

工业硅冶炼用除尘器全封闭改造实践

王忠顺, 郑小宁

(新安硅材料(盐津)有限公司, 云南 盐津 657502)

[摘要] 本文介绍了工业硅冶炼工艺及烟气处理方式,描述烟气除尘器全封闭改造方式,对比除尘器改造前后的烟气参数。

[关键词] 硅冶炼; 烟气除尘; 改造; 全封闭

[中图分类号] TF54 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1003-8884(2022)04-0064-04

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2022.04.014

0 概述

浙江新安化工集团股份有限公司全资子公司芒市永隆铁合金有限公司(以下简称“芒市永隆”)共有四台 15 000 kVA 工业硅冶炼炉,烟气采用表面式 U 型管冷却器 + 旋风除尘器 + 正压式布袋除尘器处理后经在线监测并通过烟囱集中排放,正压式布袋除尘器为现行工业硅冶炼行业通用的半封闭式大布袋正压除尘。烟气排放指标二氧化硫低于《大气污染综合排放标准》(GB 16297—1996)限值 550 mg/m³、氮氧化物低于《大气污染综合排放标准》(GB 16297—1996)限值 240 mg/m³、颗粒物低于《铁合金工业污染排放标准》(GB 28666—2012)限值 50 mg/m³。

2019 年 11 月,芒市永隆对现有四台 15 000 kVA 工业硅冶炼炉进行烟气除尘系统改造并新建烟气脱硫装置,其中 4[#]除尘器改造为全封闭型式。改造完成后,二氧化硫、氮氧化物、粉尘等烟气污染物进一步降低。本文将对 4[#]除尘器改造进行介绍。

1 工业硅冶炼工艺

芒市永隆工业硅生产采用电弧炉法,硅石、石油

焦、洗精煤、木炭、木片通过自动配料系统,按一定的比例配成混合料,由加料车送至冶炼炉进行熔炼,达到出炉条件后开始出炉精炼,根据产品质量要求完成精炼后进行浇铸、精整、破碎,最后包装入库。具体的工艺流程图如图 1 所示。

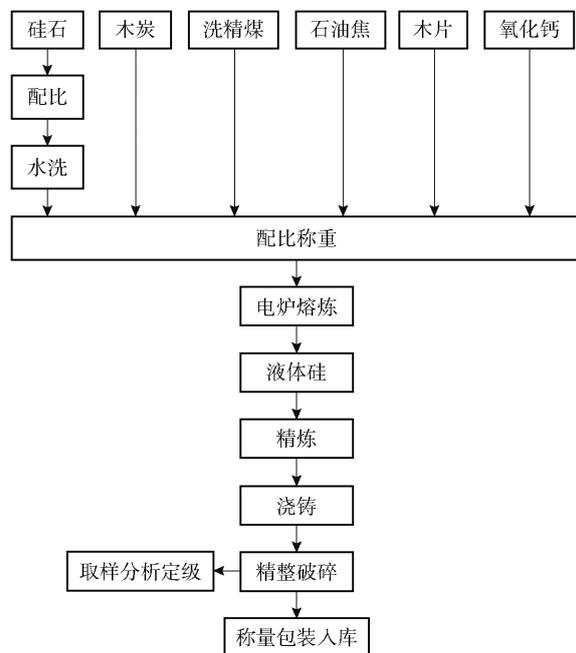


图 1 芒市永隆工业硅生产工艺流程图

2 改造前除尘装置及系统运行方式

2.1 工业硅冶炼炉烟气参数及特点

芒市永隆共有四台 15 000 kVA 工业硅冶炼炉,单台炉设计正常生产时烟气流量为 30 ~ 35 万 m³/h,但在特殊操作过程中烟气流将异常增大,比如刺火、投料、捣炉、出料或炉况异常时,最大瞬间烟气流可

[收稿日期] 2022-03-11

[作者简介] 王忠顺(1982—),男,浙江建德人,工程师,大学本科,主要从事工业硅生产经营、技术管理等工作,现任新安硅材料(盐津)有限公司总经理。

[引用格式] 王忠顺,郑小宁.工业硅冶炼用除尘器全封闭改造实践[J].有色设备,2022,36(4):64-67.

达 40 万 m^3/h 以上。

工业硅炉冶炼生产时炉气穿过炉料层进入烟罩,与空气接触的 CO 燃烧后生成烟气,烟气量的大小及温度的高低与混入空气量的大小有直接关系。工业硅炉烟气具有以下特点:

工业硅炉烟气排放的周期性和规律性比较强,且烟尘浓度高时粉尘粒径特别细,气相级的二氧化硅属于纳米级材料,其比表面积巨大,易吸湿、吸油。而且当其温度低于 $120\text{ }^\circ\text{C}$ 时,容易在管道和风机叶片上二次结晶或板结,堵塞管网或导致风机叶片失去动平衡。

烟气温度很高。通常,炉面温度在 $600\text{ }^\circ\text{C}$ 左右,在烟罩顶部的集烟箱处温度可达 $450\sim 500\text{ }^\circ\text{C}$,离集烟箱 10 米左右烟道内,其温度仍可达到 $450\text{ }^\circ\text{C}$ 。

烟尘具有二次燃烧性。工业硅烟尘主要成分为 SiO_2 (俗称硅微粉、气相二氧化硅)和未烧尽的炭粉、木屑、焦油、煤粉、一氧化碳等可燃物,偶尔伴有微量还原成单质的硅、锰、镁、铝、磷等,均可在管道或除尘器内与氧气充分二次燃烧或微爆,因此需要在除尘器前设置冷却阻火装置,烟道及冷却器、旋风塔等设置泄爆阀。

烟尘具有二次结晶性。硅微粉在 $230\text{ }^\circ\text{C}$ 以上呈游离态,不会结晶;一旦温度低于 $120\text{ }^\circ\text{C}$,会急剧结晶,并以极快的速度富集在低温区,很容易将杂质、水、油一块板结、结坨堵塞管道或滤袋。同时考虑到过高的温度会直接影响滤袋的使用寿命,因此工业硅烟气进入除尘器的温度一般要求控制在 $150\sim 200\text{ }^\circ\text{C}$ 。

工业硅冶炼的副产物为微硅粉,硅微粉堆积密度为 $200\sim 350\text{ kg}/\text{m}^3$,比表面积 $5\,000\sim 15\,000$,容易吸水、吸油而板结,运输和储存困难,需要加密装置进行加密,便于运输和储存。经加密后硅微粉比重达 $800\sim 1\,000\text{ kg}/\text{m}^3$ 。

2.2 芒市永隆除尘系统介绍

芒市永隆四台 $15\,000\text{ kVA}$ 工业硅冶炼炉均采用半封闭式正压大布袋除尘器进行粉尘处理,工艺流程图如图 2 所示。

冶炼炉的烟气通过矮烟罩收集由烟道进行 U 型冷却器,将温度降低后进入旋风分离器,在旋风分离器内将粗颗粒的粉尘进行分离、收集,烟气从旋风分离器的顶部通过除尘风机进入到除尘器内。烟气进入除尘器各仓库的布袋,从布袋内向布袋外流动,粉尘吸附在布袋内侧,烟气从布袋外侧由烟道送入

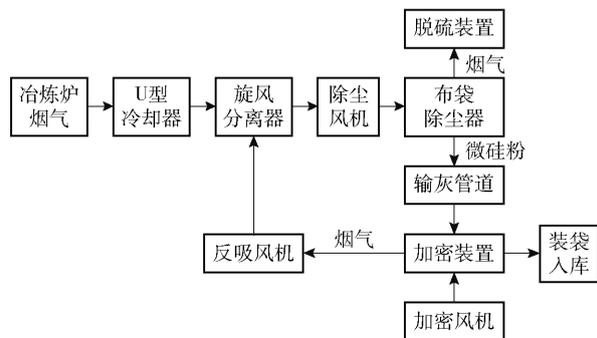


图 2 工艺流程图

脱硫装置处理后再经烟囱排放。当布袋内部的粉尘吸附到一定的量(或定时)时进行清灰,关闭进入该仓室的烟气,由反吸风机将布袋内的灰吸到加密罐顶部的旋风分离器,利用重力的原理,灰落入密封罐内,烟气重新回到布袋除尘器前端的旋风分离器进行循环。微硅粉在加密罐内通过加密风机将密度提升到 $800\sim 1\,000\text{ kg}/\text{m}^3$ 之间,然后进行装袋入库。

布袋除尘器尺寸为 $38\,800\times 9\,600\text{ mm}$,高 $18\,600\text{ mm}$,内部仓室按对称两列各 8 个,共 16 个仓室布置,烟气由除尘器两侧下部分别进入到各仓室内。每个仓室设有 110 条 $\Phi 300\times 10\,000\text{ mm}$ 的半覆膜布袋,共设了 1 760 条布袋。除尘器每个仓室之间无隔防挡板,是互通的,烟气从布袋内向布袋外侧流动后统一由布置在除尘器顶部的 $3\,000\times 3\,000\text{ mm}$ 的烟囱排放。除尘器外壳及顶部烟囱为彩钢板结构,下部设置灰斗,在灰斗与除尘器箱体之间设置格栅式检修通道,直接与大气连通,形成半密封的状态。除尘器箱体上部设有气窗,当除尘器出现故障里可开启气窗排气。

除尘器采用反吸清灰的方式进行清灰,即当需要进行清灰时,通过反吸风机把布袋内的灰吸到加密罐顶部的旋风分离器,灰进入到加密罐,烟气重新回到除尘风机前端的旋风分离器。由于各仓室间是不隔离的,因此反吸风为其他仓室已过滤的烟气,用以保持除尘器内部压力平衡。进入除尘器的烟气温度为 $180\sim 220\text{ }^\circ\text{C}$,除尘器出口烟气温度为 $160\sim 180\text{ }^\circ\text{C}$ 。

烟气经过除尘后,颗粒物指标控制在 $45\text{ mg}/\text{m}^3$ 左右,低于《铁合金工业污染排放标准》(GB28666—2012)限值 $50\text{ mg}/\text{m}^3$ 的标准要求。

3 半封闭正压大布袋除尘器存在的问题

半封闭正压大布袋除尘器是目前工业硅冶炼行

业较为流行的一种除尘方式,具有造价低、系统简单、控制操作方便等优点。但该类型除尘器也存在着很大缺点,除尘效率能够满足现行要求,无继续优化的空间;因结构型式为半封闭式,无法做到 100% 的集气率;不符合环境保护的可持续发展的理念。

4 全封闭改造思路

为提升除尘效率、提高集气率、降低粉尘排放指标,芒市永隆在建设脱硫项目时,提出进行除尘器的全封闭改造,因全封闭的正压大布袋除尘器目前在国内还没有成熟的案例,因此本次改造以 4# 除尘器为试点。

本次改造的重点是将半封闭的型式改造成全封闭,由于需要在除尘器后端建设脱硫装置,为确保烟气顺利进入脱硫装置,需要在除尘器与脱硫装置之间设置一台脱硫增压风机,形成了二级风机的形式。因此改造的难点是除尘器全封闭后除尘器内部各仓室的压力平衡与前后风机如何实现风量的平衡,特别是各除尘仓室隔离后在全封闭的情况下如何观察布袋破损及更换的问题。

根据上述的改造难点,芒市永隆提出改造思路如下:

保留原布袋除尘器主体结构及对原有的收尘、储灰、反吸、除尘风机等系统进行利旧,仍然通过现有的反吸进行清尘,但为保持仓室的平衡需给每一个仓室增加循环风,形成清灰平衡系统。循环风清灰平衡系统工艺原理及流程为烟气进入到单独仓室通过布袋进行除尘,当需要清灰时,关闭该仓室的进烟阀门,使该仓室处于密封状态。当打开反吸阀门进行清灰时,该封闭的仓室会处于负压状态。为平衡该仓室的压力,从现有反吸风机的出口段引一循环风到各个仓室,当进行清灰时,同时打开反吸阀门与循环风的阀门,用来保持该仓室的压力平衡。

为确保在全封闭状态下对个仓室的监控,在每个仓室安装压力监测装置,用于判断布袋的破损泄漏点,便于快速确定破损布袋并进行更换。同时在除尘器顶部设置更换布袋的空间,在需要更换布袋时,关闭该仓室进烟阀门及出烟阀门,从人孔门进入到检修空间进行布袋的更换。

围绕二级风机对风量控制的难点,在控制上,增加前后风机风量的连锁,并选择除尘器顶部汇风箱末端做为压力平衡点,实现风量与风压的平衡。同

时为确保后端的脱硫增压风机能够 100% 抽尽前端的烟气体量,脱硫风机风量按除尘风机风量的 120% 选取,确保后端脱硫装置的正常运行。

5 全封闭改造实施

除尘器结构改造:将除尘器四周、顶部彩钢瓦全部更换为钢板,在仓室内增加内隔板及顶板,箱体侧板、内隔板、顶板全部采用 4 mm 厚 Q235B 钢板。除尘器顶部进行集中集气改造,按每两组设置一个顶部集气罩,所有集气罩汇总到总烟道排到脱硫装置进行脱硫处理。取消两侧与大气连通的检修平台,实现全封闭状态。

除尘清灰方式:从脱硫增压风机的出口处增加一路清灰风,通过各个除尘仓室,并用气动阀进行控制。清灰采用 PLC 系统进行自动控制,实现仓室进烟阀门、反吸阀门、清灰循环风阀门能够同步动作,实现各仓室的压力平衡,确保除尘器的结构安全。

为更好提高除尘效率,将除尘布袋由中碱玻纤滤袋调整为无碱玻纤覆膜滤料,进一步降低粉尘排放指标。

改造后除尘系统本体的工艺流程图如图 3 所示。

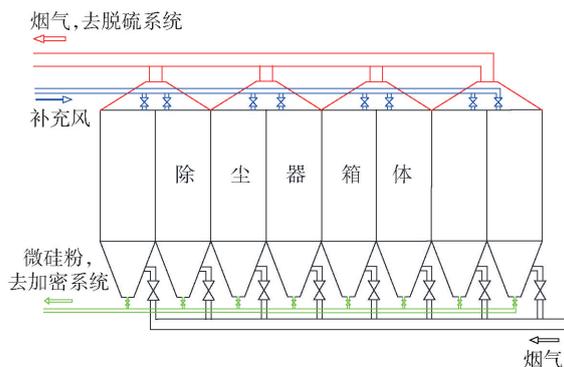


图 3 改造后除尘系统本体工艺流程图

6 改造后运行指标

(1)改造后,通过 168 试运行后,对除尘器出口粉尘进行了检测,平均颗粒物能够达到 1.63 mg/m^3 ,远低于标准值。

(2)由于本次改造,对每个除尘仓室进行了隔离,形成了单独的仓室,在 168 试运期间,对每个仓室的压力平衡进行了验收与检测。在清灰切换过程

污染源设备:除尘器4号后端4#		治理设备:布袋除尘		
燃烧方式:直接燃烧	燃料:石油焦、煤	设计效率:/	排气筒高度:19.0 m	
安装时间2011年		安装时间:/		
2020.06.11测试结果				
烟(尾)气温度 ℃: 127.5/123.7/130.4	烟(尾)气静压 kPa: -0.07/-0.09/-0.03	烟(尾)气动压 kPa: 0.115/0.112/0.123		
烟(尾)气含湿量 %: 3.3/3.2/3.6	烟(尾)气流速 m/s: 14.0/13.8/14.2	氧含量%: 19.1/18.9/19.2		
烟道直径:2.60 m		烟道面积:5.309 3 m ²		
样品编号	烟(尾)气流量/(m ³ /h)		实测排放浓度/(mg/m ³) 颗粒物	排放速度/ (kg/h)
	实际	标况		
DL202006100 32-10	267 589	156 947	<20 (2.04)	0.320
DL202006100 32-11	263 766	156 070	<20 (1.21)	0.189
DL202006100 32-12	271 411	159 319	<20 (1.64)	0.261
平均	267 589	157 445	<20 (1.63)	0.257

图4 除尘后出口粉尘检测指标图

中,压力能够保持平衡,清灰效果良好,对比其他除尘器,日产微硅粉量基本一致。

7 结论

芒市永隆铁合金有限公司4#冶炼炉除尘器的

全封闭改造通过第三方检测,排放指标远远低于《铁合金工业污染排放标准》(GB28666—2012)的排放标准,改造成功。本次改造对当地的生态环境改善起了积极的作用,也对工业硅行业的起了良好的示范作用。

Reform and Practice of Totally Enclosed Deduster for Industrial Silicon Smelting

WANG Zhong-shun, ZHENG Xiao-ning

Abstract: This paper introduces the industrial silicon smelting process and the off-gas treatment method, describes the transformation method of off-gas deduster being totally enclosed, and compares the off-gas parameters before and after the transformation.

Key words: silicon smelting; off-gas dedusting; transformation; totally enclosed

▲