

文章编号:1009-0193(2002)05-0096-05

铁合金烟气治理及硅微粉的回收利用

毛健全¹, 顾尚义¹, 张启厚¹, 孙俊民², 唐道文³, 陈 大⁴

(1. 贵州工业大学 资源与环境学院, 贵州 贵阳 550003; 2. 清华同方能源环境公司, 北京 100084; 3. 贵州工业大学冶金系, 贵州 贵阳 550003; 4. 贵州有色冶金二总队, 贵州 六盘水 553004)

摘要:铁合金行业属高能耗重污染行业, 烟尘中主要成份二氧化硅经收尘处理后称为硅微粉, 有广泛用途和良好的市场前景。论证了采用正压式袋式除尘技术回收硅微粉, 估算其治理回收的投资及效益, 具有很好的经济效益和环境效益; 并采用相关大气预测模型预测了某工业硅项目烟气治理前后环境空气质量。

关键词:铁合金; 硅微粉; 回收利用; 污染治理

中图分类号:X757; X701.2; **文献标识码:**A

1 铁合金行业是严重的大气污染源

采用矿热炉生产硅铁、工业硅时, 烟气中排放的粉尘, 造成极为严重的大气污染。贵州省是我国铁合金、工业硅、黄磷、棕刚玉等产品的重要生产地之一, 由于烟尘排放量大, 将使我省已经十分严重的大气污染状况更加恶化。铁合金烟尘颗粒很细, 多数在 $5 \mu\text{m}$ 以下, 属可吸入颗粒物(PM_{10}), 被人体吸收后直接进入肺部, 其毒害性比肠胃吸收要增大四至五倍; 有资料表明, 由于这类烟尘中含有较多的重金属微粒, 某些肺癌的高发率与其有明显的关系, 因此危害极大。

2 烟气粉尘资源化前景: 回收硅微粉

矿热炉生产铁合金、工业硅(工业硅生产工艺流程见图1), 其烟气中的粉尘, 主要成份是二氧化硅, 而粒度为超细的微米—纳米级, 因而被称为硅微粉。采用最佳的除尘、收尘技术, 不仅可以大大地减少烟尘大气污染物的排放量, 而且可以回收这些粉尘, 并使其资源化, 其前景是非常好的。硅微粉的回收利用, 不仅有经济效益, 而且有环境效益, 是国家大力扶持和提倡的技术创新项目。

硅微粉是一种白色的超细粉末, 在扫描电镜下为光滑的圆球状(图2), 经X衍射测试, 所有微粒均为非晶质球粒, 粒径小于 $1 \mu\text{m}$, 工业硅、铁合金炉硅微粉的化学成份 88%—92% 为 SiO_2 , 99.9% 粒度小于 $0.3 \mu\text{m}$ (表1, 2)。

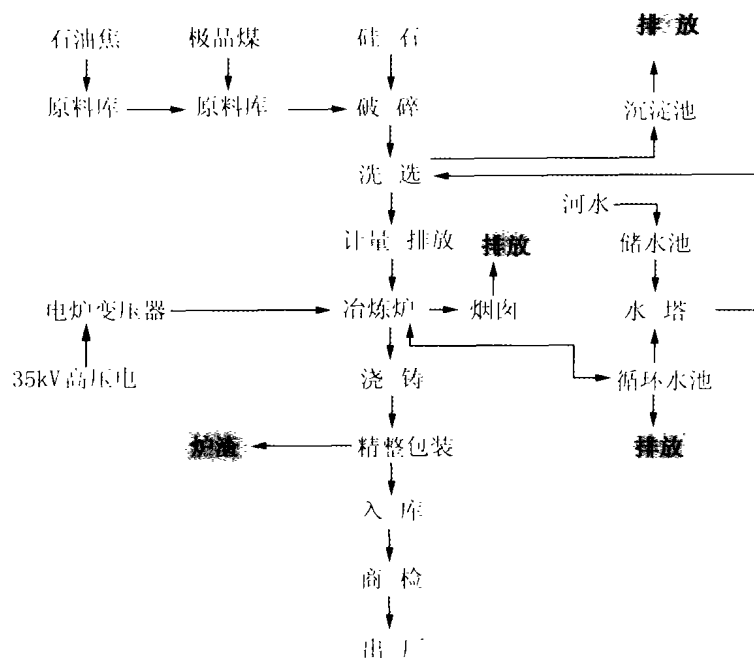


图1 工业硅生产工艺流程图

收稿日期:2002-02-13

作者简介:毛健全, 贵州工业大学资源与环境学院教授。

表1 硅微粉化学成份表(%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	C	K ₂ O	Na ₂ O	烧失量
92.37	0.38	0.40	0.17	0.4	0.46	1.01	0.22	2.18

表2 硅微粉粒度(μm)

粒度	<0.01	0.01-0.02	0.02-0.03	0.03-0.04	0.04-0.05	0.06-0.08	0.08-0.12	0.12-0.16	0.16-0.22	0.22-0.28
%	6.2	5.3	6.8	8.2	10.1	13.7	14.6	14.4	10.7	9.9
累计	6.2	11.5	18.3	26.5	36.6	50.3	64.9	79.3	90.0	99.9

用氮吸附法测得比表面积25—30 m²/g,比水泥(0.4 m²/g)大50—100倍。堆积密度为200—250 kg/m³,比重2.1—3.0 kg/m³,常温下比电阻24×10¹⁴ Ω·m,酸碱度6.7—8,火山灰活性90%。

硅微粉由于具有优良的理化性能,是一种重要的纳米—微米级无机非金属材料,被国外称为“神奇的材料”,目前已广泛应用于水电站大坝、机场跑道建设、橡胶、陶瓷与耐火材料等领域,且利用范围日益扩大。据悉,日本在从我国进口铁合金产品的同时,也大量进口硅微粉,进行提纯加工后,生产出高性能陶瓷材料,用于航空、航天等高新技术领域。而我国在提纯、加密与高性能陶瓷材料方面,尚未掌握关键技术,影响了硅微粉回收的经济效益,而且产品销售受到外界市场状况的制约。由于硅微粉的容重轻,密度只有200 kg/m³,因此,在运输和包装上费用较高。另外,从市场反馈的信息,高纯度的硅微粉在耐火材料、化工等领域应用较广,现在国外有许多厂家也在向我国提出该产品的供货要求,但是,目前,我国硅微粉纯度不够,SiO₂含量只能达到88%左右,如果把SiO₂含量提高到92%以上,将其中的杂质Fe₂O₃、C等去除,则每吨销售价格可以大幅度提高,为企业带来更显著的经济效益。



图2 硅微粉电镜照片×30000

3 治理方案

3.1 铁合金矿热炉烟气排放特点

矿热炉排放的烟气具有温度高、含尘浓度较高、烟尘排放速率变化大、粒度极细、废气中SO₂浓度较低的特点。

以一台6300kVA矿热炉为例,在烟囱上部温度在350—400℃,烟气排放量25000 m³—43000 m³(标态)/h,烟尘排放速率45—155 kg/h,烟尘浓度1800—6200 mg/m³(标态),烟尘颗粒较细,主要成分是SiO₂占88%—92%还有少量炭粉。废气中SO₂浓度较低,为90 mg/m³(标态)。

炉体设备为敞口式炉体加烟罩集尘,设有可关闭的炉口,主烟囱高22 m。

为回收硅微粉,只宜于采用干法除尘、收尘技术,由于粒度极细(烟尘中粒度小于0.3 μm占99.9%),采用机械式除尘最多只能把大于5 μm的颗粒清除;采用静电除尘技术,运行成本相对较高;显然采用袋式除尘器最为合适,但由于烟气温度高,应考虑采用空冷器进行降温,以确保布袋安全运行。

3.2 正压式治理方案

其工艺流程见图3。

按该工艺,电炉产生的高温含尘烟气在风机产生负压的作用下,经空气冷却器降温至200℃左右后进入提纯装置,经分离后除掉大部分杂质(以碳粒为主),再经风机压入布袋除尘器进行过滤除尘,收集下来的硅微粉可经池灰阀直接包装销售。(也可经气力输送至加密仓加密后运输销售需另加加密装置)。

某厂按该工艺的正压式治理方案设备、土建投资核算,见表3。

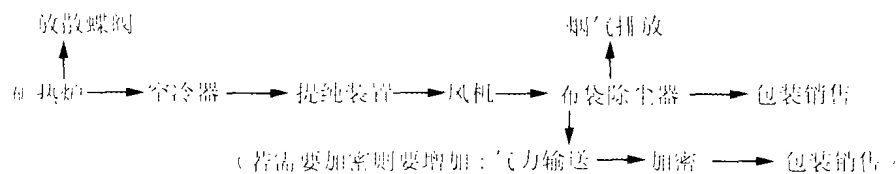


图3 正压硅微粉回收系统工艺流程

表3 设备、土建投资估算

项目名称	规格	资金(万元)
除尘器本体	LFSF230-8型,过滤面积 1840 m ² ,处理烟气温度 130-200℃,重量 55.6 t,	48.75
布袋	528套	26.4
管道支架	17.5 t	8.75
空气冷却器	最大冷却面积 580 m ² ,出口温度 200℃,重量 40 t	20
提纯装置		13
电控、阀门		20
风机配电机	主风机 Y4-73-13No14D型,电机 Y280M-4型	14
土建	含控制房	12
合计		162.9

3.3 负压式治理方案

其工艺流程,见图4.投资与正压式大体相当。

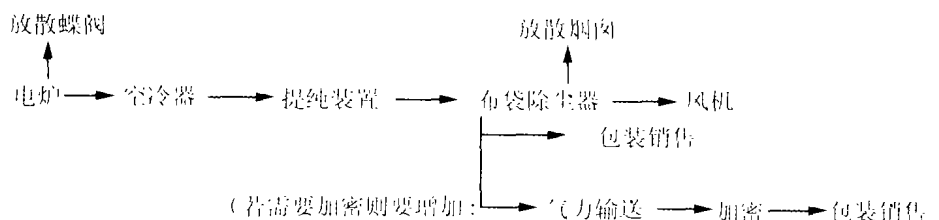


图4 负压硅微粉回收系统

4 经济、环境效益分析

4.1 经济效益分析

一台 6300 kVA 生产硅铁矿热炉,正常生产年产硅微粉 1000-1200 t,按目前未加密硅微粉(SiO_2 含量 $\geq 90\%$)市场售价 1600-1800 元/t(加密硅微粉市场售价 2000-2200 元/t),硅微粉生产成本 700-800 元/t,见表 4,年销售收入 160-190 万元,年销售利润 80-110 万元,两年可以回收投资,见表 5。

表4 硅微粉回收成本分析

序号	名称	单价	金额/元	备注
1	动力费用(电耗)	元/t	161.7	耗电 660 度/t
2	材料消耗		223.78	滤袋、包装袋
3	工资		120	14人,500元/人
4	折旧等费用		195.17	折旧费、大修费
5	利息		80.33	
6	总成本费用		780.98	

1. 动力费用(电耗)每吨硅微粉回收消耗电 660 kwh,按平均电价 0.245 元/kwh 计;
2. 材料消耗:主要是滤袋、硅微粉包装,全系统滤袋 528 条,袋价格 499 元/条,滤袋使用期 2 年,两年收硅微粉 2400 t,每吨产品滤袋成本 109.78 元。硅微粉包装袋单价 2.7 元,每吨 40 个袋子,成本 108 元,其它 6 元。
3. 工资:系统运行维修工人 14 人,平均工资 500 元/人月,月工资 7000 元,每吨产品清灰包干费用 50 元。
4. 系统总投资 160 万元,10 年折旧年限,年折旧费 16 万元,吨产品折旧费 133.33 元,每年大修费用 7.42 万元。
5. 贷款利息 9.64 万元,每吨产品摊利息 80.33 元。

表 5 预期回收利润

序号	名称	单位	金额	备注
1	回收硅微粉	t/a	1200	
2	销售价格	元/t	1600 元	
3	销售收入	万元/a	192	
4	单位成本	元/t	781.05	
5	总成本	万元/a	93.72	
6	税前利润	万元/a	98.28	2 年可回收投资

4.2 环境效益分析

1. 采用硅微粉回收装置后可以达到的排放标准

未治理前的矿热炉烟尘排放浓度高达 1800 - 6200 mg/m³(标态),超过国家规定的排放标准 14 - 50 倍;治理后的粉尘排放浓度 ≤ 100 mg/m³(标态)优于国家现行排放标准 GB16297 - 1996《大气污染物综合排放标准》120 mg/m³(标态)、GB9078 - 1996《工业炉窑大气污染物排放标准》100 mg/m³(标态)。

2. 硅微粉回收前后对周围大气环境的影响分析

以三穗县某工业硅厂为例,该厂有一台 6300 kVA 矿热炉,我们采用山区大气污染预测模式,对该厂烟尘治理前、后对周围大气环境的影响进行了预测,TSP 年平均预测浓度等值线图,见图 5、图 6。

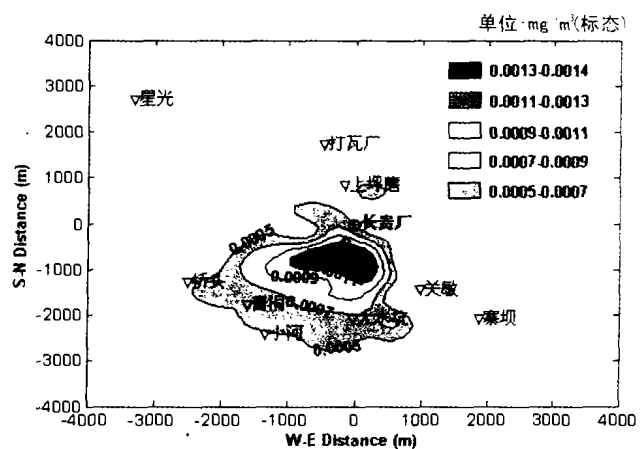
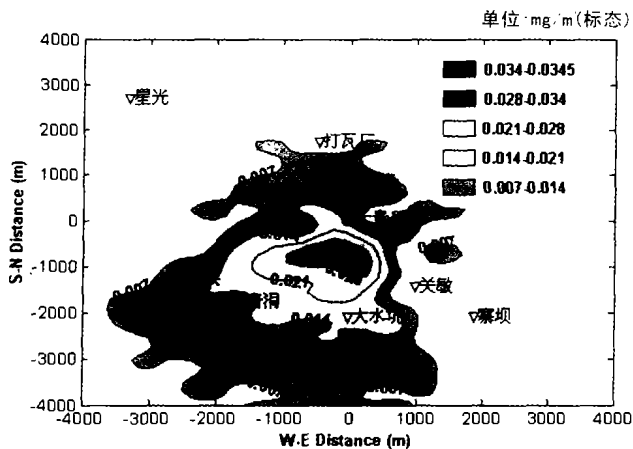


图 5 某项目处理前 TSP 年平均预测浓度等值线图

图 6 某项目处理后 TSP 年平均预测浓度等值线图

项目建成后,矿热炉烟气未经处理前,空气中 TSP 一次取样最大浓度为 0.92 mg/m³(标态),加上现状最大日均值 0.18 mg/m³(标态),则预测日均浓度最大值为 1.10 mg/m³(标态),优于《环境空气质量标准》(GB3095 - 1996)二级规定。

对厂区及周围村寨的影响分析,对比了拟建设项目治理前和治理后对厂区及附近村寨的烟尘浓度值,见表 6. 此外,由于进行了治理,因此减少大气污染造成的损失,每年约为 200 万元。

表 6 拟建项目建成后对周围环境空气的影响分析 单位:mg/m³(标态)

厂区及村寨	项目	TSP
厂区	拟建项目治理前浓度	0.014
	拟建项目治理后浓度	0.0004
	减少污染量	0.0136
	减少所占比例(%)	97
青洞	拟建项目治理前浓度	0.014
	拟建项目治理后浓度	0.0004
	减少污染量	0.0136
	减少所占比例(%)	97
上坪磨	拟建项目治理前浓度	0.010
	拟建项目治理后浓度	0.0003
	减少污染量	0.0097
	减少所占比例(%)	97

致 谢

本文在撰写过程中参阅了张金成、蒋铁、魏泉水等人的有关资料,在此一并致谢。

参考文献:

- [1] 毛健雄,毛健全,赵树民.煤的清洁燃烧[M].北京:科学出版社,2000.
- [2] 郝吉明,马广大,等.大气污染控制工程[M].北京:高等教育出版社,1989.
- [3] 曹守仁.煤烟污染与健康[M].北京:中国环境科学出版社,1992.
- [4] 毛健全.治理环境污染中应用绿色技术之探讨[J].贵州工业大学学报,2001,30(5):92-97.
- [5] 彭定一,等.大气污染及其控制[M].北京:中国环境科学出版社,1992.

Gas control and recovery and utilization of microspheric silica of ferro-silicon

MAO Jian-quan¹, GU Shang-yi¹, ZHANG Qi-hou¹, SUN Jun-min², TANG Dao-wen³, CHEN Da⁴

(1. College of Resources and Environment, GUT, Guiyang 550003, China; 2. Qinghua Tongfang Energy Source and Environment Company, Beijing 100084, China; 3. Department of Metallurgy, GUT, Guiyang 550003, China; 4. Geological Unit 2, Guizhou Bureau of Nonferrous Industry, Liupanshui 553004, China)

Abstract: Ferro-silicon industry is highly energy-consuming and causes serious environmental pollution. The main composition of the dust is silica, also called microspheric silica after being collected and treated. This magical material is widely used and has a bright market prospective. This paper demonstrates the advantage of dust bag filter with positive pressure over that with negative pressure. The calculation of investment in and benefit from control and recovery of the dust shows that utilization of microspheric silica will produce very good economic and environmental results. The impact of a ferro-silicon factory on the environmental air is predicted by using a prediction model for air pollution.

Key words: ferro-silicon; microspheric silica; recovery and utilization; pollution control