 6.1 总体要求

- 6.1.1 成套装备的布置方案应综合考虑安全、环保和节能的因素，并应符合GB 50016、GB 50160等防火有关规范的规定。
- 6.1.2 成套装备的抗震应符合GB 50009和GB 50191的规定。
- 6.1.3 建筑设计应符合GB 50010、GB 50017的规定。

#### 6.2 脱硫制酸塔

- 6.2.1 脱硫制酸塔宜采用多用一备方式。
- 6.2.2 脱硫制酸塔内部废气宜采用自下而上的流动方式。
- 6.2.3 脱硫制酸塔应设置足够大小的人孔门，进出脱硫塔的烟道应设置必要的废气采样口。
- 6.2.4 脱硫制酸塔应设置脱硫催化剂装填及更换必须的装卸料孔、起吊装置和平台。

6.2.5 脱硫制酸塔塔体、管道、泵及再生池等与酸液或酸雾接触部分的材料应符合 GB/T 50726 或 GB/T 50046 的要求，玻璃钢管道设计应符合 HG/T 21633。

6.2.6 钢制塔体设计、制造、检验与验收应符合 JB/T 4735 或 NB/T 47003.1 的规定。

6.2.7 法兰应符合 HG/T 20592 的规定。

### 6.3 再生系统

6.3.1 再生池宜布置在脱硫制酸塔下方。再生池应符合 NB/T 47003.1 或 GB 50010 的相关规定。

6.3.2 再生池应采用梯级浓度酸洗再生方式。通过再生泵将再生液打入脱硫塔，对达到硫容的催化剂进行循环喷淋冲洗。

6.3.3 再生池高浓度工段应设置酸液排出口。

6.3.4 再生池容积应满足脱硫塔再生液最低循环喷淋用量要求。

### 6.4 硫酸精制系统

6.4.1 稀酸精制泵应设计为一用一备，且应耐腐蚀。

6.4.2 稀酸精制泵的流量应满足脱硫制酸系统副产稀硫酸最小量的要求，稀酸精制泵的扬程应满足稀酸精制装置的安装高度及所需压力要求。

6.4.3 硫酸精制膜过滤器压力不小于 0.3 Mpa，过滤精度不低于 0.1  $\mu\text{m}$ 。

## 7 脱硫效果

### 7.1 排放要求

含硫废气经碳基催化脱硫方法处理后，经烟囱排放的废气中 $\text{SO}_2$ 的浓度应满足相关环保要求。

### 7.2 副产硫酸要求

副产的稀硫酸可直接在企业内部回用，如用于硫酸生产、硫铵生产、金属矿的洗选等工序。也可经浓缩等相关工序精制后，生产符合GB/T 534要求的硫酸产品。

## 8 环境保护

### 8.1 废气

应定期对含硫废气碳基催化脱硫装置的效果进行监测和评估，排放监测中二氧化硫、硫酸雾指标应满足相关行业排放标准要求。

### 8.2 固废

达到使用寿命后从脱硫制酸塔中取出的废弃脱硫催化剂，企业应根据自身条件进行无害化处理，或交由有资质的专业危险废物处理机构进行处理。





附 录 A  
(资料性)  
相关技术参数的计算方法

## A.1 耐压强度

单位长度脱硫催化剂颗粒在沿径向施加外力时的强度极限，分为初始强度和耐酸强度。初始强度是指未使用的碳基脱硫催化剂的强度值。耐酸强度是将一定温度的碳基脱硫催化剂经硫酸冷激、浸泡、洗涤、干燥后，再进行循环冷激、浸泡等操作，经过十次循环后所测定的碳基脱硫催化剂的强度值。

### A.1.1 原理

用游标卡尺测量经过干燥后脱硫催化剂颗粒长度，然后将脱硫催化剂置于颗粒耐压强度测定仪，施加压力，记录脱硫催化剂被压碎瞬时压力值，计算规定数量脱硫催化剂单位长度的平均受力值为强度值，其单位为N/cm。

### A.1.2 初始强度的测定

#### A.1.2.1 仪器设备

A.1.2.1.1 游标卡尺：规格（0~100）mm、精度为0.05 mm。

A.1.2.1.2 电热恒温干燥箱：温度能控制在 $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

A.1.2.1.3 颗粒耐压强度测试仪，量程范围（0~500）N，分度值0.1 N。

A.1.2.1.4 试验筛A： $\phi 200\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ —4/1.4，符合GB/T 6003.1-2022的规定。

A.1.2.1.5 试验筛B： $\phi 200\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ —6.3/1.8，符合GB/T 6003.1-2022的规定。

#### A.1.2.2 试样及其准备

称取碳基脱硫催化剂约100 g，置于 $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的电热恒温干燥箱中，烘干至恒重，取出放入干燥器中冷却备用。

#### A.1.2.3 试验步骤

分别将试验筛A和试验筛B按孔径大小从上到下依次叠好放置，将试样置于试验筛上，震动，随机取试验筛B中筛分得到的粒径为4.0 mm~6.3 mm的脱硫催化剂样品52粒，用游标卡尺分别测定它们的轴向长度（垂直于径向），记为 $l_i$ 。

将颗粒耐压强度测定仪调零，将试样置于颗粒测试仪的夹具中，启动颗粒耐压强度测定仪分别对52粒试样逐一进行测试，记录压碎瞬间的压力值 $F_i$ ，当压力值大于500 N时以500 N计。

#### A.1.2.4 试验数据处理

初始强度的计算应先去掉一个最大值和一个最小值再进行计算，初始强度以 $F$ 计，数值以牛每厘米（N/cm）表示，按公式（A.1）计算：

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{50} F_i / l_i}{50} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

$F_i$ ——第 $i$ 次测试碳基脱硫催化剂强度的压力值，单位为牛（N）。

$l_i$ ——第 $i$ 次测试碳基脱硫催化剂颗粒的长度值，单位为厘米（cm）。

数值精确至0.1N。

### A.1.3 耐酸强度

#### A.1.3.1 试剂或材料

20 % 硫酸溶液：量取128 mL 硫酸，缓慢注入889 mL 水中，冷却，混匀。

#### A.1.3.2 仪器设备

A.1.3.2.1 游标卡尺，规格（0~100）mm、精度（0~0.05）mm。

A.1.3.2.2 电热恒温干燥箱：温度能控制在150℃±5℃。

A.1.3.2.3 颗粒耐压强度测试仪，量程范围（0~500）N，分度值0.1N。

A.1.3.2.4 试验筛A：φ200 mm×50 mm—4/1.4，符合GB/T 6003.1-2022的规定。

A.1.3.2.5 试验筛B：φ200 mm×50 mm—6.3/1.8，符合GB/T 6003.1-2022的规定。

#### A.1.3.3 试样及其准备

称取脱硫催化剂约300 g，将其置于110℃±5℃的电热恒温干燥箱中，烘干至恒重，取出放入干燥器中冷却备用。

#### A.1.3.4 试验步骤

A.1.3.4.1 分别将试验筛A和试验筛B按孔径大小从上到下依次叠好放置，将试样置于试验筛上，震动，取筛分后的脱硫催化剂备用。

A.1.3.4.2 将试样放于500 mL烧杯中，置于150℃±5℃的电热恒温干燥箱中，烘干2 h，取出。

A.1.3.4.3 迅速倒入已装有500 mL的20 %硫酸溶液烧杯中，浸泡0.5 h，取出。

A.1.3.4.4 用清水循环洗涤0.5 h，然后置于150℃±5℃的电热恒温干燥箱烘干2 h。

A.1.3.4.5 重复A.1.3.4.1~A.1.3.4.4步骤10次。然后随机取试样52粒，用游标卡尺测试轴向长度（垂直于径向）。

A.1.3.4.6 将颗粒耐压强度测试仪调零，将试样置于颗粒测试仪的夹具中，启动颗粒耐压强度测试仪分别对52粒试样逐一进行测试，记录压碎瞬间的压力值 $F_i$ ，当压力值大于500 N时以500 N计。

### A.1.3.5 试验数据处理

耐酸强度以硫酸十次循环后脱硫催化剂的受压极限平均值（去掉一个最大值和一个最小值），以 $F_s$ 计，数值以牛每厘米（N/cm）表示，按公式（A.2）计算：

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{50} F_{s_i} / l_{s_i}}{50} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

$F_{s_i}$ ——第*i*次测试碳基脱硫催化剂强度的压力值，单位为牛（N）。

$l_{s_i}$ ——第*i*次测试碳基脱硫催化剂颗粒的长度值，单位为厘米（cm）。

数值精确至0.1 N。

### A.2 硫容

硫容以*S*计，数值以毫克/立方厘米（mg/cm<sup>3</sup>）表示，按公式（A.3）计算：

$$S = \frac{Q_{in}c_{in} - Q_{out}c_{out}}{V} \times t \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

$Q_{in}$ ——脱硫前烟气体积流量，单位为标准立方米每小时（Nm<sup>3</sup>/h）；

$c_{in}$ ——脱硫前烟气在标准状态下烟气中的SO<sub>2</sub>质量浓度（干基状态），单位为毫克每标准立方米（mg/Nm<sup>3</sup>）；

$Q_{out}$ ——脱硫后烟气体积流量，单位为标准立方米每小时（Nm<sup>3</sup>/h）；

$c_{out}$ ——脱硫后烟气在标准状态下烟气时的SO<sub>2</sub>质量浓度（干基状态），单位为毫克每标准立方米（mg/Nm<sup>3</sup>）；

$t$ ——运行时间，单位为小时（h）；

$V$ ——脱硫催化剂的体积，单位为克（cm<sup>3</sup>）。

### A.3 脱硫效率

脱硫过程中，脱硫效率以 $\eta$ 表示，按公式（A.4）计算：

$$\eta = \frac{c_{in} - c_{out}}{c_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

$c_{in}$ ——脱硫前烟气在标准状态下烟气中的SO<sub>2</sub>质量浓度（干基状态），单位为毫克每标准立方米（mg/Nm<sup>3</sup>）；

$c_{out}$ ——脱硫后烟气在标准状态下烟气中的SO<sub>2</sub>质量浓度（干基状态），单位为毫克每标准立方米（mg/Nm<sup>3</sup>）。

注：脱硫效率中烟气浓度应满足所在行业的大气污染物排放标准中对于基准氧含量、过量空气系数、吨产品烟气排放量等相关要求。

---