

# 12 500 kVA 硅铁电炉除尘及投资效益

刘 圣

(攀枝花攀钢集团设计研究院有限公司, 四川 617023)

**摘要** 介绍了 12 500 kVA 硅铁电炉除尘工艺、主要设备组成及除尘系统优势, 并对硅微粉的回收进行了投资分析。

**关键词** 硅铁电炉 除尘 硅粉回收 效益

## 1 前言

德昌铁合金集团原有铁合金(含硅铁、硅锰)生产车间 2 个, 年产硅铁约 10 000 t。为了扩大硅铁生产规模, 德铁集团与西昌电力公司合资, 新建 2 台 12 500 kVA 硅铁电炉。电炉只配套设置了半封闭型电炉矮烟罩, 生产时产生大量的烟气, 为此新建了电炉烟气除尘系统。由于烟尘中  $\text{SiO}_2$  含量较高, 粒度极小, 称为硅微粉, 可以作为再利用的一种资源。

## 2 除尘方式及滤料

电炉基础参数为:

烟气量 70 000  $\text{Nm}^3/\text{h}$ 座;

烟气温度 450  $^{\circ}\text{C}$ ;

烟气含尘浓度 3~4  $\text{g}/\text{Nm}^3$ ;

烟气成分  $\text{CO}_2$  3%;  $\text{N}_2$  75%~78%;  $\text{O}_2$  18%;

烟尘粒度 < 1  $\mu\text{m}$  88%; 1~10  $\mu\text{m}$  5%;

10~40  $\mu\text{m}$  7%;

烟尘成分  $\text{SiO}_2$  90%;  $\text{FeO}$  0.5%~3%;  $\text{MgO}$  1%;

$\text{Al}_2\text{O}_3$  0.2%~1.5%;  $\text{CaO}$  0.4%~1%; C 3%~4%

目前, 铁合金厂硅铁电炉除尘, 干法除尘一般是采用辐射 U 型管空冷器冷却烟气, 采用大气反吹风大布袋除尘器除尘的方式净化烟气。净化系统一般为负压式除尘系统。这种除尘系统虽然效果不错, 但一次性投资较高。综合考虑, 除尘系统设计采用正压式布袋除尘系统, 且采用列管式空冷器冷却烟气。

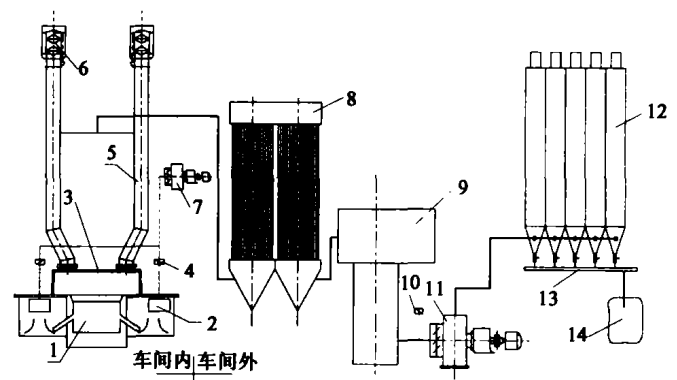
由于烟尘粒径很小, 绝大部分为 1  $\mu\text{m}$  以下, 用普通滤料如 802、729 过滤, 过滤风速一般较低 (< 0.5  $\text{m}/\text{min}$ ), 因此, 存在除尘器的过滤面积很大, 检修、换袋工作量大, 除尘器过于庞大、除尘器投资高等问题。

该除尘器采用覆膜滤料, 这种滤料制成的滤袋过滤表面复合一层极薄的微孔聚四氟乙烯材料, 由于聚四氟乙烯固有的化学和物理特性, 表面极为光滑, 粉

尘不易粘结在滤袋上, 较低的清灰能耗就可以把粉尘清落下来, 提高了滤袋的清灰再生功能和清灰效果, 因此过滤风速可以大大提高。

## 3 除尘工艺

电炉烟气经列管式空冷器间接冷却后, 烟气温度由 450  $^{\circ}\text{C}$  降至 240  $^{\circ}\text{C}$ , 然后直接混入冷空气, 将烟气温度降为 180  $^{\circ}\text{C}$ , 经风机送入正压式布袋除尘器净化处理, 达到国家规定的排放标准后直接排放。工艺流程见附图。



附图 12 500 kVA 硅铁电炉除尘工艺流程图

1—12 500 kVA 硅铁电炉; 2—出铁口排烟罩; 3—矮烟罩; 4—出铁口排烟切换阀; 5—放散烟囱; 6—烟囱放散阀; 7—出铁口排烟风机; 8—空气冷却器; 9—预收尘器; 10—混风阀; 11—主引风机; 12—正压式布袋除尘器; 13—刮板输送机; 14—粉尘包装袋。

当电炉烟气异常或除尘系统出现故障、检修时, 切断除尘系统, 打开烟囱放散阀, 烟气通过烟囱短时间事故排放, 不影响电炉正常生产。

对进入除尘器前的烟气温度进行随时检测, 当烟气温度超过设定值时, 打开混风阀, 混入冷风, 降低温度, 保护除尘器滤袋。

采用 PLC 对所有除尘设备实现全自动逻辑控制, 确保系统运行安全、可靠。

为了回收硅微粉, 除尘系统中采用了硅微粉预收尘器, 确保硅微粉中  $\text{SiO}_2$  含量达到或超过 90%。

## 4 除尘系统参数计算

### 4.1 系统风量

烟气经空冷器间接冷却至240℃后,直接混冷风(30℃),降至180℃,其最大冷空气量可按下列热平衡方程式计算:

$$L_p/22.4[C_{pp}t_p - C_{pc}t_c] = L_a/22.4[C_{pac}t_c - C_{pa}t_a] \quad (1)$$

式中  $L_p$ ——需冷却的高温烟气体积流量 70 000 Nm<sup>3</sup>/h;  
 $C_{pp}$ ——从0~ $t_p$ ℃烟气的平均比热kJ/kmol·℃;  
 查《钢铁企业采暖通风设计手册》中表6-2得:29.55;  
 $C_{pc}$ ——从0~ $t_c$ ℃烟气的平均比热kJ/kmol·℃,  
 取29.47;  
 $t_p$ ——高温烟气初温 240℃;  
 $t_c$ ——和冷空气混合后的烟气温度 180℃;  
 $L_a$ ——吸入的冷空气量 Nm<sup>3</sup>/h;  
 $t_a$ ——吸入的冷空气温度 30℃;  
 $C_{pac}$ ——从0~ $t_c$ ℃烟气的平均比热kJ/kmol·℃;  
 取29.15。  
 $C_{pa}$ ——从0~ $t_a$ ℃烟气的平均比热kJ/kmol·℃;  
 取29.09。

计算得  $L_a = 2.86$  万 Nm<sup>3</sup>/h

系统总风量  $7 + 2.86 = 9.86$  万 Nm<sup>3</sup>/h  
 $= 15.25$  万 m<sup>3</sup>/h

### 4.2 系统阻力

设备阻力:

$$\Delta P_m = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 \quad (2)$$

式中  $\Delta P_m$ ——设备总阻力 Pa;

$\Delta P_1$ ——除尘器阻力 2 000 Pa;

$\Delta P_2$ ——空冷器阻力 1 700 Pa;

$\Delta P_3$ ——预收尘器阻力 900 Pa。

通过计算得: $\Delta P_m = 4 600$  Pa

管路阻力:

$$P = R_m L + 1/2 \cdot \xi \cdot V^2 \cdot \rho \quad (3)$$

式中  $P$ ——管路总阻力 Pa;

$R_m$ ——直管段单位摩擦阻力 Pa/m,查《钢铁企业采暖通风设计手册》中表10-12得:

1.56;

$L$ ——风管总长度 140 m;

$\xi$ ——局部阻力系数;查《钢铁企业采暖通风设计手册》中表10-14得:2.42;

$V$ ——管道风速:20 m/s;

$\rho$ ——烟气密度:1.3 kg/m<sup>3</sup>。

通过计算得: $P = 850$  Pa

系统总阻力:

$$\Delta P = \Delta P_m + P = 4 600 + 850 = 5 450 \text{ Pa} \quad (4)$$

考虑德昌海拔修正,系统全压为: $5 450 \times 0.1/0.088 = 6 190$  Pa

综合计算,除尘系统主风机的工况点为152 400 m<sup>3</sup>/h,工况温度180℃,全压6 190 Pa。

### 4.3 空冷器冷却面积

间接空冷是利用高温烟气在管内流通,室外常温空气在管外流过,将烟气的热量带走,使烟气温度降低的一种冷却方式。该装置构造较为简单,易维护,不增加烟气体积,具有节能效果。

自然对流空冷器进口温度为450℃(刺火时最大为500℃),冷却后烟气温度降为240℃,自然对流空冷器的冷却面积,可按下式计算:

$$F = Q/(K \cdot \Delta t_m) \quad (5)$$

式中  $Q$ ——烟气在空冷器内放出的最大热量(考虑电炉刺火时):kJ/h。根据(1)可以计算出: $Q = 3.24 \times 10^7$ ;

$K$ ——传热系数 kJ/m<sup>2</sup>·h·℃取80;

$\Delta t_m$ ——高温烟气与空气的平均温差:  
290℃。

通过计算得: $F = 1 400$  m<sup>2</sup>,根据全国同类型的硅铁电炉除尘系统的空冷器的实际使用情况,取空冷器的冷却面积为:1 500 m<sup>2</sup>,并通过连通阀使冷却面积可调,以适应不同的电炉工况。

## 5 除尘系统的特点

(1)以正压式除尘系统与负压式除尘系统比较,正压式除尘系统布置更加紧凑,而且没有了大烟囱及大的烟气管路,投资大为减少(680万元)。负压式除尘系统占地面积较大:(64 m×24 m,正压式占地面积为50 m×16 m),投资还比较大(891.05万元)。

(2)根据实际运行情况,普通滤料每半年就需更换1次,采用覆膜滤料后,滤料至少能正常使用2年,减少了工人的维护工作量,同时也避免了因停机换袋造成的硅微粉的损失。

(3)采用列管式空冷器,列管式空冷器占地仅4.5 m×4.5 m,质量60 t,而且冷却效果能够通过连通阀调节,确保工况温度达到最佳,这一点,U型管空冷器是很难做到的。

(4)回收硅微粉 为了提高除尘器收集粉尘中的  $\text{SiO}_2$  含量,德昌集团硅铁电炉除尘系统引进了预收尘器,该设备能够将硅微粉中  $\text{SiO}_2$  含量由 85% ~ 90% 提高到 92% 以上。

#### (5)投资回收期(年)

投资回收期:  $680 \div 229.14 = 2.97 \text{ a}$

投资回收期约 3 年,说明投资回收速度快,效果好。如执行国家规定的“三废”综合利用,产品免税,效益会更好。

## 6 结语

德昌集团的 2 台 12 500kVA 硅铁电炉除尘系统,综合国内硅铁电炉除尘现状,根据实际情况,选择了正压式除尘系统,并采用了覆膜滤料及预收尘器新技术和新设备,具有投资省、占地小和硅微粉  $\text{SiO}_2$  含量高的特点。

该除尘系统,于 2001 年 7 月正式建成,10 月正式投产。通过监测,排放浓度为:  $35 \text{ mg/Nm}^3$ ,单台电炉每天回收硅微粉 8 t,硅微粉  $\text{SiO}_2$  含量达到 94%,各项指标均超过了设计预期值。

## 7 改进建议

硅微粉的增密工艺,挪威埃肯公司在不用添加剂

的前提下能将硅微粉制成直径为 0.5 ~ 1 mm 的微细球,使堆积密度从  $0.2 \text{ t/m}^3$  提高到  $0.5 \sim 0.6 \text{ t/m}^3$ ,可降低 65% 的运输和包装费用。青海某公司经过多年探索实践,采用压缩空气处理方法,可将硅微粉增密至  $0.4 \text{ t/m}^3$  左右。

受投资条件的限制,该除尘系统目前尚未建设硅微粉增密装置,因此,特建议条件成熟时建设硅微粉增密装置。

### 参考文献

- 1 中国冶金建设协会主编.钢铁企业采暖通风设计手册.北京:冶金工业出版社.
- 2 刘天齐主编.三废处理工程技术手册(废气卷).北京:化学工业出版社.
- 3 中国有色金属工业总公司主编.采暖通风与空气调节设计规范.北京:中国计划出版社.
- 4 上海市建设委员会主编.通风与空调工程施工及验收规范.北京:中国计划出版社.

作者通讯处 刘圣 617023 攀枝花攀钢集团设计研究院有限公司  
电话 (0812)3390994 传真 (0812)3397767  
E-mail liu570418@163.com

2004-03-02 收稿

(上接第 37 页)

### 4.2 工程设计参数及运行情况

附表为高压脉冲除尘器设计参数。

附表 宝源热电公司 3<sup>#</sup> 锅炉除尘器设计参数

项目	参数	备注
处理气量/ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	430 000	单台锅炉
烟气温度/ $^{\circ}\text{C}$	150 ~ 210	实际最高 204
入口烟气含尘浓度/ $\text{g} \cdot \text{Nm}^{-3}$	$\leq 20$	
出口粉尘浓度/ $\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$	$\leq 50$	
本体阻力/Pa	< 900	
过滤速度/ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	1.00	
有效过滤面积/ $\text{m}^2$	7 162	
除尘效率%	$\geq 99.8$	

该袋式除尘器过滤材料采用 HBT 新型复合滤料,锅炉满负荷运行稳定后,除尘器系统总阻力变化基本稳定控制在 1 000 Pa 左右,远小于国内其它电站锅炉袋式除尘器的系统阻力。滤袋进出口压差在 500 Pa 到 900 Pa 之间波动,清灰周期约为 25 min,出口粉尘浓度 <  $30 \text{ mg/Nm}^3$ ,完全符合设计要求。

## 5 结论

(1)由于新型复合滤料采用了“梯次”结构,使得滤料在过滤过程中压力损失小,大大降低了除尘器的

能耗和改造费用。

(2)新型复合滤料的“梯次”结构使得在过滤过程中微细颗粒不至于堵塞到滤料的深层,而且其采用特殊的后处理技术,使其过滤效率(尤其是对于微细粉尘)与某些覆膜滤料的过程效率相当。

(3)从长远的角度看,随着过滤技术和材料技术的发展,复合滤料在包括燃煤锅炉除尘等复杂场合将得到更大规模的发展与应用。

### 参考文献

- 1 张殿印.除尘技术手册.北京:冶金工业出版社,2002.
- 2 刘书平.FMS-氟美斯耐高温集尘布袋用过滤毡系列产品的研制及应用.全国袋式过滤技术研讨会论文集,武汉,2001.
- 3 中华人民共和国国家标准.GB12625-90,洁净滤料阻力、滤料静态除尘率.

作者通讯处 李华 200051 上海延安西路 1882<sup>#</sup> 东华大学 200<sup>#</sup> 信箱  
电话 (021)62379260  
E-mail lihua@mail.dhu.edu.cn

2004-06-01 收稿