

## 试验研究

## 酸性气体 FSG 吸收剂及净化装置研究

荣伟国

(煤科集团杭州环保研究院有限公司,浙江 杭州 311201)

**摘要:**以工业渣和石灰为主要原料制备了酸性废气颗粒吸收剂。试验分析了颗粒吸收剂的物理化学特性并考察了吸收效果和工艺装置技术要求。结果表明:适合的工业渣可以利用其多孔结构起吸附作用,提高钙基颗粒的吸收活性;颗粒吸收剂具有吸收效率高、物理化学性能稳定、无二次污染的特点,简化酸性废气吸收工艺、设备和运行管理。

**关键词:**酸性废气 颗粒吸收剂 干法吸收 净化装置

中图分类号:X701 文献标识码:A 文章编号:1006-8759(2018)03-0009-04

## FSG ACID GAS ABSORPTION AGENT AND PURIFICATION PLANT RESEARCH

RONG Wei-guo

(MeiKe group environmental protection research institute co., LTD. Hangzhou,  
zhejiang hangzhou 311201, China)

**Abstract:** the industrial slag and lime as the main raw material was prepared by acid gas absorbent particles. Test analysis of the physical and chemical properties of the absorbent particles and absorption effect and process equipment technical requirements. Results show that the suitable industrial slag can use its porous structure on the adsorption effect, the activity of the absorption of calcium particles, Particles absorbent absorbs merits of high efficiency, stable physical and chemical properties, the characteristics of no secondary pollution, simplify the acid gas absorption processes, equipment and operation management.

**Key words:** acid gas particles absorbent dry absorption purification plant.

### 1 工业酸性废气处理技术发展方向

酸性废气(酸雾)主要产于化工、冶金、轻工、纺织、机械制造和电子产品等行业的用酸工序,常处于雾状,粒径一般在 0.1~10  $\mu\text{m}$  之间,酸性废气常规净化处理方法主要是吸收法、吸附法。吸收法一般采用水或碱液湿法吸收,吸收主要工艺有填料塔法、旋流板塔法、喷淋塔法、冲击式等,其过程需要循环池、循环水泵等,净化基本工艺如下:



酸性废气采用碱液吸收相对技术比较成熟,效果也理想,其技术进步主要表现在吸收塔结构和材质的改进。湿法吸收工艺存在工艺复杂、运行维护困难、吸收液二次污染和设备腐蚀以及废气带水等问题。

吸附法主要对硫化氢和氟化氢气体的治理,吸附剂采用活性炭或金属氧化物,吸附塔一般采用固定床吸附罐,吸附剂需定期脱附再生。其优点是工艺简单、运行维护方便、没有二次污染,主要缺点是运行成本较高、吸附剂循环利用问题。

酸性废气分离、净化技术进步主要表现在投入运行成本、二次污染、操作管理复杂性等方面,尤其是低浓度或间断排放的酸性废气净化对方便操作和管理更加重要。

收稿日期:2018-01-20

作者简介:荣伟国(1964-),男,吉林蛟河人,高工,本科,专业研究方向为环境保护科研、设计、工程治理。

## 2 颗粒吸收剂制备及机理分析

### 2.1 吸收原料选择

颗粒吸收剂由工业渣及石灰配制,工业渣必须具备以下条件:①具有与多种酸性气体化学反应并能生成稳定盐类的特性;②具有一定的疏松结构,内部应有丰富的微孔,对流体分子有吸附作用;③原料来源广泛,制取工艺简单,价格低廉;④吸收后颗粒化学成份稳定,抛弃处置比较方便,不会产生二次污染。经过调查、取样、化验,试验用工业渣的主要成份见表1。工业渣主要起载体作用,提高颗粒反应活性。

表1 试验用工业渣化学成份 单位:%

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	烧失量
40.16	26.64	3.53	2.12	0.90	0.24	0.71	0.22	0.33	5.89

### 2.2 吸收反应机理分析

#### 2.2.1 颗粒的吸附

因选用工业废渣具有多孔性,废气中酸性物与颗粒表面形成分子力,把气体中有害物吸附在颗粒表面。因颗粒有碱性成份,所以颗粒吸附应包含物理吸附和化学吸附二种分子力。

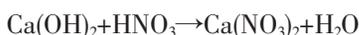
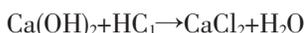
吸附速率关系到气体净化的接触时间,是设备设计的重要技术指标。据有关资料证明,吸附剂内部的扩散阻力很小,一般可以忽略不计,因而吸附速率主要由表面气膜扩散和化学反应动力学控制。尽管吸附速率可用有关公式计算,但一般的吸附过程机理复杂,传质系数从理论上推导还有一定的困难,吸附速率根据经验公式计算的往往与实际相差较大。因此,在净化设备设计中多凭经验或进行模拟试验来取得相关数据。

#### 2.2.2 颗粒的吸收

由于酸性气体一般以酸雾的形式存在,气体中含有一定的水份,颗粒吸收剂会吸附气体中的水份而带水,因此颗粒对气体中酸性气的吸收表现为物理吸收和化学吸收相伴。

物理吸收:气体中的酸性气被吸附后就会快速溶于水中,气液扩散可用双膜理论解释。

化学吸收:颗粒中的CaO与酸性气进行化学反应,主要反应式如下:



由于颗粒中存在浓度梯度,故化学吸收的速

率主要取决于颗粒表面与内部的扩散速率。

总之,颗粒吸收剂的净化过程是吸附、吸收共处的过程,吸附主要是提高酸性气向颗粒表面和内部扩散速度,而吸收反应是最终目的。

### 2.3 原料配比

试验颗粒吸收剂由工业渣、石灰及粘结剂配制,在净化过程中起吸收和吸附作用,比表面积是重要指标之一,表2为不同配比的颗粒总比表面积值。

表2 吸收剂比表面积测试

样品	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#
比表面积	4.7709	20.1858	24.4556	9.7828	21.8808	16.8907	21.3137

样品1#为工业渣,2#~7#为不同配比的颗粒吸收剂。通过综合试验,确定颗粒吸收剂的配比为:石灰50%,工业渣40%,粘结剂10%。



图1 FSG颗粒吸收剂

### 2.4 颗粒物理指标

颗粒吸收剂除须具备一定的比表面积和吸收容量外,还应具有良好的机械强度、干湿状态下稳定性及化学稳定性。颗粒吸收剂采用单螺杆挤压造粒,经测试,颗粒吸收剂的物理指标如下:

- ①单颗吸收剂抗压强度:  $\geq 8$  N/个;
- ②颗粒尺寸:圆柱状,直径:3~5 mm、长:8~12 mm;
- ③搬运过程破碎率:  $< 5\%$ ;
- ④堆比重:0.7~0.8 g/cm<sup>3</sup>;
- ⑤干湿状态下稳定性良好。

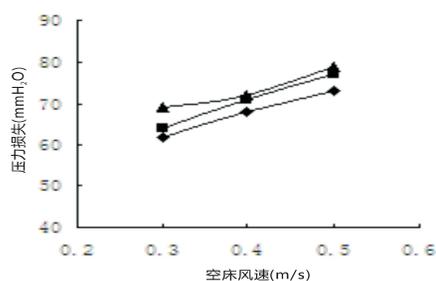
## 3 颗粒吸收工艺及装置设计

### 3.1 吸收工艺参数试验

工艺参数试验要在吸收效率与运行经济性、稳定性之间实现平衡,主要为系统阻力、吸收效率、吸收剂利用率、颗粒尺寸等参数。

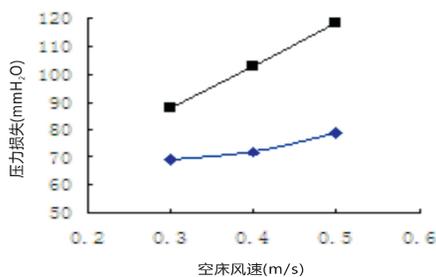
#### 3.1.1 净化系统设备阻力

根据欧根(Ergun)的等温流动阻力公式,颗粒层高度、颗粒尺寸、烟气流速是影响阻力的主要因素,同时也是装置经济性的主要指标。吸收层的高度和烟气流速是本吸收装置中的关键参数,高度的增加,废气反应接触时间增加,吸收率也相应的增高,但床层的阻力也大大增加,流速的影响相反。在满足系统吸收效率的前提下应尽量降低床层的高度和提高流速。吸收剂颗粒尺寸影响制粒的难易程度和成本、强度、吸收床阻力和吸收效率及石灰利用率等。图 2、图 3 为相关试验结果。



图中◆:厚度为 200 mm,粒径为 5 mm  
图中■:厚度为 250 mm,粒径为 5 mm  
图中▲:厚度为 300 mm,粒径为 5 mm

图 2 不同颗粒层厚度下压力损失



图中◆:厚度为 300 mm,颗粒粒径为 5 mm  
图中■:厚度为 300 mm,颗粒粒径为 3 mm

图 3 不同颗粒粒径的吸收床压力损失

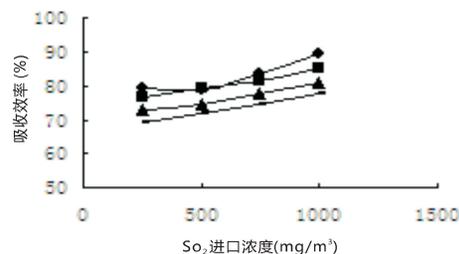
从图中可以看出,在相同条件下,吸收床阻力与风速、料层厚度成正比,与颗粒粒径成反比,但粒径对阻力的影响较突出。

### 3.1.2 颗粒吸收效果试验

吸收效率与吸收剂的化学性能有关外,还与废气浓度、颗粒层厚度、废气停留时间、接触面等工艺参数有关联,图 4 为不同条件下的吸收试验结果。结果表明颗粒吸收在干态状况下可实现 90% 以上的吸收效率,吸收层厚度应大于 200 mm,空床速度应小于 0.5 m/s。

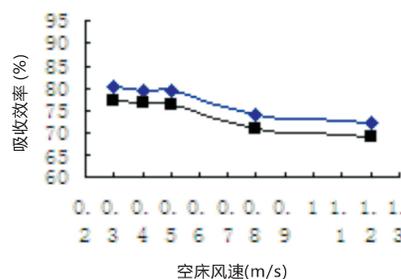
### 3.1.3 流速对吸收效率的影响

吸收床内气体流速大小影响反应接触时间并直接影响吸收效率,图 5 为流速对吸收效果的试



图中▲:厚度 200 mm,粒径 5 mm,流速 0.3 m/s  
图中■:厚度 300 mm,粒径 5 mm,流速 0.5 m/s  
图中◆:厚度 300 mm,粒径 5 mm,流速 0.3 m/s

图 4 不同进口浓度下的吸收效率



图中■:浓度 500 mg/m<sup>3</sup>,粒径 5 mm,厚度 250 mm  
图中◆:浓度 500 mg/m<sup>3</sup>,粒径 3 mm,厚度 250 mm

图 5 不同空床风速下吸收效率

验结果。结果表明吸收效率随流速的增大而下降,但流速在 0.3~0.5 m/s 之间比较平衡。

### 3.1.4 干、湿颗粒对吸收效率的影响

颗粒表面水分的存在对吸收反应有促进作用,试验结果见图 6。(湿态指颗粒处于潮湿状态,不存在流动水)。结果表明:在酸性气体吸收反应过程中水份的存在可明显促进反应和吸附、吸收速度,但实际应用中因废气温度、湿度不相同,其效果有待现场应用验证。

### 3.1.5 吸收剂利用率试验

由于颗粒吸收反应处于气固之间,反应相对缓慢,吸收剂处于富余状态,吸收剂利用率关系到废气净化的经济性。图 7 为颗粒吸收效率与吸收剂石灰利用率的试验结果,颗粒随着吸收反应时间的增长,石灰利用率逐步提高,但提高的幅度逐渐平缓,而吸收效率从平稳逐渐快速下降。

### 3.2 吸收装置设计

FSG 吸收剂吸收酸性气体采用固定床工艺,为降低设备成本和运行费用,提高操作性。吸收装置采用吸收单元组合方式,进行如下特别设计:

①吸收单元应标准化。吸收单元流通面积:0.25 m<sup>2</sup>,体积:0.1 m<sup>3</sup>,可装颗粒 65 kg。单元处理气量在 270~450 m<sup>3</sup>/h。

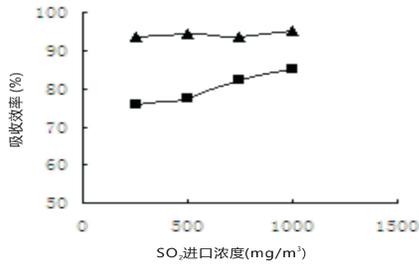
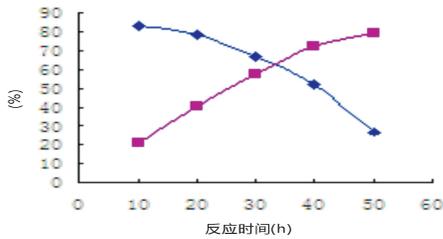


图6 干、湿颗粒吸收效率比较



图中■:厚度 250mm,干,粒径 3mm,风速 0.5 m/s  
图中▲:厚度 250 mm,湿,粒径 3mm,风速 0.5 m/s

图7 颗粒吸收效率与利用率变化

②单元组合。根据处理气量的不同,各单元可水平、上下组合。

③为方便更换颗粒吸收剂,单元在净化箱体内部抽屉式放置,打开更换检查门能方便的取出。

④吸收箱体。净化装置箱体为一整体结构,外设进出气连接口,物料更换检查门;内设吸收单元放置结构、气体均匀分布流动隔离通道,通道内的流动速度应控制在 3~5 m/s 的范围内。

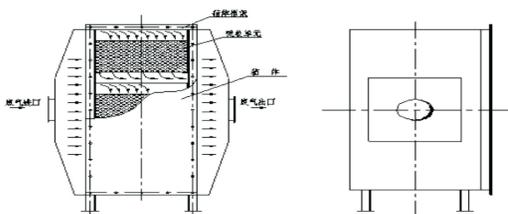


图8 净化装置结构

## 4 现场应用

### 4.1 试验装置

应用试验在某化工设备公司进行,该公司主要生产化工用压力容器、玻璃钢制品等,有一小型酸洗车间用于金属表面清洗,溶液为稀盐酸,车间间断生产,对酸雾没有进行治理,仅通风排放。试验装置的主要技术指标见表 3。

表3 吸收装置的主要技术指标

处理风量 (m <sup>3</sup> /h)	工作阻力 (Pa)	吸收截面积 (m <sup>2</sup> )	设计效率 (%)	吸收剂用量 (kg)	吸收单元 (个)	外型尺寸 (宽×高×深,m)
5 000~6 000	1 200	4.5	≥90	1 200	18	2.7×2.0×1.1

### 4.2 试验结果及分析

设备安装结束后,对吸收效果和相关的参数进行一定间隔的多次测试,测试结果见表 4。

表4 酸雾吸收效果

处理情况	第一次测试 (mg/m <sup>3</sup> )	第二次测试 (mg/m <sup>3</sup> )	第三次测试 (mg/m <sup>3</sup> )	第四次测试 (mg/m <sup>3</sup> )	第五次测试 (mg/m <sup>3</sup> )	设备阻力 (pa)	石灰利用率 (%)
吸收前	251.2	186.5	131.8	138.9	231.6		
吸收后	13.4	12.4	7.9	10.3	15.9		
吸收效率 (%)	94.66	93.35	94.00	92.58	91.13	780~840	83.2

从表 4 及试验过程可知,吸收效率和石灰利用率指标均好于实验室试验,这与实际吸收物种类、气体湿度、间断运行等有关;装置阻力在试验期间变化不大,这主要取决于设计参数,与运行关系不多;试验期间,颗粒吸收剂无论从表观还是强度基本没变化,说明颗粒经过化学吸收反应后,其物理稳定性保持完全好,这非常重要。

## 5 结论

(1)合适的工业废渣与石灰混合制成酸性气颗粒吸收剂,工业废渣的多孔特性提高吸收剂的反应活性,吸收后的颗粒物理化学性能稳定。

(2)FSG 颗粒吸收剂及干法吸收工艺适合低浓度或间断运行的酸性废气净化处理,其操作性、稳定性及技术经济性等有明显的实际应用价值和优势。

(3)净化吸收装置合理设计是方便操作、经济运行的保障,FSG 颗粒吸收剂的吸收装置宜采用固定床。合适的技术参数为:①颗粒吸收层厚度在 300 mm 左右,阻力基本在 800 Pa 左右;②空床流速应在 0.3 m/s~0.5 m/s 范围内,不宜超过 0.5 m/s;③吸收剂容量不少于 10 天的使用量;④当吸收效率下降至 50 %左右应更换吸收剂或部分重复利用。

### 参考文献:

- [1] 郑铭等编.环保设备原理、设计、应用[M]. 化学工业出版社, 2001.
- [2] 聂永丰主编.三废处理工程技术手册[M].(固体废物卷).化学工业出版社,2000.
- [3] 时黎明、徐旭常.水合作用对钙基吸收剂脱硫特性的影响[J].环境工程,1998,16(2):37-40.
- [4] 颜俭.国外干法脱硫工艺高效吸收剂的研究与开发[J].电力环境保护,1996,12(1):52-55.
- [5] 龚梦锡 王伟能.工业酸性废气颗粒吸收剂研究[J].能源环境保护.2006,12(2):23-24.